www.789pdf.com 789书库网

电镀废水处理及回用技术手册

段光复　编著

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

节能减排技术丛书

电镀废水处理及回用技术手册

段光复　编著

机 械 工 业 出 版 社

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电镀废水处理工作经过多种工艺的比较，作者总结出一套成熟的、先进的电镀废水处理工艺，将废水粗放分流，分为综合废水、含氰废水、含油废水三类，经物化→生物→反渗透处理工艺，连续作业，实现达标排放，60%的达标排放水回用到生产线。本工艺的特点是适合多镀种，对多种重金属不用作很细的分流，使操作简单化，动态调节、操作方便，已在多个工业园区推广。本书就是对该技术作一全面、系统、深入、理论与实际相结合的介绍。

图书在版编目（CIP）数据

电镀废水处理及回用技术手册/段光复编著. —北京：机械工业出版社，2010.12

（节能减排技术丛书）

ISBN 978-7-111-30903-1

Ⅰ.①电… Ⅱ.①段… Ⅲ.①电镀-废水处理-技术手册②电镀-废水综合利用-技术手册 Ⅳ.① X781.103-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 103349 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：曲彩云 责任编辑：曲彩云

版式设计：霍永明 责任校对：张莉娟 程俊巧

责任印制：杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2010 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·31.25 印张·699 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-30903-1

定价：59.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务 编辑热线：(010)88379782

社服务中心：(010)88361066 网络服务

销 售 一 部：(010)68326294 门户网：http://www.cmpbook.com

销 售 二 部：(010)88379649 教材网：http://www.cmpedu.com

读者服务部：(010)68993821 **封面无防伪标均为盗版**

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

前　言

电镀，属于机械制造行业中的热处理分行——表面处理小分支的一叶，长期以来，作为机械制造企业热处理车间的一个班组而存在。它对机械及塑胶零件的主要作用有以下几点：

1. 提高耐蚀性能　这是电镀最基本也是最重要的作用。例如，在钢铁制品上镀锌，能在一般大气条件下有效地保护基体金属免遭腐蚀；镀镉制品在海洋环境下不易受到腐蚀；镀锡制品不仅耐蚀性能好，而且其腐蚀产物对人体无害，因此广泛用于与有机酸接触的食品容器中。

2. 防护装饰性能　采用多层电镀，镀铜、镍、铬等，既耐蚀又美观。一些工艺制品采用仿金工艺，提高外观质量。

3. 修复功能　一些重要的零部件，如轴、齿轮等磨损后，通过镀硬铬修复磨损部位，具有较好的经济效益。

4. 其他功能

（1）耐磨性　在活塞环、冲压模具内腔等镀硬铬，其耐磨镀层可以提高制品表面硬度，增加其抗磨损能力。

（2）减摩性　在轴瓦、轴套上镀锡、铜-锡合金可以使轴瓦、轴套不会因轴高速旋转而烧坏。

（3）导电性　在电子工业中，许多零件要求导电性能要好，可在其连接脚上镀银，增强导电性能。

（4）导磁性　如录音机、计算机中使用的录音带、存储器需要镀镍-钴、镍-铁合金。

（5）焊接性　电子原件组装时，为了改善其钎焊性能，需要镀锡、铜、银等。

（6）反光性　镀铬、银、铑可以增加某些物品表面的反光能力。

（7）防扩散性　某些零件热处理时，不允许改变其它一些部位的原有性能，就要把这个部位保护起来，如为防止局部渗碳可采用镀铜工艺防护，为防止局部渗氮可采用镀锡工艺防护。

随着市场经济的发展，尤其是沿海一带轻工业的发展，电镀产品外表以其晶亮、润泽、光滑、色彩丰富，得到人们极大的喜爱，形成了较大的需求空间。在利润这个市场触媒剂的催化下，它从机械制造企业中走了出来，从一个小班组演变为一个独立的企业，并且逐步壮大，终于形成了一个不容忽视的电镀专

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

业化市场。目前，全国已有近2万家电镀企业，主要集中于珠江三角洲和长江三角洲，珠江三角洲有5 000多家，长江三角洲有3 000多家，广东省有4 700家，浙江省有1 400家，上海有1 100家，北京有860家。它们为国内外冶金、交通、通信、化工、机械、电子、仪器、轻工、军工、航天、船舶等各行各业精心地服务，成为了一门不可缺少的产业。为了保证电镀产品的质量，使金属镀层具有平整光滑的良好外观，并与基体牢固结合，必须在镀前把镀件表面上的污物（油、锈、氧化皮等）彻底清洗干净，并在镀后把镀件表面的附着液清洗干净。因此，在电镀过程中，会产生大量的废水，水质复杂，废水中含有氰化物和各种重金属。全国2万家电镀企业，废水总排量达80×10^9t，排入江河湖海后，污染了生态环境，严重损害了人们的身体健康，如果不加以处理，最终会酿成没有水可供人类使用的灾难。所以电镀废水不能直接排放，要进行专业化的技术处理，这种专业化的技术处理有两层意思：一是要使电镀废水达到国家规定的排放标准；二是为充分利用宝贵的水资源，达标排放水要再次深化处理，回到生产线上去。

电镀工厂多是一些分散的小企业，没有力量去建造电镀废水车间，为了解决这个难题，政府采用了一个有效的办法，把众多小的电镀企业集中起来，兴办电镀工业园，一个园区办一个电镀废水处理厂。电镀废水与生活废水、造纸废水、印染废水、皮革废水、炼油废水、发电废水、化工废水、医院废水等比较起来，是最难处理的工业废水，因为它不但含有上述废水中的污染物，还含有各种重金属，要做到达标排放与回用，处理的技术难度较大。

本人从事电镀废水处理工作多年，经过多种工艺的比较，总结出一套成熟的、先进的电镀废水处理工艺，将废水粗放分流，分为综合废水、含氰废水、含油废水三类，经物化→生物→反渗透处理工艺，连续作业，实现达标排放，60%的达标排放水回用到生产线。本工艺的特点是适合多镀种，对多种重金属不用作很细的分流，使操作简单化，动态调节、操作方便，已在多个工业园区推广。本书就是对该技术作一全面、系统、深入、理论与实际相结合的介绍。

本书有以下四个特征：

（1）全力贯彻《中华人民共和国循环经济促进法》。循环经济的定义是："指在生产、流通和消费等过程中进行的减量化、再利用、资源化活动的总称。"循环经济的目标有两个，一是提高经济活动的资源利用效率，二是减少污染排放。本书介绍的技术宗旨是产生的废物在自身循环利用的同时，成为另一个企业的能源和原料。

（2）着重实践，着重应用，深入浅出，用通俗的语言，使一些专业术语能为一般人理解。

（3）介绍内容全面。电镀废水处理涉及的专业较多，有无机化学、有机化

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

学、分析化学、物理化学、机械、电工、仪表、生物、流体力学、土建十门学科，涉及专业虽多，但就应用来说，并不需要掌握很深，所以涉及到的基本知识本书在有关的章节里作简明、扼要、准确的介绍，使读者不用再去查阅其他资料。

（4）本书对污水处理站的建造费用及运行成本举了范例。以2008年物价为准，介绍了排量1 000m^3/d污水处理厂的建造费用及运行成本样板，并提出了不断降低成本的途径。

本书来自实践，理论思路清晰，工艺可靠，数据准确，有了它，相当于把工程师及一套技术班子带回了家。

本书与国际技术接轨，可作为从事电镀废水处理工作的技术人员、工人的学习培训教材，也可作为大专院校热处理专业师生的参考书，还可提供给欲投资电镀废水处理行业的企业或个人，作可行性研究报告的参考资料。

由于本人水平有限，加上时间仓促，缺点、错误在所难免，希望广大读者批评指正，不吝赐教。

段光复

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

目　　录

前言
第一章　概述 …… 1
第一节　水 …… 1
第二节　电镀废水处理的现状 …… 2
一、国外电镀废水处理现状 …… 2
二、国内电镀废水处理现状 …… 3
三、电镀污泥处理管理的不足 …… 7
四、电镀污泥妥善处理对策 …… 8
第三节　电镀废水处理的发展方向 …… 9
一、治理 …… 9
二、排放 …… 9
三、电镀污泥处理 …… 10
四、降低消耗 …… 10
五、园林式厂区 …… 10
六、运作模式 …… 10
上篇　电镀废水一、二级处理
第二章　电镀工艺简介 …… 11
第一节　电镀基本知识 …… 11
一、电化学 …… 11
二、机械 …… 13
三、电镀专用名词 …… 14
第二节　电镀工艺 …… 16
一、电镀阶段 …… 16
二、电镀液的成分及主要作用 …… 17
第三节　电镀清洁生产技术 …… 17
一、先进的电镀工艺 …… 18
二、给水排水系统的科学布局、先进的清洗设备及清洗工艺 …… 18
三、ISO 14001 环境管理认证体系与清洁生产比较 …… 30
第四节　电镀工业园废水处理厂的建设 …… 30
一、厂址的选择 …… 31
二、四大体系论证 …… 31
三、工程设计 …… 33
四、市场化运行经济模式 …… 35

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

五、电镀工业园废水处理厂的清洁生产 …… 35
第三章　电镀废水 …… 37
第一节　电镀废水的来源 …… 37
第二节　电镀废水的特性 …… 38
一、镀件清洗水 …… 38
二、碱性除油废液 …… 38
三、酸性活化废液 …… 38
四、塑料电镀粗化废液 …… 38
五、化学镀镍槽报废液 …… 38
第三节　电镀废水的分类 …… 38
一、含氰废水 …… 39
二、综合废水 …… 39
三、含油废水 …… 39
第四节　电镀废水中污染物的危害 …… 40
一、重金属 …… 40
二、氰化物 …… 42
三、酸与碱 …… 42
四、油 …… 42
五、磷与氮 …… 42
六、其他物质——添加剂、活性剂、光亮剂及油脂皂化物 …… 42
七、废气 …… 43
第四章　电镀废水处理工艺 …… 44
第一节　电镀废水达标排放指标与标准 …… 44
一、水质指标 …… 44
二、水质标准 …… 46
第二节　电镀废水处理方式的分类 …… 48
一、按处理方式进行分类 …… 48
二、按处理程度进行分类 …… 48
第三节　传统电镀废水处理方法 …… 49
一、电镀废水中的重金属及氰的性质 …… 49
二、传统电镀废水分类 …… 50
三、传统电镀废水处理方法 …… 50
第四节　最新电镀废水处理法中的一级处理 …… 61
一、电镀废水分类 …… 62
二、一级处理——物理化学处理工艺 …… 62
三、化学镀废水处理 …… 66
四、印制电路板废水处理 …… 66
第五节　最新电镀废水处理法中的二级处理 …… 70
一、生物处理法基本原理 …… 70

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、生物处理法优点 …… 70
三、生物处理中微生物特性 …… 71
四、厌氧法处理原理 …… 74
五、好氧法处理原理 …… 75
第六节 工艺调试 …… 79
一、准备工作 …… 79
二、带负荷试车 …… 80
三、微生物驯化 …… 80
四、工艺控制参数的确定 …… 80
第七节 运行中存在的问题及解决办法 …… 80
第五章 电镀废水的除磷 …… 82
第一节 磷、磷酸、磷酸盐 …… 82
一、磷 …… 82
二、磷酸 …… 84
三、磷的重要化合物及磷酸盐 …… 85
第二节 电镀废水中的磷酸盐 …… 86
一、磷酸盐的性质 …… 87
二、含磷酸盐的镀液配方 …… 90
第三节 化学除磷 …… 96
一、化学沉淀法 …… 96
二、氧化法 …… 98
第四节 同步去除 COD、氨氮、磷 …… 98
一、生物脱氮的基本原理 …… 100
二、生物除磷的基本原理 …… 101
三、同步去除 COD、氨氮、磷的工艺 …… 101
四、菌种的培育 …… 102
第五节 A^2/O 生物脱氮除磷工艺设计计算范例 …… 104
一、设计参数及设备 …… 104
二、工艺设计计算 …… 105
第六节 反硝化除磷菌的增殖 …… 112
一、北京试验 …… 112
二、山东试验 …… 114
第六章 药剂介绍 …… 117
第一节 碱 …… 117
第二节 酸 …… 118
第三节 絮凝剂 …… 120
第四节 还原剂 …… 121
第五节 金属捕集剂 …… 121
第六节 TLA 电镀废水处理剂 …… 123

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第七章　电镀污泥处理 …… 126
第一节　电镀污泥特性 …… 127
一、污泥的来源 …… 127
二、污泥的性能指标 …… 128
三、污泥的成分 …… 129
第二节　污泥减量处理 …… 129
一、污泥减量处理——浓缩与压滤 …… 130
二、污泥减量其他技术 …… 131
第三节　电镀污泥的资源化 …… 133
一、电镀污泥的脱毒减量 …… 133
二、重金属回收 …… 136
三、其他综合利用 …… 140
四、污泥综合利用涉及的有关技术 …… 141
第四节　电镀污泥填埋处理 …… 142
一、填埋场场址的选择 …… 142
二、工程实例 …… 143
第五节　电镀污泥焚烧处理 …… 144
一、污泥焚烧处理厂选址 …… 145
二、污泥的焚烧工艺 …… 145
三、广东省的污泥焚烧设施 …… 148
第八章　化学相关知识 …… 156
一、化学基础知识 …… 156
二、无机化学 …… 157
三、有机化学 …… 165
四、化工计算 …… 165
第九章　一、二级处理设备 …… 175
第一节　构筑物 …… 175
一、沉砂池（综合废水池） …… 175
二、沉淀池 …… 176
三、隔油池 …… 186
四、调节池 …… 186
五、土建构筑物基本要求及运行方式 …… 187
第二节　机电设备 …… 189
一、格栅 …… 189
二、水泵 …… 190
三、搅拌器 …… 200
四、干粉加药机 …… 219
五、压滤机 …… 220
六、污泥输送机械 …… 238

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

七、气动储泥斗 …… 240
八、曝气 …… 241
第三节 管道 …… 243
一、管材 …… 243
二、管件 …… 247
三、管道的安装与布置 …… 247
四、阀门 …… 253
第四节 仪表及控制 …… 255
一、在线检测仪表 …… 255
二、控制系统 …… 270

中篇 三级处理——中水回用

第十章 中水回用预处理Ⅰ——膜生物反应器 …… 273
第一节 基本概念 …… 273
第二节 膜 …… 275
一、膜的制造 …… 275
二、膜的构型 …… 276
第三节 膜生物反应器操作工艺 …… 277
一、膜生物反应器外部要求 …… 277
二、膜生物反应器的原理 …… 278
三、膜生物反应器的稳定运行 …… 279
四、浸没式膜生物反应器的优点与不足 …… 283
第四节 膜生物反应器处理系统工程设计 …… 284
一、生物反应器设计 …… 284
二、膜组件设计 …… 285
第十一章 中水回用预处理Ⅱ——超滤 …… 287
第一节 超滤膜技术特性 …… 287
一、超滤技术术语 …… 287
二、超滤分离特性 …… 288
三、影响超滤性能的因素 …… 288
四、超滤膜组件的结构 …… 290
五、超滤的运行方式和清洗方式 …… 290
第二节 超滤膜运行 …… 291
一、超滤进水水质要求 …… 291
二、膜组件使用条件 …… 292
第三节 超滤系统设计 …… 294
一、设计条件 …… 294
二、超滤的反洗与清洗 …… 295
三、超滤装置程控步序 …… 297

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四、运行 …… 297
第十二章　中水回用装置——反渗透 …… 300
第一节　反渗透系统设计 …… 300
一、反渗透概念 …… 300
二、反渗透系统设计 …… 301
三、反渗透系统制造 …… 307
四、装卸及故障排除空间 …… 308
第二节　安装与拆卸 …… 308
一、安装前的准备 …… 308
二、安装元件 …… 309
三、拆卸 …… 310
第三节　操作管理 …… 310
一、运行 …… 311
二、清洗 …… 312
第十三章　三级处理用药剂 …… 316
第一节　杀菌剂 …… 316
第二节　清洗剂 …… 317
第三节　脱氯剂 …… 318
第四节　阻垢剂 …… 319
第五节　絮凝剂 …… 320
第六节　其他杀菌方法 …… 321
一、紫外线杀菌 …… 321
二、臭氧杀菌 …… 327
第十四章　三级处理设备及仪表 …… 330
第一节　三级处理设备 …… 330
一、多介质过滤器 …… 330
二、活性炭过滤器 …… 339
三、袋式过滤器 …… 343
四、保安过滤器 …… 347
第二节　三级处理仪表 …… 348

下篇　实 际 运 用

第十五章　电镀废水处理厂工程实例（1 000m^3/d） …… 351
第一节　电镀工艺简介 …… 351
一、电镀工艺 …… 351
二、电镀用药 …… 351
三、电镀液配方 …… 352
四、废水水量及水质 …… 353
第二节　一、二级处理——达标排放 …… 354

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一、达标废水排放标准 …… 354
二、废水处理工艺 …… 354
第三节 三级处理——中水回用 …… 356
一、中水回用工程规模 …… 356
二、中水回用用途 …… 356
三、原水水质 …… 356
四、产水水质标准 …… 357
五、中水回用工艺——MBR + 二级反渗透 …… 357
六、产水水质 …… 360
第四节 投资 …… 360
一、总投资 …… 360
二、固定资产明细表 …… 361
三、流动资金 …… 366
第五节 工厂效益 …… 367
一、效益分析 …… 367
二、投资回收分析 …… 368
三、管理模式探讨 …… 368
第六节 工程改进 …… 368
第十六章 化学分析及生物试验 …… 369
第一节 仪器操作规范 …… 369
一、DDS-11A 电导率仪器操作规范 …… 369
二、FA/JA 型电子天平操作规范 …… 370
三、722N 分光光度计操作规范 …… 371
四、L1000A 型生物显微镜操作规范 …… 372
五、101 型电热干燥箱操作规范 …… 373
六、PHS-25 实验室 pH 计操作规范 …… 373
七、JPB-607 型便携式溶解氧仪操作规范 …… 375
八、JB 型磁力搅拌器操作规范 …… 376
九、YX280B 型手提式不锈钢蒸汽消毒器操作规范 …… 376
十、303 型电热恒温培养箱操作规范 …… 377
第二节 常规水质分析 …… 378
一、六价铬检测 …… 378
二、总镍检测 …… 380
三、总铜检测 …… 381
四、总氰化物检测 …… 383
五、化学需氧量检测 …… 386
六、总磷检测 …… 388
七、各种磷酸盐和总磷酸盐的测定 …… 390
八、氨氮检测 …… 395

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三节　污泥分析 …… 397
一、污泥的物理性质 …… 397
二、污泥的化学性质 …… 398
三、污泥的微生物学特性 …… 401
第十七章　微生物研究技术 …… 402
第一节　微生物的基本研究方法 …… 402
一、显微镜技术 …… 402
二、灭菌和消毒 …… 403
第二节　微生物培养基 …… 405
一、培养基营养物质的来源及功能 …… 405
二、培养基的种类 …… 406
三、培养基的配制方法 …… 408
第三节　微生物接种技术 …… 410
一、接种前的准备工作 …… 410
二、接种工具的准备 …… 411
三、接种方法 …… 412
第四节　微生物基础试验 …… 414
一、细菌染色 …… 414
二、细菌的运动性观察 …… 421
三、微生物细胞大小的测定 …… 422
四、微生物细胞的显微直接计数法 …… 424
五、水中细菌总数的测定 …… 426
第五节　菌种保存技术 …… 429
一、冰箱 4℃保藏法 …… 429
二、休眠保藏法 …… 429
第六节　微生物生理化鉴定 …… 430
一、细菌的分离和纯化 …… 430
二、细菌形态特征的观察 …… 432
三、细菌培养特征的观察 …… 433
四、细菌的生理生化反应 …… 434
五、属的检索 …… 443
第七节　电镀废水中常见的微生物 …… 443
一、菌属 …… 444
二、细菌 …… 446
三、原生动物 …… 449
四、后生动物 …… 453
附录 …… 454
附录 1　国际清洁生产宣言 …… 454
附录 2　生活饮用水卫生标准（GB 5749—2006） …… 455

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附录 3　电镀污染物排放标准（GB 21900—2008） …… 462
附录 4　日本废水排放标准限值及二噁英限制标准 …… 466
附录 5　环境空气质量标准（GB 3095—1996） …… 467
附录 6　工业企业设计卫生标准（TJ 36—1979） …… 471
参考文献 …… 481

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第一章 概 述

第一节 水

水，是一切生命赖以生存的宝贵物质：是一切生命机体的组成物质，约占体重的2/3，是各种生物体含量最多的一种物质；是生命产生、发育和繁衍的源泉，又是生物体新陈代谢的一种介质，生物从外界环境中吸收养分，通过水将各种养分物质输送到机体的各个部分，又通过水将代谢产物排出体外，维持着生命的活力；水还对生物体起着散发热量、调节体温的作用。

水，在地球上储量相当丰富，有14亿km^3，覆盖地球表面积的70.8%，但是生活和生产用水都是淡水，地球上的水有97.22%是含盐量极高的海水，无法饮用和灌溉农田，便于人们取用的淡水只有0.2%左右，其余的2.58%以南北两极冰帽冰川、大气中水的形式存在。水在地球生物圈内是以循环往复来使用的，分自然循环和社会循环。

（一）自然循环

在太阳能的作用下，通过海洋、湖泊、河流等广大水面以及土壤表面、植物茎叶等表面的蒸发形成水汽，上升到空中凝结为云，在大气层的作用下，以雨、雪、雹的形式降落到地面，形成江河湖海或渗入到地下，然后又蒸发形成水汽，循环往复。

（二）社会循环

人类为满足生产和生活的需要，从自然界取用大量的水，这些水经使用后就成为生活污水和生产废水，经过处理后排入自然水体，然后又为人们取用，这就又形成了一个循环体系。

如果破坏了循环规则，就会没水可用。全球对水的需求，每20年将增加一倍，但水的供应不会以这种速度增加。每人每天生活用水40～50L，生活水平越高，用水量越大。一般来说，发展中国家平均每人每天生活用水40～60L，发达国家每人每天生活用水200～300L，工业用水要占城市用水的70%～80%，发电、冶金、石油、化工、纺织、印染、造纸都是用水大户，农业用水超过工业用水。我国是农业大国，据统计，长江流域每亩水稻田的需水量约为250～500m^3，北方地区的小麦需水量约为200～300m^3/hm^2、玉米需水量约为150～250m^3/hm^2、棉花需水量约为80～150m^3/hm^2。

我国水资源丰富，居世界第六位，但我国人口众多，人均占有量为2460m^3，排在第109位，是世界上最缺水的21个国家之一，全国300多个城市中108个城市严重缺水，40个城市进入世界严重缺水城市之列。一方面水资源短缺，另一方面对水的污染日渐严重。从2009年起，广州市每年要从河源市引入一亿吨生活用水。

河流、湖泊、水库对污染有一定的自净能力，这是水体中溶解氧的作用。溶解氧

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

参与水体中氧化还原的化学过程和好氧的生物过程，可以把水中的许多污染物转为净体，甚至变为无害物质，但是如果排入水体的污染物的含量超过水体的自净能力，就会造成水质恶化，使水的用途受到影响，即造成水污染。在工业化进程中，向水体排放大量未经处理的工业废水、矿山排水、生活污水和各种废弃物，污染气体及气溶胶的沉降，以及垃圾倾倒岸边或堆积，经降雨淋洗流入水体等，造成水质恶化，都属于人为污染。

水污染按性质可分为化学污染和生物污染。化学污染分为无机污染和有机污染。无机污染主要是酸、碱、盐、重金属以及无机悬浮物等造成的污染。酸性水或碱性水都会对农作物的生产产生破坏作用，有的会使土壤的性能变坏，酸性水体还会腐蚀水下设备、船壳等。酸性水体与碱性水体相遇，可发生中和反应，同时产生相应的无机盐。重金属对人体有很大的危害性，它们有的是通过饮用水直接进入人体，有的则是通过食物间接进入人体。如果它们在人体内积累并超过一定量，就会使人产生各种中毒的反应，影响人体健康，甚至危及生命。有机污染，如氮、磷进入水中会引起水中硅藻、蓝藻、绿藻大量繁殖，导致水中溶解氧减少，化学耗氧量增加，从而使水体“死亡”，进而使水体质量恶化，鱼类等死亡。这种由于植物营养元素大量排入水体，破坏水体生态平衡的现象，叫做水体的富营养化。饮用水中一般含氮量很少高于1mg/L。根据世界卫生组织规定，NO_3^- 含量不得超过10mg/L。许多水生动物（如鱼类）对 NH^3-N 较敏感，一般有一定的耐受限度。如水中 NH^3-N 超过3mg/L时，金鱼会在9～24h内死亡。此外，亚硝酸与胺作用生成亚硝酸胺，有致癌和致畸作用，所以饮用水应严格控制亚硝酸的含量。

第二节　电镀废水处理的现状

一、国外电镀废水处理现状

电镀技术开始于1840年，起源于英国，到1924年形成了完整的工业体系。进入21世纪后，电镀技术已有了很大的发展，电镀的品种由电镀单一金属到二元合金，再到三元合金，又到复合材料组成的镀层；电镀基体材料由通常的钢铁、铜及其合金到轻金属（铝、镁及其合金），再到锌基合金压铸件，又到塑料、陶瓷等非金属材料，电镀设备已产生了各式各样的智能化自动生产线；电镀介质由在水溶液中进行，发展到在非水电解质中电镀；工艺也有了很大的进步，出现了高速电镀、脉冲电镀，既提高了生产效率，又节约了原材料。

国外电镀技术主要体现在新工艺、新技术、新设备的开发研究和推广应用方面，镀种多、自动化程度高、检测仪器先进。

国外在电镀废水的处理方面着重于源头处理，一些重污染技术已经淘汰。生物技术发展较快，各类菌种的培育、驯化、使用逐渐普及；化学上使用的药剂药效高，尽量做到少渣或无渣，如调节pH值时，用的是片碱，而不是石灰。尽管如此，发达国家的电镀工业还是逐渐向发展中国家转移。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、国内电镀废水处理现状

国内电镀行业属于劳动密集型的“三来一补”企业，耗能高、排污量大、产品附加值相对较低，对环境的污染危害性较大，属重污染行业，已不符合现今发展循环经济的理念，因此，政府对这类工艺落后、污染严重的企业态度明确，以政策法规和技术支撑为保障，实施生态化改造，强化管理、逐步淘汰，对超标排放而又治理无望的企业，注册期到，一律终止，工商部门不再续期办理营业执照。执行“严格管理、提高效益、保护环境、实现资源有效利用”的策略。

珠三角电镀品种有印制电路板、电子元器件、电脑配件、汽车部件、眼镜、卫生洁具、摩托车配件、家电、灯具、门锁、五金件、首饰、钟表等。电镀工艺有普通电镀、化学镀、复合电镀、脉冲电镀、电铸、机械镀、真空蒸镀、离子镀。单一金属有锌、铜、镍、铬、锡、金、银、铂、铑、钯、铟等。二元合金有铜基的铜镍、铜锌、铜锡；锌基的锌铜、锌镍、锌铁、锌钴；镍基的镍磷、镍钴；锡基的锡锌、锡镍、锡钴。三元合金有铜镍铬、锡钴锌。在色彩方面有黑镍、沙丁镍、黑铬、沙丁铬、枪色、古铜、光亮铜、光亮镍、彩色钝化膜、蓝白色。基体材料有金属、铝、工程塑料等。

（一）管理现状

随着经济的发展，环境保护的工作越来越得到重视，国家成立了环境保护部，2009年，各省相继成立环境保护厅，从组织上给予开展该项工作的保证。政府对电镀企业进行强制管理是从2002年正式开始，从这时起，电镀废水的处理有了较快的发展，人们由不认识到较熟练地掌握废水处理技术，设备由简单的几个池子，发展到今天的半自动控制的连续处理，技术、设备、管理上都取得了很大的成绩，一些难处理、多年难以解决的技术问题都已克服，政府倡导的环保意识已普及，企业界接受了“严格管理、提高效益、保护环境、实现资源有效利用”这个理念，并逐渐自觉接受强制管理。

1. 政策管理

（1）国家出台了《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》，各省市也出台了相应的文件，对产生工业固体废物（电镀废水厂产生大量污泥）的单位强行建立、健全污染环境治理责任制度：①电镀企业成立时要经过严格审批，要备齐一系列资料，如环保审批批文，污染防治设施的评估报告书和验收资料，生产工艺流程图，投资生产规模，产品种类和数量、原辅材料种类及数量、产生的工业固体废物特别是危险废物种类数量及其收集、贮存、转移、处理情况等；②执法人员采取现场监测、采集样品、拍摄现场等措施进行监管；③重视电镀企业布局，在深圳等经济发达地区已不允许再新建电镀厂，已有的集中到工业园区，按环保局的标准进行整改，达不到要求的强制关闭。

（2）国家实行工业固体废物申报登记制度，要求有关单位如实向环保主管部门申报工业固体废物的种类、产生量、贮存、流向、处置等有关资料，如有重大改变，应当及时办理变更申报登记，产生危险废物的单位必须按照国家有关规定制定危险废物管理计划、意外事故的防范措施和应急预案，并向环保主管部门备案。

（3）加强对工业固体废物的管理，建立危险废物管理档案，做到原辅材料使用情况清晰，危险废物的产生、转移、处理情况均应有详细记录和月统计表，危险废物转移

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

联单的保存期限为五年。

（4）工业固体废物贮存设施、场所须按照国家《一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准》（GB18599—2001）的要求建设；危险废物贮存设施、场所必须按照国家《危险废物贮存污染控制标准》（GB18597—2001）的要求建设，做到“防扬散、防流失、防渗漏”，收集、贮存危险废物必须按照危险废物特性分类进行，禁止混合收集、贮存、运输、处置性质不相容且未经安全处理的危险废物；禁止将危险废物混入非危险废物中贮存；禁止露天或在公共场所堆放危险废物。

（5）对危险废物的容器和包装物以及收集、贮存、运输、处置危险废物的设施、场所设置危险废物警告、识别标志。

（6）禁止将危险废物提供或者委托给无经营许可证的单位从事收集、贮存、运输、处置等经营活动。

2. 排放监控

（1）环保局对排放建立在线监控平台，要求废水处理厂安装视频监控设备，通过远程在线信息传输，监控处理情况，一旦发现偷排或水质不达标情况，立即纠正，并依法处罚。目前可监控的参数有 pH 值、COD、镍含量、六价铬含量。

（2）按照《中华人民共和国清洁生产促进法》，对电镀企业清洁生产实施强制性审计，对未能通过审计的依法处罚并纳入淘汰范围。

（3）实行排污许可证，进行总量控制。

3. 支持　对开展废水循环使用、废物利用、节能节水、减少排污、实现“零排放”的给予资金和技术上的支持。建立技术信息平台，鼓励和扶持在工艺技术方面的改造创新，使之达到循环经济的要求。

4. 污泥用掩埋的方法解决。

（二）技术现状

（1）电镀废水处理厂的性质有两类，一类是国外大公司办的，如富士康、日东等，环保投资到位，药剂注重使用效果，各种规章制度和技术措施到位；另一类是私营企业办的，不是按工程建设程序来建，而是今天有钱了添个池子，明天有钱了再加几个罐子，污水质量波动较大，处理质量不达标的多，企业素质参差不齐。

（2）新的技术不断地涌现，但在消化吸引方面，市场却显得力不从心，缺人缺钱。

（3）服务性的环保公司泛滥。这类公司很多，规模都不大，一个老板，两三个技术人员，就在市场上到处接工程，老板是门外汉，技术人员是才毕业几年的大学生，理论与经验都不足，做出来的工程技术不成熟，质量寿命短，要不断地改进。

（4）对混排的重金属处理常常不达标。

（5）膜技术应用在达标排放水上的污染难题没有根本解决，膜寿命短，运营成本居高不下，使一些小的工业园区业主，虽装了回用水系统，但很少开，仅仅是为了充充门面。

（6）在线控制的仪表使用，在制造纯水方面效果较好，但在电镀废水处理上效果不好，因为电镀废水硬度高，仪器管道较小，经常发生堵塞现象，使测量不准和仪表无

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

法工作，仪器虚设。

（7）综合废水的金属含量在50～180mg/L，有回收价值，但用离子交换法、电解法的成本高，使该项工作一直开展不起来。

国内电镀废水处理的工作虽已走上了轨道，但存在的问题还不少，许多电镀工业园区是2003年左右建起来的，匆忙上马，管理和技术都不到位，一个城市有数十家电镀工业园区，电镀企业工厂规模小、分散问题变成工业园区小、分散的问题；对私营小老板来说，废水处理厂建设投资大，运营费用高，因此偷排现象不断；污泥掩埋占据了大量土地资源，因此问题没能彻底解决。

（三）电镀工业园现状

全国已建有230家电镀工业园，还有许多在筹划中，估计要突破300家。

珠江三角洲有深圳、东莞、广州、佛山、中山、惠州、阳江、肇庆、珠海、清远、汕尾、揭阳等120多家；长江三角洲有上海、苏州、无锡、南京、杭州、温州、永康、芜湖、镇海、宁波、江阴等60多家；其他地方有西安、兰州、哈尔滨、天津、青岛、烟台、北京、大连、辽阳、福州等50多家。每个城市建立的工业园数量不同，有十几家的，也有几家或一家的，深圳最多，有近三十家工业园。

这几年电镀工业园区发展迅速，有利于节约使用土地资源，集中进行环境治理；有利于促进信息化和工业化融合，既是优化产业结构和布局的客观要求，又是加强行业管理的工作重点。国家政策积极推进其健康发展，但是，5年内国家级基地数量将严格予以控制。2009年11月国家工业和信息化部对工业园区工作开展调查研究，并起草了《国家级重点产业发展基地认定管理暂行办法（讨论稿）》，有几个基本原则。一是科学规划、有序推进。严格按照国家产业政策要求，遵循工业园区（基地）发展内在规律，结合区域优势和特色，科学规划、合理布局。二是示范带动、全面提升。依托国家已公告的产业集聚区，创建一批具有代表性的国家级工业园区（基地）。三是突出特色、创新发展，充分体现新型工业化特色，发挥产业集聚、专业化配套，提升特色经济发展水平，推动优势要素资源向“基地”集中。简单地说就是，一是符合国家有关法律法规和产业政策，二是要具备明显的产业集聚效应，三是自主创新方面具备较高水平，四是配套服务体系完善，五是节能减排等指标达到国家有关标准，六是有地方财力支持。

电镀工业园区多建带来的风险也大，因此，要坚定在一个城市只设一个按循环经济理念建设的电镀工业园。

对电镀工业园区的建设和管理，有以下几方面。

1. 园区的硬件　其中包含工业厂房、电镀废水处理及回用中心、电镀原料供应（配送）中心、化验检测中心、电镀工艺支援中心、安全生产与危险化学品监控中心、生活管理服务中心、信息中心、自动生产线设计中心等，遵照“废水分流，分类处理，中水回用，金属回收，综合利用”的循环经济的技术路线。

2. 园区管委会的职责

（1）对进驻园区的电镀企业进行电镀品种、工艺、设备、排放等方面的审定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）对各电镀企业进行清洁生产的督促管理，对其排放情况进行监察，并对其清洁生产进行初步评审，最后实现整个工业园区零污染，从而实现环境保护和资源综合利用。

（3）管理区内公共事物，如安全、报关、环境卫生、绿化、供水、供电、供气等。

（4）ISO 14000 认证。

（5）与政府对话及有关部门联络等。

（6）当电镀工业园区的电镀企业排放的电镀污染物的种类、数量、浓度有重大变化或改变排放方式、排放去向时，应提前 15 日向管委会报告，并提交要求变更的申请和变更的有关材料，由管理办公室将其变更登记有关手续转报环境保护局等相关部门审核。

（7）因破产、关闭或转产等原因不再排放电镀污染物的电镀企业，应向管委会报告，由管委会及时转报环境保护局为其办理《排放污染物许可证》注销等手续。

（8）违反排污许可证规定额度超量排污的，环境保护局根据情节，有权中止或吊销其《排放污染物许可证》。被中止《排放污染物许可证》的单位，在规定时间内达到《排放污染物许可证》要求的，由环保局恢复其被中止的《排放污染物许可证》。

（9）电镀小区内生产性用水实行集中统一管理。管委会对各电镀企业或电镀作业场生产性用水计量装置进行规范管理，严禁任何企业或个人随意改动，严禁用自备水从事电镀生产作业。

（10）排污管网系统由管委会统一规划管理。电镀企业生产性废水必须经排污管网系统排入电镀废水处理厂，严禁电镀企业擅自建设排污管道系统。

（11）电镀企业应加强对生产设施和污染治理设施的管理，定期疏通本单位的排污管道和沉砂井，规范电镀废水的排污口。

（12）电镀企业或电镀作业场应本着清洁生产的原则，降低原材料和能源的消耗，从而降低电镀废水治理成本和生产成本。

（13）电镀废水治理实行有偿服务原则，各电镀企业应按生产性用水量，及由各有关方面共同制定的不同电镀废水处理费单价，缴纳水费及排污费。各电镀企业应于每月 5 日前将全部水费缴至管委会，由管委会按电镀废水实际计量数，将电镀废水处理费拨付给电镀废水处理厂。

各电镀企业电镀废水用水排放量按生产性用水计量装置所反映的数量计算，每月 1 日由管理办公室进行核定。电镀废水处理单价，由管委会、环保局、物价局、电镀废水处理厂和电镀企业协会等单位根据定价原则进行协商核定。

3. *申报与运行*　电镀废水处理厂必须向环境保护局申报、登记、建卡，其设施纳入固定资产管理，拆除或闲置电镀污染防治设施的，必须报经环境保护局批准。保证全天 24h 正常运行。

4. *管理与监督*　电镀废水处理厂确保电镀废水达标排放，并接受其监督检查。

5. *废物回收与利用*　按循环经济理念设计的电镀废水处理厂的电镀废渣及浓缩液在厂内经综合利用处理后，出厂的应是符合环保要求和市场需求的产品。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 处罚与管理 造成严重污染的电镀排污单位，经限期治理，逾期未完成治理任务的，除按照国家规定征收两倍以上的超标准排污费外，还可以根据所造成的危害和损失由环保局处以罚款，或者依法责令其停业或者关闭。

7. 目前电镀工业园区存在的问题

（1）园区规划设计布局不合理，造成了一定的环境问题，未能实现“以人为本、营造工作环境舒适、居住环境优美的现代化工业园区”的目标。

（2）每个车间一个排气筒，由这些车间在废气排放品的点污染构成了整个电镀园区的面污染，整个园区产生总的酸雾量即为各排放点污染物的排放源的叠加。空气的污染主要来自生产排放中的酸雾。园区的废气排放应执行 GB16297—1996《大气污染物综合排放标准》中的二级标准。废气酸雾通过槽边抽分收集，须经双旋流组合酸雾吸收塔（喷啉加旋流）处理，同时以碱水作为吸收药剂，保证各个车间的废气排放口达标排放。

（3）电镀厂房湿度大、腐蚀性强，园区的厂房规划设计、管道铺设，尤其是地基、地面要采取防腐蚀、防渗透措施，管道要便于检修和维护保养，要根据电镀行业的特征进行设计，而不是按照普通工业厂房设计。

（4）厂房单体设计不合理，沿其长度方向平均等间距分割成一个个独立的车间，均等的场地面积严重制约了企业的发展，有些企业甚至没有空间存放产品，待加工件堆放在车间门口的现象随处可见。

（5）50% 的企业以小作坊式的手工操作为主。

（四）污泥处理管理

污泥成分复杂，属于危险废物。国外的污泥处理已经有近百年的历史，而我国的污泥处理近几年才刚刚起步，大部分地方污水处理产生的污泥没有得到充分、有效的控制，多数污水处理厂只是将污泥送往垃圾场填埋或直接暴露在旷野中，不仅造成二次污染，而且危及当代及后代人的身体健康，妥善处置工业污泥已刻不容缓。

三、电镀污泥处理管理的不足

1. 严重缺乏专门的经济、技术支撑体系

（1）目前我国多数城市只征收污水处理费，未开征污泥处理费，建设污水处理厂时往往未考虑同时建设污泥处理装置。由于污水处理费征收标准过低，连维持污水处理厂的正常运行都有困难，根本无法承担污泥处理的责任。

（2）污泥处置立法明显滞后，相关标准缺乏系统性、科学性，对污泥的处置工艺尚无统一规定，更没有客观的评价体系。

（3）污泥处置责任主体不明，污泥监管严重缺位。在大多数城市的总体规划中，均未涉及污泥处置内容，更无专项规划，污泥处置处于混乱与无序状态。现有运营机制也不利于解决污泥处置问题。污泥处置单纯依靠政府出资解决，不能充分发挥民间资本推动作用，难以促使污泥处置产业化的发展。

2. 污泥环境管理存在严重的认识误区

（1）“重水轻泥”现象严重。受城市污水处理发展水平以及认识程度的限制，我国

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在城市环境管理中高度重视污水处理，而对污泥污染防治始终没有引起足够的重视，导致污水处理厂出来的湿污泥随意外运、简单填埋或堆放，造成了严重的环境污染。

（2）随着循环经济的发展，又过分夸大了污泥资源化的经济效益，尤其面对国际污泥处理处置技术产品的片面促销，过高评估了污泥资源化的经济效益，从而导致污泥污染防治认识上的误区，认为污泥防治不需要政府投入和建立收费体系来支撑，否定了污泥处理处置的社会公益性。

因此，必须从观念上确认：污泥处理处置不是以经济效益和赢利为主，而是以保护生态环境、治理环境污染为目的，因此污泥处理处置是社会公益事业。

3. 政府监管不到位，造成当前污泥处理处置的无序混乱状态　对污泥防治的长期忽视造成了政府监管的缺位。与污水处理的监管相比，政府对污泥处理处置的监管十分薄弱。各地环境保护部门忽视污泥处理处置的重要性和对环境影响的安全性，没有将污泥处理纳入环境管理监管的序列，更没有将污泥防治问题纳入城市总体规划。目前，仅有深圳、上海、北京等大城市初步尝试了污泥处理处置专项规划的编制，但仅限于技术性规划，应在系统性方面进一步提高完善，而其他绝大部分城市尚未开展污泥处理处置的规划工作。专项规划是污泥处理处置的指导性方针，它的缺乏必然使污泥的处理处置处于无序状态，给政府监控、管理带来混乱。

四、电镀污泥妥善处理对策

目前我国对污泥问题开始广泛关注，但仍然停留在技术层次上，急需建立健全污泥环境管理体制、市场运行机制、标准体系、技术政策等方面的政策支撑工作。

1. 澄清认识，加大投入　国际经验表明：污泥处理处置是污水处理系统非常重要的环节，也是污水处理得以最终实施的保障，应给予高度重视和巨大投入。污泥处理处置不应以经济效益和赢利为主，而是应该以保护生态环境、治理环境污染为目的，因此污泥处理处置是社会公益事业，需要政府投入和建立污泥收费体系或纳入污水收费制度之中来支撑其正常运营。

2. 明确责任主体，建立市场运行机制　随着我国污水处理领域政企分离逐步到位、污水收费逐渐实施及技术路线逐步明确，应在政策上明确污泥处理处置的直接承担主体是污水处理企业，污水处理企业负有对本企业所产生污泥合理处理并最终达标处置的责任，污水处理收费中必须包含污泥处理的费用。如果污泥处理处置不当，污水处理企业应承担首要责任。

3. 加强技术创新，增加政策支持　加强污泥资源化利用的技术创新，进行相应的环境管理标准体系资源化高新技术的应用与创新是解决污泥处置问题的根本。同时，制定污泥资源化循环利用和无害化处理处置技术政策和建立相应的环境管理标准体系已迫在眉睫。

4. 加强监管，编制规划　将污泥处理纳入环境管理监管工作，加强污泥处理处置的管理、监控能力，加强社会宣传，提高公众认识。同时更重要的是，各城市应根据自身的具体情况尽快编制污泥专项规划，并能够与城市规划和污水处理规划协调、统一。专项规划有利于指导和规范各地根据各自产业结构、土地资源、城市化程度等因素，采

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

取科学的污泥处理处置技术路线，推进我国污泥资源化循环利用和无害化处理工作进入科学化管理，实现我国污泥资源化循环利用和无害化处理处置的目标。

5. 改善运作模式 运作模式可以是半市场化运作，即政府干预的力度较大，由私营业主投资，政府补贴监管，第三方运营。第三方自备流动资金，用于购买药品、设备小修、废水厂员工工资及工厂管理费。私营业主向工业园区电镀企业收废水处理费，再交给运营方。

第三节 电镀废水处理的发展方向

电镀废水处理的发展将随着两大趋势的发展而发展，一大趋势是，在清洁生产的推动下，由末端治理变为事前预防，电镀废水处理企业的地位将有很大的变化，在政府的支持下相对独立，对电镀企业有一票否决权，同时，电镀废水处理企业也拥有电镀专家，向电镀企业提供技术支持，相互配合，相互促进；另一大趋势是，电镀废水处理集中所能达到的各学科的最新技术，随所涉及的十大学科（无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、机械、电工、仪表、生物、流体力学、土建）实用技术的发展而发展。具体来说向这几个方向发展：由被动的末端治理，发展为末端治理与预防污染一体；由污染物的稀释排放，发展为无害排放，排放水的金属含量几乎为零；污泥由掩埋、焚烧发展为可安全地、广泛地利用；60% 以上的水资源循环使用。

一、治理

电镀企业所采用的工艺、原材料在设计中就纳入可能的废物处理方案，由末端治理反过来策划电镀企业的规划，末端治理技术不再是被动地进行无意义的处理研发，而是与预防污染一体。

1. 无废物排出的概念

（1）无渣。四大化学主科（无机化学、有机化学、物理化学、生物化学）及生物技术的发展，使电镀废水处理在破氰、破铬、混凝沉淀、调节 pH 值等主要工艺上用的药品有了很大的发展，药效高，无沉渣或有极少渣。

（2）综合利用。不以赢利为目的，而是与垃圾工厂一样以妥善处置废物为目的。综合利用的结果，一是工业园内自我消化，二是作为产品对外销售。

2. 电镀废水处理工艺的根本改进 生物处理生物技术的发展使工艺过程不再用化学药品，排出的污泥可以肥田。

3. 前处理方法 电镀前处理采用生化脱脂的方法。

4. 质量自动控制 仪器分析的发展、生物传感器的发展，使处理过程稳定，质量波动能得到及时控制并进行调整。

二、排放

目前，金属回收技术有了根本性的突破，随着金属回收技术变得简便易行，低浓度（10～40mg/L）的废水也可以有回收价值。铜、镍、铬都回收到生产线上，污染物稀释排放成为历史，发展为无害排放。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三、电镀污泥处理

目前，污泥处理占了污水处理厂 55% 的工作量，压泥工人多，成本高。由于技术进步，工艺的根本改进，污泥处理将降为 10% 的工作量，彻底摒弃堆埋和焚烧等处理方式，全部污泥纳入循环经济的规划，进行综合利用，作为廉价甚至免费的初级原料将供不应求。

四、降低消耗

污水处理厂的泵很多，耗能较大，今后，都将会采用节能设备。虹吸泵得到了极大的运用，高压泵都有能量回收器。能量回收器不再是一个概念，已得到了普遍使用。

五、园林式厂区

一个城市只有一个电镀工业园区，也就是只有一个污水处理厂，是循环经济的典范。在这个唯一的园区中设有最先进的为电镀企业服务的技术和配套物资供应部门。电镀污水处理厂虽是产业链的末端，却是前卫科技的施展场所，促进了化学、生物、机械、仪表、流体力学等学科的快速发展，全面展示了人类自我拯救的决心和智慧。

六、运作模式

运作模式正在向完全市场化运作方向发展。所谓完全市场化运作，即工业园的投资、运营是由有资质的企业自由竞争，工业园的规划要经过严格的审批手续。废水处理厂是社会公益性单位，不能追求利润，运营方之间的竞争是技术和管理上的竞争，而不是废水处理费高低的竞争，废水处理费标准由政府制定。为什么废水处理厂不能由建厂的私营业主来运营呢？因为废水处理厂作为一个企业，要不断地吸收新技术，进行技术改造、设备更新，要不断地投入资金，需要合格的、充足的技术人员，以满足对环境保护的更高要求，私营业主因为经营方向和理念不同，运营所必备的硬件、软件条件都不具备，因此不能胜任这项工作，因此，废水处理厂只能由第三方运营。但此时的第三方是有实力的环保公司，除了经营废水处理厂，还有其他的环保工程，并有环保产品，政府方好给予全面的支持，以平衡其在废水处理厂的亏损。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上篇　电镀废水一、二级处理

电镀废水污染物有氰化物、重金属和有机物。一级处理是指物理化学处理，物理化学处理可以除去氰化物、重金属，但是有机物除不了，COD 降不下来，不能达到国家规定的排放标准，因此要进行二级处理。二级处理是指生物处理，通过微生物的作用，使 COD 大幅下降，达到国家规定的排放标准。

本篇将详细介绍这两级处理方法，以及这两级处理方法所涉及的基本知识。

第二章　电镀工艺简介

电镀废水是电镀过程三个阶段所产生的废水，电镀过程三个阶段指的是前处理、电镀以及后处理。电镀工艺较复杂，所涉及的药品也较多，要保证废水处理达标，就要熟悉电镀技术，能准确地把握污染根源，根据电镀工艺的变动，对电镀废水处理工艺作出相应调整，并能对电镀提出改革建议，甚至要对不妥当的电镀提出否定意见，因此首先对电镀工艺进行介绍。这个介绍虽然不是全面、详细的阐述，但是通过对电镀工艺的介绍，使读者能把握关键部位，尤其是与废水有关的部分。

第一节　电镀基本知识

电镀涉及化学、电化学、电工、机械等方面的知识，这里介绍电镀废水处理要掌握的一些有关电镀方面电化学、机械、电镀的基本概念，有关化学方面的知识后面有专门篇章介绍。

一、电化学

1. *物理变化*　没有生成新物质，其变化只有物质的形态或分子间距改变，分子的组成、结构都没有发生变化，如水冷却到 0℃结成冰，酒精的挥发等。

2. *化学变化*　有新物质生成，在变化过程中，物质分子的组成、结构都发生变化，如食物的腐烂、钢铁生锈、炸药的爆炸等。

3. *电镀层的基本要求*　为了达到装饰性、耐蚀性等目的，对电镀层的基本要求有以下几个。

（1）镀层与基层材料结合牢固、附着力好。

（2）镀层完整、结晶细致紧密，孔隙率小，光亮镀层应有足够的光泽度。

（3）具有良好的物理、化学及力学性能。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）具有符合相关标准规定的镀层厚度，而且镀层分布均匀。

4. 电镀工作条件的影响因素

（1）阴极电流密度。任何一个电镀溶液都有一个获得良好镀层的电流密度范围，在工艺规定范围内，随着阴极电流密度的增大，镀层的沉积速度会明显提高，但阴极电流密度超过允许的上限值时，会使工件的棱角、边缘处产生烧焦现象。

（2）镀液温度。镀液温度是电镀的重要条件之一，镀液温度过高过低都会给镀层带来影响，通常升高镀液温度可以提高阴极电流密度，加快沉积速度，还能改善镀液的导电能力、分散能力，促进阳极溶解，减少镀层的渗氢量，提高生产效率。

（3）溶液搅拌。通过搅拌可以加速电镀溶液的对流，降低阴极的浓差极化，提高阴极电流密度，从而在较高的电流密度下也能得到细致的镀层，搅拌还具有防止氢气在镀件表面滞留而产生麻点、针孔等缺陷的作用，常用的搅拌方法有机械搅拌、阴极移动搅拌和压缩空气搅拌。

（4）电源。电镀生产过程中常使用的电源有硅整流器、晶闸管整流器、高频开关电源等。实践证明，电流的波形对镀层的结晶组织、光亮度、镀液的分散能力和覆盖能力、合金成分、添加剂的消耗等方面都有影响。现在，除采用直流电之外，还可采用周期换向电流和脉冲电流，它们在改善镀层、提高效率等方面都有各自的特点。

（5）pH 值的影响。因为 pH 值对添加剂在电极上的吸附和络合剂的稳定性有很大影响，所以 pH 值对这类电镀溶液具有重要作用，在生产过程中，要严格控制 pH 值的变化，并经常检测、调整。

（6）几何因素的影响。工件的形状、镀槽的形状、阴极的大小、阳极与工件的间距、阴阳极面积比等，都会影响电流密度在工件表面分布的均匀程度，进而影响镀层性能。在电镀生产过程中，合理设计和选用镀槽、挂具、辅助阳极或阴极、工件在镀槽中的位置等可提高镀层质量。

5. 原电池　将化学能转变为电能的装置。例如，浸在电解质溶液中的两个电极，当与外负载——灯泡接通后，就会产生电流点亮灯泡，电流流出的为阳极，流入的为阴极。

6. 电解池　浸在电解质溶液中的两个电极，与外直流电源接通后，强制电流在体系内通过，两个电极间就形成了电场，电解液使离子发生定向移动，阳离子移向阴极，阴离子移向阳极。失去电子的氧化，获得电子的还原。

7. 电流效率　电极上通过单位电量时，某一反应所形成的产物的实际质量与其电化当量之比，通常用百分比表示。

8. 电解定律　定量地表达电能和化学能之间相互关系的定律。电解时，在电极上析出的物质的量 M 与通过的电荷量 Q 及该物质的摩尔质量 E 的乘积成正比，可用下式表示为

$$M = \frac{E}{F}Q = \frac{A}{nF}Q$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

经变换　　$$K = \frac{E}{F} = \frac{A}{nF}$$

式中　K——电化摩尔质量；

E——物质的摩尔质量（g/mol）；

Q——电解时通过的电荷量（C 或 A·h）；

F——法拉第常数 96 500C/mol 或 26.8(A·h)/mol；

n——离子的价数；

C——库仑；

A——安培。

9. 阳极电解　当外电流通过电解液时，以镀件为阳极，进行氧化反应，并将电能转变为化学能的过程。

10. 阴极电解　当外电流通过电解液时，以镀件为阴极，进行还原反应，并将电能转变为化学能的过程。

11. 电化学　研究化学能和电能相互转变及与此过程有关现象的科学。

12. 化学腐蚀　金属和非金属在电解溶液、干燥气体和高温下发生化学作用而引起的腐蚀。

13. 电化学腐蚀　金属在电解质溶液中由于电化学反应使金属氧化的过程。

14. 电解质　本身具有离子导电性的物质，或在一定条件下呈现离子导电性的物质。

15. 电解液　具有离子导电性的溶液。

16. 电化学抛光　将金属工件置于一定组成的溶液中，在特定条件下进行阳极浸蚀，以获得光亮表面的过程。

17. 化学镀　又称无电解镀，是一种以沉积金属的、可控制的、自催化的化学还原过程。与电镀的区别在于，不需要外加直流电源，无外电流通过。

二、机械

1. 抛光　有机械抛光、化学抛光、滚光、振光、刷光。

（1）机械抛光。电镀前、后都可以应用，采用安装在抛光机上的抛光轮来完成。抛光轮高速旋转，抛光轮的工作表面上周期性地涂抹抛光膏，被处理表面与抛光轮工作表面接触，借助于抛光轮的纤维和抛光膏的作用，消除被处理工件表面的细微不平，使被处理表面具有镜面般的外观。

（2）磨光。运用装在磨光机上的弹性磨光轮或磨光带来进行。粘在磨光轮工作表面上的磨料颗粒具有很高的硬度和许多棱角，这相当于无数个小切削刃不规则地排布在磨光轮工作面上。当磨光轮高速旋转时，这些小切削刃与相接触的被处理工件表面凸起部分接触并削去一薄层，使被处理表面变得平整、光滑。工件表面的毛刺、锈蚀物、氧化皮、砂眼、沟纹、气泡等也可去除。

（3）滚光。滚光是把被处理工件、磨料、滚光液装入滚桶中，滚桶不断地转动，使工件之间、工件与磨料之间相互摩擦，加上滚光液的化学作用，以除去工件表面的毛

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

刺、锈蚀物、油污等，从而获得平滑而光洁的表面。滚光主要用于大批量的小型工件及难以磨光和抛光的工件，亦可用于镀后的镀层光泽处理。

（4）振光。将被处理工件和磨料介质装于容器中，容器在振动电动机或电磁系统的作用下，作上下、左右或旋转运动，使工件与磨料相互摩擦，达到光饰的目的。振光主要用于大批量的小型工件及难以磨光和抛光的工件，亦可用于镀后的镀层光泽处理。振光前，工件必须进行脱脂处理。

（5）刷光。采用刷光机，利用刷光机上的弹性金属丝刷光轮侧峰具有的切刮能力，或手工使用各种刷子，有时借助水或溶液，对工件表面进行处理。可去除锈蚀物、氧化皮、毛刺、棱角、残余油污等。

2. 过滤　常用加压过滤，即溶液在一定压力作用下透过过滤介质而达到工艺要求的净化程度。分为电镀前处理溶液过滤和电镀溶液过滤。电镀前处理溶液过滤，是过滤化学除油和电解除油所需的溶液，分离固体悬浮物及油粒、油花，以保证进入电镀槽的工件表面能全部被溶液浸润，防止出现局部漏镀或结合不良等质量问题。电镀溶液过滤是分离固体悬浮物和有机分解产物，使电镀溶液达到令人满意的净化程度。

3. 金属回收　采用电解方法直接析出金、银等金属。用特殊波形电源进行连续电解，用高速电镀原理，磁力泵强制溶液循环，保持回收槽液始终在较低的金属离子浓度（≤20mg/L），回收产物纯度可达99.9%，可直接用于回用。其设备名称为JHH贵金属电解回收机。

三、电镀专用名词

1. 电解　是在直流电场的作用下，在电解液池中，阳极板上的金属离子被吸附到阴极材料上的反应过程。与直流电源正极相连的极叫阳极，与直流电源负极相连的极叫阴极。正离子移向阴极，阳极板上进行的是还原反应；阴极得到电子，阴极材料上进行的是氧化反应。

2. 电镀　是用电解的方法将金、铜、铬、镍、锌等金属覆盖到另一种工件上，形成均匀、致密、结合力良好的沉积层，就像在金属或非金属制品的表面，穿上一件“铠甲”，使工件的外观质量得以改观。常用的镀种有镀镍、镀铜、镀铬、镀锌、镀镉、镀铅、镀金、镀银、镀锡等，本书主要讨论常用的镀铬、镀铜、镀镍、镀锌。

以镀锌为例，电镀液由氧化锌、氢氧化钠和添加剂配制成：

$$2NaOH + ZnO + H_2O = Na_2[Zn(OH)_4]$$

$$[Zn(OH)_4]^{2-} \rightleftharpoons Zn^{2+} + 4OH^-$$

NaOH一方面作为配位剂，另一方面又可增加溶液导电性。由于$[Zn(OH)_4]^{2-}$配离子的形成，降低了Zn^{2+}的浓度，使金属晶体在镀件上析出的过程中有适宜（不致太快）的晶核生成速率，可得到结晶细致的光滑镀层。随着电解的进行，Zn^{2+}不断放电，同时$[Zn(OH)_4]^{2-}$不断解离，能保证电镀液中Zn^{2+}的浓度基本稳定。两极主要反应为：

$$\text{阴极}\quad Zn^{2+} + 2e^- = Zn$$

$$\text{阳极}\quad Zn = Zn^{2+} + 2e^-$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电镀铜用配位剂焦磷酸钾[$K_4(P_2O_7)$]，使形成[$Cu(P_2O_7)_2$]$^{6-}$配离子。

$$[Cu(P_2O_7)_2]^{6-} \rightleftharpoons Cu^{2+} + 2(P_2O_7)^{4-}$$

Cu^{2+}的浓度降低，在镀件（阴极）上Cu的析出电势代数值减小，同时析出速率得到控制，从而有利于得到较均匀、较光滑、附着力较好的镀层。

3. *五金活化*　工件在经过前处理工序后，在水洗、停留等待镀过程中，其表面会生成一层极薄的氧化膜，这就需要进行活化处理——弱浸蚀或称弱腐蚀，以除去这层薄膜。活化是进行电镀前的最后一道工序，是使工件呈现出金属的结晶组织，保证镀层与基体金属牢固结合的重要措施。活化处理一般用化学法，也可采用电化学法。

4. *表面活性剂*　一种在低浓度下能降低水和其他溶液体系的表面张力或界面张力的物质。如电镀常用的十二浣基硫酸钠、OP乳化剂、洗涤剂等都是水性表面活性剂。

5. *塑料件活化*　将敏化后的工件浸入活化液中，在工件表面沉积一层稀薄的贵金属（银或钯），使之成为化学镀的中心，以便于化学镀。

6. *粗化*　是塑料电镀的关键步骤，对镀层与基体的结合力有显著的影响，有机械粗化和化学粗化，应用最多的是化学粗化，化学粗化溶液分高铬酸型和低铬酸型。

7. *中和还原*　为将化学粗化过程中残留于工件表面的六价铬清洗干净，还需在体积分数为10%的氨水中进行中和，在质量分数为1%～5%的亚硫酸钠中进行中和，然后在100～200mg/L的盐酸中于室温条件下浸蚀1～3min。

8. *敏化*　敏化是使塑料工件表面吸附一层易被氧化的物质，成为催化膜，应用较多的是氯化亚锡法。

9. *还原解胶*

（1）还原处理。经银盐活化的工件清洗后，应在1∶9（质量比）的甲醛溶液中于室温条件下浸泡0.5～1min，以除去工件表面残存的活化液，防止将其带入化学镀溶液中。经还原处理的工件，可直接进入化学镀液，不必进行清洗。经钯盐活化的工件清洗后，可浸泡在室温条件下的次磷酸钠10～30g/L的溶液中0.5～1min，进行还原处理。

（2）解胶处理。经胶体钯活化后的工件表面，会吸附一层胶态钯微粒，无催化活性，应将钯周围的二价锡离子水解去除胶层，才能达到催化活性。解胶可在盐酸溶液中进行，温度为40～45℃，浸泡时间为1min。

10. *驱氢*　在电镀过程中，阴极（工件）有氢气析出，尤其是镀铬，电流大部分消耗在析氢上。若氢以原子状态渗入工件基体或镀层，会产生很大内应力，使镀层变脆，甚至起泡、剥落或断裂。驱氢的目的就是使渗入工件及镀层的氢以氢气形式排出，从而提高镀层的结合力和力学性能，延长工件的使用寿命。驱氢的操作可在烘箱或油槽中进行，驱氢温度为200～252℃，处理时间为2～4h。

11. *钝化*　是使镀层表面生成一层结合牢固、组织致密的钝化膜，将镀层与空气隔绝，从而提高镀层的耐蚀能力（比未经钝化的镀层高几倍），延长工件使用寿命。各种镀层的钝化液配方是不一样的。

12. *乳化*　一种液体以极微小液滴均匀地分散在互不相溶的另一种液体中的现象。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

13. 活化　消除电极表面的钝化状态的工艺步骤。

14. 溶度积　在一定温度下，难溶电解质饱和溶液中相应的离子浓度的乘积。

15. 微观覆盖能力　在一定条件下，电镀液中金属离子在孔隙或划痕中电沉积的能力。

16. 整平作用　镀液使镀层表面比基体表面更平滑的能力。

17. 有机溶剂脱脂　利用有机溶剂对油污的溶解作用，除去镀件表面油污。

18. 化学脱脂　在碱性溶液中，借助皂化和乳化作用，除去镀件表面油污。

19. 电解脱脂　在碱性溶液中，以工件为阳极或阴极，在电流作用下，除去镀件表面油污。

20. 乳化脱脂　用含有机溶剂、水和乳化剂的液体除去镀件表面油污。

21. 逆流漂洗　工件的运行方向与清洗水流动方向相反的多道清洗过程。

22. 着色　让有机或无机染料吸附在多孔的阳极氧化膜上，使之呈现各种色彩的过程。

23. 脱色　用脱色剂去除已着色的氧化膜上色彩的过程。

24. 润湿剂　能降低工件与溶液间的界面张力，使工件表面易于被溶液润湿的物质。

25. 光亮剂　加入镀液中可获得光亮镀层的添加剂。

26. 阻化剂　能减小化学反应或电化学反应速率的物质。

27. 针孔　从镀层表面贯穿到镀层底部的微小孔道。

28. 烧焦镀层　在过高电流密度下，形成的黑暗色、粗糙松散、质量差的沉积物，其中常含有氧化物或其他杂质。

29. 电流密度　指电极（镀件）单位面积上通过电流的大小，通常用 A/dm^2 作单位。

30. 装饰铬　中间镀层打底，镀层薄，能使镀层成为蓝白色。

31. 硬铬　镀层较厚，具有较高的硬度，耐热、耐磨、抗腐蚀。

第二节　电 镀 工 艺

电镀工艺主体是电镀阶段及电镀液。

一、电镀阶段

无论哪种镀种，电镀工艺大致都是相同的，分为三个阶段，即电镀前处理、电镀过程、电镀后处理。

1. 电镀前处理　镀件在进行电镀之前，要根据镀件的材质、表面状况和表面处理的要求进行预处理，如除去待镀工件油污、氧化皮等；对有表面粗糙度或光亮度要求的待镀工件，要进行机械抛光、电化学抛光、喷砂处理等，以改善镀件表面状况，使镀层质量达到要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当镀件表面有油污、锈蚀、氧化皮时，就会使镀层不致密、多孔，镀件受热时会出现小气泡、鼓泡；当镀件表面附着极薄的甚至肉眼看不见的油膜或氧化膜时，虽然也可以得到外观正常、结晶致密的镀层，但镀层与基体结合的并不牢固，在遇到外力的冲击、冷热变化时，镀层就会开裂、脱落，30% 的电镀质量问题都源于此。只有在镀液和镀件表面有良好的结合，发生分子间力和金属间力的结合时，镀层与基体的结合才是牢固的，因此在电镀前一定要将镀件清洗干净。

2. 电镀过程　其主要工作有工件电镀表面积的计算、挂具的选择或设计、阴阳极的调整（距离、面积）、非镀表面的绝缘、电镀电流密度的选择、镀液的配制，然后进入电镀。流程如下：

毛坯→磨光→抛光→化学除油→水洗→酸洗→水洗两道→淡碱浸渍甩干→上挂具→电解除油→酸洗水洗两道→电镀第一层（铜）→浸洗回收两道→漂洗两道→电镀第二层（镍）→浸洗回收两道→漂洗两道→电镀第三层（铬）→浸洗回收两道→漂洗两道→热水洗→下挂具→干燥→抛光。

具体到某一种镀种、镀件，根据其要求，其工艺有所增减。

3. 电镀后处理　电镀后处理直接影响镀层质量的好坏，是电镀中非常重要的一个环节，其作用是清除表面残液、提高耐蚀性、提高镀层亮度、消除镀层应力、提高镀层结合力、改善镀层理化性能，它包括清洗、出光、除氢、钝化、干燥、防变色等。

二、电镀液的成分及主要作用

电镀液主要包括主盐、导电盐、缓冲剂、络合剂、添加剂等，各自的作用如下。

1. 主盐　能提供镀液金属离子的盐，能在阴极上沉积，其沉积是所要求的金属盐。主盐浓度要控制在工艺要求的范围内，并与其他成分维持恰当的浓度比例。例如，镀铜时，焦磷酸盐是溶液，焦磷酸铜是主盐。

2. 导电盐　能提高镀液导电能力的盐，使槽电压降低，扩大阴极电流密度范围，有助于改善镀层质量，对放电金属离子不起络合作用，主要是碱金属或碱土金属的盐类（包括氨盐），如钾盐镀锌中的氯化钾。镀铜时，硝酸盐为导电盐，具有提高工作电流密度上限的作用。

3. 缓冲剂　能使电镀液的 pH 值控制在工艺要求的范围内，一般由弱酸组成，如镀镍溶液中加入硼酸能起到较好的缓冲作用。

4. 络合剂　能增大阴极极化，使镀层结晶细密，促进阳极深解，能络合主盐中的金属离子。

5. 添加剂　在电镀液中加入少量有机物或无机物，可以改善镀层的结晶状态，提高电镀液的分散能力和深镀能力，如光亮剂、润湿剂等。

第三节　电镀清洁生产技术

清洁生产已成为当今世界的一种国际潮流，是实现社会可持续发展的唯一途径。清洁生产是从全方位、多角度的途径去进行生产，包括改进设计、使用清洁的能源和原

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

料、采用先进的工艺技术与设备、改善管理、综合利用等措施，从源头削减污染，提高资源利用效率，减少或避免生产、服务和产品使用过程中污染物的产生和排放，以减轻或消除对人类健康和环境的危害。清洁生产的实质是预防污染。

电镀清洁生产，首先要采用先进的电镀工艺；其次要采用给排水系统的科学布局、先进的清洗设备及清洗工艺，在保证镀件清洗质量的前提下，提高清洗效率，减少清洗水量，回收镀件带出液，以减少废水的处理量，降低处理成本；再次要加强生产工艺管理。

一、先进的电镀工艺

（1）应在能保证满意的电镀质量下，节能、减轻污染，采用先进的电镀工艺，如无氰电镀、光亮镀镍等。但是，三价铬电镀等无氰电镀工艺尽管提了很多年，仍不能很好地运用，主要是有一些技术不够完美，如无氰电镀的质量不如有氰电镀，而目前氰化物的处理技术很成熟，简单、易行、可靠。另外，三价铬电镀要用次亚磷酸盐，产生的废水很难处理，而废水中的六价铬降为三价铬也很容易做到，因此该技术推广并不理想，还需要作进一步的研究。

（2）尽快缩小与国外先进设备的差距，进而达到国际先进水平；电源设备采用低能耗的开关电源和脉冲电源，以降低能耗及改善镀件质量；热交换机、过滤机采用低污染的新产品；溶液管理系统做到无渗无漏易更换；使用回收原材料的设备。外资厂环形生产线在线上完成镀前处理，镀前处理工位约占全线的一半，而国内自动线上只有电化学除油和活化工序，目的是缩短自动线长度，减少投资。

（3）预处理可采用的方法较多，在除锈除氧化膜方面，其方法优先选用生化脱脂，然后机械方法（喷砂、磨光、抛光），其次溶液（化学、电化学、超声波脱脂溶液），再次无毒有机溶剂（石油、萜烯、乙酸酯、胺类、酸类）。最好的是生化脱脂，不仅利于环保，还可大大降低成本。对化学、电化学、超声波脱脂溶液采用油水分离器或过滤装置除去油污，脱脂溶液还可继续使用，以延长使用寿命，节约成本。

二、给水排水系统的科学布局、先进的清洗设备及清洗工艺

（一）给水排水系统的科学布局

1. 管材、管道布置

（1）给水管材。应根据各工段对管段的腐蚀程度来选用不同的给水管材，在电镀工段内常用的给水管材有镀锌钢管和 HDPE 管；酸洗工段内的给水管采用塑料管；除盐水的输送管亦采用塑料管；车间给水的进户管道通常采用 HDPE 给水管。详见第九章第三节管道。

（2）给水管道的布置。给水管应沿墙、柱、槽或槽后明设，一般与动力管道统一敷设，放在排水管、冷冻管的上面，蒸汽管的下面。管道穿地坪时应设导管，在车间给水引入管上应装设水表，必要时也可按工段或处理生产线分段安装水表，以利管理和节约用水。镀槽夹套冷却给水管上应装绝缘接头，以防漏电。

2. 排水

（1）排水量计算。排水量与给水量基本相同，如计算可参照给水量的计算进行，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

但对于要处理的废水，需分质计算其排水量，定期排放的废水应按设备排放时间折算成小时排放量后再进行计算。

（2）废水浓度的估算。电镀车间排出的废水浓度与工艺条件、生产负荷、操作情况以及用水方式等因素有关，不同镀种、不同产品的电镀车间，所排出废水的浓度差异很大，即使同一车间，在不同的时间排出的废水水量和浓度的差异也很大，因此对废水浓度很难给出较为准确的数据，一般可采用下列方法估算。

1）采用实测数据。当老厂扩建时，最好进行各种不同情况的浓度和水量测定所采用的数据，新厂设计时可参照类似工厂的实测数据；采用新工艺、新产品的电镀车间，最好通过试验后再决定所采用的有关数据。

2）按镀件面积估算。一般可按下式估算：

$$A = BVC$$

式中　A——每小时带出溶液含氰或重金属量（g/h）；

B——每小时进行电镀的镀件面积（m^2/h）；

V——镀槽溶液体积（L）；

C——每升溶液中所含氰或重金属量（g/L）。

$$C = C_1 D$$

$$C_2 = A/Q$$

式中　C_1——镀液所含某种化学药剂的浓度（g/L）；

D——镀液中化学药剂的氰离子或重金属离子的百分含量，见表2-1；

C_2——排出废水的浓度（mg/L）；

Q——每小时排出的废水量（m^3/h）。

表2-1　镀液中化学药剂的某些离子含量

化学药剂名称	离子名称	离子含量(%)	化学药剂名称	离子名称	离子含量(%)
氰化钠 NaCN	CN^-	54	铬酸 H_2CrO_4	Cr^{6+}	44
氰化钾 KCN	CN^-	40	氧化镉 CdO	Cd^{2+}	88
氰化亚铜 CuCN	CN^-	29	氯化镉 $CdCl_2$	Cd^{2+}	62
氰化镉 $Cd(CN)_2$	CN^-	32	硫酸镉 $CdSO_4$	Cd^{2+}	54
氟化氢 HF	F^-	95	硫酸镍 $NiSO_4$	Ni^{2+}	38
氰化锌 $Zn(CN)_2$	CN^-	44	氯化镍 $NiCl_2$	Ni^{2+}	46
氰化镉 $Cd(CN)_2$	Cd^{2+}	68	氰化亚铜 CuCN	Cu^{2+}	71
三氧化铬 CrO_3	Cr^{6+}	52	硫酸铜 $CuSO_4$	Cu^{2+}	40
三氧化二铬 Cr_2O_3	Cr^{3+}	68			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）排水沟、管的布置及材料。车间的排水设计必须为废水处理或回收创造有利条件，同时要组织好水流，使其畅通。一般根据废水的特征按质分流，这样便于回收处理，不进行回收和单独处理的，可混合排放。

车间室内排水方式有明沟排水和管道排水。明沟排水畅通，维修方便，对工艺位置变动影响较小，但不易做到分质排水，而且污物较多，造成回收处理困难。管道排水的优缺点与明沟排水正好相反，一般采用沟管结合，管道排分质回收处理的废水，明沟排混合废水及冲洗地坪的废水。

为了使车间的排水畅通，清洗水槽及工艺槽可布置在水槽地坑内，以免地面积水，地坑内用明沟排水，明沟位置可根据具体情况分别布置在槽前、槽下及槽后。如图 2-1 所示是明沟布置形式图。

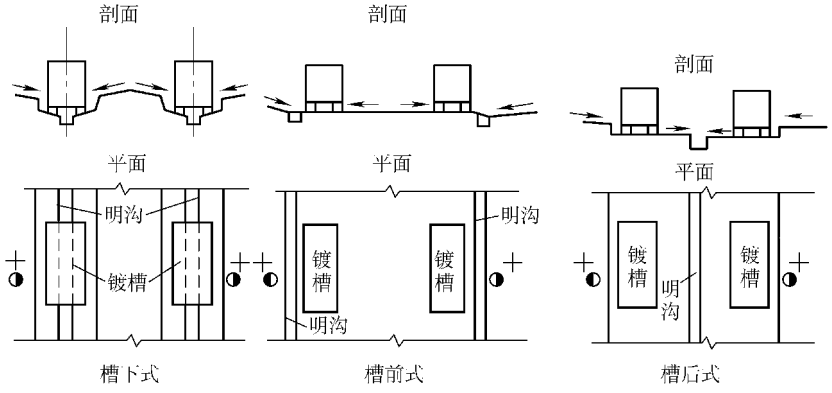


图 2-1　明沟布置形式图

三种布置方式以槽后式为好，明沟布置在槽下，维护管理不方便；明沟布置在槽前，排水沟散发的蒸汽及气味对操作者有影响。明沟的大小根据排水量决定，一般沟宽为 200 ~ 300mm，沟起点深度为 100 ~ 200mm，纵向坡度为 1% ~ 2%。镀液槽前要设带格子的塑料或玻璃钢踏脚板。

承槽地坑及明沟应考虑有防腐措施，一般采用花岗岩石板或瓷砖贴面，在有热水排出的地方，还需考虑温度对面层粘合材料的影响，排水管道采用增强聚氯乙烯管或聚氯乙烯管，管道接头应严防渗漏，以防影响土建基础和污染地下水。为便于清理，防止管道堵塞，在明沟与管道接头处应设置连接井，并采取拦污物的措施。

（4）废水管道设计。废水管道设计的一般规定如表 2-2 所示，最小设计流速、最小设计坡度如表 2-3 所示，排水管流速与最大充满度如表 2-4 所示，排水管道水力计算如表 2-5 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-2　废水管道设计的一般规定

序号	项　　目	一 般 规 定
1	充满度	见表 2-4
2	最小坡度	见表 2-3
3	流速	见表 2-3
4	最小管径	200mm
5	覆土	（1）载荷要求：在行车道下一般不小于 0.7m （2）防冻要求 ①无保温措施时，管内底可埋在防冻线以上 0.15m ②有保温措施或水温较高的管道，可根据当地经验埋浅些 以上两种情况均不宜小于 0.7m （3）理想覆土：在满足各方面要求的前提下，争取在 1～2m
6	连接	（1）管道在检查井内连接，一般采用平接 （2）不同直径管道也可以采用设计水平面接 （3）在任何情况下进水管底不得低于出水管底
7	坡度骤变处理	（1）管道坡度骤然变陡，可由大管径变小管径 当 $D=200\sim300$mm 时，只能按生产规模减小一级 当 $D\geqslant400$mm 时，应根据水力计算确定，但减小不得超过二级 （2）管道坡度骤然变缓，应逐渐过渡
8	小管核算	流量很小而地形又较平坦的上游支管，可采用非计算管径，按最小坡度控制
9	冲洗	在流速小于 0.4m/s 的上游管段，可考虑设冲洗井
10	溢流	污水管道在进入处理厂前，当条件允许时，可设事故溢流口
11	通风	在充满度过高的管段、高浓度污水接入的井位及污水管上每隔 500m 左右的井位处宜设通风管
12	计量	在适当的管段中，宜设置观测和计量构筑物

表 2-3　最小设计流速、最小设计坡度

管径/mm	在设计充满度下的最小设计流速/(m/s)	按设计充满度下最小流速控制的最小坡度		最小设计充满度	最小设计充满度下的不淤流速/(m/s)	按照最小计算充满度下的不淤流速控制的最小坡度	
		坡度	流速/(m/s)			坡度	流速/(m/s)
200	0.7	0.005	0.74	0.25	0.40	0.004	0.43
300	0.7	0.002 7	0.71	0.25	0.40	0.002	0.40
400	0.7	0.002	0.77	0.25	0.40	0.001 5	0.42

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

系统中各管道的管径由小时最大排水量来确定，其流速与最大充满度按表 2-4 选用。

表 2-4 排水管流速与最大充满度

管径/mm	管内流速/(m/s)	最大充满度/(h/D)	管径/mm	管内流速/(m/s)	最大充满度/(h/D)
100	≥0.6	0.7	200	≥0.7	0.8
150	≥0.65	0.7	200 以上	≥0.7	0.8

排水管道水力计算如图 2-2 所示，其 h、D 数值可参照表 2-5，清洗槽水消耗定额。

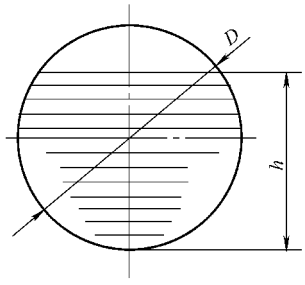


图 2-2 排水管道水力计算

表 2-5 排水管道水力计算

排水管道水力计算(1)

$\frac{h}{D(100)}$	i‰											
	10		12		16		18		20		25	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
0.30	0.95	0.48	1.04	0.52	1.20	0.60	1.27	0.64	1.34	0.68	1.50	0.76
0.60	3.25	0.66	3.56	0.72	4.11	0.84	4.36	0.89	4.60	0.93	5.14	1.05
0.80	4.73	0.70	5.18	0.77	5.98	0.89	6.35	0.94	6.69	0.99	7.48	1.11
1.0	4.84	0.62	5.30	0.67	6.12	0.78	6.50	0.83	6.84	0.87	7.65	0.97

排水管道水力计算(2)

$\frac{h}{D(200)}$	i‰									
	4		6		10		16		20	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
0.30	3.81	0.48	4.67	0.59	6.03	0.76	7.63	0.96	8.53	1.07
0.60	13.1	0.66	16.0	0.81	20.7	1.05	26.2	1.33	29.2	1.49
0.80	19.0	0.71	23.3	0.87	30.1	1.12	38.1	1.41	42.5	1.58
1.0	19.5	0.62	23.9	0.76	30.8	0.98	38.9	1.24	43.5	1.39

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

排水管道水力计算(3)

$\frac{h}{D(250)}$	i‰									
	4		6		10		16		20	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
0.30	6.91	0.56	8.47	0.68	10.9	0.88	13.8	1.12	15.5	1.25
0.60	23.7	0.77	29.0	0.94	37.5	1.22	47.4	1.54	53.0	1.72
0.80	34.5	0.82	42.3	1.00	54.5	1.30	69.0	1.64	77.1	1.83
1.0	35.3	0.72	43.2	0.88	55.8	1.14	70.6	1.44	78.9	1.61

排水管道水力计算(4)

$\frac{h}{D(300)}$	i‰									
	4		6		10		16		20	
	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v
0.30	11.2	0.63	13.8	0.77	17.8	1.00	22.5	1.26	25.2	1.41
0.60	38.6	0.87	47.3	1.07	61.0	1.38	77.2	1.74	86.3	1.95
0.80	56.1	0.93	68.8	1.14	88.8	1.47	112.3	1.85	125.5	2.07
1.0	57.4	0.81	70.4	1.00	90.8	1.29	114.9	1.63	128.4	1.82

注：h（mm）——液面高；D（mm）——管径；i——坡度；h/D——充满度；Q（L/s）——流量；v(m/s)——流速。

（二）清洗设备

1. *挂具及镀件吊挂方式*　电镀挂具的功能及要求如下。

（1）悬挂各种镀件，它的结构应保证镀件镀层厚度的均匀一致，应使镀件装卸时操作方便，镀件悬挂稳当。

（2）要有足够的导电面积，电流与挂具和镀件接触良好。

（3）挂具与镀件接触面积小。镀铜、镀镍、镀铬、镀锌的挂具都有所不同，要给予足够的重视。

（4）挂具主杆表面要进行绝缘处理，以减少电流损失，并且光滑，利于尽可能少的带出镀液。

吊挂方式要点如下。

（1）水平吊挂时，要有一点倾斜，利于排液。

（2）上下镀件要有适当错位，避免上面镀液滴落到下面镀件上。

（3）薄片、带有缝隙、凸凹、螺纹、齿轮等镀件可考虑辅以淋水、空气吹扫等措施，在零件设计时，要把排液考虑进去。

（4）对品种单一、批量大的镀件要重视吊挂方式的设计。

2. *镀液中添加表面活性剂*　用这个方法可以降低镀件动力黏度，使镀件出槽后，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

镀液能很快地脱离镀件。

3. 镀件设计　利于镀液的进入和流出。

（三）清洗工艺

1. 冲洗用水

（1）水质。电镀厂给水水质根据工艺的不同要求，分为工艺用水、镀件清洗用水以及设备冷却用水三种。工艺用水指配置溶液、校正调整溶液、溶液补充水，电镀质量要求较高时，如电路板、手表、首饰、工艺品等，都要用除盐水；清洗用水视情况而定，如清洗后补充镀液或循环回用，这种情况下，清洗水要用除盐水，除此以外，清洗水采用符合生活饮用水准的自来水；设备冷却用水采用自来水或冷冻水。

纯水分为除盐水、纯水及高纯水；生活饮用水有 106 项指标，中水回用指标不能低于该指标。

（2）水压。一般槽内清洗时水压不低于 0.02MPa，喷洗为 0.1 ~ 0.3MPa，设备冷却用水压为 0.2MPa 左右。

（3）水温。冷水清洗无特殊要求，常温即可，热水清洗一般要求 50 ~ 90℃。

（4）水量。水量与镀种的工艺要求、设备使用方式、清洗方式有关。清洗槽水消耗量，按每小时消耗水槽有效容积数的水来计算，如表 2-6 所示。

表 2-6　清洗槽水消耗定额

清洗槽类别	工作温度/℃	槽子有效容积/L					槽子有效容积/L				
		≤400	401 ~ 700	701 ~ 1 000	1 001 ~ 2 000	2 001 ~ 4 000	≤400	401 ~ 700	701 ~ 1 000	1 001 ~ 2 000	2 001 ~ 4 000
		平均消耗定额/(L/h)					最大消耗定额/(L/h)				
冷水槽	常温	1 ~ 2	1 ~ 2	1	0.5 ~ 1	0.3 ~ 0.5	3 ~ 4	2 ~ 3	2	1 ~ 2	1
热水槽	50 ~ 90	0.5 ~ 1	0.5	0.5	0.3	0.2 ~ 0.3	3 ~ 4	2 ~ 3	2	1 ~ 2	1
备注	生产量较大，设备负荷较高时，采用平均消耗定额的较大值 生产量较小，设备负荷较低时，采用平均消耗定额的较小值										

2. 清洗方法

（1）回收清洗法。在镀槽后设置 1 ~ 2 级浸洗回收金属槽和 2 ~ 3 级连续逆流清洗槽，清洗水用离子法或电解法回收其中金属，回收金属后，其水循环使用。清洗水用量在 50L/m^2（镀件面积）以下。

零件从处理槽提出后，在进入清洗槽之前，为了回收一部分带出溶液，一般在镀铬槽、贵金属镀槽、电解抛光槽、钢铁件氧化槽等后面设置回收槽。回收清洗法必须设置一级或二级回收槽，回收液必须加以利用，回收清洗法镀件单位面积的清洗水用量应小于 100L/m^2。回收清洗法工艺如图 2-3 所示。

（2）连续逆流清洗法。用于加温镀槽上较多，一般清洗水用量 50L/m^2（镀件面积）以下。连续逆流清洗法的清洗水流向与镀件运行方向相反，并应控制末级清洗槽

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

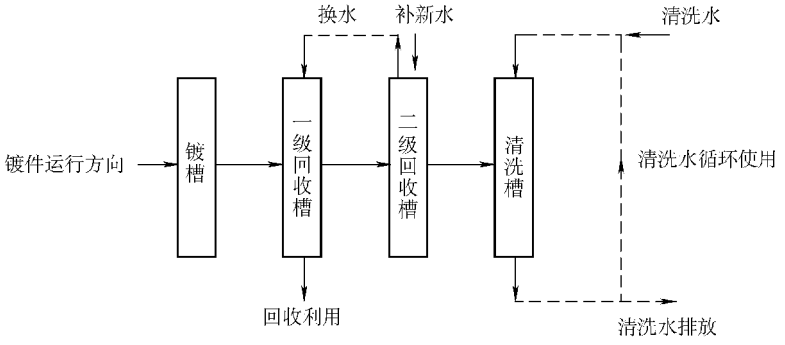


图 2-3　回收清洗法工艺

废水浓度不得超过允许浓度。

逆流清洗是由若干级清洗槽串联组成，在末级槽内进水，从第一级槽排水，其水流方向与镀件清洗方向相反，其特点是镀件移动的方向越洗越干净，污染物浓度越来越低，用水量少，清洗效率高，分为连续逆流清洗、间歇逆流清洗。

1）连续逆流清洗。连续逆流清洗一般为 5～7 级，末端槽金属离子浓度控制≤10mg/L，可自动控制镀件进槽和出槽时的喷淋水量。连续逆流清洗最为常用。连续逆流清洗法工艺如图 2-4 所示。

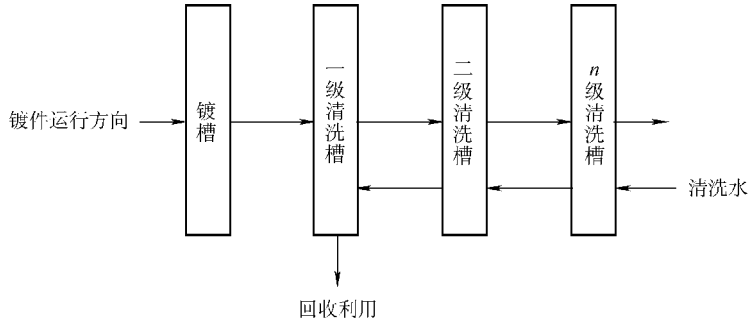


图 2-4　连继逆流清洗法工艺

清洗水量可按下列计算，并应进行复核，镀件单位面积的清洗水量应小于 50L/m^2。

$$q = d_i \sqrt[n]{\frac{C_0 S_i}{C_n}}$$

式中　q——小时清洗水量（L/h）；

d_i——单位时间镀液带出量（L/h）；

n——清洗槽级数；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

C_0——电镀槽镀液中金属离子含量（mg/L）；

C_n——末级清洗槽废水中金属离子含量（mg/L）；

S_i——浓度修正系数（指每级清洗槽的理论计算浓度与实测浓度的比值）。

浓度修正系数宜通过试验确定，当无条件试验时，可参考表 2-7 所示的浓度修正系数 S_i。

表 2-7 浓度修正系数 S_i

清洗槽级数	1	2	3	4	5
浓度修正系数 S_i	0.9～0.95	0.7～0.8	0.5～0.6	0.3～0.4	0.1～0.2

连续逆流清洗法宜用于镀件清洗间隔时间较短，或连续电镀的自动线。

2）间歇逆流清洗。适用于镀件批量较大，形状不很复杂的自动生产线，清洗水量一般在 30L/m^2（镀件面积）以下，手工操作清洗槽级数为 3 级以下，自动生产线为 3～5 级。补水方式为整槽补水时，不短于一天一次，否则逐级递补倒槽换水过于频繁，给操作管理带来困难，部分补水时采用泵输送。

间歇逆流清洗法工艺如图 2-5 所示。

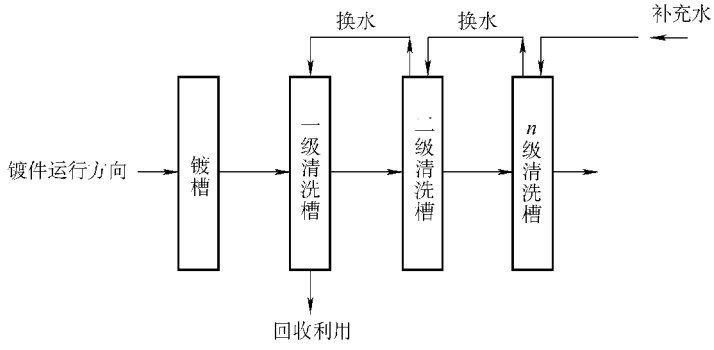


图 2-5 间歇逆流清洗法工艺

当末级清洗水槽废水浓度达到允许浓度时，应逆流逐级全部换水或部分换水，第一级清洗槽水应回收利用。周期换水量可按下式计算，并以每周期的电镀件面积产量进行复核，镀件单位面积的清洗水量应小于 30L/m^2。

$$Q = d_i T / x$$

$$x = \sqrt[n]{\frac{C_n n! S_2}{C_0}}$$

式中 Q——每清洗周期换水量（L）；

x——镀件带出量与换水量之比；

T——清洗周期；

$n!$——清洗槽级数阶乘；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

S_2——浓度修正系数。

浓度修正系数宜通过试验确定，当无条件试验时，可参考表 2-8 所示的浓度修正系数 S_2。

表 2-8　浓度修正系数 S_2

清洗槽级数	1	2	3	4	5
浓度修正系数 S_2	0.9～0.95	0.7～0.8	0.5～0.6	0.3～0.4	0.2～0.25

间歇逆流清洗法宜用于电镀的自动线和手工生产。

（3）反喷洗清洗法。反喷洗清洗法工艺如图 2-6 所示。

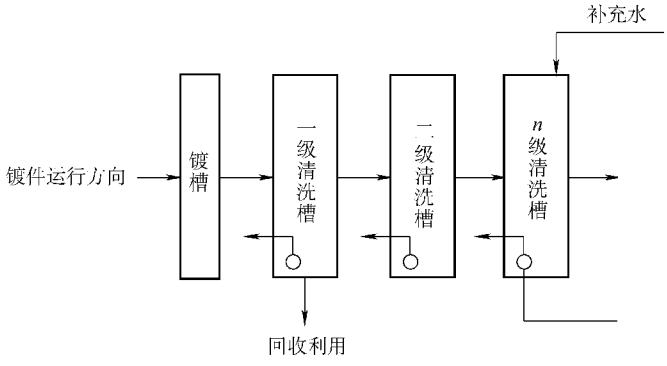


图 2-6　反喷洗清洗法工艺

镀件每次浸洗后应用后一级的清洗水进行反喷洗，当镀件从末级清洗槽提出时，宜用补充水喷洗，其所有浸洗和喷洗应采用自动控制，并应与电镀自动线相协调。

反喷洗清洗法镀件单位面积的清洗用水量宜通过试验确定，并应小于 $10L/m^2$。

反喷洗清洗法应用于电镀的自动线。

（4）空槽喷淋清洗。为节约水资源，可采用喷淋清洗，压缩空气与喷嘴组成喷枪，镀件在一定的压力下清洗，在空槽中进行容易洗干净，但适用于简单的镀件，镀件复杂时，效果不理想。

（5）热水洗：主要用于碱性镀液清洗工序，目的是利用具有一定温度的热水，排挤出镀件表面孔隙中的残余碱液。

（6）末级清洗槽金属离子允许浓度及设备用水量。

1）末级清洗槽废水中的主要金属离子允许浓度，应根据电镀工艺要求等确定，一般情况下可采用以下数据：

中间镀层清洗为 5～10mg/L；

最终镀层清洗为 20～50mg/L。

当末级清洗槽采用喷洗或淋洗清洗时，可采用数据的上限值。

镀件单位面积的镀液带出量应通过试验确定，当无条件试验时，可参考表 2-9 所示

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的镀件单位面积的镀液带出量。

表 2-9 镀件单位面积的镀液带出量

电镀方式	不同镀件形状镀液带出量/(mL·dm²)			
	简单	一般	较复杂	复杂
手工挂镀	<2	2~3	3~4	4~5
自动线挂镀	<1	1 左右	1~2	2~3
滚镀	3 左右	3~4	4~5	5~6

注：1. 选用时可再结合镀件的排液时间、悬挂方式、镀液性质、挂具制作等情况考虑。

2. 表中所列镀液带出量已包括挂具的带出量在内。

3. 滚镀在不同情况下，镀液带出量区别较大，表中所列为一般情况，如情况特殊，不能采用表中的数据。

当镀槽镀液蒸发量与清洗用水量相平衡时，应采用自然封闭循环工艺流程，当蒸发量小于清洗用水量时，可采用强制封闭循环工艺流程。镀液蒸发量应通过试验确定，当无条件试验时，可参考表 2-10 所示的镀液蒸发量数据。

表 2-10 镀液蒸发量数据

工作班次	气温条件		镀液温度/℃	蒸发量/[L/(m²·d)]
	室温/℃	相对湿度(%)		
一班	9~24	45~100	50~60	25~50
两班	10~25	50~100	40~62	45~90

2）洗涤机用水量。洗涤机用水量一般按设备说明书要求计算，当缺乏资料时，可按 0.5~1.0m³/T（镀件）水量估算。

3）镀槽夹套用水量。镀槽夹套用水量按夹套容积来计算。一般小时平均用水量为 0.3~0.5 夹套容积（m³/h），小时最大用水量为 2 夹套容积（m³/h）。

4）油浸水冷整流器。一般按设备说明书要求计算，当缺乏资料时，可参考表 2-11 所示的油浸水冷整流器冷却水参考用水量。

表 2-11 油浸水冷整流器冷却水参考用水量

序号	技术规格		参考用水量/(m³/h)
	直流输出电流/A	直流输出电压/V	
1	100	0~18	0.2
2	200	0~18	0.2
3	300	0~18	0.3
4	500	0~18	0.4
5	800	0~18	0.5
6	1 000	0~18	0.6
7	2 000	0~18	0.7
8	3 000	0~18	0.8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）溶液冷却用水量。电镀生产过程中某些溶液需要冷却，常用冷却介质有自来水、冷冻水、氨、氟利昂-12 等。

工作槽内产生的热量，主要来源于输出槽内的电流和电压，车间内温度对槽液的影响及化学反应产生的热量等，一般只按电流电压乘上附加系数即可。

$$Q = 3.6UIK$$

式中　Q——工作时输入槽内的电流电压所产生的热量（kJ/h）；

U——槽上平均工作电压（V）；

I——槽上平均工作电流（A）；

K——附加系数为 1.1～1.3，中小型槽取较大值，大型槽取较小值，溶液工作温度高于室温的槽，此系数取 1。

自来水的冷却水量按下式计算

$$G = Q/(\gamma c\Delta t 1\,000)$$

式中　G——冷却水量（m^3/h）；

γ——冷却介质密度，水的密度为 1kg/L；

c——冷却介质比热容，水的比热容为 4.18kJ/kg；

Δt——冷却水进出冷却管时的温度差（℃），槽内温度较低时（如普通铝阳极氧化槽），可以近似取 2～4℃，槽内温度较高时（如镀硬铬等），可以近似取 10℃左右。

6）其他用水量。配制电镀溶液用水量，根据工艺实际情况确定。

冲洗地面用水量，每平方米地坪可按每昼夜用水 3L 估算。

3. 车间用水量计算　按设备用水量，分别算出车间的平均总耗水量和最大总耗水量：

$$Q_{平均} = K_1 Q_1$$

$$Q_{最大} = K_2 Q_2$$

式中　$Q_{平均}$——车间平均总耗水量（m^3/h）；

$Q_{最大}$——车间最大总耗水量（m^3/h）；

K_1——设备同时使用系数，一般采用 0.7～0.9；

K_2——设备同时换水系数，一般采用 0.8～0.9；

Q_1——各用水设备小时平均耗水量总和（m^3/h）；

Q_2——各用水设备小时最大耗水量总和（m^3/h）。

由车间的小时平均总耗水量，根据生产班次算出车间的昼夜耗水量，而小时最大耗水量则作为车间管道计算的依据。

由小时最大耗水量确定系统中各管段的管径时，其在管道中的流速不宜大于 2.0m/s，一般采用 1.0m/s 左右，同时应该核算通过各段的设计秒流量所造成的水头损失值，一般选择管网中若干最不利处的用水点进行核算，以保证最不利点所需的水压。单位长度水头损失计算公式如下：

当 $v < 1.2$m/s 时

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$i = 0.00912(v^2/d_j^{1.3})(1 + 0.867/v)^{0.3}$$

当 $v \geqslant 1.2$m/s 时

$$i = 0.0107(v^2/d_j^{1.3})$$

式中 i——管道长度的水头损失（kPa/m）；

v——管道内的平均水流速度（m/s）；

d_j——管道计算内径（m）。

4. 其他注意事项

（1）延长镀件出槽时在镀槽上空的停留时间。

（2）采用自动生产线。自动生产线的出槽时间、停留时间，都按规定时间进行，采取优化后的工艺参数，带出的液量可减少30%。

（3）减少镀液带出。影响镀液带出的因素有镀件的形状、挂吊方式、停留时间、槽液温度和黏度、挂具或零件提升速度、镀件表面粗糙度等，因此，挂具绝缘面要尽量光滑，零件挂时应使大部分表面保持垂直，上面的镀件滴水不要流到下面镀件上，挂具从溶液中提出时，速度尽可能地慢，在槽上要有足够的滴流时间。黏度大，镀液不易滴流下，停留时间过长（降低效率）会影响清洗效果，因此要降低黏度，加入适当的添加剂。

三、ISO 14001 环境管理认证体系与清洁生产比较

ISO 14001 环境管理认证体系与清洁生产比较如表 2-12 所示。

表 2-12 ISO 14001 环境管理认证体系与清洁生产比较

项目 / 比较	ISO 14001 环境管理认证体系	清 洁 生 产
相同之处	1）持续 2）全员参与	
不同之处	1）提供了一整套标准化的环境管理体系和管理方法 2）促进以清洁生产为导向的技术改造 3）有统一的国际标准，ISO 14000 环境管理标准适用于各类组织 4）主要执行者是管理人员	1）从原材料、能源等产品全过程，侧重生产过程、技术和工艺 2）直接落实于技术，辅以全面的管理，环境、运行、成本、质量等管理 3）没有确定的最终标准，各组织以各自现有的技术环境指标和经济环境指标为基准，设置自身的清洁目标 4）主要依赖于设计和技术人员

结论：有条件的企业在抓好清洁生产的基础上，应建立 ISO 14001 环境管理认证体系。

第四节 电镀工业园废水处理厂的建设

国家从 2003 年开始进行电镀工业园区的规划，原则上每个地级以上市设 1 ~ 2 个电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

镀工业园区，部分沿海地级以上市根据需要可增设1个，对电镀工业园区有以下6个方面的要求。

（1）电镀工业园区选址要符合城市总体规划、区域环保规划及流域水质保护规划要求，不得建在城区、水源保护区、风景名胜区以及特殊保护区域，电镀工业园区建设的可行性研究阶段，要进行区域环境影响评价，环境影响报告书经省环保局批准后方可开工建设。

（2）电镀工业园区要具备一定规模，面积在10万~50万m^2之间。

（3）建设与管理必须严格执行建设项目环境管理法律法规和总量（容量）控制要求。

（4）凡新建、扩建、改建、迁建的专业电镀项目全部进入电镀工业园区建设、生产和经营，对进入电镀工业园区的电镀企业实行清洁生产审计，最低应满足《电镀行业清洁生产技术要求》二级清洁生产技术指标，要按清洁生产、循环经济和可持续发展的要求，高起点规划、建设与管理，并创造条件实现产业化经营，要研究、引进、推广无毒、低排放新电镀技术，实现全行业节能、降耗、减污。

（5）积极开展ISO 14000环境管理体系认证，要求到2010年一半以上定点电镀工业园区获得认证。

（6）每一个电镀工业园都建一个废水处理厂，配套先进的、完善的电镀废水分类集中处理设施和在线监测、监控系统，电镀废水处理厂运行由有营运资质的单位承担。

电镀工业园废水处理厂的建设与电镀工业园的建设同期展开，主要有以下几方面的工作。

一、厂址的选择

厂址应选择在工程地质条件好的地方，即地下水位低、承载力大、岩石少的地方，要有利于平面与高程布置；不受洪水的威胁；不影响周围环境卫生，与厂区、生活区要保持300m以上的距离，尽可能在夏季风向的下方；留有扩建余地。

二、四大体系论证

（1）电镀工业园区排放废水水质水量、各电镀企业到废水处理厂输送管线系统布置、浓缩废液收集方案论证。

（2）废水及污泥处理工艺、节能、环保、综合利用论证，体现在以下几方面。

1）一、二、三级处理方式能长期稳定地使排放水达标、成本相对较低、易于操作运行、自控水平高，动态显示，建立中央控制屏。

2）60%达标排放水回用于生产。这套深度处理系统要保证能运行5年以上，在设计这套系统时，要考虑60%回用后，40%浓水的处理问题，不能重复处理，以避免加大成本，又能达标排放，这是一个技术难题，本书给出了较好的方案。

3）加药量的控制。因废水水质是波动的，所以在设计综合池时，要考虑有均质措施，要减少人工调节药量的环节，如能做到这一步，就向无人化管理迈了一大步。

4）各池的沉淀物易于清除。综合池、反应池时间长了都有沉淀物，影响水质达

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标，要有技术措施，沉淀物能够随水流走。

5）要抓浓废液的收集工作。这在电镀工业园废水处理厂是头等重要的事情，因为各类化学处理槽和电镀槽的废液数量虽少，但浓度很高，其含量一般是排放标准的5～50倍，可达3万～6万g/L，是清洗水的5 000～20 000倍，排放1m^{3}废液相当于排放5 000m^{3}或20 000m^{3}的清洗水，电镀厂图省事，往往排放到与废水排放的同一管道，对系统的冲击很大，即使投放大量的药剂，仍不能达标，因此，浓废液要用专用车送到收集站，用专用方法处理。

6）自控水平高，动态显示，建立中央控制屏。自动控制做到系统的开、关相互关连，紧急报警都是容易的，而要做到闭路反馈，自动调节水量、加药量、搅拌转速，难度很大，对水质稳定的、专业化的企业配套车间，可以做到，对工业区有几十家电镀企业，镀种复杂的情况，目前还达不到这种水平，传感器水平还没跟上。

7）运行费用低，产生污泥量少。运行费用主要是电费、人员工资和药剂费用，在工程设计中要在方案比较时，着重加以考虑。电费由泵（尤其是罗茨风机）的用电量决定，人员由自动化程度决定，药费由水质浓度和药的质量决定。污泥量与采用的药品品种有很大关系，这是污水处理厂建设时要反复加以权衡比较的。

8）节能主要是在罗茨风机、泵的数量，功率、高压泵能量回收器方面要有所考虑。

9）综合利用主要是金属回收和污泥的处理。

（3）平面布置论证。包括构建物布置、管线布置、辅助建筑物布置、电力线路布置、道路、绿化，用1∶500的比例绘制平面图。具体要求如下。

1）布局紧凑、整齐，构建物尽量按流程布置，管路按最短的路线布置，避免不必要的转弯和管道立体交叉，严禁将管道埋在构建物下面。坡度要精心设计，进入电镀工业园污水处理厂的管道设计与施工要符合给排水的要求，特别是在管道的选材。

2）废水排水量决定污水处理厂规模，对其建设既有通用化工企业的一般标准，一般标准如水电供应、药品库房、工人休息室、厕所、办公室等，又有其特殊的要求，如厂房是敞开式的，以利有害气体的扩散。

3）环境卫生及安全办公、化验室宜设在前区，远离噪声大、气味大的构建物，布置在夏季主风向的一方，生产区与生活区要分开。要为工作人员提供一个良好的工作环境。

4）道路要方便运输，人行道宽1.5～2m。

5）地面用浅绿色油漆，栏杆用黄色，贴安全色带。各构建物按污染程度画色带。

6）电镀工业园废水处理厂自身要做到清洁生产的表帅，对冲洗水、废水、雨水要可靠地疏导。

（4）高程布置论证。高程布置就是确定各构建物、泵、连接管渠的高程，使水在整个处理过程中，应尽可能靠重力流动，主要依据是构建物的高度和各构建物间的水头损失，主要有以下三部分。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）进构建物到出构建物的水头损失，可按表2-13所示的构建物的水头损失估算。

表2-13　构建物的水头损失

构　建　物	水头损失/m	构　建　物	水头损失/m
进水格栅	0.2～0.3	竖井沉淀池	0.4～0.5
综合池	0.1～0.3	辐流沉淀池	0.5～0.6
反应池	0.4～0.5	生化池	2.7～2.8
平流沉淀池	0.2～0.4	中间池	0.1～0.3

2）构建物连接管的水头损失，可通过试验确定。

3）设备的水头损失，按设备供应商提供的产品说明书。

进行水头损失计算时，应选择距离最长、损失最大的流程，按最大设计流量计算，计算时应考虑安全因素，留有适当余地。求得水头损失后，就可以定出构建物间的相对高差，定出各个构建物的绝对标高。

高程布置要综合地形、地基、排水、维修时设备放空等条件考虑，避免最低的构建物埋深过大，最高的构建物架空过高，以接受水体的最高水位作起点，逆处理流程向上逐一推算，这样，即使在洪水季节，废水也能自流排出。

绘制总平面图时，必须绘制纵断面图，在纵断面图上应绘出构建物和管渠的水面高程、尺寸和各节点底部高程、原地面和设计地面高程。

三、工程设计

1. 工程主体设计

（1）工艺流程设计。

（2）排水系统设计。

（3）构建物设计。

（4）设备选型及设计。

（5）中水回用系统设计。

（6）污泥综合利用设计。

（7）自动化管理设计。

（8）供电系统设计。

（9）绿化及安全卫生防护设计。

2. 管理机构、劳动定员及建设进度设想

（1）工厂管理机构设置。

（2）人员编制（附定员表）及生产班次的划分。

（3）工程项目的建设进度要求和总的安排。

（4）建设进度设想表。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 投资估算

（1）编制依据与说明。

（2）废水厂工程投资总估算表。

4. 财务及工程效益分析

（1）财务预测。

1）资金运用预测（列表说明）。

2）固定资产折旧（列表说明）。

3）废水处理成本（列表说明），算出单位水量费用，成本有下列各项：

1）药剂费用。

2）动力费用。

3）工资福利费用。

4）固定资产折旧费（折旧与大修）。

5）维修费用。

6）其他费用（行政管理费用）。

（2）财务及效益分析。

1）排水收费标准建议（元/m^3）。

2）计算出投资效益。

3）投资回收期（列表）。

（3）工程效益分析。

1）节能效益分析。

2）经济效益分析。

3）综合利用效益分析。

4）环境效益和社会效益分析。

5. 结论和存在的问题

（1）在技术、经济、效益等方面论证的基础上，提出工程总评价和推荐方案意见。

（2）说明有待进一步研究解决的主要问题。

6. 附件

（1）附图。

1）总体平面图。

2）主要工艺流程图。

3）设备、管道布置图。

（2）各类表。

1）各种批文。

2）土建工程清单。

3）外购机电设备清单。

4）非标设备设计制造清单。

5）外购标准件清单。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四、市场化运行经济模式

市场化运行经济模式具体就是说新建的污水处理厂建设由招标决定，地点、规模在政府定下后，由投资方、运营方招标决定。污水处理费不是硬性指标，而是由工艺操作达标水质稳定性、运营费、污泥量、回用率、控制方式、建设费等决定的。投资方、运营方的身份可以相互渗透，运营方可以兼投资方。运营若干年后，投资方具有资质的情况下，也可交投资方运营。

五、电镀工业园废水处理厂的清洁生产

电镀工业园废水处理厂的清洁生产重点是废气处理。现在大多数电镀废水处理厂各种池有的是敞开的，运行时在流动、搅拌及自然条件下气体蒸发，使废水厂被有害的气体笼罩着，有害的气体主要有酸碱废气、含氢废气、铬酸废气、氮氧化物废气及含苯废气，这些气体会使人体产生慢性病，影响身体健康。电镀废水处理厂的清洁生产重要内容就是有害的气体净化。其方法主要有稀释、吸收净化、吸附净化及生物净化。电镀废水处理中废气处理一般采用稀释法。

1. 有害气体的稀释　有害气体的稀释就是用排气筒向高空排放，在风力的作用下，有害气体被冲淡，向大气中扩散，最后降落到地面的污染物浓度就很低了。污染物在大气中扩散的气象因素有两个：一是气象的动力因子，即风和湍流；二是气象的热力因子，即大气的温度和稳定度。风对污染物的第一个作用是整体输送，使污染区总在污染源的下风向；第二个作用则是冲淡稀释，污染物浓度总是与风速成反比。地表附近的气流运动受下垫面即树林、田野、建筑物摩擦力的阻滞，风速时快时慢，风向也忽上忽下，忽左忽右不断变化，这种阵性和摆动称为大气的湍流，污染物的扩散主要靠大气湍流的作用。通过排气筒引风机排出的气体有一定的速度和温度，在动力及浮力作用下，有害气体在离开排气筒口以后，仍然要向上冲出一定的高度，然后再沿风的方向扩散开。气体在水平方向的扩散称为烟羽。烟羽轴线与排气筒间的距离称为烟羽抬升高度 ΔH，气体所达到的高度称为有效源高 H，因此，有效源高 H 等于排气筒实体高度 H_s 与烟羽抬升高度 ΔH 之和，即

$$H = H_s + \Delta H$$

对具体工程来说，排气筒实体高度 H_s 为一定值，只要计算出烟羽抬升高度 ΔH，就可确定有效源高 H。

排气筒作为保护环境的一种设备，其作用是降低地面污染物浓度。排气筒设计的主要内容是排气筒高度和出口内径。排气筒的设计是用已知的污染物地面允许浓度来确定污染源的排放条件。

按 GB/T 3840—1991《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》规定，排放各种生产工艺过程中产生的气态大气污染物的排气筒，其高度一般不得低于 15m。如因生产工艺等条件的限制，只能设置低于 15m 的排气筒，则该排气筒按无组织排放源对待。无组织排放的有害气体进入呼吸带大气层时，其浓度不得超过 GB 3095—1996《环境空气质量标准》及 TJ 36—1979《工业企业设计卫生标准》规定的居住区容许浓度极值，如表 2-14 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 2-14 居住区大气中有害物质的最高浓度 （单位：mg/m³）

物质名称	最高允许浓度		物质名称	最高允许浓度	
	一次	日平均		一次	日平均
六价铬	0.001 5		臭氧		0.12
硫酸	0.30	0.10	氨	0.20	
硫化氢	0.01		甲醛	0.05	
五氧化二磷	0.15	0.05	甲醇	3.00	1.00
氯化氢	0.05	0.015	乙醛	0.01	
氧化氮(换算成 NO_2)	0.15		飘尘	0.50	0.15

如浓度超过上表规定的浓度值，则无组织排放源所在的生产单元与居住区之间应设置卫生防护距离。卫生防护距离在 100m 内，级差为 50m；超过 100m，但小于或等于 1 000m 时，级差为 200m；1 000m 以上时，级差为 200m。

排气筒出口直径计算可由下式计算：

$$D = \sqrt{\frac{4Q_y}{\pi v_s}}$$

式中 D——排气筒出口直径（m）；

Q_y——气排放量（m^3/s），由各个排污企业确定；

v_s——气出口速度（m/s）取 20～30m/s。

排气筒出口直径的设计主要是选择一个合适的排气筒出口速度，选择排气筒出口速度的重要原则是避免下沉现象。排气筒出口速度的大小对气流抬升影响很大，v_s 大，气的动量抬升高，促进了与周围空气混合，但减少了气流的整个抬升。因此，v_s 一般取 20～30m/s。

废气的收集是废气处理的关键所在，敞开的综合池、破氢池、破铬池要加池盖，不让废气散发出来，在适当的地方安装排放管，用引风机强制排出。池盖要方便观察。

2. 吸收净化 吸收是利用气体混合物中不同组分在吸收剂中溶解度不同，或者与吸收剂发生选择性化学反应，从而将有害组分从气流中分离出来的过程，具有捕集效率高、设备简单、一次性投资低等特点。

3. 吸附净化 利用固体表面存在的未平衡的分子引力或化学键力，把大气污染物中某一组分或某些组分吸留在固体表面上。具有吸附作用的固体称为吸附剂，被吸附的物质称为吸附质。吸附净化的优点是能回收有用部分，设备简单、操作方便，易于实现自动控制；但是吸附容量一般不高（40%）。

4. 生物净化 废气的生物净化是利用微生物新陈代谢过程中需要营养物质这一特点，把废气中的气态污染物转化为少害甚至无害。自然界中存在着各种各样的微生物，因此几乎所有无机和有机的污染物都能被微生物所转化。生物处理不需要再生过程和其他高级处理。生物净化废气有两种方式，一是生物吸收方法，即先把污染物从气相转移到水中，然后进行废水的微生物处理；二是生物过滤法，由附着在固体过滤材料表面的微生物来完成。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三章　电 镀 废 水

本章着重介绍电镀废水的来源、特性、分类及电镀废水中污染物的危害。

第一节　电镀废水的来源

电镀废水来源于以下几方面：

（1）镀件清洗水。电镀后零件要经过多道清水漂洗，产生大量的清洗水。

（2）碱性除油液。镀件前处理工序的油污去除都采用浓度不同的碱性物质，除油液配成后，由于零件不断带出溶液，一般工厂都每日分析含量按需要补充化工料，用得时间长了，溶液老化，各厂都根据本厂具体情况定期或不定期采取“沉降法”淘汰一部分老化溶液。

（3）除锈、活化槽废液。除锈、活化的酸液使用时间长了，要加入新酸，由于铁等金属离子和酸不溶物的逐步积累，破坏溶液性能和产品质量，所以到一定时间，工厂都采取“沉降法”淘汰一部分溶液。

（4）老化报废的电镀液、镀槽排出的残液。电镀液都有一定的寿命，化学镀废液、化学镀镍、化学镀铜的溶液使用周期很短，当杂质积累过多时，难以处理或处理成本过高时，就不得不将其更换。

（5）塑料电镀的粗化液。塑料电镀的前道工序大部分都采用高浓度铬酸作粗化液，使用到一定时间就要淘汰更换。

（6）溶液过滤。很多镀液都采用循环过滤，过滤后，对水槽、滤纸、滤芯、滤筒进行清洗时，其滤渣和清洗水，以及镀槽底部浓的、杂质多的液体、泥渣，用水稀释后全部排入废水中。

（7）退镀液。电镀层质量不合格，要将不良镀层退除，退镀液的种类繁多，浓度也高，使用周期短。

（8）清洗镀槽、容器洗极板等的洗涤废水。

（9）钝化以及除锈、活化等物质。

（10）化验用水等。

（11）地坪冲洗水。生产车间常因设备状况不好、操作不当等原因造成跑、冒、滴、漏。

镀件清洗水占车间废水排放量的80%以上，废水中大部分污染物质如镍、铜、等重金属、氰化物是由镀液表面的附着液在清洗时带入的。不同镀件采用不同的电镀工艺和清洗方式，废水的排放量及废水中的污染物浓度差异很大，其含量的大小与车间管理水平和装备有关。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二节 电镀废水的特性

一、镀件清洗水

1. 除油工序清洗水 这类废水中含有 NaOH、Na_2CO_3、Na_3PO_4、Na_2SiO_3、$C_{17}H_{33}COONa$表面活性剂等。

2. 除锈、活化工序清洗水 这类废水中含有 H_2SO_4、HCl 表面活性剂等。

3. 氰化电镀清洗水 这类废水中含有 NaCN、NaOH、Na_2CO_3，其中还必定含有一种或几种重金属离子如 Zn^{2+}、Cu^{2+}等，由于氰化物是剧毒物质，而且在酸性条件下剧毒气体 HCN 会逸出液面，进入操作环境。

$$2NaCN + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2NCN\uparrow$$

所以，含氰废水一定要分流排放、分类收集、分别处理。

4. 含铬清洗水 这类废水来自多个镀种、工序，如镀铬、镀锌钝化、塑料电镀粗化等，含有 Cr^{6+}、Cr^{3+}、Zn^{2+}、H_2SO_4、HNO_3 等。

5. 含镍清洗水 这类清洗水中有经济价值较高的 Ni^{2+}，还有 H_3BO_3、表面活性剂、光亮剂等。

二、碱性除油废液

碱性除油废液的排放频率不算高，但它的浓度很高，一般钢铁件除油废液中含 NaOH（浓度为 20 ~ 60g/L）、Na_2CO_3（浓度为 20 ~ 40g/L），另外还有含量很高的 Na_3PO_4、Na_2SiO_3 等。这类高浓度的溶液淘汰时，不能一次性放入废水贮池中，只能放在专用贮槽中，根据每批废水处理需酸量按量加入。

三、酸性活化废液

酸性活化废液排入频率是比较高的，H_2SO_4 浓度为 100 ~ 200g/L，这类溶液淘汰时，也不能一次性放入废水贮池中，也要用专用贮槽中，根据每批废水处理需酸量按量加入。

四、塑料电镀粗化废液

塑料电镀粗化废液中含 CrO_3（浓度为 250 ~ 350g/L）、H_2SO_4（浓度为 600g/L），一般工厂使用 7 ~ 8 天后就要淘汰，这类废液应该送到综合利用厂进行综合利用，如在本厂内处理既浪费大量化工原料，又增加了二次污染。

五、化学镀镍槽报废液

化学镀镍槽报废液频率很高，而镍又是价格较高的金属，应该送到综合利用厂进行综合利用，如在本厂处理不当，使镍离子成为很难利用的混合废渣，是一种很大的资源浪费。

第三节 电镀废水的分类

电镀废水含有的污染物有：①重金属，常见的有铬、铜、镍、锌等；②酸碱类物

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

质，如硫酸、盐酸、硝酸和氢氧化钠、碳酸钠、氰化物；③各种光亮剂、洗涤剂、表面活性剂、颜料等有机物；④油类；⑤金属氧化物。按处理工艺不同，将电镀废水分为三大类，即含氰废水、综合废水、含油废水。

一、含氰废水

含氰废水一般都采用单独收集、单独处理，因为含氰废水第一步都需要氧化破氰处理，如果与其他废水混合，则会有以下弊病：

（1）冲淡氧化剂，增加氧化剂的使用量。

（2）如果同酸性物质混合排放，会产生氰化氢气体。氰化氢是剧毒物质，如任其散入空气中，就会有致命的危险。

（3）如果同其他重金属废水一起排放，会形成络合物使废水处理复杂化。有的工厂将含氰废水和碱除油废水一起排放，这是可行的，因为氰化物第一步处理是在碱性情况下进行的。

二、综合废水

除含氰废水含油废水外，其他废水都排入综合废水池，因此综合废水成分复杂，有六价铬、镍、铜、锌、各种添加剂、酸碱等。

（1）含六价铬废水。将含铬废水和酸洗、活化漂洗水一起混合较好，因为含铬废水处理的第一步是在较低 pH 值的情况下进行的，和酸洗水一起排放可以节约调节 pH 值所需的硫酸的费用。

如果电镀车间有条件，对含六价铬废水单独收集处理也是可以的，因为含铬废水第一步要经过还原处理，单独处理可以不浪费处理剂；还原处理后的沉淀物的 pH 值容易控制。

（2）含镍废水。水量较少、条件较差的工厂，含镍废水多采取混合排放，这样做往往使排放废水质量不稳定，产生的混合废渣还必须支付处置费用给综合利用工厂，既浪费了资源，又增加了经济支出。

如果含镍废水量大，在有条件的情况下，应当单独收集，其优点如下：

1）化学法处理含镍废水，在实际操作中 pH 值控制在 10.5～11 之间效果较好。含镍废水单独排放，单独处理其沉淀，pH 值不受其他重金属沉淀所需 pH 值的影响，沉淀比较充分，处理后的水质容易达到排放标准。

2）化学法生成的沉渣相对比较单一，有利于下一步综合利用，沉渣出售较受欢迎，价格也较高。

3）条件较好的单位可用离子交换法处理含镍废水，镍盐可以回收作为本厂原料；经济条件更好些的工厂，可用反渗透法处理含镍废水，既可回收镍盐，又可回收纯水。

三、含油废水

矿物油浮于液面会降低各种药剂的药效，影响废水的处理质量，并且污染处理厂的各种设置，所以要单独分离处理。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四节 电镀废水中污染物的危害

电镀废水中的污染物较多，有镍、铜等重金属离子，有氰化物、酸、碱、油、磷、氮、添加剂、活性剂、光亮剂、油、废气等，被电镀废水污染的水源、土壤、地下水在短期内很难净化。这些有毒有害污染物可以以空气、水体、食物等为介质，通过多种途径侵入人体。

（1）通过口腔、肠胃进入人体。口腔黏膜和肠胃均可吸收毒物，并需经过肝脏解毒。这个途径仅对口腔、肠胃、肝脏造成危害。

（2）通过皮肤被人体吸收。这个途径不经过肝脏解毒，而直接进入血液循环，分布全身。

这些毒物，有的在血液中即同红细胞或血浆中的某些成分发生作用，破坏血液的输氧功能，抑制血红蛋白的合成代谢，发生溶血作用；有的在不同的器官和部位进行储存富集，产生毒性；有的进行生物转化，被肝脏解毒，经过消化道和呼吸道排出体外，少数也可以随汗液、乳汁、唾液等排出体外，个别进入毛发而脱离人体。

电镀废水中污染物对人体的危害按时间分为急性、慢性和远期三种。急性表现为剂量和效应之间的关系，以半数有效量（LC_{50}）表示，一般分为5级；慢性中毒一般要经过长时间之后才逐渐显露出来，人和动物对慢性中毒作用易呈现耐受性；远期污染物长时间作用于机体，往往会损及体内的遗传物质，会影响子孙后代的身体健康，包括致畸、突变、致癌作用。致畸指污染物通过人或动物母体影响胚胎发育和器官分化，使子孙出现先天畸形的作用；突变指污染物引起生物细胞或遗传信息发生突然改变；致癌指污染物诱发肿瘤发生，但与污染物剂量、体质、进入人体的途径和其他生活条件有关，即有时发生致癌，有时不发生致癌。

污染物在人体内的整个过程，即吸收、代谢、储存、转移及排泄过程，它们与中毒症状的相应关系，现在并没有被充分认识。

一、重金属

重金属指原子序数在21～83之间的金属或相对密度大于4的金属，微量时有益于微生物、动植物及人类，浓度超过一定值后，即会产生毒害作用，特别是汞、镉、铅、铬、砷以及它们的化合物，称为五毒。

1. 铬（Cr） 铬有三价与六价之分。

三价铬（Cr^{3+}）是生物必需的微量元素，有激活胰岛素的作用，但如积存在肺里，则对肺有损害。与六价铬相比，三价铬优点如下：

（1）毒性是六价铬的1%。

（2）镀液中含铬量约为铬酸液含铬量的1/7。

（3）硬度较高，力学性能优良，分散能力和覆盖能力远远高于六价铬，沉积速度是六价铬电镀的两倍。主盐是氯化铬或硫酸铬，络合剂为甲酸、乙酸、苹果酸等有机酸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三价铬缺点如下：

（1）对金属杂质比较敏感。

（2）镀液成分复杂，稳定性差。

（3）在阳极产生的六价铬离子会严重影响镀层质量，以至完全不能镀出合格产品。

（4）镀层为不锈钢色泽，但随时间加长或镀层变厚，镀层光泽变暗，不像六价铬镀铬白里带青的颜色。

（5）镀液含氯化物，会产生氯气，虽然采用多孔隔膜或添加某些化学试剂可以抑制氯气的排放，但仍需通风设备。

这些缺点制约了三价铬电镀的推广。

六价铬（Cr^{6+}）对人体危害较大，六价铬的毒性是三价铬的100倍，可在人、鱼和植物体内蓄积。

（1）对皮肤有刺激和过敏作用。手、腕、前臂、颈部接触铬酸雾、铬酸盐会出现皮炎，六价铬经过伤口和擦伤处进入皮肤，会引起铬溃疡（铬疮），愈合后会留下界线分明的圆形萎缩性疤痕。

（2）损坏呼吸系统。长期吸入铬雾，首先会引起鼻中隔出血，导致鼻中隔黏膜糜烂，鼻中隔变薄，最后出现穿孔；其次会造成咽喉充血，引起萎缩性咽喉炎。初始症状有打喷嚏、流鼻涕、咽喉发红、支气管痉挛、咳嗽头痛，能导致支气管癌。

（3）损害内脏。六价铬进入消化道，会造成味觉和嗅觉减退以至消失，剂量小时也会腐蚀内脏，引起肠胃功能降低，出现胃痛，甚至肠胃道溃疡。

电镀及电镀废水处理中，要防止铬雾的形成，如无法避免，则要有与人体隔离的措施。

水中含铬在1mg/L时，可刺激作物生长；1～10mg/L时，作物生长缓慢；100mg/L时作物几乎停止生长。废水中含有铬化合物时，会降低废水生物处理的效率。微溶于水的六价铬盐，还具有致癌作用。

镀铬用的化工原料是铬酐，在废水中随pH值不同，以CrO_4^{2-}和$Cr_2O_7^{2-}$两种六价铬形式存在。

2. 镍（Ni）　镍进入人体后主要存在于脊髓、脑及五脏中，以肺为主，毒性主要表现在抑制酶系统。误服大量的镍盐时，可产生急性胃肠道刺激现象，发生呕吐、腹泻，严重时会引起酶系统中毒，甚至危及生命。皮肤过敏的人长期接触镍盐先是发痒，继而产生皮疹，出现溃疡。

3. 铜（Cu）　铜是生命所必需的微量元素之一，但过量的铜对人、动植物都有害，铜中毒时会引起脑病、血尿腹痛和意识不清等。接触高浓度铜化合物时，可发生皮炎和湿疹；眼睛接触铜盐，可发生眼睑水肿，严重者可发生眼混浊和溃疡。镀液中主要以硫酸铜、焦磷酸铜、氰化亚铜等形式存在。水中铜含量达到0.01mg/L时，对水体的自然净化有明显的抑制作用，如含铜废水进入农田后，铜会被植物吸收，造成生长不良，并会污染作物籽粒。铜也会在土壤中富集，使土质恶化。

4. 锌（Zn）　锌是人体必需的微量元素之一，正常人每天从食物中吸入锌10～

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

15mg，贮存在肝里，形成锌硫蛋白，供给人体肌体生理反应所需的锌。但误食过量的锌会引起急性肠胃炎症状，如恶心、呕吐、腹痛、腹泻、偶尔腹部绞痛，同时伴有头晕、周身乏力；误食氯化锌会引起腹膜炎，导致休克、死亡。用含锌废水灌溉农田，使土壤中细菌数减少，微生物作用减弱。锌在电镀行业中是使用最多的金属之一，以氧化锌、氯化锌、硫酸锌等锌盐配入镀液。

5. 镉　镀镉层具有许多优良性能，在宇航、船舶、仪表行业应用较多。镉在人体内形成镉硫蛋白，通过血液到达全身，并有选择地蓄积于肾脏、肝脏中，造成骨质疏松、萎缩，并可引起贫血。可使温血动物和人的染色体发生畸变。镉在人体中的生物半衰期很长，可达 10～25 年，体内积累的镉代替了骨骼中的钙而使骨质变软，患此病者营养吸收困难，最后发生废用性萎缩，并发肾功能衰竭和其他感染等合并症而死亡。

二、氰化物

氰化物是剧毒的物质，人体对氰化钾中毒的致死量为 0.25g（纯净的氰化钾为 0.15g），氰化钠为 0.10g，氢氰酸的致毒作用极为迅速，经口腔黏膜吸入一滴（约 50mg）瞬间就可死亡。废水中的氰化物哪怕是络合状态，当 pH 值呈酸性时，亦会成为氰化氢气体逸出而发生毒害作用。氢氰酸能与活细胞内的 Fe^{3+} 络合，特别是和含铁呼吸酶结合，使氧化酶失去传递氧的作用，即可使全部组织的呼吸麻痹。氰化物中毒症状最初呼吸兴奋，经过麻痹、横转侧卧、昏迷不醒、痉挛等过程，全身细胞缺氧而窒息死亡。在水中以 CN^- 存在，若遇酸性介质，则 CN^- 能生成毒性极强的挥发性氢氰酸 HCN，水中游离 CN^- 达到 0.05mg/L 以上时，会使鱼类死亡，氰化物对其他水生生物也同样具有毒性。

三、酸与碱

pH 值过高或过低，会消灭或抑制一些有助于水净化的细菌及微生物的生长，从而影响了水的自净能力（水中某些微生物能分解有机污染物而使水净化），同时也增加了对水下设备和船舶的腐蚀作用，pH 值为 5 时，对一般鱼类有损害，如排入农田，则改变土壤性质，使农作物生长受影响。酸、碱在电镀行业用量很大，大多数是用于镀前预处理，酸类有硫酸、盐酸、硝酸和磷酸，碱类有氢氧化钠、碳酸氢钠等，另外由于废水处理时投加酸、碱调节 pH 值，因此废水中含盐量较高。

四、油

油能动覆盖水面形成薄膜层，一方面阻止大气中氧在水中溶解，另一方面因其自身生物分解和自身氧化作用，消耗水中大量的溶解氧，致使水体缺氧，同时油膜堵塞鱼的鳃部，使鱼呼吸困难；用油污水灌田，也可因油黏膜黏附在农作物上而使其枯死。

五、磷与氮

磷、氮分解过程中大量消耗水中的溶解氧，释放出养分，使藻类及浮游生物大量繁殖，以致阻塞水道。水体富营养化时，由于缺氧，大多数水生动植物不能生存，遗骸在水中沉积腐烂，使水质不断恶化。

六、其他物质——添加剂、活性剂、光亮剂及油脂皂化物

添加剂、活性剂、光亮剂及油脂皂化物都是有机物，有一定的毒性，排入水体后，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

要大量消耗水中的溶解氧，形成复杂的化合物，有的甚至是长期无法降解。

七、废气

废水处理厂中许多处理池是敞开的，蒸发在空气中的有酸碱废气、含氢废气、铬酸废气、氮氧化物废气及含苯废气。

（1）酸碱废气是脱脂除油时产生的，对人的呼吸系统有刺激作用。

（2）含氢废气是氢氰酸产生的，有苦杏仁气味，可以被多种物质吸收，如木材、砖墙、水泥等，是一种剧毒物质。

（3）铬酸废气能引起人的上呼吸道感染、铬疮、皮炎等病。

（4）氮氧化物废气是铜、铝等工件在采用硝酸处理过程中产生，其中一氧化氮与血液中血红蛋白相结合，生成不活泼的氧化氮血红蛋白，引起组织缺氧，二氧化氮刺激肺和气管而引起咳嗽、血压下降、神经系统麻痹及慢性气管炎。

（5）含苯废气在使用苯、甲苯、二甲苯等有机溶剂脱脂时产生，长期吸入会引起慢性中毒，如记忆力减退、乏力、眼睛失明、白细胞减少等症状。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四章　电镀废水处理工艺

本章的内容包括：电镀废水达标排放指标与标准、电镀废水的分类、传统电镀废水处理方法、最新电镀废水处理工艺、工艺调试、最新电镀废水处理工艺存在问题及解决办法。

第一节　电镀废水达标排放指标与标准

一、水质指标

水质指标是指水和其中所含杂质共同表现出来的物理、化学和生物学的综合特性。各项水质指标表示水中杂质的种类、成分和数量，是判断水质的具体衡量指标。水质指标种类很多，有上百项，分为物理的、化学的和生物学的三类。针对电镀废水的水质指标有十八种。

1. 色度　是对排放水质颜色的一种测量，分为“表色”和“真色”。“表色”是指由溶解物质及不溶解性悬浮物产生的颜色，“真色”是指去除浊度后，仅由溶解物质产生的颜色。电镀废水应测量“真色”，测量“真色”时，如水样浑浊，应放置澄清后取上清液，或经孔径 0.45μm 的滤膜过滤，也可经离心后再测量。测量“表色”用未经过滤或离心分离的原始样品测量。

色度的测量方法有两种：稀释倍数法和铂钴比色法。稀释倍数法适用于污染较严重的地面水及工业废水。铂钴比色法适用于清洁水、轻度污染并略带黄色的水，以及比较清洁的地面水、地下水和饮用水。两种方法没有可比性。电镀达标排放水用稀释倍数法测量。

2. 悬浮物（SS）　不能透过孔径约 3～10nm 的过滤膜的固体污染物叫悬浮物，是一项重要的水质指标。它的存在不但使水质浑浊，而且易使管道、泵堵塞。固体污染物在水中以三种状态存在，即溶解态（直径小于 1nm）、胶体态（直径 1～200nm）、悬浮态（直径大于 100nm）。

3. 浊度　是对水光传导性能的一种测量，其值可表征废水中胶体和悬浮物的含量。水体中含有泥沙、有机质胶体、微生物、无机悬浮物和无机胶体，产生的浑浊现象导致水的透明度降低，影响感观甚至水生生物的活动。

4. 电导率　在特定条件下距离为 1cm、截面积为 $1cm^2$ 的两电极间介质电阻的倒数定义为电导率。它是水中存在的离子传导电流能力的量度。电导率的大小决定于溶液中的离子浓度、性质和溶液温度、黏度等，它间接地表征了水中含可溶电解质的浓度。电导率单位以 S/m（西门子/米）表示，常用的是 μS/cm。

5. pH 值　氢离子活度 a_{H^+} 的常用对数的负值，即 $pH = -lga_{H^+}$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 总铬　包括金属铬离子及各类铬酸盐。

7. 六价铬　铬以正六价（Cr^{6+}）离子形式存在。

8. 总铜　包括金属铜离子及各类铜盐。

9. 总镍　包括金属镍离子及各类镍盐。

10. 总锌　包括金属锌离子及各类锌盐。

11. 总氰化物　各类氰化物总和。

12. 氨、氮　废水中以氨 NH_3 或铵离子 NH_4^+ 形式存在的化合氨，氨溶于水时，一部分与水反应生成铵离子，一部分形成水合氨，也称非离子氨。非离子氨是引起水生生物毒害的主要因子，而铵离子基本无毒。两者的组成比取决于水的 pH 值。当 pH 值较高时，非离子氨的比例较高，反之，则铵离子较高。

13. 总磷　正磷酸盐、聚磷酸盐和有机磷酸盐之和。正磷酸盐、聚磷酸盐为无机磷酸盐。

14. 总有机碳　以碳的含量表示水体中有机物质总量的综合指标。

15. 化学需氧量（COD）　指在酸性条件下，用强化学氧化剂将有机物氧化成 CO_2、H_2O 所消耗的氧化剂所含的氧量，以每升水消耗氧的毫克数表示（mg/L）。COD 值越高，表示水中有机污染物的污染越严重，此处的有机物指烃类化合物、蛋白质、脂肪、纤维素等。目前用的氧化剂主要是重铬酸钾和高锰酸钾。由于重铬酸钾氧化性很强，所以能够完全氧化水中大部分有机物和无机性还原物质，此时化学需氧量用 COD_{cr} 表示，该指标适合分析生活污水和工业污水。如用高锰酸钾作氧化剂，则用 COD_{Mn} 表示，称高锰酸钾指数，该指标适合分析地表水，如海水、湖泊水。

16. 生化需氧量（BOD_5）　单位体积中耗氧有机物生化分解过程所消耗的氧量（mg/L）。天然水体中溶解氧含量一般为 5～10mg/L，当大量耗氧有机物排入水体后，水中溶解氧会急剧降低，水体出现恶臭，破坏水生生态系统。有机物的分解一般分为两个阶段，第一阶段称碳化阶段，有机物中的碳氧化为二氧化碳，氮氧化为氨，消耗的氧称为碳化需氧量（L_a）；第二阶段称为硝化阶段（氮化阶段），氨在硝化细菌作用下，被氧化为亚硝酸根或硝酸根，消耗的氧称为硝化需氧量（L_N）。国内外采用在 20℃条件下培养 5 天的生物化学过程需要氧的量为指标，称为生化需氧量（BOD_5），简称 BOD。如水质中各种成分相对稳定，BOD_5 与 COD 之间有一定的比例关系。另外，BOD_5/COD 比值可作为废水是否适宜生化法处理的一个衡量指标，比值越大，越容易被生物氧化，一般认为 BOD_5/COD 大于 0.3 的废水才适宜采用生化处理。

17. 石油类　石油类物质能在水面上形成油膜，影响氧气进入水体。油膜的生物分解和自身氧化作用，消耗水中大量的氧，使水体缺氧。它还能附着于土壤颗粒表面和动植物体表，影响养分的吸收和废物的排出。当水中含油 0.01～0.1mg/L 时，对鱼类和水生生物就会产生影响。当水中含油 0.3～0.5mg/L 时，就会产生石油气味，不适合饮用。

18. 碱度　水的碱度是指水中所含能与强酸定量作用的物质总量。碱度组成成分

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有：有机碱类、金属水解性盐类、磷酸盐、碳酸盐及氢氧化物等。碱度指标常用于评价水体的缓冲能力及金属在其中的溶解性和毒性，是对水和污水过程控制的判断性指标。测定方法有酸碱指示剂滴定法和电位滴定法。

二、水质标准

水质标准分为两类，一类是根据水的不同用途而制定的水质标准，即针对不同的用途而建立起相应的物理的、化学的和生物学的水质质量标准；另一类是为了保护环境、保护水体的正常用途，对排入水体的生活污水和工业废水水质提出一定的限制与要求，即污水排放标准。本书只介绍污水排放标准。一般污水排放标准有：

《工业“三废”排放试行标准》（GBJ 4—1973）

《污水综合排放标准》（GB 8978—1988）

《农用污泥中污染物控制标准》（GB 4284—1984）

《医院污水排放标准》（GBJ 48—1983）

《造纸工业水污染物排放标准》（GB 3544—2001）

《钢铁工业水污染物排放标准》（GB 13456—1992）

《纺织染整工业水污染物排放标准》（GB 4287—1992）

《肉类加工工业水污染物排放标准》（GB 13457—1992）

《合成氨工业水污染物排放标准》（GB 13458—2001）

《电镀污染物排放标准》（GB 21900—2008）

《地表水环境质量指标》（GB 3838—2002）

《海水水质指标》（GB 3097—1997）

这些标准可作为污、废水处理规划、设立、管理与监测的依据。执行水污染物特别排放限制的地域范围、时间，由国务院环境保护行政主管部门或省级人民政府规定。重点介绍《电镀污染物排放标准》（GB 21900—2008）。

《电镀污染物排放标准》（GB 21900—2008）针对不同的企业制定了三个层次的标准，分别列于该标准的表 1、表 2 和表 3，表 3 最为严格。这三个层次的标准分别针对的是：表 1 为现有企业水污染物排放限值；表 2 为新建企业水污染物排放限值；表 3 为国土开发密度已经较高、环境承载能力开始减弱，或环境容量较小、生态环境脆弱，容易发生严重环境污染问题而需要采取特别保护措施的地区，执行水污染物排放先进控制技术限值。本书的技术以最为严格的表 3——水污染物特别排放限值为标准，见表 4-1。

表 4-1 水污染物特别排放限值

序号	污染物项目	排 放 限 值	污染物排放监控位置
1	总铬浓度/(mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
2	六价铬浓度/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
3	总镍浓度/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
4	总镉浓度/(mg/L)	0.01	车间或生产设施废水排放口
5	总银浓度/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	污染物项目		排 放 限 值	污染物排放监控位置
6	总铅浓度/(mg/L)		0.1	车间或生产设施废水排放口
7	总汞浓度/(mg/L)		0.005	车间或生产设施废水排放口
8	总铜浓度/(mg/L)		0.3	企业废水总排放口
9	总锌浓度/(mg/L)		1.0	企业废水总排放口
10	总铁浓度/(mg/L)		2.0	企业废水总排放口
11	总铝浓度/(mg/L)		2.0	企业废水总排放口
12	pH 值		6～9	企业废水总排放口
13	悬浮物浓度/(mg/L)		30	企业废水总排放口
14	化学需氧量 COD_{cr}/(mg/L)		50	企业废水总排放口
15	氨氮浓度/(mg/L)		8	企业废水总排放口
16	总氮浓度/(mg/L)		15	企业废水总排放口
17	总磷浓度/(mg/L)		0.5	企业废水总排放口
18	石油类浓度/(mg/L)		2.0	企业废水总排放口
19	氟化物浓度/(mg/L)		10	企业废水总排放口
20	总氰化物浓度/(mg/L)（以 CN^- 计）		0.2	企业废水总排放口
单位产品基准排水量/(L/m^2)（镀件镀层）		多层镀	250	排水量计量位置与污染物排放监控位置一致
		单层镀	100	

上面的排放标准都是浓度标准，这类标准的明显不足之处如下：

（1）不论废水接纳水体的大小和状况，不论污染源的大小，都采用同一标准，因此即使满足排放标准，如果排放总量大大超出接纳水体的环境容量，也会对水体造成不可逆的严重后果。

（2）无法防止某些厂用清水稀释来降低浓度以满足排放标准的现象。针对这一状况，提出了总量控制的标准，根据一定范围内的水体环境容量和自净能力，计算出允许排入该水域的污染物总量，然后再按一定原则将这些允许的排污总量，合理地分配给区内各污染源。

实行总量控制要做许多基础工作，如污染源调查、环境质量评价、水体自净规律、污染物迁移转化规律、污染治理边际费用等，在这些条件没有具备之前，总量控制难以实施。即使使用了总量控制，随着生产的发展，企业的生产量扩大，又存在要扩大总量的问题，如果不提高总量，就无法控制有些企业偷偷排污的违法行为。于是中水回用的问题又提了出来，要求达标水再一次处理，回用到生产线上去，回用率不得低于60%，如果这个目标实现了，那么排污标准执行的难度也就彻底得到了解决。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二节 电镀废水处理方式的分类

电镀废水中的污染物含有氰化物、多种重金属以及多种有机物，一种处理方式不能把所有的污染物去除干净，需要通过几个处理方式组成的处理系统，才能达到排放标准，处理方式有许多种，常见分类方式如下：

一、按处理方式进行分类

1. *物理法* 主要通过重力、离心、筛滤的物理作用，分离呈悬浮状态的污染物质。重力法通过沉砂池、沉淀池、气浮池使污染物沉淀或上浮来实现；离心法通过离心机来实现固液分离；筛滤法通过隔栅、砂滤池、介质过滤器、活性炭过滤器、保安过滤器等来实现。

2. *化学法* 化学法主要有混凝法、中和法、氧化还原法，现代又推出螯合法。主要通过以投化学药剂产生混凝、中和、氧化还原、离子交换化学反应的方式，去除呈溶解状、胶体状的污染物。

（1）混凝法。废水中常有不易沉淀的细小的悬浊物，它们往往带有相同的电荷，因此相互排斥而不能凝聚，若加入某种电解质（即混凝剂）后，由于混凝剂在水中能产生带相反电荷的离子，使水中原来的胶状悬浊失去稳定性而沉淀下来，达到净化水的效果。

（2）中和法。调节 pH 值，使废水中重金属离子生成难溶的氢氧化物沉淀而除去。

（3）氧化还原法。溶解在废水中的污染物质，有的能与某些氧化剂或还原剂发生氧化还原反应，使有害物质转化为无害物质以达到处理废水的效果。

（4）螯合法。见本章第四节，有专文叙述。

化学法纷繁复杂，但其基本规律却是十分简单和清晰的。这几个基本规律是：反应的质量和质量守恒、反应的方向及限度和速率。这些基本规律在几个重要反应中的应用，构成了化学的复杂性。这几个重要反应是：氧化还原反应、离子反应、有机高分子反应。掌握了这些基本规律和重要反应，许多化学反应都可以认识和利用，并可在具备试验的条件下，对化学变化进行控制和设计。在后续章节将简明扼要地介绍其纲要。

3. *物理化学法* 既有物理作用，又有化学作用的处理方法，即电渗析、膜分离技术，用电渗析、膜分离的方法去除污染物。

4. *生物法* 主要通过微生物的代谢作用，去除废水中呈溶液态、胶体态及细微悬浮态的有机物，具体有厌氧法、缺氧法、好氧法。生物法有生物膜法、SBR 法（间歇曝气活性污泥工艺或序批式活性污泥工艺）、ABR 法（第三代厌氧反应器）、AB 法（吸附-生物降解工艺）、A/O 与 A^2/O 法（厌氧-好氧工艺与厌氧-缺氧-好氧工艺）等。

二、按处理程度进行分类

按处理程度可分为一级处理、二级处理和三级处理。

1. *一级处理* 去除漂浮物、悬浮物、重金属，调节 pH 值，常用物理法与化学法结合。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

污水经一级处理后，一般达不到排放标准，COD 较高，还需进行二级处理。

2. 二级处理　降低 COD，即去除呈溶液态、胶体态及细微悬浮态的有机物，常用厌氧法、好氧法（生活膜法及活性污泥法），水质达到排放标准。

随着经济的发展，企业不断增多，企业生产发展，导致污水量不断增加，水资源日益紧张，因此，在二级处理的基础上，还要进行三级处理，以便达标水能再回到生产线上重复使用。

3. 三级处理　完善的三级处理内容是脱盐、脱氮除磷、去除病毒、细菌，回用到生产线上，常用 MBR + RO 或 UF + RO 方式实现。三级处理耗资较大，管理也较复杂。

第三节　传统电镀废水处理方法

一、电镀废水中的重金属及氰的性质

1. 铬　铬是一种钢灰色的耐腐蚀硬金属，相对密度为 6.92，熔点为 1 615℃，沸点为 2 200℃。纯铬有延展性，含杂质的铬质硬而脆。铬在水中常以三价（Cr^{3+}）和六价（Cr^{6+}）离子形式存在，其氧化物为 Cr_2O_3、CrO_3，铬酸盐为 Na_2CrO_4、$Na_2Cr_2O_7$，是强氧化剂，在废水中铬主要以六价形式存在。

2. 镍　镍是一种银白色金属，有金属的延展性、柔软性，是一种高度磁性的金属，相对原子质量为 58.71，相对密度为 8.9，熔点为 1 453℃，沸点为 2 140℃，耐高温。镍的化合物有 +2 价、+3 价、+4 价态，Ni^{2+}能与许多无机和有机络合物生成溶于水的镍盐，在废水中镍浓度的变化幅度很大，为 0.01 ~ 274mg/L。处理镍或镍合金的酸洗和电镀废水比处理其他金属的电镀废水要困难得多，原因是镍合金的组分变化大，且酸洗液种类很多。镍的价格很高，回收镍比较有吸引力。

3. 铜　铜是一种红色金属，相对密度为 8.96，熔点为 1 083℃，沸点为 2 543℃，相对原子质量为 63.55。氧化铜、硝酸铜、硫酸铜都溶于水。电镀液中的铜含量取决于电镀槽的类型，一般为 3 ~ 5g/L，对某种给定的电镀液，漂洗废水中的铜含量主要与漂洗时间、镀件形状和总表面积、漂洗方法以及漂洗水的流速有关，一般为电镀液中铜含量的 0.02% ~ 1.0%。

4. 锌　锌是一种微带蓝色的白色金属，相对原子质量为 65.38，相对密度为 7.1，导电性及导热性差，常温下延展性差，加热至 110 ~ 150℃时，变软而有延展性，可压板或拉丝，熔点为 419.5℃，沸点为 907℃，184℃开始挥发。因此，锌在加热时，锌蒸气会逸到空气中。锌可与许多金属形成合金，如黄铜（w_{Cu}67%，w_{Zn}33%）。常温下，在干燥的空气中锌很稳定，如果与潮湿空气接触，则表面逐渐被氧化，生成一层灰白色的碱式膜[$ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$]，可保护锌不再受侵蚀。电镀废水中锌的浓度与镀液中锌的浓度、镀件沥干时间及漂洗水的用量有关，平均浓度 10 ~ 200mg/L。

5. 氰化钠　别名山奈，化学式 NaCN，相对分子质量为 49.02，无色立方晶系结晶，工业品为白色或微灰色颗粒及粉末，有微弱苦杏仁气味。其无水物相对密度为 1.596，熔点为 563.7℃，沸点为 1 496℃，折射率为 1.452，蒸气压为 0.101 3kPa

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

(800℃)；溶于水、液氨，微溶于乙醇；在水中溶解度随温度升高而增加；水溶液因氰根水解而呈强碱性；在 34.7℃以下，从水溶液结晶的氰化钠为二水合物($NaCN \cdot 2H_2O$)；在 34.7℃以上或在硫酸（干燥剂）中减压干燥，可转变为无水物；易与酸反应放出剧毒的氰化氢气体；Fe、Cu、Zn、Co、Ni、Ag 等金属溶于氰化钠溶液，生成相应的氰化物；在空气中缓慢水解，放出氨气；遇空气中的二氧化碳会分解而产生氰化氢。其与氯酸盐或亚硝酸钠混合能产生爆炸。氰化钠有剧毒，口服、粉尘吸入或自伤口渗入均会引起中毒。CN^-能迅速与体内高铁血红蛋白结合而致毒！

用于制造氰化物、氰氢酸、染料、医药中间体、丁腈橡胶等，也用作催化剂、还原剂、媒染剂、钢铁淬火剂，以及用于有色金属选矿、电镀及制造玻璃等。

6. 氰氢酸　氰氢酸化学式 HCN，相对分子质量为 27.03，无色透明易挥发液体，具苦杏仁气味，相对密度为 0.687 6，熔点为 -13.4℃，沸点为 25.7℃，闪点为 -17.8℃，自燃点为 538℃。蒸汽能与空气形成爆炸性混合物，爆炸极限 6% ~41%。能与水、乙醇、甘油、氨、苯、氯仿等混溶。为弱酸，与碱反应生成盐，故氰化氢气体可为碱吸收而生成氰化钠。水溶液沸腾时部分水解而生成甲酸铵。碱性条件下，与醛、酮化合生成氰醇，与丙酮反应生成丙酮氰醇。气态氰氢酸一般不发生聚合。液态氰氢酸或其水溶液，受光、受热或有碱及铁屑存在时会发生聚合，同时放出大量的热，并引起爆炸。与氯酸盐或亚硝酸纳混合时也可引起爆炸。贮存时要求含水量（体积分数）小于 1%，并加入少量无机酸类（体积分数为 0.06% ~0.5%）作稳定剂。氰氢酸有剧毒，口服、吸入或皮肤大量吸收会导致中毒，重则死亡。致死量为 1mg/kg（体重）。空气中最高允许浓度为 $0.3mg/m^3$。

电镀操作使用高浓度氰化物电镀液，以使铜、锌等溶解在溶液中，电镀液中氰化物浓度 30 000mg/L。

二、传统电镀废水分类

（1）应用离子交换、反渗透方法处理废水的工厂，各镀种的清洗水都做到了严格分类，酸、碱水混合处理。

（2）采用化学法处理废水的工厂，大部分是将碱类废水和含氰或含镍废水共同处理排放。

（3）小型工厂或不具备条件的电镀厂，除含氰废水外，全部混合排放，这类废水含酸量很高，要用碱性溶液中和处理。

三、传统电镀废水处理方法

传统电镀废水处理方法有碱性氯化法、离子交换法、电解法、化学法、吸附法、旋流法，如表 4-2 所示。

表 4-2　电镀废水及处理方法

序号	种类	来　源	主要有害物质	排放水性质	处 理 方 法
1	含铬废水	镀：硬铬、光亮铬、黑铬、钝化、酸洗、磷化	$Cr_2O_7^{2-}$、CrO_4^{2-}、Cr^{6+}、Cu^{2+}、Ni^{2+} Zn^{2+}、HCO_3^-	酸性	化学法、离子交换法、电解法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	种类	来　源	主要有害物质	排放水性质	处 理 方 法
2	含氰废水	氰化镀：铜、锌铜锡合金、金、银、镉	$CuCN$、$Cd(CN)_2$、KCN、$NaCN$、$[Cd(CN)_4]^{2-}$、$[Au(CN)_2]^-$、$[Ag(CN)_2]^-$	碱性	碱化氰化法、电解法、离子交换法
3	含镍废水	镀：亮镍、暗镍、黑镍	$NiSO_4$、$NiCl_2$、H_2BO_3、丁炔二醇	酸性	离子交换法、反渗透和电渗析法
4	含铜废水	镀：铜、铜锡合金、铜锌合金	$CuSO_4$、$Cu_2P_2O_7$	酸性 碱性	离子交换法、蒸发-离子交换法、化学还原法、活性炭电解法
5	含锌废水	镀：锌、锌锡合金、锌铁合金	ZnO、$ZnCl_2$、$ZnSO_4$、NH_4Cl	酸性 碱性	化学法、离子交换法
6	含酸废水	预处理酸洗槽	HNO_3、HCl、H_2SO_4、H_3PO_4	酸性	药剂中和法
7	含碱废水	预处理碱洗槽	$NaOH$、Na_2CO_3、Na_3PO_4	碱性	药剂中和法
8	其他废水	洗手、冲地面	有机物、重金属离子	酸性 碱性	排入酸碱废水系统

1. *碱性氯化法*　投加化学氧化剂可以处理废水中的 CN^-、S^{2-}、Fe^{2+}、Mn^{2+} 等离子。碱性氯化法分两步，第一步称为不完全氧化，第二步称为完全氧化。通常含氯药剂有液氯、漂白粉、次氯酸钠、二氧化氯等。各药剂的氧化能力用有效氯含量表示。氧化价大于 -1 的那部分氯具有氧化能力，称之为有效氯，作为比较基准，取液氯的有效氯含量为 100%。表 4-3 给出了几种含氯药剂的相对有效氯含量。

表 4-3　纯的含氯化合物的有效氯

序号	名称及化学式	相对分子质量	氯当量/（molCl_2/mol）	含氯质量分数（%）	有效氯质量分数（%）
1	液氯 Cl_2	71		100	100
2	漂白粉 $CaCl_2+Ca(ClO)_2$	127	1	56	56
3	次氯酸钠 $NaOCl$	74.5	1	47.7	95.4
4	次氯酸钙 $Ca(ClO)_2$	143	2	49.6	99.2
5	一氯胺 NH_2Cl	51.5	1	69	138
6	亚氯酸钠 $NaClO_2$	90.5	2（酸性）	39.2	156.8

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	名称及化学式	相对分子质量	氯当量/（molCl$_2$/mol）	含氯质量分数（%）	有效氯质量分数（%）
7	氧化二氯 Cl_2O	87	2	81.7	163.4
8	二氯胺 $NHCl_2$	86	2	82.5	165
9	三氯胺 $NHCl_3$	120.5	3	88.5	177
10	二氧化氯 ClO_2	67.5	2.5（酸性）	52.5	262.5

2. 离子交换法　离子交换法是离子交换树脂活性基团上的相反离子与溶液中同性离子发生位置交换的过程。例如，磺酸型离子交换树脂可表示为：

$$R—SO_3^-H^+$$

R 为合成树脂母体，$SO_3^-H^+$为活性基团，活性基团上 H^+为相反离子。其交换过程可表示为：

$$R—SO_3^-H^+ + Na^+OH^- = R—SO_3^-Na^+ + H_2O$$

上式中相反离子 H^+与带同性电荷的离子 Na^+发生了位置交换。离子交换法一次性投资高、系统设计和管理较为复杂。

离子交换树脂分为以下几种：

（1）阳离子交换树脂，即带酸性活性基团，能与阳离子进行交换。

（2）阴离子交换树脂，即带碱性活性基团，能与阴离子进行交换。

（3）强酸阳离子交换树脂，即活性基团上酸强。

（4）弱酸阳离子交换树脂，即活性基团上酸弱。

（5）强碱阴离子交换树脂，即活性基团上碱强。

（6）弱碱阴离子交换树脂，即活性基团上碱弱。

（7）凝胶型树脂，即具有微孔结构的离子交换树脂。

（8）大孔型树脂，即树脂内部无论干、湿、收缩、溶胀，孔道比凝胶型更多、更大，因此表面积大，交换过程中，离子容易扩散，交换速度快。

离子交换工艺流程大致分为以下 4 个工序：

（1）交换。废水自上而下顺流通过树脂层，处理后水从柱底部排出。

（2）反洗。当树脂交换容量达到控制终点时，在再生前自下而上逆向进水反洗，除去树脂层中的气泡和杂质，同时疏松树脂，以利再生。

（3）再生。通入再生剂顺向（或逆向）进液，使树脂恢复交换能力。

（4）淋洗。通入清水顺向（或逆向）进水，将树脂内残余再生液洗净。

如此反复进行。

3. 电解法　电解是利用直流电进行氧化还原反应的过程，主要用于处理阳离子污染物，如 Cr^{6+}、Hg^{2+}、Ni^{2+}等。在电解槽里，与电源正极相连接的极称为阳极，与电源负极相连接的极称为阴极。当接通电源后，电解槽的阴极和阳极之间发生了电位差，电

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

能转变为化学能，驱使正离子移向阴极，在阴极取得电子进行还原反应；驱使负离子移向阳极，在阳极放出电子，进行氧化反应。从而使废水中的污染物在阳极被氧化，在阴极被还原，有害物质转化为无害物质，然后分离除去。

电解法用于贵金属的回收以及较高浓度含氰废水的处理，在处理较高浓度含氰废水时，在直流电场的作用下，氰化络离子在阴极被还原成 CN^-，CN^- 在阳极首先被氧化生成氰酸，然后分解成氨和二氧化碳。

电解法的特点是处理设备简单，占地面积小，但是耗电多，污泥多。

4. *化学法*　化学法是利用化学作用来处理废水中的溶解物质、胶体物质，用于去除废水中的金属离子、细小的胶体有机物、无机物、植物营养素（氮、磷）、乳化油、色度、臭味、酸、碱等。化学法包括混凝法、中和法、氧化还原法等。

（1）混凝法

1）混凝原理。混凝法的基本原理是在废水中投入混凝剂，在废水里形成胶团，与废水中的胶体物质发生电中和，形成絮粒沉降。混凝沉淀不但可以去除水中粒径为 $10^{-6}\sim10^{-3}$ 的细小悬浮颗粒，而且还能够去除一定的色度、油分、微生物、氮、磷、重金属及有机物。

废水在未加混凝剂之前，水中的胶体和细小悬浮颗粒的本身质量很轻，受水的分子热运动的碰撞而做无规则的布朗运动。颗粒都带同性电荷，它们之间的静电斥力阻止微粒间彼此接近而聚合成较大的颗粒；其次带电荷的胶粒和反离子都能与周围的水分子发生水化作用，形成一层水化膜，阻碍各胶体的聚合。一种胶体的胶粒带电越多，其 ξ 电位就越大，扩散层中反离子越多，水化作用也越大，水化层也越厚，因此扩散层也越厚，稳定性越强。

废水中投入混凝剂后，胶体因 ξ 电位降低或消除，破坏了颗粒的稳定状态（称脱稳），脱稳的颗粒相互聚集为较大颗粒的过程称为凝聚，未经脱稳的胶体也可形成大的颗粒，这种现象称为絮凝。不同的化学药剂能使胶体以不同的方式脱稳、凝聚或絮凝。按机理，混凝可分为压缩双电层、吸附电中和、吸附架桥、沉淀物网捕四种。

①压缩双电层机理。由胶体粒子的双电层结构可知，反离子的浓度在胶粒表面最大，并沿胶粒表面向外的距离呈递减分布，最终与溶液中离子浓度相等。如果向溶液中投加电解质，使溶液中离子浓度增高，则扩散层的厚度将减少。该过程的实质是加入的反离子与扩散层原有反离子之间的静电斥力把原有部分反离子挤压到吸附层中，从而使扩散层厚度减小。

由于扩散层厚度的减小，ξ 电位相应降低，因此相互间的排斥力也减少。另一方面，由于扩散层减薄，它们相撞的距离也减少，因此相互间的吸引力变大，使其排斥力与吸引力的合力由斥力变成以引力为主（排斥势能消失了），胶粒得以迅速凝聚。

②吸附电中和机理。胶粒表面对异号离子、异号胶粒、链状离子或分子带异号电荷的部位有强烈的吸附作用，由于这种吸附作用中和了电位离子所带电荷，减少了静电斥力，降低了 ξ 电位，使胶体的脱稳和凝聚易于发生。当三价铝盐或铁盐混凝剂投量过多时，混凝效果反而下降的现象可以用本机理解释。因为胶粒吸附了过多的离子，使原来

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的电荷变号，排斥力变大，从而发生了再稳定现象。

③吸附架桥机理。吸附架桥作用主要是指链状高分子聚合物在静电引力、范德华力和氢键力等作用下，通过活性部位与胶粒和细微悬浮物等发生吸附桥联的过程。

当三价铝盐或铁盐及其他高分子混凝剂溶于水后，经水解、缩聚反应形成高分子聚合物，具有线型结构。这类高分子物质可被胶粒强烈吸附。聚合物在胶粒表面的吸附来源于各种物理化学作用，如静电引力、范德华力、氢键、配位键等，取决于聚合物同胶粒表面二者化学结构的特点。因其线型长度较大，当它的一端吸附某一胶粒后，另一端又吸附另一胶粒，在相距较远的两胶粒间进行吸附架桥，使颗粒逐渐变大，形成粗大絮凝体。

④沉淀物网捕机理。当采用硫酸铝、石灰或氯化铁等高价金属盐类作混凝剂时，当投加量大得足以迅速沉淀金属氢氧化物或带金属碳酸盐时，水中的胶粒和细微悬浮物可被这沉淀物在形成时作为晶核或吸附质所网捕。水中胶粒本身可作为这些沉淀物所形成的核心时，凝聚剂最佳投加量与被除去物质的浓度成反比，即胶粒越多，金属凝聚剂投加量越少。

以上四种机理，在水处理中往往是同时或交叉作用的，只是在一定情况下以某种机理为主而已。低分子电解质的混凝剂，以双电层作用产生凝集为主；高分子聚合剂则以架桥连接产生絮凝为主。故将低分子电解质称为混凝剂，而把高分子聚合物单独称为絮凝剂。

2）影响混凝效果的因素。在废水的混凝沉淀处理过程中，影响混凝效果的因素比较多。其中重要的有以下几个方面：

①水样的影响。对不同的水样，由于废水中的成分不同，同一种混凝剂的处理效果可能会相差很大。

②药剂投加量的影响。药剂投加量有其最佳值，混凝剂投加量不足，则水中杂质不能充分脱稳去除，加入太多则会再稳定。

③水温的影响。其影响主要表现在：影响药剂在水中起化学反应的速度，尤其对金属盐类混凝剂影响很大，因其水解是吸热反应；影响矾花的形成和质量，水温低时，絮凝体形成缓慢，结构松散，颗粒细小；水温低时水的黏度较大，布朗运动强度减弱，不利于脱稳胶粒相互凝聚，水流剪力也增大，影响絮凝体的成长。

水温主要影响金属盐类的混凝，对高分子混凝剂影响较小。

④碱度的影响。主要指金属盐类，因其混凝过程中水解产生大量 H^+，造成 pH 值下降，以至降到最优混凝条件以下，保持一定碱度则使反应过程中 pH 值基本保持恒定；对于高分子混凝剂，因其作用并非靠大量水解来实现，且水中均会保持一定的碱度，故对其最佳投加量影响不大。

⑤废水 pH 值的影响。对金属盐类，pH 值影响其在水中水解产物的种类和数量，一般在 pH 值为 5.5 ~ 8.0 时有较高脱除率；对人工合成高分子混凝剂，则影响其活性基团的性质。

⑥水力条件的影响。混凝的过程是混凝剂与胶粒发生反应并逐步凝聚在一起的过

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

程，水流紊动过于缓慢，则混凝剂与胶粒反应速度太小，紊动过于激烈，使结成的絮体重新破裂。一般混凝过程分为混合与反应两个阶段，混合阶段大约持续 10～30s，一般不超过 2min，其速度梯度 $G=700\sim1\ 000s^{-1}$，主要是使药剂迅速而均匀地扩散到水中；反应阶段通常为 10～30min，其平均速度梯度值为 $10\sim75s^{-1}$，通常为 $30\sim60s^{-1}$，$G=10^4\sim10^5s^{-1}$，主要是使水中微粒凝聚成矾花并增大而沉淀的过程。

3）混凝剂和助凝剂。混凝剂的品种目前不下几百种，按其化学成分可分为无机和有机两大类。无机盐主要是铝和铁的盐类及其水解聚合物，有机类品种很多，主要是高分子化合物，可分为天然的和人工合成的两部分。

无机混凝剂主要是利用其强水解基团水解形成的微絮体使胶粒脱稳。从 19 世纪末，美国最先将硫酸铝用于给水处理并取得专利后，无机混凝剂以其价格低廉、原料易得等优点得以大量运用。目前常用无机混凝剂的主要品种如表 4-4 所示。

表 4-4　常用无机混凝剂的主要品种

类别	药品名称	化学式
高分子	聚合氯化铝(PAC)	$[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$
	聚合硫酸铝(PAS)	$[Al_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$
	聚合氯化铁(PFC)	$[Fe_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$
	聚合硫酸铁(PFS)	$[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{6-n/2}]_m$
低分子	硫酸铝(AS)	$Al_2(SO_4)_3\cdot nH_2O$
	三氯化铝(AC)	$AlCl_3\cdot6H_2O$
	铵明矾(硫酸铝铵)(AA)	$AlNH_4(SO_4)_2\cdot12H_2O$
	明矾(硫酸铝钾)(KA)	$KAl(SO_4)_2\cdot12H_2O$
	含铁硫酸铝(MICS)	$Al_2(SO_4)_3+Fe_2(SO_4)_3$
	硫酸亚铁	$FeSO_4\cdot7H_2O$
	硫酸铁(FS)	$Fe_2(SO_4)_3\cdot12H_2O$
	氯化铁(FC)	$FeCl_3\cdot nH_2O$
	氯化绿矾	$FeCl_3+Fe_2(SO_4)_3$
	氯化锌(ZC)	$ZnCl_2$
	硫酸锌(ZS)	$ZnSO_4$
	氧化镁	MgO
	碳酸镁	$MgCO_3$
	电解铝	$Al(OH)_3$
	电解铁	$Fe(OH)_3$

有机混凝剂分为天然有机混凝剂和人工合成有机高分子混凝剂。天然有机混凝剂是人类使用较早的混凝剂，不过其用量远少于人工合成有机高分子混凝剂，其原因在于天然高分子混凝剂是荷密度较小，相对分子质量较低，且易发生生物降解而失去絮活性。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

人工合成有机高分子絮凝剂的运用是近三十年的事，但在废水处理中的应用却越来越广泛。人工合成有机高分子絮凝剂都是水溶性聚合物，重复单元中常包含带电基团，因此也被称为聚电解质。包含带电基团的为阳离子型聚电解质，既包含带正电基团又包含带负电基团的为两性型聚电解质。水及废水处理中，使用较多的是阳离子型、阴离子型和非离子型聚电解质。常用的聚电解质如表 4-5 所示。

表 4-5 常用的聚电解质

名 称	离 子 型	说 明
聚丙烯酰胺(PAM)	非	主要非离子絮凝剂品种
聚氧化乙烯(PEO)	非	对某些情况很有效
聚乙烯吡咯酮	非	专用絮凝剂
部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)	阴	主要阴离子絮凝剂品种,均聚物
聚乙烯磺酸盐(PSS)	阴	M 为金属离子,负电性强,电荷对 pH 值不敏感,主要阳离子絮凝剂品种
聚乙烯胺	阴	均聚物,电荷与 pH 值有关
聚羟基丙基-甲基氯化铵	阳	均聚物,电荷与 pH 值有关
聚二甲基二烯丙基氯化铵	阳	均聚物,正电性强,电荷对 pH 值不敏感,主要阳离子絮凝剂品种
聚羟基丙基二甲基氯化铵	阳	均聚物,正电性强,电荷对 pH 值不敏感
聚二甲基铵甲基丙烯酰胺	阳	主要阳离子絮凝剂品种,电荷与 pH 值有关
聚二甲基丙基甲基丙烯酰胺	阳	水解为阳离子丙烯酰胺衍生物

为了提高混凝沉淀效果，通常在使用混凝剂时还加入一些助凝剂，助凝剂有以下两类：

①活化剂。用来改善絮凝体的结构，增加混凝剂的活性，如活性炭、各种黏土及活化硅酸等。活化硅酸是由硅酸钠与硫酸中和并熟化，使硅酸钠转化成硅酸单体，聚合成高分子物质。其优点是：絮凝体形成快，而且粒大、密实，在低温下也能很好凝聚，若将其与硫酸亚铁或硫酸铝合用，凝聚效果更好。

②氧化剂。如氯，用来破坏其他对混凝剂有干扰的有机物质。

4）混凝处理流程及设备。混凝处理流程包括混凝剂投放、混合、反应及沉淀分离几个部分，混凝处理流程如图 4-1 所示。

①混凝剂投放。先把混凝剂配制成一定浓度的溶液，再投入被处理水中。设备有耐酸泵、计量器等。

②混合。混凝剂投入废水中后发生水解反应并产生异电荷胶体，与水中胶体和悬浮物接触，形成细小的矾花，这一过程就是混合，大约在 10 ~ 30s 内完成，一般不超过 2min，对混合的要求是快速和均匀。快速是因混凝剂在废水中发生水解反应的速率很快，需要尽量造成急速扰动以生成大量细小胶体，并不要求生产大颗粒；均匀是为了使

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

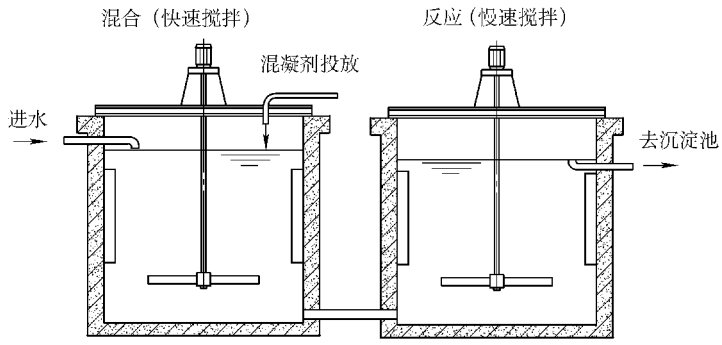


图 4-1　混凝处理流程

化学反应能在废水中各部分得到均衡发展。混合的动力有水力与机械搅拌两类，水力温柔混合有管道式、穿孔板式、涡流式混合槽等。

③反应。混合完成后，水中已产生细小絮体，但还未能达到能自然沉降的颗粒，反应设备的任务就是使小絮体逐渐成长为大絮体。反应设备应有一定的停留时间和适当的搅拌强度，以让小絮体能相互碰撞，产生大的絮体沉淀。搅拌强度过大，会使生成的絮体破碎。反应时间在 20～30min。反应池的型式有隔板折流反应池、涡流式反应池、机械搅拌反应池等。电镀废水用石灰调节 pH 值，有渣沉淀，因此反应池综合几种池型，既设置了隔板，又加了机械搅拌，底部还装了曝气管，不让渣沉积下来。机械搅拌折流式反应池如图 4-2 所示。

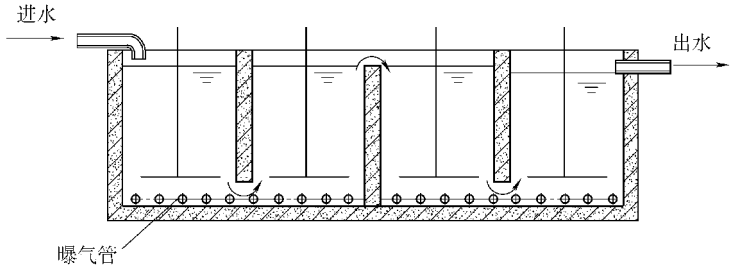


图 4-2　机械搅拌折流式反应池

④沉淀分离。在沉淀池实现分离。大絮体作为污泥沉淀，由专用管道排入污泥浓缩池，上清液进入下道处理工序。

（2）中和法。中和法即去除废水中的酸，使废水 pH 值达到中性左右的方法。它用于调节 pH 值，以适应某处理工序的要求以及达到排放水 pH 值要求。在电镀废水处理工艺中，使用率高，达 6～8 次之多。

在金属分离中，利用其污泥的吸附作用，生成的沉淀物颗粒大，加快了沉淀速度，同时污泥浓度高，含水率低，脱水性能好，并可节省投药量。采用该法要考虑 pH 值控

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制条件和金属离子共存在时相互作用的影响，如 pH 值为 8 ~ 9 时，Zn^{2+}、Cu^{2+}、Cr^{3+} 可完全沉淀，但 Ni^{2+}、Cd^{2+} 沉淀不完全，要把 pH 值调到 10 ~ 11 才能达标。

对于工业企业排出的低浓度的含酸、含碱废水，在无回收价值时，往往采用中和的方法处理，调整 pH 值。中和也即调整 pH 值或调整酸碱度。pH 值为氢离子（H^+）浓度指数的简称，废水含酸或含碱时，表现为 pH 值的降低或升高，废水呈中性时，pH 值等于 7，pH 值小于 7 时，废水呈酸性，pH 值越小，酸性越强；pH 值大于 7 时，废水呈碱性，pH 值越大，碱性越强；pH 值的应用范围在 0 ~ 14 之间。

对酸的体积分数在 4% 以下、碱的体积分数在 2% 以下的废水，如果不能进行经济有效的回收、利用，则调至中性排放，对含酸或含碱浓度高的废水，则必须考虑回收及开展综合利用的方法。

1）酸性废水的中和方法。投加烧碱或纯碱溶液，中和 1kg 酸所需消耗的碱性物质数量如表 4-6 所示。

表 4-6　中和 1kg 酸所需消耗的碱性物质数量　（单位：kg）

酸的种类	CaO	$Ca(OH)_2$	$CaCO_3$	$MgCO_3$	NaOH	Na_2CO_3
硫酸	0.57	0.755	1.02	0.86	0.815	1.03
盐酸	0.77	1.01	1.37	1.15	1.10	1.45
醋酸	0.466	0.616	0.83	0.695	0.666	0.88

注：1. 中和时间要长，如对含有弱酸的废水，选用碳酸盐反应时间很长，如含醋酸废水，适宜选用氢氧化物类碱性物质进行中和。

2. 中和避免生成大量沉渣，否则会影响处理效果，同时又带来沉渣的处理问题，故生成的盐要有一定大小的溶解度。如含盐酸的废水，中和后生成的盐，一般多溶于水，不产生沉淀；含硫酸的废水，如果用石灰中和，则要产生大量的硫酸钙沉淀，因为硫酸钙在水中的溶解度比较小。

2）碱性废水中和方法。投加酸或酸性废水，由于酸性废水水量及 pH 值波动，可设中和池，使操作平稳。

3）中和剂的理论比耗量、实际总耗量及沉渣量计算如下：

①计算中和剂的理论比耗量。根据中和反应方程式来计算，如

$$H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + H_2O + CO_2\uparrow$$

相对分子质量：　98　100　136　18　44

石灰石的理论比耗量 $\alpha = 100/98 = 1.02$

CO_2 的生成量 $A = 44/98 = 0.45$（酸性）

生成的盐量 $B = 136/100 = 1.36$（中和剂）

在酸性废水的中和处理中，由于诸多因素影响中和反应的进行，如硫酸钙沉积阻碍了水中酸和 CO_2 的传质、杂质（如金属离子）影响、反应混合不完全等，使中和剂利用率低，因此用系数 K 来计算实际耗量对理论耗量的比值。用石灰乳中和硫酸时，K 值一般取 1.05 ~ 1.10；以石灰浆中和时，K 值取 1.4 ~ 1.5；中和硝酸、盐酸时，K 值取

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1.05。

②计算实际中和剂总耗量。中和剂中常有杂质，如砂石、黏土等，这些杂质不参与中和反应，在计算中和剂的实际用量时，应注意中和剂的纯度。实际中和剂总耗量可按下式计算：

$$G_a = \frac{KQ(C_1a_1 + C_2a_2)}{\alpha}$$

式中　G_a——药剂总耗量（kg/d）；

Q——酸性废水量（m^3/d）；

C_1——废水含酸浓度（kg/m^3）；

C_2——废水中所需中和的酸性盐浓度（kg/m^3）；

a_1——中和剂理论比耗量，即中和1kg酸所需的碱量（kg/kg）；

a_2——中和1kg酸性盐类所需碱性中和剂量，按照化学计量比计算（kg/kg）；

K——反应不完全系数；

α——中和剂的质量分数（%）。生石灰含60%～80%有效CaO，熟石灰含65%～75%$Ca(OH)_2$；电石渣及废石灰含50%～60%有效CaO；石灰石含90%～95%$CaCO_3$；白云石含45%～50%$CaCO_3$。

③计算沉渣量。沉渣量可根据试验确定，也可以按经验公式计算。

$$G = K_1G_aB + QS$$

式中　G——沉渣量（kg/d）；

G_a——中和剂总耗量（kg/d）；

Q——酸性废水量（m^3/d）；

B——消耗单位中和剂所产生的盐量，用反应方程式计算（kg/kg）；

K_1——修正系数，药剂中含有不溶性杂质的系数，可取1.1～1.2；

S——原水悬浮物浓度（kg/m^3）。

（3）氧化还原法。废水经过氧化还原处理，可使废水中所含的有机、无机有毒物质转变成无毒或毒性不大的物质，从而达到废水处理的目的。这种方法称为氧化还原法。在废水中，若投加剂在反应中作还原剂，称为还原处理法；若投加剂在反应中作氧化剂，称为氧化处理法。氧化还原是一种可逆反应，其过程可写成下列通式：

$$\text{氧化剂} + \text{还原剂} \rightleftharpoons \text{还原剂} + \text{氧化剂}$$

$$(\text{氧化态}1)(\text{还原态}2)(\text{还原态}1)(\text{氧化态}2)$$

由标准氧化还原电位可以判断氧化剂和还原剂的氧化还原能力，氧化还原能力就是指某种物质失去或取得电子的难易程度，可以统一用氧化还原电位作为指标。电极电位$E^{\ominus}$值越大（正值越大），电对中氧化型为氧化剂时氧化能力越强；$E^{\ominus}$值越小（负值越小），电对中还原型为还原剂时还原能力越强。一般用得比较多的氧化剂是Cl_2、O_3等。标准氧化还原电极电位，如表4-7所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-7 标准氧化还原电极电位（25℃时）

序 号	氧化型(氧化剂)	电子数	还原型(还原剂)	电极电位 E^{Θ}/V
1	F_2	$2e^-$	$2F^-$	+2.87
2	O_3+2H^+	$2e^-$	O_2+H_2O	+2.07
3	$H_2O_2+2H^+$	$2e^-$	$2H_2O$	+1.77
4	$MnO_4^-+4H^+$	$3e^-$	MnO_2+2H_2O	+1.695
5	$ClO_3^-+6H^+$	$6e^-$	$Cl^-+3H_2O_2$	+1.45
6	Cl_2	$2e^-$	$2Cl^-$	+1.359
7	$Cr_2O_7^{2-}+14H^+$	$6e^-$	$2Cr^{3+}+7H_2O$	+1.33
8	ClO^-+H_2O	$2e^-$	Cl^-+2OH^-	+0.89
9	Hg^{2+}	$2e^-$	Hg	+0.854
10	Fe^{3+}	e^-	Fe^{2+}	+0.771
11	I_2	$2e^-$	$2I^-$	+0.535 5
12	Cu^{2+}	$2e^-$	Cu	+0.34
13	$2H^+$	$2e^-$	H_2	±0.000
14	Fe^{3+}	$3e^-$	Fe	−0.036
15	Fe^{2+}	$2e^-$	Fe	−0.44
16	S	$2e^-$	S^{2-}	−0.48
17	Cr^{3+}	$3e^-$	Cr	−0.74
18	Zn^{2+}	$2e^-$	Zn	−0.763
19	Mn^{2+}	$2e^-$	Mn	−1.182
20	Al^{3+}	$3e^-$	Al	−1.66
21	Mg^{2+}	$2e^-$	Mg	−2.37
22	Na^+	e^-	Na	−2.714

影响氧化还原反应的因素有溶液的 pH 值、温度、浓度等。溶液的 pH 值决定着溶质的电离强度和存在形式，另外，H^+ 和 OH^- 还起着催化剂的作用，因此，氧化还原反应中要严格控制溶液的 pH 值。

按照氧化还原反应电位序列，每种物质都可以相对地成为另一种物质的氧化剂或还原剂，但在电镀废水处理中，要考虑以下因素来选择适宜的氧化剂或还原剂：

1）能去除废水中的污染物。

2）反应后的生成物应当无害，避免造成二次污染。

3）价格便宜，来源方便。

4）常温下能有较快的反应速度，避免加热。

5）反应时所需 pH 值不要太高或太低。

举例如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

例1：氧化还原法用于含铬废水的处理。一般镀铬清洗水，含六价铬浓度为20～150mg/L，钝化后清洗水含六价铬浓度可高达200～300mg/L，正常清洗水的pH值为4～6。加碱调整pH值，利用硫酸亚铁、亚硫酸盐、二氧化硫等还原剂，将Cr^{6+}还原成Cr^{3+}，使Cr^{3+}形成氢氧化铬沉淀除去。

$$2H_2Cr_2O_7 + 6NaHSO_3 + 3H_2SO_4 = 2Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 8H_2O$$

再调整pH值为7.5～9，Cr^{3+}转为氢氧化铬沉淀。

同时有含铬废水和含氰废水时，可互相进行氧化还原反应，以废治废。

$$Cr_2O_7^{2-} + 6CN^- + 14H^+ = 2Cr^{3+} + 3(CONH_2)_2 + H_2O$$

例2：铁氧体法。以硫酸亚铁为还原剂，使Cr^{6+}还原成Cr^{3+}，加碱使铬和其他重金属离子（以M^n表示）发生共沉淀现象，生成$M \cdot M(OH)_n \cdot Fe(OH)_3$，再通入空气加温，使废水中的各种氢氧化物发生复杂的固相化学反应，形成复合的铁氧体。

$$Cr_2O_7^{2-} + 6Fe^{2+} + 14H^+ = 2Cr^{3+} + 6Fe^{3+} + 7H_2O$$

其优点是硫酸亚铁来源广，价格低，污泥可综合利用，避免产生二次污染，缺点是技术条件较难控制。该法能用于镀硬铬、光亮铬、黑铬、钝化等各种含铬废水的处理。

5. *吸附法*　常用的吸附剂有活性炭、硅藻土、铝矾土、磺化煤、矿渣及树脂等，可吸附木质素、杂环化合物、洗涤剂、合成染料、除锈剂等，能降低COD，使废水脱色，除臭。吸附过程发生在液-固两相面上，由于吸附剂的表面力作用而产生吸附。

由于吸附法的再生成本高，再生效果不好，因此在现代废水处理中，逐渐被MBR膜分离取代。

6. *旋流法*　该法用于特种废水处理。特种废水有以下几种：

（1）焦磷酸盐镀铜废水。焦磷酸盐镀铜溶液的分散能力和覆盖能力都比较好，阴极电流效率也比较高，所以，还有很多单位采用这种工艺，但最大的问题是废水处理困难，因为焦磷酸盐中含有$Cu_2P_2O_7$、$K_4P_2O_7$、柠檬酸盐和添加剂等。

（2）化学镀铜废水。化学镀铜的漂洗水中含有HCHO、酒石酸钾钠、EDTA等。

（3）化学镀镍废水。化学镀镍漂洗水中含有NaH_2PO_2、NaH_2PO_3、CH_3COONa、柠檬酸等。

（4）铜、镍防染盐退镀的废水。防染盐（间硝基苯磺酸钠）和氰化钠用于不合格镀层的退镀，还有一些单位采用。

（5）磷化废水。钢铁件磷化处理的磷化液中，含有一定量的络合剂，这些络合剂和磷结合形成化合物，要使这些废水达到0.5mg/L的浓度要求是很难的。

以上这些废水都含有络合能力很强的络合剂，要达到国家规定的排放标准，用一般物理、化学方法是难以达到的。用GRCO-2型管道旋流式络合物废水处理机可以解决这个问题：提高离子碰撞频率、反应速度，配以相应的处理剂就可以将上述废水达标排放。

第四节　最新电镀废水处理法中的一级处理

传统电镀废水处理工艺就单一的污染物、稳定的水量，还是有效的。但是进入21

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

世纪，经济发展很快，现在的电镀废水也已不是20世纪的电镀废水，电镀品种增多，工艺变化快，镀液中药品复杂，废水含多种污染物，废水处理方式相互影响，而且环境保护要求得越来越严，必控指标种类不断增加，数值不断降价。因此，传统电镀废水处理工艺已不能满足环境保护的要求。随着电镀废水处理工艺的发展，出现了一套新的理论及工艺，这就是电镀废水的三级处理理论，其工艺以金属捕集器、生物技术、膜技术三大块为代表。一级处理——物理化学处理在废水分类、破氰、破铬、去除重金属方面已形成了一套稳定的、成熟的工艺。

一、电镀废水分类

将电镀废水分为含氰废水、综合废水、含油废水，沿三条专用管道流入氰水调节池、综合水调节池、含油废水池，氰水、含油废水在各自的调节池进行预处理后，流入综合水调节池。

二、一级处理——物理化学处理工艺

1. 预处理工艺

（1）含氰废水→氰水调节池→破氰反应池→综合水调节池。

含氰废水的预处理工艺说明：氰化工艺的镀件质量一般比无氰的要好，镀液质量稳定，操作管理也方便，含氰废水的破氰处理并不困难。

1）含氰废水由氰水调节池通过水泵进入破氰反应池，由干粉加药机定量向池中投入TLA电镀废水处理剂（金属捕集器改进型），并投入氢氧化钠或稀硫酸溶液，由pH仪表自动控制池中废水pH值为8.0~8.5。

2）氰水由破氢反应池一自动流入破氰反应池二，通过高速搅拌器，将氢根完全击碎，出水流入综合水调节池。

（2）含油废水→除油池→综合水调节池。

含油废水的预处理工艺说明：通过水泵将油水抽入隔油池，油浮在水面上，经过浮油捕捞器除油，除油后的水流入综合调节池。捕捞油渣在专用的燃烧器中焦化后，倒入普通垃圾箱。

2. 综合水调节池处理工艺

综合调节池→破铬反应池→pH调节池一→混凝池一→沉淀池一→pH调节池二→后续反应池→中间池一→pH调节池三→混凝池二→沉淀池二→中间池二→pH回调池→水解酸化池（厌氧池）→好氧池→沉淀池三→达标排放→回用水系统

↓

至污泥池

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

综合废水处理工艺说明：

（1）综合废水泵送至破铬反应池，投放稀硫酸，用 pH 仪表自动控制 pH 值为 2.5～3.0；同时投放还原剂—焦亚硫酸钠（$Na_2S_2O_5$），用 OPR 仪表控制电位值为 250～300mV，与六价铬进行氧化还原反应，将废水中的六价铬还原为三价铬。

$$Na_2S_2O_5 + H_2O = 2NaHSO_3$$

$$2H_2Cr_2O_7 + 6NaHSO_3 + 3H_2SO_4 = 2Cr_2(SO_4)_3 + 3Na_2SO_4 + 8H_2O$$

要说明的是：硫酸亚铁也可以还原六价铬，出水水质比焦亚硫酸钠好，在六价铬变成三价铬时，二价铁被氧化成三价铁，三价铁是混合废水良性凝聚剂。硫酸亚铁还能处理低浓度含氰废水，但其处理后的水质颜色为红色，不如焦亚硫酸钠处理后的蓝色水质爽目。另外，焦亚硫酸钠产生的污泥量也小于硫酸亚铁。再者，废水的红色及三价铁给后续回用带来难度，所以不采用硫酸亚铁。

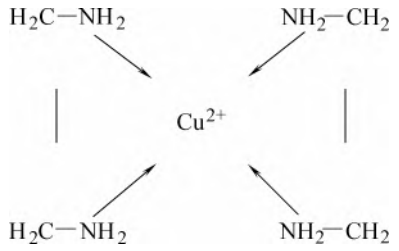
（2）破铬后，废水流入 pH 调节池一，通过 pH 仪表自动控制加碱溶液，以控制废水的 pH 值在 8～9 之间。

（3）废水流入混凝池一，在池中定量加 PMA 溶液（约 4L/m^3）使废水形成大的矾花，然后进入沉淀池一。

（4）沉淀池一的上清液流入 pH 调节池二，在该池中通过干粉加药机定量加入 TLA 电镀废水处理剂，进行螯合环的化学反应，并通过 pH 仪表自动控制加碱溶液，控制废水的 pH 值在 8.0～8.5 之间，出水进入后继反应池。

螯合环的化学反应可表示如下：

“⟶”表示配位键



产物为金属螯合物，选择最佳投放量。试验工艺：定量电镀废水（测定浓度）→调 pH 值→加 TLA 搅拌→加 PAM→搅拌 20min→静止→分离。

（5）控制后继反应池中出口闸门高度，保持后继反应池中液位高度，以便使池中的高速搅拌机能够稳定运行。出水流入中间池一。

（6）通过观察流量计读数，控制中间池一提升泵的流量与综合废水原水提升泵的流量相当，保持水处理的连续性。废水通过水泵泵入 pH 调节池三。

（7）在 pH 调节池三中，通过 pH 仪表控制 pH 值在 9～10 之间，并在池中定量投入 TLA 后，通过机械搅拌与水充分混合反应，以将水中的重金属全部沉淀除去。金属离子去除的最佳 pH 值如表 4-8 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-8 金属离子去除的最佳 pH 值

金 属 离 子	pH 值 范 围	残留浓度/(mg/L)	备 注
Cr^{3+}	7 ~ 9	≤2	pH 值≈9 以上再溶解
Cu^{2+}	7 ~ 14	≤1	
Ni^{2+}	9 以上	≤1	
Zn^{2+}	9 ~ 10.5	≤1	pH 值≈10.5 以上再溶解
Sn^{2+}	5 ~ 8	≤1	
Fe^{3+}	5 ~ 12	≤1	pH 值≈12.5 以上再溶解
Mn^{2+}	10 ~ 12	≤1	pH 值≈12 以上再溶解
Al^{3+}	5.5 ~ 6.5	≤3	pH 值≈6.5 以上再溶解
Cd^{2+}	10.5 以上	≤0.1	

（8）在混凝池二中，定量投加 PAM 溶液，以使水中形成大的矾花，如形成的矾花不够大或沉淀池二的沉淀效果比较差，可在混凝池二适量投加 PAC 溶液，以增强混凝效果。

（9）废水在沉淀池二中进行泥水分离后，上清液流入中间池二中，泵入 pH 回调池，通过 pH 仪表自动控制投加稀硫酸溶液，使废水 pH 值控制在 6.5 ~ 7.5 之间。

（10）pH 回调池的水流入水解酸化池，通过潜水搅拌机将进水与池中微生物混合均匀。

（11）废水从水解酸化池进入好氧池，通过溶解氧仪监控水中的溶解氧浓度，调节进入阀门，控制好氧池中的溶解氧浓度为 3 ~ 4mg/L。

（12）好氧池出水进入沉淀池三，进行固液分离，出水即达到排放标准，可以排放或进入回用水系统。

3. 污泥处理 污泥池→污泥浓缩池→压泥机→存放→由专业化的危险固体废物处理站运走掩埋。

污泥处理工艺说明：

（1）生产中每隔 4h 对沉淀池一进行排泥，生产中每隔 6h 对沉淀池二进行排泥，生产中每隔 8h 对沉淀池三进行排泥，污泥通过管道排污泵泵入污泥浓缩池，用压滤机压去水分，泥饼装入编织袋，暂存于污泥房，由危险固废处理公司定期运走。

（2）每隔 8h 将沉淀池三中的污泥回流到水解酸化池中，以保持水解酸化池中微生物的浓度，如 COD 达标，也可以不用回流。

4. 停机操作

（1）氰水停机操作。停机时先关闭氰水提升泵，然后关闭破氰池出水管蝶阀，2min 后关闭破氰池加碱泵、加酸泵和破氰池干粉机，保持破氰池的液位，继续打开高速搅拌机反应 2h，期间根据搅拌机的搅拌情况调整液位，如液位偏低，可加入适量的自来水，如液位偏高，可打开出水管的碟阀 1 ~ 2 格，放走适量的水，稳定反应 3h 后再

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

关闭破氰池上面所有的搅拌设备。

（2）综合废水停机操作。当综合废水提升泵抽上来的综合废水呈浑浊状时，说明综合废水调节池中的水已快抽完，应立即停止抽水。综合水提升泵停止后，与其联动的设备延时3min后自动停止，停止后将电柜上的选择开关打到停止。停机时，慢慢提升后继反应池的闸门直至完全关闭阀门，使得后继反应池中的高速搅拌机能够稳定运行，保持后继反应池中的高速搅拌机高速搅拌1h后停机。

停机后，检查各个探头是否被污染物包裹，如有则用0.1mol/L的稀盐酸浸泡至污染物除去，再用3mol/L的饱和氯化钾浸泡15min，然后校正，校正如不立即使用，则用盛满氯化钾的保护罩将其罩住，尤其各个加碱点的探头，在停机后一定要将其戴上保护罩，将探头保护住。

5. 药剂配制

（1）0.5‰PAM：在5m^{3}的药池中放入大半池水，打开机械搅拌，边进水边慢慢加入2.5kgPAM固体，通过搅拌将其完全溶解混匀。

（2）5% PAC：在2m^{3}的药罐中加入大半罐水，打开气搅，慢慢加入100kgPAC固体，然后加水灌满药罐，关闭气搅。

（3）5%焦亚硫酸钠：在2m^{3}的药罐中加入大半罐水，打开气搅，慢慢加入100kg焦亚硫酸钠固体，然后加水灌满药罐，关闭气搅。

（4）8%硫酸溶液：在2m^{3}的药罐中加入大半罐水，打开气搅，慢慢倒入80kg浓硫酸，然后加水灌满药罐，关闭气搅。

（5）5%碱溶液：在2m^{3}的药罐中加入大半罐水，打开气搅，慢慢加入100kg氢氧化钠固体，然后加水灌满药罐，关闭气搅。

（6）10%氢氧化钙溶解：在5m^{3}的药池中加入大半池水，打开机械搅拌，慢慢加入500kg氢氧化钙固体，通过搅拌将其完全混合均匀。

（7）TLA：每次干粉加药机中加入2包（25kg/包）。

药剂的浓度控制方法，当污水浓度变化不大时，自动控制能起作用，但污水的浓度是变化的，当变化大时，还是要人工进行加药。工厂里对加药池药剂的浓度控制主要还是凭经验。

（1）PAM在药罐中配好后，操作员看矾花，如矾花小，把阀门开大，加大PAM流量，如加大PAM流量还不行，就要配药剂，往药罐中倒药，加大浓度，用两个指头捏下药剂，能拉成丝即可。

（2）焦亚硫酸钠破六价铬，现场检测，如检测液清澈，就不用动，如发红，就要加大焦亚硫酸钠的浓度。加大焦亚硫酸钠的浓度时开大药管道阀门，如开大药管道阀门破铬效果仍不好，就加大药罐中浓度，看颜色，呈蓝黑色即可，或直接往破铬池中倒药剂。

（3）石灰的投放量如浓度不够，液体下降得很快，即石灰水给抽光了，往池里加石灰，浓度加大后，石灰水抽的速度就会慢下来。

（4）石灰质量的判别。好的石灰提起来轻，料不会往下缩；差的石灰因含渣较多，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一提起来，上半截袋子就空了，石灰缩到下半截袋子里去了。

三、化学镀废水处理

化学镀有许多优点：可以在各种材料上镀覆金属，无论零件多么复杂，凡能接触到溶液的地方都能获得厚度均匀的镀层且镀层致密、孔隙少，不需电源，操作简便，应用已很普遍。化学镀废水主要有前处理废水、工序间清洗水、后处理废水及废液。化学镀主要用于镀镍与镀铜。

1. 化学镀镍废水处理　化学镀镀液使用寿命短，因此化学镀镍废水主要是废弃镀液。镀液成分复杂，有多种络合物，大量还原剂、缓冲剂、光亮剂、硫酸盐，还有贵重的镍盐。处理化学镀镍废水，首先是用电渗析方法，进行镍的回收、再生；其次是废水处理，像含氰废水、含油废水一样，用专用池收集，采用氧化法预处理后，流入综合池。因为含有还原剂——次磷酸钠、亚磷酸钠，除磷难度大，故将在第五章专门讲解。

2. 化学镀铜废水处理　焦磷酸盐镀铜液主要成分是焦磷酸铜和高浓度的焦磷酸钾，其中铜以$[Cu(P_2O_7)_2]^{6-}$配位离子存在，在镀液和清洗水中属于完全溶解状态，焦磷酸盐镀铜液中焦磷酸盐浓度高，溶液呈碱性，溶液黏度相当大，在电镀过程中随工件带出，不仅镀液损耗大，而且造成污物排放量大。清洗水中主要含游离$K_4P_2O_7$及$K_4P_2O_7$与$Cu_2P_2O_7$配位化合物。酸性镀铜清洗回收水中则主要含H_2SO_4、$CuSO_4$。根据反应，$2CuSO_4 + K_4P_2O_7 = Cu_2P_2O_7 + 2K_2SO_4$，如果参与反应的$CuSO_4$量足够，则$K_4P_2O_7$将参与反应，最终生成$Cu_2P_2O_7$沉淀。

化学镀铜废水与化学镀镍废水相似，处理工艺也相同，可与化学镀镍废水同池、同步处理。

四、印制电路板废水处理

印制电路板（PCB）生产是一种非常复杂的综合加工技术，设备和制造工艺科技含量高，工艺流程长，用水量大，要使用不同的化工原料，因此在生产过程中，不同的生产过程产生的废水含有不同的污染物，产污环节多，废水排放量大，既有金属化合物、络合物，又有有机高分子化合物和各种添加剂。

生产工艺简介：各个企业的工艺，具体到各个产品，工艺都会有所不同，但主工艺是一样的。以中国电子集团下属的一家电子厂为例，PCB 有 6 个生产工段，如图 4-3 所示。

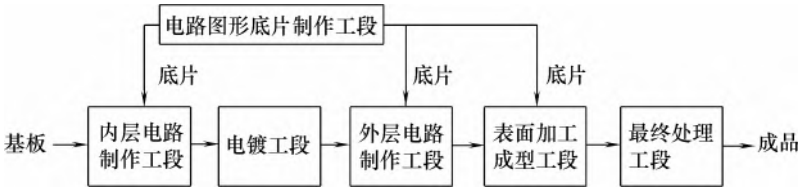


图 4-3　印制电路板工段流程图

1. 电路图形底片制作工段　底片制作工段利用激光直接对底片进行扫描，绘制出客户所需要的各种电路图形，再经曝光显影，定影得到电路图形的照相底片，供内层、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

外层电路制作和表面加工使用。

2. 内层电路制作工段（图 4-4）

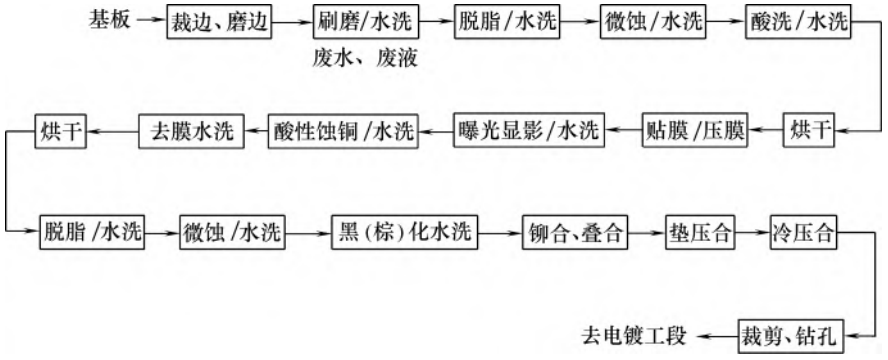


图 4-4　内层电路制作工段

3. 电镀工段（图 4-5）

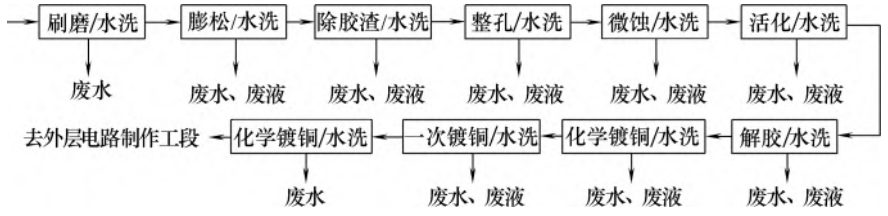


图 4-5　电镀工段

4. 外层电路制作工段（图 4-6）

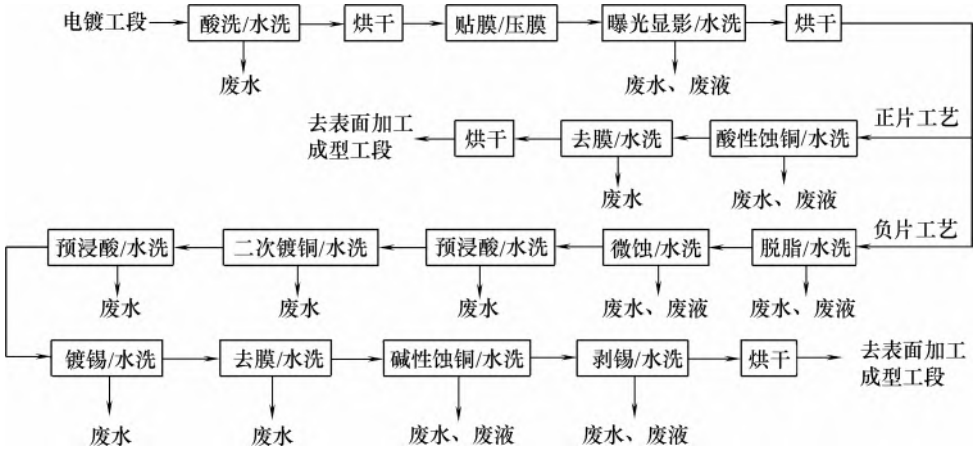


图 4-6　外层电路板制作工段

5. 表面加工成型工段（图 4-7）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

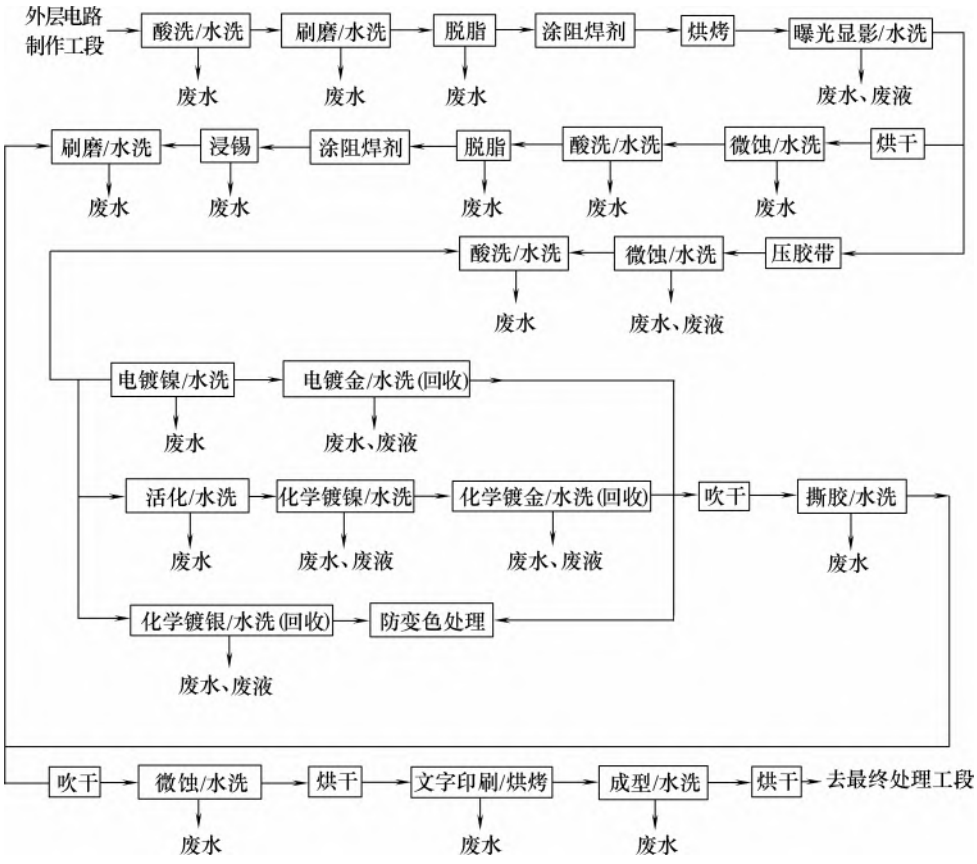


图 4-7 表面加工成型工段

6. 最终处理工段（图 4-8）

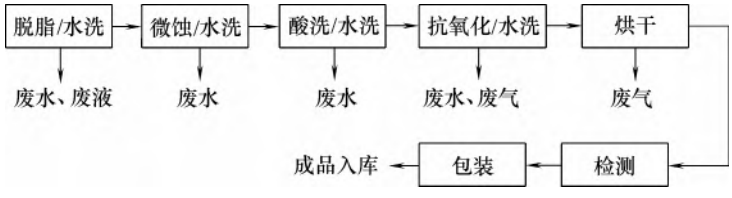


图 4-8 最终处理工段

PCB 的污染物如下。

（1）各工序废水中的污染物主要包括

1）金属。有铜、镍、锡，一部分金属以离子形式存在，另一部分以络合离子的形式存在，这主要来源于刷磨、化学镀铜、酸/碱性蚀铜、化学镀镍等工序。

2）高分子有机化合物。来源于内、外电路板制作工段，曝光显影、除胶渣等工序。

3）低分子有机物。如甲醇、EDTA、酒石酸、油漆、油墨等，主要来源于电镀、涂

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

阻焊剂防变色处理、成型等工序。

4）含金、银废水。主要来源于化学镀金、化学镀银工序。

（2）浓废液主要包括：

1）脱脂剂，磷酸钠、碳酸钠、氢氧化钠的混合液。

2）废显影液。

3）黑化液，主要成分是亚氯酸钠、氢氧化钠。

4）除胶渣母液。

5）化学镀铜、镍废液。

6）废剥锡母液。

（3）其废水可分为脱膜显影废水、含氰废水、含镍废水、络合废水、一般清洗废水、一般有机废水、酸/碱性蚀刻废液。可分为三大类，即含氰废水、综合废水、金银废水。综合废水包括金属、有机物、酸碱、冲洗水、破氢水等。

7. 废水处理方法

（1）传统的方法包括：

1）脱膜显影废液。脱膜显影废液主要为显影、湿膜显影工序产生的含有大量油墨的高浓度 COD 废水，分三级处理，一级为酸析法，利用分流出来的废酸液掺混进行搅拌，在酸性条件下（pH 值为 2.5～3.0），大多数有机污染物可以析出；二级为催化法，将反应池中的废水 pH 值调至 2.5，向池中分别投加 $FeSO_4$ 催化剂、H_2O_2 强氧化剂，反应一定时间后，消化分解废液中的有机物，清液自动流入有机废水调节池进行后续处理。

2）含氰废水。含氰废水主要来自沉金工序的清洗过程。废水主要含有 COD 及重金属与氰形成的络合物（Cu^{2+}、Au^{2+}、CN^-）等污染物，此类废水必须进行破氰处理，可采用碱性氯化法，在碱性条件下，分批投入 NaClO 氧化剂，使络合物中的氰离子释放出来，经过两级反应，使 CN^- 离子生成稳定无毒的 CO_2 和 N_2，从而达到去除 CN^- 的目的。主要反应式如下：

$$CN^- + ClO^- + H_2O = CNCl\uparrow + 2OH^- \tag{1}$$

$$CNCl + 2OH^- = CNO^- + Cl^- + H_2O \tag{2}$$

$$2CNO^- + 3ClO^- + H_2O = 2CO_2\uparrow + N_2\uparrow + 3Cl^- + 2OH^- \tag{3}$$

式（1）、（2）为一级氧化反应，式（3）为二级氧化反应。

式（1）产物氯化氰 CNCl 为易挥发的有毒物质，且在酸性条件下不稳定。式（2）反应需控制 pH 值为 11.0～12.0，OPR = 350mV，反应时间一般在 15min 内。式（3）反应需控制 pH 值为 7.0～7.5，OPR = 650mV，反应时间约为 30min。

3）在碱性条件下采用 Na_2S 沉淀工艺。比较 CuS、$Cu(OH)_2$ 的溶度积，lgKsp(CuS) = 35.2，lgKsp[$Cu(OH)_2$] = 19.66，可见金属硫化物的稳定常数大，易于沉淀，除铜效率高，且适用的值范围大（pH 值为 9.5～11.0）。由于金属硫化物在酸性条件下不稳定，容易产生有毒气体 H_2S，因此反应不能在酸性条件下进行。含氰废水处理后排入综合池。

（2）最新电镀废水处理法——一级处理法。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第五节 最新电镀废水处理法中的二级处理

经过一级处理，即用物理法和化学法，电镀废水尚不能达到排放标准，废水中有大量的有机污染物，如氨氮、油类等，因此要进行二级处理，即用生物处理法进行处理。

自然界的微生物经过驯化后，可用来处理电镀废水。该法与传统的理化工艺相比，最大的长处是在运行过程中，微生物能不断增殖，除了可去除有机物外，还可去除一定的金属离子。

一、生物处理法基本原理

微生物去除有机物净化水质分两步：第一步，将有机物大分子变小分子；第二步，分离沉淀。

第一步：有机物大多是高分子，相对分子质量大，不能水解，因此不能为细菌直接利用，它要先在细胞外酶的作用下分解为小分子，这些小分子的水解产物能够溶解于水，并透过细胞膜为细菌所利用，这个过程就是通过厌氧微生物的作用水解酸化（发酵），从而产出各种有机酸（如乙酸、丙酸、丁酸等）、乳酸、醇类、挥发性脂肪酸、二氧化碳、氢气、氨、硫化氢等，能为细菌利用的物质。

水解是指有机物进入微生物细胞前，在胞外进行的生物化学反应。这一阶段的基本特征是，在细胞外，微生物通过释放胞外自由酶，或连接在细胞外壁上的固定酶进行催化反应，来完成大分子物质的断链。水解和酸化无法截然分开，酸化是典型的发酵过程，水解菌实际上是一种有水解能力的发酵细菌。水解是耗能过程，发酵细菌付出能量进行水解的目的是为了取得进行发酵的水溶性底物，并通过胞内的生化反应取得能源，同时代谢产物。

第二步：好氧池安装着数量相当多的塑料丝球（网），当污水与其流动接触，由厌氧池过来的接种的微生物就会在塑料丝球表面生长，经过一段时间后，塑料丝球上将会生成膜状的纤维缠结结构，称为生物膜。污水与生物膜接触，其中的有机污染物作为营养物质，被生物膜上的微生物所摄取，微生物不断增多，生物膜就不断地增长，随重量和体积的加大，在曝气气流冲击振荡下脱落、沉淀，塑料丝球又产生新的生物膜，再增长、脱落，周而复始，从而使污水得到净化。

各种生物处理法的基本原理都是一样的，都是利用厌氧与好氧两个方式，只是工艺不同而已。

二、生物处理法优点

（1）处理方法简便，控制简单只需控制一个参数，即保证含菌水过量。

（2）污泥量少，二次污染明显减少。

（3）微生物具有来源广、易培养、繁殖快、对环境适应性强、易变异等特征，在生产上较易采集菌种进行培养增殖，并在特定条件下进行驯化，使之适应有毒工业废水的水质条件，从而通过微生物的新陈代谢，使有机物无机化，有毒物质无害化。

（4）微生物生存条件温和，新陈代谢过程不需要高温高压，不需投加催化剂和进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

行催化反应，比化学法优越，废水处理费用低廉。

三、生物处理中微生物特性

1. *常见的微生物*　常见的微生物有细菌、真菌、原生动物、后生动物。

（1）细菌。细菌是微小的单细胞生物，按其外形可分为球菌、杆菌和弧菌三种类型。球菌的直径一般为0.5～2μm，杆菌和弧菌一般长1～5μm、宽0.5～1μm。在活性污泥中，除一般的细菌外，还存在一些较高等的细菌，如单细胞的放线菌、由许多细胞连接成的丝状菌，比较重要的高等细菌有球衣菌、硫丝菌等丝状细菌。

（2）真菌。真菌具有单细胞和多细胞两种形态。单细胞真菌多呈圆形或椭圆形，常见的有酵母菌；多细胞真菌呈丝状，分枝交织成团，统称霉菌。霉菌细胞比细菌细胞大得多，其菌丝肉眼能观察到，如灰白的棉花丝，附着于沟渠或池壁上，在生物膜内，真菌形成大的网状组织，是结合生活膜的一种材料，在活性污泥中，大量霉菌的生长繁殖会引起污泥膨胀。

（3）原生动物。在生物处理中，主要的原生动物有肉足虫类、鞭毛虫类、纤毛虫类等，其中以纤毛虫类原生动物与废水处理的关系最为密切，因为它爱吃细菌和有机物。纤毛虫类按其运动方式可分为游泳型和固着型两种，正常的活性污泥以固着型纤毛虫为主，如钟虫、盖纤虫等，此时活性污泥生长良好，净化效果也较好。根据各种属原生动物在活性污泥中的数量，可以判断活性污泥状态的好坏。

（4）后生动物。又称多细胞动物，主要有轮虫、线虫等。轮虫以吞食有机物颗粒、细菌、藻类以及细小的原生动物为主，要求较高的溶解氧，所以轮虫常在有机物含量较低的水中出现，表明废水处理的效果较好。活性污泥中线虫很多，无净化能力，其出现表明污泥已培养成熟。

在正常运转的废水生物处理系统中，始终存在着一个由细菌、原生动物、后生动物等多种微生物组成的生态系统。

2. *微生物的新陈代谢*　微生物在生命活动过程中，不断地从外界环境中摄取营养物质，通过复杂的酶催化反应将其加以利用，提供能量并合成新的生命体，同时又不断向外界环境排泄废物。这种为了维持生命活动过程与繁殖下一代而进行的各种化学变化称为新陈代谢。各种生物的生命活动，如生长、繁殖、遗传及变异，都需要通过新陈代谢来实现。根据能量的吸收与释放，可将代谢分为分解代谢（或称异化作用）和合成代谢。在分解代谢过程中，结构复杂的高分子有机物或高分子化合物分解为简单的低分子物质或低能物质，如 CO_2 和 H_2O 等，逐级释放出其固有的自由能——氢，微生物将这些自由能转变为三磷酸腺苷（ATP），以结合能的形式贮存起来。在合成代谢过程中，微生物将从外界摄取的营养物质，通过一系列生化反应合成新的细胞物质，生物体合成所需的能量从ATP的磷酸盐的键能中获得。在微生物的生命活动过程中，这两种代谢过程不是单独进行的，而是相互依赖、共同进行的。分解代谢为合成代谢提供物质基础和能量来源，通过合成代谢又使生物体不断增加，两者密切配合，推动了一切生物的生命活动。微生物的新陈代谢体系，如图4-9所示。

3. *酶及酶反应*　微生物与水中有机物作用时，一切化学反应都是在酶的催化条件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下才能进行。酶是由活细胞产生的能，在生物体内和生物体外起催化作用的生物催化剂。酶具有一般无机催化剂所共有的特点，更具其特殊性，主要表现在以下几个方面：

（1）催化效率高。对于同一反应，酶比一般化学催化剂的催化速度高 $10^6 \sim 10^{13}$ 倍。例如，1mol 铁每秒仅能催化 10^{-5}mol 的过氧化氢分解，而 1mol 过氧化氢酶每秒可催化分解 10^5mol 的过氧化氢，使反应速度提高了 10^{10} 倍。酶催化的高效性还表现用极少量酶就可使大量反应物转化为产物。

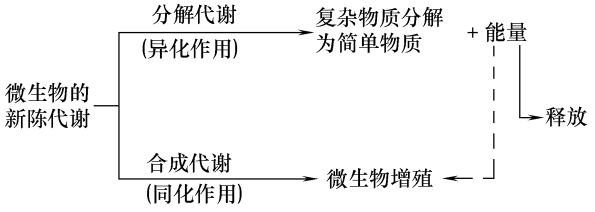


图 4-9 微生物的新陈代谢体系

（2）酶的活性大小与环境条件密切有关，迄今为止，已知所有酶的化学组成与一般蛋白质并没有不同，它与蛋白质一样，在高温、高压、强酸、强碱、重金属离子、紫外线以及高强辐射等条件下，都会因蛋白质变性而降低酶的催化活力，甚至使活力消失。因此，对废水条件适当地加以控制条件，以维持酶具有最高的活力。

（3）有些物质如镁离子及钾离子等，对酶有激活作用，称为酶的激活剂，可以提高酶的活性。还有些物质，特别是一些重金属离子能降低酶的属性，称为酶的抑制剂，或称酶中毒，氰化物也是抑制剂的一种，所以对于氰化物废水，不宜采用生物化进行处理。

（4）酶的专一性。酶对其所作用的物质，即底物有着严格的选择性。一种酶只能作用于一些结构极其相似的化合物，甚至只能作用于一种化合物而发生化学反应。所以处理不同性质的水，微生物必须进行筛选和驯化，分别加以利用。

（5）酶的活性还受废水中有机物浓度的影响，浓度提高，活性也增加，但是浓度提到一定程度之后，由于酶已和有机物结合，故浓度升高，反应速率反而下降。一般用生物法处理高浓度废水时，应先进行适当的稀释。

根据酶的这些特性，废水需要具备一定的条件，才能采用生物法进行处理。

4. *微生物的生长* 废水处理的过程实际上可以看作是一种微生物的连续培养过程，即废水中的营养物，不断地给微生物供给食物，使微生物数量不断增加。微生物的生长规律可用微生物生长曲线来描述，表示微生物在不同培养环境下的生长情况及微生物的整个生长过程。按其生长速度的不同，生长曲线可划分为四个生长期，如图 4-10 所示。

（1）适应期。适应期是微生物培养的最初阶段。在这个阶段，微生物刚接入新的培养液中，对新的环境有一个适应过程，微生物的基本数量不增加，生长速度接近于零，这一时期是微生物的培养驯化期，能适应的微生物生存下来，不能适应的微生物被淘汰，此时可能出现微生物减少的情况。

（2）对数期。微生物的代谢活动经调整，适应了新的环境，在营养物质较丰富的条件下，微生物的生长繁殖不受底物的限制，微生物的生长速度达到最大值，细菌数量以几何级数的速度增加，称对数生长期或等速生长期。增长速度的大小取决于微生物本

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

身的世代时间及利用底物的能力，即取决于微生物自身的生理机能。

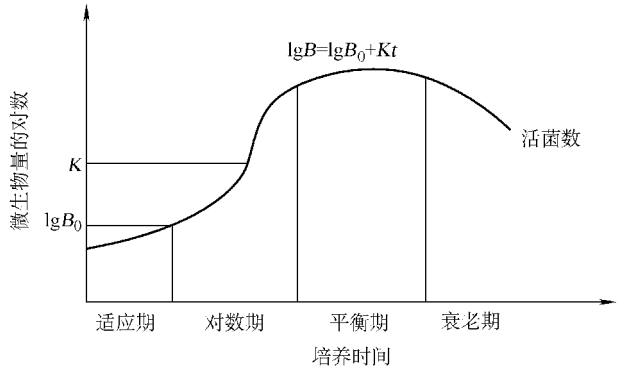


图 4-10　微生物四个生长期

（3）平衡期。由于微生物的大量繁殖，消耗了大量的有机物，培养液中的底物被逐渐消耗，加上代谢产物的不断积累，造成了不利于微生物生长的食物条件和环境条件，微生物的生长受到了抑制，生产速度减慢，死亡的速度逐渐加快，使微生物的数量趋于稳定。

（4）衰老期。衰老期也称内源代谢期。经平衡期后，培养液中的营养物质近于耗尽，微生物只能利用体内贮存的物质或以死细菌作为养分进行内源呼吸，维持生命。由于内源代谢造成的细胞死亡速率超过新细胞的增长速率，使微生物的数量急剧减少，生长曲线显著下降。

5. *微生物生长的影响因素*　废水生物处理是以废水中所含的污染物作为营养源，利用微生物的代谢作用使污染物被降解，废水得以净化。显然，如果废水中的污染物不能被微生物降解，则生物处理是无效的。当废水突然进入有毒物质，或环境条件突然发生变化，超过微生物的承受限度时，将会对微生物产生抑制或毒害作用，使系统的运行遭到严重破坏。因此，生物处理对水质的要求有以下几个方面：

（1）pH 值。在废水处理过程中，好氧生物处理，pH 值可保持在 6～9 之间，厌氧生物处理，pH 值可保持在 6.5～8 之间。

（2）温度。温度过高，微生物会死亡，温度过低，微生物的新陈代谢作用将变得缓慢，活力受到抑制，水温控制在 10～40℃之间。

（3）水中的营养物及其毒物。微生物的生长、繁殖需要多种营养物质，其中包括碳源、氮源、无机盐类等。废水中的有毒物质具有抑制和毒害作用的化学物质，使细菌细胞的正常结构遭到破坏以及使细菌体内的酶变质，并失去活性。有毒物质对微生物产生有毒作用有一个量的概念，即达到一定浓度时才显出毒性，在允许浓度以内，微生物可以承受。对生物处理来说，废水中存在的毒物允许浓度还没有一个统一资料，表 4-9 数据仅供参考，微生物驯化后，毒物最高允许浓度可以适当提高。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 4-9 废水生物处理中有毒物质允许浓度

毒物名称	允许浓度/(mg/L)	毒物名称	允许浓度/(mg/L)	毒物名称	允许浓度/(mg/L)
六价铬	2～5	锌	5～20	氰化钾	8～9
三价铬	10	铁	100	油脂	30～50
铜	5～10	铅	1	硫化物(以S计)	10～30
镍	10	CN^-	5～20		

(4) 氧气。好氧微生物在降解有机物的代谢过程中以分子氧作为受氧体，如果分子氧不足，降解过程就会因没有受氧体而无法进行，微生物的正常生长规律就会受到影响，甚至被破坏。所以在好氧生物处理的反应过程中，一般需从外界供氧，溶解氧浓度维持在2～4mg/L为宜。

厌氧微生物对氧气很敏感，当有氧存在时，它们就无法生长。这是因为有氧存在的环境中，厌氧微生物在代谢过程中由脱氢酶所活化的氢将会与氧结合形成 H_2O_2，而厌氧微生物缺乏分解 H_2O_2 的酶，从而形成 H_2O_2 积累，对微生物细胞产生毒害作用。所以厌氧处理设备要隔绝空气。

(5) 有机物的浓度。进水有机物的浓度高，将增加生物反应所需的氧量，往往由于水中含氧量不足造成缺氧，影响生物处理效果。但进水有机物的浓度太低，容易造成养料不够，缺乏营养也使处理效果受到影响，一般进水 BOD_5 值以不超过1 000mg/L，不低于100mg/L为宜。

四、厌氧法处理原理

废水厌氧生物处理是指在无需提供氧气的情况下，通过厌氧微生物（包括兼氧微生物）的作用，将废水中的各种复杂有机物分解转化成二氧化碳和甲烷等物质的过程。这个过程有三个阶段：第一阶段水解酸化阶段，第二阶段产氢产乙酸阶段，第三阶段产甲烷阶段，这三个阶段是同时进行的。处理电镀废水利用厌氧法的低成本废水技术，不必要到第三阶段，只到用水解酸化阶段就可以了，因此厌氧池又叫水解酸化池。

(1) 水解（酸化）工艺原理与特征。高分子有机物因相对分子质量大，不能水解，因此不能为细菌直接利用，它要先在细胞外酶的作用下分解为小分子，这些小分子的水解产物能够溶解于水，并透过细胞膜为细菌所利用，这个过程包括一些悬浮有机物的水解液化和大分子有机物转化为小分子有机物的过程。

1）酸化（发酵）。已产生的小分子有机物在发酵细腻细胞内转化为更简单的化合物，并分泌到细胞外，这一步的主要产物有挥发性脂肪酸、醇类、乳酸、二氧化碳、氢气、氨、硫化氢等，并从这一步转为好氧工艺，至于酸化后产生甲烷气体就不是我们关心的问题了。

2）水解。水解是指有机物（底物）进入微生物细胞前，在胞外进行的生物化学反应。细胞外微生物通过释放胞外自由酶或连接在细胞外壁上的固定酶来完成生物催化反应，生物催化反应主要表现为大分子物质的断链和水溶酸化，是一类典型的发酵过程，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这一阶段的基本特征是微生物的代谢产物主要为各种有机酸（如乙酸、丙酸、丁酸等）。在厌氧条件下的混合微生物系统中，即使严格地控制条件，水解和酸化也无法截然分开，这是因为水解菌实际上是一种有水解能力的发酵细菌。水解是耗能过程，发酵细菌付出能量进行水解的目的是为了取得进行发酵的水溶性底物，并通过胞内的生化反应取得能源，同时挑出代谢产物（厌氧条件下主要为各种有机酸）。

（2）影响水解（酸化）过程的重要因素：

1）pH 值，最佳为 5.5 ~ 6.5。

2）水温。

3）底物的种类和形态。

4）COD 浓度越大，水解速度就越大。

5）同类有机物，相对分子质量越大，水解越困难。

6）水力停留时间越久，水解效率也就高，最佳水力停留时间通过试验确定。

厌氧系统中有毒物质会不同程度地对过程产生抑制作用，重金属被认为是最普遍及最主要的元素，它通过与微生物酶中的巯基、氨基、羧基等相结合，使酶失活，或者通过金属氢氧化物凝聚作用使酶沉淀，其影响按 Cr > Cu > Zn > Ni 递减。

五、好氧法处理原理

好氧法有活性污泥法与生物膜法，这里仅介绍电镀废水处理广泛使用的生物膜法。在生物膜处理系统中，安装着数量相当多的塑料丝球或塑料网，当污水与其流动接触，由厌氧池过来的接种的微生物就会在塑料介质表面生长，经过一段时间后，塑料丝球或网上将会生成膜状的纤维缠结结构，称为生物膜。污水与生物膜接触，污水中的有机污染物作为营养物质，被生物膜上的微生物摄取，生物膜不断地增长、更新、脱落，从而使污水得到净化。

（1）生物膜法的主要特点：

1）适应冲击负荷变化能力强。微生物固着于塑料丝球表面，对污水水量变化引起的冲击负荷适应能力强，即使短时间工艺波动，其性能也不会受致命影响，恢复起来较快，适合处理高浓度难降解的工业废水。

2）反应池内微生物浓度高。微生物量大，处理能力大，不用建污泥回流系统，不会出现污泥膨胀现象，能保证出水悬浮物含量低。

3）剩余污泥量低。生物膜中存在较高营养水平的原生动物和后生动物，食物链较长，有机物代谢时较多的营养转换为能量，特别是生物膜较厚时，里侧深部的厌氧菌能降低好氧过程中合成的污泥，因此剩余污泥量低。

4）同时存在硝化和反硝化过程。由于微生物固着于丝球表面，生物固体停留时间与水力停留时间无关，从而为增殖速度较慢的微生物提供了生产繁殖的可能性。因此生物膜法中的生物相更为丰富，且沿水流方向，膜中微生物种群分布具有一定规律性，固定生长的微生物使硝化菌和反硝化菌各有其适合生产的环境，因此，生物膜反应池内也会同时存在硝化和反硝化过程。这对脱氮除磷有重要的作用。

5）操作管理简单、运行费用低。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6）生物膜法的缺点：调整运行的灵活性差；对生活物中微生物的数量、活性等指标的检测方式较少，仅用显微镜观察微生物种类及数量。因此，生物膜出现问题后，不容易被发现。

（2）生物膜法采用曝气生物滤池与之相配。生物膜法是好氧法，运行中需要氧气，膜的脱落需要搅动，因此要采用曝气工艺方法。

1）曝气生物滤池的结构与处理过程。曝气生物滤池底部设置曝气用的空气管道及空气扩散装置，被处理的废水从池上部进入池体，通过由微生物栖息形成的生物膜，由池下部进行曝气，空气上升，与下流的废水相向接触，空气中的氧转移到废水中，向生物膜上的微生物提供充足的溶解氧和丰富的有机物，在微生物的新陈代谢作用下，有机污染物被降解，废水得到处理。

2）曝气生物滤池具有以下特征：

①曝气向微生物提供其所需要的氧，并起到搅拌与混合的作用。

②生物膜上能形成稳定的生态系统与食物链。

③生物膜表面不断地被曝气吹脱，有利于保持生物膜的活性，抑制厌氧膜的增殖。

④池内能够保持大量的生物量，废水处理效果好。

⑤对冲击负荷有较强的适应能力，在间歇运行条件下，仍能保持良好的处理功能。

⑥无需污泥回流，也无污泥膨胀现象，污泥生成量少，颗粒粗大，易于沉淀。

⑦除有效地去除有机污染物外，运行得当，还能用以脱氨氮。

⑧缺点：布气曝气不易均匀，工作时间长时气管、曝气头会堵塞。

3）生物滤池的有关参数如表 4-10 所示。

表 4-10　生物滤池的有关参数

特　　征	尺寸/mm （长×宽×高）	4×4×4
运行	过滤速率/[m^3/(m^2·h)]	2～8
	曝气强度/[m^3/(m^2·h)]	4～15
	BOD_5 负荷/[kg/(m^3·d)]	4～7
	硝化量(NH_3-N)/[kg/(m^3·d)]	0.1～2
	反硝化量(NH_3-N)/[kg/(m^3·d)]	0.8～5

①有机物去除率可达 48%，有机物容积负荷越高，出水有机物浓度也越高。

②需氧量。曝气生物滤池中的需氧量 OR 可用下式计算：

$$OR = 0.82 \times \Delta BOD_s / BOD + 0.32 \times X_0 / BOD$$

式中　ΔBOD_s——去除的可溶性 BOD 浓度（mg/L）；

X_0——进水悬浮物浓度（mg/L）；

OR——单位质量的 BOD 所需氧量（kg/kg）。

在试验中，$\Delta BOD_s / BOD = 0.2$　$X_0 / BOD = 0.3$

得出　$OR = 0.58 kg/kg$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

据试验结果统计：OR 取值范围为 0.42～0.8，平均为 0.51。

此数值仅供设计时参考，运行时以实测的溶氧量为准，并以溶氧量来控制曝气量，溶氧量高，空气压缩机转速调低，减小曝气量；溶氧量低，空气压缩机转速调高，增大曝气量。

4）工艺流程。4 座接触氧化池连续串接，形成污染物浓度差，各池的微生物都适应各自的水质条件，有利于提高处理效果，取得稳定的处理水质。

5）建造。接触氧化池由池体、塑料球（俗称填料）、支架及曝气装置、进出水装置以及排泥管道等组成，好氧池如图 4-11 所示，塑料球如图 4-12 所示。

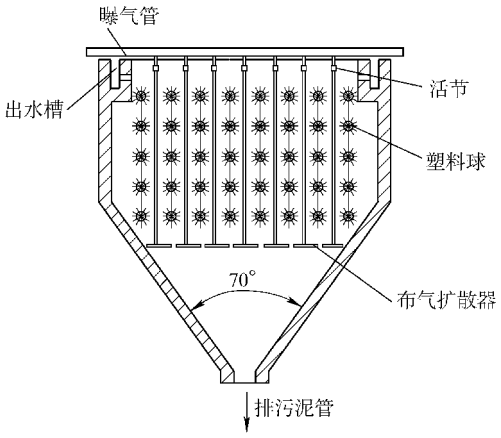


图 4-11　好氧池

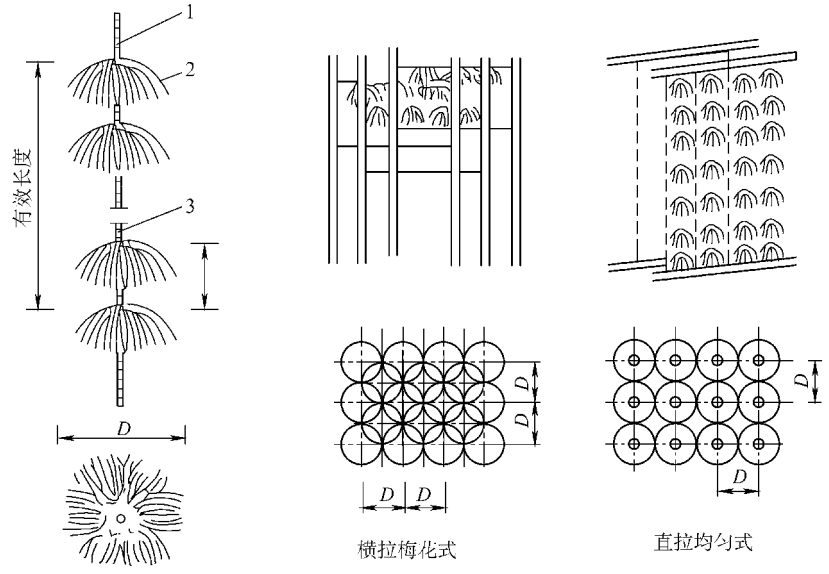


图 4-12　塑料球

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

①池体用钢筋混凝土浇灌而成，方形，填料高度 3.0 ~ 3.5m，布气层高 0.6 ~ 0.7m，顶部稳定水层 0.5 ~ 0.6m，总高度 4.5 ~ 5.0m。

②塑料球要求比表面积大，空隙率高，水流通畅，阻力小，流速均匀；有一定的生物膜附着性，外观形状应当是形状规则，尺寸均一，表面粗糙度较大；化学与生物稳定性强，经久耐用，不溶出有害物质，不导致产生二次污染；便宜，便于安装、运输。

③在形式上采用直流式，在塑料球底部曝气，在塑料球上产生向上的水流，生物膜受到气流的冲击、搅动，易于脱落更新，使生物膜保持较高的活性，能避免堵塞现象的产生。此外，上升气流不断地与填料撞击，增加了气泡与污水的接触面积，提高了氧的转移率。

④设计与计算还应考虑其他一些问题。

a）按平均日废水量进行计算。

b）溶氧含量一般应维持在 2 ~ 4mg/L 之间，气水比约为（15 ~ 20）∶1。

c）保证布水均匀，每池面积在 25m^2 以内，污水在池内的接触时间不得少于 2h，塑料球体积可按 BOD-容积负荷计算，也可按接触时间计算。

（3）生物膜的培养与驯化。使具有代谢活性的微生物污泥在生物处理系统中的塑料球上固着生长的过程称为挂膜，挂膜也就是生物膜处理系统膜状污泥的培养和驯化过程。废水一般通过预先培养和驯化相应的活性污泥，然后再投加到生物膜处理系统中进行挂膜，先投配 20% 的废水，经分析进出厂的水质，生物膜具有一定处理效果后，再逐步加大废水比例，直到全部是废水。

注意事项如下：

1）当水中出现亚硝酸盐时，表明生物膜上硝化过程已开始（氮化物氧化），当出水中亚硝酸下降，并出现大量硝酸盐时，表明硝化菌在生物膜上已占优势，挂膜工作宣布结束。

2）进水要有合适的营养、温度、pH 值，尤其是氮、磷等营养元素的数量必须充足（可按进水 COD∶N∶P = 100∶5∶1 计算），同时避免毒物的大量进入。

3）在挂膜期间，由于刚刚长成的生物膜适应能力较差，往往会出现膜状污泥大量脱落的现象，这是正常的。

4）要控制生物膜的厚度保持在 2mm 左右，不使厌氧层过分增长，通过调整水力负荷（改变回流水量）等形式使生物膜的脱落均衡进行，同时随时进行镜检，观测生物膜生物相种类和数量变化情况。

（4）生物膜法的运行管理。生物膜系统微生物的特点如下：

1）好氧菌和兼性好氧菌的比例高。生物膜外表为好氧菌，中间是兼性好氧菌，内层则呈厌氧状态。好氧表层有动胶菌、芽孢杆菌；兼性好氧层有假单胞菌、产碱杆菌、大肠杆菌等；厌氧层有脱硫孤菌。

2）在生物膜上往往能看到不少丝状微生物，如球衣菌、贝氏硫菌、发硫菌，有很强的降解有机物的能力，其黏附于填料上生长。

3）存在较高等的微型动物，食物链较长。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）成层分布。不同的生物出现在其要求的狭窄的COD范围内：水质最浓、耐高负荷的菌胶团占优势；随着水中有机物浓度的下降，会有丝状菌、鞭毛虫、变形虫类、游动型纤毛虫类原生动物；浓度再下降，出现大量钟虫类、轮虫、线虫等多细胞后生动物。

5）要注意的问题包括：

①防止生物膜生长过厚。生物滤池负荷过高，生物膜增长过多过厚，内部厌氧层随之增厚，可发生硫酸盐还原、污泥发黑发臭，微生物活性降低，大块黏厚的生物膜脱落，并使填料局部堵塞，造成布水不匀，出水水质下降，这时要加大回流量，冲脱过厚的生物膜，或将池两两串联，交替进水。

②维持较高的溶氧量。

③减少出水悬浮物。

④废水的营养要足以维持细菌的存活与生长，停机时可适当加些面粉等营养物。

⑤布水系统应定期检查，清除喷口污物，防止堵塞，好氧池一般不会有味道，若有皮蛋味，表明有厌氧条件存在。

第六节　工 艺 调 试

工艺调试是废水厂投产前的一项重要工作，其重要性有以下几方面：

（1）发现并解决设备、设施、控制、工艺等方面出现的问题，使废水厂投入正常运行。

（2）实现工艺设计目标，即出水各项指标达到设计要求。

（3）确定符合实际进水水量和水质的各项控制参数。

（4）在出水水质达到设计要求的前提下，尽可能地降低运行成本。

调试方法如下：

一、准备工作

1. 人员准备　工艺、化验、设备、自控、仪表等岗位，接受过培训的人员到位。

2. 调试前准备

（1）各种资料如工艺设计图及说明、自控说明、仪表和设备说明书尽可能收集齐全。

（2）化验室仪器、器皿、药品备齐，以便开展水质分析。

（3）检查各构筑物及其附属设施尺寸、标高是否与设计相符，管道及构筑物中有无堵塞物。

（4）检查总电源及各设备供电是否正常。

（5）检查设备能否开机，各种闸、阀能否正常开启和关闭。

（6）检查仪表及控制系统是否正常。

（7）检查、维修工具是否齐全，常用易损件有无准备。

（8）检查药品是否备全。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、带负荷试车

开启水处理设置管道中的所有阀门，启动进水泵送水，根据各构筑物进水情况，沿工艺流程适时启动其他设备，在此过程中应做好以下几方面工作：

（1）检查进线总电流是否符合要求，变配电设备工作是否正常，各种设备工作情况是否正常以及能否满足设计要求，仪器仪表工作是否正常，自控系统能否满足设计要求。

（2）用容积法校核进出水流量计是否准确，检测进水水质，测量流速。

（3）编写设备操作规程。

（4）及时解决试车中发现的问题。

三、微生物驯化

在水质正常的情况下，使微生物能适应现有水质，有用的原生微生物逐步由少到多，并产生后生微生物，形成生物膜。到一定量时，开始连续进水。

四、工艺控制参数的确定

设计中的工艺控制参数是在预测的水量、水质条件下确定的，而实际投入运行时其水量、水质与设计有较大的差异。因此，必须根据实际水量、水质情况来确定合适的工艺控制参数，以保证运行的正常进行和使出水水质达标，同时尽可能降低能耗。

工艺参数的内容如下：

（1）确定综合水进水量。

（2）水质状况好，闸阀可开高一些，加快处理速度，否则则开低一些。

（3）观察矾花、金属离子浓度等情况，来决定破氰池、破铬池、快混池等加药量。

（4）根据铜、镍含量决定厌氧池能否进水及其进水量。

（5）当原水水质波动时，要随时注意调整各参数，以保证出水水质达标。

第七节　运行中存在的问题及解决办法

运行中常会出现一些问题，给清洁生产带来影响，如排放口泡沫多；浓废液违反规定排入废水管道；沉淀池沉淀物多，造成铜、镍超标等，分别阐述如下：

1. 泡沫多　破氰池、排放口等处，有时泡沫很多，堆起可达 0.5m 高，影响工序正常进行，破坏了清洁生产。泡沫的产生是由于气体进入溶液，被液膜包围形成气泡，若无表面活性剂，气泡会很快上升、破灭，当有表面活性剂存在时，液膜中的双亲分子以憎水基伸向泡内，亲水基伸向溶液，这种单分子膜由于降低了表面张力而成为热力学稳定状态，又由于表面活性剂的解离，使液膜带有电荷，从而阻止气泡碰撞变大。采用搅拌，改变温度、压力条件，用中水喷射，降低 COD，以及将沉渣泛起等方法都可以消泡。消泡剂是不提倡使用的，一来增加成本，二来极可能带来副作用。

2. 浓废液违反规定排入废水管道　浓废液中的 COD、六价铬及金属的浓度很高，可达到 1 200 ~ 30 000mg/L。正常时废水中铜、镍浓度小于 200mg/L，一般不超过 300mg/L，如超过了这个界线，则超出了工艺处理能力。遇到这种情况，可采取两个措

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

施，一是减少进水量，即相对加大了用药量；二是与池中贮存的低浓度水混合，即常备有几百立方米的达标水，用来稀释洗槽水、废液，降低其浓度。浓废液一定要单独回收处理，或是流入专用池内，慢慢少量地排入综合废水池，才能保证排放水稳定达标。

3. 沉淀池污泥排不尽　大多数工业园区的沉淀池用的是重力排泥法，为节省投资，都没有安装刮泥机，可插临时曝气管，用曝气的方法来处理四角污泥排不净的问题。

4. 金属超标　金属超标要作分析，第一种情况是浓废液排下，每年电镀厂都有废液、洗槽水浓度很高，混入综合水中排下，超出了破铬池、沉淀池的处理能力，这种情况按上述办法处理；第二种情况是沉淀池太小，沉淀深度不够，悬浮在上清液中，这种情况要对沉淀池进行改造或调整；第三种情况是形成络合物，絮凝剂不起作用，这种情况要加 NaClO 破除后再沉淀。

5. COD 超标　COD 超标是生物处理发生了故障，要查明其原因，增加有效生物的数量，即可解决这个问题。尤其要注意，铜、镍浓度要降到 5 ~ 10mg/L 以下时，才可进生物处理池，否则会毒死微生物，使 COD 超标。

6. 泵经常堵塞　泵经常堵塞，一是因为没有设置栅栏，或栅栏设置不当，这个问题很容易解决；二是用石灰调节 pH 值时渣比较多，这种情况要经常用中水反冲管道，进行疏通。

7. 运行成本控制不当　运行成本控制不当明显地表现在曝气量失控，即电费失控，这要进行技术改造，用溶氧量控制罗茨风机的转速；另外是水质、水量与用药量的协调一致，这反应总体设计是否妥当，要加强管理，认真分析水质、水量数据，根据数据的变化，及时调整用药量。

8. 磷浓度超标　磷浓度超标见第五章，电镀废水的除磷。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第五章　电镀废水的除磷

国家对磷的排放指标定为0.5mg/L，要求很高，各种除磷工艺及药剂在杂志、书刊上介绍得都不少，但是目前几乎没有电镀污水厂能达到该指标，一是因为电镀废水中的磷以多种磷酸盐的形式存在，不但有正磷酸盐，还有一氢磷酸盐、二氢磷酸盐、有机磷等；二是因为溶解与沉淀是双向进行的，在沉淀的同时，磷酸盐又重新溶于液体中；三是形成了络合物。因此，要去除它们，仅用一种方法是不行的。本章专门介绍实用的去磷技术，从根本上说，即从磷→磷酸→磷酸盐依次分析，最后介绍用生物法和化学法去磷的技术。膜法也能去磷，但成本高，无法用于工业化生产。

第一节　磷、磷酸、磷酸盐

一、磷

原子序数：15，第三周期，第15族（VA氮族）

元素符号：P

元素相对原子质量：30.97

晶体结构：晶胞为简单立方晶胞

原子体积（cm^3/mol）：17.0

1. 物理性质　磷为软的白色蜡状固体、棕红色粉末或黑色固体，熔点为44.3℃，沸点为280℃，密度（300K）为$1.82\times10^3 kg/m^3$，电导率为$1.0\times10^{-17}\mu s/cm$。

2. 原子结构

原子半径/&Aring：1.23

共价半径/&Aring：1.06

离子半径/&Aring：0.38

电子构型：$1s2\ 2s2p_6\ 3s2p_3$

3. 晶体结构　白磷是分子晶体，立方晶系，分子间靠范德华力结合，分子式为P_4，4个磷原子位于四面体的四个顶点。红磷的结构目前还不十分清楚，有人认为红磷是链状结构。

4. 同位素和同素异形体　磷的同位素已发现的共有13种，包括从磷27到磷39，其中只有磷31最为稳定，其他同位素都具有放射性。磷的同素异形体有黑磷（紫磷、金属磷）、白磷和红磷（赤磷）。

5. 来源和用途　磷主要以磷酸盐矿的形式存在于自然界，单质磷是由磷酸钙、石英砂和碳粉的混合物在电弧炉中熔烧或蒸馏尿制得的。约三分之二的磷用于制造磷肥，磷还用于制造磷酸、火柴、烟火、杀虫剂、牙膏、除垢剂、燃烧弹等。三聚磷酸盐用于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

合成洗涤剂。

白磷和红磷都可用于制造纯度较高的 H_3PO_4，白磷还可用于制造烟幕弹和燃烧弹等，红磷还可用于制造农药、安全火柴等。

6. 元素描述　单质磷熔沸点较高，有很高的活性，如白磷曝露于空气中很容易自燃，这与它的原子结构有很大关系。磷原子半径大，通过单键与其他三个磷原子相连，呈四面体型，键角小，张力大，P-P 键能很小，在常温下有很高的化学活性。

磷的单质有三种同素异形体：白磷、红磷及黑磷，白磷和红磷是最常见的两种。其中，白磷又叫黄磷，为白色至黄色的蜡性透明结晶固体。其密度为 1.82g/cm^3，熔点为 44.1℃，沸点为 280℃，着火点为 40℃。白磷活性很高，必须存放在水里，放于暗处有磷光发出；有恶臭，剧毒，人吸入 0.1g 白磷就会中毒死亡。白磷几乎不溶于水，易溶解于二硫化碳溶剂中，在高压下加热会变为黑磷。黑磷的密度为 2.70g/cm^3，略显金属性，电离能为 10.486eV，不溶于普通溶剂中。白磷经放置或在 400℃密闭加热数小时，或在没有空气的条件下，加热到 260℃或光照就会转变成红磷。红磷是红棕色粉末，无毒，密度为 2.34g/cm^3，熔点为 59℃，沸点为 200℃，着火点为 240℃，不溶于水。红磷加热到 416℃变成蒸汽之后冷凝就会变成白磷。在高压下，白磷可转变为黑磷。黑磷具有层状网络结构，能导电，是磷的同素异形体中最稳定的。如果氧气不足，在潮湿情况下，白磷氧化很慢，并伴随有磷光现象。人们常说的“鬼火”是 P_2H_4 气体在空气中自燃的现象。在含磷化合物中，磷原子通过氧原子和别的原子或基团相连接。白磷可溶于热的浓碱溶液，生成磷化氢和次磷酸二氢盐；干燥的氯气与过量的磷反应生成三氯化磷，过量的氯气与磷反应生成五氯化磷。磷在充足的空气中燃烧可生成五氧化二磷，如果空气不足则生成三氧化二磷。

在自然界中，磷元素以化合态形式存在。它主要以磷酸盐的形式存在于矿石中，主要的磷矿有磷矿石、磷灰石及纤核磷灰石，其主要成分有磷酸钙。磷在生物圈内的分布很广泛，含量丰富，约占地壳总质量的 0.11%，在海水中其含量也较高。

磷是生物体中不可缺少的元素，是构成蛋白质的成分之一。动物的骨骼、牙齿和神经组织，植物的果实和幼芽，以及生物的细胞、蛋白质里都含有磷。磷对于维护生物体正常的生理机能起着重要的作用，磷酸是组成生命的重要物质，促进成长及身体组织器官的修复，是生命体的重要元素，是人体含量较多的元素之一，稍次于钙排列为第六位，约占人体重的 1%，成人体内约含有 600～900g 的磷。人体内磷的 85.7% 集中于骨骼和牙齿，其余分布于全身各组织及体液中，其中一半存在于肌肉组织中。它不但构成人体成分，而且参与生命活动中非常重要的代谢过程，主要用于协助脂肪和淀粉的代谢、供给能量与活力，以及参与酸碱平衡的调节。

磷在食物中分布很广，无论动物性食物或植物性食物，在其细胞中都含有丰富的磷。动物的乳汁中也含有磷，所以磷是与蛋白质并存的。瘦肉、蛋、奶，以及动物的肝、肾中磷的含量都很高，海带、紫菜、芝麻酱、花生、干豆、坚果、粗粮中的含磷也较丰富，但粮谷中的磷为植酸磷，未经过加工处理，吸收利用率较低。

人体吸收磷的部位为小肠，其中十二指肠及空肠部位吸收最快，回肠较差。磷的吸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

收分为通过载体需能的主动吸收和扩散被动吸收两种机制。磷的代谢过程与钙相似，体内的磷平衡取决于体内和体外环境之间磷的交换。磷的主要排泄途径是经肾脏，未经肠道吸收的磷从粪便排出，这部分平均约占机体每日摄磷量的30%，其余70%经由肾以可溶性磷酸盐的形式排出，少量的磷也可由汗液排出。成人适宜摄入量为700mg/d，甲状腺功能亢进的人需要补充磷质。磷过量表现为：骨质疏松易碎、牙齿蛀蚀、各种钙缺乏症状日益明显、精神不振甚至崩溃，破坏其他矿物质平衡，高磷血症。磷缺乏表现为：虚弱，全身疲劳，肌肉酸痛，食欲不振，导致佝偻病和牙龈溢脓等疾患。因为人类食物中含有丰富的磷，所以人类营养性的磷缺乏很少见。

二、磷酸

（一）概况

化学式：H_3PO_4

英文名：Phosphoric Acid

1. 物理性质　纯净的磷酸是无色晶体，熔点为42.3℃，是高沸点酸，易溶于水。市售磷酸试剂是黏稠的、不挥发的浓溶液，磷酸含量为83%～98%。

2. 化学性质　磷酸是三元中强酸，分三步电离，不易挥发，不易分解，几乎没有氧化性，具有酸的通性。

（1）与碱反应

$$NaOH + H_3PO_4 = NaH_2PO_4 + H_2O$$

$$2NaOH + H_3PO_4 = Na_2HPO_4 + 2H_2O$$

$$3NaOH + H_3PO_4 = Na_3PO_4 + 3H_2O$$

（2）与某些盐反应

$$NaBr + H_3PO_4(浓) = NaH_2PO_4 + HBr\uparrow$$

$$NaI + H_3PO_4(浓) = NaH_2PO_4 + HI\uparrow$$

3. 磷酸的工业制法　工业上常用浓硫酸跟磷酸钙反应制取磷酸，滤去微溶于水的硫酸钙沉淀物，所得的滤液就是磷酸溶液。

4. PO_4^{3-} 的检验　若在待测液中滴加 $AgNO_3$ 溶液，有黄色沉淀生成，再滴入稀 HNO_3，黄色沉淀溶解，则可证明原溶液中含有 PO_4^{3-}。若待测液呈酸性，则应先在待测液中滴加氨水至中性，再滴加 $AgNO_3$ 溶液和稀 HNO_3。

5. 对健康的危害　蒸汽或雾状磷酸对眼、鼻、喉有刺激性，口服磷酸液体可引起恶心、呕吐、腹痛、血便或体克，皮肤或眼接触磷酸可致灼伤，还可导致鼻黏膜萎缩、鼻中隔穿孔，长期反复接触皮肤，可引起皮肤刺激。

（二）工业磷酸

1. 概况

分子式：H_3PO_4

相对分子质量：98

酸性：中强酸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

规格：工业用（质量分数为85%、80%、75%）符合GB2091—2003

用途：金属表面处理剂，磷酸盐原料制品，有机反应催化剂，耐火材料添加剂，活性碳处理剂等。

2. 技术要求

（1）外观：无色透明或略带浅黄色的稠状液体。

（2）工业磷酸应符合表5-1所示的工业磷酸国家标准（GB2091—2008）。

表5-1　工业磷酸国家标准（GB2091—2008）

项　　目		指　　标					
		85%（质量分数）磷酸			75%（质量分数）磷酸		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
色度/黑曾	≤	20	30	40	20	30	40
磷酸（H_3PO_4）质量分数（%）	≥	85.0	85.0	85.0	75.0	75.0	75.0
氯化物（Cl）质量分数（%）	≤	0.000 5	0.000 5	0.000 5	0.000 5	0.000 5	0.000 5
硫酸盐（SO_4）质量分数（%）	≤	0.003	0.005	0.01	0.003	0.005	0.01
铁（Fe）质量分数（%）	≤	0.002	0.002	0.005	0.002	0.002	0.005
砷（As）质量分数（%）	≤	0.000 1	0.005	0.01	0.000 1	0.005	0.01
重金属（以Pb计）质量分数（%）	≤	0.001	0.001	0.05	0.001	0.001	0.05

注：黑曾—色度单位。黑曾单位系指每升含有1mg氯铂酸（H_2PtCl_6）形式存在的铂、2mg氯化钴（$CoCl_2 \cdot 6H_2O$）的铂-钴溶液的色度。

三、磷的重要化合物及磷酸盐

磷的化学性质活泼，单质磷除能和氧化合外，还能和卤素、硫等非金属生成+3价、+5价的化合物，也能和碱金属、碱土金属及过渡金属生成磷化物。

1. 磷的氢化物　磷和氢可组成一系列氢化物，如PH_3、P_2H_4、$P_{12}H_{16}$等，其中最重要的是膦（Phosphine），它可以用下列方法制得：

$$Ca_3P_2 + 6H_2O = 3Ca(OH)_2 + 2PH_3$$

磷化氢常温下是一种无色、有大蒜臭味的气体，有剧毒，在-90℃时变成液体，在-133.9℃凝结成固体，在水中的溶解度比氨小得多。

2. 磷的氧化物　磷的燃烧产物是P_4O_{10}，常称为五氧化二磷（P_2O_5）。P_4O_{10}是白色粉末状固体，熔点为580~585℃，在300℃时升华，有很强的吸水性，在空气中很快潮解，是一种很强的干燥剂。

如果氧不足则生成P_4O_6，即磷的不完全氧化物，常称为三氧化二磷（P_2O_3）。P_2O_3是白色晶体，熔点为24℃，具有很强的毒性，能和水缓慢作用生成亚磷酸，是亚磷酸酐。

3. 磷的含氧酸　磷的含氧酸以磷的氧化态来分，有多种含氧酸，如次磷酸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（H_3PO_2）、偏亚磷酸（HPO_2）、正亚磷酸（H_3PO_3）、连二磷酸（$H_4P_2O_6$）、偏磷酸（HPO_3）、焦磷酸（$H_4P_2O_7$）、（正）磷酸（H_3PO_4）等。磷酸是最主要，也是最稳定的磷的含氧酸，没有氧化性，是三元中强酸。

亚磷酸为无色晶体，分子中虽有三个氢原子，但只有两个氢原子可离解出 H^+，是一种二元弱酸，但为强还原剂，在空气中会逐渐氧化成磷酸，受热至180℃时分解成正磷酸和磷化氢。

次磷酸为无色油状液体或片状、棱柱状结晶，是一元强酸，为强还原剂，灼烧时分解为磷酸及磷化氢气体。

4. 磷酸盐　磷酸盐有三类，即正盐（含 PO_4^{3-}）、磷酸一氢盐（含 HPO_4^{2-}）和磷酸二氢盐（含 $H_2PO_4^-$）。三类盐之间的转化关系如下：

（1）溶解性规律

1）正盐和一氢盐：除钾盐、钠盐、铵盐等少数盐外，其他盐都难溶于水，但能溶于强酸。

2）二氢盐：都易溶于水。

（2）相互转化

1）往澄清的石灰水中逐滴滴加 H_3PO_4，边滴边振荡。

现象：开始有白色沉淀生成，而后逐渐溶解。

反应方程式：

$$3Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 = Ca_3(PO_4)_2\downarrow + 6H_2O$$

$$Ca_3(PO_4)_2 + H_3PO_4 = 3CaHPO_4$$

$$CaHPO_4 + H_3PO_4 = Ca(H_2PO_4)_2$$

2）往磷酸溶液中逐滴滴加澄清石灰水，边滴加振荡。

现象：开始无现象，当澄清石灰水滴到一定量时，有白色沉淀生成。

反应方程式：

$$Ca(OH)_2 + 2H_3PO_4 = Ca(H_2PO_4)_2 + 2H_2O$$

$$Ca(H_2PO_4)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaHPO_4\downarrow$$

$$2CaHPO_4 + Ca(OH)_2 = Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2O$$

（3）离子共存的问题

1）二氢盐 $H_2PO_4^-$、一氢盐 HPO_4^{2-}、正盐 PO_4^{3-} 与 H^+ 不能共存。

2）二氢盐 $H_2PO_4^-$、一氢盐 HPO_4^{2-} 与 OH^- 不能共存。

3）二氢盐 $H_2PO_4^-$ 与正盐 PO_4^{3-} 不能共存，会发生如下反应：

$$H_2PO_4^- + PO_4^{3-} = 2HPO_4^{2-}$$

4）二氢盐 $H_2PO_4^-$ 与一氢盐 HPO_4^{2-}、一氢盐 HPO_4^{2-} 与正盐 PO_4^{3-} 可共存。

第二节　电镀废水中的磷酸盐

电镀废水中的磷酸盐主要有磷酸三钠、焦磷酸铜和次亚磷酸钠。磷酸三钠用作洗涤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

剂，焦磷酸铜用于无氰电镀，次亚磷酸钠用于化学镀。

一、磷酸盐的性质

（一）磷酸三钠（Trisodium Phosphate）

别名：十二水磷酸钠、磷酸钠、正磷酸钠

1. 概况

分子式：$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$

相对分子质量：380.12

规格：工业级磷酸盐应符合 HG/T 2517—1993

用途：工业级磷酸盐主要用于软水剂、锅炉清洗和洗涤剂、非金属防锈剂、织物丝光增强剂等方面；食品级磷酸盐主要用作品质改良剂、乳化剂、营养增补剂、面食碱水剂等。作去垢剂、金属洁净剂的磷酸三钠溶在水中有滑腻的感觉，能增加水的润湿能力，有一定的乳化作用，是去硬的表面和金属表面上污垢的极好的洗涤剂。

注意：

（1）磷酸三钠可以看作是以磷酸（H_3PO_4）为母体，用3个金属钠原子，全部置换它分子中所含的3个氢离子后所得的产物。因为磷酸是三元酸，所以它的分子式里有3个可以被金属元素置换的氢离子。

（2）磷酸可以直接与钠起作用生成三种钠盐，当磷酸分子式中有一个氢离子被一个金属钠原子置换时，就生成第一种钠盐，即磷酸二氢钠（NaH_2PO_4）；当磷酸分子式中有2个氢离子被2个金属钠原子置换时，就生成第二种钠盐，即磷酸氢二钠（Na_2HPO_4）。以上两种钠盐，因分子式里还有氢离子存在，所以称为酸式盐。

（3）当磷酸分子式中的3个氢离子被3个钠原子全部置换时，就生成第三种钠盐，又叫做正盐（正磷酸钠），即磷酸三钠（Na_3PO_4）。

2. 磷酸三钠的制备　磷酸三钠的制备方法如下：

（1）用纯碱中和磷酸后所得到的磷酸氢二钠溶液，浓缩到15°Be’时，加入液体烧碱（质量分数为29.5%），并继续浓缩到24～30°Be’，等到反应进行中所生成的 CO_2 全部逸出后，在压滤机上过滤。

（2）将滤液放入结晶器内结晶，然后用离心机脱水，即可得磷酸三钠。

（3）化学反应式如下：

$$H_3PO_4 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2HPO_4 + H_2O + CO_2\uparrow$$

（4）磷酸氢二钠分子式中的氢原子再用烧碱中和，即可生成磷酸三钠。化学反应式如下：

$$Na_2HPO_4 + NaOH \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O$$

3. 质量标准

（1）工业磷酸三钠（十二水级）应符合表5-2所示的标准要求（HG/T 2517—1993）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-2 工业磷酸三钠（HG/T 2517—1993）

项目	指标		
	优等品	一等品	合格品
外观	白色或微黄色结晶		
磷酸三钠（以 $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ 计）含量（质量分数，%）≥	98.5	98.0	95.0
甲基橙碱度（以 Na_2O 计）（质量分数，%）	16.5～19.0	16.0～19.0	15.5～19.0
不溶物含量（质量分数，%）≤		0.05	0.10
硫酸盐（以 SO_4 计）含量（质量分数，%）≤		0.50	0.80
氯化物（以 Cl 计）含量（质量分数，%）≤	0.30	0.40	0.50

（2）工业磷酸三钠（无水级）应符合表 5-3 所示的标准（美国国家标准 ANSID538—90.1980）。

表 5-3 工业磷酸三钠（美国国家标准 ANSID538—90.1980）

项目工业级	指标
外观	白色结晶
无水磷酸三钠（以 Na_3PO_4 计）含量（质量分数，%）≥	97.0
总碱度（以 Na_2O 计）（质量分数，%）≥	36.0
总碱度（对甲基橙）（质量分数，%）≤	40.0
磷酸酐（以 P_3O_5 计）含量（质量分数，%）≥	39.5
水不溶物含量（质量分数，%）≤	0.1

（二）焦磷酸钾（KPP）

别名：磷酸四钾

英文名称：Potassium Pyrophosphate

1. 概况

分子式：$K_4P_2O_7$

相对分子质量：330.33

规格：工业级焦磷酸钾符合 ZB/TG 12006—88

食品级：符合 FAO/WHO，1980；客户要求

包装：25kg 双内塑外编袋装；客户要求

用途：工业级焦磷酸钾用于无氰电镀、表面处理、高档洗涤剂、油漆涂料、清洁剂、分散剂、缓冲剂等；食品级焦磷酸钾用于食品加工的乳化剂、组织改进剂、螯合剂、品质改良剂等。

性质：焦磷酸钾与焦磷酸钠相像，但溶解度较大；溶于水，不溶于乙醇。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

制作：先由磷酸与氢氰化钾反应生成磷酸氢二钾溶液，再经喷雾干燥及高温焙烧去除水分子制得。

2. 技术要求

（1）外观：白色粉末或块状。

（2）工业焦磷酸钾应符合表5-4所示的标准（ZB/TG 12006—88）。

表5-4　工业焦磷酸钾（ZB/TG 12006—88）

项　　目		指　　标		
		优等品	一等品	合格品
焦磷酸钾($K_4P_2O_7$)含量(质量分数,%)	≥	96.0	95.0	94.0
铁(Fe)含量(质量分数,%)	≤	0.03	0.05	0.10
水不溶物含量(质量分数,%)	≤	0.10	0.20	0.25
pH值[1%(质量分数)水溶液]		10.0～10.7		
正磷酸盐		符合试验		

（3）电镀用焦磷酸钾应符合表5-5所示的标准（HG/T 3591—1999）。

表5-5　电镀用焦磷酸钾（HG/T 3591—1999）

项　　目		指标	项　　目		指标
		优等品			优等品
焦磷酸钾($K_4P_2O_7$)含量(质量分数,%)	≥	98.0	pH值[1%(质量分数)水溶液]		10.5±0.5
铁(Fe)含量(质量分数,%)	≤	0.01	铅(以Pb计)含量(质量分数,%)	≤	0.003
水不溶物含量(质量分数,%)	≤	0.10	赫尔槽试验(DK≥10A/dm^2下电镀)		合格

(三) 次磷酸钠

别名：次亚磷酸钠

英文名称：Sodium Hypophosphite

1. 概况

分子式：$NaH_2PO_2 \cdot H_2O$

相对分子质量：105.99

相对密度：1.388

熔点：26.5℃

性状：无色单斜晶系结晶、有珍珠光泽的晶体或白色结晶粉末，无臭，味咸。

溶解情况：易溶于水、乙醇、甘油，微溶于氨、氨水，不溶于乙醚；水溶液呈中性，在100℃时水中溶解度为667g/100g水；易潮解。

稳定性：在干燥状态下保存时较为稳定，加热超过200℃时则迅速分解成$Na_4P_2O_7$及$NaPO_3$，并释放出可自燃的、有毒的磷化氢（PH_3）气体；遇强热时会爆炸，与氯酸钾或其他氧化剂相混合会爆炸。次磷酸钠是强还原剂，可将金、银、汞、镍、铬、钴等

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的盐还原成金属状态。在常压下，加热蒸发次磷酸钠溶液会发生爆炸，故蒸发应在减压条件下进行。次磷酸钠的质量规格见表5-6［HG/T 3253—2000（工业级）］。

表5-6 化工行业标准 HG/T 3253—2000（工业级）

指标名称		指标		
		优级品	一级品	二级品
次磷酸钠($NaH_2PO_2 \cdot H_2O$)(质量分数,%)	≥	99.0	98.0	98.0
亚磷酸钠($Na_2HPO_3 \cdot 5H_2O$)(质量分数,%)	≤	0.5	0.8	1.0
钙(Ca)(质量分数,%)	≤	0.02	0.05	0.08
铁(Fe)(质量分数,%)	≤	0.000 5	0.001	0.002
硫酸盐(SO_4^{2-})(质量分数,%)	≤	0.05	0.1	0.1
氯化物(Cl^-)(质量分数,%)	≤	0.03	0.06	0.1
pH值		5.5～8.5	5.5～8.5	5.5～8.5

2. 用途

（1）化学镀剂：经过化学镀的金属表层具有耐腐耐磨、均匀密致、牢固的磷合镍金镀层，可以替代不锈钢材料，广泛应用于电子、机械、石油、化工、航空、航海、食品、医药等行业。

（2）使塑料、陶瓷、玻璃、石英等非金属材料表面金属化。

（3）制备各种工业防腐剂及油田阻垢剂。

（4）可用作食品、工业锅炉水添加剂。

（5）可用作化学反应的催化剂、稳定剂。

（6）可用作抗氧剂、防脱色剂、分散剂，用于纺织物整理及医药等行业。

3. 制备或来源　次磷酸钠由黄磷与硝石灰及水反应制得，或由碳酸钠与次磷酸中和制得，还可由黄磷与硝石灰和水反应，再与碳酸钠反应制得。

4. 包装储运　内销产品用内衬聚乙烯塑料袋的塑料编织袋包装，每袋净重40kg；外销产品用铁桶内衬聚乙烯塑料袋包装，每桶净重50kg。应储存在阴凉、通风、干燥、清洁的库房；包装密封，注意防潮，避免与氯酸盐或其他氧化剂接触；远离热源和火种；不得与有毒物品或污染物品共储混运；运输时要防雨淋和烈日曝晒；装卸时要小心轻放，防止包装破损；失火时，可用水、砂土和各种灭火器扑救。

二、含磷酸盐的镀液配方

1. 镀锌层的三价铬钝化

三价铬化合物：

次磷酸钠（络合剂）	24～50g/L
硝酸钠	12～25g/L
硼酸	8～15g/L
添加剂	1～5g/L

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

温度　　室温

pH 值　　2～4.5

时间　　1～2min

由于加入次磷酸钠（络合剂），可代替六价铬盐钝化工艺。

2. 焦磷酸盐镀铜

（1）原理：镀液由焦磷酸铜、焦磷酸钾及一些辅助络合剂和光亮剂组成的。在溶液中以焦磷酸钾为主络合剂，二价铜以$[(Cu_2P_2O_7)_2]^{6-}$形式存在。电镀电极反应如下：

在阴极上：
$$[(Cu_2P_2O_7)_2]^{6-} + 2e^- = Cu + 2P_2O_7^{4-}$$
$$2H^+ + 2e^- = H_2\uparrow$$

在阳极上：
$$Cu + 2P_2O_7^{4-} - 2e^- = [(Cu_2P_2O_7)_2]^{6-}$$
$$4OH^- - 4e^- = 2H_2O + O_2\uparrow$$

阳极表面生成的氧化膜能使阳极钝化，因此在生产过程中要加入一些辅助络合剂，如酒石酸盐、柠檬酸盐、氨三乙酸盐、草酸盐等来改善阳极溶解性以防止钝化。焦磷酸盐镀铜的工艺规范如表 5-7 所示。

表 5-7　焦磷酸盐镀铜的工艺规范　　（单位：g/L）

成分及工艺参数	配方 1	配方 2	配方 3
焦磷酸铜（$Cu_2P_2O_7$）	70～100	70～90	50～60
焦磷酸钾（$K_4P_2O_7 \cdot 3H_2O$）	300～400	300～380	350～400
柠檬酸铵［$(NH_4)_2HC_6H_5O_7$］		15～20	
酒石酸钠钾（$KNaC_4H_4O_6 \cdot H_2O$）	25～30		
氨三乙酸［$N(CH_2COOH)_3$］			20～30
氨水（$NH_3 \cdot H_2O$）（质量分数为 25%）/mL·L^{-1}			2～3
二氧化硒（SeO_2）	0.008～0.02	0.008～0.02	0.008～0.02
2—巯基苯并咪唑	0.02～0.04	0.002～0.004	
2—巯基苯并噻唑			0.002～0.004
pH 值	8～8.8	8～8.8	8.4～8.8
温度/℃	20～50	30～50	30～40
电流密度/A·dm^{-2}	2～4	1.5～3	0.5～1
阴极移动/次·min^{-1}	25～30	25～30	滚镀

（2）溶液成分的作用和影响

1）焦磷酸铜是供给镀铜液铜离子的主盐。光亮镀液中的金属盐以铜计，浓度应控制在 25～35g/L，一般镀液中可以控制在 20～25g/L 之间。在光亮镀液中，如果铜含量过低，不但镀层的光亮平整性差，而且允许的工作电流密度范围狭小；若铜含量过高，则焦磷酸钾含量也要相应增加，从而会增加新配液的费用和零件电镀时带来的损失，导致成本增高。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）焦磷酸钾是主络合剂，其作用是使络合物稳定，防止沉淀，改善镀层结晶，提高镀液的分散能力和覆盖能力，促使阳极溶解。超过络合量的焦磷酸钾呈游离状态。在焦磷酸镀铜溶液中，一般控制总焦磷酸根与金属之比，即 $P_2O_7^{4-}$ 与 Cu^{2+} 的比值，应保持在（7～8）∶1 之间。低于 7∶1 时，阳极溶解性差，镀层结晶较粗糙；高于 8∶1 时，阴极电流效率下降。

3）柠檬酸盐、酒石酸盐、氨三乙酸和氨盐都能与铜生成络盐，是辅助络合剂。其作用是改善镀液分散能力，促使阳极溶解，防止产生铜粉，还可增加电流密度，增强镀液的缓冲作用，提高镀层光亮度。其中以柠檬酸盐效果最好，若用酒石酸或盐氨三乙酸代替柠檬酸盐，镀层的平整性和光亮度稍差。

加入氨盐可以改变外观，当铵离子浓度过低时，镀层粗糙、色泽变暗；当浓度过高时，镀层呈暗红色，有脆性。在采用较高温度的镀液中，由于氨易挥发，故应经常调整，加入量一般为 1～3ml/L。

4）光亮剂。可用于焦磷酸盐镀铜溶液的光亮剂有 2—巯基苯并咪唑和 2—巯基苯并噻唑。2—巯基苯并咪唑效果较好，不但能使镀层光亮，并具有一些整平作用，还能提高工作电流密度，可以和 2—巯基苯并噻唑并用。当其含量低时光亮度较好，但整平性较差；含量高时则相反，并易于从溶液中析出，采用中等浓度效果较好。

5）加入二氧化硒可以降低镀层的内应力，并获得较好的光亮度，含量少时达不到应有的效果，过多则形成暗红色的雾状镀层。用双氧水处理镀液时二氧化硒也被氧化，处理后应重新调整其含量。

（3）工艺条件的影响

1）pH 值在 8.0～9.0 之间时，焦磷酸钾易于水解成正磷酸盐，可用氢氧化钾调整。如缺铵盐，可用氨水调整，在可能的情况下，避免用磷酸，以免磷积累。

2）温度提高可增大电流密度，但氨易挥发，使镀层粗糙；温度低时，分散性好，但镀层易烧焦。

3）采用周期性换向电流或间歇电流才能获得细致光亮的镀层，周期一般为 2～8s，间歇一般为 1～2s。

4）搅拌可增加光亮度，增大阴极工作电流密度，搅拌频率一般为 25～30 次/min，行程为 100mm。

5）阳极应选用坚实、结晶细致的电解铜板，经压延加工后再使用。阳极与阴极面积比为 2∶1。阳极电流密度过大时表面上会生成浅棕色的钝化膜。

焦磷酸盐镀液稳定、成分简单、腐蚀性小、呈弱碱性、无毒、电流效率高、分散能力和覆盖能力较好，而且镀层结晶细致，并能获得较厚的铜镀层，但溶液配制的成本较高，废水处理采用生成焦磷酸铜沉淀的方法回收。

3. 电镀法镀镍磷合金代替硬铬　镀液有镍盐碱-亚磷酸型和镍盐-次磷酸钠型两种。

（1）镍盐碱-亚磷酸型在低 pH 值下进行，一般阴极电流效率较低，由于阴、阳极电流效率不平衡，不能单独使用镍阳极，导致了操作上的不方便。镍盐碱-亚磷酸镀液

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

组成及操作条件如表5-8所示。

表5-8　镍盐碱-亚磷酸镀液组成及操作条件　　（单位：g/L）

成分及操作条件	配方1	配方2	配方3
硫酸镍（$NiSO_4 \cdot 7H_2O$）	180	240	180
氯化镍（$NiCl_2 \cdot 6H_2O$）	40	45	10
硼酸（H_3BO_3）		35	
亚磷酸（H_3PO_3）	8	15	3～20
磷酸（H_3PO_4）	40		10～30
络合剂FM			70
添加剂	适量		
氯化稀土			2
pH值	2.0～2.5	1.1～1.2	1.0～2.5
温度/℃	65	70～75	60～70
电流密度/A·dm^{-2}	4	2～3	3～15
阳极	钌钛不溶性阳极		镍板：镀铂钛板=1∶3

注：配方1镀层中磷的含量可达14%～16%（质量分数）；配方3中通过调节亚磷酸的含量，可以获得低磷（低于5%）、中磷（6%～8%）、高磷（9%～13%）的镍磷合金镀层。

（2）镍盐-次磷酸钠镀液阴极电流效率可达100%，镀层光亮度较好，但次磷酸钠是一种强还原剂，在施镀过程中，易被阳极氧化而转变为镍盐碱-亚磷酸镀液。镍盐-次磷酸钠镀液组成及操作条件如表5-9所示。

表5-9　镍盐-次磷酸钠镀液组成及操作条件　　（单位：g/L）

成分及操作条件	配方1	配方2
硫酸镍（$NiSO_4 \cdot 7H_2O$）	160～200	40
氯化镍（$NiCl_2 \cdot 6H_2O$）	10～15	10
硼酸（H_3BO_3）	20～30	
次磷酸钠（$NaH_2PO_2 \cdot 2H_2O$）	10～20	50
氯化钠（NaCl）		18
柠檬酸（$C_6H_8O_7 \cdot H_2O$）		87
添加剂	适量	
氨水（$NH_3 \cdot H_2O$）/mL·L^{-1}		40
pH值	2.0～3.5	9
温度/℃	65±2	30
电流密度/A·dm^{-2}	1.0～3.0	1～2
阳极	镍板	镍板

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下面以表5-9为例，介绍镀液成分和操作条件对镀层组成的影响。

（1）硫酸镍。硫酸镍是Ni的主要来源。镀液中镍的含量低于50g/L时，无论次磷酸钠含量是多少，在阴极上主要是析氢，只有当Ni达到一定浓度时，镍和磷才能共沉积出镍磷合金。

（2）次磷酸钠镀液中次磷酸钠的浓度对镀层质量无明显影响，均能得到光亮镀层，次磷酸根离子在阴极上进行下列电化学还原：

$$H_2PO_2^- + 2H^+ + e^- \longrightarrow P + 2H_2O$$

随着镀液中次磷酸钠含量的增加，镀层光亮度相应提高。当镀液中次磷酸钠含量在20g/L以下时，随着次磷酸钠含量的提高，镀层中磷含量增加较快，而后逐渐减慢；当镀液中次磷酸钠含量达25g/L时，镀层中磷含量几乎保持不变，其含量为10%～20%（质量分数）。

（3）pH值。随着镀液pH值的升高，合金中的磷含量随之降低，镀层的耐蚀性、硬度也相应降低，但阴极电流效率得到提高。当阴极电流密度为2～3A/dm^2，pH值在2.0～3.5之间时，均能得到结合力良好的光亮镀层，合金磷中的含量为10%～20%（质量分数）。当pH值为2.5，阴极电流密度为2.0A/dm^{2}时，阴极电流效率不低于95%。

（4）温度。温度对合金镀层中磷含量的影响不大，但对合金镀层的内应力影响较大。镀液在室温下可得到光亮的镀层，但内应力大，镀层会自行开裂剥落。

（5）电流密度。电流密度提高，镀层中的磷相应降低，过高则色泽不均或烧焦、脱落。

（6）添加剂。次磷酸根易被阳极氧化成亚磷酸根，产生亚磷酸盐沉淀。添加剂的作用是抑制亚磷酸盐沉淀，保持镀液的化学稳定性。

镍磷合金的性能如下：

（1）镀层组织结构。磷的质量分数在5%以下时为晶态，大于8%时为非晶态。经260℃以上热处理，结构发生变化，形成Ni_3P颗粒；经340℃以上热处理开始结晶，失去非晶态结构，磷和镍形成Ni_3P金属化合物，由非晶态转变为晶态。

（2）镀层的硬度。在400℃下保温1h，硬度达最高值，可达HV1 000以上，相当于硬铬镀层的硬度，又由于它的摩擦系数小，因此可代替耐磨的硬铬镀层。硬度变化是由于镀层显微组织结构发生了转变，即析出了Ni_3P和Ni的微晶，这种析出物加强了镀层塑性变形时滑动面的阻力，从而提高了硬度。

（3）镀层的耐蚀性。含磷量大于8%（质量分数）的非晶态镍磷合金，由于原子排列长程无序，没有晶粒、晶界的区别及位错等晶格缺陷，也不存在成分的偏析现象，是各相等同的均匀物质，因此化学稳定性很好。合金镀层孔隙极少，可作为铁基体件的装饰防护镀层。

4. 化学镀镍磷合金　化学镀镍是以次磷酸盐（或硼氢化钠，或二甲氨基硼烷DMAB）为还原剂，经过自催化的氧化还原反应而沉积出Ni-P（或Ni-B）合金镀层的工艺。随着电子、计算机、石油化工、汽车等工业的迅速发展，化学镀镍以每年15%

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

以上的增长速度在发展，是近年来表面处理技术领域中发展最快的工艺之一。与电镀工艺相比，化学镀镍污染低，镍的利用率高，镀液中镍离子的浓度是电镀镍的1/10以下，Ni-P合金又是一种很好的代铬镀层。

化学镀镍工艺的分类与特点如下：

化学镀镍具备防腐性和耐磨性，还有一定的装饰性，操作简便，无论多么复杂的零件，只要镀液能接触到，就会有镀层覆盖，不会因电流分布不均匀而造成覆盖能力和分散能力差。国外的商品镀液品种繁多，按溶液的pH值可分为两类：

（1）碱性化学镀镍。pH值为8～9，操作温度为35～45℃，主要应用于非金属材料的金属化，如塑料电镀、泡沫镍生产等。

（2）酸性化学镀镍。pH值为3.0～5.0，应用最为广泛。酸性化学镀镍按磷含量分高磷、中磷、低磷三大类，不同磷含量Ni-P镀层比较如表5-10所示。

表5-10　不同磷含量Ni-P镀层比较

项　　目	高磷(HP)	中磷(MP)	低磷(LP)
镀层磷含量(质量分数,%)	>11	6～10	0.5～5
结构	非晶态	非晶态+微晶态	微晶态
磁性能	非磁性	微磁性	磁性
镀层硬度(HV100)	450	500～550	>700
耐蚀性	高耐蚀性,特别是酸性介质	耐蚀性好	碱性介质中耐蚀性
中性盐雾通过时间	1 000h	96h	24h
主要应用领域	电脑硬盘(HD)、防电磁波干扰、石油化工、换热器等	电子工艺、打印机、复印机、汽车零部件等	泵筒、轴等耐磨部件,要求具有可焊性的部件等

典型的化学镀镍—磷合金镀液组成及工艺条件如表5-11所示。

表5-11　化学镀镍—磷合金镀液组成及工艺条件　　（单位：g/L）

组成及工艺参数	配方1	配方2	配方3	配方4	配方5	配方6
硫酸镍($NiSO_4 \cdot 7H_2O$)	21	20～25	25	25	20	
氯化镍($NiCl_2 \cdot 6H_2O$)						45
柠檬酸钠($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$)		10			10	45
次磷酸钠($NaH_2PO_2 \cdot H_2O$)	24	15～20	20	25	20	20
醋酸钠($CH_3COONa \cdot 3H_2O$)		10				
焦磷酸钠($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$)				80		
氯化铵(NH_4Cl)					30	50

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

组成及工艺参数	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5	配方 6
乳酸（$C_3H_6O_3$）/ml · L^{-1}	32		25			
丙酸（$C_3H_6O_2$）/ml · L^{-1}	2.2					
硼酸（H_3BO_3）			20			
氟化钠（NaF）			1			
聚乙二醇			0.1			
氨水（NH_4OH）				30 ~ 50		
pH 值	4.3 ~ 4.6	4.1 ~ 4.4	4.4 ~ 4.6	9 ~ 10	9 ~ 10	8 ~ 3.6
温度/℃	95	85 ~ 90	90 ~ 92	65 ~ 70	35 ~ 45	80 ~ 85

化学镀具有优良的分散能力和覆盖能力，且设备简单、操作方便，但是在沉积速度、镀液稳定性、成本、最大厚度方面不如电镀。

第三节 化 学 除 磷

由前述内容可知电镀废水中磷酸盐的种类、特性以及进入废水工序时段，磷酸三钠在前处理时加入，焦磷酸铜在无氰电镀时加入，次亚磷酸钠在化学镀时加入。进入综合废水后，在工序中经多次调整 pH 值，磷与石灰、螯合剂反应已被络合，除去的难度很大，因此除要重视磷外，还要像对待六价铬、氰水那样去对待它，将其分流出来，单独处理达到 2mg/L 以下后，再排入综合池进行生物除磷。化学除磷实用的方法有化学沉淀法、氧化法等，膜法、电解法虽然技术上可以实现，但成本过高，经济上不可行。

一、化学沉淀法

1. *石灰除磷* 石灰除磷是投加石灰与磷酸盐反应生成羟基磷灰石沉淀，反应如下：

$$CaO + H_2O \xlongequal{} Ca(OH)_2$$

钙离子与磷酸盐反应生成羟基磷灰石沉淀：

$$10Ca^{2+} + 6PO_4^{3-} + 2OH^- \xlongequal{} Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6 \downarrow$$

pH 值控制在 10.5 ~ 11.5，反应 15min 后，搅拌由快到慢，废水流速由 0.5 ~ 0.6m/s 减少到 0.1 ~ 0.2m/s，防止增大的絮体破碎，磷酸根全部生成羟基磷灰石。加入 PAM 沉淀，再经过砂滤、活性炭吸附。由于石灰进入水中，首先与碳酸根作用生成碳酸钙沉淀，然后过量的钙离子才能与磷酸盐反应生成羟基磷灰石沉淀，因此所需的石灰量主要取决于待处理废水的碱度，而不是废水的磷酸盐含量。另外，废水中镁的含量也是影响石灰法除磷的因素，因为在高 pH 值条件下，可以生成 Mg（OH）$_2$ 胶体沉淀，不但消耗石灰，而且不利于污泥脱水，其溶解度与 pH 值关系较大。随着 pH 值的升高，羟基磷灰石的溶解度急剧下降，即磷的去除率迅速增加，pH 值 > 9.5 后，水中所有磷酸盐都

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

转为不溶性的沉淀。一般控制 pH 值在 9.5～10 之间，除磷效果最好。对于不同废水的石灰投加量，应通过试验确定。

两级石灰沉淀试验：磷化水水质如表 5-12 所示。

表 5-12　磷化水水质

试样	总 P/(mg/L)	Ni^{2+}/(mg/L)	SS/(mg/L)	COD/(mg/L)
含量	4 647	748	206	1 677

一级：

含磷废水：500mg

石灰水配制：0.166g/100g 水

投加石灰水：350mg

搅拌时间：30s

静置 30min，取上清液 12.6mg/L 测量含磷量。

加入石灰水 $Ca(OH)_2$ 与其反应，调整 pH 值，磷酸盐被沉淀出来。

二级：

取上清液 500mL，投加石灰水上清液 15mL，搅拌 30s 后，加入 PAM 10mg/L，静置 30min 后取上清液，测量 TP。用稀盐酸调整 pH 值为 7 后外排。

处理后的水质如表 5-13 所示。

表 5-13　处理后的水质

pH 值	7	8	9	10	11	12
Ni^{2+} 含量/(mg/L)	47.1	22.0	8.24	1.60	0.35	0.18
PO_4^{3-} 含量(以 P 计)/(mg/L)	14.5	7.20	2.38	0.45	0.10	未检出

上清液调整 pH 值至 7～9 排放。

石灰除磷的具体方法有三种：一是在污水处理初沉淀之前投加石灰；二是在污水生物处理之后的二沉池中投加石灰；三是在生物处理系统之后投加石灰，并配有碳酸化系统。

2. 铝盐除磷　铝盐除磷常用药剂是硫酸铝和铝酸钠，pH 值为 6，其除磷反应式如下：

$$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O + 2H_2PO_4^- + 4HCO_3^- = 2AlPO_4 + 4CO_2 + 3SO_4^{2-} + 18H_2O$$

$$Na_2Al_2O_4 + 2H_2PO_4^- = 2AlPO_4 + 2Na^+ + 4OH^-$$

由上述反应式可以看出，投加硫酸铝会降低废水的 pH 值，而投加铝酸钠会提高废水的 pH 值，因此硫酸铝和铝酸钠分别适用于处理碱性废水和酸性废水。

铝盐的投加比较灵活，可以加在初沉池前，也可以加在曝气池中或在曝气池和二沉池之间，还可以将化学除磷与生物处理系统分开，以二沉池出水为原水投加铝盐进行混凝过滤，或在滤池前投加铝盐进行微絮凝过滤。在初沉池前投加，可以提高初沉池对有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机物的去除率；在曝气池和二沉池之间投加，渠道或管道的湍流有助于改善药剂的混合效果；在生物处理系统后投加，因生物处理对磷的水解作用可以使除磷效果更好。

受废水碱度和有机物的影响，除磷的化学反应是一个复杂的过程，因此铝盐的最佳投加量不能按计算确定，必须经过试验确定。

3. 铁盐除磷　三氯化铁、氯化亚铁、硫酸亚铁（绿矾）、硫酸铁等都可以用来除磷，常用的是三氯化铁。三氯化铁与磷酸盐的反应式为：

$$FeCl_3 \cdot 6H_2O + H_2PO_4^- + 2HCO_3^- \longrightarrow FePO_4 + 2CO_2 + 3Cl^- + 8H_2O$$

与铝盐相似，大量三氯化铁要与碱反应生成 $Fe(OH)_3$，以此促进胶体磷酸铁的沉淀分离。磷酸铁沉淀的最佳 pH 值范围为 4.5～5.0，实际应用中 pH 值在 7 左右甚至超过 7，仍有较好的除磷效果。和铝盐一样，铁盐投加点可以在预处理、二级处理或三级处理阶段。pH 值应与相应的纯磷酸盐的最小溶解度一致。

化学法除磷最大的问题是会使污泥量显著增加，因为除磷时产生的金属磷酸盐的金属氢氧化物以悬浮固体的形式存在于水中。在初沉池前投加金属盐，初沉池污泥可以增加 60%～100%，整个污水处理厂污泥量增加 60%～70%。在二级处理过程中投加金属盐，剩余污泥量会增加 35%～45%。化学除磷不仅使污泥量增加，而且使污泥浓度降低 20% 左右，因此使污泥体积即污泥数量加大。铁盐除磷在固液分离不好的情况下，会使出水呈微红色。

德国和瑞士曾做过试验：在二级生化池处理出水的磷盐，在滤池的进水中加入亚铁盐，铁氧化细菌会将亚铁盐转化为高铁盐。这一方法可使磷含量由 10.4mg/L 降为 0.007mg/L，由四个滤池加沉淀池串联而成，第一个滤池需周期性反冲。

二、氧化法

次磷酸盐（$NaH_2PO_2 \cdot H_2O$）属二氢盐，还原性强，溶解度高，在 100℃ 的水中溶解度为 667g/100g 水；易溶于水、乙醇、甘油，微溶于氨、氨水，不溶于乙醚；水溶液呈中性。

次磷酸盐溶解度较高，采用一般的化学沉淀法不能将次磷酸盐彻底去除，可用氧化法，即用强氧化剂将废液中的有机物、次磷酸盐、亚磷酸盐等氧化成 CO_2、磷酸盐。常用的氧化剂有双氧水（H_2O_2）、次氯酸钠（NaClO）、高锰酸钾（$KMnO_4$）、氯气（Cl_2）等。加入氧化剂可以破坏络合物，被螯合的镍离子可游离出来。当 $KMnO_4$ 为理论值的 1.2 倍时，可将次磷酸盐、亚磷酸盐全部氧化为正磷酸盐，降低溶解度，沉淀分离，即可除去磷。

氧化法工艺如下：

高浓度含磷废水→氧化→水力旋流→调整 pH 值（加石灰）→絮凝沉淀→进综合池。

第四节　同步去除 COD、氨氮、磷

同步去除 COD、氨氮、磷的工艺是在各个去除 COD、氨氮、磷的单元上发展起来的。去除 COD 是用厌氧/好氧工艺实现的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

生物脱氮是由硝化和反硝化两个生化过程完成的。污水先在耗氧池进行硝化，使含氮有机物被细菌分解成氨，氨进一步转化为硝态氮：

$$2NH_4^+ + 3O_2 = 2NO_2^- + 4H^+ + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 = 2NO_3^-$$

然后在缺氧池中进行反硝化，硝化氮还原成氮气逸出：

$$2NO_3^- + 3H_2O \rightarrow 3[O] + N_2 \uparrow + 6OH^-$$

生化池加料时加尿素较好，如加面粉，要先把面粉用水调均后放两天，然后再倒进池子，效果比较好。

生物除磷是在生物除有机物的基础上发展起来的，有 A/O 工艺、Phostrip 工艺、A^2/O、UC、Bardenpho 等多种不同的工艺，其共同点如下：

（1）聚磷菌为优势菌体。由于污泥交替进入厌氧区及好氧区，使过量积聚磷盐的聚磷菌能超过其他污泥微生物而优势性生长，结果污泥的含磷量大大超过一般好氧法的处理系统。

（2）在厌氧区尽量减少硝酸盐。目前对生物除磷工艺所做的改进及运行管理中所采取的措施均为力求减少硝化作用，并通过污泥回流和混合液回流（内回流）控制进入厌氧区的硝酸盐含量。防止厌氧区内反硝化作用对积磷细菌厌氧放磷产生竞争性的抑制。

（3）生物除磷的基本原理是厌氧区放磷，好氧区吸磷。厌氧区要有可溶、可快速降解的有机物存在，以供聚磷菌在吸磷、放磷时所需要的能量。聚磷菌在厌氧放磷过程中释放的能量，除了它在厌氧压抑条件下生存所需外，还主动吸收环境中的溶解性可快溶生物降解基质，并以 PHB 形式储存起来。在随后的好氧区吸磷，聚磷菌即可利用分解 PHB 时所释放的能量来过量吸磷。所以，所有生物除磷系统的厌氧区均设在流程的进水端，以确保厌氧区中有足够的有机基质可供积磷菌利用。此外，对废水的 SS、BOD/TP、TKK/COD 也有一定的要求。

现有的生物除磷工艺都是在上述指导思想下创新发展的。几种除磷工艺介绍如下。

1）A/O 除磷工艺如图 5-1 所示。

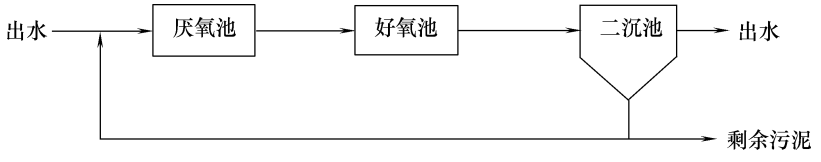


图 5-1　A/O 除磷工艺

聚磷菌在好氧池吸收并存储超出本身生长所需的磷酸盐，在二沉池形成生物膜沉淀，达到去除磷的目的。

2）Phostrip 除磷工艺如图 5-2 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

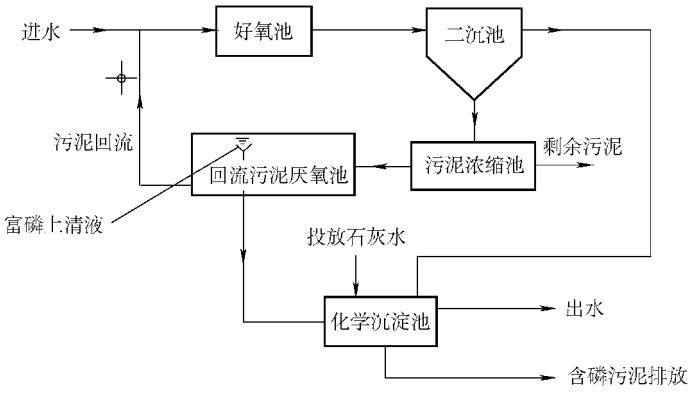


图 5-2 Phostrip 除磷工艺

Phostrip 除磷工艺是把生物除磷与化学除磷结合起来，经过生物除磷的废水，即二沉池的上清液，流入化学沉淀池后投加石灰，沉淀后排出污泥，达到除磷的目的。

上述去除 COD、氨氮、磷的各个单元工艺的优点是工艺简单，不需要化学药品或仅需少量的化学药品，为了充分利用资源，同步去除 COD、氨氮、磷的工艺得到了发展。电镀废水在经过化学处理后，再经生物法同步去除 COD、氨氮、磷，关键是采用了反硝化除磷菌增殖技术（见本章第六节），从而保证出水的含磷浓度达到 0.5mg/L。

一、生物脱氮的基本原理

（一）生物脱氮

生物脱氮通过氨化、硝化、反硝化三个步骤完成。

（1）氨化反应。有机氮化物在好氧菌和氨化细菌的作用下分解，转化为氨态氮，有机碳被降解为 CO_2。以氨基酸为例，其反应式为：

$$RCHNH_2COOH + O_2 \rightarrow RCOOH + CO_2 + NH_3$$

（2）硝化反应。在硝化菌的作用下，氨态氮进一步分解、氧化，就此分两个阶段进行。首先，在亚硝化菌的作用下，使铵（NH_4^+）转化为亚硝酸氮，亚硝酸氮在硝酸菌的作用下，进一步转化为硝酸氮。硝化反应的总反应式为：

$$NH_4^+ + 2O_2 = NO_3^- + H_2O + 2H^+$$

在硝化反应充足时，COD 的去除很容易满足。

（3）反硝化反应。硝酸氮（NO_3—N）和亚硝酸氮（NO_2—N）在反硝化菌的作用下，被还原为气态（N_2）的过程。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

氨氮向亚硝酸氮的转化是限速步骤，因此在大多数生物处理过程中不会发生亚硝酸氮的积累，因为硝化菌会将亚硝酸氮迅速转化为硝酸氮，这两种硝化菌都是自养菌，比用的大多数异养菌生产速度要慢，生产速率为0.1～0.2d^{-1}，要达到完全的硝化效果就需要较长的污泥龄。要达到成功的硝化，必须有3种足够的基质浓度，即二氧化碳、氨氮、氧，二氧化碳为自养菌提供细胞生长所需的碳。硝化菌是专性好氧菌，在悬浮生长系统中维持菌体生存所需的溶解氧为1.0～1.5mg/L。硝化作用对温度也很敏感，在10℃以下氨氮去除率下降。

(二) 生物脱氮（缺氧/好氧，即A/O）**工艺**

将反硝化器放置在系统之前，在反硝化缺氧池中，回流污泥中的反硝化菌利用原污水中的有机物作为碳源，将回流混合液中的大量硝态氮。

二、生物除磷的基本原理

生物除磷是利用聚磷菌一类的微生物，能够从外部环境中摄取超过其生理需要的磷，并将磷以聚合物的形态存储在菌体内，形成富磷污泥排出系统外，达到废水中除磷的效果。

三、同步去除COD、氨氮、磷的工艺

增加缺氧池，可以同步脱氮除磷。在厌氧/好氧脱氮系统、缺氧/好氧除磷系统的基础上，将两个系统结合，生成厌氧-缺氧-好氧系统，简称A^2/O系统，达到同时去除COD、氨氮和磷的目的。采用推流式活性污泥系统，在厌氧池回流的好氧微生物因缺氧释放出磷酸盐，同时COD得到一定程度的去除。缺氧池虽不供氧，但有好氧池混合液回流供给NO_3—N作电子受体，以进行反硝化脱氮。在最后的好氧池中，好氧微生物进行硝化和去除COD的同时，还能大量吸收溶解性磷酸盐，并将其转化为不溶性多聚正磷酸盐而在菌体内储存起来，通过沉淀池排放剩余的污泥，以达到除磷的目的。

在设计A^2/O系统时，一般情况下，厌氧-缺氧-好氧三个池的体积比控制在1∶1∶3～1∶2∶4，缺氧池/厌氧池回流比（污泥）为0.3～1.0，好氧池/缺氧池回流比（硝化混合液）为1.0～5.0，泥龄在10d以上，COD/TN＞8，BOD_5/TP＞10，TN负荷在0.02～0.1kg(TN)/[kg(MLSS)·d]之间。BOD_5、总氮、总磷的去除率分别达94.3%、91.1%、91.6%。

如果好氧区硝化反应的硝态氮刚好被缺氧区的反硝化反应所消耗，彻底转化为氮气，那么整个工艺系统显然处于最佳运行状态。

利用储磷菌的习性，在厌氧区，储磷菌可以将厌氧发酵反应的产物转化成胞内贮存物，同时释放出胞内贮存的聚磷酸盐，让它水解成为正磷酸盐；在好氧区，储磷菌从胞内贮存物的好氧呼吸中获取能量，并将水体中的正磷酸盐贮存为贮存物聚磷酸盐。由于储磷菌将正磷酸盐转化为胞内贮存物，并作为富含磷的剩余污泥排放，所以好氧区出水的含磷量将会变得极低，从而保证了良好的出水水质。

同步去除氨氮、磷的工艺如图5-3所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

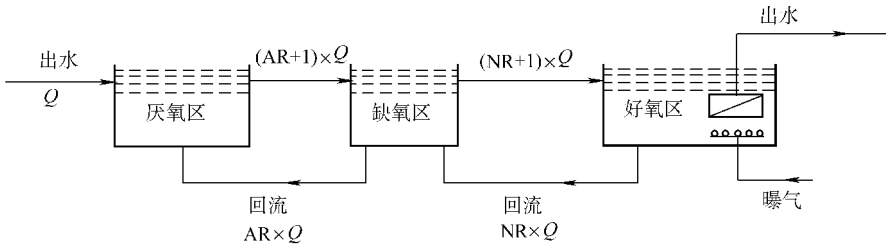


图 5-3 同步去除氨氮、磷的工艺

Q—流量 AR—缺氧区/厌氧区回流比 NR—好氧区/缺氧区回流比

四、菌种的培育

(一) 脱氮菌

1. 硝化菌 能脱氮的微生物种群很多，亚硝酸菌和硝酸菌统称为硝化菌，其基本特征如表 5-14 所示。

表 5-14 亚硝酸菌和硝酸菌的基本特征

项 目	亚硝酸菌	硝 酸 菌
细胞形状	椭球或棒状	椭球或棒状
革兰氏染色	1×1.5	0.5×1.0
时代期/h	8~36	12~59
自养性	专性	兼性
需氧性	严格好氧	严格好氧
最大比增长速率/$\mu m \cdot h^{-1}$	0.04~0.08	0.02~0.06
产率系数 Y/(mg 细胞/mg 基质)	0.04~0.13	0.02~0.07
饱和常数 K/(mg/L)	0.6~3.6	0.3~1.7

亚硝酸菌在硅胶固体培养基上长成细小稠密的褐色、黑色或淡褐色的菌落；硝酸菌在琼脂培养基和硅胶固体培养基上长成小的、由淡褐色变成黑色的菌落，并且能在亚硝酸盐、硫酸镁和其他无机盐培养基中生长。

2. 反硝化菌 能进行反硝化的细菌很多，有无色杆菌属、气杆菌属、产碱杆菌属、黄杆菌属、变形杆菌属、假单胞菌属等，他们均具有异化硝酸盐还原能力。反硝化菌大部分是异养的，在厌氧条件下以硝酸氮为电子受体，以有机物为电子供体，生成的氮气可从水中逸出。

3. 生物脱氮的影响因素

(1) 温度。适宜温度为 20~30℃。

(2) 溶解氧浓度。溶解氧浓度在 0.5mg/L 以上可进行较好的硝化反应。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）pH 值。pH 值为 7.4～8.3 时亚硝酸硝化较好。

（4）NH_3 浓度较高，pH 值偏碱性时，易形成亚硝酸型硝化，氨氮负荷过高时，有利于繁殖较快的亚硝酸菌增长。

（5）泥龄。泥龄表示活性污泥在曝气池内平均停留的时间，也反映了曝气池中污泥全部更新一次需要的时间。亚硝酸菌的世代周期比硝酸菌的世代周期短，若泥龄在两种细菌最小停留时间之间，则硝酸菌会逐渐被冲洗掉，使亚硝酸菌占优势，成为亚硝酸硝化。

（二）聚磷菌

1. 来源　聚磷菌主要从活性污泥中分离、提取。从《伯杰氏细菌鉴定手册》中可查到可积磷的细菌很多，现在已分离出 60 多种，部分常见的聚磷菌如表 5-15 所示。

表 5-15　部分常见的聚磷菌

弱氧化醋杆菌 Acetobacter subacydans	溶壁微球菌 micrococcus lysodeikticus
产气杆菌 Aerobacter aerogenes	乌分枝杆菌 Mycobacterium avium
枯草杆菌 Bacillus subtilis	龟分枝杆菌 M. chelonei
干燥棒杆菌 C. xerose	耻垢分枝杆菌 M. smegmatis
弧形柄杆菌 Caulobucter vibroides	氧化硫硫杆菌 Thiobarillus thiorudans

2. 聚磷菌的特性　在好氧或缺氧状态下，聚磷菌能超量地将污水中的磷吸入体内，使体内的含磷量超过一般细菌体内含磷量的数倍。活性污泥中的聚磷菌生长在营养丰富的环境中，即将进入对数生长期时，为了大量分裂，从废水中摄取大量的正磷酸盐，在细胞内合成多聚磷酸盐，加以积累，供下阶段对数生长时期合成核酸耗用磷素之用。经过对数生长时期，细胞停止繁殖，核酸合成停止，对磷的需要量也已很低，当环境中仍有磷，细胞又有一定的能量时，仍能从外界吸收磷元素，这种对磷的积累作用大大超过微生物正常生长所需要的磷量，可达细胞重量的 6% ～8%，以多聚磷酸盐的形式积累于细胞内作为贮存物质。当细菌细胞处于不利的生活条件时，聚磷菌能吸收污水中的乙酸、甲酸、丙酸及乙醇等极易生物降解的有机物质，贮存在体内作为营养源，同时将体内存贮的聚磷酸盐分解，以 PO_4^{3}—P 的形式释放到环境中，以获取能量，维持生存。如果该细菌又进入营养丰富的好氧环境中，又重复上述的体内积磷过程。

3. 生物除磷的影响因素

（1）进水有机碳含量的影响。进水 COD/TP = 20～30，以便有足够的有机基质供聚磷菌合成足够的 PHB（聚 β—羟基丁酸盐）。

（2）亚硝酸盐和硝酸盐浓度的影响。NO_3^- 浓度控制在 0.2mg/L 以下，在低基质污水、高 NO_3—N 及高回流比的条件下，为达到同等除磷效果，必须加大厌氧区容积。

（3）酸度的影响。pH 值为 6.5～8.0。

（4）污泥负荷的影响。高负荷，低泥龄，通过大量排放富含磷的污泥去除水中的磷。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（5）厌氧停留时间的影响。污水在好氧段的停留时间一般为 4 ~ 6h，可保证磷的充分吸收。

（6）金属元素的影响。重金属离子、络合阴离子如超过一定浓度，会导致活性污泥中毒，生物活性受到抑制。

（7）温度的影响。可控制在 5 ~ 35℃。

（8）氧化还原电位的影响。厌氧段应小于 -250mV，好氧段应在 40mV 以上。

（9）污泥泥龄的影响。一般为 3.5 ~ 7d。

（三）菌种的来源

菌种的来源有两个途径，一是纯菌种培养，二是从污泥中提取培养。纯菌种培养时间长，自然环境的营造、适应环境的难度大。从污泥中提取培养要简捷得多，污泥来源广泛，如河道、下水道、污泥塘，以及污水处理厂的厌氧池、缺氧池等。选择生物活性高、相对密度大的污泥，取样时要去除大颗粒固体、漂浮杂物等。另外，还需要注意以下几点：

（1）必须含有适应于电镀废水水质特征脱氮除磷的微生物种群。

（2）所接入的微生物污泥，必须具有足够的代谢活性。

（3）微生物数量较多，且各种微生物比例协调。

A^2/O 工艺比 AB 法、ABR 法、SBR 法先进，综合经济技术指标最佳。

国家规定的达标排放标准与最新电镀废水一级处理对照表如表 5-16 所示。

表 5-16　达标排放标准与一级处理对照表

类别	pH	六价铬	总氰化物	总铜	总镍	总锌	化学需氧量	氨氮	总磷
国家排放标准	6 ~ 9	0.1	0.2	0.5	0.1	1.0	50	8	0.5
原水水质	2	40.2	52	158	100	110	350	95	23
处理后水质	7	0.015	0.012	0.23	未检出	0.5	80	7	0.5
去除率(%)		99.96	99.98	99.8	99.9	99.5	77.1	92.6	97.8

第五节　A^2/O 生物脱氮除磷工艺设计计算范例

一、设计参数及设备

1. 设计参数　A^2/O 生物脱氮除磷工艺设计参数如表 5-17 所示。

表 5-17　A^2/O 生物脱氮除磷工艺设计参数

序　号	项　目	数　值
1	污泥负荷　N_S/[kg BOD_5/(kg MLSS · d)]	0.13 ~ 0.2
2	TN 负荷　kg TN/(kg MLSS · d)	< 0.05(好氧段)
3	TP 负荷　kg TP/(kg MLSS · d)	< 0.06(好氧段)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序　号	项　目	数　值
4	污泥浓度　MLSS/(mg/L)	2 000～2 500
5	污泥泥龄　θ_c/d	10～15
6	水力停留时间 t/h	8～11
7	各段停留时间比例　A:A:O	1:1:3～1:1:4
8	缺氧-厌氧池回流比(污泥)R	0.3～1.0
9	好氧-缺氧池回流比(硝化混合液)$R_{内}$	1.0～3.0
10	溶解氧浓度 DO/(mg/L)	厌氧池 <0.2 缺氧池≤0.5 好氧池 =2
11	COD/TN	>8(厌氧池)
12	BOD_5/TP	>10(厌氧池)

2. 设备　厌氧池、缺氧池采用机械搅拌。

二、工艺设计计算

1. 已知条件

(1) 进水流量 $Q=1\ 500 m^3/d$。

(2) 进水水质如表5-18所示。

表5-18　进 水 水 质

序　号	项　目	数　值
1	COD/(mg/L)	286
2	BOD_5 浓度 S_0/(mg/L)	160
3	TSS 浓度 X_0/(mg/L)	150
4	VSS/(mg/L)	105
5	MLVSS/MLSS	0.7
6	TN/(mg/L)	35
7	NH_4^+-N/(mg/L)	26
8	TP/(mg/L)	4
9	碱度 S_{ALK}/(mg/L)	280
10	pH 值	7.0～7.5
11	最低水温/℃	6
12	最高水温/℃	28

(3) 出水水质如表5-19所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 5-19 出 水 水 质

序 号	项 目	数 值
1	COD/(mg/L) [BOD_5 浓度 S_e/(mg/L)]	50 (20)
2	氨氮/(mg/L)	8
3	TSS 浓度 X_e/(mg/L)	30
4	TN/(mg/L)	15
5	TP/(mg/L)	0.5

2. 设计计算 设计计算内容有 10 项：判断可否采用 A^2/O，有关参数设计，厌氧、缺氧、好氧三池容积，校核氮、磷负荷，剩余污泥，碱度校核，三池主要尺寸，三池进、出口系统，曝气系统，水泵功率。

(1) 判断可否采用 A^2/O 法

$$\frac{COD}{TN}=\frac{286}{35}=8.17>8$$

$$\frac{BOD_5}{TP}=\frac{160}{6}=26.7>10$$

由上述计算可知，可以采用 A^2/O 法。

(2) 有关设计参数如表 5-20 所示。

表 5-20 有关设计参数

序 号	项 目	数 值
1	污泥负荷 N_S/[kg BOD_5/(kg MLSS · d)]	0.1
2	回流污泥浓度 X_R/(mg/L)	4 000mg/L
3	污泥回流比 R	0.3
4	混合液悬浮固体浓度 $X=R\cdot X_R/(1+R)$	923mg/L
5	混合液回流比 $R_{内}$ TN 去除率 $\eta_{TN}=(TN_0-TN_e)/TN_0\times100\%=(35-15)/35\times100\%=57\%$ $R_{内}=\eta_{TN}/(1-\eta_{TN})\times100\%=133\%$	133%

(3) 三池容积 V

$$V=QS_0/N_sX=1\ 500\times160/0.1\times923=2\ 600m^3$$

三池总水力停留时间：

$$t=V/Q=2\ 600/1\ 500=1.73d=34.6h$$

注：d（天）按 20h（小时）计算。

各段水力停留时间和容积：

厌氧∶缺氧∶好氧 = 1∶1∶3

厌氧池水力停留时间 $t_{厌}=1/5\times34.5=7h$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

厌氧池容积　$V_{厌}=1/5\times2\ 600=520\text{m}^3$

缺氧池水力停留时间　$t_{缺}=1/5\times34.5=7\text{h}$

缺氧池容积　$V_{缺}=1/5\times2\ 600=520\text{m}^3$

好氧池水力停留时间　$t_{好}=3/5\times34.5=21\text{h}$

好氧池容积 $V_{好}=3/5\times2\ 600=1\ 560\text{m}^3$

（4）校核氮磷负荷

好氧段总氮负荷　$Q\cdot TN_0/XV_{好}=1\ 500\times35/923\times1560=0.036$

$<0.05[\text{kg TN/(kg MLSS}\cdot\text{d)}]$

好氧段总磷负荷　$Q\cdot TP_0/XV_{好}=1\ 500\times6/923\times1\ 560=0.006\ 3$

$\approx0.06\ [\text{kg TP/(kg MLSS}\cdot\text{d)}]$

符合要求。

（5）剩余污泥 ΔX

$$\Delta X=P_x+P_s$$

$$P_x=YQ(S_0-S_e)-k_dVX_v\quad P_s=(\text{TSS}-\text{TSS}_e)Q\times50\%$$

取污泥增殖系数 Y = 0.6，污泥自身氧化率 $k_d=0.05$，将各值代入：

$$P_x=0.6\times1\ 500\times(0.16-0.02)-0.05\times2\ 600\times0.923\times0.7=37.5\text{kg/d}$$

$$P_s=(0.15-0.02)\times1\ 500\times50\%=97.5\text{kg/d}$$

$$\Delta X=37.5+97.5=135\text{kg/d}$$

（6）碱度校核。每氧化 1mg NH_3-N 需要消耗碱度 7.14mg，每还原 1mg NH_3-N 产生碱度 3.57mg，去除 1mg BOD_5 产生碱度 0.1mg。

剩余碱度 S_{ALKI} = 进水碱度 - 硝化消耗碱度 + 反硝化产生碱度 + 去除 BOD_5 产生碱度

假设生物污泥中含氮量以 12.4% 计，则：

每日用于合成的总重量 $=0.124\times135=16.74\text{kg/d}$

即进水总氮中有 $16.74\times1\ 000/1\ 500=11.2\text{mg/L}$ 用于合成。

被氧化的 NH_3-N = 进水总氮 - 出水总氮 - 用于合成的总氮量

$=35-15-11.2=8.8\text{mg/L}$

所需脱硝量 $=35-15-11.2=8.8\text{mg/L}$

需还原的硝酸盐氮量 $NT=1\ 500\times8.8/1\ 000=13.2\text{kg/d}$

则剩余碱度

$$S_{ALKI}=280-7.14\times8.8+3.57\times8.8+0.1\times(160-20)$$

$$=263.6\text{mg/L}>100\text{mg/L}\ (\text{以 }CaCO_3\text{ 计})$$

可维持 pH > 7.2。

（7）三池主要尺寸。三池总容积 $V=2\ 600\text{m}^3$，按 1∶1∶3 分配，$V_{厌}=V_{缺}=520\text{m}^3$，$V_{好}=1\ 560\text{m}^3$；有效水深 $h=4.0$ m；有效面积

$$S_{厌}=S_{缺}=V_{厌}/h=520/4.0=130\text{m}^2$$

$$S_{好}=V_{好}/h=1\ 560/4.0=390\text{m}^2$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

采用5廊道推流式反应池，廊道宽 $b_{厌}=b_{缺}=5\text{m}$，$b_{好}=8\text{m}$；反应池长度 $L_{厌}=L_{缺}=S_{厌}/b_{厌}=130/5=26\text{m}$，$L_{好}=S_{好}/b_{好}=390/8=48.75\text{m}$

校核：$b_{厌}/h=5/4.0=1.25$（满足 $b/h=1\sim2$），

$b_{好}/h=8/4.0=2$（满足 $b/h=1\sim2$）

$L_{厌}/b_{厌}=26/5=5.2$（满足 $L/h=5\sim10$），

$L_{好}/b_{好}=48.75/8=6.1$（满足 $L/h=5\sim10$）

取超高为1.0m，则反应池总高 $H_{总}=4.0+1.0=5.0\text{m}$

（8）反应池进、出水系统计算

1）进水管。单组反应池进水管设计流量

$$Q_1=Q/3=1\ 500/(3\times72\ 000)=0.007\text{m}^3/\text{s}$$

注：1d按20h计，即72 000s。

管道流速 $v=0.8\text{m/s}$

管道过水断面 $A=Q_1/V=0.007/0.8=0.009\text{m}^3$

管径 $d=(4A/\pi)^{1/2}=(4\times0.009/\pi)^{1/2}=0.107\text{m}$

取进水管管径 $DN=150\text{mm}$。

2）回流污泥管。单组反应池回流污泥管设计流量

$$Q_R=R\times Q/3=1\times Q/3=1\ 500/(2\times72\ 000)=0.007\text{m}^3/\text{s}$$

管道流速 $v=0.8\text{m/s}$

取回流污泥管管径 $DN=250\text{mm}$。

3）进水井。进水孔过流量

$$Q_2=(1+R)Q/2=Q=1\ 500/72\ 000=0.021\text{m}^3/\text{s}$$

孔口流速 $v=0.6\text{m/s}$

孔口过水断面面积 $A=Q_2/v=0.021/0.6=0.035\text{m}^2$

孔口尺寸取为0.2m×0.2m，进水井平面尺寸取为0.4m×0.4m。

4）进水堰及出水井。按矩形堰流量公式计算：

$$Q_3=0.42(2gb)^{1/2}H^{3/2}=1.86bH^{3/2}$$

$$Q_3=(1+R_{内}+R)Q/2=(1+1.33+0.3)Q/2=0.011\text{m}^3/\text{s}$$

式中，b 是堰宽，$b_{厌}=b_{缺}=5\text{m}$，$b_{好}=8\text{m}$；H 是堰上水头高度（m），$H_{厌}=[Q_3/(1.86b_{厌})]^{2/3}=[0.011/(1.86\times5)]^{2/3}=0.011$（m），$H_{好}=(Q_3/1.86b_{好})^{2/3}=[0.011/(1.86\times8)]^{2/3}=0.008\text{m}$。

进水孔过流量度 $Q_4=Q_3=0.011\text{m}^3/\text{s}$

孔口流速 $v=0.6\text{m/s}$

孔口过水断面面积 $A=Q/v=0.011/0.6=0.018\text{m}^2$

孔口尺寸取为0.15m×0.15m，进水井平面尺寸取为0.3m×0.3m。

5）出水管参数计算如下：

反应池出水管设计流量 $Q_5=Q_2=0.021\text{m}^3/\text{s}$

管道流速 $v=0.8\text{m/s}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

管道过水断面 $A = Q_3/v = 0.021/0.8 = 0.026\text{m}^3$

管径 $d = (4A/\pi)^{1/2} = (4 \times 0.026/\pi)^{1/2} = 0.182\text{m}$

取出水管管径 $DN = 200\text{mm}$

校核管道流速 $v = Q_2/A = 0.021/[(\pi/4) \times 0.2^2] = 0.67\text{m/s}$

（9）曝气系统设计计算

1）设计需氧量 AOR：

AOR = 去除 BOD_5 需氧量 − 剩余污泥中 BOD_5 氧当量 + NH_3-N 硝化需氧量 − 剩余污泥中 NH_3-N 氧当量 − 反硝化脱氮产氧量

碳化需氧量　$D_1 = [Q(S_0 - S_e)]/(1 - e^{-0.23 \times 5}) - 1.42P_x$

$= [1\,500 \times (0.16 - 0.02)]/(1 - e^{-0.23 \times 5}) - 1.42 \times 37.5$

$= 233.6\text{kg } O_2/\text{d}$

硝化需氧量　$D_2 = 4.6Q(N_0 - N_e) - 4.6 \times 12.4\% \times P_x$

$= 4.6 \times 1\,500 \times (35 - 8) \times 1/1\,000 - 4.6 \times 0.124 \times 37.5$

$= 164.91\text{kg } O_2/\text{d}$

反硝化脱氮产氧量　$D_3 = 2.86\text{NT} = 2.86 \times 13.2 = 37.75$（$\text{kg } O_2/\text{d}$）

需氧量 AOR $= D_1 + D_2 - D_3 = 233.6 + 164.91 - 37.75 = 360.76\text{kg } O_2/\text{d}$

$= 18.0\text{kg } O_2/\text{h}$

最大需氧量与平均需氧量之比为 1.4，则

$$\text{AOR}_{max} = 1.4\text{AOR} = 1.4 \times 360.76 = 505.1\text{kg } O_2/\text{d}$$

去除每 1kg BOD_5 的需氧量 = AOR/$[Q(S_0 - S_e)] = 360.76/[1\,500 \times (0.16 - 0.02)]$ $= 1.72\text{kg } O_2/\text{ kg } BOD_5$

2）标准需氧量。采用微孔曝气器，曝气器敷设于池底部，距池底 0.2m，淹没深度为 3.8m，氧转移效率 $E_A = 20\%$，计算温度 $T = 25℃$。将实际需氧量 AOR 换算成标准状态下的需氧量 SOR：

$$\text{SOR} = \text{AOD} \cdot \text{C}(20)/\alpha[\beta\rho C_{sm(T)} - C_L] \times 1.024^{(T-20)}$$

式中　α——气压调整系数；

ρ——所在地区实际气压/1.013×10^5，工程所在地区实际大气压为 $0.912 \times 10^5\text{Pa}$，所以 $\rho = 0.912 \times 10^5/1.013 \times 10^5 = 0.909$；

C_L——曝气池内平均溶解氧，取 $C_L = 2\text{mg/L}$；

其余参数同前。

查询相关手册可得，水中溶解氧饱和度 $C_{s(20)} = 9.17\text{mg/L}$，$C_{s(25)} = 8.38\text{mg/L}$。空气扩散器出口处绝对压力

$$P_b = 1.013 \times 10^5 + 9.8 \times 10^3 H$$

$$= 1.013 \times 10^5 + 9.8 \times 10^3 \times 3.8$$

$$= 1.385 \times 10^5\text{Pa}$$

空气离开好氧池时氧的百分比

$$Q_t = 21(1 - E_A) \times 100\%/[79 + 21(1 - E_A)] = 17.54\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

好氧反应池中平均溶解氧饱和度

$$C_{sm(25)} = C_{s(25)}[P_b/(2.066\times10^5) + Q_t/42]$$
$$= 8.38\times[(1.385\times10^5/2.066\times10^5 + 17.54/42)]$$
$$= 9.12\text{mg/L}$$

标准需氧量

$$\text{SOR} = 360.76\times9.17/[0.82(0.95\times0.909\times9.12-2)\times1.024^{(25-20)}]$$
$$= 607.2\text{kg } O_2/\text{d}$$

相应最大时标准需氧量

$$\text{SOR}_{max} = 1.4\ \text{SOR} = 850.1\text{kg } O_2/\text{d}$$

最大时供气量

$$G_{smax} = 1.4G_s = 1.4\times607.2/0.175\ 4 = 4\ 846.5\text{m}^3/\text{h}$$

$$G_s = \text{SOR}/Q_t$$

3）所需空气压力 p（相对压力）：

$$p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + \Delta h$$

式中 $h_1 + h_2$——供风管道沿程与局部阻力之和，取 $h_1 + h_2 = 0.2\text{m}$；

h_3——曝气器淹没水头，取值为 3.8m；

h_4——曝气器阻力，取值为 0.4m；

Δh——富余水头，取值为 0.5m。

则 $p = 0.2 + 3.8 + 0.4 + 0.5 = 4.9\text{m}$

4）曝气器数量计算（以单组反应池计算）。按供氧能力计算所需曝气器数量：

$$k_1 = \text{SOR}_{max}/24q_c = 850.1/(24\times0.14) \approx 253$$

式中 k_1——按供氧能力所需曝气器个数（个）；

q_c——曝气器标准状态下，与好氧反应池工作条件接近时的供氧能力（kg O_2/h·个）。

采用微孔曝气器，参照有关手册可知，工作水深为 4.3m，在供风量为 1～3m^3/(h·个)时，曝气器氧利用率 $E_A = 20\%$，服务面积为 0.3～0.75m^2，充氧能力 $q_c = 0.14$（kg O_2/h·个）

以微孔曝气器服务面积进行校核：

$$f = S_{厌}/k_1 = 130/253 = 0.51\text{m}^2 \text{ 符合要求。}$$

5）供风管道计算。供风干管采用环状布置：

流量 $Q_s = 1/2G_{smax} = 1/2\times4\ 846.5 = 2\ 423.3\text{m}^3/\text{d} = 0.033\text{m}^3/\text{s}$

流速 $v = 10\text{m/s}$

管径 $d = (4Q/\pi v)^{1/2} = [(4\times0.033)/(10\pi)]^{1/2} = 0.065\text{m}$

取干管管径 $DN = 65\text{mm}$，单侧供气（向单侧廊道供气）支管

$$Q_{s单} = 1/3\times G_{max}/2 = 4\ 846.5/6 = 807.75\text{m}^3/\text{d} = 0.011\text{m}^3/\text{s}$$

流速 $v = 10\text{m/s}$

管径 $d = [(4Q_{s单})/(\pi v)]^{1/2} = [(4\times0.011)/(10\pi)]^{1/2} = 0.038\text{m}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

取支管管径 $DN=40\text{mm}$

双侧供气（向两侧廊道供气）：

$$Q_{s双}=2/3\times G_{max}/2=0.022\text{m}^3/\text{s}$$

流速 $v=10\text{m/s}$

管径 $d=(4Q_{s双}/\pi v)^{1/2}=[(4\times1.37)/(10\pi)]^{1/2}=0.053\text{m}$

取支管管径 $DN=60\text{mm}$

（10）水泵功率计算

1）厌氧池。厌氧池设导流墙，将厌氧池分成3格，每格内设潜水搅拌机一台，所需功率按5W/m³池容计算。

厌氧池有效容积 $V_{厌}=520\text{m}^3$

混合全池污水所需功率为：$5\times520=2\ 600\text{W}$

2）缺氧池。缺氧池设导流墙，将缺厌氧池分成3格，每格内设潜水搅拌机一台，所需功率按5W/m³池容计算。

缺氧池有效容积 $V_{缺}=520\text{m}^3$

混合全池污水所需功率为：$5\times520=2\ 600\text{W}$

3）污泥回流设备：

污泥回流比 $R=0.3$

污泥回流量 $Q_R=RQ=0.3\times1\ 500=450\text{m}^3/\text{d}$

设有回流污泥泵房1座，内设3台潜污泵（2用1备），则单泵流量

$$Q_{R单}=1/2Q_R=1/2\times450=225\text{m}^3/\text{d}$$

水泵扬程根据竖向流程确定。

4）混合液回流设备。

①混合液回流泵：

混合液回流比 $R_{内}=133\%$

混合液回流量 $Q_R=R_{内}\ Q=1.33\times1\ 500=1\ 995\text{m}^3/\text{d}=99.75\text{m}^3/\text{h}$

设有混合液回流泵房2座，每座泵房内设3台潜污泵（2用1备），则单泵流量

$$Q_{R单}=1/2\times Q_R/2=1/4\times99.75=24.9\text{m}^3/\text{h}$$

②混合液回流管。回流混合液由出水井中自流至混合液回流泵房，经潜污泵提升后送至缺氧段首端。

混合液回流管设计流量 $Q_6=R_{内}\ Q/2=1.33\times1\ 500/2=0.014\text{m}^3/\text{s}$

泵房进水管设计流速采用 $v=0.8\text{m/s}$

管道过水断面面积 $A=Q_6/v=0.014/0.8=0.018\text{m}^2$

管径 $d=(4A/\pi)^{1/2}=(4\times0.018/\pi)^{1/2}=0.151\text{m}$

取泵房进水管管径 $DN=160\text{mm}$

校核管道流速 $v=Q_6/(\pi/4d^2)=0.014/(\pi/4\times0.16^2)=0.7\text{m/s}$

③泵房压力出水总管设计流量 $Q_7=Q_6=0.014\text{m}^3/\text{s}$

设计流速采用 $v=1.2\text{m/s}$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

管道过水断面面积 $A = Q_7/v = 0.014/1.2 = 0.012\text{m}^2$

管径 $d = (4A/\pi)^{1/2} = (4 \times 0.012/\pi)^{1/2} = 0.124\text{m}$

取泵房压力出水管管径 $DN = 130\text{mm}$。

第六节　反硝化除磷菌的增殖

在生物除磷和生物反硝化脱氮过程中都需要有机物（COD）的消耗，而电镀废水中的有机物浓度，往往不能同时满足这两个过程的需要。国内外很多专家学者从其影响因素、运行稳定性和生物学角度展开了深入研究，发现用反硝化除磷理论可以有效地解决这一问题，这一理论的关键是反硝化除磷菌的培养驯化。

一、北京试验

北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复工程重点试验室，作了反硝化除磷菌繁殖方面的试验，采用序批式生物膜反应器（SBBR），基于缺氧吸磷理论，通过创造特定的适合反硝化除磷菌生存的环境条件，进行自然选择，使其逐渐成为优势菌群。在（AO）-SBBR 运行过程中引入一个缺氧段，形成了一个全新的 $(AO)_2$-SBBR 运行系统，经过 4 个阶段的培养驯化，反硝化除磷的数量占全部除磷菌数量的比例从 14.82% 增长到 63.04%。

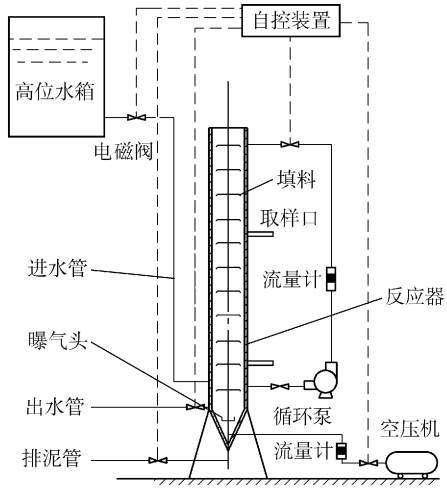


图 5-4　序批式生物膜法（SBBR）试验装置

1. 试验材料

（1）试验装置。SBBR 试验装置如图 5-4 所示。

试验所用反应器由有机玻璃制成，填料选用组合纤维填料，柱体内径为 15mm，有效水深约为 120mm，去除填料所占体积，其有效容积为 17L，下部锥形沉淀区为 2L，厌氧、缺氧时采用循环泵进行反应器内部循环，曝气采用微孔曝气。

（2）试验水质。原水采用乙酸钠为碳源、磷酸二氢钾为磷源、氯化铵为氮源的人工模拟污水，并将 BOD/TN 控制在 3 左右，低于 4；BOD/TP 控制在 16 左右，低于 20。原水水质如表 5-21 所示。

表 5-21　原 水 水 质

项目	COD	BOD	TN	NH_4^+-N	TP	pH
数值	136 ~ 194	73 ~ 112	26.5 ~ 35.7	23.7 ~ 31.4	4.14 ~ 5.95	6.8 ~ 7.2
平均值	156	87	32.6	29.7	5.18	7.12

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 试验

（1）反硝化除磷的培养分为四个阶段：

第一阶段，厌氧2h，好氧5h，目的是使处理系统在低有机物浓度条件下，具有良好的生物除磷、好氧硝化性能，提高聚磷菌、硝化菌在活性污泥中的比例。

第二阶段，厌氧2h，好氧1.5h，缺氧1h，好氧2.5h，目的是通过利用好氧反应过程中形成的硝酸盐，作为反硝化除磷菌所需的电子受体，为反硝化除磷菌的选择和富集创造理想的条件。

第三阶段，厌氧2h，好氧1.5h，缺氧1.5h，好氧2h，缩短了好氧反应时间，增加了缺氧反应时间，以提高反硝化聚磷菌在全部聚磷微生物中的比例。

第四阶段，厌氧1.5h，好氧2.5h，缺氧2h，好氧1h，目的是降低厌氧段内可能出现的无效释磷量，同时增加了缺氧反应时间，使反硝化除磷菌在缺氧环境中得到进一步的增殖。反硝化除磷菌和硝化菌可以实现较好的共存。

3. 结果　经过四个阶段的培养驯化，有效地在单一反应器中实现了反硝化除磷菌的增殖，其数量的比例由14.82%增长到63.04%，去除率分别为COD 85.3%、总磷79.8%、总氮51.26%、氨氮91.4%，有效地解决了废水中COD低，导致同步脱氮除磷过程中有机物不足的问题。

4. 反硝化除磷菌数量的测定　反硝化除磷菌作为聚磷菌中的一部分，具有同好氧聚磷菌相似的除磷机理。根据提出的反硝化除磷菌在全部聚磷菌微生物中所占的比例可以用缺氧除磷速率和好氧吸磷速率的比值来表示的这个计算方法，分别对（AO）-SBBR和$(AO)_2$-SBBR两种运行工艺的生物膜中反硝化除磷菌在全部聚磷菌中的比例进行了测定，试验结果如图5-5所示。

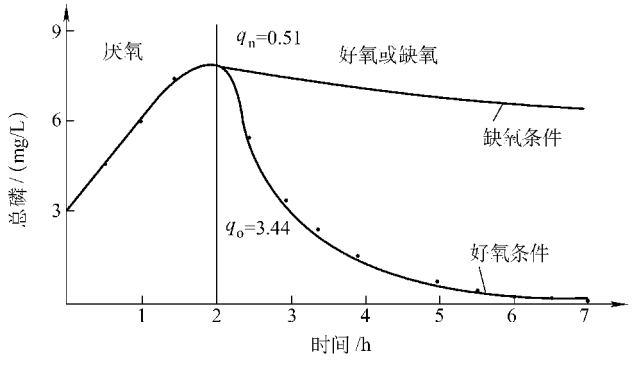


图5-5　(AO)-SBBR污泥好氧，缺氧对总磷吸收

根据图5-5中生物膜上的活性污泥在缺氧和好氧条件下的吸磷速率，计算得出(AO)-SBBR工艺反硝化除磷菌约占全部聚磷菌微生物个数的14.82%，说明未经过厌氧/缺氧反应驯化的活性污泥生物除磷系统中，在全部的聚磷菌中本身就含有一定量的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

反硝化除磷菌，即反硝化除磷菌并不是一类特殊的微生物菌群，它可以广泛地生存在厌氧/好氧或厌氧/缺氧的环境中。

相应地，$(AO)_2$-SBBR 工艺的反硝化除磷菌约占全部聚磷菌微生物个数的 63.04%，如图 5-6 所示。

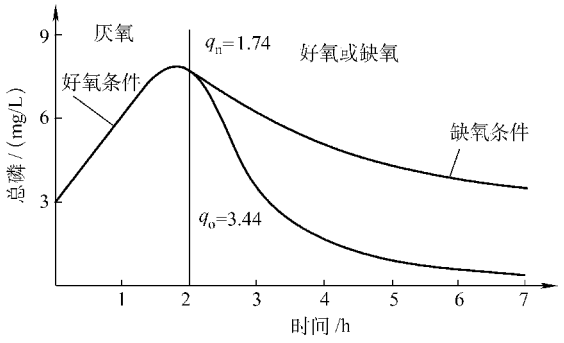


图 5-6 $(AO)_2$-SBBR 污泥好氧、缺氧对总磷吸收

二、山东试验

以氧化沟工艺的活性污泥为接种污泥，采用一段式，直接采用 A^2/O 模式驯化反硝化除磷菌，直至反硝化除磷菌成为优势菌种。

1. 试验材料和方法

（1）试验装置。试验采用 SBR 反应器，SBR 反应器用聚氯乙烯塑料板制成，其内径为 300mm，有效容积为 20L。厌氧和缺氧阶段采用 60r/min 的恒速电动机搅拌，好氧阶段采用微孔曝气，通过转子流量计调节曝气强度，使 DO 保持在 2～3mg/L 左右。进水由贮水箱经潜水泵提升进入 SBR 反应器。缺氧段采用一次性投加硝酸盐的方式，各阶段的反应时间通过时间控制器进行控制。SBR 试验装置如图 5-7 所示。

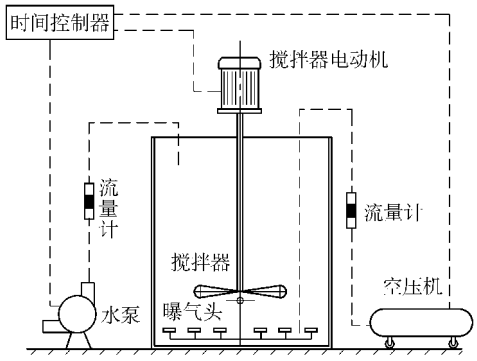


图 5-7 SBR 试验装置

（2）试验用水与接种污泥。试验用水采用人工配水，由自来水溶解 NH_4HCO_3、KH_2PO_4、K_2HPO_4 和食用红糖配制而成。由于食用红糖和自来水中本身含有一些微量元素，因此不再投加微量元素。用配制的 HCl 和 NaOH 溶液调节 pH 值，缺氧阶段投加的硝酸盐采用工业级 $NaNO_3$ 溶液（100g/L）。人工配水主要水质指标如表 5-22 所示。

表 5-22 人工配水主要水质指标

COD/mg·L^{-1}	NH_4^+-N/mg·L^{-1}	PO_4^{3-}/mg·L^{-1}	pH 值
200～400	10～20	7～15	7.0～7.5

接种污泥取自济南市水质净化二厂氧化沟内，污泥 MLSS 约为 4 500mg/L，MLVSS 约为 3 000mg/L，MLVSS/MLSS 约为 0.667，污泥沉降比（SV_{30}）约为 50%，污泥体积

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

指数（SVI）约为110mg/L。

2. 试验

（1）聚磷菌驯化阶段。每天运行2周期，每个周期8.5h，其中进出水0.5h，厌氧2.0h，缺氧3.0h，好氧2.0h，沉淀1.0h；缺氧阶段一次性投加硝酸盐，投加后混合液中硝酸盐的质量浓度为50～60mg/L，并依据前一天的消耗量适当调整。运行期间MLSS在4 000～6 000mg/L之间，根据每天所测MLSS进行适当排泥。

3. 结果　初期，厌氧释磷量、缺氧吸磷量及好氧吸磷量均较少，随着运行天数的增加，PO_4^{3-}去除率逐渐升高；35天后，厌氧释磷量逐渐增加，PO_4^{3-}去除率升高到90%，而后，不断提高进水PO_4^{3-}浓度，PO_4^{3-}去除率始终稳定在97%以上。缺氧吸磷量占吸磷量的97.1%以上，PO_4^{3-}基本在缺氧阶段去除。经过55天的连续运行，完成反硝化除磷菌的驯化，反硝化除磷菌PO_4^{3-}去除率达98%，脱氮率达95%，缺氧结束，水中PO_4^{3-}的浓度小于0.5mg/L。培养结束后，污泥沉降性能较好，SV30为32%左右。

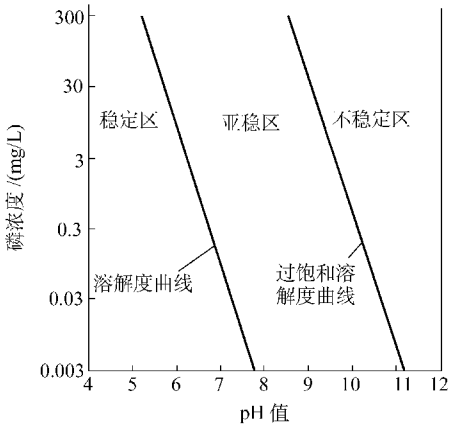


图5-8　羟基磷酸钙的溶解度和过饱和溶解度曲线

4. 反硝化除磷菌比例及污泥含磷率的测定　驯化完成后，对活性污泥中反硝化除磷菌占聚磷菌的比例以及活性污泥含磷量进行测定，以评价反硝化除磷菌的驯化富集效果。Wachtmeister设计了一个批量试验来研究全部聚磷菌中反硝化除磷菌的数量，缺氧吸磷和好氧吸磷速率的比值反映了反硝化除磷菌和聚磷菌的比值。

$$R_{DPB} = q_{an}/q_{ae} \times 100\%$$

式中　R_{DPB}——反硝化除磷菌占聚磷菌的比例（%）；

q_{an}——反硝化除磷菌缺氧吸磷速率[mg/(L·h)]；

q_{ae}——聚磷菌好氧吸磷速率[mg/(L·h)]。

结晶法除磷：在碱性条件下，溶液中的PO_4^{3-}和Ca^{2+}反应可以生成羟基磷酸钙沉淀。

$$10Ca^{2+} + 2OH^- + 6PO_4^{3-} = Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6 \downarrow$$

羟基磷酸钙的溶解度和过饱和溶解度曲线如图5-8所示。

溶解度曲线左边称为稳定区，磷、钙等以离子状态存在，不产生沉淀；过饱和溶解曲线右边为不稳定区，当磷、钙等离子到达这个区域时，迅速生成颗粒微小的羟基磷酸钙，并从水中分离，此为化学沉淀法除磷的机理；溶解度曲线和过饱和溶解曲线之间的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

区域称为亚稳区，这时 PO_4^{3-} 和 Ca^{2+} 的浓度积小于溶度积，要加入其他固体颗粒作晶种，才会产生沉淀。这是结晶法的关键所在，具体加入何种固体颗粒，已经有了工程范例。

影响沉淀的因素有以下三个：

（1）pH 值。最佳的 pH 值为 8.0～9.0，再增加 pH 值对提高除磷效果作用不大。

（2）Ca/P（质量比）。对于 pH 值 > 8.0，[PO_4^{3-} – P] = 3.0mg/L 左右的废水，去除率随 Ca/P 的增大而上升，当 Ca/P > 4 时，去除率即可超过 90%，出水[PO_4^{3-} – P] < 0.5mg/L。随后，Ca/P 增大对磷去除率的提高无明显效果。结晶法除磷的最佳 Ca/P 为 4。

（3）碳酸盐碱度。结晶法除磷工艺中，水中存在的 CO_3^{2-} 会和 Ca^{2+} 反应生成 $CaCO_3$ 结垢在晶体表面，影响除磷效果，并消耗 Ca^{2+}。当 $CaCO_3$ > 160mg/L 时，需投酸下调 pH 值，吹脱 CO_2 以降低碱度，并提高水的 pH 值。

东南大学环境工程研究所与核工业格林水处理公司研制了这一技术，并在青岛一家工厂中作了应用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第六章　药剂介绍

最新电镀废水处理工艺药品有九种：石灰、片碱、焦亚硫酸钠、聚丙烯酰胺（PAM）、聚氯化铝（PAC）、TLA电镀废水处理剂（分前、后剂）、硫酸和盐酸，即两种酸、两种碱、一种还原剂、两种絮凝剂、两种金属捕集器。

第一节　碱

1. CaO

别名：石灰，生石灰

相对分子质量：56.8

结构式：Ca = O

（1）性状。CaO为白色立方晶系粉末，或为略带灰色的块状物，市售的产品中含有90%～95%的CaO，由于其中含有铁、镁等杂质，故有时呈浅黄色、浅褐色或暗灰色，露显于空气中极易吸收CO_2和水分而变成难溶解的$CaCO_3$，与水发生反应（称为消化）生成$Ca(OH)_2$，并放出热量。

（2）用途。在废水处理中用作pH调节剂，可调节pH值至11～12，能去除磷酸盐和大多数重金属、降低生物需氧量、杀灭细菌和病毒，以及去除水中氨。

（3）危害及防护。CaO为强碱性物质，对皮肤和黏膜有强烈的刺激作用，特别是能使脂肪皂化，从皮肤中吸收水分，溶解蛋白质，腐蚀人体组织，能使口腔和鼻黏膜出现溃疡，甚至造成鼻中隔穿孔。吸入CaO粉尘可导致呼吸道疾病，并可能引起肺炎。若皮肤接触了氧化钙粉尘，需用大量清水冲洗。皮肤灼伤时，可用质量分数为5%的柠檬酸、醋酸、盐溶液或植物油除去石灰残渣。如落入眼睛，可以大量清水冲洗10～30min，然后质量分数为5%的NH_4Cl溶液冲洗。使用氧化钙时应穿戴规定的防护用具，特别要注意对眼睛和呼吸器官的保护。美国规定空气中氧化钙粉尘的最高容许浓度为$5mg/m^3$。

2. 片碱

别名：苛性钠、烧碱、火碱

分子式：NaOH

相对分子质量：40.01

（1）性状。烧碱纯品为无色透明斜方晶系结晶，有固体和液体两种。固体烧碱呈白色，有块状、粒状、棒状、片状等，纯度在95%以上。液体烧碱无色透明，纯度为30%～45%。纯品的相对密度为2.13，熔点为318.4℃，沸点为1 390℃；易溶于水，溶解时放出大量的热，溶液呈强碱性，有滑腻感及苦味；也溶于乙醇、甲醇及甘油；不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

溶于乙醚、丙酮；吸湿性强，在潮湿空气中易吸收二氧化碳及水分而逐渐变成碳酸钠；化学性质活泼，可与许多单质、氧化物、无机盐及有机化合物反应，与酸相遇则发生中和反应而生成盐和水；也有皂化油脂的能力而生成皂与甘油；腐蚀性极强，与皮肤接触会导致灼烧，对皮肤、黏膜、角膜等有极强的腐蚀作用；吸入粉尘或烟雾能使呼吸道腐蚀；本身不燃烧，但遇水能放出大量的热，使可燃物着火；遇潮时对铝、锌及锡等有腐蚀性。工业烧碱常含少量氯化钠、碳酸钠及硅酸钠等杂质。

（2）用途。烧碱是重要的化工基本原料，广泛用于食品、医药、农药、制革、造纸、玻璃、轻工、钢铁及有机合成等行业，也可用于脱色剂、脱臭剂、中和剂、沉淀剂、皂化剂等，以及用于制造甲酸、草酸、苯酚、硼砂等。

（3）质量标准。工业用固体氢氧化钠质量标准如表 6-1 所示。

表 6-1 工业用固体氢氧化钠质量标准（GB 209—1993）

指标名称	指标					
	工业用固体氢氧化钠(包括片碱)					
	水银法		苛化法		隔膜法	
	一级	二级	一级	二级	一级	二级
外观	白色有光泽,允许微带颜色					
氢氧化钠(质量分数,%) ≥	99.5	99.0	97.0	96.0	96.0	95.0
碳酸钠(Na_2CO_3)(质量分数,%) ≤	0.45	0.90	1.7	2.5	1.4	1.8
氯化钠(NaCl)(质量分数,%) ≤	0.08	0.15	1.2	1.4	2.8	3.3
三氧化二铁(Fe_2O_3)(质量分数,%) ≤	0.004	0.005	0.01	0.01	0.01	0.02

第二节 酸

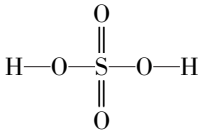
1. 硫酸

别名：磺镪水、硫镪水

分子式：H_2SO_4

相对分子量：98.08

结构式：



（1）性状。纯硫酸为无色透明的油状液体，相对密度（20℃）为 1.831 8，熔点为 10.38℃，沸点为 280℃，加热时会放出 SO_3，直致酸的浓度降低到 98.3%（质量分数）为止，而成为恒沸溶液，沸点为 338℃。硫酸能与水和乙醇以任意比例混合，并放出大

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

量的热。其外观通常因纯度不同而呈无色至红棕色。硫酸为最活泼的无机酸之一，腐蚀性极强。浓硫酸是一种氧化性酸，加热后氧化性更强；稀硫酸能溶解铝、铬、铜、钴、锰、镍、锌等金属，热态时的溶解能力增强，但是稀硫酸不能溶解铅和汞，也极难与高硅铁反应；质量分数为95%以上的冷态浓硫酸不和铁铝反应，因为铁、铝在冷浓硫酸中被钝化；浓硫酸有极强的吸水性，能使木材、棉布、纸张等碳水化合物脱水碳化，接触人体能引起严重烧伤。硫酸几乎能与所有的金属（除铅、汞、高硅铁）、氧化物、氢氧化物反应而生成硫酸盐（包括正盐和酸式盐）。含有20%（质量分数）以上的游离SO_3的浓硫酸称为发烟硫酸，发烟硫酸为无色或棕色油状稠厚的发烟液体，有强烈的刺激臭味，吸水性强，可与水以任意比例混合，放出大量的热并可能引起爆炸，其腐蚀性和氧化性比普通硫酸更大。

（2）用途。硫酸是化学工业中一种极为重要的化工原料，其用途非常广泛，几乎遍及国民经济生产的各个部门。在水处理领域硫酸可用作硬水的软化剂、离子交换再生剂、pH值调节剂、氧化剂和清洗剂等，还可用于化肥、农药、染料、颜色、医药、塑料、化纤、炸药、石油炼制、冶炼、制革、炼焦、轻纺、国防等。

（3）质量标准：GB 534—1989（工业硫酸）。

检测方法：GB 11198.1—1989（工业硫酸中硫酸含量和发烟硫酸中游离三氧化硫含量的测定采用滴定法）。

（4）包装和储运。硫酸应用陶瓷坛包装，外套木箱，坛和木箱之间衬以柴草、刨花或细炉渣等物，大批量酸可装入专用槽车运输，选用包装容器时应考虑硫酸的浓度和温度。硫酸应放置在阴凉通风处，防止日晒雨淋，禁止接触火源，不得与爆炸物、氧化剂及有机物等共储混运。运输时应严格遵守危险品运输原则，严防包装破损。

2. 盐酸

别名：氢氯酸、盐镪水

分子式：HCl

相对分子量：36.46

结构式：H—Cl

（1）性状。盐酸是氯化氢气体的水溶液，为无色有刺激性液体，工业盐酸中因含有铁、氯等杂质而微带黄色，相对密度为1.187（－85℃），熔点为－114.8℃，沸点为－85℃。盐酸属无机强酸，有酸味，腐蚀性极强，极易溶于水、乙醇和乙醚。浓盐酸的质量分数一般为36%，试剂可达38%，在空气中发烟，遇氨气则生成白色烟雾，能与许多金属或其氧化物、碱类、盐类等发生化学反应，常用的盐酸浓度在31%左右。

（2）用途。盐酸是基本化工原料，是最重要的强酸之一，在水处理领域主要用作酸洗剂、离子交换树脂再生剂、萃取剂、中和剂和pH值调节剂。此外，盐酸还常被用来制取金属氧化物，广泛应用于化工原料、染料、医药、食品、印染、皮革、制糖等工业，以及钢铁、焊接、电镀、搪瓷等行业。

（3）危害与对策。盐酸有毒，腐蚀性极强，浓盐酸接触人体能导致严重烧伤，溅入眼内会导致永远失明，吸入盐酸蒸汽会引起咳嗽、窒息，导致呼吸道溃疡，误服会引

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

起黏膜、食管和胃烧伤，咽下困难、恶心、呕吐、极度口渴、腹泻，以至发生循环性虚脱甚至死亡。

接触和使用盐酸，特别是浓盐酸时，应穿戴规定的防护用具，以保护眼睛和皮肤；应采取措施，防止氯化氢气体逸出而污染大气和进入体内。

（4）质量标准：GB320—1993 工业合成盐酸。

检测方法：GB320—1993 工业合成盐酸规定使用滴定法测定合成盐酸的总酸度。

（5）包装和储运。盐酸需用特制的内衬橡胶、聚氯乙烯衬里的密封槽车，以及陶瓷坛装运。用陶瓷坛时，每坛净重 25 ~ 30kg；净重 0.5 ~ 5kg 的产品可用玻璃瓶包装，也可用聚氯乙烯塑料桶包装。陶瓷坛需用有螺旋盖拧紧，盖的四周用耐酸材料密封，再将陶瓷坛装于内衬稻草或杂草的板条箱中，板条箱应高出坛口至少 20mm。槽车及贮罐包装时应加胶盖后再加密封盖。

储运盐酸时应防止容器破损而导致盐酸或其蒸汽外逸，露天存放时应置于石棉瓦或玻璃钢瓦下，不可与硫酸、硝酸混放，不可与碱类、金属粉末、氧化剂、氰化物和遇水燃烧物共储混运。

第三节 絮 凝 剂

1. 聚丙烯酰胺（PAM）

分子式：$(C_3H_5NO)_n$

相对分子量：$1\times10^4 \sim 2\times10^7$

（1）性状。固体的密度（23℃）为 1.3g/cm^3，玻璃化转变温度为 153℃，软化温度为 210℃；热稳定性良好，在缺氧条件下，加热至 210℃因失水而减重，继续加热到 210 ~ 300℃时，酰氨基分解生成氨和水；能以任意比例溶于水，水溶液为均匀透明的液体；相对分子质量的大小对溶解度影响较小，但当溶液浓度高于 10%（质量分数）时，高分子量的聚合物因分子间氢原子的健合作用，可呈现出类似凝胶状的结构。

（2）危害与防护。PAM 低毒，在通常使用条件下对皮肤无刺激作用，但对眼睛有一定的刺激性。

（3）用途。工业上一般对于丙烯酰胺单元含量大于 50%（质量分数）的聚合物泛称为聚丙烯酰胺，在水处理工业中，利用聚丙烯酰胺中的酰氨基可与许多物质亲和、吸附，形成“桥联”，产生絮团，从而加速微粒子的下沉，能适应多种絮凝对象，用量少，效率高，生成的泥渣少，后处理容易。

2. 聚氯化铝

聚氯化铝又称为聚合氯化铝，简称 PAC，是界于 $AlCl_3$ 和 $Al(OH)_3$ 之间的一种水溶性无机高分子聚合物，化学通式为$[Al_2(OH)NCl_6-NL_m]$，其中 m 代表聚合程度，N 表示 PAC 产品的中性程度，通常也称作碱式氯化铝或混凝剂等。

（1）性状。PAC 为黄色、淡黄色、深褐色或深灰色树脂状固体，有较强的架桥吸附性能，在水解过程中，伴随发生凝聚、吸附和沉淀等物理化学过程。其相对密度大于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1.19，pH 值为 3.5～5，易溶于水，水解成氢氧化铝凝胶，有吸潮性，随着温度升高会发生晶变，无毒。聚氯化铝与传统无机混凝剂的根本区别在于传统无机混凝剂为低分子结晶盐，而聚氯化铝的结构由形态多变的多元羧基络合物组成，絮凝沉淀速度快，适用 pH 值范围宽，对管道设备无腐蚀性，净水效果明显，能有效去除水中色质及砷、汞等重金属离子。

（2）用途。PAC 常用于工业废水处理、城市污水处理、造纸施胶、糖液精制、布匹防皱、水泥速凝、化妆品原料等方面。

第四节　还　原　剂

焦亚硫酸钠

别名：偏二亚硫酸钠，二硫五氧酸钠

分子式：$Na_2S_2O_5$

相对分子质量：190.09

相对密度：1.48

（1）性状。焦亚硫酸钠为白色或黄色结晶粉末或小结晶，带有强烈的 SO_2 气味，溶于水，水溶液呈酸性，与强酸接触放出 SO_2，并生成相应的盐类，久置空气中则氧化，故该产品不能久存，高于 150℃即分解出 SO_2。此外它还具有强还原性，与强氧化剂如铬酸酐、氯酸盐或高锰酸钾等发生强烈反应，引起燃烧或爆炸。

（2）用途。焦亚硫酸钠在工业上用于印染、有机合成、印刷、制革、制药等部门，在食品加工中用作防腐剂、漂白剂、疏松剂、抗氧化剂、护色剂及保鲜剂等。

（3）包装及储运。包装袋（桶）上应涂刷牢固的标志，净重 25kg 或 50kg，运输储存时防止破损，受潮遇热会变质，严禁与氧化剂、酸共存。自生产之日起，储存期为六个月。

（4）危害与防护。焦亚硫酸钠对皮肤、黏膜有明显的刺激作用，可引起结膜、支气管炎症状。有过敏体质或哮喘的人，对此非常敏感，皮肤直接接触可引起灼伤；若污染的衣物应立即脱掉，并用大量的流动清水冲洗 15min；如进入眼睛，立即提起眼睑，并用大量的流动清水或生理盐水冲洗 15min；如吸入，则离开现场至空气新鲜处，如呼吸困难，则输氧就医；如食入，用水漱口，饮牛奶或蛋清。

硫酸亚铁也可作为还原剂使用，其经济技术指标不低于焦亚硫酸钠，但是使用硫酸亚铁后溶液呈铁锈色，给人有污染未能除尽和心情沉重的感觉；而使用焦亚硫酸钠则水质呈浅蓝色，看上去赏心悦目，与未处理的废水相比，颜色相差很大。因此，一般不用硫酸亚铁作还原剂。

第五节　金属捕集剂

高分子重金属捕集剂（DTCR）用于捕集废液中的重金属离子。DTCR 是一种液状

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

螯合树脂，能在常温下与电镀废水中的等重金属离子迅速反应，生成不溶于水的螯合盐，加入少量有机或无机絮凝剂，形成不溶性絮状沉淀，产生污泥少，是中和沉淀法的1/20，得到国家环境保护总局的肯定。

技术性能与处理工艺如下：

DTCR 是由螯合剂 NH—CSSNa 组成的大分子量有机螯合树脂，为棕红色透明液体，无限溶于水。使用时按 1% ~2% （质量分数）稀释，溶液呈浅黄色，100% 的原液相对密度不小于 1.26（25℃），pH 值为 11.0 ~ 12.0，黏度为 80 ~ 100mPa · s（25℃）。

DTCR 在常温下与废水中的 Hg^{2+}、Cd^{2+}、Pb^{2+}、Mn^{2+}、Cu^{2+}、Ni^{2+}、Zn^{2+}、Cr^{3+}、Cr^{6+}等重金属离子迅速反应，生成不溶于水的螯合盐，能实现在多种重金属离子共存的情况下一次处理。

电镀废水中的重金属离子种类不同、浓度不同，因此用量也不同，必须经过试验确定，方法如下：

电镀废水→调节 pH 值→加 DTCR 搅拌→加 PAM 搅拌→静止分离

DTCR 按 1% ~2% （质量分数）稀释，调节 pH 值在 3 ~ 10 之间，根据电镀废水重金属离子的含量逐渐滴加，并不断快速搅拌 20 ~ 25min，然后加入质量分数为 10% 的 $FeCl_3$ 或 0.5% 的 PAM，搅拌 15 ~ 20min，静置 30min，过滤可得达标废水及无二次污染的螯合盐沉淀。每 10mg/L 的重金属使用 DTCR 原液量如表 6-2 所示。

表 6-2 每 10mg/L 的重金属使用 DTCR 原液量

序　　号	重金属离子	DTCR 的用量/(g/m^3)
1	汞(Hg^{2+})	4.9 ~ 10.2
2	银(Ag^{+})	9.2 ~ 18.9
3	铜(Cu^{2+})	15.6 ~ 32.1
4	铅(Pb^{2+})	4.8 ~ 9.8
5	镉(Cd^{2+})	8.7 ~ 18.0
6	锌(Zn^{2+})	15.0 ~ 30.0
7	镍(Ni^{2+})	16.8 ~ 34.6
8	钴(CO^{2+})	16.8 ~ 34.6
9	铁(Fe^{2+})	17.7 ~ 36.5
10	锰(Mn^{2+})	18.0 ~ 37.1
11	锡(Sn^{2+})	8.3 ~ 17.2
12	铬(Cr^{3+})	28.6 ~ 58.8
13	铬(Cr^{6+})	57.1 ~ 117.6
14	砷(As^{3+})	13.2 ~ 27.2
15	金(Au^{+})	10.2 ~ 21.0

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第六节　TLA 电镀废水处理剂

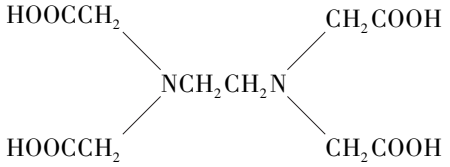
TLA 电镀废水处理剂以螯合剂为主，添加其他药剂，分前剂和后剂。

下面以一种螯合剂为例：

1，2 亚乙基二胺四乙酸，别名：乙二胺四乙酸，乙二胺四醋酸，EDTA

分子式：$C_{10}H_{16}N_2O_8$　相对分子质量：292.24

结构式：



（1）性状。乙二胺四乙酸为晶体，220℃时分解，在 25℃水中的溶解度为 0.5g/L，游离酸的稳定性不如其盐类，加热到 150℃时，会脱羧；为白色、无味、无臭的结晶性粉末，其游离态酸及其金属化合物对热非常稳定（在 240℃时熔化变质），几乎不溶于水、乙醇、乙醚及其他溶剂，能溶于 5%（质量分数）以上的无机酸，如果用苛性碱中和，可生成一、二、三、四碱金属盐。

（2）质量标准。乙二胺四乙酸质量标准如表 6-3 所示。

表 6-3　乙二胺四乙酸质量标准

指标名称	指　标	指标名称	指　标
质量分数(%) ≥	90	铁(Fe)质量分数(%) ≤	0.001
络合力	合格	灼烧残渣质量分数(%) ≤	0.15
重金属(Pb)质量分数(%) ≤	0.001	在碳酸钠中溶解度	合格

（3）危害与防护。乙二胺四乙酸无毒，其盐可溶于水，能迅速排泄出体外。

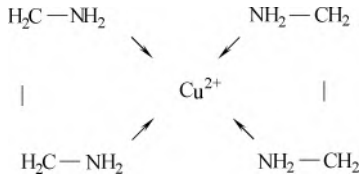
（4）用途。乙二胺四乙酸可与各种金属螯合或成盐，能在较宽的 pH 值范围内与金属形成稳定的络合物，特别是在碱性条件下使用，作为金属捕集器；可用于纺织工业、照相、纸浆工业、脱硝催化剂、食品工作、肥皂、洗涤剂、工业水软化、化妆品、医药、矿业、皮革、橡胶等。

（5）螯合原理。Cu^{2+}为中心离子（又称为配离子的形成体），在它的周围直接配位着一些中性分子或负离子，叫做配位体（简称配体），如 NH_3、Cl^-，能提供配位体的物质称为配位剂。在配位体中，与中心离子直接相结合的原子叫做配位原子，如 NH_3 中的 N 原子和 Cl 原子，配位原子必须具有孤对电子，可以与中心离子共同形成配位键。与中心离子直接结合的配位原子总数叫做配位数，最常见的配位数是 2、4、6。只能提供一个配位原子的配位体称为单齿配体，而含有两个或两个以上配位原子的配位体称为多齿配体，能提供多齿配体的物质称为螯合剂。多齿配体与同一个金属离子形成螯合环

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的化学反应，产物称为金属螯合物（或螯合物）。例如，乙二胺（$H_2NCH_2CH_2NH_2$）中含有2个配位原子（N原子），能与中心离子如Cu^{2+}以环状结构键合形成稳定的配离子，可表示如下（“→”表示配位键）：



如果往$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$溶液中加入乙二胺，则会发生下列反应：

$$[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2en = [Cu(en)_2]^{2+} + 4NH_3$$

这是因为配离子$[Cu(en)_2]^{2+}$较$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$更为稳定，使en取代NH_3而与Cu^{2+}配合。

螯合剂中配位原子的数目除了二齿、三齿外，还有四齿、五齿、六齿等。金属离子和螯合配体生成的螯合物，比它和单齿配体生成的类似配合物稳定性要高。螯合物具有它独特的特性，“螯”指螃蟹的大钳，比喻该物能像螃蟹一样用两只大钳紧紧夹住金属离子。在螯合物的结构中，有一个或多个多齿配体提供多对电子与金属离子形成配位健。EDTA是六齿配体，能提供2个氮原子和4个羧基氧原子与金属配合，从而用一个分子把需要6配位的金属离子紧紧包裹起来，生成极稳定的产物。

（6）螯合剂。螯合剂有乙二胺四乙酸、乙二胺四乙酸二钠盐、乙二胺四乙酸三钾盐、乙二胺四乙酸四钙盐、乙二胺四乙酸单镁盐等。EDTA对金属和有机杂质具有隐蔽作用，能够促进金属离子特别是镍和铁离子共沉积，从而维持槽液杂质在正常的可接受范围内。在镀铬电镀液中，可提高三价铬电镀工艺的工艺范围，保证三价铬电镀液能够长期稳定的投入生产使用。

（7）螯合法与化学沉淀法的比较如表6-4所示。

表6-4 螯合法与化学沉淀法的比较

序号	项　　目	螯　合　法	化学沉淀法
1	工艺方法	投加螯合剂重金属反应形成不溶于水的螯合盐，再利用絮凝剂使其沉淀分离	添加氢氧化物，pH值调节到碱性范围，形成水不溶性重金属氢氧化物＋絮凝剂使其沉淀分离
2	重金属去除	很好	一般
3	盐类影响	无	小
4	有机物影响	无	无
5	絮凝物	粗大	细小
6	沉淀性	快速	一般
7	污泥再溶出	无	酸性可再溶出
8	连续处理	可	可

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	项　　目	螯　合　法	化学沉淀法
9	建设费	便宜	一般
10	污水处理	比较便宜	便宜
11	污泥处理	便宜	很高
12	二次公害	无	有
13	维护管理	容易	一般
14	存在问题	药费价高,没有溶度积常数	H 不可兼容,两性氢氧化物复溶超标;废水中有配合物

电镀废水处理列举了九种药剂，但常用的只有五种，每种药剂都是一主一副，当废水中杂质浓度较高时，才动用副药剂加力。

药品要有专门的库房存放，要防潮、防尘、防盗，储酸房要做防渗、防倾倒设置，旁边要有妥善的安全措施，即进入眼睛或灼伤皮肤，要立即有条件自救；药剂房要取药方便，用药量大的要考滤有自动运输与投药装置。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第七章　电镀污泥处理

电镀污泥是指大量的固体悬浮物质，既可以是废水中早已存在的，也可以是废水处理过程中形成的。电镀污泥处理是电镀废水处理工程的一项重要环节。国家三部，即住房和城乡建设部、环境保护部和科学技术部在2009年2月18日联合出台了《城镇污水处理厂污水污泥处理处置及污染防治技术政策（试行）》，指出“污泥处理处置的目标是实现污泥的减量化、稳定化和无害化；鼓励回收和利用污泥中的能源和资源。坚持在安全、环保和经济的前提下实现污泥的处理处置和综合利用，达到节能减排和发展循环经济的目的”。其中第2.4条规定：“污水处理厂新建、改建和扩建时，污泥处理处置设施应与污水处理设施同时规划、同时建设、同时投入运行。污泥处理必须满足污泥处置的要求，达不到规定要求的项目不能通过验收”。

目前我国污泥年产生量约800万t干重（折成湿泥饼约为3 200万t），并且以每年10%～15%的速度递增。

我国现行的污泥处理处置水平落后，综合利用率低于50%。污泥处置问题已成为水处理行业发展的“瓶颈”。一般来说，污泥处理处置费用应占污水处理总运行费用的40%～50%，但是我国污水处理界长期存在“重水轻泥”倾向，污泥处理设施与处置水平严重滞后。我国现行的污泥处理处置方式主要有以下几种：

（1）简单填埋：约占32%（完全当成废物处理）。

（2）土地利用：约占45%（病原体扩散、污染物进入食物链，存在环境风险）。

（3）焚烧：约占2%（投资高昂、生成废气造成二次污染）。

（4）随意弃置：超过15%。

以广东省为例，广东省现有危险废物处置设施198个，其中焚烧处置设施12个，填埋处置设施4个，综合利用设施182个。珠江三角洲地区危险废物处置设施119个。广东省危险废物主要处置方式处置规模情况如表7-1所示。

表7-1　广东省危险废物主要处置方式处置规模情况

处置方式	设施数量/个	总设计处置规模/(t/年)	2008年实际处置总量/t
焚烧处置	6	66 000	1 361
填埋处置	2	165 000	25 300
综合利用	166	3 434 637	1 324 215
合计	174	3 665 637	1 350 876

广东省危险废物处置企业的经济性质：国有、全民、事业单位5家，集体所有制处置企业18家，私营、外资企业175家。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

广东省现有危险废物处置设施共占地 1 621.6 亩，填埋处置设施占地面积最大，平均占地面积达 183.7 亩，焚烧处置设施平均占地面积 15.7 亩，综合利用设施平均占地面积 12.8 亩。

单位处置能力建设投资，填埋处置设施最高，达 1 083 元/t；其次为焚烧处置设施，达 652 元/t；综合利用设施单位处置能力建设投资最少，仅 162 元/t。不同处置方式的处置设施投资情况如表 7-2 所示。

表 7-2　广东省不同处置方式的处置设施投资情况

处置方式	设施数量/个	建设投资总额		单位处置能力建设投资/(元/t)	平均建设投资额/万元
		万元	%		
焚烧处置	6	7 145	9.7	652	1 191
填埋处置	2	10 750	14.6	1 083	5 375
综合利用	166	55 654	75.7	162	335
合计/平均	174	73 549	100.0	201	423

广东省有收费数据的处置设施共 48 个，填埋处置、综合利用、焚烧处置等不同处置方式的危险废物处置设施收费情况如表 7-3 所示。

表 7-3　不同处置方式的危险废物处置设施收费情况

处置方式	设施数量/个	2008 年实际处置量/t	收费总额/万元	平均每吨危废收费/元
焚烧处置	1	1 361	64	472
填埋处置	2	25 300	2 530	1 000
综合利用	42	1 324 215	52 307	395
合计	48	1 350 876	54 901	406

污泥资源化处置是实施节能减排的必然要求。《广东省节能减排综合性工作方案》规定：工业固体废物综合利用率达到 85%。污泥产生集中、成分相对稳定、资源化/能源化潜力巨大，因此，污泥应是最先获得突破的工业固体废弃物。

第一节　电镀污泥特性

电镀废水处理厂的污泥，是指压滤机所产生的固态、半固态的滤渣，一个 1 000t/d 的电镀废水处理厂，每天排出 3.5t 左右的污泥。

一、污泥的来源

在电镀废水处理过程中，污泥池的液态污泥来自几个构筑物：综合废水池、后续反应池、一沉池和二沉池。综合废水池装的是不含油及氰化物的所有清洗水、前后处理

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

水、冲地水等；一沉池装的是破氰后或破铬后，经过絮凝后的处理水；后续反应池装的是来自一沉池经过调节 pH 值的水；二沉池装的是经过生物处理的水。一沉池污泥最多，每班都要排泥；后续反应池、二沉池一个星期排一次；综合池三个月排一次。

二、污泥的性能指标

污泥的性能指标有：含水率、污泥的相对密度、污泥的比阻、毛细吸水时间、挥发性固体和灰分、污泥的可消化程度、污泥的肥分及污泥的卫生学指标。

（1）含水率。污泥中所含水分的质量与污泥总质量之比称为污泥含水率。污泥含水率越高，降低污泥含水率对减容的作用就越大。不同污泥含水率下的污泥状态如表 7-4 所示。

表 7-4 不同污泥含水率下的污泥状态

污泥含水率	污 泥 状 态	污泥含水率	污 泥 状 态
90% 以上	几乎为液体	60% ~70%	成板块,几乎为固体
80% ~90%	粥状物	50%	黏土状
70% ~80%	柔软状		

（2）污泥的相对密度等于污泥质量与同体积的水质量的比值。由于水的相对密度为 1，所以污泥的相对密度可用下式计算：

$$r=\frac{P+(100-p)}{P+\dfrac{(100-p)}{r_s}}=\frac{100r_s}{Pr_s+(100-P)}$$

式中 r——污泥的相对密度；

P——污泥含水率；

r_s——污泥的平均相对密度。

污泥的相对密度也可直接称重，然后浸在水中，测出体积，计算出相对密度。

干固体包括有机物（挥发性固体）和无机物（灰分）两种成分，其中有机物所占百分比及其相对密度分别用 P_v 和 r_v 表示，无机物的相对密度用 r_a 表示，则污泥中干固体的平均相对密度 r_s 可用下式表示：

$$\frac{100}{r_s}=\frac{P_v}{r_v}+\frac{100-P_v}{r_a}$$

有机物的相对密度一般等于 1，无机物的相对密度一般为 2.5 ~2.65，以 2.5 计，则上式可简化为：

$$r_s=\frac{250}{100+1.5P_v}$$

则污泥相对密度最终计算式为：

$$r=\frac{25\ 000}{250P+(100-P)(100+1.5P_v)}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

确定污泥的相对密度和污泥中干固体的相对密度，对于浓缩池的设计、污泥运输及后续处理都有实用价值。

（3）污泥的比阻为单位过滤面积上，单位质量干污泥所受到的过滤阻力，比阻的大小与污泥中有机物的含量及其成分有关。

（4）毛细吸水时间为污泥中的水在吸水纸上渗透距离为1cm所需要的时间。污泥的比阻与毛细吸水时间之间存在一定的对应关系，通常比阻越大，毛细吸水时间越长。

（5）挥发性固体（VSS）和灰分（NVSS）。挥发性固体表示污泥中的有机物含量，又称为灼烧减重；灰分则表示污泥中的无机物含量，也称为灼烧残渣。

（6）污泥的可消化程度。污泥中的有机物是消化处理的对象，一部分是可以被消化降解的；另一部分是不易或不能被降解的，如脂肪和纤维素等。用污泥的可消化程度表示污泥中可被消化降解的有机物的比例。

（7）污泥的肥分主要指氮、磷、钾、有机质、微量元素等的含量。肥分指标直接决定污泥是否适合作为肥料进行综合利用。

（8）污泥的卫生学指标。从废水生物处理系统排出的污泥含有大量的微生物，包括病原体和寄生虫卵，未经卫生处理的污泥直接排放到环境中或用于农田是不安全的。污泥的卫生学指标是指污泥中微生物的数量，尤其是病原微生物的数量。

三、污泥的成分

各个池处于不同的工艺阶段，所以各自的污泥成分是不同的：综合废水池中有重金属、酸碱、有机物、泥砂，其有害物质是六价铬、重金属、添加剂等；一沉淀池经过破铬、破氰、絮凝、调节pH值，因此有硫酸钙、盐类、重金属、酸碱、有机物，其有害物质是铜盐、镍盐；二沉淀池经过子厌氧、好氧处理，因此有机物、微生物居多，其有害物质是病原体细菌；后续反应池与一沉池相同。最后经过压滤机的滤渣含有的成分为以下几种：

（1）硫酸钙。为主体（用CaO调节pH值）。

（2）重金属。废水处理过程中，绝大多数重金属都富集到污泥中。

（3）氮、磷。是植物的营养素，有肥效。

（4）有机物、微生物。

污泥含水率高，呈胶状态，黏度大。对人体有害的成分是六价铬、铜盐、镍盐及病原体细菌。电镀污泥的pH值为6.8～7.2。电镀污泥无臭味，与生活污泥有所不同。

第二节　污泥减量处理

污泥是污水处理的产物，我国执行的污泥出厂的标准是住房和城乡建设部1993年发布的《城市污水处理厂污水污泥排放标准》（CJ 3025—1993）。这个标准出来后，把污水处理与污泥处理分家了，污泥由专门的废固公司处理，污水处理厂不处理污泥已经实施了近16年。《城市污水处理厂污水污泥排放标准》规定污泥含水率低于80%即可出厂，80%（高）含水率的污泥产生量非常大，因此污泥带来的问题如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）堆放占地面积大。

（2）不便于运输，导致运输成本高。

（3）渗滤液极难处理，因此不能直接填埋。

（4）易产生恶臭并滋生蚊蝇等，造成环境污染，并且含有各种有害物质（如重金属、病原物与有机污染物）。污泥中含有 Cu、Zn、Pb、Cr 等重金属。

（5）污泥的后续处理困难，而且成本高。脱水污泥含水量过高，使污泥干燥、焚烧或热解制油等热处理技术成本过高；简单填埋、作为建筑材料（如制砖）、土地利用等均存在环境风险。

因此，提高污泥的脱水性能，使污泥减容减量化是污泥处置的关键。

一、污泥减量处理——浓缩与压滤

污泥中的水分大致分为四类：空隙水、毛细水、表面吸附水和内部水。

（1）空隙水是指被污泥颗粒包围起来的水分，并不与污泥颗粒直接结合，一般占总水分的 70%，这部分水可以通过浓缩压滤而分离。

（2）毛细水是指颗粒间毛细管内的水，约占总水分的 20%，在脱离毛细水时必须向污泥施加外力，如离心力、真空过滤等，以破坏毛细管表面张力和凝聚力的作用。

（3）表面吸附水是指在污泥颗粒表面附着的水分，其附着力较强，这部分水在胶体状颗粒、生物污泥等固体表面经常出现。这部分水的脱除比较困难，要使胶体颗粒与水分离，必须采用混凝方法，通过胶体颗粒的相互絮凝，排除附着在表面的水分。

（4）内部水是指污泥颗粒内部结合的水分，如生物污泥中细胞内部水分、污泥中金属化合物所带的结晶水等。这部分水是不能用机械方法分离的，可以通过生物分解或热力方法除去。

通常表面吸附水和内部水约占污泥总水分的 10% 左右。污泥中水分示意图如图 7-1 所示。

1. *污泥的浓缩*　综合废水池、后续反应池、一沉池、二沉池中的污泥首先排入浓缩池降低其含水率及体积。浓缩池必须同时满足两个条件：一是上清液澄清，二是排出的污泥固体浓度达到设计要求。如果浓缩池的负荷过大，处理量虽然增加，但浓缩污泥的固体浓度低，上清液浑浊，固体回收率低，浓缩效果就差；相反，如果负荷过小，污泥在池中停留时间过长，可能造成污泥厌氧发酵，产生氮气和二氧化碳，使污泥上浮，同样使浓缩效果降低。

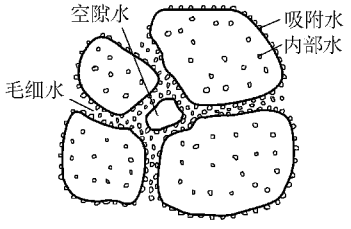


图 7-1　污泥中水分示意图

设计浓缩池时，主要是确定水平断面面积，当浓缩池正常运行时，通过浓缩池任一断面的固通量 G 等于浓缩池底部连续排泥所造成的底流牵动流量 G_u 和污泥自重压密所造成的固体静沉通量 G_i 之和。固通量 G 指单位时间内通过单位面积的固体质量，单位为 kg/(m^2 · h)。底部牵动流量 G_u 和该断面处的污泥固体浓度 C_i 存在如下关系：

$$G_u = uC_i$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中　u——由于底部排泥导致的界面下降速度，大小为底部排泥量 Q_u 与浓缩池断面 A（m^2）的比值，一般为 0.25～0.51m/h。

固体静沉通量 G_i 与该断面处的污泥固体浓度 C_i 存在如下关系：

$$G_i = v_i C_i$$

式中　v_i——污泥固体浓度为 C_i 时的界面沉速。可通过在固体浓度为 C_i 的沉降曲线上过起点作切线来求得。

当稳态工作时，固体质量和断面积的乘积即为进入浓缩池的固体总量：$A_t G = Q_0 C_0$。如进入浓缩池的固体总量 $Q_0 C_0$ 保持不变，G 越小，则 A_t 越大，即采取最小通量 G_L[kg/(m^2·h)]所对应的面积 A_t 就是该浓缩池的设计面积：

$$A_t = Q_0 C_0 / G_L$$

浓缩池的合理设计与运行取决于对污泥特性的正确掌握，不同的污泥来源其污泥特性差别很大，要尽可能经过试验来掌握污泥特性，得出各设计参数。

浓缩池不同深度上都设置了上清液排除管，运行时先排除浓缩池中的上清液，再投入待浓缩的污泥。有的浓缩池不设上清液排除管的，用两台泵，一台是浮动泵，专抽上清液；一台是潜水泵，专抽浓缩的污泥，与之相配的是气压压滤系统，详细内容参见第九章。

2. *污泥压滤*　脱水的方式有多种，目前用的最多、又最经济的是压滤法，其设备有板框压滤机和带式压滤机。

（1）板框压滤机的优点是脱水泥饼的含水率低，滤饼剥落性能好，可以通过加减滤板方便地调整过滤面积；缺点是更换滤布费事，环境污染大。

（2）带式压滤机的优点是自动进行，管理方便，劳动强度低；缺点是含水率高，调整难度较大，滤带价格高。

压滤机的原理与结构见第九章“一、二级处理设备”。

二、污泥减量其他技术

1. *污泥碱化稳定技术*　该工艺石灰投加量 10%，处理后污泥含水率在 70% 左右，经自然堆放 7 天左右后，含水率可降低到 60% 左右，达到《生活垃圾填埋污染控制标准》（GB 16889—2008）和《城镇污水处理厂污泥处置混合填埋泥质》标准的要求。

本工艺处理后的污泥可用作垃圾填埋场的覆盖土，因为是碱性处理，pH 值很高，可以降低臭味，病原菌和蛔虫卵能基本得到处理。

工程应用：上海大众嘉定污水处理厂，每天处理污泥 96t，反应时间 30min，经 70℃高温消毒，pH 值≥12，处理后的污泥不仅达到 GB 18918—2002 规定的相应标准（即有机物分解率＞40%、含水率≤65%），并达到美国 EPACFR40 Part503 标准中的 A 级标准。该厂采用的是施维英 BIOSETTM 污泥碱化稳定技术设备，投资 500 万元，即处理单方污泥工程投资约 5.2 万元/t，运行成本（不计折旧）约 60 元/t。

该工艺处理后的污泥 pH 值较高，一定程度上限制了后续利用，要进一步考虑与后续处置工艺的衔接，扩大处置途径；对不同石灰掺混量条件下出料污泥的含水率、pH 值、热值、重金属含量、杀菌效果、废气排放、浸水试验及运行成本等要进行深入研

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

究。

2. 污泥固态处理高温好氧发酵技术　污泥脱水后与添加物质进行 1∶1 的混合搅拌，双层料仓占地小，自动化程度高，堆肥过程中氧能扩散到污泥颗粒内部，不发生厌氧，一次发酵不需翻垛，产生臭气较少；利用发酵腐熟了的污泥（即堆肥产品）作混合料及覆盖层，能起到生物吸附和脱臭的作用；处理过程中没有污泥储坑，污泥不落地，减少了臭气发生源；污泥最终可用于农业、园林绿化、填埋场覆盖土等。工程投资约 18 万元/t、运行成本（含折旧）约 180 元/t、占地 40m^2/t（以日处理 200m^3 湿污泥为例）。

工程应用：该技术已在上海嘉定、青浦区进行了中试试验，目前正在上海投建，但还未运行。

3. 污泥强力挤压脱水技术　含水率 80% 的脱水污泥进入污泥料仓后要加入少量的添加剂。如供给发电厂，要添加煤矸石，通过分配器进入脱水机滤袋，液压系统约 300kg，在压滤机上铺平后，压力 25kgf/cm^2，通过 5min 的挤压脱水，处理后污泥的含水率可达 60% 以下。其特点是机械能够产生高压，完全利用机械能的作用，直接作用在湿污泥上可以快速的脱水；不使用热源，不需加热，没有温室气体产生；设备封闭不会使污泥外溢，臭气集中处理避免了二次污染；自动化程度高，可进行模块式组装；滤后水自动冲洗滤板，无需外接水源。

该技术已在珠海、绍兴等地进行了生产性试验。绍兴污水处理厂（含工业废水 80%，工业废水中含印染废水 90%）的生产性试验，工程投资约 8～10 万元/t、运行成本（不含折旧）约 80 元/t、占地约 3m^2/t（以日处理 50m^3 湿污泥为例）。

4. 泥水一体化处置技术　泥水一体化处置技术将化学调理和机械脱水相结合，在板框压滤机的基础上，进行了多项技术改进。

（1）增加了泥浆螺旋分配器，解决了污泥在滤板内分布不均匀、泥饼厚薄不一、含水率在有些部位很高的问题。

（2）用凸起粒子滤板，增加了注入污泥在滤室里的流动性和在滤板里的均匀性，明显提高了压滤效果，解决了传统滤板易出现的爆裂问题。

（3）用聚丙烯、缎织、锥孔滤布，大幅度降低了滤布介质的阻力，解决了滤孔的堵塞现象，增加了滤布的疏水性。

（4）研发了化学调理添加剂——表面活性剂 BH—3，无机/高分子絮凝剂 LY—1，助凝剂 LY—2，有效解决了污泥“胶体破壁”的问题。

1）表面活性剂：选择季铵盐类表面活性剂。

2）絮凝剂：配成一种新的“无机/高分子絮凝剂”。

3）助凝剂：采用南方容易收集的食品下脚料研制而成的新型助凝剂。

这项技术对污泥稳定性起到了较好的作用，突破了污泥的“粘胶相区”。污泥含水率在 60%～65% 之间时呈粘浆状，水分子被一层胶体包裹，这个区域称为污泥的“粘胶相区”，是污泥脱水最难的阶段。突破污泥的“粘胶相区”使污泥有了较好的分散性，为污泥无害化处置和资源化利用奠定了基础。此外，污泥含水率降至 60% 后，如

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

果进行堆肥处理可减少一半的发酵周期，增加经济效益。干泥饼还可以制作固体燃料，经调配后进行焚烧处理，回收能源，或作为制砖和水泥的辅料。

在板框压滤脱水时采用间隔的递增式施压工艺，降低了泥饼形成时的介质阻力，提高了板框压滤的脱水性能，可以直接将污水处理厂含水率为93%以上的污泥（即污水处理厂二沉池或浓缩池中的污泥）一次性脱水至60%以下，脱水后污泥呈干饼状，体积减少了一半，没有恶臭产生。

广州绿由工业弃置废物回收处理有限公司先后投资7 000多万元，在引进国外先进设备的基础上，不断消化、吸收和改良，研究开发出以板框压滤机为主体的泥水一体化处理系统，使污泥出厂含水率均可降至60%以下，污泥体积减少一半以上；设备一次性投入成本与现有带式和离心脱水设备持平，处理每吨污泥耗能5～7kWh，改变了传统带式压滤脱水机和离心式脱水机只能使污泥脱水率达到80%左右的状况。

泥水一体化处置技术工程应用实例如下。

工程应用一：广州番禺东涌工业污水处理站的印染污泥处理工程，脱水后干泥的含水率小于50%，并用干泥制成替代燃料。

工程应用二：佛山顺德伦教污水处理厂的生活污水污泥处理工程，脱水后干泥的含水率小于60%，并用干泥制成替代燃料。

工程应用三：广州睿恒石油化工有限公司的污泥脱水项目，印染污泥脱水后干泥的含水率小于50%；造纸污泥脱水后干泥的含水率小于45%；生活污水污泥脱水后干泥的含水率小于60%，并用干泥制成替代燃料。

5. *水蚯蚓生物消化污泥技术*　在曝气池中投放水蚯蚓，通过食物链的作用在污水处理中首先减量化，节省了二沉池及后续污泥处理系统，可节省成本约30%。

第三节　电镀污泥的资源化

电镀污泥具有高热值、轻质地、含多种金属的特点，是一种未被开发的再生资源。国内外对污泥处置尚没有一个统一的标准，但有一点是达成了共识的，即禁止将污泥倾倒入海，有机物含量大的污泥禁止堆埋，重金属、医药化学污泥不允许在农业中随意使用。大多数欧洲国家目前基本认同污泥资源化再利用的方式，以保护资源，让其在自然界中循环，包括脱毒减量、重金属回收、综合利用等。

一、电镀污泥的脱毒减量

电镀污泥资源化必须以脱毒减量为前提。毒是指重金属、有机污染物、病原菌等。

1. *污泥微生物脱毒技术*　该技术是近年来发展起来的污泥无害化、减量化新技术。它的基本原理是：在通氧（鼓风）和投加少量能源物质（亚铁或硫粉）的条件下，利用氧化亚铁硫杆菌和氧化硫硫杆菌等嗜酸性硫杆菌的催化氧化与产酸作用，使难溶态的重金属从固相溶出进入液相，再通过污泥脱水，达到去除污泥中重金属的目的，同时可采用碱沉淀或电化学方法回收滤液中的有用金属。该技术不但能脱除污泥中重金属，还具有以下优点：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）显著改善污泥脱水性能，污泥减容率达40%～50%。

（2）能大幅度杀灭污泥中的病原物。

（3）能起到污泥好氧消化的功效，从而可省去费用高昂的中温厌氧消化工艺。

（4）污泥中的有机物、N、P等有用成分大部分得以保留（80%以上）。

2006年，针对珠三角突出的污泥处置问题，广东省生态环境与土壤研究所成立了“市政污泥处理处置工程中心”，开展了新型污泥资源化/能源化利用技术研究，主要研究方向为：污泥基质化技术、污泥微生物转化技术和污泥微生物发电技术。

污泥基质化技术是指将污泥加工成生物有机铁肥或无土营养基质产品，拓展污泥的使用范围，提升产品附加值。

污泥微生物转化技术是指采用高效发酵技术将污泥转化成生物制剂（微生物杀虫剂、微生物灭蚊剂、碱性蛋白酶制剂）。

污泥微生物发电技术是指以污泥中的有机物为燃料，通过微生物燃料电池（Microbial Fuel Cell，MFC）系统，将污泥中蕴藏的生物质能转化为电能，通过消耗有机物实现污泥减量与处置。

污泥微生物脱毒技术、污泥基质化技术、污泥微生物转化技术和污泥微生物发电技术这四项关键技术，具有以下优点。

（1）体现循环经济思想，能有效实现资源的低消耗、废物的再循环与再利用。

（2）整个工艺流程基于微生物过程，避免采用耗能大、二次污染重的化学过程。

微生物脱毒减量为污泥的后续利用提供了广阔的前景。脱毒污泥可用来制砖、直接焚烧或填埋，也可开发成土壤改良剂或园林草皮基质，产品符合行业准入条件和国家污泥农用标准（GB 4284—1984）。

2. *污泥焚烧发电* 主要将脱水后含水率为83%左右的污泥利用电厂的高温蒸汽在热交换器内进一步干化，将含水率降至50%～60%，再与煤一起进行焚烧发电、供热。绍兴水处理公司与绍兴市中环再生能源发展有限公司合作，解决了“污泥干燥处理”、“污泥焚烧”等技术难关，建成了焚烧发电厂。2009年，绍兴市中环再生能源发展有限公司焚烧发电厂一期处理污泥量为1 000t/天。

3. *电镀污泥的固化/稳定化技术* 目前，电镀污泥的固化/稳定化研究主要集中在固化块体稳定化过程的机理和微观机制等方面。以普通硅酸盐水泥作为固化剂，系统地研究了含铜电镀污泥与干扰物质硝酸铜的加入对水泥水化产物长期变化行为的影响，发现硝酸铜与含铜电镀污泥对水泥水化产物的结晶性、孔隙度、重金属的形态及pH值等微量化学和微结构特征都有重要的影响，如固化体的pH值随硝酸铜添加量的增加而呈明显的下降趋势，孔隙度则随硝酸铜添加量的增加而增大。

（1）Savap研究了水泥固化系统及水泥和粉煤灰固化系统对电镀污泥的固化作用，分析了固化体的抗压强度、淋滤特性及微结构等的变化特性，发现电镀污泥能明显降低两系统最终固化块体的抗压强度，原因是覆盖在胶凝材料表面上的电镀污泥抑制了固化系统的水化作用，但粉煤灰的加入不仅能使这种抑制作用最小化，而且还能降低固化体中铬的浸出率，原因可能是粉煤灰部分取代高碱度的水泥后，使混合系统的碱度降到了

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

有利于重金属氢氧化物稳定化的水平。

（2）Sophia 等认为，单一水泥处理电镀污泥的抗压强度优于水泥和粉煤灰混合系统，但只要水泥与粉煤灰的配比适宜，同样能满足对铬的固化需要，而固化过程中粉煤灰的使用对铜的长期稳定性并无益处。添加剂的使用能改善电镀污泥的固化效果。在电镀污泥的固化处置中，根据有害物质的性质，加入适当的添加剂，可提高固化效果，降低有害物质的溶出率，节约水泥用量，增加固化块强度。在以水泥为固化剂的固化法中使用的添加剂种类繁多，作用也不同，常见的有活性氧化铝、硅酸钠、硫酸钙、碳酸钠、活性谷壳灰等。

4. 电镀污泥的热化学处理技术　热化学处理技术（如焚烧、离子电弧及微波等）是在高温条件下对废物进行分解，使其中的某些剧毒成分毒性降低，实现快速、显著地减容，并对废物的有用成分加以利用。近年来，利用热化学处理技术实现对危险废物电镀污泥的预处理或安全处置正引起人们的重视。目前，有关电镀污泥热化学处理技术的研究，以对在焚烧处理电镀污泥过程中重金属的迁移特性等问题的研究比较突出。一些学者作了不同方向的研究：

（1）Esp inosa 等对电镀污泥在炉内焚烧过程的热特性及其中重金属的迁移规律进行了研究，发现焚烧能有效富集电镀污泥中的铬，灰渣中铬的残留率高达 99% 以上。而在焚烧过程中，绝大部分污泥组分以 CO_2、H_2O、SO_2 等形态散失，因此减容减重效果非常明显，减重可达 34%。

（2）Arros 等利用水泥回转窑对混合焚烧电镀污泥过程进行了研究，分析了添加氯化物（KCl、NaCl 等）对电镀污泥中 Cr_2O_3 和 NiO 迁移规律的影响，认为氯化物对 Cr_2O_3 和 NiO 在焚烧灰渣中的残留情况几乎没有任何影响，焚烧过程中 Cr_2O_3 和 NiO 都能被有效地固化在焚烧残渣中。

（3）刘刚等利用管式炉模拟焚烧炉研究电镀污泥的热处置特性时，分析了铬、锌、铅、铜等多种重金属的迁移特性，认为焚烧温度在 700℃以下时，污泥中的水分、有机质和挥发物就能被很好地去除，且高温能有效抑制污泥中重金属的浸出，但这种抑制对各种重金属的影响各不相同，如镍是不挥发性重金属，在焚烧灰渣中的残留率为 100%，铬在灰渣中的残留率也高达 97% 以上，而锌、铅、铜的析出率则随焚烧温度的升高而有不同程度的增大。

（4）Ram achandran 等用直流等离子电弧在不同气氛下对电镀污泥进行处理，并对处理后的残渣及处理过程中产生的粉末进行了研究，认为此法在实现铜、铬等有价金属回收的同时，可将残渣转化成稳定的惰性熔渣。

（5）Gan 等通过微波辐射对电镀污泥进行了解毒和重金属固化实验，发现微波辐射处理对电镀污泥中重金属离子的固化效果显著，原因可能是在高温干燥与电磁波的共同作用下，有利于重金属离子同双极聚合分子之间发生强烈的相互作用而结合在一起，而经微波处理的电镀污泥具有粒度细、比表面积高、易结团等特性。此外，热化学处理有利于降低电镀污泥中铬的毒性。

（6）Ku 等研究了高温热处理电镀污泥过程中铬的价态变化，认为高温热处理能将

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

六价铬转化成三价铬，且温度越高转化效果越明显；在经高温处理的电镀污泥中，以三价铬为主。

（7）Cheng 等将电镀污泥与黏土的混合物分别在 900℃和 1 100℃的电炉中保温 4h 后，对其中铬的价态进行了分析，发现在经 900℃保温处理的混合物中，六价铬占有绝对优势，而经 1 100℃保温处理的混合物中，则主要以三价铬状态存在。

二、重金属回收

金属资源属于耗竭性资源，无法由自然界重新再生。因此，有关污泥的重金属回收技术一直在不懈地研究中，有的已经实现商业化。回收技术分火法与湿法两大类：火法是将污泥和熔剂一起在高温下熔化，提炼出粗铜；湿法是用化学液体浸取，有酸浸、氨浸和生物浸取。

1. 酸浸法和氨浸法

（1）酸浸法是固体废物浸出法中应用最广泛的一种方法，具体采用何种酸进行浸取，需根据固体废物的性质而定。对电镀、铸造、冶炼等工业废物的处理而言，硫酸是一种最有效的浸取试剂，因其具有价格便宜、挥发性小、不易分解等特点而被广泛使用。

Silva 等以磷酸二异辛酯为萃取剂，对电镀污泥进行了硫酸浸取回收镍、锌的研究实验。

Egliò 等的研究显示，硫酸对铜、镍的浸出率可达 95% ~100%，而在电解法回收过程中，二者的回收率也高达 94% ~99%。也可用其他酸性提取剂（如酸性硫脲）来浸取电镀污泥中的重金属。

Paula 等利用廉价的工业盐酸浸取电镀污泥中的铬，浸取时将 5mL 工业盐酸（纯度为 25.8%，质量浓度为 1.13g/mL）添加到大约 1g 预制好的试样中，然后在 150r/min 的摇床上震荡 30min，铬的浸出率高达 97.6%。

酸浸法的主要特点是对铜、锌、镍等有价金属的浸取效果较好，但对杂质的选择性较低，特别是对铬、铁等杂质的选择性较差；氨浸法对铬、铁等杂质具有较高的选择性，但对铜、锌、镍等的浸出率较低。

（2）氨浸法一般采用氨水溶液作浸取剂，原因是氨水具有碱度适中、使用方便、可回收使用等优点。采用氨络合分组浸出→蒸氨→水解渣硫酸浸出→溶剂萃取→金属盐结晶回收工艺，可从电镀污泥中回收绝大部分有价金属，铜、锌、镍、铬、铁的总回收率分别大于 93%、91%、88%、98%、99%。氨浸法提取金属的技术虽然有一定的历史，但与酸浸法相比，国外关于采用氨浸法处理电镀污泥的研究报道相对较少，以国内研究报道居多。

针对适于从氨浸液体系中分离铜的萃取剂难以选择的问题，祝万鹏等开发了一种名为 N510 的萃取剂，该萃取剂在煤油-H_2SO_4 体系中能有效地回收电镀污泥氨浸液中的 Cu^{2+}，回收率高达 99%。王浩东等对氨浸法回收电镀污泥中镍的研究表明，含镍污泥经氧化焙烧后得焙砂，用 NH_3 质量分数为 7%、CO_2 质量分数为 5% ~7% 的氨水对焙砂进行充氧搅拌浸出，得到含 $Ni(NH_3)_4CO_3$ 的溶液，然后对此溶液进行蒸发处理，使

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$Ni(NH_3)_4CO_3$转化为$NiCO_3 \cdot 3Ni(OH)_2$，再于800℃锻烧即可得商品氧化镍粉。

使用酸浸法或氨浸法处理电镀污泥时，有价金属的总回收率及同其他杂质分离的难易程度，主要受浸取过程中有价金属的浸出率和浸取液对有价金属和杂质的选择性控制。

2. *碳酸盐浸取法*　以含氨的碳酸盐溶液为浸渍液，将电镀污泥中的铜、镍、锌及镉等金属形成可溶性铵碳酸错盐，铜、镍、锌的浸渍率分别可以达到94%、82%及92%。另外，铬与铁在形成错盐后会继续水解，最后再度形成氢氧化物而沉淀，因此铬与铁的浸出率均小于0.01%。氨水浸渍液经过滤后，剩余残渣经过干燥、锻烧及萃取等资源化程序后，可以将残渣中的铬、铁成分以铬黄及铁黑的形式回收；而氨水浸渍液中主要是铜、镍、锌的铵碳酸错盐，因此在浸渍液pH值控制在9以上，而蒸汽供应率为1.1kg/hr的条件下，铜、镍、锌的铵碳酸错盐会发生金属碳酸盐分离沉淀，其溶液中的铜离子浓度提前58min达到排放标准（0.5mg/L）；镍离子浓度提前30min达到排放标准（0.5mg/L）；锌离子浓度提前31min达到排放标准（1.5mg/L），回收的氨水可以重复使用。沉淀的金属碳酸盐利用硫酸使之溶解形成硫酸盐溶液，再利用有机溶剂进行萃取。

3. *生物浸取法*　生物浸取法的主要原理是利用自养型嗜酸性硫杆菌的生物产酸作用，将难溶性的重金属从固相溶出而进入液相成为可溶性的金属离子，再采用适当的方法从浸取液中加以回收，作用机理比较复杂，包括微生物的生长代谢、吸附，以及转化等。就目前能收集到的文献来看，利用生物浸取法来处理电镀污泥的研究报道还比较少，原因是电镀污泥中高含量的重金属对微生物的毒害作用大大限制了该技术在这一领域的应用。因此，如何降低电镀污泥中高含量的重金属对微生物的毒害作用，以及如何培养出适应性强、治废效率高的菌种，仍然是生物浸取法所面临的一大难题，但也是解决该技术在该领域应用的关键。

4. *熔炼法和焙烧浸取法*　熔炼法处理电镀污泥主要以回收其中的铜、镍为目的。熔炼法以煤炭、焦炭为燃料和还原物质，辅料有铁矿石、铜矿石、石灰石等。熔炼以铜为主的污泥时，炉温在1 300℃以上，熔出的铜称为冰铜；熔炼以镍为主的污泥时，炉温在1 455℃以上，熔出的镍称为粗镍。冰铜和粗镍可直接用电解法进行分离回收，炉渣一般用作建材原料。焙烧浸取法的原理是先利用高温焙烧预处理污泥中的杂质，然后用酸、水等介质提取焙烧产物中的有价金属。用黄铁矿废料作酸化原料，将其与电镀污泥混合后进行焙烧，然后在室温下用去离子水对焙烧产物进行浸取分离，锌、镍、铜的回收率分别为60%、43%和50%。

5. *干式冶炼资源化技术*　由于重金属污泥的成分及组成与天然矿产相近，且金属品位大多高于矿产的可开采品位下限，因此有部分研究朝重金属污泥矿物化的方向研究。以矿物化技术将重金属污泥形成适合分选冶炼的矿物型态，再利用已经成熟的选矿及冶炼技术将金属资源回收，经高温冶炼将重金属污泥在高温熔融状态下提炼，以及将目的金属挥发成气体的两种方法，前者称为熔融提炼，而后者则称为挥发提炼。熔融提炼首先是将重金属污泥中的金属化合物分解为金属，熔融的金属会滴落至炉床，另外脉

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

石与助熔剂也会形成熔融的炉渣滴落至炉床，此时相对密度较小的炉渣会浮在相对密度较大的熔融金属层上面，再由不同出口分别取出，就可以获得粗金属产物与废弃炉渣。

利用闪炉（flash furnace）或电弧炉（arc furnace）对电镀污泥进行热处理，金属能够形成稳定的炉渣等。电弧炉的操作温度约为 1 400 ~ 2 800℃，添加 Al_2O_3、SiO_2 及 CaO 作为造渣剂，当反应结束后会产生铁合金与炉渣，其中铁合金因含铜量太高而影响销售。炉渣以德国《有害废弃物试验方法（German standard DIN 38. 414-Part4）》进行分析，分析结果显示炉渣为一种安定的残渣，并且能够符合德国第一级处置规范，其规范内容如下：Zn < 0. 1mg/L、Cr < 0. 05mg/L、Cu < 0. 1mg/L、Ni < 0. 05mg/L、Fe < 1. 0mg/L。

虽然通过高温冶炼对重金属污泥进行资源化，会遇到污泥成分复杂及金属纯化不易的问题，但是日本矿业公司以熔融法对多种金属污泥进行资源化，已经进行了商业化运转。

6. 电镀污泥的材料化技术　电镀污泥的材料化技术是指利用电镀污泥为原料或辅料生产建筑材料或其他材料的过程。

Ract 开展了以电镀污泥部分取代水泥原料生产水泥的实验，认为即使是在含铬电镀污泥在原料中的加入量高达 2%（干基质量分数）的情况下，水泥烧结过程也能正常进行，而且烧结产物中铬的残留率高达 99. 9%。

Magalh Ães 等分析了影响电镀污泥与黏土混合物烧制陶瓷的因素，认为电镀污泥的物化性质和预制电镀污泥与黏土混合物时的搅拌时间，是决定陶瓷质量优劣的主导因素，如原始电镀污泥中重金属的种类（如铝、锌、镍等）和含量明显决定着电镀污泥及其与黏土混合物的淋滤特性，而预制电镀污泥与黏土混合物时，剧烈的或长时间的搅拌则有利于混合物的均匀化和烧结反应的进行。此外，将电镀污泥与海滩淤泥混合可烧制出达标的陶粒。

7. 电镀污泥资源综合利用　电镀污泥经过旋转干燥炉进行脱水干化，分离出重金属污泥，再经过熔炼得到金属锭，最后经电解就能提取出有用的金属物质。生成的下脚料中，燃烧热值比较高的干污泥添加原煤后可以作为燃料，而炉渣可以用来制砖，或经固化后填海，真正把电镀污泥“吃干榨尽”。苏州顺惠公司拥有 10 条电子线路板废水处理生产线和年产 3 000 万块环保砖的生产线，设备全部投产后，一年可以“吃进”5 万 t 电镀污泥，产出 500t 贵重金属。电镀污泥资源综合利用是该公司 2006 年筹建，2009 年投产的新项目，技术和设备都是该公司自主研发的。

8. 含铜废物综合利用设施　含铜废物综合利用设施主要处置的废物种类为线路板厂的含铜蚀刻废液和含铜污泥。珠江三角洲地区电子信息产品制造业比较发达，有含铜废物综合利用设施 34 个，处置电镀污泥的综合利用设施 10 个，处置方式主要为焙烧、火法冶炼等；综合处置含铜废液和废酸、废碱的设施 4 个；单独处置含铜蚀刻废液的综合利用设施 20 个，总设计规模达到 31. 34 万 t/年。含铜废物设计综合利用能力最大的是深圳市危险废物处理站，其设计处置能力达 4 万 t/年；实际处置量最大的是珠海高新

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

区新金开发有限公司，其年实际处置量达2.2万t；中山市火炬环保新材料有限公司的实际处置量达2万t。

含铜废液综合利用的主要工艺原理是通过化学方法发生中和、置换反应，使含铜废液中的铜生成硫酸铜或氢氧化铜产品。含铜废液综合利用的典型工艺流程如图7-2所示。

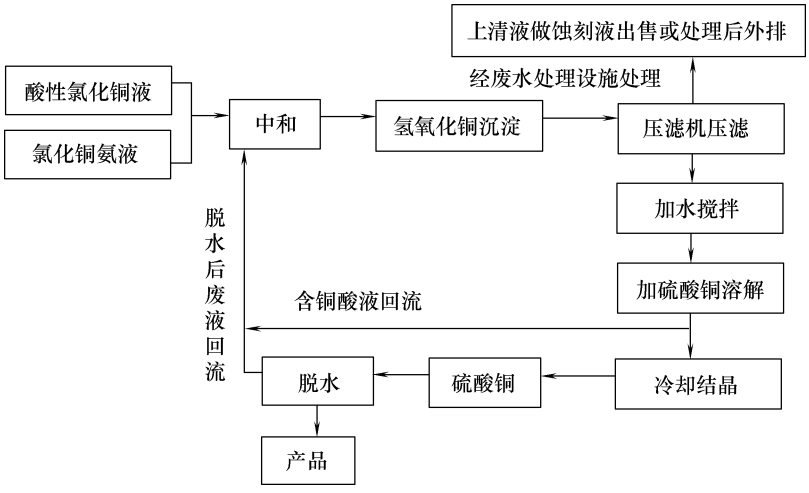


图7-2　含铜废液综合利用典型工艺流程

工艺说明：酸性氯化铜液与氯化铜氨液在反应桶内中和，调节pH值至5.0~5.5之间，然后进行压滤；含铜滤渣通过二次洗涤压滤，将其中的NH_4Cl洗出，然后按一定配比进行打浆。将配好的浆料泵入反应结晶釜后加硫酸酸化，反应完全后进行冷却结晶，待温度降至适当范围即放料过滤，再通过离心脱水即可得到成品硫酸铜，母液可回用。有部分企业将脱水后的废液回流至中和槽再次循环生产硫酸铜，也有部分企业将脱水后的废液通过硫化处理，生成CuS沉淀压滤回收，压滤废水进入蒸氨系统脱氨，生成氨水。

9. *污泥矿化技术回收金属*　由于重金属污泥是人为因素产生的，造成污泥的结晶性、成分组成与熟知的矿物并不相同，因此矿物可以利用成熟的分选与冶炼技术回收金属，而重金属污泥若欲直接资源化可能会遇到分选不易及纯化不易的问题。但是将重金属污泥矿物化后，再利用矿物的物理特性及化学特性进行分选纯化的观念与相关研究并不多见。

金属回收部分包含置换电解、氨浸法、微生物处理、高温熔融法及矿化技术等方式，其中置换电解技术通常操作程序复杂，会牵涉到多次的浸渍、过滤、逆洗及置换等步骤，而且重金属污泥组成的变化会影响技术的适用性。

置换、电解及结晶化操作的代表范例为美国Recontek公司的污泥处理流程，但是此类资源化程序通常较为复杂，且容易因污泥组成改变而受到影响。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

氨浸法虽然具有对部分金属（如铜、镍、锌）选择性浸出的优点，但是浸出速率较慢及有氨水臭味为该技术最大的缺点，因此用该技术对重金属污泥进行资源化时需注意氨水臭味对周围环境的影响。

利用微生物技术进行高浓度重金属污泥的资源回收案例并不多见，目前大多应用在低浓度废水重金属去除方面，反应速率较其他湿法冶金技术慢，其处理容量仅有0.5t/天的规模；微生物资源化技术的大多应用也是在低浓度重金属废水或污泥方面，且有关资源化的商业化操作不常见。因此，高浓度污泥处理初期不太适宜以微生物技术进行资源化。

利用高温熔融法处理重金属污泥虽然有回收金属资源，及产生无害纯性玻璃质炉渣等优点，但是设备投资成本过高往往使人望而却步，另外需注意污泥中是否含有高温离解金属、卤素化合物，因为这些物质容易高温挥发，须以空气污染防治设备进行处理，避免在操作过程中产生二次污染。污泥中若含有易挥发的重金属，也须以污染防治设备进行监控，以避免二次污染的发生。

资源化技术为矿化技术，因为重金属污泥的成分组成均与天然矿物相似，甚至部分污泥金属品位高于天然矿产金属品位，因此重金属污泥若能经过适当的矿化处理，其特性与天然矿产并无不同，可以采用成熟的分选及冶炼技术进行污泥资源化。然而，重金属污泥矿化的观念才刚刚产生，相关技术开发研究及商业化操作案例尚不多见，属于启蒙技术，该领域有相当大的发展空间。该技术的关键在于重金属污泥的组成、含量与矿产接近或相同，矿物特性显著。

三、其他综合利用

（1）农业上的应用。污泥中含有丰富的有机物和N、P、K等营养元素以及植物生长必需的Ca、Zn、Cu、Fe等微量元素，施用于农田能够改良土壤结构、增加土壤肥力、促进作物的生长，但也存在病原菌和重金属污染的危险。因此，各国政府先后颁布了农用污泥重金属浓度标准和严格的无害化要求，并对单位面积土地污泥的应用量有严格的限制。日本制定了一系列等级标准，表7-5所示为农业绿化用污泥的主要成分。

表7-5 农业绿化用污泥的主要成分

序号	项目	有机物干物(%)	C/N比	N_2O	磷酸干物(%)	钾(%)	碱(%)
1	石灰系	36~51	7.9~9.3	2.0~3.2	2.3~3.6	0.15~0.2	19~23
2	高分子系	56~70	6.1~9.4	2.7~5.2	3.2~5.8	0.3~0.36	3.1~6.4

（2）建筑材料上的应用制砖。干化污泥可直接制砖，焚烧灰加入黏土和硅砂也可制砖，制煤渣砖（煤渣75%，电镀污泥15%，石灰8%，磷石膏2%，）生产工艺按制砖工艺不变。制成的污泥砖强度基本与红砖相同，来自一沉池的干化污泥中的病原细菌被酸碱杀死，无机物与金属无害，有机物在烧窑时化为灰烬。对用于制砖的做浸出试验，重金属溶出量应低于国家《有色金属工业固体废物污染控制标准》中规定的浓度。

（3）干化处理。制成保持原热值、高硬度的团粒，经辅助燃烧后，多种金属污泥

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可作陶瓷产品、节能轻质砖、人行道板砖和侧石、煤渣砖、水泥预构件、塑制品的原料。

（4）生产饲料级硫酸铜、电镀级硫酸铜、高纯硫酸铜和硫酸镍。

（5）与煤混合燃烧。污泥与煤的比例为1:4。

（6）铺路。与其他材料混合成多合土，做混凝土马路的基础。

（7）单一金属污泥的回收。如含单一Ni、Cu、Zn氢氧化物的污泥，比矿石中的金属含量高得多，是一种宝贵的金属资源，可用隔膜电解法（电解+电渗析）在阴极上电沉积得到电解金属。

（8）由电镀污泥的主要成分可知，电镀污泥适宜做水泥和塑料、油漆、纸张、橡胶、密封胶及乳胶的填充剂。

（9）混合污泥水泥固化。水泥、砂石加2%的电镀污泥制作混凝土，强度可提高20%，混凝土呈碱性，可将重金属离子稳定地固定在混凝土中，不会造成二次污染。

（10）综合废液处理：含铬、铜、镍的废液，镍、铜的浓度很高，首先破铬，将六价铬转化为三价铬，调整pH值，沉淀过滤，收回氢氧化铬；然后用低电流密度电解收回铜；最后加热，收回镍，生产硫酸镍、硫酸铜。如有铁生成，用磁铁将其吸出。

（11）塑料电镀粗化废液。塑料电镀过程中，镀件在化学粗化时，Cr^{6+}不断被还原成Cr^{3+}，当Cr^{3+}浓度积累到40g/L以上时，不能继续使用，要再生。通过隔膜电解工艺（电解+电渗析），用隔膜将电解槽分隔成阴极室和阳极室，在直流电场下，金属杂质等阳离子通过隔膜向阴极室迁移，SO_4^{2-}等阴离子向阳极室迁移，Cr^{3+}在阳极表面氧化生成Cr^{6+}，从而使粗化废液再生。

四、污泥综合利用涉及的有关技术

（1）萃取。溶剂萃取是废水浓缩处理、选择和分离的过程。广东省约有15个危险废物综合利用设施采取萃取方式从含镍废物中提取镍。

（2）干燥技术。干燥技术是火法冶炼中常采用的预处理技术，广东省含有色金属的危险废物综合利用设施中，常采用干燥技术先将含有各种金属的污泥干燥后，再进行冶炼提取其中的金属。

（3）化学处理技术。化学处理技术是应用最为广泛、最有效的方法之一。常用的化学处理技术包括沉淀及絮凝、沉降、化学氧化、重金属沉淀、化学还原、中和等。

（4）危险废物的固化/稳定化技术。该技术现已被广泛应用于危险废物焚烧处置设施，包括产生的飞灰固化和稳定化、填埋处置液态或污泥态的危险废物的稳定化和固化。深圳危险废物处理站开发出的有机螯合稳定化剂用于危险废物的填埋处理，效果较好。

从实际情况看，污泥的综合利用在技术上是可以解决的，二次污染也是可以解决的，但是产生不了经济效益，保本经营还要尽心尽力。所谓变废为宝的提法是不妥当的，因为其处理的工艺和成本等经济技术指标，都不能和正常的生产产品的经济技术指标相比较，如果从经济效益这方面去考虑，不但这项工作开展不起来，反而会引起二次污染，即一些不具备条件的工厂和个人，在没有审批的情况下，从废水处理厂以极低的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

价格买污泥去作填料或提炼金属，废水处理厂由交处理费用变为作商品出售，获得非法收入。废水厂在处理成本较高的情况下，违法私下交易；收购者缺乏监管，私下开工，有害物质失去监管，胡乱排放，给社会带来的危害将超过原电镀厂废液排放所带来的危害。

第四节　电镀污泥填埋处理

污泥填埋是目前污泥处理的主要方法。

一、填埋场场址的选择

填埋场场址的选择应符合国家及地方城乡建设总体规划要求，还要符合国家和省的固体废物污染防治规划：

（1）能充分满足填埋场基础层的要求。

（2）现场或其附近有充足的黏土资源以满足构筑防渗层的需要。

（3）位于饮用水、水源地主要补给区范围之外，且下游无集中供水井。

（4）地下水位应在不透水层 3m 以下。如果小于 3m，则必须提高防渗设计要求，实施人工措施后的地下水水位必须在压实黏土层底部 1m 以下。

（5）天然地层岩性相对均匀、面积广、厚度大、渗透率低。

（6）地质构造相对简单、稳定，没有活动性断层。非活动性断层应进行工程安全性分析论证，并提出确保工程安全性的处理措施。

广东省在污泥填埋方面作了有益的探索。广东省有两个重点污泥填埋场所，分别为深圳市危险废物处理站填埋场和珠海市鸿湾工业固废物处理中心填埋场，其年处理规模分别可达 5 万 t 和 1.5 万 t。两处填埋场的选址基本符合《危险废物填埋污染控制标准(GB 18598—2001)》、《危险废物安全填埋处置工程建设技术要求》以及《危险废物污染防治技术政策》的要求。两处填埋场选址的基本情况如表 7-6 所示。

表 7-6　填埋场选址的基本情况

选 址 条 件	深圳市危险废物处理站安全填埋场	珠海市鸿湾工业固废物处理中心安全填埋场
是否符合规划要求	是	否
是否开展环评及报建手续	是	是
是否位于敏感区域	否	否
厂界到最近居民区(村)距离/m	800m 以外	1 600
是否符合防洪要求	是	是
场址到地表水域的距离(应大于 150m)	6～8 公里	
是否符合场址的地质条件	是	是
是否避开了不利建场的区域	是	是
填埋场使用年限(10 年或以上)	25	10

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、工程实例

（一）深圳市危险废物处理站

深圳市危险废物处理站采用的封闭水泥槽法属沟槽法填埋工艺，建有地下式钢筋砼矩形槽8个，间距4m，每个2 000m^3，长22.8m，宽22.8m，高4m，用密封层作加强防渗处理；上部设投入孔，填满后封闭；设有导气孔，用于排除产生的气体。

1. 地质条件

（1）原基础系采石场的回填场和第四系砂砾层，渗透系数达10^{-4}～10^{-3}cm/sec，且基岩顶部为强风化带，岩体裂隙呈中等发育，基础具有很强的垂直和水平防渗透能力。

（2）该填埋场位于石夹坑，接近沟谷出口，是地下水潜水汇集之地，地下水潜水位位于地表下2.5～4.0cm，水体较浅，渗透水主要来自潜层地下水的直接渗漏。该区域地质稳定性较好，无断裂带通过；场地基础为厚层状坚硬岩区，岩石力学性质较好。

（3）填埋场区存在一层厚度不均匀的粉土层，在不同的钻孔中可见其厚度分别为1.2m和3.3m，经渗透实验测试其渗透系数K为$(3.45\sim9.3)\times10^{-7}$，是比较好的隔水层，而且顶层埋深为10.8～13.6m。

深圳市危险废物处理站危险废物处置工艺按其性质可分为三类进行处置：

1）对酸、碱、重金属废液以及含氰废液等无机液体，由槽罐车收集进物化车间，通过中和、氧化还原等化学方法分解有害物或形成沉渣，再经脱水后送固化车间，经固化后填埋。

2）对无机有害污泥、工业粉尘、石棉等废物直接进固化车间固化后填埋。

3）对有回收价值的各种废料，先进行回收，然后再处理；处理过程中有回收价值的中间物，也考虑逐步回收，然后作最终处置。

2. 深圳市危险废物处理站填埋场处置工艺路线　该填埋场采用分区填埋方案，同时配套有渗沥液收集系统、防渗系统、场区防洪系统、进场道路系统、库区排水系统，以及填埋场监测、分析化验设施和生产、生活管理系统等。填埋库区为一废弃采石坑，经边坡处理后，敷设有防渗系统和渗沥液收集系统，防渗方法采用黏土防渗层和铺设进口高密度聚乙烯防渗材料。填埋场采用分层填埋方式。

（二）珠海市鸿湾工业固废物处理中心

珠海市鸿湾工业固废物处理中心采用的填埋池法属于沟槽法填埋工艺，整个填埋场分为若干区，将填埋场分区建成若干填埋池，填埋池四周均由钢筋混凝土构筑成，容积不大于200m^3，内空净深为4m，具有防渗系统。

1. 地质条件

（1）场址的基岩主要为花岗岩，附近未见有明显的破碎带通过，未见泉水口或其他地下水出水眼等标志，未见地下水越流补给带的地物存在，能充分满足填埋场基础层的要求。

（2）现场及附近有充足的黏土资源，满足构筑防渗层的需要。

（3）场址位于地下水饮用水源地主要补给区范围之外，且下游无集中供水井。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）地下水位在不透水层 3m 以下。

（5）天然地层岩性相对均匀、面积大、厚度大、渗透率低。

（6）地质构造相对简单、稳定，没有活动性断层。

（7）场地内未发现断裂构造从场地及其附近通过，场地地质较稳定。

（8）场址选在山前陡峻或斜坡地带，有利于自然排水，水文地质单元单一，适宜建址。

2. 珠海市鸿湾工业固废物处理中心填埋厂处置工艺路线　珠海鸿湾填埋场危险废物处置技术路线如图 7-3 所示。

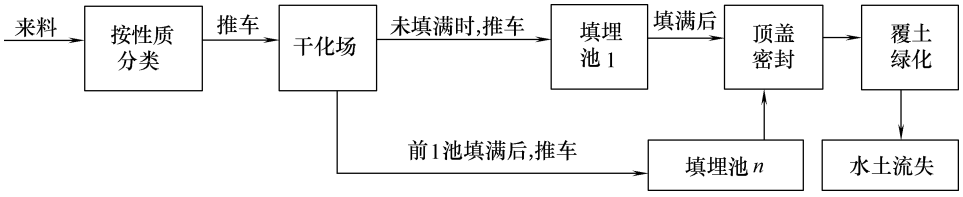


图 7-3　珠海鸿湾填埋场危险废物处置技术路线

该中心将进场工业固体废物分为以下 4 类

（1）含低毒性有机废物。

（2）含挥发性有机废物。

（3）含低毒性无机废物。

（4）含一类污染控制金属元素废物。

由工作人员分类卸到中心干化场，并直接在干化场晾干至水分含量小于 60%，即完全压不出水来。将晾干后的废物用小型运输工具转运至四周钢混结构的防渗填埋池，逐层压紧。填埋池未填满并且覆盖密封期间，其上口始终设置遮雨棚，防止雨水或者地面水流入池内。当小池填满后，及时用混凝土制件密封小池口，使之形成完全密封的非渗水危险废物填埋单元，同时启用另一填埋池。当地势较低的一排填埋池全部填满，并加盖密封后，即进行覆土、绿化，直至达到其使用期限。

两填埋场原均为废弃采石坑，根据场地特征应属山谷型填埋场，根据填埋坑基底标高应属凹坑填埋场。

第五节　电镀污泥焚烧处理

污泥经焚烧后产生无菌、无臭的无机残渣，可以迅速并较大程度地使污泥减量化，可以充分处理不适宜资源化利用的污泥。对于在恶劣的天气不宜贮存、远离填埋场以致运输费用高的场合，以及土地资源紧缺的地区，用焚烧法处理是较经济有效的。焚烧灰

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

能有效地用于沥青填料和轻质基材等建筑材料，燃烧产生的热可以用来发电。污泥焚烧处理单位投资比例小、综合处理成本相对较低。焚烧对于污染严重的污泥（重金属含量高及化学污染物超标的工业污泥）及污泥实现完全矿化具有优势。

一、污泥焚烧处理厂选址

污泥焚烧处理厂厂址条件应符合《危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范》（HJ/T176—2005）中的选址要求：

（1）不允许建设在《地表水环境质量标准》（GB3838—2002）中规定的地表水环境质量Ⅰ类、Ⅱ类功能区和《环境空气质量标准》（GB3095—1996）中规定的环境空气质量一类功能区，即自然保护区、风景名胜区、人口密集的居住区、商业区、文化区和其他需要特殊保护的地区。

（2）焚烧厂内危险废物处理设施距离主要居民区以及学校、医院等公共设施的距离应不小于800m。

（3）应具备满足工程建设要求的工程地质条件和水文地质条件。不应建在受洪水、潮水或内涝威胁的地区；受条件限制，必须建在上述地区时，应具备抵御百年一遇洪水的防洪、排涝措施。

（4）厂址选择时，应充分考虑焚烧产生的炉渣及飞灰的处理与处置，并宜靠近危险废物安全填埋场。

（5）应有可靠的电力供应。

二、污泥的焚烧工艺

焚烧可分为完全焚烧和湿式焚烧。

1. 完全焚烧　又称干燥焚烧。污泥所含水分完全蒸发，有机物质完全被焚烧，最终的产物是 CO_2、H_2O、N_2 等气体及焚烧灰。

焚烧设备有回转焚烧炉、立式多段焚烧炉和流化床焚烧炉。以流化床焚烧炉为例，简单说明其工艺。

流化床焚烧炉主要由炉本体、尾部受热面、床面补燃系统、喷水减温装置、螺旋输送机、排渣阀、燃油启动燃烧室、烟气处理系统和鼓风机等组成。其中，炉本体由流化床密化区和稀相区构成，在稀相区布置有受热面。流化床污泥焚烧炉采用一定粒度范围的石灰石/石英砂作床料，一次风由风室经布风板进入焚烧炉，使炉内的床料处于正常流化状态。污泥和石灰石/石英砂由螺旋给料装置送入炉内，污泥入炉后即与炽热的床料迅速混合，受到充分加热、干化并完全燃烧。

流化床床温控制在850～900℃之间，污泥呈颗粒状在流化床内燃烧，其所占床料质量比很小。污泥进入流化床内即被大量处于流化状态的高温惰性床料冲散，因此，污泥在流化床内焚烧时不会发生黏结。污泥中含有的S、Cl等成分与污泥中的CaO反应，实现炉内固硫和固氯，可大大减少 SO_2 和HCl的生成，并可减轻烟气净化设备的负荷。

流化床污泥焚烧炉主要有两种：鼓泡流化床和循环流化床。

（1）鼓泡流化床污泥焚烧炉的炉膛由密相焚烧区和稀相焚烧区组成，流化速度一般控制在0.6～2.0m/s之间，密相焚烧区高度一般控制在0.8～1.2m之间，以保证污泥

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

完全燃烧所需的炉内停留时间和密相焚烧区内床料和流化介质的充分接触及稳定流化等。稀相焚烧区高度的选取则主要取决于颗粒的夹带分离高度 TDH、烟气的炉内停留时间和受热面的布置等。

（2）循环流化床的流化速度一般在 3.6 ~ 6.0m/s 之间，约为鼓泡流化床的 2 ~ 10 倍。在此流化速度下，烟气夹带大量的细颗粒飞离炉膛，进入气固分离装置。分离出来的固体颗粒经物料回送装置送入炉膛下部，形成物料的循环。该运行方式保证了污泥和脱硫剂等固体物料在炉膛内有充分的停留时间，使污泥的燃尽率和脱硫剂的利用率有较大的提高。

流化床焚烧炉的构造如图 7-4 所示。

流化床焚烧炉的主体设备是一个圆形塔体，下部设有分配气体的分配板，塔内壁衬有耐火材料，并装有一定量的耐热粒状载体（砂粒）。气体分配板有的由多孔板制成，有的平板上穿有一定形状和数量的专业喷嘴。气体从下部通入，并以一定速度通过分配板，使床内载体“沸腾”呈流化状态。脱水污泥经半干化后从塔侧或塔顶加入，在流化床内进行干化、粉碎、气化等过程后，通常在 850 ~ 950℃下迅速燃烧。燃烧气从塔顶排出，尾气中夹带的载体粒子和灰渣一般用除尘器捕集后，载体可返回流化床内，尾气经热交换回收热量后进行下一步处理，回收的热能用于污泥半干化。流化床焚烧技术是利用污泥热能的最常用技术，适用于大批量处理。尾气处理系统包括电除尘、酸洗、碱洗、活性炭吸附和布袋除尘。处理后的尾气经在线测量装置进行监测后排放。另外，处理系统产生的废水需要经过蒸馏和离心分离装置处理，使蒸馏出水的 pH 值达到下水道排放标准排入市政污水管，分离出的盐分作为化学废弃物运到废弃物处理厂处理。

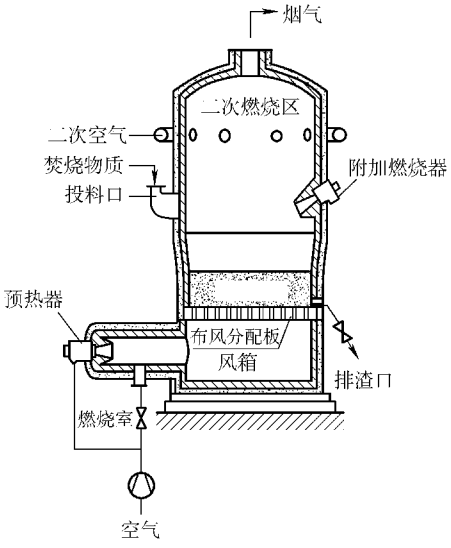


图 7-4　流化床焚烧炉的构造

污泥的燃烧热值可用下式计算

$$Q = 2.3a\left(\frac{100p_v}{100-G} - b\right) \times \left(\frac{100-G}{100}\right)$$

式中　Q——污泥的燃烧热值（kJ/kg）（干）；

p_v——有机物质的含量（即挥发性固体）（%）；

G——所加无机混凝剂所占污泥干固体质量的百分数，当用有机高分子混凝剂时，$G = 0$；

a，b——经验数据，与污泥的系数有关。新鲜初沉池污泥与消化污泥：$a = 131$，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$b=10$；新鲜活污泥：$a=107$，$b=5$。

各类污泥的燃烧热值如表7-7所示。

表7-7　各类污泥的燃烧热值

序　号	污泥种类	燃烧热值/(kJ/kg)(干)
1	初沉池污泥 新鲜 经消化	 15 826～18 191.6 7 201.3
2	初沉池污泥与腐殖污泥混合 新鲜 经消化	 14 905 6 740.7～8 122.4
3	初沉池污泥与活性污泥混合 新鲜 经消化 新鲜活性污泥	 16 956.5 7 452.5 14 905～15 214.8

流化床焚烧炉的优点是结构简单，接触高温的金属部件少，故障少，污泥的干燥与焚烧同时进行，可除臭，硅砂与污泥接触面积大，热效率高，节省能源，焚烧时间短，炉体小。由于焚烧炉的热容量大，停止运行后，每小时降温不到5℃，因此，在停运后两天内重新运行可不必预热载体，故可连续或间歇运行，操作可实现自动化。污泥的完全焚烧最早是在20世纪40年代开发的，经过几十年的发展，完全焚烧的优点正逐渐显现出来：干燥后的污泥与湿污泥相比，可以大幅度减小体积，从而减小了储存空间，实现了污泥的减量化，形成颗粒或粉状的稳定产品，减轻了污泥的有关负面效应，使处理的污泥更容易被接受；节省后续焚烧处置的费用，节约燃料的消耗，尾气处理系统处理难度降低。

流化床焚烧炉的缺点是操作复杂，运行效果不及其他焚烧炉稳定，动力消耗大，焚烧气体含有致癌物质二噁英，要配备二噁英处理装置，价格较贵。

2. 湿式焚烧　也称不完全焚烧、湿式氧化或直接焚烧。浓缩后的污泥含水率约为96%，在液态下加温加压，并压入压缩空气，使有机物被氧化去除，从而改变污泥的结构与成分，在湿式氧化过程中，约有80%～90%的有机物被氧化，故称不完全焚烧。湿式氧化必须要在高温高压下进行，所需氧化剂为空气中的氧气或纯氧、富氧等。氧化度=湿式氧化前后COD值的差/湿式燃烧前的COD（%）。由于必须保证氧化反应在液相中进行，因此要求温度高、氧化速度快。氧化度高，压力也相应要高，若压力不高，大量氧化反应热被消耗于蒸发水蒸气，造成液相固化，使有机物无法氧化。湿式焚烧的反应温度与相应的压力关系如表7-8所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-8 湿式焚烧的反应温度与相应的压力关系

反应温度/℃	反应压力/MPa	反应温度/℃	反应压力/MPa
230	4.5 ~ 6.0	300	14.0 ~ 16.0
250	7.0 ~ 8.5		
280	10.5 ~ 12.0	320	20.0 ~ 21.0

湿式焚烧可分为以下三种：

（1）高温高压氧化法。反应温度为 280℃，压力为 10.5 ~ 12.0MPa，氧化度为 70% ~ 80%，焚烧后的残渣很少，氧化分离的 COD 约为 8 000 ~ 9 500mg/L，氮为 1 400 ~ 2 000mg/L，氧化热值高，可以回收发电，但设备费用高。

（2）中温中压氧化法。反应温度为 230 ~ 250℃，压力为 4.5 ~ 8.5MPa，氧化度为 30% ~ 40%，不需要辅助燃料，设备费用较低，但氧化分离的浓度高，COD 约为 14 000 ~ 15 500mg/L。

（3）低温低压氧化法。反应温度为 200 ~ 220℃，压力为 1.5 ~ 3.0MPa，氧化度低于 30%，设备费用更低，需辅助燃料，残渣量多，氧化分离的 COD 低。

湿式焚烧的优点是适应性强，难进行生物降解的有机物可被氧化，达到完全杀菌的效果；反应在密闭的容器中进行，无臭气产生；管理可实现自动化，反应时间短。

湿式焚烧的缺点是设备用不锈钢制造，造价高，高压设备电耗大、噪声大，热交换器及反应塔要经常除垢；在高温高压氧化过程中产生有机酸与无机酸，对设备有腐蚀作用，排放的气体要进行处理。

由于污泥的含水量大、热值低，只有加入辅助燃料（煤、重油、柴油等），污泥才能燃烧，耗费大量能源。由于污泥含水量大，焚烧后的尾气量也比较大，后续尾气处理需要庞大的设备，操作控制难度大。相应造成后续喷淋塔、除雾塔等设备的处理量大大增加，同时使设备投资和系统运行费用大大提高。在目前控制资源和能源消耗的条件下，无论是从运行成本还是从设备投资等方面考虑，污泥的直接焚烧正逐渐被干燥后焚烧所代替。

三、广东省的污泥焚烧设施

广东省在污泥焚烧上起步较早。现将该省的情况介绍如下。

广东省共建有危险废物焚烧处置设施 8 个，通过高温焚烧处置不可利用的危险废物，其主要工艺类型如表 7-9 所示。

表 7-9 焚烧处置设施工艺类型

设施编号	设施名称	业主名称	工艺类型	备注
GZ0106	旋转式固液焚烧炉	广州番禺绿由工业弃置废物回收处理有限公司	旋转窑焚烧	正常生产
GZ0107	100t 焚烧发电项目		热解焚烧	刚建成
GZ1502	热力处理系统	广州市通用新产品开发有限公司	旋转窑焚烧	临时许可证,正常生产

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

设施编号	设施名称	业主名称	工艺类型	备　注
GZ33	危险废物焚烧处置设施	广州市白云区云生废物处理中心	热解焚烧	和医疗废物共焚烧，无许可证
SZ0604	工业危险废物高效无污染工艺装置	深圳市龙善环保科技实业有限公司	旋转窑焚烧	正常生产
ZS0401	焚烧炉	中山市中环环保综合利用科技有限公司	共焚烧	已停用
ZQ01	自然风助抽式垃圾焚化炉	肇庆市永华工业固体废弃置废物回收处理有限公司	控气式热解焚烧炉	临时许可证，工艺设备较简单

焚烧处置设施规模最大的是广州番禺绿由工业弃置废物回收处理有限公司的100t/d的危险废物焚烧发电设施，年处置能力达30 000t，该设施于2005年6月建成投产。深圳市龙善环保科技实业有限公司的危险废物焚烧处置设施，设计处置规模为5 000t/年。肇庆市永华工业固体废弃置废物回收处理有限公司的危险废物焚烧炉，年处置能力为25 000t，但因其为企业自建的固定炉排焚烧炉，各项污染防治措施及焚烧炉主体设备不符合国家有关技术要求和标准，因此已停用。

1. 焚烧工艺与设备

（1）焚烧工艺。典型危险物焚烧处置工艺如图7-5所示。

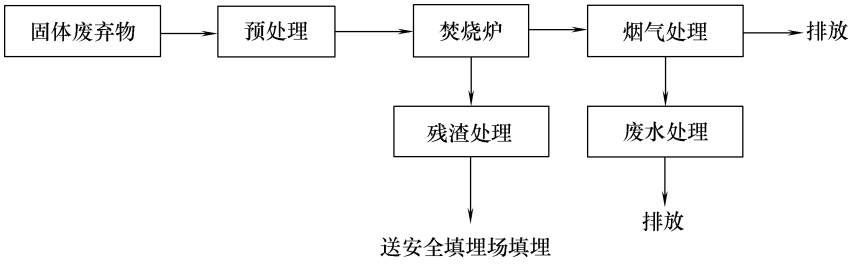


图7-5　典型危险废物焚烧处置工艺

（2）焚烧炉。广东省大部分焚烧炉为国产，主要生产厂家有北京机电院高技术股份有限公司、深圳汉氏固体废物处理设备有限公司、江西省南方环保机械制造总公司、深圳市龙善环保科技实业有限公司、福建丰泉集团等，其生产的设备基本达到了焚烧处置设施建设的要求，在整体设计、配套装置、污染防治技术、焚烧技术等方面与国外有一定的差距，特别是焚烧系统的核心技术，如燃烧系统的自动化燃烧机、喷液系统的喷嘴等关键设备需要进口。各危险废物焚烧处置设施焚烧炉情况如表7-10所示。

各危险废物焚烧处置设施焚烧炉主要技术参数如表7-11所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 7-10 各危险废物焚烧处置设施焚烧炉情况

设施名称	焚烧炉生产厂家	产品型号	设计处置规模	产品特点
绿由固液设施	北京机电院高技术股份有限公司	XGYL500 型	12t/d	包括回转窑、二燃室、换热部分、尾气净化部分、固液投料部分
绿由发电设施	深圳汉氏固体废物处理设备有限公司			
广州通用	广州通用新产品开发有限公司	FQZ 系列复式气化焚烧炉	200kg/h	（1）可处理固、液气三种形态废物 （2）采用转炉气化技术 （3）二燃室由燃烧机使烟气升温 （4）自研高温组合式高效除尘器
广州白云	江西省南方环保机械制造总公司			
深圳龙善	深圳市龙善环保科技实业有限公司	LS-600 型回转式焚烧炉 LS-200 立式固体焚烧炉 LS-250 卧式废液体焚烧炉	1000kg/h	3 套焚烧炉共用一套尾气净化综合处理装置，采用布袋除尘、碱液喷淋等除尘、净化工艺
珠海环保	福建丰泉集团			
中山中环	国内自产（台湾技术及设计）			
肇庆永华	肇庆市永华环保设备有限公司	ZL 型自然风助抽式焚烧炉	83t/d	（1）自动喷射点燃烧 （2）一燃室采用密集型喷射热空气方式形成燃烧涡流，同时高压热空气直渗废物中，使其充分搅拌焚烧 （3）二燃室采用涡流倒旋式燃烧，增加烟气停留时间和紊流效果

表 7-11 各危险废物焚烧处置设施焚烧炉主要技术参数

设施名称	一燃室容积/L	炉膛温度/℃	辅助燃料	耗油量/(kg/h)	固体停留时间/h	烟气量/(Nm^3/h)	二燃室容积/L	烟气停留时间/s	炉膛温度/℃	急冷塔出口温度/℃
绿由固液设施	Φ1 500 ×12 000	750～800	油	15～100	2	5 000～5 500	Φ1 500 ×12 000	≥2	1 000～1 200	100～80

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

设施名称	一燃室容积/L	炉膛温度/℃	辅助燃料	耗油量/(Kg/h)	固体停留时间/h	烟气量/(Nm^3/h)	二燃室容积/L	烟气停留时间/s	炉膛温度/℃	急冷塔出口温度/℃
绿由发电设施										
广州通用	Φ1 500×7 000	600～800	油		2			≥2	1 100～1 300	
广州白云										
深圳龙善						8 000				
珠海环保		≥850				3 000		≥2	≥1 100	≤200
中山中环										
肇庆永华		≥800	无			无				200

2. 工程实例　深圳市龙善环保科技实业有限公司的危险废物焚烧处置设施，设计处置规模为5 000t/年。

该设施采用回转筒干燥机和回转焚烧炉联合处理高湿污泥。回转筒干燥机与其他干燥设备相比，生产能力大，可连续操作，结构简单，操作方便，故障少，维修费用低，适用范围广，流体阻力小，可以用它干燥颗料状物料，对于那些附着性大的物料也很有利；操作弹性大，生产上允许产品的流量有较大的波动范围，不会影响产品的质量；清扫容易。回转窑焚烧系统与固定床式、活动床式、流化床式焚烧炉相比可以处理多种形态的废弃物，得到广泛的应用，特别是在焚烧处理污泥和半污泥类废弃物方面，回转窑焚烧系统几乎是唯一可选的焚烧设备。该种炉型具有适用面广、处理量大、占地面积小、有害成分破除率高、设备简单可靠、可长期连续运行等特点。在干燥热源方面，采用焚烧炉的烟气作为干燥热源，实现系统热量自助平衡。

（1）工艺流程。首先将污泥由上料机输送到回转筒干燥机的进料斗内，然后由推料设备将污泥推入回转筒干燥机内，干燥机内污泥同一定温度（℃）的烟气接触，经过干燥机的搅动使污泥与热烟气接触，达到烘干污泥的目的。干燥后的污泥从干燥机的尾部排出，由回转窑的上料机构收集后输送到回转窑头部的进料斗内，由螺旋送料机推入窑内焚烧，同时在窑头设有助燃燃烧器和供风装置，用以提供回转窑和干燥机启动时所需的热量和助燃空气。随着窑体的转动，燃尽的灰渣从窑体尾部排出，燃烧产生的烟气经过沉降后与干燥机所需的烟气换热，给助燃空气预热后，进入半干式喷雾塔降温并去除有害气体，由布袋除尘器去除携带的烟尘后达标排放。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

回转式干燥机排出的含水蒸气的低温烟气，经过除尘系统去除携带的颗粒后，进入水冷凝器进行除湿，水蒸气以冷凝水的状态排出系统，送入污水处理厂进行处理。除湿后的气体被焚烧炉烟气加热，相对湿度达到 10% 以下时，再导入回转筒干燥机。整个过程不断循环，达到最终干燥的目的。除湿的水冷凝器的用水来自污水处理厂的处理水。将烘干污泥的烟气排入粉尘沉降室，用以沉降去除烘干产生的粉尘。将收集的灰尘通过输送设备，送入回转筒干燥机继续干燥结粒。

（2）系统方案说明

1）方案中水冷凝器、喷雾塔用水采用污水处理厂的处理水，以降低设备投资和运行成本。

2）本系统产生的污水进入现有的污水处理厂，整套系统中不包括系统内污水最终处理设备。

3）工艺中没有考虑污泥烘干过程中产生的特殊有害物质（如在加热时不能分解燃烧的有机物）。

4）系统没有考虑固体废弃物的运输、储存和最初的上料问题（如何运送到烘干机的皮带上料机），以及含重金属灰渣的储运和最终处置问题。

5）方案中没有考虑焚烧的废弃物中含有过多的含氮有机物，如果废弃物含氮量的提高会造成排放尾气中的氮氧化物含量增加，要保证排烟达标必须另外增加尾气处理设备。

6）方案中没有过多考虑余热利用问题。

（3）主要系统功能及控制简介。整套干燥焚烧系统由下列几部分组成：进出料系统、助燃系统、干燥系统、除尘器、焚烧系统、余热冷却系统、尾气处理系统、电气控制系统。

1）进料系统。污泥进料设备包括干燥机上料机、进料机和回转窑上料机（干燥机出灰机）等设备。干燥机上料机采用自动输送机，将湿污泥送到干燥机的进料斗内，然后由进料斗底部的推料机推入干燥机进行烘干。干燥机的出料设备即是回转窑的进料设备，回转窑上料机将烘干后的物料输送到回转窑的进料斗内，然后由螺旋机将物料推入回转窑进行焚烧。系统中污泥的进料和焚烧是连续进行的。

注意：如果焚烧废物除污泥外还有其他固体废物，可以在窑头增设人工投料门或其他上料机构。

2）助燃系统。助燃系统是在系统起炉和不能维持焚烧或干燥温度不够时，辅助提高炉膛温度的手段，根据焚烧的废弃物热值决定是否采用辅助燃料助燃。助燃系统主要设备有油罐、液压泵和燃烧器。燃烧器具有自动点火、灭火保护、故障报警等功能，以及火焰强度大、燃烧稳定、安全性好、功率调整范围较大等特点。可根据燃烧功率要求开启小火或大火供风阀自动调节，同时也可通过调整供油压力调节燃油量的大小。

3）干燥系统。干燥系统是整个系统的关键，系统的好坏直接影响焚烧炉的正常运行，系统是否稳定直接影响整个系统运行工况。干燥系统主要包括回转筒干燥机、除尘

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

器、水冷凝器和烟气再热系统等。

回转式干燥机利用循环使用的高温烟气作为烘干污泥的热源，通过对污泥的加热烘烤，烘去污泥中的水分。主体是一卧式可旋转的圆柱形筒体，筒体的轴线同水平面稍有夹角，被烘干的物料由高端进入烘干机，随着筒体转动，物料在筒体内部不断的翻动，同热烟气充分接触，物料被不断的加热、烘干。

污泥处理必须是安全的环境，不能产生二次污染，所以要重视尾气处理和臭味的控制。早期的直接加热系统，引入外部空气经加热后通入干燥器，蒸发污泥中的水分并运送污泥。离开干燥器后热风与干污泥颗粒分离，然后经过除尘、热氧化除臭后排放。由于热风的量很大，使得尾气处理成本非常高。直接加热工艺采用了气体循环回用的设计，富水烟气风经过除尘、冷凝、加热后，80% 以上返回干燥机（并补充新的焚烧烟气），其余部分经过焚烧炉焚烧处理后排放。这样减少了尾气处理的负担，更重要的是大大减少了外部空气的引入量，将转鼓内氧气的含量维持在很低的水平，从而在很大程度上提高了系统的安全性能。

老式干燥器以热空气作为烘干热源，在烘干污泥的过程中容易引起起火或爆燃现象，令污泥干燥设备的安全性能倍受质疑。与爆炸有关的三个主要因素是氧气、粉尘和颗粒的温度。必须控制的安全要素是：氧气含量 <12%，粉尘浓度 <60g/m^3，颗粒温度 <110℃。本工艺采用循环使用的烟气作为热载体，充分利用烟气中氧含量低的特点，将系统中氧气的质量分数控制在 6% 以下。另外，系统内设置了氧气超标保护装置，当氧气含量大于 8% 时系统自动报警，一旦氧气含量超过 10%，系统会自动停机。颗粒温度控制的关键在于控制污泥在干燥器内的停留时间，必须保持干泥中适量的水分，以避免污泥过热而燃烧，根据晨鸣造纸厂的污泥情况，当污泥达到一定的干度（含水率为 30% ~40%）时就需离开干燥器，这也解决了污泥在设备内的粘结和粉尘问题。

回转式干燥机的工作原理是利用烟气不同温度下的相对湿度不同达到干燥的目的。干燥污泥后排出的含水蒸气的低温烟气，经过除尘系统去除携带的颗粒后，进入水冷凝器进行除湿，冷却水来自造纸厂的污水处理厂出水，烟气中的水蒸气被冷凝以液态水的形式排出系统，送入污水处理厂处理。除湿后的气体一小部分送入焚烧炉进行焚烧处理，大部分被焚烧炉烟气间接加热，相对湿度在 10% 以下，并补充一定量的高温烟气后，再导入回转筒干燥机。整个过程不断循环，最终达到干燥目的。

4）除尘器。由于干燥机对物料的搅拌和翻动，使物料中的细小颗粒可能会被热烟气带走形成烟尘，这部分烟尘虽然量不大，但是随着烟气循环时间延长会逐渐积累，影响系统的正常运行。所以干燥系统中在冷凝器以前设有除尘设备，用于去除烘干气体中的污泥颗粒，防止其对系统设备造成磨损。

5）焚烧系统。回转窑窑体是一卧式并可旋转的圆柱型筒体，外壳用钢板卷制而成，内衬耐火材料；筒体的轴线与水平面保持一定的倾角，烘干后的污泥由高的一端窑头部进入窑内，随着筒体的转动缓慢地向窑尾部移动，窑体的转动使物料在燃烧的过程中与助燃空气充分接触，完成干燥、燃烧、燃尽的全过程，最后由尾部将生成的灰渣排出。旋转窑可根据窑内物料的运动方向和烟气的流向分为逆流和顺流两种形式。为保证

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

窑体在微负压下运行和减小设备漏风对系统的影响，在旋转的窑体和固定的头、尾罩相连接的地方设有密封装置。

回转窑所用的材料是一种耐腐蚀、耐高温、高强度的耐火材料，该种材料能经受焚烧多种有毒有害废弃物的考验，其中包括销毁化学武器。

6）余热利用系统。为了充分利用污泥焚烧产生的余热，降低整套系统的运行成本，余热利用系统由干燥气体换热器、空气预热器和风机等设备组成。

回转窑焚烧炉排放的烟气经过沉降室降尘后首先进入干燥气体换热器，经过冷凝后的干燥用气体进入换热器，通过热交换干燥用气被加热；焚烧产生的烟气进入换热器，预热后的空气被送入回转窑作为助燃空气，降低了系统的燃料消耗和系统的运行成本。如果污泥烘干后含水率小于38%，整套系统不需要添加辅助燃料，即可维持整套系统稳定运行，使整套系统的运行成本降到最低，同时投资规模达到最佳。

7）尾气处理系统。尾气处理系统主要包括高温沉降室、喷雾吸收塔、布袋除尘器、引风机、烟囱和部分配套设备。

由于污泥本身颗粒较细，所以在焚烧的过程中容易产生粉尘。为了避免烟气中粉尘堵塞换热系统和对换热器的磨损，在回转窑后设置了高温沉降室，用于去除烟气中的一部分粉尘，同时增加烟气在高温段的停留时间，保证烟气中的有机成分彻底燃尽。

污泥在燃烧的过程中不可避免的会产生酸性气体，影响尾气的达标排放，所以为了保证烟气最后的排放达标，系统中设计了喷雾吸收塔，用来吸收烟气中的酸性气体。烟气经过空气预热器后温度下降，进入喷雾塔，与由塔顶雾化喷入的碱性液滴充分接触混合，进行热能交换，对烟气进行降温；同时，烟气中的酸性气体同喷入的碱性物质进行反应，从而使得烟气得到净化。

烟气经过喷雾吸收塔后，温度降低，然后进入布袋除尘器，通过袋式除尘器去除烟气中的残余粉尘，最后由引风机通过烟囱达标排放。

8）电气控制设备。系统设计采用集中控制，采用可编程序控制器作为下位机对整套系统的重要参数如炉温、炉内负压、排烟温度等进行实时采集监测，并通过监测值对整套系统实现全自动控制；选用专用的工业控制计算机作为上位机，在人机界面集中显示系统工艺流程、现场各设备运行状态、各主要控制参数值、报警记录、趋势曲线、在线帮助及运行全过程的演示等。工作人员在中控室直接对设备进行控制，根据工艺要求及系统实际情况的需要，部分设备在现场设置本地控制设备，方便维护及现场操作。

控制系统由以下系统构成：

①数据采集处理控制系统。数据采集系统完成现场的压力、温度、流量、氧含量、液位及其他辅助设备的相关测点和设备运行状态的实时采集、预处理、报警、存储、计算等功能。具体控制环节如下：

焚烧系统负压自动控制：整套系统在微负压下运行，在回转窑焚烧炉上设有负压测点，以监测系统运行时负压值，并将数值显示在操作柜上，通过反馈信号变频调节引风机的频率，或由人工调整引风机入口调风门的大小来调整引风量，以保证系统在微负压下运行，防止烟气外泄造成二次污染。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

烘干系统负压自动控制：为了防止烘干过程中臭气外溢，系统保证回转烘干机在微负压下运行，通过烘干机出口负压测点，以监测烘干机运行时负压值，并通过反馈信号变频调节循环风机的频率，保证烘干机在微负压下运行。

炉膛温度自动控制：回转窑焚烧的焚烧温度是通过控制燃烧器耗油量大小来实现的，可使燃烧室的温度保持在预先设定的上下限范围内。

烘干机温度自动控制：为了保证烘干效果和烘干的安全，烘干机的温度自动控制是通过控制烟气量的大小来实现的。

袋式除尘器前温度自动控制和保护：为了保护布袋和系统的正常运行，在实现温度自动控制的同时，还设置了自动旁路系统，当烟气温度到达危险值时自动打开旁路系统，该温度点的自动控制是通过控制喷雾吸收塔的喷水量来实现的。

循环风机、引风机变频调速：为了保证烘干机和焚烧炉炉膛负压，防止有害气体外溢，循环风机和引风机的转速随着系统运行的具体工况随时自动调整，以满足系统正常运行的要求。

回转窑、烘干机变频调速：回转窑和烘干机的转速在一定范围内连续可调，以适应不同的焚烧和烘干工况，保证污泥的燃烧效率和烘干效果。

②计算机实时监控管理系统。对所属装置（单元）的工艺参数、设备运行状态和相关数据进行采集、集中显示、记录、报警，可以直观地显示现场的状态，一定级别的工程人员可以根据设备实际的运行情况，通过此系统对整体运行进行调整。

软件的报警支持高、低液位报警，以及液位变化率报警、报警发出时的画面自动转换、报警连锁操作以及报警历史记录、报警摘要显示等。软件能显示各种静态图形和随过程状态的动态图形，并能一定程度的显示动画画面。软件的历史趋势显示和分析部分能提取指定的历史数据文件，并能显示趋势曲线。

图形：整套系统流程图（包括实时数据）。

曲线：包括各种主要监测信号实时曲线——压力、流量、温度曲线。

广东省在污泥焚烧设置上投入了 7 000 多万元，运营效果不理想，2003 年建的焚烧企业基本都已停产，其原因是成本高、有二次污染。

本章花了较大的篇幅介绍污泥焚烧处理方式，是因为这条路还得走下去，问题终究会得到解决。从 2009 年看，许多生产焚烧炉的企业仍不屈不挠地在焚烧炉上继续投入。

日本污泥 65% 以上用焚烧法处理，欧盟污泥 50% 以上用焚烧法处理。欧洲一些国家和地区，如德国、奥地利、瑞士、比利时的费莱米西地区、荷兰已经走上了污泥热处理的道路，建设了污泥发电厂、污泥水泥厂、垃圾焚烧厂等。在中国，随着人们生活水平的提高和对环境质量要求的愈加严格，最终处置污泥的技术也将以采用热处理作为最终的处置方向。污泥焚烧处置在污泥减量化、卫生化、占地面积上、最终出路上，都有其他处置方式无法比拟的优势，相信不远的将来，污泥焚烧产业将在中国呈现灿烂的前景。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第八章　化学相关知识

一、化学基础知识

1. 物质　物质由分子构成，分子由原子构成，原子由原子核和电子构成，原子核由核子（质子）和中子构成，核子由3个夸克组成。物质的不同，主要是原子、原子数目及排列方式不同。原子是组成单质和化合物分子的最小单位，是化学反应中不能再分的粒子，是元素最小的物质单位。

2. 同位素　质子数相等，中子数不等的同种元素称为同位素。

3. 元素　元素是具有相同核电荷数（质子数）的同一类原子的纯物质，原子是能够代表元素的最小粒子。迄今为止，世界上已发现了109种元素。

4. 分子　以任何键合在一起的不带电荷的原子族，如水（H_2O）、食盐（NaCl）。

5. 单质　由同一种元素组成的纯净物，如镍、铜、氮气等。

6. 盐　在水溶液中能电离出金属阳离子和酸根阴离子的一类化合物。按其组成不同，盐又分为正盐、酸式盐和碱式盐。正盐是酸与碱完全中和的产物，酸式盐是多元酸分子中的氢部分被中和的产物，碱式盐是多元碱分子中的氢氧根部分被中和的产物。

7. 化合物　任何两种或两种以上原子化合构成的纯物质，如H_2O、NaCl等。

8. 纯净物　只由一种成分组成的物质，如水（只含水分子）、碳等。

9. 混合物　由多种成分组成的物质，如空气、糖水等。

10. 溶液、溶剂、溶质　一种或多种物质分散到另一种物质里，形成的均匀、稳定的混合物叫溶液。溶液是由溶剂和溶质组成的，能溶解其他物质的物质是溶剂，被溶解的物质是溶质，溶剂一般是液体，溶质可以是固体、液体或气体，当两种液体互溶时，量多的物质是溶剂，量少的物质是溶质。

11. 溶解　溶质分子在溶剂分子（或离子）的作用下，离开溶质表面，向溶剂扩散的过程。

12. 结晶　在一定条件下，已经溶解的溶质从溶液中析出，变成未溶解的晶体物质的过程。

13. 饱和溶液与不饱和溶液　在一定温度下，在一定量的溶剂里，不能再溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的饱和溶液；还能继续溶解某种溶质的溶液，叫做这种溶质的不饱和溶液。

14. 物质的溶解度　在一定温度下，一定量的溶剂所能溶解溶质的量。

15. 潮解　有些晶体很容易吸收空气中的水蒸气，使晶体表面潮湿或形成溶液，这种现象叫潮解。

16. 结晶水合物　有些物质从水溶液中析出晶体时常结合一定数目的水分子，这

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

样的水分子叫做结晶水，含有结晶水的物质叫做结晶水合物，如晶碱 $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$。

17. 风化　有些结晶水合物即使是在常温下的干燥空气中也会失去一部分或全部的结晶水，这种现象叫风化。

18. 络合物　由一个简单的正离子（如 K^+）和几个其他种类的离子（如 CN^-）或中性分子结合而成的复杂离子，叫做络离子或络合离子。在任何状态中，凡是由络离子或络合离子组成的化合物都叫做络合物。

二、无机化学

无机化学是研究所有化学元素及反应的科学（碳氢化合物及其衍生物除外）。

1. 化合价　某元素的一定数目原子跟其他元素的一定数目原子相化合的性质，就是这种元素的化合价，它反映形成化合物时各元素原子之间的个数关系，如氢和氧总是按 2∶1 的原子个数之比化合而形成水分子的。

化合价有如下规律：

（1）氢元素常为 +1 价，氧元素常为 −2 价。

（2）金属元素显正价，非金属元素与氢元素、金属元素化合时显负价，与氧元素化合时显正价。

（3）化合物化合式中，元素的正价总数等于负价总数，单质中元素的化合价为零。一些元素的常见化合价如表 8-1 所示。

表 8-1　一些元素的常见化合价

元素名称	化　合　价	元素名称	化　合　价
H	+1	Cl	−1, +1, +3, +5, +7
K, Na, Ag	+1	O	−2
Ca, Mg, Zn	+2	S	−2, +4, +6
Al	+3	N	−3, +2, +4, +5
Fe	+2, +3	P	−3, +5
Cu	+1, +2	C	−4, +2, +4
Mn	+2, +4, +6, +7		

化合价与离子电荷数在标记符号上是有区别的，离子电荷数标在右上角。掌握了元素化合价的规律，可以用于检查书写化学式是否正确（元素的正价总数等于负价总数）；从已知化学式中一部分元素的化合价推知另一元素的化合价；根据化学方程式判断该反应是否属于氧化还原反应。

2. 化学反应速率与活化能　反应有快有慢，有的瞬间完成，如炸药爆炸、酸碱中和反应；有的反应很慢，如煤和石油的形成需要几万年甚至几十万年。反应速率的大小，首先取决于反应物的本性，此外还与反应物的浓度、温度、催化剂等外界条件有关。反应的必要条件是反应物分子之间的相互碰撞，当分子靠得很近时，分子的价电子云之间存在着强烈的静电排斥力，只有能量足够高的分子，才能在碰撞时以足够的动能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

去克服它们价电子之间的排斥力，而导致原有化学键的断裂，即两种分子的价电子云互相穿透，形成新的化学键，组成生成物分子。反应速率必须通过实验来确定。

3. 元素周期表　元素周期表简称周期表，是元素周期律用表格表达的具体形式。元素周期律的含义是元素的性质，即原子结构、原子半径、元素主要化合价及元素的金属性和非金属性，随其原子序数的递增而呈现出周期性的变化，是原子核外电子排布周期性变化的结果。周期表中具有 7 个周期，16 个族和四个区，一横行称为一个周期，一列称为一个族（性质相似）。在周期表中，元素是以元素的原子序排列的，最小的排列最先。周期表的用途如下：

（1）分析元素的原子结构及元素在周期表中的位置，推断元素的性质。

（2）利用相近元素性质的渐变性，估计元素及其化合物的某些物理性质。

（3）根据已知同族元素形成的化合物的化学式，估计未知同族元素形成的化合物的化学式。

（4）根据元素周期律和已知物质的性质，推断未知物质的性质。

4. 化学键　化学键是保持原子结合在一起的吸引力。

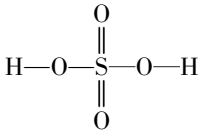
物质通常不是以单一原子存在的，而是键合在一起的原子族。原子内部相互作用的方式与在这些原子中电子的数目和排列有关。电子在原子中离原子核距离不同，因而能级也不同，参与键合的电子是那些在原子外层能级上的电子，称为价电子。对周期表中的“A”族元素，原子内可供键合的价电子数目可由其在周期表中的位置确定。“A”族元素的每一个原子具有的价电子数目，都对应于它所在周期表位置的罗马数字族号码，例如族ⅠA 的原子有一个价电子，族ⅡA 的原子有两个价电子，族ⅦA 的原子有 7 个价电子等。周期表上的“B”族元素，也称为过渡金属，具有不止一组价电子。

原子结合的目标是达到一个更低的能级水平，从而使本身变得稳定。惰性气体是周期表中最稳定的电子，原子结合是为了拥有与其最邻近的惰性气体相同的价电子数目。

5. 离子键　离子是带有电荷的原子，保持离子在一起形成结晶的力称为离子键。例如，钠具有 11 个质子和 11 个电子，当它失去一个价电子时带正电荷，表示为 Na^+；一个中性氯原子具有 17 个质子和 17 个电子，当它获得一个价电子时带负电荷，表示为 Cl^-。由于钠离子和氯离子带有相反的电荷，所以相互吸引。

6. 共价键　共享的电子组成共价键，由此生成的粒子是分子。在共价键中，两个原子核吸引着相同的电子，这种吸引力将两个原子结合在一起。最简单的共价键分子是氢（H_2）。

7. 分子式和结构式　分子式是化合物的表达式，表示化合物中各种原子的实际数目。化合物的另一种表达形式是结构式，给出分子中每个原子的位置。如硫酸的结构式如下：



www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8. 相对分子质量　使用周期表，把分子中所有的相对原子质量加起来，就能计算出任何化合物的相对分子质量。

9. 化学分子式的写法　化学分子式是表示化合物构成的元素符号组合。写一个离子化合物的分子式，只要负离子的电荷与正离子的电荷平衡即可。如写铝和氧的化合物分子式。

铝是ⅢA族元素，是一种金属元素，失去3个电子就成为带3个正电荷的离子Al^{3+}；氧是ⅥA族元素，是非金属元素，获得两个电子生成带2个负电荷的离子O^{2-}。生成化合物的电荷数总和为零，我们找出3和2的最小公倍数6，则形成一个中性化合物，需要2个Al^{3+}和3个O^{2-}离子，即形成的化合物的分子式为Al_2O_3。注意正离子的符号通常先写。

带正电荷的叫阳离子，带负电荷的叫阴离子。某些离子的电荷不能由周期表中的族数目确定，尤其是过渡元素。

10. 化学反应的四种类型

（1）化合反应是两种或两种以上的物质生成另一种新物质的反应，如点燃：

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

（2）分解反应是一种化合物生成两种或两种以上的新物质的反应如：

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons CO_2 + H_2O$$

（3）置换反应是一种单质与一种化合物反应生成新的单质和新的化合物的反应如：

$$2Zn + 2HCl = 2ZnCl_2 + H_2\uparrow$$

（4）复分解反应是两种化合物互相交换成分生成新的两种化合物的反应如：

$$HCl + NaOH = NaCl + H_2O$$

11. 沉淀溶解平衡　这在废水处理中是十分重要的内容，详细介绍如下：

（1）溶度积的概念。如将晶态AgCl放入水中，表面上的Ag^+及Cl^-受到水分子的作用，有部分Ag^+及Cl^-离开晶体表面而进入溶液，这一过程就是溶解。与此同时，随着溶液中的Ag^+及Cl^-浓度逐渐增加，它们又受晶体表面的正、负离子吸引，重新返回晶体表面，这就是沉淀。AgCl的沉淀与溶解如图8-1所示。

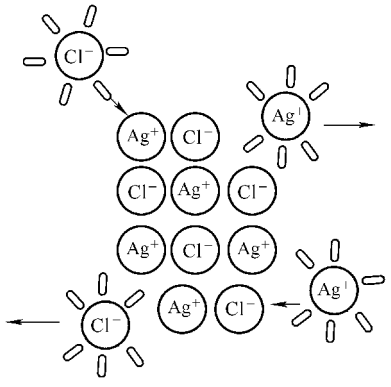


图8-1　AgCl的沉淀与溶解

在一定温度下，当沉淀和溶解速率相等时，就达到了AgCl沉淀溶解平衡，所得溶液即为该温度下AgCl的饱和溶液。AgCl虽然难溶，但溶解的部分却完全电离。平衡的一方（沉淀）为固相，平衡的另一方（离子）在溶液相中，这是一种多相离子平衡：

$$AgCl(s) = Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$$

通式　$A_mB_m(S) \rightleftharpoons mA^{n+} + nB^{m-}$

$$Ksp(A_mB_m) = [A^{n+}]^m[B^{m-}]^n$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 Ksp——溶度积常数，简称溶度积，反映了物质的溶解能力，表示在难溶电解质的溶液中，各相关离子浓度的乘积在一定温度下是一个常数。

m、n——分别代表沉淀-溶解方程式中 A、B 的化学计量数。

溶度积仅适用于难溶电解质的饱和溶液，对中等或易溶的电解质不适用。常见难溶电解质的溶度积常数见本书附录。要指出以下两点：

1）温度改变时，溶度积也改变，多数情况下温度升高，溶度积增大。

2）严格地讲，溶度积应当是各离子活度的乘积。但在难溶电解质溶液中，离子浓度都不大，当其他电解质的离子浓度不太大时，可以用浓度代替活度，这样计算就方便了。

（2）溶度积与溶解度的计算。溶解度的定义是：100mL 溶剂水中所溶解物质的质量（g）。

例 1：已知 25℃时 AgBr 的 $Ksp = 5.0 \times 10^{-13}$，求 AgBr 在水中的溶解度。

$$AgBr \rightleftharpoons Ag^+ + Br^-$$

解：
$$Ksp = [Ag^+][Br^-] = 5.0 \times 10^{-13}$$
$$[Ag^+] = [Br^-] = 7.07 \times 10^{-7} mol/L$$

AgBr 的相对分子量是 187.8，则摩尔质量是 187.8g/mol。

换算成溶解度的单位：

$$187.8 \times 7.07 \times 10^{-7} g/L = 1.33 \times 10^{-4} g/L$$

所以 25℃时，AgBr 的 $Ksp = 5.0 \times 10^{-13}$，在水中的溶解度是 1.33×10^{-4}g/L。

例 2：25℃时，AgCl 的溶解度为 1.92×10^{-3}g/L，求该温度下的溶度积。

解：首先把溶解度的单位换算成物质的量浓度，再求溶度积。AgCl 的相对分子量是 143.3，则摩尔质量是 143.3g/mol。

$$\frac{1.92 \times 10^{-3}}{143.3} mol/L = 1.3 \times 10^{-5} mol/L$$

$$Ksp = [Ag^+][Cl^-] = (1.3 \times 10^{-5})^2 = 1.80 \times 10^{-10}$$

所以 25℃时，AgCl 的溶解度为 1.92×10^{-3}g/L，该温度下的溶度积 $Ksp = 1.80 \times 10^{-10}$。

（3）溶度积规则。应用化学平衡移动原理可以判断沉淀-溶解反应进行的方向。以 $CaCO_3$ 为例，在一定温度下，把过量的 $CaCO_3$ 固体放入纯水中，溶解达到平衡时，在 $CaCO_3$ 的饱和溶液中：

$$[Ca^{2+}] = [CO_3^{2-}] \qquad Ksp(CaCO_3) = [Ca^{2+}][CO_3^{2-}]$$

1）在上述平衡系统中，如果再加入 Ca^{2+} 或 CO_3^{2-}，此时：

$$[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] > Ksp(CaCO_3)$$

沉淀-溶解平衡被破坏，平衡向生成 $CaCO_3$ 的方向移动，故有 $CaCO_3$ 析出，与此同时，溶液中 Ca^{2+} 或 CO_3^{2-} 的浓度不断减少，直至 $[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] = Ksp(CaCO_3)$ 时，沉淀不再析出，在新的条件下重新建立起平衡。注意，此时 $[Ca^{2+}] \neq [CO_3^{2-}]$。

2）在上述平衡系统中，设法降低 Ca^{2+} 或 CO_3^{2-} 的浓度，或者两者都降低，使

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$[Ca^{2+}][CO_3^{2-}] < Ksp(CaCO_3)$，平衡将向溶解方向移动。如在平衡系统中加入 HCl，则 H^+ 与 CO_3^{2-} 结合生成 H_2CO_3，H_2CO_3 立即分解为 H_2O 和 CO_2，从而大大降低了 CO_3^{2-} 的浓度，致使 $CaCO_3$ 逐渐溶解，并重新建立起平衡，此时 $[Ca^{2+}] \neq [CO_3^{2-}]$。

根据上述的沉淀与溶解情况，可以归纳出沉淀的生成和溶解规律。将溶液中阳离子和阴离子的浓度（不管它们的来源）与标准浓度 c 相比后，代入 Ksp 表达式，得到的乘积称为离子积，用 Q 表示。把 Q 和 Ksp 相比较，有以下三种情况：

1）$Q > Ksp$。溶液呈过饱和状态，有沉淀从溶液中析出，直到溶液呈饱和状态。

2）$Q < Ksp$。溶液呈不饱和状态，无沉淀析出，若系统中原来有沉淀，则沉淀开始溶解，直至溶液饱和。

3）$Q = Ksp$。溶液呈饱和状态，沉淀和溶解处于动态平衡。

此即溶度积规则，它是判断沉淀生成和溶解的重要依据。

（4）沉淀的生成和分离

1）生成沉淀的条件。根据溶度积规则，在难溶电解质溶液中生成沉淀的条件是离子积大于溶度积。

例：已知 BaF_2 的 $Ksp = 1.84 \times 10^{-7}$，现将 20.0mL 浓度为 0.05mol/L $BaCl_2$ 溶液与 30.0mL 浓度为 0.05mol/L KF 溶液混合，有无 BaF_2 沉淀生成？

解：

$$Q = c(Ba^{2+})c^2(F^-)^2$$

$$c(Ba^{2+}) = \frac{0.050 \times 20.0}{50.0} = 2.0 \times 10^{-2}(mol/L)$$

$$c(F^-) = \frac{0.050 \times 30.0}{50.0} = 3.0 \times 10^{-2}(mol/L)$$

$$Q = 2.0 \times 10^{-2} \times (3.0 \times 10^{-2})^2 = 1.8 \times 10^{-5}$$

$Q > Ksp$，有 BaF_2 沉淀生成。

2）沉淀的完全与否。当用沉淀反应分离杂质时，沉淀的完全与否是最关心的问题。严格地说，由于溶液中沉淀-溶解平衡总是存在的，一定温度下 Ksp 为常数，故溶液中没有哪一种离子的浓度会等于零，即没有一种沉淀反应是绝对完全的。通常认为残留在溶液中的离子浓度小于 1×10^{-5}mol/L 时，沉淀就达到完全，即该离子被认为已完全除尽。

（5）影响溶解度的因素

1）同离子效应。在已达到沉淀-溶解平衡的系统中，加入含有相同离子的易溶强电解质而使沉淀的溶解度降低的效应，叫做沉淀-溶解平衡中的同离子效应。

例：已知 $BaSO_4$ 的 $Ksp = 1.08 \times 10^{-10}$。试比较 $BaSO_4$ 在 250mL 纯水，以及在 250mL $[SO_4^{2-}] = 0.01$mol/L 的溶液中的溶解损失。

解：$BaSO_4$ 的相对分子量为 233.4，则其摩尔质量为 233.4mg/mol。

对 AB 型难溶物，溶解度 $S = (Ksp)^{1/2}$

①设纯水中 AB 型难溶物的溶解度为 S_1，则：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$S_1 = (1.08 \times 10^{-10})^{1/2} \text{mol/L}$$

溶解损失：$m_1 = S_1 VM$

$$= (1.08 \times 10^{-10})^{1/2} \times 250 \times 233.4 = 0.61 \text{mg}$$

②设 SO_4^{2-} 溶液中溶解度为 S_2，则

$$[Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = S_2(S_2 + 0.010) = Ksp = 1.08 \times 10^{-10}$$

因 S_2 不会太大，故 $S_2 + 0.010 \approx 0.010$，则

$$S_2 = 1.08 \times 10^{-8} \text{mol/L}$$

溶解损失：$m_2 = 1.08 \times 10^{-8} \times 250 \times 233.4 = 0.00063 \text{mg}$

由上例可进一步推断，欲使某种离子沉淀完全，可让另一种离子（即沉淀剂）过量。这正是实际生产中常用的一种方法。例如，以硝酸银和盐酸为原料生产 AgCl 时，考虑到硝酸银来自金属银，银为贵重金属，应充分利用，因此常加入适当过量的盐酸，促使 Ag^+ 沉淀完全。

从同离子效应的角度看，加入的沉淀剂越多，离子沉淀得越完全。但需指出，过多的沉淀剂反而会使溶解度变大，盐效应就是造成这种现象的原因之一。

2）盐效应。当含有其他易溶强电解质（无共同离子）时，难溶电解质的溶解度比在纯水中的要大，如 $BaSO_4$ 和 AgCl 在 KNO_3 溶液中的溶解度都大于在纯水中的，而且 KNO_3 的浓度越大，其溶解度越大。这种由于加入易溶强电解质而使难溶电解质溶解度增大的效应称为盐效应。

产生盐效应的原因是由于易溶解强电解质的存在，使溶液中阴、阳离子的浓度大大增加，离子间相互吸引和相互牵制的作用加强，妨碍了离子的自由运动，使离子的有效浓度减小，因而沉淀速率变慢。这就破坏了原来的沉淀-溶解平衡，使平衡向溶解方向移动。当建立起新的平衡时，溶解度必然会有所增加。在沉淀操作中利用同离子效应的同时也存在盐效应，故应注意所加沉淀剂不要过量太多，否则由于盐效应反而会使溶解度增大。在实际工作中，沉淀剂的用量一般以过量 20% ~50% 为宜。

3）酸效应。酸效应就是酸度对难溶化合物溶解度的影响。对于强酸盐，其溶解度受酸度的影响不大；对于弱酸盐，其溶解度随酸度的增大而增大。

4）配位效应。溶液中存在配位剂，与生成沉淀的离子或沉淀形成配位化合物而使沉淀溶解度增大的现象，称为配位效应。

5）影响溶解度的其他因素

①温度。温度升高，溶解度增大。

②溶剂的极性。无机难溶化合物大部分是离子型结构，它们在水中的溶解度要比在有机溶剂中的大，因此在溶解度较大的难溶化合物溶液中加入有机溶剂，它的溶解度就会大大降低。

在实际工作中要根据具体情况来分析哪一种因素是主要的。对于没有配位效应的强酸盐沉淀，应主要考虑同离子效应和盐效应；对于弱酸盐和难溶酸，应主要考虑酸效应；在有配位反应，尤其是能形成较稳定的配合物而沉淀的溶解度又不太小时，应主要考虑配位效应。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（6）分步沉淀。当溶液中含有多种能生成沉淀的离子时，随着沉淀剂的加入，各种沉淀会相继生成，这种现象称为分步沉淀。运用溶度积规则可以判断沉淀生成的次序，以使混合离子分离。

例：向 Cl^- 和 I^- 浓度均为 0.010mol/L 的溶液中逐滴加入 $AgNO_3$ 溶液，问哪一种离子先沉淀？第二种离子开始沉淀时，溶液中第一种离子的浓度是多少？两者有无分离的可能？

解：假设计算过程中都不考虑加入试剂后溶液体积的变化。根据溶度积规则，首先计算 AgCl 和 AgI 开始沉淀时所需的 Ag^+ 浓度分别为：

$$[Ag^+]=\frac{Ksp(AgCl)}{[Cl^-]}=\frac{1.77\times10^{-10}}{0.010}=1.77\times10^{-8}\text{mol/L}$$

$$[Ag^+]=\frac{Ksp(AgI)}{[I^-]}=\frac{8.52\times10^{-17}}{0.010}=8.52\times10^{-15}\text{mol/L}$$

AgI 开始沉淀时，需要的 Ag^+ 浓度低，故 I^- 首先沉淀出来。当 Cl^- 开始沉淀时，溶液对 AgCl 来说也已达到饱和，这时 Ag^+ 浓度必须同时满足这两个沉淀溶解平衡，所以

$$[Ag^+]=\frac{Ksp(AgCl)}{[Cl^-]}=\frac{Ksp(AgI)}{[I]}$$

$$\frac{[I^-]}{[Cl^-]}=\frac{Ksp(AgI)}{Ksp(AgCl)}=\frac{8.25\times10^{-17}}{1.77\times10^{-10}}=4.81\times10^{-7}$$

当 AgCl 开始沉淀时，Cl^- 的浓度为 0.010mol/L，此时溶液中剩余 I^- 的浓度为：

$$[I^-]=\frac{Ksp(AgI)[Cl^-]}{Ksp(AgCl)}=4.81\times10^{-7}\times0.010=4.81\times10^{-9}\text{mol/L}$$

所以当 Cl^- 开始沉淀时，I^- 的浓度已小于 10^{-5}mol/L，故两者可以定性分离。

从上例可以看出：当一种试剂能沉淀溶液中的几种离子时，生成沉淀所需的试剂离子浓度小的首先沉淀。即离子积首先达到其溶度积的难溶物先沉淀，这就是分步沉淀的基本原理。如果各离子沉淀所需试剂离子的浓度相差较大，借助分步沉淀就能达到分离的目的。

废水处理中，利用控制 pH 值的方法对重金属及氢氧化物进行分离，是分步沉淀的重要应用。

（7）沉淀的溶解和转化。根据溶度积规则，要使沉淀溶解，需降低该难溶电解质饱和溶液中离子的浓度，使离子积小于溶度积，即 $Q<Ksp$，为了达到这个目的，有以下几种途径：

1）转化为弱电解质

①生成弱酸。难溶的弱酸盐，如碳酸盐、醋酸盐、硫化物，由于它们能与强酸作用生成相应的弱酸，降低了平衡系统中弱酸根离子的浓度，致使 $Q<Ksp$。例如，FeS 溶于盐酸的反应可表示如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\begin{array}{c} FeS(s) \leftrightharpoons Fe^{2+} + S^{2-} \\ + \\ 2HCl = 2Cl^- + 2H^+ \\ \downarrow \uparrow \\ H_2S \end{array}$$

H^+ 与 S^{2-} 结合生成的 H_2S 为弱酸，又易于挥发，有利于 S^{2-} 浓度的降低，结果使 FeS 溶解。$CaCO_3$ 溶于 HCl 也是由于生成了易分解的弱酸 H_2CO_3。

②生成弱碱。$Mg(OH)_2$ 能溶于铵盐是由于会生成难离解的弱碱，降低了 OH^- 的浓度，使平衡向右移动：

$$\begin{array}{c} Mg(OH)_2(s) \leftrightharpoons Mg^{2+} + 2OH^- \\ + \\ 2NH_4Cl = 2Cl^- + 2NH_4^+ \\ \downarrow \uparrow \\ 2NH_3 \cdot H_2O \end{array}$$

③生成水。一些难溶金属氢氧化物和酸作用，因生成水而溶解。例如，$Mg(OH)_2$ 溶于盐酸：

$$\begin{array}{c} Mg(OH)_2(s) \leftrightharpoons Mg^{2+} + 2OH^- \\ + \\ 2HCl = 2Cl^- + 2H^+ \\ \downarrow \uparrow \\ 2H_2O \end{array}$$

溶解反应的平衡常数与难溶电解质的溶度积及弱电解质的离解常数有关。难溶电解质的溶度积越大，或所生成弱电解质的离解常数越小，越易溶解。

2）发生氧化还原反应。CuS 不能溶于盐酸，但能溶于硝酸，是因为 HNO_3 能将 S^{2-} 氧化成单质 S，S^{2-} 的浓度降低，使 $Q < Ksp$。

$$3CuS + 8HNO_3 = 3Cu(NO_3)_2 + 3S\downarrow + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

3）生成难离解的配电子。当简单离子生成配离子后，由于配离子具有一定的稳定性，使离解出来的简单离子的浓度远低于原来的浓度，从而达到 $Q < Ksp$ 的目的。如 AgBr 不溶于水，也不溶于强酸和强碱，却能溶于硫代硫酸钠溶液。这是由于 Ag^+ 与 $S_2O_3^{2-}$ 结合，生成了稳定的配离子 $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$，从而大大降低了 Ag^+ 的浓度，该反应广泛应用于照相技术中。

4）转化为另一种沉淀再溶解。某些难溶盐如 $BaSO_4$、$CaSO_4$ 用上述方法都不能溶解，这时可采用沉淀转化的方法。以 $CaSO_4$ 转化成 $CaCO_3$ 为例，在 $CaSO_4$ 饱和溶液中加入 Na_2CO_3，由于 $Ksp(CaCO_3)$ 小于 $Ksp(CaSO_4)$，故 Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 能生成 $CaCO_3$ 沉淀，从而使溶液中 Ca^{2+} 的浓度降低。

$$CaSO_4 + CO_3^{2-}(aq) \leftrightharpoons CaCO_3 + SO_4^{2-}(aq)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

这时，溶液对 $CaSO_4$ 来说变为不饱和，故逐渐溶解。只要加入足够量的 Na_2CO_3，提供所需要的 CO_3^{2-} 浓度，就能使 $CaSO_4$ 全部转化成 $CaCO_3$，而 $CaCO_3$ 是一种弱酸，极易溶于强酸中。

三、有机化学

有机化学主要研究含碳的有机化合物。碳在其价层轨道上有 4 个电子，按 8 个电子组合的原则，它需要获得 4 个附加电子才能稳定，所以，许多有机化合物含有 4 个单共价键的碳原子。碳也能形成双键和三键。仅含碳原子和氢原子的分子称为烃，含双键的称为烯烃，含三键的称为炔烃。按链接形式不同可分为以下几种：

（1）具有各种单键、双键、三键碳原子数目的直链结构化合物称为直链烃。

（2）以单键碳原子为主链形成环状结构的化合物称为环烃。

（3）具有 C_6H_6 分子式并且有单、双交替链的环状结构的化合物称为芳烃。

四、化工计算

1. *物料平衡*　在任一化学工艺过程中，都必须对给料总量与最终产品量进行比较并作出分析，这种比较与分析称为物料平衡。

化学方程式是使用符号和分子式简捷地表述化学变化和物料平衡。书写化学方程式要注意以下几点：

（1）必须是实际发生的反应。

（2）要“配平”化学方程式，使反应物和生成物中同种元素的原子总数相等，符合质量守恒定律。

（3）当反应必须在一定条件下才发生时，要在“ = ”或“→”符号的上下位置注明反应条件。

（4）生成物是沉淀物时加注“↓”，是气体时加注“↑”。

例如，甲烷与氧反应（燃烧）生成二氧化碳和水，这个反应的未平衡化学方程式是：$CH_4(气) + O_2(气) \rightarrow CO_2(气) + H_2O(液) +$ 能量

参与反应的物质叫反应物，写在箭头的左侧，反应生成的物质叫生成物，写在箭头的右侧，箭头表示反应的方向，意为“生成”，加号“ + ”意为与，符号“气”表示气体，符号“液”表示液体，符号“水”表示水溶液，即溶解于水的物质。

（1）方程式中的分子关系。化学方程式必须满足两个条件：实验的事实及质量守恒定律。第一个条件就是化学方程式要写出参与反应的所有反应物和生成物，并使用正确的符号和分子式表示这些物质；第二个条件则必须是每种生成物原子都具有与反应物原子相同的数目，这是因为质量守恒定律认定，在化学反应中质量没有损失。

例如：$C(固) + O_2(气) \rightarrow CO_2(气)$

反应物有一个碳原子和两个氧原子，生成物也有一个碳原子和两个氧原子，故上述方程是平衡的。如果一个方程式不平衡，则要进行配平，就是在适当的符号或分子前加系数，使它达到平衡。

例如：$CH_4(气) + O_2(气) \rightarrow CO_2(气) + H_2O(液) +$ 能量

反应物有 4 个氢原子和两个氧原子，生成物有两个氢原子和三个氧原子，这是不平

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

衡的，需要在反应物 O_2 前加系数“2”，生成物 H_2O 前加系数“2”，即原方程式变为

$$CH_4(气) + 2O_2(气) = CO_2(气) + 2H_2O(液) + 能量$$

这就达到了平衡。不能用改变反应物或生成物分子式的方式来求得方程式的平衡。

例如，水的分子式是 H_2O，而不是 H_2O_2，如改为 H_2O_2 虽能使方程式平衡，但它不代表实验事实。下面举两个例子，说明化学方程式的配平。

例 1：氨(NH_3)在氧气(O_2)中燃料产生(N_2)和水(H_2O)，试写出该反应的化学方程式

解：$NH_3 + O_2 \rightarrow N_2 + H_2O$

左边 1 个 N、3 个 H、2 个 O，右边 2 个 N、2 个 H、1 个 O，配平后即为

$$4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$$

分子式前的系数，可反复试配。

例 2：试计算下列化学方程式中反应物和生成物含有的原子数目。

$$4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$$

反应物：$4 \times 1N = 4N$

$4 \times 3H = 12H$

$3 \times 2O = 6O$

生成物：$2 \times 2N = 4N$

$6 \times 2H = 12H$

$6 \times 1O = 6O$

（2）方程式中的质量关系。将分子式中每个原子的原子质量相加即可求得分子质量。使用周期表，周期表已标明了每个原子的相对原子质量，把分子中所有原子的相对原子质量加起来，就能计算出任何化合物的相对分子质量（分子量）。

例 1：计算化学方程式 $H_3PO_4 + 3KOH = K_3PO_4 + 3H_2O$ 中各分子的相对分子质量。

解：①计算 H_3PO_4 的相对分子质量：

$$3H = 3 \times 1.008 = 3.024$$

$$1P = 1 \times 30.98 = 30.98$$

$$4O = 4 \times 16.00 = 64.00$$

$$H_3PO_4 \text{ 的相对分子质量} = 98$$

②计算 KOH 的相对分子质量：

$$3K = 3 \times 39.1 = 39.1$$

$$1O = 1 \times 16.00 = 16.00$$

$$1H = 1 \times 1.008 = 1.008$$

$$KOH \text{ 的相对分子质量} = 56$$

③计算 K_3PO_4 的相对分子质量：

$$3K = 3 \times 39.1 = 117.3$$

$$1P = 1 \times 30.98 = 30.98$$

$$4O = 4 \times 16.00 = 64.00$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$K_3PO_4 \text{ 的相对分子质量} = 212$$

④计算 H_2O 的相对分子质量：

$$2H = 2 \times 1.008 = 2.016$$

$$1O = 1 \times 16.00 = 16.00$$

$$H_2O \text{ 的相对分子质量} = 18$$

⑤反应物和生成物的总相对分子质量分别为：

$$98H_3PO_4 + 16KOH = 266$$

$$212K_3PO_4 + 54H_2O = 266$$

这就是所谓的质量守恒，在正常的化学反应中，反应物的质量等于生成物的质量，质量既不能被创造，也不能被消灭。由于原子质量是相对质量，所以相同的质量守恒关系可适用任何其他单位。

（3）比例因子法。用比例因子法可以方便地计算所需的生成物。

例：试计算与 36.0g 碳完全化合所需的氧气量。

解：已知 $12gC + 32gO_2 = 44gCO_2$

从上式知，$12gC$ 需要 $32gO_2$，用比例因子法可得：

$$36.0gC \times \frac{32O_2}{12C} = 96O_2$$

因此所需的氧气为 92g。

（4）摩尔单位。对于系数不是 1∶1 的化学反应，采用摩尔（mol）为单位进行计算非常方便。在化学工艺过程中以一个原子或分子为单位进行化学计算，则显得毫无意义，以至于无法处理，因此采用摩尔作为计量单位。

以质量表示：一个摩尔定义为一个元素的原子质量或一个化合物的分子质量。

以粒子、原子或分子的数目表示：一个摩尔定义为 6.02×10^{23}，称为阿伏加德罗数，对化学计算非常重要。

例：当 1 000g 甲烷燃料与氧气反应时，会生成多少克的水？

解：燃烧化学方程式如下：

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

①1mol 甲烷（CH_4）分子质量为

$$(1 \times 12.0g) + (4 \times 1.01g) = 16.0g$$

②1 000g 甲烷的摩尔数为：

$$1000gCH_4 \times \frac{1molCH_4}{16.0gCH_4} = 62.5molCH_4$$

③1 000g 甲烷生成的水的摩尔数为：

$$62.5CH_4 \times \frac{2molH_2O}{1molCH_4} = 125molH_2O$$

④将水转换成以克为单位表示：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$125\text{mol}H_2O \times \frac{18.0H_2O}{1\text{mol}H_2O} = 2250\text{g}H_2O$$

1 000g 甲烷燃料时，会生成 2 250g 的水。

由上例可以看出，一个平衡的化学方程式，其化学式前面的数字系数代表着反应中每种参与反应或反应生成的物质的摩尔数。

2. 生成率　上述计算反应假定都是完全的，即所有反应物全部耗尽，而生成物的生成量最大。换言之，计算的是理论生成量。事实上，纯态物质的实际生成量都小于理论生成量，某些生成物往往在分离和提纯工艺过程中损失，我们用生成率来表示生成物的损失。

$$\text{生成率} = \frac{\text{实际生成量}}{\text{理论生成量}} \times 100\%$$

3. 浓度　浓度是溶质在一已知数量的溶剂或溶液中的数量。

（1）溶液表示两种或两种以上物质的均匀混合物，溶液由两部分组成，主要部分称为溶剂，是一种溶解物质，而次要部分为溶质，它是一种或多种被溶解物质，溶质 + 溶剂 = 溶液。最常见的溶液的溶剂为水，而溶质为可溶固体、可溶气体或可混溶液体的溶液。

例如：固体/液体→糖溶于水

气体/液体→二氧化碳溶于水

液体/液体→乙醇溶于水

固体/固体→黄铜是锌溶于铜

气体/气体→空气是氧和其他气体溶于氮中

（2）可混溶。液体溶质可全部溶解于液体溶剂中，形成各种配比。

（3）不混溶。形成两层，完全不相溶解，如油和水。

（4）固体溶质溶解于液体溶剂取决于若干因素，如温度影响溶解过程的速率和程度。

（5）浓度三种表示方式，即百分率，百万分率（ppm）、十亿分率（ppb），摩尔浓度。

1）百分率是指溶质在总溶液中所占的百分数。

①以质量为量度的百分率[%(wt/wt)]

$$\frac{\text{溶质(g)}}{\text{溶质(g)} + \text{溶剂(g)}} \times 100\%$$

②溶质以质量量度，溶剂以容积量度的百分率[%(wt/V)]

$$\frac{\text{溶质(g)}}{\text{溶剂(100mL)}} \times 100\%$$

③以容积为量度的百分率[%(V/V)]

$$\frac{\text{溶质(溶积)}}{\text{溶液(容积)}} \times 100\%$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

例：用100mL丙酮溶于1.0L的纯水中制备一种溶液，丙酮的密度为0.79g/mL，水的密度为1.00g/mL，试计算%（wt/wt）、%（wt/V）、%（V/V）。

解：丙酮的质量为：100mL×0.79g/mL=79.0g

水的质量为：1.0L=1 000mL×1.00g/mL=1 000g

$$\%(\text{wt/wt}) = \frac{79.0\text{g 丙酮}}{79.0\text{g 丙酮} + 1000\text{mL 水}} \times 100 = 7.32\%$$

$$\%(\text{wt/V}) = \frac{79.0\text{g 丙酮}}{1000\text{mL 水}} \times 100 = 7.9\%$$

$$\%(\text{V/V}) = \frac{100\text{mL 丙酮}}{100\text{mL 丙酮} + 1000\text{mL 水}} \times 100 = 9.09\%$$

2）百万分率（ppm）是指每百万份溶液中有一份溶质的溶液浓度。

$$\text{ppm} = \frac{\text{溶质(g)}}{\text{溶质(g)} + \text{溶剂(g)}} \times 1\ 000\ 000$$

$$1.0\text{ppm} = \frac{1.0\mu\text{g}}{1.0\text{mL}} \text{或} \frac{1.0\text{mg}}{1.0\text{L}}$$

十亿分率（ppb）是指每十亿份溶液中有一份溶质的溶液浓度。

$$\text{ppb} = \frac{\text{溶质(g)}}{\text{溶质(g)} + \text{溶剂(g)}} \times 1\ 000\ 000\ 000$$

$$1.0\text{ppb} = \frac{1.0\text{ng}}{1.0\text{mL}} \text{或} \frac{1.0\mu\text{g}}{1.0\text{L}}$$

例：用10.0mL乙二醇在1.00L水（密度=1.00g/mL）中稀释成乙二醇溶液，其浓度为多少ppm（wt/wt）？（乙二醇密度=1.11g/mL）

解：①计算10.0mL乙二醇的克数。

$$10.0\text{mL 乙二醇} \times 1.11\text{g/mL} = 11.1\text{g 乙二醇}$$

②计算1.00L水的克数。

$$1.00\text{L 水} = 1\ 000\text{mL 水} \times 1.00\text{g/mL} = 1\ 000\text{g 水}$$

③计算ppm（wt/wt）。

$$\frac{11.1\text{g 乙二醇}}{11.1\text{g 乙二醇} + 1\ 000\text{g 水}} \times 10^6 = 11\ 000\text{ppm}$$

3）摩尔浓度。摩尔浓度（M）也叫克分子浓度，定义为每升溶液的溶质摩尔数，任何一摩尔物质的质量等于它的相对分子量。多数情况下，相对分子量可以直接从生产商的说明书或化工手册中查得。

$$\text{M} = \frac{\text{溶质的摩尔数}}{\text{溶液的升数}}$$

例1：如果265g氟化钠（NaF）溶解于足量的脱离子水中生成355mL溶液，该溶液的摩尔浓度是多少？

解：氟化钠的相对分子量=41.988g/mol。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

①将 NaF 的克数转换成摩尔数：

$$265\text{g NaF} \times \frac{1\text{mol NaF}}{41.988\text{g Naf}} = 6.31\text{mol NaF}$$

②将容积从 mL 转换成 L：

$$355\text{mL} = 0.355\text{L}$$

③计算溶液的摩尔浓度：

$$\frac{6.31\text{mol NaF}}{0.355\text{L}} = 17.8\text{M}$$

例 2：如果 200mL 丙酮溶解于足量的水中制成 8.00L 的溶液，则摩尔浓度是多少？丙酮密度为 0.79g/mL，相对分子质量为 58.08g/mol。

解：$200\text{mL} \times \frac{0.79\text{g}}{1.00\text{mL}} \times \frac{1.00\text{mol}}{58.08\text{g}} = 2.72\text{mol}$

丙酮摩尔浓度 = 2.72mol/8.00L 溶液 = 0.34M

4. 氧化还原反应　在反应中有电子转移的反应称为氧化还原反应。

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

失去电子的物质（Zn）叫做还原剂，得到电子的物质（Cu^{2+}）叫做氧化剂。氧化剂从还原剂获得电子，使自身的化合价降低，这个过程叫做还原。相应地还原剂由于给予电子，而使自身的化合价升高，这个过程叫做氧化。在氧化还原反应中，氧化与还原是共存共依的，在一定条件下又可以相互转化。

5. 稀释　为减少货运成本，经常采购浓缩的化学品，使用时再加以稀释。适用于任何浓度单位的稀释公式如下：

$$C_0V_0 = C_fV_f$$

式中　C_0——库存溶液的原始浓度；

V_0——待稀释的库存溶液容积；

C_f——最终（稀释后的）溶液浓度；

V_f——最终（稀释后的）溶液容积。

例：一个操作人员应用多少 12.0M 的 HCl 浓缩液制备成 75.0gal 2.50M 的 HCl 溶液？

解：由 $C_0V_0 = C_fV_f$ 可得：

$$12.0\text{M HCl} \times V_0 = 2.50\text{M HCl} \times 75.0\text{gal}$$

$$V_0 = 15.6\text{gal}$$

所需水量 = 75.0gal − 15.6gal = 59.4gal

操作人员应用 15.6gal 12.0M 的 HCl 浓缩液稀释成总容积为 75.0gal 的溶液，才能制成所要求浓度的 2.50M HCl 溶液。

6. 酸　酸是一种溶于水时生成氢离子（H^+）的物质，水溶液味酸。酸能使石蕊试纸变红，与活性金属如锌和铁反应，使金属溶解并生成氢气。

在水溶液中酸的性质则归因于水合的氢离子，即一个氢离子至少附着一个水分子。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

常见酸的电离反应如下：

$$HCl \rightarrow H^+(水) + Cl^-(水)$$

$$HNO_3 \rightarrow H^+(水) + NO_3^-(水)$$

酸分强酸和弱酸，强酸在水中几乎百分之百离子化，即几乎所有的酸分子都分离为离子。常见的强酸有硫酸、盐酸、硝酸等。弱酸在水溶液中仅轻度离子化，多数呈分子状态，一般只有5%的酸分子以H^+离子形式存在。

7. *碱*　是一种溶于水时生成氢氧离子（OH^-）的物质，水溶液味苦，能使石蕊试纸变蓝。常见碱的电离反应如下：

$$NaOH \rightarrow Na^+(水) + OH^-(水)$$

$$Mg(OH)_3 \rightarrow Mg^{2+}(水) + 2OH^-(水)$$

8. pH标度　pH值是氢离子摩尔浓度［H^+］的简单数学记数制表达，它避免了使用指数记数制的表达。氢离子浓度在25℃时的mol/L数如表8-2所示。该标度上1×10^{-7}M的氢离子浓度对应为pH值7，1×10^{-10}M的氢离子浓度对应为pH值10等，按定义，pH值等于以mol/L表示的氢离子浓度的负对数：

$$pH = -\log[H^+]$$

表8-2　氢离子浓度在25℃时的mol/L数

pH值	H^+	H^+	OH^-	OH^-
0	10^0	1	0.000 000 000 000 01	10^{-14}
1	10^{-1}	0.1	0.000 000 000 000 1	10^{-13}
2	10^{-2}	0.01	0.000 000 000 001	10^{-12}
3	10^{-3}	0.001	0.000 000 000 01	10^{-11}
4	10^{-4}	0.000 1	0.000 000 000 1	10^{-10}
5	10^{-5}	0.000 01	0.000 000 001	10^{-9}
6	10^{-6}	0.000 001	0.000 000 01	10^{-8}
7	10^{-7}	0.000 000 1	0.000 000 1	10^{-7}
8	10^{-8}	0.000 000 01	0.000 001	10^{-6}
9	10^{-9}	0.000 000 001	0.000 01	10^{-5}
10	10^{-10}	0.000 000 000 1	0.000 1	10^{-4}
11	10^{-11}	0.000 000 000 01	0.001	10^{-3}
12	10^{-12}	0.000 000 000 001	0.01	10^{-2}
13	10^{-13}	0.000 000 000 000 1	0.1	10^{-1}
14	10^{-14}	0.000 000 000 000 01	1	10^0

如果pH值等于7，溶液呈中性；如果pH值小于7，溶液呈酸性；如果pH值大于7，溶液呈碱性。pH值通常用指示剂或pH计测定，指示剂随pH值变化而改变颜色。加少量指示剂于溶液中，并观察其颜色，就能够确定pH值。pH计是一种电子设备，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可以直接显示 pH 值。也可以用 pH 试纸来测定 pH 值。

9. 中和　中和是指酸与碱接触生成盐与水的反应。

$$\text{酸} + \text{碱} \rightarrow \text{盐} + \text{水}$$

如：$HNO_3 + NaOH = NaNO_3 + H_2O$

酸的氢离子（H^+）与碱的氢氧根离子（OH^-）反应生成水。如果碱中有两个氢氧根离子，就需要两个氢离子使它们完全中和：

$$2HCl + Ca(OH)_2 = CaCl_2 + 2H_2O$$

10. 滴定　滴定是一种分析方法，用一种已知浓度的溶液与一种未知浓度的溶液反应，以求得未知溶液的浓度，常用下式确定（仅适用于生成等量 H^+ 离子和 OH^- 离子的酸/碱中和反应）：

$$C_A V_A = C_B V_B$$

式中　C_A——酸的浓度；

V_A——酸的容积；

C_B——碱的浓度；

V_B——碱的容积。

例：如果需要 27.77mL HCl 去中和 45.44mL 0.223 3M NaOH 溶液，试计算盐酸溶液的浓度。

$$HCl + NaOH = NaCl + H_2O$$

$$C_A V_A = C_E V_E$$

$$C_A = \frac{C_E V_E}{V_A} = \frac{0.223\ 3\text{M} \times 45.44\text{mL}}{27.77\text{mL}} = 0.365\ 4\text{M}$$

11. 压力　压力常用的单位及换算方式如下：

psi	磅力每平方英寸	lbf/in^2
Pa	帕，牛顿每平方米	N/m^2
atm	大气压	
bar	巴	

$1atm = 14.696lbf/in^2(psi)$

$= 29.921inHg$

$= 76cmHg$

$= 760mmHg$（广泛使用的定义）

$= 760Torr$

$= 33.899ftH_2O$

$= 10.33mH_2O$

$= 1.01325 \times 10^5 Pa$

$= 101.325kPa$（广泛使用的定义）

$= 1.01325 \times 10^6 dyn/cm^2$

$1bar = 1 \times 10^5 Pa$（帕斯卡）$= 0.1MPa$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

英制转换公式：

gal ×3.785 = liters

lb ×0.454 = kg

psi ×6.7 = kPa

(°F −32)/1.8 = ℃

12. 数字的归组　在SI(国际单位制)中，不推荐用逗号隔开1 000的倍数，而用空格代替逗号，小于1的数必须在小数前加零。

例如：34，908，788，762，433 = 34 908 788 762 433

.3456 = 0.3456

13. 工程记数显示　以指数增量3表示的数。

例如：定位计数：0.0166666667

科学记数：1.666666 −02

工程记数：16.66666 −03

14. 科学计数器

(1) 定位记数显示，如果数字超出所选择的位数，自动地圆整显示最末位的有效数字。

(2) 用指数记数制表示数：由两部分组成，一部分显示数，即数字部分，另一部分是10的若干方次，如5678表示成5.678×10^3。

15. SI单位制　国际单位制，也称为公制系统，有七个基本单位。SI制的基本单位如表8-3所示。

表8-3　SI制的基本单位

量	单位名称	符　号	量	单位名称	符　号
长度	米	m	热力学温度	开(尔文)	K
质量	千克	kg	物质的量	摩(尔)	mol
时间	秒	s	发光强度	坎(德拉)	cd
电流	安(培)	A			

注：( ) 内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。

16. SI制的词头系统　SI制的词头系统如表8-4所示。

表8-4　SI制的词头系统

词头	符号	十进制当量	指数制当量
万亿(兆兆)	T	1 000 000 000 000	1×10^{12}
十亿(享)	G	1 000 000 000	1×10^9
百万(兆)	M	1 000 000	1×10^6
千	k	1 000	1×10^3
百	h	100	1×10^2
十	da	10	1×10^1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

词头	符号	十进制当量	指数制当量
分	d	0.1	1×10^{-1}
厘	c	0.01	1×10^{-2}
毫	m	0.001	1×10^{-3}
微	μ	0.000 001	1×10^{-6}
十亿分之一（纳）	n	0.000 000 001	1×10^{-9}
微微（皮）	p	0.000 000 000 001	1×10^{-12}

17. 粒度的分级

10 目——每平方英寸 10×10 个孔。

200 目——每平方英寸 200×200 个孔。

20/60——物料能通过 20 目的筛子，但不能通过 60 目的筛子。

筛分：将试样放在叫做套筛的一连串筛子上，套筛作回转运动，并不时以撞击的方式振动试样平台，支持着筛子作回转运动，顶部锤子提供规则的轻敲动作，颗粒从顶部最粗的筛网缓慢落下至底部最细的筛网上，比网眼大的颗粒保留在该筛网上。这种方法可得到一系列的截留物，对每层一截留物进行称重，即可求得每个筛上截留物的质量百分比。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第九章　一、二级处理设备

废水处理系统是由各种设备组合起来的。废水处理工艺确定以后，废水处理系统设计的主要工作量是设备的正确选型和非标设备的设计，系统运行正常与否，与设备有密切的关系。电镀废水处理系统设备由三大部分组成：构筑物、机电设备及管路，以及仪表和控制系统。

第一节　构　筑　物

构筑物是废水处理系统的基础，承载全部水体，既要实现自身功能，还要为机电设备、仪表及控制系统提供安身之所。构筑物最基本的要求是不下沉、不开裂、不变形以及无泄漏。整套废水处理系统运营效果的好坏，与构筑物的设计是否合理、施工是否符合工程规范紧紧相联。废水处理系统的构筑物有沉砂池、沉淀池、隔油池、调节池等。

一、沉砂池（综合废水池）

电镀综合废水来自不同的车间、不同的工序、不同的场所，相对密度较大的无机颗粒，如泥土、砂粒等，在流速慢时会沉积下来，有一部分会被泵入后续池。泥砂药渣的沉积会减少各个池的有效池容积，直接影响废水处理效果。泥砂药渣会加大泵及搅拌器的叶片磨损。沉砂池的功能是除去这些泥砂药渣，以保护设备，保证工序正常进行。

沉砂池的结构材料为钢筋混凝土，沉砂池的常用类型有平流式沉砂池、竖流式沉砂池、曝气沉砂池、多尔沉砂池及钟式沉砂池。电镀污水处理采用曝气沉砂池。

（1）曝气沉砂池的结构和原理。沉砂池的沉砂中夹杂约15%的有机物，普通平流式沉砂池对被有机物包裹的砂粒截留效果不佳，且沉砂易于腐化发臭，增加后续设备的处理难度。为了解决这个难题，在沉砂池内增加了曝气设备。在曝气的作用下，砂粒互相摩擦，能去除有机污染物，在重力和水力的作用下，沉到集砂斗中。曝气沉砂池的断面如图9-1所示。

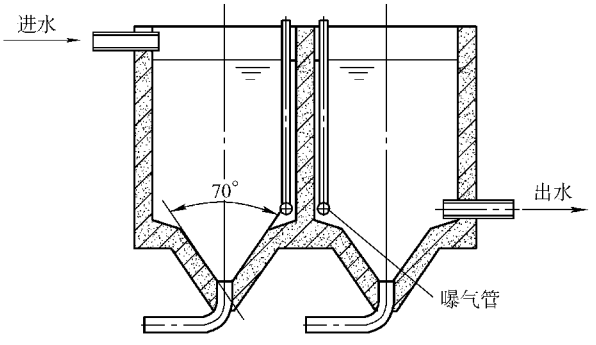


图9-1　曝气沉砂池的断面

曝气沉砂池是一个矩形池

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

体，在沿池壁一侧距池底 0.6～0.9m 处安装曝气装置，曝气沉砂池的下部设置集砂斗，池底与集砂斗有一定的坡度，坡倾向集砂斗，以保证砂粒滑入。曝气沉砂池的有效深度一般取 2～3m，若池长比池宽大很多，则应考虑设置横向挡板，以增加水流的扰动性。池的外形应尽可能不致产生偏流或死角，在集砂斗附近安置纵向挡板。曝气管上应设调节空气的阀门，管孔孔径为 2.5～6mm。出水口用淹没式，出水用泵抽出。曝气对于电镀废水沉砂池来说还有一个功能，即均匀混合各类废水，使高浓度的药水得到稀释，浓度降低。

（2）沉砂池的设计原则如下：

1）个数与分格数应大于 2，并按并联系列设计。当污水水量小时，可一格工作，一格备用。

2）按去除相对密度为 2.65、粒度为 0.2mm 以上的砂粒设计。

3）沉砂池设计流量。当污水为自流进入时，应按每天最大流量计算；当污水为提升进入时，应按每天工作水泵最大组合流量计算。

4）沉砂量按 15～30m^3/1 000 000m^3 污水计量，沉砂含水率为 60%，容量为1 500 kg/m^2。

5）砂斗容积应按等于或小于 2 倍的沉砂量计算，集砂斗锥角为 60°～80°。

6）排砂可利用重力，也可用机械方法。如用重力排砂，则用静水力压出；如用机械方法，则用潜水泵排砂。排砂管应不小于 200mm。

二、沉淀池

沉淀池是分离水中悬浮物质的一种主要构筑物，用于废水的混凝沉淀处理以及生物处理系统泥水分离处理。

沉淀池按其功能可分为五个区，即进水区、沉淀区、污泥区、出水区和缓冲区。进水区和出水区是使水流均匀地流过沉淀池；沉淀区又称澄清区，是可沉降颗粒与废水分离的工作区；污泥区是污泥贮存、浓缩和排出的区域；缓冲区是分隔沉淀区和污泥区的水层，保证已沉降颗粒不会因水流搅动而再度浮起。

为了使水流均匀地通过各个水断面，一般均在废水的入口处设置挡板，并且要使进水的入口置于池内的水面以下。另外，在沉淀池的出水口前设置浮渣挡板，用以防止浮渣和油污等流出沉淀池。沉降到池底的污泥需定期排放。可以采用机械排泥的沉淀池，池底应是平底；也可以采用泥浆泵或利用水的压力将污泥排出，此时池底应是锥形；还可以两种排泥方式同时采用。

沉淀池常用的类型有四种，即平流式、辐流式、竖流式和斜管（板）式。沉淀池多为钢筋混凝土结构，除应满足工艺要求外，其强度与结构设计、建造还应满足《给水排水工程结构设计规范》（GBJ69—1984）及《给水排水构筑物施工及验收规范》（GBJ14—1990）。普通钢筋混凝土池壁一般现场浇注，池壁最小厚度为 12cm，池高一般为 3.5～6m。

（一）平流式沉淀池

如图 9-2 所示是带链式刮泥机的平流式沉淀池。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

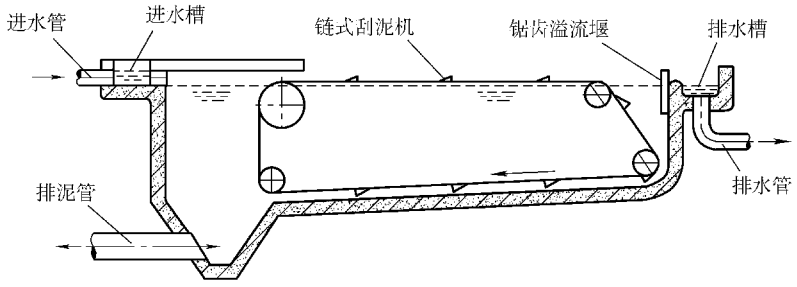


图 9-2　带链式刮泥机的平流式沉淀池

废水由进水槽经进水孔流入池中，设有进水挡板，出水孔口或溢流堰，有时采用锯齿形（三角形）的溢流堰，堰前设置浮渣管及挡板，以拦阻和排除水面上的浮渣，使其不致流入出水槽。在沉淀池前部设有污泥斗，池底污泥由刮泥机刮入污泥斗内，污泥借助池中静水压力从污泥管中排出，池底坡度为 0.01～0.02，污泥斗锥角为 60°～80°。平流式沉淀池的优点是构造简单，效果良好，工作性能稳定。

（二）辐流式沉淀池

当废水含大量无机悬浮物且水量又大时，宜采用辐流式沉淀池。机械排泥设备复杂，对施工质量要求高，但刮泥机已标准化。辐流式沉淀池有中心进水周边出水及周边进水周边出水等形式，如图 9-3 所示。

（1）中心进水周边出水辐流沉淀池结构及原理。沉淀池为圆形或正方形，直径或边长一般为 6～60m，最大可达 100m，中心深度为 2.5～5m，周边深度为 1.5～3.0m。废水从中心进入，沉淀后由四周的出水槽排出，采用机械排泥，将全池的沉积污泥收集到中心泥斗，再借静压力或污泥泵将其排出。池径小于 20m 的辐流式沉淀池也可建成方形，池底建多个泥斗，刮泥机将污泥刮入泥斗，可用静压力排泥。

（2）辐流式沉淀池设计与计算。辐流式沉淀池设计与计算的主要内容包括沉淀区有效面积、池直径、沉淀区有效水深、污泥斗容积的设计计算以及排泥设备的选择等。

1）每座沉淀池的表面积

$$F=\frac{Q_{\max}}{nq'}$$

式中　F——每座沉淀池的表面积（m^2）；

$Q_{\max}$——最大设计流量（m^3/h）；

n——沉淀池座数；

q'——表面水力负荷[$m^3/(m^2\cdot h)$]，可通过试验确定。

2）沉淀池直径

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

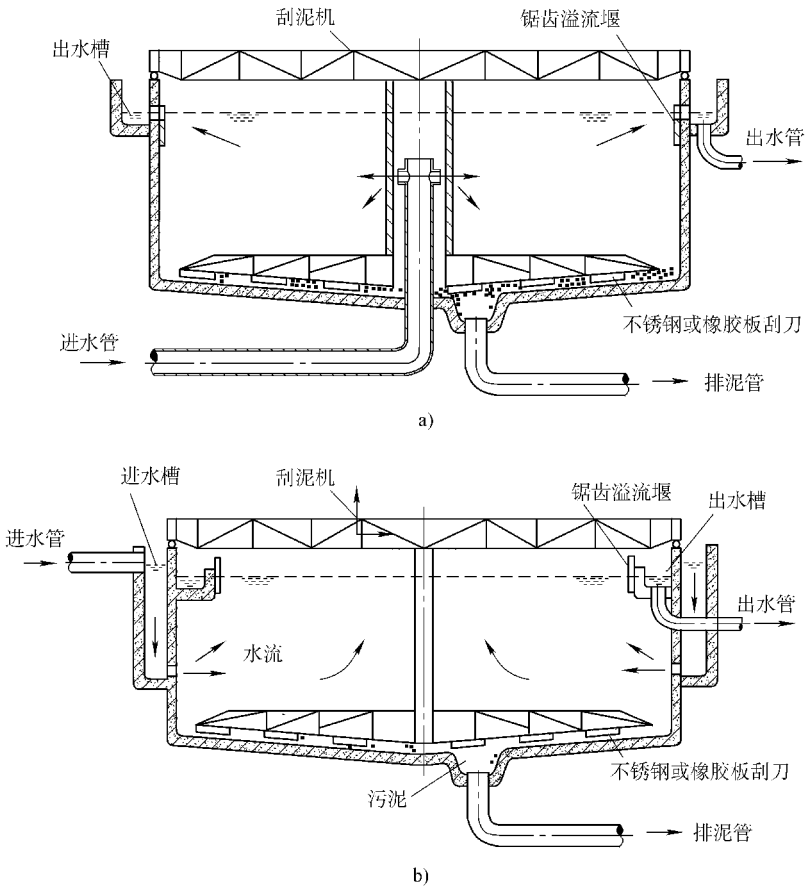


图 9-3 辐流式沉淀池

a）中心进水周边出水辐流式沉淀池 b）周边进水周边出水辐流式沉淀池

$$D=\left(\frac{4F}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

式中 D——沉淀池直径（m），不宜小于 16m，沉淀池直径（或正方形的边长）与有效水深的比值一般采用 6～12；

F——每座沉淀池的表面积（m^2）。

3）沉淀部分有效水深

$$h_2=\frac{q'}{t}$$

式中 h_2——沉淀池有效水深（m），一般不大于 4m；

q'——表面水力负荷[$m^3/(m^2\cdot h)$]，可通过试验确定；

t——沉淀时间（h）。

4）污泥部分所需容积

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$V=\frac{ST}{1\ 000n}$$

式中　V——污泥部分所需容积（m^3）；

S——每日污泥量（L/d）；

T——两次清除污泥的间隔时间（d），一沉淀池一般采用2d，机械排泥可按4h考虑；

n——沉淀池座数。

如已知污水悬浮物浓度与去除率，污泥量可按下式计算：

$$V=\frac{Q(C_0-C_1)T\times 86\ 400\times 100}{\gamma(100-P_0)}$$

式中　C_0，C_1——分别为进水与沉淀出水的悬浮物浓度（kg/m^3），如有浓缩池、消化池及污泥脱水机的上清液回流至一沉池，则式中 C_0 应取进水浓度的1.3倍，C_1 应取 C_0 的50%～60%；

P_0——污泥含水率（%）；

γ——污泥容重（kg/m^3），一般取1 000kg/m^3；

Q——设计日流量（m^3/d）；

T——两次排泥的时间间隔（d），同上。

5）污泥斗容积

$$V_1=\frac{\pi h_5}{3}(r_1^2+r_1r_2+r_2^2)$$

式中　V_1——圆截锥部分容积（m^3）；

r_1——污泥斗上部半径（m）；

r_2——污泥斗下部半径（m）；

h_5——污泥斗高度（m）。

6）污泥斗以上圆锥体部分污泥容积

$$V_2=\frac{\pi h_4}{3}(R^2+Rr_1+r_1^2)$$

式中　V_2——污泥斗以上圆锥体部分污泥容积（m^3）；

R——沉淀池半径（m）；

r_1——污泥斗下部半径（m）；

h_4——圆锥体高度（m）。

7）沉淀池总高度

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5$$

式中　H——沉淀池总高度（m）；

h_1——沉淀池超高（m），一般取0.3m；

h_3——缓冲层高度（m），一般取0.3～0.5m；

h_4——圆锥体高度（m）；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

h_2、h_5——符号意义同上。

8）其他设计要求如下：

①池底坡度一般采用0.05～0.10。

②一般采用机械刮泥，当池子直径小于20m时，一般采用中心传动的刮泥机；当池子直径大于20m时，一般采用周边传动的刮泥机。对于二沉池，也可以采用刮泥机，刮泥机旋转速度一般为1～3r/h；周边刮泥机的线速度不应超过3m/min，一般采用1.5m/min。

③沉淀池直径较小时（小于20m），也可以采用多斗排泥。

④中心进水口的周围应设置整流板，整流板上的开孔面积为过水断面（池子半径1/2处的水流断面）面积的6%～8%。

⑤出水堰前应设浮渣挡板，被拦截的浮渣用刮渣板（装在刮泥机桁架的一侧）收集，并通过排渣管排除。

（三）竖流式沉淀池

竖流式沉淀池有圆形与方形两种，当废水含大量有机悬浮物且水量又不大时，可采用竖流式沉淀池。

（1）竖流式沉淀池结构及工作原理。电镀废水处理厂用的多是竖流式沉淀池，一般为方形，边长为4～7m，沉淀池上部为沉淀区，下部为锥形污泥斗，两部分之间为缓冲区，缓冲区宽约0.3m，如图9-4所示。

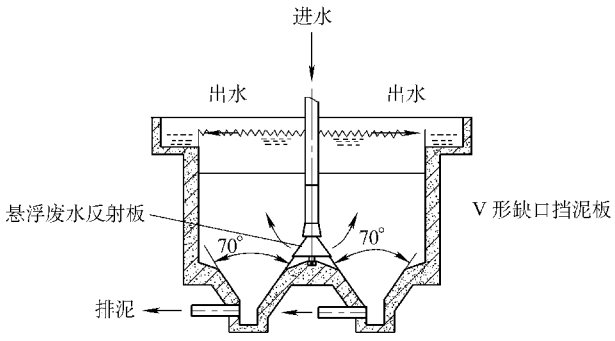


图9-4 竖流式沉淀池

废水从中心管自上而下流入，经悬浮废水反射板向四周均匀分布，沿沉淀区的整个断面上升，澄清水由池四周集水槽收集。集水槽大多采用平顶堰或三角形锯齿堰，堰口最大负荷为1.5L/（m^3·s）。为集水均匀，可设置环形集水槽。沉淀池贮泥斗锥角为60°～80°，污泥借静水压力由排泥管排出，排泥管直径应不小于200mm，静水压力为1.5～2.0m。排泥管下端距池底不大于2.0m，管上端超出水面不少于0.4m。为了防止漂浮物外溢，在水面距池壁0.4～0.5m处设挡板，挡板伸入水面以下0.25～0.3m，伸出水面以上0.1～0.2m。

竖流式沉淀池的喇叭口与反射板的具体尺寸按工艺要求确定。为了保证水流自下而上作垂直运动，竖流式沉淀池径深比通常为$D:h_2 \leqslant 3:1$。

竖流式沉淀池的主要优点是占地面积小，排泥方便，运行管理简单；主要缺点是池深大，施工困难，对量和水温变化的适应性较差，上升流速受颗粒沉降速度限制，出水量小，沉淀效果相对较差。竖流式沉淀池的污泥含水率为95%～97%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）竖流式沉淀池设计与计算。竖流式沉淀池设计的主要内容包括中心管面积与直径、沉淀区有效面积、池直径、沉淀区有效水深、污泥斗容积等。

1）中心管面积

$$f=\frac{Q_{max}}{v_0}$$

式中　f——中心管面积（m^2）；

Q_{max}——每池最大设计流量（m^3/s）；

v_0——中心管内流速（m/s），不大于0.03m/s。

2）中心管直径

$$d=\left(\frac{4f}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}$$

式中　d——中心管直径（m）；

f——中心管面积（m^2）。

3）中心管喇叭口与反射板之间的间隙高度

$$h_3=\frac{Q_{max}}{v_1 d_1 \pi}$$

式中　h_3——中心管喇叭口与反射板之间的间隙高度（m），一般为0.25～0.5m；

v_1——污水由中心管喇叭口与反射板之间的间隙流出的速度（m/s），在一沉池中不大于30mm/s，在二沉池中不大于20mm/s；

d_1——喇叭口直径（m）；

Q_{max}——每池最大设计流量（m^3/s）。

中心管喇叭口与反射板尺寸如图9-5所示。

4）沉淀部分有效面积

$$F=\frac{Q_{max}}{v}$$

式中　F——沉淀部分有效面积（m^2）；

v——污水在沉淀区上升流速（m/s），在数值上等于表面水力负荷，可通过试验确定；

Q_{max}——每池最大设计流量（m^3/s）。

5）沉淀池直径

$$D=\left[\frac{4(F+f)}{\pi}\right]^{\frac{1}{2}}$$

式中　D——沉淀池直径（m）。沉淀池直径（或正方形的边长）与有效水深之比不大于3.0；沉淀池直径不

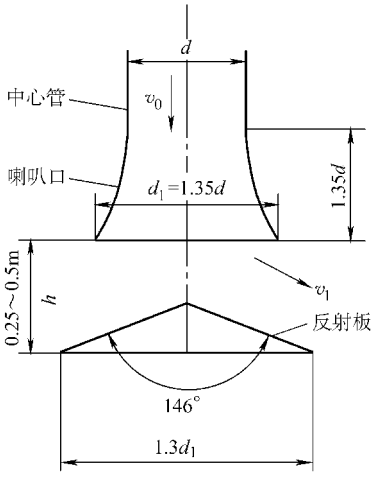


图9-5　中心管喇叭口与反射板尺寸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

宜大于8.0m，一般采用4.0～7.0m；

F、f——符号意义同上。

6）沉淀部分有效水深

$$h_2 = 3\ 600vt$$

式中 h_2——沉淀池有效水深（m），竖流式沉淀池的有效水深也就是中心管侵入水下的深度；

t——沉淀时间（h）；

v——符号意义同上。

7）污泥部分所需容积

$$V = \frac{ST}{1\ 000}$$

式中 V——污泥部分所需容积（m^3）；

S——每日污泥量（L/d）；

T——两次清除污泥的间隔时间（d）。一沉池一般采用2d，二沉池可按2h考虑，机械排泥一沉池可按4h考虑。

如已知污水悬浮物浓度与去除率，污泥量可按下式计算：

$$V = \frac{Q(C_0 - C_1)T \times 86\ 400 \times 100}{\gamma(100 - P_0)}$$

式中 C_0、C_1——分别是进水与沉淀出水的悬浮物浓度（kg/m^3），如有浓缩池、消化池及污泥脱水机的上清液回流至一沉池，则式中 C_0 应取进水浓度的1.3倍，C_1 应取 C_0 的50%～60%；

P_0——污泥含水率（%）；

γ——污泥容重（kg/m^3），一般取1 000kg/m^3；

Q——设计日流量（m^3/d）；

T——两次排泥时间间隔（d），同上。

8）圆锥体部分容积

$$V_2 = \frac{\pi h_5}{3}(R^2 + Rr + r^2)$$

式中 V_2——圆锥体部分容积（m^3）；

R——圆锥体上部半径（m）；

r——圆锥体下部半径（m）；

h_5——污泥室圆截锥部分高度（m）。

9）池子总高度

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

式中 H——沉淀池总高（m）；

h_1——沉淀池超高（m），一般取0.3m；

h_2——沉淀池有效水深（m）；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

h_3——中心管喇叭口与反射板之间的间隙高度（m）；

h_4——缓冲层高度（m），一般取0.3～0.5m；

h_5——符号意义同上。

10）其他设计要求如下：

①当池子直径（或正方形的边长）小于7.0m时，澄清污水沿周边流出；当池子直径大于7.0m时，应增设辐射式集水支渠。

②排泥管下端距池底不大于0.20m，管上端高出水面0.40m以上。

③浮渣挡板淹没深度为0.30～0.40m。

（3）竖流式沉淀池设计与计算例题如下：

已知某电镀工业园废水处理厂最大设计流量 $Q_{max}=5\ 000m^3/d=0.058m^3/s$，求竖流式沉淀池各部分的尺寸。

解：竖流式沉淀池计算图如图9-6所示。

1）中心管面积。设中心管内流速 $v_0=0.03m/s$，采用2个池子，中心管面积

$$f=Q_{max}/(nv_0)$$
$$=0.058/(2\times0.03)=0.97m^2$$

2）中心管直径

$$d=[(4f)/\pi]^{1/2}$$
$$=[(4\times0.97)/3.14]^{1/2}=1.1m$$

3）计算中心管喇叭口与反射板之间的间隙高度。设污水由中心管喇叭口与反射板之间的间隙流出的速度 $v_1=0.03m/s$，则中心管喇叭口与反射板之间的间隙高度

$$h_3=Q_{max}/(nv_1d_1\pi)$$
$$=0.058/(2\times0.03\times1.1\times\pi)=0.28m$$

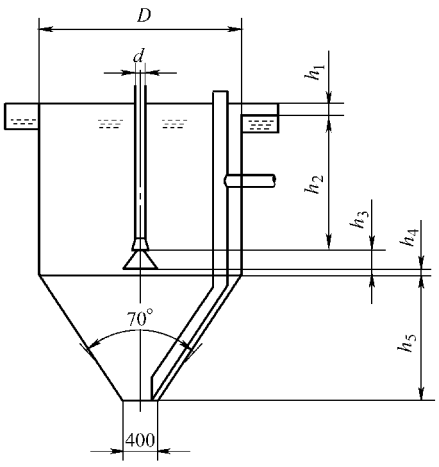


图9-6　竖流式沉淀池计算图

4）计算沉淀部分有效面积 F。设表面负荷为2.52m^3/（m^2·h），则上升流速

$$v=u=2.52m/h=0.000\ 7mm/s$$
$$F=Q_{max}/nv=0.058/(2\times0.000\ 7)=41.4m^2$$

5）沉淀池直径

$$D=[4(F+f)/\pi]^{1/2}=[4\times(41.4+0.97)/3.14]^{1/2}=7.35(m)<8m(符合要求)$$

6）计算沉淀部分有效水深。设沉淀时间 $t=1.5h$，有效水深

$$h_2=3\ 600vt=3\ 600\times0.000\ 7\times1.5=3.78m$$

径深比为：$D/h_2=7.35/3.78=1.94<3$（符合要求）

7）集水槽出水堰负荷校核。设集水槽单边出水，则集水槽出水堰的负荷为：

$$q_0=Q_{max}/(n\pi D)=0.058/(2\times3.14\times7.35)=0.001\ 3m^3/(m\cdot s)$$

8）每日污泥量为30 000L，则污泥部分所需容积

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$V = ST/1\ 000 = 30\ 000 \times 2/1\ 000 = 60\text{m}^3$$

每个沉淀池的污泥体积为：

$$V_1 = V/2 = 60/2 = 30\text{m}^3$$

9）计算圆截锥部分容积。设圆截锥底部直径 $r = 0.4\text{m}$，圆截锥角度为 70°，则圆截锥部分的高度

$$h_5 = (R - r)\tan\left(\frac{180° - 70°}{2}\right) = (7.35/2 - 0.4)\tan 55° = 4.7\text{m}$$

圆截锥部分的容积

$$V_2 = [(\pi h_5)/3](R^2 + Rr + r^2)$$

$$= [(3.14 \times 4.7)/3](3.68^2 + 3.68 \times 0.4 + 0.4^2) = 74.65\text{m}^3 > 30\text{m}^3$$

10）计算沉淀池总高度。设沉淀池的超高 $h_1 = 0.3\text{m}$，缓冲层的高度 $h_4 = 0.3\text{m}$，则沉淀池总高度

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = 0.3 + 3.78 + 0.28 + 0.3 + 4.7 = 9.36\text{m}$$

（四）斜管（板）式沉淀池

污泥的流动性差，斜管（板）式沉淀池斜管（板）容易堵塞，时间一长，污泥积聚在斜管（板）上，其重力将压塌斜管（板），由于斜管（板）更换、维修不方便，因此不推荐使用。

（五）沉淀池设计原则

（1）沉淀池个数与分格数不低于 2 个，并按并联设计。

（2）设计流量应按分期建设考虑，当污水为自流进入时，应按每期最大设计流量计算；当污水为提升进入时，应按每期工作水泵最大组合流量计算。

（3）沉淀池有效水深一般为 2～4m，缓冲区一般为 0.3～0.5m，超高不低于 0.3m。圆形污泥斗的锥角不宜大于 65°，方形污泥斗的锥角不宜大于 70°，排泥管直径不宜低于 200mm。

（4）沉淀池出水堰最大负荷：初沉池≤2.9L/（s·m），二沉池≤1.7L/（s·m）。沉淀时间一般为 1.5～2h。

（5）初沉池污泥区容积按不大于 2d 污泥量计算，若采用机械排泥则按 4h 污泥量计算；曝气后的二沉池污泥区容积按不大于 2d 污泥量计算，并连续排泥。

（6）曝气后二沉池污泥区的容积应考虑总污泥回流量。

（7）二沉池一般采用表面负荷计算表面积，固体负荷≤150kg/（m^2·d）。

（六）影响沉淀效率的因素

影响沉淀效率的主要因素有三个：废水的流速、悬浮颗粒的沉降速度，以及沉淀池的尺寸。

1. 废水的流速　在一定的污水流速下，对一定大小的沉淀池其沉降效益主要取决于颗粒的沉降速度。自由沉降的速度与颗粒的形状以及颗粒与流体间的相对运动有关，通常用雷诺数 *Re* 的大小来判断颗粒在水中沉降的相对运动流动类型，对于球形颗粒：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$Re=\frac{d_s\mu_s\rho}{\mu}$$

式中　d_s——颗粒的直径（m）；

μ_s——颗粒的沉降速度（m/s）；

ρ——污水的密度（kg/m^3）；

μ——污水的黏度（Pa·s）。

一般雷诺数 $Re<1$，即流体与颗粒的相对运动呈滞流状态，此时沉降速度越快，沉降效率就越高。

2. 悬浮颗粒的沉降速度　颗粒的沉降速度 μ_s 有一个最小值，用 μ_s' 表示。为了使悬浮颗粒在从进沉淀池入口至沉淀池出口这段时间内能沉降到底，必须保证悬浮颗粒在沉淀池中有一定的停留时间，即

$$T_s=\frac{H}{\mu_s'}$$

式中　T_s——废水在沉淀池中的停留时间（s）；

H——沉降池深度（m）；

μ_s'——颗粒最小沉降速度（m/s）。

上式表明在 μ_s 一定时，随着沉淀池深度 H 的减小，沉淀时间 T_s 可以缩短。但是必须保持沉淀池有一定的深度 H，才能防止已沉淀的颗粒被水的流动所扰动，而不会重新被水带出沉淀池。所以，只有在保证池底沉淀物不受水流冲击和扰动的情况下，适当减小沉淀池深度，才能提高沉淀速度。

假定废水的流量为 Q（m^3/s），废水在沉淀池中的流速是 μ（m/s），那么

$$Q=\mu BH$$

式中，B 为沉淀池的宽度。

而废水在沉淀池中停留时间

$$T=L/\mu$$

式中，L 为沉淀池的长度（m）。

3. 沉淀池的尺寸　对于某一沉淀池，其尺寸高 H、宽 B、长 L 均固定，污水的流速 μ 越大，则废水实际在沉淀池中停留的时间 T 越短；反之，流速 μ 越小，停留时间 T 越长。为了保证污水中悬浮颗粒的沉降时间 T_s，则污水停留时间 T 至少等于颗粒的沉降时间 T_s，即 $T=T_s$，则

$$Q=A\cdot\mu_s'$$

式中，A 为沉淀池的底面积（m^2）。

通常将废水流量 Q 与沉淀池的底面积 A 之比称为表面负荷，亦称为过流率，用符号 q_0 表达，单位为 m^3/(m^3·s)，即

$$q_0=Q/A$$

或

$$Q=A\cdot q_0$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

可见，在同一沉淀池内，过流率的大小与颗粒的最小沉降速度 μ_s' 相等。过流率越小，沉淀效果越好；反之，则沉淀效果越差。对一定流量的废水，沉淀面积越大，则过流率越小，沉淀效果也越好。

实际上，由于污水通过沉淀池的各过水断面的流速分布是不均匀的，颗粒在沉淀池中的实际停留时间要比上面提到的沉降时间 T_s 短；又由于受到水流本身流动的影响，颗粒的实际沉降速度也要比上面提到的 μ_s 小，所以沉降速率实际上要比理论值低一些。

三、隔油池

废水中的油类一般以下三种状态存在：

（1）悬浮状态：这部分油在废水中分散颗粒较大，易于上浮分离，占总含油量的80% ~90% 。

（2）乳化状态：油珠颗粒较小，直径一般在 0.05 ~25μm 之间，不易上浮去除，约占总含油量的 10% ~15% 。

（3）溶解状态：这部分油仅占总含油量的 0.2% ~0.5% 。

对于悬浮状态的油类，一般用隔油池分离；对于乳化状态的油类，采用浮选法分离。

常用的隔油池有平流式、竖流式及斜板式，平流式又分为平行板式和波纹板式。平流式隔油池构造与平流式沉淀池基本相同，平面多为矩形，在出水端设有集油管，废水由池首流入，从末端流出，油珠在浮力的作用下上浮到水面，由链式刮油刮泥机刮至集油管，流入集油池。而相对密度大于 1 的悬浮物杂质沉到池底，由同一台链式刮油刮泥机刮至污泥斗，经排泥管排出池外。平流式隔油池具有构造简单、除油效果稳定、运行管理方便的优点，但占地面积大，已较少采用。

（一）斜板式隔油池

斜板式隔油池池内斜板大多数采用聚酯玻璃钢波纹板，表面光滑、不沾油、质量小、耐腐蚀。处理水沿斜板组向下流，油珠沿斜板组向上浮，然后经集油管排出。水中的悬浮物沉降在斜板表面，并沿斜板组滑下，落入池底部，最后经污泥管排出。斜板式隔油池油水分离效率较高，所需停留时间仅为平流式隔油池的 1/2 ~1/4，约为 30min，可去除 60 ~80μm 以上的油珠。斜板式隔油池占地面积小。

（二）斜板式隔油池设计与计算

表面水力负荷一般为 0.6 ~0.8m^3/（m^2 · h），水力停留时间不大于 30min。斜板垂直净距一般采用 40mm，倾角采用 45°。斜板式隔油池如图 9-7 所示。

四、调节池

折流式调节池如图 9-8 所示。

调节池是为了使原废水的水量和水质均匀化而设置的。废水的水量及水质并不总是恒定均匀的，而是随生产过程而变化的。由于工业园区中不同电镀企业镀种不同，排放时间也不确定，给污水处理带来了困难。因此，在废水进入处理系统时，首先要采取措施，对水量和水质进行调节。氰水、综合水、含油水三种水质，以综合水的水量最大，镀种复杂，用折流式调节池调节后进入沉砂池，在沉砂池中经过水泵强制循环搅拌使水质均匀，再进入下道工序。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

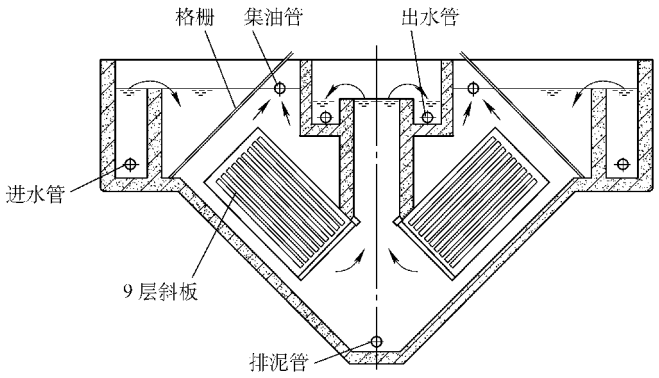


图9-7　斜板式隔油池

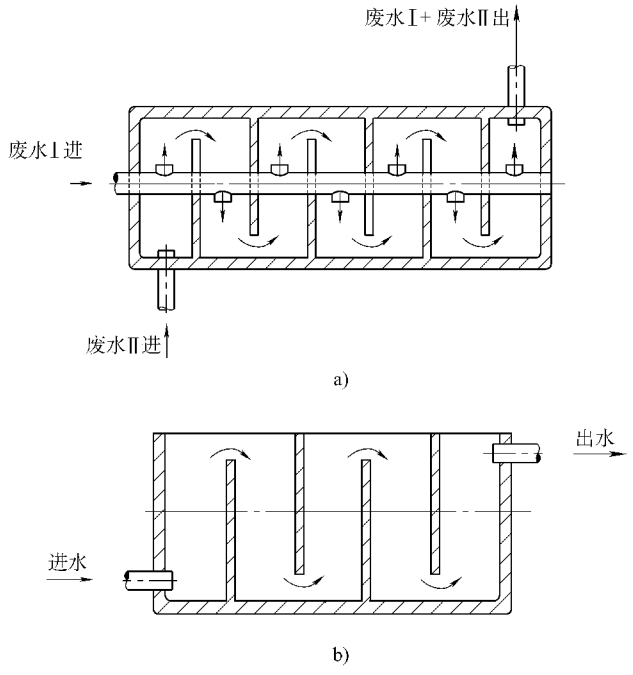


图9-8　折流式调节池

a）平流式　b）上下翻腾式

五、土建构筑物基本要求及运行方式

（一）土建构筑物基本要求

1. 构筑物设计原则

（1）结构为工艺服务，可以进行必要的试验研究，保证稳定运行，符合水力运行

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

规律。

（2）构筑物上安装的设备要便于人员操作、检修，巡检要有安全通道及防护措施。

（3）与构筑物相连接的管线要方便清通。

2. 构筑物的结构要求

（1）进水位置一般布置在构筑物中心进水侧中部；进水要尽可能采用缓冲、放大孔径、多孔进水、指缝墙等形式，以利于构筑物正常功能的发挥；在进入构筑物前要将漂浮物彻底去除。

（2）出水有两种类型，一种是澄清出水，另一种是非澄清出水。两种出水类型的出口形式不同，澄清出水指沉淀池、浓缩池出水，需要保证悬浮物不被带出，一般采用出水槽加锯齿堰的方式；非澄清出水不需控制悬浮物，水平堰口流出后经出水管出水，直接连通出水管易造成液位波动，浪费池容。

（3）放空。构筑物要能在需要的情况下，将构筑物内的污水或污泥排放干净，以便进行设备检修和构筑物自身的清理。放空管要设在构筑物最低位置，并低于构筑物内最低的底面，同时，构筑物连通的公用工程排水管线运行液位应低于放空管，这样才能保证不致造成污水回灌。另外，放空管线在构筑物外，要在尽可能短的距离内设置检修井，以便对放空管线进行清通和检查。

3. 构筑物运行

（1）澄清型构筑物要有稳定的运行环境，才能达到预期的工艺效果，减少出水中含带的杂质，使悬浮物的沉降尽可能与静止沉淀环境接近，并能将沉淀物及时排出，达到最大的去除效果，即要有足够池容，以保证污水停留时间。

（2）非澄清型构筑物不允许有杂质沉淀，因此要有防沉手段。可采取曝气、机械搅拌、安装池底进料管等形式，保证构筑物功能的正常发挥。

（二）构筑物维护

1. 渗漏水产生的部位及检查方法　出现渗漏时，应找出主要原因及渗水点的准确位置，其检查方法如下：在基层表面均匀撒上干水泥粉，若发现湿点或湿线，即为漏水孔、缝；如出现一片潮湿的现象，用上法不易发现漏水的位置时，可用水泥浆在基层面均匀涂一薄层，再撒一层干水泥粉，干水泥粉的湿点或湿处即为漏水孔、缝。

2. 堵漏的原则　是先把大漏变小漏、缝漏变点漏、片漏变孔漏，然后堵住漏水处。堵漏的方法和材料较多，如水泥胶浆、环氧树脂丙凝、甲凝、氰凝等。

（1）孔洞堵漏。渗水量不大时，在渗漏凿洞（$\phi 10 \times 20$mm），冲洗干净后，用配合质量比 1∶0.6 的水泥胶浆做成与洞相近的形状，待胶浆开始凝固时，迅速地将胶浆用力堵塞在洞内，并向孔洞壁四周挤压严实，使胶浆立即与洞壁紧密结合。堵塞持续半分钟即可，随即按渗漏水检查方法进行检查，确认无漏后，再在胶浆表面抹素灰和水泥浆。

（2）裂缝堵漏。剔好沟槽，在沟槽底部沿裂缝放置一根小绳，将胶浆和绳填塞于沟槽中，迅速向两侧压密实，塞满后，立即把小绳抽出，使水顺绳孔流出，再用下钉法重复堵塞，逐步缩小裂缝，直至用胶浆完全堵塞。裂缝较长的可分段堵塞。

（3）水压较大的急流裂缝可用半圆铁片堵漏法。把漏水处剔成八字形边坡沟槽，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

尺寸视漏水量而定。将100～150mm宽的铁皮沿宽度方向弯成半圆形，弯曲后宽度与沟槽宽相等。在铁片上开圆孔，将半圆铁皮连续排放于槽内，使其正好卡于槽底，在圆孔上插一胶管，让水顺胶管流出，用胶浆分段堵塞，再抹砂浆保护，砂浆凝固后，拔出胶管，用孔洞堵漏堵住胶管孔。

还可用灌浆堵漏法，用氰凝堵漏技术或用堵漏灵技术堵漏。氰凝是由多异氰酸酯和聚醚树脂制成的主剂与一些添加剂组成的化学灌浆材料。堵漏灵是由专用原料HU847和水泥等辅料经特殊工艺处理而成的粉状多功能防水材料。

第二节　机电设备

机电设备机械设备主要有：格栅、水泵、搅拌器、干粉加药机、罗茨回转压缩机和压泥机系统。

一、格栅

格栅通常由一组平行金属栅条制成的框架组成，倾斜或直立地设置在进水渠道中，以阻挡粗大的悬浮物，防止水泵、阀门、管道被堵塞。机械格栅由机架、动力装置、耙齿及电控箱组成，斜置于废水流经的通道中，与地面成一定的角度。栅条与机架固定在一起，用于拦截污水中的悬浮性污物。传动链条带动固定其上的数组除污耙齿，耙齿伸入栅条缝隙中，通过链条带动连续不断地将污水中的固体物提升至顶端，链条翻转时，悬浮性污物均掉落到栅条后面的收集箱中。

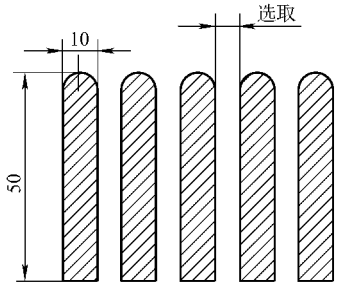


图9-9　栅条断面形状

栅条间隙可分为粗格栅（50～100mm）、中格栅（10～40mm）和细格栅（3～10mm）；按清渣方式，可分为人工清渣格栅和机械清渣格栅两种。

栅条断面形状一般采用矩形断面，两头半圆的矩形断面栅条的水力条件及刚性最佳。栅条断面形状与尺寸如图9-9所示。

栅条间隙与污水泵型号的关系见表9-1。

表9-1　栅条间隙与污水泵型号的关系

污水泵型号	栅条间隙/mm	栅渣量/[L/(人·d)]
21/2pw	≤20	4～6
4pw	≤40	2.7
6pw	≤70	0.8

格栅的设计原则如下：

（1）水泵前格栅栅条间隙，应根据水泵允许通过污物的能力来确定。

（2）污水处理系统一般宜设中、细两道格栅。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）每日栅渣量大于0.2m³，应采用机械格栅除渣机，但小型废水处理厂，为改善劳动条件，也采用机械格栅除渣机。

（4）格栅前渠内水流速度为0.4～0.9m/s，过栅速度为0.6～1.0m/s。

（5）格栅倾角一般为45°～75°，机械格栅一般为60°～70°。

（6）通过格栅的水头损失一般为0.08～0.15m。

（7）单台格栅工作宽度一般不超过3m，超过时可采用多台格栅。

（8）栅条高度一般按正常水位决定，当池内设有可靠的自动装置时，栅条高度可以比正常水位高1.0m。

（9）格栅必须设工作台，台面高出栅前最高设计水位0.5m，工作台两侧过道宽度不应小于0.7m，工作台正面过道宽度不应小于1.2m，工作台应有安全、冲洗设施。

二、水泵

水泵的型号、类型、结构等拼音字母构成由生产企业各自确实，所以水泵类型相同，但表示方法并不一致。常用水泵的性能一般由流量、扬程、功率、转速、效率、吸入口直径、排出直径、泵叶轮直径等参数构成。但是在选择设备时，主要考虑水泵的流量、扬程、功率、允许吸上真空高度、转速等参数。

（1）流量：水泵在单位时间内抽吸或排出的水量称为水泵的流量，用 Q 表示，单位为 m^3/h 或 L/s。

叶片泵的流量与扬程成反比，流量减少，扬程增大；流量增加，扬程降低。容积泵与叶片泵不同的是流量与扬程无关。

（2）扬程：单位质量的液体，从水泵进口到水泵出口的能量增值为水泵的扬程，用 H 表示，单位为 m（水柱）或 Pa。

$$1\text{m}(\text{水柱}) = 9.81 \times 10^3\text{Pa} \approx 1 \times 10^4\text{Pa}$$

虽然离心泵的扬程与高度的单位一致，但不能把水泵的扬程简单理解为液体输送能达到的高度，因为水泵的扬程包括液体的静压、速度和势能等能量增加值的总和。

容积泵的扬程与水泵本身的动力、强度和密封性有关，与流量无关，只要允许，可达到任意外界所需的扬程，只是轴功率随着扬程的增高而增高。

（3）功率：水泵的功率分有效功率和轴功率。有效功率为单位时间内，水泵排出口流出的液体从水泵中得到的有效能，或称输出功率，用 N_e 表示，常用单位为 kW。水泵铭牌上的功率一般指水泵的轴功率，如指电动机功率须同时标上电动机型号。

（4）效率：效率是衡量水泵工作经济性的指标，又称水泵的总效率，用 η 表示，$\eta = (N_e/N) \times 100\%$。效率 η 可反映水泵能量利用的程度。因为水泵在工作时存在各种能量损失，不可能将原动机输入的功率全部变为液体的有效功率。水泵的效率越高，说明能量利用率越高，损失越小。

（5）允许吸上真空高度：指当水泵轴线高于水池液面时，为了防止发生气蚀现象，所允许的水泵轴线距水池液面的垂直高度，即在一个标准大气压下、水温为20℃时水泵进口处允许达到的最大真空高度，用 H_s 表示，单位为 m。允许吸上真空高度是随流量变化的，流量增加，H_s 下降，当水泵轴线低于水池液面时，可不考虑此项参数。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（6）转速：指水泵轴在单位时间内的转数，用 z 表示，单位为转/分（r/min）。

（一）离心泵

1. *离心泵工作原理*　用一个敞口的圆筒装半筒水，让圆筒旋转起来，圆筒内的水面便呈抛物线上升的旋转凹面，转得越快，水上升的高度就越大。这个试验说明，水在旋转时，受离心力的作用向外流动，但是被圆筒挡住了，就被迫向上升。凹面中心形成真空，离心泵水的入口处，水沿圆筒壁上升，出口的水在大气压力的作用下，源源不断地向凹面中心补充，在筒壁作用下，将动能转化为压力能，水就沿着管道排出。

离心泵工作原理如图 9-10 所示。

离心泵把电动机高速旋转的机械能转化为被抽升液体的动能和势能，在这个传递和转化过程中，就伴随着许多能量损失，这种能量损失越大，该离心泵的性能就越差，工作效率就越低。

2. *离心泵结构*　离心泵结构如图 9-11 所示，主要零部件材料见表 9-2。

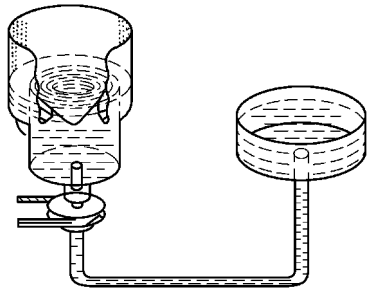


图 9-10　离心泵工作原理

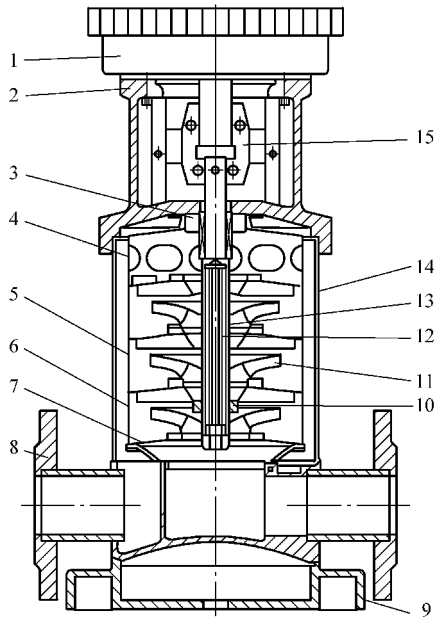


图 9-11　离心泵结构

表 9-2　离心泵主要零部件材料

序号	名称	材　料	序号	名称	材　料
1	电动机		5	支撑导叶	不锈钢 AIS1304
2	泵头	铸铁 ASTM25B	6	导叶	不锈钢 AIS1304
3	机械密封		7	导流器	不锈钢 AIS1304
4	出水导叶	不锈钢 AIS1304	8	进出水段	不锈钢 AIS1304

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	名称	材　料	序号	名称	材　料
9	底座	铸铁	13	叶轮隔套	不锈钢 AIS1304
10	轴承	硬质合金 YG8	14	泵壳	不锈钢 AIS1304
11	叶轮	不锈钢 AIS1304	15	联轴器	碳钢 45
12	泵轴	不锈钢 AIS1316			

主要零件的功能介绍如下：

（1）叶轮：叶轮的形状和尺寸是通过水力计算来决定的。叶轮分单吸式和双吸式，大流量离心泵多数采用双吸式；叶轮按其盖板情况又可分为封闭式、半开式和敞开式。抽含有悬浮物的污水泵，为了避免堵塞，有的采用半开式和敞开式，这种叶轮的特点是叶片少，一般为 2 ~5 片，而封闭式叶轮一般为 6 ~8 片，多的可至 12 片。

（2）泵轴：泵轴是用来带动叶轮旋转的，常用材料为碳钢和不锈钢。泵轴应有足够的抗扭强度和刚度，其挠度不超过允许值，工作转速不能接近产生共振的临界转速。叶轮和泵轴用键联接，轴向用锁紧螺母定位。

（3）泵壳：是离心泵的固定部件，通常铸成蜗壳形，叶轮工作时，沿蜗壳的渐扩断面流量是逐渐增大的，并且沿蜗壳的渐扩断面水流速度是一常数。水由蜗壳排出后，经锥形扩散管流入压力管。锥形扩散管的作用是降低水流的速度，使流速水头的一部分转化为压力水头。蜗壳顶上开有充水和放气的螺孔。

（4）底座：是离心泵的固定部件，开有泄水螺孔。

（5）机械密封：泵轴穿出蜗壳时，在轴与壳之间存在间隙，如不采取措施，间隙处就会有泄漏，降低泵的吸水性能，因此在轴与壳之间设置密封，有填料密封、机械密封等，现在大多数都采用机械密封。机械密封又称端面密封，主要由动环、静环、弹簧和密封圈组成。

（6）联轴器：连接电动机轴与泵轴，有刚性联轴器与挠性联轴器两种。刚性联轴器就是两个法兰盘连接，挠性联轴器是钢柱销带有弹性橡胶圈，用这种联轴器要定期检查橡胶圈的完好情况。现在的水泵都做成了电动机与水泵一体式，采用刚性连接，省去了检查工作。

3. 离心泵的运行曲线　水泵的性能曲线有：流量与扬程曲线、流量与功率曲线、流量与效率曲线、流量与允许气蚀余量曲线。这些曲线至今还不能精确地用理论的方法计算，而是通过试验的方法求得。从这些曲线上可以知道各参数随流量的变化关系：当流量增大时，功率相应增大，扬程随之变小；相反，当流量减小时，功率相应减小，扬程随之变大。掌握了这些曲线，就可以正确地选择、经济合理地使用水泵。离心泵常见性能曲线如图 9-12 所示。

水泵的效率越高，则同等电耗下抽的水量越大，或同等水量下电耗越低。所以运行时，在满足扬程的前提下，要尽可能使水泵运行在效率最高点附近的流量范围内。为此，可改变转速或利用阀门进行水量调节，但利用阀门会增大管路阻力，浪费较多的能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

量。可以采用多台水泵并联运行，扬程不变水量增加。

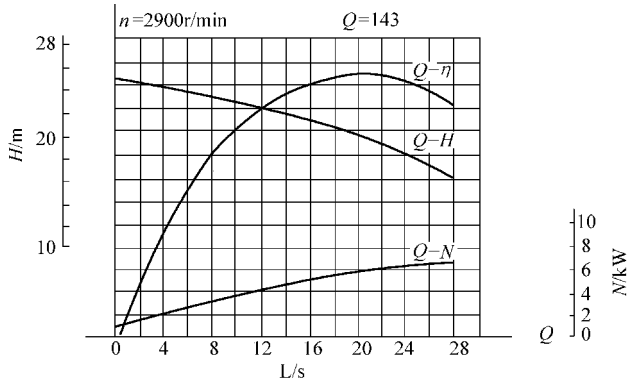


图 9-12　离心泵常见性能曲线。

4. 离心泵的气蚀　气泡的形成、发展和破裂，以致使材料受到破坏的全部过程，称为气蚀。水在压力变化时就会汽化，如水在20℃时，汽化压力为0.024 大气压，在等于或低于0.024 大气压时，水就发生汽化。

当汽化发生后，就有大量的蒸汽及溶解在水中的气体逸出，形成许多蒸汽和气体混合的小气泡。当气泡随同水流从低压区流向高压区时，气泡在高压的作用下，迅速凝结而破裂，在气泡破裂的瞬间，水以极高的速度流向原气泡占有的空间，形成一个冲击力。由于气泡中部分气体和蒸汽来不及在瞬间全部溶解和凝结，在冲击力下又分成小气泡，再被高压压缩、凝结，如此形成多次的往复。在极微小的面积上，可使局部压力高达几百甚至几千大气压，冲击频率可达每秒几万次，对材料造成疲劳破坏，从开始的点蚀到严重的蜂窝状空洞，最后蚀穿。

5. 离心泵的选用

（1）离心泵类型：离心泵的类型按吸入方式分，可分为单吸泵和双吸泵；按叶轮数目分，可分为单级泵和多级泵；按泵送液体性质分，分清水泵、耐腐蚀泵、油泵、杂质泵等。

①清水泵（IS 型、D 型、Sh 型）。输送清水及物理、化学性质类似于水的清洁液体，可选清水泵。

IS 型清水泵为单级单吸悬臂式水泵，它的应用最为广泛。该系列水泵的扬程范围为 8～98m，流量范围为 4.5～360m^3/h。

D 型离心泵为多级泵。多级泵是在一根轴上串联多个叶轮，液体在几个叶轮中多次接受能量，故可达到较高的压力。若要求压力较高而流量并不太大时，可采用多级泵。该系列泵的扬程范围为 14～351m，流量范围为 10.8～850m^3/h。

Sh 型离心泵为双吸泵。双吸式叶轮厚度大，且有两个吸入口，故流量大。若要求压力不高而流量大时，可采用双吸泵。该系列泵的扬程范围为 9～140m，流量范围为

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

120 ~ 12 500m^3/h。

②耐腐蚀泵（F 型）。输送酸、碱等腐蚀性液体时，可选用耐腐蚀泵。耐腐蚀泵与液体接触的部件是用耐腐蚀材料制造的。F 后面加一个字母表示材料的代号。耐腐蚀泵密封要求高，都是采用机械密封。该系列泵的扬程范围为 15 ~ 105m，流量范围为 2 ~ 400m^3/h。

③油泵（Y 型）。对油泵的一个重要要求是密封性能良好，以防易燃、易爆油品的泄漏。Y 系列油泵的扬程范围为 60 ~ 600m，流量范围为 6. 25 ~ 500m^3/h。

④杂质泵（P 型）。又分为污水泵“PW”、泥浆泵“PN”等。对这类泵的要求是：不易被杂质堵塞、耐磨及易拆洗等。因此这类泵的叶轮流道宽、叶片数目少，常用开式或半开式叶轮。

（2）离心泵的选用。离心泵的选用一般可按下述步骤进行：

1）根据输送液体的性质，确定离心泵的类型。

2）确定输送系统的流量和压头。流量一般由生产任务所定，若流量在一定范围内变动，则选择时应按最大流量考虑；压头根据管路的情况，用柏努利方程计算在最大流量下管路所需的压头。

3）选择水泵的型号。根据输送流量和设计管路需要的压头，从水泵样本或产品目录中选出合适的型号。水泵的流量和压头应留有余地，即稍大于管路需要的流量和压头，且应保持离心泵在高效区工作。水泵的型号选出后，应列出水泵的各种性能参数。

4）核算水泵的轴功率。若输送液体的密度大于水的密度，应核算水泵的轴功率。

轴功率是原动机传给泵轴的功率。由于泵内存在损失，所以有效功率 $N_e < N$。如果知道水泵的总效率 η，则水泵的轴功率 N 可用下式计算：

$$N = N_e/\eta = (\gamma QH)/(1\ 000\eta)$$

式中 N——轴功率（kW）；

N_e——有效功率（kW）；

Q——体积流量（m^3/s）；

H——压头（m）；

γ——流体重度（N/m^3）；

η——总效率，查用户手册。

（二）螺杆泵

螺杆泵的转子是一根具有很大导程的螺杆，由合金钢、不锈钢等材料制成，表面经过硬化处理，或镀有抗腐蚀、高硬度的铬层。转子在其吸入端通过联轴器等与连轴杆连接，其排出端则是自由状态。工作时，转子由电动机驱动，在定子内作行星转动，相互配合的转子和定子的弹性衬套形成了几个互不相通的密封空腔。由于转子的转动，密封空腔沿轴向由泵的吸入端向排出端方向运动，介质在空腔内连续地由吸入端输向排出端。螺杆泵如图 9-13 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

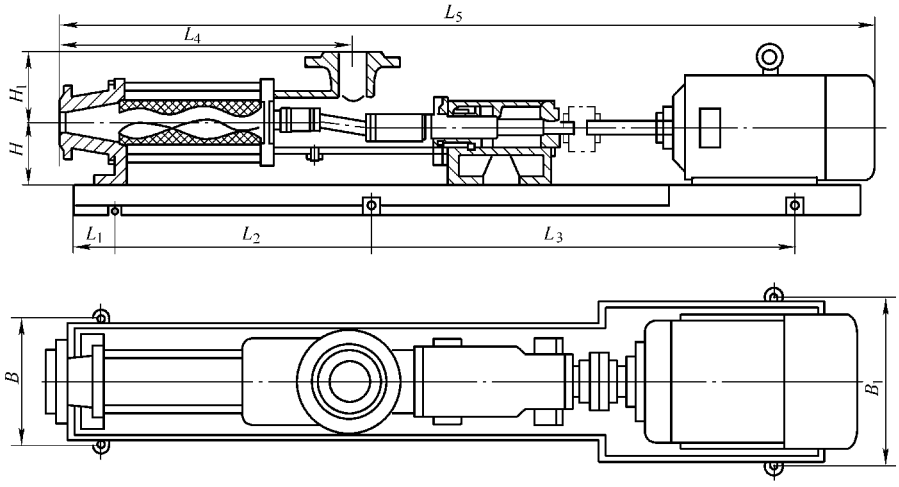


图 9-13　螺杆泵

螺杆污泥输送泵的主要参数见表 9-3。

表 9-3　螺杆污泥输送泵的主要参数

流量/(m^3/h) / 型　号	转速/(r/min)					
	200	300	400	500	600	800
G35	1.5	2.25	3	3.75	4.5	6
G40	3	4.5	6	7.5	9	12
G50	6	9	12	15	18	24
G60	8	12	16	20	24	32
G70	12	18	24	30	36	48
G85	23	34.5	46	57.5	69	—
G105	45	67.5	90	—	—	—

材质：定子采用丁晴橡胶，转子采用镀铬钢。

（三）隔膜泵

隔膜泵采用压缩空气为动力源，适用于各种腐蚀性液体、带颗粒的液体，以及高黏度、易挥发、易燃、剧毒的液体，外壳有铝合金、铸铁、不锈钢材质，隔膜有丁晴橡胶、氟橡胶、氯丁橡胶、聚四氟乙烯。

气动隔膜泵既能输送流动的液体，又能输送一些不易流动的介质，具有自吸泵、潜水泵、屏蔽泵、泥浆泵和杂质泵等输送机械的优点，其特点如下：

（1）不需灌水，吸程可达 7m，扬程达 50m，出口压力≥6kgf/cm^2。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）流动宽敞，通过性能好，允许通过最大颗粒直径达10mm。

（3）流量、扬程可通过气阀开度实现无级调节。（气压调节范围为1～7kgf/cm^2）。

（4）该泵无旋转部件，没有轴封，隔膜将抽送的介质与泵的运动部件完全隔开，所输送的介质不会向外泄漏。

（5）可以浸没在介质中工作。

（6）可输送较黏的液体（黏度在1万厘泊以下）。

（7）无需用油润滑，即使空运行，对泵也无影响。

气动隔膜泵的缺点是换向阀的胶圈密封、隔膜疲劳强度不够，经常要更换；耗气量大，要配储气罐。

隔膜泵如图9-14所示。其工作原理为：在泵的两个对称工作腔中，各装有一块有弹性的隔膜，连杆将两块隔膜连接成一体，压缩空气从泵的进气接头进入配气阀后，推动两个工作腔内的隔膜，驱使连杆连接的两块隔膜同步运动。与此同时，另一个工作腔中的气体则从其隔膜的背后排出泵外；一旦到达行程终点，配气机构则自动地将压缩空

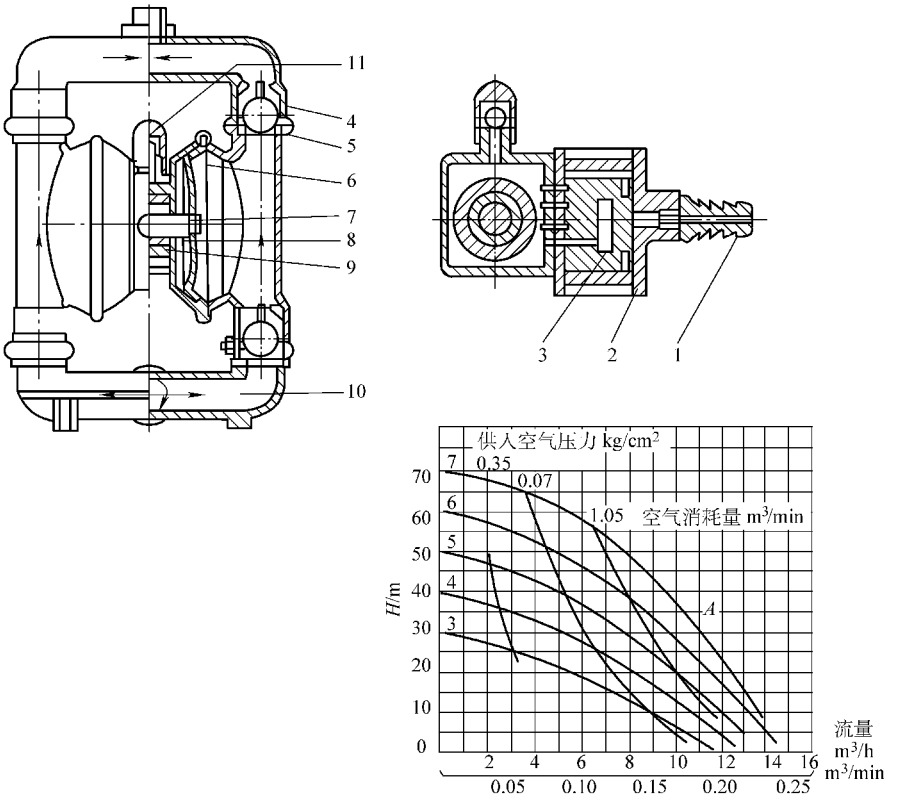


图9-14 隔膜泵

1—进气口 2—配气阀体 3—配气阀 4—圆球 5—球座 6—隔膜 7—连杆
8—连杆铜套 9—中间支架 10—泵进口 11—排气口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

气引入另一个工作腔，推动隔膜朝相反方向运动，这样就形成了两个隔膜的同步往复运动。每个工作腔中又设置有两个单向球阀，隔膜的往复运动造成工作腔内容积的改变，迫使两个单向球阀交替地开启和关闭，从而将液体连续地吸入和排出。

隔膜泵主要参数见表9-4。

表9-4　隔膜泵主要参数

型号	流量/(m^3/h)	扬程/m	出口压力/(kgf/cm^2)	吸程/m	最大允许通过颗粒直径/mm	最大供气压力/(kgf/cm^2)	最大空气消耗量/(m^3/min)
QBy-10	0～0.8	0～50	6	5	1	7	0.3
QBy-15	0～1	0～50	6	5	1	7	0.3
QBy-25	0～2.4	0～50	6	7	2.5	7	0.6
QBy-40	0～8	0～50	6	7	4.5	7	0.6
QBy-50	0～12	0～50	6	7	8	7	0.9
QBy-65	0～16	0～50	6	7	8	7	0.9
QBy-80	0～24	0～50	6	7	10	7	1.5
QBy-100	0～30	0～50	6	7	10	7	1.5

注：要配储气罐，容量为1～2m^3。

（四）其他水泵

除上面介绍的三种泵外，各个污水处理厂常用提升污水的泵有下列几种，见表9-5，水泵型式及适用条件如下。

表9-5　水泵型式及适用条件

序号	水泵型式	适用条件
1	PW 卧式污水泵	中小流量，较低扬程 Q=30～100L/s，H=9～25m Q=200～1 500L/s，H=7～15m
2	JTC 型螺旋泵	中小流量，较低扬程 Q=100～1 000L/s，H=3～7m
3	FY 型耐腐蚀型液下立式离心泵	小流量，较高扬程 Q=1～1 000L/s，H=16～33m
4	WQ 型潜水排污泵	中小流量，中低扬程 Q=15～3 750L/s，H=7～40m
5	WL 立式排污泵	大中小流量，低扬程 Q=80～10 000L/s，H=5～30m
	QZ 潜流轴流泵	大流量，低扬程 Q=125～3 400L/s，H=1.5～9m

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

水泵进出水管一般规定见表9-6。

表9-6 水泵进出水管一般规定

项 目	一般规定
吸水管	(1) 断面应比水泵吸入口大一级,一般不应小于100mm (2) 每台水泵设单独的吸水管 (3) 吸水管流速 $v=0.8\sim1.5$m/s,不得小于0.7m/s (4) 采用偏心渐缩管时管顶应水平,管底具有一定的坡度
出水管	(1) 断面比水泵吐出口大一级 (2) 流速 $v=1.2\sim1.8$m/s,不得小于1.0m/s且不大于2.5m/s。 (3) 压力干管的最高点应设排气装置,最低点设泄水装置

自灌式和非自灌式污水泵的区别如下。

(1) 自灌式：污水泵为常年运行，多采用自灌式，启动及时可靠，管理方便。

(2) 非自灌式：采用半自动控制，其中引水装置为半自动控制或手动控制。

(五) 罗茨回转压缩机

罗茨回转压缩机一般习惯称为罗茨式鼓风机或罗茨风机，是曝气来源。它是利用一对反向旋转的转子来输送气体的设备，其工作原理如图9-15所示。

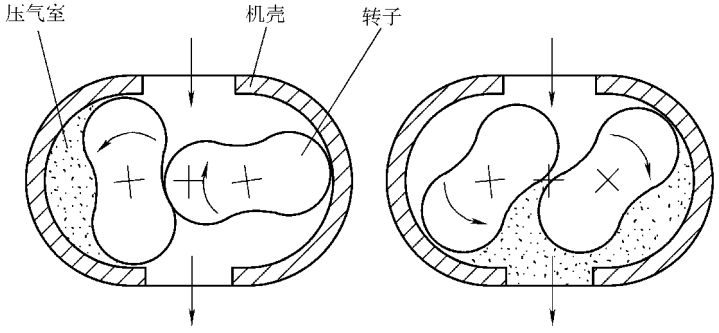


图9-15 二叶罗茨风机工作原理

在椭圆形机壳内，有两个铸铁或铸钢的转子，装在两个互相平行的轴里，在轴端装有两个大小及式样完全相同的齿轮配合传动，由于传动齿轮作相反的旋转，从而带动两个转子也作相反方向的转动。两转子相互之间有一极小的间隙，使转子能自由地运转，而又不引起气体过多地泄漏。如图9-15所示，左边的转子作逆时针旋转，则右边的转子作顺时针旋转，气体由上边吸入，从下部排出。利用下面压力较高的气体抵消一部分转子与轴的重量，使轴承受的压力减少，因此也减少摩擦。

此种压缩机每旋转一周，理论排气量为压缩室容积的四倍，而每一个压缩机的截面

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

积约为转子横截面的一半。故压缩机每转一周的排气量近似等于以转子长径为直径所作的圆与转子的厚度的乘积。

故排气量为

$$Q = \lambda_v \cdot n \cdot \pi R^2 B$$

式中　Q——排气量（m^3/min）；

λ_v——容积半径，一般取 0.7 ~ 0.8；

n——转速（r/min）；

R——转子长半径（m）；

B——转子的厚度（m）。

罗茨回转压缩机的转速一般是随着尺寸的加大而减小，小型压缩机的转速可达 1 450r/min，大型压缩机的转速通常不大于 960r/min。转子的厚度 B 通常等于转子长径 D。

目前，国产罗茨回转压缩机排气量最大为 160m^3/min，排气压力为 35 ~ 100kPa。

罗茨回转压缩机的优点是当转数一定而进口压力稍有波动时，排气量不变，转数与排气量之间保持恒正比关系，转数高，没有气阀及曲轴等装置，重量较轻，应用方便。

缺点是当压缩机有磨损时，影响效率颇大。当排出的气体受到阻碍时，则压力逐渐升高，为了保护机器不损坏，在出气管上必须要装安全阀。

现在已有三叶罗茨回转压缩机，降低了噪声和震动，逐渐取代了二叶罗茨回转压缩机，其特点是：

（1）较低的噪声。压力脉冲是噪声的主要来源，三叶罗茨风机降低了 50% 的压力脉冲，从而使噪声降低了 5dB。

（2）较低的能源损耗。三叶式的设计减少了逆流对转子的压力，也减少了能源的损耗。

（3）轴承寿命长。叶轮传递的振动减少，延长轴承寿命 20%。

三叶罗茨风机工作原理如图 9-16 所示，主要参数见表 9-7。

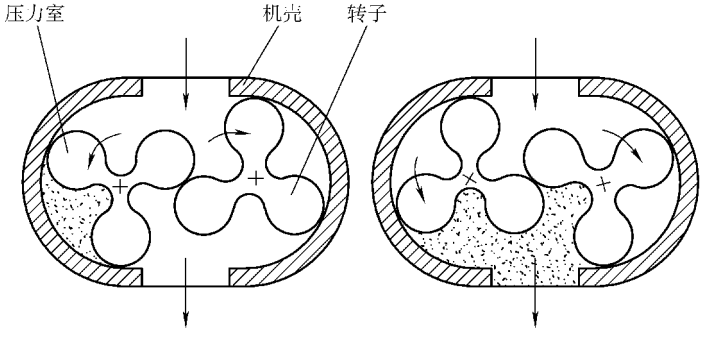


图 9-16　三叶罗茨风机工作原理

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-7 三叶罗茨风机主要参数

型号	转速/(r/min)	1 000mmAq		2 000mmAq		4 000mmAq		6 000mmAq	
		风量/(m^3/min)	功率/kW	风量/(m^3/min)	功率/kW	风量/(m^3/min)	功率/kW	风量/(m^3/min)	功率/kW
QF-80	850	3.00	1.12	2.87	2.14	2.23	3.94	1.70	5.47
	1 450	6.60	1.91	6.47	3.65	5.83	6.72	5.30	9.33
QF-100	850	5.80	1.57	5.19	3.00	4.16	5.51	3.36	7.66
	1 450	10.84	2.67	10.23	5.11	9.20	9.41	8.40	13.06
QF-125A	750	10.29	2.59	9.42	4.96	7.88	9.12	6.66	12.67
	1 500	22.26	5.18	21.39	9.91	19.85	18.24	18.63	25.35
QF-150	750	13.32	3.34	12.62	6.39	11.40	11.76	10.39	16.34
	1 500	28.75	6.68	28.05	12.78	26.84	23.52	25.83	32.69
QF-200	750	22.68	6.05	21.62	11.58	19.88	21.32	18.60	29.64
	1 500	51.03	12.11	49.97	23.17	48.23	42.65	46.95	59.28

三、搅拌器

机械搅拌操作看似简单，实际上极为复杂，所涉及的影响因素较多。搅拌混合的研究涉及流体力学、化学工程、机械制造等有关理论，而且搅拌混合的性能直接关系到产品的质量、能耗和成本，因此工业界对搅拌混合非常重视。

搅拌器设计包括工艺设计和机械设计两部分。工艺设计主要是提出处理量、操作方式、最大工作压力、最高工作温度、被搅拌物料的性质和腐蚀情况等，有时还提出搅拌器结构形式、转速与功率等。机械设计主要是对搅拌容积、搅拌器、传动装置、轴封以及内部构件等进行合理的选型、强度计算和结构设计。

（一）搅拌器工艺设计

（1）明确任务、目的。其基本内容有以下几方面：

1）明确被搅拌物料体系。

2）明确搅拌操作所达到的目的。

3）明确被搅拌物料的处理量，连续操作按班或年处理量。

4）明确有无化学反应、有无热量的传递。

（2）了解物料性质。物料性质包括物料的处理量、物料的停留时间、物料的黏度、物料表面张力、搅拌和反应过程最大黏度、颗粒的沉降速度等。

（3）搅拌器选型。对给定的搅拌过程，搅拌器的选型还没有成熟、完善的方法，往往在同一搅拌目的下，几种搅拌器均可适用，多根据过去的经验，或相似工业实例进行选型。对一些特殊搅拌，有时要进行模型演示来确定合适的搅拌器结构形式。

（4）确定操作参数。操作参数包括搅拌设备的操作压力与温度、物料处理量与时间、连续或间歇操作方式、搅拌器直径的大小与转速、物料的有关特性与运动状态等，从而计算出搅拌雷诺数，确定流动类型，进而计算搅拌功率。

（5）搅拌器设备结构设计。确定搅拌器的结构和几何尺寸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（6）搅拌特性计算。确定搅拌功率，考虑轴封和传动中的功率损耗，确实电动机额定功率，选用相应的电动机。

（7）机械设计。根据操作环境和工艺要求,确定传动机构的类型,同时根据搅拌器转速和所选用的电动机,选择合适的变速器,并进行必要的强度计算,绘制零件图和装配图。

（8）费用估算。在满足工艺要求的前提下，花费费用是评价搅拌设备性能、校验设计是否合理的重要指标之一。完整的费用估算应包括以下几方面：

1）设备制造与安装费用，包括材料、加工、标准件购置等费用。

2）维修费用，包括耗材、更换新零件、人工等费用。

（二）搅拌机械设计

1. 搅拌器　应满足的基本要求

（1）保证物料的有效混合，消耗功率低，操作方便，易于制造和维修。

（2）搅拌器浆叶应有足够的强度，浆叶根部所受弯矩最大，该截面应有足够的抗弯模量。当浆叶很长时，在浆叶根部非工作面处可设置加强板，这样可有效地增加截面的抗弯模量，并且不致过分地增加浆叶的重量。

2. 搅拌器容器或搅拌池　搅拌器容器或搅拌池应合理地选择装料系数，尽量提高设备利用率，釜体一般选用立式圆筒形，池体选用方形，并确定合适的径高比。

3. 搅拌轴　搅拌轴应有足够的抗扭强度和抗弯强度。通常，搅拌轴均应设计成刚性轴，为防止共振，转速应控制在第一临界转速的 75% 以下。搅拌轴的结构要保证其质量较小，如轴径较大时尽量采用空心轴结构。

4. 轴封　允许液体泄漏量较多、压力较小时，可采用填料密封；不允许泄漏、压力较高、轴与轴套摩擦要求低的情况下，可采用机械密封。

5. 变速器　除应满足功率和输出转速的要求外，还应运转可靠、有较高的机械效率、噪声较低和维修方便。

6. 机架　搅拌设备的机架应该使搅拌轴有足够的支撑间距，以保证操作时搅拌轴下端的偏摆量。机架应保证变速器输出轴与搅拌轴的同轴度，同时还应保证与轴封装置的同轴度。机架除承受径向载荷外，还应承受搅拌器所产生的轴向力。

7. 搅拌设备内构件　对于低黏度较大的液体的搅拌，常设置四块挡板，宽度为 $D/12 \sim D/10$，即可满足全挡板条件。随着黏度的增加挡板可变窄。当黏度为 20Pa·s 时，挡板宽度可取常用值的 75%；当黏度超过 50Pa·s 后，就没有必要设置挡板。

（三）搅拌物料特性

搅拌是指固态、液态混合操作，或者气态与液态的混合操作。混合是指任何状态下，将固态、液态、气态物料均匀地掺和在一起的操作。搅拌的目的是使药品混合均匀，加速溶解，发生化学反应。搅拌物料通常是可以流动的体系，可以是单相体系，也可以是多相体系。与搅拌有关的物料特性包括密度、流变行为、表面张力、相分力以及分散相尺寸等。搅拌过程的特性取决于物料的流变特性，其流变行为有牛顿型和非牛顿型两种。这两种流变行为的区分，取决于物料本身的结构和受力情况。例如，水在通常情况下是典型的牛顿流体，但是在高速运动时，水可表现出明显的弹性行为。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 牛顿流体　当某种流体上承受的切应力正比于所产生的切应变速率时，该流体称之为牛顿流体，可表示为

$$\tau = \mu\gamma$$

式中　τ——切应力（N/m^2 或 Pa）；

γ——切应变速率（1/s）；

μ——黏度（$N \cdot s/m^2$ 或 $Pa \cdot s$）。

牛顿流体的黏度不随搅拌设备中的搅拌转速变化，也不随位置而变。在通常的切应变速率范围内，水、各种盐的水溶液、饴糖等均属于牛顿流体。

2. 非牛顿流体　凡流变行为不符合牛顿流体行为的流体都称为非牛顿流体。高分子溶体与溶液、发酵液、原油、各种浓悬浮体、乳浊液以及泡沫等均属于非牛顿流体。非牛顿流体的流变行为与管道输送、搅拌设备的设计与选用，以及控制过程终点和产品质量等均有密切关系。

在一定温度、压力条件下，非牛顿流体的黏度是切应变速率 γ 的函数，不同 γ 下黏度的差异可达三个数量级以上。表 9-8 中列出了常见生产过程中切应变速率的大致范围。

表 9-8　常见生产过程中切应变速率的大致范围

过　　程	γ/s^{-1}	应用行业
悬浮液体中细粉沉浆	$10^{-6} \sim 10^{-4}$	医药、涂料
表面张力作用下的流动	$10^{-2} \sim 10^{-1}$	涂料、油墨
重力作用下的流淌	$10^{-1} \sim 10^{1}$	涂料、涂层的流挂
挤出	$10^{0} \sim 10^{2}$	聚合物
咀嚼和吞咽	$10^{1} \sim 10^{2}$	食物
浸涂	$10^{1} \sim 10^{2}$	涂料和甜食
混合和搅拌	$10^{1} \sim 10^{3}$	液体加工
管流	$10^{0} \sim 10^{3}$	泵送、血液流动
喷雾和涂刷	$10^{3} \sim 10^{4}$	喷雾干燥、燃油雾化
涂抹	$10^{4} \sim 10^{5}$	护肤膏
液体基料中颜料的研磨	$10^{3} \sim 10^{5}$	油漆、油墨生产
高速涂层	$10^{5} \sim 10^{6}$	造纸
润滑	$10^{3} \sim 10^{7}$	汽油发动机

3. 单相物料体系的搅拌　搅拌过程中，最常见的操作是将互溶的液体混合在一起，形成单相流体。单相流体按流体性质可分为低黏度互溶液体、高黏流体、黏弹性流体和异黏流体等。

（1）低黏度互溶液体的搅拌。黏度是流体的一种属性，流体在管路中流动时，有紊流、层流和湍流三种状态，搅拌设备中也同样存在这三种状态，而决定这三种状态的主要参数就是流体的黏度。在搅拌中，黏度 $< 50Pa \cdot s$ 称为低黏度，大于 $50Pa \cdot s$ 称为高黏度。

低黏度互溶液体搅拌是两种及两种以上互溶液体在搅拌作用下，任意一点的浓度、温度以及其他物理状态达到均匀的过程，它是搅拌过程中最基本的一种过程。有时为了强调其属于均相搅拌的特点，也称其为调和或调匀。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

低黏度互溶液体搅拌的主要特征是不存在传递过程的相界面。对于一个纯物理混合过程，低黏度互溶液体的混合是最容易完成的过程。但如果混合过程中伴有化学反应时，往往会使过程复杂化，主要表现在两个方面：一是对混合时间有比较严格的要求，以避免产生一些不希望的副反应；二是大多有反应热的导出或热量的导入，从而增加了混合的控制难度。

低黏度互溶液体的搅拌操作一般都是在湍流状态下进行的，因而这一过程具有较强的主体扩散、湍流扩散和分子扩散，在宏观混合的同时伴有很强的微观混合过程。为达到搅拌液体的混合均匀状态，低黏度互溶液体的搅拌首先要求提供足够的循环量，以免在设备内出现死区，使所有搅拌液体都能产生快速对流循环运动。其次，还要求搅拌器造成的液体湍流强度或剪切速度要大，尤其是当两种液体黏度相差比较大时，剪切的存在将有利于高黏度液体在设备中的分散，有利于湍流扩散的强化。此外，当需要混匀的两种液体数量相差较大时，少量液体的加料位置是很重要的，理想的位置是叶轮区或是在叶轮吸入区附近，以保证进料能很快通过叶轮，促使搅拌液体很快达到浓度均化。

（2）搅拌性能指标。评价搅拌器混合效果的主要指标有混合时间、混合能等。

1）混合时间是判断混合效果的最重要的性能指标。混合时间（θ_M）是指将两种完全互溶、但其物理性质或化学性质（如电导率、颜色、温度、折光率等）有差异的流体通过搅拌使之达到规定混匀标准所需的时间。无因次混合时间（又称混合准数）N_{θ_M}是混合时间 θ_M 与转速 N 的乘积。

$$N_{\theta_M} = \theta_M \cdot N$$

其物理意义是达到规定的混匀标准所需的转速，它是搅拌器几何形状的函数。对于特定的搅拌器，混合准数 N_{θ_M}是常数；但对于不同的搅拌器，其 N_{θ_M}是不同的。对于不同的混合区，如层流或湍流，N_{θ_M}也是不同的。然而，一个性能优良的搅拌器，其 N_{θ_M}的数量级在层流区和湍流区是大致相同的。

由于测量混合时间的种种条件限制以及所要求的最终均匀程度是人为确定的，故混合时间 θ_M 的数值仅在相同的测试条件下才有比较价值。混合时间的测定方法有很多种，如对于湍流混合，可采用电导法和温差法等。

2）衡量低黏度互溶液体搅拌效果的第二个性能指标是混合能 E，其与黏度、搅拌器叶轮直径、转速 N 存在如下关系：

$$E \propto (\mu N^2 d^3)\left(\frac{1}{N}\right) = \mu N d^3$$

（四）搅拌器功率计算

功率计算可通过图表和数学关联式进行。由于这些研究结论都是通过试验得出的，而实验又是在一定限定的条件下开展的，所以应用这些图表和数学关联式时，其搅拌器必须相同，且满足几何相似条件。

$$P = N_P \rho N^3 d^5 \tag{9-1}$$

式中　P——搅拌功率（W）；

N_P——功率准数，无量纲；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

ρ——密度（kg/m^3）；

N——搅拌转速（l/s）；

d——搅拌器直径（m）。

1. 主要参数的确定

（1）Rushton 图表——桨式、涡轮式和推进式搅拌器功率计算图。当液体黏度在 1 $\times 10^{-3}$ ~ 40Pa · s 以内、雷诺数 Re 在 106 以下时，测定搅拌功率，得到了功率准数 N_p 和雷诺数 Re 关系的计算图表，如图 9-17 所示。

由图 9-17 可见，在低雷诺数（$Re < 10$）的层流区内，流体不会打漩，重力影响可忽略，功率曲线是斜率为 -1 的直线；当 $10 \leqslant Re \leqslant 10\ 000$ 时为过渡流区，功率曲线为一下凹曲线；当 $Re > 10\ 000$ 时为充分湍流区，功率曲线为一水平直线，即 N_p 与 Re 无关，为一恒定值。用式 9-1 计算搅拌功率时，功率准数 N_p 可直接从图 9-17 中查得。

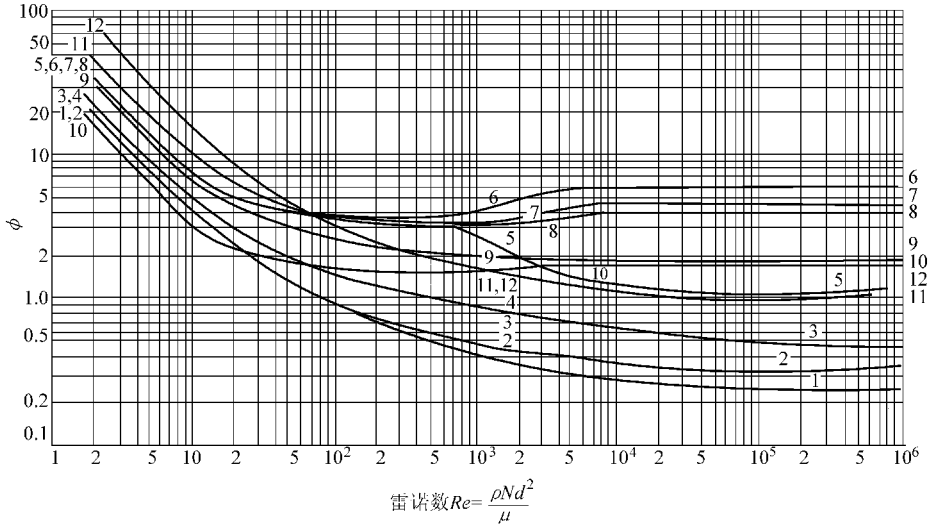


图 9-17　各种搅拌器的功率曲线（N_p-Re 曲线）

曲线 1—推进式 $S = d$NBC　曲线 2—推进式 $S = d$BC

曲线 3—推进式 $S = 2d$NBC　曲线 4—推进式 $S = 2d$BC

曲线 5—六直叶圆盘涡轮 NBC　曲线 6—六直叶圆盘涡轮 BC

曲线 7—六弯叶涡轮 BC　曲线 8—六矢叶涡轮 BC

曲线 9—八折叶涡轮（$\theta = 45°$）BC　曲线 10—双叶平桨 BC

曲线 11—六叶闭式涡轮 BC　曲线 12—六叶闭式涡轮（带有 20 叶静止导向器）

S—叶片螺距；BC—有挡板（挡板数 $n_b = 4$，挡板宽 $W_b = 0.1D$）；NBC—无挡板

曲线 5、6、7、8　d∶l∶$B = 20$∶5∶4（l 为桨叶长度，B 为桨叶宽度）

曲线 $10\ B/d = 1/6$　各曲线 $d/D \approx 1/3$，$C/D = 1/3$，$H/D = 1$

（其中，C 为搅拌器离容器底高度，H 为容器内液体高度）

需要指出图 9-17 所示的功率曲线只适用于对应搅拌器的几何比例关系。如果比例关系不同，功率准数 N_p 也不同。

雷诺数为一无因次量，它的物理意义是液体流动时的惯性力和黏性力的比值。雷诺

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

数大，表明这时的流动以惯性力为主，流动状态为紊流；雷诺数小，表明这时的流动以黏性力为主，其流动状态为层流。

$$Re = \frac{\rho N d^2}{\mu} \tag{9-2}$$

（2）液体黏度μ。一般情况下液体黏度可从液体黏度共线图中查得。由液体黏度共线图坐标值找出对应的X、Y值，再在液体黏度共线图上查出某温度下的黏度。液体黏度共线图如图9-18所示。液体黏度共线图坐标值见表9-9。例如，查取苯在50℃时的黏度，可从表9-9中的序号26查得苯的$X=12.5$，$Y=10.9$。

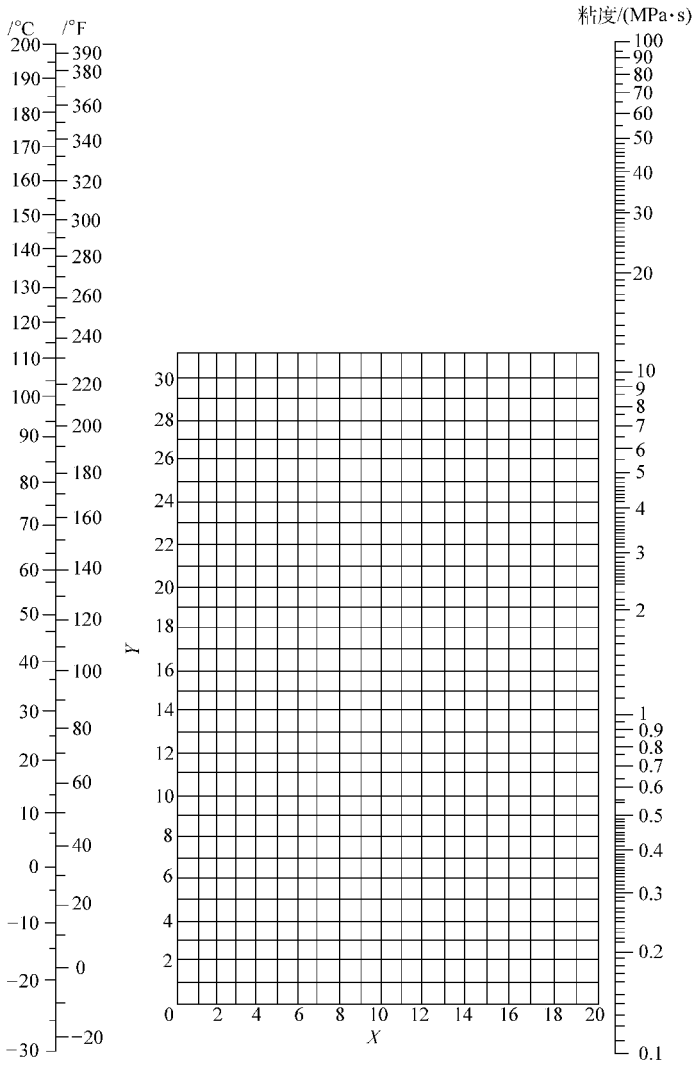


图9-18　液体黏度共线图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-9 液体黏度共线图坐标值

序号	名称	X	Y	序号	名称	X	Y
1	水	10.2	13.0	31	乙苯	13.2	11.5
2	盐水(25% NaCl)	10.2	16.6	32	氯苯	12.3	12.4
3	氧化钙溶液(25%)	6.6	15.9	33	硝基苯	10.6	16.2
4	氨	12.6	2.0	34	苯胺	8.1	18.7
5	氨水(26%)	10.1	13.9	35	酚	6.9	20.8
6	二氧化碳	11.6	0.3	36	联苯	12.0	18.3
7	二氧化硫	15.2	7.1	37	萘	7.9	18.1
8	二硫化碳	16.1	7.5	38	甲醇(100%)	12.4	10.5
9	溴	14.2	13.2	39	甲醇(90%)	12.3	11.8
10	汞	18.4	16.4	40	甲醇(40%)	7.8	15.5
11	硫酸(110%)	7.2	27.4	41	乙醇(100%)	10.5	13.8
12	硫酸(100%)	8.0	25.1	42	乙醇(95%)	9.8	14.3
13	硫酸(98%)	7.0	24.8	43	乙醇(40%)	6.5	16.6
14	硫酸(60%)	10.2	21.3	44	乙二醇	6.0	23.6
15	硝酸(95%)	12.8	13.8	45	甘油(100%)	2.0	30.0
16	硝酸(60%)	10.8	17.0	46	甘油(50%)	6.9	19.6
17	盐酸(31.5%)	13.0	16.6	47	乙醚	14.5	5.3
18	氢氧化钠(50%)	3.2	25.8	48	乙醛	15.2	14.8
19	戊烷	14.9	5.2	49	丙酮	14.5	7.2
20	己烷	14.7	7.0	50	甲酸	10.7	15.8
21	庚烷	14.1	8.4	51	醋酸(100%)	12.1	14.2
22	辛烷	13.7	10.0	52	醋酸(70%)	9.5	17.0
23	三氯甲烷	14.4	10.2	53	醋酸酐	12.7	12.8
24	四氯化碳	12.7	13.1	54	醋酸乙酯	13.7	9.1
25	二氯乙烷	13.2	12.2	55	醋酸戊酯	11.8	12.5
26	苯	12.5	10.9	56	氟里昂-11	14.4	9.0
27	甲苯	13.7	10.4	57	氟里昂-12	16.8	5.6
28	邻二甲苯	13.5	12.1	58	氟里昂-21	15.7	7.5
29	间二甲苯	13.9	10.6	59	氟里昂-22	17.2	4.7
30	对二甲苯	13.9	10.9	60	煤油	10.2	16.9

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

把这两个数值标在图9-18的*X-Y*坐标上，再把这点与图中左边温度标尺上50℃的点连成一直线，并向右边加以延长，此延长线与右边黏度标尺相交，由此交点定出50℃苯的黏度为0.44MPa·s。

（3）计算举例。

例：搅拌反应器的筒体内径为ϕ1 800mm，采用六直叶涡轮式搅拌器，搅拌器直径为ϕ600mm，搅拌转速为160r/min，容器内液体的密度为1 300kg/m^3，黏度为0.12。试求：①搅拌功率；②改用推进式搅拌器（$S=2d$）后的搅拌功率。

解：已知$\rho=1\ 300\text{kg/m}^3$，$\mu=0.12\text{Pa}\cdot\text{s}$，$d=600\text{mm}$，$N=160\text{r/min}=2.667\text{s}^{-1}$

①求搅拌功率P。

由式（9-2）可得，雷诺数

$$Re=\frac{\rho Nd^2}{\mu}=\frac{1\ 300\times2.667\times0.6^2}{0.12}=10\ 401.3$$

由图9-17中的功率曲线6（假设为全挡板条件，下同）查得，$N_p=6.1$。

由式（9-1）可得，搅拌功率

$$P=N_p\rho N^3d^5=6.1\times1\ 300\times2.667^3\times0.6^5=11.70\text{kW}$$

②求改用推进式搅拌器（$S=2d$）后的搅拌功率P。

雷诺数Re不变，由图9-17中的功率曲线4查得，$N_p=0.92$。

$$P=N_p\rho N^3d^5=0.92\times1\ 300\times2.667^3\times0.6^5=1.75\text{kW}$$

搅拌器偏心安装或侧面插入时的搅拌功率计算与同类搅拌器中心安装全挡板条件时的功率计算相同。

2. 二叶平桨和二叶斜桨

可由图9-17查得N_p值后直接按式（9-1）计算，也可按式（9-3）进行计算。

（1）无挡板时的搅拌功率。按式（9-3）计算：

$$N_p=\frac{A}{Re}+\left(\frac{10^3+1.2Re^{0.66}}{10^3+3.2Re^{0.66}}\right)^q\left(\frac{H}{D}\right)^{\left(0.35+\frac{b}{D}\right)}(\sin\theta)^{1.2}\qquad(9\text{-}3)$$

式中　$N_p=\dfrac{P}{\rho N^3d^5}$

$$A=14+\left(\frac{b}{D}\right)\left[670\left(\frac{d}{D}-0.6\right)^2+185\right]$$

$$p=1.1+4\left(\frac{b}{D}\right)-2.5\left(\frac{d}{D}-0.5\right)^2-7\left(\frac{b}{D}\right)^4$$

当$\dfrac{b}{D}\leqslant0.3$时，P的算式中包含四次方的项可忽略不计。

式中　b——叶片宽度（m）；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

D——搅拌容器（池）内直径（m）；

H——液面到液底的高度（m）；

Re——雷诺数；

N_p——功率准数。

在无挡板进行湍流操作时，式（9-3）也能用于近似计算多层叶轮或一叶轮上有多于两个叶片的情况，其条件是叶片不是曲面，各层叶片倾角 θ 和叶轮直径 d 必须一致，且叶片宽度 b 和叶片总数 Z 的乘积相等（当有 N_s 层叶轮时，$Z = N_s \times B_n$）。如六平直叶开启式涡轮，其叶宽为 b，则可把它看作叶宽为 $3b$ 的二叶桨式叶轮；又如两层叶宽为 b 的四叶开启式涡轮，可看作叶宽为 $4b$ 的二叶桨式叶轮。用式（9-1）计算时，如桨叶是2层，叶片宽度 b 可乘2；若是3层，叶片宽度 b 可乘3。

（2）有挡板时的搅拌功率。在湍流状态下插入挡板会使搅拌功率大幅提高，当挡板宽度 W_b 和挡板数 n_b 满足下列关系时，搅拌功率达到最大值。

$$(W_b/D)^{1.2} n_b = K_b = 0.35$$

式中 K_b——挡板系数；

D——搅拌容器（池）内直径。

$K_b = 0.35$ 称为全挡板条件；$0 < K_b < 0.35$ 称为部分挡板条件，K_b 取 0.06～0.12 时可使混合能耗最小。

1）二叶平桨在全挡板时的搅拌功率。全挡板和无挡板时的 $N_P - Re$ 曲线如图9-15所示。在湍流域，全挡板的 $N_P - Re$ 关系为一水平线，此线的延长线与低 Re 时的 $N_P - Re$ 曲线的交点所对应的 Re，即表示由层流转变成过渡流时的临界 Re，记作 Re_c。Re_c 可用下式计算

$$Re_c = \frac{25}{(b/D)}\left(\frac{d}{D} - 0.4\right)^2 + \left[\frac{b/D}{0.11(b/D) - 0.0048}\right] \tag{9-4}$$

将 Re_c 代入式（9-3），求得的 N_P 值就是全挡板时的 N_P 数，记作 N_{Pmax}。搅拌器在低黏度流体中的启动功率也可用 N_{Pmax} 计算。

2）二叶折叶桨在全挡板时的搅拌功率。记为倾角为 θ 的折叶桨的临界雷诺数 Re_θ，Re_θ 可由 Re_c 来计算。

$$Re_\theta = 10^{4(1-\sin\theta)} Re_c \tag{9-5}$$

将 Re_θ 代入式（9-3），可求得二叶折叶桨在全挡板时的 N_{Pmax}。

搅拌器偏心安装或侧面插入时的搅拌功率计算与同类搅拌器中心安装全挡板时的功率计算相同。

（五）搅拌轴直径计算

搅拌轴的强度条件是：

$$\tau_{max} = \frac{M_{te}}{W_p} \leqslant [\tau] \tag{9-6}$$

式中 $[\tau]$——轴材料的许用剪应力（MPa），$[\tau] = \sigma_b/16$，或按表9-10，选取；

τ_{max}——截面上最大切应力，MPa；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

σ_b——轴材料抗拉强度，MPa；

M_{te}——轴上扭转和弯距联合作用时的当量扭距（N·m）；

W_p——抗扭截面模量（m^3）。

$$M_{te} = \sqrt{(M_n^2 + M^2)} \tag{9-7}$$

式中　M_n——按传动装置效率计算的搅拌轴传递扭距（N·m）；

M——轴上弯距的总和（N·m）。

$$M = M_A + M_R$$

M_A——由轴向推力引起的作用于轴的弯距（N·m）；

M_R——由径向力引起的作用于轴的弯距（N·m）。

注：仅受扭距作用的垂直轴，可忽略轴上的弯距总和 M。

对于空心圆轴 $W_p = \pi d^3/16(1 - N_0^4)$

N_0——空心轴内径和外径的比值。

搅拌轴的直径

$$d = 17.2 \times \sqrt[3]{\frac{M_{te}}{[\tau](1 - N_0^4)}} \tag{9-8}$$

表 9-10　几种轴用材料的许用切应力［τ］　　（单位：MPa）

材料	Q235-A,20	35,(1Cr18Ni9Ti)	45	40Cr,38SiMnMo,3Cr13
［τ］	15～25	20～35	25～45	35～55

（六）搅拌器的选型

废水处理的搅拌都是低黏度，单相和液、液的搅拌，符合牛顿流体条件，即流体上承受的切应力正比于所产生的切应变速率，黏度不随转速变化，也不随位置变化。因此，低速搅拌选用折叶桨式搅拌器，高速搅拌选用推进式搅拌器。

混合搅拌也可选用桨式或推进式搅拌器。桨式搅拌器结构简单，加工制造容易，但所能提供的混合功率较小；推进式搅拌器所能提供的混合功率较大，但制造复杂。应先选桨式搅拌器，通过演算，桨式搅拌器所提供的功率不能达到混合功率的要求时可改用推进式搅拌器。桨式搅拌器安装技术参数见表9-11，桨式搅拌器安装图如图9-19所示。

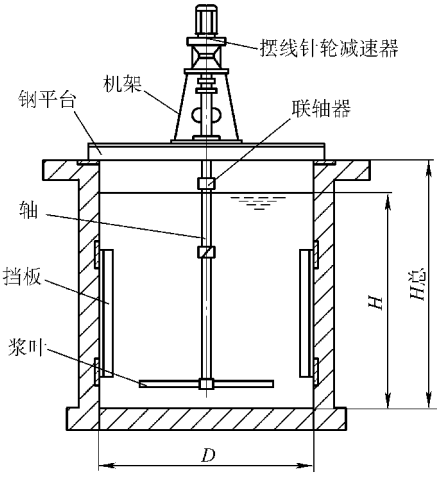


图 9-19　桨式搅拌器安装图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-11 浆式搅拌器安装技术参数

搅拌器直径/mm	池深 H/mm	池径 D/mm	水深 h/mm	功率/kW
450	1 500	800	1 200	0. 75
600	1 800	800	1 500	1. 1
750	2 000	1 000	1 700	1. 1
800	2 500	1 000	2 200	1. 5
1 100	3 000	1 400	2 700	1. 5
1 400	3 300	1 500	3 000	2. 2
1 500	3 500	2 000	3 200	2. 2

1. 常用搅拌器的规格与型号　常用搅拌器有平（折）浆式、推进式、涡轮式、框式与锚式。

（1）折叶浆式搅拌器如图 9-20 所示，主要尺寸见表 9-12，搅拌器选用参数表 9-13。

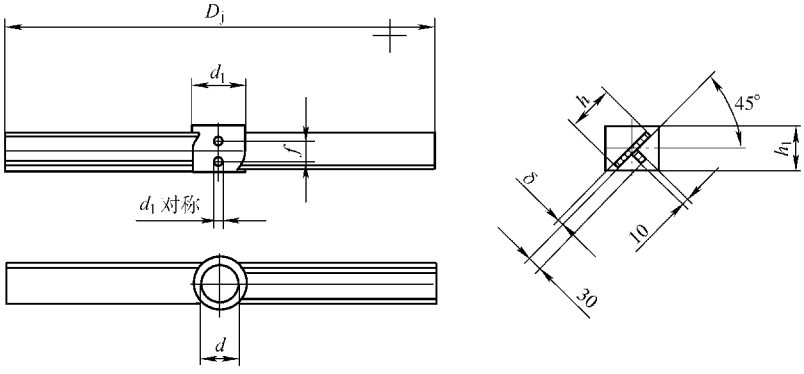


图 9-20　折叶浆结构

表 9-12 平浆式搅拌器主要尺寸　（单位：mm）

D_j	d	d_0	d_1	δ	h	h_1	f	质量/kg
500	40	2-M12	56	6	70	70		2. 27
600	40	2-M12	56	6	85	80		3. 1
700	50	4-M12	70	6	125	108	45	5. 61
850	50	4-M12	70	8	125	108	45	8. 12
950	50	4-M16	70	8	125	108	45	8. 89
1 100	50	4-M16	70	8	170	140	70	13. 55
1 250	65	4-M16	90	8	170	140	70	15. 19
1 400	65	4-M16	90	8	210	148	90	20. 32
1 500	65	4-M16	90	8	210	148	90	21. 61

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

D_j	d	d_0	d_1	δ	h	h_1	f	质量/kg
1 600	80	4-M16	110	10	210	148	110	30.97
1 700	80	4-M16	110	10	255	200	110	40.27
1 800	95	4-M22	110	12	255	200	110	55.19
2 000	95	4-M22	110	12	255	200	110	59.9

注：D_j——搅拌器直径，d——搅拌器中心孔直径。

表 9-13　搅拌器选用参数

项　　目	符号	搅拌器形式	
		桨式	推进式
搅拌器/(r/min)	n	1～100	100～500
搅拌器外缘线速度/(m/s)	V	1.5～3	5～15
搅拌器直径/m	d	$(1/3\sim2/3)D$	$(1/4\sim1/3)D$
距混合池底高度/m	H_0	$(0.5\sim0.75)d$	无导流筒时 $=d$ 有导流筒时 $\geqslant 1.2d$
搅拌器桨叶数	Z	2	3
叶片宽度/m	b	$(0.1\sim0.25)d$	
层数	e	$H/D\leqslant 1.2\sim1.3$，$e=1$ $H/D\geqslant 1.2\sim1.3$，$e>1$	$H/D\leqslant 4$，$e=1$ $H/D>4$，$e>1$
层间距/m	S_0	$(1.0\sim1.5)d$	$(1.0\sim1.5)d$
安装位置要求		相邻两层浆交叉 90°	

注：D——混合池直径（m）；d——搅拌器直径（m）；H——混合池液面高度（m）。

（2）推进式搅拌器如图 9-21 所示，主要尺寸见表 9-14。

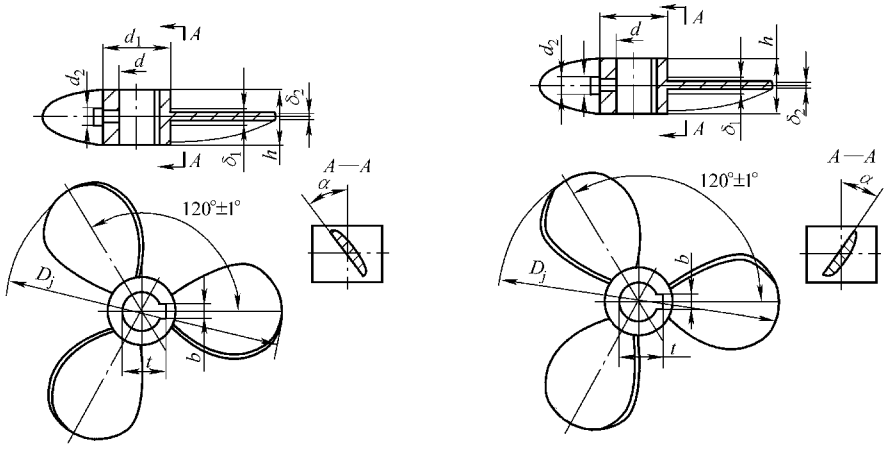


图 9-21　推进式搅拌器

a）左旋推进式搅拌器　b）右旋推进式搅拌器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-14 推进式搅拌器主要尺寸 （单位：mm）

D_j	d	d_1	d_2	α	h	键槽		δ_1	δ_2	重量/kg
						b	t	塑料/不锈钢		塑/不
300	35	80	M12	39°57′	65	10	38.3	12/10	8/6	1.8/5.4
400	45	90	M16	38°9′	85	14	48.8	14/12	10/8	3.3/9.8
500	55	110	M16	37°1′	105	16	59.3	18/16	12/10	6.8/20.1
600	60	110	M20	34°15′	125	18	64.4	20/18	18/12	9.3/29.8
700	70	140	M20	32°9′	150	20	74.9	22/18	18/12	13.6/40.1
850	80	160	M20	30°36′	160	22	85.4	24/20	20/14	21.3/72
950	80	160	M20	27°53′	160	22	85.4	25/22	20/15	30.3/102
1 200	100	160	M20	22°43′	160	28	106.4	—	—	40.3/135
1 600	110	180	M24	20°39′	180	28	116.4	—	—	63/211
1 800	120	180	M24	19°14′	200	32	127.4	—	—	82/271

（3）六叶圆盘涡轮式搅拌器如图 9-22 所示，主要尺寸见表 9-15。

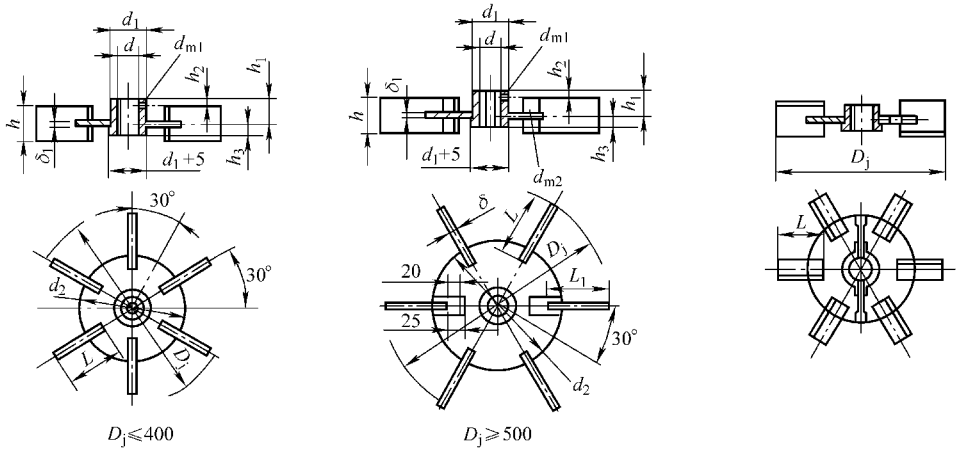


图 9-22 六叶圆盘涡轮式搅拌器

a）六平直叶圆盘涡轮式 b）六斜叶对开圆盘涡轮式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-15　六叶圆盘涡轮式搅拌器主要尺寸　（单位：mm）

D_j	d	d_1	d_2	d_{m1}	d_{m2}	δ	δ_1	h	h_1	h_2	h_3	L	L_1	键槽		重量/kg
						不锈钢								b	t	不锈钢
300	40	65	200	M8	—	4	4	60	50	10	10	75		12	43.3	3.5
500	65	95	330	M10	M12	5	5	100	70	14	40	125	145	18	69.4	12.3
600	65	95	400	M10	M12	6	6	120	90	24	40	150	190	18	69.4	18.6
700	80	120	470	M12	M12	6	6	140	100	30	40	175	205	22	85.4	28.5
800	90	135	530	M12	M12	8	8	160	110	30	40	200	225	25	95.4	38.1
900	100	150	600	M16	M12	10	10	180	120	35	40	225	240	28	106.4	51.2
1 000	110	170	660	M16	M12	10	10	200	130	35	40	250	260	28	116.4	68.7
1 250	120	190	830	M16	M12	12	10	250	160	40	50	310		32	137.4	126
1 400	130	200	930	M18	M16	14	12	280	170	45	50	350		36	148.4	175
1 600	140	210	1 070	M18	M16	14	12	320	180	45	60	400		36	158.4	226
1 800	150	220	1 200	M20	M16	16	14	360	200	50	60	450		40	169.4	321
2 000	160	240	1 330	M20	M16	16	14	400	210	50	70	500		40	179.4	390

2. 桨式搅拌器的技术条件

（1）加工面的未注尺寸公差按 GB1804《未注公差尺寸的极限偏差》第 12 级精度，非加工的未注尺寸公差按 GB1804 第 14 级精度。

（2）桨叶、加强筋板的材料，选用碳钢应符合 GB699、GB700、GB3274 的规定；选用不锈钢应符合 GB3280、GB1220 的规定；紧固件的材料应符合图样及相应的标准要求。

（3）桨叶的焊接采用连续焊，加强筋板可采用间断焊，焊接接头形式和尺寸按 GB985 的规定；焊条应符合 GB5117、GB5118 及 GB983 的规定。

（4）桨叶端线速度 $v<5$m/s，可不进行静平衡试验；桨叶端线速度 $v>5$m/s，要做静平衡试验。焊接的桨叶和加强筋板应对称，以减少不平衡因素。

（5）桨叶和轴孔轴线应垂直，垂直度公差为桨叶总长度的 0.4%，且不超过 5mm，桨面的平面度公差按 GB/T1184 的 12 级精度。

（6）搅拌器的直径和桨叶长度极限偏差按 GB/T1804 的 C 级精度；加工面未注公差尺寸的极限偏差按 m 级精度；非加工面未注公差尺寸的极限偏差按 C 级精度。

（7）斜桨叶的倾斜角偏差不大于 3°。

（8）搅拌器表面应无棱和毛刺，桨叶应平整。

（9）检测搅拌器桨叶形状、尺寸所用的样板及量具的误差，不超过被测尺寸公差的 1/5。

（七）搅拌器传动系统的选用

搅拌设备的传动系统一般包括电动机、变速器、联轴器、搅拌轴、机架、机架固定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

座等。

1. 电动机的选用　由于搅拌设备的转速都比较低，因而电动机多数情况下都是与减速器组合在一起使用的，电动机与减速器成套供应。电动机选用要注意下面几点。

（1）确定电动机型号。根据设备负载性质和工艺条件，以及对电动机的起动、制动、运转、调速等要求确定。

（2）确定电动机额定功率。可按下式确定：

$$P_N = \frac{P' + P_s}{\eta} \tag{9-9}$$

式中　P_N——电动机功率（kW）；

P'——搅拌器功率（kW）；

P_s——轴封装置的摩擦损失功率（kW），填料密封约为 0.368kW，机械密封的损失功率为填料密封的 10% ~50%；

η——传动装置的机械效率，见表 9-16。

表 9-16　传动装置的机械效率

类　别	传动形式	机械效率 η
针轮传动	摆线针轮行星减速器	>0.9
齿轮传动	谐波减速器	>0.82
齿轮传动	开式传动、铸齿(考虑轴承损失)	0.9 ~0.93
	开式传动、铣齿(考虑轴承损失)	0.95
	单级圆柱齿轮减速器	0.97 ~0.98
	双级圆柱齿轮减速器	0.95 ~0.96
	行星齿轮减速器	0.95 ~0.98
蜗杆传动	自锁	0.4 ~0.45
	单头蜗杆	0.7 ~0.75
	双头蜗杆	0.75 ~0.82
	三头和四头蜗杆	0.80 ~0.92
皮带(平带和 V 带)		0.95 ~0.96

（3）防护型式。按 GB4208 规定，电动机外壳防护等级代号由特征字母 IP 与防护特征数字 A、B 组成，A 代表防止固体进入内部的防护等级；B 代表防止水进入内部的防护等级。

2. 减速器的选用

（1）确定工作时间，即每天工作的小时数。

（2）根据工作时间、总传动比、输入转速和功率，在各产品“减速器承载能力表”中确定接近或偏大中心距的减速器。

（3）校验输出轴最大短暂扭矩。如果已知输出轴扭矩，应采用式（9-10）将扭矩 T

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

转化为功率

$$P=\frac{Tn}{9\ 550i\eta} \tag{9-10}$$

式中　P——功率（kW）；

T——输出轴扭矩（N·m）；

n——输入转速（r/min）；

i——总传动比；

η——总传动效率。

（4）考虑减速器在振动和载荷变化情况下工作的平稳性，并连续工作，一般首先选择机械效率较高的摆线针轮行星减速器。

3. 机架

长度大于1 200mm的搅拌轴，摆动量大，如直接与减速器输出轴相连，会使减速器轴承受损害，从而使减速器的滚针或齿轮受损害。因此长度大于1 200mm的搅拌轴必须要考虑采用机架，加中间传动轴，从而使搅拌轴的摆动传不到减速器上，保证减速器的使用寿命。

国内的机架标准有三部，均为化工行业标准，分别是HG21566《搅拌传动装置—单支点机架》、HG21567《搅拌传动装置—单支点机架》和HG/T3139.1《釜用立式减速机型式和基本参数》附录A，HG/T3139.1所列机架型式比较全面，所以选用时尽可能按HG/T3139.1附录A选型。

（八）搅拌附件

搅拌附件是指为了改善液体的流动情况而增设的构件，有挡板、导流筒、稳定器、温度计、气体分布器等，下面主要介绍挡板和稳定器。

1. 挡板　当搅拌器沿容器（池）中心线安装，搅拌物料的黏度不大，且搅拌转速较高时，液体将随着旋转方向一起运动，容器（池）中间部分的液体在离心力作用下涌向内壁面并上升，中心部位下降，形成漩涡，通常称为“打漩区”。随着搅拌转速的增加，漩涡中心下凹到与浆叶平齐，此时外面的空气进入浆叶被吸到液体中，液体混入气体后密度减小，从而降低了混合效果。为消除这种现象，通常可加入一定数量的挡板。安装在筒体（池）内壁的挡板可把回转的液体改变为径向和轴向流动，较大地增加了流体的剪切强度，从而改善搅拌效果。因此，挡板主要是为了消除漩涡，改善主体循环，增大湍动程度，改善搅拌效果；同时还能降低负荷的波动，使功率消耗保持稳定。

挡板的结构和数量对混合效果的影响很大。过多的挡板将减少容器内流体的流动，将其控制在局部区域，导致不良的混合性能。一般情况下，在容器内壁面均匀安装4块宽度为搅拌器直径的1/12～1/10的挡板，就可以满足全挡板条件（若再增加挡板数和挡板宽度，能耗不再增加）。

通常低黏度流体混合时都需要安置挡板。当物料的黏度增加时，挡板的数量可相应减少。当黏度达到10Pa·s时，无需设置挡板。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）挡板的通用尺寸。挡板的宽度 W_b 一般取(1/12 ~ 1/10)D；当搅拌器（池）容积直径 $D \leqslant 1\,000$mm 时，挡板数量为 2 ~ 4 块；当搅拌容器（池）容积直径 $D \geqslant 1\,000$mm 时，挡板数量为 4 ~ 6 块，即可满足全挡板条件。

（2）挡板与搅拌容器内壁间隙 S_b。当被搅拌液体的黏度 $\mu < 100$mPa · s（低黏度）时，$S_b = 0$；当被搅拌液体的黏度 $\mu = 100 \sim 2\,500$mPa · s（中黏度）或介质为固-液两相时，$S_b > 0$，见表 9-17。

表 9-17 挡板与搅拌容器内壁间隙 S_b

搅拌器型式	挡板与搅拌容器内壁间隙 S_b
平桨式	$S_b = (0.2 \sim 0.5) W_b$
锚式、框式	$S_b = 0.06D$
圆盘涡轮式	$S_b = (0.2 \sim 0.5) W_b$

（3）挡板在搅拌容器内的设置高度。挡板上缘一般与液面齐平，当液面上有轻质易浮而不易润湿的固体物料时，挡板上缘可低于液面 100 ~ 150mm，这样可形成漩涡，润湿固体物料。挡板下缘一般与底封头直边齐平。

2. 稳定器　废水处理搅拌轴较长，传统的设计往往采用中间轴承和底轴承的措施，这样虽然可以减少轴端的挠度，但却增加了多点对中的难度，且底轴承和中间轴承浸在物料中，润滑不好，如物料中含有固体颗粒，更易磨损，需经常维修。对中不良的搅拌轴，中间轴承和底轴承的磨损严重，更换费用高。

若设计成悬臂轴，其运转时由于搅拌流体形成的水平推力以及轴本身及搅拌器等零件的不均匀性产生的离心力的联合作用，使搅拌轴端挠度过大，引起轴的摆动，影响轴承的寿命，时间长了，则因变形积累使搅拌轴弯曲甚至破坏。因此，减小搅拌轴端挠度的方法有三种：缩短轴长度、加大轴直径和设置稳定器。前两种涉及工艺的变动及相关零部件尺寸加大，并不可取。稳定器的工作原理是：利用搅拌容器中被搅拌液体对稳定器产生的阻尼作用，阻止或减少搅拌器的摆动，使搅拌轴端挠度控制在允许的范围内。稳定器摆动时，其阻尼力与承受阻尼的面积有关，迎液面积越大，阻尼作用越大，稳定效果越好。当搅拌轴在介质中摆动时，由于稳定器的存在增加了介质的阻尼作用及稳定器的惯性作用，减小了轴的摆动量。稳定器的应用，使搅拌器的运行得到了改善，轴承的寿命得以延长。

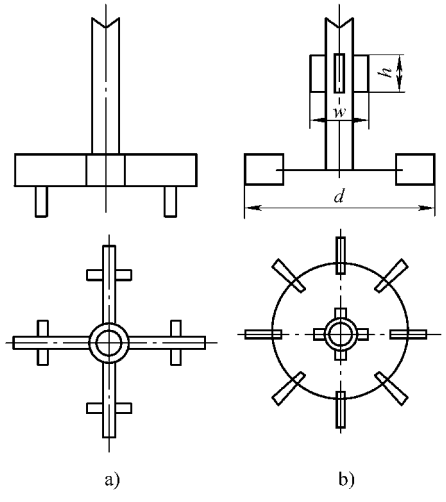


图 9-23　稳定器

稳定器的结构型式有两种：圆筒型和叶

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

片型。圆筒型的形状为空心圆，安装在搅拌叶片下。由于稳定筒的迎液面积较大，所产生的阻尼力也大，且安装在轴端，因而稳定效果好。稳定器如图 9-23 所示。

$$d_t/d = 0.65 \sim 0.7 \qquad h/H = 1 \sim 1.1$$

式中　d_t——稳定筒内径（mm）；

d——搅拌器直径（mm）；

h——稳定筒高度（mm）；

H——搅拌器叶片高度（mm）。

图 9-23a 中的稳定叶片切向布置，可避免产生搅拌作用。图 9-23b 为安装在搅拌轴上的稳定叶片，由于离上部轴承较近，阻尼产生的反力矩较小，稳定效果也小。稳定叶片的尺寸一般取：$w/d = 0.25$，$h/d = 0.25$。

（九）搅拌实验技术

1. 搅拌功率的测量

（1）电动机反扭矩测量法。本方法适用于规模较小的搅拌体系。其工作原理如下：当电动机工作时，作用于电动机转子上的电磁矩和作用于电动机定子上的电磁矩总是大小相等、方向相反的。因此，只要测出作用于定子上的扭矩就等于测得了作用于转子上的扭矩，再扣除转子轴承上的摩擦扭矩后，就可测得搅拌的实耗扭矩，由扭矩和转速便可以计算出搅拌功率。图 9-24 所示为电动机反扭矩测量法简图。转盘固定在电动机外壳上，电动机和转盘由推力轴承安装在支架上，电动机外壳（定子）受到的扭矩由转盘切向引线的拉力构成的力矩所平衡。而拉力的大小，通过滑轮，由天平上的砝码测出。砝码数与转盘半径的乘积，即为作用于转子上的扭矩，其计算式为

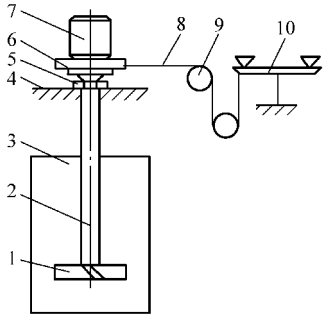


图 9-24　电动机反扭矩测量法简图

$$P = 2\pi NmgR \tag{9-11}$$

式中　N——搅拌转速（1/s）；

m——平衡扭矩的砝码质量（kg）；

g——重力加速度（m/s^2）；

R——测矩盘半径（m）。

（2）应变测量法。采用动态应变仪测量搅拌轴的扭矩，以此来计算搅拌功率。其原理是搅拌轴的扭矩大小与切应变成正比，只要测出搅拌轴外表面上切应变大小，即可计算出扭矩。该方法适用于测量功率较大的搅拌体系。图 9-25 所示为测量装置原理图。将 4 片电阻丝应变片按与轴线成 45°的方向，对称地粘贴在搅拌轴上，并使之组成电桥。当搅拌轴在扭矩的作用下发生相应的改变时，会引起电阻丝阻值的变化，破坏了电桥的平衡，产生出与切应变成线性关系的电压信号，并通过动态电阻应变仪将此电压信号放大后输入到记录仪中，读出切应变变化数据。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

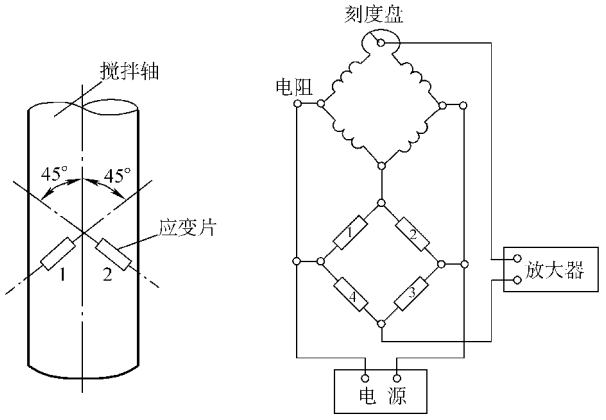


图 9-25 测量装置原理图

根据扭矩与切应变之间的换算关系，经数据处理后可方便地得出搅拌轴的扭矩值，再扣除用空载实验测出的密封、轴承等处的摩擦扭矩，即是搅拌时实耗的扭矩大小。

2. 混合时间的测量 混合时间的测量通常是通过局部注入具有相同流动性质但不同检测性质的物质，如不同的温度、颜色、电导率、pH 等，然后通过测量装置检测这些性质均匀遍及整个体系的时间，即为混合时间。

（1）温差法。图 9-26 所示为温差法测量混合时间装置原理图。图中的搅拌釜为内壁为有机玻璃的平底圆筒，高 600mm，内装 4 块标准挡板，实验时装液高度为釜径的 2 倍。搅拌器为二层圆盘涡轮、折叶涡轮，或者折叶涡轮与圆盘涡轮的组合。

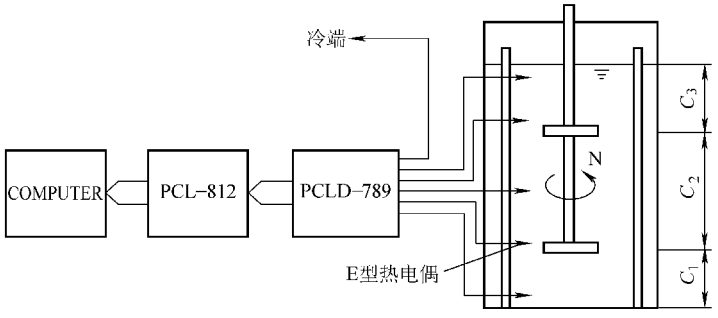


图 9-26 温差法测量混合时间装置原理

同时，在釜内安装 6 对 E 型热电偶，其中 5 对用于测量搅拌釜内 5 个不同位置的温度变化，剩下的一对测量 E 型热电偶的冷端温度。利用 PCLD-789 和 PCL-812 两块集成电路板进行数据的自动采集和处理。其中，PCLD-789 是一块有效的前馈调节和多路信号通道的子板，主要用作放大器和多路信号传输；PCL-812 是一块高性能、快速、多功能的数据采集卡，主要用作 A/D 转换。图 9-27 所示为层间距等于 D 时双层圆盘涡轮在转速为 3r/s 时的混合实验过程（混合时间 $\theta_m = 23s$）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上面的一条曲线代表搅拌釜液面附近靠近挡板处热电偶电位随时间变化情况，下面的一条曲线代表釜底附近靠近底部的电位变化情况。在达到混匀前，上面的曲线中有一些小峰，这是由流体循环所引起的，从峰的个数可以判断循环的次数。

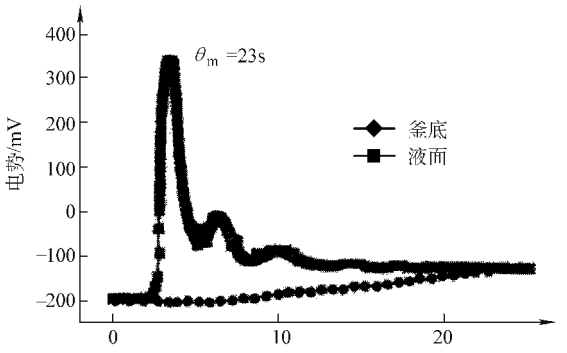


图 9-27　双层圆盘涡轮在转速为 3r/s 时的混合实验过程

（2）脱色法。对于高黏度流体的混合，可用碘和硫代硫酸钠脱色反应来测定混合时间。使用该法时，要求釜和流体必须透明。先在釜内流体中加入一定量的碘溶液，通过搅拌使流体均匀着色，在一定的搅拌转速下将适当过量的硫代硫酸钠溶液（例如，碘与硫代硫酸钠的当量比为 1∶3 快速加入釜内，用眼睛观察或用光电池监视其褪色情况。从投入硫代硫酸钠溶液起到延至某个规定程度所需的时间就是混合时间。

四、干粉加药机

（1）工作原理：采用螺旋杆输送粉剂。

（2）机器特征：

1）料斗上配有震荡器，促使粉料下落。

2）将震动的料斗固定在橡胶上，使震动不致传到输送螺杆上。

3）移开前板可以清扫仓底，清除因空气潮湿造成粉料结的板块。

4）螺杆贴近仓底，使物料能充分排净。

5）更换螺杆可以使粉剂流量增大一个等级。

6）自带搅拌器，防止粉料结垢，堵塞螺杆。

7）可以手动调节粉剂流量大小。

8）无需检修，也不用添加润滑油。

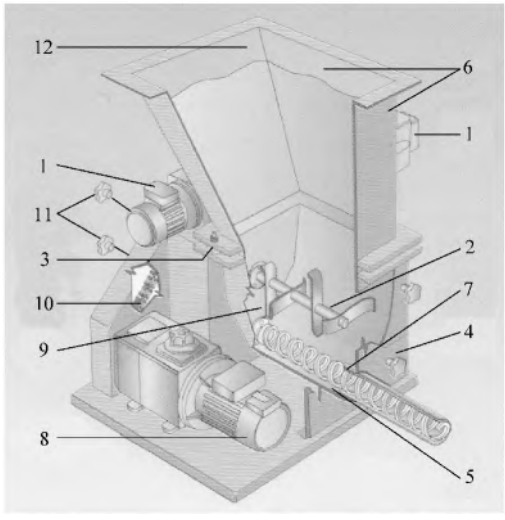


图 9-28　干粉加药机

1—震动器　2—搅拌器　3—隔震垫　4—清仓板　5—输送螺旋　6、12—料斗　7—出料管　8—减速电动机　9—下料仓　10—传动链　11—拆卸手柄搅拌器

（3）主要参数：

流量：0.1 ~ 5 000L/h，可在 10% ~100% 之间调节

最大投加量：5 100L/h

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

粉剂粒度：≤180u

（4）注意事项：发现出料少、慢、间断时，要及时清理仓底，取出结垢的粉料。

干粉加药机如图 9-28 所示。

五、压滤机

（一）厢式压滤机

厢式压滤机是固液分离设备，具有密闭性好、过滤压力高、便于洗涤、对料浆适应性强的特点，有手动式、手动千斤顶式、液压式和自动卸泥式；排液有明流和暗流；洗涤分为可洗式与不可洗式。厢式压滤机如图 9-29 所示。

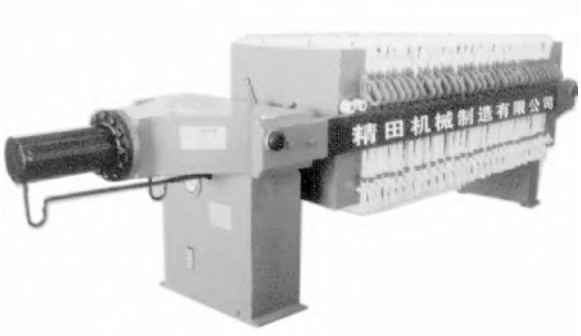


图 9-29　厢式压滤机

1. 结构　厢式压滤机由机架、过滤系统、液压部件及电器组成。

（1）机架：由两根横梁、止推座、液压缸座、压紧板组成，两根横梁两端分别用大螺栓固定在止推座和液压缸座的两侧面上。

（2）过滤系统：由厢式滤板和滤布组成，垂直搁置在两根横梁上，可在横梁上滑动。滤布起着关键的作用，其性能的好坏、选型的正确与否直接影响过滤液清否、过滤速度等。滤布有无纺布、合成纤维、棉纺布等，其布料有涤纶、锦纶、丙纶等，根据不同的制作工艺分为不同的型号。

（3）液压部件：由油箱、滤油器、液压泵、阀、液压缸、活塞和管路组成。液压用油需经 20μm 孔径过滤，油量加至液面上限。活塞与压紧板铰接。

（4）电器：由电动机、压力表、按钮、过载保护装置组成。

2. 工作原理　电动机驱动液压泵，压力油经电磁阀进入液压缸，推动活塞（压紧板）压紧滤室，达到工作压力后，旋紧锁紧螺母，保压，再关闭电动机，即可进料。每两块滤板之间，铺两张滤布，在外力作用下，泥水从止推座外接管道进入，通过滤板中间孔进入滤布及各个滤室，布满整块滤布，固体颗粒被截留在滤布上，逐步形成滤饼，滤液穿过滤布流至滤板边角通道，由滤板两侧的出水孔（水龙头）排出。该处排出的水为明流，通过滤板和止推座的暗流孔排出的为暗流。

滤板的表面有沟槽，其凸出部位用以支撑滤布，边角上有通孔，能进入泥水、洗涤水和引出滤液。滤布起到密封垫作用。

3. 安装

1）机器装在混凝土基础或钢架上，安装时以主梁为基准校水平。

2）机器纵向无需固定，因为在压紧时，主梁受拉伸力作用，使机器脚随之伸缩，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

如固定机械，则主梁极易弯曲。

3）液压系统应有回流系统，当过滤压力大于液压设定值时，液压油通过回流阀自动调整压力。

4）加入液压油至液位计上限 40～60 之间，一般选 30#液压油。

5）电源采用三相四线制，注意电动机的旋向不可反。

4. 操作

（1）过滤准备工作

1）所有滤板移至止推板一端，并使其位于两主梁中间，若滤板缺少，应增加后再开机。

2）滤布不得折叠和破损。

3）检查各管路接头情况。

4）按下压紧按钮→活塞杆前进，将滤板压紧→压力达到设定值（出厂前，溢流阀压力已由厂方调好，一般不需要再调节）→手动拧紧反锁螺母（机械保压式），同时按停止按钮（液压泵停止工作）。

（2）过滤

1）打开滤板水嘴→略打开进料阀→起动进料泵→渐渐开启进料阀→压力逐渐加大，如压力过大，打开回流阀进行调控。

2）开始时，滤液往往浑浊，然后转清。如滤板间有较大的渗漏，可适当加大压紧板顶力，并旋紧锁紧螺母。

3）过滤过程中，因滤布有毛细现象，滤板间有少量清液渗出，属正常现象，如清液大量渗出或固体渗出则需排查。

4）如果发现某水嘴流出的液体浑浊，只需关闭该水嘴即可继续过滤，如果是暗流应停机更换破损的滤布。

（3）判断机器满泥的方法。

1）经验法。如果水嘴几乎不再排液，表示满泥。

2）数值法。如果过滤压力表维持在 0.4MPa 左右，表示满泥。

（4）过滤结束。

1）进料泵停止，关闭进料阀。

2）可洗型：打开洗涤水阀门，对滤饼进行洗涤。

隔膜型：打开压缩空气阀门，向隔膜充气，再次压榨，压榨完毕，按“松开”按钮开始卸泥。

吹干型：打开压缩空气阀门进行吹压，将残留的部分水分再次挤压排出（压缩空气压力一般不超过 1MPa），按“松开”按钮开始卸泥。

3）检查滤布、滤板，清除结合面上的残渣，再次将所有滤板移至止推板端，并位于两主梁中间，即可进入下一个工作循环。

4）机械保压型松动锁紧螺母技巧：压下“压紧”按钮→待锁紧螺母略松动后→同时将锁紧螺母旋至活塞杆前端→再次按“松开”按钮，活塞杆压紧板回至合适工作间

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

隙→按“停止”按钮，移动各滤板卸渣。

5. 自动保压操作程序

（1）压紧。将旋转开关扭向“压紧”方向→活塞杆自动前进待压力到设定值后，活塞杆自动停下→开始过滤。

（2）松开。将旋转开关扭向“松开”方向→活塞杆自动后退到合适的位置，再将旋转开关扭向“停止”位置，停止进料泵。

（3）卸泥。

6. 自动拉板机型的操作

（1）压紧。将选择开关处于手动状态→按“压紧”按钮，压紧板向前压紧→待过滤压力达到设定压力值后，按“停止”按钮，然后旋紧锁紧螺母，即可过滤。

（2）放松。将选择开关处于手动状态→按“松开”按钮，使压紧板后退至调停点，换向阀自动停止→卸泥

（3）拉板。

1）选择开关处于自动状态，调整好拉板向前时间、向后时间、停顿时间，按“向前”按钮，拉板小车将作向前、向后、停顿的往复运动，直至自动拉板完成，小车将退回原处。

2）如发生故障，可改为手动状态，进行拉板向前、停止等动作。

7. 维护保养

（1）开机前

1）应按规定数量的滤板配置开机，任意减少滤板数量，会使液压缸行程超过规定值。滤板破裂后，不可继续使用，否则会引起其他滤板破裂。

2）液压缸的压紧力不得超过规定的额定值，否则将损坏压滤机的有关配件。

3）滤液、洗液和压缩空气的阀门，必须按操作程序启用，不得同时开启。

4）在压紧滤板前，滤板应整齐排列在主梁上，且平行于止推板，避免因滤板放置不整齐使主梁变形。

5）滤布应平服地包在滤板表面上，滤布上的孔与滤板孔必须对齐，不得破损和折叠，否则会引起泄漏。

6）滤板两边的密封平面的平行度、表面粗糙度是保证过滤时不泄漏的重要环节。因此滤板在主梁上移动时，用力不能过猛，以防止碰撞损坏密封面。搬运更换滤板时，严禁滤板间碰撞、摔打，卸下的滤板应平整叠放，以避免滤板扭曲变形。

7）螺杆部分要涂抹黄油。

（2）卸泥后

1）卸泥饼后，不允许残渣粘贴在滤布的密封面上和孔道上，以免影响密封性和孔道畅通，引起滤板变形。

2）滤布使用一段时间后会变硬，应用弱酸浸泡恢复其性能。

（3）其他

1）高压溢流阀出厂时已调定，若需要调整若要调节液压缸的压力，应把溢流阀全

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

开，当压紧板压紧滤板后才能调节溢流阀，然后起动液压泵，慢慢调整溢流阀到需要的压力，但切勿超过液压泵的最大允许压力。

2）压力表要定期校正。

3）油箱、液压缸、液压泵和溢流阀等液压元件要定期进行空载运行，每六个月对压滤机清洗一次，液压油每年更换一次，液压油油位低于液压计下限时，要及时补充。

4）如果使用环境酸气太重，应对机器做玻璃钢防腐。

5）机组吊运必须钩住横梁两端的吊环，以防止引起主梁变形。

8. 主要故障和处理方式　厢式压滤机主要故障和处理方式见表 9-18。

表 9-18　厢式压滤机主要故障和处理方式

故障现象	产生原因	排除方法
滤板之间跑料	油压不足(即压紧力不足)	见“油压不足”
	滤板密封面有杂物	清理密闭面
	滤布不平整、折叠	整理滤布
	进料泵压力过高	适当开启回流阀
	进料泵压力流量超高	重新调整
油压不足	液压泵损坏或不能正常工作	更换或维修
	溢流阀调整不当或漏油	重新调整
	管路漏油	修复
	密封圈损坏	更换
	油面太低	加油
保压不灵	油路泄漏	修复
	活塞密封圈磨损	更换
	液控单向阀失灵	清洗或更换
	溢流阀不保压	调整或更换
滤浆泄漏滤板积料	油压不足	排除
	滤板密封面间不清洁,结晶	清理密封面及沟槽
	滤板表面划伤、变形	修复或更换
	滤布折皱,不平整	整理滤布
滤液浑浊	滤布破损	缝补或更换
	滤布选择不当	重新选择
滤板变形	滤板放置不妥	重放
	进料孔堵塞,压差大	疏通孔道
滤板断裂	滤室两侧压差大	查找原因并更换滤板
	滤布破损	更换滤布
	进料速度过快	降低进料速度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

故障现象	产生原因	排除方法
滤饼薄	泥浆浓度低	提高泥浆浓度，延长过滤时间
	滤布堵塞	清洗滤布
	进料压力偏低	提高进料压力
主梁弯曲	液压缸底座被固定，或底座摩擦大影响主梁自由伸长	液压缸底座不应固定，地基表面应光滑平整
	机器安装基础不平整	整平安装基础
	滤板排列不齐	排列滤板
液压缸不工作	油位不足	加液压油
	电动机反转	调换方向
	液压泵损坏	更换
液压缸只压紧不后退或只后退不压紧	电磁阀换向线圈烧毁	维修或更换
	阀芯卡死	清洗阀件
	继电器损坏	更换
滤布破损更换频繁	没铺平整、有折叠或机械损伤	每次更换滤布时，要小心平整地铺放
	物料中有硬块，刺伤滤布	进料口要加过滤网

9. 主要参数和电器及液压原理　厢式压滤机主要参数见表9-19，电器及液压原理见图9-30。

表9-19　厢式压滤机主要参数

型号	过滤压力/MPa	最大压紧力/MPa	最大行程/mm	过滤面积/m^2	传动方式	长×宽×高/mm	滤板尺寸/mm	滤板厚度/mm	滤板数量	电动机功率/kW	进料管内径/mm	重量/kg
XMY16/500-UB	≤0.4	15	200	16	液压	3 340×890×875	500×500	50	40	1.5	50（2寸）	900
XMY28/630-UB	≤0.4	16	300	28	液压	4 225×1 020×1 200	630×630	50	45	1.5	50（2寸）	1 600
XMY50/800-UB	≤1	20	500	50	液压	4 794×1 246×1 628	800×800	60	51	1.5	60（$2\frac{1}{2}$寸）	3 060

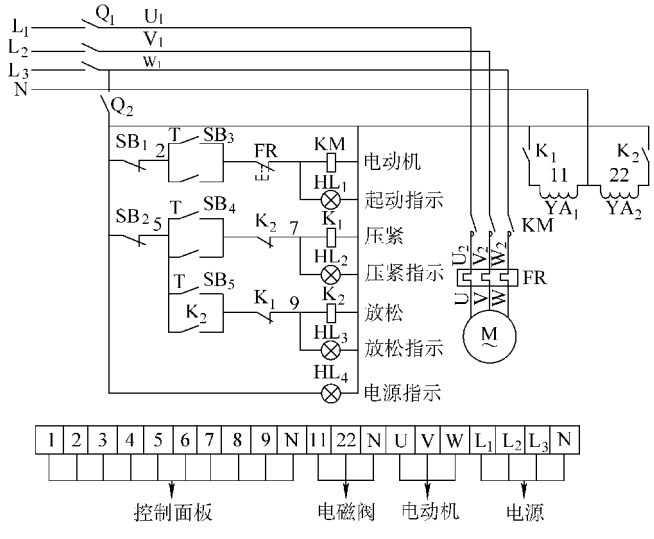
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

型号	过滤压力/MPa	最大压紧力/MPa	最大行程/mm	过滤面积/m^2	传动方式	长×宽×高/mm	滤板尺寸/mm	滤板厚度/mm	滤板数量	电动机功率/kW	进料管内径/mm	重量/kg
XMY80/800-UB	≤1	20	500	80	液压	6 624×1 246×1 628	800×800	60	81	1.5	60（2 1/2寸）	3 960
XMY90/920-UB	≤1	25	500	90	液压	6 221×1 366×1 736	920×920	60	72	1.5	60（2 1/2寸）	4 750
XMY90/1 000-UB	≤1	28	500	90	液压	5 240×1 480×1 850	1 000×1 000	60	54	1.5	75（3寸）	3 470
XMY120/1 000-UB	≤1	28	500	120	液压	6 320×1 480×1 850	1 000×1 000	60	72	1.5	75（3寸）	4 430

注：X—厢式压滤机，M—明流，Y—液压，U—塑料滤板，B—不可洗涤。



a)

图 9-30　电器及液压原理图

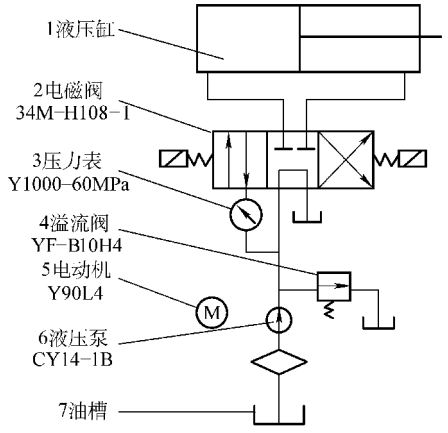
a）电器原理图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

代号	名称	型号规格	数量	附件
Q_1	空气开头	Dz47 D16.3P	1	
Q_2	单极开关	Dz47 C10.1P	1	
KM	接触器	SK-10～220V	1	
FR	热继电器	JB16B-20/3D	1	5A
M	电动机	Y90L-4	1	1.5kW
YA_{1-2}	电磁阀	34BM-H10B-T	1	
SB_{1-2}	按钮	1·AY37(PBC-F)-A(Y)	2	红色
SB_{3-5}	带灯按钮	1·AY37(PBC-F)-A_2(Y)	3	绿色含HL1-3
$K_{1\ 2}$	继电器	JOX-13F～220V	2	
HL_{1-4}	指示灯	XDE～220V	1	红色

b)



c)

图 9-30 电器及液压原理图（续）

b）电器元件表 c）液压工作原理图

厢式压滤机使用范围广，技术成熟，缺点也很明显：

（1）厢式压滤机使用时，使用环境差，工作场地到处是泥水和泥渣，得穿胶靴才能工作。

（2）厢式压滤机传统的方法是用螺杆泵或隔膜泵输送污泥，系统简单，但是螺杆泵的螺杆与污泥接触。厢式压滤机的工况是变动的，初始负荷低，压到快满的时候，负荷变大，因而螺杆在腐蚀应力和交变应力作用下，磨损很严重，一个月要更换一次。改用隔膜泵，隔膜泵的隔膜耐疲劳应力不够，也经常要更换，密封处经常泄漏，隔膜泵的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

膜片和密封环经常要更换。

（二）气压厢式压滤机系统（如图 9-31）

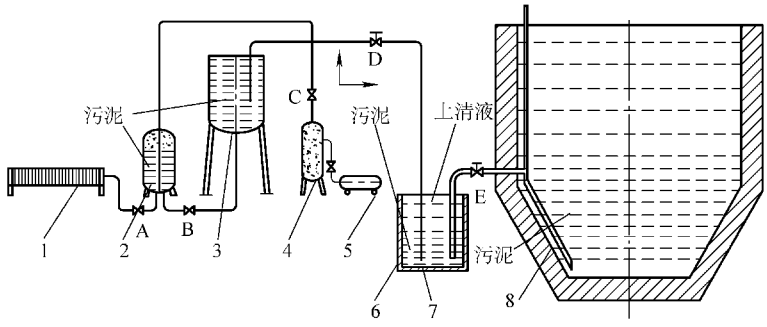


图 9-31　气压厢式压滤机系统

1—厢式压滤机　2—压滤罐　3—污泥罐　4—压缩空气贮罐

5—空压机　6—污泥浓缩池　7—潜水泵　8—沉淀池

厢式压滤机装在 2.5m 高的平台上，有两个并列的锥形斗，装在整个滤板下面，滤液和滤饼都由锥形斗直径为 250mm 的出口排走，将编织袋套在出口上，滤饼直接落在袋中，不用再铲泥，工作环境整洁。

操作方式如下：打开阀门 E，污泥靠重力排出到污泥浓缩池 6，打开阀门 D，再由潜水泵 7 抽到污泥罐 3，再靠重力排入到压滤罐 2，满了以后，关闭阀门 B，打开阀门 A，压缩空气由压缩空气贮罐 4 压向压滤罐 2，将污泥压进厢式压滤机 1。气压厢式压滤机系统的优点是：

（1）脱水效果好，污泥可达 70% 的脱水率。

（2）机械零件不与泥浆接触，不存在磨损问题，无需更换零件。

（3）工作平稳、操作方便、环境整洁。

厢式压滤机清洁生产如图 9-32 所示。

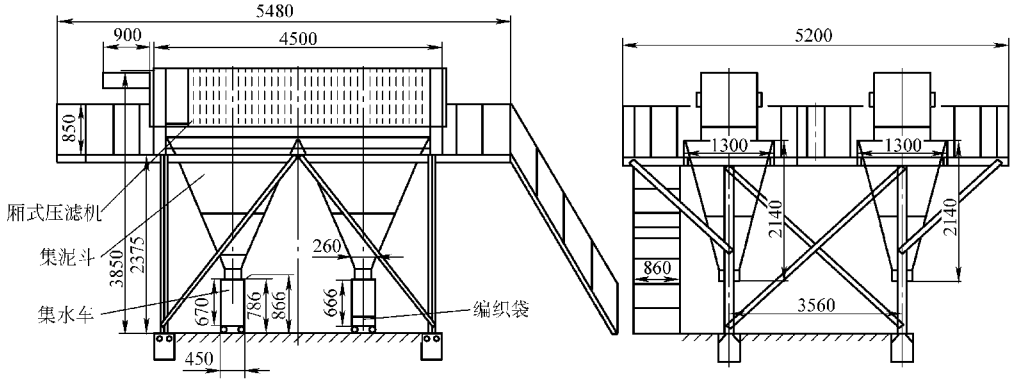


图 9-32　厢式压滤机清洁生产

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

滤液流入集泥斗内，再流入集水车，通过管道排回综合池。污泥倾入集泥斗，直接进入下接编织袋内，无需人工铲泥、装泥，放到小车上即可运走。环境清洁，减轻了劳动强度。

（三）带式压滤机

1. 带式压滤机工作原理　带式压滤机是由上下两条张紧的滤带夹带着污泥层，从一连串按规律排列的辊压轮中呈 S 型弯曲经过，靠滤带本身的张紧力形成对污泥的挤压力和剪切力，把污泥中的毛细水挤压出来，获得含固量较高的泥饼，从而实现污泥脱水。

污泥首先与絮凝剂进行混合反应并絮凝成团，然后经过重力脱水、楔压脱水、低压脱水、高压脱水，使污泥中的水分逐步降低，最后成固形物排出。带式压滤机一般可分为几个工作区。

（1）重力脱水区。在该区域内，滤带水平行走，污泥经过絮凝调理后，部分毛细水转化为游离水，将絮凝好的污泥倒在滤带上，自由水快速透过滤带流走，这部分水分在该区域内由于自身的重力穿过滤带，从污泥中分离出来，絮团截留在滤带上。一般来说，重力脱水可以脱去污泥中 40% ~50% 的水分，使含固量增加 7% ~10%。重力脱水时间 T 越短，即自由水流走的越快，表示污泥的重力脱水性能越好。可根据污泥的重力脱水性能选择重力脱水工作长度 L 和滤带运行速度 V。

$$T = L/V$$

（2）根据污泥可压缩性分区

絮团具有一定的稳定性，可承受与其含水率成反比的正压力和剪切力，随着絮团含水率的不断降低，可以承受的压力不断加大。但当施加的外压力大于絮团的可承受压力时，絮团就会破坏，污泥固体颗粒就会从滤孔或滤带两边流失。因此，根据污泥的可压缩性将带式压滤机分为三个压力区，即楔形压力区、低压区和高压区。

1）楔形脱水区。楔形脱水区是一个三角形的空间，滤带在该区内逐渐靠拢，污泥在两条滤带间逐步受到挤压。在该区段，污泥的含固量进一步提高，并由半固体向固体转变，为进入压力脱水区作准备。

2）低压脱水区。污泥经楔形脱水区后，被夹在两条滤带间绕辊压筒作 S 形上下移动，施加到泥层的压榨力取决于滤带张力和辊压筒直径。在张力一定时，辊压筒直径越大，压榨力越小。脱水筒前面三个辊压筒的直径很大，一般在 500mm 以上，施加到泥层上的压力较小，因此称为低压区。污泥经低压区以后，含固量进一步提高，但低压区的主要作用是使污泥成饼，强度增加，为接受高

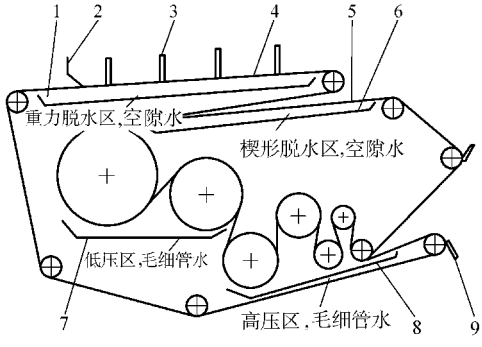


图 9-33　带式压滤机工作原理

1—重力脱水区　2—布料机构　3—疏料机构
4—滤带　5—翻转机构　6—脱水区
7—低压区　8—高压区　9—刮泥刀

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压作准备。

3）高压脱水区。经低压脱水的污泥，进入高压区后，受到的压力逐步增大，其原因是辊压筒的直径越来越小。到高压区最后一个辊压筒，直径往往降到25mm以下，压榨力增加到最大。污泥经高压区后，含固量进一步提高，一般大于20%，正常情况下在25%左右。

带式压滤机工作原理如图9-33所示。

调理好的污泥进入带式压滤机重力脱水区1，在布料机构2和疏料机构3的共同作用下，随滤带4向前运动并在重力作用下，脱去污泥的空隙水。当污泥随滤带运行至重力脱水区末端时，通过翻转机构5进入带式压滤机楔形脱水区6，在楔形脱水区污泥被两条滤带形成的楔压力预压，进一步脱去污泥的空隙水。经重力脱水和楔形脱水的污泥进入低压区7和高压区8压榨脱水，经压榨脱水的滤饼成固形物被刮泥刀9刮落并排出。

2. *带式压滤机结构*　带式压滤机结构由机架、滤布、滤带驱动系统、辊系、滤带张紧装置、自动纠偏装置、清洗装置、滤液接盘等组成。各部件的作用如下：

（1）机架：由型钢组焊，经防腐制成，承载所有的部件及污泥。

（2）滤布：一般采用单丝聚酯纤维材质编织而成，具有抗拉强度大、耐曲折、耐酸碱、耐温度变化等特点。滤带常编织成多种纹理结构，不同的纹理结构其透气性能和对污泥颗粒的拦截性能不同，因此要根据污泥的性质选择合适的滤带。电镀污泥应选择透气性能和拦截性能较好的滤带。

（3）滤带驱动系统：由减速电动机与链条、链轮组成，驱动两条滤带环形连续运动。

（4）辊系：包括压力辊、驱动辊、张紧辊、纠偏辊、卸料辊和导向辊等，支撑着滤带并让滤带周而复始地重复着各种功能。一台带式压滤机压力辊一般由5～7个辊压筒组成，这些辊压筒的直径沿污泥的走向由大到小变化。

（5）滤带张紧装置：滤带张紧系统的主要作用是调节、控制滤带的张力，以调节施加到泥层上的压榨力和剪切力。

（6）自动纠偏装置：负责确保滤带在运行过程中自动纠正轴向偏移量。

（7）清洗装置：负责清洗滤带上的残留渣及挤入滤带中的污泥，保证滤带正常的过滤性能，一般定期用高压水反方向冲洗。

（8）滤液接盘：收集压榨脱水产生的滤液。

3. *污泥脱水性能调理*　带式压滤机使用的要点是要对污泥进行调理，否则就会有污泥压不干和污泥粘在压滤带上、脱不干净的麻烦。污泥脱水性能调理就是选择适宜的高分子絮凝剂与污泥进行混合反应，使污泥形成絮状团块，从而较快地分离出自由水。絮凝效果好，絮团大、结实，自由水就清。可通过试验确定絮凝剂的种类、用量和使用浓度。

（1）絮凝剂的选用方法如下：

1）污泥脱水效果主要取决于污泥絮凝效果，选择合适的絮凝剂才能产生良好的絮

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

凝效果。

2）无机絮凝剂如碱铝、聚铝、硫酸亚铁、三氯化铁等，由于用量大、絮凝效果不理想，而极少在污泥脱水中使用。

3）有机高分子絮凝剂——聚丙烯酰胺用于污泥脱水，由于用量少、絮体强度高而被广泛采用。

①阴离子絮凝剂一般适用于带正电荷的无机污泥以及颗粒较粗的中性和碱性污泥。

②阳离子絮凝剂一般适用于带负电荷的有机污泥。

③非离子絮凝剂一般适用于呈中性和酸性的有机、无机混合污泥。

（2）配制絮凝剂溶液的搅拌强度不能过于剧烈，搅拌转速宜取 150rpm 以下，搅拌时间约 45min。

（3）絮凝剂用量要适量，太少或太多都会影响效果。

（4）配制好的絮凝剂溶液有效期一般为 3 天左右，当发现溶液变白时说明药液已失效。

（5）絮凝剂的选用要经过试验确定。

4. 滤带的选择　滤带的作用是做过滤介质，传递压榨力和输送滤渣，应具有良好的透水性和颗粒截留性，具有特定环境下的抗拉强度和寿命，具有良好的滤带再生性和滤饼剥离性，才能确保带式压滤机正常工作并能使效能得到最大限度的发挥。

（1）滤带材质一般选用聚脂类，分别为：

1）PET（涤纶）：耐酸性、伸长率小，价格高。

2）PA（尼龙）：耐碱性、伸长率较大，价格适中。

3）PP（丙纶）：耐酸碱、伸长率小，易老化，价格便宜。

（2）滤带的常用参数：

1）经线直径（mm）或经线密度（根 cm/）

2）纬线直径（mm）或纬线密度（根 cm/）

3）抗拉强度（N/cm）。

4）透气率（L/m^2s）或透水率（$L/cm^2 \cdot min$）

5）滤带编织方法不同产生的性能各异：

- 透水性能从好到差：螺旋网—缎纹—斜纹—平纹。
- 滤饼水份从高到低：缎纹—斜纹—平纹—螺旋网。
- 滤液含固率从低到高：平纹—斜纹—缎纹—螺旋网。
- 滤饼剥离性能从好到差：缎纹—斜纹—平纹—螺旋网。
- 滤带再生性能从好到差：缎纹—斜纹—平纹—螺旋网。
- 滤带使用寿命从长到短：斜纹—平纹—缎纹—螺旋网。

5. 带式压滤机主要材质

（1）机架采用碳钢热镀锌、喷环氧树脂或漆防腐剂。

（2）受力轴及轴头采用中碳合金钢。

（3）低压辊面采用不锈钢 304。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）高压辊面采用碳钢包胶。

（5）驱动辊面、张紧辊面及调偏面采用碳钢表面包胶。

（6）滤液接盘及清洗装置采用不锈钢304。

6. 设计参数

（1）污泥在重力脱水区，使污泥失去流动性，以免在楔形脱水区、低压脱水区被挤出滤布。污泥在重力脱水区的停留时间为10～20s。在楔形、低压、高压脱水区的停留时间为1～5min。

（2）滚压的方式有两种：一种是滚压辊上下错开，依靠滚压轴施于滤布的张力压榨污泥，压榨的压力受张力限制，压力较小，压榨时间较长，但在滚压的过程中对污泥有一种剪切力的作用，促进泥饼脱水；另一种是滚压辊上下相对布置，如图9-34所示。

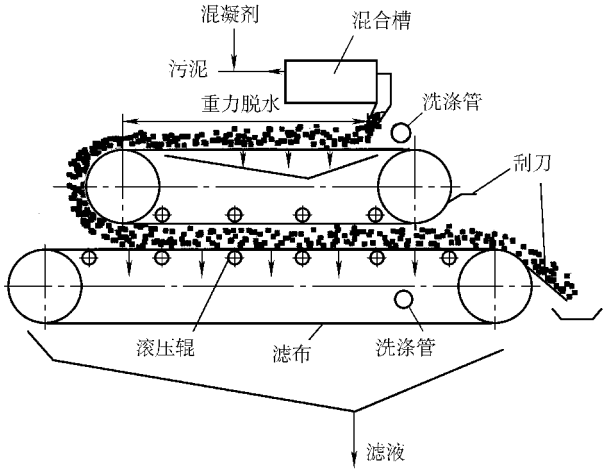


图9-34　滚压辊上下相对布置

（3）带式压滤机的生产能力以每米带宽每小时分离出的干物的质量计，目前最大的带宽是3m。应根据不同的污泥进行实验，以确实生产能力及其运转参数。

对一沉池与二沉池混合污泥，当进泥含水率为93%～97%、投加的有机高分子混凝剂为污泥干质的0.2%～0.5%时，其生产能力为120～350kg干污泥/（m^2·h），脱水后泥饼含水率为70%～80%。

（4）带式压滤机计算公式如下：

$$B = kPQ$$

式中　B——带宽（m）；

k——过滤系数（$k=0.1\sim0.15$）；

P——污泥含水率（%）；

Q——污泥量（m^3/h）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 带式压滤机的成套装置　带式压滤机的成套装置有：预脱水机、带式压滤机、投药溶解装置、污泥与药剂混合装置、螺杆污泥输送泵、计量泵、污泥流量计、滤带清洗泵、空气压缩机、泥饼输送机、气动储泥斗、电控柜等。带式脱水工艺流程如图 9-35 所示。

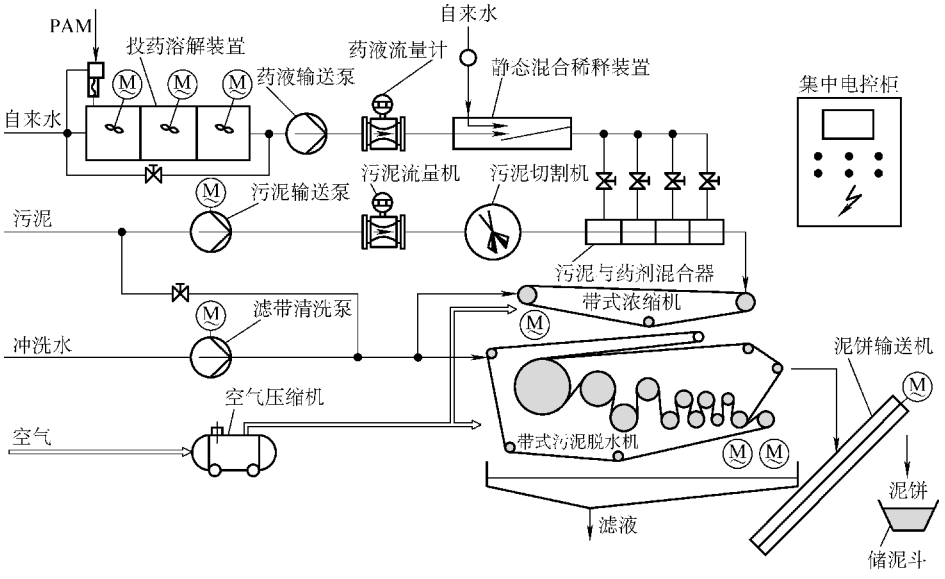


图 9-35　带式脱水工艺流程

主要装置介绍如下：

（1）预脱水机。在取消污泥浓缩池和加大污泥浓缩效果时可增加预脱水机。预脱水机是一种独立的重力脱水机械，其工作原理与原重力脱水区工作原理一样。预脱水机如图 9-36 所示，参数见表 9-20。

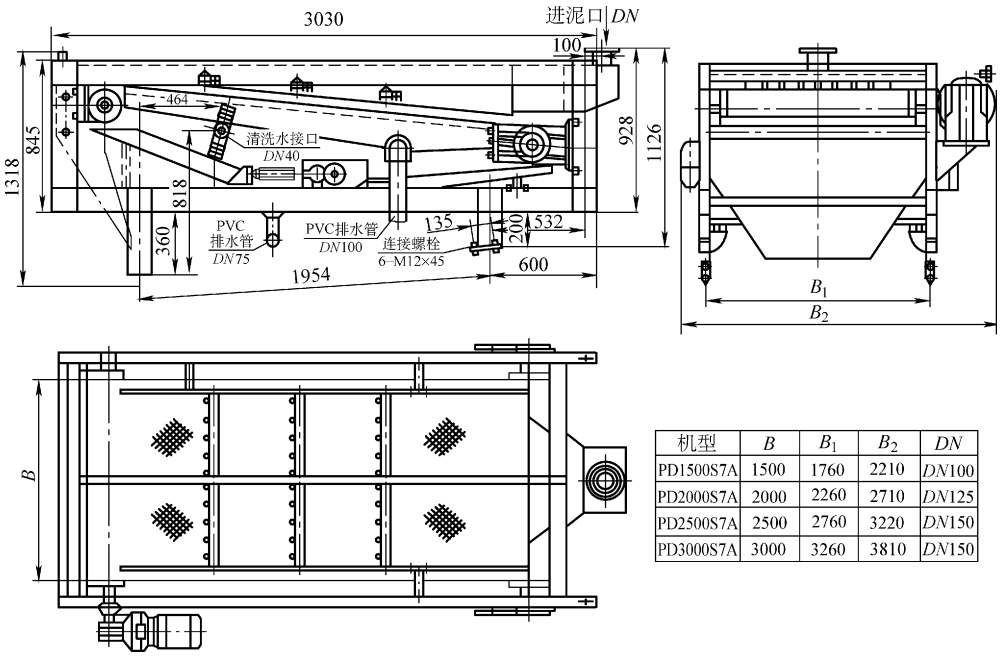
表 9-20　预脱水机参数

滤带宽度/mm	滤带速度变频调速/(m/min)	电动机功率/kW	重力脱水长度/mm	滤带长度/mm	最大处理量①/(m^3/h)	机器重量/kg
1 000	1.5 ~ 7.5	0.75	2 300	5 650	22.5	1 600
2 000	1.5 ~ 7.5	1.5	2 300	5 650	45	2 200
3 000	1.5 ~ 7.5	2.2	2 300	5 650	75	2 800

① 根据入料含固≤0.8% 计算的入料处理量，入料含固 >0.8% 时按 0.8% 时的处理干泥量重新折算入料处理量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



机型	B	B_1	B_2	DN
PD1500S7A	1500	1760	2210	DN100
PD2000S7A	2000	2260	2710	DN125
PD2500S7A	2500	2760	3220	DN150
PD3000S7A	3000	3260	3810	DN150

图 9-36　预脱水机

（2）带式压滤机。带式压滤机整体效果如图 9-37 所示。主要参数见表 9-21。

表 9-21　带式压滤机主要参数

滤带宽度/mm	滤带速度机械调速/(m/min)	电动机功率/kW	重力脱水长度/mm	滤带长度/mm	最大处理量①/[kg(干)/h]	机器重量/kg
1 000	1.5～7.5	1.5	1 600	7 650	180	3 200
				12 550		
2 000	1.5～7.5	2.2	1 600	7 650	360	5 300
				12 550		
3 000	1.5～7.5	2×3	2 300	11 200	600	9 500
				17 360		

① 根据入料含固 3% 计算，大于或小于 3% 时，按 3% 时的污泥体积折算处理能力。

1）带式压滤机工艺控制。

①带速的控制。滤带的行走速度控制着污泥在每一工作区的脱水时间，对泥饼的含

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

固量、泥饼厚度及泥饼的剥离的难易程度都有影响。带速越低，泥饼的含固量越高，泥饼越厚，越易从滤带上剥离；反之，带速越高，泥饼的含固量越低，泥饼越薄，越不易从滤带上剥离。因此，从泥饼质量上看，带速越低越好，但带速的高低直接影响到脱水机的处理能力，带速越低，其处理能力越小。带速一般控制在 2 ~ 5m/min。

图 9-37　带式压滤机整体效果

②滤带张力的控制。一般来说，滤带张力越大，泥饼的含固量越高。但当张力太大时，会将污泥在低压区或高压区挤压出滤带，导致跑料，或压进滤带造成堵塞。一般将张力控制在 0.3 ~ 0.7MPa，常在 0.5MPa。

③调理效果的控制。污泥调理效果直接影响脱水效果，带式压滤机对调理的依赖性更强。如果加药量不足，调理效果不佳时，污泥中的毛细水不能转化成游离水在重力区被脱去，无法挤压；反之，如加药量太大，一是增大处理成本，更重要的是由于污泥黏性增大，极易造成滤带被堵塞。

主要故障及处理方法见表 9-22。

表 9-22　带式压滤机主要故障及处理方法

现　象	原　因	对　策
泥饼的含固量下降	加药量不足	重新试验加药量、加药品种、加药点
	泥质变化	
	药调质效果不好	
	带速太大，泥饼变薄	一般应保证泥饼厚度为 5 ~ 10mm
	滤带张力太小，不能保证足够的压榨力和剪切力	适当增大张力
	滤带堵塞	停止运行，冲洗滤带
滤带打滑	带速太大，挤压区跑料	适当降低带速
	进泥超负荷	降低进泥量
	滤带张力太小	增加张力
	滚压筒损坏	及时修复和更换
滤带时常跑偏	进泥不均匀，在滤带上摊布不均匀	应调整进泥口或更换平泥装置
	滚压筒之间相对位置不平衡	检查调整
	滚压筒局部损坏或过度磨损	检查更换
	纠偏装置不灵敏	检查修复

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

现　象	原　因	对　策
滤带堵塞严重	每次冲洗不彻底，滤带张力太大	应增加冲洗时间或冲洗水压力，适当减小滤带张力
	加药过量，黏度增加	减少药剂用量
	进泥含沙量太大	加强对污水处理系统的控制

2）带式压滤机日常维护与管理。

①滤带的使用一般在3 000～10 000h之间，如果滤带过早损坏，应分析原因。滤带的损坏常表现为撕裂、腐蚀或老化。滤带的材质或尺寸不合理、滤带的接缝不合理、滚压筒不整齐、张力不均匀、纠偏系统不灵敏均会导致滤带被损坏，应及时排除。

②脱水机停止工作后，必须立即冲洗滤带。另外，还应定期对脱水机周身及内部进行彻底清洗，以保证清洁。

③分析测量与记录。每班应监测分析以下指标：进泥量及其含固率、泥饼产量及含固率、滤液的流量及水质（SS、COD、TN、TP）、絮凝剂的投加量、冲洗次数及时间。

（3）投药溶解装置。

1）自动投药机（含药剂流量计）自动投药机如图9-38所示。

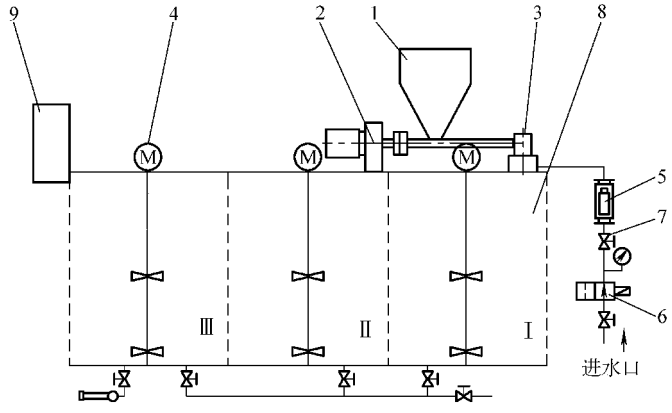


图9-38　自动投药机

1—粉末药剂储存罐　2—螺旋给料机　3—浸湿溶化器　4—搅拌器
5—流量计　6—电磁阀　7—流量调节阀　8—槽体　9—电控箱

工作原理：自动投药机由药粉储存罐1、螺旋给料机2、浸湿溶化器3、搅拌器4、流量计5、电磁阀6、流量调节阀7、槽体8及电控箱9组成。药粉储存罐1的药粉按照

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

设定的给料速度，先被螺旋给料机 2 送到浸湿溶化器 3 内湿化，然后落入溶解罐Ⅰ，溶液在溶解罐Ⅰ内被低速搅拌后，从底部经导流槽进入溶解罐Ⅱ上部；在溶解罐Ⅱ内被低速搅拌后被输送泵抽出。当液位到达上限时，进水配药暂停；当液位到达中位时，进水配药恢复进行；当液位到达下限时，系统会发出声光报警并自动停机。在最佳工作状态时，进水流量与输出溶液流量平衡，溶解罐内的液位高度基本恒定。

自动投药机主要参数见表 9-23。

表 9-23 自动投药机主要参数

型号	溶剂罐/L	溶解罐 /m^3	药剂投加速度 /(kg/h)	溶解能力① /(m^3/h)	电动机功率 /kW	重量/kg
	50	1.5	1.5 ~ 7.5	1.5	2 × 0.37	1 300
					0.25	
	100	3	3 ~ 1.5	3	2 × 0.37	1 900
					0.25	
	210	6.3	6.3 ~ 31.5	6.3	2 × 1.5	3 100
					0.25	

① 指溶解罐体积除以该种药剂所需的溶解时间。

自动投药机的优点是：用浸湿化合器使药剂不易结块；用螺旋给料机变频调速使溶液浓度得到控制；用液位传感器及可编程序控制器对投药、溶解全过程进行自动控制。

（4）污泥与药剂混合装置

1）螺旋式静态混合器：内置正反向多头螺旋间断叶片，使污泥与药剂不断被切割和碰撞，达到充分混合的目的。使用该装置，需要借助后置管道 10m 左右完成反应絮凝过程。螺旋式静态混合器如图 9-39 所示，主要参数见表 9-24，外型尺寸和安装尺寸见表 9-25。

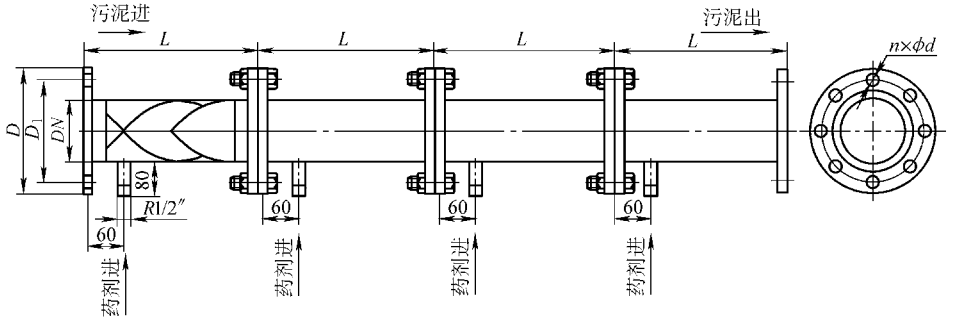


图 9-39 螺旋式静态混合器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-24　螺旋式静态混合器主要参数

型　　号	通径/mm	混合长度/mm	投药点数	流量/(m^3/h)
	DN50	500×4	4	3～10
	DN100	500×4	4	15～40
	DN150	500×4	4	35～90

表 9-25　螺旋式静态混合器外型尺寸和安装尺寸

型　　号	L_1	D_g	D_1	D	n	d_1
JT50×4	500	50	110	140	4	14
JT80×4	500	80	150	185	4	18
JT100×4	500	100	170	205	4	18
JT125×4	500	125	200	235	8	18
JT150×4	500	150	225	260	8	18

2）文丘里静态混合器：利用文丘里原理对污泥与药剂进行混合。使用该装置，需要借助后置管道 10m 左右完成反应絮凝过程。文丘里静态混合器如图 9-40 所示，主要参数见表 9-26，外型尺寸和安装尺寸见表 9-27。

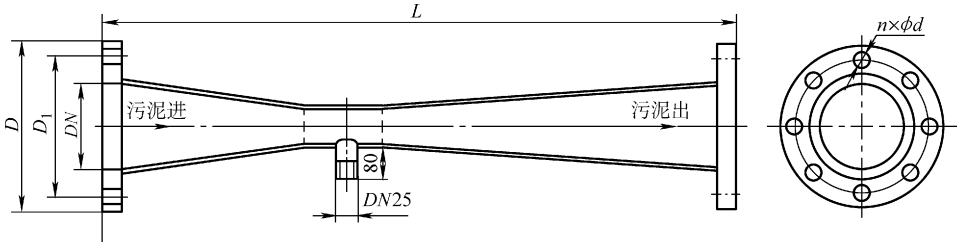


图 9-40　文丘里静态混合器

表 9-26　文丘里静态混合器主要参数

型　　号	规格($D\times d$)	投药点数	流量/(m^3/h)
WQ80	DN80×30	1	10～25
WQ125	DN125×50	1	25～60
WQ150	DN150×60	1	35～90

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-27 文丘里混合器外型尺寸和安装尺寸

型 号	L_1	D_g	D_1	D	d	n	d_1
WQ80	1 000	80	150	185	30	4	18
WQ125	1 000	125	200	235	50	8	18
WQ150	1 000	150	225	260	60	8	18

（5）污泥流量计 主要参数见表 9-28。

表 9-28 污泥流量计主要参数

规格	流量/(m^3/h)	压力/MPa	电极材料	内衬材料	前直管长/m	后直管长/m
DN40	13.5	0.3	316L	聚乙烯	5	3
DN50	21	0.3	316L	聚乙烯	5	3
DN65	36	0.3	316L	聚乙烯	5	3
DN80	55	0.3	316L	聚乙烯	5	3
DN100	85	0.3	316L	聚乙烯	5	3

（6）滤带清洗泵 滤带清洗泵主要参数见表 9-29。

表 9-29 滤带清洗泵主要参数

型 号	转速/rpm	流量/(m^3/h)	扬程/m	电机功率/kW	适用机型
IS50-32-200A	2 900	7 ~ 14	45.3 ~ 41.5	4	B = 1 000
IS65-40-200	2 900	15 ~ 30	53 ~ 47	7.5	B = 2 000
IS65-40-250	2 900	15 ~ 30	78 ~ 82	15	B = 3 000

带式压滤机的优点是连续作业，操作简便；缺点是需要有机分子混凝剂使污泥充分絮凝，以便能加强过滤段的自由脱水，脱水后泥饼含水率较高，且运行费用高。

六、污泥输送机械

无轴螺旋输送机如图 9-41 所示，主要参数见表 9-30，外型尺寸和安装尺寸见表 9-31。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

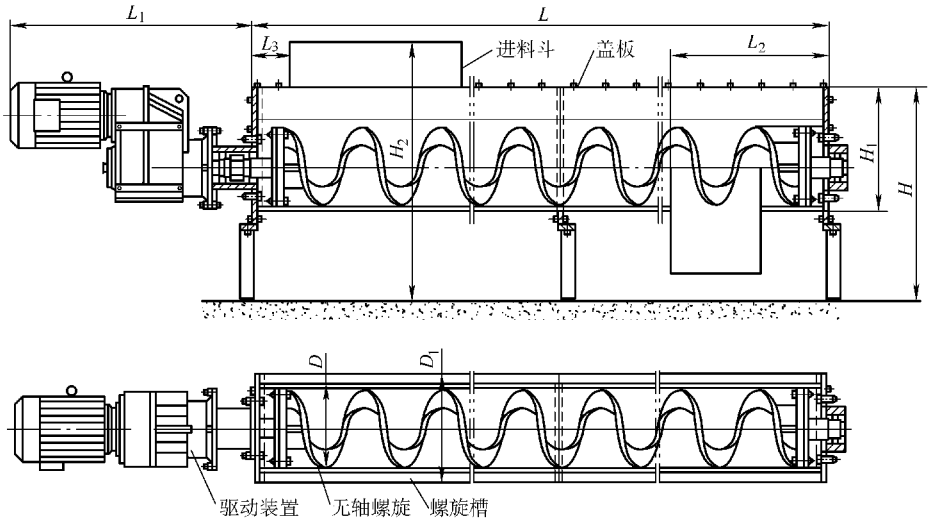


图 9-41　无轴螺旋输送机

表 9-30　无轴螺旋输送机主要参数

型　　号	螺旋直径/mm	螺旋转速/(rpm)	输送能力/(m^3/h)			电动机功率/kW
			0°	15°	30°	
WLS225	225	17	3	2.5	2.0	1.5
WLS250	250	17	4	3.5	3	1.5
WLS325	325	17	9	8	6	2.2
WLS350	350	17	11	10	8	2.2
WLS390	390	17	16	14	11	3
WLS480	480	17	30	26	21	4

材质：螺旋体采用耐磨钢，衬套采用 MC 尼龙，槽体、盖板和支架采用热镀锌钢。

表 9-31　无轴螺旋输送机外型尺寸和安装尺寸　　（单位：mm）

型号	D	H	H_1	H_2	L	L_1	L_2	L_3	D_1
WLS-225	225	由用户订货时确实	280	由用户订货时确实	由用户订货时确实	700	500	100	325
WLS-250	250		300			700	500	100	330
WLS-325	325		380			850	600	100	400
WLS-350	350		400			850	600	100	440
WLS-390	390		450			920	600	100	480
WLS-480	480		550			920	600	100	580

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

胶带输送机主要参数见表 9-32。

表 9-32 胶带输送机主要参数

胶带宽 B/mm	输送量 Q/(m^3/h)	胶带速度/(m/min)
500	10	30
650	15	30
800	20	30

七、气动储泥斗

气动储泥斗如图 9-42 所示。

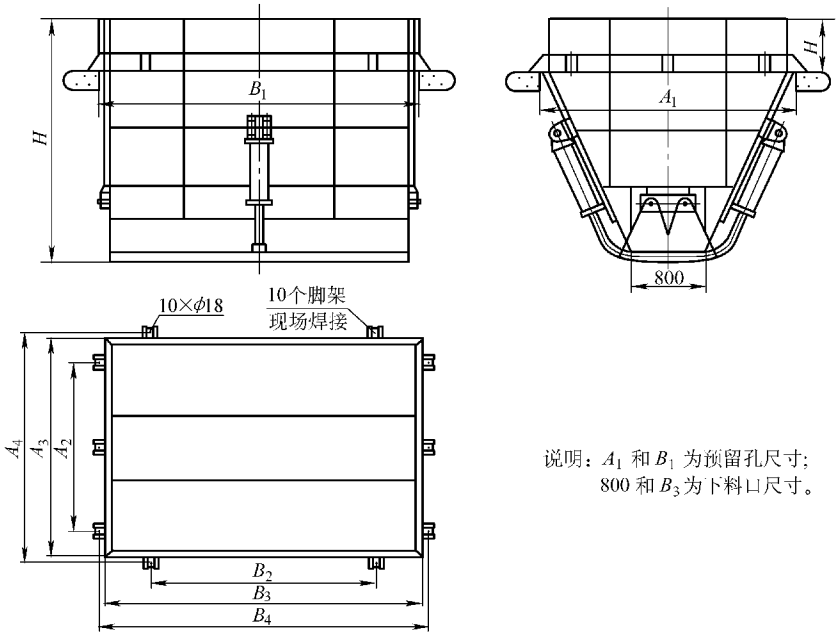


图 9-42 气动储泥斗

气动储泥斗主要参数见表 9-33。

表 9-33 气动储泥斗主要参数

型 号	容积/m^3	压缩空气/MPa	静重/kg
NDQ6	6	0.8	1 800
NDQ8	8	0.8	2 600
NDQ10	10	0.8	3 400
NDQ12	12	0.8	5 000
NDQ14	14	0.8	6 600

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

材质：碳钢防腐。

外型尺寸和安装尺寸见表9-34。

表9-34　气动储泥斗外型尺寸和安装尺寸

型号	*A*1	*A*2	*A*3	*A*4	*B*1	*B*2	*B*3	*B*4	*H*	*h*
NDQ-6	2 600	2 000	2 560	2 710	2 000	1 200	1 960	2 110	2 150	210
NDQ-8	2 600	2 000	2 560	2 710	2 500	1 500	2 460	2 610	2 400	210
NDQ-10	2 600	2 000	2 560	2 710	3 140	1 800	3 100	3 250	2 400	210
NDQ-12	2 640	2 000	2 600	2 750	3 340	2 340	3 300	3 450	2 400	600
NDQ-14	2 640	2 000	2 600	2 750	3 840	2 340	3 300	3 450	2 400	600

八、曝气

1. *好氧法生物处理*　有机物的降解与有机体的合成都需要氧的参与，微生物、有机物与氧要充分接触，通过曝气可以实现充氧与混合两个目的。由于水溶解氧的能力有限，同时混合液污泥浓度大，氧在液相中扩散阻力大，所供给的氧不能完全为水所吸收，常用的鼓风曝气的氧利用率为5%～10%。理论上，每去除1kg BOD需消耗1kg O_2，即相当于标准状态下3.5m^3空气，则每去除1kg BOD需供给空气35～70m^3。

曝气方式可分为两种，鼓风曝气与机械曝气。

（1）鼓风曝气。鼓风曝气就是利用鼓风机和扩散器，向曝气池充入一定压力的空气，气压要足以克服管道系统阻力、扩散器阻力及扩散器上部的静水压。扩散器是曝气系统关键的部件，其作用是将空气分散成空气泡，增大气液接触面积，将空气中的氧溶解在水中。曝气效率取决于气泡大小、水的亏氧量、气液接触时间、气泡的压力等因素。常用的扩散器有以下几种：

1）小气泡扩散器。由微孔材料制成的扩散板或扩散管，气泡直径可以达到1.5mm以下。

2）中气泡扩散器。穿孔管孔眼直径为3～5mm，孔口朝下，与垂直面成45°夹角，孔距为10～15mm，孔口流速不小于10m/s。国外用尼纶、涤纶线缠绕穿孔管以分散气泡。

3）大气泡扩散器。主要结构为竖管，直径为15mm左右，分倒盆式与圆盘式。倒盆式扩散器由塑料及橡皮板组成，空气从橡皮板四周喷出，旋转上升，气泡直径为2mm左右，阻力大，效率为2.6kg O_2/kW·h；圆盘式扩散器由聚氯乙烯圆盘片、不锈钢弹性压盖与喷头连接而成。通气时圆盘片向上顶起，空气从盘片与喷头间喷出，供气中断时，扩散器上的静水压头使盘片关闭。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）射流扩散器。用泵打入混合液，在射流器的喉管处形成高速射流，与吸入或压入的空气强烈搅拌，将气泡粉碎为100μm左右，使氧迅速转移至混合液。

5）固定螺旋扩散器。由直径为300mm或400mm、高1500mm的圆筒组成，内部装有按180°扭曲的固定螺旋元件5～6个，相邻两个元件的螺旋方向相反，一个顺时针旋转，另一个逆时针旋转，空气由底部进入曝气筒，形成气水混合液在筒内反复与器壁及螺旋板碰撞、分割、迂回上升。由于空气喷出口径大，故不会堵塞。

（2）机械曝气。机械曝气大多以装在曝气池表面的叶轮快速转动，进行表层充氧。按轴的方向不同，机械曝气装置分为竖式和卧式两类，常用的有平板叶轮、倒伞型叶轮和泵型叶轮，见图9-43。

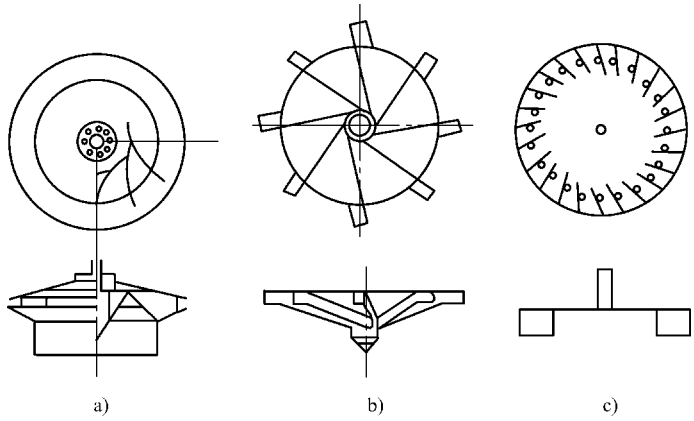


图9-43 各类空气扩散器

a）泵型 b）倒伞形 c）平板型

表面曝气叶轮工作时，由于叶轮的提升和输水作用，使曝气池内的液体不断循环流动，更新气液接触面，不断从大气中吸氧。叶轮旋转时，在周边形成水跃，使液面剧烈搅动，从大气中将氧卷入水中，同时，叶轮中心及叶片背水侧出现负压，通过小孔可以吸入空气。此外，曝气叶轮也具有足够的提升能力，一方面保证液面更新，同时也使气体和液体获得充分混合，防止池内活性污泥沉积。

实测表明，泵形叶轮的提升能力和充氧能力比相同直径的平板叶轮大，倒伞型叶轮的动力效率较平板叶轮高，但充氧能力差。

曝气叶轮的充氧能力和提升能力同叶轮浸没深度、叶轮的转速等因素有关。一般生产上曝气叶轮转速为30～100r/min，叶轮周边线速度为2～5m/s。叶轮的浸没深度按上顶平板面在静止水面下的深度计，一般在40mm左右（可调）。

各类曝气设备性能见表9-35。

标准状态指用清水做曝气试验，水温为20℃，大气压力为1.013×10^5Pa，初始水中溶解氧为0的状态。现场实验用的是废水，水温为15℃，海拔150m，水中溶解氧保持2mg/L。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机械曝气常用于曝气池较小的场合，可减少动力消耗，维护管理也较方便。鼓风曝气供应空气的伸缩性较大，曝气效果也较好，一般用于较大的曝气池。

表 9-35　各类曝气设备性能

曝气设备	氧吸收率（%）	动力效率（$kgO_2/kW\cdot h$）		曝气设备	氧吸收率（%）	动力效率（$kgO_2/kW\cdot h$）	
		标　准	现　场			标　准	现　场
小气泡扩散器		1.0～2.0	0.7～1.4	低速表面曝气机	4～8	1.2～2.7	0.7～1.3
中气泡扩散器		1.0～1.6	0.6～1.0	高速浮筒曝气机	10～25	1.2～2.4	0.7～1.3
大气泡扩散器	10～30	0.6～1.2	0.3～0.9	转刷式曝气机		1.2～2.4	0.7～1.3
射流扩散器	6～15	1.5～2.4	0.7～1.4				

2. 曝气池设计　曝气池按水力特征可分为推流式和完全混合式。

（1）推流式曝气池。长宽比一般为5～10，受场地限制时，长池可以折流，废水从一端进，另一端出，进水方式不限，出水多用溢流堰，一般采用鼓风曝气扩散器。池宽和有效水深之比一般为1～2，有效水深最小为3m，最大为9m，超高0.5m。根据横断面上的水流情况，又可分为平推流和旋转推流。在平推流曝气池底铺满扩散器，池中水流只能沿池长方向流动。在旋转推流曝气池中，扩散器装于横断面的一侧，由于气泡形成的密度差，池水产生旋流，即除沿池长方向流动外，还有侧向流动。为了保证池内有良好的旋转运动，池两侧墙脚都宜建成外凸45°的斜面。根据扩散器在竖向上的位置不同，又可分为底层曝气、中层曝气和浅层曝气。采用底层曝气的池深取决于鼓风机能提供的风压，根据目前的产品规格，有效水深常为3～4.5m。采用中层曝气将扩散器装于池的中部，与底层曝气相比，在相同的鼓风条件和处理效果时，池深一般可加大到7～8m，最大可达9m，从而节约了曝气池的用地。中层曝气的扩散器也可设于池的中央，形成两个侧流，这种池型可采用较大的宽深比，适于大型曝气池。采用浅层曝气时，扩散器装于水面以下0.8～0.9m处，常采用1.2m以下风压的鼓风机，虽然风压小，但风量大，故仍能形成足够的密度差，产生旋转推流。池的有效深度一般为3～4m。

（2）完全混合曝气池。完全混合曝气池平面可以是圆形、方形或矩形。曝气设备可采用面曝气机，置于池的表层中心，废水从池底中部进入，废水一进入池内，即在表面曝气机的搅拌下，立即在全池中混合均匀，不向推流式那样上下段有明显的区别。

曝气池的设计计算根据经验，有负荷法和泥龄法。

第三节　管　　道

管道由管子、管件、阀门及管架、管卡、管撑等组成，工程上已实现了标准化。

一、管材

管道，有金属管和非金属管。非金属管有塑料管，如硬聚氯乙烯管（UPVC）、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

聚丙烯管（PP）、聚乙烯管（PE）、工程塑料管（ABS），比金属管子轻得多，安装方便、具有一定的机械强度，能承受一定的拉力和压力，耐热性差，具有绝缘性、热塑性，适用于焊接，具有较大的线膨胀性，耐腐蚀性能好，不易被氧化，除某些强酸外（硝酸），几乎不与任何酸、碱、盐溶液发生反应，对大多数有机溶剂也不溶解。

1. 高密度聚乙烯管材（HDPE） 高密度聚乙烯又称低压聚乙烯，国标代号为GB/T 13663—92。该管材无毒，可用于输送45℃以下的生活饮用水，不适合粘接。

2. 聚丙烯管材 该管材以聚丙烯为主要原料挤出成型，标准代号为QB 1929—93，最大连续工作压力分为0.25MPa、0.4MPa、0.6MPa、1.0MPa、1.6MPa和2.0MPa六个等级，公称直径为外径，用做95℃以下的给水管材，适合热熔、电热熔接口、粘接和胶圈接口。水温为20℃时，给水用聚丙烯管材规格见表9-36。

表9-36 给水用聚丙烯管材规格 （单位：mm）

公称外径	外径偏差	公称压力等级/MPa					
		0.25	0.4	0.6	1.0	1.6	2.0
16	+0.3	—	—	—	$1.8^{+0.4}$	$2.2^{+0.5}$	$2.7^{+0.5}$
20	+0.3	—	—	$1.8^{+0.4}$	$1.9^{+0.4}$	$2.8^{+0.5}$	$3.4^{+0.6}$
25	+0.3	—	—	$1.8^{+0.4}$	$2.3^{+0.5}$	$3.5^{+0.6}$	$4.2^{+0.7}$
32	+0.3	—	—	$1.9^{+0.4}$	$2.9^{+0.5}$	$4.4^{+0.7}$	$5.4^{+0.8}$
40	+0.4	—	$1.8^{+0.4}$	$2.4^{+0.5}$	$3.7^{+0.6}$	$5.5^{+0.8}$	$6.7^{+0.9}$
50	+0.5	$1.8^{+0.4}$	$2.0^{+0.4}$	$3.0^{+0.5}$	$4.6^{+0.7}$	$6.9^{+0.9}$	$8.3^{+1.1}$
63	+0.6	$1.8^{+0.4}$	$2.4^{+0.5}$	$3.8^{+0.6}$	$5.8^{+0.8}$	$8.6^{+1.1}$	$10.5^{+1.3}$
75	+0.7	$1.9^{+0.4}$	$2.9^{+0.5}$	$4.5^{+0.7}$	$6.8^{+0.9}$	$10.3^{+1.3}$	$12.5^{+1.5}$
90	+0.9	$2.2^{+0.5}$	$3.5^{+0.6}$	$5.4^{+0.8}$	$8.2^{+1.1}$	$12.3^{+1.5}$	$15^{+1.7}$
110	+1.0	$2.7^{+0.5}$	$4.2^{+0.7}$	$6.6^{+0.9}$	$10.0^{+1.2}$	$15.1^{+1.8}$	$18.3^{+2.1}$
125	+1.2	$3.1^{+0.6}$	$4.8^{+0.7}$	$7.4^{+1.0}$	$11.4^{+1.4}$	$17.1^{+2.0}$	$20.8^{+2.3}$
140	+1.3	$3.5^{+0.6}$	$5.4^{+0.8}$	$8.3^{+1.1}$	$12.7^{+1.5}$	$19.2^{+2.2}$	$23.3^{+2.5}$
160	+1.5	$4.0^{+0.6}$	$6.2^{+0.9}$	$9.5^{+1.2}$	$14.6^{+1.7}$	$21.9^{+2.4}$	$26.6^{+2.9}$
180	+1.7	$4.4^{+0.7}$	$6.9^{+0.9}$	$10.7^{+1.3}$	$16.4^{+1.9}$	$24.6^{+2.7}$	$29.9^{+3.2}$
200	+1.8	$4.9^{+0.7}$	$7.7^{+1.0}$	$11.9^{+1.4}$	$18.2^{+2.1}$	$27.3^{+3.0}$	
225	+2.1	$5.5^{+0.8}$	$8.6^{+1.1}$	$13.4^{+1.6}$	$20.5^{+2.3}$		
250	+2.3	$6.2^{+0.9}$	$9.6^{+1.2}$	$14.8^{+1.7}$	$22.7^{+2.5}$		
280	+2.6	$6.9^{+0.9}$	$10.7^{+1.3}$	$16.6^{+1.9}$	$25.4^{+2.8}$		
315	+2.9	$7.7^{+1.0}$	$12.1^{+1.5}$	$18.7^{+2.1}$	$28.6^{+3.1}$		
355	+3.2	$8.7^{+1.1}$	$13.6^{+1.6}$	$21.1^{+2.4}$			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

公称外径	外径偏差	公称压力等级/MPa					
		0.25	0.4	0.6	1.0	1.6	2.0
400	+3.6	$9.8^{+1.7}$	$15.3^{+2.5}$	$23.7^{+3.8}$			
450	+4.1	$11.0^{+1.9}$	$17.2^{+2.8}$	$26.7^{+4.3}$			
500	+4.5	$12.3^{+2.1}$	$19.1^{+3.1}$	$29.6^{+4.7}$			
560	+5.1	$13.7^{+2.3}$	$21.4^{+3.4}$				
630	+5.7	$15.4^{+2.6}$	$24.1^{+3.9}$				

3. 硬聚氯乙烯管材（PVC-U）　硬聚氯乙烯管材国标代号为 GB/T 1002.1—1996，输送水温不得超过45℃，输送饮用水的管材不得使水产生气味、颜色，能保证水质长期符合卫生标准。管道公称压力分五个等级：0.6MPa、0.8MPa、1.0MPa、1.25MPa 和 1.6MPa。公称压力是指管材在20℃条件下输送水的工作压力，如水温升高，其压力下降。

（1）硬聚氯乙烯管的优点如下：

①内壁光滑，摩擦阻力小。

②耐腐蚀，可耐强酸和强碱。

③配件齐全，符合 GB10002.2—88《给水用硬聚氯乙烯管件》，可满足各种设计及安装要求。

④相对质量仅为金属管材的五分之一，易于运输和操作。

⑤采用溶剂、胶圈连接，安装方便。

⑥不受真菌和细菌的侵蚀。

⑦无需定期保养。

⑧价格低廉。

⑨可根据用户要求，提供各种颜色，如灰色、蓝色、白色、粉红色等。

（2）硬聚氯乙烯管的应用范围如下：

①建筑给水系统。

②饮用水系统。

③工业、生活污废水处理系统。

④农业灌溉、园林绿化给水系统。

⑤游泳池、喷泉等水景给水系统。

⑥化工输送物料系统。

⑦空调冷水、回水系统。

⑧海水输送系统。

塑料管的公称直径为外径尺寸，公称直径32mm以内的对管子的弯曲度不做规定；公称直径40～200mm，弯曲度≤1.0%；公称直径≥225mm，弯曲度≤0.5%。输水温度

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

为20℃时，在不同压力下该种管材的规格见表9-37。硬聚氯乙烯管道的连接通常采用焊接、承插口溶剂粘接和密封胶圈连接。承插口尺寸见表9-38。

表9-37 硬聚氯乙烯管材规格 （单位：mm）

公称直径（外径de）	公称压力(PN)				
	0.6MPa	0.8MPa	1.0MPa	1.25MPa	1.6MPa
	壁厚δ				
20	—	2.0	2.0	2.0	2.0
25	—	2.0	2.0	2.0	2.0
32	—	2.0	2.0	2.0	2.4
40	—	2.0	2.0	2.4	3.0
50	—	2.0	2.4	3.0	3.7
63	2.0	2.5	3.0	3.8	4.7
75	2.2	2.9	3.6	4.5	5.6
90	2.7	3.5	4.3	5.5	6.7
110	3.2	3.9	4.8	5.7	7.2
125	3.7	4.4	5.4	6.0	7.4
140	4.1	4.9	6.1	6.7	8.3
160	4.7	5.6	7.0	7.7	9.5
180	5.3	6.3	7.8	8.6	10.7
200	5.9	7.3	8.7	9.6	11.9
225	6.6	7.9	9.8	10.8	13.4
250	7.3	8.8	11.9	11.9	14.8
280	8.2	9.8	12.2	13.4	16.6
315	9.2	11.0	13.7	15.0	18.7
335	9.4	12.5	14.8	16.9	21.1
400	10.6	14.0	15.3	19.1	23.7
450	12.0	15.8	17.2	21.5	26.7
500	13.3	16.8	19.1	23.9	—
560	14.9	17.2	21.4	26.7	—
630	16.7	19.3	24.1	30.0	—
710	18.9	22.0	27.2	—	—
800	21.2	24.8	30.6	—	—
900	23.9	27.9	—	—	—
1000	26.9	31.0	—	—	—

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-38　硬聚氯乙烯管承插口尺寸　（单位：mm）

公称直径(DN)	胶圈密封式承口深度	溶剂粘接式承口深度	溶剂粘接式承口中部平均内径	
			最　小	最　大
20	—	16.0	20.1	20.3
25	—	18.5	25.1	25.3
32	—	22.0	32.1	32.3
40	—	26.0	40.1	40.3
50	—	31.0	50.1	50.3
63	64	37.5	63.1	63.3
75	67	43.5	75.1	75.3
90	70	51.0	90.1	90.3
110	75	61.0	110.1	110.4
125	78	68.5	125.1	125.4
140	81	76.0	140.2	140.4
160	86	86.0	160.2	160.5
180	90	96.0	180.3	180.6
200	94	106.0	200.3	200.6
225	100	118.5	225.3	225.6
250	105	—	—	—
280	112	—	—	—
315	118	—	—	—
355	124	—	—	—
400	130	—	—	—
450	138	—	—	—
500	145	—	—	—
560	154	—	—	—
630	165	—	—	—

二、管件

管件是用来连接管子、改变管路方向或直径、接出支路的管道附件总称，如图 9-44 所示。

三、管道的安装与布置

1. 施工前的准备工作

（1）应依据施工图纸、产品说明书及施工规范等编制施工方案和技术交底。

（2）操作人员第一次操作时，要经过技术培训。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）管材、管件应有产品说明书、合格证以及检测证明等文件，证明该产品无毒。

（4）管材应水平堆放在平整的地平上。

（5）应准备有加工操作的场所。

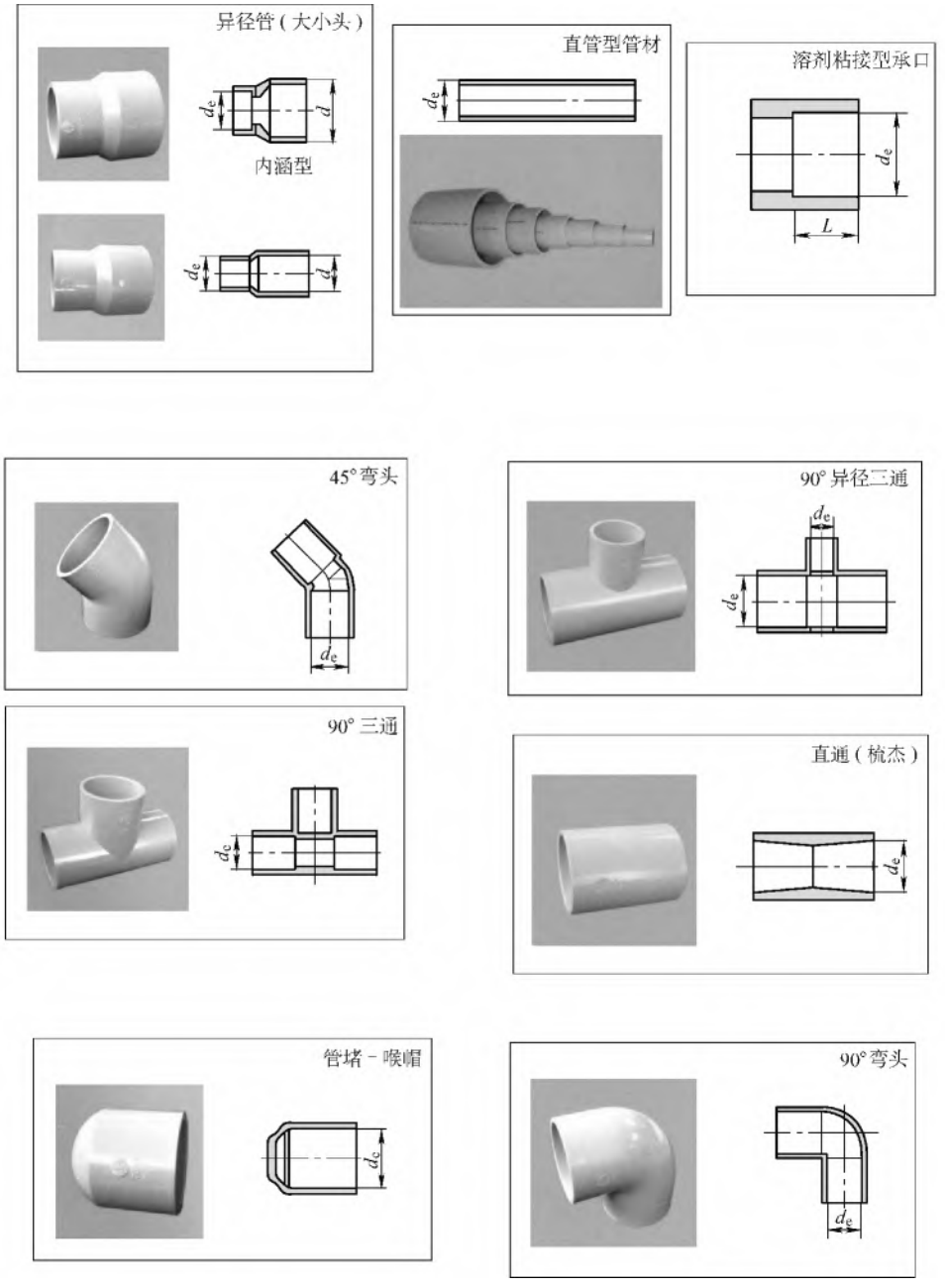


图 9-44 管件

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 管材、管件的质量标准

（1）管材、管件的内外壁表面应光滑平整，无气泡、裂纹、裂口、脱皮和明显痕纹、凹陷，色泽基本一致，有醒目的压力等级标志。

（2）管材规格是公称外径×壁厚，其材质符合设计要求，管件的承插口尺寸见表9-38，承插口壁厚不应小于同规格管材的壁厚。管件材质必须与管材相同。

3. 安装与布置　主要考虑安装、检修、操作的方便和安全，同时必须尽可能减少基建费，并根据运行特点、设备布置、建筑结构、物料特性及整齐美观等方面，进行综合考虑。管道的安装与布置一般原则如下：

（1）布置管道时，应对车间所有管道，包括电缆、照明、仪表、上下水、气、进料、出料等管道，全面规划，各就其位。

（2）尽可能走明线，便于安装和检修。

（3）各种管线应平行铺设，以便于共用管架；要尽量走直线，少拐弯，少交叉，以节约管材，减少阻力，力求整齐美观。

（4）为了便于操作、安装和检修，并列管道上的管件和阀门位置应错开安装。

（5）在车间内，管道应尽可能沿厂房墙壁安装，管架可以固定在墙上，或沿天花板或平台安装；露天的生产装置，管路可沿柱架或吊架安装。管与管、管与墙壁之间的距离，以能容纳活接或法兰以及便于进行检修为宜，具体尺寸见表9-39。

表9-39　管道与构筑物距离　　（单位：mm）

管　　径	25	50	75	100	125	150	200
管中心离墙距离	120	150	170	190	210	230	270

PVC-U管道最大支承间距的规定见表9-40。

表9-40　PVC-U管道最大支承间距（1.6MPa）　　（单位：mm）

外　　径	20	25	32	40	50	63	75	90	110
水平管	500	550	650	800	950	1 100	1 200	1 350	1 550
立管	900	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800	2 000	2 200	2 400

（6）管道应集中铺设，当穿过墙壁或楼板时，墙壁、楼板上应预留孔，管外最好加套管，套管与管子间的环隙充满填料。

（7）管道离地的高度，以便于检修为准。过人行道，不得小于2m；过公路，不得小于4.5m；过铁路不得小于6m；过工厂主要干线，一般为5m。

（8）长管道要有支撑，以免弯曲存液及振动，管道的倾斜度，对于气体和易流动的液体为3/1 000～5/1 000，对含固体结晶或颗粒较大的确良物料为1%或大于1%。

（9）地面管道应铺设在专用地沟里，地沟保持干燥。

（10）平行管道的排列应考虑管路相互影响。垂直排列时，高压管道在上，低压管

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

道在下；无腐蚀的在上，有腐蚀的在下；低压管道在外，高压管道靠近墙柱；检修频繁的在外，不常检修的靠墙柱；重量大的要靠管加支柱或墙。

4. *管道连接方法* 硬聚氯乙烯管可以采用橡胶圈接口、粘接接口、法兰联接及螺纹联接形式，最常用的是橡胶圈和粘接连接。橡胶圈接口适合于管外径为 63 ~ 400mm 的管道连接，粘接接口适用于管外径为 20 ~ 315mm 的管道连接，法兰连接及螺纹联接一般适用于硬聚氯乙烯管与钢、铜等金属管材阀件等的连接。

（1）橡胶圈连接方法。

1）橡胶圈连接所需工具见表 9-41。

表 9-41 橡胶圈连接所需工具

作 业 内 容	所 需 工 具
锯管及坡口	细齿锯或割管机,倒角器,中号板锉,万能笔、尺,中号砂布
清理工作面	干布
涂润滑剂	毛笔、润滑剂
连接	手动葫芦或拉力器、绳
安装检查	塞尺

2）插入端倒角 15° ~ 20°，坡口厚度约为管壁厚度的 1/3 ~ 1/2，将残渣清除干净，划出插入长度标线，插入长度应使管接头承口预留 5 ~ 10mm。承插口长度符合表 9-38 的规定。切断管材时，应保证断口平整且垂直管轴线。

3）承插口内橡胶圈及插口端工作面需擦干净，若过于粗糙，应用砂布打磨。

4）用毛刷将润滑剂均匀地涂在橡胶圈外表面和承插口内表面上，可用洗洁精、肥皂水等 V 型脂肪酸盐类物质，禁止用黄油和其他油类作润滑剂。

5）将管道插口对准承插口，平直插入，用手动葫芦一次插入至标线。若阻力过大，切勿强行插入，以防橡胶圈变形。

6）用塞尺顺承插口间隙插入，沿管周检查橡胶圈的安装是否合适。

（2）粘接连接。

1）粘接连接所需工具见表 9-42。

表 9-42 粘接连接所需工具

作 业 内 容	所 需 工 具
锯管及坡口	细齿锯或割管机,倒角器,中号板锉,万能笔、尺,中号砂布
清理工作面	干布、丙酮、清洗剂
粘接	适当宽度的毛刷、溶接剂、敞口容器(中大口径管道连接时用)

2）程序如下：平整切管和坡口——清理干净承插队面——试插队及标线——涂承插口——涂插口——套接及保持特定时间——抹余胶。溶接剂标准用量见表 9-43，粘接接合最少保持时间见表 9-44。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 9-43　溶接剂标准用量

公称外径/mm	溶接剂标准用量/(g/个)	公称外径/mm	溶接剂标准用量/(g/个)
20	0.40	75	4.10
25	0.58	90	5.73
32	0.88	110	8.43
40	1.31	125	10.75
50	1.94	140	13.37
63	2.97	160	17.28

注：包括插口和承插口的用量，按表面积 200g/m^2 的用量计算。

表 9-44　粘接接合最少保持时间

公称外径/mm	保持时间/s
63 以下	>30
63～160 以上	>60

（3）溶接剂质量要求如下：

1）溶接剂应呈自由流动状态，不得为凝胶体，在未搅拌的情况下，不得有分层和析出物现象，不宜稀释。

2）溶接剂不得有团块、不溶颗粒。

3）溶接剂不得含有毒物质及利于微生物生长的物质，不得对饮用水的味道及水质有任何影响。

（4）溶接剂使用时应注意以下几点：

1）使用的溶接剂不合格，呈糊状，表明 THF 溶接物质已挥发。

2）不可只涂承口或插口，应使两面涂胶层均有足够的厚度且均匀。

3）毛刷宽度应为管径的 1/3～1/2，以避免“干沾”。

4）避免承口与插口配合不佳，空隙大，或者未标线而连接不到位，令粘接只有粘合面，而无溶合面。

5）溶接剂涂抹后暴露在空气中的时间过长，而应确保粘接时粘接面湿润并溶解软化。

6）环境温度高于 43℃，应在阴凉处粘接，或用湿布降温，并等干燥后粘接。

7）管道连接后，要在 24h 后再通水试压。

（5）法兰连接。连接时，先将硬聚氯乙烯管与法兰承插口粘接，再上垫圈与金属法兰均匀拧紧。法兰连接也可作为种种不同制式管道的转接配件。

5. 注意事项

（1）非直埋管道应考虑因温度变化引起管道产生伸缩，可用自然补偿，即利用转弯管段的悬臂位移，吸收管道自固定点起至转弯处的伸缩变形量。该转弯管段称作自由臂如图 9-45 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

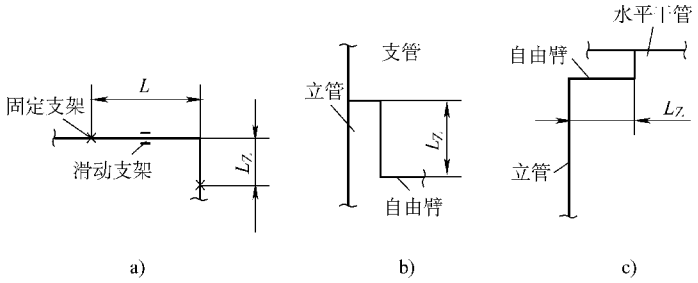


图 9-45 利用套管、自由臂补偿管道伸缩

$$L_Z = 30(\Delta L \times D_e)^{1/2}$$

$$\Delta L = \Delta t \times L_\alpha$$

$$\Delta t = 0.65\Delta t_s + 0.10\Delta t_g$$

式中 L_Z——自由臂长度（m）；

ΔL——管道伸缩量（mm）；

D_e——公称直径外径（mm）；

Δt——计算温差（℃）；

L——管道长度（m），不设固定支架时，直线长度不可超过3m；

α——线膨胀系数，对聚丙烯管道为0.16mm/（m·℃）；

Δt_s——管道内水的最大变化温差（℃）；

Δt_g——管道外水的最大变化温差，℃。

（2）采用伸缩补偿配件——软接头、波纹管、“U”形伸缩器，伸缩器应处于自然状态，伸缩器两端的管道应设活动支撑，并通过计算后，确定合适的距离设置固定支撑。

（3）管道过墙时，要配合土建预留孔，内表面要平整。如在土建装修前进行时，必须保护好已装好的管道。

（4）在管道安装过程中，不可有强制校正、扭曲等较劲现象。

6. 管道常见故障及处理 管道常见故障及处理方法见表9-45。

表 9-45 管道常见故障及处理方法

序号	故 障	原 因	处 理 方 法
1	管堵塞	流体有杂质	用管道疏通器,更换管子,拆卸检查
2	泄漏	粘接不牢 裂纹	重新粘接 换管
3	爆管	压力大,管质量差	换管
4	法兰泄漏	密封垫损坏	清理密封面,更换垫片
5	管振动	流体脉动	加强固定
6	塑料阀泄漏	密封面划伤 压盖填料不良	AB胶修补,更换阀门 紧固填料

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四、阀门

阀门在管路中起着接通或截断介质，防止介质倒流、调节介质压力参数，分离、混合或分配介质，防止介质超压等作用。阀门分类方法很多，按功能分，有截止阀、止回阀、流量控制阀、安全阀等；按结构分，有闸阀、蝶阀、球阀、角阀等。阀门的启闭机构也种类繁多，有手动、电动、气动、电磁驱动和液压驱动等。

本书主要介绍废水厂常用的蝶阀、闸阀和止回阀。

1. 蝶阀　蝶阀是废水厂使用最多的一种阀门，其最大直径可超过2m。它的流通介质有废水、污水、清水、活污泥、曝气低压气体等。蝶阀由阀体、蝶板及启闭机构组成，如图9-46所示。

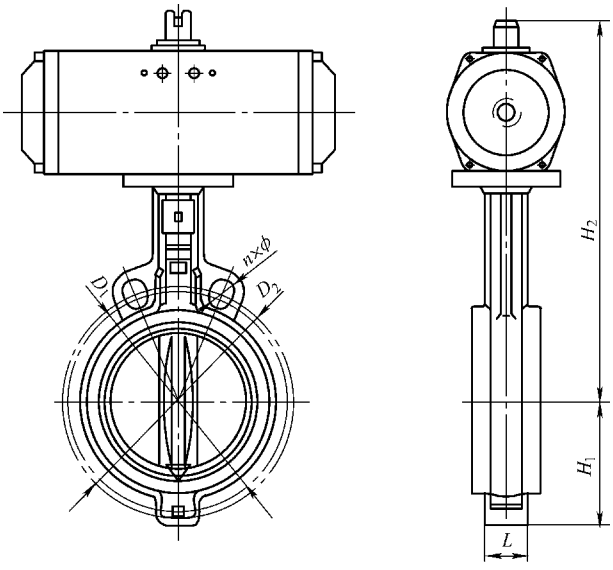


图9-46　蝶阀

阀体一般由铸铁、不锈钢或工程塑料制成，它与管道的连接方式大部分为法兰盘。阀体内衬的主要作用是实现阀体与蝶板的密封，避免介质与阀体接触。内衬多使用橡胶材料或者尼龙材料制成。蝶板的运动方式为转动，最大的转动角度为90°。蝶板的材料有的是不锈钢，有的是工程塑料，也有的是碳钢加防腐剂。蝶板的中心轴固定于阀体的上下两个滑动轴承上。小型蝶阀启闭直接用手柄转动，大一些的要借助于蜗轮减速增力。电动蝶阀的启闭机构由驱动电动机、减速机构、开度指示器及电器保护系统组成。启闭机构与阀体之间用填料或橡胶密封，以防介质泄漏。

蝶阀的优点是与其通径相比，成本低，密封性好；缺点是阀门打开后，蝶板仍横在流通管道的中心，对介质的流动产生阻力，介质中的杂质会在蝶板上造成缠绕，因故介质中含渣较多的管道应避免使用蝶阀。如果蝶板附近有较多泥沙淤积，会阻碍蝶板再次开启。

2. 闸阀　闸阀的流通直径一般为50～1000mm，最大工作压力可达2～4MPa。它的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

流通介质有废水、污水、清水、污泥、浮渣、油和气等。闸阀的特点是当阀门全开时，通道完全无障碍，不会发生缠绕，故特别适于在含大量杂质的污水、污泥管道中使用。闸阀结构如图 9-47 所示。

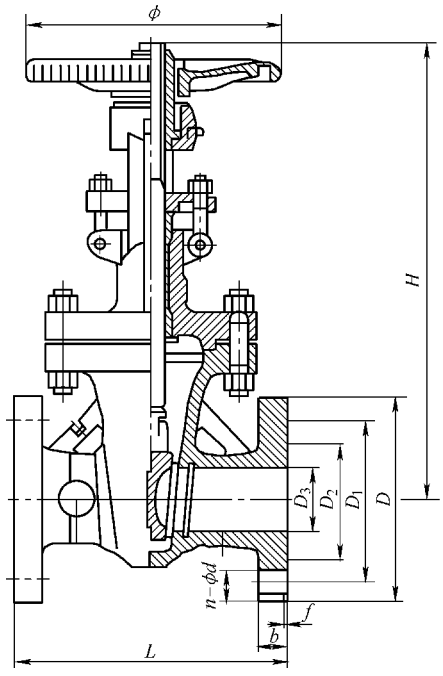


图 9-47　闸阀

闸阀由阀体、闸板、密封件和启闭装置组成。闸板启闭方式为往复运动，为了防止泄漏，闸板的两个平面都必须与阀体形成良好的密封，因此为了防止阀体与闸板接触的插缝里淤积的杂质影响密封，闸板下部的弧形面大都做成楔形或者疏齿形。闸阀的启闭装置与闸门相似，也有明杆和暗杆、手动与电动或液压之分。闸阀的缺点是密封面太长，易于泄露，运动阻力大、体积大，密封槽易堆积杂质等。

3. 止回阀　当几台泵并联时，为了能使泵既可同时运行，也可独立运行，就要防止介质的倒流，一般在每一台污水泵的出口安装一个止回阀。

止回阀是一种阻止介质逆流的阀门，其开闭一般不需要外力作用，而靠进口端的介质自身的流动来冲开阀瓣形成通路。当管网工作异常，介质顺流中断或产生逆流时，阀瓣在自重或逆流的作用下马上自动关闭。

止回阀一般分为旋启式、升降式、缓闭式等多种结构形式，其密封要求一般为全面密封，常用形式为旋启式和缓闭式。旋启式止回阀，根据管径大小分为单瓣和多瓣。管径 DN700 以上，宜采用多瓣式。多瓣式止回阀在结构上采用了分流原理，以保证流通面积，减少了单片阀瓣的撞击与流阻。缓闭式止回阀在中小型泵站经常使用，用来消除管道内的水锤现象，保护泵和管道。其工作原理为：停泵时，阀门分两个阶段关闭，第

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一阶段在停泵后借阀板重力关闭大部分，尚留小部分开启，使形成正压水锤的回冲力通过，经吸水管回流，以减少水锤的正向压力，同时由于阀板开启度小，因而防止了输出水管的水或泥大量回流和潜污泵叶轮倒转加速；第二阶段将剩余部分缓慢关闭，以免发生过快关闭的水锤冲击。止回阀常见的三种类型如图 9-48 所示。

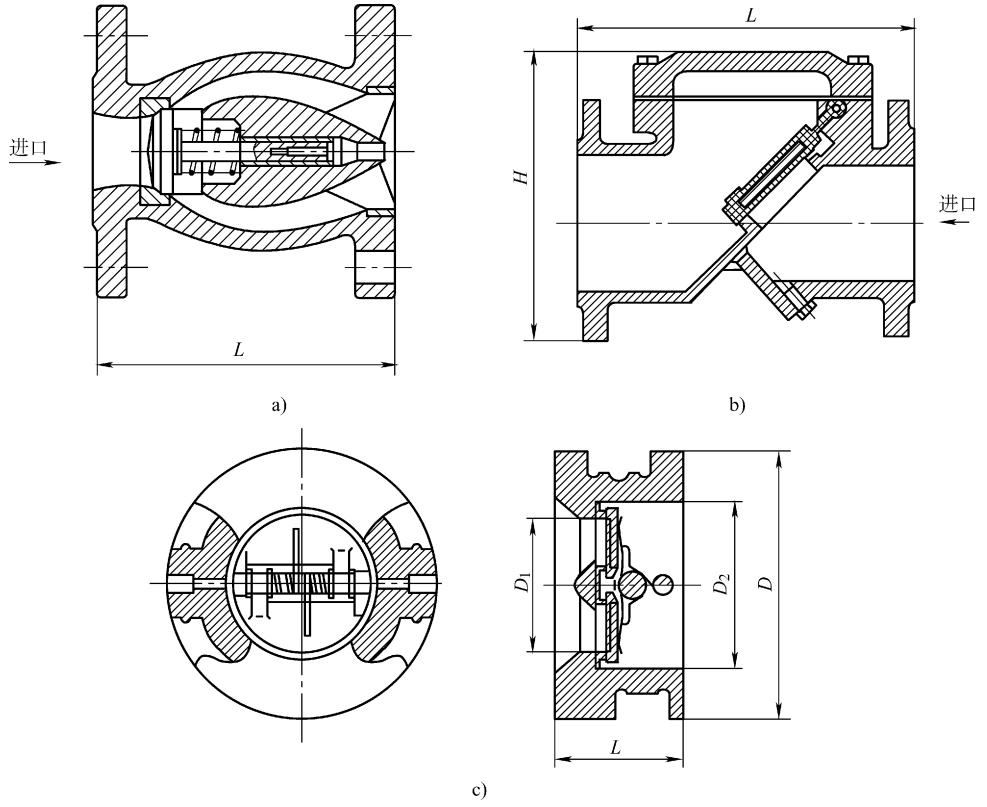


图 9-48　止回阀

第四节　仪表及控制

电镀废水处理涉及的仪表有 pH 值检测仪表、电导率检测仪表、溶解氧检测仪表、总镍在线监测仪、六价铬检测仪表、正磷酸盐测量仪、化学需氧量（COD）检测仪表、总有机碳（TC）分析仪、流量检测仪表、应变片式压力计、液位检测仪表、浊度检测仪表、余氯检测仪表等。控制核心元件是由 PLC——可编程序控制器组成的系统。

一、在线检测仪表

1. pH 值检测仪表　pH 值是最常用的水质指标之一，它表示水的酸碱性的强弱，而酸度或碱度是水中所含酸或碱物质的含量。

（1）pH 测量原理如下。

pH 是氢离子活度的负对数：$pH = -\lg\alpha$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 α——氢离子活度。

“p”只表明在离子和变量之间有一种指数相关的数学关系，带一价正电荷的氢离子存在于全部水溶液中。在稀溶液中，氢离子活度近似等于其浓度。

pH 的测量常用电极电位法，其原理是用两个电极插在被测量溶液中。其中一个电极为指示电极（如玻璃 pH 电极），它的输出电位随被测溶液中的氢离子活度变化而变化；另一个电极为参比电极（如氯化银电极），其电位是固定不变的。上述两个电极在溶液中构成了一个原电池，该电池所产生的电动势 E 的大小与溶液的 pH 值有关，可以用下式表示：

$$E = E^* - D \cdot \mathrm{pH}$$

式中 E——测量电池产生的电动势；

E^*——测量电池的电动势常数（与温度有关）；

pH——溶液的 pH 值；

D——测量电极的响应极差（与温度有关）。

因此，若已知 E^* 和 D，则只要准确地测量两个电极间的电动势，就可以测得溶液的 pH 值了。

（2）工业上在线测量 pH 值大都使用复合 pH 电极，因为复合 pH 电极便于安装、标定与使用。复合 pH 电极的杆身由内外两个玻璃管构成，其中心为 pH 指示电极，外部为参比电极及参比电解液（也称外参比系统），这种结构不但便于安装和使用，而且外参比液也能起屏蔽作用，以防电气干扰作用于指示电极。

当电极插入被测溶液时，就形成了测量电池系统，复合 pH 电极的响应为：

$$E = E_s + 2.303RTS(\mathrm{pH}_s - \mathrm{pH})/F$$

式中 E_s——不对称电位中不随温度变化的部分，称为等电位点电位；

R——气体常数；

T——绝对温度；

S——电极斜率，等于电极实际极差与理论极差之比；

pH_s——复合 pH 电极等电位点 pH 值，与电极玻璃膜不平衡电位的温度系数、隔膜液接界电位的温度系数及内、外参比液中氯的离子活度不一致有关；

F——法拉第常数。

（3）pH 值检测仪表的基本要求如下：

计量特性：高输入阻抗、低输入电流、高稳定性、低漂移、低显示误差。

调节特性：要求有零点调节、斜率调节、温度补偿调节和等电位点调节。

使用特性：要求有 pH 显示、信号隔离、电流或电压信号输出。

2. 电导率检测仪表　电解质在水溶液中以带电离子的形式存在，因此溶液具有导电的性质，其导电能力的强弱称为电导度，简称电导。所谓水的电导率是指电流通过横截面积各为 $1\mathrm{cm}^2$，相距 1cm 的两电极之间水样的电导。水溶液的电导率取决于离子的性质和浓度、溶液的温度和黏度等。测定水和溶液的电导，可以了解水被杂质污染的程度和溶液中所含盐分或其他离子的量，电导率是水质监测的常规项目之一。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）测定方法及原理。溶液中电解质的电导为电阻的倒数，即

$$S = 1/R$$

式中　S——电导（Ω^{-1}）；

R——电阻（Ω）。

一般，溶液的电导是用测量电阻的方法来测量的，根据欧姆定律，在温度一定时，电阻与导体的长度（电极间的距离）成正比，与导体的截面积成反比，即

$$R = \rho L/A$$

式中　L——电极间的距离（cm）；

A——电极的截面积（cm^2）；

ρ——电阻率（$\Omega \cdot cm$），表示两电极间距离为1cm、电极截面积为1cm^2的体积内溶液的电阻值。

电阻率的倒数称为电导率：

$$k = 1/\rho$$

式中，电导率与溶液的性质有关。

由上述各式可得：

$$k = 1/\rho = SL/A = SQ$$

式中　Q——电导率数（电极常数），$Q = L/A(cm^{-1})$。

对于特定的电导仪，有确定的电极常数，根据此电极常数和在此条件下测得的溶液的电导，便可算出溶液的电导率。只要测得溶液的电阻，便可知溶液的电导，所以，测量电导的仪器实际就是测量电阻的仪器。电导率单位以S/m（西门子/米）表示，常用的是μs/cm。

（2）电导仪。电导仪由电导池系统和测量仪器组成。根据测量电导的原理不同，电导仪可分为平衡电桥式电导仪、电阻分压式电导仪、电流测量式电导仪、电磁诱导式电导仪等，这里仅介绍电阻分压式电导仪，其原理如下：

被测溶液电阻（R_x）与分压电阻（R_m）串联，接通外加电源后，构成闭合回路，则R_m上的分压（E_m）为：

$$E_m = \frac{R_m E}{R_x + R_m} = \frac{R_m E}{1/S_x + R_m}$$

因为输入电压（E）和分压电阻（R_m）均为定值，则被测溶液的电阻（R_x）或电导（S_x）的变化必将引起输出分压（E_m）的相应变化，所以通过测量E_m便可知R_x或S_x，电导仪可直接读出测量结果。

3. 溶解氧检测仪表　溶解在水中的分子态氧称为溶解氧，它是水生生物主要的生存条件之一，水中溶解氧的含量与大气压力、水温及含盐量等因素有关。

测定水中溶解氧的方法有碘量法、修正碘量法和氧电极法，污水常用氧电极法测量。这里介绍氧电极法。

极谱型氧电极由黄金阴极、银-氯化银阳极、聚四氟乙烯薄膜、壳体等部分组成。电极腔内充入氯化钾溶液，聚四氟乙烯薄膜将内电解液和被测水样隔开，溶解氧通过薄

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

膜渗透扩散。当两极间加上0.5～0.8V固定极化电压时，则水样中的溶解氧扩散通过薄膜，并在阴极上还原，产生与氧浓度成正比的扩散电流。电极反应如下：

阴极：$O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$

阳极：$4Ag + 4Cl^- = 4AgCl\downarrow + 4e^-$

产生的还原电流还可表示为：

$$i_{还} = K \cdot n \cdot F \cdot A \cdot p_m / L \cdot c_0$$

式中 K——比例常数；

n——电极反应得失电子数；

F——法拉第常数；

A——阴极面积（mm^2）；

p_m——薄膜的渗透系数；

L——薄膜的厚度（mm）；

c_0——溶解氧的分压或浓度。

各种溶解氧测定仪均是依据这一原理工作的。

电极法测定溶解氧不受水样色度、浊度及化学滴定法中干扰物质的影响，快速简便，适用于现场测定，易于实现自动连续测量。薄膜堵塞或损坏时，应及时更换。

4. 总镍在线监测仪

（1）工作原理。总镍在线监测仪采用光度法对待被测物质的浓度进行测定。首先应用一组已知浓度的待测物溶液对仪器进行标定，根据比尔定律，溶液中有色物对光的吸收与该物质的浓度有一定的关系，仪器根据已知浓度和对应的吸光度值建立一个计算待测物浓度的方程式。

当标定采用两个标准液时，计算采用如下方程式：

$$C = a + b\Delta A$$

式中 C——溶液的浓度值；

ΔA——被测物吸收光度值与基线吸光度值之差；

a——方程截矩；

b——方程斜率。

当标定采用三个以上标准液时，计算采用如下方程式：

$$C = a + b\Delta A + c\Delta A^2$$

式中，a、b、c为多项式常数。

采用多点标定可以对测定中化学因素造成的偏差进行修正。

光度的检测由光度检测电路完成。光度检测电路由单色冷光源、光导纤维传光束、光电池、前置放大器等组成，被测溶液的光吸收率由光电池转换成电信号经前置放大器后，由A/D转换器转换成数字信号，经计算机运算，转换成被测物质的浓度值，显示在屏幕上。

（2）结构。总镍在线监测仪由化学流路系统、电路系统及试剂箱体三部分组成：化学流路系统安装在机箱中部，包括恒温加热器、泵、电磁阀、化学管路、反应器、光

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

度检测器及试剂桶；电路系统安装在机箱上部，包括电源、液晶显示器、键盘、计算机及控制线路板；试剂箱体安装在机箱下部，从左到右分别为清洗水桶、废液桶和冷却水桶。考虑到试样可能距离仪器较远，自带了一台远距离取样泵，安装在下部箱体背板外侧。

仪器间歇工作，试样流经采样杯，由吸入泵吸入仪器并精确定量，然后起动计量泵注入试剂，试剂与试样混合后进入反应器，加热发生化学反应，产生颜色，再经光度检测器检测出吸光度，然后由所采集吸光度计算出浓度值。完成一次测量需要30min。

当遇到测量结果和化验结果对不上时，首先检查一下仪器各部件是否工作正常，然后取一个标准样将参数设定项目中的“测量通道”项目设为“00”，再进入主菜单中的试样测定项，仪器将对此标样进行测定，观察测量结果和标称值误差大小，即可判断出是化验结果的原因还是自动测量的原因。

5. 六价铬检测仪表　铬酸盐自动分析仪

（1）原理。测量时，将体积精确计量后的被测水样及二苯碳酰二肼试剂混合后泵入反应器，加热并保证反应时间，在酸性条件下，经过化学反应，产生颜色，经光度计传感器检测出吸光度，经转换后，以模拟信号输入计算机，模拟信号强度与六价铬浓度的对数成正比，经过信号处理，转换为浓度，在LCD上标定出六价铬（铬酸盐）浓度。

（2）结构。由化学流路系统、电子系统及各种试剂箱体三大部分组成。

1）化学流路系统：由取样水管接头、取样水放水管接头、废水排放接头、试样进口/溢流池、精确供给泵、静止混合器、反应器及其他必需的管子、接头。

2）电子系统：微处理器的控制器Anacon 2000、光度计传感器、液位关开电子组件、人机交互界面、三个输出继电器、电磁阀、加热器及用于电缆连接所必需的接线盒。

试剂箱体：二苯碳酰二肼箱；三个标准试剂箱，即校准1液存储灌B_1，铬酸盐含量0.1mg/L、校准2液存储灌B_2，铬酸盐含量1.0mg/L、校准3液存储灌B_3，铬酸盐含量100mg/L；酸罐B_4。

（3）分析仪几个重要的功能如下。

1）测量。分析仪通常的模式是对总铬酸盐含量进行不连续的测量。记录仪输出0~20mA或4~20mA的信号，显示分析仪传感器2的测量信号及信号转换后的数字。

一般情况下不要清空内存，清除内存是最后的办法，是在分析仪已无法通过调节回到正常状态时，不得已采用的。

2）清洗。清洗主要针对反应器和试管。校准及测量完成后都要进行自动清洗。试管始终充满液体以防沉积或着色。

当校准液缺乏时，自动校准将无法进行。当反应剂、试样缺乏时，清洗程序自动开始。当清洗结束时，分析仪停止并进入“disturbance”待机模式，等待操作员解决问题。特定的失效会触发清洁程序。它亦可从Anacon 2000手动启动。

当失电后再次送电，分析仪先清洗然后继续测量模式。

3）液位监视。液位开关为PVC浮子开关，它们监视各个药剂箱的最低液位。液位

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是持续监视的，如其中有一液位低于下限，警报信息会在 Anacon 2000 的显示屏上出现。

4）校准。校准包含两步：低浓度校准 1 及高浓度校准 2。校准方式基本和普通测量的方式一样，只是使用校准液 1、2 而不是测试的水样。校准结果用于后续的测量计算。校准前校准液的浓度需输入 Anacon 2000。如校准液未变，设置无需更改；如校准液变化，必须重新输入浓度值。

校准时，首先关闭电磁阀 V1，打开电磁阀 V2（校准 1）或 V3（校准 2），泵入校准液。电磁阀 V2 打开，泵 1 起动，整个系统充满校准液 1。随后校准液留在试管内以防沉积或着色。最终所有阀门关闭，输出信号设为 0.4mA。

如校准程序中途被打断必须重头开始。校准结果存在分析仪里用于后续浓度的测量。校准完后分析仪自动转入测量程序。

为防缺乏校准液，一般分析仪在测量状态不会自动校准，但分析仪自带了自动校准功能将定期中断测量对仪器自动校准。

通常可在每日或每周的某一天进行校准，这由操作员设置。校准也可通过 Anacon 2000 手动进行。我们建议每次用完试剂后进行彻底的校准。

失电时间已长达下一次校准，来电时分析仪将自动进行校准。校准可手动完成。

5）显示。

第一行表示当前程序测量、校准、清洗、搅拌以及待机等状态。

第二行显示最终的 CR6 + 测量结果，单位为 mg/L。启动时显示 0 表示先前没有测量。测量时显示仍为 0 直到有新的结果。

第三行标准显示时无内容。运行时显示第几阶段及剩余时间，单位为 s。

第四行显示错误信息。

6）报警。产生报警的原因很多，如反应剂或校准液不足、光度计灯损坏等。所有这些会触发两个继电器：第一个产生声音报警，第二个可接其他外围设备。另外，故障信息会出现在 LCD 上提示故障性质。可通过消音键复位声音报警，但报警继电器仍在激活状态。除非故障消除并按下确认键，否则错误信息会一直在 LCD 上。

如果测量结果太高（高于设定点），一个特殊的继电器将被触发，在 LCD 上有显示，但无报警。

7）Anacon 2000 操作指导如下。

①功能键：

F1 没用

F2 选择测量程序（键上红灯亮）

F3 选择校准程序（键上红灯亮）

F4 没用

F5 选择清洁程序（键上红灯亮）

②调整：暂停、校准、控制功能、设定日期和设定时间。

③设置子菜单：选项、输出信号、分析仪编号、语言、密码修改和清除内存。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8）启动。启动步骤如下：

- 电气和管道连接完毕。
- 存储箱里装填试剂。
- 试运泵，使管路充满试剂并排除气泡。
- 校准分析仪。
- 开始测量。

9）维护。液体区域需要些维护，包括：

- 月度视察。
- 准备和填充试剂。
- 定期清理。
- 定期更换供给管。

通常维护工作每周需花 2h，在困难条件下（高温、试样不纯）需要更长时间。维护计划见表 9-46。

表 9-46　维 护 计 划

项目/月	3	6	12
手动校准	X		
液位开关功能检查		X	
检查泵管道	X		
更换泵管道		X	
检查泵电动机			X
清空并清洁存储箱			X
清洁试样进口及溢流箱	X		
电磁阀检查	X		
电磁阀阀座清理		X	
管道及接口检查清理	X		
Anacon 2000 检查调整	X		
Anacon 2000 内部电池更换			48

10）手动模式。手动模式并非手动分析，不推荐使用。手动模式只用于单功能测试和服务工作，即清洗、校准、更换药剂、更换塑料管等工作，尤其是在装满或更换试剂后，泵约需 20min 排尽旧试管内的试剂或空气。

为防止误操作，进入手动模式需两步操作，虽有点复杂，但出于安全很有必要。

6. 正磷酸盐测量仪

（1）原理。基于标准的钒钼黄比色技术，钒酸盐-钼酸盐试剂在酸性条件下，能与水样中的正磷酸盐（PO_4^{3-}）生成钒钼磷酸，内置的光度计可以定量测定这种黄色的化合物。

正磷酸盐测量仪能连续测定正磷酸盐浓度，由前处理系统和分析仪两部分组成。前

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

处理系统的超滤膜浸到水样池中，滤掉0.15μm以上的颗粒，然后将水样输送到分析仪中，分析仪首先用水样冲洗系统，然后进行零点校正，接着试剂和水样被吸收到比色池中，如果水样中存在正磷酸盐离子，则它与试剂反应，改变颜色（二磷酸盐和多聚磷酸盐因不与试剂反应，故无法被检测）。内置比色计检测水样颜色变化，正磷酸盐结果以mg/L PO_4-P显示在屏幕上。

（2）结构特征。

1）前处理系统过滤装置前都蒙有0.15μm的超滤薄膜，来自空压机的压缩空气，自下而上对每个薄膜表面进行清洗，以除去粘浮在表面的杂质。小型蠕动泵通过一个过滤膜将水样抽取出来，同时仪器对另一个过滤膜进行清洗，每隔一分钟，两个过滤膜更换一次工作状态，取样过程是连续的，而且设备几乎不需要维护。

2）一段5m长的加热软管连接过滤组件和控制单元，防止水样结冰，保证仪器能在任何天气下使用，所有导管都容易连接、更换，而且仪器的移动部件也不同废水接触。系统持续不断地监测废水通过滤膜的流速，当流量减少时，程度控制的报警继电器提醒操作人员检查系统，如果流量正继续减少，另一个程序控制的继电器自动关闭过滤系统。仪器每个月消耗的各种化学试剂都小于1L，试剂能在不干扰水样流动的情况下更换和补充。

3）正磷酸盐分析仪可在无人操作的情况下，连续运转多达30天，并且可以进行自动清洗和自动管道灌注。

4）机箱由工程塑料制成，板件由不锈钢制成。

5）由于使用了捏阀和蠕动泵，水样只在导管中流动。水样只与导管接触，这样将维护率降到最低。所有的管道部件和试剂都看得见、摸得着，便于在需要时进行更换。

6）所有的功能都可通过软件来设置，由菜单和软件控制，结果以数字和图表的形式显示在液晶显示器LED上。

7）多水样检测。标准配置可以检测一个水样，如果安装简单的部件，它就可以测定第二个水样，用户同时可以为第二个水样选购第二套报警继电器。

正磷酸盐分析仪的主要功能及参数见表9-47。

表9-47 正磷酸盐分析仪的主要功能及参数

序　号	项　目	内　容
1	测量方法	钒钼黄法
2	测定范围	0.1～10.0mg/L PO_4-P
3	精确度	测量值的±3%或0.1mg/L PO_4-P(标准溶液),取较大值
4	最低检测限	0.1mg/L
5	测量周期	10min、15min、20min或30min(可选)
6	结果显示	图形及数据显示
7	信号输出	0/4,20mA,最大负载500Ω
8	错误指示继电器	无源24V,1A
9	报警继电器	可预设两个报警值(最小值、最大值),24V,1A

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序　号	项　目	内　容
10	工作温度	10～40℃
11	最大工作温度	40℃
12	水样温度	10～40℃
13	水样流速	最小值为100mL/h
14	水样入口压力	1～5psi
15	水样入口	外径1.4inch的软管
16	出水连接	外径1.2inch的软管
17	工作电源	100～230VAC,50/60Hz
18	仪器认证	CE,UL,CSA
19	仪器机箱	IP54(室内安装)
20	仪器体积	640mm×350mm×220mm
21	仪器重量	10kg

7. 化学需氧量（COD）检测仪表　用高锰酸盐指数自动测定仪，工作原理如下：

在程序控制器的控制下，依次将水样、硝酸银溶液、硫酸溶液和0.005mol/L高锰酸钾溶液经自动计量后送入置于100℃恒温水浴中的反应槽内，待反应30min后（水中有机物被氧化），自动加入0.012 5mol/L草酸钠溶液，将残留的高锰酸钾还原，过量草酸钠溶液再用0.005mol/L高锰酸钾自动滴定成微红色，到达滴定终点时，指示电极系统（铂电极和甘汞电极）发出控制信号，滴定剂停止加入。数据采集与处理系数计算出水样消耗的标准高锰酸钾溶液量，并直接显示或记录高锰酸钾指数。测定过程一结束，反应液从反应槽自动排出，然后用清洗水自动清洗几次，将整机恢复至初始状态，再进行下一个周期测定，每一测定周期需一小时。

8. 总有机碳（TC）分析仪　在水中存在有与氧或氢等结合构成有机化合物的碳（总有机碳TOC）和作为二氧化碳、碳酸根离子、碳酸氢根离子等构成无机化合物的碳（无机碳IC），合起来称为总碳（TC）。TOC又分为经通气处理从试样挥发失去的成分和不挥发的成分。

（1）TC测定原理：在燃烧管中填充氧化催化剂，并加热到680℃，载气流量由调压阀和流量控制阀控制为150mL/min。用进样器向燃料管内注入试样时，试样中的TC燃烧或分解成为二氧化碳。来自燃料管的含有燃料生成物的载气，用除湿器（电子冷却器）冷却、除潮，通过卤素洗涤器，到达非分散型红外线式气体分析部（NDIR）的试样池，检测二氧化碳。NDIR的检测信号（模拟信号）变成峰的形式，用数据处理部测量此峰的面积。由于峰面积与试样中的TC浓度成比例，用外标法先求出TC标准液的TC浓度与峰面积的关系（校准曲线），就可测出试样中的TC浓度。

（2）IC（无机动性碳）的测量原理：试样中加除去IC用酸，使其成为酸性（pH为3以下），通入吹扫气时，试样中仅IC成为二氧化碳，由NDIR检测出来。用和测量TC相同的做法，可测量出试样中的IC浓度。

（3）测量动作：TOC-4100流程如图9-49所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

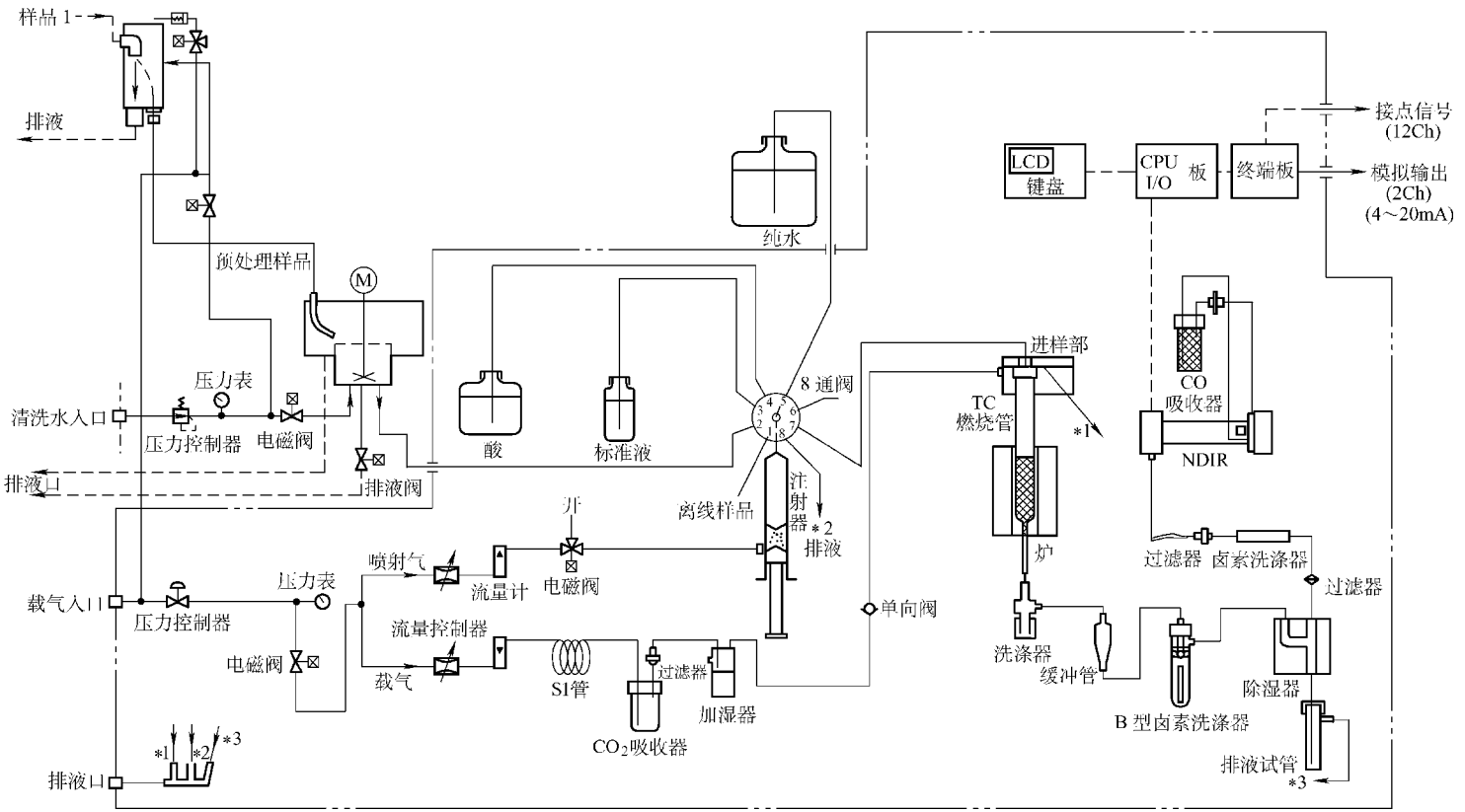


图 9-49　TOC-4100 流程

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）采水。TOC-4100 在做 1 流路的试样测量时，通常在装置的侧面装有单流路型悬浊物试样前处理器；做 2 流路的试样测量时，要装有多流路试样前处理器。单流路型试样前处理器如图 9-50 所示。

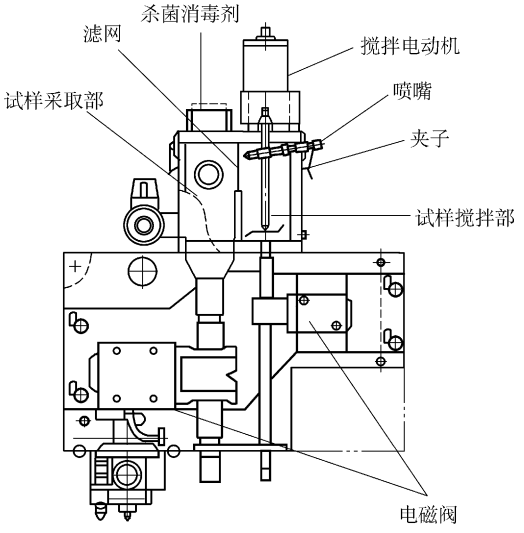


图 9-50　单流路型试样前处理器

透明塑料做的容器，左右分隔开，左侧为试样采取部，右侧为前处理器。分隔部分的构造为：下半部分是透明塑料板，上半部分为不锈钢金属过滤网，网孔约 0.3mm，过滤网可以向上取出。水样从试样采取部下面流入，再从底部的排水管排出。水样流入量可用阀门进行调整。接到从 TOC-41000 发来的采样信号后，与底面的排水管相连的开关阀就会关闭，水样采取部的液面就会上升，再从水样采取部侧面上部的排水管排出。达到这样的状态后，水样的一部分会超越容器中间的分割板，流入水样前处理部，因为水样通过过滤网，所以无法通过过滤网网眼的大的固体物就被除去。采取的水样，为子使包含在其中的悬浊物进一步细小化，通过高速旋转的锐利小刀做均化处理，均化处理后的水样由注射泵泵出。水样前处理器及过滤网随即被清水洗干净，以便下次采样。

在容器的盖上有药剂收纳部，内部有固体药剂，平时，该固体药剂会向容器内释放出微量的杀菌成分，以防止出现在容器内产生微生物以及藻类生长的情况。容器的盖子可开闭，根据需要可对容器内部以及过滤网进行清扫。通过前处理器被处理过后的试样，再通过注射器泵的注射器进行采样，最初采取的试样直接被排出不用，因为注射器内残存的水需要和试样进行置换。接着，通过注射器采取 3mL 的试样，用于 TOC 的测量。

2）前处理（稀释、酸化、通气处理）。水样进行稀释时，注射器吸入试样和稀释用水后，注射器的柱塞进一步下降到注射器侧壁的吹扫气导入口下部，注射器内导入吹扫气，以混合水样和稀释用水。进行 NPOC 测量时，吸入水样后，再从装置内藏的酸桶中吸入所需的酸，进行吹扫，除去水样中的 IC 成分。

3）水样注入。在 TC、NPOC 的测量中，靠注射泵通阀的切换，水样注入到燃料管内。

4）峰面积的测量。CPU 自动测试水样注入产生的峰开始和结束，求出峰面积，用峰的斜率进行计算。水样注入量多时，产生重叠的 2 个峰或接近 2 个分离峰，这时，只检测后一峰的结束点，计算两个峰的面积。另外，在基线变动状态下产生的峰，会进行基线修正，求出正确的峰面积。

5）校准曲线。TC、IC、NPOC 以及 POC 测量时的 NDIR 输出信号，在任何量程都

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

是直线，浓度-输出特性偏离直线的因素也很少，因此，使用一点校正曲线或两点校正曲线。浓度较高的，100ppm 以上，用 1 点校正曲线；典型的标准液浓度在 10ppm 以下，在标准液调制用水所含的 TC，对标准浓度不能忽视时，使用两点校正曲线。

6）定量计算。水样的测定值，使用预先制成的校准曲线，由测定的峰面积进行定量计算，表示浓度。

（4）COD 换算系数输入。

$$\mathrm{COD} = a + b \times \mathrm{TOC}$$

式中 a——换算系数的定数项；

b——换算系数的比例项。

9. 流量检测仪表 流量是指单位时间内通过某一过水断面的水的体积，用“m^3/h”或“L/h”表示。流量计的种类很多，有节流流量计、容积流量计、面积流量计、叶轮流量计、电磁流量计、超声波流量计、量热式流量计、动压流量计、质量流量计、流体振动流量计、激光多普勒流量计等等，这里介绍潜水式电磁流量计。

潜水式电磁流量计需在渠道中设置一挡板截流，在挡板底部装上潜水式电磁传感器，如图 9-51 所示。

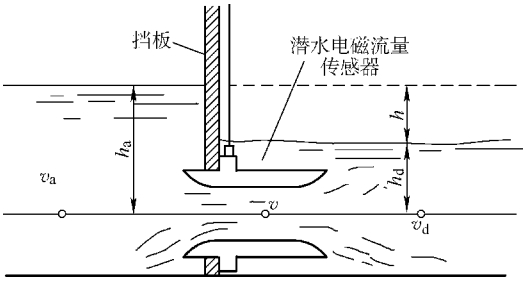


图 9-51 潜水式电磁流量计

挡板截住渠道，迫使水流只能从流量传感器中通过，以较原来高的流速通向下游，从而抬高挡板上游的水位，产生挡板上下水位差 h，此水位差的势能转变为流速 v 的动能，即

$$v = K[2g(h_a - h_d)]^{1/2} = K(2gh)^{1/2}$$

式中 K——系数；

g——重力加速度。

潜水式电磁流量计工作时，液体流动状况属于淹没孔口流，孔口流出速度与孔口在自由表面下的沉没深度无关，仅取决于上下游的水位差。也就是说，流量测量值与流量传感器（或分流模型）安装位置无关，但要求尽可能低，使之运行过程中始终处于淹没状态。通过流量传感器的流速一般为 2 ~ 3.5m/s，上游抬高水位在 100 ~ 300mm 之间。

在流量较大而又不能用较大口径的流量传感器时，为了避免水位差过大，可以用分流模型来扩大流通能力。分流模型的流通通道形状尺寸与流量传感器完全一样。n 个分流模型和一台传感器一起安装在挡板上并用，实际总流量即为传感器实测流量的（n + 1）倍。不同流量和允许水位差条件下流量传感器口径和分流模型台数选配。

潜水式电磁流量计的特点如下：

（1）无活动件，可测量含有固体颗粒或悬浮体的液体。

（2）因设置挡板截流，测量与渠道形状和上游直渠道状况无关。

（3）水头损失比较大，流量传感器必须保持满管流。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）挡板前会有一定程度的固形物堆积，要定期清理。

10. 应变片式压力计

把压力转换为电阻、电容、电感或电势等电量，从而实现压力的间接测量的压力计，叫做电气式压力计。这种压力计反应较快，测量范围较广，可测 $7\times10^{-10}\sim5\times10^{-10}\text{kgf/cm}^2$ 的压力。精度也可达 0.2%，便于远距离传送，所以在生产过程中可以实现压力自动检测、自动控制和报警，适用于测量压力变化快、脉动压力、高真空和超高压的场合。应变片式压力计就是电气式压力计的一种。

应变片式压力计是利用电阻应变片将被测压力转换为电阻值的变化，再通过桥式电路获得毫伏级的电量输出，然后由二次仪表显示或记录。

（1）电阻应变片原理。作为感压元件的应变片是由金属或半导体材料制成的电阻体，它的电阻值随压力所产生的变化而变化。一根截面积为 A、长度为 l 的电阻，其电阻值为：

$$R=\rho l/A$$

式中　ρ——材料的电阻率。

当电阻受到外力作用时，则要发生应变，电阻值就要改变，根据材料力学可以得到如下公式：

$$K=\frac{\mathrm{d}R/R}{\varepsilon}(1+2u)+\frac{\mathrm{d}\rho/\rho}{\varepsilon}$$

式中　K——应变系数或灵敏度系数；

u——材料的泊松系数；

ε——应变量。

系数 K 表示电阻材料产生应变时，电阻值的相对变化量，是衡量应变片灵敏度的参数。

对于金属材料来说，$\mathrm{d}\rho/\rho \ll 1$，压阻效应很小，电阻变化主要是由应变效应引起的，$K\approx1+2u$。对于大多数金属来说，$K$ 值较小，约在 2 左右。对于半导体来说，由于压阻效应很大，应变效应可以忽略，所以

$$K=\frac{\mathrm{d}\rho/\rho}{\varepsilon}$$

K 值约为 100～200。

（2）测量桥路如图 9-52 所示。

如果两片应变片 R_1、R_2 分别以轴向和径向用特殊胶粘剂固定在应变筒的上端，并与外壳固定在一起，其下端与不锈钢密封片紧密连接，应变片与筒体保持绝缘。当被测压力 P 作用于膜片时，引起应变筒受压变形，从而使 R_1、R_2 阻值发生变化。R_1、R_2 与固定电阻 R_3、R_4 组成测量桥路。

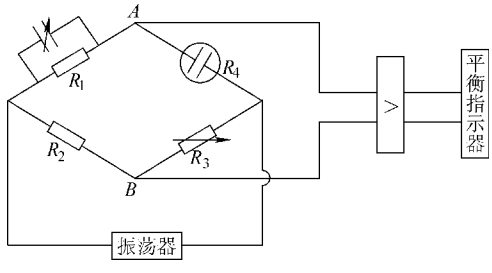


图 9-52　测量桥路

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当电阻 $R_1 = R_2$ 时，测量桥路平衡，故其输出为零；当 R_1、R_2 阻值变化不等时，测量桥路输出不平衡电压信号。应变式压力计就是根据该输出电压信号随压力变化实现压力的间接测量。

（3）压力检测仪表的选用。

1）仪表量程的选用：

对于测量稳定压力，仪表量程上限选大于或等于 1.5 倍常用压力。

对于测量交变压力，仪表量程上限选大于或等于 2 倍常用压力。

对于测量稳定压力，仪表常用压力选 1/3 ~ 1/2 量程上限。

对于测量交变压力，仪表常用压力选不大于 1/2 量程上限。

2）仪表精度的选用：

对于工业用仪表，精度选用 1.5 级或 2.5 级。

对于实验室或校验仪表，精度选用 0.4 级或 0.25 级以上。

3）根据测量介质性质及使用条件选用：

测量腐蚀性介质时，可选用防腐型压力计或加防腐隔离装置。

测量粘性、结晶及易堵介质时，可选用膜片式压力计或加隔离装置。

4）其他：当要求压力检测仪表具有指示、记录、报警和远传等功能时，则可以选用具有相应功能的压力表。

11. *液位检测仪表*　通过液位的测量，可以知道容器里溶液的数量，以便生产正常地进行。液位检测仪表有浮力式、静压式、电容式、超声波式等多种，这里介绍污水处理常用的电容式液位计。

在平行板电容器之间充以不同介质时，其电容的大小是不同的。所以，可以通过测量电容的变化来检测液位或两种不同介质的液位分界面。可利用插入容器中的一根导体与容器壁作为两个电极来测量液位，其总电容量

$$C = Kh_1\varepsilon_1 + K(h - h_1) \qquad \varepsilon_2 = Kh\varepsilon_1 - Kh_1(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$$

式中　K——常数，与电极的尺寸、形状有关；

ε_1——被测液体的介电系数；

ε_2——气体的介电系数；

h——电极总高度；

h_1——浸入液体中的电极高度。

在实际应用中，电极的尺寸、形状已定，介电系数亦是基本不变的。所以，测量电容量的变化就可知道液位的高低。当电极几何形状及尺寸一定时，ε_1、ε_2 相差愈大，则仪表灵敏度愈高。如果 ε_1、ε_2 发生变化，则会使测量结果产生误差。

电容的变化可以用高频交流电桥等来测量。

12. *浊度检测仪表*　纯净的水，在普通条件下为无色、无味、无嗅的透明液体。在自然界中没有纯净的水，天然水中皆含有杂质。所含杂质颗粒大小在 10^{-6}mm 以下，呈离子和低分子状态时，如溶解于水中，不影响水的透明度。若所含杂质颗粒大小超过 10^{-6}mm，如各种有机物质、细菌、藻类、油脂、金属氢氧化物、黏土、砂、砾石等不

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

溶解物，则会影响水的透明度，造成光学的综合现象，使人视觉上有浑浊的印象，对这种光学现象的度量指标就是浊度。浊度的高低直接关系到供水水质，浊度降低，水中的细菌也按比例下降，肝炎和小儿麻痹症的发病率也随之降低，因此对浊度的准确测量是非常重要的。

（1）浊度的测定方法及基本原理：目前各种类型的浊度仪，全都是利用光电光度法原理制成的。

悬浊液体是光学不均匀性很显著的分散物质。当光线通过这种液体时，会在光学分界面上产生反射、折射、漫反射、漫折射等非常复杂的现象。与液体浊度有关的光学现象有：第一，光能被吸收，任何介质都要吸收一部分在其中传播的辐射能，因而使光线折射透过水样的亮度有所减弱；第二，水中悬浊物颗粒尺寸大于照射光线的半波波长时，则光线被反射，若此颗粒为透明体，则将同时发生折射现象；第三，颗粒大小小于照射光线的半波波长时，光线将发生散射（或称漫反身、衍射）。由于这些光学现象，当射入试样水的光束强度固定时，透过水样后的光束强度或散射光的强度将与悬浊物的成分、浓度等形成函数关系。根据比尔—朗伯定律和雷莱方程式，可提出如下函数式：

$$I_t = I_0 e^{-Kdl}$$

式中　I_0——射入水样的光束强度；

I_t——透过水样的光束强度；

K——比例常数；

d——浊度；

l——光线在水样中经过的长度。

$$I_c = PI_0 NV^2/\lambda^4$$

式中　I_c——散身光强度；

P——比例系数；

N——单位容积内的微粒数；

V——每个微粒的体积；

λ——入射光线的波长；

N、V——代表浊度情况。

以上两个函数式清楚地表示了透射光和散射光强度与浊度的关系，通过光电效应又可将光束强度转换为电流的大小，用以反映浊度，这就是当前各类浊度仪的基本原理。

（2）散射光测定浊度仪。来自光源的光束投射到试样水中，由于水中存在悬浊物而产生散射，这一散射光的强度与悬浮颗粒的数量和体积（反应浊度情况）成正比，因而可以依据测定散射光强度而知浊度。

13. 余氯检测仪表　余氯是保证水质卫生指标的重要参数，也是加氯消毒工艺的基本控制参数。余氯在线分析是进行投氯控制的前提。余氯分析仪的规格基本上是按测量范围划分的，一般有 $(0\sim5)\times10^{-6}$、$(0\sim10)\times10^{-6}$、$(0\sim20)\times10^{-6}$等。

测量余氯含量的主要方法是 DPD 比色测量方法。使用 DPD 指示剂和缓冲溶液，通过改变指示剂和缓冲溶液能够测量水中残留的余氯和总氯。当 pH 值为 6.3～6.6 时，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

DPD 随着余氯（次氯酸和次氯酸盐）的量的变化变成紫红色，通过简单地更换试剂，也能测量总氯（余氯加上单、双、三氯胺）。往样品中添加碘化钾，样品中的氯将碘离子氧化成碘，然后在 pH 值为 5.1 的缓冲溶液中将 DPD 指示剂氧化成紫红色。每隔 2.5min 测量一次，读数在 0～5mg/L 范围内时，结果会显示在三位数的液晶显示器上，分析仪被设计成 30d 不间断运行，每种试剂每个月用量仅为 473mL。

该余氯分析仪如图 9-53 所示。

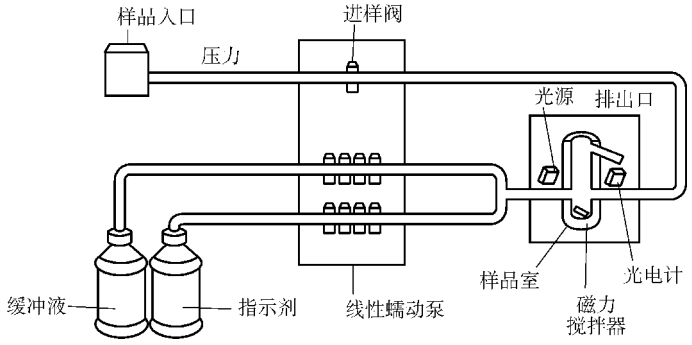


图 9-53 余氯分析仪

余氯分析仪由几个主要部件组成：线性蠕动泵、色度计，以及配有非密封固态混合系统，其中包括一个自清洗磁力搅拌器、一个月用量的缓冲液和指示剂等。线性蠕动泵能够精确控制引入的样品和试剂的量，第一个样品通过测量空白吸光度建立零参考点，在测量氯之前补偿样品的色度和浊度，加入指示剂和缓冲试剂，磁力搅拌器将溶液混合，就会发生显色反应，色度计测量透过样品的光线，将得到的色度和参考标准比较，得出测量结果，随后样品室被新的样品充满，每隔 2.5min 重复一次循环。此外还配有液晶警报器，可以显示超出范围的样品浓度，其输出也可触发外部可自动调节的加氯泵。

二、控制系统

1. 可编程序控制器　可编程序控制器简称 PC 或 PLC，是一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计。它采用可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，并通过数学式和模拟式的输入和输出，控制各种类型的机械或生产过程。

（1）PLC 的工作原理：当 PLC 运行时，是通过执行反映控制要求的用户程序来完成控制任务的，需要执行众多的操作，但 PLC 不可能同时去执行多个操作，每一次执行一个操作，按顺序逐个执行（串行）。由于 PLC 运算速度很快，所以从宏观上来看，PLC 外部出现的结果似乎是同时（并行）完成的。这种并行工作过程称为 PLC 的扫描工作方式。扫描工作过程除了执行用户程序外，在每次扫描过程中还要完成内部处理、通信服务工作。整个扫描工作包括内部处理、通信服务、输入采样、程序执行和输出刷新五个阶段。整个过程扫描执行一遍所需的时间称为扫描周期，典型值为 1～100ms。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在内部处理阶段，进行 PLC 自检，检查内部硬件是否正常，对监视定时器（WDT）复位。

在通信服务阶段，PLC 与其他智能装置实现通信，响应编程器键入的命令，更新编程器的显示内容等。

当 PLC 处于停止（STOP）状态时，只完成内部处理和通信服务工作。当 PLC 处于运行（RUN）状态时，除完成内部处理和通信服务工作外，还要完成输入采样、程序执行、输出刷新等工作。

（2）PLC 性能指标

1）存储容量：指用户程序存储器的容量，小型 PLC 用户程序存储器容量为几千字，大型 PLC 为几万字。

2）I/O 点数：输入/输出（I/O）点数是 PLC 可以接受的输入信号和输出信号总和，是衡量 PLC 性能的重要指标。I/O 点数越多，外部可接的输入设备和输出设备就越多，控制规模就越大。

3）扫描速度：一般以扫描 1K 字用户程序所需的时间来衡量扫描速度，通常以 ms/k 字为单位。PLC 用户手册一般给出执行各条指令所用的时间，可以通过比较各种 PLC 执行相同的操作所用的时间，来衡量扫描速度的快慢。

4）指令的功能和数量：编程指令的功能越强、数量越多，PLC 的处理能力和控制能力也越强，用户程序也越简单方便，越容易完成复杂的控制任务。

5）内部元件的种类和数量：在编制 PLC 程序时，需要用到大量的内部元件来存放变量、中间结果、保持数据、定时计数、模块设置和各种标志位等信息。这种元件的种类和数量越多，表示 PLC 存储和处理各种信息的能力越强。

6）特殊功能单元。

7）可扩展能力：包括 I/O 点数的扩展、存储容量的扩展、联网功能的扩展、各种功能模块的扩展等。

2. 监视控制仪表设备及自动控制　电镀污水处理厂自动控制的目的就是为了提高处理效率和可靠性、节省人力和运营费用、改善作业环境等。由于处理设施的规模、设备及其他各种条件的差异，电镀污水处理厂的自动化程度也大不相同，一般可分为单独控制、联动控制和自动控制三种，这三种可以单独进行，也可以组合起来使用。

1）单独控制：在现场单独手动控制每台机器。

2）联动控制：一旦运行操作启动，其后的一系列操作都按预先确定的运行顺序，依次自动地启动或停止。

3）自动控制：操作人员不介入具体的操作，自动控制系统根据水位、流量、压力、水质等信号，自动地进行启动与停止、打开与关闭、加大与减小、加速与减速等操作。

电镀污水处理厂监视控制项目见表 9-48。

（1）机械设备控制

1）机械拦污栅：细的机械拦污栅用自动定时器进行间歇运转控制。

2）除沫机：除沫机用自动定时器进行间歇运转控制。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3）搅拌器：有几十台搅拌器，有破氰搅拌、破铬搅拌、混凝搅拌和调 pH 值搅拌，这些搅拌器按顺序起动或停止。

表 9-48 电镀污水处理厂监视控制项目

大 分 类	中 分 类	个 别 项 目
运行状态显示	机器运行和停止状态	运行、停止
	操作地点的切换状态	中央、现场
	控制方式的切换状态	手动、联动、自动
	运行指标	时间、流量、水位、浓度
	机器异常与故障	机器故障报警
处理过程检测值显示	输配电、处理水量检测	电压、电流、电功率,水量、污泥量、加药量
	水质检测值	COD、六价铬、铜、镍、氰化物、氨氮、磷、pH
控制与操作	操作项目	各种水泵、搅拌器、风机开停、闸门高度调整
	设定项目	各种机械运行时间、次序、报警设定
报表与记录	输配电、处理水量,质数据	日报表
	故障	故障原因

（2）药品溶解控制

1）石灰：石灰用传送带送入溶解池，和稀释水按一定的比例，在搅拌器的混合下，泵送到各 pH 调节池。由设定的各 pH 测量仪控制泵送量及石灰、稀释水的运行时间。

2）PAM：目测控制，废水形成大的矾花。

3）前置—TLA：电镀废水处理剂，在该池中通过干粉加药机定量加入 TLA 电镀废水处理剂，进行螯合环的化学反应，并通过 pH 仪表自动控制加碱溶液，控制废水的 pH 值在 8.0 ~ 8.5 之间。

4）还原剂—焦亚硫酸钠（$Na_2S_2O_5$）：用 OPR 仪表控制电位值在 250 ~ 300mV。

5）硫酸：破铬反应池，投放稀硫酸用 pH 仪表自动控制 pH 值在 2.5 ~ 3.0 之间。

6）TLA 后置：在 pH 调节池三中，通过 pH 仪表控制 pH 值在 9 ~ 10 之间，并在池中定量投入 TLA 后置，通过机械搅拌与水充分混合反应，以将水中的重金属全部沉淀除去。

7）溶解氧浓度：废水从水解酸化池，进入好氧池，通过溶解氧仪监控水中的溶解氧浓度，调节进入阀门，控制好氧池中的溶解氧浓度为 3 ~ 4mg/L。

8）板框式压滤机控制：机型要采用液压、自动化程度高的压滤机才能适应自动控制。

压滤机的脱水过程：压入污泥—压滤—干燥（吹入空气）—卸开滤板—清出泥饼—冲洗滤布—合上板框，用顺序计时器控制。压滤机需要控制的因素是过滤时间和压滤时间，当污泥压入板框的压力超过设定值时，安全阀自动关闭停止送泥与过滤。根据滤饼的含水率确定压滤时间。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

中篇　三级处理——中水回用

电镀废水做到了达标排放，还要进一步做到中水回用。中水是指各种排水经处理后，达到规定的水质标准，可在生活、市政、环境等范围内杂用的非饮用水。回用率要达到60%，实现中水回用的工艺是预处理+反渗透，预处理有膜生物反应器和超滤两种方式。

第十章　中水回用预处理Ⅰ——膜生物反应器

膜生物反应器（MBR）和反渗透（RO）的组合工艺（MBR-RO）能够有效地、长期稳定地、低运营成本地将好氧池的生化水回用到电镀生产线上，水质达到自来水的标准。MBR类型如表10-1所示。

表10-1　膜生物反应器（MBR）类型

序　号	品　牌	好氧/厌氧	类　型	膜形式	膜通量/[L/(m²·h)]
1	Kubota	好氧	浸没式	平板式	25
2	Zenon	好氧	浸没式	中空纤维	30
3	Orelis	好氧	外置式	平板式	100
4	USF	好氧	浸没式	管式	40
5	Membratek	好氧	外置式	管式	40
6	WehrleWerk	好氧	外置式	管式	100

膜生物反应器孔径0.4μm，由外向内负压抽吸，直接浸没在需要处理的水中，能耗低，能应付高悬浮物和有机物的进水。

第一节　基本概念

1. 膜　膜就是隔离两个不同浓度相之间的栅栏，是纯粹的物理分离，被分离的组分不会有化学或生物性质的变化。

2. 膜生物反应器　用膜组件和生物反应器两部分构成的一种污水净化装置。

3. 浓差极化　膜分离过程的选择透过性会引起截留组分在透过侧膜表面附近浓缩、富集，导致膜表面的截留物浓度高于它在原透过液的浓度，由于浓度梯度的存在，膜表面的截留组分会向浓度较低的进料端逆向迁移，这种现象叫浓差极化。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 跨膜压差　进料侧和透过侧的压力差。

5. 通量　在一定压力下，单位时间、单位膜面积内透过物的量，即

$$\text{通量} = \frac{\text{透过物的量}}{\text{膜面积} \times \text{时间}}$$

6. 比膜通量　水通量除以跨膜压差，即

$$\text{比膜通量} = \frac{\text{透过物的量}}{\text{膜面积} \times \text{时间} \times \text{跨膜压差}}$$

7. 膜污染　膜透过率下降的现象。

8. 水的接触角　当液滴接触到光滑固体表面并处于平衡状态时，其接触点的切线与界线的夹角称为水的接触角。其角越小，亲水能力越好，膜的抗污染能力越强。但是，用此角来评判膜的污染能力尚有争议，因为角的测量受被测表面的光滑程度、水的纯度、测定技术的影响。另一方面，当浓差极化等问题突出时，膜本身性质的影响退居次位。水的接触角如图 10-1 所示。

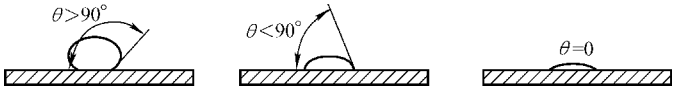


图 10-1　水的接触角

9. 临界流量　膜驱动压力不发生突变的最大流量。

10. 反洗　从产水侧把产水输向进水侧，松动并冲走膜外表面的污物。

11. 化学清洗（CIP）　用产水配制的药水，经保安过滤器，从产水侧进入，回流到水箱，去除膜内、外污染物。其方式为：

（1）将化学清洗剂放进清洗高位水箱，配制成适当浓度的清洗液。

（2）将清洗液放进各个要清洗的膜组件，待放满后停止曝气，让膜组件浸泡在清洗溶液中，浸泡最有效是第一个小时。浸泡时也可以使用循环泵将清洁剂水溶液不断地循环冲洗膜衣。

（3）将清洗后的清洗液放进低位集水池，并返回至污水厂进水处。

12. 回收率　产水减去反洗和化学清洗用水（自耗水）与原水的百分比。

$$\text{回收率} = \frac{\text{产水} - \text{自耗水}}{\text{原水}} \times 100\%$$

13. 错流　进料液流动的方向平行于膜表面，一部分在压力的作用下透过膜表面，成为产水，一部分平行于膜表面成为浓缩液流出，是膜生物反应器普遍采用的过滤方式。

14. 回流比　回流的流量与进水的流量之比，是个量纲为 1 的参数。

15. 界面热力学　界面热力学是研究热和其他能量形式间转换规律的科学，是运用热力学基本原理来研究界面现象，探索界面变化与能量传递、能量转换间的关系及其变化规律的一门科学，是以热力学第一定律为基础发展起来的。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二节　膜

膜就是隔离两个不同浓度相之间的栅栏，是纯粹的物理分离，被分离的组分不会有化学或生物性质的变化。膜在很多工艺流程中被用来去除水中的固体或溶解性污染物，只允许“纯净”的水通过它。

一、膜的制造

制造膜的材料要有足够的机械强度，能维持高的膜通量，还要具有高的选择性。因此，好的膜材料厚度要薄、孔径尺寸分布要窄、表面孔隙率要高，表 10-2 列出了膜的制造方式。

表 10-2　膜的制造方式

序号	膜	制造工艺	结　构	应用领域
1	陶瓷膜	细粉的压、烧结	孔径 0.1～10μm	MF、气体分离、同位素的分离
2	拉伸膜	对部分结晶的膜片进行拉伸	孔径 0.1～10μm	有害物质的过滤、消毒过滤、医疗技术
3	浸蚀聚合物膜	辐射然后用酸腐蚀	0.5～10μm 圆柱状孔	分析化学、医疗化学、消毒过滤
4	液膜	在惰性聚合物基质中形成液膜	多孔基质中充满液体	气体分离、载体间接传质
5	对称微孔膜	相转换反应	孔径 0.05～5μm	消毒过滤、渗析、膜蒸馏
6	整体不对称微孔膜	相转换反应后继续蒸发	膜表面孔径 1～10nm	UF、NF、气体分离、全蒸发过程
7	复合不对称微孔膜	将薄膜加到微孔膜上	膜表面孔径 1～10nm	UF、NF、气体分离、全蒸发过程
8	离子交换膜	多聚物材料的功能化	带有正、负电荷的介质	ED

无机膜是通过在预制好的有孔材料上用细粉材料压和烧结处理后得到的。均质多聚物膜采用对部分结晶的片膜进行垂直于微晶方向挤压（拉伸）的方法得到，这可借助于纤维助剂的帮助来实现，如借助显微镜下才能看到的微珠等，以此来促进孔的形成。

许多高聚物微孔膜是采用相转换法生产的。高聚物溶液被浇注成一片薄层介质，多聚物在水中沉淀而产生膜的多孔面，这一过程常常被称为凝胶化作用，膜的选择渗透性的一面则由于高聚物溶剂的蒸发而产生，生成的皮层的渗透率很低，从而形成各向异性的膜结构。膜材料比较如表 10-3 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 10-3 膜材料比较

序号	材料名称	优点	缺点
1	氧化钛、氧化锆	耐热性好、耐化学腐蚀、良好的力学性能	非常昂贵，仅有 MF 和 UF 膜
2	醋酸纤维素	价格低、抗氯性好，溶剂浇注法制造	热稳定性差、化学稳定性差、力学性能差
3	聚砜	可蒸汽消毒，耐酸碱性好，溶剂浇注法制造	抗碳氢化合物性能差
4	聚丙烯	耐化学腐蚀	憎水性弱，除非进行表面处理
5	聚四氟乙烯(PTFE)	憎水性非常强，有出色的抗有机物能力和出色的化学稳定性，并可以消毒	价格高
6	聚酰胺	良好的化学稳定性及热稳定性	对氯敏感

二、膜的构型

膜的几何形状是决定整个工艺性能的关键，另外需要实际考虑的是单片膜本身组成膜组件的方式、单片膜的最佳几何形状，或者说其构型应具有以下特点：

（1）膜面积与膜组件的体积比高。

（2）进料侧具有高的湍流度以促进传质效果。

（3）单位产水量能耗低。

（4）单位膜面积造价低。

（5）方便清洗。

（6）设计上允许模块组装。

这些特点中有些是互相矛盾的，例如，提高湍流度就会引起能耗增加；只有在相对膜面积低的情况下，直接对膜进行机械清洗才有可能；生产一种狭窄流道的组件从而得到高的面积与膜组件的体积比是可能的，但是这样也会影响清洗方式和湍流度的提高。

目前在膜工艺中主要有下列几种膜组件构型，如表 10-4 所示。

表 10-4 膜组件构型

序号	构型	面积/体积 /(m^2/m^3)	价格	湍流度	优点	缺点	应用
1	褶裥式卡式膜组件	800～1 000	低	非常差	结构好、设计紧凑	容易污染，无法清洗	死端 MF
2	板框式膜组件	400～600	高	一般	可以拆卸清洗		ED、UF、RO
3	螺旋管式膜组件	800～1 000	低	差	能耗低		RO、UF

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	构型	面积/体积/(m^2/m^3)	价格	湍流度	优　点	缺　点	应　用
4	管式膜组件	20～30	非常高	非常好	容易机械清洗，可以耐受高TSS污水		错流过滤、高TSS污水
5	毛细管式膜组件	600～1 200	低	好	介于管式和中空纤维式之间		UF
6	中空纤维式膜组件	5 000～40 000	非常低	非常好	可以反冲洗、设计紧凑、可耐受高浓度胶体	对压力冲击敏感	MF、RO

褶裥式卡式膜组件在平板形式中造价最低，这种组件仅用于微滤过程，通常设计成不可拆卸的单元形式；板框式膜组件最重要的商业化设计是在电渗析组件（或称为膜堆）中，一些微滤单元和一种反渗透膜组件的设计也采用板框式构型；螺旋管式膜组件具有结构简单的优点，同时在单位体积中可以有较大的膜面积，客观存在是反渗透和纳滤组件的标准构型。

当需要提高湍流度或者必须经常进行机械清洗时，一般选用大开孔的管式膜组件（直径超过5mm）。大多数无机膜均基于这种形式，它们经常做成一个个的单体，如在固体陶瓷基质中做成圆柱状的通道；对于高聚物来讲，做成管状后，其自身径向的机械强度随直径的减小而增加，直径的大小取决于壁厚，因此在某一个直径值时，无论液流从里向外，还是从外向里，管状高聚物膜都可以变得自我支撑，因而可以进行反冲洗（即用反向流进行清洗）；中空纤维膜价格低廉、单位体积膜面积最大、可以自我支撑，通常采用从外向里的水渗透运行方式（但是也可以从里向外进行曝气），并且可以进行间歇反冲洗。

第三节　膜生物反应器操作工艺

一、膜生物反应器外部要求

（1）进水流量恒定，曝气池完全混合均匀，反应池各组成成分不随时间改变。这是一个理想的稳定状态，实际上任何生物处理系统都不可能存在真正的稳态，但是任何偏离平衡的状态都要向稳态回归。所以理想的稳态实际上很接近大多数进水稳定的生物处理系统的真实情形。

（2）进水水质指标：COD、悬浮物浓度、病原体数量、磷。

（3）气水体积比，即曝气的鼓风量和反应池的进水流量之比，是一个量纲为1的参数。处理每吨污水的能耗大约在0.2～0.4kW·h/m^3之间。对于帘式膜组件的曝气系

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

统，只要能够在膜表面产生 0.1 ~ 0.5m/s 的上升气流，即可高效地去除滤饼层。

二、膜生物反应器的原理

理想的膜有较高的水通量，较好的机械强度及耐污染性能。大多数膜都是采用熔融拉伸法或基于高分子溶液的相变机理制作。

膜生物反应器分为外置式和浸没式两种类型。

外置式是用超滤或微滤装在池外实现泥水分离。污水先通过一个鼓形筛网，然后进入悬浮生长式生物反应器，最后通过板框式超滤膜组件实现悬浮物的分离，膜的进、出口压力分别为 345kPa 和 172kPa，膜的水通量为 16.9L/(m^2 · h)。一方面，因为污染物容易在膜表面沉积，所以需要较高的错流速度，这就要求循环泵应有较大的水力循环；另一方面，外置式工艺通常在 1×10^5Pa 以上的压力下运行，较高的操作压力亦增加了运行的能耗（2 ~ 10kW · h/m^3）。

浸没式是膜直接浸没于生物反应池。浸没式将膜浸于一定深度的水面之下，并安置在曝气池的上方，利用高于膜组件的静态水压，借助曝气流引起的上升的气水混合流擦洗膜表面以去除滤饼层。先进的设计将进水和曝气经过喷嘴混合均匀后才进入池内，从而保证空气和水的充分混合以获得更好的供氧效率。浸没式工艺采用负压式抽吸的方式实现悬浮物的分离，运行压力一般低于 5×10^4Pa，所以系统的能耗可以低至 0.2 ~ 0.4kW · h/m^3，仅为外置式工艺的 1/30，甚至更少。浸没式工艺的能耗主要来自曝气，它占总能耗的 90% 以上；而外置式工艺，曝气仅占总能耗的 20%。和外置式工艺比，浸没式工艺的膜的水通量都很低，因为浸没式工艺一般在更低的压力下运行，但是如果将水通量换算为比膜通量（即水通量除以跨膜压差）进行对比的话，浸没式工艺的比膜通量要比外置式工艺高 2 ~ 4 倍。浸没式工艺可以在较短的水力停留时间和较高的污泥浓度下运行。在建造污水处理厂时，浸没式工艺要比外置式工艺节省 75%（大型水厂）和 50%（小型水厂）的体积。较高浓度的污泥还提供了反硝化菌生长的缺氧环境，所以能够更好地实现硝化、反硝化等除氮过程。这些现象体现了膜和生物协同的效果。这在外置式是做不到的。膜生物反应器操作工艺如表 10-5 所示。

表 10-5 膜生物反应器操作工艺

序　号	主要参数	单　位	数　值
1	膜标称孔径	μm	0.4
2	污泥浓度(MLSS)	mg/L	10 000
3	水力停留时间(HRT)	h	6
4	污泥停留时间(SRT)	d	21
5	回流比(厌氧/好氧)		3∶1
6	水透率	$m^3 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$	0.27
		$L \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$	11.2
7	气水体积比	nm^3/m^3	24
8	初始比膜通量	$\times 10^{-5}$L/(m^2 · h · Pa)	66

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序　号	主要参数	单　位	数　值
9	初始跨膜压差	kPa	17
10	现场清洗频率		1次/四个月
11	操作模式	开/停	13min/2min

三、膜生物反应器的稳定运行

膜生物反应器工艺要分离的混合悬浮物主要是微生物絮凝物。

引起膜污染的物质有四大类，即无机物、有机物、胶体、微生物，这四大类造成膜的堵塞。堵塞的成因涉及五个方面的理论，即滤饼层的形成、吸附性污染的界面热力学、临界流量假设、气液两相流的性质、微生物污染。

1. *滤饼层的形成*　滤饼层的形成有三个原因，一是在错流过滤的情形下，进料液流动的方向平行于膜表面。膜表面的截留物，一部分被进料液的剪切作用带走成为浓缩液，一部分沉积在膜表面，形成不断增厚的滤饼层；二是滤饼层的形成与进料液的组成、膜表面性质和膜的运行方式有关；三是由于浓差极化的现象导致悬浮物在膜表面富集、浓缩，于是在超临界区形成了滤饼层。在流体压力作用下，滤饼层进一步压缩，并更牢固地附着在膜表面，加上分子间的相互吸引，膜表面的悬浮物有可能更牢固地吸咐在膜表面，这样形成的滤饼层难以通过膜表面的错流、空气擦洗所产生的剪切力去除，只有针对性的化学清洗才能去除。

2. *吸附性污染的界面热力学*　热力学是从能量转化的观点研究物质的热性质，它不涉及物质的微观结构和微观粒子的相互作用，可以应用热力学第一定律来研究达到的热平衡。

膜污染与膜材料有关，膜材料的亲水化程度越高越耐污染，水的接触角 $\theta_M < 30°$ 的膜不易发生污染，陶瓷膜的接触角 $\theta_M < 30°$。

吸附性污染是源于膜表面的分子基团与透过液分子之间的吸附作用，它属于微观的、分子层次的现象。它的成因与防治对策需要精确地表征微观的相互作用与宏观的吸附之间的关系。当膜表面吸附极性相似的分子时，吸附界面的张力小，所以膜表面的吸附层能够稳定地存在。吸附性膜污染直接决定于膜表面的分子性质、凝聚态性质、污染源极性。组分贡献法比较精确地描述这种现象。分子间的力分为两种类型：Lifshitz-van der Waals 力（表示为 r^{LW}）和酸碱力 Lewis（r^+，r^-），任何一个表面张力都表示为它们的线性叠加。Lifshitz-van der Waals 力包含色散力、偶极-诱导偶极力、偶极-偶极力。以上分类实质上是把分子间的力分类成极性作用和电子转移引起的酸碱力，对极性和非极性作用进行表征，就可评价污染源对膜表面的吸附性质。

$$\Delta F_{FWM} = \gamma_{FM} - \gamma_{FW} - \gamma_{WM} \tag{10-1}$$

式中　ΔF_{FWM}——吸附自由能；

γ_{FM}——污染物在膜表面的张力；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

γ_{FW}——污染物浸没于水的张力；

γ_{WM}——水表面张力。

如果吸附自由能为负，说明目标污染物能够在膜表面吸附；如果吸附自由能为正，说明目标污染物不可能在膜表面吸附，高分子分离膜和污染物的表面性质都以 Lifshitz-van der Waals 力和 L 酸碱力来表征，式（10-1）可换算成该两力进行表达。所以在高分子膜应用于特定的体系之前，可以先测定该体系的目标污染物和膜的表面性质，然后通过式（10-1）评价膜污染的可能性。这种理论较深，这里只作简要介绍。

3. 临界流量假设　膜污染有可恢复与不可恢复两种，膜通量长期降低，并且采用简单的清洗方法无法恢复，就表示不可恢复膜污染的存在，它一般由胶体物质在膜表面的沉积引起。在任何一个膜系统中，胶体物质在膜表面的传质直接影响膜通量的大小，胶体物质开始发生沉积时的膜通量被称为临界膜通量，在临界膜通量以下，膜通量的大小与膜驱动压力成正比，而且运行稳定，临界膜通量是水力条件的函数，随错流速度的增加而提高，是错流速度的线性函数，临界膜通量的值还与膜和污染物的性质有关。MBR 在次临界膜通量下运行时可以维持轻污染、低能耗的状态，从而大大减少膜清洗。

（1）膜通量。MBR 运行的膜通量与一系列复杂的内在关联的参数有关，包括膜驱动压力（TMP）、错流速率、膜孔大小和污泥特性，对于膜孔径为 0.4μm 的浸没式板框 NBR，标准设计膜通量为 $0.5m^3/(m^2 \cdot d)$，外置式 MBR 因为在较高的压力下运行，所以比浸没式的实际膜通量要大，较大的压力需要较大的膜表面液体剪切速率来控制膜的污染，浸没式 MBR 的比膜通量比相应的外置式 MBR 的比膜通量高 2～4 倍。

（2）污泥浓度。污泥浓度对于 MBR 动态层厚度和黏度都有作用，黏度可以改变水动力学、剪切力和滤饼层表面，剪切力增加时，黏度减小，间歇曝气可以加强胞外聚合物的降解程度，同时减小黏度，外置式黏度的增加变得很重要，因为黏度增加，错流速率减小，要保持紊流状态，就要增大驱动压力，在浸没式系统中，因错流速率较低，污泥浓度高是允许的。

（3）能耗。MBR 能耗来自抽吸泵和曝气的运行，浸没式 MBR 必需的错流速率由曝气产生，必需的压力来自膜上的水头，而外置式采用泵来产生足够的压力和速度，因此浸没式总能耗要比外置式低。在外置式系统中，曝气占总能耗的 20%～50%，在浸没式系统中，曝气占总能耗的 80%～100%，计算与试验表明，外置式系统总能耗是浸没式系统总能耗的 30 倍。

（4）消毒。MBR 具有去除大量细菌和病毒的能力，尽管膜孔径大于微生物的尺寸，MBR 膜孔径 0.4μm，细菌和噬菌体平均大小为 0.2μm，膜污染后，膜表面形成凝胶层，造成膜有效孔径减小，病毒去除率更高。

（5）浸没式错流速率。浸没式错流速率很难准确定义，因为浸没式错流速率是由曝气产生的，曝气引起的运动与反应器的配置和构形有关，在板框式系统中，气泡运动引起的是流经刚性膜表面的表面液体速率，而在中空纤维系统中，曝气引起的是单根自由运动纤维的颤动。实验证实，空气量对板框式膜和中空纤维膜都有正面影响，在 0.3m/s 的速率以上时，气液两相流的流速和膜通量之间存在一个线性关系。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（6）临界流量。在边界状态，对于任何一个特定的微滤体系，都存在一个临界流量 J_c，膜生物反应器工艺的临界流量如图 10-2 所示。当膜的渗透通量低于临界流量时，膜的边界层形成滤饼的速度为零，膜的过滤阻力不随时间或跨膜压差的改变而改变；当膜的渗透通量大于临界流量时，膜的边界层逐渐形成滤饼，膜的过滤时间延长，跨膜压差增加。

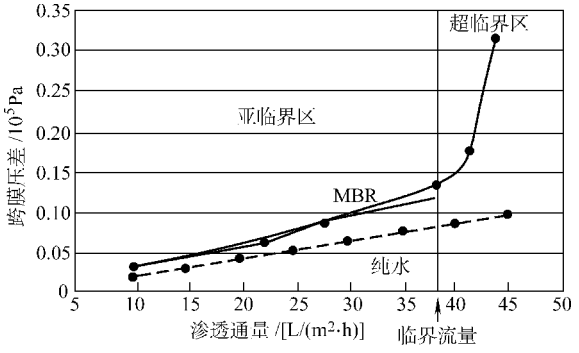


图 10-2　膜生物反应器工艺的临界流量

大多数浸没式工艺都可以在亚临界区长期地稳定运行，临界流量对应的临界压力大多数处于 20～30kPa 之间，相应的水透率大约为 15～30L/（m^2 · h），亚临界区不存在跨膜压差引起的滤饼层。

临界流量的测定介绍如下：

浸没式膜生物反应器用抽吸泵负压吸引作用实现膜的驱动力，采用流量恒定的方式进行，即恒流过滤。在恒流过滤时，渗透通量超过临界流量时，悬浮物在膜表面沉积形成滤饼，由于需要维持恒定的流量，所以跨膜压差会增加；跨膜压差的增加同时又促进悬浮物在膜表面的进一步沉积。在这种情况下，跨膜压差会持续增加，基于这种现象就出现了流量阶梯测定法。

1）测量设备如下：

①有机玻璃做的透明的水槽。

②三台不锈钢泵，分工为：一台抽产水，一台反洗，一台曝气流量 1m^3/h，扬程 2m。

③曝气嘴及其系统，能调节气水比及气泡形状。

④流量计两件，30L，每一格为 1L。

⑤压力表两件，产水及反洗，表盘 0.1MPa、1MPa 各 1 件。

⑥用 4inPVC 管材。

2）采用 2L、15min 为一个阶梯。

①从较低流量开始恒定流量持续过滤一段时间，同时记录跨膜压差的变化。

②将通量提高一个“阶梯”，恒流过滤一段时间，同时记录跨膜压差的变化（阶梯的选择在 2～5L/m^2 · h 左右，时间采用 15～20min 左右）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

③不断重复②，得到如图 10-3 所示的曲线，流量阶梯法测定临界流量。

④对曲线进行分析，在临界流量附近会看到跨膜压差有突然的飞跃。

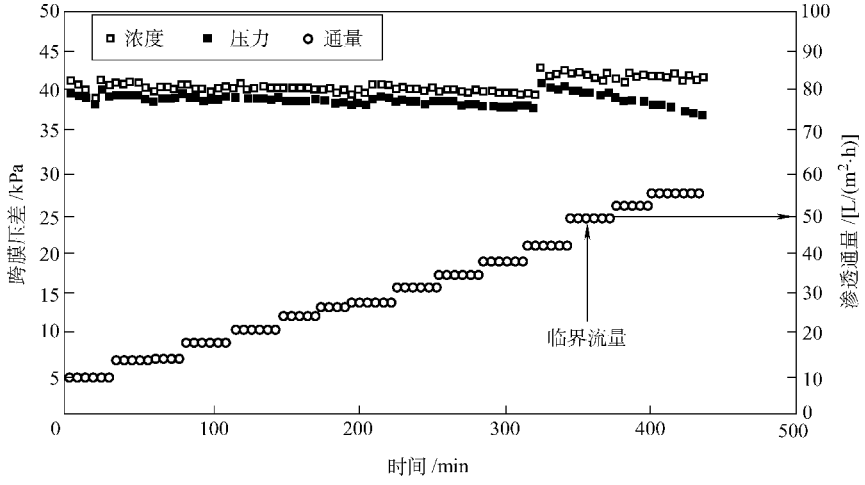


图 10-3　流量阶梯法测定临界流量

4. 气液两相流的性质　在膜丝垂直放置的情况下，曝气除了提供微生物新陈代谢必需的氧外，还起到了清洗滤饼的作用，减小浓差极化和膜污染，最常见的是气泡流和节涌流。节涌流的效果比较好，只有当子弹状的气泡大小接近（≈60%）管道尺寸时才会出现节涌流，一些小气泡紧跟着子弹状的大气泡。

气液两相流的模式也能够根据两相流动速度或体积流量（$Q_{气}$、$Q_{液}$）来区分，空气注射因子 ε 的计算公式为

$$\varepsilon = \frac{Q_{气}}{Q_{气} + Q_{液}}$$

当 $\varepsilon < 0.2$ 时，气泡分散于液体里成为气泡流；当 $0.2 < \varepsilon < 0.9$ 时，部分气泡聚集产生子弹状气泡的节涌流；当 $\varepsilon > 0.9$ 时，大多数小气泡聚集而形成扰动流或环型流。与小气泡相比，一方面大气泡的节涌流能够产生更强大的次级流，并激发更大的涡旋区，可以更好地促进浓差极化层的物料混合；另一方面大气泡的节涌流还减少了潜在起泡沫的风险。节涌流是较理想的在膜组件中起到曝气清洗作用的气液两相流，要避免使用多孔管式分布器，而采用 T 型曝气器或电磁阀导入气流的方法才容易实现，导入气流的速度可以根据空气注射因子作初步估计。曝气频率太高或太低都不利于产生节涌流，所以存在一个恰当的间歇周期可以获得最佳的清洗效果。2～5mm 的气泡作为曝气工艺的设计参数。

加拿大 Zenon 公司的帘式膜组件，每片膜元件（长 0.7m、宽 0.2m、高 2m）的膜面积 $368m^2$，膜组件由 8 块膜元件组成。毛细管式膜（外径 1.9mm）组装成一簇簇成环型的束，垂直地浇注在顶部和底部的模块内。曝气器固定安装在膜单元的底部，连续的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

曝气流在两束膜丝之间向上浮动，引起膜丝振动并在膜丝之间产生激烈的湍流。此外，曝气器还循序地在膜单元的两边间歇曝气，这样能在膜丝之间产生脉冲式气流，试验发现10s/10s的间歇周期要比5s/5s、15s/15s的周期更有效地去除滤饼层的污染，这个周期易产生节涌流。

5. 微生物污染　微生物污染是导致膜水通量衰减的主要原因。微生物污染有两种形式：第一种形式是胶状物质粘连，这种胶状物质称为胞外聚合物，是微生物新陈代谢产生的，外表很黏稠，似凝胶体，是细菌新陈代谢的分泌产物，包裹在细胞壁外面，由大量高分子组成，如蛋白质和杂多糖类物质，并呈负电性，该胶状物质在膜分离过程浓缩并吸附在膜表面或孔道内壁，严重地堵塞了膜孔；第二种形式是生物膜，这种生物膜是细菌吸附在膜表面并不断增殖而形成的。微生物的代谢产物，如胞外聚合物、溶解性微生物产物等胶体物质或溶解性大分子仅占相当少的分量。

对微生物污染第一种形式的去除，物理清洗、化学清洗都束手无策，许多学者将其归为不可逆转的污染，采取的修复措施就是换膜。实际上可用生物清洗法解决这一难题，用酶制剂，用蛋白水解酶清洗，能有效地切断蛋白质和有机污染物的分子链，百分之百恢复膜的水透率，具体方法是用低温清洗法：将蛋白水解酶和碱性清洗剂混合，用盐酸调pH=9.3，25~30℃。先用含清洗剂的水溶液循环冲洗膜组件1h，然后在调好的清洗剂中静置浸泡24h，再次循环冲洗膜组件1h，最后用水清洗干净残留的清洗剂。其清洗成本比化学清洗高一些，但尚可接受。微生物污染第二种形式生物膜，可用物理清洗法，即水力清洗去除。

保证膜稳定运行的理论，即膜堵塞的五个方面的理论，指明了膜发展的前景，前四点理论解决了膜水通量衰减的问题，最后一点从根本上解决生物污染问题，正确地运用该理论可使膜能长期低成本运行。

四、浸没式膜生物反应器的优点与不足

1. 浸没式膜生物反应器的优点

（1）对污染物的去除效率高。对SS的去除率在99%以上，对浊度的去除率在90%以上，对COD的去除率在50%以上，硝化菌被截留下来，生产期长，数量增加，因此TN的去除率在90%以上，采用A^2/O工艺，TP的去除率在85%以上，低于1.0mg/L。

（2）具有较大的灵活性和实用性。流程短、占地面积小，出水量只需增减膜组件的片数就可完成产水量的调整，易于实现自动控制。

（3）用抽吸泵或真空泵抽吸出水，动力消耗费用远远低于分置式膜生物反应器。每吨出水的动力消耗为0.2~0.4kW·h，约是分置式的1/10。

（4）不使用加压泵，因此可避免微生物菌体受到剪切而失活。

2. 浸没式膜生反应器的不足之处

（1）膜组件浸没在生物反应器的混合液中，污染较快，清洗起来较为麻烦，需要将膜组件从反应器中取出。

（2）浸没式膜生反应器的膜通量远低于分置式。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四节 膜生物反应器处理系统工程设计

膜生物反应器由两部分组成，膜组件和生物反应器，对膜组件需要确定的是膜材料、温度、孔径、操作压力、膜面流速、透水率、反洗时间、间歇时间、化学洗周期；对生物反应器需要确定的是曝气池容积与膜面积比、污泥浓度（MLSS）、污泥指数（SVI）、污泥停留时间（SRT）、水力停留时间（HRT）、温度、pH 值及污泥负荷等。

一、生物反应器设计

1. 曝气池容积与膜面积比　污泥负荷率决定曝气池的生物处理能力

$$N_S = \frac{QS_i}{VS_V}$$

式中　N_S——污泥负荷率［kg BOD_5/(kgMLSS · d)］；

V——曝气池容积（m^3）；

S_i、S_V——曝气池污泥浓度、曝气池进水 BOD_5（mg/L）；

Q——膜透过的水量（m^3/d）；

J——膜稳态通量［m^3/(m^2 · d)］，$J = Q/A$；

A——膜面积（m^2）。

由单位时间内生物反应器所能处理的水量应等于膜组件透过的水量，得：

$$C_{cap} = \frac{V}{A} = \frac{JS_0}{NX}$$

式中　C_{cap}——膜生物反应器的生物处理能力；

S_0——进水 BOD_5 浓度（mg/L）；

N——出水 NH_3-N 浓度（mg/L）；

X——混合液悬浮固体浓度（mg/L）。

一体式膜反应系统膜稳态通量 J 在 0.1m^3/(m^2 · d)左右，而外置式膜反应系统 J 可达 1.6 ~ 1.8m^3/(m^2 · d)。

2. 污泥浓度　由于膜组件具有截留大分子和微粒的作用，可使生物反应器内的污泥浓度大大提高，从而增加了生物反应器对有机污染物降解去除能力，但污泥浓度的提高会增大混合液黏度，使膜通量降低，为保持稳态过滤，膜界面污染浓度的临界值应符合凝胶极化模型，即

$$J = k\lg\frac{X_g}{X_s}$$

式中　X_g——膜界面污泥浓度（mg/L）；

X_s——混合液污泥浓度（mg/L）；

k——传质系数［m^3/(m^2 · d)］。

在操作中，处理低浓度污水时，应控制较低的污泥浓度；处理高浓度污水时，应控制较高的污泥浓度，以尽量提高膜通量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 污泥指数（SVI）　污泥指数又称污泥容积指数，指曝气池混合液经30min后，沉淀污泥与原混合液之体积比。SVI能反映活性污泥的沉淀性：SVI＜100，沉淀性能良好；SVI在100～200之间，沉淀性能一般；SVI＞200，污泥易膨胀，沉淀性能不好。通常控制在50～150之间。

4. 污泥停留时间（SRT）　膜分离延长了生物反应器中活性污泥的停留时间，降低了污泥产率，提高了容积硝化及有机物去除能力。但是活性污泥相对活细菌数减少，细菌比活性降低，较高的多糖比也说明污泥相对老化，SRT越长，细菌被循环次数越多，失活的可能性越大。显然，从维持生物活性的角度出发，膜生物反应器系统宜定期适量排泥，以提高污泥活性。排泥方式宜采用曝气池直排混合液至浓缩池的方式，以减轻膜负荷，降低动力消耗。

5. 水力停留时间（HRT）　当膜面积一定时，HRT代表了其处理能力，HRT变化，但BOD_5的去除率都在95%以上，可是短的HRT会导致系统内溶解性有机物的积累，引起膜通量的下降。因此，对HRT的控制，应尽量维持系统内溶解性有机物的平衡，设计时应考虑曝气池容积有一定的调节容量。

二、膜组件设计

1. 超滤膜及膜组件的选择

（1）根据废水水质情况选取膜组件式样：管式、平板式、卷式和毛细管式。

（2）根据废水水质情况选取超滤膜的材料和型号，主要考虑其孔径、截留相对分子质量、化学稳定性。

2. 超滤膜水通量J的确定

（1）绘制一定温度和压力下水通量与曝气池混合液浓度关系曲线。

（2）绘制一定浓度和压力下水通量与膜表面流速的关系曲线。

（3）绘制水通量与废水温度关系曲线。

（4）绘制水通量与运转压力关系曲线。

（5）确定一个最佳超滤膜水通量，或一个范围。

3. 所需超滤膜的总面积A

$$A = Q_p / J$$

式中　Q_p——处理水量（m^3/d）。

4. 膜组件的体积V_m

$$V_m = NV_1$$

式中　A_1——单个膜组件的膜面积（m^2）；

V_1——单个膜组件的体积（m^3）；

N——膜组件的个数，$N = A/A_1$。

5. 真空泵的选择

（1）泵的流量——Q_p。

（2）泵的扬程——运转压力。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

6. 曝气池的污泥浓度

（1）X——混合液污泥浓度（mg/L）。

（2）K——传质系数 $m^3/(m^2 \cdot d)$。

（3）$J = -1.82\lg X + 8.68$　$X = 10(8.68 - J)/1.82$［J——超滤膜水通量，单位 $m^3/m^3 \cdot d$］。

7. 水力停留时间 T

$$T = 1.1 \times (L_0/L - 1)(K_s + L)/KX$$

式中　K——底物最大比降解速度常数（h^{-1}）；

K_s——饱和常数，其值等于底物去除速度为最大值的一半时的底物浓度（mg/L）；

L——反应器出水有机物浓度（mg/L）。

L_0——反应器进水有机物浓度（mg/L）。

8. 曝气池容积 V

$$V = Q_p \times T$$

9. 污泥负荷核算

$$\text{污泥负荷} = Q_p \times S_0/(V \times X)$$

式中　S_0——进水 BOD_5 浓度（mg/L）。

10. 确定曝气池各部分尺寸

（1）$L \times B \times H$

（2）总高 $H_{总} = H + h_1$

11. 曝气量 $Q_{气}$ 的确定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十一章　中水回用预处理Ⅱ——超滤

超滤是一种分离技术，其膜为多孔不对称结构。过滤过程是以膜两侧压差为驱动力，以机械筛分原理为基础的一种溶液分离过程，使用压力通常为0.01～0.03MPa，筛分孔径为0.005～0.1μm，截留分子量为1 000～500 000道尔顿左右。超滤常作为预处理设备，确保反渗透的长期稳定运行。

第一节　超滤膜技术特性

一、超滤技术术语

（1）不对称膜（Anisotropic Membrane）。人工合成聚合中空纤维，由一层均匀致密的、很薄的外皮层及起支撑作用的海绵状内层结构构成，这层均匀致密的外皮层起真正截留污染物的作用。

（2）原水（Feed）。进入超滤系统的水。

（3）产水（Permeate）。正常工作时透过滤膜的那部分水，基本上无胶体、颗粒和微生物等。

（4）通量（Flux）。产水透过膜的流率，通常表达为单位时间内单位膜面积的产水量，其单位多用L/(m^2·h)。

（5）透膜压差（Trans-membrane Pressure）。简称TMP，即产水侧和原水侧压力平均值差异，即膜两侧平均压力差。

（6）反洗（Backwash）。从中空纤维膜丝的产水侧把等于或优于透过液质量的水输向进水侧，与过滤过程的水流方向相反。因为水从反方向透过中空纤维膜丝，从而松懈并冲走膜外表面在过滤过程中形成的污物。

（7）正洗（Forward wash/rinse）。是利用超滤进水泵及其进水从超滤进水侧的正洗阀进入，从浓水排放侧的正洗排放阀排出，进一步冲洗超滤膜表面污堵物，也能起到灌水的作用。

（8）气洗（Air Scrubbing）。让无油压缩空气通过中空纤维膜丝的进水侧表面，通过压缩空气与水的混合振荡作用，松懈并冲走膜外表面在过滤过程中形成的污物。

（9）分散化学清洗（Chemically Enhanced Backwash，CEB）。在中空纤维膜膜丝外侧，即原水侧加入具有一定浓度和特殊效果的化学药剂，通过循环流动、浸泡等方式，将膜外表面在过滤过程中形成的污物清洗下来的方式。属于在外清洗。

（10）化学清洗（Cleaning in place，CIP）。从浓水侧和产水侧回流至清洗水箱循环进行清洗的方式，可以有效地去除超滤的污染物。与分散化学清洗不同的是在里面清洗。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、超滤分离特性

（1）分离过程不发生相变化，耗能少。

（2）分离过程可以在常温下进行。

（3）分离过程仅以低压为推动力，设备及工艺流程简单，易于操作、管理及维修。

（4）应用范围广，凡溶质分子量为 1 000 ~ 500 000 道尔顿或溶质尺寸大小为 0.005 ~ 0.1μm，都可以利用超滤分离技术。

（5）筛分孔径小，几乎能截留溶液中所有的细菌、热源、病毒及胶体微粒、蛋白质、大分子有机物。

（6）能否有效分离除决定于膜孔径及溶质粒子的大小、形状及刚柔性外，还与溶液的化学性质（pH 值、电性）、成分（有无其他粒子存在）以及膜致密层表面的结构、电性及化学性质（疏水性、亲水性等）有关。

（7）整个过程在动态下进行，无滤饼形成，使膜表面不能透过物质仅为有限的积聚，过滤速率在稳定的状态下可达到一平衡值而不致连续衰减。这种过滤膜对大分子溶质的分离主要依赖于膜的有孔性，即膜对大分子溶质的吸附、排斥、阻塞及筛分效应。

三、影响超滤性能的因素

1. 超滤膜的化学材料（化学稳定性、亲水性） 可以用来制造超滤的材料很多，有聚偏氟乙烯（PVDF）、聚醚砜（PES）、聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）、聚苯乙烯（PS）、聚丙烯腈（PAN）、聚氯乙烯（PVC）等。20 世纪 90 年代初，聚醚砜材料在商业上取得了应用，而 20 世纪 90 年代末，性能更优良的聚偏氟乙烯超滤开始被广泛地应用于水处理行业。因此，聚偏氟乙烯和聚醚砜成为目前使用最广泛的超滤膜材料。当超滤用于水处理时，其材料的化学稳定性和亲水性是两个最重要的性质。化学稳定性决定了材料在酸碱、氧化剂、微生物等作用下的寿命，它还直接关系到可以采取的清洗方法；亲水性则决定了膜材料对水中有机污染物的吸附程度，影响膜的通量。

聚偏氟乙烯（PVDF）的特点如下：

（1）化学稳定性。聚偏氟乙烯（PVDF）的化学稳定性优异，耐受氧化剂（次氯酸钠等）的能力是聚醚砜、聚苯乙烯等材料的 10 倍以上。在污水处理中，微生物和有机物污染往往是造成超滤不可逆污堵的主要原因，而氧化剂清洗则是恢复通量最有效的手段。

（2）亲水性。亲水性好的膜材料不容易被污堵，污堵后也容易清洗恢复。目前亲水性仅用接触角来衡量，接触角值越小，表明材料越亲水；接触角值越大，表明材料越疏水；当接触角值等于零时，表明液体（水）能浸润固体表面。但大量研究结果表明，用接触角来评价膜的抗污染性有一定的局限性，这是由于一方面接触角的测量数据本身不够准确，它受到被测材质表面的光滑程度、水的纯度以及测定技术的影响；另一方面，当浓差极化等问题突出时，膜本身性质的影响则退居其次。

2. 超滤膜丝的微观结构和孔径

（1）超滤膜的不对称结构。膜通常采用不对称结构，即由致密的皮层和多孔的支撑层构成，通常支撑层的孔径要比皮层高一个数量级以上。这种结构有以下的优点：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

①致密的皮层提高了过滤的精度；②多孔的支撑层降低了过滤的阻力，并且使穿过皮层的微小杂质被截留的几率降低到最小。这些优点使超滤基本实现了表面过滤，清洗恢复性比微滤有明显的改善，因此其长期通量更稳定。

（2）超滤膜的孔径。超滤膜的孔径有很多种测定和表征方法。其中泡点法是实施最为简便的一种。泡点法理论基础是毛细现象。有如下的定量公式：

$$P=\frac{4\delta\cos\theta}{D}$$

式中　P——泡点压力，把膜浸入到水中，逐渐增加膜一侧的气压，当观察到气泡连续从膜的另一侧逸出，此时的气压就是泡点压力；

δ——液体（水）/空气的表面张力；

θ——液体（水）—固体（膜）的接触角；

D——毛细管的直径（孔径）。

泡点法测得的是膜上的最大孔径，膜孔径越小，泡点压力越大。理论上，这个关系和膜的材质无关。这一原理在超滤中的一个重要应用是完整性检测。在超滤膜的一侧为液体（水），另一侧通入压缩空气，通过观察气体侧压力下降的速率，或者观察液体侧是否出现连续气泡，来判断膜的完整性。

3. 完整性检测方法

（1）气泡观察法。将膜组件中充满测试所用的液体，使膜完全浸润，膜丝所有的孔都充满了液体。在膜组件的进水侧缓慢通入无油压缩空气，且逐渐提高进气压力，同时通过观察产水侧是否有气泡连续溢出（产水阀门处于打开状态）。当产水侧观察有气泡溢出时，记下进水侧通入空气的压力值，此值即为该膜组件的泡点压力。通常通入空气的压力从0开始，逐渐增大到2.5×10^5Pa。如果测得的泡点压力小于2.5×10^5Pa，则表明膜丝或者组件存在泄漏点。气泡观察法如图11-1所示。

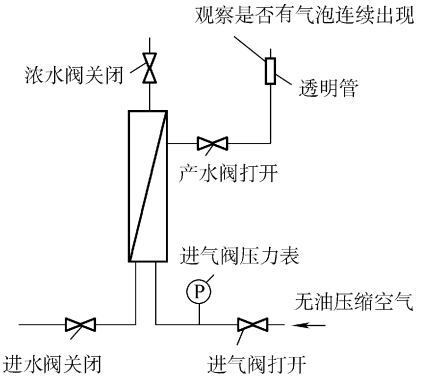


图11-1　气泡观察法

（2）压力衰减法。将膜组件中充满测试所用的液体，使膜完全浸润，膜丝所有的孔中都充满了液体。在膜组件的进水侧缓慢通入无油压缩空气（产水阀门处于打开状态），逐渐提高进气压力至设定值（2.5×10^5Pa）。最初时，进气侧的水会受压穿过膜壁进入产水侧，因此会有一定量的液体排出（大约会持续2min）。等待压力稳定在设定值时，将进气关闭（产水阀门处于打开状态），并密封进气侧保持测试压力，静止保压10min。此时组件的进水侧充满带压的空气，并与外界隔绝，产水侧充满水，且与大气相通。若保持压力测试10min后进气侧压力降不大于0.3×10^5Pa，则表明膜元件完整，没有缺陷，若压力降大于0.3×10^5Pa，则表明膜元件有断丝或泄漏等。

压力保持测试既可以针对单个组件进行，也可以针对整套装置或分组进行，是一种

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

在现场简便易行的方法。压力衰减法如图 11-2 所示。

四、超滤膜组件的结构

超滤膜组件的结构设计是连接膜丝特点和操作参数的中间纽带。在众多的形式中，目前以中空纤维膜为主，也有管式和卷式膜。组件的结构需要考虑以下几个因素：

（1）尽量提高膜的填充密度，增加单位体积的产水量。

（2）尽量减小浓差极化的影响。

（3）对进水水质的要求越宽越好。

（4）便于清洗。

（5）制造成本低。

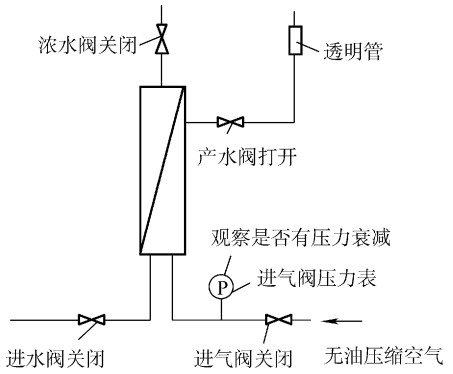


图 11-2　压力衰减法

根据致密层位置不同，中空纤维膜又可分为内压膜和外压膜。内压膜的进水流道是中空纤维的内腔，为防止堵塞，对进水的颗粒粒径和含量都有较严格的限制，因此适合于原水水质较好的情况；外压膜的进水流道在膜丝之间，膜丝存在一定的自由活动空间，因此更适合于原水水质较差、悬浮物含量较高的情况。

五、超滤的运行方式和清洗方式

（1）超滤的运行方式。超滤的运行有全流过滤（死端过滤）和错流过滤两种模式。全流过滤时，进水全部透过膜表面成为产水；错流过滤时，部分进水透过膜表面成为产水，另一部分则夹带杂质排出成为浓水。全流过滤能耗低、操作压力低，因而运行成本更低；而错流过滤则能处理悬浮物含量更高的流体。电镀废水采用错流过滤。超滤运行方式如图 11-3 所示。

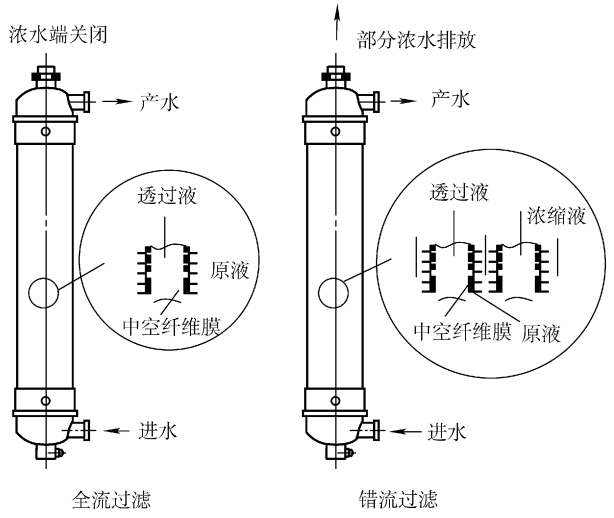


图 11-3　超滤运行方式

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

当超滤的过滤通量较低时，超滤膜的过滤负荷低，膜面形成的污染物容易被清除，因而长期通量稳定；当通量较高时，超滤膜发生不可恢复的污堵的倾向增大，清洗后的恢复率下降，不利于保持长期通量的稳定。因此，针对每种具体的水质，超滤都存在一个临界通量，在运行中应保持通量在此临界通量之下。

（2）超滤的清洗方式。超滤的清洗方式包括水的正洗、反洗、气洗、分散化学清洗（CEB）、化学清洗（CIP）等。其中正洗、反洗可以清除膜面的滤饼层，而气洗则利用气的强力湍动，更有效地清除膜表面的污染层，分散化学清洗（CEB）、化学清洗（CIP）则通过化学药剂来清洗胶体、有机物、无机盐等在超滤表面和内部形成的污堵。清洗频率提高、清洗强度增大都有利于更彻底地清除各类污染物。超滤的清洗方式如图 11-4 所示。

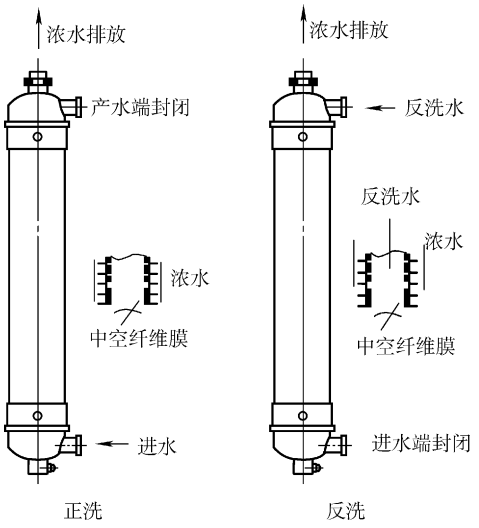


图 11-4　超滤的清洗方式

第二节　超滤膜运行

一、超滤进水水质要求

（1）通常外压式和内压式超滤对进水水质要求如表 11-1 所示。

表 11-1　通常外压式和内压式超滤对进水水质要求

	内　　压	外　　压
纤维丝外径/内径/mm	1.3/0.8	1.25/0.7
预过滤精度要求/μm	150	300
进水最大浊度/NTU	100	300

（2）超滤膜组件的材料。示例：SFP-2660 型超滤膜组件，表示膜材料为聚偏氟乙烯，外压式，公称内径 6in㊀，膜公称长度 60in㊀。

常用超滤膜组件的材料如表 11-2 所示。

表 11-2　常用超滤膜组件的材料

序　　号	膜材料名称	膜材料缩写	代　　号
1	聚苯乙烯	PS	1
2	聚偏氟乙烯	PVDF	2

㊀ 1in = 0.0254m。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序　　号	膜材料名称	膜材料缩写	代　　号
3	聚醚砜	PES	3
4	聚丙烯腈	PAN	4
5	聚丙烯	PP	5
6	聚乙烯	PE	6
7	醋酸纤维素	CA	7
8	芳香聚酰胺	APA	8
9	聚氯乙烯	PVC	9
10	再生纤维素	RC	10

（3）膜组件规格及基本参数。OMEXELL 超滤膜组件规格及基本参数如表 11-3 所示。

表 11-3　OMEXELL 超滤膜组件规格及基本参数

膜　形　式	外压式中空纤维		
膜材料	PVDF		
壳体材料	PVC		
公称膜孔径/μm	0.03		
膜内/外径/mm		0.7/1.3	
组件型号	组件公称膜面积/m^2	组件质量(湿态)/kg	组件水容积/L
SFP2640	20	22	7
SFP2660	33	32	16
SFP2860	44	44	25
SFP2860	52	83	30
SFP2860	70	98	40
纯水透水率(25℃)/[L/(m^2·h·Pa)]	$\geqslant 1.6\times10^{-3}$		
最大进水压力/Pa	$\leqslant 6.0\times10^{5}$		
产水浊度/NTU	≤0.2		
产水 SDI	≤2.5		
TOC 去除率	20% ~60%		

注：组件水容积指单支组件可容纳溶液的容积

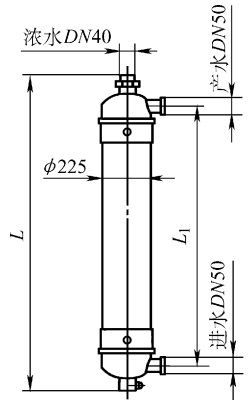
（4）膜外型如图 11-5 所示。

二、膜组件使用条件

1. 超滤膜适用条件　OMEXELL 超滤膜适用条件如表 11-4 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



参数表

(单位:mm)

型号	L	L_1
SFX-2640	1360	1000
SFX-2660	1860	1500
SFX-2680	2360	2000

图 11-5　膜外型

表 11-4　OMEXELL 超滤膜适用条件

pH 值范围	2～11
最大进水浊度/NTU	300
最大进水压力/Pa	6.0×10^5
过小通量范围/[L/(m²·h)]	40～120,25℃(根据进水条件选定)
最大透膜压差/Pa	2.1×10^5
最高使用温度/℃	40
最大进水余氯浓度/(mg/L)	200
清洗剂最大余氯浓度/(mg/L)	5 000
运行方式	全流过滤或错流过滤

2. 典型清洗工艺条件　OMEXELL 超滤膜典型清洗工艺条件如表 11-5 所示。

表 11-5　OMEXELL 超滤膜典型清洗工艺条件

反洗频率		隔 20～60min 一次(视具体水源或试验定)
反洗时间/min		每次 0.5～4
反洗透水速率/[L/(m²·h)]		100～150
最大反洗压力/Pa		2.5×10^5 Pa
正洗		6min 1～1.5m³/h,8min 1.8～2.6m³/h
正洗时间/s		每次 20～30
气擦洗条件	组件最大进气压力/Pa	2.5×10^5
	单支组件进气量/(m³/h)	5～12
	气洗时间/s	每次 30～180
	增加气洗频率	依实际情况定
	气擦洗进口压力/Pa	≤1.0×10^5
	气源要求	无油压缩空气

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

分散化学清洗	清洗频率	最少按24h 1次，一般根据试验结果定
	分散化学清洗时间/min	5～10，视实际水源而确实
	化学清洗药剂	酸洗：0.2% HCl（视具体水质情况可适当增减） 碱洗：0.05% NaOH + 0.1% NaOCl（视具体水质情况可适当增减）
化学清洗	清洗频率	跨膜压差比初始运行压力上升了 1.0×10^5 Pa（相同温度下），或者 K 值下降了25%～35%左右，且通过上述常规反洗步骤反复多次或化学分散后不能恢复到理想效果时
	化学清洗时间/min	60～90（污染严重的可适当延长）
	化学清洗药剂	酸洗：1%～2%的柠檬酸，或1%～2%草酸，或0.4% NCl 碱洗：0.1% NaOH + 0.2% NaOCl（有效氯计）
	清洗流量/(m^3/h)	1（每支组件）
	清洗液温度	酸洗推荐：35～40℃，碱洗推荐：30～35℃

第三节　超滤系统设计

一、设计条件

1. 电镀废水进水条件　起滤膜进水条件如表11-6所示。

表11-6　起滤膜进水条件

进水条件		透水速率 /[L/(m^2 · h)]	反洗间隔 (min)	气洗频率 /(次/天)	化学分散清洗
浊度/NTU	TOC/(mg/L)				
0～5	<40	40	20	6	推荐

2. 膜组件产水量和进水温度的关系　由于液体的黏度会随温度发生变化，因此对于任何超滤膜组件，在任何工作压力下，其过滤流量或透膜压差都会随温度而呈较大幅度的变化。如图11-6所示是OMEXELL超滤膜组件在相同透膜压差下膜通量随温度变化曲线。

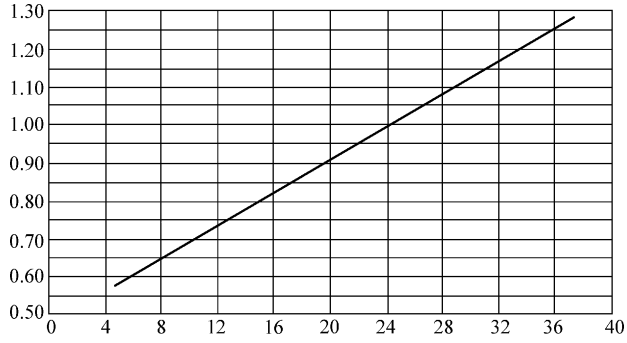


图11-6　OMEXELL超滤膜组件在相同透膜压差下膜通量随温度变化曲线

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 11-6 中以液体温度为 25℃为基准设定校正系数为 1，按实际温度从表中读出校正系数，那么此时标准化通量 = 此温度下的通量/校正系数。

如图 11-7 所示是 OMEXELL 超滤膜组件在不同过滤通量下透膜压差（TMP）随温度变化的校正曲线

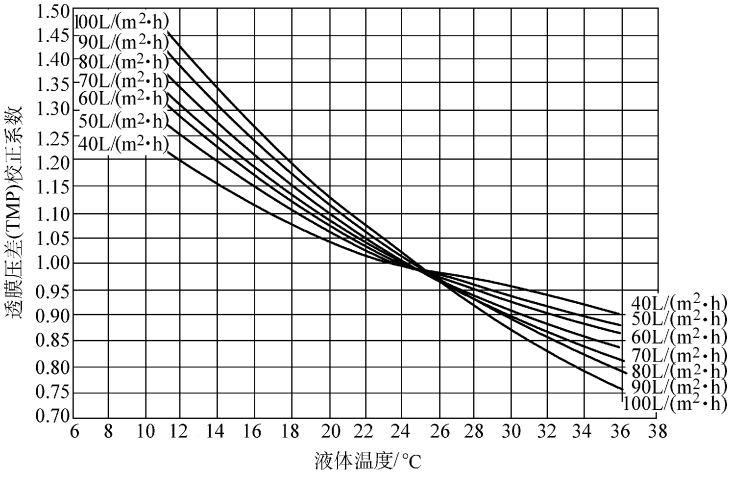


图 11-7　OMEXELL 超滤膜组件在不同过滤通量下透膜压差（TMP）随温度变化的校正曲线

通过曲线可以计算在恒通量条件下运行时，所需要的透膜压差随温度变化的情况。

示例 1：实际水源水质情况确定 25℃下的设计通量为 80L/(m^2 · h)，实际运行中的液体水温为 14℃，要求计算压差不变的情况下，14℃下的通量。

计算：查图 11-7 14℃下 SFP 系列超滤膜组件通量的温度校正系数为 0.776，则 14℃下的通量 = 80L/(m^2 · h) × 0.776 = 62L/(m^2 · h)。

示例 2：要求 OMEXELL 超滤膜组件按 80L/(m^2 · h)的恒定通量运行，试验测试在 30℃下所需要的透膜压差为 0.5×10^5Pa。系统运行中最低水温为 15℃，要求计算最低水温下所需要的透膜压差。

计算：曲线以 25℃时的透膜压差为基准，由图 11-7 可知：

30℃时，80L/(m^2 · h)通量下的 TMP 校正系数为 0.92；

15℃时，80L/(m^2 · h)通量下的 TMP 校正系数为 1.25；

则 15℃运行时的透膜压差 = $0.5 \times 10^5 / 0.92 \times 1.25 = 0.68 \times 10^5$Pa。

二、超滤的反洗与清洗

为保证超滤系统的长期稳定运行，需配置反洗系统、清洗系统及压缩空气系统。超滤运行及反洗过程如图 11-8 所示。

（1）反洗系统。反洗系统包括反洗水箱、反洗水泵和次氯酸钠加药装置。

1）反洗水箱。超滤反洗用水一般采用超滤产水，故可以不另设单独的反洗水箱，而采用超滤的产水箱。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）反洗水泵。超滤采用频繁的反洗技术，故应单独设置反洗水泵，可按下列参数选取。

①流量：膜组件反洗通量可以按100～150L/(m^2·h)，折合成膜组件流量后乘以单套装置组件数量即可。

②扬程：考虑管路损失，在满足流量要求下，一般控制进超滤压力在$1\times10^5\sim2\times10^5$Pa。

③泵的过流材质应为不锈钢。

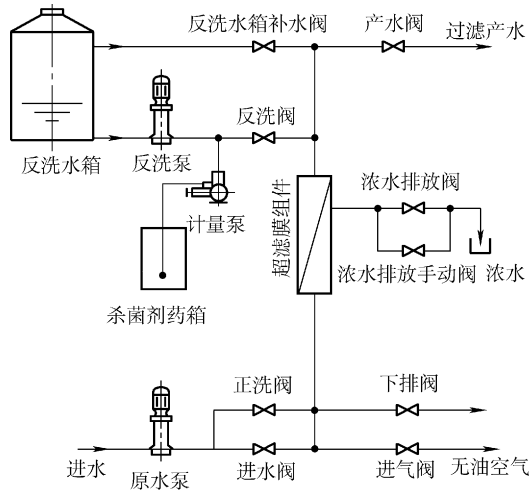


图 11-8　超滤运行及反洗过程

3）次氯酸钠加药装置。为抑制膜组件内细菌滋生，可以单独设置该加药装置。加药有两种方式，一种是在进水中连续加入$(1\sim5)\times10^{-4}\%$ NaOCl，另一种是在反洗水中加入$(10\sim15)\times10^{-4}\%$ NaOCl。次氯酸钠加药装置包括以下设备。

①加药箱。一般按一昼夜以上的药品贮存量，配低液位开关，低液位报警并停计量泵。

②计量泵。按加入反洗水中次氯酸钠浓度$(10\sim15)\times10^{-4}\%$或按进水中加入$(1\sim5)\times10^{-4}\%$浓度来确定计量泵的流量，压力大于0.3MPa。

（2）化学清洗系统

1）化学分散清洗系统。对于水质比较差的原水，建议在系统运行过程中增加化学分散清洗，根据水质情况选择酸洗或碱洗装置之一，或者二者均选用。

化学分散清洗系统设备由加药箱和计量泵组成。

超滤进水中含有铁、铝等高价金属的胶体或者悬浮物，这些杂质可能造成超滤膜的无机污染，要加一定浓度的酸溶液进行化学分散清洗，根据水质情况选用盐酸、草酸或柠檬酸等。

为防止有机物及活性生物引起的超滤膜组件污染，要用一定浓度的碱溶液进行化学分散清洗，所用的碱溶液推荐采用浓度为0.1% NaOCl + 0.05% NaOH 溶液。有机物污染特别严重时，要适当提高NaOCl浓度，延长浸泡时间，浓度不要超过0.2%。

2）化学清洗系统。透膜压差比初始运行压力上升了1.0×10^5Pa（相同温度下），或者K值下降了25%～35%，且通过上述常规反洗步骤反复多次或化学分散清洗后不能恢复到理想效果时用化学清洗。

化学清洗系统包括清洗水箱、清洗水泵和清洗过滤器，一般布置于一个机架上，该清洗为手动过程，手工配药，且需停机后进行。

①清洗水箱。容器可按膜组件水容积量计算出单套超滤装置组件的清洗液量，加上清洗管道及清洗过滤器内清洗液的量，再适当放上一些余量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

②清洗水泵

a. 流量：按每支膜组件 1m³/h 流量计，乘以单套装置组件数量即可。

b. 扬程：在保证清洗流量下，考虑管路损失，一般进口压力不超过 30N。

c. 泵的过流材质为不锈钢。

③清洗过滤器。清洗过滤器流量可以按清洗水泵流量选取，材质为不锈钢。

（3）压缩空气系统。采用气擦洗技术可以大大提高超滤的反洗效果。气源要求无油压缩空气，超滤装置最大进气压力 2.5×10^5Pa，单支组件进气量 5～12m³/h。

三、超滤装置程控步序

超滤装置每 10～20min 需反洗，故一般均为自动运行，不同的进水水质具体的运行及清洗参数、步序等不同，要根据现场调试情况最终确定。总的原则是，当水质较差时，增加反洗、气擦洗以及分散化学清洗的频率。下列步序是电镀废水的一个例子。

反洗下排 15s→反洗上排 15s→反洗上排 + 气洗 10s→反洗下排 + 气洗 10s→正洗上排 + 气洗 15s→运行 10min→反洗下排 + 气洗 10s→运行 10min→反洗下排 15s→反洗上排 15s→运行 10min→反洗下排 + 气洗 10s→运行 10min→重复。

四、运行

膜组件首次运行时，要进行冲洗以除去组件内的保护溶液，注意起始产水量控制在设计水量的 30%～60% 左右，24h 后，再增至设计产水量，有利于膜通量的长期稳定。

如短期停用（2～3 天），可每天运行 30～60min，或每天进行一次单独的反洗步骤；如长期停用（7 天以上），关前对超滤装置进行 3～8 次气擦洗，并按步序表进行完整的反洗步骤；如膜污染比较严重，建议停机反洗前进行一次完整的化学清洗并向装置内注入保护液（质量分数为 0.5%～1% 的亚硫酸氢钠溶液），关闭所有的超滤装置进出口阀门，每月检查一次保护液的 pH 值，当 pH≤3 时应及时更换保护液。

任何时候都要保持超滤膜处于湿态，一旦脱水变干，将会造成组件不可逆损坏。

超滤装置持续产出满足需要的过滤水，必须满足三个条件，即合格的进水水质、合适的清洗时间间隔、及时的化学清洗。

1. *膜污染形式*　膜污染主要有膜表面覆盖污染和膜孔内堵塞污染两种形式。

膜表面污染大致呈双层结构，上层为较大颗粒的松散层，紧贴于膜面上的是小粒径的凝胶层，一般情况下，松散层尚不足以表现出对膜的性能产生大的影响，在水力剪切力的作用下可以冲洗掉；膜表面上的细腻层则对膜性能正常发挥产生较大的影响，因为该污染层的存在有大量的膜孔被覆盖，而且该层内的微粒及其他杂质之间长时间的相互作用极易凝胶成滤饼，增加了透水阻力。

膜孔内堵塞污染是指微细粒子塞入膜孔内，或者膜孔内壁因吸附有机物等杂质形成沉淀而使膜孔变小或者完全堵塞，这种现象的产生一般是不可逆的过程。

2. *污染物质*

（1）有机物污染：表面活性剂、清洁剂和高分子聚合物（絮凝剂），这些物质可以吸附于膜表面。

（2）微生物污染：一些营养物质被膜截留而积聚于膜表面，细菌在这种环境中迅

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

速繁殖，活的细菌连同其排泄物质形成微生物粘液而紧紧粘附于膜表面，这些粘液与其他沉淀物相结合，构成了一个复杂的覆盖层，其结果不但影响到膜的透水量，也使膜产生不可逆的污堵。

3. 运行数据记录　进水温度、进水压力、产水压力、产水流量、浓水排放流量每2h记录一次，进水COD、产水COD、进水浊度、产水浊度可每周测一次，每天应以时间为横坐标，产水压力为纵坐标绘制曲线图，如果发现曲线在短时间内较运行开始下降了20%，则装置运行参数需要及时调整，使其稳定运行，然后进行一次化学清洗。

4. 过程控制　装置有三种运行工况，即待启动状态（所有阀门关闭）、工作状态、冲洗状态。有两种控制模式：手动和自动。

自动控制模式由PLC完成，刚接通电源，装置处于待启动状态，一旦断电，供水泵、计量泵等停止，所有阀门转入关闭状态。当电源重新接通时，装置再一次处于待启动状态。

5. 装置关闭条件　超滤装置自动关闭条件如下。

（1）供水泵出现故障。

（2）控制阀出现故障。

（3）进水压力过高。

（4）产水背压过高。

（5）反洗进水压力过高。

6. 装置连锁及报警　传感器输出开关信号给PLC，通过PLC进行报警并使系统处于连锁状态。装置连锁报警如表11-7所示。

表11-7　装置连锁报警

1	设置点	进水压力过高
	设定值	压力＞正常进水压力＋10N
	连锁内容	激活报警,装置转入待启动状态
	连锁延时	延时5s激活报警提示,装置转入待启动状态
2	设置点	产水出口压力过高
	设定值	压力＞正常出水压力＋5N
	连锁内容	激活报警,装置转入待启动状态
	连锁延时	延时5s激活报警提示,装置转入待启动状态
3	设置点	反洗压力过高
	设定值	压力＞最小反洗流量下的压力
	连锁内容	激活报警
	连锁延时	延时5s激活报警提示
4	设置点	距离反洗水箱7cm
	设定值	压力＞最小反洗流量下的压力
	连锁内容	激活报警,关停计量泵
	连锁延时	装置处于工作状态

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7. 超滤控制界面建议可修改项目　超滤控制界面建议可修改项目如表11-8所示。

表11-8　超滤控制界面建议可修改项目

主参数项	反洗参数项	分散清洗参数项
1）正洗时间(s)	1)气洗时间(s)	1)分散正洗(s)
2）分散后反洗次数	2)气洗频率/反洗	2)加药排水(s)
3）反洗周期(min)	3）排水时间(s)	3)进药时间(s)
4）运行正洗(s)	4）气洗次数/反洗	4）浸泡时间(min)
5）运行正洗次数	5）顶部反洗(s)	
6）开机正洗(s)	6）底部反洗(s)	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十二章　中水回用装置——反渗透

第一节　反渗透系统设计

一、反渗透概念

（1）溶液。溶液是由一种或多种物质分散在另一种物质中所形成的分散体系，被分散的物质称分散质，起分散作用的物质，也就是分散质周围的介质称为分散剂。当分散质粒子直径大于100nm，肉眼可看出系统呈浑浊状态；当分散质粒子直径为1～100nm时，外表看整个系统是清澈的。

（2）溶液的渗透。许多天然或人造的薄膜对物质的透过性具有选择性，有一种膜上的微孔只允许溶剂分子通过，而不允许溶质分子通过，这类膜称为半透膜。天然半透膜有毛细血管壁、细胞膜、动物膀胱、肠衣、萝卜皮、蛋皮等，人造半透膜有羊皮纸等。当然，各种半透膜的通透性是不同的，如细胞膜只允许小分子通过，而毛细血管壁不但允许小分子通过，小分子盐类的离子如K^+、Na^+也能通过，可以用半透膜隔开体积相等的纯水和水溶液。反渗透原理如图12-1所示。

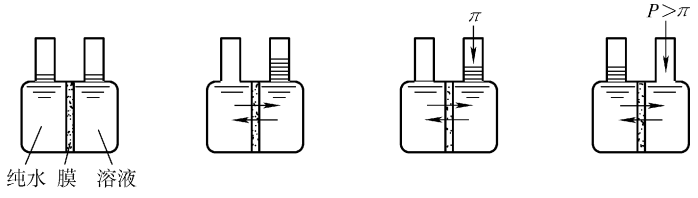


图12-1　反渗透原理

图12-1a是在用膜隔开的相同容积的玻璃皿中分别倒入纯水和溶液，纯水与溶液的体积相等，一段时间后，溶液的液面就会升高，而纯水的液面会降低，如图12-1b所示，这是由于半透膜的存在，使膜两侧不同浓度的溶液出现液面差，这种现象称为渗透，其原因如下：在两侧静水压相同的前提下，单位时间内膜两侧水分子通透的数目是不相同的，进入溶液的水分子更多一些，从而导致溶液一侧的液面升高，一侧液面降低。溶液一侧液面升高后，静水压也随之升高，使进入纯水的水分子数目增加，当静水压升至一定值后，单位时间内从膜两侧透过来的水分子数目相等时，纯水的液面不再下降，溶液的液面不再上升，此时系统达到渗透平衡。

为了使渗透现象不发生，必须要在溶液上方施加一定压力，使膜两侧的溶液与溶剂

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

直接达到渗透平衡，所施加的额外压力称为该温度下溶液的渗透压，用 Π 表示，单位为 Pa，见图 12-1c 所示；如果加在溶液上的压力 P 超过了渗透压 Π，则会使溶液中的溶剂向纯溶剂扩散，这种现象叫反渗透如图 12-1d 所示。

生物有机体的细胞膜大多具有半透膜的性质，因此，渗透压是生物体中传递水分的主要动力。在 37℃时，人体血浆的总渗透压约为 770kPa，植物细胞的渗透压可达 2MPa，所以，水可由植物根部送到数十米高的树枝顶端。

二、反渗透系统设计

反渗透系统设计就是针对给定的原水水质，提出产水量、产水水质、回收率的要求，通过各种计算，确定一套反渗透系统，使之实现。其系统包括两部分，一部分是反渗透本身，由反渗透膜、高压泵、仪表、管道、阀门组成；另一部分是清洗系统。设计要尽可能降低操作压力，提高产水量、回收率，要有较低的清洗维护费用，以及能长期稳定地运行。

1. 原水水质报告　原水水质报告如表 12-1 所示。

表 12-1　原水水质报告

电导率		总硬度		浊度(NTU)	
pH 值		总固含量		化学耗氧量	
阳离子	mg/L	阴离子	mg/L		
钙离子(Ca^{2+})		二氧化碳(CO_2)			
亚铁离子(Fe^{2+})		碳酸根(CO_3^{2-})			
总铁(Fe^{2+}/Fe^{3+})		氯离子(Cl^-)			
铜离子(Cu^{2+})		硫酸根(SO_4^{2-})			
锌离子(Zn^{2+})		二氧化硅(SiO_2)			
镍离子(Ni^{2+})		游离氯(Cl^-)			

注：列出的阳、阴离子根据具体水质情况增减。

2. 产水水质要求　产水水质要求达到自来水标准。

电镀厂用水根据工艺的不同要求，分为工艺用水、镀件清洗用水和设备冷却用水三种。工艺用水指配置溶液、校正调整溶液、溶液补充水，电镀质量要求较高时，如电路板、手表、首饰、工艺品等，都要用除盐水；镀件清洗用水视情况而定，如清洗后补充镀液或循环回用，这种情况下，清洗水要用除盐水，电路板要求高，清洗也要用除盐水，除此以外，清洗水采用符合生活饮用水准的自来水即可；设备冷却用水也采用符合生活饮用水准的自来水。纯水的分类如表 12-2 所示。

表 12-2　纯水的分类

纯水的种类 / 指　标	除盐水	纯水	高纯水
电阻率/(Ω·cm)(25℃)	$(0.1\sim1.0)\times10^6$	$(1.0\sim10)\times10^6$	$>10\times10^6$
电导率/(μs/cm)			
含盐量/(mg/L)	1～5	0.1～1	<0.1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

电镀对水质的要求较高，水中的杂质会给电镀质量带来较大的影响。水中杂质对电镀质量的影响如表 12-3 所示。

表 12-3 水中杂质对电镀质量的影响

杂质 / 镀槽	Cd^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	Fe^{2+}	NO_3^-	Cl^-	有机物	硫酸盐
氰化镀镉	1	1		4				
镀铬		5	5	5			7	3
酸性镀铜				2		6		
氰化镀铜	1	1		1			10	
硫酸镍镀镍	1		11	2,8,9,11	11		4,8	
氰化镀银	1	1		12			13	2,8
碱性镀锡	1	1						
酸性镀锡							14	
氰化镀锌	1,2	1						

注：1——镀槽内产生沉淀；2——镀层粗糙；3——硫酸盐多改变了镀铬液里铬酸和硫酸相对比例；4——烟雾状镀层；5——降低效率；6——镀层带粒状；7——还原 Cr^{6+}；8——镀层有条纹；9——镀层光泽不好；10——镀层有麻点；11——镀层发脆；12——镀层有锈斑；13——结晶镀层；14——降低电镀效率。

目前对电镀水质尚无一个统一的标准，前苏联电镀用水水质标准如表 12-4 所示，另外珠三角一些企业制定的标准，如珠三角首饰、表类清洗水指标见表 12-5。

表 12-4 前苏联电镀用水水质标准

组成电解液的水应去除矿物质(无盐水),其物理化学指标			
序 号	指标名称	数 据	备 注
1	硬度	≤10mg · N/L	有误
2	悬浮物	不允许	
3	氯化物	≤5mg/L	
4	亚硝酸盐、硝酸盐	不允许	
5	铁(总量)	≤0.3mg/L	
6	碱度	≤0.2μg · N/L	微克当量/升
7	硅酸	≤1.0μg · N/L	
8	总含盐量	≤5mg/L	
9	电阻率	≤100 000	
10	电导率	$10(\mu\Omega \cdot cm)^{-1}$	电阻率的倒数

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

在冲洗没有较高要求的防护镀层时,所用水的物理化学指标			
序　号	指 标 名 称	数　　据	备　　注
1	硬度	6mg·N/L	毫克当量/升
2	固体物质	20mg/L	
3	悬浮物质	10mg/L	
4	亚硝酸盐	1mg/L	
5	氯化物	50mg/L	
6	残余氯化物	5mg/L	
7	铁	0.3mg/L	

表 12-5　珠三角首饰、表类清洗水指标

序　号	指　　标	数　据	序　号	指　　标	数　据
1	色度/PCU	5	10	锌/(mg/L)	1.0
2	浊度/NTU	1	11	氰化物/(mg/L)	0.05
3	嗅和味	无	12	铬/(mg/L)	0.05
4	肉眼可见物	无	13	氯化物/(mg/L)	100
5	pH 值	6.5～8.6	14	亚硝酸盐/(mg/L)	0.1
6	电导率/(μs/cm)(20℃)	≤60	15	对硫磷/(mg/L)	0.1
7	铁/(mg/L)	0.3	16	甲基对硫磷/(mg/L)	0.1
8	锰/(mg/L)	0.05	17	化学需氧量(COD)/(mg/L)	4
9	铜/(mg/L)	1.0	18	细菌总数	

3. 单组件系统　膜元件装入压力容器内所组成的组合件称为膜元件，每支压力容器可容纳 2～8 支标准长的膜元件，第一支膜元件的浓水成为第二支元件的进水，以此类推。所有膜元件的产水管相互连通，并与组件压力容器外壳端板上的产水接口相联，组件产水出口可以选择在组件的进水端或浓水端。单组件系统如图 12-2 所示。

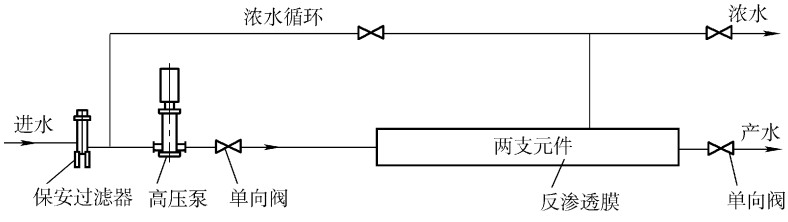


图 12-2　单组件系统

进水首先流过保安过滤器，然后进入高压泵，再进入膜组件的入口，产水经过单向阀后进入产水箱，装单向阀的目的是使产水压力不超过进水压力。浓水离开组件的压力

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

几乎与进水压力相当，浓水控制阀控制浓水流量和系统的回收率，浓水回流可提高回收率，但系统回收率不得超过设计规定值。在单组件系统中，为了达到系统回收率高于50%的目的，浓水部分回流，部分排放。

回流的优点是提高回收率，降低膜受污染的风险；缺点是能耗高，产水水质低。

4. 单段系统　两个或两个以上的膜组件并联在一起，即进水、产水和浓水管均与总管路分别相联，称为单段。单段系统常用于系统回收率小于50%的情况。单段系统如图12-3所示。

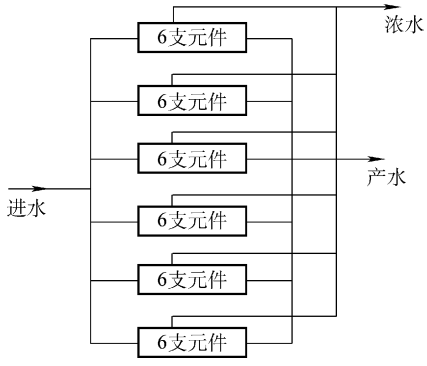


图12-3　单段系统

5. 多段系统　一段浓水作为下一段的进水，组成多段系统，两段系统如图12-4所示。

两段并列可实现75%的系统回收率（每件膜组件含6支元件）。系统要求回收率高，串联在一起的膜元件数就越多。为了平衡被取走的产水，保持每段原水的流速均匀，每段压力容器的数量按进水方向递减。

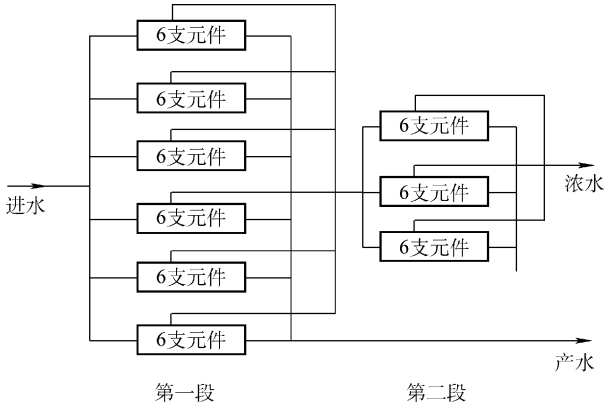


图12-4　两段系统

6. 原水一次通过与浓水循环　进水只流过膜系统一次，浓水不断地被浓缩，称一次通过系统。当元件数量少，而又要达到一定的回收率时，可以采用浓水循环，即部分浓水直接回到该组件或该段进口，与进水相混合。

产水电导率是产水品质最重要的参数。例如，产水中CO_2过高，而CO_2无法被膜去除，它会存在于成品水中，形成碳酸，引起电导率上升。可将进水加碱使pH值调到8.2左右，所有的CO_2转化为碳酸，碳酸能被膜去除，就可阻止CO_2透过反渗透膜，但要防止发生碳酸钙沉淀。

7. 设计

（1）设计通量的确定。设计通量是特征参数，原水水质好，可以采用较高的设计

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

通量，原水水质差，则采用较低的设计通量；在同一水质的条件下，如想初期投资少一些，可选择较高的设计通量，如想长期低成本运营，则应选择较低的设计通量。对于电镀废水，SDI<5，系统通量14~20L/(m^2·h)。

淤泥密度指数SDI与水中残留的污堵物的含量有很好的对应关系，可反映污堵物的浓度，通量越高，污堵越严重。原水中存在的颗粒和胶体会引起膜元件的污堵，并随着进水的逐步浓缩而累积在反渗透表面。BW315ft²㊀元件，最大产水20m^3/d，最小浓水流量4.1m^3/h，最大给水流量12m^3/h。

（2）计算所需的元件数量

$$N_E = \frac{Q_p - t}{fS_E}$$

式中　Q_p——产水量设计值；

t——反洗及清洗用水；

f——设计通量；

S_E——膜面积；

N_E——原件数量。

（3）计算所需压力容器数

$$N_V = \frac{N_E}{N_{EPV}}$$

式中　N_{EPV}——每支压力容器可装的元件数量，一般选6支装；

N_V——计算压力容器数，圆整到整数。

（4）段数的确定。由多少支压力容器串联在一起就决定了段数，而每一段都有一定数量的压力容器并联组成。系统回收率越高，进水水质越差，系统就越长，即串联的元件就越多。回收率与段数的关系如表12-6所示。

表12-6　回收率与段数的关系

系统回收率(%)	串联元件的数量	装6支元件压力容器段数
40~60	6	1
70~80	12	2
85~90	18	3

（5）确定排列比。相邻段压力容器的数量之比称为排列比。例如，第一段为四支压力容器，第二段为两支压力容器，组成的系统排列比2:1。当采用常规6元件外壳时，相邻两段排列比通常是2:1。另一个确定压力容器排列比的重要因素是，第一段配置的压力容器数量必须为每支8in元件的压力容器提供8~12m^3/h的进水量，同样，最后一段压力容器的数量必须使每支8in元件的压力容器的最小浓水流量大于3.6m^3/h。

（6）分析和优化膜系统及系统性能预测。设计好一套系统后，其优劣程度如何及

㊀ 1ft=0.3048m。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

以后运行时性能怎样，每一支元件的产水量、浓水、压力如何，都可以通过软件进行分析、调整，每个品牌的商家都能为客户提供这样的服务。

（7）试验。在对原水水质很清楚的情况下，设计的系统性能可以用软件通过电脑预测出来，但对于复杂的废水，则可以经过试验来验证设计的合理性。

1）应用试验。用4040膜元件，试验溶液200L，将膜元件安装在一套具有在线调整与测量的装置上，通过调节进水压力直到所需的产水水质和产水通量值，来确定最佳运行压力。接着将水取走，而浓水回进水箱，继续试验，当产水量降到不经济的低限或产水水质降为不合格时，停止试验。用初始原水体积减去残留溶液体积除以原水体积，可得出回收率。

重复进行试验，可以得到膜稳定性和污染方面的资料。

2）模拟试验。产水量为大型系统产水量的1%，且至少操作30天以上，其目的在于确认系统设计，对操作参数作细致的调整，以减少大型系统中无法预见的风险，所采用的元件应与大型系统的元件相同。

（8）系统主要部件

1）高压泵。必须控制高压泵的出口压力，既能维持设计产水量，又不会超过膜元件最高允许进水压力。

2）压力容器。在选用压力容器时，所选择的压力等级必须高于因膜污染需要提高运行压力情况下的最高压力（一般要求，必须比3年后运行压力设计值高10%）。

3）阀。

①整个系统进水阀。

②离心泵旁路调节阀，应能控制操作压力及系统升压速度。

③泵出口端止回阀。

④产水管路止回阀。

⑤浓水管路上流量控制阀。

⑥产水管线上排放阀，用于清洗或开机时，排放不合格水。

⑦进水和浓水管路上应设有连接清洗回路的阀，每段能单独清洗。

（9）控制仪表。仪表的准确度相当重要，应按说明书进行安装与校正。各仪表及其安装部位如下：

1）压力表：保安过滤器的压降、泵进出口压力、膜元件进口压力、系统段间压降、产水压力。充液的压力表应使用与膜相兼容的液体，如水、甘油，而不允许使用油脂或其他不溶于水的液体。

2）流量计：进水流量、浓水流量、产水流量、每一段的产水流量。

3）计时计：记录累积的操作时间。

4）pH仪：加酸后的进水管路，监控碳酸盐是否结垢。

5）电导率仪：在进水、浓水、产水管线上，以检测产水水质和系统表观脱盐率。

6）取样口：进水、浓水、产水（总产水及各段产水管线）、每支压力容器产水出口均应设置取样口，便于评估系统的性能表现。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

7）水表：在产水、进水、反洗水管线上，记录累积产水量及系统耗水量。

（10）水箱：水箱内的水位通常应保持在最低的水位以上，必须正确地安装水箱的进出口管线，避免水箱内存在死角，还须对水箱采取防止尘埃及微生物污染的措施，如水箱密闭的，要设置特制的水箱呼吸过滤器。

1）原水水箱（池）：当用氯进行原水处理时，该水箱（池）必须提供 20～30min 的反应时间。

2）产水箱：系统的起动与停机均与产水箱的高低液位连锁，系统设计要使产水箱保证系统可以连续运行，系统停机的频率越低，系统的性能表现越佳。

3）产水回吸水箱：当系统停机时，产水会因自然渗透，从膜背面的产水侧渗透过膜，进入膜正面的浓水侧，如无足够的水供给回吸，将会吸进空气，就会引起下列问题：

①开机时空气会从系统中强行排出，水力及空气的冲击将损坏仪表，影响其设定值。

②膜元件的膜片将因失水而干燥（水通量的损失）。

因此，要设一个产水回吸水箱，产水水位必须高于压力容器的最高点，但不可超过系统最低压力容器 3m。为避免造成污染，产水由回吸水箱的底部进入，由上方流出，水箱要加盖，如果产水要进行加氯后处理，则加氯点须在此水箱之后。产水回吸水箱容积大小按下式计算：

$$V_{DBT} = (25T_E) - V_{pp}$$

式中　V_{DBT}——回吸水箱容积(L)；

T_E——系统使用元件数；

V_{pp}——压力容器与产水回吸水箱间产水管道体积(L)。

4）加药箱：对进水进行投药处理时，要设置加药箱，其容积一般为一天的药剂使用量。

5）其他。

①系统停机自动冲洗装置，用产水冲洗膜元件浓水侧。

②报警装置：低进水 pH 值、高进水 pH 值、低加药箱液位。

③连续记录：进水 SDI，进水及浓水流量，进水、产水、浓水压力。

④压缩空气系统：包括空气压缩机、空气干燥器、空气控制站。

⑤一年所需备件。

⑥通用及专用工具。

⑦操作培训、维护。

三、反渗透系统制造

材料选择和腐蚀控制：RO 系统的运行环境比较恶劣，有进水及浓水中的氯离子腐蚀、pH 值对管路的腐蚀，膜清洗化学药品的腐蚀，设备外表面暴露于飞溅、潮湿、含盐雾的环境中，还要承受运行压力、振动及温度的变化。腐蚀产物会造成膜的污堵，加快膜的非正常降解，因此必须选择耐腐蚀的管道、仪表、阀门、水泵、过滤设备、水箱

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

等，根据不同部件的使用特点以及原水和产水水质的特点，可使用塑料、不锈钢、钢衬胶、钢衬塑和玻璃钢等材料。

对电镀废水而言，高压泵、高压管道及保安过滤器均应选用不锈钢材料，输送管道和水箱采用优质 PVC、UPVC、ABS 工程塑料和玻璃钢复合材料。

不锈钢的基本优点是对一般腐蚀具有很好的抵抗力，不锈钢很少产生电流腐蚀和应力腐蚀，但不锈钢容易发生点蚀和缝隙腐蚀，点蚀代表金属受到局部侵蚀，在其表面造成凹陷孔洞，如果氧化铬钝化层被破坏，氯离子就会攻击裸露的金属形成点蚀。缝隙腐蚀与小孔、垫片表面、沉积池周围以及螺钉下的裂缝等处的一小撮静止水所导致的点蚀有关。为避免高压管路的点蚀和缝隙腐蚀，选材如下。

一般水源条件下，可选用 AISI304 不锈钢，相当于 SS321、0Cr18Ni9 或 1Cr18Ni9Ti。

当原水含盐量在 0.2% ~0.5%，可选用 $w(C)<0.08\%$ 的 AISI316 不锈钢。

当原水含盐量在 0.5% ~0.7%，可选用 $w(C)<0.03\%$ 的 AISI316 不锈钢。

各种不锈钢成分如表 12-7 所示。

表 12-7 不锈钢成分

项 目	UNS No	$w(C)\%$	$w(Cr)(\%)$	$w(Ni)(\%)$	$w(Mo)(\%)$
AISI316	S31600	<0.08	16.0 ~18.0	10.0 ~14.0	2.0 ~3.0
AISI316L	S31603	<0.03	16.0 ~18.0	10.0 ~14.0	2.0 ~3.0
AISI304					

在制造过程中应注意：尽量减少管路缝隙与死角，高压管道设计流速高于 1.5m/s，采用氩弧焊，焊前应对焊接处作清洗干燥处理，焊后作热处理；酸洗并钝化管线。

四、装卸及故障排除空间

（1）压力容器进水端要有能够取出、推进一支元件长度的空间，管道更换、法兰螺栓拆卸要有扳手及手能伸进的空间。

（2）每段能够单独用产水进行清洗，第一段的污浊物和无机结垢物从系统清除前必须经过下一段，降低了清洗效率，每段单独清污，使清洗操作更为有效，但是要配置足够的管路和阀门。

（3）SDI 测量装置及其测量点。最重要的系统预处理诊断工具是拥有和使用 SDI 仪表，能迅速地查出预处理故障点。

第二节 安装与拆卸

系统要马上投入运行，才可打开包装安装膜元件，否则应在原包装内密封存放。

一、安装前的准备

（1）设计一张示意图，安装元件同时要立即在示意图上填写 FILNTEC 膜元件的序列号（位于元件标签上），作为元件编号，有助于以后跟踪每一个元件的运行情况，还

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

应准备以下物品：橡皮手套、硅脂润滑剂、干净的布、甘油。

（2）对上游进水管路和压力容器进行化学清洗，保证所有的异物均被除去。

（3）拆下压力容器的端板和止推环，进一步检查压力容器内壁，可用一只能填满压力容器内径的拖把，吸满50%甘油水溶液，在压力容器内来回拉几下，直到内壁洁净和润滑为止。

二、安装元件

（1）戴上橡皮手套，从包装箱内小心取出膜元件，检查元件上的盐水密封圈位置和方向是否正确，盐水密封圈开口方向必须面向进水方向。装配一如图12-5所示。

（2）将膜元件不带盐水密封圈的一端从压力容器进水端平行地推入，直到元件露在压力容器进水端外面约10cm左右。

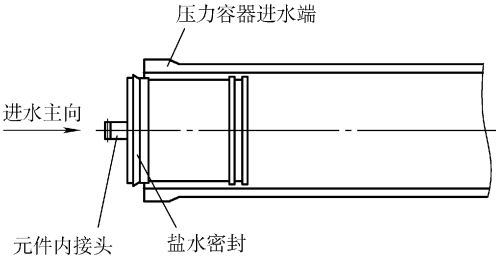


图12-5　装配一

（3）将元件间的连接内接头插入元件产水中心管内，在安装接头前，可在接头“O”形圈上涂抹少量的硅基“O”形圈润滑剂，或用纯甘油。

（4）取出第二支元件，重复检查工作，让第一支元件上的内接头插入第二支元件中心产水管内，注意不能让连接内接头承受该元件的重量，平行装元件推入压力容器内直到第二支大约露在外面10cm左右。

（5）所有元件装入压力容器内，转移到浓水端，在第一支元件产水中心管上安装元件内接头，并装上止推环。

装配二如图12-6所示。

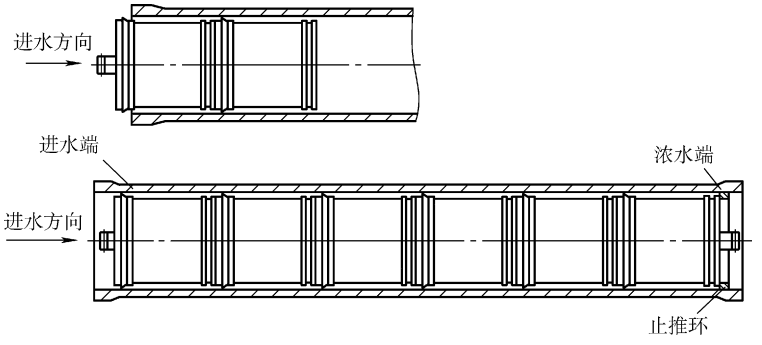


图12-6　装配二

（6）安装浓水端的端板

1）认真检查元件适配器上的“O”形圈，适配器是元件与端板间的过渡接头，俗称手榴弹，将元件适配器插入浓水端板内，成为一组合件，对准元件内接头将此端板平行推入压力容器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）旋转浓水端板组合件，使之与外部连接管对准。

3）安装端板卡环。

4）从进水侧将膜元件推向浓水侧，直到第一支膜元件与浓水端板牢固的接触。

5）安装进水端端板。该端板与膜元件间的间隙用调整片来调整，它能保证将所有元件紧紧地顶住止推环和压力容器的浓水端板。调整片是购买压力容器的附带的，通常厚5mm，其内径直径略比端板内接头外径大。

调整片作用说明：

压力容器长度会有一定的过盈尺寸，允许元件长度的微小变化，由于过盈的存在，开机和停机时膜元件会在压力容器内前后滑动，加速密封件的磨损，此外，升压时压力容器也将伸长，在极端情况下，与进水或浓水相邻的元件可能会从端板上脱离开来，从而产生严重的产水渗漏。装了调整片，可减少元件的窜动，保证内接头与最前面和最后的元件均能牢固地接触密封。装调整片如图12-7所示。

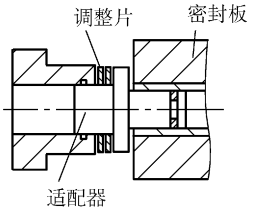


图12-7 装调整片

1）装调整片，取下内接头上的“O”型密封圈和压力容器进水端板上与外壳间的密封圈。

2）在连接膜元件产水口接头上装入足够多的调整片，直至无法装上端板外的卡环为止。

3）去掉一只调整片，直到正好可以装上端板及其卡环，轻微的元件松动是允许的。

4）再拿出进水端板，重新装上内接头“O”型圈和端板密封圈。

当同时调整进水及浓水端的间隙时，要特别注意，在浓水端产水内接头加装调整片的同时，还必须在止推环上加装同等数量和厚度的调整片，如浓水端加了，而止推环未加，则膜元件会发生“望远镜”型破坏后果。

三、拆卸

（1）给所有拆下的部件编号，按次序放好。

（2）从压力容器两端拆下容器端板组合件。

（3）必须从压力容器进水端将膜元件依次推出，每次仅允许推出一支元件，并及时接住。

有时为了优化系统的水力分布，可在设计时考虑在压力容器进水最前端位置安装空白元件，即长的标准中心管，如果安装，则同一段的所有压力容器都要装。如果同一段装的数量不一样，则会出现严重的系统偏流，这是不允许的。

第三节 操作管理

正确的系统操作和维护管理，是保证RO长期高性能稳定运转的关键，它包括系统的首先投运和日常开机操作，膜元件污堵、结垢、堵塞、氧化降解以及水力冲击等的预防。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

一、运行

1. *首次启动*　必须完成预处理检查、膜元件安装、仪表校正、确保预处理出水达到膜进水要求（流量、SDI、pH 值、），尤其是有防止背压和水锤的措施（高压泵后安装蝶阀，缓慢开启）。常规启动顺序如下。

（1）在原水不能进入元件的前提下，彻底冲洗原水预处理部分，冲掉杂质和其他污染物，防止进入高压泵和膜元件，特别检测 SDI 是否合格，进水不含余氯。

（2）检查所有阀门并保证所有设置正确，系统产水排放阀、进水控制阀和浓水控制阀必须完全打开。

（3）用低压低流量预处理出水赶走膜元件内和压力容器内的空气，每支 8in 压力容器冲洗流量为 2.4～12.0m^3/h，冲洗过程中的所有产水和浓水均应排放至下水道。冲洗 6h，浸泡过夜，再冲洗 1h，冲洗期间不允许投加阻垢剂。

（4）在冲洗操作中，检查所有阀门和管道连接处是否有渗漏点，如有，应紧固或修补漏水点。

（5）启动高压泵，应保证缓慢开启，防止水锤对膜的冲击。

（6）缓慢关闭浓水控制阀，直到产水流量达到系统设计值，保证回收率不超过设计值，检查系统运行压力，确保未超过设计上限。

（7）检查所有化学药剂投放量是否与设计一致。

（8）检测每支压力容器产水电导率，判断是否存在膜元件和压力容器“O”型圈的泄漏和其他故障。

（9）检查仪表安装是否合适。

（10）连续运行 1h，记录运行参数。

（11）上述开机是在手动操作模式下进行的，待系统稳定后转换为自动运行模式。

（12）连续运行 24～48h 后，记录所有系统数据，包括进水压力、压差、温度、流量、回收率及电导率，同时对进水、浓水和总系统产水取样并分析其离子组成。以此时的运行参数作为系统性能的基准，为今后评估系统长期性、稳定性提供参考标准。

（13）比较设计参数与系统实际性能参数。

注：冲洗所采用的水最好是反渗透系统的产水。这是由于反渗透的产水对污染物的溶解性更好，若无法采用反渗透系统的产水时，采用反渗透系统的给水进行系统冲洗。

2. *日常启动*　日常启动顺序由可编程序控制器自动实现的，每 3 个月校正仪表，检查报警器，进行防腐和防漏维护。

3. *运行记录*　每班记录一次，其内容如下：

（1）操作日期、时间及系统运行时数。

（2）预处理的前后压降。

（3）每一段进水、产水与浓水压力、流量、电导率，每周测一次每支压力容器的产水电导率。

（4）进水、产水和浓水的 pH 值。

（5）RO 进水 SDI 和浊度。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（6）进水水温。

（7）不正常事件，如 SDI、压力等失常及停机等情况。

（8）每星期对进水、产水、浓水和原水作完整的水质分析。

4. 维修保养记录　主要内容有记录例行维修情况、机械故障和更换情况、仪表的校正记录、预处理及保安过滤器更换情况、化学清洗情况等。

5. 调整操作参数　由于污染所引起的膜通量的变化需要通过调整进水压力来补偿，但不能超过规定的最高进水压力，如果结垢倾向增加，则应增加系统浓水的排放量，降低系统的回收率。另一种系统产水量的调节是降低系统产水量，可选用转速可以调节的高压泵，低流量运行时，要确保系统的浓水流量超过最小浓水流量。

进水含盐量增加时，可通过提高运行压力来弥补产水量的下降，如运行压力已接近上限，产水量仍没达到要求，则只能采取减低水量和系统回收率的操作模式；当进水含盐量减低时，可相应减低运行压力，或增加回收率、产水量。

6. 系统停机

（1）停机前，必须用产水冲洗整个系统，以便将高含盐量的浓水从压力容器和膜元件内置换掉，直到浓水出水电导率接近进水电导率，冲洗应在 3.0×10^5Pa 低压下进行，高流量有利于提高冲洗效果，冲洗结束后，应完全关闭进水阀。膜系统不作任何防止微生物生长保护措施的最长停运时间为 24h，如果无法做到每隔 24h 冲洗一次，但又必须停止运行 48h 以上时，必须采用化学药品进行封存。

（2）系统保存。先清洗，典型的清洗顺序如下：以 pH = 11 的温和碱性清洗液清洗 2h，然后进行杀菌和短时间酸洗，如果原水中不含结垢和金属氢氧化物成分，可以不进行酸性清洗。

保存步骤如下。

1）赶走压力容器内的空气。将元件完全浸泡在 w（亚硫酸氢钠）= 1% ~ 1.5% 保护溶液中，采用循环溢流方式循环亚硫酸氢钠保护溶液，使最高压力容器开口处产生亚硫酸氢钠保护溶液的溢流。

2）关闭所有阀门，使系统隔绝空气。否则，空气将会氧化亚硫酸氢钠，使保护溶液失效。

3）每周检查一次保护液的 pH 值，当 pH 值低于 3 时，更换保护液。

4）至少每月更换一次保护液。

7. 微生物　电镀废水经生化处理后会有微生物，生物污堵是 RO 系统常见且最严重的问题。在预处理中要进行杀菌，预处理系统的管线、接头、过滤器和水箱应不透光，以免促进微生物的生长，并且要对微生物进行监控，定期在产水中、浓水中预处理后取样检查。

二、清洗

进水中有许多可导致 RO 膜表面污染的物质，如水合金属氧化物、含钙沉淀物、有机物及生物结垢物，预处理的目的在于尽量减少这些物质。但下列情况仍会造成污垢不可避免：预处理系统不完善，运行不正常，投药系统失灵，停机冲洗不及时或不充分，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

系统管线和泵材料不适合，膜表面长时间累积沉积物，进水组分或其他条件改变，生物污染等。具体哪种情况要进行分析：分析 SDI 值的微孔滤膜膜面上所截留的污物，分析保安过滤器滤芯上的沉积物，分析原水水质报告，检查 RO 膜元件的进出水端面，如为红棕色，则表示可能已发生铁的污染，泥状或胶状沉积物通常为微生物或有机物污染，导致产水量和脱盐率下降。即出现标准化产水量降低 10% 以上，进水和浓水之间的标准化压差上升 15%，标准化透盐率增加 5% 以上。

值得注意的是，有些情况并非膜污染所致，如进水温度降低，产水量会下降；压力控制失常或回收率增加会导致产水量下降或透盐率增加，这些情况并不需要清洗。

1. 清洗安全注意事项

（1）清洗液在进入元件循环时，清洗化学药品要得到很好的溶解和混合。

（2）清洗后要在低流量和压力下用产水冲洗清洗液。另外，在清洗过程中，清洗液也会进入产水侧，因此，在正常运行时，产水必须排放 10min。

（3）对于直径大于 6in 的元件，清洗液的流动方向必须与正常运行方向相同，以防止元件产生“望远镜”现象，因为压力容器内的止推环仅安装在压力容器的浓水端。

2. 清洗设备　反渗透清洗流程如图 12-8 所示。

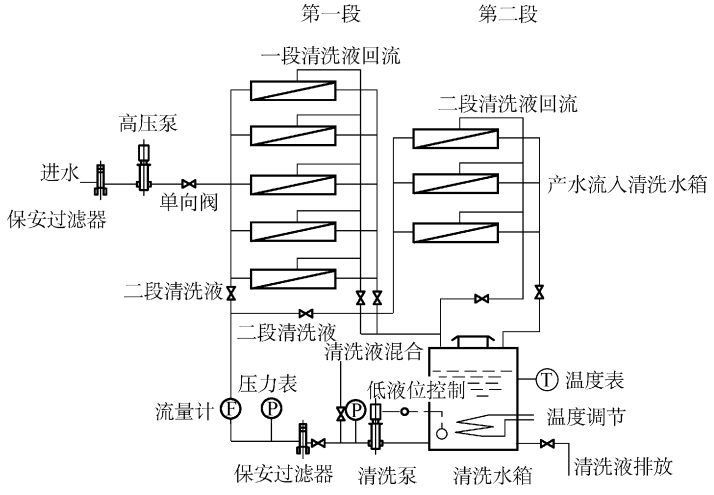


图 12-8　反渗透清洗流程

（1）清洗水箱。用作混合和循环用的清洗水箱材质是聚丙烯或玻璃钢。清洗水箱应设有可移动的盖子和温度表，清洗温度不应低于 15℃，提高清洗温度有利于提高清洗效率。清洗水箱容积大致是压力容器的容积与清洗液循环管路的容积之和，举例如下。

例：试确定 10 支含 6 芯的 8in 元件压力容器的清洗水箱容积。

解：单支压力容器容积 V_1

$$V_1 = \pi r^2 L = 3.14 \times (4 \times 0.0254)^2 \times 20 \times 0.3048 = 0.197\text{m}^3$$

$$V_{10} = 10 \times 0.197 = 1.97\text{m}$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

管线的容积：假设使用50in长、4in SCH80美标管

$$V_p = \pi r^2 L = 3.14 \times (1.91 \times 0.0254)^2 \times 50 \times 0.3048 = 0.113\text{m}^3$$

$$V_{总} = V_{10} + V_p = 1.97 + 0.113 = 2.083\text{m}^3$$

所配制的清洗液体积约为2.083m³，由于水箱完全装满会产生溢流，一般应考虑20%的裕度，因此，应选择2.5m³的耐腐蚀水箱作清洗水箱。

（2）清洗泵。高容量循环压力容器流量与压力的选择参照表12-8。再加上管路和滤芯的压力损失，水泵的材质为316不锈钢或非金属聚酯复合材料。

表12-8 高流量循环压力容器流量与压力

元件直径/in	流量/(m³/h)	压力/Pa
4	1.8～2.3	1.5×10^5～4×10^5
6	3.6～4.5	1.5×10^5～4×10^5
8	6.0～9.1	1.5×10^5～4×10^5

（3）阀门、流量计、压力表。控制清洗流量，清洗管道流速应小于10m/s。

3. 清洗步骤

（1）配制清洗液。

（2）低流量输入清洗液。首先用清洗水泵混合一遍清洗液，以低流量（表12-8所列值的一半），尽可能低的清洗液压力置换元件内的原水，其压力仅需达到足以补充进水至浓水的压力损失即可，即压力必须低到不会产生明显的渗透产水。低压置换操作能够最大限度地减低污垢再次沉淀到膜表面，视情况而定，排放部分浓水。

（3）循环。当原水被置换掉后，浓水管路中就应该出现清洗液，让清洗液循环回清洗水箱，并保证清洗液温度恒定。

（4）浸泡。停止清洗泵的运行，让膜元件完全浸泡在清洗液中。视污染程度，轻度污染浸泡1h即可；顽固的污染物，可浸泡10～15h或浸泡过夜。为了维持浸泡过程的温度，可采用很低的循环流量（约为表12-8所示流量的10%）。

（5）高流量水泵循环。按表12-8所列流量循环30～60min。高流量能冲洗掉被清洗液清洗下来的污染物，如果污染严重，可采取高于表12-8所列流量的50%，有助于清洗，在高流量条件下，将会出现过高压降的问题，单元件最大允许压降为1×10^5Pa，对多元件压力容器最大允许压降为3.5×10^5Pa，以先超出为限。

（6）冲洗。预处理的合格产水可以用于冲洗系统内的清洗液。

（7）清洗多段系统。在多段系统的冲洗和浸泡步骤中，可以对整个系统的所有段同时进行，但是对于高流量的循环必须分段进行，以保证循环流量对第一段不会太低而对最后一段不会太高，这可以通过一台泵每次分别清洗各段。

说明：在酸洗过程中，应随时检查清洗液pH值变化情况，当在溶解无机盐类沉淀消耗掉酸时，如果pH值的增加超过0.5个pH值单位，就应该向清洗水箱内补充酸，酸性清洗液的总循环时间不应超过20min，超过这一时间后，清洗液可能会被清洗下来

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的无机盐饱和，而污染物会再次沉积在膜表面，此时应用合格预处理产水将膜系统及清洗系统内的第一遍清洗液排放掉，重新配置清洗液进行第二遍酸性清洗操作。如果系统必须停机 24h 以上，则应将元件保存在 w（亚硫酸氢钠）= 1% 水溶液中。在对大型系统清洗之前，建议从待清洗的系统内取出一支膜元件，进行单元件清洗效果试验评估。

4. 清洗药剂　常规清洗液如表 12-9 所示。该表列举了适宜的清洗药品，这些酸性和碱性清洗剂都是标准的清洗药品。酸性清洗剂用于清除包括铁污染在内的无机污染物，碱性清洗剂用于清洗包括微生物在内的有机污染物。由于使用硫酸会引起产生硫酸钙沉淀的危险，一般不选作清洗剂。最好采用膜系统的产水配制清洗液，也可以用合格预处理产水配制清洗液。酸性清洗的 pH 值约为 2 左右，碱性清洗的 pH 值约为 12 左右。

表 12-9　常规清洗液

清洗液 / 污染物	0.1% NaOH 或 1.0% Na_4EDTA pH = 12，30℃（最大）	0.1% NaOH 或 0.025% Na-SDS pH = 12，30℃（最大）	0.2% HCl	1.0% $Na_2S_2O_4$	2.0% 柠檬酸
无机盐垢（$CaCO_3$）			最好	可以	可以
硫酸盐垢 $CaSO_4$	最好	可以			
金属氧化物（铁）				最好	可以
无机胶体（淤泥）		最好			
微生物膜	可以	最好			
有机物	作第一步清洗可以	作第一步清洗最好	作第二步清洗最好		

注：1. 百分数为质量百分含量。

2. Na_4EDTA 乙二胺四乙酸四钠；Na-SDS 十二烷基磺酸钠盐，又名月硅酸钠；$Na_2S_2O_4$ 亚硫酸氢钠。

3. 硫酸盐垢必须尽早的发现和处理，由于硫酸盐垢的溶解度随清洗液含盐量的增加而增加，可以在 NaOH 和 Na_4EDTA 的清洗液中添加 NaCl，当结垢一周以上时，硫酸盐垢很难清洗成功。

5. 消毒　膜微生物污染是由于细菌活动所致，生物污染会形成富集等其他腐殖质的基础条件，使膜系统产水量下降，运行压力增加，脱盐率降低。在接触各种微生物 3～5 天就会出现生物膜，因此，要进行消毒，消毒方式有两种，间歇消毒和连续消毒。

（1）间歇消毒。在生物活动旺盛期（夏季）常规的消毒频率为每 3～5 天一次，在生物活动非旺盛期（冬季）常规的消毒频率为每 7 天一次。

（2）连续消毒。连续投加有效药剂，或用紫外线杀菌可以将膜系统的细菌数量控制在零含量。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十三章　三级处理用药剂

三级处理用药剂主要指膜的化学品，这些专用药剂应用于反渗透、超滤、微滤、纳滤、电渗析等设备中能防止难溶盐沉积、污堵，并能起到杀菌的作用，反渗透系统使用量、种类最多，本书介绍几种常用药剂。

第一节　杀　菌　剂

1. 杀菌剂　美国 GE 公司产品 BiomateMBC2881。

（1）用途：是经过 EPA 登记的非氧化性杀菌剂，用于清洁反渗透膜和超滤膜系统，间歇加入可以迅速控制微生物，自然水解产生低毒性的化合物。降低各种膜表面上细菌的生长和生物粘泥的形成，与聚酰胺膜、聚枫膜、PVDF 膜兼容，高 pH 值和高温可以加速该过程，可以快速降解硫化物和硫酸盐。特别注意，只能用于工业生产，不可注入人体或动物，不可用于饮用水处理。

建议每周使用一次，处理时间为 30min，对污染严重的系统，先清洗，后杀菌，用 MCT882 和 KleenMCT511 清洗。

（2）加药量：在线连续投加 4～10mg/L，在线间歇投加 25～100mg/L。

渗透水和盐水应排放，停止加药后，清洗系统 15min。

2. 杀菌消毒剂投加方案　聚酰胺膜要处于无氯环境，微生物的污垢是膜系统非常普遍的问题，对膜系统危害极大，由于细菌产生黏膜阻止水透过，在产水中、保安过滤器、压力容器中都能观察到黏泥，RO 系统性能很快丧失，需要更高给水压力来维持流量，压差也会增加。有很多方式可以处理和阻止聚酰胺膜上微生物污垢的问题，有化学氧化方式和非氧化方式，化学氧化方式有二氧化氯、臭氧、UV 射线、生物分散剂、高效碱性清洗剂，非氧化方式有非氧化杀菌剂。在使用任何一种杀菌剂时，要确保不会对膜造成损害。

GE 采用的多是非氧化杀菌剂，特别强调的是，非氧化杀菌剂不能用于饮料工业，不能被人或动物饮用。

（1）投加方式：有间歇投加与连续投加两种，间歇投加一般一到两周投加一次，用 MBC2881（1×10^{-2}%）、MBC881（4×10^{-2}%），投加时产品水、浓水直接排放；连续投加适用于比较小的 RO 系统，或持续不断出现膜污染系统，用 MBC2881，$(4\times10)\times10^{-4}$%

（2）杀菌消毒剂使用后的消解：RO 系统在进水使用杀菌消毒剂或者在清洗中使用，都会使排水中含有比较高的消毒剂浓度，可以用亚硫酸盐产品进行消解（脱氯），在使用 GE 水处理脱氯剂产品时，消解剂（脱氯剂）投加比例如表 13-1 所示。

（3）RO 系统加氯和脱氯方式：如果微生物含量较高，为了保证预处理部分的正常

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

运行，需要加入消毒剂以杀死微生物，最常用的消毒剂为次氯酸盐，因为其具有低成本、高效率的特点。但是次氯酸盐会损坏聚酰胺膜，大部分的 RO 膜和 NF 膜都采用这种材质制造，因此，在进入膜装置之前，必须去除次氯酸盐。

表 13-1　消解剂（脱氯剂）投加比例

脱　氯　剂	投加消解剂/杀菌消毒剂	
	MBC781	MBC2881
DCL30/32	2.3	2.4
DCL95	0.8	0.9

进水中的余氯量以及脱氯后的量可以通过测定氧化还原电位（ORP 来测定），去除氧化剂（氯）的方法有化学药剂、UV 射线、活性炭。亚硫酸氢盐是常用的化学品去除氯的方法，基本反应如下。

次氯酸的去除　$HOCl + Na_2HSO_3 \rightarrow NaCl + H_2SO_4$

氯胺的去除　　$NH_2Cl + Na_2HSO_3 \rightarrow NH_4Cl + NaHSO_4$

用 GE 水处理脱氯剂时，加药量如表 13-2 所示。

表 13-2　用 GE 水处理脱氯剂时的加药量

脱　氯　剂	脱氯剂量 ppm/1ppm 总氯(Cl_2)
DCL30/32	4.5
DCL95	1.5

3. 其他杀菌剂

（1）甲醛：必须在膜元件连续运行至少 6h 之后，才可以使用，否则会出现产水量的衰减，之后用质量分数为 0.5% ~3% 的甲醛进行系统杀菌及长期停用保护。但研究表明，甲醛有致癌倾向，被逐渐限制使用。

（2）硫酸铜：可用来控制藻类的滋生，通常硫酸铜连续投加量为$(1 \sim 5) \times 10^{-3}\%$，同时 pH 值必须足够低，以防止生成氢氧化铜沉淀。

第二节　清　洗　剂

KleenMCT511 复配碱性清洗剂的用途及清洗说明如下：

1. 用途　KleenMCT511 复配碱性清洗剂是一种高 pH 值液体配方，用于去除由聚苯乙烯、碳氟化合物和所有聚酰胺薄膜构成的 RO、UF 膜中的有机物、粘泥和其他附着于膜表面的颗粒，从而使系统的运转时间更长。对油类和其他有机物、生物膜去除效果好。

典型应用：膜分离系统运转期间，进水中的有机物和悬浮固体浓缩到一定程度后，会在膜表面沉淀。有机物的出现为微生物的生长提供了有益环境，从而导致微生物产生污垢，这些污垢阻碍水流通过膜，从而导致产水量降低，操作压力增高，系统出现额外压差，使膜受到难以恢复的损坏。此外，膜表面下面的污垢累积会使穿过膜的溶解性物

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

质增加，从而导致产水水质变差，在产水水质变差和膜损坏发生之前，应通过现场清洗或离线清洗去除垢物。出现以下迹象时，需要进行清洗：渗透水量显著下降、系统压差显著增高、系统出现额外压差或盐渗透量增高，从而导致水质变差。与酸性清洗剂共同使用，有时需要浸泡，以达到最优效果，可与杀菌剂联合使用。

清洗时，稀释液的 pH 值保持在 10.5 ±0.5，温度升高可增强洗涤效果，减少泡沫，可重复使用，每 19L 加 0.45kg 药剂，容器用 PVC 材料。

2. 清洗说明

（1）检查清洗罐、过滤器清洁情况。

（2）将清洗罐灌满 RO 产水，打开搅拌器。

（3）缓慢向清洗罐内加药，彻底搅拌。

（4）检查温度，如果温度低于推荐值，要作调整；如果没有推荐值，与制造商联系。

（5）检查 pH 值。

（6）以进水方向循环清洗 30min，压力应足够低，以使清洗期间不产生渗透液；如果污染严重，必须将初始回流液（体积约为清洗罐容量的 15%）排放掉，以防止污染物重新附着在膜表面。为达到最佳效果，在多级系统中，每一级都必须单独清洗。

（7）如果清洗液浑浊或 pH 值及温度超出了推荐值，应将此清洗液排空，并重新配置清洗液。

第三节 脱 氯 剂

BetzDearborn DCL30 是液体，用于脱除反渗透和超滤进水中的游氯和氯的化合物，膜系统中的进水通常包含氯，用于在膜分离过程前防止微生物的生长，然而，这种氯反过来也会氧化膜表面，从而损坏三层复合膜，BetzDearborn DCL30 中的重亚硫酸钠能很快使氯失去活性，从而防止膜损坏。

脱氯的化学反应式为：

$$NaHSO_3 + HOCl = NaHSO_4 + HCl$$

重亚硫酸钠　次氯酸　硫酸氢钠　盐酸

脱除 $1\times10^{-4}\%$ 的总氯，需要 $4.44\times10^{-4}\%$ 的 BetzDearborn DCL30，过量的重亚硫酸钠会增加膜系统中微生物生长的机率。

稳定性：BetzDearborn DCL30，包装时有 90 天的保质期，但是会逐渐被氧化，在敞开的容器中，未搅动的情况下，BetzDearborn DCL30 一个月内仍能保持活性，如果产品被稀释，则稳定性会降低。

BetzDearborn DCL95 是粉状产品，能快速地分解氯气，保护膜不被氧化。加药量取决于氯气量，脱除 $1\times10^{-4}\%$ 的总氯，需要 $4.44\times10^{-4}\%$ 的 BetzDearborn DCL95，必须用膜系统产水，最大稀释浓度 20%，稀释液必须一周内用完，因为氧气会使产品失效。储存和使用必须用耐腐蚀容器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第四节　阻　垢　剂

1. 阻垢剂

（1）HypersperseMDC 756 是一种高效液体阻垢剂，用于控制分离系统中的结垢沉积物，减少微粒阻塞，能有效控制碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶结垢，高达 +3.0LSI 尚不致结垢，由分散阻塞微粒来维持干净的反渗透膜表面，所有主要反渗透膜都能使用，进水 pH 值在 5～9 范围内均有效，可不经稀释直接投加，也可稀释后投加。剂量 2～6mg/L，剂量过高或不足都会引起膜污染。最大稀释浓度与温度的关系如表 13-3 所示。

表 13-3　最大稀释浓度与温度的关系

温度/℃	最大稀释浓度(%)
<30	10
30～50	25
>35	50

（2）HypersperseMDC 708 无磷阻垢剂，液体，加在保安过滤器之后，剂量 3～6mg/L，剂量过高或不足都会引起膜污染。能有效阻止碳酸钙、硫酸钙、镁铝氢氧化物沉积，无磷产品，和给水含有铁、铝氧化物兼容，所有主要反渗透膜都能使用，有效应用于宽 pH 值范围和高温条件，可用于饮用水生产（符合 ANSl/NSF 标准 60），最大稀释浓度与温度的关系和 HypersperseMDC 756 相同。

（3）HypersperseMDC151 阻垢剂，液体，加在保安过滤器之前，剂量 1～3mg/L，剂量过高或不足都会引起膜污染。能有效控制磷酸钙、碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶结垢，高达 +3.0LSI 尚不致结垢，分散阻塞微粒来维持干净的反渗透膜表面，主要反渗透膜都能使用，进水 pH 值在 5～9 范围内均有效，可不经稀释直接投加，也可稀释后投加。和铁氧化物耐受力好，特别为与 HypersperseMDC150 絮凝剂联合使用而设计的，最大稀释浓度与温度的关系和 HypersperseMDC 756 相同。

（4）HypersperseMDC150、220 是一种高效液体阻垢剂，用于控制膜分离系统中的结垢沉积物，能有效控制碳酸钙、硫酸钙、硫酸钡和硫酸锶结垢，高达 +3.0LSI 尚不致结垢，减少微粒堵塞，对铁氧化物和铝的耐受性好，在保安过滤器前投加，用 RO 膜渗透液稀释，典型剂量是 3～6mg/L，可与 SoliSepMPT150 絮凝剂联合使用。

2. 阻垢剂投加方案　经过 RO 设备后，浓水中离子与进水相比，通常被浓缩 4～5 倍，大部分难溶盐会超过其饱和度，从而沉积在膜的表面，要采用加酸、软化、加阻垢剂或这些方法联合应用去除。产生的难溶盐有碳酸钙，氟化钙，磷酸钙，硫酸钡，硫酸锶及铁、锰、铝的氧化物或氢氧化物，硅盐混合物。阻垢剂的功能是防止或控制这些物质结垢。不同型号的阻垢剂，对应于不同的结垢类型，当存在多种类型结垢的风险时，应选择最适合系统水质的阻垢剂。

阻垢剂投加方法的说明如下：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）参数。进水流量 Q_f（m^3/h），加药浓度 D（m^3/h），阻垢剂密度 ρ（kg/L），泵的最大出力 Q_m（L/h），泵的实际出力 Q_r（L/h），稀释倍数 Z。

（2）原液不稀释直接投加。

$$Q_r = Q_f D/(\rho \cdot 1\ 000)$$

例 1：某厂给水量为 200t/h，经计算，原水的加药剂量为 $3.2 \times 10^{-4}\%$，阻垢剂不稀释直接投加，阻垢剂密度 $\rho = 1.15$ kg/L，求 Q_r。

解：$Q_r = Q_f D/(\rho \times 1\ 000) = 200 \times 3.2/(1.15 \times 1\ 000) = 0.557$L/h

（3）稀释后投加，稀释后药液的密度视为 1kg/L。

例 2：某厂给水量为 50t/h，经计算，原水的加药剂量为 $3.2 \times 10^{-4}\%$，阻垢剂经稀释后投加，阻垢剂稀释后密度 $\rho = 1$kg/L，求 Q_r。

解：$Q_r = Q_f D/(\rho \times 1\ 000) = 50 \times 3.2/(1 \times 1\ 000) = 0.16$L/h

说明：可选择稀释倍数 Z 为 5（Z 一般选小于 10 整数，如 2、4、5、10 等），所以泵的实际出力 $Q_r = 0.8$L/h，据此选择合适的泵，一般建议泵的实际出力 Q_r 占泵的最大出力 Q_m 的 25% ~90%。

3. *反渗透预处理系统加药最佳路线* 加酸（RO 系统进水 pH 值控制）方案如下：

（1）为了降低结垢危险，可能需要对 RO 进水的 pH 值进行调整。

（2）在可能存在硫酸盐结垢的情况下，可以用盐酸调整 pH 值。

（3）pH 值要连续监测。

（4）在选择加酸计量泵时，最大出力 2 倍于加酸量。

（5）加酸点要取决于其在系统中的作用。

第五节 絮 凝 剂

1. SoliSep MPT150 絮凝剂 Solisep MPT150 絮凝剂是高分子有机絮凝剂，阳离子型，是专为多介质过滤器而设计的，可显著改善胶体的去除率，在线投加，必须在多介质过滤器前加入，主要成分为中等分子量聚合物，通过饮用水生产认证（ANS1/NSF60 认证），与阻垢剂 MDC150、MDC220 兼容，适用于所有复合膜，加药量为（2 ~ 10）× $10^{-4}\%$，通过过滤器会增加水压，反冲洗后的废物降至最小。

加药量的确定方法：在过滤器出水口测量未投加药剂时的浊度和 SDI，最初投加 $0.5 \times 10^{-4}\%$ 的 MPT150 在 16 ~ 24h 内，每小时测量浊度和 SDI，若 SDI 小于 3，减少加药量，否则增加 $0.5 \times 10^{-4}\%$ 的药量，并重复以上步骤。

实例：如 SoliSep MPT150 的浓度为 $4 \times 10^{-4}\%$，每 1 加仑 MPT150 用 49 加仑水稀释。稀释溶液 2%，如果系统的加药速度为 500g/m，则药剂泵设置如下：

$$Q_{cf} = \text{加药速度} \times \text{ppmSoliSep MPT150 浓度} \times 0.13/\text{稀释溶液百分比}$$
$$= 500 \times 4 \times 0.13/2 = 130\text{g/d}$$

式中 Q_{cf}——药剂泵速率（g/d）；

稀释溶液百分比——SoliSep MPT150 浓度 ×100/总的加仑量，25kg/桶包装。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

注意：不兼容的阻垢剂会引起凝结反应。

2. SoliSep MPT103 无机絮凝剂　SoliSep MPT103 无机絮凝剂是高分子无机絮凝剂，专为多介质过滤器而设计，可显著改善胶体的去除率，可以直接在多介质过滤器前加入，具有耐氯性，通过 NSF 饮用水生产认证，可以应用于自来水的生产，作为反渗透的预处理，通过微滤和多介质过滤器能够生产高质量纯水，由于碱度损失小，对调节 pH 值需求减少。因为其具有先进的无机非聚合结构，所以能够吸收进水表面的油性固体、有色污染物、无机和有机胶体。其特点是明矾的最佳替代品。

加药量：$(1\sim10)\times10^{-4}\%$，处理高色度水时，需要添加 $40\times10^{-4}\%$。

絮凝剂投加方案如下：

（1）目的。减少 RO 系统进水中的悬浮颗粒物和浊度，以防止固体沉积到膜的表面。

（2）絮凝剂选用。通常是带正电荷的分子，可以是无机盐类（如铝、聚铝、铁基的）或是无机和有机阳离子聚合物的混合物。要注意：有机絮凝剂可以有效地去除系统中悬浮固体，降低浊度，同时也可能穿过预处理而进入 RO 系统沉积在膜表面，降低膜的性能，使膜难以清洗，因此，这里推荐的是有机阳离子絮凝剂。絮凝剂要和阻垢剂兼容。

（3）絮凝剂投加量的控制。絮凝剂投加量的控制非常重要，过量会导致不可逆转的膜污染，量不足会导致悬浮颗粒物沉积。

（4）确定最佳药剂和加药量。可按下列方法进行。

1）进行烧杯试验，确定最佳药剂和其加药量。

2）投加絮凝剂前，在多介质过滤器入口和出口进行 SDI 测试，以确定絮凝剂的基本投加量。

3）进行在线测试，增加絮凝剂的投加量，测定不同絮凝剂投加水平情况下多介质过滤器出水的 SDI 值，确定絮凝剂最佳投加量，即在最低投加量的情况下，得到最小的 SDI 值，并且不增加浊度。

（5）选择计量泵。选择计量泵时，选目标投加量为量程中值的计量泵，并选择最佳混合点进行投加（节能/省时）。

第六节　其他杀菌方法

杀菌是 RO 运行必不可少的工序，有多种方式，有药剂杀菌、紫外线杀菌和臭氧杀菌等。药剂杀菌常常带来副作用，已逐步退出，紫外线杀菌将以强劲的势头取代。

一、紫外线杀菌

紫外线（UV）杀菌有很多化学法无法替代的优点：杀菌过程中不会生成有害的消毒副产物，能有效地降低水中的病原体和微生物数量，可以杀灭隐性孢子虫等具有抗氯性的病原体，微生物不可能产生对紫外线的耐受性，饮用水的味道、气味、pH 值不会受到紫外线辐射的影响，没有化学残留物，杀菌速度快、效率高、占地面积小、设备操作简单，便于运行管理和实现自动化，是取代化学杀菌经济而环保的杀菌方式。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 紫外线性质　紫外线是属于电磁波辐射，能量、穿透力等作用不及电离辐射强，但相比而言，紫外线消毒价廉、方便、无残留毒性、比较安全，除可对空气进行消毒外，也可用于水、饮料、物体表面消毒。太阳具有很强的杀菌能力，就是因为太阳光中紫外线的作用。紫外线性质因波长不同而差异很大，如波长在200nm以下，可使空气产生臭氧；200～280nm具有杀菌作用；280～300nm具有保健作用；320～380nm具有光化学作用；360～450nm称为长波长紫外线，可用于激发荧光，很容易穿透玻璃。波长在253.7nm左右的紫外线杀菌力最强，是直射日光中波长为350nm左右的紫外线杀菌力的1 600倍。紫外线辐射强度30mJ/cm^{2}的杀菌效率如表13-4所示。

表13-4　紫外线辐射强度30mJ/cm^{2}杀菌效率

细菌种类	细菌名称	100%杀灭所需时间	细菌种类	细菌名称	100%杀灭所需时间
细菌类	大肠杆菌	0.36	霉菌胞子	黑曲霉菌	6.67
	沙门氏菌属	0.51		曲霉菌	0.73～8.80
	假单胞杆菌属	0.37		大粪真菌	8.0
	炭疽杆菌	0.30		软孢子	0.33
	白喉杆菌	0.25		青霉其他菌属	0.87
	破伤风杆菌	0.33			
	结核杆菌	0.41			
	肠道发烧菌属	0.41			
病毒类	流感病毒	0.23	水藻类	原生动物属类	4～6.70
	乙肝病毒	0.73		草履虫属	7.30
	腺病毒	0.10		绿藻	1.22
	脊髓灰质炎病毒	0.80		线虫卵	3.40
	噬菌胞病毒	0.20		小球藻属	0.93
	爱柯病毒	0.73			
	烟草花叶病毒	16			

紫外线可以杀死细菌、真菌、病毒等，杀菌剂量是照射强度和照射时间的乘积，将一定量的微生物作成水悬液，水深2cm，用紫外线照射不同时间后，计算出紫外线对不同生物的杀灭剂量。紫外线对水中微生物的杀灭剂量如表13-5所示。

表13-5　紫外线对水中微生物的杀灭剂量

微　生　物	不同杀灭率时的照射剂量/(μW·s/cm^2)			
	90.0%	99.0%	99.99%	100%
枯草杆菌芽孢	10 000	20 000	40 000	
大肠杆菌	3 000	6 000	12 000	

一般说来，革兰氏阴性菌对紫外线最敏感，其次为革兰氏阳性球菌。细菌芽孢和真菌孢子抵抗力最强，病毒也可被紫外线灭活，其抵抗力介于细菌繁殖体和芽孢之间。

2. 紫外线杀菌机理　紫外线照射能量较低，不足以引起原子电离，仅产生激发作

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用。使电子处于高能状态而不脱开，当微生物被照射时，只有在菌体吸收了紫外线后，才能显示出其杀菌作用。紫外线主要作用于微生物的核酸，导致其破坏，同时对蛋白质、酶等亦有一定的作用。

（1）对核酸的作用。杀菌紫外线主要被微生物的核酸所吸收，核酸包括脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA），紫外线对 DNA、RNA 都发生作用导致其破坏。

（2）对蛋白质的作用。紫外线对蛋白质的作用较小，原因是 253.7nm 的杀菌紫外线被蛋白质吸收的量小，紫外线可以被蛋白质的氨基酸所吸收，从而破坏这些化学基团，导致蛋白质变性，结构改变，使其失去作用。

（3）对糖的作用。由于糖对波长大于 230nm 的紫外线基本上不吸收，故一般认为，糖在微生物的紫外线灭活上不起作用，但波长小于 230nm 的紫外线可以破坏 DNA 上的脱氧核糖，使 DNA 链断裂。

3. 影响紫外线消毒效果的因素　影响紫外线消毒效果的因素很多，概括起来可分为两类：一类是紫外线光源辐射强度及剂量，一类是微生物方面的因素。

（1）辐射光谱、紫外功率、灯管温度、发光长度及几何形状，紫外线杀菌灯只有以最佳的方式与电源设备相匹配，才能保证总体系统的最佳性能。

（2）多数微生物在低温时对紫外线辐射是很敏感的，因为在此条件下，胸腺嘧啶二聚体的数量明显减少，胸腺嘧啶光产物的累积将影响微生物的修复；另外温度变化还影响紫外线的强度，温度过高或过低均会影响消毒效果，一般以 20～40℃为宜。

（3）微生物类型。不同微生物对紫外线的抵抗力水平不同，根据其抵抗力情况，可将微生物分为高抵抗力、中度抵抗力、低抵抗力 3 类。病毒、细菌、酵母和真菌仅需几秒钟就可以被紫外线杀死。

（4）水中有机物含量：细菌在污物中，紫外线的杀菌作用就相应降低，污物是细菌生长、繁衍和防被杀伤的有机环境。

（5）水质指标：包括悬浮物浓度、浊度、色度等水质指标均对紫外线透光率有直接关系，从而影响紫外线消毒的效果。

（6）环境及液体力学因素：包括水温、水体流速的均匀性等因素也会直接影响紫外线的杀菌效果。

4. 灯管结构　由高质量的石英玻璃制成，具有很高的透光率，目前汞齐灯对温度波动不敏感，甚至可在 90℃条件下使用，在工作 16 000h 后依然可保持 90% 以上的紫外线输出功率。光谱图如图 13-1 所示。

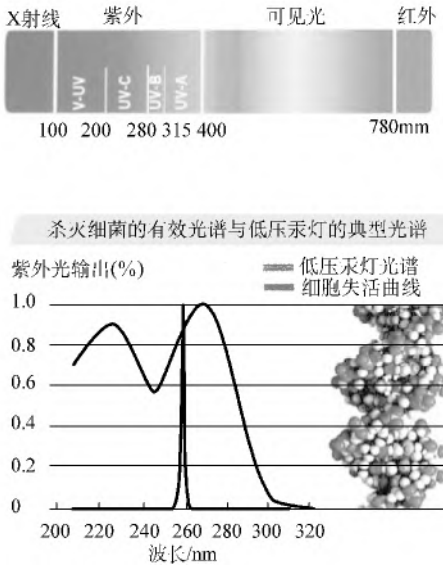


图 13-1　光谱图

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）热阴极低压汞紫外线杀菌灯。这种灯的原理是：用钨丝绕成双螺旋灯丝，涂上碳酸钡、碳酸锶、碳酸钙混合物，通电加热时，混合物被激活分解成钙、锶、钡氧化物。灯起动时，灯丝加热，氧化物发射电子，轰击灯管内的汞蒸汽，致使汞原子的外层电子跃迁到高能级轨道位置，使汞原子成为激发态的原子。跃迁到高能级轨道上的电子仅能停留 10^{-5} ~ 10^{-11}s，然后又跃回外层低能级轨道，同时释放出能量，以紫外线形式表现出来。这种灯辐射的紫外线 95% 以上波长为 253.7nm，同时也有少量其他波长的光，如 184.9nm、404nm、435nm、545nm 、577nm 、579nm 等。低压汞灯内充入汞蒸汽的压力为 8Pa，采用对紫外线透过率大于 80% 的石英玻璃作灯管，这种灯在 40℃时辐射强度最大。

（2）冷阴极低压汞紫外线杀菌灯。该灯用镍制成电极，在石英管内充入汞和氩气，靠强电场的作用，使冷阴极发射电子，轰击汞原子，使其激发发光。辐射的紫外线强度 60% 以上为 253.7nm。

（3）高压汞紫外线杀菌灯。灯管内汞蒸汽的压强可以大于几个大气压，功率可达 500 ~ 1 000W 或更高，在辐射光谱中只有一小部分是杀菌紫外线，但总能量大，是良好的消毒紫外线光源，一般用于水的消毒。

灯的杀菌力取决于紫外线的输出量，输出能量决定于灯的类型、瓦特数和使用时间。输出量以瓦作为单位，所有灯管都标有输出量，灯用久后即衰老，国产灯一般寿命 3 000 ~ 4 000h，国外名牌可达 16 000h。

紫外线灯管的优劣不能根据其有无蓝色光和是否形成臭氧作判定，有杀菌作用的紫外线不可见，臭氧是由 200nm 以下的紫外线使空气中氧游离（破坏氧分子键）所致，此种波长不是杀菌作用最强的紫外线。

国产灯管有 36W（1.2m 长）、30W（1m 长）、20W（60cm 长）、15W（46.7cm 长）等。

德国贺利氏特种光源有限公司汞齐灯的特性如表 13-6 所示。

表 13-6　德国贺利氏特种光源有限公司汞齐灯的特性

内　　容	不产生臭氧	产 生 臭 氧
波长/nm	254	185,254
辐射长度/cm	25 ~ 150	25 ~ 150
电功率/W	50 ~ 600	50 ~ 600
波长为 254nm 时典型紫外线辐射效率(%)	35	35
波长为 254nm 时典型紫外线辐射效率(%)(天然石英玻璃)	—	5
波长为 254nm 时典型紫外线辐射效率(%)(合成石英玻璃)	—	9
UVC 紫外线辐射量/(W/cm)	0.5 ~ 4	0.5 ~ 4
环境温度/℃	最高 90	最高 90
工作寿命(取决于灯的功率)/h	长达 16 000(UVC 输出衰减小于 10 ~ 20%)	长达 16 000(UVC 输出衰减小于 10 ~ 20%)

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

该种汞齐灯辐射的紫外线功率可以达到普通低压汞灯的10倍，可在90℃的条件下使用，有独特的涂层，不会出现普通紫外线灯发生的石英玻璃透射损失，这使它能保持几乎恒定的杀菌作用。如果灯管由可产生臭氧的合成石英玻璃制成，它将会额外产生其波长为185nm的真空紫外线，从而使输出功率可以达到标准低压灯的5倍。标准低压灯如表13-7所示。

表13-7　标准低压灯

内　　容	不产生臭氧	产生臭氧
波长/nm	254	185,254
辐射长度/cm	10~150	10~150
电功率/W	5~80	5~80
波长为254nm时典型紫外线辐射效率(%)	40	40
波长为185nm时典型紫外线辐射效率(%)(天然石英玻璃)	—	约5
波长为185nm时典型紫外线辐射效率(%)(合成石英玻璃)	—	约9
UVC紫外线辐射量/(W/cm)	0.2~0.5	0.2~0.5
环境温度/℃	最高40	最高40
工作寿命(取决于灯的功率)/h	长达8 000(UVC输出衰减小于50%)	长达8 000(UVC输出衰减小于50%)

5. 紫外线在水处理中的应用　紫外线在水处理中的应用很广，污水处理，市政自来水消毒，中水回用消毒，油田回注水消毒，小区二次供水消毒，水产养殖用水消毒，瓶装水、食品、饮料行业用水消毒，水上娱乐设置、游泳池等水消毒，家用小型饮水机消毒器等，美国和加拿大已将UV消毒列为用水终端和用户进水端及小型给水系统中的首选方法。

6. 废水杀菌紫外线设备的设计

(1) 废水杀菌紫外线设备设计的核心内容是紫外线有效剂量，对于紫外线反应器，可以通过微积分的方法求出紫外线的平均剂量，但因为影响紫外线杀菌效果的因素较多，因此计算结果往往与实际相差很大。目前是通过生物试验来确定剂量的，即在紫外线反应器里投加微生物来测定实际杀菌效果，通过这种方法，紫外线杀菌器的实际剂量就可以精确确定了。

(2) 综合考虑水力特性：操作、控制、灯管布置、敞开或密闭等。

(3) 灯管选用：有低压灯、低压高强度汞齐灯、中压高强灯。灯管抗老化系数在80%以上，低压灯寿命为12 000h，中压灯寿命为8 000h，启动时有预热过程。

(4) 镇流器选用：提供稳定的电流，以延长灯管使用寿命；提供短路/过流、断流

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

保护，以防止浪涌冲击；低波峰系数，波峰系数小于 1.7；进水状况与运行功率同步；电压适应性强，即电压在允许范围内波动，仍可正常工作；功率因素不低于 98%；可与 PLC 联机。

（5）高度人性化、智能化的操作系统和监控系统：所有运行状态、报警、操作功能都可通过人机界面查看。

（6）石英套管时间久了会“结垢”，不但严重降低有效紫外线剂量的输出，使出水水质不能达标，而且为了维持杀菌剂量，使功率上升，能耗加大，运行成本增加。因此，灯管要有自动清洗系统，清洗环具有良好的柔韧性，能够主动适应套管外径两端正、负向公差，使清洗更加彻底，解决清洗过程有砂粒摩擦灯管的问题，确保石英套管经长时间使用后其透光率仍达到 90% 以上。自动清洗环对套管的摩擦系数要非常小，同时最大限度地降低清洗环对紫外线的屏蔽。

（7）套管防水设计：密封可靠、套管振动时不会泄漏，自动清洗时，不会受到摩擦力而被抽脱，避免套管与框架钢性接触。

（8）水位控制装置：管道式废水杀菌紫外线设备和敞开式废水杀菌紫外线设备的水位控制装置，合适的水位控制堰需要在不同水流流速下维持一个有效的水深，并且在峰值流量时最大的水头损失不应超过 5cm，可设计成不锈钢堰或混凝土堰。

7. 各种形式紫外线杀菌设备　当介质温度较低时，杀菌效果差，故紫外线灯须装有石英套管，使灯管与套管间形成一个环状空气夹层，灯管能量能充分发挥而不致影响杀菌效果。石英管外是不锈钢圆筒，圆筒与石英管之间是水流通道。紫外线透明率为 50% 时的液体深度如表 13-8 所示。

表 13-8　紫外线透明率为 50% 时的液体深度

物料	牛奶	配制酒	饮料水	井水	海水	生理盐水	重蒸馏水	电镀废水(膜生后)
深度/cm	0.001	0.5	4.0	7.8	11.0	14.0	300	10.0

管道式废水紫外线杀菌设备如图 13-2 所示，管道紫外线杀菌设备如图 13-3 所示，敞开平行式废水紫外线杀菌设备如图 13-4 所示。

图 13-2　管道式废水紫外线杀菌设备

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

图 13-3　管道紫外线杀菌设备

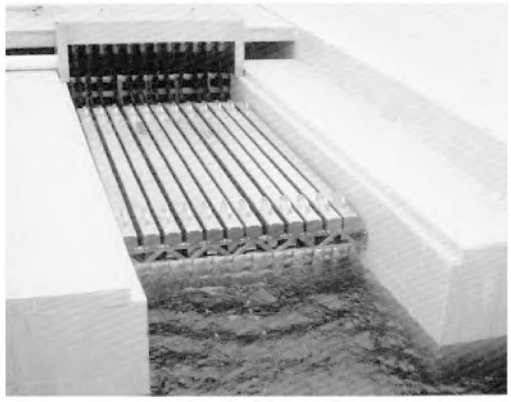


图 13-4　敞开平行式废水紫外线杀菌设备

8. 紫外线杀菌注意事项

（1）紫外线肉眼看不见，灯管放出的蓝紫色光线并不代表紫外线强度，如没有自动显示仪，则应定期用紫外线强度计或紫外线化学指示卡测定输出强度，以判断紫外线灯管的使用情况，不能达到规定要求时应及时更换，也可逐日记录使用时间，以便判断是否到了使用期限。

（2）杀菌场所应保持清洁、干燥，空气中不应有灰尘和水雾。

（3）紫外线灯管（30W）在 1m 处照射 1～2min 可使人的皮肤产生红斑，对眼睛直射 30s 可产生刺激症状，再加大剂量可引起紫外线眼炎。普通的玻璃眼镜可完全屏蔽紫外线，在紫外线照射下操作时，应注意对眼、脸面、手指等皮肤的保护。

（4）在没有自动清洗装置时，应经常擦拭灯管（一般两周擦一次），保持灯管透明。可用酒精、丙酮、氨水作擦拭剂，擦拭布必须干净无油，否则油污染了灯管，会阻碍紫外线透过。

（5）紫外线在空气中可产生臭氧，吸入过多臭氧能使人中毒，要求操作现场臭氧浓度不得超过 0.3mg/m^3。因此，对臭氧要采取相应的预防措施。

二、臭氧杀菌

臭氧（O_3）是氧的同素异形体，在常温常压下是一种具有鱼腥味的淡紫色气体，沸点为-112.5℃，密度为 2.144kg/m^3，比氧重 1.5 倍。

1. 臭氧性质

（1）不稳定性。臭氧能在常温下自行分解成为氧气并释放出热量。

$$2O_3 = 2O_2 + \Delta H \qquad \Delta H = 284\text{kJ/mol}$$

温度越高，分解越快；浓度越高，分解也越快。在水溶液中的分解速度比在空气中的分解速度快得多，而且强烈地受羟离子的催化，pH 值越高，分解越快。

（2）溶解性。臭氧在水中的溶解度要比纯氧高 10 倍，比空气高 25 倍。在空气中臭氧的浓度对臭氧的溶解度有很大的影响，同时溶解度还受到气体压力的影响。在常压

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下，20℃时，水中臭氧浓度和气体中臭氧的平衡浓度之比为0.285。

（3）毒性。当臭氧的浓度达到0.1×10^{-6}时，即可以使人的眼、鼻和喉感到刺激，当臭氧浓度达到$1\times10^{-6}\sim10\times10^{-6}$时，可引起头痛、恶心等症状。《工业企业设计卫生标准》（TJ36—1979）规定车间空气中臭氧的最高容许浓度为0.3mg/m^3。

（4）氧化性。臭氧可使有机物被氧化。

2. 臭氧制备　制备臭氧的方法很多，有化学法、紫外线法、电解法和无声放电法。经济实用的是无声放电法，被普遍使用。

（1）无声放电法原理。在一对交流电极之间通过氧气或空气，电极间的两侧被绝缘，则空气或氧气通过电极时便发生放电现象，由于这种放电是无声的，所以称之为无声放电法。无声放电法生产臭氧的原理及装置如图13-5所示。

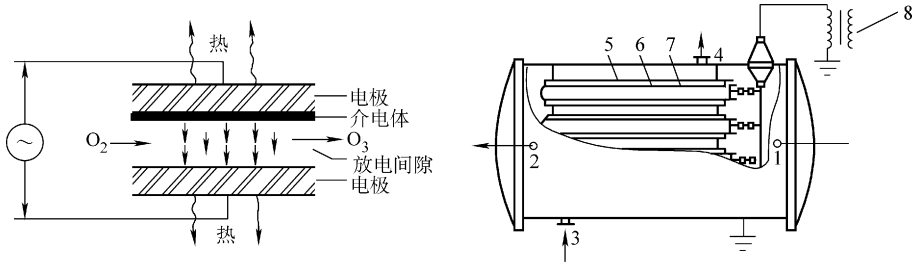


图13-5　无声放电法生产臭氧的原理及装置

a）无声放电法制备臭氧原理　b）臂式（卧式）臭氧发生器

1—空气或氧气进口　2—臭氧出口　3—冷却水进口　4—冷却水出口

5—不锈钢管　6—放电间隙　7—玻璃管　8—变压器

（2）臭氧发生系统及装置。由于臭氧不稳定，通常在现场随制随用。以空气为原料制备臭氧，由于原料来源方便，被普遍采用。如图13-6所示是以空气为原料的典型臭氧氧化处理闭路系统流程图。

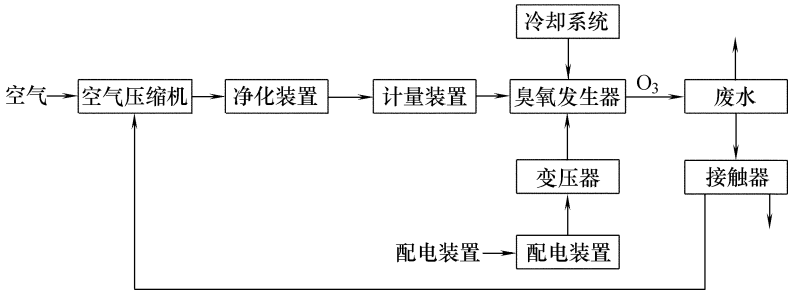


图13-6　以空气为原料的典型臭氧氧化处理闭路系统流程图

3. 臭氧在废水处理中的应用　用臭氧处理废水的过程为：臭氧先溶于水中，然后再与废水中所含有的污染物进行氧化反应。臭氧在水中的溶解度并不大，它与污染物的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

反应速率也受到限制，所以反应速率一般不是很快。用臭氧处理废水，可使氧化产物的毒性降低，另外，臭氧在水中分解后得到氧，可使水中的溶解氧增加，而不会造成二次污染。臭氧主要用于废水的三级处理，其作用是降低废水中的 COD；杀菌消毒；增加水中的溶解氧；脱色除臭；除低浊度。臭氧的消毒能力比氯强。对脊髓灰质炎病毒，用氯消毒，会保持 0.5～1.0mg/L 余氯量，需要 1.5～2.0h 的反应时间；用臭氧消毒，则保持 0.045～0.45mg/L 的剩余臭氧，只需 2min 的反应时间。若初始臭氧浓度超过 1mg/L，经 1 min 接触，病毒去除率可达 99.99%。

紫外线、氯气、臭氧三种杀菌方式的比较如表 13-9 所示。

表 13-9　紫外线、氯气、臭氧三种杀菌方式的比较

比较项目	紫外线	氯气	臭氧
杀菌方式	物理	化学	化学
投资成本	一般	低	高
运行成本	低	中等	高
维护费用	低	中等	高
杀菌性能	极好	好	不稳定
杀菌时间	1～5s	25～45min	5～10min
对人体危害性	低	中等	高
有毒化学成分	没有	有	有
水化学成分改变	不会	会	会
残留量影响	不会	会	会

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十四章　三级处理设备及仪表

第一节　三级处理设备

三级处理设备有多介质过滤器、活性炭过滤器、袋滤、保安过滤器。

一、多介质过滤器

多介质过滤器是利用一种或几种过滤介质，如石英砂、无烟煤、锰砂等，在一定的压力下把浊度较高的原水通过一定厚度的粒状或非粒状滤料，降低水的浊度，截留水中的悬浮物、胶质颗粒，特别是能有效地去除沉淀技术不能去除的微小粒子等，使原水得到净化。

多介质过滤器是常用的水质深度净化装置，广泛应用于除浊、反渗透以及离子交换软化除盐水处理系统的前级预处理，也用于地表水、地下水除泥沙及作水质要求不高的工业用水的粗过滤设备。

滤罐材质采用玻璃钢、Q235 钢防腐或衬胶以及不锈钢。

多介质过滤器的操作方式有全自动和手动两种，自动控制是采用自动控制器及气动阀和液动阀控制，操作简便，易于维护保养。

图 14-1　多介质过滤器

（一）多介质过滤器的构造

多介质过滤器如图 14-1 所示。

多介质过滤器也叫机械过滤器，主要由过滤器体、配套管线和阀门构成，其中过滤器体又包括筒体、布水器、支撑组件、反洗气管、滤料、排气阀（外置）等。多介质过滤器构造，如表 14-1 所示。

表 14-1　多介质过滤器构造

序号	部件名称	功　能	结　构
1	布水器	使原水及反洗水均匀分布	①正向十字布水槽，截面为 U 型 ②正向喇叭口型 ③反向喇叭口型
2	附属管道	输送原水及产水	外置式或内置式
3	支撑组件	①支撑上部滤料重量 ②过滤或反洗通道	①栅管式，含支撑架和排管 ②滤帽式，含滤板和滤帽

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	部件名称	功　能	结　构
4	滤料	截留原水中的杂质	①两层，无烟煤和石英砂 ②三层，无烟煤、石英砂和卵石
5	排气阀	将内部空气外排，减少气阻	多为双孔排气阀

（二）多介质过滤器的滤料

多介质过滤器的滤料有石英砂、无烟煤、锰砂等。

1. *石英砂滤料*

（1）石英砂的性质。石英砂如图 14-2 所示。

图 14-2　石英砂

1）由石英粒组成的未胶结的碎岩石称为石英砂。石英砂是一种坚硬、耐磨、化学性能稳定的硅酸盐矿物，其主要矿物成分是 SiO_2，有光泽，呈玻璃状，有时呈脂肪状，质地纯粹者为无色，含杂质者有红色、黄色、蓝色、黑色、褐色、紫色或绿色，根据含杂质的量从透明至不透明，性脆无解理，断口呈壳状或参差状，莫氏硬度为 7，密度为 2.65g/cm^3，堆积密度 1～20 目为 1.6g/cm^3、20～200 目为 1.5g/cm^3，不溶于水、硫酸、盐酸和硝酸，微溶于 KOH 溶液，熔点为 1 750℃，其化学、热学和力学性能具有明显的异向性。

2）石英晶体呈六方柱状，柱面具有横纹；有左晶和右晶的区别，双晶很普遍；通常呈晶簇或粒状、块状集合体。石英晶体具有双折射及旋转偏光面的光学性能，具有压电效应。石英片的振荡频率有高度的稳定性，利用石英片的振荡能辐射出超声波。

3）石英有透过超紫外线的能力，不导电。石英在均匀加热或冷却时发生均质性的变形，在转变到另一多形变体前仍保持着自己的对称性。

（2）石英砂滤料的生产及用途。石英砂滤料采用天然优质石英矿为原料，经机械破碎、滚动压碾、水洗筛选、烘干筛分、振动分级等一系列生产工艺生产，具有滤速快，过滤效果好、出水水质稳定、不堵塞、不结块、比海砂使用周期长 1～2 周期的特点。石英砂滤料同无烟煤滤料配合，是我国目前推广的双层快速滤池、介质过滤器的常见形式。石英砂滤料在提高滤速、增加单位面积出水量、提高截污能力、降低工程造价和减少占地面积方面卓有成效。它用途广泛，使用范围大，精制石英砂滤料适用于生活饮用水过滤和其他水质净化处理，也适用于石油、化工、矿山、冶金、热电、造纸、印染、制革、食品等行业生产用水的前期处理和循环水处理。

（3）石英砂滤料的要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1）精制石英砂滤料理化性能分析（以 0.5 ~ 1.2 为例）。精制石英砂滤料理化性能如表 14-2 所示。

表 14-2 精制石英砂滤料理化性能

项 目	数 据	项 目	数 据
含泥量(%)	0.05	盐酸可溶率(%)	0.02
密度/(g/cm^3)	2.66	耐酸度(%)	98
磨损率(%)	0.03	空隙率(%)	43
破碎率(%)	0.35	容量/(g/cm^3)	1.75
灼烧减量(%)	≤0.7	莫氏硬度	7.5

2）石英砂滤料应为坚硬、耐用、密实的颗粒。在加工和过滤、冲洗过程中应能耐蚀，其含硅物质（以 SiO_2 计）不应小于 85%。

3）石英砂滤料中不应含可见的泥土、粉屑、云母或有机杂质。

4）在石英砂滤料中，密度小于 2g/cm^3 的轻物质不应大于 0.2%（百分比按重量计，下同）。

（4）承托料。石英砂滤料和其他滤料及承托料的比较如表 14-3 所示。

表 14-3 石英砂滤料和其他滤料及承托料的比较

项 目	无烟煤滤料	石英砂滤料	高密度矿石滤料	砾石承托料	高密度矿石承托料
密度/(g/cm^3)	1.4 ~ 1.6	2.5 ~ 2.7	>3.8	>2.5	>3.8
含泥量(%)	<3	<1	<2.5	<1	<1.5
盐酸可溶率(%)	<3.5	<3.5	—	<5	—
破碎率与磨损率之和(%)	<2	<2	—	—	—

注：磁铁矿滤料和承托料的密度一般为 4.4 ~ 5.2g/cm^3。

1）砾石承托料。

①砾石承托料为滤池中承托滤料的砾石。砾石承托料应有足够的强度和硬度，在加工和过滤、冲洗过程中应能耐蚀。

②砾石承托料中不应含可见的泥土、页岩或有机杂质。

③砾石承托料中明显扁平、细长（长度超过 5 倍厚度）的颗粒不应大于 2%。

④砾石承托料粒径范围一般为 2 ~ 4mm、4 ~ 8mm、8 ~ 16mm、16 ~ 32mm 和 32 ~ 64mm。

2）高密度矿石承托料。

①高密度矿石承托料为滤池中承托滤料的高密度矿石颗粒，应为磁铁矿、石榴石或钛铁矿较粗颗粒，并应有足够的强度和硬度，在加工和过滤、冲洗过程中应能耐蚀。

②高密度矿石承托料中不应含可见的页岩、泥土或有机杂质。

③高密度矿石承托料中明显扁平、细长（长度超过 5 倍厚度）的颗粒不应大于

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2%。

④高密度矿石承托料粒径范围一般为0.5~1mm、1~2mm、2~4mm和4~8mm。

⑤机械强度、破碎率和磨损率之和不应大于1.5%。

⑥化学性质稳定，不含可见泥土、云母或有机杂质，滤料的水浸出液中不含有毒、有害物质。

3）石英砾石承托料。

①石英砂的密度不应小于2.55g/cm^3（使用中对密度有特殊要求者除外）。

②含泥量不应大于1%，密度小于2g/cm^{3}的轻物质的含量不应大于0.2%（部颁标准）。

③粒径级配合理，外观呈多棱角独白有光泽的晶体。单层或双层滤料的粒径范围一般为0.5~1.2mm，三层滤料的粒径范围一般为0.5~0.8mm。

④粒径范围小于指定下限粒径的按重量计不大于3%，大于指定上限粒径的不大于2%。

⑤石英砾石承托层的粒径范围一般为2~4mm、4~8mm、8~16mm、16~32mm和32~64mm（部颁标准）。

（5）石英砂其他应用领域

1）石英砂是重要的工业矿物原料，非化学危险品，广泛用于玻璃、铸造、陶瓷、耐火材料、冶炼硅铁、冶金熔剂、建筑、化工、塑料、橡胶、磨料等工业。

2）石英砂所具有的独特的物理、化学特性，使其在航空、航天、电子、机械以及当今飞速发展的IT产业中占有举足轻重的地位。特别是其内在分子链结构、晶体形状和晶格变化规律，使其具有耐高温、热膨胀系数小、高度绝缘、耐腐蚀等特点，并有压电效应、谐振效应以及独特的光学特性，在许多高科技产品中发挥着越来越重要的作用。二氧化硅作为硅原料的核心原料，在硅原料的生产与供应中起着不可替代的重要基础作用，如IT行业的核心技术产品——计算机芯片、光导纤维，电子产业的谐振器、新型电光源，无电线工业中的频率稳定器、石英滤波器等，就是利用石英晶体的压电效应、谐振效应等特性制作而成的。

3）石英石在建筑中利用其有很强的耐酸性介质浸蚀的能力，用来制取耐酸混凝土及耐酸砂浆。石英石还用作混凝土、胶凝材料、筑路材料、人造大理石、水泥物理性能检验材料、硅化合物和水玻璃等的原料，硫酸塔的填充物，无定形二氧化硅微粉、铸造型砂的主要原料，以及研磨材料（喷砂、硬研磨纸、砂纸、砂布等）、高纯度金属硅、通信用光纤、橡胶、塑料填料(可提高耐磨性)、涂料填料(可提高涂料的耐候性)等。

4）结晶和形状美丽的石英石可制作眼镜及贵重的工艺品，还可制作各种透镜、反射器、光谱管、导光管和光学仪器中的棱镜、偏光镜等。

5）在化学工业中，石英可用于制作耐酸耐温仪器和器皿。

6）国内的石英砂有一大部分用在石英制品行业，中国硅工业的集中地——江苏东海，素有“石英之乡”、“水晶之乡”的美称。东海有一些实力雄厚的石英管和石英棒生产厂家，如连云港东鑫石英制品有限公司，该公司有着过硬的生产石英管的技术和规

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

模，是专业生产彩色石英管的厂家，也是亚洲第一个研发出彩色石英管的厂家，产品有红色石英管、黄色石英管、灰色石英管、黑色石英管、蓝色石英管等，还生产滤紫外石英管、透明石英管、石英棒等石英制品。

石英砂的常用规格有：0.5～1.0mm、0.6～1.2mm、1～2mm、2～4mm、4～8mm、8～16mm、16～32mm。

（6）石英分类

1）石英矿通常分为石英、鳞石英、白矽石三大类。

2）石英包括三方晶系的低温石英（α-石英）和六方晶系的高温石英（β-石英），一般所说石英均指低温石英。

3）石英作为工业原料，依其质量和用途分为压电石英、光学石英、熔炼石英和琢磨石英四大类。

4）石英砂在工业上常分为普通石英砂、精制石英砂、高纯石英砂、熔融石英砂及硅微粉等。

①普通石英砂。$w(SiO_2)=90\%\sim99\%$，$w(Fe_2O_3)=0.02\%\sim0.06\%$，耐火度为1 750℃，外观呈大颗粒，表面有黄皮包囊，粒度范围为5～220目，可按用户要求粒度生产，主要用于冶金、墨碳化硅、玻璃及玻璃制品、搪瓷、铸钢、水过滤、泡花碱、化工、喷砂等行业。

②精制石英砂由精选优质矿石进行复杂加工制成，外观呈白色或结晶状，主要用于玻璃制品、耐火材料、熔炼石类、精密铸造、砂轮磨材等行业。精制石英砂规格如表14-4所示。

表14-4 精制石英砂规格

名称	规格/目	耐火度大于/℃	均匀度(%)	SiO_2 含量不小于(%)	Fe_2O_3 含量不大于(%)	含粉量小于(%)
精砂	4～6	1 750	90	99.5	0.02	0.2
精砂	6～10	1 750	90	99.5	0.02	0.2
精砂	10～20	1 750	90	99.5	0.03	0.2
精砂	20～40	1 750	90	98.9	0.03	0.2
精砂	40～70	1 750	90	98.8	0.04	0.3
精砂	70～140	1 750	90	98.9	0.04	0.3
精砂	100～200	1 750	90	98.5	0.04	0.3
精砂	270	1 750	90	98.9	0.04	0.3
精砂	325	1 750	90	98.7	0.04	0.3

③高纯石英砂。$w(SiO_2)=99.5\%\sim99.9\%$，$w(Fe_2O_3)\leqslant0.005\%$，是采用1～3级天然水晶石和优质天然石类，经过精心挑选，精细加工而成的，粒度范围为1～0.5mm、0.5～0.1mm、0.1～0.01mm和0.01～0.005mm，可按用户要求生产。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④熔融石英砂。$w(SiO_2)=99.9\%\sim99.95\%$，$w(Fe_2O_3)=(5\sim25)\times10^{-4}\%$，$w(Li_2O)=(1\sim2)\times10^{-4}\%$，$w(Al_2O_3)=(20\sim30)\times10^{-4}\%$，$w(K_2O)=(20\sim25)\times10^{4}\%$，$w(Na_2O)=(10\sim20)\times10^{-4}\%$。

外观为无色透明块状、颗粒或白色粉末，相对密度为2.21，莫氏硬度为7.0，pH值为6.0。

⑤硅微粉为灰色或灰白色粉末，耐火度大于1 600℃，密度为200～250kg/m^3。硅微粉的化学成份如表14-5所示。

表14-5　硅微粉的化学成份

项目	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	NaO	pH
平均值	75%～96%	(1.0±0.2)%	(0.9±0.3)%	(0.7±0.1)%	(0.3±0.1)%	(1.3±0.2)%	中性

2. 无烟煤滤料　无烟煤滤料如图14-3所示。

无烟煤俗称白煤或红煤，一般含碳量在90%以上，挥发物质量分数在10%以下，是煤化程度最大的煤；灰分不多，水分较少，发热量很高，挥发分产率低，密度大，黑色坚硬，有金属光泽，以脂摩擦不致染污，断口成介壳状，燃点高，燃烧时火焰短而少烟，火焰呈青蓝色，挥发分释出温度较高，其焦炭没有黏着性，着火和燃尽均比较困难，无胶质层厚度，热值约(3.35～3.56)×10^{7}J/(kg·K)。

图14-3　无烟煤滤料

煤样在规定条件下隔绝空气加热，煤中的有机物质受热分解出一部分相对分子质量较小的液态（此时为蒸汽状态）和气态产物，这些产物称为挥发物。挥发物占煤样质量的百分数称为挥发分产率或简称挥发分。以干燥无灰基为分析基，挥发分低于10%的煤称为无烟煤，挥发分大于6.5%小于10%的无烟煤称为03号无烟煤。03号无烟煤为年轻无烟煤，01号无烟煤为年老无烟煤，02号无烟煤为典型无烟煤。

中国无烟煤预测储量为4 740亿t，占全国煤炭总资源量的10%，年产2亿t。其中，山西省占32%，河南省占18%，贵州省占11%。中国有六大无烟煤基地：北京京煤集团、晋城煤业集团、焦作煤业集团、河南永城矿区、神华宁煤集团、阳泉煤业集团。

无烟块煤主要应用在化肥（氮肥、合成氨）、陶瓷、锻造等行业；无烟粉煤主要应用在冶金行业，用于高炉喷吹（高炉喷吹用煤除无烟煤外，还有贫煤、瘦煤和气煤）。

无烟煤可用作水处理行业过滤用滤料。无烟煤滤料是采用优质无烟煤为原料，经精选、碎、粉、筛等工艺加工而成的，经过过滤和冲洗，采用人工分类，以减少无关矿物质和灰分的含量，确保其适合水过滤之用。无烟煤滤料外观光泽度好，呈多棱形颗粒状，抗压耐磨性强，具有良好的比表面积。

无烟煤滤料由于具有较好的固体颗粒保持能力，因此能够可靠地提高悬浮颗粒清除

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

能力。此外，无烟煤滤料均匀系数较低，有助于加快流速。无烟煤滤料一般用于双层和三层过滤。建设部标准《水处理用滤料》（CJ/T43—2005）对各项指标均做了规定。无烟煤滤料理化指标如表 14-6 所示。

表 14-6 无烟煤滤料理化指标

项 目	数 据	项 目	数 据
固定碳(C)质量分数(%)	≥90	不均匀系数	2
孔隙率(%)	47 ~ 53	硫含量(%)	0.05
磨损率(%)	≤1.4	铜含量(%)	0.025
密度/(g/cm^3)	1.4 ~ 1.6	锌含量(%)	0.04
破碎率(%)	≤1.6	粒度/mm	0.60 ~ 62.00
堆密度/(g/cm^3)	0.947	莫氏硬度	3.0 ~ 3.5
盐酸可溶率(%)	≤3.5		

注：1. 无烟煤滤料应为坚硬、耐用的无烟煤颗粒。

2. 无烟煤滤料不应含可见的页岩、泥土或碎片杂质。

3. 无烟煤滤料中，密度大于 1.8g/cm^3 的重物质不应大于 8%。

4. 其他重金属含量不超过国家饮用水标准。

无烟煤滤料包装及储存：50kg 袋装，使用塑料编织袋，产品应存放在室内干燥处。

3. 滤料其他要求

（1）滤料必须有足够的机械强度，以免在反冲洗过程中很快地磨损和破碎。

（2）滤料的化学稳定性要好。

（3）滤料不应含有对人体健康有害及有毒的物质，不应含有对生产有害、影响生产的物质。

（4）滤料的选择，应尽量采用吸附能力和截污能力大、产水量高、出水水质好的滤料。其中的卵石主要起支撑作用，在过滤工艺过程中，因其强度高，相互之间的间距缝隙稳定，即孔隙大，便于正洗工序中滤后水顺利通过；反之，便于反洗工序中反洗水和反洗空气等顺利通过。常规配置中，卵石分为四种规格。

4. 多介质过滤器滤料铺装方法

（1）准备

1）在滤罐（池）铺装承托料和滤料以前，应先清除滤罐（池）内一切部位的全部杂物，并清洗干净；应先检查配水配气的管系是否水平、孔眼或缝隙是否畅通无阻，再按设计冲洗方法用水或气水冲洗，观察冲洗时配水配气系统的水或气水分布是否均匀和有无渗漏。

2）在滤池内壁按承托料和滤料的各层设计顶高画水平线，作为铺装高度标记。

3）分别清洗各种粒径范围的承托料。

（2）铺装

1）先大后小。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2）滤床高度和滤料平均粒径的比值：800～1 000（设计规范）。

3）滤料的粒径大小和过滤精度有关。

4）铺装承托料时，应避免损坏滤罐（池）的配水配气系统。应均匀轻撒承托料，严禁由高向低把承托料倾倒至配水配气系统或下一层承托料之上。铺装人员不应直接在承托料上站立或行走，而应站在平板上操作，以免造成承托料的移动。

5）使滤罐（池）充水并使水面符合罐（池）内壁水平线，以校核铺装的承托层顶高。承托层顶面与水面的高度差值应小于10mm，承托层顶面高于与低于水面的面积之和应小于10%。

6）在下层承托料顶面符合要求后，再开始铺装上一层承托料。铺完粒径等于或小于4mm的承托层后，应用该滤池的设计上限冲洗强度进行冲洗。开始冲洗时必须使用小冲洗强度，以便排除配水系统中的空气，空气排完后，再逐渐提高冲洗强度。达到设计上限冲洗强度以前的历时不应少于3min。冲洗水中夹带大气泡时，极易搅乱分级的承托料。停止冲洗前应先逐渐降低冲洗强度。排水后，细心刮除该层承托料表面的轻物质和细颗粒。

7）承托料全部分层铺装完成后，使滤罐（池）充水至洗砂排水槽以下。由槽顶向水中撒入预计数量的滤料（包括应刮除的轻细杂物）。应尽量使撒入的滤料均布全罐（池），不应形成滤料丘。排水后，先将滤料整理平再进行冲洗；冲洗后，刮除轻细杂物。按上述方法操作后，如滤料层顶面未达到设计顶高水平线要求，应重复上述撒料、整平、冲洗、刮除操作，直到滤料符合要求为止。如果是双层或三层滤料滤罐（池），则应在下层滤料完成上述四步操作并且该层滤料顶面达到水平线后，再铺装一层滤料。无烟煤滤料装入滤罐（池）后，应在水中浸泡24h以后，方可进行冲洗和刮除操作。

8）对于大厚度的单一滤料滤床，一次铺装滤料厚度不应超过0.9m。在下部0.9m厚滤料完成上述四步操作后，再进行上部滤料的四步操作。

9）刮除：刮除步骤应进行几次，以便去除全部轻细杂物。刮除工具可用灰刀、平锹等。两次刮除步骤之间，一般冲洗1～3次，每次冲洗历时不应少于5min。

（三）多介质过滤器反冲洗工艺

在过滤过程中，过滤器使用一定时间后，原水中的悬浮物被滤料表面吸附并不断地在滤料层中积累，滤料表层截留或吸附一定数量的杂物或污渍，滤层孔隙逐渐被污物堵塞，进水和出水管道的压力差增大，过滤水头损失不断增加，水流对吸附在滤料表面的污物的剪切力变大，其中有些颗粒在水流的冲击下移到下层滤料中去，最终会使水中的悬浮物含量不断上升、水质变差、过滤器的流量降低。另外，污水的悬浮物中含有大量有机物，长期滞留在滤层中会发生厌氧腐败现象。因此要进行反洗，使过滤器恢复性能。

1. *反冲洗原理*　水流逆向通过滤料层，使滤层膨胀、悬浮，借水流剪切力和颗粒碰撞摩擦力的作用清洗滤料表层，并将滤层内的污物冲洗出。

2. *膨胀高度*　反冲洗时，为了保证滤料颗粒有足够的间隙使污物迅速随水排出滤层，滤层膨胀率应大一些。但膨胀率过大时，单位体积中滤料的颗粒数变少，颗粒碰撞

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的机会也减少，所以对清洗不利。双层滤料膨胀率一般为40% ~50% 。

3. 空气辅助清洗

（1）先用空气冲洗，然后用水反冲洗。首先将滤池水位降至滤层表面以上100mm处，通入空气数分钟，然后用水反冲洗，适用于表面污染重而内部污染轻的滤池。

（2）空气和水同时反冲洗。从静止滤层下部送入空气，在砂层内合并成的大气泡一面反复分散，一面上升，滤层反冲洗时呈悬浮状态，气泡直径大，清洗效果好。

（3）在气-水联合冲洗结束后，停止送入反洗空气，反洗水以同样的流量继续冲洗3 ~5min，即可去除遗留在滤床中的气泡。

4. 反冲洗注意事项

（1）在生产运行中，对滤料的填充高度、膨胀高度等定期进行检查，因为正常反洗过程中，会有部分滤料跑失或磨损，需要进行补充。在反洗过程中，通入的反洗空气汇集于过滤器的顶部，大部分应通过双孔排气阀排出。日常生产中，需经常检查排气阀的通畅性，主要表征在阀球升降的自由度上。

（2）相应的阀门关闭必须到位，否则水位降到很低时，滤层的上部没有水的浸润，在颗粒的上下扰动过程中，污物不能有效排出，反而会往深处移动。

（3）水的反洗压力和空气的反洗压力不同、强度不同、工作的先后顺序中，避免反洗水进入空气管道。

5. 过滤器滤帽的特点

（1）反洗采用气垫层冲洗，能够提高冲洗效果、降低运行成本、延长滤料的使用寿命。

（2）设备下部采用滤帽收水，能够解决由于设备压力变化而引起滤料跑失的问题，同时减少过滤器底部承托层的高度和数量，减轻设备的运行重量。

（3）反洗流程中，滤帽结构特点的体现：初期，当气垫层达到一定厚度时，气由杆上的孔和槽少量进入水中，连同水由弱到强一起对滤料进行气-水联合冲洗；当气垫层达到设计厚度（通常要求600mm）时，气体将由滤帽杆的下部口进入，通过滤帽均匀分布，滤料在气体的推动下进行膨胀，高强度的相互摩擦，进而实现高强度的气体与水混合冲洗滤料的目的。

（四）滤料“板结”原因的分析

（1）如果反洗空气的分布不均匀，膨胀高度发生变化，则搓动量小的地方，截留在滤层上表层的污物不能有效地去除，在投入下一正常滤水周期后，局部负荷增大，会从表面沉入内部，球团逐渐增大，并同时向过滤器的填充深度内延伸，形成“板结”，直至整个过滤器失效。实际运行中，反洗空气不均匀的现象经常出现，其原因是底部布气管道穿孔、局部滤帽堵塞或损坏或栅管变形。

（2）滤层的表面滤料颗粒细小，反冲洗时相互碰撞机会少、动量小，所以不易清洗干净。附着的砂粒易结成小泥球。当反冲洗后滤层重新级配时，泥球就随之长大而不断向深处移动。

（3）原水中所包含的油污被截留在过滤器内，经反洗后的残余部分日积月累，是

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

导致过滤器滤料板结的主要因素。

何时进行反洗可根据原水的水质特点和出水水质要求，采用限定水头损失、出水水质或过滤时间等标准来确定。

（五）多介质过滤器技术参数

多介质过滤器技术参数如表14-7所示。

表14-7　多介质过滤器技术参数

型号 $\Phi d \times L$/mm	1.2×3.0	1.6×3.0	2.0×3.2	2.6×3.5	3.0×3.5
过滤面积/m^2	1.13	2.0	3.14	5.3	7.1
滤速/(m/h)	8~12				
最大过滤水量/(m^3/h)	13.6	24	37.7	63.6	85.2
滤层高度/m	1.1~1.3		1.3~1.6		
进出口径/mm	DN50	DN80	DN100	DN120	DN150
最大进水压力/MPa	≤0.4				
原水悬浮物/(mg/L)	≤80				
产水悬浮物/(mg/L)	≤10				
过滤平均压力损失/MPa	-0.05				
反洗水强度/[m^3/(m^2·h)]	25				
反洗水压力/MPa	0.15				
反洗空气强度/[m^3/(m^2·h)]	25				
反洗空气压力/MPa	0.07				

二、活性炭过滤器

活性炭过滤器能够吸附前级过滤中无法去除的余氯，以防止后级反渗透膜受其氧化降解；同时还吸附从前级泄漏过来的小分子有机物等污染性物质，对水中异味、胶体及色素、重金属离子等有较明显的吸附去除作用；还具有降低COD的作用，可以进一步降低RO进水的SDI值，保证SDI<5，TOC<2.0×10^{-4}%。

（一）活性炭过滤器原理

活性炭过滤器的工作是通过碳床来完成的。组成碳床的活性炭颗粒有非常多的微孔和巨大的比表面积，具有很强的物理吸附能力。水通过碳床，水中有机污染物能被活性炭有效地吸附。此外，活性炭表面非结晶部分上有一些含氧官能团，也能有效地吸附污染物。活性炭过滤器是一种较常用的水处理设备，作为水处理脱盐系统的前处理设备，可有效保证后级设备使用寿命，提高出水水质，防止污染，特别是能防止后级反渗透膜、离子交换树脂等的游离态余氧中毒污染。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

影响活性炭过滤器吸附效果和使用寿命的主要因素有：污染物的种类和浓度、气流或液流在过滤材料中的滞留时间、空气的温度和湿度。

实际选用时，要根据污染物的种类、浓度和处理量等条件，确定过滤器形式和活性炭种类。

活性炭过滤器的上、下游均应有好的过滤器，上游过滤器防止污染物堵塞活性炭材料，下游过滤器拦住活性炭本身的微粒。

（二）活性炭

1. 活性炭的特性

（1）活性炭是内部孔隙结构发达，比表面积大，吸附能力强，外观呈黑色粉状、粒状或丸状的微晶碳素材料。主要成分除碳外，还含少量氧、氢、硫、氮、氯及灰分。

（2）活性炭结构为碳形成六环物堆积而成，由于六环炭的不规则排列，造成了活性炭多微孔体积及高表面积的特性，比表面积为 500 ~ 1 000m^2/g，即 1g 活性炭的表面积相当于 8 个网球场。活性炭的这种孔隙结构是肉眼无法看见的，因为这种孔隙直径在 10^{-12} ~ 10^{-5}mm 之间，略大于一个分子。

（3）活性炭产生吸附性的原因就是因为它有这种发达的孔隙结构。孔隙结构的吸附作用是藉由物理性吸附力与化学性吸附力达成的，主要是物理吸附，依靠分子与被吸附物质的分子碰撞时的范德瓦耳斯力（引力）结合在一起，碰撞几率越大吸附力越强，而碰撞几率与气体或液体的温度、压强、流速、浓度等有关系。活性炭可以吸附水和气体中的金属离子、悬浮物、色素等，吸附物质的质量可接近于活性炭本身的质量。

（4）活性炭吸附作用具有选择性，非极性物质比极性物质更易于被吸附；在同一系列物质中，沸点越高的物质越容易被吸附；压强越大、温度越低、浓度越大，吸附量越大；反之，减压、升温有利于气体的解吸。

（5）工业上应用的活性炭要求机械强度大、耐磨性能好、结构稳定、吸附所需能量小，以有利于再生。

2. 活性炭的用途　活性炭是公认的对有毒有害气体、污水具有很强的吸附能力，又无二次污染的气、水净化产品，应用极其广泛，几乎涉及所有的国民经济部门以及人们的日常生活。

（1）环保行业。用于废水回收前处理、有毒废水处理、电厂水预处理、生物法污水处理、废气及有害气体的净化、污水处理场排气吸附、汽车尾气净化。

（2）冶金行业。用于湿法冶金中的金、铂等贵金属的提取、尾液回收，以及吸附废水和废气中的金属离子、有机污染物、色素等。

（3）石油化工行业。用于油品精制、脱硫、油脂脱臭、甘油、药物的脱色剂、溶剂回收、乙烯脱盐水（精制填料）、催化剂载体（钯、铂、铑等）等。

（4）军事行业。用于防毒面具、口罩和防护服。

（5）食品行业。用于饮用水、饮料、酒类、甜味剂、调味品、食用油脂的脱色精制。

（6）医药行业。用于在制药中去除杂质、提高纯度和去除致热源、药品针剂提炼、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

血液净化、吸收胃肠中毒素和细菌等。

（7）日常生活。

1）活性炭是看不到的空气过滤网，装修后的房间内放置一定数量的活性炭，活性炭能以其物理吸附和化学分解相结合的功能，吸附分解装饰材料、家具等散发出来的甲醛、苯、甲苯、氨、挥发性有机化合物等有毒有害气体，以及致癌的芳香类物质。

2）在厕所、厨房、冰箱、鞋柜、鞋内放置一些活性炭，可有效去除臭味、异味。

3）家具中放置一些活性炭，可使霉菌无繁殖空间，不但可解决家具发霉问题，而且可去除家具异味。

4）古籍防霉防蛀。保藏古籍、书画最怕霉变虫咬，在收藏柜中放置一定数量的活性炭，可使珍贵的古籍、书画始终保持本色，并且还可防霉防蛀。

5）药品保藏。家中的药箱里放置一部分活性炭，不但可使药品不变质，还可消除药品散发的药味。

6）鱼缸净水。鱼缸中放置一部分活性炭，可去氯、消毒、净化水质。

7）室内除菌。活性炭还具有去除大肠杆菌、黄葡萄球菌、白癣菌、霉菌、化脓菌、绿脓菌等细菌的功能，在室内空间放置一定数量的活性炭，可抑制肠病毒、流行性感冒、滤过性病毒等病源的传播。

3. 活性炭的规格及选用　活性炭按原料来源，可分为木质活性炭、果壳活性炭、兽骨/血活性炭、矿物原料活性炭、合成树脂活性炭、橡胶/塑料活性炭、再生活性炭等；按外观形态，可分为粉状、颗粒状、不规则颗粒状、圆柱形、球形和纤维状等。

活性炭产品规格如下（具体每个厂家有些差别）：

（1）类型

椰壳：AV-SC、AV-SP。

果核：AV-FC。

煤质：AV-CB、AV-CC、AV-CP。

木质：AV-WP。

（2）颗粒大小

破碎状（mm）：4×8、6×12、8×30、12×40、20×40、30×60。

造粒型直径（mm）：1.5、3、4、9、10。

粉末状：200～325。

（3）假体积质量：0.4～0.55g/mL。

（4）碘值：850～1200mg/g。

（5）亚甲基蓝吸附力：150～225mg/g。

（6）四氯化碳吸附率：45%～100%。

（7）苯吸附率：25%～45%。

（8）硬度：90%～99%。

（9）水分质量分数：3%～10%。

（10）灰分质量分数：3%～15%。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（11）酸碱值（pH 值）：3 ~ 11。

（12）比表面积：800 ~ 1 300m^2/g。

4. 活性炭的生产

（1）活性炭的原料。活性炭可由许多种含碳物质制成，这些物质包括木材、锯屑、煤、焦炭、泥煤、木质素、果核、硬果壳、蔗糖浆粕、骨、褐煤、石油残渣等。其中，煤及椰壳已成为制造活性炭最常用的原料。在同等条件下，椰壳的活性质量及其特性是最好的，因为其有最大的比表面积。由不同原料制成的活性炭具有不同大小的孔径。由椰壳制成的活性炭具有最小的孔隙半径，木质活性炭一般具有最大的孔隙半径。木质活性炭用于吸附较大的分子，并且几乎专用于液相中。在都市给水处理领域中使用的第一种类型的粒状活性炭就是用木材制成的，称为木炭。煤质活性炭的孔隙大小介于椰壳活性炭与木质活性炭之间。

在煤质活性炭中，褐煤活性炭比无烟煤活性炭具有较多的过渡孔隙及较大的平均孔径，因此能有效地除去水中的大分子有机物。

（2）生产。按活性炭的生产方法可分为物理水蒸气法和化学法。物理水蒸气法分为两步，第一步为碳化，将原料在密闭容器中 170 ~ 600℃的温度下干燥，可将其 80% 有机组织碳化；第二步为活化，将第一步已碳化好的碳化料送入反应炉中，在 850 ~ 900℃与活化剂和水蒸气反应，以去除其中所有可分解的物质，产生丰富的孔隙结构及巨大的比表面积。由于产生发达的微孔结构及巨大的比表面积，因而具有很强的吸附能力。孔径一般分为三类：大孔 1 000 ~ 1 000 000Å，过渡孔 20 ~ 1 000Å，微孔 20Å（1Å $=10^{-10}$m，Å 读埃）。增加其空隙后，即完成活化过程。

化学活化法利用活化剂放出的气体，或用活化剂浸渍原料，在高温处理后即可得到活性炭。

活性炭的生产流程：原料（木料、椰壳、煤）→破碎→筛选→活化→除杂→破碎→酸洗→水洗→脱水→干燥→包装→成品

在生产过程中，提高活性炭吸附性能的唯一办法就是控制生产工艺，使单位体积内尽可能多地增加活性炭的孔隙结构。

（3）成本。按原料计算，最贵的是椰壳，其次是木质和煤质，但深加工层次可以很多，相同产品的深加工层次不同也会造成成本的差异。

活性炭就是指碳的活化过程，其实就是造孔过程，孔造得越多，比表面积越大，装的有害气体就越多，但孔要造得有水平，只有适合有害气体大小的有效孔才能有效地吸附有害气体。因此，吸附性高的活性炭由于含有大量的孔隙，使得其本身的密度变得较小，这就是吸附性越好的活性炭越轻的原因，前提是使用同一种原料生产，没有浸过水或吸附过其他物质。随着吸附性的提高，活性炭的生产成本也就越高，而且是呈几何级数增长。

5. 活性炭再生　活性炭使用一段时间后，吸附能力就会逐渐下降，最终会达到吸附饱和，此时活性炭就不具备吸附能力了。通过再生处理，可以恢复活性炭的吸附能力，使其能反复使用。常用的再生方法是加热法，废碳烘干后在 850℃左右的再生炉内

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

焙烧。颗粒每次再生约损耗5%～10%，且吸附容量逐次减少。再生效率对滤池的运行费用，也就是对水处理成本影响极大。也可用以下两种简便的再生方法，但其效果不如加热法：

（1）阳光再生。将饱和活性炭在阳光下暴晒3～4h。

（2）热风再生。将饱和活性炭用电吹风加热约30min。

6. 活性炭的选用　并非任何活性炭对有害气体、污水都具有很好的吸附能力。在气相吸附中，只有孔隙结构发达、孔径大小分布合理，而且略大于装修有害气体分子直径的活性炭，才能对装修有害气体具有很强的吸附能力；在液相吸附中，应选用较多过渡孔径及平均孔径较大的活性炭。针对不同的吸附对象，需选用相应的活性炭，以达到最好的性价比。可简单依据以下标准判断活性炭吸附性能的好坏：

（1）比较相同质量活性炭的包装体积。一般情况下，包装体积越大的活性炭，吸附能力越强，使用效果越好。相同质量的活性炭，颗粒越小，表面积越大，与外界的接触面积也越大，吸附能力也就越强。

（2）比较活性炭的颗粒大小。颗粒不要超过1.5mm，一般为20～40目，即0.42～0.85mm。颗粒在1.5mm以上的活性炭，效果没有颗粒小的活性炭效果好。一般来说，颗粒越小的活性炭比表面积越大，吸附效果越好。但是颗粒越小，损耗也会越大，粉尘也会越大。

（3）看粉尘，即活性炭的后处理。使用活性炭的首要原则是不能弄脏物品，不能对人体有伤害，所以对生产的活性炭必须进行后处理，也就是把粉碎的椰壳等去除粉尘，否则粉尘过多，清洁度就非常差，如果吸入会对人体造成伤害，周围的物品也都会被弄脏。

（4）判断活性炭的生产厂家是否为专业活性炭生产厂家。只有专业活性炭生产厂家才能根据市场上的要求，开发出有针对性的产品。

（5）比较不同品牌活性炭在市场上的表现。产品销售网络越健全，说明市场对该品牌活性炭认可度越高，相应的产品质量也有保证。目前市场上推出的活性炭小炭包，由于使用和再生方便，广受消费者欢迎。但是在使用过程中，有些产品可能存在碳粉末或颗粒泄露的缺陷，要加以留意，市场上有的用低吸附活性炭冒充高吸附活性炭销售。

7. 电镀废水回用预处理用活性炭　一般在水处理中使用的活性炭应具有较多的过渡孔隙及较大的平均孔径。日本市场销售的一些液相用的活性炭具有以下特性：比表面积为850～1 000m^2/g，孔隙容积为0.88～1.5mL/g，平均孔隙半径为40～50Å。

电镀废水回用预处理用活性炭，宜选用以椰壳或其他果壳、木质为原料，以物理法、水蒸气高温活化精制而成的颗粒状活性炭。该种活性炭具有比表面积大、吸附能力强、机械强度高、表面含氧基因多、积极性强等优点。

三、袋式过滤器

袋式过滤器是主要由滤袋、金属网蓝、壳体三部分组成的一个简便、经济的过滤系统，待过滤液由入口进入滤袋，液体渗透过滤袋经出口流出，杂质被截留在滤袋内，从而得到干净的流体。袋式过滤器的过滤精度为10～200μm，有单袋机、双袋机以及多袋

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

机。

1. 结构

（1）金属网蓝能有效支撑滤袋，给滤袋贴切保护，防止滤袋脱落、绽线。

（2）滤袋压环，用于防止滤袋滑动。

（3）壳体材质：SS304、SS316L、Q235。

（4）表面处理：亚光、喷珠、电抛光、机械抛光、金属烤漆。

（5）管路连接方式：用环形螺栓联接，可快速开启。

2. 滤袋

（1）性能及技术参数。

1）材料：聚酯（PE）、聚丙（PO）、尼龙（MO），五线缝纫。

2）滤袋沿口材料：不锈钢圈、镀锌钢圈以及聚丙烯塑料圈。

3）滤袋参数如表 14-8 所示。

表 14-8 滤 袋 参 数

滤袋代码	1	2	3	4
表面积/(ft^2/m^2)	2.0/0.19	4.4/0.41	0.5/0.05	1.0/0.09
体积/(gal/lite)	2.1/7.9	4.6/17.3	0.37/1.4	0.67/2.5
直径/(in/cm)	7/17.8	7/17.8	4/10.2	4/10.2
长度/(in/cm)	16.5/41.9	32/81.3	9/22.9	15/38.1

4）过滤精度（μm）：10、25、50、75、100、150、200。

5）最高操作压差（MPa）：0.4、0.3、0.2。

6）最高操作温度（℃）：聚酯（PE）130（瞬间 180）、聚丙（PO）90（瞬间 110）、尼龙 180。最高操作温度是指在长时间的使用状态下确保过滤精度不变时的使用温度。

（2）无纺布滤袋。滤面均经特殊烧毛处理-高温表面热处理，即应用瞬间烧结技术/压光处理，既能有效防止纤维脱离污染滤液，又避免了传统辊压处理造成的滤孔过分堵塞而缩短滤袋寿命的情况，能有效地防止过滤时纤维受液体高速冲击而散失。所有原料均是本白色，未经任何特别漂染处理，完全符合环保标准。深层三维过滤材料，纯纤维以针刺方式形成立体、高度蓬松的迂回曲折的过滤层，其特点是纤维组织疏松，增加了杂质的容载量。由于针刺毡的三维过滤层，使得液体流过过滤袋时，颗粒会由于深层过滤机理滞留于液体过滤袋的内壁表面及深层，对固体或胶体颗粒具有高捕集效率。针刺毡厚度均匀、稳定的开孔率及充分的强度使滤袋效率稳定、运用时间长。五线双针最紧密的缝制，确保每一个液体过滤袋能达到最好的过滤保障。

液体袋式过滤器操作中由于压差的原因会直接影响流量。当达到适当的压差时，必须更换新的液体过滤袋。液体过滤袋的使用寿命同过滤介质的颗粒含量多少和介质黏度大小有直接关系。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）尼龙单丝滤袋。单丝筛网结构可将过滤液中的杂质直接截留在材料表面，所以也称表面过滤型。这种过滤袋的优点是单丝结构材料可反复清洗使用，消耗成本低，但由于是表面过滤模式，容易造成滤袋表面堵塞，因此最适合用在精度较低的粗滤场合。

滤袋如图 14-4 所示。

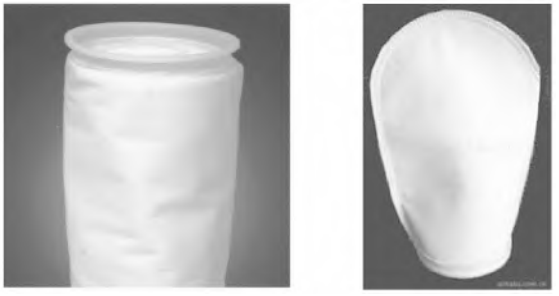
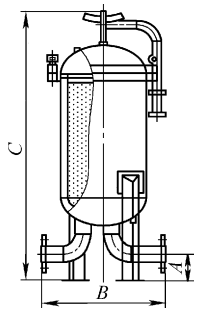


图 14-4　滤袋

3. 应用领域　袋式过滤器主要应用在水处理、制药、石油化工、汽车、油漆、瓷漆、涂料及粘胶、食品和饮料、电子、金属加工、化学品等行业。

单滤袋过滤器如表 14-9 和图 14-5 所示，多滤袋过滤器如表 14-10 和图 14-6 所示。

表 14-9　单滤袋过滤器

底入底出	型号	外型尺寸/mm			最高承压/MPa	最高使用温度/℃	滤袋		口径/（N1/N2）	最大流量/m^3
		A	*B*	*C*			代码	数量		
	DL2-3	180	706	1 500	1.0	60	2	3	4″	120
	DL2-4	200	756	1 550	1.0	60	2	4	5″	160
	DL2-5	200	806	1 550	1.0	60	2	5	5″	200
	DL2-6	220	906	1620	1.0	60	2	6	6″	240
	DL2-8	220	1 106	1 700	1.0	60	2	8	6″	320
	DL2-10	250	1 110	1 860	1.0	60	2	10	8″	400
	DL2-12	280	1 210	1 860	1.0	60	2	12	10″	480
	DL2-14	280	1 410	1 900	1.0	60	2	14	10″	560
	DL2-16	300	1 510	1 900	1.0	60	2	16	12″	640
	DL2-18	300	1 610	2 250	1.0	60	2	18	12″	720
	DL2-20	300	1 610	2 250	1.0	60	2	20	12″	800

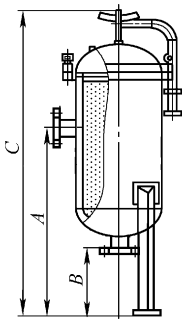
注：1. 流量是指滤器壳体所能通过的流量，只作参考。选型时需按滤袋实际所能通过的流量选择相应的规格。

2. 以上仅限标准系列产品，非标制作另定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 14-10 多滤袋过滤器

侧入底出	型号	外型尺寸/mm			最高承压/MPa	最高使用温度/℃	滤袋		口径/（N1/N2）	最大流量/m^3
		A	*B*	*C*			代码	数量		
	DL2-3	1 050	300	1 500	1.0	60	2	3	4″	120
	DL2-4	1 050	300	1 550	1.0	60	2	4	5″	160
	DL2-5	1 050	300	1 550	1.0	60	2	5	6″	200
	DL2-6	1 100	350	1 620	1.0	60	2	6	6″	240
	DL2-8	1 100	350	1 700	1.0	60	2	8	6″	320
	DL2-10	1 200	450	1 860	1.0	60	2	10	8″	400
	DL2-12	1 200	450	1 860	1.0	60	2	12	10″	480
	DL2-14	1 400	450	1 900	1.0	60	2	14	10″	560
	DL2-16	1 400	600	1 900	1.0	60	2	16	12″	640
	DL2-18	1 400	600	2 250	1.0	60	2	18	12″	720
	DL2-20	1 400	600	2 250	1.0	60	2	20	12″	800

注：1. 流量是指滤器壳体所能通过的流量，只作参考。选型时需按滤袋实际所能通过的流量选择相应的规格。

2. 以上仅限标准系列产品，非标制作另定。

图 14-5 单滤袋过滤器

图 14-6 多滤袋过滤器

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 袋式过滤器和介质过滤的比较

（1）流量比较

砂缸：现在市场上较大的砂缸直径为2.6m，过滤面积为5.3m^2，流量为63.6m^3/h。

袋式过滤器：4个2号袋，流量为63.6m^3/h。

（2）设备价格比较

砂缸：设计流量为63.6m^3/h的砂缸价格为28 000元左右。

袋式过滤器：设计流量为63.6m^3/h的过滤器，价格为23 000元左右。

（3）使用耗材比较

砂缸：石英砂每吨约400元左右，以一年换一次砂为标准，直径为2.6m的过滤器需要2 500元砂（不包括反冲洗所需的水费）。

袋式过滤器：过滤袋以每个40元计算，每40天换一次过滤袋，每次需换4个，即一年需要换9次，需要1 500元（不需用水反冲洗）。

（4）压损比较

砂缸：初始压损为0.5kg，使用一个月（即反冲洗前）的压损达到2kg。

袋式过滤器：初始压损为0.1kg，使用40天时的压损达到2kg。

（5）过滤精度比较

砂缸：使用4#砂可达到125μm的等级。

袋式过滤器：正常情况下使用50～100μm的等级。

（6）工作强度比较

砂缸：一年换一次砂，换砂工作强度大。

四、保安过滤器

保安过滤器又称精密过滤器，用于去除水中的微小悬浮物、细菌及其他杂质等。

1. 保安过滤器的原理　过滤方式为外压式。被过滤介质从侧面进入筒体内，通过滤芯进行过滤，液体从底部排出，用于去除水中大于5μm的悬浮物、颗粒物及胶体微粒等杂质，从而保证进水SDI值的要求（SDI＜5），达到保护反渗透膜的目的。保安过滤器的过滤精度分为：1μm、5μm、10μm、15μm。

2. 保安过滤器的特点

（1）过滤精度高，滤芯孔径均匀，过滤阻力小、通量大、截污能力强、能有效除去液体中的悬浮物、铁锈等。

（2）强度大，能承受较高的过滤压力，耐高温，耐酸、碱，滤芯不易变形。

（3）独特的深层网孔结构使滤芯有较高的容渣负荷能力。

（4）滤芯材料洁净度高，对过滤介质无污染，滤芯可更换。

3. 保安过滤器滤芯的类型　滤芯有聚丙烯滤芯、烧结滤管、熔喷式纤维滤芯、蜂房滤芯和熔喷水净化滤芯等，滤芯材质采用聚丙烯、尼龙、熔喷式纤维等。以聚丙烯为原材料的PP滤芯，即聚丙烯线绕蜂房式滤芯较为常用；烧结滤管是由粉末材料通过烧结形成的，其滤管材料有陶瓷、玻璃砂、塑料等；熔喷式纤维滤芯一般采用聚丙烯为原料，经过加热熔融、喷射、牵引、接收成型而制成；蜂房滤芯是由纺织纤维粗纱精密缠

www.789pdf.com 789书库网

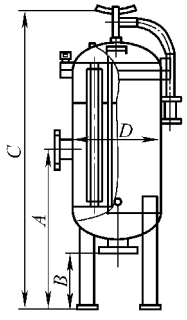
www.789pdf.com 789书库网

绕在多孔骨架上制成的；熔喷水净化滤芯是由聚丙烯超细纤维熔融缠结加工制成的，纤维随机形成三维结构，孔隙分布均匀，由内向外成渐变径梯度过滤，能最大限度地满足各种水净化工程运作的需要。可根据不同出水要求选用滤芯。保安过滤器的进出水需设置压力表，当运行时进出水压差达到极限值时，应及时更换滤芯。由于滤芯的清洗恢复效率较低，所以最好使用一次性滤芯。桶体采用优质不锈钢或 UPVC 材质，采用快开式，更换滤芯不需使用工具，方便快捷。

图 14-7　保安过滤器

为了防止预处理中未能完全去除或新产生的悬浮颗粒进入反渗透系统，保护高压泵和反渗透膜，通常在反渗透进水前设置滤芯式保安过滤器。此外，保安过滤器广泛应用于精细化工、制药、纺织、化工、冶金、机械、电镀等行业。保安过滤器如表 14-11 和图 14-7 所示。

表 14-11　保安过滤器

示意图(侧入底出)	型号	外型尺寸/mm				管径/(N1/N2)	滤芯		参考流量
		A	*B*	*C*	*D*		数量	规格(″)	
	HJ25-40	900	300	1 850	450	3″	25	40	32
	HJ30-40	900	350	1 900	500	4″	30	40	40
	HJ40-40	1 000	350	2 050	550	4″	40	40	52
	HJ45-40	1 000	400	2 200	600	5″	45	40	59
	HJ50-40	1 200	500	2 200	700	5″	50	40	65
	HJ60-40	1 200	450	2 200	700	6″	60	40	78
	HJ70-40	1 400	450	2 300	800	6″	70	40	90
	HJ80-40	1 400	450	2 300	800	6″	80	40	105
	HJ90-40	1 400	550	2 500	900	8″	90	40	120
	HJ100-40	1 400	550	2 750	1 000	8″	100	40	135
	HJ120-40	1 400	550	2 750	1 000	8″	120	40	160

* 以上仅限标准系列产品，非标制作另定。

第二节　三级处理仪表

电导率仪、浊度的测量在上篇已介绍过，这里仅介绍淤泥密度指数 *SDI* 的测试方

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

法。淤泥密度指数 *SDI* 是表征反渗透系统进水水质的重要指标，一般情况下用 *SDI* 测量仪测量，测量原理、测试仪器的组装和测试步骤如下。

1. 测量原理　测量在 30psi 给水压力下，一定量的原水通过孔径 0.45μm 的滤膜所需要的时间。

2. 测试仪器的组装　按设备说明书组装测试仪器，将测试仪器连接到 RO 系统进水管路的取样点上，在装入滤膜后将进水压力调至 30psi，在实际测试时使用新的滤膜。要注意，在安装滤膜时，应使用扁平镊子以防刺破滤膜，确保 O 型密封圈清洗完好并安装正确，避免用手接触滤膜，事先冲洗测试装置，去除系统中的污染物。

3. 测试步骤

（1）记录测试温度，在实验开始至结束的测试时间内，系统温度变化不应超过 1℃。

（2）排除过滤池中的空气，根据滤池的种类，在给水球阀开启的情况下，打开滤池上方的排气阀，或拧松滤池夹套螺纹，充分排气后关闭排气阀。

（3）用带有刻度的 500mL 量筒接取滤过的水以测量透过滤膜的水量。

（4）全开球阀，测量并记录从球阀全开到接满 100mL 和 500mL 水样所需的时间。

（5）5min 后，再次测量收集 100mL 和 500mL 水样所需的时间，10min 及 15min 后再分别进行同样的测量。

（6）如果接取 100mL 水样所需时间超过 60s，则意味着约 90% 的滤膜面积被堵塞，此时已无需再进行测试。

（7）测试结束并打开滤池后，最好将测试后的滤膜保存好，以备以后参考。

淤泥密度指数计算公式如下：

$$SDI = \frac{P_{30}}{T_t} = 100 \times \frac{1 - \frac{T_i}{T_f}}{T_t}$$

式中　*SDI*——淤泥密度指数；

P_{30}——在 30psi 给水压力下的滤膜堵塞百分数；

T_t——总测试时间，单位为 min，通常 T_t 为 15min，但如果在 15min 内即有 75% 的滤膜面积被堵塞，测试时间就需缩短；

T_i——第一次取样所需的时间；

T_f——15min（或更短时间）以后取样所需的时间。

接取 500mL 水样所需的时间大约为接取 100mL 水所需时间的 5 倍，如果远大于 5 倍，则在计算 *SDI* 时，应采用接取 100mL 所用的时间。为了精确测量 *SDI* 值，P_{30} 应不超过 75%，如果 P_{30} 超过 75%，应重新测试，并在较短时间内获取 T_f 值。

原水 *SDI* < 1，可运行数年；*SDI* < 3 运行数月无需清洗膜；*SDI* 为 3 ~ 5 的情况下，运行需要经常清洗，这样的系统难以正常运行；*SDI* > 5 的原水，不能用于反渗透系统。*SDI* 测试如图 14-8 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

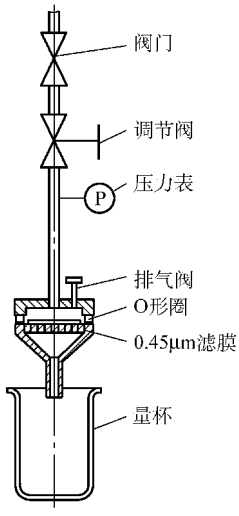


图 14-8 *SDI* 测试

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

下篇　实 际 运 用

第十五章　电镀废水处理厂工程实例（1 000m^3/d）

深圳市天胜电镀工业园内有电镀企业26家，镀件有塑胶、五金、工艺品、手表零件、电器元件、电铸等，废水排量1 000m^3/d，要求废水400m^3/d达标排放，600m^3/d作为工艺用水回用到生产线上。水平衡图如图15-1所示。

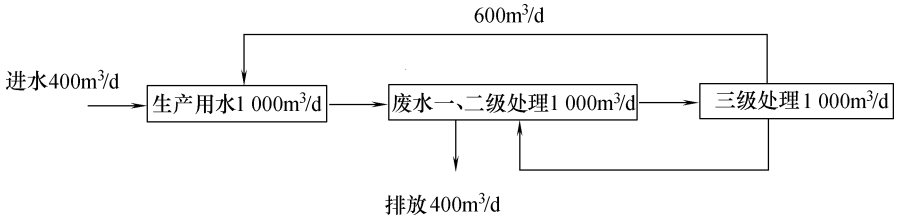


图15-1　水平衡图

第一节　电镀工艺简介

一、电镀工艺

电镀工艺如图15-2所示。

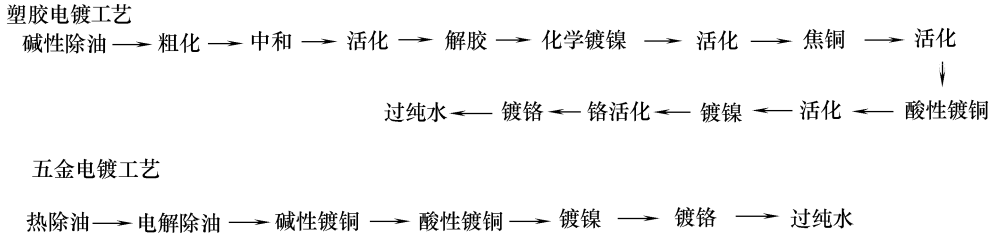


图15-2　电镀工艺

二、电镀用药

1. 塑胶电镀　塑胶电镀用药如表15-1所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 15-1 塑胶电镀用药

序号	工 艺	药 名
1	碱性除油	氢氧化钠、碳酸钠、磷酸三钠
2	粗化	铬酸、硫酸
3	中和	盐酸
4	活化	盐酸、氯化亚锡
5	解胶	硫酸
6	化学镀镍	柠檬酸钠、次亚磷酸钠、氯化氨、硫酸镍
7	活化	硫酸
8	焦铜	焦磷酸钾、焦磷酸铜、氨水
9	酸性镀铜	硫酸铜、硫酸
10	镀镍	硫酸镍、氯化镍、硼酸
11	铬活化	铬酸
12	镀铬	铬酸酐、硫酸

2. *五金电镀* 五金电镀用药如表 15-2 所示。

表 15-2 五金电镀用药

序号	工 艺	药 名
1	电解除油	氢氧化钠、碳酸钠、磷酸三钠
2	碱性镀铜	氰化亚铜、氰化钠
3	酸性镀铜	硫酸铜、硫酸
4	镀镍	硫酸镍、氯化镍、硼酸
5	镀铬	铬酸酐、硫酸

三、电镀液配方

电镀液配方成分及浓度如表 15-3 所示。

表 15-3 电镀液配方成分及浓度

序号	镀 种	体积/L	配方成分及浓度/(g/L)			
1	预镀铜	3 600	NaOH 5 ~ 10	NaCN 10 ~ 25	CuCN 7 ~ 15	
2	镀酸铜	1 200	$CuSO_4$ 200 ~ 240	H_2SO_4 70 ~ 80		
3	预镀镍	3 600	$NiSO_4$ 270 ~ 300	$NiCl_2$ 30 ~ 45	HBO_3 40 ~ 50	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	镀　种	体积/L	配方成分及浓度/(g/L)			
4	镀光亮镍	9 000	$NiSO_4$ 250～275	$NiCl_2$ 45～60	HBO_3 40～50	
5	镀装饰铬	4 000	CrO_3 200～240	H_2SO_4 2～5		
6	除油	3 000	Na_3PO_3 20～30	$NaCO_3$ 15～25	$NaSiO_3$ 8～12	OP 乳化剂 1～3
7	阴阳极电解除油	3 600	同上	同上	同上	同上

说明：

（1）电镀药水减少一般是由于工件带出和电镀消耗，平时要及时补充纯水及各药品。

（2）酸液按其清洁程度更换。

四、废水水量及水质

1. 废水水量

（1）塑胶电镀有四条自动生产线，龙门式、循环式各两条，每条生产线用水量为90～100m^3/d，共用水量为360～400m^3/d，废水排水量为400m^3/d。

（2）五金生产线有22条，每条生产线用水量25～30m^3/d，共用水量550～660m^3/d，废水排水量600m^3/d。

2. 废水种类　各电镀生产线产生的废水有含氰废水、含铬废水、含油废水、含焦铜废水、含酸碱废水、化学镀废水。电镀废水浓度表如表15-4所示。

表15-4　电镀废水浓度表

序号	名　称	水量/(m^3/d)	Cu 浓度/(mg/L)	Ni 浓度/(mg/L)	Gr^{6+} 浓度/(mg/L)	COD_{cr} 浓度/(mg/L)	CN 浓度/(mg/L)
1	含氰废水	40	20～40				20～30
2	含铬废水	320			60～100		
3	含油废水	150				100～200	
4	焦铜废水	40	30～50				
5	酸碱废水	400	20～40	30～60		100～200	
6	化学镀废水	50		30～60		500～800	
	小计	1 000					

3. 排放划分　将废水分为含氰废水、含油废水、综合废水三类。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

要特别注意的是，镀槽内换槽废液单独收集，由环境保护局指定的废物处理站处理，因为其浓度高达 5 000 ~ 20 000mg/L，要用蒸馏法处理。

第二节 一、二级处理——达标排放

一、达标废水排放标准

按广东省地方标准《水污染物排放极值》DB44/26—2001 的数据。第一类污染物最高允许排放浓度如表 15-5 所示，第二类污染物最高允许排放浓度如表 15-6 所示。

表 15-5 第一类污染物最高允许排放浓度

序号	污染物	最高允许排放浓度/(mg/L)
1	总铬	1.5
2	六价铬	0.5
3	总镍	1.0

表 15-6 第二类污染物最高允许排放浓度 (单位：mg/L)

序号	污染物	一级标准	序号	污染物	一级标准
1	悬浮物	60	7	磷酸盐	0.5
2	生物需氧量(BOD_5)	20	8	总铜	0.5
3	化学需氧量(COD_{cr})	90	9	总锌	2.0
4	石油类	5.0	10	总有机碳	20
5	氰化物	0.3	11	元素磷	0.1
6	氨氮	10			

二、废水处理工艺

将含氰废水、综合废水、含油废水沿三条专用管道分别流入氰水调节池、综合调节池、除油池，含氰废水破氰后、含油废水除油后，都流入综合调节池。

(一) 分流池处理工艺

(1) 含氰废水→氰水调节池→破氰反应池→综合调节池

(2) 综合废水→综合调节池

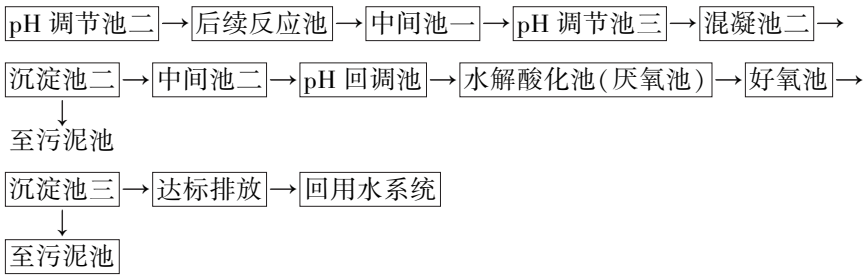
(3) 含油废水→除油池→综合调节池

(二) 综合调节池处理工艺

综合调节池→破铬反应池→pH 调节池一→混凝池一→沉淀池一→
↓
至污泥池

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网



(三) 污泥处理工艺

污泥池→污泥浓缩池→压泥机→存放→由专业化的危险固体废物处理站运走掩埋

(四) 工艺说明

1. 含氰废水的处理

(1) 含氰废水由氰水调节池通过水泵进入破氰反应池，由干粉加药机定量向池中投入 TLA 电镀废水处理剂，并投入氢氧化纳和稀硫酸溶液，由 pH 仪表自动控制池中废水的 pH 值在 8.0～8.5 之间。

(2) 氰水由破氰反应池一自流入破氰反应池二，通过高速搅拌器，将氰根完全击碎，出水流入综合调节池。

2. 含油废水的处理　通过水泵将油水抽入隔油池，油浮在水面上，经过浮油捕捞器，除油后的水流入综合调节池。捕捞油渣在专用的燃烧器中焦化后，与污泥一起由专业公司运走掩埋。

3. 综合废水的处理

(1) 综合废水泵送至破铬反应池，投放稀硫酸用 pH 仪表自动控制 pH 值在 2.5～3.0 之间；同时投放还原剂——焦亚硫酸钠（$Na_2S_2O_5$），用 OPR 仪表控制电位值在 250～300mV，与六价铬进行氧化还原反应，将废水中的六价铬还原为三价铬。

(2) 破铬后，废水流入 pH 调节池一，通过 pH 仪表自动控制加碱溶液以控制废水的 pH 值在 8～9 之间。

(3) 废水流入混凝池一，在池中定量加 PMA 溶液（约 4 L/m^3 水），使废水形成大的矾花，然后进入沉淀池一。

(4) 沉淀池一的上清液流入 pH 调节池二，在该池中通过干粉加药机定量加入 TLA 电镀废水处理剂，进行螯合环的化学反应，并通过 pH 仪表自动控制加碱溶液，控制废水的 pH 值在 8.0～8.5 之间，出水进入后续反应池。

(5) 控制后续反应池中出口闸门的高度，保持后续反应池中的液位高度，以便使池中的高速搅拌机能够稳定进行。出水流入中间池一。

(6) 通过观察流量计读数，控制中间池一提升泵的流量与综合废水原水提升泵的流量相当，保持水处理的连续性。废水通过水泵泵入 pH 调节池三。

(7) 在 pH 调节池三中，通过 pH 仪表控制 pH 值在 9～10 之间，并在池中定量投入

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

TLA 电镀废水处理剂，通过机械搅拌使其与水充分混合反应，以将水中的重金属全部沉淀除去。

（8）在混凝池二中，定量投加 PAM 溶液，以使水中形成大的矾花，如形成的矾花不够大或沉淀池二中的沉淀效果比较差，可在混凝池二中适量投加 PAC 溶液，以增强混凝效果。

（9）废水在沉淀池二中进行泥水分离后，上清液流入中间池二中，泵入 pH 回调池，通过 pH 仪表自动控制投加稀硫酸溶液，将废水 pH 值控制在 6.5～7.5 之间。

（10）pH 回调池的水流入水解酸化池，通过潜水搅拌机将进水与池中微生物混合均匀。

（11）废水从水解酸化池进入好氧池，通过溶解氧仪监控水中的溶解氧浓度，调节进入阀门，控制好氧池中的溶解氧浓度为 3～4mg/L。

（12）好氧池出水进入沉淀池三，进行固液分离，出水即达到排放标准，可以排放或进入回用水系统。

4. 污泥处理

（1）生产中每隔 4h 对沉淀池一进行排泥，每隔 6h 对沉淀池二进行排泥，污泥通过管道排污泵泵入污泥浓缩池，用压滤机压去水分，将泥饼装入编织袋，暂存于污泥房，由危险固废处理公司定期运走。

（2）每隔 8h 将沉淀池三中的污泥回流到水解酸化池中，以保持水解酸化池中微生物的浓度。

第三节　三级处理——中水回用

一、中水回用工程规模

中水回用工程三年产水量稳定在 30t/h，600t/d（按 20h/d 计）。回用率：第一年 70%，第二年 63%，第三年 56%（膜的通水量逐年衰减）。

二、中水回用用途

中水回用到电镀生产线，用作工件漂洗水。

三、原水水质

原水水质如表 15-7 所示。

表 15-7　原 水 水 质

序号	项目名称	浓　度	序号	项目名称	浓　度
1	pH 值	6～7	6	COD	41～59
2	六价铬	未测出	7	电导率	4 000
3	氰化物	未测出	8	氨氮/(mg/L)	62
4	总铜/(mg/L)	0.14～0.23	9	磷/(mg/L)	5
5	总镍/(mg/L)	0.1～0.33			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

四、产水水质标准

塑胶件、五金件电镀漂洗水标准如表15-8所示。

表15-8　塑胶件、五金件电镀漂洗水标准

序号	指　　标	数据	序号	指　　标	数据
1	色度/PCU	5	9	铜/(mg/L)	1.0
2	浊度/NTU	1	10	锌/(mg/L)	1.0
3	嗅和味	无	11	氰化物/(mg/L)	0.05
4	肉眼可见物	无	12	铬/(mg/L)	0.05
5	pH值	6.5~8.6	13	氯化物/(mg/L)	100
6	电导率/(μS/cm)(20℃)	≤60	14	亚硝酸盐/(mg/L)	0.1
7	铁/(mg/L)	0.3	16	化学需氧量(COD)/(mg/L)	2
8	锰/(mg/L)	0.05			

五、中水回用工艺——MBR+二级反渗透

(一) 流程

中水回用流程如图15-3所示。

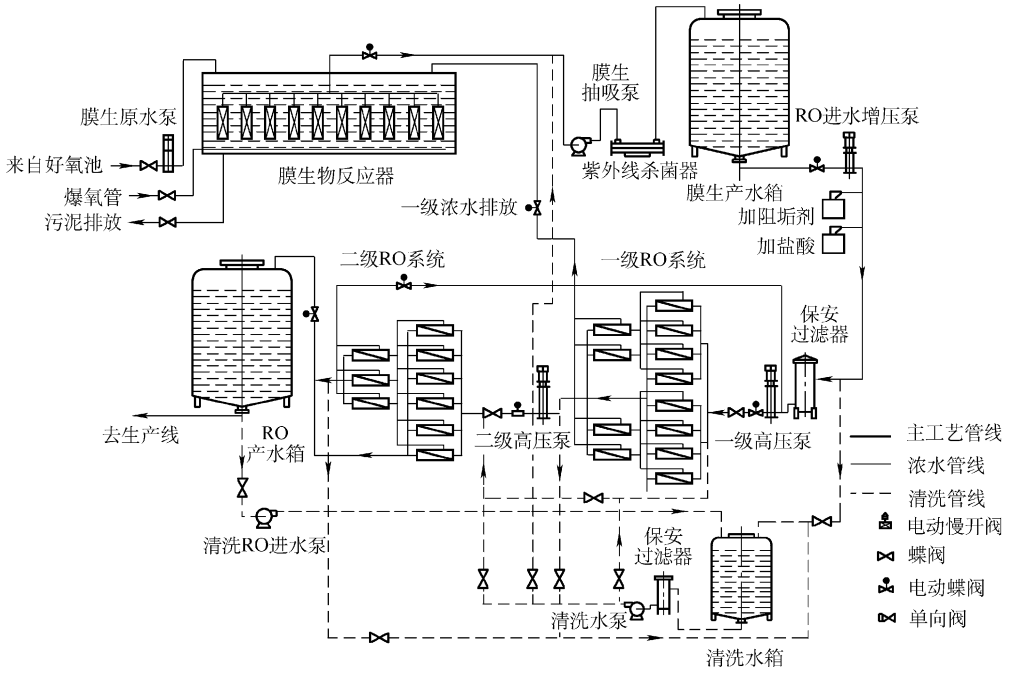


图15-3　中水回用流程（产水30m³/h）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（二）工艺说明

1. 选用膜　陶氏，DW30，8″，365ft²（33.9m²）。

（1）最大产水量：$\frac{22}{24}=0.92\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{支})$（废水）。

（2）最大进水量：12m³/（h·支）。

（3）最小浓水流量：3.6m³/（h·支）（仅参考，与实际不符）。

（4）最大允许单支元件压降：1×10^5Pa（运行不超过0.8×10^5Pa）。

（5）压力容器最大允许单支元件压降：3.5×10^5Pa（运行不超过2.8×10^5Pa）。

（6）最高压力：41×10^5Pa。

（7）背压 $<0.3\times10^5$Pa。

（8）膜元件最大压力损失（40″长）：0.07MPa。

以上参数由陶氏 FILMTEC 膜元件设计导则给出。

2. MBR 所需面积

（1）MBR 产水率：0.014m³/（m²·h）（由实验得出）。

（2）MBR 膜系统运行冲洗用水及清洗用水，按产水的4%计算。

（3）MBR 所需面积：$\frac{68.25}{(1-0.04)\times0.014}=5\,078.13\text{m}^2$

装成25m²一片成品，共需$\frac{5\,078.13}{25}=203.15$，取204片。

片外形尺寸：0.534m×1.51m，两片间距0.1m，两片并排安装，11m×1.2m，池体积12m×2.2m×3m，占地面积26.4m²。

（4）MBR 装机容量：10kW。

3. 确定一级 RO 系统

（1）一级产水39m³/h。

一级膜系统运行冲洗用水及清洗用水，按产水的5%计算：$39\times0.05=1.95\text{m}^3/\text{h}$

一级总产水：$39+1.95=40.95\text{m}^3/\text{h}$

（2）一级运行通量：每支膜取通量$0.92\times0.65=0.598\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{支})$（由试验确定）。

（3）一级 RO 膜数量：$40.95\div0.598=68.48$，取68。

（4）一级压力容器数量：$68\div6=11.3$支，取12支，4支6芯，2支5芯。

排列：4∶2，$4\times6+2\times5=34$，两套并连。

（5）一级原水量：取回用率为0.6，$40.95\div0.6=68.25\text{m}^3/\text{h}$

（6）一级低压为1.55MPa，泵压力为2.3MPa，6芯，二级选超低压泵，45L/(m²·h)，5芯。

4. 确定二级 RO 系统

（1）二级产水量：30t/h。

（2）二级运行通量：每支膜取通量$0.92\times0.8=0.736\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{支})$。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）二级膜系统运行冲洗用水及清洗用水，按产水的4%计算：

$$30 \times 0.04 = 1.2 m^3/h$$

二级总产水：$30 + 1.2 = 31.2 m^3/h$

（4）二级RO膜数量：$31.2 \div 0.736 = 42.4$，取42支。

（5）二级压力容器数量：$42 \div 5 = 8.4$支，取9支。

排列：6∶3，6支5芯，3支装4芯。

（6）二级原水量：取回用率为0.8，$31.2 \div 0.8 = 39 m^3/h$

5. 杀菌　采用紫外线+间歇漂水的方法杀菌。三级处理也可用预处理+UF+二级反渗透工艺，占地面积小，操作简便，但长期稳定运行不如MBR+二级反渗透工艺。

6. 浓水回流量　二级浓水回流到一级进水，以提高回用率。浓水回流量为：

$$39 - 31.2 = 7.8 m^3/h$$

7. 高压泵　流量为$86.4 m^3/h$，扬程为60m，电动机功率为22kW，2台，一、二级各一台，变频调速，有足够的调压范围，以适应第五年运行（压力加大）。

8. 管径　流量和最大流速与管路内径的关系如表15-9所示。

表15-9　流量和最大流速与管路内径的关系

流量/(m^3/h)	管径/in	最大线速度/(m/s)
1	1/2	1.98
1～2.5	3/4	2.19
2.5～5	1	2.50
5～11.5	1½	2.77
11.5～23	2	3.11
23～40	2½	3.47
40～68	3	4.15

9. 浓水处理　三级处理后产生$400 m^3/d$（$20 m^3/h$）浓水，这部分浓水有些指标超标，不能直接排放，也不能送回到综合调节池。因为污水处理是以泵出综合调节池的水量计费的，若送回到综合调节池，就要重复收费，业主不能接受。另外，送回到综合调节池要重新加药处理及泵送，重复增加费用，运营商也是不会答应的。可将这部分浓水回流到三沉池，进行混合后，流入排放口排放，经过计算及实际测量，混合后的水质可达到排放标准。

三沉池的浓度变化如表15-10所示。

表15-10　三沉池的浓度变化　（单位：mg/L）

项　目	氰化物	六价铬	铜	镍	COD_{cr}	备注
三沉池原浓度	未测出	未测出	0.1	0.35	56	
RO浓水浓度($20 m^3/h$)	0.05	未测出	0.14	1.2	78	镍超标
混合后三沉池浓度	0.004		0.104	0.424	57.93	
排放标准	0.3	0.5	0.5	1.0	90	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

例：计算混合后三沉池中的镍浓度。

三沉池容积为 $15 \times 3.5 \times 5 = 261.5 m^3$，水体积为 $261.5 \times 0.8 = 209.2$。

三沉池中的镍质量：$0.35 \times 209.2 \times 1\ 000 = 73\ 360 mg$

$20 m^3/h$ 浓水镍含量：$1.2 \times 20 \times 1\ 000 = 24\ 000 mg$

设混合后三沉池镍浓度为 x，则

$209.2 \times 1\ 000x = (73\ 360 + 24\ 000) - 20 \times 1\ 000x$

$209\ 200x = 97\ 360 - 20\ 000x$

$x = 0.424 mg/L$

同样可计算出氰化物、铜、COD_{cr}的含量。

六、产水水质

三级产水水质如表 15-11 所示。

表 15-11　三级产水水质

序　　号	项目名称	浓　　度
1	pH 值	6 ~ 7
2	六价铬	未测出
3	氰化物	未测出
4	总铜	未测出
5	总镍	未测出
6	COD	2
7	电导率	3
8	氨氮	1.9
9	磷	未测出
	结论	可回用到电镀生产线,用作工件漂洗水

第四节　投　　资

一、总投资

总投资为 369.4 万如表 15-12 所示。

表 15-12　总投资表　　（单位：元）

固定资产	一、二级处理	构筑物	359 000
		设备	1 215 009
	三级处理	构筑物	50 000
		设备	1 486 040
	小计		3 110 049
流动资产	一、二级处理		540 920
	三级处理		43 200
	小计		584 120
总计			3 694 169

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、固定资产明细表

(一) 一、二级处理固定资产

1. 一、二级构筑物　一、二级构筑物的各类池如表15-13所示。

表15-13　各类池一览表

序号	名　称	尺寸/m	功　能	材料费/元
1	氰水池	1.5×1.4×2.8	含氰废水均匀	2 000
2	破氰池	1.5×1.4×2.8	破除氰根,停留2.5h	2 000
3	综合池	12×10×5	破氰水及综合水均匀,停留5h	34 000
4	废油池	1.5×1.4×2.8	油水分离	2 000
5	破铬池	4×3.5×4	破六价铬,停留1h	7 400
6	pH调节池一	4×3.5×4	调节pH值至8~9,停留1h	7 400
7	快混池	1.9×1.9×3.4	加PAM形成矾花,停留0.2h	2 900
8	沉淀池一	11×3.9×4	分离泥水,停留3h	16 200
9	pH调节池二	1.8×1.9×3.4	调节pH值至8~8.5,停留0.2h	2 900
10	后续反应池	5×4.5×3.4	容纳pH调节池二水,高速搅拌均匀,停留1h	31 800
11	中间池一	1.8×1.9×3.4	均匀上清液,停留0.2h	2 900
12	pH调节池三	5×3.5×2.3	调节pH值至9~10,彻底去除重金属,停留0.7h	5 660
13	慢混池一	1.9×1.9×3.4	搅拌均匀,加大矾花,停留0.2h	2 900
14	慢混池二	4×3.9×2.3	进一步加大矾花,停留0.6h	5 200
15	沉淀池二	13×5×5.7	分离慢混池二泥水,停留6h	27 000
16	中间池二	4.5×4×3	存放沉淀池二上清液,停留1h	6 900
17	pH回调池	4×1.8×3	调节pH值至6.5~7.5,停留0.4h	4 200
18	厌氧池(水解酸化池)	4×3.5×5.3	微生物驯化,停留2h	9 400
19	好氧池	8×7×5.3	挂膜,停留5h	21 500
20	沉淀池三	15×3.5×5	生物膜沉淀,停留6h	26 400
21	污泥池一	5×3.3×3.5	容纳沉淀池一污泥,停留8h	7 500
22	污泥池二	3.5×3×5.3	容纳沉淀池二污泥,停留8h	8 000
23	污泥池三	3.5×1.6×5.3	容纳沉淀池三污泥,停留24h	6 000
24	压滤水收集池	1.5×1.8×3	收集压滤机压出的水,无六价铬	2 250
25	PAM池	1.5×1.4×2.8	投入聚丙烯酰胺,调成溶液	2 000
26	复合碱池	1.5×1.4×2.8	投入石灰,调成溶液	2 000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	名　　称	尺寸/m	功　　能	材料费/元
27	中间池三	7×2.5×3	排放准备,停留 1h	7 450
28	应急池	10×8×4	暂存不达标水	34 000
	小计			276 200
	人工费	30% 材料费	27.62×30%	82 800
	总计			359 000

注：钢混结构的混凝土 220～260 元/方。

2. 设备　一、二级处理的设备如表 15-14 所示。

表 15-14　设备一览表

设备名称	型号	功率/kW	流量/(m^3/h)	扬程/m	备注	价格/元
氰水提升泵 1	Y90L-2	2.2	22.3	16		4 500
氰水提升泵 1	Y90L-2	2.2	22.3	16		4 500
综合水提升泵 3	Y132S1-2	5.5	100	12.5		7 200
综合水提升泵 4	Y132S1-2	5.5	100	12.5		7 200
中间池提升泵 5	Y132S1-2	5.5	100	12.5		7 200
中间池提升泵 6	Y132S1-2	5.5	100	12.5		7 200
应急提升泵	Y132S1-2	5.5	84	13		7 200
破氰池硫酸加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
破氰池硫酸加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
破氰池氢氧化钠加药泵	25FB-8Z	0.25	2	8		900
破氰池氢氧化钠加药泵	25FB-8Z	0.25	2	8		900
铬还原池硫酸加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
铬还原池硫酸加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
铬还原池还原剂加药泵	20CQ-12F	0.37	50L/min	12		1 000
铬还原池还原剂加药泵	20CQ-12F	0.37	50L/min	12		1 000
pH 调节池一复合碱加药泵	40FX-18	1.5	10	18	吸程=5m	3 000
pH 调节池一复合碱加药泵	40FX-18	1.5	10	18	吸程=5m	3 000
pH 调节池一复合碱加药泵	25FX-13	0.55	6	18	吸程=5m	1 500
pH 调节池一复合碱加药泵	25FX-13	0.55	6	扬程=18m	吸程=5m	1 500

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

设备名称	型号	功率/kW	流量/(m^3/h)	扬程/m	备注	价格/元
pH 调节池二复合碱加药泵	25FX-13	0.55	6	扬程=13m	吸程=5m	1 500
pH 调节池二复合碱加药泵	25FX-13	0.55	6	扬程=13m	吸程=5m	1 500
混凝池 PAM 加药泵	25FB-8Z	0.25	2	扬程=8m		900
混凝池 PAM 加药泵	25FB-8Z	0.25	2	扬程=8m		900
中间池硫酸池加药泵	20CQ-12F	0.37	50L/min	流量=12m^3/h		1 000
中间池硫酸池加药泵	20CQ-12F	0.37	50L/min	流量=12m^3/h		1 000
pH 调节池二硫酸亚铁加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
pH 调节池二硫酸亚铁加药泵	16CQ-8F	0.12	30L/min	8		800
配药房集水井提升泵	40FX-18	1.5	10	15		3 000
压滤水集水井提升泵	40FX-18	1.5	10	18		3 000
污泥池上清液提升泵	40FX-18	1.5	10	18		3 000
水力搅拌泵	80FX-18	5.5	50L/min	18	吸程=5m	7 200
应急集水井提升泵		3	50L/min	12		5 000
排放口气动蝶阀	DN250					200
应急池气动蝶阀	DN250					200
排放口气动蝶阀	DN200					200
空气压缩机 1	E1120	11		风压=0.8MPa	风量=1.8m^3/min	10 000
空气压缩机 2	AB-T100	7.5		风压=0.8MPa	风量=0.9m^3/min	8 000
罗茨风机 1	HM2-160M-4B3	11	风压=0.05MPa	风量=7.2m^3/min		16 000
罗茨风机 2	HM2-160M-4B3	11	风压=0.05MPa	风量=7.2m^3/min		16 000
破氰池搅拌机	Y90L-4	1.5			单层 100r/min	4 000
铬还原池搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层 80r/min	6 000
铬还原池搅拌机	Y100L1-4	2.2			80r/min	6 000
pH 调节池一搅拌机	Y100L1-4	2.2			80r/min	6 000
pH 调节池一搅拌机	Y100L1-4	2.2			80r/min	6 000

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

设备名称	型号	功率/kW	流量/(m^3/h)	扬程/m	备注	价格/元
pH 调节池二搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
pH 调节池二搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
混凝池搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
混凝池搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
中间池搅拌机	Y90L1-4	1.5			单层 100r/min	4 000
回调池搅拌机	Y90L1-4	1.5			单层 100r/min	4 000
回调池搅拌机	Y90L1-4	1.5			单层 100r/min	4 000
复合碱药池搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
复合碱药池搅拌机	Y100L1-4	2.2			双层无级调速	6 000
氢氧化钠药池搅拌机	Y90L1-4	1.5			双层 80r/min	4 000
PAM 药池搅拌机	Y90L1-4	1.5			双层 80r/min	4 000
硫酸亚铁药池搅拌机	Y90L1-4	1.5			双层 80r/min	4 000
还原剂药池搅拌机	Y90L1-4	1.5			双层 80r/min	4 000
硫酸药池搅拌机	Y90L1-4	1.5			双层 80r/min	4 000
破氰池搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
破氰池搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
破氰池搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
后序反应池一搅拌机	Y100L1-4 B5	2.2				6 000
干粉加药机 1	Y2-80M1-4	0.55				4 500
干粉加药机 2	Y2-80M1-4	0.55				4 500
干粉加药机 3	Y2-80M1-4	0.55				4 500
压泥机 1	XMY50/800-08	1.5	滤板 48 块			50 000
压泥机 2	XMY50/800-08	1.5	滤板 48 块			50 000
	小计	135.8				956 700
	安装费	20% 设备费				191 340
	财务费用	7% 设备费				66 969
	总计					1 215 009

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 一、二级固定资产投资　一、二级固定资产投资如表15-15所示。

表15-15　一、二级固定资产投资

序　号	名　称	价格/元
1	构件费用	359 000
2	设备费用	1 215 009
	小计	1 574 009

(二) 三级处理固定资产

1. 构筑物　土建及厂房50 000元。

2. 设备　三级回用水工程设备清单如表15-16所示。

表15-16　三级回用水工程设备清单

序号	设备名称	型号规格	数量	总价/元	备　注
1	膜生反应器	12m×2.2m×3m	5 100m^2	540 000	
2	反渗透膜元件	DW30,8″	110	330 000	
3	压力容器	玻璃钢(FRP)	21	58 800	
4	紫外线杀菌器	ϕ0.3m×3m	1	9 000	
5	膜生原水泵	流量86.4m^3/h,扬程24m,11kW	1	12 000	100GDL72-14×2
6	膜生抽吸泵	流量43.2m^3/h,扬程31.4m,4kW	2	9 800	80GDL36-12×2
7	高压泵	流量86.4m^3/h,扬程60m,22kW	3	75 000	100GDL72-14×5
8	清洗水泵	流量43.2m^3/h,扬程31.4m,4kW	1	4 900	80GDL36-12×2
9	清洗RO进水泵	流量2.4m^3/h,扬程55m,1.5kW	1	1 500	25GDL2-12×5
10	罗茨鼓风机	5.5kW	1	10 000	
11	保安过滤器1	流量70m^3/h,ϕ0.7m,40″	1	1 600	
12	保安过滤器2	流量30m^3/h,ϕ0.35m,40″	1	850	
13	加药泵	0.2kW	2	2 500	
14	膜生产水箱	30m^3	1	30 000	
15	RO产水箱	20m^3	1	21 000	
16	清洗水箱	3m^3	1	2 500	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	设备名称	型号规格	数量	总价/元	备　注
17	电动慢开阀	100mm	2	6 000	
18	电动阀	100mm	6	7 200	
19	蝶阀	100mm	15	4 500	
20	单向阀	100mm	2	480	
21	压力表 1	1MPa	10	800	
22	压力表 2	2MPa	10	900	
23	压力表 3	4MPa	6	720	
24	温度计		2	60	
25	流量计 1	$80m^3/h$	1	400	
26	流量计 2	$60m^3/h$	5	2 000	
27	流量计 3	$40m^3/h$	1	400	
28	电导率		4	5 200	
29	液位计		3 套	900	
30	操作箱		1	1 000	
31	电器控制柜		1	7 100	
32	管道	不锈钢,PVC	200m	3 000	
33	其他			20 000	膜生清洗及吊装设备
	小计			1 170 110	
	安装费	20% 设备费用		234 022	
	财务费	7% 设备费用		81 908	
	总计			1 486 040	

三、流动资金

（一）一、二级流动资金

每月所需的流动资金如表 15-17 所示。

表 15-17　每月所需的流动资金

序号	名　称	费用/元	备　注
1	药费	385 440	30 天
2	人工费	45 000	14 人
3	维修	2 000	
4	电费	60 480	装机 140kW,0. 8 元/度
5	污泥处理费	48 000	卸一机约 240kg,含水 50%
	小计	540 920	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1. 药费　每天的药品用量如表15-18所示。

表15-18　每天的药品用量

序号	名　称	单　位	数　量	单价/(元/kg)	总价/(元/kg)
1	生石灰	袋(25kg)	146	0.8	2 920
2	焦亚硫酸钠	袋(25kg)	17	9.1	3 868
3	聚丙烯酰胺	袋(25kg)	0.7	6.6	116
4	硫酸	桶(40kg)	8	1.9	608
5	片碱	袋(25kg)	0.7	2.1	36
6	螯合剂	袋(25kg)	5.3	40	5 300
	小计				12 848

2. 污泥处理费　由有资质的固废物品处理公司处理，每吨500元，每月有90～96t，处理费为48 000元/月。

(二) 三级流动资金

三级流动资金/月如表15-19所示。

表15-19　三级流动资金/月

序号	项　目	费用/元	备　注
1	药费	2 200	
2	人工费	4 000	
3	维修(0.1元/t)	1 620	产水16 200m^3
4	备件更换(0.2元/t)	3 240	产水162 000m^3
5	电费(装机74.4kW)	32 140	0.8元/度
	小计	43 200	

第五节　工 厂 效 益

一、效益分析

污水处理厂的收入来自污水处理费，政府有一个指导价格，具体价格仍由市场决定，一、二级污水处理费一般为12～15元/m^3，三级污水处理费一般为2～3元/m^3。

污水处理厂每月的效益如表15-20所示。

表15-20　污水处理厂每月的效益　(单位：元)

收入	504 000
运营成本(不含电费)	480 440
利润	23 560

注：电费由业主另计。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二、投资回收分析

污水处理厂如果仅靠收污水处理费来收回投资是做不到的，要靠业主在电镀业的收入和政府的补贴来完成，许多污水处理厂的业主都顶着几百万的债务来维持。

三、管理模式探讨

现在的管理模式是：污水处理厂由业主、运营方和环境保护局三方管理，业主委托运营方建设工厂（土建由业主自建），运营；运营方负责运营，保证电镀废水可以达标排放，向业主收取污水处理费；环保局进行质量监督。

经过一段时间，业主总想收回自己运营。由业主自己运营，一方面没有这方面的技术，另一方面为了节俭药费，业主想出很多方法偷排，严重污染环境。

第六节 工 程 改 进

工程改进的方法如下。

（1）生化处理可取消沉淀池三及相应的中间池，以节约投资，其处理效果不变。

（2）增加缺氧池，以加强除磷效果。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十六章　化学分析及生物试验

废水处理过程中要随时掌握处理中的废水水质状态，及时对工艺参数尤其是加药量进行调整，保证处理水质达到排放标准，水质状态的数据是通过在线测量和化验员取水样进行化学分析得到的。由于环境保护的需求，带动了测量仪器的发展，涌现了许多新的在线测量仪器，使废水处理工业具有自动化、智能化、简便快速的特点，一些较高级的在线测量仪器还能提供物质的结构、组分价态、元素在微区的空间分布等信息，成为现代化学的重要支柱。但是，在线测量仪器尚有不足之处：

（1）仪器在线测量之前，常需要用化学方法对试样进行预处理（如富集、除去干扰物质等）。同时，进行仪器在线测量一般都要用标准物质进行定量工作曲线校准，而很多标准物质却需要用化学分析法进行准确含量的测定。

（2）仪器在线测量准确度不够高，通常相对误差在百分之几左右，有的甚至更大。

因此，化学分析与仪器在线测量都不可偏废，两者相辅相成，相得益彰。电镀废水处理厂还不能取消化验室，生物试验也是化验室不可缺少的工作。

第一节　仪器操作规范

一、DDS-11A 电导率仪器操作规范

1. 使用

（1）接通电源前观察表头指针是否指零，若有偏差则调整电表上的螺钉，使表针指零。

（2）将“校正/测量”开关置于“校正”位置，接通电源，仪器预热几分钟（待仪表指针完全稳定为止），调节校正调节器，使仪器的指针在满度位置（指针在“1.0”处）。

（3）将电导电极插头插入插座，将电极浸入被测溶液中。电极插头座绝对要防止受潮，以免造成不必要的测量误差。

（4）调节“常数”钮，使其与电极常数标称值一致。如电极常数为 0.98，则调节“常数”旋钮在“0.98”处。

（5）将“量程”选择开关置于所需要的测量范围档，如预先不知被测液体电导率值的大小，可将“量程”选择开关置于最大的量程档，然后逐档下降，以防表针打弯。

（6）将“校正/测量”开关置于“测量”位置，此时用电表指针指示值乘以开关“量程选择开关”的满程值，即为被测溶液的电导率值。

（7）仪器可配常数 0.01、0.1、1.0、10 为四种不同类型的电导电极。对光亮电极其测量范围为 100～10 000μs/cm，当电导率≥10 000μs 时，采用常数为 10 的电导电极。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 维护

（1）光亮的铂电极，必须储存在干燥的地方。镀铂黑的铂电极不允许干放，必须储存在蒸馏水中。

（2）电导电极的清洗

1）用含有洗涤剂的温热水可以清洗电极上的有机成分，也可以用酒精清洗。

2）钙、镁沉淀物最好用质量分数为10%的柠檬酸冲洗。

3）光亮的铂电极，可以用软毛刷机械清洗。但在电极表面不可以产生痕迹，绝对不可以用螺钉旋具清除电极表面脏物，甚至在用软毛刷机械清洗时，也需特别注意。

4）对于镀铂黑的铂电极，只能用化学方法清洗，用软毛刷机械清洗时会破坏镀在电极表面的镀层（铂黑），化学方法清洗可能再生被损坏或被轻度污染铂黑层，应重新标定电极常数。

二、FA/JA 型电子天平操作规范

1. 使用

（1）将天平安放在稳定工作台上，避免振动、气流、阳光直射和剧烈温度波动。

（2）安装称盘，调整水平调节脚，使水泡位于水准器中心。

（3）接通电源前检查交流电压是否与天平所需电压一致。

（4）使用要求一般时，天平应预热30min以上；精确称重时，天平应预热180min以上。

（5）开机：使称盘空载并按“on”键，当天平显示回零时，就可以称量了。

（6）关机：确保称盘空载后按“on”键，天平如长期不用，拔去电源插头。

（7）其他功能键的使用

1）“去皮/置零”键：当天平空载时，如显示不在零状态下，可按该键使天平回零，也可将容器放在称盘上，按该键使天平回零。

2）“模式”键：按该键天平可以在基本称重（g）、计件称重（psc）、百分比称重（%）之间切换。

①基本称重：按一下“去皮/置零”键，将天平清零，等待天平显示“0.000 0g”，在秤盘上放置被测物。待称重稳定后，即可读取重量读数。使用容器称重，则将容器放在秤盘上，将天平清零后再将被测物放入容器中。

②计件称重：放上容器，若无需容器请跳过此步；按“去皮/置零”键，等待天平显示“0.000 0g”；将10件相同的被测物放到秤盘上（如需容器则放到容器里）作为计件系数选择的试验，按“模式”键一下，天平显示“10psc”，表示天平进入了计件模式，然后按“单位”键可以选择计件模式，然后按“单位”键可以选择计件系数。采样系数越大，计数精度越高。

③百分比称重：放上容器，若无需容器请跳过此步；按“去皮/置零”键，等待天平显示“0.000 0g”；放上标准样，待称重稳定后，按“模式”键（按两次）天平可以进入百分比称重模式。

3）“单位”键：此功能可实现克、金盎司（英两）（k）、克拉（ct）三种不同称量

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

单位，按该键天平可以在这几个单位间切换。他们的换算关系如下：

$$1k = 31.103\ 476\ 8g$$

$$1ct = 0.2g$$

4）“打印”键：按一下“打印”键，即可将当前天平显示的称重从 RS232C 接口输出。

5）“校准”键：准备好校准用标准砝码，确保天平秤盘空载，按“去皮/置零”键，清零等待天平稳定后，按住“校准”键直至显“C”，轻轻地放上标准砝码至秤盘中心。关上玻璃门约 30s 后，显示校准砝码值，听到“嘟”的一声后，取出校准砝码，天平校准完毕。

2. 维护

（1）天平应置于稳定的工作台上，避免振动、阳光照射、气流和腐蚀性气体侵蚀。

（2）天平箱内应保持清洁、干燥，秤盘与外壳需经常用软布和牙膏轻轻擦洗，切不可用强溶解剂擦洗。

（3）被称量的物品一定要放在适当的容器内（如称量纸、烧杯等），一般不得直接放在天平盘上进行称量，不可称量热的物品；称量潮湿或有腐蚀性的物品时，应放在密闭的容器中进行。

（4）绝不可使天平的称量越过其最大称量限度，以免损坏天平。

（5）天平有故障时，应请有经验的专业人员检查、修理，不准随意拆卸。

三、722N 分光光度计操作规范

1. 使用

（1）连接仪器电源线，确保仪器供电电源有良好的接地性能，接通电源。

（2）预热仪器，将选择开关置于“T”，打开电源开关，使仪器预热 30min。为了防止光电管疲劳，不要连续光照，预热仪器时和不测定时应将试样室盖打开，使光路切断。

（3）选定波长。根据实验要求，转动波长手轮，调至所需要的单色波长。

（4）调节 T = 0%。轻轻旋动“0%”旋钮，使数字显示为“0.000”。

（5）调节 T = 100%。将蒸馏水（或空白溶液、纯溶剂）的比色皿放入比色皿座架中的第一格内，并对准光路，把试样室盖子轻轻盖上，调节透过率“100%”旋钮，使数字显示正好为“100.0”。

（6）吸光度的测定。将选择开关置于“A”，盖上试样室盖子，将空白液置于光路中，调节吸光度调节旋钮，使数字显示为“0.000 0”。将盛有待测溶液的比色皿放入比色皿座架中的其他格内，盖上试样室盖子，轻轻拉动试样架拉手，使待测溶液进入光路，此时数字显示值即为该待测溶液的吸光度值。读数后，打开试样室盖，切断光路。重复上述测定操作 1～2 次，读取相应的吸光度值，取平均值。

（7）浓度的测定。将选择开关由“A”旋至“C”，将已标定浓度的样品放入光路，调节浓度旋钮，使数字显示为标定值，将被测样品放入光路，此时数字显示值即为该待测溶液的浓度值。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（8）关机。实验完毕后切断电源，将比色皿取出洗净，并将比色皿座架用软纸擦净。

2. 维护

（1）为了防止光电管疲劳，不测定时必须将试样室盖打开，使光路切断，以延长光电管的使用寿命。

（2）取拿比色皿时，手指只能捏住比色皿的毛玻璃面，不能碰比色皿的光学表面。

（3）比色皿不能用碱溶液或氧化性强的洗涤液清洗，也不能用毛刷清洗。比色皿外壁附着的水或溶液应用擦镜纸或细而软的吸水纸吸干，不要擦拭，以免损伤它的光学表面。

（4）每次使用后应检查样品室是否积有溢出溶液，经常擦拭样品室，以防废液渗入部件或光路系统。

（5）仪器使用完毕后应盖好防尘罩，可在样品室内放置硅胶袋防潮，但开机时要取出。

（6）仪器液晶显示器和键盘日常使用和保存时应注意防划伤、防水、防尘、防腐蚀。

（7）定期进行性能指标检测，发现问题及时与产品经销商或维修点联系。

（8）长期不用仪器时，要注意环境的温度、湿度，定期更换硅胶。

四、L1000A 型生物显微镜操作规范

1. 使用

（1）将所需观察的标本片放在载物台上，用标本夹持器将其夹住。

（2）将各倍率物镜装于物镜转换器上，目镜插入目镜筒中。

（3）操作时将标本移动到载物台中间，10x 物镜转入工作位置，打开电源开关把亮度调节钮移至适当位置，先调节粗调焦手轮，看到标本的轮廓像后，再用微调焦手轮调节即可获得清晰的标本像。

（4）调节聚光器升降手轮和孔径光栏，以达到满意的照明状态。

（5）转动不同倍数的物镜观察时，需用微动调焦手轮调节。用 100x 物镜时，需在标本片和物镜间放入香柏油。

（6）使用完毕后，转动粗调焦手轮将工作台下降到底，再将亮度调节钮移到最小亮度位置，最后关闭电源开关。

2. 维护

（1）擦拭镜头可用沾酒精、乙醚混合液或二甲苯的镜头纸或脱脂棉花，每次使用 100x 物镜后均须把镜头上的油镜擦干净。

（2）擦拭涂漆表面，可用纱布除去灰尘，若有油渍污垢，用纱布沾少许汽油将其去除，不能用有机溶剂（如酒精、乙醚或其他稀释剂）擦拭涂漆表面和塑料部件。

（3）显微镜是精密光学仪器，各零部件切勿随便拆卸，以免损害其操作效能和精度，如有故障应送专业维修部门或厂家维修。

（4）仪器不使用时，用有机玻璃或聚乙烯罩罩上，并存放在干燥和没有霉菌滋生

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

的地方，物镜和目镜最好放在有干燥剂的密闭仪器中。

五、101 型电热干燥箱操作规范

1. 使用

（1）打开箱门，把需要加热处理的物品放入箱内的搁板上，关好箱门，同时旋开排气阀，空隙约 5mm，此时即可接上电源，开始工作。

（2）接通与本设备要求相一致的电源，并将所使用供电电源插座的接地端可靠接地，打开电源开关，电源指示灯亮，温控仪表开始显示工作室的温度。

（3）加热开关设有两个，当所需温度高于 150℃时开启高温档，否则开启低温档。

（4）根据被加热物品的需要，转动温控仪上的温度设定旋钮设定温度，同时开启鼓风开关，使鼓风机开始工作。

（5）每次使用完毕后，须将电源全部切断，经常保持箱内外清洁，当使用温度较高时，应注意防止烫伤。

2. 维护

（1）101 型电热干燥箱为非防爆干燥箱，故切勿将易燃挥发物品放入干燥箱内，以免发生爆炸。

（2）放置试品时切勿过密与超载，同时散热板上不能放置试品或其他东西影响空气对流。

六、PHS-25 实验室 pH 计操作规范

1. 使用

（1）将仪器选择开关置于“pH”或“mV”档，开启电源，仪器预热几分钟。

（2）仪器在使用之前先要校正，一般在连续使用时，每天需校正一次。仪器的校正方法分为两种，分析精度要求不高时用一点校正法，分析精度要求较高时则用二点校正法。

1）一点校正法用于分析精度要求不高的情况。

①将仪器插上电极，选择开关置于“pH”档。

②将仪器斜率调节器调节在 100% 位置（即顺时针旋到底）。

③选择一种最接近样品 pH 值的缓冲溶液（pH = 7），并把电极放入这一缓冲溶液中，调节温度调节器，使所指示的温度与溶液的温度相同，并摇动试杯，使溶液均匀。

④待读数稳定后，该读数应为缓冲溶液的 pH 值，否则调节定位调节器。

⑤清洗电极，并吸干电极球泡表面的余水。

2）二点校正法用于分析精度较高的情况。

①将仪器插上电极，选择开关置“pH”档，斜率调节器调节在 100% 处。

②选择两种缓冲溶液，即被测溶液的 pH 值在该两种缓冲溶液之间或接近，如 pH = 4 和 7。

③把电极放入第一种缓冲溶液（pH = 7），调节温度调节器，使所指示的温度与溶液一致。

④待读数稳定后，该读数应为该缓冲溶液的 pH 值，否则调节定位调节器。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

⑤将电极放入第二缓冲溶液（如 pH = 4），摇动试杯，使溶液均匀。

⑥待读数稳定后，该读数应为该缓冲溶液的 pH 值，否则调节斜率调节器。

⑦清洗电极，并吸干电极球泡表面的余水。

（3）经校正的仪器，各调节器不应再有变动。不用时，电极的球泡最好浸在蒸馏水中。一般情况下，24h 之内不需要校正，若遇特殊情况则要校正，如测量过浓酸（pH < 2）、浓碱（pH > 12）或较浓的有机溶液等。

（4）测量 pH 值

1）被测溶液和定位溶液温度相同时，“定位”保持不变；将电极夹向上移出，用蒸馏水清洗电极头部，并用滤纸吸干；把电极插在被测溶液之内，摇动试杯使溶液均匀后，读出该溶液的 pH 值。

2）被测溶液和定位溶液温度不同时，“定位”保持不变。用蒸馏水清洗电极头部，并用滤纸吸干；用温度计测出被测溶液的温度值，调节“温度”调节器，使其指示在该温度值上；把电极插在被测溶液之内，摇动试杯使溶液均匀后，读出该溶液的 pH 值。

（5）测量电极电位（mV 值）

1）校正。拔出测量电极插头，插上短路插头，将仪器选择开关置于“mV”档，使读数为 ±0mV ±1 个字（温度调节器、斜率调节器在测 mV 值时不起作用）。

2）测量。接上各适当的离子选择电极，用蒸馏水清洗电极，用滤纸吸干；把电极插在被测溶液内，使溶液搅拌均匀后，即可读出该离子选择电极的电极电位（mV 值）并自动选择正、负极性。

（6）如果被测信号超出仪器的测量范围或测量端开路时，显示部分发出超载报警。

2. 维护

（1）仪器的输入端（玻璃电极插口）必须保持清洁，不使用时将短路插入，以保护仪器。

（2）测量时，电极的引入导线须保持静止，否则将引起测量不稳定。

（3）电极在测量前必须用已知 pH 值的校正缓冲溶液进行定位校准，为取得更准确的结果，已知 pH 值要可靠，而且其 pH 值越接近被测值越好。

（4）取下电极帽后应注意，在塑料保护栅内的敏感玻璃泡不能与硬物接触，任何破损和擦毛都会使电极失效。

（5）测量完毕，不用时应将电极帽套上，帽内应放少量补充液，以保护电极球泡的湿润。复合电极的外参比补充液为质量分数为 3% 的氯化钾溶液。

（6）电极的引出端必须保持清洁和干燥，要绝对防止输出端短路，否则将导致测量结果失准或失效。

（7）电极避免长期浸在蒸馏水、蛋白质溶液或酸性氟化物溶液中，并防止与有机硅油脂接触。

（8）电极经长期使用后，如发现梯度略有降低，则可把电极下端浸泡在质量分数为 4% 的氢氟酸中 3 ~ 5s，用蒸馏水洗净，然后在氯化钾溶液中浸泡，使之复新。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（9）被测溶液中如含有易污染敏感泡或堵塞液接界的物质，而使电极钝化，其现象是敏感梯度降低，或读数不准，则应根据污染物质的性质，用适当的溶液清洗，使之复新。污染物质和清洗剂如表16-1所示。

注意：选用清洗剂时，如能溶聚碳酸树脂的清洗液，要慎用。如四氯化碳、三聚乙烯、四氢呋喃等，可能把聚碳酸树脂溶解后，接触敏感的玻璃球泡，而使电极失效，因此要慎用！

表16-1　污染物质和清洗剂

污染物质	清　洗　剂
无机金属氧化物	低于1M稀酸
有机油脂类物	稀洗涤剂
树脂高分子物质	酒精、丙酮、乙醚
蛋白质血球沉淀物	酸性酶溶液（如食母生片）
颜料类物质	稀漂白液、过氧化氢

七、JPB-607型便携式溶解氧仪操作规范

1. 使用

（1）将电极插头插入仪器的插口内，同时将仪器的测量/调零电源开关拨至“测量”档，将溶解氧/温度测量选择开关拨至“溶解氧”档，盐度调节旋钮向左旋至底（0g/L）。

（2）仪器预热5min，然后将电极放入质量分数为5%的新鲜配制的亚硫酸钠溶液中5min，待读数稳定后，调节调零旋钮，使仪器显示为零。由于电极的残余电流极小，如果没有亚硫酸钠溶液，只要将测量/调零开关置于“调零”档，调节调零电位器，使仪器显示为零即可。

（3）把电极从溶液中取出，用水冲洗干净，用滤纸小心吸干薄膜表面水分，放入空气中待读数稳定后，调节跨度校准旋钮，使读数指示值为纯水在此温度下的饱和溶解氧值。

（4）将电极浸入被测溶液中，此时仪器的读数即为被测水样的溶解氧值。

（5）含盐水溶液溶解氧的测量。测量时，应进行盐度校正，校准仪器后，把被测水样的盐度换算成g/L单位表示，把盐度校准调节器旋至相应的位置，完成盐度校准后，即可测量溶液的溶解氧值。

（6）如需测量溶液的温度，只要将测量选择功能开关拨至“测温”档，仪器显示值即为该温度值。

2. 维护

（1）仪器长久不用时，应将干电池取出，以免电池变质毁坏仪器。

（2）在一般情况下，大约每三个月更换一次电解液。

（3）使用过程中薄膜会被污染，应该经常清洗或更换。薄膜可用清水清洗，也可

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用棉花蘸一点酒精轻轻擦去污物。

（4）经常检查薄膜，如发现破裂应及时更换薄膜与电解液。

（5）一般更换薄膜与电解液后，跨度调节电位器调节不到所需的读数值时，应再生阳极。

八、JB 型磁力搅拌器操作规范

1. 使用

（1）插上电源，将存有溶液的器皿放置于仪器搅拌位置，插好温度探头，开启电源，然后顺时针调节调速旋钮，速度由慢到快调至所需速度，由搅拌转子带动溶液进行旋转。

（2）溶液温度精度要求较高时，需用温度计测量溶液温度，再调节温度旋钮以达到设定温度。如不需加热恒温时，只要把温度调节旋钮调至室温以下即可，也可拔去温度探头插头。

（3）定时操作时，开启电源，将定时开关顺时针旋转至所需搅拌时间的位置上，仪器处于工作状态，定时开关转到“OFF”位置时，搅拌自动停止。

2. 维护

（1）温度测量探头放入溶液中的高度应合适，不使转子碰撞探头，以防损坏。

（2）可用温度计监视溶液所需温度后拔去探头引线插头或关机。用毕应将探头清洗干净。

（3）70℃以上连续加热不得超过 2h。

（4）转动定时开关时不应过快过猛，以免损坏零件。

九、YX280B 型手提式不锈钢蒸汽消毒器操作规范

1. 使用

（1）堆放。将待灭菌的物品予以妥善包扎，各包之间留有空隙，这样有利于高压蒸汽的穿透，提高灭菌效果。

（2）加水。在外桶内注入清水，水位一定要超过电热管 2cm 以上（但不宜过多），连续使用时，必须在每次操作前补足上述水位，以免烧坏电热管和发生意外。

（3）密封。合盖之前请检查密封圈嵌入法兰部位，不应有脱开的现象。然后盖上盖，将放蒸汽软管插入储物桶内侧的半圆槽内，对准上、下法兰的螺栓槽，依次、逐步、均匀地拧紧螺母，使盖与主体紧密结合。

（4）加热。供电电源应与铭牌标志电源一致，且配备带闸刀的电源板（应有接地线连通大地），圆形插头插入设备对应的圆孔内，三芯插头插入电源板，推上电闸，即开始加热。停止加热时，亦应使用电闸刀，不要拔插头。加热开始后，应先将放气阀的小扳手提到竖直位置，使桶内空气和凝固产生的水随加热后产生的压力排出。待有较急的蒸气喷出时，再将小扳手置回原位，此时压力表指针会随着加热逐渐上升，指示消毒器内的压力。

（5）灭菌。当压力升到规定的范围内时，安全阀会起跳放出蒸汽，使桶内维持所需的压力，此时开始计算灭菌所需时间。当杀灭常规霉菌时，安全阀能使之维持恒压，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

若采用低于上述的温度时，则应接上一只调压的变压器，使蒸汽压力到达所需范围内时，用调低电压来维持恒压。

（6）干燥。对医疗器械、敷料和器皿等物品在灭菌后要迅速使之干燥，可在灭菌终了时，将消毒器内的蒸汽通过放气阀予以迅速排出，等待压力表指针回零位，然后将锅盖打开，马上取出被灭菌的物品，冷却后其自然会干燥，或在打开锅盖后，再加热5min取出物品即可。

（7）冷却。当灭菌终了时，切勿立即将消毒器内的蒸汽排出，否则，由于液体的温度未能下降，释放压力会使液体剧烈沸腾，造成渗出或容器爆裂，所以必须等待其自然冷却，压力表指针回零，打开放气阀排除压力差后，才能开启锅盖。

2. 维护

（1）应检查主体桶内水位，水位应超过电热管2cm以上，对消毒所需时间长又要干燥操作的物品作业，或用外加热时必须适当多加一些水，以防止电热管脱水损坏或桶底凸出部位受到高温而变形，损坏桶体。

（2）开始加热时应将放气阀的小扳手提到竖直位置，桶内水沸腾后排尽冷空气和冷凝水，有较急蒸汽喷出时置复原位，如果冷凝水较多，则在周围放一块抹布，以吸取排出的水。

（3）灭菌液体应灌装在硬质耐热的玻璃瓶中，灌装量以不超过3/4容量为好，瓶口用棉花纱布塞好，并用纱绳扎紧，切勿使用未打孔的橡胶或软木塞，最好能将玻璃容器放在搪瓷盘或金属盘中，万一瓶子爆裂，液体不致流失或损坏消毒器桶体，灭菌结束后缓慢释放桶内压力，以免发生事故。

（4）自然降温降压的桶内，会产生负压，启盖时应把放气阀或安全阀小扳手拨直(应在压力表指针回零时立即做此事)，切勿自然降到室温，桶内的负压可能会造成消毒器盖子向下凹陷变形。

（5）消毒器内用水最好事先煮沸，这样可以减少加热时水中化学物沉积，保证加热效果，延长电热管使用寿命。

（6）压力表使用久后，压力指示不准或不回零时应予以检修或更换，造成指针不回零的主要原因是冷却产生负压，压力表面靠柱挡住表针造成针轴松动。

（7）安全阀虽作为保证安全设置的部件，能自动控制锅内压力，但操作者在操作时仍不能擅离岗位，应观察安全阀启闭的压力值是否正常（特别是开启压力)，出现超压不放气的现象时，应及时切断电源，检修或更换安全阀。

（8）橡胶密封圈使用久后会老化，应适时更换，使用结束后应将锅盖连同密封圈平放在搁板上，密封圈严禁接触溶剂和油脂类物质。

（9）平时应保持设备清洁和干燥。

（10）已经开始工作时，不要大范围移动消毒器。

十、303型电热恒温培养箱操作规范

1. 使用

（1）将试验物品放入培养箱后，将箱门关上，并将风顶活门适当旋开，将温度调

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

节旋钮旋至所需温度。

（2）插上电源插座后，开启电源开关，指示器亮表示电源接通。此时，本箱可按事先设定好的值对箱内的温度进行自动控制。

（3）保持箱内清洁，使用完毕后切断电源。

2. 维护

（1）实验物在箱内切勿放置得过紧，要让空气流动畅通，使箱内温度均匀。内室底板因接近加热器，故实验不宜直接放置于其上，培养箱工作时应将风顶适当旋开，以利于箱内温度均匀和有适当的换气量。

（2）接电使用时，不要用手触及箱内带点位置，切忌用湿布揩抹或用水冲洗电器零件。

（3）培养箱要保持清洁，先用软布蘸中性洗涤剂擦洗，再用干布擦干。

第二节　常规水质分析

一、六价铬检测

依据 GB7467—1987《水质　六价铬的测定　二苯碳酰二肼分光光度法》进行检测。

1. 原理　在酸性溶液中，六价铬离子与二苯碳酰二肼反应，生成紫红色化合物，其最大吸收波长为 540nm，吸光度与浓度的关系符合比尔定律。

2. 仪器

（1）分光光度计，10mm、30mm 比色皿。

（2）50mL 具塞比色管。

3. 试剂

（1）丙酮。

（2）（1 +1）硫酸。

（3）（1 +1）磷酸。

（4）质量分数为 0.2% 的氢氧化钠。

（5）氢氧化锌共沉淀剂：

1）硫酸锌溶液：称取硫酸锌 8g，溶于水并稀释至 100mL。

2）质量分数为 2% 的氢氧化钠溶液：称取氢氧化钠 2.4g，溶于新煮沸放冷的水至 120mL，同时将两溶液混合。

（6）质量分数为 4% 的高锰酸钾溶液：称取高锰酸钾 4g，在加热和搅拌下溶于水，稀释至 100mL。

（7）铬标准储备液：称取于 120℃ 干燥 2h 的重铬酸钾（优级纯）0.282 9g，用水溶解，移入 1 000mL 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。每毫升储备液含 0.1mg 六价铬。

（8）铬标准使用液（Ⅰ）：吸取 5.00mL 铬标准储备液于 500mL 容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀。每毫升使用液含 1.00μg 六价铬。使用当天配制。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（9）铬标准使用液（Ⅱ）：吸取25.00mL铬标准储备液于500mL容量瓶中，用水稀释至标线，摇匀，每毫升使用液含5.00μg六价铬。使用当天配制。

（10）质量分数为20%的尿素溶液：将尿素20g溶于水并稀释至100mL。

（11）质量分数为2%的亚硝酸钠溶液：将亚硝酸钠2g溶于水并稀释至100mL。

（12）显示剂（Ⅰ）：称取二苯碳酰二肼0.2g，溶于50mL丙酮中，加水稀释至100mL，摇匀，贮存于棕色瓶置于冰箱中保存。颜色变深后不能再用。

（13）显示剂（Ⅱ）：称取二苯碳酰二肼1g，溶于50mL丙酮中，加水稀释至100mL，摇匀，储存于棕色瓶置于冰箱中保存。颜色变深后不能再用。

4. 采样及保存　测定六价铬的水样应加入NaOH溶液，调节pH值为8，因为酸性条件下六价铬被还原为三价铬，测定总铬的水样加入HNO_3，调节pH值<2，防止容器内壁吸附。

5. 干扰及消除　铁含量大于水样显黄色，六价钼和汞与显色剂反应生成有色化合物，但在本法的显色酸度下反应不灵敏。钼和汞达200mg/L不干扰测定，钒含量高于4mg/L即干扰测定。但钒与显色剂反应后10min，可自行褪色。

氧化性及还原性物质，如ClO^-、Fe^{2+}、SO_3^{2-}、$S_2O_3^{2-}$等，以及水样有色或混浊时，对测定均有干扰，需进行处理。

6. 常规水质分析方法的适用范围　适用于地表水和工业废水中六价铬的测定。使用比色皿，方法的检出下限为0.004mh/L，测定上限浓度为1mg/L。

7. 样品的预处理

（1）对不含悬浮物、低色度的清洁地面水，可直接进行测定。

（2）如果水样有色但不深，可进行色度校正。即另取一份试样，加入除显色剂以外的各种试剂，以2mL丙酮代替显色剂，用此溶液为测定试样溶液吸光度的参比溶液。

（3）对浑浊、色度较深的水样，应加入氢氧化锌共沉淀剂并进行过滤处理。

（4）水样中存在次氯酸盐等氧化性物质时会干扰测定，可加入尿素和亚硝酸钠消除干扰。

（5）水样中存在二价铁、亚硫酸盐、硫化物等还原性物质时，可将Cr^{6+}还原为Cr^{3+}，此时，调节水样pH值至8，加入显色剂溶液，放置5min后再酸化显色，并绘制标准曲线。

8. 测定　取适量（含Cr^{6+}少于50μg）无色透明或经预处理的水样于50mL比色管中，用水稀释至标线，加入（1+1）硫酸0.5mL和（1+1）磷酸0.5mL，摇匀。加入2mL显色剂溶液，摇匀，5~10min后，于540nm波长处，用10mm或30mm比色皿，以水为参比测定吸光度，扣除空白试验测得的吸光度后，从标准曲线上查得Cr^{6+}含量。

9. 校准　向一系列50mL比色管中依次加入0mL、0.20mL、0.50mL、1.00mL、2.00mL、4.00mL、6.00mL、8.00mL和10.00mL铬标准使用液，用水稀释至标线，然后按照测定试样的步骤进行处理。从测定的吸光度减去空白试验的吸光度后，绘制六价铬的量与吸光度相关的曲线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

10. 注意事项

（1）为使方法的测定范围宽，可配置两种浓度的铬标准使用液（1.00μg/mL 和 5.00μb/mL）水样，两者定量范围分别为 0.004～0.3mg/L 和 0.02～1.0mg/L）。

（2）二苯碳酰二肼显色剂的结晶为无色，在空气中放置即会被氧化，购置的试剂一般均有颜色，要做空白试验。显色剂应避光保存，不宜久储。

（3）如水样有色但不太深，则另取一份水样以 2mL 丙酮代替显色剂，最后以此代替水作为参比测定待测水样。

（4）对混浊、色度较深的水样用锌盐沉淀分离法处理。

（5）次氯酸盐等氧化性物质使 Cr^{3+} 转变成 Cr^{6+}，测定结果偏高。

（6）显色酸度高，显色快，但色泽不稳定；酸度低，显色慢。

（7）当显色剂用量不够时，Cr^{6+} 会进一步氧化二苯碳酰二肼而生成二苯卡巴腙，此时溶液无色，一般 1mol/L 的 Cr^{6+} 加入 1.5～2.0mol/L 显色剂。

（8）有色络合物稳定时间和显色酸度及 Cr^{6+} 浓度有关。在正常酸度范围内，有色络合物可稳定 10min 至几个小时，加入显色剂后要立即摇匀，防止 Cr^{6+} 对显色剂的进一步氧化，致使测定结果偏低。

（9）六价铬含量低于 0.1mL，结果以 3 位小数表示；含量高于 0.1mL，结果以 3 位有效数字表示。

二、总镍检测

依据 GB11910—1989《水质　镍的测定　丁二酮肟分光光度法》进行检测。

1. 原理　在氨性溶液中碘存在的情况下，镍与丁二酮肟作用，形成组成比为 1∶4 的酒红色可溶性络合物，于波长 530nm 处进行分光光度测定。

2. 试剂

（1）质量分数为 50% 的柠檬酸铵溶液。

（2）0.05mol/L 碘溶液：称取 12.7g 碘，加到含有 25g 碘化钾的适量水中，研磨溶解后，用水稀释至 1 000mL。

（3）质量分数为 0.5% 的丁二酮肟溶液：称取 0.5g 丁二酮肟溶解于 50mL 氨水中，用水稀释至 100mL。

（4）质量分数为 5% 的 Na_2-EDTA 溶液：称取 5g Na_2-EDTA 溶于水中并稀释至 100mL。

（5）镍标准储备液（1mg/mL）：准确称取金属镍（含量 99.9% 以上）0.1g 溶解在 10mL 硝酸溶液中，加热蒸发至近干，冷却后加硝酸溶液溶解，转移到 100mL 容量瓶中，用水稀释至标线。

（6）镍标准工作溶液（0.02mg/mL）：取 10.0mL 镍标准储备液于 500mL 容量瓶中，用水稀释至标线。

3. 仪器

（1）分光光度计，10mm 比色皿。

（2）25mL 具塞比色管。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 采样及保存　水样采集后，即可用硝酸将水样酸化至 pH 值 <2，保存于聚乙烯瓶中，废水样品加 HNO_3 至镍的质量分数为 1%。

5. 干扰及消除

（1）测定 50μg 镍时，加入质量分数为 50% 的柠檬酸铵 2mL，下列离子均无明显干扰：铅（Ⅱ）、锌（Ⅱ）、钙（Ⅱ）、镁（Ⅱ）、铬（Ⅳ）各 5mg，铝（Ⅲ）3mg，汞（Ⅱ）1mg，钯（Ⅱ）、银（Ⅰ）和铬（Ⅲ）各 50μg。

（2）加入质量分数为 5% 的 Na_2-EDTA 溶液 2mL，可消除铁（Ⅲ）3mg、钴（Ⅱ）1mg、铜（Ⅱ）和锰（Ⅱ）各 0.5mg 的影响。

（3）当铜含量超过 0.5mg、钴含量超过 1mg 时，可采用丁二酮肟-正丁醇萃取分离除去。

（4）氰化物亦干扰测定，样品经前处理即可消除。若直接制备试料，则可在样品中加 2mL 次氯酸钠溶液和 0.5mL 硝酸加热分解镍氰络合物。

6. 方法的适用范围　本方法测镍的最低检出浓度为 0.1mg/L（吸光度 Å = 0.010 时所对应的镍浓度），测定上限为 4mg/L，已用于电镀、冶炼等行业处理前或处理后的含镍废水测定。

7. 校准曲线　于一组 25mL 具塞比色管中，分别加入 0mL、1.00mL、2.00mL、3.00mL、4.00mL、5.00mL 镍标准使用溶液，加入 2mL 质量分数为 50% 的柠檬酸铵溶液和 1mL 0.05mol/L 碘溶液，加水至 20mL，摇匀，然后加入 2mL 质量分数为 0.5% 的丁二酮肟溶液，摇匀，再加入 2mL 质量分数为 5% 的 Na_2-EDTA 溶液，加水至标线后摇匀。放置 5min 后，用 10mm 比色皿以水为参比液，在 530nm 波长下测量吸光度，并作空白校正，绘制吸光度-浓度曲线。

8. 样品测定　取水样（含镍）置于具塞比色管中，用氢氧化钠溶液调至中性，然后按上述校准曲线的步骤进行显色和测量。若废水中含有悬浮物及有机络合剂，应取适量水样，加消解后，按本方法显色测定。

9. 注意事项

（1）在显色操作中，加氧化剂碘溶液后应加水至 20mL 并摇匀，否则加入氨性丁二酮肟后，不能正常显色。

（2）Na_2-EDTA 掩蔽剂应在加入显色剂并摇匀后再加入，否则 EDTA 先掩蔽镍，从而使镍不能显色。

（3）在低于 20℃的温度下显色时，络合物吸光度至少在 1h 内不变。温度高时络合物欠稳定，在此情况下需在较短时间内测量完毕，并应在相同测定条件下绘制校准曲线，显色时间应尽量一致。测量波长选 530nm，黄色柠檬酸铁几乎无吸收，不再干扰镍的测定。

（4）氰化物含量高时可使加入的碘液褪色，可将样品加次氯酸钠并加热除去，实际操作中可补加碘液至呈现棕黄色。

三、总铜检测

依据 GB7474—1987《水质　铜的测定　二乙基二硫代氨基甲酸钠分光光度法》进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

行检测。

1. 原理　在氨性溶液中（pH 值为 9 ~ 10），铜与二乙基二硫代氨基甲酸钠反应生成黄棕色络合物，用四氯化碳或三氯甲烷萃取后比色定量，其最大吸收波长为 440nm。在测定条件下，有色络合物可稳定 1h。

2. 试剂

（1）EDTA-柠檬酸铵溶液　称取 5g EDTA 和 20g 柠檬酸铵溶于水中并稀释至 100mL。

（2）氯化铵-氢氧化铵缓冲溶液：称取 70g 氯化铵溶于适量水中，加入 570mL 氨水，用水稀释至 1 000mL。

（3）质量分数为 0.2% 的铜试剂溶液　称取 0.2g 二乙氨二硫代氨基甲酸钠，溶于水中并稀释至 100mL，储存于棕色试剂瓶中，放在暗处可以保存两周。

（4）铜标准储备溶液（1.00mg/mL）　称取 1.0g 金属铜，溶于 15mL 硝酸溶液（1 +1）中，用纯水定容至 1 000mL，此溶液 1.00mL 含 1.00mg 铜。

（5）铜标准使用溶液（5.0μg/mL）　吸取 5.00mL 铜标准储备溶液用纯水定容至 1 000mL。此溶液 1.00mL 含 5.0μg 铜。

3. 仪器

（1）125mL 分液漏斗。

（2）分光光度计，20mm 比色皿。

（3）50mL 具塞比色管。

4. 采样及保存　样品采集后应尽快分析，如果需要保存，样品应立即酸化至 pH 值 <2，通常每 100mL 样品加入 0.5mL(1 +1)HCl。

5. 检测方法的适用范围　本方法的测定范围为含铜 0.02 ~ 0.60mg/L。最低检出浓度为 0.010mg/L，测定上限浓度为 2.0mg/L，已用于地表水和工业废水中铜的测定。

6. 试样制备

（1）清洁地表水可直接进行测定。

（2）含悬浮物和有机物较多的地表水或废水，可吸取 50mL 酸化的水样置于 150mL 烧杯中，加入 5mL 硝酸，在电热板上加热消解并蒸发到 10mL 左右。稍冷再加入 5mL 硝酸和 1mL 高氯酸，继续加热消解，蒸至近干，加水 40mL，加热煮沸 3min 后冷却。将试液转入 500mL 容量瓶中，用水稀释至标线（若有沉淀，应过滤除去）。

7. 显色萃取

（1）吸取适量试样（含铜量低于 30μg，体积不大于 50mL）置于 125mL 分液漏斗中，加水至 50mL。

（2）清洁水样可加入 10mL EDTA-柠檬酸铵溶液和 5mL 氯化铵-氢氧化铵缓冲液，摇匀。对消解后的试样可加入 10mL EDTA-柠檬酸铵溶液和 2 滴甲酚红指示液，用（1 +1）氨水调至红色，经黄色变成紫色。

（3）加入 5mL 铜试剂溶液，混匀后放置 5min。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（4）准确加入10.0mL四氯化碳或三氯甲烷，振摇2min，静置分层。

（5）测量：用滤纸吸去漏斗颈部的水分，塞入一小团脱脂棉。弃去最初流出的有机相1～2mL，然后将有机相放入20mm干燥的比色皿中，于440nm波长处，以四氯化碳作参比测量吸光度。

（6）用50mL水代替水样，按上述步骤同时进行空白试验，以试验的吸光度减去空白试验的吸光度后，由校准曲线查出铜的含量。

8. 校准曲线　于8个分液漏斗中，分别加入0mL、0.20mL、0.50mL、1.00mL、2.00mL、3.00mL、5.00mL、6.00mL铜标准使用溶液，加水至体积为50mL，配成一组标准系列溶液。按上述操作步骤进行显色萃取和测量，将测得的吸光度作空白校正后，再按照相应的铜含量绘制校准曲线。

9. 注意事项

（1）分液漏斗的活塞不得涂抹油性润滑剂，因润滑剂溶于有机溶剂会影响铜的测定。

（2）萃取比色时，避免日光直射，以免铜-DDTC络合物分解。

（3）水样中铜含量高时，也可直接在水相中进行比色，并用明胶或淀粉溶液作稳定剂，不必用四氯化碳萃取，但标准曲线要按同样的操作步骤进行。

四、总氰化物检测

依据GB7486—1987《水质　氰化物的测定　第一部分　总氰化物的测定》进行检测。

1. 原理　在中性条件下，样品中的氰化物与氯胺-T反应生成氯化氰，再与异烟酸作用，经水解生成戊烯二醛，最后与吡唑啉酮缩合生成蓝色染料。其色度与氰化物的含量成正比，在638nm波长下进行光度测定。

2. 试剂

（1）质量分数为2%的氢氧化钠溶液。

（2）质量分数为0.1%的氢氧化钠溶液。

（3）磷酸盐缓冲溶液（pH=7）：称取34.0g无水磷酸二氢钾和35.5g磷酸氢二钠于烧杯中，加水溶解后，稀释至1 000mL，摇匀。

（4）质量分数为1%的氯胺-T溶液：临用前，称取0.5g氯胺-T溶于水，稀释至50mL，摇匀。

（5）吡唑啉酮溶液：称取0.25g吡唑啉酮溶于20mL N，N二甲基甲酰胺中。

（6）异烟酸溶液：称取1.5g溶于24mL质量分数为2%的氢氧化钠中，加水稀释至100mL。

（7）吡唑啉酮-异烟酸溶液：临用前（1+5）混合，即1份吡唑啉酮和5份异烟酸混合。

（8）KCN标准储备溶液：称取0.25g KCN（注意剧毒！）溶于质量分数为0.1%的氢氧化钠溶液，稀释至100mL，摇匀，置于棕色容量瓶中闭光存储。

标定KCN：吸取10.00mL KCN标准储备溶液于250mL锥形瓶中，加50mL水和

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

1mL 质量分数为 2% 的氢氧化钠溶液，以及 0.2mL 试银灵指示剂，用 0.010 0mL/L 硝酸银标准溶液滴定，溶液由黄色刚变为橙红色为止，硝酸银标准溶液用量为 V_1，同时用水做空白，硝酸银标准溶液用量为 V_0。

$$\text{氰化物(mg/mL)} = \frac{C(V_1 - V_0) \times 52.04}{10.00}$$

式中 C——硝酸银标准溶液浓度（mol/L）；

V_1——标定 KCN 溶液硝酸银标准溶液用（mL）；

V_0——空白硝酸银标准溶液用量（mL）；

52.04——氰离子（$2CN^-$）的摩尔质量（g/mol）。

（9）KCN 标准中间溶液（1mL 溶液含 10.00μg 氰离子）：先按下式计算出配制 500mL KCN 标准中间溶液所需 KCN 贮备溶液的体积 V：

$$V = \frac{10.00 \times 500}{T \times 1000}$$

式中 T——1mL KCN 储备溶液中氰离子的 μg 数；

10.00——1mL KCN 标准中间溶液含 10.00μg 氰离子；

500——KCN 标准中间溶液的体积（mL）。

准确吸取 V mLKCN 储备溶液于 500mL 容量瓶中，用质量分数为 0.1% 的氢氧化钠溶液稀释至标线，摇匀。

（10）KCN 标准使用溶液（1mL 溶液含 1.00μg 氰离子）：临用前，吸取 10.00mL KCN 标准中间溶液（1mL 溶液含 10.00μg 氰离子）于 100mL 棕色容量瓶中，用质量分数为 0.1% 的氢氧化钠溶液稀释至标线，摇匀。

3. 仪器

（1）500mL 蒸馏烧瓶和蒸馏装置。

（2）加热装置。

（3）分光光度计，10mm 比色皿。

（4）25mL 具塞比色管。

4. 采集与保存　采集水样后，必须立即加氢氧化钠固定，一般每升水样加入约 0.5g 固体氢氧化钠。当水样酸度较高时，应酌量增加固体氢氧化钠的加入量，使样品的 pH 值 >12，并将样品储存于聚乙烯瓶中。采集的样品应及时进行测定，否则必须将样品存放在约 4℃的暗处，并在采样后 24h 内进行样品测定。

5. 方法的适用范围　最低检出浓度为 0.004mg/L，测定上限为 0.25mg/L。本方法适用于饮用水、地表水、生活污水和工业废水中氰化物的测定。

6. 干扰和消除

（1）若样品中存在活性氯，由于蒸馏时氰化物会被分解，会使结果偏低，干扰测定。可量取两份体积相同的样品，向其中一份样品中投入淀粉-碘化钾试纸 1 ~ 3 片，加硫酸酸化，用亚硫酸钠溶液滴定至淀粉-碘化钾试纸，使其由蓝色变为无色，记下用量。另一份样品不加试纸和硫酸，仅加上述同量的亚硫酸钠溶液。此操作应在采样现场进

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

行。

（2）当样品中含有大量亚硝酸根离子时，将干扰测定，可加入适量的氨基磺酸使之分解。通常每毫升亚硝酸根离子需要加2.5mg氨基磺酸。

（3）当样品中含有少量硫化物（S^{2-} <1mg/L）时，可在蒸馏前加入2mL 0.02mol/L硝酸银溶液；当大量硫化物存在时，需调节水样pH值>11，加入碳酸镉粉末，与硫离子生成黄色硫化镉沉淀。反复操作，直至硫离子除尽（取1滴处理后的溶液，放在乙酸铅纸上，不再变色）。将此溶液过滤，沉淀物用0.1mol/L氢氧化钠溶液以倾泻法洗涤。合并滤液与洗涤液，供蒸馏用，要防止碳酸镉用量过多，沉淀处理时间不可超过1h，以免沉淀物吸附氰化物或络合氰化物。

（4）其他还原性物质：取200mL废水样，以酚酞作指标液，用（1+1）乙酸中和，然后滴加0.1mol/L高锰酸钾溶液至生成二氧化锰棕色沉淀后，再过量滴加1mL。将溶液进行蒸馏，收集馏出液，待测定。所加高锰酸钾溶液的浓度不可超过0.1mol/L。样品虽然蒸馏分离，但仍有无机或有机还原性物质馏出而干扰测定时，可对馏出液进行重蒸馏分离。

（5）碳酸盐：含有高浓度碳酸盐的废水（如煤气站废水、水泥废水、洗气水等），在加酸蒸馏时放出大量的二氧化碳，从而影响蒸馏，同时也会使吸收液中的氢氧化钠含量降低。采集此类废水后，在搅拌时慢慢加入氢氧化钙，使其pH值提高到12~12.5。沉淀后，倾出上清液进行蒸馏处理后测定。

（6）少量油类对测定无影响，中性油或酸性油大于40mg/L时干扰测定，可加入体积为水样体积20%的正己烷，在中性条件下短时间萃取，分离出正己烷相后，水相用于蒸馏测定。

7. 总氰化物的预处理

（1）原理：向水样中加入磷酸和Na_2-EDTA，在pH值<2的条件下加热蒸馏，利用金属离子与EDTA络合能力强的特点，使络合氰化物离解出氰离子，并以氰化氢形式被蒸馏出来，用氢氧化钠吸收。

（2）步骤

1）量取200mL样品，移入500mL蒸馏瓶中（若氰化物含量高，可酌量少取，加水稀释至200mL），加几粒玻璃珠。

2）往接收容器内加入10mL质量分数为1%的氢氧化钠溶液，作为吸收液。

3）将10mL Na_2-EDTA溶液加入蒸馏瓶内，迅速加入10mL磷酸，当样品碱度太大时可适当多加磷酸使pH值<2。

4）打开冷凝水，调节可调电炉，由低档逐渐升高，以2~4mL/min馏出液速度进行蒸馏。

5）接收瓶内溶液近100mL时，停止蒸馏，用少量水洗馏出液导管，取出接收瓶，用水稀释至标线。此碱性馏出液供测定总氰化物用。

8. 样品的测定　分别吸取馏出液10.00mL和空白试验馏出液于具塞比色管中，向各管加入5mL磷酸盐缓冲溶液后混匀。迅速加入0.2mL氯胺-T溶液，立即盖塞子，混

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

匀，放置 3 ~ 5min，加入 5mL 异烟酸-吡唑啉酮溶液混合液，摇匀后加水至标线。在 25 ~ 35℃的水浴中放置 40min，在 638nm 波长下，用 10mm 比色皿，零浓度空白液管作参比，测量吸光度。从标准曲线中查出相应的氰化物含量，或以回归方程计算。

9. 校准曲线的绘制　取 8 支 25mL 具塞比色管，分别加入氰化钾标准使用溶液 0mL、0. 20mL、0. 50mL、1. 00mL、2. 00mL、3. 00mL、4. 00mL 和 5. 00mL，加质量分数为 0. 1% 的氢氧化钠溶液至 10mL，然后按样品测定步骤进行操作，测量吸光度。

10. 注意事项

（1）馏出液导管上接冷凝管的出口，下端插入接收液中，检查连接部位，使其严密。蒸馏时电炉应由低档逐渐升高，以 2 ~ 4mL/min 馏出液速度进行加热蒸馏。

（2）当吸收液用较高浓度的氢氧化钠溶液时，加缓冲液前应以酚酞为指示剂，滴加盐酸溶液至红色褪去。水样和校准曲线均应为相同的氢氧化钠浓度。

（3）氯胺-T、异烟酸-吡唑啉酮溶液应临用前配置。实验中选用无色的 N，N-二甲基甲酰胺，以降低试剂空白值。氯胺-T 发生结块不易溶解而失败时，可致显色无法进行。

（4）加缓冲液后，每一步骤都要迅速操作，并随时盖严塞子，以防挥发。

（5）显色温度应控制在 25 ~ 35℃，放置 40min 后显色完全。

（6）蒸馏馏出液应安全处理。

五、化学需氧量检测

依据 GB11914—1989《水质　化学需氧量的测定　重铬酸盐法》进行检测。

1. 原理　在水样中加入已知量的重铬酸钾溶液，并在强酸介质下以银盐作催化剂，经沸腾回流后，以试亚铁灵为指示剂，用硫酸亚铁铵滴定水样中未被还原的重铬酸钾，由消耗的硫酸亚铁铵的量换算成消耗氧的质量浓度。

在酸性重铬酸钾条件下，芳烃及吡啶难以被氧化，其氧化率较低。在硫酸银催化作用下，直链脂肪族化合物可有效地被氧化。

2. 试剂

（1）硫酸汞（$HgSO_4$）：结晶或粉末。

（2）硫酸-硫酸银溶液：向 1L 硫酸中加入 10g 硫酸银，放置 1 ~ 2 天，不时摇动使之溶解，使用前小心摇动。

（3）重铬酸钾标准溶液[$C(K_2Cr_2O_7) = 0.25mol/L$]：将 12. 258g 在 105℃干燥 2h 后的重铬酸钾溶于水中后，移入 1 000mL 容量瓶中，稀释至标线后摇匀。

（4）硫酸亚铁铵标准滴定溶液{$C[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O] \approx 0.10mol/L$}：溶解 39. 5g 硫酸亚铁铵于水中，加入 20mL 浓硫酸，冷却后移入 1 000mL 容量瓶中，稀释至标线，摇匀。临用前，用重铬酸钾标准溶液标定。

标定方法：准确吸取 10. 00mL 重铬酸钾标准溶液于 500mL 锥形瓶中，用水稀释至约 110mL，缓慢加入 30mL 硫酸，混匀。冷却后，加 3 滴（约 0. 15mL）试亚铁灵指示剂，用硫酸亚铁铵溶液滴定，溶液的颜色由黄色经蓝绿色变为红褐色即为终点。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$C[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O] = \frac{10.00 \times 0.25}{V}$$

式中　C——硫酸亚铁铵标准滴定溶液浓度（mol/L）；

V——滴定时消耗硫酸亚铁铵溶液的用量（mL）。

（5）试亚铁灵指示剂溶液：溶解 0.7g 七水合硫酸亚铁（$FeSO_4 \cdot 7H_2O$）于 50mL 的水中，加入 1.458g 邻菲啰啉，搅拌至溶解，加水稀释至 100mL。

（6）邻苯二甲酸氢钾标准溶液 $C(KC_6H_5O_4) = 2.082\ 4$mol/L：称取 105℃下干燥 2h 的邻苯二甲酸氢钾（$HOOCC_6H_4COOK$）0.425 1g 溶于水，并稀释至 1 000mL，混匀。以重铬酸钾为氧化剂，将邻苯二甲酸氢钾完全氧化的 COD_{cr} 值为 1.176g 氧/g（指 1g 邻苯二甲酸氢钾耗氧 1.176g），故该标准溶液的理论 COD_{cr} 值为 500mg/L。

3. 仪器

（1）回流装置：带有 24 号标准磨口的 250mL 锥形瓶的全玻璃回流装置，回流冷凝管长度为 300～500mm。若取样量在 30mL 以上，可采用带 500mL 锥形瓶的全玻璃回流装置。

（2）加热装置。

（3）25mL 或 50mL 酸式滴定管。

4. 干扰及其消除　酸性重铬酸钾氧化性很强，可氧化大部分有机物，加入硫酸银作催化剂时，直链脂肪族化合物可完全被氧化，而芳香族有机物却不易被氧化，吡啶不被氧化，挥发性直链脂肪族化合物、苯等有机物存在于蒸汽相，不能与氧化剂液体接触，氧化不明显。氯离子能被重铬酸盐氧化，并且能与硫酸银作用产生沉淀，影响测定结果，故在回流前向水样中加入硫酸汞，使之成为络合物以消除干扰。氯离子含量超过 1 000mg/L 的样品应作定量稀释，使含量降至 1 000mg/L 以下再行测定。

5. 适用范围　0.25mol/L 浓度的重铬酸钾溶液可测定大于 50mg/L 的 COD 值，未经稀释的水样的测定上限为 700mg/L，0.025mol/L 浓度的重铬酸钾溶液可测定 5～50mg/L 的 COD 值，但低于 10mg/L 时测量准确度较差。

6. 水样的采集与保存　水样采集后，应加入硫酸调节至 pH 值＜2，以抑制微生物活动。样品应尽快分析，必要时应在 4℃冷藏保存，并在 48h 内测定。

7. 步骤　取 20.00mL 混合均匀的水样（或适量水样稀释至 20.00mL）置于 500mL 磨口的回流锥形瓶中，准确加入 10.00mL 重铬酸钾标准溶液和几粒洗净的玻璃珠，连接磨口回流冷凝管，接通冷凝水。从冷凝管上端缓慢加入 30mL 硫酸-硫酸银溶液，轻轻摇动锥形瓶使之混合均匀。自溶液开始沸腾起回流 2h，冷却后，用 90～100mL 蒸馏水自冷凝管上端倒入冷凝管，冷却后取下锥形瓶。

溶液冷却室温后，加入 3 滴试亚铁灵指示剂溶液，用硫酸亚铁铵标准滴定溶液滴定，溶液的颜色由黄色经蓝绿色变为红褐色即为终点。记下硫酸亚铁铵标准滴定溶液的消耗毫升数 V_2。

在特殊情况下，需要测定的试料在 10.0～50.0mL 之间，试剂的体积或质量要作相应的调整。不同取样量采用的试剂用量如表 16-2 所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

表 16-2 不同取样量采用的试剂用量

样品量/mL	$w(NK_2Cr_2O_7)=0.25\%$ /mL	Ag_2SO_4-H_2SO_4 /mL	$HgSO_4$/g	$(NH_4)_2Fe(SO_4)_26H_2O$ mol/L	滴定前体积 /mL
10.0	5.0	15	0.2	0.05	70
20.0	10.0	30	0.4	0.10	140
30.0	15.0	45	0.6	0.15	210
40.0	20.0	60	0.8	0.20	200
50.0	25.0	75	1.0	0.25	350

8. 计算

$$COD_{cr}(O2,mg/L)=\frac{(V_0-V_1)\times C\times 8\,000}{V}$$

式中 C——硫酸亚铁铵标准溶液滴定溶液的浓度（mol/L）；

V_0——空白试验所消耗的硫酸亚铁铵标准溶液滴定溶液的体积（mL）；

V_1——试验测定所消耗的硫酸亚铁铵标准溶液滴定溶液的体积（mL）；

8 000——1/4 O_2 的摩尔质量以 mg/L 为单位的换算值；

V——试料的体积（mL）。

9. 注意事项

（1）水样稀释时，所取废水样量不得少于 5mL，如果化学需氧量很高，则废水样应多次逐级稀释。

（2）对于化学需氧量小于 50mL/L 的水样，应改用 0.025mol/L 重铬酸钾标准溶液，回滴时用 0.01mol/L 硫酸亚铁铵标准溶液。

（3）用手摸冷却水不能有温感，否则会导致测定结果偏低。

（4）冷却后，用 90mL 水冲洗冷凝管壁，取下锥形瓶，溶液总体积不得少于 140mL，否则因酸度太大，滴定终点不明显。

（5）测定中浓硫酸、汞盐、银盐用量大，且加热回流 2h，故需特别注意安全。

（6）每次实验时，应对硫酸亚铁铵进行标定，室温较高时尤其应注意其浓度的变化。

标定方法亦可采用如下操作：在空白试验结束后的溶液中，准确加入 10.00mL 0.250mol/L 重铬酸钾标准溶液，混匀后用硫酸亚铁铵标液进行标定。

（7）COD_{cr} 测定结果一般保留三位有效数字。

六、总磷检测

根据 GB11893—1989《水质 总磷的测定钼酸铵分光光度法》进行检测。

1. 原理 在酸性条件下，正磷酸盐与钼酸铵、酒石酸锑氧钾反应，生成磷钼杂多酸，被抗坏血酸还原，生成蓝色的络合物，通常称磷钼蓝。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 试剂

（1）（1+1）硫酸。

（2）质量分数为10%的抗坏血酸：溶解10g抗坏血酸于水中，并稀释至100mL。此溶液储存于棕色的试剂瓶中，在约4℃下可稳定几周。如颜色变蓝，则弃去重配。

（3）钼酸盐溶液：溶解13g钼酸铵于100mL水中。溶解0.35g酒石酸锑氧钾于100mL水中。在不断搅拌下，将钼酸铵溶液徐徐加到300mL（1+1）硫酸中，加酒石酸锑氧钾溶液并且混合均匀。将溶液储存于棕色试剂瓶中，约4℃下至少可以稳定两个月。

（4）浊度-色度补偿液：混合两个体积的（1+1）硫酸和一个体积的质量分数为10%的抗坏血酸溶液。使用当天配制。

（5）磷标准储备溶液：称取0.219 7g于110℃干燥2h，在干燥器中放冷的磷酸二氢钾（优级纯），用水溶解后转移至1 000mL容量瓶中，加5mL（1+1）硫酸，用水稀释至标线。1.00mL此标准溶液含50.0μg磷（以P计）。

（6）磷标准使用溶液：吸取10.00mL的磷标准储备溶液转至250mL容量瓶中，用水稀释至标线。1.00mL此标准溶液含2.0μg磷，临用前配制。

3. 仪器

（1）125mL凯氏烧瓶。

（2）加热装置。

（3）分光光度计，10mm或30mm比色皿。

（4）50mL具塞刻度管。

注意：所有玻璃器皿均应用稀盐酸或稀硝酸浸泡。

4. 采集与保存　总磷的测定，于水样采集后，加入硫酸酸化至pH值≤1保存。溶解性正磷酸盐的测定，不加任何保存剂，于2~5℃保存，在24h内进行分析。

5. 适用范围　本方法最低检出浓度为0.01mg/L（吸光度Å=0.01时所对应的浓度），测定上限为0.6mg/L，可适用于测定地表水、生活污水及化工、磷肥、金属表面磷化处理、农药、钢铁、焦化等行业的工业废水中的正磷酸盐分析。

6. 干扰及消除　砷含量大于2mg/L时有干扰，可用硫代硫酸钠除去。硫化物含量大于2mg/L时有干扰，在酸性条件下通氮气可以除去。六价铬含量大于50mg/L时有干扰，用亚硫酸钠除去。亚硝酸盐大于1mg/L时有干扰，用氧化消解或加氨磺酸可以除去。铁浓度为20mg/L时会使结果偏低5%，铜浓度达10mg/L不干扰，氟化物小于70mg/L也不干扰。水中大多数常见离子对显色的影响可以忽略。

7. 样品的预处理　硝酸-硫酸消解：吸取25mL水样于凯氏烧瓶中，加几粒玻璃珠，加入2mL（1+1）硫酸及2~5mL硝酸。在电热板上或可调电炉中加热至冒白烟，如液体尚未清澈透明，放冷后，加5mL硝酸，再加热至冒白烟，获得透明液体。放冷后加约30mL水，加热煮沸约5min。放冷后，加1滴酚酞指示剂，滴加氢氧化钠溶液至刚呈微红色，再滴加1mol/L硫酸溶液使微红刚好褪去，充分混匀后移至50mL比色管中。如溶液浑浊，则用滤纸过滤，并用水洗凯氏烧瓶和滤纸，一并移入比色管中，稀释

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

至标线，供分析用。

8. 样品的测定　分取适量经滤膜过滤或消解的水样（使含磷量不超过30μb）加入50mL比色管中，用水稀释至标线。向比色管中加入1mL质量分数为10%的抗坏血酸溶液，混匀。30s后加2mL钼酸盐溶液充分混匀，放置15min。用10mm或30mm比色皿，于700nm波长处，以零浓度溶液为参比测量吸光度，并从工作曲线上查得磷的含量。

9. 校准曲线的绘制　取几支50mL具塞比色管，分别加入0mL、0.50mL、1.00mL、3.00mL、5.00mL、10.0mL、15.0mL磷酸盐标准溶液，加水至50mL，然后按测定步骤进行操作，测量吸光度。扣除空白试验的吸光度后，根据对应的磷的含量绘制工作曲线。

10. 注意事项

（1）如试样中色度影响测量吸光度时，需做补偿校正。在50mL比色管中，分取与样品测定相同量的水样，定容后加入3mL浊度补偿液，测量吸光度，然后从水样的吸光度中减去校正吸光度。

（2）室温低于13℃时，可在水浴中显色15min。

（3）操作所用的玻璃器皿，可用（1+5）盐酸浸泡2h，或用不含磷酸盐的洗涤剂刷洗。

（4）比色皿用后应用稀硝酸或铬酸洗液浸泡片刻，以除去吸附的钼蓝有色物。

（5）水样消解程度对结果影响很大，一定要加热至冒白烟。

七、各种磷酸盐和总磷酸盐的测定

电镀废水中含有各种磷酸盐，如正磷酸盐、聚磷酸盐、有机磷酸盐、次亚磷酸盐。本法适用于含 $C(PO_4^{3-})=0.02\sim50mg/L$ 磷含量的测定。

1. 正磷酸盐含量的测定

（1）化学反应。在酸性条件下，正磷酸盐与钼酸铵反应生成黄色的磷钼杂多酸，再用抗坏血酸把磷钼杂多酸还原成磷钼蓝，于710nm最大吸收波长处用分光光度法化验。反应式为

$$12(NH_4)_2MoO_4+H_2PO_4^-+24H^+\xlongequal{KSbOC_4H_4O_6}[H_2PMo_{12}O_{40}]^-+24NH_4^++12H_2O$$

$$[H_2PMo_{12}O_{40}]^-\xlongequal{C_6H_8O_6}H_3PO_4\cdot10MoO_3\cdot Mo_2O_5$$

（2）主要试剂

1）KH_2PO_4。

2）H_2SO_4（1+1）溶液。

3）含量为20g/L的抗坏血酸溶液。称取10g抗坏血酸，精确至0.5g；再称取0.2gEDTA二钠（$C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2\cdot2H_2O$），精确至0.01g，溶于200mL水中，加入8.0mL甲酸，用水稀释至500mL，混匀，储存于棕色瓶中（有效期一个月）。

4）含量为26g/L的钼酸铵溶液。称取13g钼酸铵，精确至0.5g；称取0.5g酒石酸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

锑钾，精确至0.01g，溶于200mL水中，加入230mL(1+1)H_2SO_4溶液，混匀，冷却后用水稀释至500mL，混匀，储存于棕色瓶中（有效期两个月）。

5）磷储备溶液，1mL溶液中含有0.5mg PO_4^{3-}。称取0.716 5g预先在100~105℃干燥并已恒重过的KH_2PO_4，精确至0.000 2g，溶于约500mL水中，定量转移至1L容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。

6）磷标准溶液，1mL溶液中含有0.02mg PO_4^{3-}。取20.00mL磷储备溶液（0.5mg/mL PO_4^{3-}）于500mL容量瓶中，用水稀释至刻度，摇匀。

（3）仪器和设备。分光光度计，带有厚度为1cm的吸收池。

（4）试验步骤。

1）工作曲线的绘制。分别取0.00（空白）、1.00mL、2.00mL、3.00mL、4.00mL、5.00mL、6.00mL、7.00mL、8.00mL磷标准溶液（0.02mg/mL PO_4^{3-}）于9个50mL容量瓶中，依次向各瓶中加入约25mL水、2.0mL钼酸铵溶液和3.0mL抗坏血酸溶液，用水稀释至刻度，摇匀，室温下放置10min。在分光光度计710nm处，用1cm吸收池，以空白调零测吸光度。以测得的吸光度为纵坐标，相对应的 PO_4^{3-} 量（μg）为横坐标绘制工作曲线。

2）试样的制备。现场取约250mL实验室样品，经中速滤纸过滤后储存于500mL烧杯中即制成试样。

3）正磷酸盐含量的测定。从上述试样中取20.00mL试验溶液，于50mL容量瓶中加入2.0mL钼酸铵溶液和3.0mL抗坏血酸溶液，用水稀释至刻度，摇匀，室温下放置10min。在分光光度计710nm处，用1cm吸收池，以不加试验溶液的空白调零测吸光度。

（5）结果计算。试样中正磷酸盐（以 PO_4^{3-} 计）的含量 X_1 按下式计算：

$$X_1 = \frac{m_1}{V_1}$$

式中　m_1——从工作曲线上查得的以μg表示的 PO_4^{3-} 质量；

V_1——移取试验溶液的体积（mL）。

所得结果应表示至两位小数。

（6）允许差。两次平行测定结果之差不大于0.30mg/L，取算术平均值为测定结果。

2. 总无机磷酸盐含量的测定

（1）原理。在酸性条件和煮沸的情况下，测定溶液中的聚磷酸盐水解成正磷酸盐，正磷酸盐与钼酸铵反应生成黄色的磷钼杂多酸，再用抗坏血酸将磷钼杂多酸还原成磷钼蓝，于710nm最大吸收波长处用分光光度法测定。反应式与正磷酸盐的反应式相同。

（2）主要试剂。除正磷酸盐含量的测定中所需的试剂之外，还需要下列试剂。

1）含量为120g/L的NaOH溶液。称取30g NaOH，精确至0.5g，溶于250mL水中，摇匀，储存于塑料瓶中。

2）KH_2PO_4(1+3)溶液、(1+35）溶液。

3）酚酞，质量分数为1%的乙醇溶液。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（3）仪器和设备。分光光度计，带有厚度为1cm的吸收池。

（4）测定步骤

1）工作曲线的绘制与正磷酸盐含量的测定中工作曲线的绘制步骤相同。

2）总无机磷酸盐含量的测定：从试样中取10.00mL测定溶液于50mL容量瓶中，加入2.0mL(1+3)H_2SO_4溶液，用水调整容量瓶中溶液体积至约25mL，摇匀，置于已煮沸的水浴中15min，取出后冷却至室温。用滴管向容量瓶中加1滴酚酞溶液，然后滴加NaOH溶液至溶液显微红色，再滴加(1+35)H_2SO_4溶液至红色刚好消失。加入2.0mL钼酸铵溶液和3.0mL抗坏血酸溶液，用水稀释至刻度，摇匀，室温下放置10min。在分光光度计710nm处，用1cm吸收池，以不加测定溶液的空白调零测吸光度。

（5）结果计算。试样中总无机磷酸盐（以PO_4^{3-}计）的含量X_2按下式计算：

$$X_2 = \frac{m_2}{V_2}$$

式中 m_2——从工作曲线上查得的以μg表示的PO_4^{3-}质量；

V_2——移取试验溶液的体积（mL）。

试样中三聚磷酸钠（$Na_5P_3O_{10}$）的含量X_3按下式计算：

$$X_3 = 1.291 \times \left(\frac{m_2}{V_2} - \frac{m_1}{V_1}\right)$$

式中 1.291——PO_4^{3-}换算为三聚磷酸钠的系数。

试样中六偏磷酸钠[$(NaPO_3)_6$]的含量X_4按下式计算：

$$X_4 = 1.074 \times \left(\frac{m_2}{V_2} - \frac{m_1}{V_1}\right)$$

式中 1.074——PO_4^{3-}换算为六偏磷酸钠的系数。

所得结果应表示至两位小数。

（6）允许差。两次平行测定结果之差应符合表16-3的规定，取算术平均值为测定结果。

表16-3 两次平行测定结果的允许差 （单位：mg/L）

总无机磷酸盐含量	<10.00	>10.00
允许差	<0.50	>1.00

3. 总磷含量的测定

（1）原理。在酸性溶液中，用过硫酸钾作分解剂，将聚磷酸盐和有机磷酸盐转化为正磷酸盐，正磷酸盐与钼酸铵反应生成黄色的磷钼杂多酸，再用抗坏血酸将磷钼杂多酸还原成磷钼蓝，于710nm最大吸收波长处用分光光度法测定。反应式与正磷酸盐的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

反应式相同。

（2）主要试剂。除了正磷酸盐含量的测定中所需试剂之外，还有过硫酸钾（40g/L溶液）：称取20g过硫酸钾，精确至0.5g，溶于500mL水中，摇匀，储存于棕色瓶中（有效期一个月）。

（3）仪器和设备。分光光度计，带有厚度为1cm的吸收池。

（4）测定步骤

1）工作曲线的绘制　与正磷酸盐含量的测定中工作曲线的绘制步骤相同。

2）总磷含量的测定：从试样中取5.00mL试验溶液于100mL锥形瓶中，加入1.0mL（1+35）H_2SO_4溶液、5.0mL过硫酸钾溶液，用水调整锥形瓶中溶液体积至约25mL，置于可调电炉上缓缓煮沸15min至溶液快蒸干为止。取出后流水冷却至室温，定量转移至50mL容量瓶中。加入2.0mL钼酸铵溶液和3.0mL抗坏血酸溶液，用水稀释至刻度，摇匀，室温下放置10min。在分光光度计710nm处，用1cm吸收池，以不加试验溶液的空白调零测吸光度。

（5）结果计算。试样中总磷（以PO_4^{3-}计）的含量X_5按下式计算：

$$X_5 = \frac{m_3}{V_3}$$

式中　m_3——从工作曲线上查得的以μg表示的PO_4^{3-}质量；

V_3——移取试验溶液的体积（mL）。

羟基亚乙基二膦酸（HEDP）含量X_6按下式计算：

$$X_6 = 1.085 \times \left(\frac{m_3}{V_3} - \frac{m_2}{V_2}\right)$$

式中　1.085——PO_4^{3-}换算为羟基亚乙基二膦酸的系数。

羟基亚乙基二膦酸钠（HEDPS）的含量X_7按下式计算：

$$X_7 = 1.548 \times \left(\frac{m_3}{V_3} - \frac{m_2}{V_2}\right)$$

式中　1.548——PO_4^{3-}换算为羟基亚乙基二膦酸钠的系数。

氨基三亚甲基膦酸（ATMP）的含量X_8（mg/L）按下式计算：

$$X_8 = 1.050 \times \left(\frac{m_3}{V_3} - \frac{m_2}{V_2}\right)$$

式中　1.050——PO_4^{3-}换算为氨基三亚甲基膦酸系数。

乙二胺四亚甲基膦酸（EDTMP）的含量X_9按下式计算：

$$X_9 = 1.148 \times \left(\frac{m_3}{V_3} - \frac{m_2}{V_2}\right)$$

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

式中 1.148——PO_4^{3-} 换算为乙二胺四亚甲基膦酸的系数。

乙二胺四亚甲基膦酸钠（EDTMP S）的含量 X_{10} 按下式计算：

$$X_{10} = 1.611 \times \left(\frac{m_3}{V_3} - \frac{m_2}{V_2} \right)$$

式中 1.611——PO_4^{3-} 换算为乙二胺四亚甲基膦酸钠的系数。

所得结果应表示至两位小数。

（6）允许差。两次平行测定结果之差应符合表 16-4 的规定，取算术平均值为测定结果。

表 16-4 两次平行测定结果的允许差 （单位：mg/L）

总磷含量	<10.00	>10.00
允许差	<0.50	>1.00

4. 注意事项

（1）不同磷含量情况下运行时的检测剂量如表 16-5 所示。

表 16-5 不同磷含量情况下运行时的检测剂量

试样磷含量(以 PO_4^{3-} 计)/(mg/L)	取测定溶液的体积/mL	吸收池厚度/cm
0~5.0	12~40	1
5.0~10.0	6~12	1
10.0~20.0	3~6	1
20.0~30.0	2~3	1

如遇到 PO_4^{3-} 含量高于 30mg/L 的测定溶液，可稀释后再进行测量。

（2）实验室水样的过滤。应尽可能快地过滤和分析水样，过滤时间不能超过 10min。如过滤时间过长则滤纸有可能对磷化合物产生吸附，从而不能保证所有的磷化合物从滤纸上滤过。另外，过滤时间过长会造成聚磷化合物的水解。如果实验室水样温度低于室温，则过滤前应使其恢复至室温。过滤时应弃去开始的 10mL 滤液。

（3）玻璃器皿的清洗。用于显色的玻璃器皿应经常用 2mol/L 的 NaOH 溶液清洗，以除去有色沉淀物。这些有色沉淀物能在玻璃壁上形成黏膜，从而影响化验的准确度。

（4）吸收池的校正。分析试样前，必须对吸收池进行校正，消除不同吸收池之间的差异。

（5）有机磷化物的分解。在大量有机物质存在的情况下，使用过硫酸钾分解效果差，这时应使用 HNO_3 和 $HClO_4$ 或过硫酸铵，分解有机物并氧化成 PO_4^{3-}。其操作步骤为：准确移取一定体积的试验溶液，加入 2mg/L 的 HNO_3、1mg/L 的 $HClO_4$ 于可调电炉

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

上，加热至不出褐色蒸汽并出现白色晶体，冷却后加水微热，直到获得清晰透明的溶液，最后用2mol/L的NaOH溶液调整pH值至7～9。

（6）水样的处理及保存。为确保水样不发生变化，取样后最好立即进行化验，不能立即进行化验时，则应依次加入NaCl和$HgCl_2$保护试样。使试样溶液中NaCl含量为50mg/L、$HgCl_2$含量为40mg/L，用玻璃瓶储存于0～4℃冰箱中。只测总磷含量时，则无需顾及试样发生变化。

（7）干扰。废水中通常有一些无机离子和有机物质，如果这些物质在限量之内对80μg PO_4^{3-}化验所引起的误差在±4μg范围之内，则认为不干扰磷含量的分析。

1）无机离子。500mg/L Na^+、K^+、NH_4^+、Ca^{2+}；300mg/L Mg^{2+}；100mg/L Si；50mg/L Zn^{2+}；40mg/L Fe^{3+}；20mg/L Al^{3+}、Cu^{2+}；100mg/L F^-；500mg/L Cl^-；500mg/L NO_2^-；800mg/L HCO_3^-；1 000mg/LNO_3^-、SO_4^{2-}不干扰磷含量的分析。

Cu^{2+}、Fe^{3+}由于本身有颜色，含量过高对显色有一定影响，可通过做颜色空白试验消除干扰。

2）有机物质。聚丙烯酸含量不高于20mg/L不干扰磷含量的分析。

（8）用来还原磷钼杂多酸的还原剂，除了抗坏血酸外，还可用氯化亚锡、硫酸肼、亚硫酸氢钠等。

（9）总无机磷酸盐减去正磷酸盐就是聚磷酸盐的量，总磷减去总无机磷酸盐就是有机磷酸盐的量。

八、氨氮检测

依据GB7479—1987《水质　铵的测定　纳氏试剂比色法》进行检测。

1. 原理　碘化汞和碘化钾的碱性溶液与氨反应生成淡红棕色胶态化合物，其色度与氨氮含量成正比，通常可在波长410～425nm范围内测其吸光度，计算其含量。

2. 仪器

（1）带氮球的定氮蒸馏装置：500mL凯氏烧瓶、氮球、直形冷凝管。

（2）分光光度计，20mm比色皿。

（3）50mL具塞比色管。

3. 试剂

（1）无氨水。可选用蒸馏水进行制备：每升蒸馏水中加0.1mL硫酸，在全玻璃蒸馏水中重蒸馏，弃去50mL初馏液，接取其余馏出液于具塞磨口的玻璃瓶中，密塞保存。

（2）纳氏试剂。称取16g氢氧化钠，溶于50mL水中，充分冷却至室温。另称取7g碘化钾和10g碘化汞（HgI_2）溶于水，然后将此溶液在搅拌下徐徐注入氢氧化钠溶液中，用水稀释至100mL，储存于聚乙烯瓶中，密塞保存。

（3）酒石酸钾钠溶液：称取50g酒石酸钾钠溶于100mL水中，加热煮沸以除去氨，冷却后定容至100mL。

（4）按标准储备溶液：称取3.819g经干燥过的氯化铵（优级纯）溶于水中，移入1 000mL容量瓶中，稀释至标线。

（5）铵标准使用溶液：移取5.00mL铵标准储备液于500mL容量瓶中，用水稀释至

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

标线。此溶液每毫升含0.010mg氨氮。

（6）质量分数为10%的硫酸锌溶液：称取10g硫酸锌溶于水内，稀释至100mL。

（7）质量分数为25%的氢氧化钠溶液：称取25g氢氧化钠溶于水，稀释至100mL，储存于聚乙烯瓶中。

（8）1mol/L盐酸溶液。

（9）1mol/L氢氧化钠溶液。

（10）轻质氧化镁（MgO）：将氧化镁在500℃下加热，以除去碳酸盐。

（11）质量分数为0.05%的溴百里酚蓝指示液（pH值为6.0～7.6）。

（12）防沫剂，如石蜡碎片。

（13）硼酸吸收液：称取20g硼酸溶于水，稀释至1L。

4. 采样与保存　水样采集后在聚乙烯瓶或玻璃瓶内尽快分析，必要时可加硫酸将水样酸化至pH值<2，于2～5℃保存。酸化样品应注意防止吸收空气中的氨而导致污染。

5. 预处理

（1）较清洁的水采用絮凝沉淀法消除干扰。取100mL水样于具塞量筒或比色管中，加入1mL质量分数为10%的硫酸锌溶液和0.1～0.2mL质量分数为25%的氢氧化钠溶液，调节pH值至10.5左右，混匀。放置使其沉淀，用经无氨水充分洗涤过的中速滤纸过滤，弃去初滤液20mL。

（2）污染严重的水或工业废水用蒸馏法消除干扰。

1）蒸馏装置的预处理。加250mL水样于凯氏烧瓶中，加入0.25g轻质氧化镁和几粒玻璃珠，加热蒸馏至馏出液不含氨为止，弃去瓶内残液。

2）分取250mL水样（如氨氮含量较高，可分取适量并加水至250mL，使氨氮含量不超过2.5mg），移入凯氏烧瓶中，加几滴溴酚蓝指示液，用氢氧化钠溶液或盐酸溶液调节pH值至7左右。加入0.25g轻质氧化镁和几粒玻璃珠，立即连接氮球和冷凝管，导管下端插入吸收液液面下，加热蒸馏。至馏出液达200mL时，停止蒸馏，定容至250mL。

3）采用酸滴定法或纳氏比色法时，以50mL硼酸溶液为吸收液；采用水杨酸一次氯酸盐比色法时，改用50mL 0.01mol/L硫酸溶液为吸收液。

6. 适用范围　本法最低检出浓度为0.025mg/L（光度法），测定上限为2mg/L。如果水样中氨氮含量大于1mg/L，可以直接用纳氏光度法测定；如果水样中氨氮含量小于1mg/L或水样的颜色或浊度较高，则应先用蒸馏法将NH_3蒸出。

7. 测定　分取适量预处理后的水样（氨氮含量不超过0.1mg），加入到50mL比色管中，稀释到标线，加0.1mL酒石酸钾钠溶液和1.5mL纳氏试剂，混匀，放置10min后，在波长420nm处，用光程为20mm的比色皿，以水为参比测定吸光度。

8. 标准曲线的绘制　吸取0mL、0.50mL、1.00mL、3.00mL、5.00mL、7.00mL和10.00mL铵标准使用液于50mL比色管中，加水至标线，同水样测试步骤，测定吸光度。扣除空白试验的吸光度后，和对应的氨氮的含量绘制工作曲线。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

9. 注意事项

（1）蒸馏时应避免发生暴沸，否则可造成馏出液温度升高，氨吸收不完全。

（2）防止蒸馏时产生泡沫，必要时可加少许石蜡碎片于凯氏烧瓶中。

（3）水样中如含余氯，则应加入适量质量分数为0.35%的硫代硫酸钠溶液，每0.5mL可除去0.25mg余氯。

（4）纳氏试剂中碘化汞和碘化钾的比例，对显色反应的灵敏度有较大影响，静置后生成的沉淀应除去。

（5）滤纸中常含少量铵盐，使用时注意用无氨水洗涤。所用玻璃器皿应避免被实验室空气中氨的污染。

（6）无氨水：每升蒸馏水中加0.1mL硫酸，使水中各种类型的氨或胺最终都变成不挥发的盐类。进行重蒸馏，收集馏出液即可（弃去50mL初馏液），密塞保存，所有试剂配制和稀释均用无氨水。

（7）纳氏试剂毒性很强，防止吸入。使用纳氏试剂仅取上清液，不用振摇和搅拌沉淀，大量沉淀会影响试剂的灵敏度和比色的再现性。

（8）水样中的余氯会抑制微生物生长，具有氧化性，会生成亚硝酸盐或硝酸盐，使测试结果偏低，可加入适量硫代硫酸钠。

第三节　污 泥 分 析

污泥要进一步处理，对它的成分要分析清楚，并分析其物理性质、化学性质及微生物学特性。

一、污泥的物理性质

1. 污泥含水率的测定

（1）测量步骤与计算。将60mL蒸发皿放在烘箱内，以105～110℃的温度烘2h，取出后放在干燥器内冷却0.5h，用万分之一分析天平称重，记录质量W_1。再用粗天平称20g污泥置于烘干后的蒸发皿中，用水浴锅蒸干。然后放入105～110℃的烘箱内烘2h，取出放入干燥器内冷却0.5h，用万分之一分析天平称重，记录质量W_2，代入式（16-1）中。

$$P=\frac{20-(W_2-W_1)}{20}\times 100\% \tag{16-1}$$

式中　P——污泥含水率（%）；

W_1——第一次称重（空蒸发皿质量）（g）；

W_2——烘干后称重（蒸发皿质量+样品质量）（g）；

20——所取污泥质量（g）。

（2）操作前的准备工作。将蒸发皿编号，三氯化铁加适量的蓝墨水调匀，用笔在皿上标上号码，放入高温炉，将温度控制在600℃，焙烧0.5h后取出，冷却即可。

2. 挥发固体含量的测定　将测完含水率的污泥样品放在电炉上碳化（烧至不冒

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

烟），再放入600℃高温炉中灼烧0.5h，然后冷却或将温度降至110℃左右，取出后放入105～110℃的烘箱内烘0.5h；取出再放入干燥器内再干燥0.5h，然后称重，并记录质量 W_3，代入式（16-2）中，求出污泥挥发固体含量：

$$VS = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1} \times 100\% \tag{16-2}$$

式中 VS——挥发固体含量（%）；

W_3——焙烧后的蒸发皿和样品质量之和（g）。

二、污泥的化学性质

1. *污泥样品的预处理* 由于污泥中含有带颜色的物质、各种离子、有机物质等，不能直接用比色法进行定量分析，因此在分析前需进行预处理。

用100～150mL蒸发皿称取50g污泥，加20mL浓硝酸，待不再发烟后放在离高温炉内于480℃下灼烧约30min，取出冷却后加10mL浓硝酸溶解。如果溶解不掉可再加硝酸，然后放在水浴锅上加热，赶掉酸雾，用滤纸过滤掉硅酸盐不溶物，用蒸馏水稀释至500mL备用。此溶液称为污泥液样。

2. *氨氮的测定* 污泥中有机物经过细菌分解不断产生氨，所以污泥样品采集后应当在6h内测定氨氮等。

（1）原理。氨在磷酸盐缓冲溶液的作用下，经加热蒸馏随水汽逸出，以硼酸溶液吸收，甲基红-亚甲基蓝混合液做指示剂。用硫酸标准溶液滴定，由绿色变为暗紫色，即达滴定终点颜色，反应式如下：

$$NH_4Cl = NH_3 \uparrow + HCl$$

$$3NH_3 + H_3BO_3 = (NH_4)_3BO_3$$

$$2(NH_4)_3BO_3 + 3H_2SO_3 = 3(NH_4)_2SO_4 + 2H_3BO_3$$

（2）仪器。250mL凯氏烧瓶及氮气球。

（3）药品与试剂。

1）不含氨的蒸馏水。

2）磷酸缓冲液。称取7.15g化学纯无水磷酸二氢钾 KH_2PO_4 及45.08g化学纯磷酸氢二钾（$K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$）溶于少量不含氨的蒸馏水，再加不含氨蒸馏水稀释至500mL。

3）硫酸标准溶液。吸取2.8mL不含氨的浓硫酸于蒸馏水中，稀释至1 000mL，此溶液约为0.05mol/L。然后用碳酸钠标定，再用不含氨的蒸馏水准确地调节至浓度为0.05mol/L。标定方法：称取0.150 0～0.200 0g无水碳酸钠 Na_2CO_3，预先在180℃烘箱中烘干，放在三角瓶中，加入100mL煮沸过的蒸馏水，使其溶解后再加两滴甲基橙指示剂，用硫酸溶液滴定至溶液颜色转变为橘红色。硫酸溶液的浓度为：

$$C = \frac{\text{碳酸钠重量/g}}{0.106 \times \text{滴定消耗硫酸溶液/mL}}$$

4）甲基橙指示剂。称取0.1g甲基橙，溶于蒸馏水中，稀释至100mL。

5）甲基红-亚甲基蓝指示剂。称取0.1g甲基红溶于50mL乙醇（质量分数为95%）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

中，另称取0.05g亚甲基蓝溶于25mL乙醇（质量分数为95%）中，取前者两份，后者一份，混合即可。

6）硼酸吸收液。称取20g纯硼酸（H_3BO_3）溶于不含氨蒸馏水中，微加热，冷却后加10mL甲基红-亚甲基蓝指示剂，用不含氨蒸馏水稀释至1 000mL。

甲基红-亚甲基蓝指示剂与硼酸吸收液要求每月重新配制一次。

（4）分析方法与计算。

1）取离心后的污泥上清液25mL，置于250mL凯氏烧瓶中，加蒸馏水100mL和磷酸缓冲液10mL，用橡胶塞盖紧。将蒸馏导管插入盛有50mL硼酸吸收液的250mL三角烧瓶液面以上，加热蒸馏。

2）收集蒸馏液约80mL。

3）用硫酸标准溶液滴定至蒸馏液由绿色变为暗紫色，记录消耗硫酸标准溶液的毫升数 V_1。

4）吸取250mL不含氨蒸馏水作为空白溶液，按上述步骤操作。一般情况下，硼酸吸收液均为滴定终点颜色，记录空白溶液消耗硫酸标准溶液毫升数 V_0。

（5）计算：

$$\text{氨氮(mg/L)} = \frac{28(V_1 - V_0) \times C \times 1\,000}{V_2}$$

式中　V_0——空白样消耗硫酸标准溶液体积（mL）；

V_1——水样消耗硫酸标准溶液体积（mL）；

V_2——水样最初体积（mL）；

C——硫酸标准溶液浓度（mol/L）。

3. *总碱度与pH值的测定*　总碱度与pH值对于污泥的处理很重要，是污泥消化是否正常的标志。污泥上清液浑浊有色度，对滴定终点的观察有干扰，因此一般都用pH值计测定。

（1）试剂与仪器。0.1mol/L盐酸：吸取9mL纯盐酸，倾入1 000mL容量瓶中，用无二氧化碳的重蒸馏水稀释至刻度，此溶液浓度约为0.1mol/L，用下述方法标定。

取无水碳酸钠试剂或分析纯 Na_2CO_3，在180℃下烘2h，置干燥器内冷却，准确称取0.1～0.15g置于250mL三角烧瓶中（同时做三份），各加无二氧化蒸馏水100mL、4滴甲基橙指示剂，用0.1mol/L盐酸滴至出现淡橘红色为止。记录盐酸用量，反应方程式如下：

$$2HCl + Na_2CO_3 = CO_2 + 2NaCl + H_2O$$

在标定的同时做一空白滴定，滴定碳酸钠所消耗的盐酸量应扣除，计算公式为：

$$C = \frac{W}{0.053V}$$

式中　C——盐酸浓度（mol/L）；

W——无水碳酸钠重量（g）；

V——盐酸消耗量（mL）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

必要时可以加蒸馏水调节盐酸溶液浓度至0.1mol/L。

（2）分析方法与计算。将25mL的污泥上清液用玻璃棒小心搅动（注意勿碰坏电极），用滴定管加入0.1mol/L盐酸至pH计指针指到4.4处，记录盐酸用量毫升数，代入下式计算：

$$\text{总碱度} = \frac{V_1 C}{V_2} \times 50.05\,(\text{mg/L})\,(\text{以 } CaCO_3 \text{ 计})$$

式中 V_1——盐酸溶液消耗量（mL）；

C——盐酸溶液浓度（mol/L）；

V_2——污泥上清液的体积（mL）；

50.05——碳酸钙（1/2 $CaCO_3$）摩尔质量（g/mol）。

（3）pH值的测定。取污泥上清液，用酸度计直接测定其pH值。

4. 铜的测定

（1）原理。铜与二乙基二硫代氨基甲酸钠生成黄棕色的胶体络合物，待颜色稳定1h，用比色法测定。如铜的含量超过1mg/L，则溶液浑浊（此时要用蒸馏水稀释）。

（2）仪器。100mL分液漏斗，50mL具塞比色管，光电比色计或分光光度计。

（3）试剂。配制标准试剂和稀释用水都需用经全玻璃器蒸馏的重蒸馏水，普通蒸馏水往往含铜量较高，不应直接使用。

1）二乙基二硫代氨基甲酸钠溶液。称取1.0g二乙基二硫代氨基甲酸钠，溶于蒸馏水中，稀释至100mL，将溶液过滤。

2）乙二胺四乙酸二钠柠檬酸铵溶液。称取20g纯柠檬酸铵和5g纯乙二胺四乙酸二钠，溶于蒸馏水中，稀释至100mL。

3）硫酸铜标准溶液。称取0.392 9g纯硫酸铜（$CuSO_2 \cdot 5H_2O$），溶于蒸馏水中，稀释至1 000mL。吸取10mL稀释至100mL，此溶液1mL含有0.01mg铜。

4）氢氧化铵（NH_4OH）。相对密度为0.88。

5）甲酚红溶液。称取0.04g甲酚红溶于100mL乙醇中。

6）四氯化碳。

7）0.08mol/L氰化钾溶液。称取0.52g氰化钾（KCN）溶于蒸馏水中，稀释至100mL。注意此溶液有剧毒。

（4）分析方法

1）吸取预处理后的污泥液样25～50mL（Cu^{2+}不超过50μg）于分液漏斗中。

2）加10mL乙二胺四乙酸二钠柠檬酸铵溶液和2滴甲酚红指示剂。

3）加入氢氧化铵（NH_4OH）直到溶液由红色变为淡红色，最后加几滴，使溶液略带浅紫色为止，放置使其冷却。

4）加1mL二乙基二硫代氨基甲酸钠溶液，摇匀。

5）加10mL四氯化碳，摇动分液漏斗2min，用滤纸条擦去漏斗壁水后，放出四氯化碳层，用光电比色计（蓝色滤光片）或分光光度计（430nm）测定光密度。

6）标准曲线制备。取铜标准液0mL、0.5mL、1.0mL、3.0mL、5.0mL，分别置于5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

支50mL比色管中，用蒸馏水稀释至50mL，按分析方法3）以后各步骤进行，并绘制标准曲线，需稳定1h。

（5）计算。

$$铜(mg/L)=\frac{A\times 1\ 000}{V}$$

式中　V——污泥液样体积（mL）；

A——标准曲线上对应质量（mg）。

三、污泥的微生物学特性

污泥中有细菌、原生动物、病毒及后生动物等，参见第十七章“微生物研究技术”。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第十七章　微生物研究技术

微生物学是环境保护中最具潜力的技术，发展迅速。21 世纪以来，它已揭出去了神秘面纱，从科研院所来到了工厂实验室，它以好氧菌、厌氧菌、硝化菌、聚磷菌为前锋，创下降低 COD、脱氮除磷的功绩，显示了保护环境巨大的能量。它还将继续在其他方面，如在除去重金属方面作出贡献，从而根本解决污泥处理的难题；在化解膜生物污染展现明显效果，大大提高了膜的使用寿命，因此，微生物研究技术，将成为工厂实验室的常规工作，熟练地掌握这项研究技术，将是工厂化验员必备的技能。因此本章专门介绍微生物研究技术，包括基础试验、微生物实验技术、微生物纯培养与接种技术、菌种保存技术、细菌形态特征的观察、细菌培养特征的观察、细菌的生理生化反应、微生物生理化鉴定及废水中常见的微生物。

第一节　微生物的基本研究方法

微生物的基本研究方法包括显微镜技术、灭菌和消毒。

一、显微镜技术

微生物个体微小，必须借助显微镜才能观察到它的个体形态和细胞构造，目前使用的有普通光学显微镜、暗视显微镜、相差显微镜、荧光显微镜和电子显微镜，主要的机械部件其功能和名称是相同的，因篇幅有限，这里仅介绍它们的光学不同之处，具体使用时可仔细阅读《产品使用手册》。

1. 普通光学显微镜

（1）普通光学显微镜由机械装置和光学系统两大部分组成，机械装置包括镜座、镜筒、物镜转换器、载物台、推动器、粗调螺旋和微调螺旋等；光学系统由反光镜、聚光器、物镜和目镜等组成。

（2）分辨能力的高低决定于光学系统各部件的质量，物像放大后，能否呈现清晰的细微结构，主要取决于物镜的性能，其次为目镜和聚光器的性能。

（3）照明光线从标本下方经过聚光器汇聚后透过标本，进入物镜。

普通光学显微镜适合于观察对光可透的标本。

2. 暗视显微镜　样品受侧向光照射时所产生的散射光进入物镜，来分辨样品细节，可观察到标本的细微部分，如细菌鞭毛的运动。

在使用暗视显微镜时，需要调节聚光器的点与被检物体在同一平面上，并且需要选用较薄的载玻片，否则不易看见被检物。

3. 相差显微镜　由于细胞各部分的折射率和厚度不同，光线通过后，直射光和衍射光的相位会有差别，产生相位差。人的肉眼感觉不到光的相位差，但相差显微镜能通

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

过其特殊装置——环状光阑和相板，利用光的干涉现象，将光的相位差转变为人眼可以察觉的振幅差（明暗差），从而观察到物像。

4. 荧光显微镜　利用一定波长的光使镜下标本受激发产生荧光，通过物镜和目镜系统放大以供观察。荧光显微镜多利用紫外光和短波作光源，多数细胞需要用荧光染料或荧光抗体染色后，才能进行荧光观察。不同的生物体对激发光的要求不同，需要利用不同的激发滤色镜，来得到最佳的激发光源。

5. 电子显微镜　人的眼睛只能分辨 0.1mm 以上的物体，光学显微镜的分辨率为 200nm，电子显微镜的分辨率为 0.2nm，放大倍数可达 100 万倍。$1m = 10^3 mm = 10^6 \mu m = 10^9 nm$。

电子显微镜结构较为复杂，包括电子射线源、电子透镜——成像系统、真空系统及电源设备。

（1）电子射线源。利用电子波成像，就需要足够数量的电子，通常采用热阴极，即用 0.5mm 左右的钨丝弯成 V 字形，做成灯丝，通过电流加热至 2 000℃以上，钨丝受热发射的电子作为电子源，在灯丝前用一圆形、磨光的有小孔的金属板作为阳极，在阳极和阴极之间加上几万伏特的电压，使灯丝发射出来的电子加速，经聚焦过程射到样品上。

（2）电子透镜。电子显微镜的电子波，可以借电磁透镜的磁场的吸引，而发生偏析放大物体，改变电磁透镜线圈中的电流，就能很方便地改变放大倍数。在电子显微镜中，电子枪所发生的电子束，经过电磁透镜的会聚到达观察的样品上，电子经过样品，由于样品的厚度和密度不同，因此透过的电子就有疏密的区别，电子在荧光屏上的反差不同，它们通过物镜后形成初步放大的物像，再经过投影镜放大后，投影到荧光屏上，显示出最后的放大物像。移开荧光屏就可使其下面的底片曝光，再经过印相、放大等步骤即可得到电镜照片。

为了增加放大倍数，用两个投影镜。整个电子发射、聚焦和记录系统都在密闭的高真空环境中。

（3）真空系统。真空是保证电子显微镜正常工作的必要条件，在真空条件下，阴极与阳极间不至于放电，灯丝不会被氧化或被阳离子轰击而减短寿命，电子束在射程中与空气分子碰撞的机会少，减少了散射电子，增加了影像的对比度，容易获得高分辨率的图像。为了获得镜筒的高真空环境，常采用二级串联的真空系统，由机械泵和油扩散泵组成。先由机械泵抽到 1 000Pa 以上的低真空，然后借助油扩散泵，将真空度进一步提高到 0.01～10Pa 左右。由于油扩散泵中的油蒸汽要用水冷却后才能凝结进行循环工作，所以油扩散泵要用自来水冷却。整个电镜采用大大小小的圆形密封橡皮圈于金属部位的连接处，来达到真空密封要求。

（4）电源设备。主要包括三个部分，第一部分是与电子枪有关的线路，第二部分是与透镜有关的线路，第三部分是真空系统所需的电源。

二、灭菌和消毒

灭菌是采用强烈的理化因素，使任何物体内外所有的微生物永远丧失其生长繁殖能

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

力的措施；消毒则是用较温和的物理或化学方法杀死物体上绝大多数病原微生物和有害微生物的营养细胞，实际上是部分灭菌。

在进行电镀废水微生物实验中，需要进行微生物纯培养，因此，对所用器材、培养基要进行严格灭菌，对工作场所进行消毒，以保证工作顺利进行。

实验室最常用的灭菌方法是利用高温处理达到杀菌效果，高温的致死作用，主要是使微生物的蛋白质和核酸等重要生物大分子发生变性。高温灭菌分湿热灭菌和干热灭菌两大类，湿热灭菌的效果比干热灭菌好，这是因为湿热下热量易于传递，更容易破坏保持蛋白质稳定性的氢键结构，从而加速其变性。此外，射线灭菌和消毒、过滤除菌、化学药物灭菌和消毒也是常用的方法。

1. 湿热灭菌　湿热灭菌是利用热蒸汽灭菌。在相同温度下，湿热的效力比干热灭菌好的原因如下：

（1）热蒸汽对细胞成分的破坏作用更强，水分子的存在有助于破坏维持蛋白质三维结构的氢键和其他相互作用的弱键，更易使蛋白质变性。蛋白质含水量与其凝固温度成反比，微生物蛋白质含水量越高，越易凝固；如当蛋白质含水量达到5%时，凝固温度仅为56℃。

（2）热蒸汽比热空气穿透力强，能更加有效地杀灭微生物。

（3）蒸汽存在潜热，当气体转变为液体时可放出大量热量，故可迅速提高灭菌物体的温度。

多数细菌和真菌的营养细胞在60℃左右，处理15min后可被杀死，酵母菌和真菌孢子要耐热些，要用80℃以上的温度处理才能被杀死，而细菌的芽孢更耐热，一般要在120℃下处理15min才能被杀死。湿热灭菌常用的方法是高压蒸汽灭菌和常压蒸汽灭菌。在不具备高压蒸汽灭菌条件的情况下，及不宜高压蒸煮的物质，如糖液、牛奶、明胶等，才用常压蒸汽灭菌。

2. 紫外线灭菌　其灯管内部的激发态汞原子在跃迁时，可以发出不同波长的特征谱线，其中253.7nm谱线所含的能量可以有效破坏细菌、病毒的DNA分子结构，达到杀菌的目的，可用于各种静止水和流动水的处理；185nm谱线还可以分解水中的有机物分子，产生氢氧自由基，并最终将水中有机物分子氧化为二氧化碳，达到去除TOC的目的。

紫外线的功率越大，效能越高。紫外线的灭菌作用随其剂量的增强而加强，剂量是照射强度与照射时间的乘积。如果紫外线的功率和照射距离不变，可以用照射的时间表示相对剂量。紫外线对不同的微生物有不同的致死剂量。根据照射定律，照度与光源光强成正比，而与距离的平方成反比。在固定光源的情况下，被照物体离得越远，效果越差，因此，应根据被照面积、距离等因素安装紫外线灯。

流量为60m^3/h、管径为300mm的情况下，可装长度为1 552mm、功率为300W、电压为130V、电流为1.5A的紫外线灯管3支，紫外线灯管径为19mm，最长使用寿命可达16 000h。

紫外线对眼黏膜及视神经有损伤作用，对皮肤有刺激作用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第二节　微生物培养基

培养基是用人工的办法将多种营养物质按微生物生长代谢的需要配制成的一种营养基质，由于微生物种类繁多，对营养物质的要求各异。但是，不同种类或不同组成的培养基中，均应含有满足微生物生长发育且比例合适的水分、碳源、氮源、无机盐、生长因素以及某些特需的微量元素等。

配制培养基时不仅需要考虑满足这些营养成分的需求，而且应该注意各营养成分之间的协调。此外，培养基还应具有适宜的酸碱度（pH 值）、缓冲能力、氧化还原电位和渗透压等。

一、培养基营养物质的来源及功能

1. 水　水是微生物生存的基本条件，除休眠体（如芽孢、孢子和孢囊等）外，微生物细胞的含水量一般为 70% ~90%。水与微生物细胞正常胶体状态的维持、养料的吸收、代谢废物的排泄以及细胞内的全部代谢生理活动息息相关，因此水是微生物生命活动不可缺少的条件。一般情况下，配制培养基时可直接取用自来水，自来水中含有的微量杂质不仅对微生物无害，而且可作为营养物质，被微生物吸收利用，但在测定微生物某些生理特征、合成产物数量以及其他要求精确度高的实验时，则必须采用蒸馏水甚至重蒸馏水，以保证结果的准确。

2. *碳源*　碳源是组成微生物细胞的主要元素，但不同种类的微生物所能利用的碳素养料的范围和最适种类不同，化能有机营养型微生物，以有机碳化物作为必需的碳源和生命活动的能源。实验室条件下，制备培养基最常用的碳源为葡萄糖，可为许多微生物利用，其他糖类如蔗糖、麦芽糖、甘露醇、淀粉、纤维素，以及脂肪、有机酸、醇类、烃等都可作为培养不同微生物时选择使用的碳源。蛋白质、氨基酸既是氮素养料，同时也是碳素养料，米粉、玉米粉、麦麸和米糠等常用作微生物固体发酵的碳源。

自养型的微生物以 CO_2 作为碳素营养，在细胞内合成有机物质，故不需要向它们提供现成的有机碳化物作为碳素营养。

3. *氮源*　氮素是组成细胞蛋白质的主要成分，也是构成所有微生物细胞的基本物质，绝大多数微生物都需要化合态氮作为氮素养料。因此常用于培养基的氮源分为无机氮和有机氮两类，无机氮有铵盐、硝铵盐等，大多数真菌利用铵盐及硝酸盐，许多细菌能利用铵盐，但不能利用硝酸盐；有机氮有蛋白胨、牛肉膏或牛肉浸汁、多肽及各种氨基酸等。此外，豆芽汁、酵母膏等也是常用的有机氮源，一些含蛋白质较多的农副产品如豆饼粉、花生饼粉、棉籽饼等常可作为培养放线菌的氮源，鱼粉、蚕蛹等也可作为培养某些微生物的氮素养料。

4. *矿质营养*　微生物需要的矿质养料可分为主要元素和微量元素两大类，主要元素包括磷、钾、钙、镁、硫、钠六种，它们分别参与细胞结构物质的组成、能量转移、物质代谢以及调节细胞原生态的胶体状态和细胞透性等，培养基中添加这些营养一般采

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

用含有这些元素的盐类即可，如磷酸氢二钾、硫酸镁、氯化钙、硫酸亚铁、氯化钠等；微生物需要的微量元素主要有铁、硼、锰、铜、锌和钼等，它们多是辅酶和辅基的成分或酶的激活剂，微生物对微量元素的需要量很少，在培养某些具有特殊生理需求的微生物时，需要在培养基中另行加入某些微量元素。

5. 生长因子　生长因子是微生物需求量很少，但却能促进微生物生长的有机化合物的统称。微生物生长所需的生长因素大部分是维生素物质，常见的主要有硫磺素、核黄素、烟酰胺、泛酸和叶酸等，它们是许多酶的组成部分，具有维持生物代谢的功能，在制备培养基时，除合成培养基应考虑加入某些特定的维生素外，天然培养基中一般不必加入维生素。

二、培养基的种类

（1）按照配制培养基的营养物质来源，可将培养基分为天然培养基、合成培养基和半合成培养基三类。使用培养基时，应根据不同的微生物种类和不同的实验目的，选择需要的培养基。

1）天然培养基是指一些利用动植物或微生物产品或其提取物制成的培养基。培养基的主要成分是复杂的天然物质，如马铃薯、豆芽、麦芽、牛肉膏、蛋白胨、鸡蛋、酵母膏、血清等，一般难以确切知道其中的营养成分。这类培养基的优点是营养丰富、种类多样、配制方便，缺点是化学成分不甚清楚。因此，天然培养基多适合于配制实验室用的各种基础培养基及生产中用的种子培养基和发酵培养基。

2）合成培养基是一类采用多种化学试剂配制的各种成分（包括微量元素）及其用量都确切知道的培养基。合成培养基一般用于营养、代谢、生理、生化、遗传、育种、菌种鉴定和生物测定等要求较高的研究工作。

3）半合成培养基是既含有天然物质，又含有纯化学试剂的培养基。这类培养基的特点是其中的一部分化学成分和用量是清楚的，而另一部分的成分不十分清楚，如培养真菌用的马铃薯蔗糖培养基，其中蔗糖及其用量是清楚的，而马铃薯的成分却不十分清楚。在微生物学研究中，半合成培养基是应用最广泛的一类培养基。

（2）按培养基外观的物理状态可将培养基分成三类，即液体培养基、固体培养基和半固体培养基。

1）液体培养基是指呈液体状态的培养基。在实验室中，多用液体培养基培养微生物以观察其生长特性，如好氧或兼性厌氧微生物，常使液体培养基变得浑浊或产生沉淀、絮凝等。液体培养基还用于研究微生物的某些生理生化特性，如糖类发酵、V. P 反应、吲哚产生、硝酸盐还原等。此外，进行土壤微生物区系分析时，也常应用液体培养基进行稀释培养计数，以反映各生理类群的数量关系。

2）固体培养基是指外观呈固体状态的培养基，根据固体的性质，又可分为凝固培养基和天然固体培养基，如在液体培养基中加入质量分数为 1% ~2% 的琼脂或 5% ~12% 的明胶作为凝固剂，就可以制成加热可熔化、冷却后则凝固的固体培养基，此即凝固培养基。微生物培养时常用的凝固培养基有琼脂（agar 冻粉、洋菜）、明胶、硅酸钠等，其中琼脂是应用最广的凝固剂，是由海洋红藻中的石花

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

菜、须状石花菜等加工制成的，其主要成分为多糖类物质，其化学性质较稳定，一般微生物不能分解利用。琼脂制成的固体培养基理化性能稳定，且在一般微生物的培养温度范围内（25～37℃）不会熔化而保持良好的固体状态。此外，琼脂溶于水，冷凝后，形成透明的胶冻，在用琼脂制成的固体培养基上培养微生物，便于观察和识别微生物菌落的形态。在微生物实验中，琼脂培养基正广泛应用于微生物的分离、纯化、培养、保存、鉴定等工作。在实验室中，琼脂的使用量一般可控制在1.5%～2.0%。

此外，明胶也可作为凝固剂，但其化学成分是动物蛋白质，一般在25℃以上即熔化，20℃以下凝固，因此难以作为常用的凝固剂。由于有的微生物能够分解利用明胶而使之液化，所以以明胶制成的固体培养基多用于穿刺培养，用以观察不同微生物对明胶液化的能力。

3）半固体培养基是在凝固性固体培养基中，如凝固剂含量低于正常量，培养基呈现出在容器倒放时不致流动，但在剧烈振荡后，则能破散的状态，这种固体培养基称为半固体培养基。它一般加质量分数为0.5%的琼脂作为凝固剂，半固体培养基在微生物试验中有许多独特的用途，如细菌运动性的观察（在半固体琼脂柱中央进行细菌的穿刺接种，观察细菌的运动能力）、噬菌体效价测定（双层平板法）、微生物趋化性的研究、各种厌氧菌的培养以及菌种保藏等。

（3）按照培养基的功能和用途，可将其分为基础培养基、加富培养基、选择培养基、鉴别培养基等。

1）基础培养基是指代谢类型相似的微生物所需要的营养比较接近的培养基，如牛肉膏蛋白胨琼脂培养基，其中含有多数有机营养型细菌所需的营养成分，是适用于培养细菌的基础培养基。同样，马铃薯葡萄糖琼脂培养基和麦芽汁琼脂培养基可作为酵母和霉菌的基础培养基。

2）加富培养基也称增殖培养基，此类培养基是在培养基中加入有利于某种或某类微生物生长繁殖所需的营养物质，使这类微生物增殖速度快于其他微生物，从而使这类微生物在混有多种微生物的培养条件下占有生长优势。培养基中加富的营养物质通常是被加富的对象专门需求的碳源和氮源，如加富石油分解菌时用石腊油，加富固氮菌时加甘露醇。自然界中数量较少的微生物，经过有意识的加富培养后再进行分离，就增多了分离到这种微生物的机会。

3）选择培养基是在一定的培养基中加入某种物质或除去某些营养物质以阻抑其他微生物的生长，从而有利于某一类群或某一目标微生物的生长，有时也可在培养基中加入某些药剂（如染料、有机酸、抗生素等）以抑制某些微生物的生长，而造成有利于特定微生物种类优先生长的条件。

用于抑制它种微生物的选择性抑制剂有染料（如结晶紫等）、抗生素和脱氧胆酸钠等，有利于选择培养的理化因素有温度、氧气、pH值或渗透压等。

4）鉴别培养基主要用来检查微生物的某些代谢特性，一般是在基础培养基中加入能与某一微生物的无色代谢产物发生显色反应的指示剂，从而能使该菌菌落容易与外形

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

相似的它种菌落区分开来。常见的鉴别性培养基是伊红美蓝乳糖培养基，即 EMB（eosin methylene blue）培养基，它在饮用水、牛乳的大肠杆菌等细菌学检验以及遗传学研究上有着重要的用途。

三、培养基的配制方法

配制培养基的流程如下：

原料称量→溶解→(加琼脂熔化)→调节 pH 值→分装→塞棉塞和包扎→灭菌。

1. 原料称量、溶解　根据培养基配方，准确称取各种原料成分，在容器中加所需水量的一半，然后依次将各种原料加入水中，用玻璃棒搅拌使之溶解，某些不易溶解的原料如蛋白胨、牛肉膏等可事先在小容器中加少些水，加热溶解后再加入容器中。有些原料需用量很少，不易称量，可先配成高浓度的溶液按比例换算后再冲入容器中，待原料全部放入容器后，加热使其充分溶解，并补足需要的全部水分，即生成液体培养基。

配制固体培养基时，预先将琼脂称好洗净（粉状琼脂可直接加入，条状琼脂用剪刀剪成小段，以便熔化），然后将液体培养基煮沸，再把琼脂放入，继续加热至琼脂完全熔化。在加热过程中应注意不断搅拌，以防琼脂沉淀在锅底烧焦，并应控制火力，以免培养基因暴沸而溢出容器。待琼脂完全熔化后，再用热水补足因蒸发而损失的水分。

2. 调节 pH 值　液体培养基配好后，一般要调节至所需的 pH 值，常用盐酸及氢氧化钠溶液进行调节，调节培养基酸碱度最简单的方法是用精密 pH 试纸进行测定，用玻璃棒醮少许培养基，点在试纸上进行对比。如 pH 值偏酸，则加 30g/L 氢氧化钠溶液，偏碱则加 30g/L 盐酸溶液。经反复几次调节至所需的 pH 值，要准确地调节培养基 pH 值，可用酸度计进行。

固体培养基酸碱度的调节与液体培养基相同，一般在加入琼脂后进行。进行调节时，应注意将培养基温度保持在 80℃以上，以防因琼脂凝固影响调节操作。

3. 分装　培养基配好后，要根据不同的使用目的，分装到各种不同的容器中。不同用途的培养基，其分装量应视具体情况而定，要做到适量、实用，分装过多、过少或使用容器不当，都会影响随后的工作。培养基是多种营养物质的混合物，大都具有黏性，在分装过程中，应注意不使培养基沾污管口和瓶口，以免污染棉塞，造成杂菌生长。

分装培养基通常使用大漏斗（小容量分装），两种分装装置的下口都连有一段橡皮软管，橡皮管下面再连一小段末端开口处略细的玻璃管，在橡皮管上夹一个弹簧夹，分装时将玻璃管插入试管内，不要触及管壁，松开弹簧夹，注入定量培养基，然后夹紧弹簧夹，止住液体，再抽出试管，仍不要触及管壁或管口。培养基分装如图 17-1 所示。

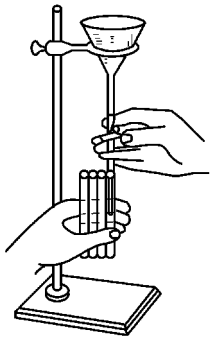


图 17-1　培养基分装

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 塞棉塞和包扎　培养基分装到各种规格的容器（试管、三角瓶、克氏瓶等）后，应按管口或瓶口的不同大小分别塞以大小适度、松紧适合的棉塞，棉塞的塞法如图17-2所示。

棉塞的作用主要在于阻止外界微生物进入培养基内，防止由此而可能导致的污染，同时还可保证良好的通气性能，使微生物能不断地获得无菌空气。塞棉塞后，试管培养基可若干支扎成一捆，或排放在铁丝筐内。由于棉塞外面容易附着灰尘及杂菌，且灭菌时容易凝结水气，因此，在灭菌前和存放过程中，应用牛皮纸或旧报纸将管口、瓶口或试管筐包起来。

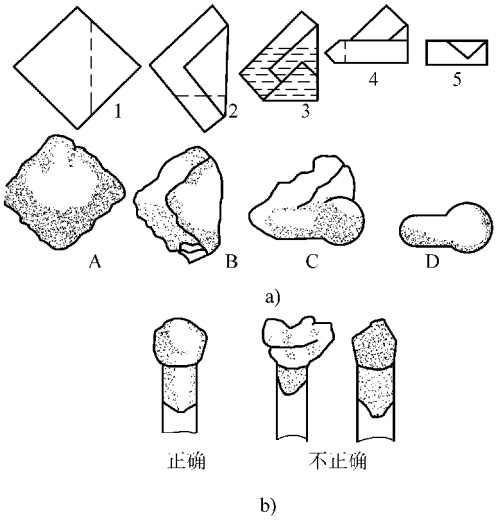


图17-2　棉塞的塞法

现配现用的培养基和试管无菌水，可使用硅胶橡胶塞或聚丙烯塑料试管帽，培养基制备完毕后，应立即进行高压蒸汽灭菌，如延误时间，会因杂菌繁殖生长，导致培养基变质，而不能使用。若不能立即灭菌，可将培养基暂放于4℃冰箱或冰柜中，但时间也不宜过久。

灭菌后，需做斜面的试管，应趁热及时摆放斜面，斜面摆放法如图17-3所示。

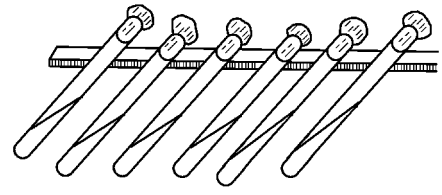


图17-3　斜面摆放法

斜面的斜度要适当，使斜面的长度不超过试管长度的二分之一，摆放时，注意不可使培养基沾污棉塞，冷凝过程中勿再移动试管，待斜面完全凝固后，再进行收存。灭菌后的培养基，最好置于28℃保温检查，如发现有杂菌生长，应及时再次灭菌，以保证使用前的培养基处于绝对无菌状态。

培养基一次不宜配制过多，最好是现配现用，因工作需要或一时用不掉的培养基应放在低温、干燥、避光而洁净的地方保存，试管斜面培养基，因灭菌时棉塞受潮，容易引起棉塞和培养基污染，因此新配制的琼脂斜面最好在恒温室放置一段时间，等棉塞上的冷凝水蒸发后再储存备用，装于三角瓶或其他容器的培养基，灭菌前最好用牛皮纸包扎瓶口，以防灰尘落于棉塞或瓶口而引起污染，在存放过程中，不要取下包头纸，以减少水分蒸发。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三节 微生物接种技术

微生物接种技术是进行微生物实验和相关研究的基本操作技能，无菌操作是微生物接种技术的关键。由于培养基种类及实验器皿等不同，所以接种方法不尽相同，斜面接种、液体接种、固体接种和穿刺接种操作均以获得生长良好的纯种微生物为目的，因此，接种必须在一个无杂菌污染的环境中进行严格的无菌操作。由于接种方法不同，采用的接种工具也有区别，如固体斜面培养体转接时用接种环，穿刺接种时用接种针，液体转接用移液管等。

一、接种前的准备工作

1. 无菌室的准备 在微生物实验中，一般小规模的接种操作，使用无菌接种箱或超净工作台；工作量大时，使用无菌室接种；要求严格时，在无菌室内再结合使用超净工作台。

（1）无菌室的里外两间，均应安装日光灯和紫外线灯，紫外线灯常用规格为30W，吊装在经常工作位置的上方，距地高度为2.0～2.2m。

（2）缓冲间内应安排工作台，供放置工作服、鞋、帽、口罩、消毒用药物、手持式喷雾器等，并备有废物桶等。

（3）无菌室内应备有接种用的常用器具，如酒精灯、接种环、接种针、不锈钢刀、剪刀、镊子、酒精棉球瓶、记号笔等。

2. 无菌室的灭菌

（1）熏蒸。先将室内打扫干净，打开进气孔和排气窗通风干燥后重新关闭，进行熏蒸灭菌，常用的灭菌药剂为福尔马林［含37%～40%（质量分数）甲醛的水溶液］，按2～6mL/m^3 的标准计算用量，盛于铁制容器中，利用电炉或酒精灯直接加热，或加半量高锰酸钾，通过氧化作用加热，使福尔马林蒸发，熏蒸后应保持密闭12h以上。由于甲醛气体具有较强的刺激作用，所以在使用无菌室前1～2h在一搪瓷盘内加入与所用甲醛溶液等量的氨水，放入无菌室，使其挥发中和甲醛，以减轻刺激作用。除甲醛外，也可用乳酸、硫磺等进行熏蒸灭菌。

（2）紫外线灯照射。在每次工作前后，均应打开紫外线灯，分别照射30min进行灭菌。在无菌室内工作时，切记要关闭紫外线灯。

（3）石炭酸溶液喷雾。每次临操作前，用手持喷雾器喷质量分数为5%的石炭酸溶液，主要喷于台面和地面，兼有灭菌和防止微尘飞扬的作用。

3. 无菌室空气污染情况的检验 为了检验无菌室灭菌的效果，以及在操作过程中空气污染的程度，需要定期在无菌室内进行空气中杂菌的检验，一般可在两个时间进行：一是在灭菌后使用前，一是在操作完毕后。

取牛肉膏蛋白胨琼脂和马铃薯糖琼脂两种培养基的平板各3个，在无菌室使用前（或使用后）揭开，放置在台面上，半小时后重新盖好；另有一份不打开的作对照，一并放在30℃下培养，48h后检验有无杂菌生长以及杂菌数量的多少，根据检验结果确定

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

应采取的措施。

二、接种工具的准备

（1）接种环。最常用的接种或移植工具为接种环，接种环是将一段铂金丝安装在防锈的金属杆上制成的，市售商品多以镍铬丝（或细电炉丝）作为铂丝的代用品，也可以用粗塑胶铜芯电线加镍铬丝自制，简便适用。

接种环供挑取菌苔或液体培养物接种用，环前端要求圆而闭合，否则液体不会在环内形成菌膜。根据不同用途，接种环的顶端可以改换为其他形式，如接种针等，接种环和接种针如图 17-4 所示。

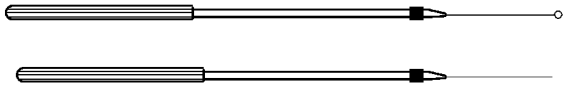


图 17-4　接种环和接种针

（2）玻璃刮铲。玻璃刮铲是用稀释平板涂抹法进行菌种分离或微生物计数时常用的工具，将定量（一般为 0.1mL）菌悬液置于平板表面涂布均匀的操作过程，需要用玻璃刮铲完成，用一段长约 30cm、直径为 5～6mm 的玻璃棒，在喷灯火焰上把一端弯成“了”形或“▽”形，并使柄与“▽”端的平面呈 30°左右的角度，玻璃刮铲如图 17-5 所示。

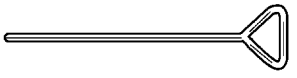


图 17-5　玻璃刮铲

玻璃刮铲接触平板的一侧要求平直光滑，使之既能进行均匀涂布，又不会刮伤平板的琼脂表面。

（3）移液管吸管。无菌操作接种用的移液管常为 1mL 或 10mL 刻度吸管，吸管在使用前应进行包裹灭菌，吸管的包裹如图 17-6 所示。

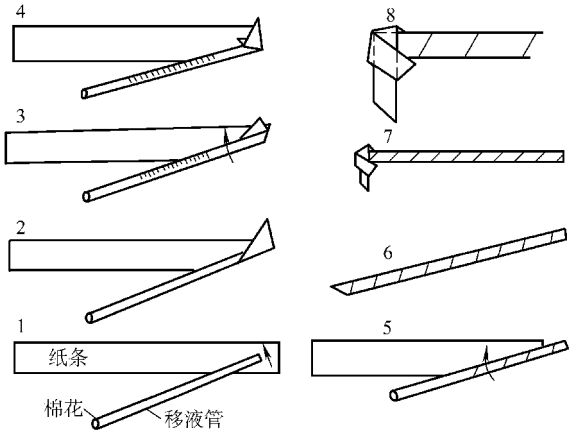


图 17-6　吸管的包裹

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三、接种方法

1. 斜面接种技术　斜面接种是从已生长好的菌种斜面上挑取少量菌种移植至另一支新鲜斜面培养基上的一种接种方法，具体操作如下：

（1）贴标签。接种前在试管上贴上标签，注明菌名、接种日期、接种人姓名等，贴在距试管口约 2 ~ 3cm 的位置（若用记号笔标记则不需标签）。

（2）点燃酒精灯。

（3）接种。用接种环将少许菌种移接到贴好标签的试管斜面上，操作必须按无菌操作法进行，简述如下：

1）手持试管。将菌种和待接斜面的两支试管用大拇指和其他四指握在手中，使中指位于两试管之间部位，斜面面向操作者，并使它们位于水平位置，菌种管和待接试管在左手中的拿法如图 17-7 所示。

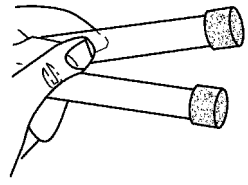


图 17-7　菌种管和待接试管在左手中的拿法

2）旋动管塞。先用右手松动棉塞或塑料管盖，以便接种时拔出。

3）取接种环。右手拿接种环（像握钢笔一样），在火焰上将环端灼烧灭菌，然后将有可能伸入试管的其余部分均灼烧灭菌，重复此操作，再灼烧一次。

4）拔管塞。用右手的无名指、小指和手掌边先后取下菌种管和待接试管的管塞，然后让试管口缓缓过火灭菌（切勿烧得过烫），如图 17-8a 所示。

5）接种环冷却。将灼烧过的接种环伸入菌种管，先使环接触没有长菌的培养基部分使其冷却。

6）取菌。待接种环冷却后，轻轻蘸取少量菌体或孢子，然后将接种环移出菌种管，注意不要使接种环碰到管壁，取出后不可使带菌接种环通过火焰，如图 17-8b 所示。

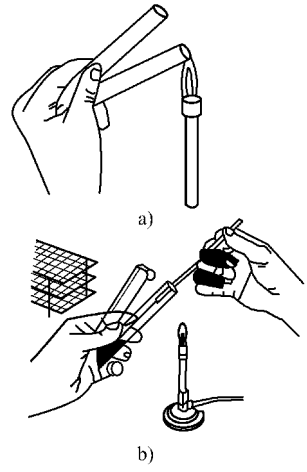


图 17-8　试管拔塞后过火灭菌和取菌

7）接种。在火焰旁迅速将沾有菌种的接种环伸入另一支待接斜面试管，从斜面培养基的底部向上作“Z”形来回密集划线，切勿划破培养基，有时也可用接种针仅在斜面培养基的中央拉一条直线作斜面接种，直接接种可观察不同菌种的生长特点，如图 17-9 所示。

8）塞管塞。取出接种环，灼烧试管口，并在火焰旁将管塞旋上。塞棉塞时，不要用试管去迎棉塞，以免试管在移动时纳入不洁空气。

9）将接种环灼烧灭菌，放下接种环，再将棉花塞旋紧。

2. 液体接种技术

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）用斜面菌种接种液体培养基时，有下面两种情况：

1）如接种量小，可用接种环取少量菌体移入培养基容器（试管或三角瓶等）中，将接种环在液体表面振荡或在器壁上轻轻摩擦把菌苔散开，抽出接种环，塞好棉塞，再将液体摇动，菌体即均匀分布在液体中。

2）如接种量大，可先在斜面菌种管中注入定量无菌水，用接种环把菌苔刮下研开，再把菌悬液倒入液体培养基中，倒前需将试管口在火焰上灭菌。

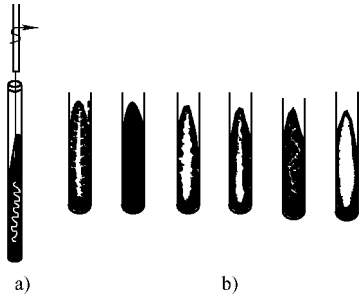


图 17-9　接种

a）斜面划线法　b）和不同细菌直线接种长出的菌苔形态

（2）用液体培养物接种液体培养基时，可根据具体情况采用以下不同的方法：用无菌的吸管或移液管吸取菌种接种，直接把液体培养物移入液体培养基中接种，利用高压无菌空气，通过特制的移液装置，把液体培养物注入液体培养基中接种；利用压力差将液体培养物接入液体培养基中接种。

3. 固体接种技术　固体接种最普遍的形式是接种固体曲料，因所用菌种或种子菌来源不同，可分为以下两种：

（1）用菌液接种固体料。包括用菌苔制成的悬液和直接培养的种子发酵液，接种时可按无菌操作法将菌液直接倒入固体料中，搅拌均匀，注意接种所用的菌液量要计算在固体料总加水量之内，否则往往在用液体种子菌接种后曲料含水量加大，影响培养效果。

（2）用固体种子接种固体料。包括用孢子粉、菌丝孢子混合种子菌或其他固体培养的种子菌，直接把接种材料混入灭菌的固体料，接种后必须充分搅拌，使之混合均匀，一般先把种子菌和少部分固体料混匀后再拌大堆料。

4. 穿刺接种技术　穿刺接种技术是一种用接种针从菌种斜面上挑取少量菌体，并把它穿刺到固体或半固体的深层培养基中的接种方法。经穿刺接种后的菌种常作为保藏菌种的一种形式，同时也是检查细菌运动能力的一种方法，它只适宜于细菌和酵母的接种培养，具体操作如下：

（1）贴标签。

（2）点燃酒精灯。

（3）穿刺接种，方法如下：

1）手持试管，旋松棉塞。

2）右手拿接种针在火焰上将针端灼烧灭菌，接着把在穿刺中可能伸入试管的其他部位也灼烧灭菌。

3）用右手的小拇指和手掌边拔出棉塞，接种针先在培养基部分冷却，再用接种针的针尖蘸取少量菌种。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4）接种有两种手持操作法：一种是水平法，它类似于斜面接种法；另一种是垂直法，如图 17-10 所示。

尽管穿刺时手持方法不同，但穿刺时所用的接种针都必须挺直，将接种针自培养基中心垂直地刺入培养基中，穿刺时要做到手稳、动作轻巧快速，并且要将接种针穿刺到接近试管的底部，然后沿着接种针将针拔出，最后塞上棉塞，再将接种针上残留的菌在火焰上烧掉。

（4）将接种过的试管直立于试管架上，放在 37℃或 28℃恒温箱中培养，24h 后观察结果（注意：若是具有运动能力的细菌，它能沿着接种线向外运动而弥散，故形成的穿刺线较粗而散，反之则细而密）。

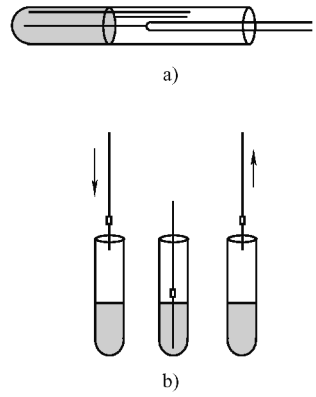


图 17-10　垂直法穿刺接种

第四节　微生物基础试验

一、细菌染色

生化池中的微生物有细菌、霉菌、酵母菌、放线菌、原生动物、后生动物等，微生物的机体，尤其是细菌是无色透明的。在显微镜下微生物体与其背景反差小，不易看清微生物的形态和结构，若增加反差，微生物的形态就可看得清楚。通常用染料将菌体染上颜色以增加反差，便于观察。微生物细胞是由蛋白质、核酸等两性电解质及其他化合物组成的，细菌等电点的 pH 值在 2～5 之间，在中性（pH 值等于 7）、碱性（pH 值大于 7）或偏酸性（pH 值为 6～7）的溶液中，细菌的等电点均低于上述溶液的 pH 值，所以细菌带负电荷，容易与带正电荷的碱性染料结合，故多用碱性染料染色。碱性染料有美蓝、甲基紫、结晶紫、龙胆紫、碱性品红、中性红、孔雀绿和番红等。

革兰氏染色法是细菌学中很重要的一种鉴别染色法，它可以将细菌区别为革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌两大类。

（一）革兰氏染色

1. 原理　细菌细胞经草酸铵结晶紫染及碘液媒染后，在细菌壁及细胞膜上结合了不溶于水的结晶紫-碘的大分子复合物。革兰氏阳性菌的细胞壁较厚，肽聚糖含量高，分子交联度紧密，故用酒精脱色时，肽聚糖网孔会因脱水而收缩，将结晶紫-碘的复合物阻留在细胞壁上而使细胞呈蓝色，复染亦不上色。革兰氏阴性菌的细胞壁较薄，肽聚糖含量低且结构松散，与酒精反应后肽聚糖不易收缩，同时其脂类含量多且位于外层，酒精易将细胞壁溶出较大的空洞或缝隙，结晶紫-碘的复合物易被溶出细胞壁，脱去初染颜色，从而被沙黄复染液染成红色。

2. 仪器及材料

（1）显微镜、接种环、载波片、酒精灯、擦镜纸、吸水纸。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）草酸铵结晶紫染色液、碘液、质量分数为95%的酒精、沙黄复染液。

（3）菌种　大肠杆菌、枯草杆菌。

3. 步骤

（1）细菌的单染色步骤。标片的制作应执行无菌操作，接种环取菌前应进行灭菌，接种环的灭菌如图17-11所示。

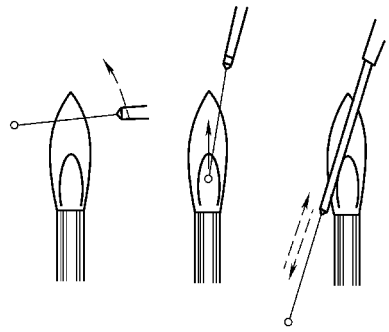


图17-11　接种环的灭菌

标片的制作及细菌染色操作过程如图17-12所示。

1）涂片。取干净的载玻片于实验台上，在正面边角作个记号，按无菌操作的方法取一小滴菌液于载玻片中央（如菌种在固体培养基上，则滴一滴无菌蒸馏水于载玻片的中央，从斜面挑取少量菌种与载玻片上的水滴混匀），在载玻片上涂布成一均匀的薄层，涂布面积不宜过大。

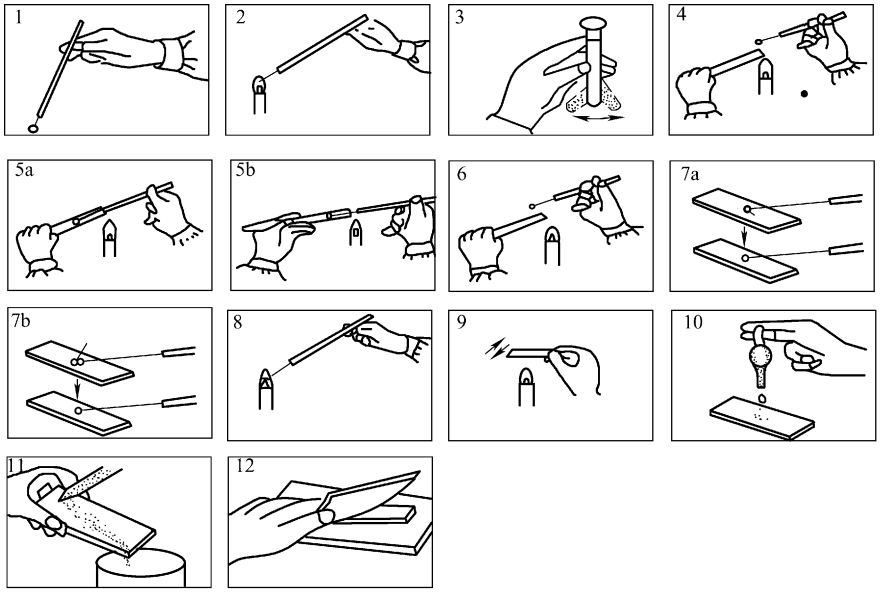


图17-12　标片的制作及细菌染色操作过程

2）干燥。最好在空气中自然晾干，为了加速干燥，可在微小火焰上方烘干，但不宜在高温下长时间烤干，否则急速失水会使菌体变形。

3）固定。将已干燥的涂片正面向上，在微小的火焰上通过2~3次，以载玻片与手接触感到稍微烫手即可，由于加热使蛋白质凝固而固着在载玻片上不易脱落，同时固定也可使标本容易着色。

4）染色。在载玻片上滴加染色液（石碳酸复红、草酸铵结晶紫或美蓝任选一种），使染液铺盖涂有细菌的部位作用约1min。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

5）水洗。倾去染液，斜置载玻片，在自来水龙头下或用洗瓶小股水流冲洗，避免直接冲在涂面上，直至流下的水呈无色为止。

6）吸干。将载玻片倾斜，用吸水纸吸去涂片边缘的水珠，注意勿将细菌擦掉。

7）镜检。用显微镜观察，并用铅笔绘出细菌形态图。

（2）细菌的革兰氏染色步骤

1）取两种菌种，均以无菌操作，分别做涂片、干燥、固定。方法均与简单染色的相同。

2）用草酸铵结晶紫染液染 1min，水洗。

3）加革氏碘液媒染 1min，水洗。

4）斜置载玻片于一烧杯之上，滴加质量分数为 95% 的乙醇脱色，至流出的乙醇不现紫色即可，随即水洗。为了节约乙醇，可将乙醇滴在涂片上静置 30 ~ 45s，水洗。

5）用沙黄复染液复染 1min，水洗。

6）用吸水纸吸掉水滴，置标本片于显微镜下，先用低倍镜观察，发现目的物后用高倍镜观察，注意细菌细胞的颜色，绘出细菌的形态图并说明革兰氏染色的结果。

细菌的革兰氏染色操作步骤如图 17-13 所示。

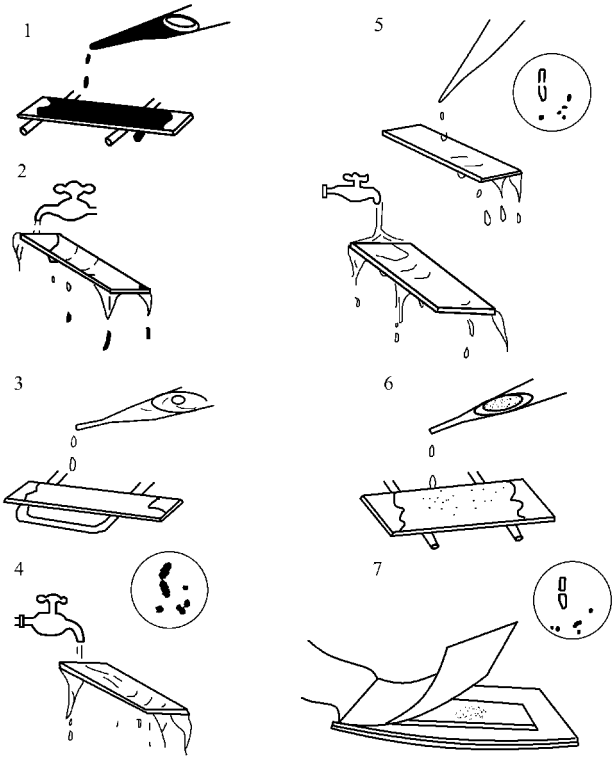


图 17-13　革兰氏染色操作步骤

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

染色关键：染色过程中必须严格掌握乙醇脱色程度，如果脱色过度，则阳性菌被误染为阴性菌；若脱色不够，则阴性菌被误染为阳性菌。

4. 结果记录　革兰氏染色结果记录表如表17-1所示。

表17-1　革兰氏染色结果记录表

菌种名称	形态图绘制	革兰氏染色后颜色	阴性或阳性	备注

（二）细菌的荚膜染色

1. 原理　由于荚膜与染料间的亲和力弱，不易着色，通常采用负染色法染荚膜，即设法使菌体和背景着色而荚膜不着色，从而使荚膜在菌体周围呈一透明圈。由于荚膜的含水量在90%以上，故染色时一般不加热固定，以免荚膜皱缩变形。

2. 器材

（1）活材料：培养3～5天的胶质芽孢杆菌（俗称“钾细菌”）。该菌在甘露醇作碳源的培养基上生长时，产生丰厚的荚膜。

（2）染色液和试剂法染色液、用滤纸过滤后的绘图墨水、复红染色液、黑素、质量分数为6%的葡萄糖水溶液、质量分数为1%的甲基紫水溶液、甲醇、质量分数为20%的$CuSO_4$水溶液、香柏油、二甲苯。

（3）器材：载玻片、玻片搁架、擦镜纸、显微镜等。

3. 方法　推荐以下四种染色法，其中湿墨水方法较简便，并且适用于各种有荚膜的细菌，如用相差显微镜观察则效果更佳。

（1）负染色法

1）制片。取洁净的载玻片一块，加蒸馏水一滴，取少量菌体放入水滴中混匀并涂布。

2）干燥。将涂片放在空气中晾干或用电吹风吹干。

3）染色。在涂面上加复红染色液染色2～3min。

4）水洗。用水洗去复红染液。

5）干燥。将染色片放在空气中晾干或用电吹风吹干。

6）涂黑素。在染色涂面左边加一小滴黑素，用一边缘光滑的载玻片轻轻接触色素，使黑素沿玻片边缘散开，然后向右拖展，使黑素在染色涂面上成为一薄层，并迅速风干。

7）镜检。先用低倍镜，再用高倍镜观察。

结果：背景为灰色，菌体为红色，荚膜无色透明。

（2）湿墨水法

1）制菌液。加1滴墨水于洁净的载玻片上，挑少量菌体与其充分混合均匀。

2）加盖玻片。放一清洁盖玻片于混合液上，然后在盖玻片上放一张滤纸，向下轻

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

压，吸去多余的菌液。

3）镜检。先用低倍镜，再用高倍镜观察。

结果：背景为灰色，菌体较暗，在其周围呈现一明亮的透明圈即为荚膜。

（3）干墨水法

1）制菌液。加1滴质量分数为6%的葡萄糖液于洁净载玻片一端，挑少量胶质芽孢杆菌与其充分混合，再加1环墨水，充分混匀。

2）制片。左手执玻片，右手另拿一边缘光滑的载玻片，将载玻片的一边与菌液接触，使菌液沿玻片接触处散开，然后以30°角迅速而均匀地将菌液拉向玻片的一端，使菌液铺成一薄膜。

3）干燥。在空气中自然干燥。

4）固定。用甲醇浸没涂片，固定1min后立即倾去甲醇。

5）干燥。在酒精灯上方，用文火干燥。

6）染色。用甲基紫染1～2min。

7）水洗。用自来水轻洗，自然干燥。

8）镜检。先用低倍镜，再用高倍镜观察。

结果：背景为灰色，菌体为紫色，荚膜呈一清晰透明圈。

（4）Tyler法

1）涂片。按常规法涂片，可多挑些菌体与水充分混合，并将黏稠的菌液尽量涂开，但涂布的面积不宜过大。

2）干燥。在空气中自然干燥。

3）染色。用Tyler法染色液染5～7min。

4）脱色。用质量分数为20%的$CuSO_4$水溶液洗去结晶紫，脱色要适度（冲洗2遍），用吸水纸吸干，并立即加1～2滴香柏油于涂片处，以防止$CuSO_4$结晶的形成。

5）镜检。先用低倍镜，再用高倍镜观察，观察完毕后注意用二甲苯擦去镜头上的香柏油。

结果：背景为蓝紫色，菌体为紫色，荚膜无色或为浅紫色。

4. 结果　绘出胶质芽孢杆菌的形态图，并注明各部位的名称。

5. 注意事项

（1）加盖玻片时不可有气泡，否则会影响观察。

（2）应用干墨水法时，涂片要放在火焰较高处用文火干燥，不可使载玻片发热。

（3）在采用Tyler法染色时，标本经染色后不可用水洗，必须用质量分数为20%的$CuSO_4$冲洗。

（三）细菌的芽孢染色

1. 原理　细菌的芽孢具有厚而致密的壁，透性低，不易着色，若用一般染色法只能使菌体着色而芽孢不着色（芽孢呈无色透明状）。芽孢染色法就是根据芽孢难以染色，但一旦染上色后又难以脱色这一特点而设计的，所有芽孢染色法都基于同一个原则：除了用着色力强的染料外，还需要加热，以促进芽孢着色。当染芽孢时，菌体也会

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

着色，然后水洗，芽孢染上的颜色难以渗出，而菌体会脱色。用对比度强的染料对菌体复染，使菌体和芽孢呈现出不同的颜色，因而能更明显地衬托出芽孢，便于观察。

2. 器材

（1）活材料：培养 18～36h 的苏云金芽孢杆菌或者枯草杆菌。

（2）染色液和试剂：质量分数为 5% 的孔雀绿水溶液、质量分数为 0.5% 的番红水溶液。

（3）器材：小试管（75mm × 10mm）、烧杯（300mL）、滴管、载环片搁架、接种环、擦镜纸、镊子、显微镜等。

3. 方法

（1）改良的 Schaeffer 和 Fulton 氏染色法

1）制备菌液。加 1～2 滴无菌水于小试管中，用接种环从斜面上挑取 2～3 环的菌体于试管中并充分混匀，制成浓稠的菌液。

2）加染色液。加质量分数为 5% 的孔雀绿水溶液 2～3 滴于小试管中，用接种环搅拌使染料与菌液充分混合。

3）加热。将此试管浸于沸水浴（烧杯），加热 15～20min。

4）涂片。用接种环从试管底部挑数环菌液于洁净的载玻片上，做成涂片，晾干。

5）固定。将涂片通过酒精灯火焰 3 次。

6）脱色。用水洗直至流出的水中无孔雀绿颜色为止。

7）复染。加番红水溶液染色 5min 后，倾去染色液，不用水洗，直接用吸水纸吸干。

8）镜检。先低倍，再高倍，最后用油镜观察。

结果：芽孢呈绿色，芽孢囊和菌体为红色。

（2）Schaeffer 与 Fulton 氏染色法

1）涂片：按常规方法将待检细菌制成一薄涂片。

2）晾干固定：待涂片晾干后在酒精灯火焰上通过 3 次。

3）染色：加质量分数为 5% 的孔雀绿溶液于涂片处（染料以铺满涂片为度），然后将涂片放在铜板上，用酒精灯火焰加热至染液冒蒸气时开始计算时间，约维持 15～20min，加热过程中要随时交替添加染色液和蒸馏水，切勿让标本干涸（加热时温度不能太高）。

4）水洗：待载波片冷却后，用水轻轻地冲洗，直至流出的水中无染色液为止。

5）复染：用番红水溶液染色 5min。

6）水洗：晾干或吸干。

7）镜检：先低倍，再高倍，最后用油镜观察芽孢和菌体的形态。

结果：芽孢呈绿色，菌体为红色。

4. 实验结果　绘出所用材料的芽孢和菌体的形态图。

5. 注意事项

（1）供芽孢染色用的菌种应控制菌龄，使菌体既有大量芽孢而又未完全脱落。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）用改良法时，若欲得到好的涂片，首先要制备浓稠的菌液，其次是从小试管中取染色的菌液时，应先用接种环充分搅拌，然后再挑取菌液，否则菌体沉于管底，涂片时菌体太少。

（四）细菌的鞭毛染色

1. 原理　细菌的鞭毛极细，直径一般为 10～20nm，只有用电子显微镜才能观察到，但是，如采用特殊的染色法，则在普通光学显微镜下也能看到它。鞭毛染色的方法很多，但其基本原理相同，即在染色前先用媒染剂处理，让它沉积在鞭毛上，使鞭毛直径加粗，然后再进行染色。常用的媒染剂由丹宁酸和氯化高铁或钾明矾等配制而成。

2. 器材

（1）活材料：培养 12～16h 的水稻黄单胞菌、黏质赛氏杆菌或荧光假单细胞菌斜面菌种。

（2）染色液和试剂：A 液为硝酸银染色液，B 液为染色液、香柏油和二甲苯。

（3）器材：载玻片、擦镜纸、吸水纸、记号笔、玻片搁架、镊子、接种环、显微镜。

3. 方法

（1）镀银法染色

1）清洗载玻片。选择光滑无裂痕的载玻片，最好选用新的。为了避免载玻片相互重叠，应将其插在专用的金属架上，然后将载玻片置于洗衣粉过滤液中（洗衣粉煮沸后用滤纸过滤，以除去粗颗粒），煮沸 20min，取出稍冷后用自来水冲洗、晾干，再放入浓洗液中浸泡 5～6 天，使用前取出载玻片，用自来水冲去残液，再用蒸馏水冲洗，将水沥干后，放入质量分数为 95% 的乙醇中脱水。

2）菌液的制备及制片菌龄较老的细菌容易脱落鞭毛，所以在染色前应将待染细菌在新配制的牛肉膏蛋白胨培养基斜面上（培养基表面湿润，斜面基部含有冷凝水）连续移接 3～5 代，以增强细菌的运动力。最后一代菌种放在恒温箱中培养 12～16h，然后用接种环挑取斜面与冷凝水交接处的菌液数环。将挑取的菌液移至盛有 1～2mL 无菌水的试管中，使菌液呈轻度浑浊，将该试管放在 37℃恒温箱中静置 10min（放置时间不宜太长，否则鞭毛会脱落），让幼龄菌的鞭毛松展开，然后吸取少量菌液滴在洁净的载波片一端，立即将载玻片倾斜，使菌液缓慢地流向另一端，用吸水纸吸去多余的菌液。将涂片放在空气中自然干燥。

用于鞭毛染色的菌体也可用半固体培养基培养，方法是将质量分数为 0.3%～0.4% 的琼脂牛肉膏培养基熔化后倒入无菌平皿中，待凝固后在平板中央点接活化了 3～4 代的细菌，恒温培养 12～16h 后，取扩散菌落的边缘制作涂片。

3）染色。操作步骤如下：

①滴加 A 液，染 4～6min。

②用蒸馏水充分洗净 A 液。

③用 B 液冲去残液，再加 B 液于载玻片上，在酒精灯火焰上加热，约维持 0.5～1min（加热时应随时补充蒸发掉的染料，不可使载玻片出现干涸区）。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

④用蒸馏水洗，自然干燥。

4）镜检：先低倍，再高倍，最后用油镜检查。

（2）改良 Leifson 染色法

1）清洗载玻片，方法同前。

2）配制染料：染料配好后要过滤 15～20 次后染色效果才好。

3）菌液的制备及涂片。

①菌液的制备方法同前。

②用记号笔在洁净的载玻片上划分 3～4 个相等的区域。

③放 1 滴菌液于第一个小区的一端，将载玻片倾斜，让菌液流向另一端，并用滤纸吸去多余的菌液。

④干燥：在空气中自然干燥。

4）染色。

①加染色液于第一区，使染料覆盖涂片，隔几分钟后再将染料加入第二区，依此类推（相隔时间可自行决定），其目的是确定最合适的染色时间，而且节约材料。

②水洗：在没有倾去染料的情况下，用蒸馏水轻轻地冲去染料，否则会增加背景的沉淀。

③干燥：自然干燥。

5）镜检：先低倍，再高倍，最后用油镜观察，观察时多找一些视野，不要企图在 1～2 个视野中就能看到细菌的鞭毛。

结果：菌体和鞭毛均被染成红色。

4. 结果　绘出鞭毛菌的形态图。

5. 注意事项

（1）镀银法染色比较容易掌握，但染色液必须每次现配现用，不能存放，比较麻烦。

（2）Leifson 染色法受菌种、菌龄和室温等因素的影响，且染色液需经 15～20 次过滤，要掌握好染色条件，必须经过预备实验。

（3）细菌鞭毛极细，很易脱落，在整个操作过程中必须仔细小心，以防鞭毛脱落。

（4）染色用载玻片干净、无油污是鞭毛染色成功的先决条件。

二、细菌的运动性观察

1. 原理　细菌是否具有鞭毛是细菌分类鉴定的重要特征之一。采用鞭毛染色法虽能观察到鞭毛的形态、着生位置和数目，但此法既费时又麻烦。如果只需查清供试菌是否有鞭毛，可采用悬滴法或水封片法（即压滴法）直接在光学显微镜下检查活细菌是否具有运动能力，以此来判断细菌是否有鞭毛，此法较快速、简便。

悬滴法就是将菌液滴加在洁净的盖玻片中央，在其周边涂上凡士林，然后将它倒盖在有凹槽的载玻片中央，即可放置在普通光学显微镜下观察。水封片是将菌注解滴在普通的载玻片上，然后盖上盖玻片，置于显微镜下观察。

大多数球菌不生鞭毛，杆菌中有的有鞭毛，有的无鞭毛，弧菌和螺菌几乎都有鞭

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

毛。有鞭毛的细菌在幼龄时具有较强的运动性，衰老的细胞鞭毛易脱落，故观察时宜选用幼龄菌体。

2. 器材

（1）活材料：培养 12～16h 的枯草杆菌、金黄色葡萄球菌和荧光假单胞菌。

（2）试剂：香柏油、二甲苯、凡士林等。

（3）器材：凹载玻片、盖玻片、镊子、接种环、滴管、擦镜纸、显微镜。

3. 方法

（1）制备菌液：在幼龄菌斜面上，滴加 3～4mL 无菌水，制成轻度浑浊的菌悬液。

（2）涂凡士林：取洁净无油的盖玻片 1 块，在其四周涂少量的凡士林。

（3）滴加菌液：加 1 滴菌液于盖玻片的中央，并用记号笔在菌液的边缘做一记号，以便在显微镜中观察时，易于寻找菌液的位置。

（4）盖凹载玻片：将凹载玻片的凹槽对准盖玻片中央的菌液，并轻轻地盖在盖玻片上，使两者粘在一起，然后翻转凹波片，使用权菌液正好悬在凹槽的中央，再用铅笔或火柴棒轻压盖玻片，使凹载玻片四周边缘闭合，以防菌液干燥，细菌悬滴制片法如图 17-14 所示。

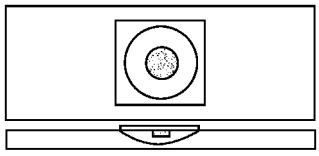


图 17-14　细菌悬滴制片法

若制水浸片，则在凹载玻片上滴加一滴菌液，盖上盖玻片后即可置于显微镜下观察。

（5）镜检：先用低倍镜找到标记，再稍微移动凹载玻片即可找到菌滴的边缘，然后将菌液移到视野中央换高倍镜观察。由于菌体是透明的，镜检时可适当缩小光圈或降低聚光器以增大反差，以便于观察。镜检时要仔细辨别是细菌的运动还是分子运动（即布朗运动），前者在视野下可见细菌自一处游动至它处，而后者仅在原地左右摆动。细菌的运动速度根据菌种不同而异，应仔细观察。

结果：有鞭毛的枯草杆菌和假单胞菌可看到活跃的运动，而无鞭毛的金黄色葡萄球菌不运动。

4. 实验结果　绘出所看到的细菌的形态图，并用箭头表示其运动方向。

5. 注意事项

（1）检查细菌运动的载玻片和盖玻片都要洁净无油，否则将影响细菌的运动。

（2）制水浸片时菌液不可加得太多，过多的菌液会在盖玻片下流动，在视野内只见大量的细菌朝一个方向运动，从而影响对细菌正常运动的观察。

（3）若使用油镜观察，应在盖玻片上加一滴香柏油。

三、微生物细胞大小的测定

1. 实验原理　微生物细胞的大小是微生物重要的形态特征之一，由于菌体微小，只能在显微镜下测量，用于测量微生物细胞大小的工具有目镜测微尺和镜台测微尺。

目镜测微尺是一块圆形玻片，在载玻片中央把 5mm 长度刻成 50 等份，或把 10mm 长度刻成 100 等份。目镜测微尺如图 17-15 所示。

测量时，将目镜测微尺放在目镜中的隔板上（此处正好与物镜放大的中间物像重

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

叠）用于测量经显微镜放大后的细胞物像。由于不同目镜、物镜组合的放大倍数不相同，目镜测微尺每格实际表示的长度也不一样，因此，用目镜测微尺测量微生物大小时需先用置于镜台上的镜台测微尺校正，以求出在一定放大倍数下，目镜测微尺每小格所代表的相对长度。

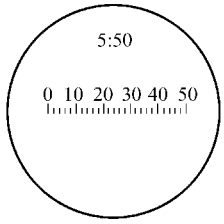


图 17-15　目镜测微尺

镜台测微尺如图 17-16 所示，中央部分是刻有精确等分线的专用载玻片，一般将 1mm 等分为 100 格，每格长 10μm（即 0.01mm），是专门用来校正目镜测微尺的。校正时，将镜台测微尺放在载物台上，由于镜台测微尺与细胞标本处于同一位置，都要经过物镜和目镜的两次放大成像进入视野，即镜台测微尺随着显微镜总放大倍数的放大而放大，因此从镜台测微尺上得到的读数就是细胞的真实大小，所以用镜台测微尺的已知长度在一定放大倍数下校正目镜测微尺，即可求出目镜测微尺每格所代表的实际长度，然后移去镜台测微尺，换上待测标本片，用校正好的目镜测微尺在同样的放大倍数下测量微生物细胞大小。

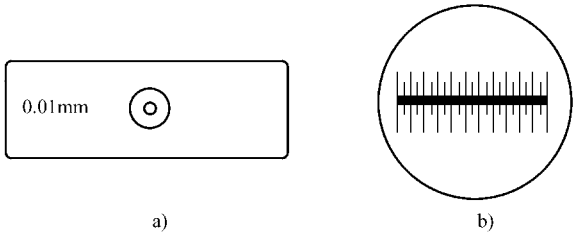


图 17-16　镜台测微尺

a）镜台测微尺外观　b）放大的尺寸

2. 器材

（1）活材料：酿酒酵母斜面菌种，枯草杆菌染色标本片。

（2）器材：显微镜、目镜测微尺、镜台测微尺、盖玻片、载玻片、滴管、双层瓶、擦镜纸。

3. 方法

（1）目镜测微尺的校正。把目镜的上透镜旋下，将目镜测微尺的刻度朝下轻轻地装入目镜的隔板上，把镜台测微尺置于载物台上，刻度朝上。先用低倍镜观察，对准焦距，视野中看清镜台测微尺的刻度后，转动目镜，使目镜测微尺与镜台测微尺的刻度平行，移动推动器，使两尺重叠，再使两尺的“0”刻度完全重合。定位后，仔细寻找两尺第二个完全重合的刻度，计录两重合刻度之间目镜测微尺的格数和镜台测微尺的格数。因为镜台测微尺的刻度每格长 10μm，所以由下列公式可以算出目镜测微尺每格所代表的实际长度：

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$$\text{目镜测微尺每格长度（}\mu\text{m）} = \frac{\text{两重合线间镜台测微尺的格数} \times 10}{\text{两重合线间目镜测微尺的格数}}$$

例如，目镜测微尺 5 小格正好与镜台测微尺 5 小格重叠，已知镜台测微尺每小格为 10μm。则目镜测微尺上每小格长度为 $=5\times10\mu m/5=10\mu m$。

用同样的方法分别校正在高倍数下油镜中目镜测微尺每小格所代表的长度。

由于不同显微镜及附件的放大倍数不同，因此校正目镜测微尺必须针对特定的显微镜和附件（特定的物镜、目镜、镜微长度）进行，而且只能在该显微镜上重复使用，当更换不同显微镜目镜或物镜时，必须重新校正目镜测微尺每一格所代表的长度。

（2）细胞大小的测定

1）将酵母菌斜面制成一定浓度的菌悬液。

2）取一滴酵母菌菌悬液制成水浸片。

3）移去镜台测微尺，换上酵母菌水浸片，先在低倍镜下找到目的物，然后在高倍镜下用目镜测微尺来测量酵母菌菌体的长、宽各占几格（不足一格的部分估计到小数点后一位数）。测出的格数乘以目镜测微尺每格的校正值，即等于该菌的长和宽。一般测量菌体的大小要在同一个标本上测定 5 个菌体，求出平均值，才能代表该菌的大小。待测微生物需用培养至对数生长期的菌体进行测定。

4）采用同样的方法用油镜测定枯草杆菌染色标本的细胞大小。

4. 实验结果　将实验结果填入表 17-2 ~ 表 17-4 中。

表 17-2　目镜测微尺校正结果

物镜	目尺格数	台尺格数	目尺校正值/μm
10 ×			
40 ×			
100 ×			

表 17-3　菌种大小测定记录（球菌）

编号	1	2	3	4	5	平均
直径						

表 17-4　菌种大小测定记录（杆菌）

编号	1	2	3	4	5	平均
长						
宽						

四、微生物细胞的显微直接计数法

1. 原理　测定微生物细胞数量的方法很多，通常采用的是利用显微镜直接测定微

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

生物总细胞数。

直接计数法适用于各种单细胞菌体的纯培养悬浮液，如有杂菌或杂质，则难以直接测定。菌体较大的酵母菌或霉菌孢子可采用血球计数板，一般细菌则采用彼得罗夫·霍泽（Petrof　Hausser）细菌计数板，这两种计数板的原理和部件相同，只是细菌计数板较薄，可以使用油镜观察，而血球计数板较厚，不能使用油镜观察，计数板下部的细菌难以区分。

血球计数板是一块特制的厚型载玻片，载玻片上有4条槽所构成的3个平台。中间的平台较宽，其中间又被一短横槽分隔成两半，每个半边上面各有一个计数区（如图17-17所示），计数区的刻度有两种：一种是计数区分为16个大方格（大方格用三线隔开），而每个大方格又分成25个小方格；另一种是一个计数区分成25个大方格（大方格之间用双线分开），而每个大方格又分成16个小方格（如图17-18所示）。但是不管计数区是哪一种构造，它们都有一个共同的特点，即计数区都由400个小方格组成。

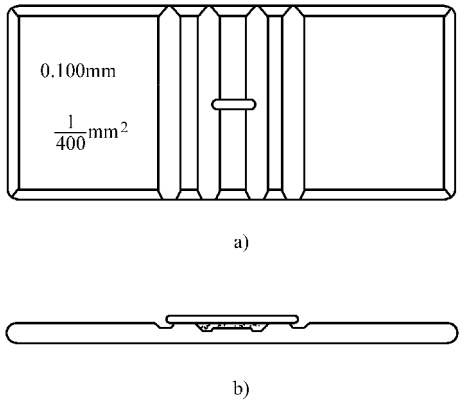


图17-17　血球计数板的构造
a）主视图（中间平台分为两半，各有一个计数区）　b）俯视图

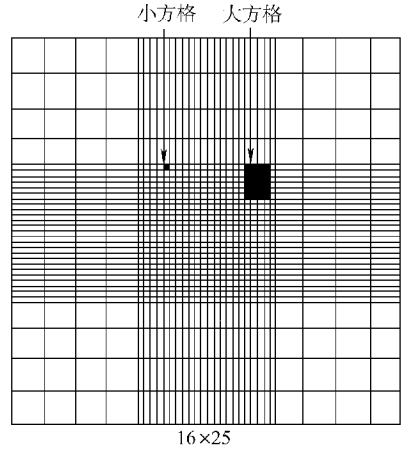


图17-18　另一种血球计数板的构造

计数区边长为1mm，则计数区的面积为$1mm^2$，每个小方格的面积为$1/400mm^2$，盖上盖玻片后，计数区的高度为0.1mm，所以计数区的体积为$0.1mm^3$，每个小方格的体积为$1/4\ 000mm^3$。使用血球计数板计数时，先要测定每个小方格中微生物的数量，再换算成每1mL菌液（或每1g样品）中微生物细胞的数量。

已知：$1mL = 10mm \times 10mm \times 10mm = 1\ 000mm^3$

所以1mL体积应含有小方格数为$1\ 000mm^3/(1/4\ 000mm^3) = 4 \times 10^6$个小方格，即系数$K = 4 \times 10^6$。

因此，每1mL菌悬液中含有的细胞数=每个小格中细胞平均数（N）×系数（K）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

×菌液稀释倍数（d）

2. 器材

（1）活材料：酿酒酵母斜面菌种或培养液。

（2）器材：显微镜、血球计数板、盖玻片（22mm×22mm）、吸水纸、计数器、滴管、擦镜纸。

3. 方法

（1）视待测菌悬液浓度，加无菌水适量稀释，以每小格的菌数可数清楚为度。

（2）取洁净的血球计数板一块，在计数区上盖上一块盖玻片。

（3）将酵母菌悬液摇匀，用滴管吸取少许，从计数板中间平台两侧的沟槽内沿盖玻片的下边缘滴入一小滴（不宜过多），让菌悬液利用液体的表面张力充满计数区，勿使气泡产生，并用吸水纸吸去沟槽中流出的多余菌悬液，也可以将菌悬液直接滴加在计数区上，注意不要使计数区两边平台上沾上菌悬液，然后加盖盖玻片（勿使产生气泡）。

（4）静置片刻，将血球计数板置于载物台上夹稳，先在低倍镜下观察到计数区后，再转换高倍镜观察并计数。观察时应适当关小孔径光阑并减弱光照的强度。

（5）若计数区是由16个大方格组成的，则按对角线方位，计数左上、左下、右上、右下的4个大方格（即100个小格）中的菌数。如果是25个大方格组成的计数区，除数上述四个大方格外，还需计数中央1个大方格中的菌数（即80个小格）。如菌体位于大方格的双线上，计数时则数上线不数下线，数左线不数右线，以减少误差。

（6）对于出芽的酵母菌，芽体达到母细胞大小的一半时，即可作为两个菌体计算。每个样品重复计数2~3次（每次数值不应相差过大，否则应重新操作），求出每一个小格中细胞平均数（N），按公式计算出每1mL(g）菌悬液中所含酵母菌细胞的数量。

（7）测数完毕后取下盖玻片，用水将血球计数板冲洗干净，切勿用硬物洗刷或抹擦，以免损坏网格刻度。洗净后自行晾干或用吹风机吹干，放入盒内保存。

4. 结果　将实验结果填入表17-5中。

表17-5　实验结果记录表

记录次数	每个大方格菌数					稀释倍数	试管斜面中的总菌数	平均值
第一次	1	2	3	4	5			

五、水中细菌总数的测定

1. 原理　细菌菌落总数是指1mL水样在营养琼脂培养基中，于37℃培养24h后所生长的腐生性细菌菌落总数。它是有机物污染程度的指标，也是卫生指标。在饮用水中所得的细菌菌落总数除说明该饮用水被生活废弃物污染的程度外，还指示该饮用水是否适合饮用。但水源水中的细菌菌落总数不能说明污染的来源，因此，结合水中的肠菌群来判断水的污染程度更为全面。

我国现行生活饮用水卫生标准（GB5749—2006）规定：1mL自来水中的细菌菌落

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

总数不得超过100个。

水中细菌种类很多，每种细菌都有其各自的生理特性，必须用适合它们生长的培养基才能将它们培养出来，这在实际工作中不易做到，通常用一种适合大多数细菌生长的基础培养基培养腐生性细菌，以它的菌落总数表明有机物污染程度。

2. 仪器和材料

（1）无菌移液管（10mL、1mL），试管、培养皿、锥形瓶若干。

（2）电炉、酒精灯、试管架等。

3. 内容与操作方法

（1）生活饮用水。以无菌操作方法，用无菌移液管吸取1mL充分混匀的水样注入无菌培养皿中，倾注入约10mL已融化并冷却至45℃左右的营养琼脂培养基，平放于桌上迅速旋转摇培养皿，使水样与培养基充分混匀，冷凝后成为平板。另取一个无菌培养皿倒入培养基冷凝成平板做空白对照。将以上所有平板倒置于37℃恒温箱内培养24h后，记录菌落数。

（2）水源水

1）稀释水样。在无菌操作条件下，以10倍稀释法稀释水样，视水体污染程度确定稀释倍数。取在平板上能长出30～300个菌落的该种水样的稀释倍数。

2）接种。用无菌移液管吸取三个适宜浓度的稀释液1mL（0.5mL）加入无菌培养皿内，注入约15mL已融化并冷却至50℃左右的营养琼脂培养基，平放于桌上迅速旋转摇培养皿，使水样与培养基充分混匀，冷凝后成平板，将以上所有平板倒置于37℃恒温箱内培养24h后，记录菌落数。

接种操作示意图如图17-19所示。

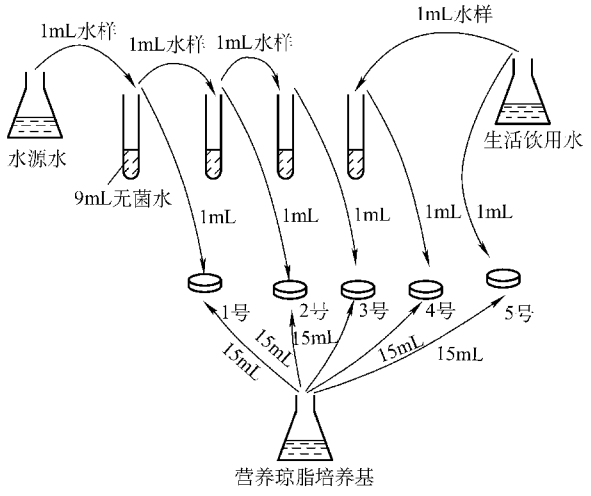


图17-19　接种操作示意图

平板培养基的制作如图17-20所示。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

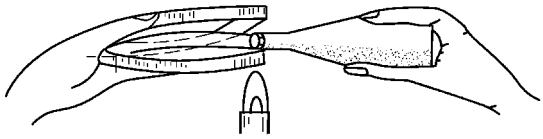


图 17-20 平板培养基的制作

4. 菌落计数及报告方法 用肉眼观察，计算平板上的细菌菌落数，也可用放大镜和菌落计数器计数。各种不同情况的计算方法如下：

（1）首先选择平均菌落数在 30～300 之间者进行计算，当只有一个稀释度的平均菌落符合此范围时，则以该平均菌落数乘以其稀释倍数报告（表 17-6 中的例次 1）。

（2）若有两个稀释度的平均菌落数均在 30～300 之间，则按两者的菌落总数的比值来决定，若其比值小于 2 应报告两者的平均数，若大于 2 则报告其中较小的菌落总数（表 17-6 中的例次 2、3）。

（3）若所有稀释度的平均菌落数均大于 300，则应按稀释度最高的平均菌落数乘以稀释倍数报告（表 17-6 中的例次 4）。

（4）若所有稀释度的平均菌落数均小于 30，则应按稀释度最低的平均菌落数乘以稀释倍数报告（表 17-6 中的例次 5）。

（5）若所有稀释度的平均菌落数均不在 30～300 之间，则以最接近 300 或 30 的平均菌落数乘以稀释倍数报告（表 17-6 中的例次 6）。

（6）在求同稀释度菌落数的平均数时，若其中一个平板上有较大片状菌落生长，则不宜采用，而应以无片状菌落生长的平板作为该稀释度的平均菌落数。若片状菌落约为平板的一半，而另一半平板上菌落数分布很均匀，则可按半平板上的菌落计数，然后乘以 2 作为整个平板的菌落数。

（7）菌落数在 100 以内时按实有数报告，大于 100 时采用两位有效数字，在两位有效数字后面的位数，以四舍五入方法计算。为了缩短数字后面的零数，可用 10 的指数来表示（表报告方式栏）。在报告菌落数“无法计数”时，应注明水样的稀释倍数。稀释度选择及菌落总数报告方式如表 17-6 所示。

表 17-6 稀释度选择及菌落总数报告方式

例次	不同稀释度的平均菌落数			符合 30～300 的两个稀释度菌落数	菌落总数/（个/mL）	最终报告结果/（个/mL）
	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	之比		
1	1 365	164	20	—	16 400	1.6×10^{4}
2	2 760	295	46	1.6	37 750	3.8×10^{4}
3	2 890	271	60	2.2	27 100	2.7×10^{4}
4	无法计数	4 650	513	—	513 000	5.1×10^{5}
5	27	11	5	—	270	2.7×10^{2}
6	无法计数	305	12	—	30 500	3.1×10^{4}

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（8）注意事项

1）细菌稀释时悬浮液应尽量摇匀，悬浮液的稀释不能过浓或过稀。

2）整个操作过程要求执行严格的无菌操作，时间尽量短。

3）第一次检查结果时，以培养24h为宜。

4）将菌液滴在培养皿的中央，倒入培养基后立即轻轻摇匀，使培养基布满整个培养皿底，以利于孢子的均匀分布。

第五节　菌种保存技术

为了保持微生物菌种原有的各种优良特征及活力，使其存活，不发生变异，应根据微生物自身的生物学特点，通过人为的创造条件，使微生物处于低温、干燥、缺氧的环境中，使微生物的生长受到抑制，新陈代谢作用限制在最低范围内，生命活动基本处于休眠状态，从而达到保藏的目的。

为了方便生产或科研上使用菌种，有时只需将微生物作暂时或简便的保藏，常用的保藏方法有斜面传代法、穿刺培养法、液体石蜡法、甘油管法、砂土管保藏法等。

一、冰箱4℃保藏法

1. 斜面传代法（此法可用于任何一种微生物）

（1）将需要保藏的菌种接种于该微生物最适宜的新鲜斜面培养基上，在合适的温度下培养，以得到健壮的菌体。

（2）将长好的斜面取出，换上无菌的橡皮塞塞紧，于4℃冰箱中保存。

（3）每隔一定时间（根据不同微生物而定，如细菌为1个月左右，放线菌为3个月左右）将斜面重新移植培养，塞上橡皮塞4℃保存。

此方法的优点是简便可行，使用方便；缺点是保藏时间不长，传代多了以后菌种易变异。

2. 穿刺培养法

（1）将半固体培养基注入到一小试管（0.8cm×10cm）中，使培养基距离试管口约2~3cm深。

（2）用接种针挑取菌体，在半固体培养基顶部的中央直线穿刺到固体培养基的约1/3深处，37℃培养24h，冷冻干燥安瓿管处理方法如图17-21所示。

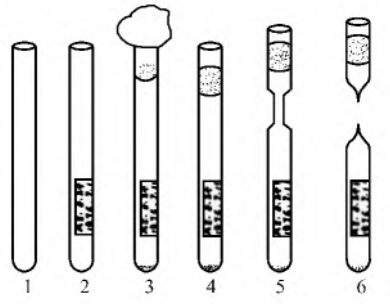


图17-21　冷冻干燥安瓿管处理方法

（3）将培养好的试管取出，熔封或塞上橡皮塞，于4℃冰箱保存。此法可保藏半年至一年。

二、休眠保藏法

1. 液体石蜡法

（1）采用斜面保藏法和穿刺培养法相同的方法获得健壮的培养物。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）将灭菌液体石蜡注入每一斜面（或穿刺试管）中，使液面高出斜面顶部1cm左右，使用的液体石腊要求化学纯即可。

（3）将注入石腊的培养物置试管架上，以直立状态放在4℃下保存。

2. 甘油管法

（1）首先将甘油配制成体积分数为80%的溶液。

（2）将体积分数为80%的甘油按1mL/瓶的量分装到一甘油瓶（3mL规格）中，在121℃下灭菌。

（3）将要保藏的菌种培养成新鲜的斜面（也可用液体培养基振荡培养成菌悬液）。

（4）在培养好的斜面中注入少许（2～3mL）的无菌水，刮下斜面振荡，使细胞充分分散成均匀的悬浮液，并且细胞浓度约为10^8～10^{10}个/mL。

（5）将菌悬液吸取1mL于上述装好甘油的无菌甘油瓶中，充分混匀后，使甘油总体积分数为40%，然后置于-20℃下保存（液体培养的菌液到对数期直接吸收1mL于甘油瓶中）。

3. 沙土管保藏法

（1）取河沙若干，用24目筛子过筛，用体积分数为10%的盐酸浸泡24h，然后倒去盐酸。用水泡洗数次到中性为止，然后去水，将沙烘干。

（2）取菜园（果园）土壤，风干、粉碎、过筛（24目筛）。

（3）把烘干的沙和土按一定的比例（如3∶2）混合后装入小指形管中，装入量约高1cm左右，塞好棉塞，在121℃下灭菌1h，然后烘干，亦可于170℃下干热灭菌2h。

（4）将保藏的菌种接种入新鲜斜面，在适宜的温度下获得对数期培养物。

（5）在斜面培养物中注入3～4mL无菌水，用接种环刮下菌苔，振荡均匀后，吸0.2mL左右的菌液于沙土管中，再用接种针将沙土和菌液搅拌均匀，若是产孢子的微生物也可以直接用接种针将孢子拌入沙土中。

（6）将混合后的沙土管放于真空泵中抽干以除去沙土管中的水分。

（7）将抽干后的沙土管放干燥器中保存，干燥器下面应盛有硅胶、石灰或五氧化二磷等物，隔一段时间应更换一次干燥器下层的物质，以保持干燥。

第六节　微生物生理化鉴定

水处理的微生物种类很多，对于培养和驯化处理电镀废水的高效菌种，需要对不同类群的细菌进行鉴定，确定其属于已知的哪一个分类单元，其操作过程如下：

采样→平板分离→菌种纯化→鉴定{形态特征 / 培养特征 / 生理生化反应}→检索→总结

一、细菌的分离和纯化

水中混杂地生长着很多细菌，在微生物中，把要研究的某一细菌分离出来，这一过

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

程叫做“分离”；把通过一个细胞分裂得到后代的过程叫做“纯化培养”。细菌的分离和纯化的方法很多，常用的有平板稀释分离法（混均法或涂布法）、平板划线分离法、单细胞挑取分离法、培养条件控制法等，利用这些方法使细菌单个细胞或同一类细胞在培养基上形成菌落，挑取单个菌落于斜面培养基上培养，然后从斜面培养基的菌苔挑出少许进行划线分离，获得单一菌落，经过反复多次后，便可获得菌落形态及菌体形态一致的细菌，供鉴定用。

1. 细菌的分离　首先将所采集的样品（水样、泥样或生物膜）10mL（或10g）接入事先已灭菌、内装玻璃珠和90mL无菌水的三角瓶中，使细菌呈单细胞状态分散于水中，然后进行倍比稀释（10倍稀释法），将样品稀释成不同的稀释度。一般来说，轻度污染的水稀释至10^{-6}～10^{-4}即可，电镀废水的稀释度可高一些，其目的是为了得到更多的单一菌落。最后，按平板计数的方法采用混均法或涂布法进行培养以得到单一的菌落。分离细菌的过程如图17-22所示。

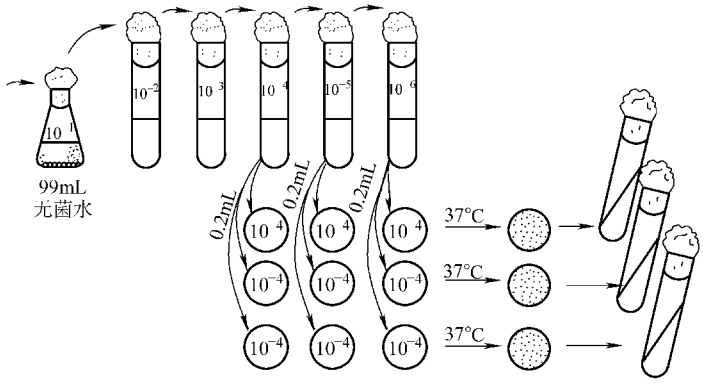


图17-22　分离细菌的过程

2. 细菌的纯化　根据平板分离得到的菌落，进行菌落形态特征的观察，找出不同形态特征的菌落，用接种环挑取单菌落，接种到斜面培养基上进行培养，整个过程均需要无菌操作。

在挑取单菌落时应注意：确定适当的培养条件和时间，选择单独的菌落，接种时应在菌落边缘挑取少量菌苔移入斜面，尽量不要带入原来的基质。将斜面培养的菌落再进一步纯化，其方法有稀释平板法和平板划线法，平板划线法应用最为普遍，如图17-23所示。

整个操作过程如下：首先从斜面培养基上挑取少量生长的菌，然后在事先制好的平板上划线（注意不要划破琼脂表面），划线时要在所划的范围内尽量划满，然后将接种环灼烧，再转动一定的角度连接已划线的区域再划另一区，最后划满整个平皿，培养后得单菌落，将单菌落转接到斜面上，如此反复几次后便可获得纯菌株，留作细菌鉴定用。至于采用上述哪种方法，根据操作者而定。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

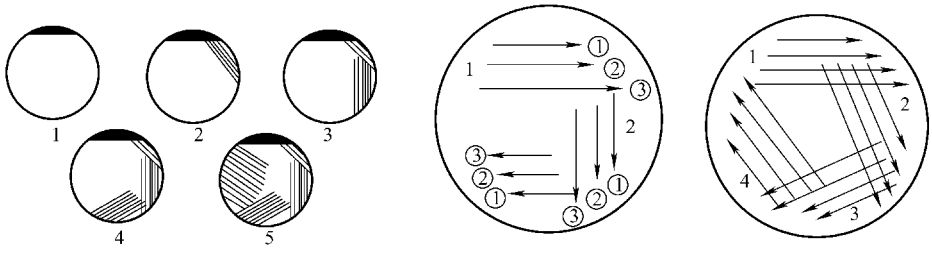


图 17-23 平板划线法

二、细菌形态特征的观察

进行细菌的鉴定时，最基本的操作是对细菌进行形态特征的观察。细菌个体微小，且较透明，必须借助染色法使菌体着色，与背景形成鲜明的对比，以便在显微镜下进行细菌形态特征的观察。根据实验鉴定目的不同，可分为不同的染色法。

（1）单染色实验常用于观察细胞的一般形态，革兰氏染色是细菌学中极为重要的鉴别染色法，通过革兰氏染色可将细菌鉴别为革兰氏阳性菌（G^+）和革兰氏阴性菌（G^-）两大类。

（2）负染色法是指背景着色，从而衬托出不着色的细胞，故又称背景染色法，可以观察相对处于自然状态下的细胞形态。

（3）鞭毛染色：鞭毛的有毛及着生状态是细菌鉴定的重要依据，细菌鞭毛的数目及着生位置因种类不同而有差异。细菌鞭毛呈纤细状，是细菌的运动器官，直径为0.02～0.03μm，在普通光学显微镜下，只能采用特殊的染色方法，不仅要使鞭毛着色，而且还要使染料堆积在鞭毛上，加粗鞭毛的直径。

（4）芽孢染色：芽孢是某些细菌生长到一定阶段形成的，能否形成芽孢以及芽孢的形状、位置和大小等也是细菌分类上的重要依据。细菌芽孢具有不易渗透的厚壁，折光性强，着色、褪色均较困难，用芽孢染色法则可使细胞与芽孢分别呈现不同颜色，便于观察。

（5）抗酸染色法是鉴别分枝杆菌属细菌的重要染色法，分枝杆菌属细菌的细胞壁含有较多的类脂类化合物。这类物质易和石碳酸复红染剂结合，不易为酸性酒精洗脱。

（6）类脂粒染色法：细菌细胞内经常储藏有类脂类物质，如聚β-羟丁酸，一般在C/N高的环境中较易形成。用革兰氏染色不能使这类物质着色，而易被误认为空胞，用脂溶性染料染色，可将其与细胞内的空胞相互区别。

（7）异染颗粒染色：异染颗粒是细菌的储藏物质，主要成分是多聚偏磷酸盐，并随菌龄的增加而变大，易被蓝色染料（如甲烯蓝、甲苯胺蓝等）染色而呈红色，或者呈紫红色，而不是呈蓝色，故称异染颗粒。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

三、细菌培养特征的观察

培养特征是指细菌群体在培养基上的形态和生长习性，包括平板、斜面及液体培养等状况。各种细菌在某一鉴定培养基上均能产生固有的菌落形态和生长特征。

1. 平板菌落的特征　在分离和纯化菌株时，利用菌落的特征检查菌株的纯度很重要，但应注意的是菌落的形态随培养基的组成、培养时间和温度的不同可能会发生改变。

（1）制平板。将牛肉膏蛋白胨融化后冷却至50℃左右，无菌操作到平板，凝固后成为琼脂平板，待平板表面水珠干后再使用，这样有利于单菌落的形成。

（2）平板划线。取少许菌苔或菌液平板划线，以便长出单菌落（见划线法）。

（3）培养观察。将培养皿倒置，适温培养1～7天，观察单菌落的下列特征：大小和形态、表面（光滑、粗糙、皱纹、同心环、辐射状等）、边缘（光滑、锯齿状、波浪状、纤维状等）、隆起（凸、凹、平），荧光的有无、透明度及培养基的颜色、黏度等。

平板菌落特征如图17-24所示。

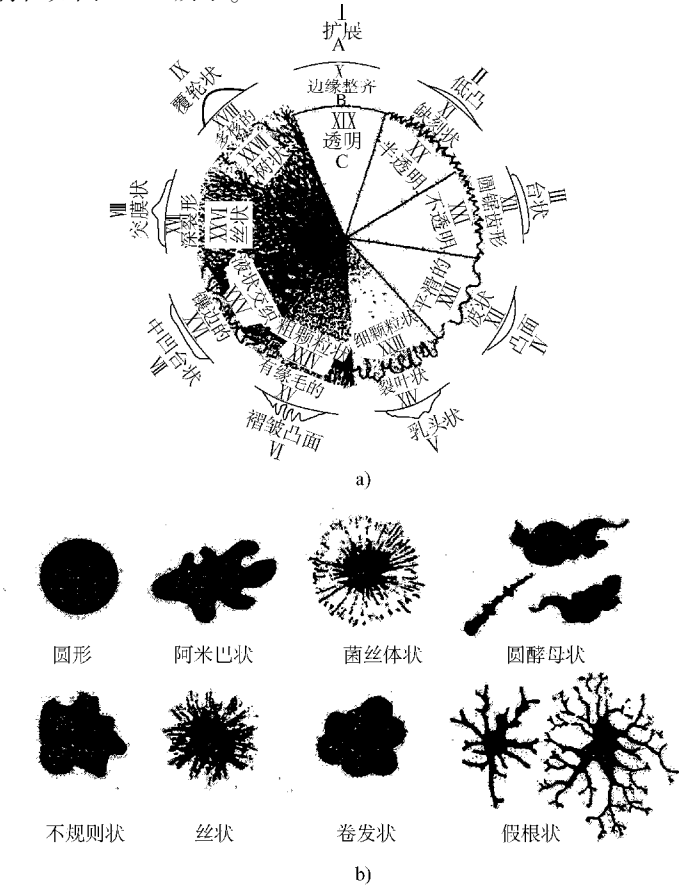


图17-24　平板菌落特征
a）细菌菌落的描述　b）细菌菌落的形状

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 斜面菌苔的特征　斜面是日常接触最多的培养物，认识斜面菌苔的特征，对掌握菌种是否受污染有所帮助。

（1）划线接种。用接种环挑取少量菌种于斜面上划一直线（由下而上），适温培养。注意在接种前，斜面切勿平放，否则底部凝结水倒流表面，划线培养后菌苔会随水扩散，不能观察到典型的菌苔特征。

（2）培养观察。根据生长情况，在 1 ~ 7 天内观察菌苔的下列特征：丰厚程度即生长量（良好、微弱、不生长等）、边缘和表面形态、颜色、黏度、培养基颜色、透明度以及气味等。

琼脂斜面划线培养特征如图 17-25 所示。

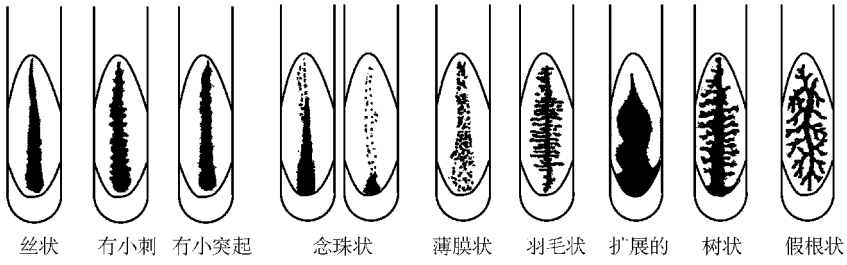


图 17-25　琼脂斜面划线培养特征

3. 培养液中的生长特征

（1）接种。将配好的牛肉膏蛋白胨培养液过滤澄清后，在 121℃下灭菌 20min，冷却后，取少量菌体接入培养液中。

（2）培养观察。在适温下静置培养 1 ~ 7 天，观察培养液的浑浊状态（整个培养液呈浑浊状态，并均匀一致）、沉淀（絮状、黏液状、颗粒状、块状沉淀等）、结膜（液面呈一层薄膜或厚膜，有的沿试管壁长一圈），以及有无气泡、气味等。

液体培养特征如图 17-26 所示。

四、细菌的生理生化反应

由于各种细菌的新陈代谢类型不同，对不同物质利用后所产生的代谢产物有差异，所以常用生理生化反应来鉴别。在形态或其他方面不易区别的微生物，如肠道细菌中的大肠杆菌和伤寒杆菌，两者在形态上很难区分，但前者能发酵乳糖，后者不能，因此，可以从它们能否发酵乳糖来加以区别。

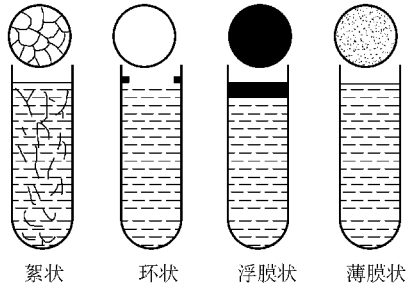


图 17-26　液体培养特征

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（一）接触酶试验

接触酶又称为过氧化氢（H_2O_2）酶，能催化 H_2O_2 分解为 H_2O 和 O_2，是一种以正铁血红素作为辅基的酶，其反应式如下

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{接触酶}} 2H_2O + O_2$$

本试验主要用于将乳酸菌和厌氧菌与其他细菌的区别，因为乳酸菌和厌氧菌不产生接触酶，因此接触酶的有无，是区别好氧菌和厌氧菌的方法之一。

1. 试剂　体积分数为3%～10%的 H_2O_2

2. 培养基

（1）用普通牛肉膏蛋白胨培养基，但培养基中不能含有血红素或红细胞，以免产生假阳性结果。

（2）测定乳酸菌时，培养基中应加入质量分数为1%的葡萄糖，因为乳酸菌在无糖培养基上生长时，可能产生一种“假过氧化氢酶”的非血红素的过氧化氢酶。

3. 操作步骤　接种供试菌，适温培养18～24h。将体积分数为3%～10%的 H_2O_2 滴于斜面菌苔上（或涂有菌苔的载玻片上），静置1～3min，如有气泡产生即为阳性，有接触酶。

（二）唯一碳源实验

1. 原理　自然界含碳化合物种类繁多，细菌能否利用某些含碳化合物作为唯一碳源，可以作为分类鉴定的依据。在基础培养基中只添加一种有机碳源，接种后观察细菌能否生长，就可以判断该细菌能否以此碳源作为唯一碳源生长。

2. 器材

（1）待测菌种。

（2）基础培养基：

$(NH_4)_2SO_4$	2.0g	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.2g
$NaH_2PO4 \cdot H_2O$	0.5g	$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	0.1g
K_2HPO_4	0.5g	蒸馏水	1 000mL

待测底物包括糖类、醇类、脂肪酸类、二羧酸类、有机酸类和氨基酸类等。一般底物要求过滤除菌，糖醇类质量分数为0.5%～1%，其余为0.1%～0.2%。

3. 实验步骤

（1）菌悬液的制备　为了使接种量均一，可将待测菌先制成菌悬液，即取少量菌苔放入无菌水中，充分混匀即可。

（2）接种　以菌悬液接种，接种量0.2mL，连续接种三代。

（3）培养　根据测试微生物种类不同，提供合适的培养条件，细菌一般培养48h，培养后观察是否生长，生长者为阳性。

（三）葡萄糖氧化发酵试验

糖发酵产酸是细菌分类鉴定中的一项重要指标。细菌从糖类产酸并不都是发酵性产酸，有些细菌是以分子氧作为最终受氢体，但以 O_2 为最终受氢体的细菌产酸量较少，

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

且常常被培养基中蛋白胨分解时所产生的氨中和，而表现不出酸性。为此，用低含量有机氮培养基来鉴别细菌从糖产酸是氧化性的还是发酵性的，一般以葡萄糖为代表，也可用该基础培养基测定细菌从其他糖或醇类产酸的特性，这一试验已广泛用于细菌分类鉴定。

1. 培养基（休和利夫森二氏培养基） 培养基配方如下：

蛋白胨	2.0g	NaCl	5.0g
K_2HPO_4	0.2g	琼脂（水洗）	5～6g
溴麝香草酚蓝（溴百里酚蓝）水溶液（质量分数为1%）			3mL
蒸馏水	1 000mL	pH 值	7.0～7.2

分装试管，培养基高度约为4～5cm，在121℃下灭菌20min。

使用时，将培养基在沸水中融化，无菌操作把经过灭菌的糖液加到试管中，使其质量分数达到1%，摇匀，冷却后备用，也可把质量分数为1%的葡萄糖直接加入培养基中，在132℃下灭菌20min。

溴麝香草酚蓝（质量分数为1%）：先用少量质量分数为95%的酒精溶解后，再加水配成质量分数为1%的水溶液。

2. 操作步骤

（1）将培养18～24h的幼龄菌穿刺接种于上述培养基中，每株菌接4支。

（2）取其中2支，将灭菌的凡士林（可加一半液体石蜡混匀）注入试管（约0.5～1.0cm厚）以隔绝空气，另2支不封油，为开管，同时以不接种的开、闭管作对照，置于30℃下培养，在第1天、第2天、第4天、第7天、第14天各观察1次。

3. 结果观察 氧化产酸——仅开管产酸变黄，而且培养基上层产酸变色部分不超过1cm，48h后，氧化作用强的菌也只有半管左右因产酸变色，氧化能力弱的菌往往在1～2天时，上部产碱变蓝，以后才稍因产酸而变黄。发酵产酸——开管及闭管均产酸，沿穿刺线先产酸变色，发酵作用强的菌培养24h内可因产酸而全管变色，如产气，则在琼脂柱内产生气泡。

（四）油脂水解试验

某些细菌产生脂肪酶，能将培养基中的脂肪分解为甘油和脂肪酸，产生的脂肪酸与中性红（pH值为6.8～8.0，由红变黄）结合形成红色斑点。

1. 培养基 配方如下：

蛋白胨	10g	NaCl	5g
牛肉膏	5g	香油或花生油	10g
琼脂	15～20g	蒸馏水	1 000mL
pH 值	7.2	中性红（质量分数为1.6%的水溶液）	约1.0mL

在121℃下灭菌20min。配制时应注意，不能使用变质的油。油、琼脂和水先加热，调好pH值之后，再加入中性红使培养基稍呈红色为止。分装培养基时，需要不断地搅拌，使油脂均匀分布于培养基中。

2. 操作步骤 将融化好的培养基冷却至50℃左右，充分振荡，再倒平板，用接种

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

环挑取少量待测菌划线，如图17-27所示。30℃恒温培养2～5天。

3. 结果观察　打开培养皿，其底层长菌的地方如出现红色斑点，即说明脂肪被水解，此反应为正反应。

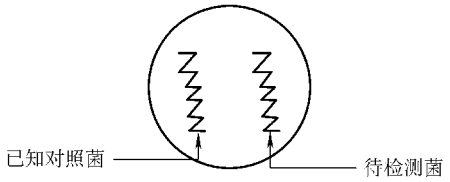
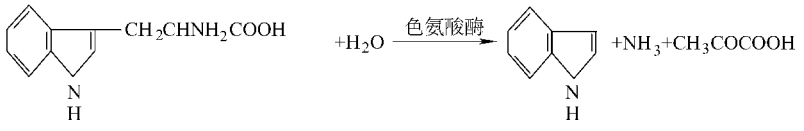


图17-27　油脂水解试验接种

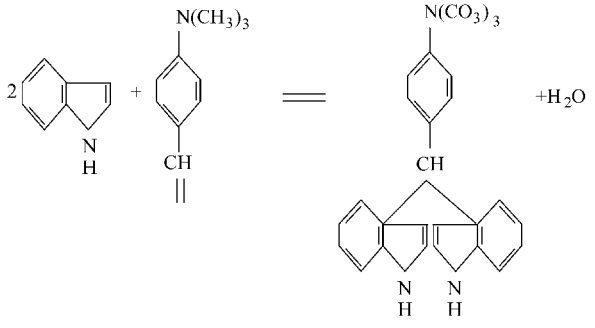
（五）硝酸盐还原试验

1. 实验原理　某些细菌具有硝酸还原酶，可将硝酸盐还原为亚硝酸盐、氨或氮，当加入格里斯氏试剂后，亚硝酸盐与其中的醋酸作用生成亚硝酸，亚硝酸与对氨基苯磺酸作用生成重氮苯磺酸，后者与α-萘胺结合成为红色的N-α-萘胺偶氮磺酸，此为阳性反应。

亚硝酸和格里斯氏试剂的作用如下：



吲哚与对二甲基氨基苯甲醛的反应：



硝酸盐的存在与否可用二苯胺试剂检查，当向溶液加入1～2滴二苯胺试剂时，培养液若呈蓝色，则表示培养物中有硝酸盐和新生成的亚硝酸盐，但都已还原成其他产物，为硝酸盐还原阳性反应。

2. 培养基　配方如下：

牛肉膏	3.0g	蛋白胨	5.0g
KNO_3	1.0g	蒸馏水	1 000mL
pH值	7.0～7.6		

每试管分装4～5mL或更多一些，在121℃下灭菌20min。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 试剂

（1）格里斯（Griess）试剂的配制

A 液：	对氨基苯磺酸	0.5g
	稀醋酸（质量分数为 10% 左右）	150mL
B 液：	α-萘胺	0.1g
	蒸馏水	20mL
	稀醋酸（质量分数为 10% 左右）	150mL

（2）二苯胺试剂的配制：取 0.5g 二苯胺溶于 100mL H_2SO_4，并用 20mL 蒸馏水稀释，保存于棕色瓶中备用。

4. 操作步骤

（1）将待测菌接种于培养液中，适温培养 1 天、3 天、5 天，每株菌做 2 ~ 3 个重复，另外留 2 管不接种作为对照。

（2）取两支干净的空试管或在比色瓷盘反应室中，放入少许培养液，再滴 1 滴格里斯氏试剂 A 液和 B 液，在对照管中同样加入 A 液、B 液各 1 滴。

（3）结果观察。若溶液变为粉红色、玫瑰红色、橙色、棕色等表示有亚硝酸盐存在，为硝酸盐还原阳性；如无红色出现，则可加 1 ~ 2 滴二苯胺试剂，此时若变为蓝色，则为阴性反应，如不变为蓝色，则仍为阳性反应。

（六）柠檬酸盐利用试验

1. 实验原理　细菌分解柠檬酸盐产生碱性化合物，使培养基由微酸变碱，若采用溴麝香草酚作指示剂，则由绿色变为深蓝色，若采用酚红指示剂（pH 值为 6.8 ~ 8.4，由黄变红），则培养基由淡红色变为玫瑰色。

2. 培养基　配方如下：

（NH_4）H_2PO_4	1g	K_2HPO_4	1g
NaCl	5g	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.2g
柠檬酸钠	2g	琼脂	15 ~ 20g
蒸馏水	1 000mL		

溴麝香草酚蓝（酒精液）质量分数为 1% 的溶液 10mL（或质量分数为 0.5% 的酚红液 3mL）

将上述各成分加热溶解后，调 pH 值为 6.8，然后加入指示剂，摇匀、过滤、分装试管，灭菌后，摆成斜面。

3. 操作步骤

（1）将待测菌在斜面上划线接种，于 30 ~ 37℃恒温培养 3 ~ 5 天。

（2）培养基为碱性（指示剂变为深蓝色）者为阳性，否则为阴性。若指示剂为酚红，则培养基由原来的淡粉红色变为玫瑰红色，即为阳性。

（七）明胶液化试验

1. 原理　明胶是一种具有在 20℃或较低温度时，形成凝胶性质的动物蛋白质。某些细菌能分泌蛋白酶分解明胶，使其失去凝固性，而由原来的固态变为液态，即所谓的

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

明胶液化，即使在20℃以下也不再凝固。因此，通过细菌能否使明胶液化可表示其有无分解蛋白质的能力。

明胶液化试验采用穿刺法进行。

2. 培养基　配方如下：

牛肉膏	3g	蛋白胨	10g
NaCl	5g	明胶	120g
蒸馏水	1 000mL		

配制时，先将水加热，接近沸腾时再加入其他药品和明胶，不断地搅拌（以防明胶沾底），待融化后停止加热。调节 pH 值为 7.2～7.4，分装，在 112℃下灭菌 30min。

3. 操作步骤

（1）接种。将培养 18～24h 的待测菌穿刺接种于培养基中，同时作未接种对照管。

（2）培养。放 20℃恒温箱中培养，若细菌在 20℃下不生长，则应放在最适温度下培养。

4. 结果观察　观察培养基有无液化情况及液化后的形状，因明胶在低于 20℃时凝固，高于 25℃时自行液化。若是在高于 20℃下培养的细菌，应放在冰浴中观察，若明胶被细菌液化，即使在低温下明胶也不会再凝固。

（八）产硫化氢试验

1. 原理　某些异养菌能分解含硫的有机物产生 H_2S 气体，H_2S 遇金属盐类，如铅盐、铁盐等，可形成黑色的硫化铅（PbS）或硫化铁（FeS）的沉淀物，从而可断定 H_2S 的产生与否。其测定方法有两种：一种是用含有柠檬酸铁胺的培养基穿刺培养，看是否有黑色沉淀；另一种是在盛有液体培养基的试管中接种菌以后，在试管棉塞下吊一片醋酸铅试纸，经培养后观察醋酸铅试纸是否变黑。

2. 方法一

（1）培养基　配方如下：

蛋白胨	20g	NaCl	5g
柠檬酸铁胺	0.5g	硫代硫酸钠	0.5g
琼脂	15～20g	蒸馏水	1 000mL
pH 值	7.2		

先将琼脂蛋白胨融化，冷至 60℃加入其他成分，分装试管，在 112℃下灭菌 15min，备用。

（2）操作步骤

1）取待测菌穿刺接种于培养基，适温培养。

2）培养 3 天、7 天、14 天，观察有无黑色沉淀产生，若变黑色则为阳性。

3. 方法二　采用滤纸条，其反应如下：

$CH_2SHCHN\quad H_2COOH + H_2O \longrightarrow CH_3COCOOH + H_2S\uparrow + NH_3$

半胱氨酸

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

$S + Pb(CH_3COO)_2 \longrightarrow PbS\downarrow + 2CH_3COOH$

醋酸铅　　硫化铅（黑色）

（1）培养基的配方如下：

蛋白胨	10g	胱氨酸	0.1g
$NaSO_4$	0.1g	蒸馏水	1 000mL
pH 值	7.0～7.4		

每管分装 4～5mL，在 112℃下灭菌 30min。

（2）醋酸铅滤纸条制备：将普通滤纸浸在质量分数为 5% 的醋酸铅溶液中浸透，纸条宽约 0.5～1cm，取出晾干，加压灭菌后，在 105℃下烘干备用。

（3）操作步骤

1）培养液接种后，用无菌镊子取一条醋酸铅滤纸条，借助棉塞悬挂于试管中培养液之上，下端接近液面，但不可触及液面。同时以不接种的空白及已知阴性反应的菌为对照，适温培养。硫化氢的产生如图 17-28 所示。

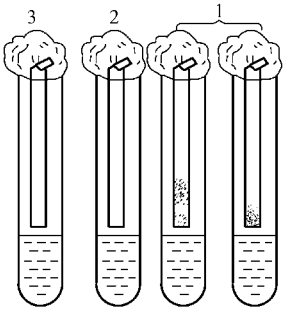


图 17-28　硫化氢的产生

2）培养 3 天、7 天、14 天观察，纸条变黑者为阳性，不变者为阴性。

（九）氰化钾试验

KCN 是呼吸链末端的阻断剂，在含有 KCN 的培养基中是否能生长，是鉴别肠杆菌中各属的常规实验项目。

1. 培养基　配方如下：

蛋白胨	3g	NaCl	15g
KH_2PO_4	0.225g	$Na_2HPO_4 \cdot 2H_2O$	5.64g
蒸馏水	1 000mL	pH 值	7.4～7.6

在 121℃下灭菌 20min，冷却后加的 15mL 质量分数为 0.5% 的 KCN 水溶液，无菌分装于灭菌小试管中各 1.0mL，另有不加 KCN 的对照管。

2. 操作步骤

（1）接种培养 18～24h 的待测菌于测定管和对照管中。

（2）37℃恒温培养 1～2 天，测定管中生长者为阳性；测定管中未生长，而对照管中生长者为阴性。

（3）若测定管和对照管中均未生长，说明培养基成分不合适，应另外选择合适的培养基测定。

（4）KCN 为剧毒药品，试验完毕在各试管中加几粒 $FeSO_4$ 和 0.5mL 质量分数为 20% 的 KOH 去毒后，再按常规洗涤。

（十）生长温度试验

温度作为重要的生态因子，直接影响微生物的生长繁殖。不同种的细菌对温度的反

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

应各不一样，适宜条件下，细菌能够正常生长；反之生长受到抑制，或引起变异，甚至死亡。

细菌的生长需要有适宜的温度范围，有最低、最适、最高温度，按照细菌对温度的适应性可分为三种类型，如表16-7所示。

表16-7　细菌生长温度范围

温度/℃	最低	最适	最高
低温	0	10～15	20～30
中温	5	25～37	45～50
高温	30	45～55	60～75

为了更好地反映温度对细菌生长的影响，应选择最适当的培养基和培养方法。

1. 培养基　一般采用牛肉膏蛋白胨培养液，调节pH值为7.2～7.4，在112℃下灭菌20min，静置后取上清液，分装于透明度较好的试管中，再高压灭菌一次。

2. 操作步骤

（1）接种待测菌于培养液中，在适宜温度下培养18～24h，即成菌液。如用固体培养，则制成菌悬液。

（2）用直径约0.5mm的接种针蘸取菌液（接种针浸湿深度约为1.0～1.5cm，接种量力求一致）加入培养液中，并与对照管一起置于特制的试管架上，分别在0℃、8℃、20℃、28℃、37℃，甚至55～65℃恒温水浴中（水浴液面应高于培养物液面）培养2天、4天、7天观察；接近0℃的低温，则培养3天、7天和30天观察。

（3）与未接种的对照管比较，目测生长情况，如浑浊度、沉淀物、悬浮物（包括环状和膜等），一般以生长良好（++）、生长差（+）、可疑（±）、不生长（-）四级记载。

（十一）初始生长pH值试验

pH值直接影响细菌的酶活性，与温度一样，不同种类的细菌均有其最适的pH值，某种细菌在其他环境条件固定时，其生长的pH值范围也是固定的，故可作为一个鉴定指标。

1. 培养基　配方如下：

葡萄糖	5.0g	NaCl	0.2g
KH_2PO_4	0.2g	$MgPO_4 \cdot 7H_2O$	0.2g
$CaSO_4$	0.1g	酵母膏	10.0g
蒸馏水	1 000mL		

将各成分溶解后，分成若干份，用稀盐酸或稀氢氧化钠溶液，根据试验要求，调成各种不同的pH值，将pH值为4.0、4.5、5.0、6.0分别分装试管，在112℃下灭菌30min，灭菌后再分别抽样测pH值，以此pH值为准。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

2. 操作步骤　用培养 24 ~ 48h 的液体培养基的待测菌接种于上述培养基，适温培养 3 天和 7 天观察，根据各液体培养的浑浊情况，记录其生长的 pH 值范围。

试验介绍的培养基缓冲力不强，所以只适合于测定初始生长的 pH 值试验，若要检测菌的不同 pH 值培养基的生长情况，应该另外设计缓冲力强的培养基。

（十二）需氧性的测定

氧对细菌的生长繁殖及生理功能影响很大，根据细菌与氧的关系，可将其分为好氧菌、厌氧菌、兼性厌氧菌及微好氧菌等。

1. 原理　氧对细菌生长繁殖影响的测定，一般采用深层琼脂法或琼脂穿刺法。

2. 培养基

（1）配方 A 如下：

蛋白胨	10g	酵母膏	5g
葡萄糖	1g	琼脂	15 ~ 20g
蒸馏水	1 000mL	pH 值	7. 0

用试管分装，在 121℃下灭菌 20min。

（2）配方 B 如下：

酪素水解物	20g
NaCl	5. 0g
甲醛次硫酸钠	1. 0g
硫基醋酸钠	2g
琼脂	15 ~ 20g
蒸馏水	1 000mL
pH 值	7. 2

3. 操作步骤

（1）深层琼脂法。将培养基放在沸水浴锅中加热融化，冷却至 50℃左右时，用接种环取少许菌体接入培养基内，轻轻摇动均匀，置于冷水中使培养基凝固，30℃恒温培养 2 ~ 3 天进行观察。

（2）琼脂穿刺法。将培养基融化并冷却到 50℃左右，用接种针取少许菌体或用一小接种环（外径 1. 5mm）的营养肉汤培养物，穿刺接种，注意不要搅动培养基，然后使其凝固，30℃恒温培养 3 ~ 7 天，观察细菌生长情况及部位。

（3）结果观察。细菌与氧气的关系如图 17-29 所示。

专性好氧菌：只生长在培养基表面。

专性厌氧菌：只生长在培养基底部。

兼性厌氧菌：生长在培养基表面及整个深部。

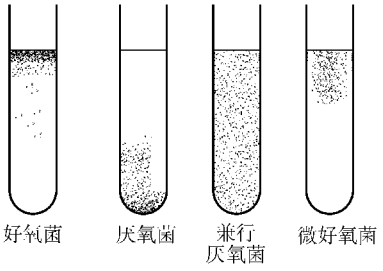


图 17-29　细菌与氧气的关系

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

微好氧菌：生长在培养基的中上部，约近表面4mm处。

五、属的检索

在废水处理过程中，菌属的鉴定比较复杂，要根据不同的对象，选用适当的试验方法和项目，参考多方面的资料才能确定。目前，比较全面和应用较广的细菌分类系统有三个，这三个细菌分类系统各自独立，其分类依据的原则、排列的系统、对各菌种的命名、所用名称的含义等方面都有所不同，不能共用，也不能互相代替。

（1）细菌分类巨著——《伯杰氏细菌学鉴定手册》，美国的布瑞德（R. S. Bread）等人主持编写。

（2）《细菌和放线菌的鉴定》，前苏联的克拉西里尼可夫（Kpacmjibhnkob）著。

（3）《细菌分类学》，法国的普雷沃（Pievot）著。

这里介绍国际细菌学家普遍认同和使用的《伯杰氏细菌学鉴定手册》（Bergey's Manual of Detenninative Bacteriology），是美国国家细菌学家协会所属的“伯杰氏手册董事会”（The Board of Trustees of Bergey's Manual）组织各国有关学者写成的一部巨著，收集的种类较多，系以生理特征为主，采用编目式分类法，自1923年出版以来，相继于1925年、1930年、1934年、1939年、1948年、1957年、1974年和1984年出版了9版，几乎每一版的内容都作了重大修改和扩充，在着重表现特征描述的基础上，结合化学分类、数值分类，特别是DNA相关分析，以及16SrRNA寡核苷酸序列分析，对生物种群间的亲缘关系在研究中的应用作了详细的阐述。此外，还附有每个菌群的生态、分离、保藏及鉴定方法。

第七节　电镀废水中常见的微生物

电镀废水二级处理法的工作主体是由细菌、霉菌、酵母菌、放线菌、原生动物、后生动物（如轮虫、线虫等）与废水中的固体物质所组成的。细菌数量最多，分解有机物的能力最强，并且繁殖迅速。细菌一般不以单体的形式存在，而以菌胶团的形式存在，不同细菌形成不同的菌胶团，有分枝状的、垂丝状的、球状的、椭圆形的、蘑菇形的以及各种不规则形状的。

1. *细菌*　细菌是非常小的活生物体，大多数细菌通过同型分裂而繁殖。细菌由水（80%）和干物质（20%）组成，菌体的90%是有机物。细菌的干物质包含碳（48%）、氮（7%～12%）、磷。

新生菌胶团颜色较浅，甚至无色透明，但有旺盛的生命力，氧化分解有机物的能力强。老化的菌胶团由于吸附了许多杂质，颜色较深，看不到细菌单体，像一团烂泥似的，生命力较差，当遇到不适宜的环境时，菌胶团就发生松散，甚至呈现单个游离状态，影响处理效果。因此，为了使废水处理达到较好的效果，要求菌胶团结构紧密，吸附、沉降性能良好。

2. *原生动物*　原生动物具有新陈代谢、运动、繁殖、对外界刺激的感应性和对环境的适应性等生理功能。原生动物物种非常丰富，有228种之多，有变形虫、草履虫、

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

漫游虫、裂口虫、有肋遁纤虫、钟虫及壳吸管虫。原生动物个体比细菌大，生态特点也容易在显微镜下观察，而且不同种类的原生动物都有各自所需的生存条件，所以哪一类原生动物占优势，也就反映出相应的水质状况。国内外都把原生动物当作污水处理的指示性生物，并利用原生动物的变化情况来了解污水处理效果及污水处理中运转是否正常。

3. 后生动物　一般的规律是：在废水生化处理中，当原生动物中，固着型的纤毛虫——钟虫、盖纤虫、等枝虫等出现，而且数量较多而又活跃时，说明废水处理效果良好，进水 COD、BOD_5 较低（一般 COD≤80mg/L，BOD_5≤30mg/L），水质清澈，可达到国家排放标准；后生动物的轮虫出现也反映出水水质较好，水中有机物更低（一般 COD≤50mg/L，BOD_5≤15mg/L）。当溶氧量降低到 1mg/L 以下时，钟虫生长不正常，体内伸缩泡会胀得很大，顶端突进一个气泡，虫体很快会死亡；当废水中出现大量鞭毛虫和变形虫时，可指示废水处理效果不好，出水 COD、BOD_5 较高，水质浑浊；当外界环境条件不适宜生长时，原生动物能形成胞囊，胞囊是原生动物抵抗不良外界环境的休眠体。为了正确判断水质及运行参数改变的原因，生物相观察中必须根据原生动物的种群变化、数量多少及生长活性三方面状况综合考察，否则，将产生片面的结论。例如，纤毛虫在环境适宜时，用裂殖方式进行生殖，当食物不足或溶解氧、温度、pH 值不适宜，或者有毒物质超过其忍受限度时，就变为接合生殖，甚至形成孢囊以保卫其身体，所以当观察到纤毛虫活动能力差，钟虫类口盘缩进、伸缩泡很大、细胞质空泡化、活动力差、畸形、接合生殖、有大量孢囊形成等现象时，即使虫数较多，也说明处理效果不好。

本节介绍电镀废水中菌属、细菌、原生动物及后生动物。

一、菌属

废水中常见的细菌种类繁多，可分为好氧菌、兼性厌氧菌、厌氧菌三大类，主要包括以下几属。

1. 假单胞菌属

（1）特征。杆菌，单个，大小为(0.5～1.0)μm×(1.5～4.0)μm，无芽孢、单生或多极生鞭毛，少数无鞭毛，革兰氏阴性，需氧或兼性厌氧，氧化而非酵性异养菌。

（2）生理生化。明胶液化（±）、硝酸盐还原（±），多数氧化葡萄糖产生葡萄糖酸，从乳糖产酸少，接触酶阳性。

（3）形态。在肉汁蛋白胨培养基上的菌落大多为圆形、全缘、半透明、闪光、乳脂状、低凸到乳头状，24h 内菌落 1～3mm。

本属细菌种类很多，达 200 余种，有些菌种能在 4℃生长，属嗜冷菌。

本属细菌在自然界中分布极为广泛，常见于土壤、淡水、海水、污水、器皿、用具、动植物体表以及各种蛋白质的食品中。

2. 动胶菌属

（1）特征。杆菌，大小为(0.5～2.0)μm×(1.0～3.0)μm，幼龄细胞以单极毛活跃运动，无芽孢或孢囊，在自然条件下，菌体群集于共有的菌胶团中，在人工培养基上

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

产生软骨状菌落，革兰氏阴性，永不发酵。

（2）生理生化。氧化葡萄糖，不分解蛋白质，不水解明胶，石蕊牛奶不胨化，不形成吲哚和硫化氢，硝酸盐还原阴性，不利用柠檬酸盐，无色素，接触酶阳性。

（3）形态。严格好氧，最适温度28～30℃，10℃生长缓慢，45℃不生长，最适宜的pH值为7～7.5，pH值为4.5或9.6时不生长。

本属细菌是生物处理有机污水的重要细菌。

3. 产碱杆属菌

（1）特征。杆菌，单个，大小为(0.5～1.0)μm×(1.0～3.0)μm，周生鞭毛运动或不运动，革兰氏染色阴性，化能异养菌，呼吸代谢，永不发酵，分子氧是最终电子受体，严格的好氧菌，有些菌株能利用硝酸盐或亚硝酸盐作为可以代换的电子受体进行厌氧呼吸。

（2）生理生化。石蕊牛奶强产碱，不能使碳水化合物产酸，V.P阴性，不产吲哚，能产生灰黄色、棕黄色、黄色色素，氧化酶阳性。

最适温度在20～37℃之间，在pH值为7.0时所有菌种生长得都快，属嗜冷菌。

产碱杆属菌的菌株一般认为都是腐生的，生于乳制品、淡水、污水、海水及陆地环境中，参与其中分解和矿质化的过程。

4. 邻单胞菌属

（1）特征。圆端直的杆状细胞，单个，大小为(0.5～1.0)μm×(1.0～3.0)μm，成对或短链，以极毛运动，一般丛生鞭毛，革兰氏染色阴性。

（2）生理生化。化能异养菌，呼吸和发酵皆有代谢，分解碳水化合物产酸，但不产气，氧化酶和接触酶的反应阳性，没有胞外酶，不水解淀粉，石蕊牛奶胨化，兼性厌氧。

邻单胞菌属在最适温度30～37℃时生长良好。

5. 黄杆菌属

（1）特征。细胞以球杆状到细长的杆状，大小为(0.5～1.0)μm×(0.8～3.0)μm，周毛运动，有的是极毛运动或不运动，无芽孢，革兰氏染色阴性。

（2）生理生化。化能异养菌，呼吸代谢，发酵作用不明显，一般在含碳水化合物的培养液中不产酸和气，分解蛋白质的能力较强。

（3）形态。在固体培养基上形成特征性的黄色、橙色、红色或褐色色素，其色彩可能随培养基和温度发生变化，色素不溶于培养基，形成具有明显颜色的菌落。

培养温度低于30℃时较为适宜，即能在低温中生长，属于嗜冷菌，高温可能抑制生长，少数菌种在37℃时生长，广泛分布于土壤、淡水及海水中。

6. 不动细菌属

（1）特征。通常是非常短粗的杆菌，大小为(1.0～1.5)μm×(1.5～2.5)μm，以成对和短链占优势，不形成芽孢，没有鞭毛，荚膜有或无，革兰氏染色阴性，氧化代谢的化能异养菌，有机物作为碳源和能源的利用一般是多样化的，从糖类可能或不能产酸，没有特殊生长的需要。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）生理生化。氧化酶阴性，接触酶阳性，V. P 阴性，不产吲哚和硫化氢，严格好氧，最适温度为 30 ~ 32℃，最适 pH 值为 7，普遍存在的腐生菌。

7. 无色细菌属

（1）特征。直杆菌，中等大小，革兰氏染色阴性，周生鞭毛运动或不动，在琼脂培养基上不产生色素。

（2）生理生化。使石蕊牛奶微产酸、无变化或产碱，能使葡萄糖产酸、不产气或无作用，硝酸盐还原（±），明胶液化（±）。

无色细菌属生存于土壤、淡水、碱水、污水等处。

8. 埃希氏菌属

（1）特征。直杆菌，大小为（1.1 ~ 1.5）μm ×（2.0 ~ 6.0）μm（活菌）或（0.4 ~ 0.7）μm ×（1.0 ~ 3.0）μm（干燥和染色），单个或成对，周生鞭毛运动或不运动，无芽孢，革兰氏染色阴性。

（2）生理生化。不利用柠檬酸盐，发酵葡萄糖产酸产气（有的不产气），可发酵乳糖或不发酵，明胶液化阴性，M. R 阳性，V. P 阴性，产吲哚，不产 H_2S，接触酶阳性，硝酸盐还原阳性。

（3）形态。菌落可能是光滑的、低凸面、湿润、表面闪光、全缘、灰色，也可能是黏液型的。

9. 柠檬酸细菌属

（1）特征。杆菌，以周毛运动，无荚膜，无芽孢，革兰氏染色阴性。

（2）生理生化。能利用柠檬酸盐作为唯一碳源，发酵葡萄糖及其他碳水化合物产酸产气，或不发酵，接触酶阳性，硝酸盐还原阳性。

柠檬酸细菌属常存在于水、食物、大便和尿中。

10. 沙门氏菌属

（1）特征。杆菌，通常以周毛运动，革兰氏阳性，菌落直径为 2 ~ 4mm，大多数菌可生长在合成的培养基中而不需要特殊的生长素，它们能利用柠檬酸盐作为唯一碳源。

（2）生理生化。发酵葡萄糖产酸产气，接触酶阳性，产 H_2S，乳糖（±）、不液化明胶，不利用蔗糖。

11. 芽孢杆菌属

（1）特征。杆菌，大小为（0.3 ~ 2.2）μm ×（1.2 ~ 7）μm，大多数运动，鞭毛周生或侧生，产生抗热的芽孢，在孢子囊内不多于一个，革兰氏染色阳性，或仅在早期生长阶段阳性和阴性。

（2）生理生化。化能异养菌，利用各种底物，严格呼吸代谢，严格发酵代谢或呼吸和发酵皆有的代谢，大多数产接触酶，严格好氧或兼性厌氧。

二、细菌

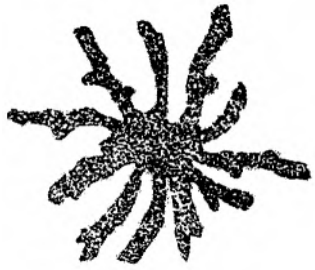
1. 菌胶团

（1）球状、椭球状和蘑菇状菌胶团

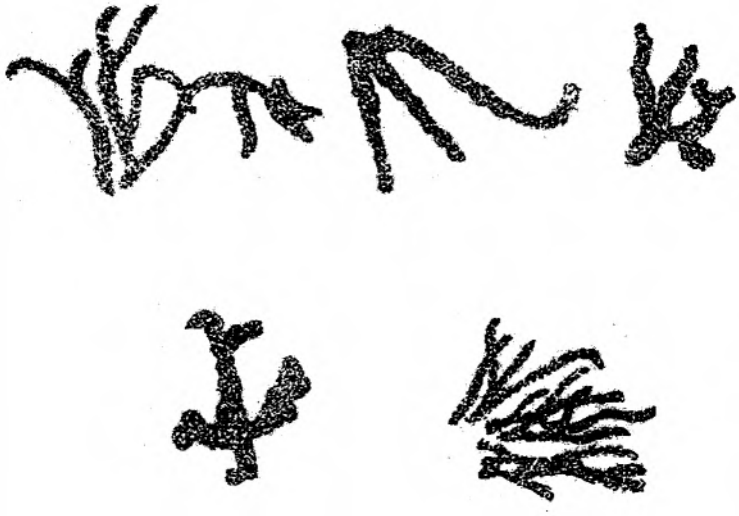
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）分枝状菌胶团



（3）其他菌胶团

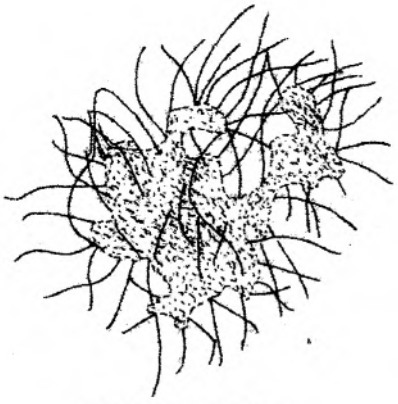


2. 丝状细菌

（1）球衣菌

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

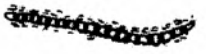


低倍显微镜下的球衣菌

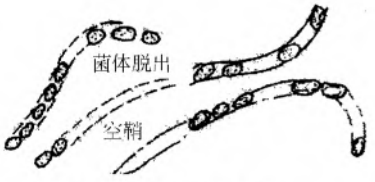
高倍显微镜下的球衣菌(假分枝)

高倍显微镜下从衣鞘内脱出的球衣菌黏附于丝状体上

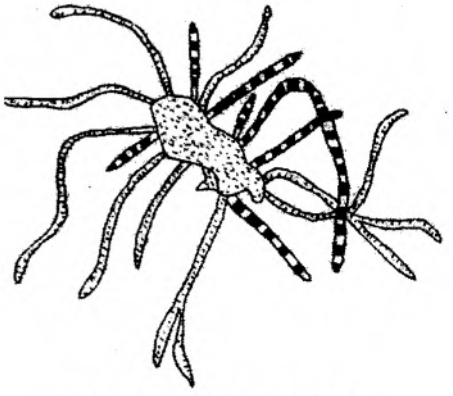
碳素高时菌体粗状排列紧密



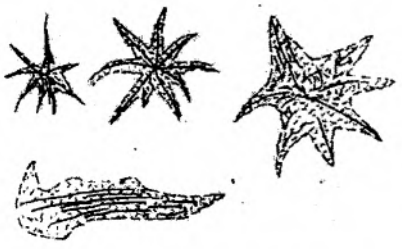
高倍显微镜下无数杆菌黏附于丝状体上使丝状体轮廓变粗



当环境不利时球衣菌从衣鞘内脱出造成缺位现象



种球衣菌染色后菌体没有明显分界
种球衣菌染色后菌体有明显分界



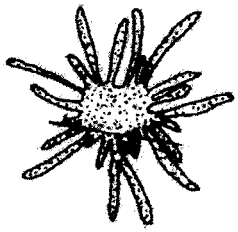
被齿胶团所包裹的球衣菌

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（2）丝硫菌

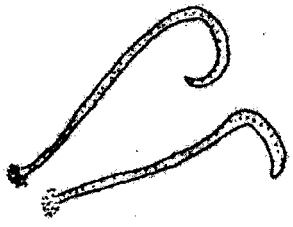
丝硫菌生长在杂质纤维上



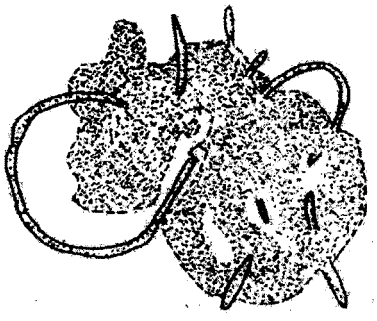
丝硫菌在污泥小块上生长形成刺毛球

当大量的刺毛球形成时使污泥膨胀结构松散

衣鞘内的丝硫菌

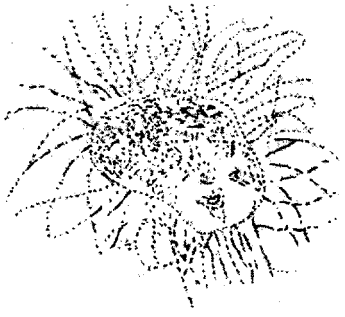


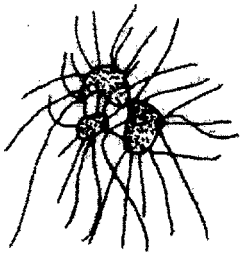
成熟的丝状体带着基部的吸盘从污泥中脱出，游离于污泥中



长短粗细不等的丝硫菌在污泥中游走

（3）其他丝状菌





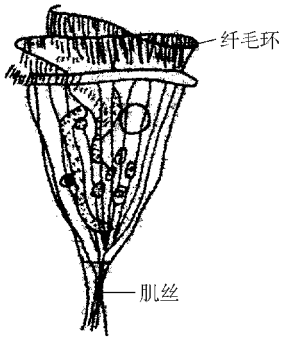
三、原生动物

1. 纤毛类

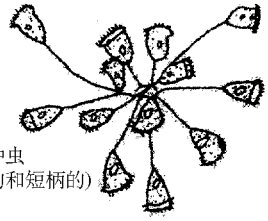
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（1）纤毛目



钟虫放大


钟虫
(有长柄的和短柄的)

短柄钟虫
带泥游泳

钟虫收缩

钟虫头顶气泡
(缺氧或氧过高)

钟虫裂殖

钟虫无性繁殖

钟虫有性繁殖

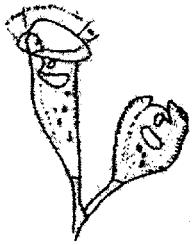
游泳钟虫变为固定型

钟虫尸块

放大的等枝虫

固定钟虫变为游泳型

等枝虫(累枝虫)


褶皱累枝虫

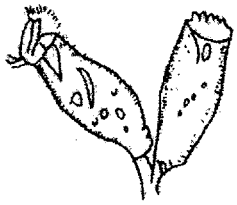
盖纤虫

盖纤虫

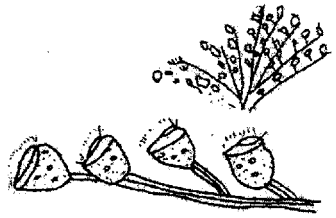
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

小口盖纤虫



有盖虫(无肌丝)



独缩虫(尾柄内有肌丝们不相连)

(2) 全毛目

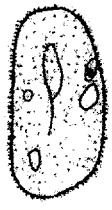
漩游虫

裂口虫

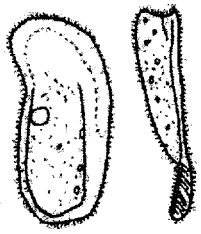
长颈虫

长颈虫

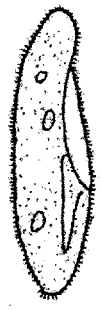
长吻虫



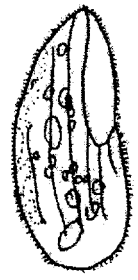
漠口虫



隐咽虫

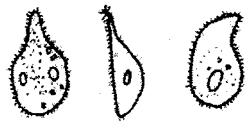


草履虫



小康氏纤虫

斜管虫



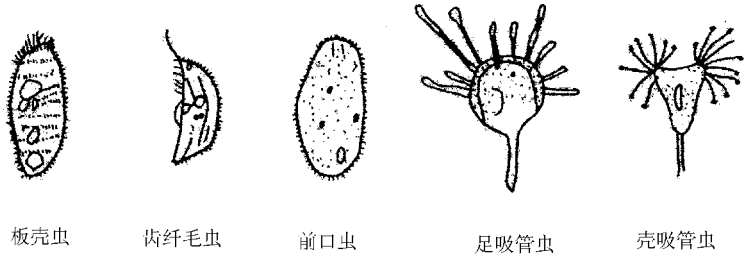
正面　侧面　爬行时

扭头虫

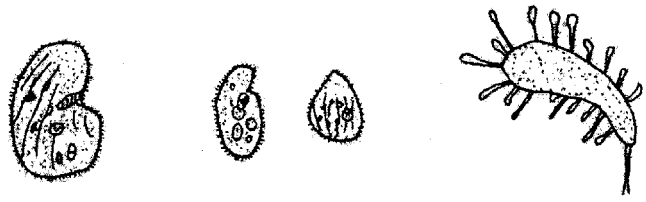
裸口虫

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

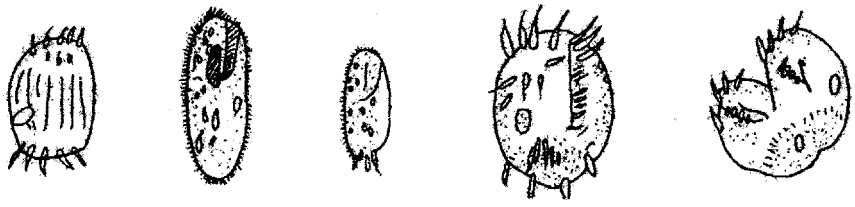


板壳虫　　齿纤毛虫　　前口虫　　足吸管虫　　壳吸管虫



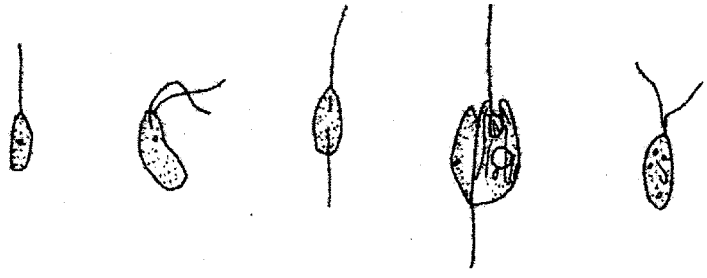
肾形虫　　豆形虫　　钲吸管虫

（3）腹毛目



盾纤虫　　尖毛虫　　棘尾虫　　游仆虫　　腹毛虫裂殖

2. 鞭毛类



漂眼虫　　多波虫　　复滴虫　　内管虫　　唇滴虫

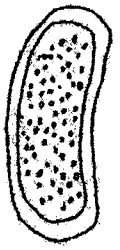
www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

3. 肉足类

变形虫

辐射变形虫

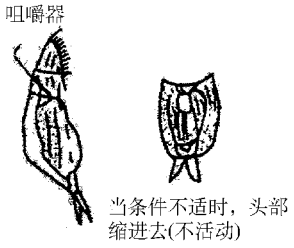


多核变形虫

扇形变形虫

四、后生动物

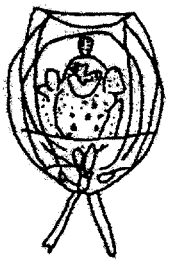
1. 轮虫



猪吻轮虫

旋轮虫

须足轮虫



腔轮虫

2. 线虫

3. 瓢体虫

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附　　录

附录1　国际清洁生产宣言

发布日期：2003 年 12 月 30 日

我们认识到实现可持续发展是一种集体责任。保护全球环境的行动必须包括采用改善的可持续生产与消费实践。我们相信清洁生产及其他预防性战略，如生态效率、绿色生产率和污染预防是较好的方案。它们需要适当措施的发展、支持和实施。

我们理解清洁生产是一种适用于工艺、产品和服务的一体化预防性战略的不断运用，以追求经济的、社会的、健康的、安全的和环境的效益。

为此，我们承诺：

领导关系　利用我们的影响

通过我们与利害攸关者的关系，鼓励采用可持续生产与消费实践。

意识、教育和培训　能力建设

通过在我们组织内部制订和实施意识、教育和培训计划；

通过鼓励把这些概念和原则纳入各级教育课程中。

一体化　鼓励预防性战略一体化

到我们组织的所有层次中；

在环境管理体系内；

通过利用环境表现评估、环境会计学、环境影响评价、寿命周期评价和清洁生产评价等工具。

研究与开发　创造革新性解决办法

通过在我们的研究与开发政策和活动中促进优先级从尾端战略向预防性战略转变；

通过支持环境上高效率的和满足消费者需要的产品与服务的开发。

沟通　共享我们的经验

通过扶持关于预防性战略实施的对话和让外部利害攸关者了解他们的效益。

实施　采取行动以采用清洁生产

通过所建立的管理体系确定挑战性目标并经常报告进展；

通过鼓励预防性技术方案上新的和追加的融资与投资，和促进各国之间的环境无害技术合作与转让；

通过与联合国环境署及其他伙伴和利害攸关者合作，以支持本宣言和评议其实施的成功。

联合国副秘书长 Klaus Topfor 博士主持了签字仪式。首批签字的 21 人中的政府官员有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

韩国环境部长、韩国商业、工业与贸易部部长、中国国家环境保护总局副局长、印度环境与林业部部长、印度尼西亚环境部长、哥斯达黎加环境与能源部部长、坦桑尼亚环境部长、格鲁吉亚环境部长等。美国 Future 500 协会主席兼日本三菱公司执行总裁、韩国三星电器公司总裁、耐克公司全球污染预防部经理、国际化肥协会主席等也在宣言上签了字。

宣言的目的

清洁生产宣言的目的是为了扩大全世界商业、政治和公众活动领导人对清洁生产这一战略概念的理解和支持。尽管进行了广泛的国际努力并取得了显著的成效，但是清洁生产还没有成为环境战略、商业战略和政府战略的必要组成部分。作为一种概念，清洁生产还没有产生基于客户自发的吸引力，还只能依靠清洁生产服务方、资助方和一些国际组织来进行。这些活动者的重要性就在于他们清楚的处于支持的角色。因此，需要将清洁生产从一种基本的、简单的概念升到责任承诺的新水平。其他一些开创性活动都得益于国际上签署的文件，例如：淘汰臭氧层消耗物质和蒙特利尔协议，或环境管理体系和 ISO14001。

这份国际宣言的目的是通过向全世界的领导人征集公开的承诺，通过广泛的参与，制定一份全面的参考文件。另外，要使众多的利益相关方达成共识。将注意力集中在 10 项清晰、重要的原则上，以指导清洁生产运动。

最终目标是鼓励和推动公共和私有部门的环境政策和行为由末端的、治理的、控制的战略向积极的、预防的战略转变。

附录 2　生活饮用水卫生标准（GB 5749—2006）

前　言

本标准全文强制。

本标准自实施之日起代替 GB 5749—1985《生活饮用水卫生标准》。

本标准与 GB 5749—1985 相比主要变化如下。

——水质指标由 GB 5749—1985 的 35 项增加至 106 项，增加了 71 项；修订了 8 项；其中：

——微生物指标由 2 项增至 6 项，增加了大肠埃希氏菌、耐热大肠菌群、贾第鞭毛虫和隐孢子虫；修订了总大肠菌群；

——饮用水消毒剂由 1 项增至 4 项，增加了一氯胺、臭氧、二氧化氯；

——毒理指标中无机化合物由 10 项增至 21 项，增加了溴酸盐、亚氯酸盐、氯酸盐、锑、钡、铍、硼、钼、镍、铊、氯化氰；并修订了砷、镉、铅、硝酸盐；

毒理指标中有机化合物由 5 项增至 53 项，增加了甲醛、三卤甲烷、二氯甲烷、1，2-二氯乙烷、1，1，1-三氯乙烷、三溴甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、环氧氯丙烷、氯乙烯、1，1－二氯乙烯、1，2-二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯、六氯丁二烯、二氯乙酸、三氯乙酸、三氯乙醛、苯、甲苯、二甲苯、乙苯、苯乙烯、2，4，6-三氯酚、氯苯、1，2-二氯苯、1，4-二氯苯、三氯苯、邻苯二甲酸二（2-乙基己基）酯、丙

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

烯酰胺、微囊藻毒素-LR、灭草松、百菌清、溴氰菊酯、乐果、2，4-滴、七氯、六氯苯、林丹、马拉硫磷、对硫磷、甲基对硫磷、五氯酚、莠去津、呋喃丹、毒死蜱、敌敌畏、草甘膦；修订了四氯化碳；

——感官性状和一般理化指标由15项增至20项，增加了耗氧量、氨氮、硫化物、钠、铝；修订了浑浊度；

——放射性指标中修订了总α放射性。

——删除了水源选择和水源卫生防护两部分内容。

——简化了供水部门的水质检测规定，部分内容列入《生活饮用水集中式供水单位卫生规范》。

——增加了附录2-A。

——增加了参考文献。

本标准的附录2-A为资料性附录。

为准备水质净化和水质检验条件，贾第鞭毛虫、隐孢子虫、三卤甲烷、微囊藻毒素－LR等4项指标延至2008年7月1日起执行。

本标准由中华人民共和国卫生部提出并归口。

本标准负责起草单位：中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所。

本标准参加起草单位：广东省卫生监督所、浙江省卫生监督所、江苏省疾病预防控制中心、北京市疾病预防控制中心、上海市疾病预防控制中心、中国城镇供、水排水协会、中国水利水电科学研究院、国家环境保护总局环境标准研究所。

本标准主要起草人：金银龙、鄂学礼、陈昌杰、陈西平、张岚、陈亚妍、蔡祖根、甘日华、申屠杭、郭常义、魏建荣、宁瑞珠、刘文朝、胡林林。

本标准参加起草人：蔡诗文、林少彬、刘凡、姚孝元、陆坤明、陈国光、周怀东、李延平。本标准于1985年8月首次发布，本次为第一次修订。

生活饮用水卫生标准

1. 范围

本标准规定了生活饮用水水质卫生要求、生活饮用水水源水质卫生要求、集中式供水单位卫生要求、二次供水卫生要求、涉及生活饮用水卫生安全产品卫生要求、水质监测和水质检验方法。

本标准适用于城乡各类集中式供水的生活饮用水，也适用于分散式供水的生活饮用水。

2. 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是标注日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 3838—2002 地表水环境质量标准

GB/T 5750—1985 生活饮用水标准检验法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

GB/T 14848—1993 地下水质量标准

GB 17051—1997 二次供水设施卫生规范

GB/T 17218—1998 饮用水化学处理剂卫生安全性评价

GB/T 17219—1998 生活饮用水输配水设备及防护材料的安全性评价标准

CJ/T 206—2005 城市供水水质标准

SL 308—2004 村镇供水单位资质标准

卫生部　生活饮用水集中式供水单位卫生规范

3. 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1　生活饮用水　drinking water

供人生活的饮水和生活用水。

3.2　供水方式 type of water supply

3.2.1　集中式供水 central water supply

自水源集中取水，通过输配水管网送到用户或者公共取水点的供水方式，包括自建设施供水。为用户提供日常饮用水的供水站和为公共场所、居民社区提供的分质供水也属于集中式供水。

3.2.2　二次供水 secondary water supply

集中式供水在入户之前经再度储存、加压和消毒或深度处理，通过管道或容器输送给用户的供水方式。

3.2.3　农村小型集中式供水 small central water supply for rural areas

日供水在1 000m^3 以下（或供水人口在1万人以下）的农村集中式供水。

3.2.4　分散式供水 non-central water supply

用户直接从水源取水，未经任何设施或仅有简易设施的供水方式。

3.3　常规指标 regular indices

能反映生活饮用水水质基本状况的水质指标。

3.4　非常规指标 non-regular indices

根据地区、时间或特殊情况需要的生活饮用水水质指标。

4. 生活饮用水水质卫生要求

4.1　生活饮用水水质应符合下列基本要求，保证用户饮用安全。

4.1.1　生活饮用水中不得含有病原微生物。

4.1.2　生活饮用水中化学物质不得危害人体健康。

4.1.3　生活饮用水中放射性物质不得危害人体健康。

4.1.4　生活饮用水的感官性状良好。

4.1.5　生活饮用水应经消毒处理。

4.1.6　生活饮用水水质应符合附表2-1和附表2-3的卫生要求。集中式供水出厂水中消毒剂限值、出厂水和管网末梢水中消毒剂余量均应符合附表2-2的要求。

4.1.7　农村小型集中式供水和分散式供水的水质因条件限制，部分指标可暂按照

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附表 2-4 执行，其余指标仍按附表 2-1、附表 2-2 和附表 2-3 执行。

4.1.8 当发生影响水质的突发性公共事件时，经市级以上人民政府批准，感官性状和一般化学指标可适当放宽。

4.1.9 当饮用水中含有附录 2-A 所列指标时，可参考此表限值评价。

附表 2-1 水质常规指标及限值

指　　标	限值	指　　标	限值
1. 微生物指标①		3. 感官性状和一般化学指标	
总大肠菌群(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出	色度(铂钴色度单位)	15
耐热大肠菌群(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出	浑浊度(NTU-散射浊度单位)	1 水源与净水技术条件限制时为 3
大肠埃希氏菌(MPN/100mL 或 CFU/100mL)	不得检出	臭和味	无异臭、异味
菌落总数/(CFU/mL)	100	肉眼可见物	无
2. 毒理指标		pH 值(pH 单位)	不小于 6.5 且不大于 8.5
砷/(mg/L)	0.01	铝/(mg/L)	0.2
镉/(mg/L)	0.005	铁/(mg/L)	0.3
铬(六价)/(mg/L)	0.05	锰/(mg/L)	0.1
铅/(mg/L)	0.01	铜/(mg/L)	1.0
汞/(mg/L)	0.001	锌/(mg/L)	1.0
硒/(mg/L)	0.01	氯化物/(mg/L)	250
氰化物/(mg/L)	0.05	硫酸盐/(mg/L)	250
氟化物/(mg/L)	1.0	溶解性总固体/(mg/L)	1 000
硝酸盐(以 N 计)/(mg/L)	10 地下水源限制时为 20	总硬度(以 $CaCO_3$ 计)/(mg/L)	450
三氯甲烷/(mg/L)	0.06	耗氧量(COD_{Mn} 法，以 O_2 计)/(mg/L)	3 水源限制，原水耗氧量 >6mg/L 时为 5
四氯化碳/(mg/L)	0.002		
溴酸盐(使用臭氧时)/(mg/L)	0.01		
甲醛(使用臭氧时)/(mg/L)	0.9	挥发酚类(以苯酚计)/(mg/L)	0.002
亚氯酸盐(使用二氧化氯消毒时)/(mg/L)	0.7	阴离子合成洗涤剂/(mg/L)	0.3
		4. 放射性指标②	指导值
氯酸盐(使用复合二氧化氯消毒时)/(mg/L)	0.7	总 α 放射性/(Bq/L)	0.5
		总 β 放射性/(Bq/L)	1

① MPN 表示最可能数；CFU 表示菌落形成单位。当水样检出总大肠菌群时，应进一步检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群；水样未检出总大肠菌群，不必检验大肠埃希氏菌或耐热大肠菌群。

② 放射性指标超过指导值，应进行核素分析和评价，判定能否饮用。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

附表 2-2　饮用水中消毒剂常规指标及要求

消毒剂名称	与水接触时间	出厂水中限值	出厂水中余量	管网末梢水中余量
氯气及游离氯制剂(游离氯)/(mg/L)	至少 30min	4	≥0.3	≥0.05
一氯胺(总氯)/(mg/L)	至少 120min	3	≥0.5	≥0.05
臭氧(O_3)/(mg/L)	至少 12min	0.3		0.02 如加氯,总氯≥0.05
二氧化氯(ClO_2)/(mg/L)	至少 30min	0.8	≥0.1	≥0.02

附表 2-3　水质非常规指标及限值

指　标	限　值	指　标	限　值
1、微生物指标		三氯乙醛/(mg/L)	0.01
贾第鞭毛虫/(个/10L)	<1	2,4,6-三氯酚(mg/L)	0.2
隐孢子虫/(个/10L)	<1	三溴甲烷/(mg/L)	0.1
2、毒理指标		七氯/(mg/L)	0.000 4
锑/(mg/L)	0.005	马拉硫磷/(mg/L)	0.25
钡/(mg/L)	0.7	五氯酚/(mg/L)	0.009
铍/(mg/L)	0.002	六六六(总量)/(mg/L)	0.005
硼/(mg/L)	0.5	六氯苯/(mg/L)	0.001
钼/(mg/L)	0.07	乐果/(mg/L)	0.08
镍/(mg/L)	0.02	对硫磷/(mg/L)	0.003
银/(mg/L)	0.05	灭草松/(mg/L)	0.3
铊/(mg/L)	0.000 1	甲基对硫磷/(mg/L)	0.02
氯化氰(以 CN^- 计)/(mg/L)	0.07	百菌清/(mg/L)	0.01
一氯二溴甲烷/(mg/L)	0.1	呋喃丹/(mg/L)	0.007
二氯一溴甲烷/(mg/L)	0.06	林丹/(mg/L)	0.002
二氯乙酸/(mg/L)	0.05	毒死蜱/(mg/L)	0.03
1,2-二氯乙烷/(mg/L)	0.03	草甘膦/(mg/L)	0.7
二氯甲烷/(mg/L)	0.02	敌敌畏/(mg/L)	0.001
三卤甲烷(三氯甲烷、一氯二溴甲烷、二氯一溴甲烷、三溴甲烷的总和)	该类化合物中各种化合物的实测浓度与其各自限值的比值之和不超过 1	莠去津/(mg/L)	0.002
		溴氰菊酯/(mg/L)	0.02
		2,4-滴/(mg/L)	0.03
		滴滴涕/(mg/L)	0.001
1,1,1-三氯乙烷/(mg/L)	2	乙苯/(mg/L)	0.3
三氯乙酸/(mg/L)	0.1	二甲苯/(mg/L)	0.5
		1,1-二氯乙烯/(mg/L)	0.03

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

指　　标	限　值	指　　标	限　值
1,2-二氯乙烯/(mg/L)	0.05	环氧氯丙烷/(mg/L)	0.000 4
1,2-二氯苯/(mg/L)	1	苯/(mg/L)	0.01
1,4-二氯苯/(mg/L)	0.3	苯乙烯/(mg/L)	0.02
三氯乙烯/(mg/L)	0.07	苯并(a)芘/(mg/L)	0.000 01
三氯苯(总量)/(mg/L)	0.02	氯乙烯/(mg/L)	0.005
六氯丁二烯/(mg/L)	0.000 6	氯苯/(mg/L)	0.3
丙烯酰胺/(mg/L)	0.000 5	微囊藻毒素-LR/(mg/L)	0.001
四氯乙烯/(mg/L)	0.04	3、感官性状和一般化学指标	
甲苯/(mg/L)	0.7	氨氮(以N计)/(mg/L)	0.5
邻苯二甲酸二(2-乙基己基)酯/(mg/L)	0.008	硫化物/(mg/L)	0.02
		钠/(mg/L)	200

附表 2-4　农村小型集中式供水和分散式供水部分水质指标及限值

指　　标	限值	指　　标	限值
1、微生物指标		pH值(pH单位)	不小于6.5 且不大于9.5
菌落总数/(CFU/mL)	500		
2、毒理指标		溶解性总固体/(mg/L)	1 500
砷/(mg/L)	0.05	总硬度(以 $CaCO_3$ 计)/(mg/L)	550
氟化物/(mg/L)	1.2		
硝酸盐(以N计)/(mg/L)	20	耗氧量(COD_{Mn}法,以 O_2 计)/(mg/L)	5
3、感官性状和一般化学指标			
色度(铂钴色度单位)	20	铁/(mg/L)	0.5
浑浊度(NTU-散射浊度单位)	3 水源与净水技术条件限制时为5	锰/(mg/L)	0.3
		氯化物/(mg/L)	300
		硫酸盐/(mg/L)	300

5. 生活饮用水水源水质卫生要求

5.1　采用地表水为生活饮用水水源时应符合 GB 3838—2002 要求。

5.2　采用地下水为生活饮用水水源时应符合 GB/T 14848—1993 要求。

6. 集中式供水单位卫生要求

集中式供水单位的卫生要求应按照卫生部《生活饮用水集中式供水单位卫生规范》执行。

7. 二次供水卫生要求

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

二次供水的设施和处理要求应按照 GB 17051—1997 执行。

8. 涉及生活饮用水卫生安全产品卫生要求

8.1　处理生活饮用水采用的絮凝、助凝、消毒、氧化、吸附、pH 调节、防锈、阻垢等化学处理剂不应污染生活饮用水，应符合 GB/T 17218—1998 要求。

8.2　生活饮用水的输配水设备、防护材料和水处理材料不应污染生活饮用水，应符合 GB/T 17219—1998 要求。

9. 水质监测

9.1　供水单位的水质检测

供水单位的水质检测应符合以下要求。

9.1.1　供水单位的水质非常规指标选择由当地县级以上供水行政主管部门和卫生行政部门协商确定。

9.1.2　城市集中式供水单位水质检测的采样点选择、检验项目和频率、合格率计算按照 CJ/T 206 执行。

9.1.3　村镇集中式供水单位水质检测的采样点选择、检验项目和频率、合格率计算按照 SL 308 执行。

9.1.4　供水单位水质检测结果应定期报送当地卫生行政部门，报送水质检测结果的内容和办法由当地供水行政主管部门和卫生行政部门商定。

9.1.5　当饮用水水质发生异常时应及时报告当地供水行政主管部门和卫生行政部门。

9.2　卫生监督的水质监测

卫生监督的水质监测应符合以下要求。

9.2.1　各级卫生行政部门应根据实际需要定期对各类供水单位的供水水质进行卫生监督、监测。

9.2.2　当发生影响水质的突发性公共事件时，由县级以上卫生行政部门根据需要确定饮用水监督、监测方案。

9.2.3　卫生监督的水质监测范围、项目、频率由当地市级以上卫生行政部门确定。

10. 水质检验方法

生活饮用水水质检验法应按照 GB/T 5750—1985 执行。

附录 2-A（资料性附录）

附表 2-A　生活饮用水水质参考指标及限值

指　标	限值	指　标	限值
肠球菌/(CFU/100mL)	0	二噁英(2,3,7,8-TCDD)/(mg/L)	0.000 000 03
产气荚膜梭状芽孢杆菌/(CFU/100mL)	0	土臭素(二甲基萘烷醇)/(mg/L)	0.000 01
		五氯丙烷/(mg/L)	0.03
二(2-乙基己基)己二酸酯/(mg/L)	0.4	双酚 A/(mg/L)	0.01
二溴乙烯/(mg/L)	0.000 05	丙烯腈/(mg/L)	0.1

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

指　　标	限值	指　　标	限值
丙烯酸/(mg/L)	0.5	邻苯二甲酸二丁酯/(mg/L)	0.003
丙烯醛/(mg/L)	0.1	环烷酸/(mg/L)	1.0
四乙基铅/(mg/L)	0.000 1	苯甲醚/(mg/L)	0.05
戊二醛/(mg/L)	0.07	总有机碳(TOC)/(mg/L)	5
甲基异莰醇-2/(mg/L)	0.000 01	萘酚-b/(mg/L)	0.4
石油类(总量)/(mg/L)	0.3	黄原酸丁酯/(mg/L)	0.001
石棉(>10mm)/(万/L)	700	氯化乙基汞/(mg/L)	0.000 1
亚硝酸盐/(mg/L)	1	硝基苯/(mg/L)	0.017
多环芳烃(总量)/(mg/L)	0.002	镭226和镭228/(pCi/L)	5
多氯联苯(总量)/(mg/L)	0.000 5	氡/(pCi/L)	300
邻苯二甲酸二乙酯/(mg/L)	0.3		

附录3　电镀污染物排放标准(GB 21900—2008)

1. 污染物排放控制要求

1.1　水污染物排放控制要求

1.1.1　现有设施自2009年1月1日至2010年6月30日起执行附表3-1规定的水污染物排放限值。

附表3-1　现有企业水污染物排放限值

序号	污染物项目	排放限值	污染物排放监控位置
1	总铬/(mg/L)	1.5	车间或生产设施废水排放口
2	六价铬/(mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
3	总镍/(mg/L)	1.0	车间或生产设施废水排放口
4	总镉/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
5	总银/(mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
6	总铅/(mg/L)	1.0	车间或生产设施废水排放口
7	总汞/(mg/L)	0.05	车间或生产设施废水排放口
8	总铜/(mg/L)	1.0	企业废水总排放口
9	总锌/(mg/L)	2.0	企业废水总排放口
10	总铁/(mg/L)	5.0	企业废水总排放口
11	总铝/(mg/L)	5.0	企业废水总排放口
12	pH值	6~9	企业废水总排放口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	污染物项目		排放限值	污染物排放监控位置
13	悬浮物/(mg/L)		70	企业废水总排放口
14	化学需氧量(COD_{Cr})/(mg/L)		100	企业废水总排放口
15	氨氮/(mg/L)		25	企业废水总排放口
16	总氮/(mg/L)		30	企业废水总排放口
17	总磷/(mg/L)		1.5	企业废水总排放口
18	石油类/(mg/L)		5.0	企业废水总排放口
19	氟化物/(mg/L)		10	企业废水总排放口
20	总氰化物(以 CN^- 计)/(mg/L)		0.5	企业废水总排放口
单位产品基准排水量，(镀件镀层)/(L/m^2)		多层镀	750	排水量计量位置与污染物排放监控位置一致
		单层镀	300	

1.1.2　现有企业自2010年7月1日起执行附表3-2规定的水污染物排放限值。

1.1.3　新建企业自2008年8月1日起执行附表3-2规定的水污染物排放限值。

附表3-2　新建企业水污染物排放限值

序号	污染物项目	排放限值	污染物排放监控位置
1	总铬/(mg/L)	1.0	车间或生产设施废水排放口
2	六价铬/(mg/L)	0.2	车间或生产设施废水排放口
3	总镍/(mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
4	总镉/(mg/L)	0.05	车间或生产设施废水排放口
5	总银/(mg/L)	0.3	车间或生产设施废水排放口
6	总铅/(mg/L)	0.2	车间或生产设施废水排放口
7	总汞/(mg/L)	0.01	车间或生产设施废水排放口
8	总铜/(mg/L)	0.5	企业废水总排放口
9	总锌/(mg/L)	1.5	企业废水总排放口
10	总铁/(mg/L)	3.0	企业废水总排放口
11	总铝/(mg/L)	3.0	企业废水总排放口
12	pH值	6～9	企业废水总排放口
13	悬浮物/(mg/L)	50	企业废水总排放口
14	化学需氧量(COD_{Cr})/(mg/L)	80	企业废水总排放口
15	氨氮/(mg/L)	15	企业废水总排放口
16	总氮/(mg/L)	20	企业废水总排放口
17	总磷/(mg/L)	1.0	企业废水总排放口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	污染物项目		排放限值	污染物排放监控位置
18	石油类/(mg/L)		3.0	企业废水总排放口
19	氟化物/(mg/L)		10	企业废水总排放口
20	总氰化物/(以 CN^- 计)/(mg/L)		0.3	企业废水总排放口
单位产品基准排水量/L/m^2(镀件镀层)		多层镀	500	排水量计量位置与污染物排放监控位置一致
		单层镀	200	

1.1.4 根据环境保护工作的要求，在国土开发密度较高、环境承载能力开始减弱，或水环境容量较小、生态环境脆弱，容易发生严重水环境污染问题而需要采取特别保护措施的地区，应严格控制设施的污染物排放行为，在上述地区的企业执行附表 3-3 规定的水污染物特别排放限值。

执行水污染物特别排放限值的地域范围、时间，由国务院环境保护行政主管部门或省级人民政府规定。

附表 3-3 水污染物特别排放限值

序号	污染物项目	排放限值	污染物排放监控位置
1	总铬/(mg/L)	0.5	车间或生产设施废水排放口
2	六价铬/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
3	总镍/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
4	总镉/(mg/L)	0.01	车间或生产设施废水排放口
5	总银/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
6	总铅/(mg/L)	0.1	车间或生产设施废水排放口
7	总汞/(mg/L)	0.005	车间或生产设施废水排放口
8	总铜/(mg/L)	0.3	企业废水总排放口
9	总锌/(mg/L)	1.0	企业废水总排放口
10	总铁/(mg/L)	2.0	企业废水总排放口
11	总铝/(mg/L)	2.0	企业废水总排放口
12	pH 值	6～9	企业废水总排放口
13	悬浮物/(mg/L)	30	企业废水总排放口
14	化学需氧量(COD_{Cr})/(mg/L)	50	企业废水总排放口
15	氨氮/(mg/L)	8	企业废水总排放口
16	总氮/(mg/L)	15	企业废水总排放口
17	总磷/(mg/L)	0.5	企业废水总排放口

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

序号	污染物项目		排放限值	污染物排放监控位置
18	石油类/(mg/L)		2.0	企业废水总排放口
19	氟化物/(mg/L)		10	企业废水总排放口
20	总氰化物(以 CN^- 计)/(mg/L)		0.2	企业废水总排放口
单位产品基准排水量/(L/m^2)(镀件镀层)		多层镀	250	排水量计量位置与污染物排放监控位置一致
		单层镀	100	

1.1.5　对于排放含有放射性物质的污水，除执行本标准外，还应符合 GB 18871—2002 的规定。

1.1.6　水污染物排放浓度限值适用于单位产品实际排水量不高于单位产品基准排水量的情况。若单位产品实际排水量超过单位产品基准排水量，须按公式（3-1）将实测水污染物浓度换算为水污染物基准水量排放浓度，并以水污染物基准水量排放浓度作为判定排放是否达标的依据。产品产量和排水量统计周期为一个工作日。

在企业的生产设施同时生产两种以上产品、可适用不同排放控制要求或不同行业国家污染物排放标准，且生产设施产生的污水混合处理排放的情况下，应执行排放标准中规定的最严格的浓度限值，并按公式（1）换算水污染物基准水量排放浓度：

$$C_{基}=\frac{Q_{总}\,C_{实}}{\Sigma Y_i Q_{i基}} \tag{3-1}$$

式中　$C_{基}$——水污染物基准水量排放浓度（mg/L）；

$Q_{总}$——排水总量（m^3）；

Y_i——某种镀件镀层的产量（m^2）；

$Q_{i基}$——某种镀件的单位产品基准排水量（m^3/m^2）；

$C_{实}$——实测水污染物浓度（mg/L）。

若 $Q_{总}$ 与 $\Sigma Y_i Q_{i基}$ 的比值小于 1，则以水污染物实测浓度作为判定排放是否达标的依据。

2. 分析方法　分析方法见附表 3-4。

附表 3-4　分 析 方 法

类别	国家标准	标准名称
pH 值	GB/T 6920—1986	水质　pH 值的测定　玻璃电极法
悬浮物	GB/T 11901—1989	水质　悬浮物的测定　重量法
六价铬	GB 7467—1987	水质　六价铬的测定　二苯碳酰二肼分光光度法
氰化物	GB 7486—1987	水质　氰化物的测定　第 1 部分总氰化物的测定
铜	GB 7475—1987	水质　铜、锌、铅、镉的测定　原子吸收分光光度法
镍	GB 11912—1989	水质　镍的测定　火焰原子吸收分光光度法

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

类别	国家标准	标准名称
锌	GB 7475—1987	水质　铜、锌、铅、镉的测定　原子吸收分光光度法
化学需氧量	GB/T 11914—1989	水质　化学需氧量的测定　重铬酸盐法
生化需氧量	GB 7488—1987	水质　五日生化需氧量(BOD5)的测定　稀释与接种法
色度	GB/T 11903—1989	水质　色度的测定
氨氮	GB/T 7479—1987	水质　铵的测定　钠氏试剂比色法
总氮	GB/T 11894—1989	水质　总氮的测定　碱性过流酸钾消解紫外分光光度法
总磷	GB/T 11893—1989	水质　总磷的测定　钼酸铵分光光度法
元素磷	GB 8978—1996	污水综合排放标准　磷相蓝比色法
磷酸盐	GB/T 11893—1989	水质　总磷的测定　钼酸铵分光光度法
石油类	GB/T 16488—1996	水质　石油类和动植物油的测定　红外光度法
总有机碳	GB/T 13193—1991	水质　总有机碳(Toc)的测定　非色散红外线吸收法

附录 4　日本废水排放标准限值及二噁英限制标准

日本国家废水排放标准限制见附表 4-1，二噁英限制见附表 4-2。

附表 4-1　日本国家废水排放标准限值　（单位：mg/L）

项目(有害物质)	排放限值	项目(有害物质)	排放限值
总氰	1	SS	200(日平均 150)
有机磷	1	铜	3
六价铬	0.5	锌	5
pH 值	5.8 ~ 8.6	大肠菌群数/(个/cm^3)	日平均 3000
BOD	160(日平均 120)	氮含有量	120(日平均 60)
COD	160(日平均 120)	磷含有量	16(日平均 8)

注：氮和磷的含有量，只适合于环境省长官指定的富营养化风险的湖泊、海域及公共水域。

附表 4-2　日本厚生省公布的二噁英限制标准

（焚烧炉设计、运转管理目标）1990 年

项目	全连式炉		准连式炉、机械式排式炉		固定式排式炉	
	新建炉	原有炉	新建炉	原有炉	新建炉	原有炉
二噁英/[TE-Qng/m^3(标)]	希望在 0.5 以下	与现状相比，希望大幅度地降低排放浓度				
烟囱出口 CO/ppm①	50 以下②	100 以下④	100 以下	200 以下	尽可能降低	充分完全燃烧

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

项目	全连式炉		准连式炉、机械式排式炉		固定式排式炉	
	新建炉	原有炉	新建炉	原有炉	新建炉	原有炉
燃烧温度/℃	800 以上⑦	800 以上⑦	800 以上⑦	800 以上	800 以上	充分完全燃烧
气体停留时间/s	2 以上(全蒸汽炉),1 以上(其它炉)	—	1 以上	—	1 以上	—
炉出口 O_2 浓度(%)	6 以上	6 以上	6 以上	6 以上	6 以上	充分完全燃烧
除尘器出口含尘量⑤/[mg/m³(标)]	20 以上	见注⑥	50 以下	见注⑥	50 以下	见注⑥
除尘器入口气体温度/℃	200 以下或 230 左右②	250～280③④	200 以下	250～280③	200 以下	250～280③

注：1ppm = 1mL/m³。2003 年日本二噁英排放量为：1990 排放值 ×(1 - 90%) ×(1 - 95.1%)。

① CO 浓度为 12% O_2 时的换算值的 4 个小时平均值。

② 带有催化剂脱硝装置时，CO 浓度变成 30ppm 以下，据此可以估计温度为 230℃左右。

③ 原有炉的除尘器入口温度在 250～280℃之间，认为是尽可能低的水准。

④ 原有炉带有催化剂脱硝装置时，CO 浓度变成 50ppm 以下，以其为前提温度最好在 260～280℃。

⑤ 除尘器出口最好也要考虑空气泄漏。

⑥ 改造时除尘器出口含量对全连式炉、准连式炉和机械炉排式炉要求在 50mg/m³（标）以下，对固定炉排式炉要求在 100mg/m³（标）以下。

⑦ 希望在 850℃以上。

附录 5　环境空气质量标准（GB 3095—1996）

本标准规定了环境空气质量功能区划分、标准分级、污染物项目、取值时间及浓度限值，采样与分析方法及数据统计的有效性规定。本标准适用于全国范围的环境空气质量评价。环境空气质量功能区分为三类：一类区为自然保护区、风景名胜区和其他需要特殊保护的地区；二类区为城镇规划中确定的居民区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区；三类区为特定工业区。空气环境质量分为三级：一类区执行一级标准，二类区执行二级标准，三类区执行三级标准。共限定了六种污染物的浓度值：SO_2、TSP、PM10、NO_x、NO_2、CO、O_3、Pb、B[a]P、F。标准同时配有各项污染物分析方法。

1. 主题内容与适用范围

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

本标准规定了环境空气质量功能区划分、标准分级、污染物项目、取值时间及浓度限值，采样与分析方法及数据统计的有效性规定。

本标准适用于全国范围的环境空气质量评价。

2. 引用标准

GB/T 15262—1994 空气质量　二氧化硫的测定　甲醛吸收副玫瑰苯胺分光光度法

GB/T 8970—1988 空气质量　二氧化硫的测定　四氯汞盐　盐酸副玫瑰苯胺比色法

GB/T 15432—1995 环境空气　总悬浮颗粒物测定　重量法

GB/T 6921—1986 大气飘尘浓度测定方法

GB/T 15436—1995 环境空气　氮氧化物的测定　Saltzman 法

GB/T 15435—1995 环境空气　二氧化氮的测定　Saltzman 法

GB/T 15437—1995 环境空气　臭氧的测定　靛蓝二磺酸钠分光光度法

GB/T 15438—1995 环境空气　臭氧的测定　紫外光度法

GB/T 9801—1988 空气质量　一氧化碳的测定　非分散红外法

GB/T 8971—1988 空气质量　飘尘中苯并［α］芘的测定　乙酰化滤纸层析荧光分光光度法

GB/T 15439—1995 环境空气　苯并［α］芘的测定　高效液相色谱法

GB/T 15264—1994 空气质量　铅的测定　火焰原子吸收分光光度法

GB/T 15434—1995 环境空气　氟化物质量浓度的测定　滤膜·氟离子选择电极法

GB/T 15433—1995 环境空气　氟化物的测定　石灰滤纸·氟离子选择电极法

3. 定义

3.1　总悬浮颗粒物（TSP）：指能悬浮在空气中，空气动力学当量直径≤100μm 的颗粒物。

3.2　可吸入颗粒物（PM10）：指悬浮在空气中，空气动力学当量直径≤10μm 的颗粒物。

3.3　氮氧化物（以 NO_2 计）：指空气中主要以一氧化氮和二氧化氮形式存在的氮的氧化物。

3.4　铅（Pb）：指存在于总悬浮颗粒物中的铅及其化合物。

3.5　苯并［a］芘(B[a]P)：指存在于可吸入颗粒物中的苯并［a］芘。

3.6　氟化物（以 F 计）：以气态及颗粒态形式存在的无机氟化物。

3.7　年平均：指任何一年的日平均浓度的算术均值。

3.8　季平均：指任何一季的日平均浓度的算术均值。

3.9　月平均：指任何一月的日平均浓度的算术均值。

3.10　日平均：指任何一日的平均浓度。

3.11　一小时平均：指任何一小时的平均浓度。

3.12　植物生长季平均：指任何一个植物生长季月平均浓度的算术均值。

3.13　环境空气：指人群、植物、动物和建筑物所暴露的室外空气。

3.14　标准状态：指温度为 273K，压力为 101.325kPa 时的状态。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

4. 环境空气质量功能区的分类和标准分级

4.1　环境空气质量功能区分类

一类区为自然保护区、风景名胜区和其他需要特殊保护的地区。

二类区为城镇规划中确定的居住区、商业交通居民混合区、文化区、一般工业区和农村地区。

三类区为特定工业区。

4.2　环境空气质量标准分级

环境空气质量标准分为三级。

一类区执行一级标准。

二类区执行二级标准。

三类区执行三级标准。

5. 浓度限值

本标准规定了各项污染物不允许超过的浓度限值，见附表5-1。

附表5-1　各项污染物的浓度限值

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
二氧化硫 SO_2	年平均 日平均 1小时平均	0.02 0.05 0.15	0.06 0.15 0.50	0.10 0.25 0.70	mg/m^3（标准状态）
总悬浮颗粒物 TSP	年平均 日平均	0.08 0.12	0.20 0.30	0.30 0.50	
可吸入颗粒物 PM_{10}	年平均 日平均	0.04 0.05	0.10 0.15	0.15 0.25	
氮氧化物 NOx	年平均 日平均 1小时平均	0.05 0.10 0.15	0.05 0.10 0.15	0.10 0.15 0.30	
二氧化氮 NO_2	年平均 日平均 1小时平均	0.04 0.08 0.12	0.04 0.08 0.12	0.08 0.12 0.24	
一氧化碳 CO	日平均 1小时平均	4.00 10.00	4.00 10.00	6.00 20.00	
臭氧 O_3	1小时平均	0.12	0.16	0.20	
铅 Pb	季平均 年平均		1.50 1.00		$\mu g/m^3$（标准状态）

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

污染物名称	取值时间	浓度限值			浓度单位
		一级标准	二级标准	三级标准	
苯并[a]芘 B[a]P	日平均		0.01		
氟化物 F	日平均 1小时平均		7① 20①		μg/(dm² · d)
	月平均 植物生长季平均	1.8② 1.2②	3.0③ 2.0③		

① 适用于城市地区。

② 适用于牧业区和以牧业为主的半农半牧区，蚕桑区。

③ 适用于农业和林业区。

6. 监测

6.1 采样

环境空气监测中的采样点、采样环境、采样高度及采样频率的要求，按《环境监测技术规范》（大气部分）执行。

6.2 分析方法

各项污染物分析方法，见附表5-2。

附表5-2 各项污染物分析方法

污染物名称	分析方法	来源
二氧化硫	（1）甲醛吸收副玫瑰苯胺分光光度法 （2）四氯汞盐副玫瑰苯胺分光光度法 （3）紫外荧光法①	GB/T 15262—1994 GB/T 8970—1988
总悬浮颗粒物	重量法	GB/T 15432—1995
可吸入颗粒物	重量法	GB/T 6921—1986
氮氧化物 （以 NO_2 计）	（1）Saltzman 法 （2）化学发光法②	GB/T 15436—1995
二氧化氮	（1）Saltzman 法 （2）化学发光法②	GB/T 15435—1995
臭氧	（1）靛蓝二磺酸钠分光光度法 （2）紫外光度法 （3）化学发光法③	GB/T 15437—1995 GB/T 15438—1995
一氧化碳	非分散红外法	GB/T 9801—1988
苯并［a］芘	（1）乙酰化滤纸层析——荧光分光光度法 （2）高效液相色谱法	GB/T 8971—1988 GB/T 15439—1995

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

污染物名称	分析方法	来源
铅	火焰原子吸收分光光度法	GB/T 15264—1994
氟化物 （以 F 计）	（1）滤膜氟离子选择电极法④ （2）石灰滤纸氟离子选择电极法⑤	GB/T 15434—1995 GB/T 15433—1995

①②③ 分别暂用国际标准 ISO/CD 10498—2004、ISO 7996—1985，ISO 10313—1993，待国家标准发布后，执行国家标准。

④ 用于日平均和 1 小时平均标准。

⑤ 用于月平均和植物生长季平均标准。

7. 数据统计的有效性规定

各项污染物数据统计的有效性规定，见附表 5-3。

附表 5-3　各项污染物数据统计的有效性规定

污染物	取值时间	数据有效性规定
SO_2，NO_x，NO_2	年平均	每年至少有分布均匀的 144 个日均值 每月至少有分布均匀的 12 个日均值
TSP，PM_{10}，Pb	年平均	每年至少有分布均匀的 60 个日均值 每月至少有分布均匀的 5 个日均值
SO_2，NO_x，NO_2，CO	日平均	每日至少有 18h 的采样时间
TSP，PM_{10}，B(a)，Pb	日平均	每日至少有 12h 的采样时间
SO_2，NO_x，NO_2，CO，O_3	1 小时平均	每小时至少有 45min 的采样时间
Pb	季平均	每季至少有分布均匀的 15 个日均值 每月至少有分布均匀的 5 个日均值
F	月平均	每月至少采样 15 日以上
	植物生长季平均	每一个生长季至少有 70% 个月平均值
	日平均	每日至少有 12h 的采样时间
	1 小时平均	每小时至少有 45min 的采样时间

8. 标准的实施

8.1　本标准由各级环境保护行政主管部门负责监督实施。

8.2　本标准规定了小时、日、月、季和年平均浓度限值，在标准实施中各级环境保护行政主管部门应根据不同目的监督其实施。

8.3　环境空气质量功能区由地级市以上（含地级市）环境保护行政主管部门划分，报同级人民政府批准实施。

附录 6　工业企业设计卫生标准（TJ 36—1979）

第一章　总　　则

第二条　在设计工业企业时，应坚持自力更生、土洋结合的原则，积极采用行之有

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

效的先进技术，将粉尘、毒物及其他有害因素和“废水、废气、废渣”等，消除在生产过程中，使其少产生或不产生；对于生产过程中尚不能完全消除的部分，亦应采取必要的综合预防、治理措施，使工业企业设计符合本标准的有关规定。

工业企业的设计，尚应符合现行的工业“三废”排放等标准的有关规定。

第三条　新建、改扩建、续建的工业企业，必须把各种有害因素的治理设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产。各主管部门必须会同工业企业所在省、市、自治区建委、卫生、劳动、环境保护等主管部门，合理选择厂址，认真审查设计，做好竣工验收，严格把关。

第二章　大气、水源和土壤的卫生防护

第一节　厂址选择和大气卫生防护

第五条　工业企业的生产区、居住区、废渣堆放场和废水处理场等用地及生活饮用水水源、工业废水和生活污水排放地点，应同时选择，并应符合当地建设规划的要求。

第六条　选择厂址时，必须防止因工业废气的扩散、工业废水的排放和工业废渣的堆置污染大气、水源和土壤。

第七条　产生危害较大的有害气体、烟、雾、粉尘等有害物质以及噪声和振动等的工业企业，不得在居住区内修建。

第八条　向大气排放有害物质的工业企业，应布置在居住区夏季最小频率风向的上风侧。排放有害工业废水的工业企业，应位于当地生活饮用水水源的下游。

第九条　在工业区或厂区内布置各种不同性质的工业企业或车间时，应避免互相影响。

第十条　建筑物的方位，应保证室内有良好的自然采光、自然通风并应防止过度日晒。建筑物之间的距离，一般不得小于相对两个建筑物中较高建筑物的高度（由地面到屋檐）。

第十一条　产生有害物质的工业企业，在生产区内除值班室外，不得设置其他居住房屋。

居住区大气中有害物质的最高容许浓度见附表 6-1。

附表 6-1　居住区大气中有害物质的最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/m^3)		编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/m^3)	
		一次	日平均			一次	日平均
1	一氧化碳	3.00	1.00	6	五氧化二磷	0.15	0.05
2	乙醛	0.01		7	丙烯腈	0.05	
3	二甲苯	0.30		8	丙烯醛	0.10	
4	二氧化硫	0.50	0.15	9	丙酮	0.80	
5	二硫化碳	0.04		10	甲基对硫磷(甲基E605)	0.01	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m³）		编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m³）	
		一次	日平均			一次	日平均
11	甲醇	3.00	1.00	24	酚	0.02	
12	甲醛	0.05		25	硫化氢	0.01	
13	汞		0.000 3	26	硫酸	0.30	0.10
14	吡啶	0.08		27	硝基苯	0.01	
15	苯	2.40	0.80	28	铅及其无机化合物（换算成 Pb）		0.000 7
16	苯乙烯	0.01					
17	苯胺	0.10	0.03	29	氯	0.10	0.03
18	环氧氯丙烷	0.20		30	氯丁二烯	0.10	
19	氟化物（换算成 F）	0.02	0.007	31	氯化氢	0.05	0.015
20	氨	0.20		32	铬（六价）	0.001 5	
21	氧化氮（换算成 NO_2）	0.15		33	锰及其化合物（换算成 MnO_2）		0.01
22	砷化物（换算成 As）	0.003					
23	敌百虫	0.10		34	飘尘	0.50	0.15

注：1. 一次最高容许浓度，指任何一次测定结果的最大容许值。

2. 日平均最高容许浓度，指任何一日的平均浓度的最大容许值。

3. 本表所列各项有害物质的检验方法，应按卫生部批准的现行《大气监测检验方法》执行。

4. 灰尘自然沉降量，可在当地清洁区实测数值的基础上增加 3～5t/（km^2·月）。

第十二条　设计产生有害工业废气的工业企业时，应积极改革工艺流程，使之少产生或不产生废气；对于还必须向外排放的有害废气，应采用行之有效的废气回收、综合利用和净化处理等措施。并根据当地规划和自然条件的特点，使排入大气经扩散稀释后，居住区大气中有害物质的最高容许浓度，不得超过表 1 的规定。

第十三条　产生有害因素的工业企业与居住区之间，应设置一定的卫生防护距离。卫生防护距离的宽度，应由建设主管部门商同省、市自治区卫生、环境保护主管部门根据具体情况确定。在卫生防护距离内不得设置经常居住的房屋，并应绿化。

第二节　给水卫生

第十四条　工业企业生活饮用水的水源选择、水源卫生防护及水质标准，应符合现行《生活饮用水卫生标准》的要求。

第十五条　生活饮用水管道通过毒物污染区时，或与排水等管道平行或交叉时，应按现行的《室外排水设计规范》和《室外给水设计规范》执行。

第十六条　工业企业的生活饮用水管道，不得与非饮用水管道连接。在特殊情况下，必须以生活饮用水作为生产备用水源时，两种管道的连接处应采取有效措施，防止

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

污染生活饮用水。

当生产用水和生活饮用水采用同一管道供水时，其水质应符合现行的《生活饮用水卫生标准》规定的水质标准。向有毒生产设备供水时，必须采取切实有效措施，防止有毒物质进入管道，污染生活饮用水。

注：以城镇自来水作为工业企业的生产用水，并有可能向有毒生产设备供水时，同样必须采取切实有效的措施，防止有毒物质污染城镇自来水。

第十七条　工业企业自备的生活饮用水供水系统，不得与城镇供水系统连接。必须连接时，应采取行之有效的措施，并应取得当地卫生、环境保护和有关管理部门的同意。

第三节　地面水和地下水的卫生防护

第十八条　在设计产生有害工业废水的工业企业时，应积极采用行之有效的先进技术，并将废水的综合利用、清污分流、循环使用等措施纳入生产工艺流程，应少排或不排有害废水，减少或消除废水中有害物质。对于生产中还不能完全消除的有害工业废水，应符合本标准第二条的规定。

第十九条　工业废水和生活污水，应有完善的收集、必要的处理和排放系统，防止污染厂内外环境。

几种工业废水混合时能形成有毒气体（如硫化氢、氰化氢等）和大量不溶性物质时，应分别处理后，方准排入厂内同一排水管道。

工业废水排入城镇排水管道时，应符合现行的《室外排水设计规范》要求。

第二十条　用于农田灌溉的工业废水，应积极处理、慎重利用，并应符合现行的《农田灌溉水质标准》和《生活饮用水卫生标准》中有关水源卫生防护的要求。当不能达到终年利用，而必须排入地面水体时，应符合本标准第二十一条的要求。

第二十一条　工业废水和生活污水，应经必要的处理，方准排入地面水体。当其排入地面水体后，下游最近用水点的水质，应符合附表 6-2、附表 6-3 的要求。

注：（1）最近用水点是指排出口下游最近的城镇、工业企业集中式给水取水点上游1,000米断面处，或农村生活饮用水集中取水点。

（2）在城镇、工业企业集中式给水取水点的上游 1 000 米及下游 100 米的范围内，不得排入工业废水和生活污水。

（3）地面水的流量应按最枯流量或 95% 保证率的最旱年最旱月的平均小时流量计算。污水按排出时最高小时流量计算。

附表 6-2　地面水水质卫生要求

指标	卫生要求
悬浮物质色、臭、味	含有大量悬浮物质的工业废水，不得直接排入地面水体，不得呈现工业废水和生活污水所特有的颜色、异臭或异味
漂浮物质	水面上不得出现较明显的油膜和浮沫
pH 值	6.5 ~ 8.5

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

指标	卫生要求
生化需氧量/(mg/L)（五日 20℃）	不超过 3～4
溶解氧/(mg/L)	不低于 4(东北地区渔业水体应不低于 5)
有害物质	不超过附表 6-3 规定的最高容许浓度
病原体	含有病原体的工业废水和医院污水,必须经过处理和严格消毒,彻底消灭病原体后方准排入地面水体

第二十二条　当工业废水和生活污水必须排入不能发挥稀释能力或不宜考虑稀释作用的地面水时，排入的工业废水和生活污水的水质，应符合本标准第二十一条附表 6-2、附表 6-3 的要求。

第二十三条　水力排灰、冲渣、尾矿和洗煤等废水，必须经过处理符合本标准第二十一条的要求时方可排入地面水体。

第二十四条　为防止污染地下水源，有害工业废水和生活污水不得排入渗坑或渗井等。

输送有害工业废水的管道和明渠，应防止渗漏。能散发有毒气体的工业废水，在流入处理设备前，不得采用明渠。

附表 6-3　地面水中有害物质的最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/L)	编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/L)
1	乙腈	5.0	14	内吸磷(E059)	0.03
2	乙醛	0.05	15	水合肼	0.01
3	二硫化碳	2.0	16	四乙基铅	不得检出
4	二硝基苯	0.5	17	四氯苯	0.02
5	二硝基氯苯	0.5	18	石油(包括煤油汽油)	0.3
6	二氯苯	0.02	19	甲基对硫磷(甲基 E605)	0.02
7	丁基黄原酸盐	0.005	20	甲醛	0.5
8	三氯苯	0.02	21	丙烯腈	2.0
9	三硝基甲苯	0.5	22	丙烯醛	0.1
10	马拉硫磷(4049)	0.25	23	对硫磷(E605)	0.003
11	乙内酰胺	按地面水中生化需氧量计算	24	乐戈(乐果)	0.08
			25	异丙苯	0.25
12	六六六	0.02	26	汞	0.001
13	六氯苯	0.05	27	吡啶	0.2

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/L)	编号	物质名称	最高容许浓度/(mg/L)
28	钒	0.1	41	铍	0.000 2
29	松节油	0.2	42	硒	0.01
30	苯	2.5	43	铬:三价铬	0.5
31	苯乙烯	0.3		六价铬	0.05
32	苯胺	0.1	44	铜	0.1
33	苦味酸	0.5	45	锌	1.0
34	氟化物	1.0	46	硫化物	不得检出(按地面水溶解氧计算)
35	活性氯	不得检出(按地面水需氯量计算)	47	氰化物	0.05
			48	氯苯	0.02
36	挥发酚类	0.01	49	硝基氯苯	0.05
37	砷	0.04	50	锑	0.05
38	钼	0.5	51	滴滴涕	0.2
39	铅	0.1	52	镍	0.5
40	钴	1.0	53	镉	0.01

注：附表6-2 附表6-3 所列各项指标和有害物质的检验方法，应按卫生部批准的现行《地面水水质监测检验方法》执行。

第四节 废 渣 处 置

第二十五条 工业企业的生产废渣，应积极采取综合利用措施。凡已有综合利用经验的，必须纳入工艺设计。利用有害工业废渣，必须防止产生新的污染。

废渣堆放或填洼时，应有防止扬散、流失、淤塞河道等措施，以免污染大气、水源和土壤。

第二十六条 含汞、镉、砷、六价铬、铅、氰化物、有机磷及其他毒性大的可溶性工业废渣，必须专设具有防水、防渗措施的存放场所，并严禁埋入地下与排入地面水体。

第三章 车 间 卫 生

第一节 防尘、防毒

第二十七条 放散有害物质的生产过程和设备，应尽量考虑机械化和自动化，加强密闭，避免直接操作，并应结合生产工艺采取通风措施。放散粉尘的生产过程，应首先考虑采用湿式作业。有毒作业宜采用低毒的原料代替高毒的原料。

第二十八条 产生有害物质的车间，有害物质发生源的布置，应符合下列要求：

（一）放散不同有害物质的生产过程布置在同一建筑物内时，毒害大与毒害小的应隔开；

（二）有害物质的发生源，应布置在工作地点的机械通风或自然通风的下风侧；

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（三）如布置在多层建筑物内时，放散热和有害气体的生产过程，应布置在建筑物的上层。如必须布置在下层时，应采取有效措施防止污染上层的空气。

第二十九条　产生危害较大的粉尘、有毒物质或酸碱等强腐蚀性介质的车间，应有冲洗地面和墙壁的设施。车间地面应平整防滑，易于清扫。经常有液体的地面应不透水，并坡向排水系统。

第三十条　产生汞、砷等剧烈毒物质的车间，其墙壁、顶棚和地面等内部结构的表面，应采用不吸收毒物的材料。必要时加设保护层，以便清洗。其废水应纳入工业废水处理系统。

第三十一条　经常有人通行的地道，应有自然通风或机械通风，并不得敷设有毒液体或有毒气体的管道。

第三十二条　车间空气中有害物质的浓度，不得超过附表6-4的规定。

附表6-4　车间空气中有害物质的最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m^3）	编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m^3）
（一）有毒物质			21	乙内酰胺	10
1	一氧化碳①	30	22	五氧化二磷	1
2	一甲胺	5	23	五氯酚及其钠盐	0.3
3	乙醚	500	24	六六六	0.1
4	乙腈	3	25	丙体六六六	0.05
5	二甲胺	10	26	丙酮	400
6	二甲苯	100	27	丙烯腈（皮）	2
7	二甲基甲酰胺（皮）	10	28	丙烯醛	0.3
8	二甲基二氯硅烷	2	29	丙烯醇（皮）	2
9	二氧化硫	15	30	甲苯	100
10	二氧化硒	0.1	31	甲醛	3
11	二氯丙醇（皮）	5	32	光气 有机磷化合物：	0.5
12	二硫化碳（皮）	10			
13	二异氰酸甲苯酯	0.2	33	内吸磷（1509）（皮）	0.02
14	丁烯	100	34	对硫磷（1605）（皮）	0.05
15	丁二烯	100	35	甲拌磷（3911）（皮）	0.01
16	丁醛	10	36	马拉硫磷（4049）（皮）	2
17	三乙基氯化锡（皮）	0.01	37	甲基内吸磷（甲基1059）（皮）	0.2
18	三氧化二砷及五氧化二砷	0.3			
19	三氧化铬、铬酸盐、重铬酸盐（换算成CrO_3）	0.05	38	甲基对硫磷（甲基1605）（皮）	0.1
20	三氯氢硅	3			

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m^3）	编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m^3）
39	（乐果）（皮）	1	62	氟化氢及氟化物（换算成F）	1
40	敌百虫（皮）	1			
41	敌敌畏（皮）	0.3	63	氨	30
42	吡啶	4	64	臭氧	0.3
	汞及其化合物		65	氧化氮（换算成NO_2）	5
43	金属汞	0.01	66	氧化锌	5
44	升汞	0.1	67	氧化镉	0.1
45	有机汞化合物（皮）	0.005	68	砷化氢	0.3
46	松节油	300		铅及其化合物：	
47	环氧氯丙烷（皮）	1	69	铅烟	0.03
48	环氧乙烷	5	70	铅尘	0.05
49	环乙酮	50	71	四乙基铅（皮）	0.005
50	环乙醇	50	72	硫化铅	0.5
51	环乙烷	100	73	铍及其化合物	0.001
52	苯（皮）	40	74	钼（可溶性化合物）	4
53	苯及其同系物的一硝基化合物（硝基苯及硝基甲苯等）（皮）	5	75	钼（不溶性化合物）	6
			76	黄磷	0.03
			77	酚（皮）	5
54	苯及其同系物的二及三硝基化合物（二硝基苯、三硝基甲苯等）（皮）	1	78	萘烷、四氢化萘	100
			79	氰化氢及氢氰酸盐（换算成HCN）（皮）	0.3
			80	联苯-联苯醚	7
55	苯的硝基及二硝基氯化物（一硝基氯苯、二硝基氯苯等）（皮）	1	81	硫化氢	10
			82	硫酸及三氧化硫	2
56	苯胺、甲苯胺、二甲苯胺（皮）	5	83	锆及其化合物	5
			84	锰及其化合物（换算成MnO_2）	0.2
57	苯乙烯	40	85	氯	1
	钒及其化合物：		86	氯化氢及盐酸	15
58	五氧化二钒烟	0.1	87	氯苯	50
59	五氧化二钒粉尘	0.5	88	氯萘及氯联苯（皮）	1
60	钒铁合金	1	89	氯化苦	1
61	苛性碱（换算成NaOH）	0.5		氯化烃：	

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

（续）

编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m³）	编号	物质名称	最高容许浓度/（mg/m³）
90	二氯乙烷	25	108	丁醇	200
91	三氯乙烯	30	109	戊醇	100
92	四氯化碳（皮）	25	110	糠醛	10
93	氯乙烯	30	111	磷化氢	0.3
94	氯丁二烯（皮）	2	（二）生产性粉尘		
95	溴甲烷（皮）	1	112	含有10%以上游离二氧化硅的粉尘（石英、石英岩等）②	2
96	碘甲烷（皮）	1			
97	溶剂汽油	350			
98	滴滴涕	0.3	113	石棉粉尘及含有10%以上石棉的粉尘	2
99	羰基镍	0.001			
100	钨及碳化钨	6	114	含有10%以下游离二氧化硅的滑石粉尘	4
	醋酸脂：				
101	醋酸甲脂	100	115	含有10%以下游离二氧化硅的水泥粉尘	6
102	醋酸乙脂	300			
103	醋酸丙脂	300	116	含有10%以下游离二氧化硅的煤尘	10
104	醋酸丁脂	300			
105	醋酸戊脂	100	117	铝、氧化铝、铝合金粉尘	4
	醇：		118	玻璃棉和矿渣棉粉尘	5
106	甲醇	50	119	烟草及茶叶粉尘	3
107	丙醇	200	120	其他粉尘③	10

注：1. 表中最高容许浓度是工人工作地点空气中有害物质所不应超过的数值。工作地点是指工人为观察和管理生产过程而经常或定时停留的地点，如生产操作在车间内许多不同地点进行，则整个车间均算为工作地点。

2. 有（皮）标记者为除经呼吸道吸收外，尚易经皮肤吸收的有毒物质。

3. 工人在车间内停留的时间短暂，经采取措施仍不能达到上表规定的浓度时，可与省、市、自治区卫生主管部门协商解决。

4. 本表所列各项有毒物质的检验方法，应按卫生部批准的现行《车间空气监测检验方法》执行。

① 一氧化碳的最高容许浓度在作业时间短暂时可予放宽：作业时间1h以内，一氧化碳浓度容许达到50mg/m³；半小时以内可达到100mg/m³；15～20min可达到200mg/m³。在上述条件下反复作业时，两次作业之间需间隔2h以上。

② 含有80%以上游离二氧化硅的生产性粉尘，宜不超过1mg/m³。

③ 其他粉尘系指游离二氧化硅含量在10%以下，不含有毒物质的矿物性和动植物性粉尘。

第三十三条　露天作业的工艺设备，亦应采取有效措施，使工作地点有害物质的浓度符合本标准第三十二条附表6-4的要求。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

第三十四条　数种溶剂（苯及其同系物或醇类或醋酸脂类）的蒸气，或数种刺激性气体（三氧化硫及二氧化硫或氟化氢及其盐类等）同时放散于空气中时，全面通风换气量应按各种气体分别稀释至最高容许浓度所需要的空气量的总和计算。除上述有害物质的气体及蒸气外，其他有害物质同时放散于空气中时，通风量仅按需要空气量最大的有害物质计算。

第三十五条　机械通风装置的进风口位置，应设于室外空气比较洁净的地方。相邻车间的进气和排气装置，应合理布置，避免不利影响。

第三十六条　为了更好的保证车间空气达到本标准附表 6-4 的要求，机械通风送入车间空气中有害气体、蒸气及粉尘的含量，不应超过本标准附表 6-4 规定的最高容许浓度的 30%。

第三十七条　空气中含有病原体（如毛类、破烂布等分选车间）、极难闻气味的物质（如熬胶等）及有害物质浓度可能突然增高的车间，不得采用循环空气作热风采暖和空气调节。

第三十八条　供给车间的空气，一般直接送至工作地点。产生粉尘而不放散有害气体或放散有害气体而又无大量余热的车间，有局部排气装置的工作地点，可由车间上部送入空气。

第三十九条　容易凝结蒸气和积聚粉尘的排气装置，以及物质混合时能引起爆炸、燃烧或形成更有害的混合物、化合物的排气装置，不得联成一个排气系统。

第四十条　局部排气装置排出浓度较高的有害物质，应经过净化回收处理，达到本标准第十二条规定时，方可向大气排放。

第四十一条　在车间的生产中可能突然产生大量有害物质时，应设置事故排风装置。事故排风装置的排风口，应避免对居民和行人的影响。

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

参 考 文 献

[1] 冯绍彬．电镀清洁生产工艺［M］．北京：化学工业出版社，2005.

[2] 蒋展鹏．环境工程学［M］．北京：高等教育出版社，1992.

[3] 张学洪，张力，梁延鹏．水处理工程试验技术［M］．北京：冶金工业出版社，2008.

[4] 曾一鸣．膜生物反应器技术［M］．北京：国防工业出版社，2007.

[5] Jack T Ballinger. 化学操作人员便携手册［M］．单克涛，译．北京：机械工业出版社，2006.

[6] 何铁林．水处理化学品手册［M］．北京：化学工业出版社，2000.

[7] 汪大，徐新华，宋爽．工业废水中专项污染物处理手册［M］．北京：化学工业出版社，2000.

[8] 高艳玲，马达．污水生物处理新技术［M］．北京：中国建材工业出版社，2006.

[9] 买文宁，邢传宏，徐洪斌．有机废水生物处理技术及工程设计［M］．北京：化学工业出版社，2008.

[10] 王继斌，宋来洲，孙颖．环保设备选择、运行和维护［M］．北京：化学工业出版社，2007.

[11] 崔福义，彭永臻，南军，等．给排水工程仪表与控制［M］．北京：中国建材工业出版社，2006.

[12] 杨岳平，徐新华，刘传富．废水处理工程及实例分析［M］．北京：化学工业出版社，2003.

[13] 孙力平，等．污水处理新工艺与设计计算实例［M］．北京：科学出版社，2001.

[14] Tom Stephenson. Simon Judd. Bruce Jefferson. Keith Brindle. 膜生物反应器污水处理技术［M］．张树国，李咏梅，译．北京：化学工业出版社，2003.

[15] 贾金平，谢少艾，陈虹锦．电镀废水处理技术及工程实例［M］．北京：化学工业出版社，2003.

[16] 张允诚，胡如南，向荣．电镀手册［M］．北京：国防工业出版社，2007.

[17] 孙华，李梅，刘利亚．涂镀三废处理工艺与设备［M］．北京：化学工业出版社，2006.

[18] 商丹江，张志生，袭晓娣．铝交联改性膨润土处理低浓度含磷废水的研究［J］．净水技术，2009（2）.

[19] 张林生．机械工业废水处理技术及典型工程［M］．北京：机械工业出版社，2008.

[20] 朱洪法，朱玉霞．无机化工产品手册［M］．北京：金盾出版社，2008.

[21] 刘冬莲，高申．无机与分析化学［M］．北京：化学工业出版社，2009.

[22] 邹家庆．工业废水处理技术［M］．北京：化学工业出版社，2003.

[23] 杨婧，温勇，杜建伟．电镀工业园区规划设计中的清洁生产思考与分析［J］．电镀与涂饰，2008（8）.

[24] 朱乐辉，邱俊，叶晓东，等．高浓度含磷废水处理研究与应用［J］．水处理技术，2009（4）.

[25] 尔丽珠．石灰法处理高浓度含磷废水技术［J］．电镀与精饰，2008（5）.

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

[26] 卢海燕，张广玲．焦磷酸盐镀铜废水处理［J］．电镀与环保，2008（9）．
[27] 陈永松，周少奇．电镀污泥处理技术的研究进展［D］．广州：华南理工大学环境科学与工程学院．
[28] 陈燕车，胡华龙，李治琨．日本固体废物管理与资源化技术［M］．北京：化学工业出版社，2007.
[29] 于培旺，常大年．管道安装施工技术［M］．北京：化学工业出版社，2007.
[30] 尹士君，李亚峰．水处理构筑物设计与计算［M］．北京：化学工业出版社，2004.
[31] 尹军，谭学军．污水污泥处理处置与资源化利用［M］．北京：化学工业出版社，2005.
[32] 张辰，王国华，孙晓副．污泥处理处置技术与工程实例［M］．北京：化学工业出版社，2006.
[33] 重庆大学流体力学教研室．泵与风机［M］．北京：水利电力出版社，1983.
[34] 陈志平，章序文，林兴华．搅拌与混合设备设计选用手册［M］．北京：化学工业出版社，2004.
[35] 林荣忱，乔寿锁，王家廉．污废水处理设施运行管理［M］．北京：北京出版社，2006.

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

广州市龙象水处理科技有限公司

一、公司性质：香港合资企业，日本技术，总部在香港。

二、业务

1. 电镀废水处理工程设计，设备制造、安装、调试、运营。

2. 电厂工业废水处理工程设计，设备制造、安装、调试、运营。

废水处理量：1 000 ~ 100 000t/天

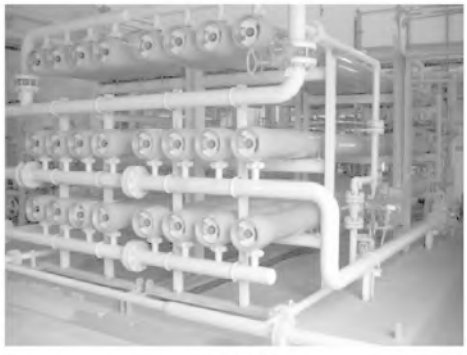
3. 污泥综合利用。

三、图片

公司实验室

电镀工业园废水处理厂

电厂废水综合池



电厂回用水

四、地址：广州市白云区竹料大道红旗路口三排

联系人：段光复　　电话：13825191998

Emil：lxzn@ gzlxzn. com

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

深圳市通力创建环保科技有限公司

深圳市通力创建环保科技有限公司是电镀废水、线路板废水等工业废水净化处理的新型高科技环保公司。以先进的技术和运营管理模式为依托，成功运营了多个废水处理工程，深圳市环保局、宝安区环保局的领导曾多次莅临公司参观、指导，《人民日报》、《深圳特区报》等媒体对公司进行了深入的采访和报道。

电镀工业园废水处理厂

控制室

主要技术：

1. 电镀、线路板废水一级处理——物理化学处理。
2. 电镀、线路板废水二级处理——生化处理。
3. 电镀、线路板废水三级处理——中水回用处理。

处理水质长期稳定达到国家一级排放标准，回用水回用于电镀工艺用水。

地址：深圳市宝安区福永镇富桥工业区一区 15 栋

电话：0755 - 61183898　　传真：0755 - 61183899

Emil：lxzn@ gzlxzn. com　　http：//www. tonglisz. com

联系人：段先生　　手机：13825191998

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

8m 卧式车床

5m 立式车床

ϕ160mm 镗铣床

广州市龙象水处理设备制造基地

业务：格栅清污机、螺旋输送机、压滤机、刮吸泥机、搅拌器、气浮净水器、水位控制器、油水分离器、加药机等成套设备。

地址：广州市白云区竹料大道红旗路口三排 湖南省攸县湘东化机厂

联系人：段光复　电话：13825191998　Emil：lxzn@ gzlxzn. com

www.789pdf.com 789书库网

www.789pdf.com 789书库网

ISBN 978-7-111-30903-1

定价：59.00元

地址：北京市百万庄大街22号　　邮政编码：100037
电话服务　　网络服务
社服务中心：(010)88361066　　门户网：http://www.cmpbook.com
销 售 一 部：(010)68326294　　教材网：http://www.cmpedu.com
销 售 二 部：(010)88379649　　封面无防伪标均为盗版
读者服务部：(010)68993821

ISBN 978-7-111-30903-1

www.789pdf.com 789书库网