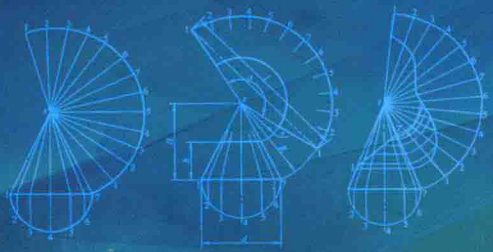


实用钣金技术手册

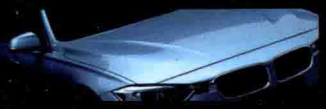
SHIYONG BANJIN JISHU SHOUCE

王 兵 主编

顾齐志 林 莉 沈 阳 副主编



化学工业出版社

实用

钣金技术手册

■ 本书以介绍钣金实用技术为主，就是要使从事钣金工作的人员通过自学和结合生产实践，由浅入深，循序渐进，全面掌握钣金技术的基本理论知识与操作技术。全书共分为七章，内容包括：钣金识图与作图、钣金展开技术、钣金展开的计算基础、放样施工图样与技术、钣金下料技术、钣金成形与连接装配技术、计算机辅助钣金应用技术。

■ 本书可作为钣金工自学用书和钣金工种的培训读物，也可作为相关技术人员的参考用书。

www.cip.com.cn
读科技图书　上化工社网

ISBN 978-7-122-24001-9
9 787122 240019 >
定价：59.00 元

销售分类建议：机械 / 机械制造

实用
钣金技术手册

王 兵 主编

顾齐志 林 莉 沈 阳 副主编

化学工业出版社

·北京·

图书在版编目（CIP）数据

实用钣金技术手册/王兵主编. —北京：化学工业出版社，2015.7
ISBN 978-7-122-24001-9

Ⅰ.①实… Ⅱ.①王… Ⅲ.①钣金工-技术手册
Ⅳ.①TG38-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 104403 号

责任编辑：王 烨　　文字编辑：谢蓉蓉
责任校对：吴 静　　装帧设计：关 飞

出版发行：化学工业出版社
（北京市东城区青年湖南街 13 号　邮政编码 100011）
印　　装：三河市延风印装有限公司
850mm×1168mm　1/32　印张 15½　字数 447 千字
2015 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）
售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　　价：59.00 元

版权所有　违者必究

前言

钣金构件和制品以其工艺简单、生产效率高等优点，在机械、化工、冶金、轻工等行业的生产中得到越来越广泛的应用，而钣金工就是从事金属构件制作的一个主要工种。随着科学技术的发展，钣金制件变得越来越多样化和复杂化，对钣金工的技术要求也越来越高。为帮助广大技术工人，特别是中青年技术人员提高钣金操作技能和技术水平，我们组织编写了《实用钣金技术手册》一书。

本书以介绍实用技能为主，图文并茂，简明实用，形式不拘一格，内容浅显易懂，不过于追求系统与理论的深度，以实用和够用为原则，将专业知识与操作技能融于一体，力求解决生产中的实际问题。另外，将钣金展开知识、钣金成形知识以及计算机辅助技术结合起来，突出实用性、针对性和可操作性的应用特色，加强了钣金知识的系统性、连贯性，也是本书的一大特色。

本书由王兵主编，顾齐志、林莉、沈阳副主编，参加编写的还有路娟、丁轶、唐葵、何正文、张冬、刘璇、张军、刘成耀、周正国、杨东、刘文、曾艳、王平、曹君、毛江华。本书在编写过程中还得到了二汽襄樊基地砂模车间夏祖权高级工程师的指导和帮助，在此向他表示衷心的感谢。

传统钣金制造方法受到技术发展的局限，随着计算机和工业自动化技术的快速发展，先进钣金制造技术也深入应用到了钣金制造企业中，包括板材柔性制造、管材三维布局等，但限于时间和知识，这个愿望将成为编者进一步努力的目标，同时在全书编写中难免存在疏漏和不妥之处，恳请广大读者给予批评和指正，以利提高。

编者

目 录

第1章 钣金识图与作图 /1

1.1 钣金几何作图基础 …… 1
1.1.1 投影基础 …… 1
1.1.1.1 投影的基本概念 …… 1
1.1.1.2 三视图的形成过程 …… 3
1.1.1.3 基本的视图与尺寸标注 …… 6
1.1.1.4 立体表面上点、线、面的投影分析 …… 10
1.1.1.5 轴侧图的概念 …… 14
1.1.2 识图基础 …… 18
1.1.2.1 基本视图 …… 19
1.1.2.2 局部视图 …… 20
1.1.2.3 斜视图 …… 20
1.1.2.4 剖视图 …… 21
1.1.2.5 剖面图 …… 25
1.1.2.6 其他表达方法 …… 26
1.1.3 钣金几何作图 …… 27
1.1.3.1 钣金作图基本工具 …… 27
1.1.3.2 图线的规范画法 …… 31
1.1.3.3 作图方法 …… 33
1.2 读图思维基础和思维方法 …… 52
1.2.1 标注尺寸的基本规则 …… 52
1.2.2 钣金读图的思维方法 …… 58
1.2.2.1 钣金图样的识图方法 …… 58

1.2.2.2 视图的审核 …… 62
1.2.2.3 管路图的识读方法 …… 66
1.3 构件表面结合线的绘制和识读 …… 69
1.3.1 相贯体交线的绘制与识读 …… 69
1.3.1.1 相贯线的性质与特点 …… 69
1.3.1.2 两曲面体组合投影 …… 75
1.3.1.3 相贯体交线的求作 …… 76
1.3.2 切割体的绘制与识读 …… 79
1.3.2.1 平面立体被平面切割 …… 79
1.3.2.2 圆柱被平面切割 …… 81
1.3.2.3 圆锥被平面切割 …… 82
1.3.2.4 球被平面切割 …… 83

第2章 钣金展开技术 /84

2.1 钣金展开的工艺处理 …… 84
2.1.1 表面素线的分布规律 …… 85
2.1.1.1 直线面素线的分布规律 …… 85
2.1.1.2 曲线面曲线的分布规律 …… 87
2.1.1.3 螺旋面螺线分布的规律 …… 89
2.1.2 表面曲线可展性分析 …… 91
2.1.2.1 可展表面 …… 91
2.1.2.2 不可展表面 …… 93
2.1.2.3 构件表面尽量用可展曲面构造 …… 93
2.1.3 表面展开的基本方法 …… 101
2.1.3.1 平行线展开法 …… 101
2.1.3.2 放射线展开法 …… 102
2.1.3.3 三角形展开法 …… 103
2.1.3.4 用平行线法和放射线法求作不可展曲面的展开 …… 107
2.2 展开实长与实形的求法 …… 109
2.2.1 旋转法 …… 109
2.2.1.1 旋转法求实长的原理 …… 109

2.2.1.2 旋转法求实长的作法 …… 110
2.2.2 直角三角形法 …… 111
2.2.2.1 直角三角形法求实长的原理 …… 111
2.2.2.2 直角三角形法求实长示例 …… 111
2.2.3 直角梯形法 …… 112
2.2.3.1 直角梯形法求实长的原理 …… 112
2.2.3.2 直角梯形法求实长的方法 …… 113
2.2.4 辅助投影面法 …… 113
2.2.4.1 辅助投影面法的基本原理 …… 113
2.2.4.2 辅助投影面法求实长示例 …… 114
2.2.5 二次换面法 …… 114
2.2.5.1 二次换面法原理 …… 114
2.2.5.2 二次换面法应用示例 …… 115
2.3 计算法展开 …… 116
2.3.1 平面构件计算展开 …… 116
2.3.2 曲面构件计算展开 …… 121

第3章 钣金展开的计算基础 /122

3.1 计算基础 …… 122
3.1.1 常用坐标系 …… 122
3.1.1.1 平面直角坐标系 …… 122
3.1.1.2 平面极坐标系 …… 122
3.1.1.3 坐标转换 …… 123
3.1.2 直线实长和两平面间夹角的计算 …… 124
3.1.2.1 直线实长的计算 …… 124
3.1.2.2 两平面间夹角的计算 …… 125
3.1.3 圆的计算 …… 126
3.1.4 椭圆的计算 …… 127
3.1.4.1 椭圆弧长的近似计算 …… 127
3.1.4.2 椭圆周长的精确计算 …… 128
3.1.4.3 椭圆周长的近似计算 …… 129

3.1.4.4 椭圆周长的弦长逼近 …… 129
3.1.5 其他几何图形面积与体积的计算 …… 129
3.1.5.1 几何图形面积的计算 …… 129
3.1.5.2 几何图形体积与表面积的计算 …… 132
3.1.5.3 各种压延件的表面积计算 …… 135
3.1.5.4 常用压延件的坯料直径计算 …… 136
3.2 程编计算 …… 138
3.2.1 程编计算公式法展开 …… 138
3.2.2 计算器的程编计算应用 …… 140
3.2.3 钣金展开中程编计算的应用 …… 144
3.2.3.1 图解法展开 …… 144
3.2.3.2 程编计算公式法展开 …… 146
3.3 各种构件的展开计算应用 …… 148
3.3.1 圆锥体和棱锥体展开计算 …… 148
3.3.1.1 圆锥的展开计算 …… 148
3.3.1.2 棱锥的展开计算 …… 163
3.3.2 三通与弯头的展开计算 …… 174
3.3.2.1 三通的展开计算 …… 174
3.3.2.2 弯头的展开计算 …… 185
3.3.3 异形构件的展开计算 …… 191
3.3.3.1 上下口扭转方锥接头的展开计算 …… 191
3.3.3.2 正圆顶方底的展开计算 …… 193
3.3.3.3 圆方偏心过渡连接管的展开计算 …… 195
3.3.4 曲面和封头的展开计算 …… 199
3.3.4.1 球面分块的展开计算 …… 199
3.3.4.2 球体封头的展开计算 …… 200
3.3.4.3 封头的展开计算 …… 202

第 4 章 放样施工图样与技术 / 205

4.1 放样基准与样板和样杆的制作 …… 205
4.1.1 放样基准 …… 205

4.1.1.1 放样基准 …… 205
4.1.1.2 基准线划法及要求 …… 206
4.1.2 样板与样杆的制作 …… 207
4.1.2.1 样板与样杆的制作工艺 …… 207
4.1.2.2 样板的制作 …… 207
4.1.2.3 样杆的制作 …… 209
4.1.2.4 样板符号 …… 210
4.2 放样施工准备 …… 210
4.2.1 钣金材质检验 …… 211
4.2.1.1 材质检验标准 …… 211
4.2.1.2 材质检验 …… 211
4.2.2 钣金形状矫正 …… 215
4.2.2.1 矫正的原理与要求 …… 215
4.2.2.2 矫正类型及状态 …… 216
4.2.2.3 矫正工艺方法 …… 220
4.3 放样施工工艺 …… 236
4.3.1 放样图及其应用 …… 236
4.3.1.1 放样图绘制 …… 236
4.3.1.2 放样图结构处理 …… 237
4.3.1.3 放样图的作用 …… 239
4.3.2 放样程序与过程 …… 239
4.3.2.1 放样前准备 …… 240
4.3.2.2 放样过程确定 …… 240
4.3.2.3 放样尺寸确定 …… 244
4.3.2.4 放样允许误差 …… 245
4.4 放样号料技术 …… 246
4.4.1 划线号料程序 …… 246
4.4.1.1 号料前准备 …… 246
4.4.1.2 号料操作要求 …… 247
4.4.1.3 号料后处理要求 …… 248
4.4.2 号料技术方法 …… 248

4.4.2.1 板材号料技巧 …… 248
4.4.2.2 型钢号料方法 …… 250
4.4.2.3 二次号料及误差 …… 251
4.4.3 型钢切口号料 …… 252
4.4.3.1 角钢弯曲切口号料 …… 252
4.4.3.2 槽钢弯曲切口号料 …… 254
4.5 典型钣金件放样技术 …… 255
4.5.1 板壳类构件的放样 …… 255
4.5.1.1 侧板和蜗板展开放样 …… 257
4.5.1.2 进风口展开放样 …… 259
4.5.1.3 其他件放样制作 …… 260
4.5.2 容器类构件的放样 …… 260
4.5.2.1 放样工艺分析 …… 260
4.5.2.2 集粉装置放样过程 …… 261
4.5.2.3 四节弯管的放样过程 …… 263
4.5.3 支架类构件的放样 …… 265
4.5.3.1 管道支架施工图样分析 …… 265
4.5.3.2 放样工艺过程 …… 266

第5章 钣金下料技术 / 269

5.1 钣金下料的工艺基础 …… 269
5.1.1 下料常用设备 …… 269
5.1.1.1 压力机 …… 269
5.1.1.2 剪板机 …… 271
5.1.1.3 其他设备 …… 272
5.1.2 板厚的处理 …… 272
5.1.2.1 接口放加工余量 …… 272
5.1.2.2 板厚处理 …… 282
5.1.3 合理用料 …… 288
5.1.3.1 坯料尺寸的确定 …… 288
5.1.3.2 样板的制作 …… 289

5.1.3.3 合理用料 …… 291
5.2 钣金下料的方法 …… 293
5.2.1 剪切下料 …… 293
5.2.1.1 手工剪切 …… 294
5.2.1.2 机械剪切 …… 302
5.2.2 铣切下料 …… 305
5.2.3 锯切下料 …… 310
5.2.3.1 锯切工具及选用 …… 310
5.2.3.2 锯切方法及参数 …… 311
5.2.4 冲裁下料 …… 312
5.2.4.1 冲裁下料影响因素 …… 315
5.2.4.2 冲裁下料工艺 …… 319
5.2.5 气割下料 …… 323
5.2.5.1 氧气自动切割 …… 323
5.2.5.2 等离子切割 …… 329
5.2.6 激光自动切割下料简介 …… 336
5.2.6.1 激光切割原理 …… 336
5.2.6.2 激光切割 …… 338
5.2.7 薄壁管料的冲切下料 …… 341
5.2.7.1 冲切过程 …… 341
5.2.7.2 切刀形状及尺寸 …… 342
5.3 型钢构件的展开下料方法 …… 345
5.3.1 各种钢圈展开下料方法 …… 345
5.3.1.1 角钢圈 …… 345
5.3.1.2 槽钢圈 …… 346
5.3.1.3 工字钢 …… 346
5.3.2 各种型钢的切角和弯曲展开下料方法 …… 348
5.3.2.1 角钢的切角 …… 348
5.3.2.2 角钢的弯直角 …… 349
5.3.2.3 角钢弯矩形框 …… 351
5.3.2.4 槽钢弯折 …… 353

5.3.2.5 槽钢的矩形组对的下料方法 …… 356

第6章 钣金成形与连接装配技术 /358

6.1 钣金成形技术 …… 358
6.1.1 常用工、夹量具 …… 358
6.1.1.1 成形工具及其使用 …… 358
6.1.1.2 夹具及其使用 …… 372
6.1.1.3 常用量具 …… 375
6.1.2 手工弯曲 …… 378
6.1.2.1 各种型材最小弯曲半径的计算 …… 378
6.1.2.2 手工弯曲的操作 …… 380
6.1.2.3 操作注意事项与禁忌 …… 390
6.1.3 收边与放边 …… 393
6.1.3.1 手工收边 …… 393
6.1.3.2 手工放边 …… 396
6.1.4 咬缝与卷边 …… 398
6.1.4.1 咬缝 …… 398
6.1.4.2 卷边 …… 404
6.1.5 拔缘与拱曲 …… 406
6.1.5.1 拔缘 …… 406
6.1.5.2 拱曲 …… 406
6.1.6 滚弯 …… 409
6.1.6.1 滚制柱面 …… 409
6.1.6.2 滚制锥面 …… 411
6.1.6.3 型钢的滚弯 …… 412
6.1.6.4 滚弯件的对接 …… 413
6.2 连接装配 …… 414
6.2.1 焊条电弧焊 …… 414
6.2.1.1 焊条电弧焊所用工具与设备 …… 415
6.2.1.2 焊条电弧焊的基本操作 …… 417
6.2.2 铆接 …… 428

6.2.2.1 铆钉及铆接工具 …… 428
6.2.2.2 铆钉排列及铆接方式 …… 431
6.2.2.3 铆接的方法和应用 …… 432
6.2.2.4 铆接的质量分析 …… 434
6.2.3 螺纹连接 …… 435
6.2.3.1 螺纹连接形式 …… 436
6.2.3.2 螺纹连接的防松措施 …… 437
6.2.3.3 螺纹连接的工艺 …… 438
6.2.3.4 螺纹连接的预紧 …… 439
6.2.4 装配技术 …… 439
6.2.4.1 装配中零件的定位方法 …… 439
6.2.4.2 组装方法 …… 440
6.2.4.3 总装工艺要点 …… 440

第7章 钣金计算机辅助应用技术 / 443

7.1 三维 CAD 在钣金件设计中的应用 …… 443
7.2 用计算机绘制展开图 …… 448
7.2.1 AutoCAD2012 软件简介 …… 448
7.2.1.1 AutoCAD2012 界面操作 …… 448
7.2.1.2 AutoCAD 的实用命令 …… 451
7.2.1.3 AutoCAD 的基本绘图 …… 451
7.2.1.4 AutoCAD 的图形编辑与修改 …… 455
7.2.1.5 AutoCAD 的文字输入与尺寸标注 …… 458
7.2.1.6 颜色、线宽及线型 …… 460
7.2.2 用 AutoCAD 绘制展开图 …… 460
7.2.2.1 配置绘图环境 …… 462
7.2.2.2 绘制圆锥管的投影图 …… 462
7.2.2.3 求画各等分素线的实长 …… 462
7.2.2.4 画出各等分素线的展开位置 …… 466
7.2.2.5 求各等分素线的展开长度 …… 466
7.2.2.6 完成展开图 …… 469

7.3 编制计算机展开程序 …… 469
7.3.1 展开数据的编程计算 …… 469
7.3.2 展开图绘制编程 …… 470
7.4 计算机钣金展开系统 …… 476
7.4.1 软件简介 …… 476
7.4.1.1 AutoPOL For Windows 的工作界面 …… 476
7.4.1.2 主要功能 …… 477
7.4.2 软件操作简介 …… 478

参考文献 / 482

第1章

钣金识图与作图

1.1 钣金几何作图基础

1.1.1 投影基础

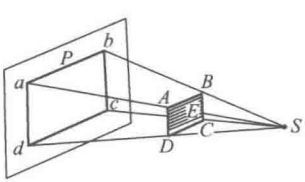
1.1.1.1 投影的基本概念

日常生活中投影现象无处不在。灿烂的阳光下，五彩缤纷的人造光源下，各种物体都会投下其影子。用绘图理论来总结物体与影子的几何关系，就构成了投影法这一概念。

（1）投影法分类　投影法分为两大类，即中心投影法和平行投影法，见表1-1。

（2）正投影的基本特征（表1-2）。

表1-1　投影法分类

投影法	投影图	概念
中心投影法		光源中心 S 发出的4条投射线，把 E 平面投影在 P 平面上，E 平面因距离 S 的远近不同，投影在 P 平面上的大小也随之不同

续表

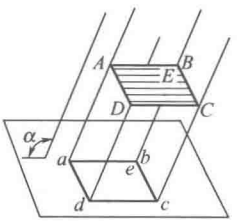
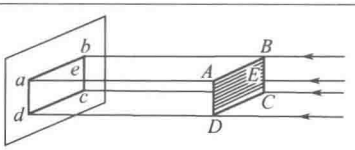
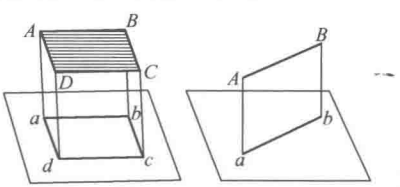
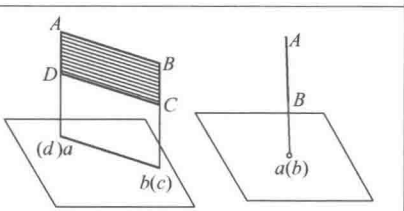
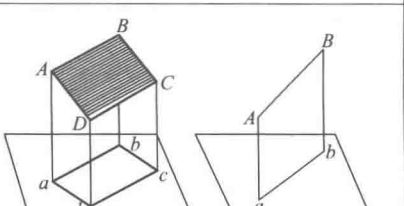
投影法		投影图	概念
平行投影法	斜投影法		投射线与投影面相倾斜的平行投影法。根据斜投影法所得到的图形，称为斜投影或斜投影图
	正投影法		投射线与投影面相垂直的平行投影法。根据正投影法所得到的图形，称为正投影或正投影图

表 1-2　正投影的基本特征

投影法	投影图	概念
显实性		平面（或直线）与投影面平行时，投影反映实形（或实长），投影的这种性质称为显实性
积聚性		平面（或直线）与投影面垂直时，投影积聚为一条直线（或一个点），投影的这种性质称为积聚性
类似性		平面（或直线）与投影面倾斜时，投影变小（或变短），但投影的形状仍与原来形状类似，投影的这种性质称为类似性

1.1.1.2 三视图的形成过程

(1) 三投影面体系的建立　三投影面体系由三个相互垂直的投影面所组成，如图 1-1 所示。其特点说明见表 1-3。

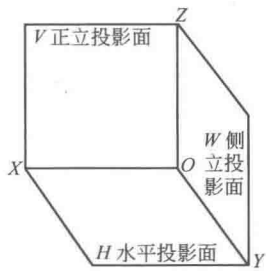


图 1-1　三投影面体系

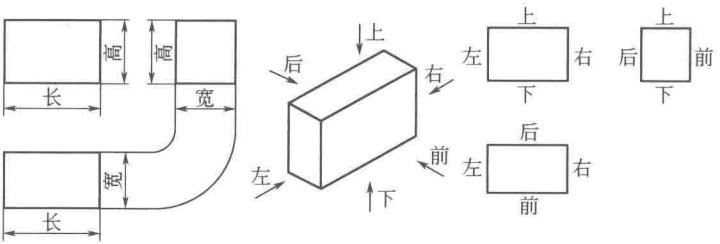
表 1-3　三投影面体系

投影面	符号	投影轴	说明	投影轴特点
正立投影面(正面)	V	OX 轴(X 轴)	是 V 面与 H 面的交线，它代表长度方向	三根投影轴相互垂直，其交点称为原点
水平投影面(水平面)	H	OY 轴(Y 轴)	是 H 面与 W 面的交线，它代表宽度方向	
侧立投影面(侧面)	W	OZ 轴(Z 轴)	是 V 面与 W 面的交线，它代表高度方向	

(2) 三视图的投影关系　物体有长、宽、高三个方向的大小。通常规定：物体左右之间的距离为长，前后之间的距离为宽，上下之间的距离为高。三个视图在尺寸上是彼此关联的，而且是有一定规律的，所以识读三视图时应以这些规律为依据，找出三个视图中相对应的部分才能正确地想象出物体的结构形状。

从图 1-2(a) 可看出，一个视图只能反映物体两个方向的大小，如主视图反映垫块的长和高，俯视图反映垫块的长和宽，左视图反映垫块的宽和高。由上述三个投影面展开过程可知，俯视图在主视图的下方，对应的长度相等，且左右两端对正，即主、俯视图相应部分的连线为互相平行的竖直线。同理，左视图与主视图高度相等

且对齐，即主、左视图相应部分在同一条水平线上。左视图与俯视图均反映垫块的宽度，所以俯、左视图对应部分的宽度应相等。



(a) 投影关系　　(b) 方位关系

图 1-2　三视图的投影和方位关系

根据上述三视图之间的投影关系，可归纳出以下三条投影规律：

主视图与俯视图——长对正；

主视图与左视图——高平齐；

俯视图与左视图——宽相等。

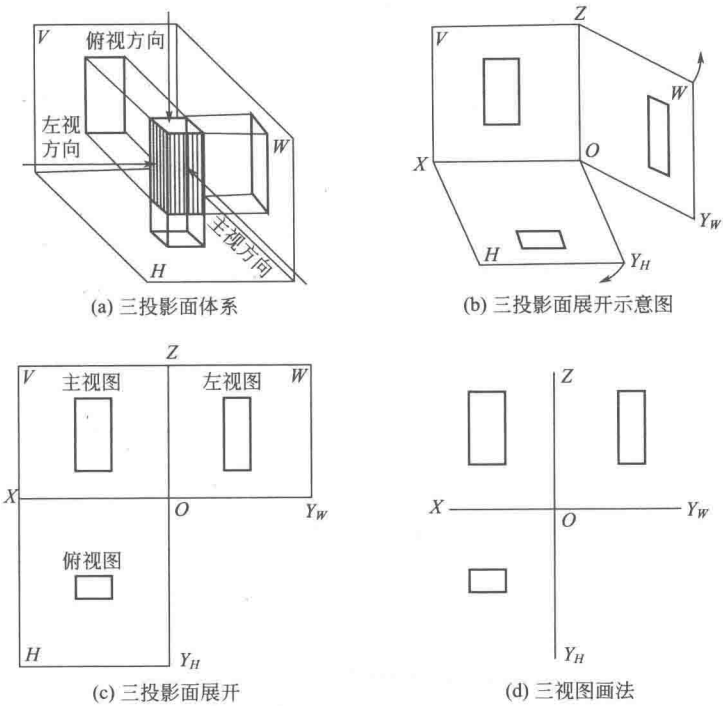
简单记忆可以说：长对正、高平齐、宽相等。

而且在三视图中不仅整个物体要符合这个投影规律，就是物体上每个组成部分在三视图中都要符合上述投影规律。

(3) 物体在三投影面体系中的投影　将物体放置在三投影面体系中，按正投影法向各投影面投射，即可分别得到物体的正面投影、水平投影和侧面投影，如图 1-3(a) 所示。

(4) 三视图与物体方位的对应关系　如图 1-3(b) 所示，物体有上、下、左、右、前、后六个方位，其中主视图反映物体的上、下和左、右的相对位置关系；俯视图反映物体的前、后和左、右的相对位置关系；左视图反映物体的前、后和上、下的相对位置关系。

画图和识图时，要特别注意俯视图与左视图的前后对应关系。在三个投影面展开过程中，水平面向下旋转，原来向前的 OY 轴成为向下的 OY_H，即俯视图的下方实际上表示物体的前方，俯视图的上方则表示物体的后方。而侧面向右旋转时，原来向前的 OY 轴成为向右的 OY_W，即左视图的右方实际上表示物体的前方，左视



(a) 三投影面体系　(b) 三投影面展开示意图

(c) 三投影面展开　(d) 三视图画法

图 1-3　三视图的形成过程

图的左方则表示物体的后方。所以，物体俯视图、左视图不仅宽度相等，还应保证前后位置的对应关系。

根据图 1-4 所示物体，绘制其三视图。

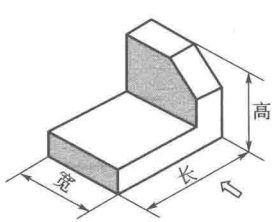
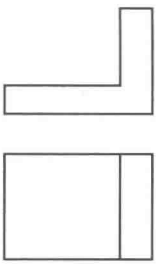
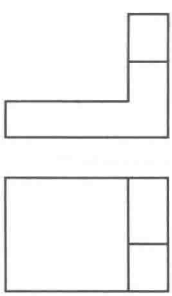
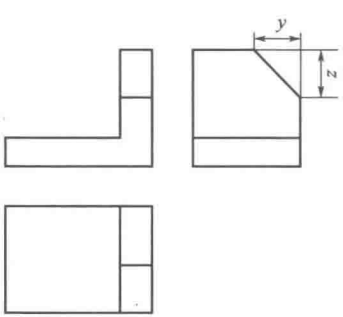


图 1-4　切角直角弯板

1）分析。图中所示物体是立板左前方切角的直角弯板。为了便于作图，应使物体的主要表面尽可能与投影面平行。画三视图时，应先画反映物体形状特征的视图，然后再按投影规律画出其他视图。

2）作图。方法与步骤见表 1-4。

表 1-4　切角直角弯板的作图方法

方法	图示	说明
画主、俯视图		量取弯板的长和高，画出反映特征轮廓的主视图，按主视图、俯视图长对正的投影关系，量取弯板的宽度，画出俯视图
画切角线		在俯视图上画出立板上方切去的一角，在主视图上也画出切角的图线
画左视图		按主视图、左视图高平齐，俯视图、左视图宽相等的投影关系。画出左视图。必须注意俯视图、左视图上“y”的前后对应关系，检查无误后，擦去多余的作图线，描深，完成弯板的三视图

1.1.1.3　基本的视图与尺寸标注

机械零件都是由两类基本体组合而成的，一类是平面体，另一类是曲面体。平面体的每个表面都是平面，如棱柱、棱锥；曲面体

至少有一个表面是曲面，如圆柱、圆锥、圆球和圆环等。

(1) 基本体的视图画法

1) 棱柱。棱柱的棱线互相平行。常见的棱柱有三棱柱、四棱柱、五棱柱、六棱柱、八棱柱等。下面以图1-5所示正五棱柱为例，分析其投影特征和作图方法。

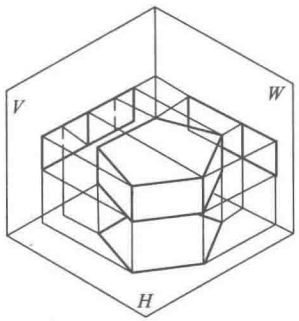
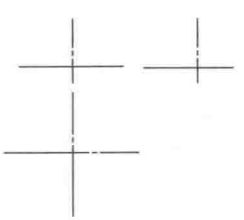
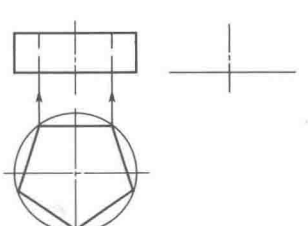


图 1-5　正五棱柱

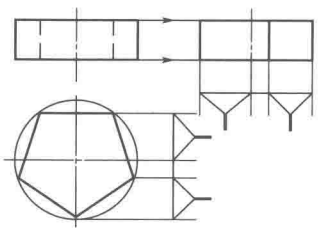
① 分析。图 1-5 所示正五棱柱的顶面和底面平行于水平面，后棱面平行于正面，其余棱面均垂直于水平面。在这种位置下，五棱柱的投影特征是：顶面和底面的水平投影重合，并反映实形——正五边形。五个棱面的水平投影分别积聚为五边形的五条边。

② 作图。根据以上分析作图，方法见表 1-5。

表 1-5　正五棱柱的作图方法

方法	图示	说明
画中心线和基线		作五棱柱的对称中心线和底面基线，确定各视图的位置
画主、俯视图		画反映主要形状特征的视图，即俯视图的正五边形。按长对正的投影关系及五棱柱的高度画出主视图

续表

方法	图示	说明
画左视图		高平齐、宽相等的投影关系画出左视图

2）圆柱。圆柱体是由圆柱面与上、下两端面围成。圆柱面可看作由一条直母线绕与其平行的轴线回转而成。圆柱面上任意一条平行于轴线的直线，称为圆柱面的素线。

图 1-6 所示为正圆柱体的三视图。由于圆柱轴线垂直于水平面，因此圆柱上、下端面的水平投影反映实形，正面、侧面投影积聚成直线。圆柱面的水平投影积聚为一圆，与两端面的水平投影重合。在正面投影中，前、后两半圆柱面的投影重合为一矩形，矩形的两条竖线分别是圆柱面最左、最右素线的投影，也是圆柱面前、后分界的转向轮廓线。在侧面投影中，左、右两半圆柱面的投影重合为一矩形，矩形的两条竖线分别是圆柱面最前、最后素线的投影，也是圆柱面左、右分界的转向轮廓线。

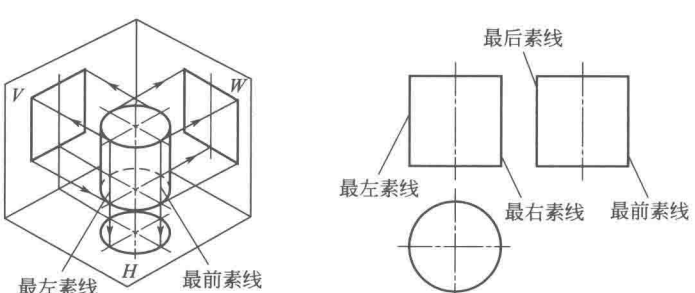


图 1-6　正圆柱体的三视图

作圆柱的三视图时，应先画出圆的中心线和圆柱轴线的各面投影，然后从投影为圆的视图画起，逐步完成其他视图。

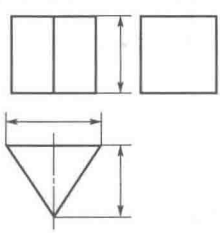
3）球。球的表面可看作是由一条圆母线绕其直径回转而成。

球的三个视图都为圆且直径相等，是球面上平行于相应投影面的三个不同位置的最大轮廓圆。正面投影的轮廓圆是前、后两半球面可见与不可见的分界线；水平投影的轮廓圆是上、下两半球面可见与不可见的分界线；侧面投影的轮廓圆是左、右两半球面可见与不可见的分界线。

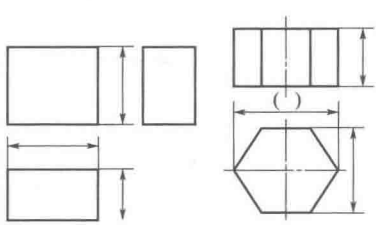
应该注意的是，表达一个立体的形状和大小，不一定要画出三个视图，有时画一个或两个视图就可以。当然，有时三个视图也不能完整表达物体的形状，需画更多的视图。例如表示上述正四棱锥、圆锥、四锥、球时，若只表达形状，不标注尺寸，只用主、俯两个视图即可；若标注尺寸，上述圆柱、圆锥、球仅画一个视图即可。

（2）基本体的尺寸标注　三视图只能表达物体的形状，要确定物体的大小还需标注尺寸。基本体的大小通常是由长、宽、高三个方向的尺寸来确定的。

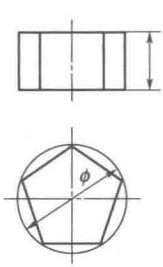
1）平面体的尺寸标注。平面体的尺寸要根据其具体形状进行标注。如图 1-7(a) 所示，基本体只需注出其底面尺寸和高度尺寸。



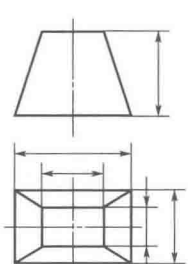
(a) 标注底面和高度尺寸



(b) 标注对角线



(c) 标注高度和外接圆直径



(d) 标注上、下底长宽高尺寸

图 1-7　平面体的尺寸标注

对于图 1-7(b) 所示的六棱柱，底面尺寸有两种注法，一种是注出正六边形的对角线尺寸（外接圆直径），另一种是注出对边尺寸（扳手尺寸）。常用后一种注法，将对角线尺寸作为参考尺寸（加括号）。图 1-7(c) 所示正五棱柱，其底面为与圆内接的正五边形，可注出底面外接圆直径和正五棱柱的高度尺寸。图 1-7(d) 所示的四棱台必须注出上、下底的长、宽尺寸和高度尺寸。

2）曲面体。如图 1-8 所示的是各种回转体（曲面体）的尺寸标注。其中，圆柱、圆锥、圆台需注出底圆直径和高度尺寸，球只需注出球面的直径，并在直径尺寸数字前加注“$S\phi$”，在半径尺寸数字前加注“SR”，如图 1-9 所示。

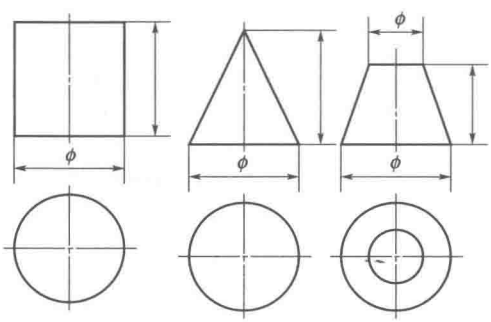


图 1-8　圆柱、圆锥、圆台尺寸标注

1.1.1.4　立体表面上点、线、面的投影分析

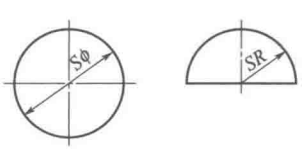
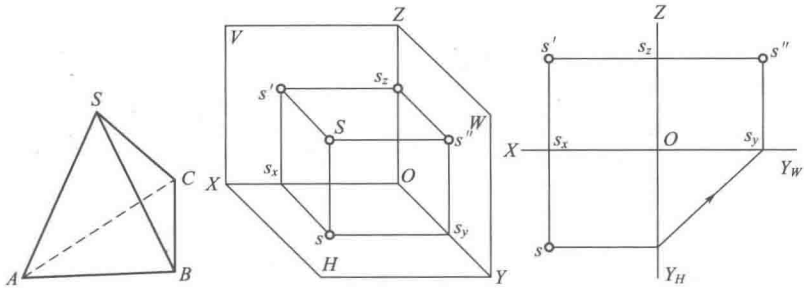


图 1-9　球面的标注

（1）点的投影分析　如图 1-10(a) 所示的三棱锥，是由四个面、六条线和四个点组成，点是最基本的几何元素。

1）点的投影规律。在图 1-10(b) 中，将 S 点分别向 H 面（水平面）、V 面（正面）、W 面（侧面）投射，得到的投影分别为 s、s'、s''。

一般空间点用大写字母表示，如 S、A、B 等；H 面投影用相应的小写字母示；V 面投影用相应的小写字母加一撇表示；W 面



(a) 三棱锥　　(b) 投影　　(c) 投影图

图 1-10　点的投影

投影用相应的小写字母加两撇表示。投影面展开后，得到如图1-10（c）所示的投影图。

由投影图可以看出，点的投影有以下规律。

① 点的 V 面投影和 H 面投影的连线垂直于 OX 轴，即 $ss' \perp OX$。

② 点的 V 面投影和 W 面投影的连线垂直于 OZ 轴，即 $s's'' \perp OZ$。

③ 点的 H 面投影至 OX 轴的距离等于其 W 面投影至 OZ 轴的距离，即 $ss_x = s''s_z$。

2）点的投影与点的坐标的关系。在三面投影体系中，点的位置可由点到三个投影面的距离来确定。如图 1-11 所示，如果将三个投影面作为三个坐标面，投影轴作为坐标轴，则点的投影和点的坐标关系如下。

① 点 A 到 W 面的距离为：$Aa'' = a_xO = a'a_z = aa_y = x$ 坐标。

② 点 A 到 V 面的距离为：$Aa' = a_yO = a''a_z = aa_x = y$ 坐标。

③ 点 A 到 H 面的距离为：$Aa = a_zO = a''a_y = a'a_x = z$ 坐标。

空间一点的位置可由该点的坐标（x，y，z）确定。

A 点三个面投影的坐标分别为 $a(x, y)$，$a'(x, z)$，$a''(y, z)$。任一投影都包含了两个坐标，故一点的两个投影必包含确定该点空间位置的三个坐标，从而可确定点的空间位置。

（2）直线的投影分析　空间两点可以决定一直线，所以已知空间两点的三面投影图，只要连接该两点在同一个投影面上的投影

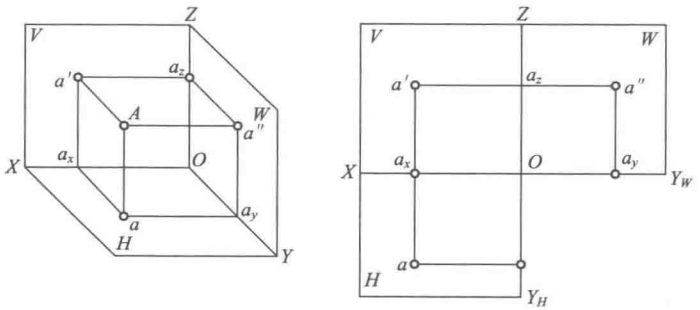
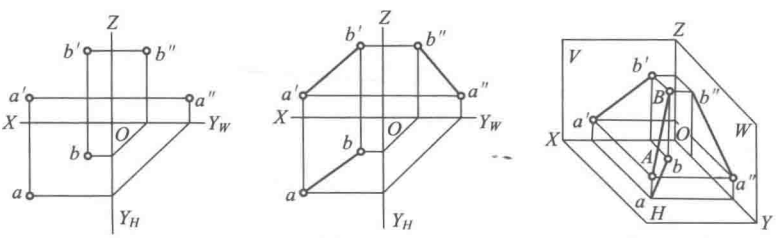


图 1-11　点的投影与其坐标的关系

(称同面投影)，即可得空间直线的三面投影，如图 1-12 所示。图 1-12(c) 表示直线 AB 在三投影面体系中的投影。



(a) 点的投影图　(b) 连接点成直线投影图　(c) 直线的投影

图 1-12　由两点的投影确定一直线的投影

空间直线与投影面的相对位置有一般位置直线、投影面平行线和投影面垂直线三种。

1) 一般位置直线。如图 1-12 所示的直线，对三个投影面都倾斜，为一般位置直线。其投影特性如下。

① 三个投影均不反映直线的实长。

② 三个投影均对投影轴倾斜。

2) 投影面平行线。平行于水平面的直线称为水平线；平行于正面的直线称为正平线；平行于侧面的直线称为侧平线。投影面平行线的投影特性如下。

① 水平线在俯视图上反映实长。

② 正平线在主视图上反映实长。

③ 侧平线在左视图上反映实长。

3）投影面垂直线。垂直于水平面的直线称为铅垂线；垂直于正面的直线称为正垂线；垂直于侧面的直线称为侧垂线。投影面垂直线的投影特性如下。

① 铅垂线在俯视图上的投影为一个点，在另外两个投影面上反映实长。

② 正垂线在主视图上的投影为一个点，在另外两个投影面上反映实长。

③ 侧垂线在左视图上的投影为一个点，在另外两个投影面上反映实长。

如图 1-13(a) 所示的正三棱锥，试分析三条主要棱线与投影面的相对位置。

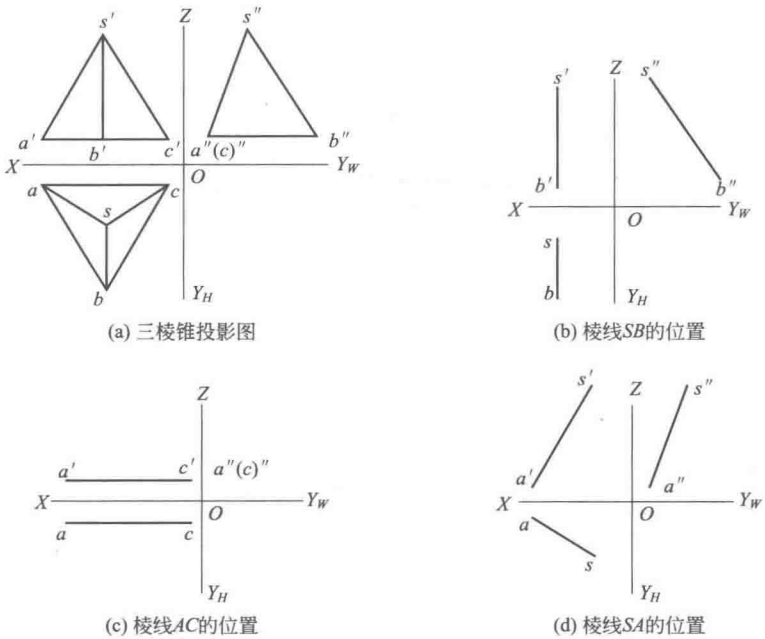


图 1-13　三棱锥的棱线

分析如下。

棱线 SB——sb 和 $s'b'$ 分别平行于 OY_H 和 OZ 轴，可确定 SB 为侧平线，侧面投影 $s''b''$ 反映实长，如图 1-13(b) 所示。

棱线 AC——侧面投影 $a''(c'')$ 重影，可判断 AC 为侧垂线，得 $a'c'=ac=AC$，如图 1-13(c) 所示。

棱线 SA——三个投影 sa、$s'a'$、$s''a''$ 对投影轴均倾斜，所以是一般位置直线，如图 1-13(d) 所示。

1.1.1.5 轴侧图的概念

将物体连同确定该形体的三个相互垂直的坐标轴一同平行投影到一个投影面上得出其投影，这个投影面上的投影就是轴侧图形。投影面称为轴侧投影面。空间坐标系中 OX、OY、OZ 轴在轴侧图上的投影称为轴侧轴。两轴之间的夹角称为轴间角。根据投影方向和轴侧投影面的相对关系，可以得到多种轴侧图。国标规定绘制轴侧图时一般采用下列三种图形。

等轴侧图——简称正等侧。

二等轴侧图——简称正二侧。

斜二等轴侧图——简称斜二侧。

在正投影图中采用多面视图一般能较完整地表达物体的结构形状，而且作图方便，所以是工程图中常用的基本方法，但这种图缺乏立体感。为了帮助识读图样，工程图中经常采用轴侧图的绘图方法，尤其在管道施工图中应用得较多。

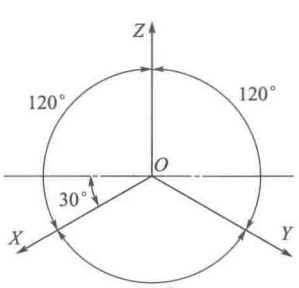


图 1-14　正等侧轴向角

轴侧图的基本性质如下。

① 视图上平行某一坐标轴的线段，它的轴侧投影必然与轴侧轴平行。

② 视图上相互平行的线段、它们的轴侧投影应相互平行。

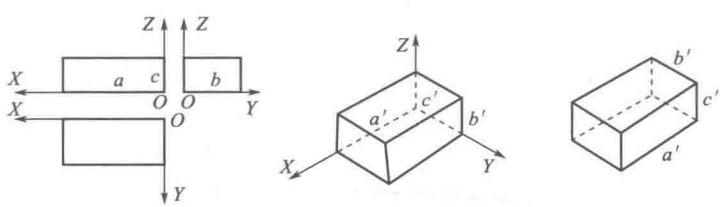
(1) 正等侧图的画法规定　正等侧图的轴间角 $\angle XOY=\angle XOZ=\angle YOZ=120°$，一般将 OZ 轴设为垂直位置，OX 轴和 OY 轴与水平成 30° 角，如图 1-14 所示。

为画图方便沿轴向的尺寸按三视图量取。从理论上计算正等侧图三个轴的轴向变形率为 0.82。但是在画正等侧图时，为了避免计算，一般不用轴向变形率，而用简化变形率。就是说按简化变形率画出的正等侧比按轴向变形率画出的图形在轴向放大了 $1/0.82 \approx 1.22$ 倍。

画轴侧图常用的方法为坐标法和切割法，而坐标法是最基本的画法。切割法是以坐标法为基础，对不完整的形体先画出完整形体的轴侧图后，再用切割的概念切去多余的部分。下面以平面立体和圆柱体为例来说明正等轴侧图的画法。

1）平面立体的正等侧图画法

① 分析。如图 1-15 中所示为一长方体画法，它共有 8 条棱线和 8 个顶点。



(a) 画三面投影图　(b) 在三轴中画出*abc*的值　(c) 正等轴侧图

图 1-15　平面立体的正等侧图画法

② 作图。作图方法如下。

a. 如图 1-15(a) 所示，在三面视图中画出坐标轴 OX、OY、OZ 的投影。

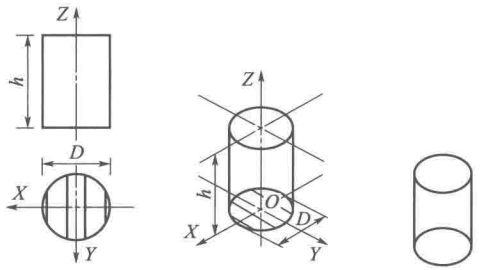
b. 如图 1-15(b) 所示，先画出轴侧轴的三个轴，在三条轴侧轴上对应截取三面视图中 a、b、c 的值，得线段 a'、b'、c'。

c. 然后过各线段端点按轴侧图画图的基本性质，顺序对应作出视图中各棱线，即得到平面立体的正等侧图。

d. 最后擦去不必要的图线，加粗轮廓线，即得到平面立体的正等轴侧图，如图 1-15(c) 所示。

2）圆柱的正等侧图画法

① 分析。图 1-16(a) 中为圆柱的两面投影图，因圆柱的上下底圆都平行于 XOY 组成的平面内，根据正等侧图的制图方法，它



(a) 确定尺寸　(b) 作底圆轴侧椭圆图形　(c) 正等侧图

图 1-16　圆柱的正等侧图画法

们在正等侧图中均是椭圆，只要将底圆和顶圆画出来，再作两圆的公切线就得到圆柱的正等侧图形。

② 作图。其步骤如下。

a. 如图 1-16(a) 所示，选 OZ 轴与圆柱轴线重合，测出圆柱高度 h，确定出顶面和底面的圆心距离。

b. 如图 1-16(b) 所示，作轴侧轴线 OZ，过 O 点作正等侧轴线 OX 和 OY，将图 1-16(a) 中底圆等分，过各等分点作 OY 轴的平行线。在圆内量取各平行线段的尺寸，在图 1-16(b) 中将各线段的对应尺寸用坐标法作出底圆的轴侧椭圆图形。

c. 在 OZ 轴上截取高度 h，以截取点为圆心作出与底圆平行的顶面椭圆图形。

d. 作两椭圆公切线，即为轴侧图中圆柱外形素线，擦去不需要的图线即得到圆柱的正等侧图形，如图 1-16(c) 所示。

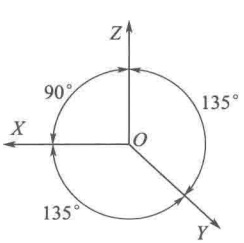


图 1-17　斜二侧图的轴间角

(2) 斜二侧图的画法规定　斜二侧图的轴间角 $\angle XOZ = 90°$、$\angle XOY = \angle YOZ = 135°$。一般使 OZ 轴处于垂直位置，OX 轴处于水平位置，如图 1-17 所示。OX 轴和 OZ 轴的变形率为 1，OY 轴的变形率为 0.5。就是在画图时，沿 OX 轴和 OZ 轴方向的尺寸按三视图直接量取，沿 OY 轴方向的尺寸取三视图尺寸的 1/2。

可以看出斜二侧图能反映物体正面的真实图形，所以画图方便。特别适用于画正面有较多圆的基建轴侧图。

1）四棱锥台的斜二侧图画法。

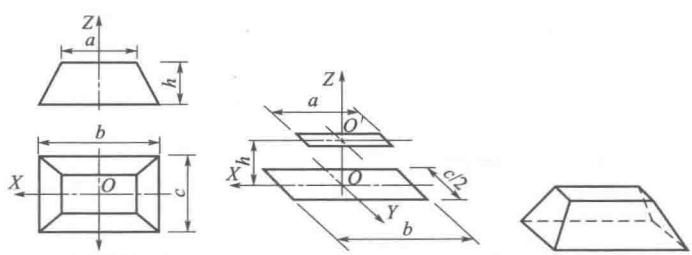
① 分析。画对称图形时，一般以对称中心点为坐标原点作图较为方便。

② 作图。作图步骤如下。

a. 取四棱锥台底面中心为原点 O，作出视图坐标，如图 1-18(a) 所示。

b. 作斜二测图轴侧轴线，在 OZ 轴上截取 OO' 为四棱锥台的高度 h，并用坐标法分别以 O、O' 为中心作出顶面和底面的四边形，如图 1-18(b) 所示。

c. 对应连接顶面和底面各顶点，擦去不必要的图线，加粗可见轮廓线，即得到四棱锥台的斜二侧图形，如 1-18(c) 所示。



(a) 作视图坐标　(b) 作顶面与底面　(c) 斜二侧图

图 1-18　四棱锥台的斜二侧图画法

2）圆管的斜二侧图画法。

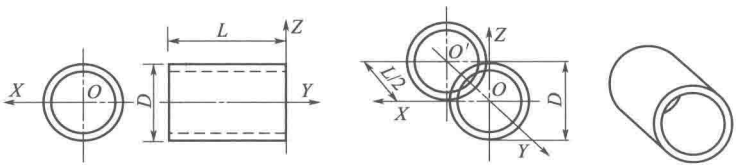
① 分析。绘制带圆零件的斜二侧图时，一般将圆平行于 XOZ 坐标面置放。

② 作图。作图步骤如下。

a. 以圆管端面圆心为原点 O，作出视图中坐标轴，如图 1-19(a) 所示。

b. 作斜二侧图的轴侧轴线，在 OY 轴上截取圆管轴向尺寸得 OO'，分别以 O、O' 为圆心作圆，如图 1-19(b) 所示。

c. 画出前后两圆的外公切线，擦去不必要的图线，加粗则可见轮廓线，即得到圆管的斜二侧图，如图 1-19(c) 所示。



(a) 作坐标轴　　(b) 作圆　　(c) 斜二侧图

图 1-19　圆管的斜二侧图法画法

1.1.2　识图基础

钣金施工中常见到的各类施工图，一般均是以各种投影法生成的图样为基础，在图样上标注尺寸和加工符号等，并用文字注明技术要求，加上材料表及标题栏等形式可以完全表达工程要求的图样。各类施工图样都有它们的绘图规律，只要掌握这些规律，识读这些工程图样就比较容易了。

各类施工图一般都是由装配图和零件图组成。装配图是表达设计思想和装配部件（或机器）时所使用的图样，零件图是按照标准规定的方法绘制的零件图样。任何结构和机械设备都是由零件装配而成的。零件图就是直接指导制造和检验工件的加工图样。在钣金专业的各类图样中对装配图和零件图的称呼和表达方法虽然有自己的特殊性，但它与其他施工图仍具有共同的制图原理和规律，所以要识读这些图样就必须要能掌握这些共同的规律和规定画法。

一张完整的零件图应包括下列内容。

① 用必要的视图、剖视、断面以及其他规定画法，正确而且清晰地表达零件各部分结构内外形状的一组完整图形。

② 图形各部位要有完整的能满足制造和检验所需要的合理尺寸。

③ 利用符号标准或文字说明注明必要的技术要求，表达出制造、检验和装配过程中的技术要求，如尺寸公差、表面粗糙度、工艺要求等。

④ 应有完整的标题栏，其中应包括名称、材料、数量、图样比例、图号以及图样绘制、审核等的责任签字内容。

钣金识图接触的大多是建筑工程图，而且以焊接结构图较多，

所以本节仅对钣金识图有关的常用表达方式做基础知识的介绍，然后以实例的方法介绍一些常见施工图的识图知识。

1.1.2.1 基本视图

从图 1-20 和图 1-21 中可以发现，长方块和三角块的视图形状是一样的，长方块的视图只反映了长方块的长和高，长方块的宽度在视图中反映不出来。因此，只靠一个视图是不能确定一个零件形状的，还必须增加一些其他的视图。



图 1-20 正投影观察方向

从图 1-21 中可以看出，主视图反映零件的长和高，俯视图反映零件的长和宽，左视图反映零件的宽和高。由于主、俯两视图都反映零件的同一长度，所以主、俯两视图的长是相等的。当俯视图随同水平面向下旋转 90°摊平后，主、俯两视图之间上下必然是对正的，而俯视图和左视图都反映零件的宽，因此，俯、左两视图的宽是相等的。同样主、左两视图反映零件的高也是相等的，主、左两视图是平齐的。

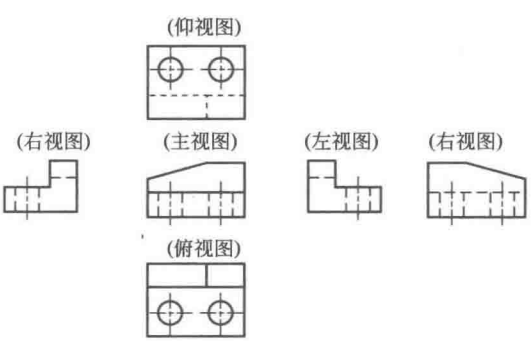


图 1-21 基本视图

主、俯、左三面视图基本能反映一个零件的形状、大小及各部分尺寸等。除这三面视图外，还有下列三面视图。

右视图——由右向左投影所得的视图。

仰视图——由下向上投影所得的视图。

后视图——由后向前投影所得的视图。

按照国标规定，以上六面视图均属于基本视图，即零件向基本投影面投影所得的视图。基本投影面规定为正六面体的六个面。

如不能按图 1-21 配置视图时，应在视图（称为向视图）的上方标出“X 向”（其中的“X”是大写英文字母），在相应的视图用箭头指明投射方向，并注上同样的字母，如图 1-22 所示。

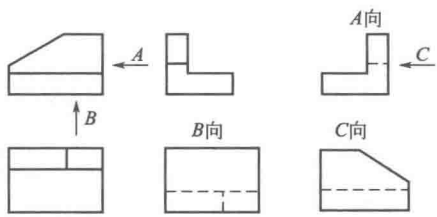


图 1-22　不按基本视图位置布置的视图

1.1.2.2　局部视图

工件的某一部分向基本投影面投影而得的视图为局部视图，局部视图是不完整的基本视图。利用局部视图可以减少基本视图的数量，补充基本视图尚未表达清楚的部分。

图 1-23 所示为工件的加工图样，在主、俯视图外又增加了两个局部视图，这样可以省去两个基本视图，简化表达方法，减少制图工作量。

从图 1-23 中可看出局部视图的表达方法。

① 在相应的视图上用带字母的箭头指明所表示的部位和投影方向，并在局部视图的上方用相同的字母表明如“A”向。

② 局部视图一般画在有关视图附近，并直接保持投影对称关系，如“A”向局部视图，也可画在图样内的其他地方，如“B”向局部视图。

③ 局部视图的范围用波浪线表示，当表示的结构是完整而外轮廓线又封闭时，波浪线可省略，如“B”向视图。

1.1.2.3　斜视图

工件向不平行于任何基本投影面的平面投影所得的视图，称为

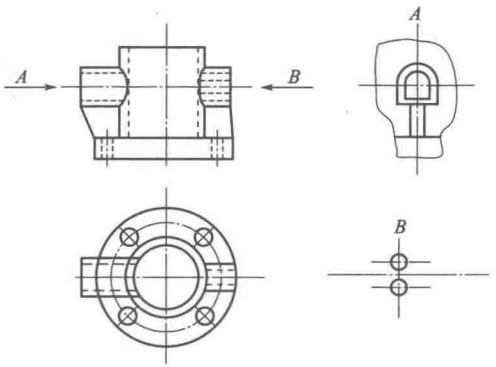


图 1-23　局部视图

斜视图。

如图 1-24 所示，为工件的加工图样，可以看出其倾斜部分在俯视图和左视图上都不能得到实形投影，这时需另增加一个平行于该倾斜部分的投影面，在投影面上画出的倾斜部分的实形投影图，即斜视图。

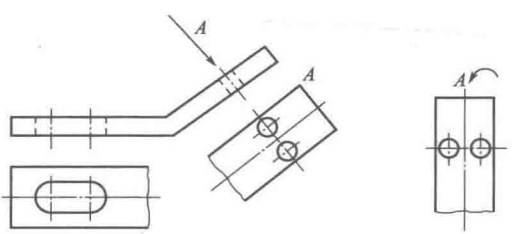


图 1-24　斜视图

斜视图的画法和标注法与局部视图相同，有时也可将图形摆正来表示，见图中的“A”（标注在图形上方）。

1.1.2.4　剖视图

在用视图表达工件时，工件内部的构件形状都用虚线。当虚线太多时就使图形不够清晰，尺寸标注也很容易混乱，所以在施工图中表达内部结构时，常采用剖视图。

假想用剖切面剖切零件，将处在观察者和剖切面之间的部分移

去，而将其余部分向投影面投影所得的图形为剖视图。

（1）全剖视图　用剖切面完全地剖开零件所得的剖视图称为全剖视图，如图 1-25 所示。

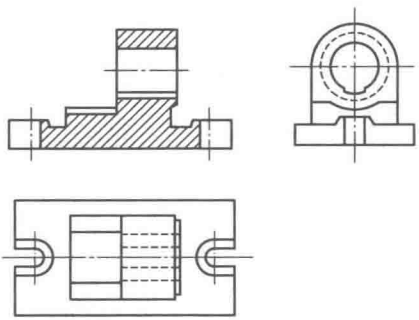


图 1-25　全剖视图

全剖视图主要用于外形简单、内部形状复杂的不对称机件。对于内外形状较为复杂的不对称机件，可在同一投射方向采用视图和全剖视图分别表达其外形和内部结构。

（2）半剖视图　当机件有对称平面时，在垂直于对称平面的投影面上投影所得的图形，可以对称中心线为界，一半画成剖视图，另一半画俯视图，如图 1-26 所示。

机件的结构接近于对称，且不对称部分已在其他视图上表达清楚时，也可以画成半剖视图，如图 1-27 所示。画半剖视图时应注意：当机件的内部结构在半剖视图中已表达清楚时，在另外半个视

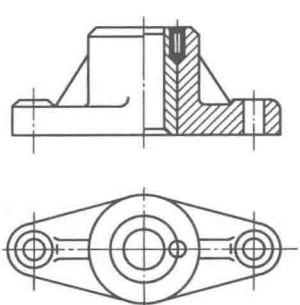


图 1-26　半剖视图

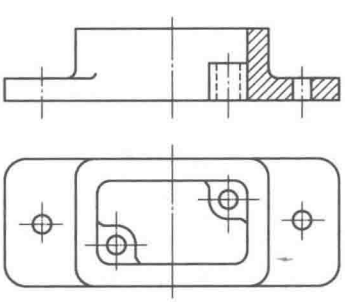


图 1-27　接近对称机件的半剖视图

图中不应画出表示机件对称结构的虚线，对于那些半个剖视图中未表达清楚的结构，可在另外半个视图中作局部剖视，如图 1-28 所示。

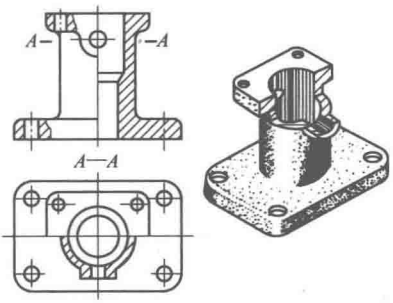


图 1-28　未表达清楚结构时半剖视图的画法

(3) 局部剖视图　用剖切面局部地剖开机件所得到的剖视图，称为局部剖视图，如图 1-29 所示。

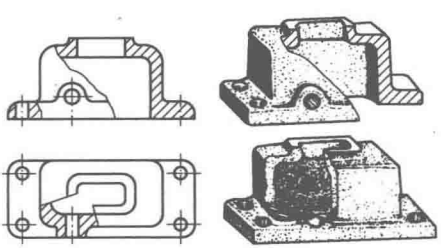


图 1-29　局部剖视图

局部剖视图是由外形视图和剖视图组合而成的图形。外形部分和剖视部分以波浪线为界，波浪线不应和其他图线重合，也不能超越被切开部分的外形轮廓线，当被剖结构是回转体时，允许将该结构的中心线作为外形部分和剖视部分的分界线，如图 1-30 所示。

局部剖视图具有同时表达机件内外结构的优点，且不受机件是否对称的条件限制。在什么位置切剖、范围的大小，均应根据实际需要确定，因而应用较为广泛，常用于下列情况。

① 机件对称，但轮廓线和对称线重合。此时应采用局部剖视图，如图 1-31 所示。

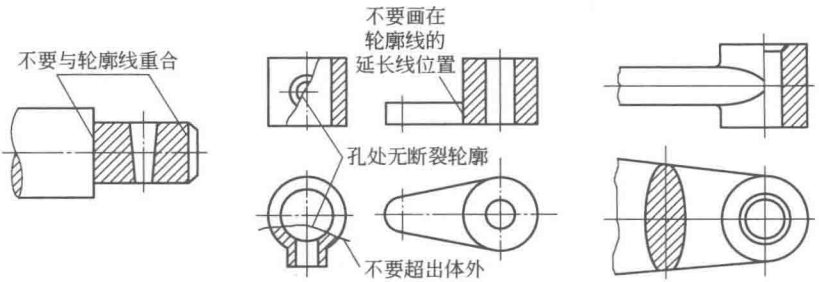


图 1-30　局部剖视图的画法

② 某些规定不允许剖切的实心杆件，如轴、手柄等，需要表达某处的内部结构时应采用局部剖视图，如图 1-32 所示。

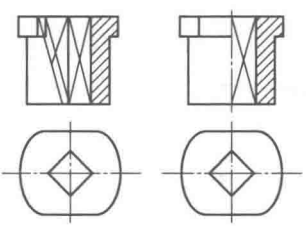


图 1-31　对称机件

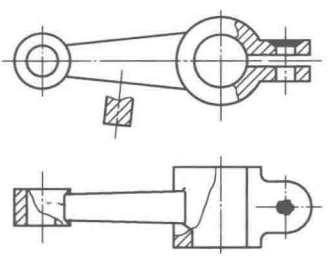


图 1-32　杆件

③ 需要保留部分外形的不对称机件，如图 1-33 所示。

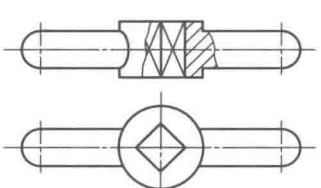


图 1-33　不对称机件

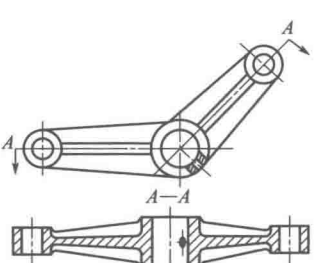


图 1-34　旋转剖视图

(4) 旋转剖　用两相交的剖切平面（交线垂直于某一基本投影面）剖开零件的方法称为旋转剖，如图 1-34 所示。

(5) 阶梯剖　用几个平行的剖切面剖开零件的方法称为阶梯剖，如图 1-35 所示。采用这种方法画剖视图时，在图形内不应出现不完整的要素，当两个要素在图形上具有公共对称中心线或轴线时，可以各画一半，此时应以对称中心线或轴线为界。

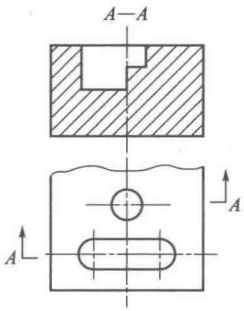


图 1-35　阶梯剖视图

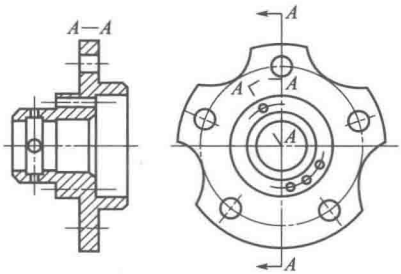
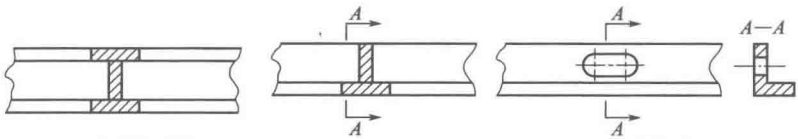


图 1-36　复合剖视图

(6) 复合剖　除旋转剖、阶梯剖以外，用组合的剖切平面剖开零件的方法称为复合剖，如图 1-36 所示。

1.1.2.5　剖面图

假想用剖切平面将工件的某处切断，仅画出断面的图形称为剖面图，断面有重合断面和移出断面两种。图 1-37 所示为工件的加工图样，从图中可看出剖面图的表达方法。



(a) 不间断轮廓线　(b) 剖切符号表示位置和方向　(c) 移出剖面图

图 1-37　剖面图

① 剖面的轮廓线用细实线画出，视图中的轮廓线与断面图形表达时，视图中的轮廓线仍应连续画出，不可间断，如图 1-37(a) 所示。

② 剖切平面应和被剖切部分的轮廓线垂直。

③ 如剖切图形不对称时，用剖切符号表示位置和方向，如图

1-37(b) 所示。

④ 移出断面图的画法和剖视时一样，用剖切符号注明，如图 1-37(c) 所示。

1.1.2.6 其他表达方法

在施工图样中除前面提到的表达方法以外，根据工件结构的不同还有一些其他的表达方法，这是在钣金施工图样中常见到的。

(1) 断开画法　对较长的工件，如剖面形状相同或按一定规律变化时，可以截去中间一部分，而将两端靠拢画出，如图 1-38 中圆柱和圆管的断开图画法，而断开后的尺寸仍按实际长度标注。

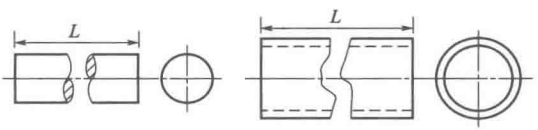


图 1-38　圆柱和圆管的断面画法

(2) 局部放大图　工件上有些细小结构在视图中无法表达清楚或不便于标注尺寸时，常用局部放大图表示。局部放大图均有清楚的标注，标注方法是在视图上放大部位画一细实线圈来标明放大部位，而放大图也应用相同编号表示，如图 1-39 所示。放大图不只一个时，应用罗马数字编号以示区别。

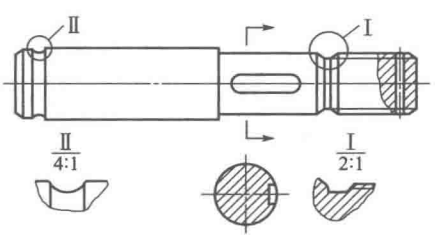


图 1-39　局部放大图

(3) 相同结构要素的省略画法　工件上相同的结构要素，如孔、槽、齿等，可以只画几个完整的要素，其余用细实线连接或画出它们的中心位置，如图 1-40 中开槽和钻孔的表示方法。

(4) 平面表示法　当图形不能充分表达平面时，可用平面符号

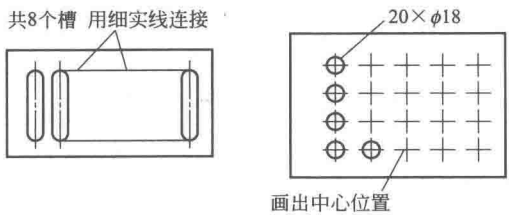


图 1-40　相同结构要素的省略画法

即相交两细实线表示，如图 1-41 所示的圆柱方柄的表示方法。

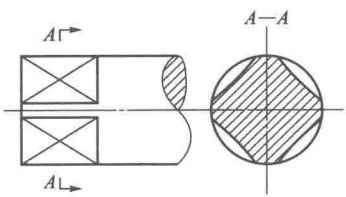


图 1-41　平面表示法

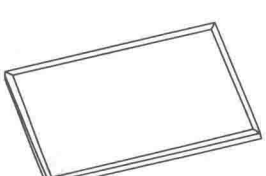
1.1.3　钣金几何作图

在钣金展开过程中，无论是采用图解方法，还是计算方法，都需要通过几何图形的绘制，最终得到构件的展开图。

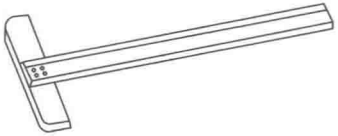
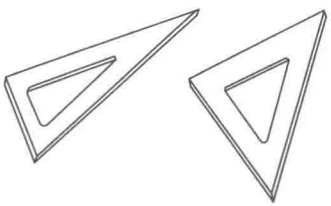
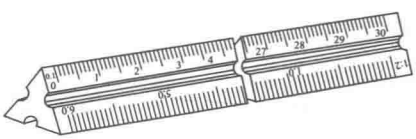
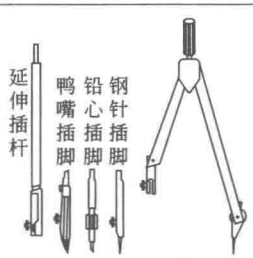
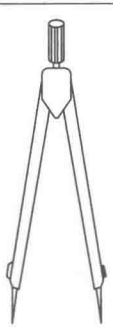
1.1.3.1　钣金作图基本工具

(1) 作图工具　钣金常用的作图工具见表 1-6。

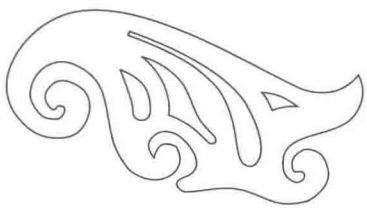
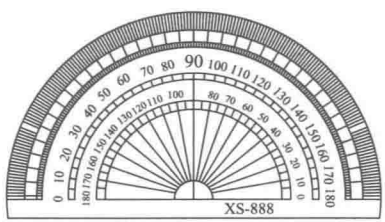
表 1-6　钣金常用作图工具

工具	图示	说明
绘图板		绘图板一般是长方形，表面用细软而较有弹性的胶合板制成。要求光滑平整，图框的边缘镶有较硬的导板，导板必须平直

续表

工具	图示	说明
丁字尺		丁字尺由一个长的尺身和固定在尺身上并与尺身成直角的尺头组成
三角板		制图用的三角板基本上由木材或塑料制成。每副两块
比例尺		比例尺又称三棱尺，它只可用来量取尺寸，不可用于画线
圆规		圆规是用来画圆和圆弧的。成套的圆规还附有钢针插脚、铅心插脚、鸭嘴插脚和延伸插杆等，可以根据需要调换使用
分规		分规是用来截取线段，等分线段或圆弧，以及从尺上量取尺寸的工具

续表

工具	图示	说明
曲线板		曲线板是用来描绘非圆曲线的工具
量角器		量角器是一块半圆形的塑制刻度板。在半圆板上刻有 180 等份，每一等份为 1°
铅笔		铅笔一般分为软、硬两种，软铅有 B、2B、3B、4B、5B、6B 等；硬铅有 H、2H、3H、4H、5H、6H

(2) 作图工具的使用方法

1) 绘图板、丁字尺、三角板的使用方法。用绘图板时，应当保持绘图板整洁完好；丁字尺主要用来画水平线，使用时尺头内侧必须紧靠图板的寸板边。如图 1-42 所示，用左手推动丁字尺上、下移动。绘图时，禁止丁字尺尺身下缘画线，也不能用丁字尺画垂直线。三角板与丁字尺配合使用时，可画垂直线以及与水平线成 30°、45°和 60°角的斜线；若将一副三角板配合使用，还可画与水平线成 15°和 75°角的斜线，如图 1-43 所示。

2) 圆规、分规和比例尺的使用方法。圆规使用方法如图 1-44 所示；分规使用时，它的两个针尖并拢时应对齐，如图 1-45 所示；用分规在比例尺上量取尺寸的手法如图 1-46 所示。

3) 曲线板的使用方法。曲线板使用时，根据一组已知点，从

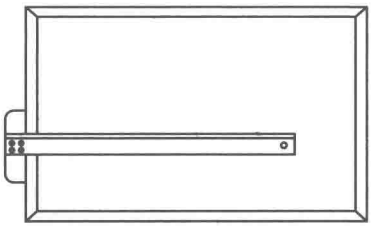


图 1-42　丁字尺与绘图板的使用

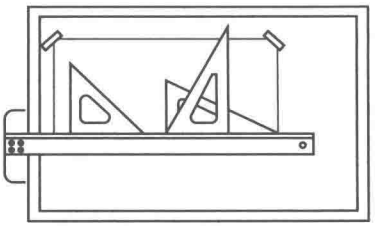


图 1-43　丁字尺与一副三角板的配合使用

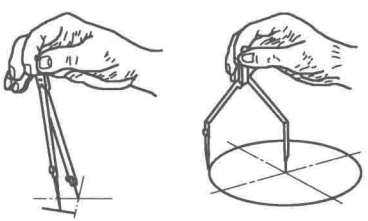


图 1-44　圆规的使用



图 1-45　分规针尖并拢时应对齐

曲线板上合适的曲线部分描绘下来。复杂的曲线分段描绘，并应注意接头处的平滑。描绘对称曲线时，最好先在曲线板上标上记号，然后翻转曲线板，就能方便地按记号的位置描绘对称的另一半，如图 1-47 所示。

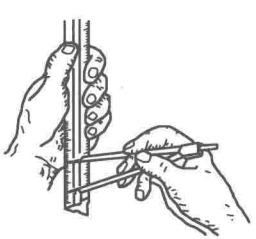


图 1-46　分规在比例尺上量取尺寸

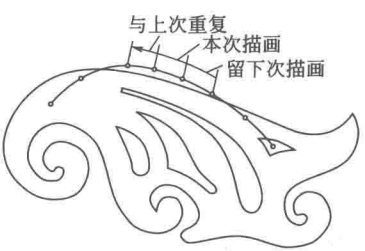


图 1-47　曲线板的使用

4）铅笔与圆规铅心使用。铅笔与圆规铅心的规格、形式及用途见表 1-7。绘图常用 H 铅笔画底稿；H、HB、B 铅笔描深图线；用 HB 铅笔写字。描深图线时，圆规所用的铅心应比铅笔的铅心软一号。

（2）点画线　画点画线时，应从长画线开始，以长画线结束。相交时应画在长画线的中间，而不应相交在短画线或空白处，如图1-48所示。

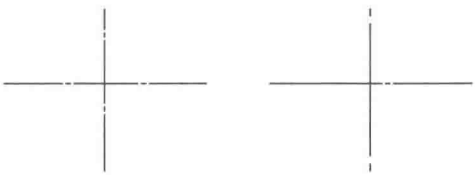


图 1-48　点画线

（3）中心线与圆心的关系　圆心应以中心线的线段交点表示，中心线应超出圆周约5mm。当圆的直径小于12mm时，中心线可用细实线画出，超出圆周也应缩短至3mm，如图1-49所示。

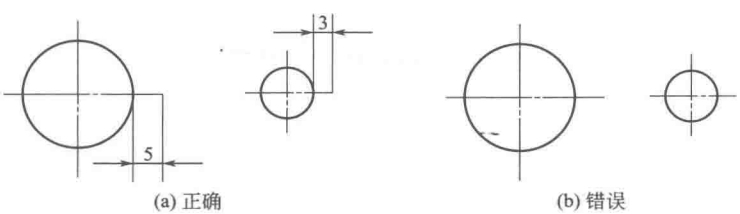


图 1-49　中心线与圆心的关系

（4）圆的相切　圆与圆或与其他图线相切时，在切点处的图线要重合，在重合区域内应是单根图线宽度，如图1-50所示。

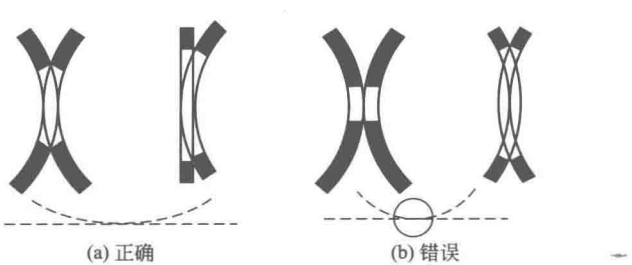


图 1-50　圆的相切

(5) 箭头的画法　箭头的大小应尽量相同，根据粗实线的粗、细而定，画法如图 1-51 所示。

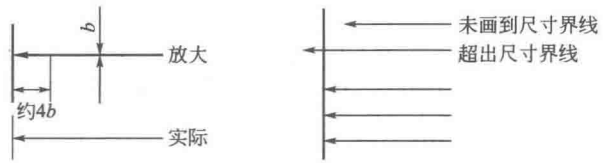


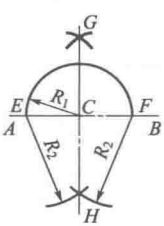
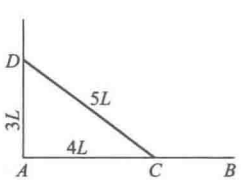
图 1-51　箭头的画法

1.1.3.3　作图方法

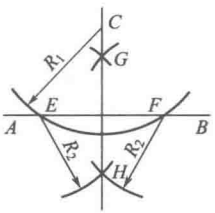
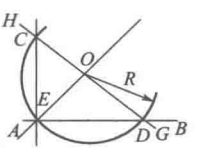
(1) 垂线和平行线的画法

1) 垂线的画法 (表 1-9)。

表 1-9　垂线的画法

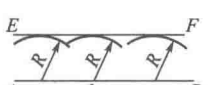
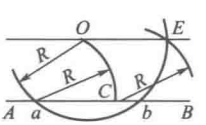
已知条件	图示	作图步骤
作过已知直线 AB 上任意点的垂直线		1. 以 C 点为圆心，取 R_1 为半径画圆弧 (R_1 小于 AC 或 BC)，交 AB 于 E、F 点 2. 分别以 E、F 点为圆心，取 R_2 为半径画圆弧 (R_2 大于 R_1)，两弧相交于 G、H 点 3. 连接 G、H 点，则直线 HG 为过线直线 AB 上 C 点的垂线 (C 为垂足)
作过直线 AB 任意一端的边垂线		1. 以 A 点为端点，量取 $AC=4L$ (L 为任意计量长度单位) 2. 以 A、C 为圆心，分别取长为 $3L$ 和 $5L$ 为半径画圆弧，两弧相交于 D 点 3. 连接 AD，则 AD 为直线 AB 一端 (A 点) 的垂线

续表

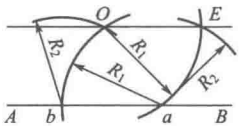
已知条件	图示	作图步骤
作过直线 AB 外任意点的垂线		1. 以 C 点为圆，取 R_1 为半径画圆弧（R_1 大于 C 点到直线 AB 的距离），交直线 AB 于 E、F 点 2. 分别以 E、F 点为圆心，取 R_2 为半径画弧，两弧相交于 G、H 点 3. 连接 G、H 点，则 HG 垂直 AB，且过直线 AB 外 C 点
作过直线 AB 外 C 点的垂线（即半圆法）		1. 过 C 点作 AB 的任意倾斜线 HG，交 AB 于 D 点 2. 作 CD 的中垂线，得垂足点 O 3. 以 O 为圆心，取 $R=CO$ 画圆弧，交 AB 于 E 点 4. 连接 CE，则 CE 垂直 AB，且过直线 AB 外的 C 点

2）平行线的画法（表 1-10）。

表 1-10　平行线的画法

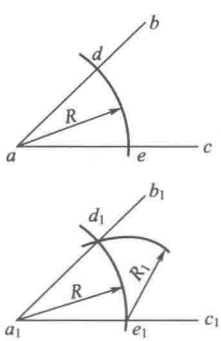
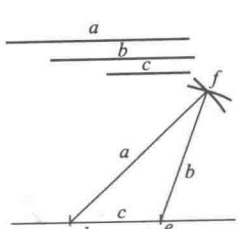
已知条件	图示	作图步骤
作直线 AB 的平行线（要求相距为 R）		1. 在 AB 上任取三点 a、b、c 2. 分别以 a、b、c 点为圆心，取 R 为半径向同一侧画圆弧 3. 作三圆弧的分切线 EF，由 EF 平行 AB
作过 AB 外任意点 O 的平行线		1. 以 O 点为圆心，取 R 为半径画圆弧（R 大于 O 点到 AB 的距离），交 AB 于 a、b 点 2. 以 a 为圆心，以 $aO(R)$ 为半径画圆弧，交 AB 于 C 点 3. 以 C 点为圆心，仍取 R 为半径画圆弧，交圆弧于 E 点 4. 连接 OE，则 OE 平行 AB

续表

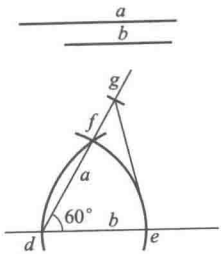
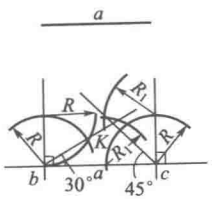
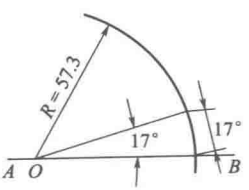
已知条件	图示	作图步骤
作过 AB 外任意点 O 的平行线		1. 以 O 点为圆心，取 R_1 为半径画圆弧（R_1 大于 O 点到 AB 的距离），交 AB 于 a、b 点 2. 以 a 为圆心，取 R_1 为半径画圆弧，交 AB 外任意点 O 3. 以 a 为圆心，取 R_2 为半径画圆弧（$R_2=Ob$），交于 E 点 4. 连接 OE，则 OE 平行 AB

（2）角和三角形的画法（表 1-11）

表 1-11　角和三角形的画法

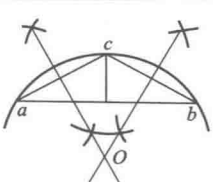
已知条件	图示	作图步骤
作一角等于 $\angle bac$		1. 取点 a_1 为角的顶点，且过 a_1 点作 a_1c_1 2. 以 a 点为圆心，任意长（R）为半径画弧，交两角边于 d、e 点 3. 以 a_1 为圆心，R 为半径，画弧交 a_1c_1 于 e_1 点 4. 以 e_1 为圆心，取 ed 为半径（$ed=R_1$），画弧交于 d_1 点 5. 连接 a_1b_1，则得 $\angle b_1a_1c_1=\angle bac$
已知三角形的三边长，求作三角形		1. 任作线段 de 等于边长 c 2. 分别以 d、e 点为圆心，a、b 边长为半径画弧，两弧相交得交点 f 3. 连接 df 和 ef，即得 $\triangle def$，其边长 $fd=a$；$de=c$，$ef=b$

续表

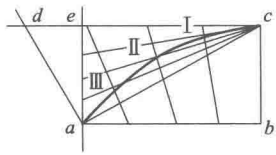
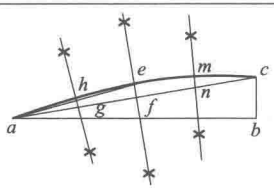
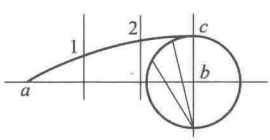
已知条件	图示	作图步骤
已知三角形的两边长和夹角（60°），求作三角形		1. 任作线段 de 等于边长 b 2. 分别以 d、e 点为圆心，de 为半径画弧，得交点 f 3. 连接 df，并延长，得 $\angle fde=60°$ 4. 以 d 为圆心，在 df 延长线上量取 a 边长交于点 g 5. 连接 eg，即得 $\triangle deg$
已知三角形一边长（a）和两夹角（30°、45°），求作三角形		1. 任作线段 bc 等于边长 a 2. 分别过 b、c 点作 30°、45°，得点 K 3. 连接 bK、cK，即得 $\triangle bcK$
用经验作图法作任意角度（如 17°）		1. 以 AB 上 O 点为圆心，取 $R=57.3$mm 长为半径画弧 2. 由于弧上每 1mm 与 O 点的边线，其夹角为 1°，因而在弧上量取 17mm，即得夹角 17° 3. 作其他任意角度，均可用此方法 4. 若取 $R=573$mm，弧长 10mm，其中心角仍为 1°，作任意角更准确

（3）圆弧的画法（表 1-12）

表 1-12　圆弧的画法

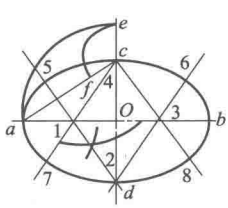
已知条件	图示	作图步骤
已知圆弧的弦长和弦高，画圆弧（用小直径圆弧画法）		1. 连接 ac、bc，且作其中垂线，得交点 O 2. 以 O 为圆心，Oa 长为半径画弧即成

续表

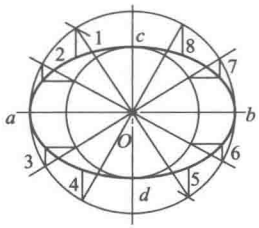
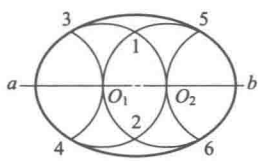
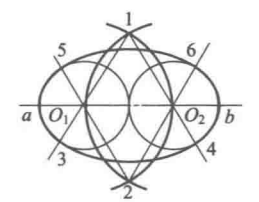
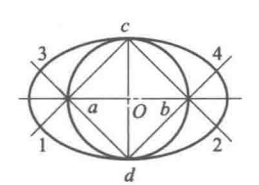
已知条件	图示	作图步骤
已知圆弧的弦长和弦高，画圆弧（准确画法）		1. 连接 ab、bc、ac 2. 过 a 点作 ab、ac 的边垂线 3. 过 c 点作 ab 的平行线，且与边垂线相交于 d、e 点 4. 将线段 ab、ae、cd 各取相同的等分，按图连接，得交点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 5. 圆滑连接 c、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、a 点即圆弧
已知圆弧的弦长和弦高，画圆弧（四分之一弦高法）		1. 线段 ef、hg 和 mn 均为弦垂直等分线 2. 使 $ef=1/4bc$，$hg=mn=1/4ef$… 3. 无限地画折线，此折线接近圆弧 （此法适用于弦长与弦高之比大于10）
已知圆弧的弦长和弦高，画圆弧（近似画法）		1. 以 b 为圆心，弦高 bc 为半径画圆 2. 将 1/4 圆周和 1/2 弦长（ab）取相同等分得点 1、2 3. 圆滑连接各点即得所求圆弧（图中只画一半）

（4）椭圆的画法（表 1-13）

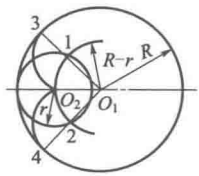
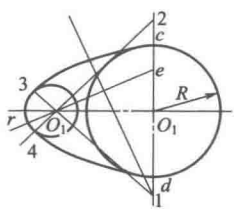
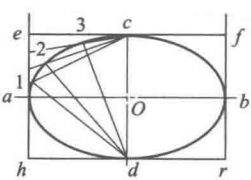
表 1-13　椭圆的画法

已知条件	图示	作图步骤
已知长轴 ab 和短轴 cd，作椭圆（四心法）		1. 作 cd 垂直平分线 ab，并交于 O 点 2. 连接 ac，以 O 为圆心，取 aO 为半径画弧交 Oc 延长线于 e 点 3. 以 c 为圆心，ce 为半径画弧交 ac 于 f 点 4. 用 af 的垂直平分线，并分别交 ab 于点 1，cd 于点 2 5. 在 Ob、Oc 线上分别截取 $O1$、$O2$ 的长度得 3、4 两点 6. 分别以点 2、4 为圆心，以 $c2$ 为半径画弧得$\overset{\frown}{56}$和$\overset{\frown}{78}$，即完成所作椭圆

续表

已知条件	图示	作图步骤
已知长轴 ab 和短轴 cd，作椭圆（同心法）		1. 以 O 为圆心，Oa 和 Oc 为半径作两个同心圆 2. 将大圆等分并作对称连线 3. 将大圆上各点分别向 ab 作垂线与小圆周上对应各点作 ab 平行线相交 4. 用光滑曲线连接各交点得所求的椭圆
已知长轴 ab 作椭圆（长轴 3 等分法）		1. 将 ab 三等分，等分点为 O_1 和 O_2，分别以 O_1 和 O_2 为圆心，取 aO_1 为半径画两圆，相交于 1、2 两点 2. 分别以 a、b 为圆心，取 aO_1 为半径画弧交两圆于 3、4、5、6 各点 3. 分别以 1 和 2 为圆心，取 25 线段长为半径画弧 $\overset{\frown}{35}$、$\overset{\frown}{46}$，即为所求的椭圆
已知长轴 ab 作椭圆（长轴 4 等分法）		1. 将 ab 4 等分，交分别以 O_1 和 O_2 为圆心，取 $1/4ab$ 长轴为半径，作两圆 2. 分别以 O_1 和 O_2 为圆心，取 O_1O_2 为半径画弧相交于 1、2 两点 3. 连接 $1O_1$ 并延长交圆周于点 3，同理求出 4、5、6 三点 4. 分别以 1 和 2 为圆心，取 13 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{34}$ 和 $\overset{\frown}{56}$，即得所求的椭圆
已知短轴 cd 作椭圆		1. 取 cd 的中点为 O，过 O 作 cd 的垂线与以 O 为圆心、cO 为半径的圆相交于 a、b 两点 2. 分别以 c 和 d 为圆心，取 cd 为半径画弧交 ca、cb 和 da、db 的延长线于 1、2、3、4 各点 3. 分别以 a 和 b 为圆心，取 $a1$ 为半径画弧 $\overset{\frown}{13}$ 和 $\overset{\frown}{24}$，即完成所求椭圆

续表

已知条件	图示	作图步骤
已知大小圆半径 R、r 作心形圆		1. 以 O_1 为圆心，取 $R-r$ 为半径画弧交圆 O_2 于 1、2 两点 2. 连接 $O_1$1 和 $O_2$2 并延长与圆 O_1 交于 3、4 两点 3. 分别以 1 和 2 为圆心，取 r 为半径画弧 $\overset{\frown}{3O_2}$、$\overset{\frown}{4O_2}$，即由 $\overset{\frown}{34}$、$\overset{\frown}{4O_2}$、$\overset{\frown}{3O_2}$ 组成一个心形圆
已知两圆心距 O_1O_2，半径为 r、R 作蛋形圆		1. 过 O_2 作 O_1O_2 垂线交圆 O_2 圆周于 c、d 两点 2. 截取 $ce=r$，连接 eO_1 的垂直平分线交 cd 延长线于点 1。同理得点 2 3. 连接 1O_1 和 2O_2 并延长交圆 O_1 于 3、4 两点 4. 分别以 1 和 2 为圆心，取 1c 为半径画弧 $\overset{\frown}{3c}$、$\overset{\frown}{4d}$，即得所求蛋形圆
已知长轴 ab，短轴 cd 作椭圆		1. 长轴 ab 和短轴 cd 相交于 O 点 2. 分别过 a、b 和 c、d 点作 cd 和 ab 的平行线，交成矩形，交点为 e、f、g、h 3. 把 aO 和 ae 线上各等分点的连线和从 d 点作 aO 线上的各等分点的连线并延长，各对连线交于 1、2、3 各点 4. 用光滑曲线连接各点得 1/4 的椭圆，同理求出其他三边曲线

(5) 抛物线的画法

1) 已知导线和焦点求作抛物线。如图 1-52 所示，通过焦点 f 作垂直于直线 mn 的轴线且与 mn 相交于 b 点；求出 bf 的中点 d，则 d 点就是抛物线的顶点；从 d 点沿焦点方向取任意数目的点 1、2、3、…（图中为 1～5 点），并通过这些点作 mn 的平行线；再以 f 点为圆心，以 $b1$、$b2$、$b3$、…的距离为半径画圆弧与上述的平行线对应相交于Ⅰ、Ⅰ$_1$、Ⅱ、Ⅱ$_1$、Ⅲ、Ⅲ$_1$、…把所得各交点圆滑连接即为所求抛物线。

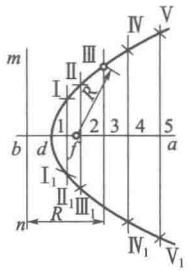


图 1-52　抛物线的画法（一）

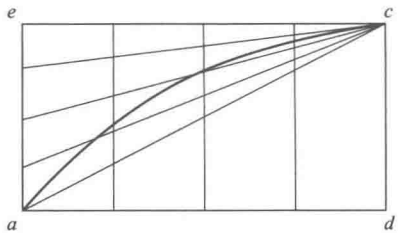


图 1-53　抛物线的画法（二）

2）已知宽和高求作抛物线。如图 1-53 所示，图中只作一半。过 a 点和 c 点作 ad 和 cd 的平行线得一矩形，交点为 e；分别将 ad、ce 和 ac 线作相同的等分，把 ad 和 ce 上的等分点对应相连且与从 c 点到 ae 上等分点的连线对应相交得出各点；用曲线将这些点圆滑连接，即得出所求的抛物线。

3）已知任意角求作抛物线。如图 1-54 所示，把角的两边作相同等分、并按图上位置依次记入各等分点的数字，如 1、2、3、…用直线连接号数相同的点，即 11、22、33、…从 c 点到 a 点画曲线同所有的直线段相切，所得曲线就是已知角两边且相切于 a、c 两点的抛物线。

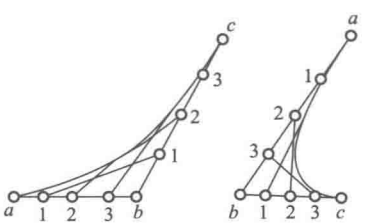


图 1-54　抛物线的画法（三）

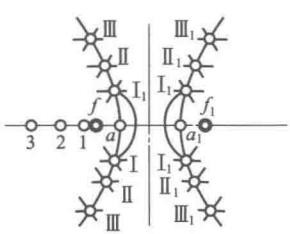


图 1-55　双曲线的画法

4）双曲线的画法。如图 1-55 所示，图中已知双曲线顶点间和焦点间的距离。先沿着轴线，在焦点 f 的左面任意截取 1、2、3、…各点，离焦点越远，截点间隔应越大。再以焦点 f 和 f_1 为圆心，分别用 $a1$ 和 a_11 为半径各画两次圆弧，其交点Ⅰ、Ⅰ和Ⅰ$_1$、Ⅰ$_1$就是双曲线上的点；用同样的方法还可求出Ⅱ、Ⅱ和

Ⅱ$_1$、Ⅱ$_1$及Ⅲ、Ⅲ和Ⅲ$_1$、Ⅲ$_1$等点。用曲线圆滑连接上述各点，即完成所求双曲线。

(6) 摆线的画法

1) 已知转圆半径和导线长画普通摆线。如图 1-56 所示，以 O 为圆心，以 R 为半径作转圆，与直线 aa_1 相切在 a 点；从 a 点起将圆周适当等分（图中 $n=12$），得等分点 1、2、…、12；在直线上截取 aa_1 等于圆周伸直长度，同时把 aa_1 做 12 等分，得等分点 1′、2′、…、12′。通过转圆圆心 O 作直线的平行线 OO_{12}，并从直线上各等分点向上作直线的垂线，与直线 OO_{12} 相交为 O_1、O_2、…、O_{12}等点；过转圆的各等分点向右引直线的平行线，然后以 O_1 为圆心以 R 为半径画圆弧，同经过点 1 所作的直线的平行线交于点Ⅰ；同理可求出Ⅱ、Ⅲ、…、Ⅺ各点，将所求各点圆滑连接，即得出所求的普通摆线。

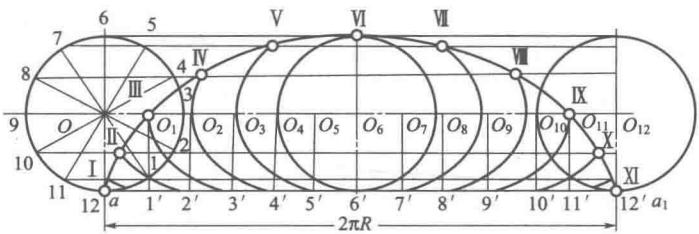


图 1-56 摆线的作法（一）

2) 已知转圆半径 R 和导圆半径 R' 画外摆线。如图 1-57 所示，以 O' 为圆心，以 R' 为半径画导圆圆弧，并在圆弧上任取一点 a，连接 $O'a$ 并延长，在 $O'a$ 延长线上截取 $Oa=R$（转圆半径）；以 O 为圆心、R 为半径画转圆，且从 a 点起把转圆周适当等分（图中 $n=12$ 等分），得等分点 1、2、…、12。画 O' 的中心角 $\alpha=360R/R'$，可得到导圆弧 aa'；并把圆弧 $aa'12$ 等分，得等分点为 1′、2′、3′、…、12′。用直线将 O' 点与各等分点（1′～12′点）相连并延长，与以 O' 为圆心，$OO'=R'+R$ 为半径所画圆弧相交于点 O_1、O_2、…、O_{12}等。再以 O' 为圆心，作通过转圆上各等分点的辅助圆弧；然后以 O_1 为圆心，R 为半径画圆弧，与通过点 1 的辅助圆弧相交在Ⅱ点；用 O_2 作中心，R 作半径画圆弧同通过点 2 的

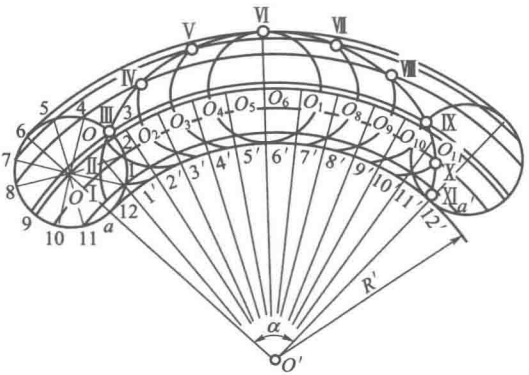


图 1-57　摆线的作法（二）

辅助圆相交于Ⅱ点；用同样的方法可求得Ⅲ、Ⅳ、…、Ⅺ点。将各点圆滑连接，即为外摆线。

3）已知转圆半径 R 和导圆半径 R' 画内摆线。如图 1-58 所示，内摆线的求法与外摆线的求法是相仿的，只是转圆各位置的圆心 O_1、O_2、…、O_{12} 是以 O' 为圆心，用 $OO'=R'-R$ 为半径画圆弧来求取的，其余作法均同外摆线。

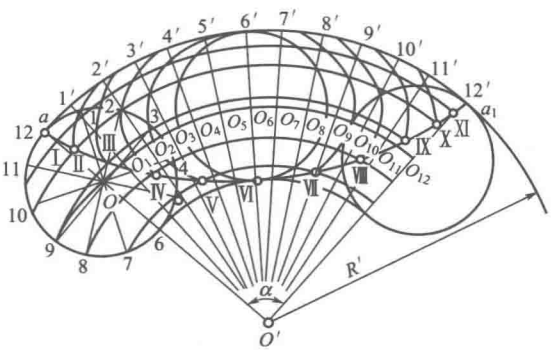


图 1-58　内摆线的作法

（7）渐开线与阿基米德螺旋线画法

1）渐开线的画法。如图 1-59 所示，作圆的等分，过 1、

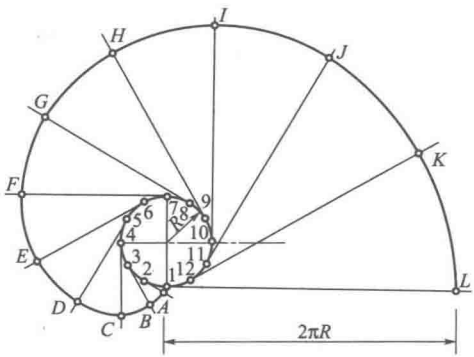


图 1-59　渐开线的画法

2、…各等分点作圆的切线 1L、2A、…，在切线上截取对应弧长的同样长度，得到 A、B、…各点，光滑连接各点即得到圆的渐开线。

2）阿基米德螺旋线的画法。如图 1-60 所示，以 O 为圆心，以 $O1$ 和 $O9$ 为半径画同心圆，同样等分线段 19 和圆周，再光滑连接对应交点得阿基米德螺旋线，它也是圆锥螺旋线的平面投影。

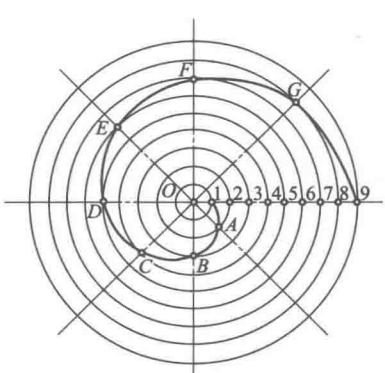
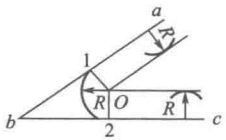
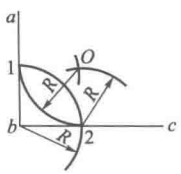
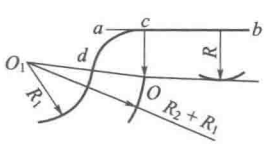
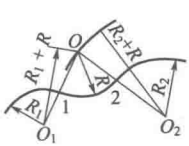
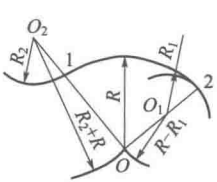


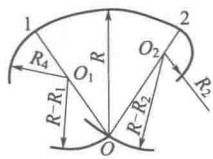
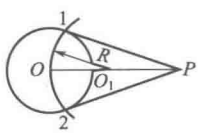
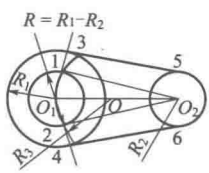
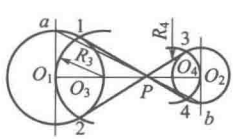
图 1-60　阿基米德螺旋线的画法

（8）各种圆弧连接的作法（表 1-14）

表 1-14　各种圆弧连接的作法

已知条件	图示	作图步骤
用已知半径为 R 的圆弧连接锐角两边		1. 分别在两边内侧作与两边相距为 R 的平行线，得交点 O 2. 过 O 点分别作两边的垂线得点 1、2 3. 以 O 为圆心，用已知的 R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$，即得到连接圆弧
用半径为 R 的圆弧连接直角边		1. 以 b 为圆心，用已知 R 为半径画圆弧交 ab、bc 于 1、2 两点 2. 分别经 1、2 为圆心，以 R 为半径画弧交于 O 点 3. 以 O 为圆心，R 为半径画弧 $\overset{\frown}{12}$ 即得
用半径为 R 的圆弧连接半径为 R_1 的圆弧和 ab 直线		1. 以 O_1 为圆心，R_1+R 为半径画弧与距 ab 线为 R 的平行线相交于 O 点 2. 连接 O_1O 且过 O 作 ab 的垂线，得 d、c 两交点 3. 以 O 为圆心，R 为半径画弧 $\overset{\frown}{cd}$ 即得
用半径为 R 的圆弧连接已知的半径为 R_1 和 R_2 的两圆弧（两外弧连接）		1. 分别以 O_1 和 O_2 为圆心，以 R_1+R 和 R_2+R 为半径画弧相交于 O 点 2. 连接 OO_1 和 OO_2 得 1、2 两交点 3. 以 O 为圆心，以 R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$，即得到外连接弧
用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧（内、外弧连接）		1. 分别以 O_1 和 O_2 为圆心，以 $R-R_1$ 和 $R+R_2$ 为半径画弧相交于 O 点 2. 连接 OO_1 和 OO_2 得 1、2 两交点 3. 以 O 为圆心，以 R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$，即得到用半径为 R 的圆弧连接两圆弧的外连接弧

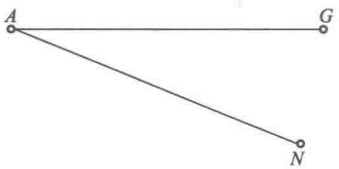
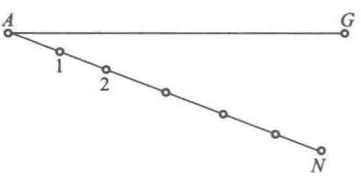
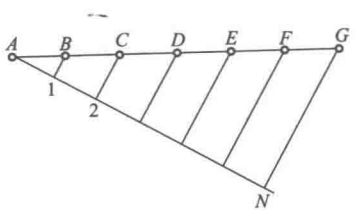
续表

已知条件	图示	作图步骤
用半径为 R 的圆弧连接两已知圆弧(两弧连接)		1. 分别以 O_1 和 O_2 为圆心，以 $R-R_1$ 和 $R-R_2$ 为半径画弧相交于 O 点 2. 连接 OO_1 和 OO_2 得 1、2 两交点 3. 以 O 为圆心，以 R 为半径画圆弧 $\overset{\frown}{12}$，即得到用半径为 R 的圆弧连接两圆弧的外连接弧
从圆外一点 P 作圆的切线		1. 连接 OP，取 OP 的中点为 O_1 2. 以 O_1 为圆心，OO_1 为半径画弧交圆 O 于点 1、2 3. 连接 P_1、P_2 即得
作圆 O_1 和圆 O_2 的切线		1. 以 O_1 为圆心，取 $R=R_1-R_2$ 为半径画圆 2. 连接 O_1O_2，并取中点 O，再以 O 为圆心，O_1O 为半径画弧得 1、2 两交点 3. 连接 $1O_1$、$2O_1$ 并反向延长得 3、4 两点 4. 分别过 3、4 两点作 $1O_2$、$2O_2$ 的平行线 35、46，即为所求切线
		1. 连接 O_1O_2 且过这两点作其垂线得 a、b 两交点 2. 连接 ab 交 O_1O_2 于 P 点 3. 分别取 PO_1 和 PO_2 的中点为 O_3、O_4 两点，以 O_1O_3 和 O_4O_2 为半径画圆弧得点 1、2、3、4 4. 连接 14、23 即为所求

(9) 等分

1) 等分线段。已知直线段 AG，将其作 N 等分，方法见表 1-15。

表 1-15　线段等分方法

步骤	说明	图示
作辅助线	过直线段端点 A 作辅助线 AN	
取等分点	从 A 点开始，用相同距离在直线 AN 上取 N 个等分点 1，2，…，N	
等分	用直线连接 GN，并过各等分点分别作 GN 的平行线，交 AG 线段于 B、C、…F，完成直线段 AG 的 N 等分	

另外，有时也按比例分割直线段。如已知直线段 AD，要求按比例 1∶2∶3 将其分割，求分点 B 和 C 的位置。其方法如图 1-61 所示。

① 过直线段端点 A 任作一辅助直线 AE。

② 从 A 点开始，用相同距离在直线 AE 上取六个等分点，其中 B'、C'和 D'使 $AB'∶B'C'∶C'D'=1∶2∶3$。

③ 用直线连接 DD'，并过 B'、C'分别作 DD'的平行线，交 AD 线段于点 B、C，则 $AB∶BC∶CD=1∶2∶3$。

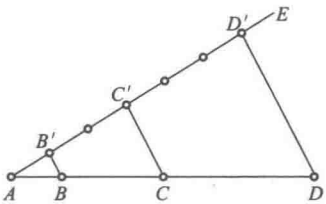
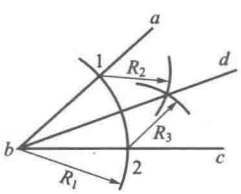
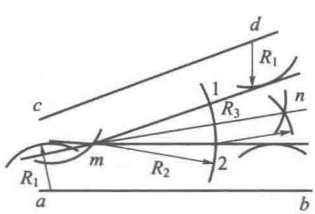
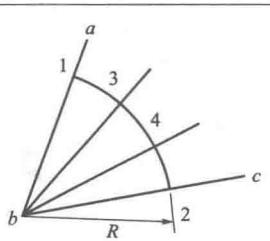


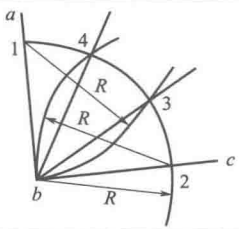
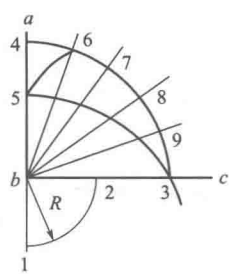
图 1-61　按比例分割直线段

2）角的等分（表 1-16）。

表 1-16　角的等分

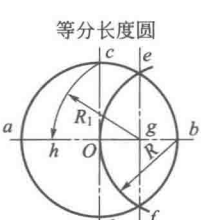
已知条件	图示	作图步骤
$\angle abc$ 的 2 等分		1. 以 b 为圆心、适当长 R_1 为半径画弧交角的两边于 1、2 两点 2. 分别以 1、2 两点为圆心，任意长 R_2（R_2 大于 1、2 间距离的一半）为半径画弧交于 d 点 3. 连接 bd，则 bd 为 $\angle abc$ 的角平分线
作无顶点角的角平分线		1. 取适当长 R_1 为半径，作 ab、cd 的平行线交于 m 点 2. 以 m 为圆心，适当长 R_2 为半径画弧交两平行线于 1、2 两点 3. 以 1、2 两点为圆心，适当长 R_3 为半径画弧交于 n 点 4. 连接 mn，则 mn 即为 ab、cd 两角边的角平行线
$\angle abc$ 的 3 等分		1. 以 b 为圆心，适当长 R 为半径画弧交角的两边于 1、2 两点 2. 将$\overset{\frown}{12}$用量规截取 3 等分为 3、4 两点 3. 连接 $b3$、$b4$ 即为 $\angle abc$ 的 3 等分

续表

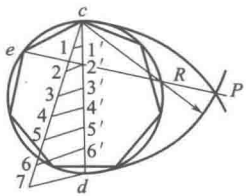
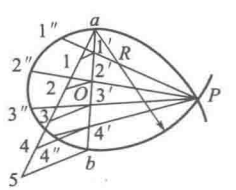
已知条件	图示	作图步骤
$\angle abc$（90°）的3等分		1. 以 b 为圆心，适当长 R 为半径画弧交角的两边于1、2两点 2. 分别以1、2两点为圆心，R 为半径画弧得3、4点 3. 连接 $b3$、$b4$ 即为 $\angle abc$（90°）的3等分
$\angle abc$（90°）的5等分		1. 以 b 为圆心，适当长 R 为半径画弧交 ab 延长线于点1和 bc 于点2 2. 量取点3，使线段 $23=b2$ 3. 以 b 为圆心，$b3$ 为半径画弧交 ab 于点4 4. 以点1为圆心，线段13为半径画弧交 ab 于点5 5. 以点3为圆心，线段35为半径画弧交 $\overset{\frown}{34}$ 于点6 6. 以 $\overset{\frown}{ab}$ 长在 $\overset{\frown}{34}$ 上量取7、8、9各点 7. 连接 $b6$、$b7$、$b8$、$b9$ 即为 $\angle abc$（90°）的5等分

3）圆的等分（表1-17）。

表1-17　圆的等分

已知条件	图示	作图步骤
求圆的3、4、5、6、7、10、12等分的长度		1. 过圆心 O 用 ab 垂直于 cd 的两条直径线 2. 以 b 为圆心、R 为半径画弧交圆周于 e、f 3. 连接 ef 交 ab 于 g 4. 以 g 为圆心，$R_1=cg$ 为半径画弧交 ab 于 h 5. 则 ef、bc、ch、bO、eg、hO、ce 长分别等分该圆周的3、4、5、6、7、10、12等分长

续表

已知条件	图示	作图步骤
作圆 O 的任意等分(图中为 7 等分)		1. 将圆的直径 cd 进行 7 等分 2. 分别以 c、d 为圆心，取 $R=cd$ 为半径画圆弧得 P 点 3. P 点与直径等分的偶数点 $2'$ 连接，并延长与圆周交于 e，则 ce 即是所求等分长 4. 用 ce 长等分圆周，然后连接各点，即为正 7 边形
作 $\overset{\frown}{ab}$ 半圆弧的任意等分(圆中 5 等分)		1. 将直径 ab 进行 5 等分 2. 分别以 a、b 为圆心，以 $R=ab$ 为半径画弧得 P 点 3. 分别连接 $P1'$、$P2'$、$P3'$、$P4'$，并延长与圆周的交点为 $1''$、$2''$、$3''$、$4''$ 点，即各点将半圆弧 5 等分

圆的等分也可用计算法求得，其计算公式为：

$$S=KD$$

式中 S——等分圆周弦长；

K——圆等分的系数；

D——圆的直径。

K 的数值是随正多边形边数的增减而变化的，如果边数由少变多，K 的数值就由大变小。正多边形的边数 N 与系数 K 的关系见表 1-18。

(10) 正多边形的作法

1) 圆内接正四边形边长的求作。如图 1-62 所示，以圆的半径为半径，以圆周上任意一点 a 为圆心画圆弧交圆周于 b 点；再以 b 为圆心，同样的半径画圆弧可得到 c 点；又以 c 为圆心，并以相同的半径画圆弧而得到 d 点；然后连接 bd，可得到 e 点；Oe 则为所求的边长。

表 1-18　圆内接正多边形边数 N 和系数 K 的关系

N	K	N	K	N	K	N	K	N	K
1	—	21	0.14904	41	0.07655	61	0.05148	81	0.03878
2	—	22	0.14231	42	0.07473	62	0.05065	82	0.03830
3	0.86603	23	0.13617	43	0.07300	63	0.04985	83	0.03784
4	0.70711	24	0.13053	44	0.07134	64	0.04907	84	0.03739
5	0.58779	25	0.12533	45	0.06976	65	0.04831	85	0.03693
6	0.50000	26	0.12054	46	0.06824	66	0.04758	86	0.03652
7	0.43388	27	0.11609	47	0.06679	67	0.04687	87	0.03610
8	0.38268	28	0.11196	48	0.06540	68	0.04618	88	0.03559
9	0.34202	29	0.10812	49	0.06407	69	0.04551	89	0.03529
10	0.30902	30	0.10453	50	0.06279	70	0.04486	90	0.03490
11	0.28173	31	0.10117	51	0.06156	71	0.04423	91	0.03452
12	0.25882	32	0.09802	52	0.06038	72	0.04362	92	0.03414
13	0.23932	33	0.09506	53	0.05924	73	0.04302	93	0.03377
14	0.22252	34	0.09227	54	0.05814	74	0.04244	94	0.03341
15	0.20791	35	0.08964	55	0.05700	75	0.04188	95	0.03306
16	0.19509	36	0.08716	56	0.05607	76	0.04132	96	0.03272
17	0.18375	37	0.08481	57	0.05509	77	0.07079	97	0.03238
18	0.17365	38	0.08258	58	0.05414	78	0.04027	98	0.03205
19	0.16459	39	0.18047	59	0.05322	79	0.03976	99	0.03173
20	0.15643	40	0.07846	60	0.05234	80	0.03926	100	0.03141

2）正五边形

① 已知边长作正五边形。如图 1-63 所示，画一条直线 12 为已知边长，以其为半径，分别以 1、2 为圆心作两个圆，得交点 a、b；再以 a 为圆心，以相同的半径画圆得交点 c、e；连接直线 a、b 得交点 d，然后连接 cd、ed 且延长得交点 3 和 5；以 3、5 点为圆心，线段 12 长为半径画圆弧可得到 4 点；将所求的数字各点依次用直线连接，即完成所求五边形。

② 边长求法。如图 1-64 所示，以圆 O 的横轴一端 A 点为圆

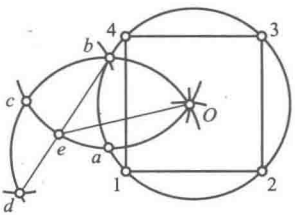


图 1-62　圆内接正四边形边长的求作

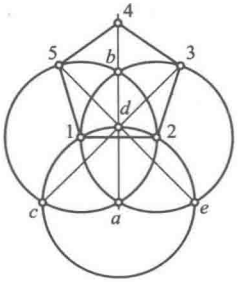


图 1-63　已知边长作正五边形

心，OA 为半径画圆弧交于 m、k 两点，连接 mk 交 OA 于 B 点，即为 OA 的中点；以 B 点为圆心，OB 为半径画圆，与 CB 的连线交于 D 点；以 C 为圆心，CD 长为半径画圆弧可得 1、2 两点；则 1、2 两点的连线即为正五边形的边长。

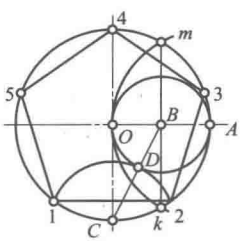


图 1-64　圆内接正五边形的作法（一）

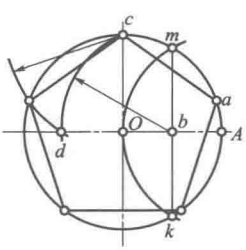


图 1-65　圆内接正五边形的作法（二）

如图 1-65 所示，用同前例一样的方法求出 OA 的中点 b；以 b 为圆心、bc 为半径画圆弧可得 d 点，cd 即为所求边长。

3）任意正多边形。如图 1-66 所示，分别以已知边 ab 线上的 a、b 点为圆心，以 ab 长为半径画圆弧，与曲线的垂直平分线交于点 6；连接 $b6$ 且将其 6 等分，得等分点 1、2、3、4、5；从 6 点起，沿垂直平分线向上截取 $b6$ 线 1 等分的长度（如

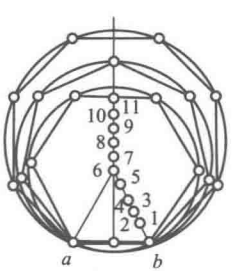


图 1-66　任意正多边形的作法

$b1$），依次而为可得 7、8、9、10、…各点。如要作正六边形，则以点 6 为圆心，以 $a6$ 为半径画圆；如要作正七边形，则以点 7 为圆心，以 $a7$ 为半径画圆，以此类推。然后用 ab 长等分圆周，连接各等分点，即为所求的正多边形。

1.2 读图思维基础和思维方法

1.2.1 标注尺寸的基本规则

钣金工所接触的工件材料主要是板材、型材和管材，生产中，国标规定了标注尺寸的规则和方法，在画图时必须遵守这些规定，否则会引起不必要的混乱，给生产带来损失。

（1）公差　允许的尺寸变动量称尺寸公差。它是上极限尺寸和下极限尺寸减其公称尺寸所得的代数差，分别称为上极限偏差和下极限偏差，统称为极限偏差。国标规定：孔的上、下极限偏差代号分别用 ES 和 EI 表示；轴的上、下偏差代号分别用 es 和 ei 表示，如图 1-67所示。

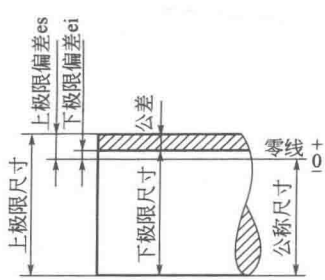


图 1-67　尺寸公差名词

在公差标准中所列的用以确定公差带大小的任一公差称为标准公差。标准公差是由公称尺寸和公差等级所决定的。公差等级是用以确定尺寸精度的等级。国家规定了 20 个等级，即 IT01、IT0、IT1～IT18。IT 表示标准公差，数字表示公差等级。IT01 精度最高，以下逐级降低，IT18 精度最低。IT01～IT11 用于配合尺寸，IT12～IT18 用于非配合尺寸。在保证产品质量的前提下，应采用较低的公差等级。标准公差的数值和两因素有关：标准公差等级与基本尺寸分段。确定尺寸精确程度的等级称为标准公差等级。标准规定：同一公差等级对所有基本尺寸的一组公差被认为具有同等精

确程度。

用于确定公差带相对于零线位置的上极限偏差或下极限偏差，一般是指靠近零线的那个极限偏差。当公差带在零线的上方时，基本偏差为下极限偏差；反之，则为上极限偏差。

孔和轴的基本偏差各有 28 个，其代号用拉丁字母表示，孔的基本偏差代号用大写，轴的基本偏差代号用小写，如图 1-68 所示。

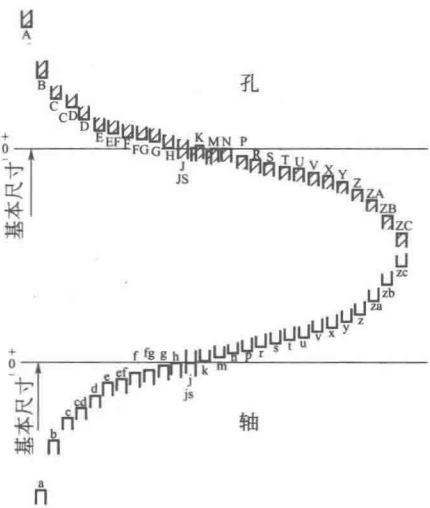


图 1-68　基本偏差系列图

基本偏差系列图只表示公差带的位置，不表示公差带的大小。因此，孔和轴的公差带代号应由极限偏差代号和公差等级代号两部分组成。

（2）配合　公称尺寸相同、相互结合的孔和轴公差带之间的关系，称为配合。根据使用要求的不同，孔和轴之间的配合有松有紧。国标中按照松紧程度将配合分为三种，即间隙配合、过盈配合和过渡配合，如图 1-69、图 1-70 所示。

（3）公差与配合的标注　图 1-71 所示为箱体零件上孔、轴套、

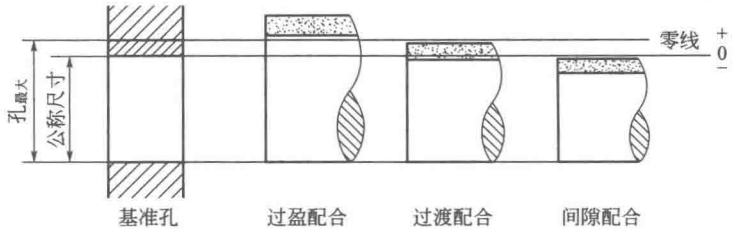


图 1-69　基孔制配合

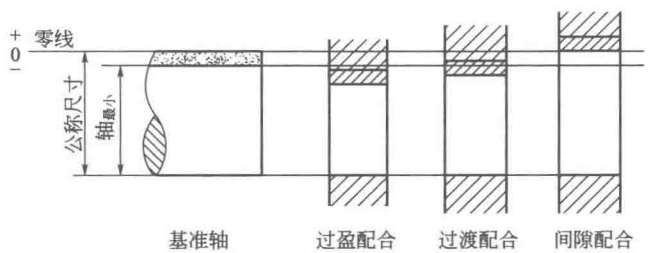


图 1-70　基轴制配合

轴配合的局部结构图。

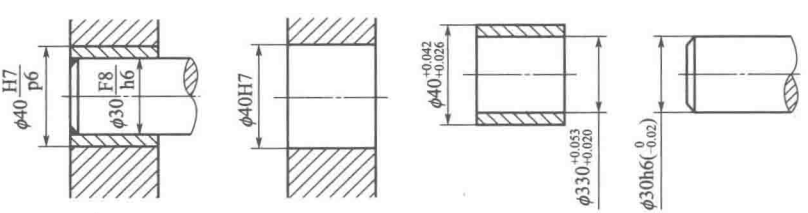


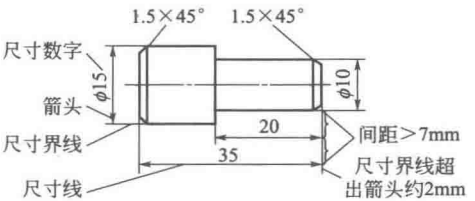
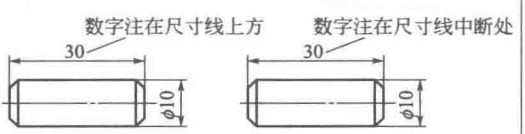
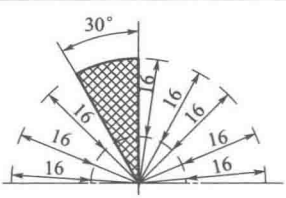
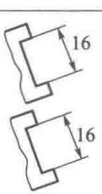
图 1-71　图样上公差与配合的标注方法

1）在装配图上的标注。在装配图上标注公差与配合，采用组合式注法，即：基本尺寸孔的公差代号/轴的公差带代号。

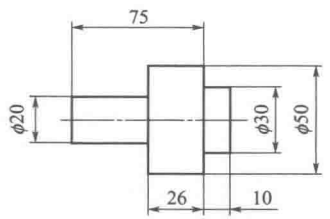
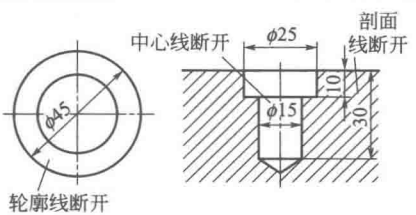
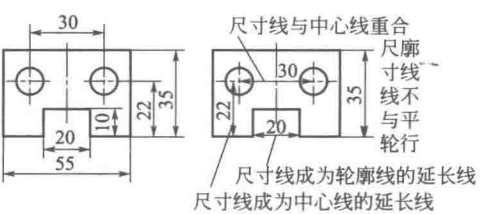
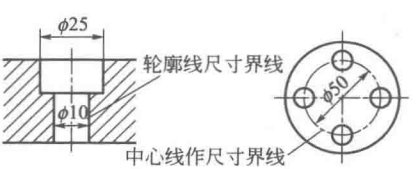
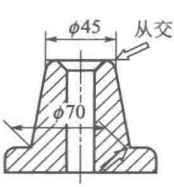
2）在零件图上的标注。在零件图上标注公差的方法有三种形式：只标注公差带代号、只注极限偏差数值和公差带代号和上、下偏差值同时注出。

（4）标注尺寸的基本规则　标注尺寸的基本规则见表 1-19。

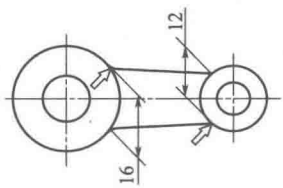
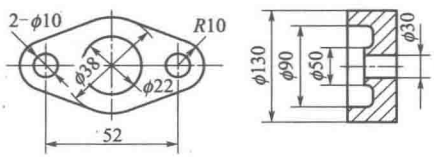
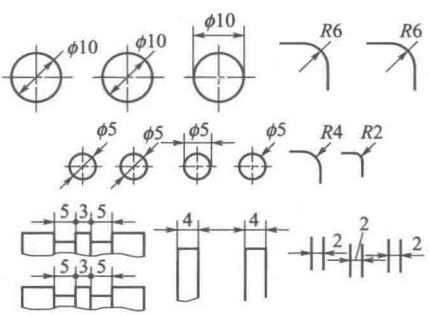
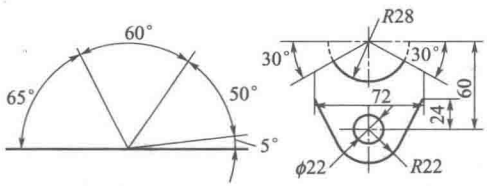
表 1-19　标注尺寸的基本规则

项目	图示	说明
总则		1. 完整的尺寸的组成内容： (1)尺寸线(细实线)和箭头 (2)尺寸界线(细实线) (3)尺寸数字 2. 图上所注尺寸数值为零件的真实大小，与图形的比例及绘图的准确度无关 3. 尺寸单位是 mm 时不需注明，采用其他单位时必须注明单位的代号或名称。在同一图样中，每一尺寸一般只标注一次
尺寸数字		尺寸数字一般标注在尺寸线的上方或中断处
		按一定方向填写，尽量避免在图示 30°范围内标注尺寸
		当无法避免时按此方式标注

续表

项目	图示	说明
尺寸数字		对于非水平方向的尺寸可采用此标注方式
		数字不可被任何图线所通过。当不可避免时，必须把图线断开
尺寸线		1. 尺寸线必须用细实线单独画出。轮廓线、中心线或它们的延长线均不可作尺寸线使用 2. 标注直线尺寸时，尺寸线必须与所标注的线段平行
尺寸界线		尺寸界线用细实线绘制，也可以利用轮廓线或中心线作尺寸界线
		尺寸界线应与尺寸线垂直，当尺寸界线过于贴近轮廓线时，允许倾斜画出

续表

项目	图示	说明
尺寸界线		在光滑过渡处标注尺寸时，必须用细实线将轮廓线延长，从它们的交点引出尺寸界线
直径与半径		1. 标注直径尺寸时，应在尺寸数字前加注直径符号“φ”，标注半径尺寸时，加注半径符号“R” 2. 半径尺寸必须注在投影为圆弧处，且尺寸线应通过圆心
狭小部位		1. 当没有足够位置画箭头或写数字时，可将其中之一布置在外面 2. 位置更小时箭头和数字可以都布置在外面 3. 标注一连串小尺寸时，可用小圆点或斜线代替箭头，但两端箭头仍应画出
角度		1. 角度的尺寸界线必须沿径向引出 2. 角度的数字一律水平填写 3. 角度的数字应写在尺寸线的中断处，必要时允许写在外面，或引出标注

1.2.2 钣金读图的思维方法

1.2.2.1 钣金图样的识图方法

掌握正确的识图方法，有助于进一步分析图样结构，理解图样内容。钣金图样的识读方法如下。

① 把图样正确地面对自己（标题栏在右下角）。

② 首先阅读图样的标题栏，注意零件的名称、图号、材料等资料是否与修配单上的要求相符。

③ 仔细分析零件的有关视图，明确哪一个是主视图，哪一个是俯视图和左视图等（钣金的板材、管材和型材等零件图，一般只有主视图和左视图，或主视图和俯视图。因为一般零件形状较为简单，只需两个视图就能说明问题）。根据这些有关的图形来确定零件的形状。

④ 看清零件各部分的大小尺寸或位置尺寸，以及这些尺寸的允许偏差与有关的代号和技术要求。

⑤ 看清零件表面的粗糙度等级，然后根据图样和有关工艺卡片来考虑零件的加工过程。

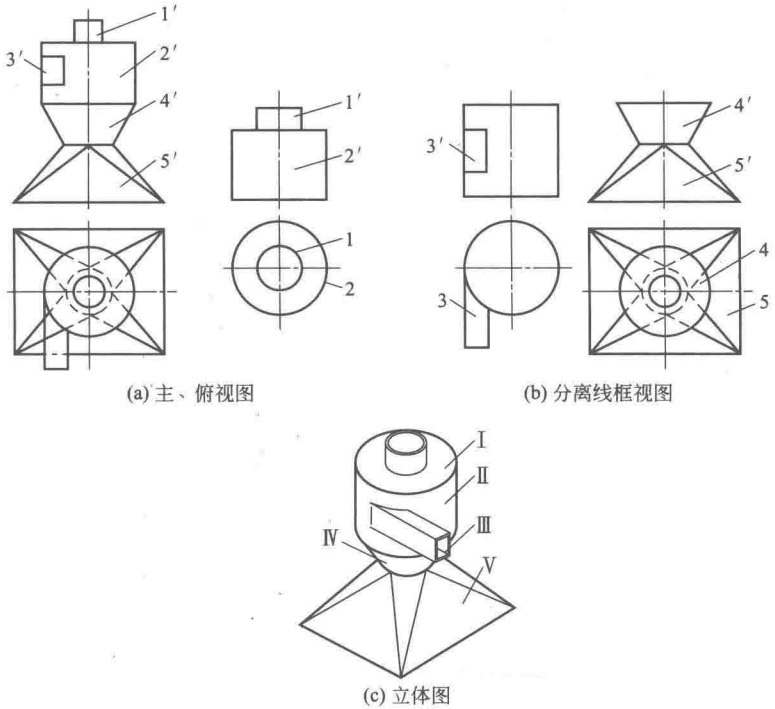
读钣金构件视图除了应熟练地掌握读图思维基础和注意点外，还应考虑到钣金制件的结构特点，如制件壁厚较薄，在视图中往往直接用线表示，而不画出壁厚，以及制件大都是管件、接头或漏斗等，一般不是全封闭，往往有进出口。因此，读图时，还应注意其与读机械零件视图的不同点。

(1) 形体分析法　形体分析法是读图的基本方法。形体分析法的着眼点是体，它把视图中线框分为几部分来想象，通过在相邻视图中逐个线框找对应关系，然后逐个线框想象其所示基本立体形状，并确定其相对位置、组合形式和表面连接关系，从而综合想象整体形状。

1) 集粉筒的读图。如图 1-72 所示，读主、俯视图，想象其立体形状。

从名称可知漏斗的结构应有进口和出口，从视图上看都是线段，说明该漏斗是由平面所围成的。其读图思路如下。

① 对投影分离线框。视图中对应关系的封闭线框，一般都表



(a) 主、俯视图　　(b) 分离线框视图

(c) 立体图

图 1-72　读集粉筒的主、俯视图

示物体上的一个基本形体。如图 1-72(a) 所示，根据三视图投影关系，把主视图划分为线框 1′、2′、3′、4′、5′五个部分。

② 逐个线框想形状。在已分离的封闭线框，通过逐个线框与相邻视图对投影关系，找到与其相对应的线框，并以特征形线框为基础，想象每个线框所示基本形体的形状。

如图 1-72(b) 所示，主视图的线框 1′、2′对应俯视图中的圆形线框 1 和 2，线框 1 和 2 是圆形，想象为圆柱管Ⅰ（小）圆柱管Ⅱ（大）；线框 3′对应线框 3，线框 3′是方形，想象为方体管Ⅲ；线框 4′对应线框 4，线框 4′为同心圆，想象为圆台筒Ⅳ；线框 5′对应线框 5，初步认定台体形状。

从俯视图的虚线圆形和矩形可知该形体上端口是圆形，下端口为矩形，其侧面不可能是单纯的综合面。要达到平面和曲面圆滑过

渡，必须把其侧面分为 4 个三角形平面和 4 个椭圆锥面。椭圆锥面的锥顶是底面矩形的顶点，椭圆锥底在上端口的 1/4 圆周上。这样划分出立体形状才是合理的结构。

图中主、俯视图三角形细边线是平、曲面过渡的示意线，不是平、曲面上相接轮廓线。

③ 综合想象整体形状。由各个独立线框交接和相对位置关系及视图上表示的“六方位”，便可把已想象出的各个基本立体形状综合起来，想象整体形状。

图 1-72(c) 中，除了方形管Ⅲ和圆柱管Ⅱ是相交相切外，其他 4 个形状都是同轴相接和叠加所组成的立体。

2）裤衩形三通管的读图。如图 1-73 所示，读主、俯视图，想象其立体形状。

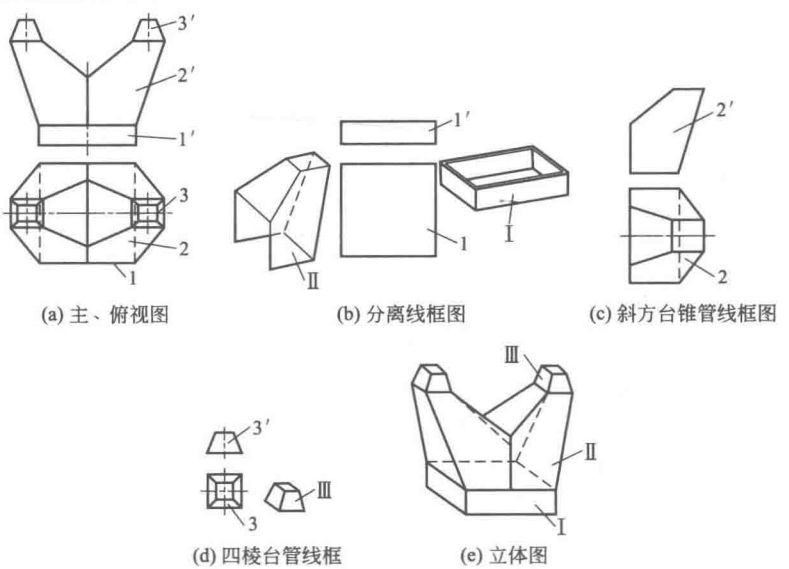


图 1-73　读裤衩形三通管主、俯视图

裤衩形三通管读图思路如下。

① 对投影分离线框。该制件形状左右、前后对称。根据主、俯视图的线框的对应关系，把主视图的线框划分为线框 1′、2′（2 个）、3′（2 个），初步判断该制件由 5 个部分组成的形体。

② 逐个线框想象形状。主视图线框 1′对应俯视图矩形线框 1，形体Ⅰ为矩形下端口，如图 1-73(b) 所示；线框 2′对应线框 2，形体Ⅱ为斜方台锥管（左右两个），被侧平面（对称平面）切去一部分，如图 1-73(c) 所示；线框 3′与 3 对应，形体Ⅲ为四棱台管（左右两个），如图 1-73(d) 所示。

③ 综合想象整体形状。根据已想象出的五部分的形状，按主、俯视图上各线框相对位置的连接、相交关系，想象出图 1-73(e) 所示立体图。

(2) 线面分析法　当视图所表示形体较为不规则或轮廓线投影相重合时，若应用形体分析法读图难以奏效时，应采用线面分析法。线面分析法着眼点不是体，而是体上面（平面或曲面）。它把视图中的线框、线段的投影对应关系想象为表示体上某一面。由于体都是由一些平面或曲面围成的，所以只要把视图中每个线框、线段空间含义搞清楚，想象其所表示空间线段、平面的形状和相对位置，然后再综合起来想象，并借助于立体概念，便可想象出整体形状。

在进行线、面分析法读图时，应根据点、直线、曲线、平面、曲面的投影特性来分析、想象体上面形状和所处空间位置。

如图 1-74(a) 所示，读其三视图，想象其立体形状。

从名称可知漏斗的结构应有进口和出口，从视图上看都是线段，说明该漏斗是由平面所围成的。

1) 对投影分离线框。在三视图中对投影关系，把主视图分为线框 1′、2′、3′；左视图分为线框 4″、(5″)；俯视图分为线框 m、n。

2) 逐个线框对投影，想象其形状和空间位置。主视图的线框 1′、2′，对应的左视图均无类似形线框，应对应积聚性线段 1″、2″，根据相邻线框 1′、2′表示不同面，所以线框 1′应凹入，即表示漏斗出口的轮廓形状；线框 2′表示面Ⅱ为梯形正平面，是漏斗的前壁；主视图的三角形线框 3′，对应左视图的三角形类似形线框 3″，线框 3′表示三角形平面为左侧壁Ⅲ。由于 $a'b'$ 对应 $a''b''$ 都是竖向线，三角形一个边 $AB \perp H$ 面，所以侧壁Ⅲ为铅垂面，如图 1-74(b) 所示。

左视图的线框 4″、5″对应主视图为斜线 4′和竖向线 5′，面Ⅳ和面Ⅴ为直角三角形正垂面和侧平面。面Ⅳ与面Ⅲ相交组成左侧壁，

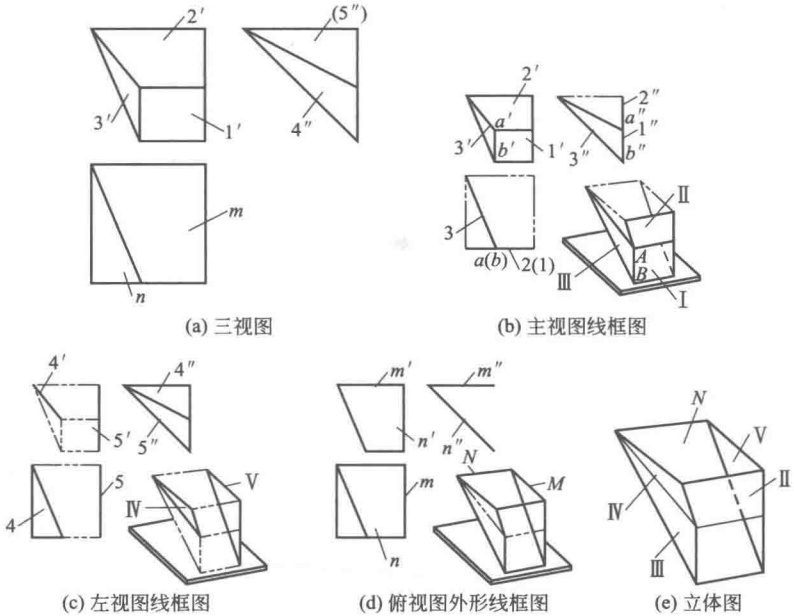


图 1-74　读漏斗三视图-

面Ⅴ为右侧壁，如图 1-74(c) 所示。

俯视图的外形线框为矩形 m，对应主、左视图为横向线 m'、m''，可以认为矩形 M 为水平面，表示漏斗的上壁面或是进口的轮廓形状。又从俯视图斜线 3 为实线和根据漏斗结构特点，可判断为后者；线框 n 对应线框 n' 和斜线 n''，线框 n 表示梯形斜底壁 N，是侧垂面，如图 1-74(d) 所示。

3）组装想象整体形状。把视图中各线框和线段“立体化”后，根据各线框和各线段所表示面的形状和空间位置，分前后、左右、上下六个方向进行组装想象，并从立体所具有特征和钣金件的结构特点，便可综合想象出整体形状。

如把面Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ的相对位置进行组装想象，便可想象出如图 1-74(e) 所示漏斗的形状。

1.2.2.2　视图的审核

钣金制件的制作是通过图样来组织生产的，假如给定的视图或

放样图的画法错误（如错、漏图线），而展开图又是按这种错误图样来绘制的，其下料后在组合成制件时就会出现质量问题。因此，钣金制件在制作过程中。对视图的审视应用“形体分析法”和“线面分析法”或者两种方法综合起来，先由视图想立体形状，再由立体形状印证视图。应用视图中点、线、线框的含义和点、直线、平面的投影规律，确定视图的正确性，对图样错画处的图线给予纠正，是保证钣金制件合乎要求的前提条件。

（1）碾米机漏斗图的纠错　审核如图 1-75(a) 所示的碾米机漏斗三视图。钣金工根据图 1-75 所示三视图制造不出漏斗来。这是

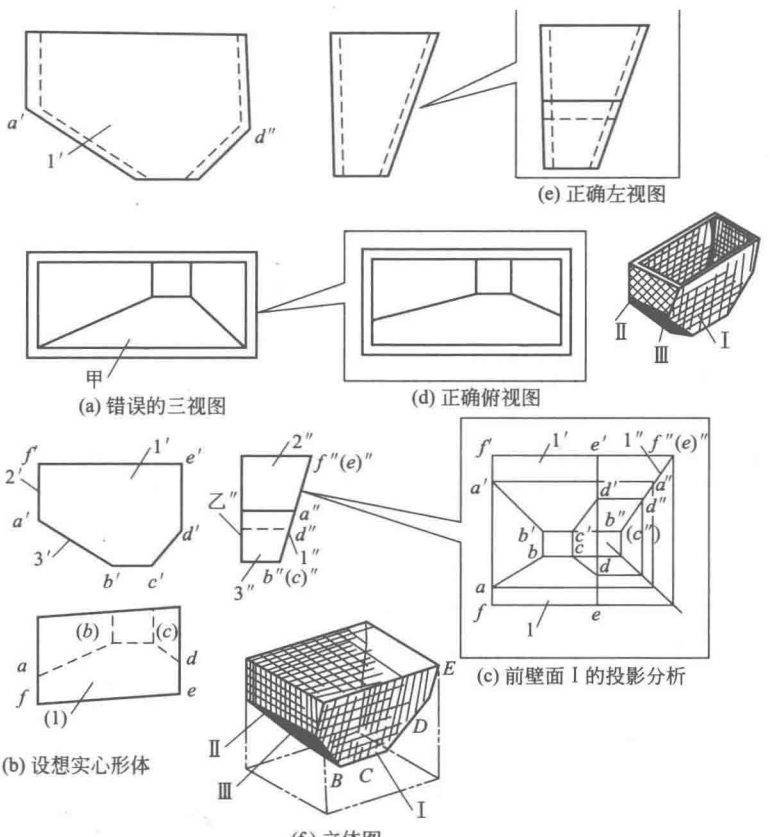


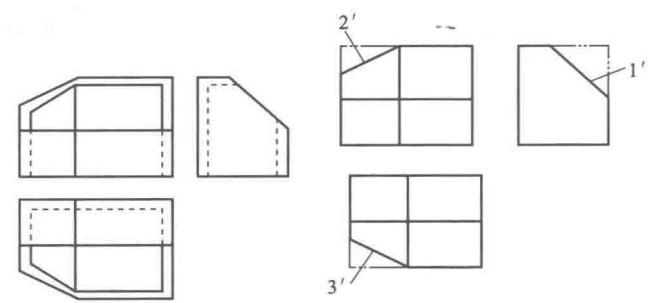
图 1-75　分析碾米机漏斗视图的错误画法

什么原因？

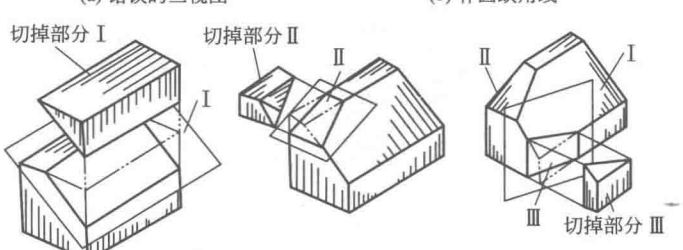
1）分析。通过三视图的投影和空间分析，确定漏斗的内外形是一样的，为了便于投影分析，设想该形体是实心体，如图 1-75(b) 所示。主视图的线框 1′对应左视图为斜线 1″和竖线乙″，说明漏斗的前后壁是六边形的侧垂面和正平面。俯视图中表示前壁Ⅰ应是六边形线框（1），如图 1-75(c) 前壁面Ⅰ的投影图和图 1-75(f) 立体图。但图 1-75(c) 的俯视图把漏斗的前壁错误画为梯形线框甲。主视图的点 a'、b'是“点中表示直线”，它是漏斗左右两侧面上两个梯形的相交线。左视图漏画了实线和虚线，如图 1-75(b) 所示。

2）正确制造漏斗形状。从以上分析可知，漏斗若按此错误线框形状图下料，就会出现质量问题，使漏斗合拢不起来。只有按图 1-75(d) 和图 1-75(e) 的俯、左视图的正确画法，想象漏斗的形状，把漏斗的前后壁按六边形下料，左右两侧壁均用两块梯形下料，就能使碾米机漏斗和各侧面合拢起来。

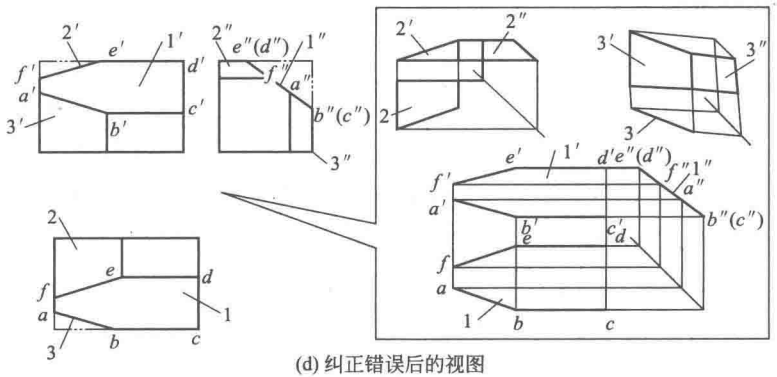
（2）壳斗三视图的纠错　审核如图 1-76(a) 所示的壳斗的三视图，纠正错误的画法。



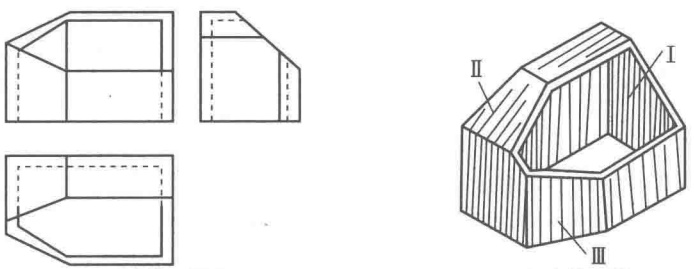
(a) 错误的三视图　　(b) 补画缺角线



(c) 分步切割形体



(d) 纠正错误后的视图



(e) 正确的三视图　　(f) 立体图形

图 1-76　壳斗三视图的分析

1）读图想象壳斗形状。补齐图 1-76(b) 三视图和缺角线，初步想象壳斗原形是长方形，再从三个视图中的斜线段 1′、2′、3′，想象为长方形被三个不同的侧垂面Ⅰ、正垂面Ⅱ、铅垂面Ⅲ分别切去三个角后所形成的形体，如图 1-76(c) 切割形成的立体形状。由于截平面截切范围不同，其截断面的形状也不相同，如切割的断面Ⅱ（正垂面）、Ⅲ（铅垂面）为梯形；切割的断面Ⅰ（侧垂面）为六边形。

2）投影分析。在图 1-76(b) 中，若不仔细进行三个截断面的投影分析，是不易发现画法上的错误的。如按图 1-76(a) 所示各平面形状和相对位置进行下料，壳斗是制造不出来的。

根据投影面垂直面的投影特征：其三个图一定是“斜线对应两个类似形线框”。如截面Ⅰ，左视图是斜线 1″，主、俯视图是六边形的类似形线框 1′、1″；截面Ⅱ，主视图上是斜线 2″，俯视图是梯

形的类似形线框 2′、2″；俯视图上是斜线 3，主、左视图是梯形的类似形线框 3′、3″，如图 1-76(d) 所示三个截面Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的投影图。

通过三个截面的投影分析，显然可看出图 1-76(a)、(b) 的画法是错误的。

3) 纠正错误的画法。修改壳斗的三视图。应用点、线、面的投影特点，修改图 1-76(a) 的错误画法，改成图 1-76(d) 和所示壳斗的三视图，想象为图 1-76(f) 所示的立体形状。

4) 按壳斗各面形状下料。该构件上口为六边形，下口为矩形；前壁为矩形和梯形的两平面相交；后壁为五边形平面；左侧壁为直角五边形；右侧壁为直角五边形平面；顶面为直角梯形和矩形的两平面相交所组成。若按这五个平面的实际形状和大小进行下料，并按图中所示和空间位置进行合拢，便可得到如图 1-76(f) 所示的壳斗形状。

1.2.2.3 管路图的识读方法

在工程上经常遇到管路图，需想象整条管路的走向和布局。如常见的蛇形管，应读懂蛇形管轴线的空间位置，明确其投影特性，以便确定哪段管的轴线反映实长，哪段管的轴线不能反映实长，以及求作其实长的方法，为绘画放样图提供条件。

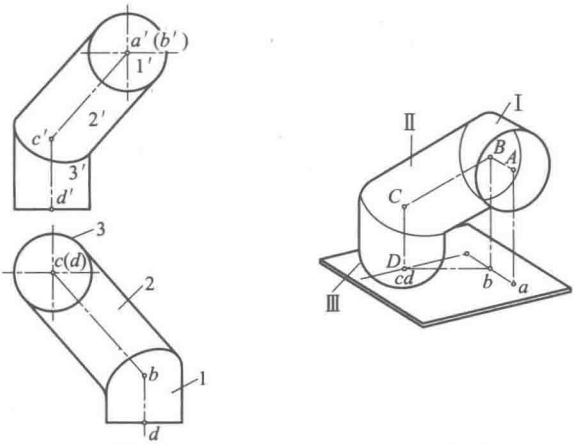
读管路投影图时，应采用线段分解法，即把整条管路分解为若干管段，然后逐个管段在投影图中找投影对应关系，并根据点、线投影特性，想象每段管段形状和空间位置，然后综合起来想象整条管路的走向和布局。

(1) 蛇形管的识读　读如图 1-77(a) 所示的蛇形管主、俯视图，想象蛇形管的空间位置。

1) 对投影分离管。通过主、俯视图对投影关系，初步把主视图划分为 1′、2′、3′线框。

2) 逐个线框对投影，想象蛇形管各段的空间位置。主视图的圆形线框 1′对应俯视图线框 1 及点 a' (b') 对应竖向 ab，想象斜截圆柱管Ⅰ，其轴线 AB 为正垂线，ab 线反映管Ⅰ轴线 AB 的实长。

线框 3′对应圆形 3 及 $c'd'$ 对应点 c (d)，想象斜截圆柱管Ⅲ，



(a) 主、俯视图　　(b) 立体形状

图 1-77　读蛇形管的主、俯视图

轴线 CD 为铅垂线，$c'd'$反映管Ⅲ轴线 CD 的实长。

线框 $2'$与 2 对应及斜线 $b'c'$对应斜线 bc，想象斜截圆柱管Ⅱ轴线 BC 为一般位置直线，$b'c'$和 bc 均不反映实长。若要求得该轴线 BC 的实长，应通过旋转法或换面法求得。

3）综合想象蛇形管的组成　把蛇形管分为三段斜截圆柱管的空间位置想象出来后，进行综合想象，即通过一般位置斜截圆柱管Ⅱ，把垂直于正面的斜截圆柱管Ⅰ及垂直于水平面的斜截圆柱管Ⅱ连接起来，如图 1-77(b) 所示。

(2) 管路轴线的读图　读如图 1-78 所示的管路轴线主、俯视图，想象管路轴线组的空间位置，求作侧面投影。

1）对投影分离线段。通过图中“主、俯长对正”的投影关系中，初步分离出三条轴线段，并标注每段轴线段的字母，如图1-78 (a) 所示。

2）逐个点、线对投影，想象每段线的空间位置。俯视图的 ab 线对应主视图为点 a' (b')，AB 为正垂线，侧面投影为横向线 $a''b''$，如图 1-78(c) 所示。线 ab 和 $a''b''$反映 AB 实长。

俯视图的 bc 线对应主视图的斜线 $b'c'$，BC 为正平线，侧面投影为竖向线 $b''c''$，如图 1-78(d) 所示。斜线 $b''c''$反映 BC 线实长。

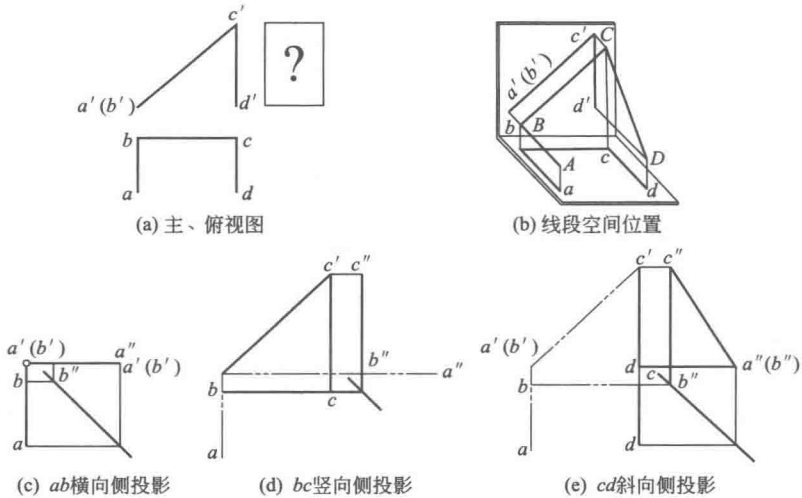


图 1-78　读管路轴线主、俯视图求作左视图

俯视图的 cd 线对应主视图的 $c'd'$，CD 为侧平线，侧面投影为斜线 $c''d''$，如图 1-78(e) 所示。斜线 $c''d''$ 反映 CD 的实长。

3）综合想象线段的空间位置。按上述步骤想象出三条线段的空间位置及线段连接顺序和相互位置，便可想象出图 1-78(b) 所示的线段空间位置。

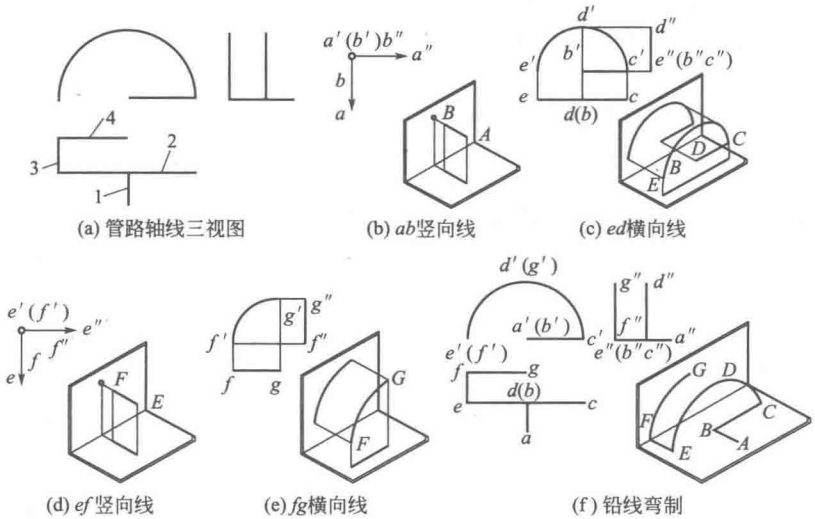
(3) 管路轴线的读图　读如图 1-79(a) 所示的管路轴线三视图，想象其走向和布局，并用铅丝弯成模型加以验证。

1）对投影分离线段。通过三个视图对投影关系，确定反映管路走向较为明显为主、俯视图，并把俯视图划分为线 1、线 2、线 3、线 4，如图 1-79(a) 所示。

2）逐个线段对投影，想象其形状和空间位置。根据俯视图分离出线 1、线 2、线 3、线 4，逐个线段与主、左视图对投影关系，分离出各自对应关系，并标上字母，想象各线段的形状和空间位置。

竖向线 1 的 ab 对应点 a'（b'）及横向线 $a''b''$，线 AB 为正垂线，如图 1-79(b) 所示。

横向线 2 的 ed（b）c 对应带半圆弧的 $e'd'c'b'$ 及竖向线 $d''e''$（$b''c''$），半圆线段 EDC 平行 V 面，线 BC 为侧垂线，两段线组合



(a) 管路轴线三视图　(b) *ab*竖向线　(c) *ed*横向线

(d) *ef*竖向线　(e) *fg*横向线　(f) 铅线弯制

图 1-79　读管路轴线三视图

平行 V 面，如图 1-79(c) 所示。

竖向线 3 的 ef 对应点 e'（f'）及横向线 $e''f''$，线 EF 为正垂线，如图 1-79(d) 所示。

横向线 4 的 fg 对应圆弧 $f'g'$和竖向线 $f''g''$，FG 圆弧平行于 V 面，如图 1-79(e) 所示。

3）想象整条管路轴线的空间位置（走向和布局），用弯丝验证。通过上述步骤把各线段的形状和空间位置确定后，再根据各线段连接顺序从线 1 开始找出结合点 B、C、E、F，把各段管连接为整条管路，确定其定向和布置，用铅线弯成如图 1-79(f) 所示形状。

1.3　构件表面结合线的绘制和识读

1.3.1　相贯体交线的绘制与识读

1.3.1.1　相贯线的性质与特点

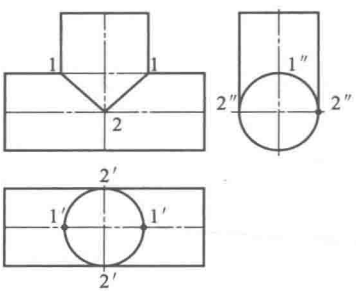
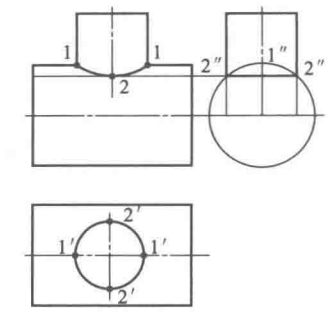
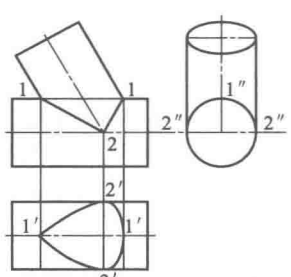
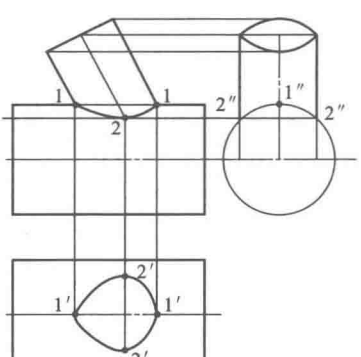
钣金构件展开主要是求出构件的相贯线，只有求出构件的相贯

线，才能对金属板材构件进行展开，因此金属板材构件的相贯线是金属板材构件展开过程中的一个关键因素。

(1) 管与管类相贯

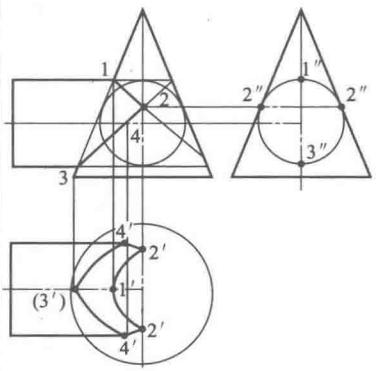
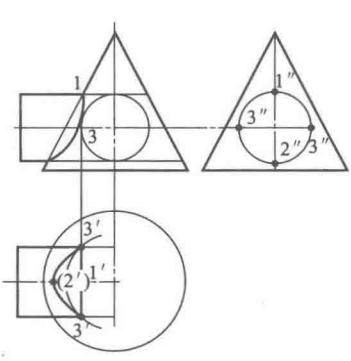
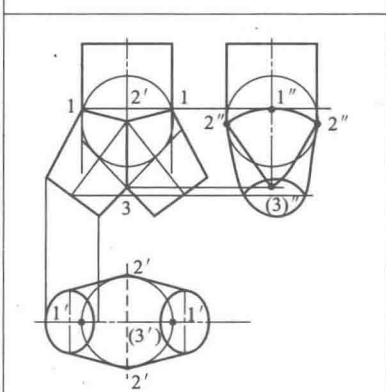
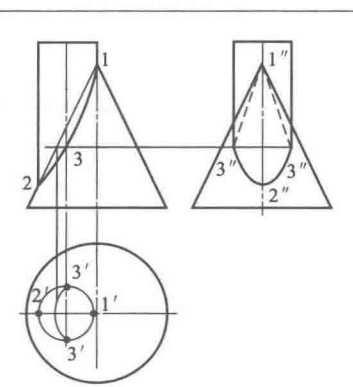
1) 圆管与圆管相贯。圆管与圆管相贯线主要有两种形式，见表 1-20。

表 1-20 圆管与圆管相贯

相贯形式	等径圆管相贯	异径圆管相贯
图示		
图示		
相贯线特点	封闭直线	封闭曲线

2）圆管与圆锥管相贯。其相贯线主要有两种形式，见表 1-21。

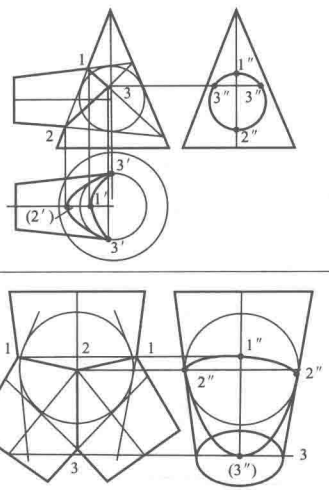
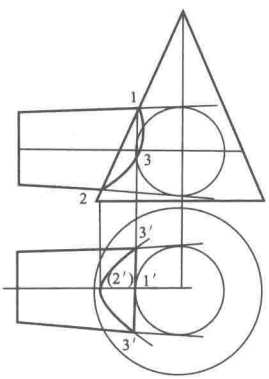
表 1-21　圆管与圆锥管相贯

相贯形式	相切于同一圆	不能相切于同一个圆
图示		
		
相贯线特点	封闭直线	封闭曲线

3）圆锥管与圆锥相贯。其相贯线主要有两种形式，见表 1-22。

4）圆管与方形管或多面管相贯。其相贯线主要有三种形式，见表 1-23。

表 1-22　圆锥管与圆锥相贯

相贯形式	同一圆相切	不能同一圆相切
图示		
相贯线特点	封闭直线	封闭曲线

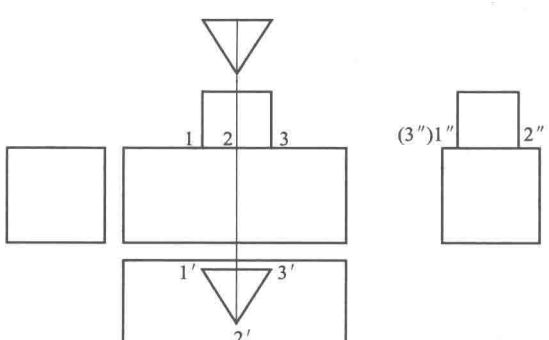


图 1-80　三角形口管与方形口管正交的相贯线

5）圆锥管与方形管或多面管相贯。其相贯线主要有三种形式，见表 1-24。

表 1-23　圆管与方形管或多面管相贯

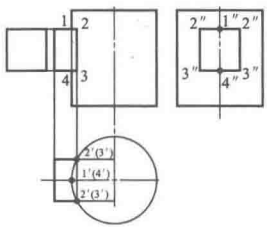
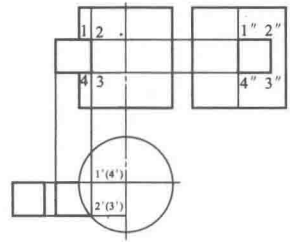
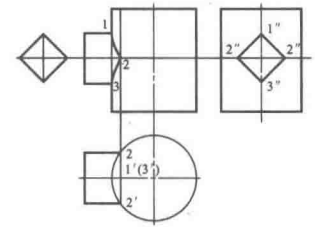
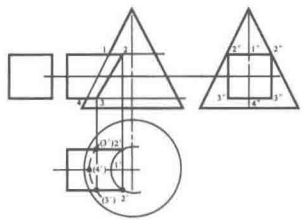
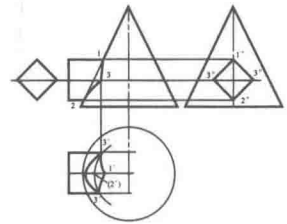
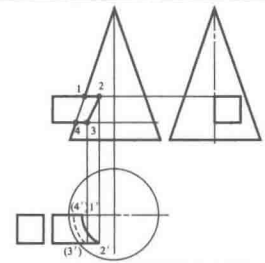
相贯形式	正交	侧交	斜交
图示			
相贯线特点	封闭直线		封闭曲线

表 1-24　圆锥管与方形管或多面管相贯

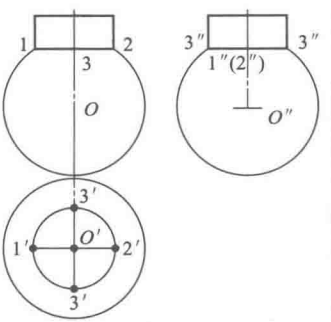
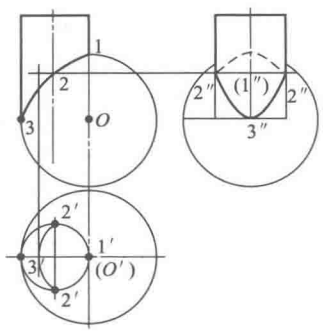
相贯形式	正交	斜交	偏交
图示			
相贯线特点	斜直线	封闭曲线	斜直线

6）方形管或多面管与方形管或多面管的相贯。其相贯线只有一种基本形式，即在三视图中都为封闭的直线，如图 1-80 所示。

（2）管类与球体相贯

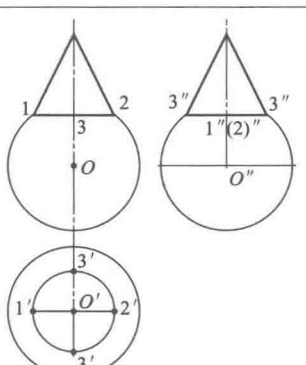
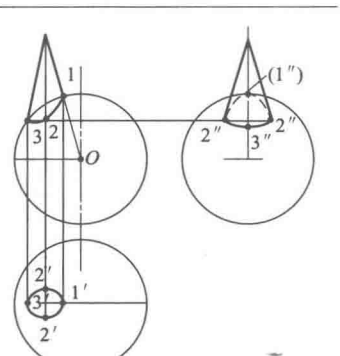
1）圆管与球体相贯。其相贯线主要有两种形式，见表 1-25。

表 1-25　圆管与球体相贯

相贯形式	过球心	偏离球心
图示		
相贯线特点	封闭的直线	封闭曲线

2）圆锥体与球体相贯。其相贯线主要有两种形式，见表 1-26。

表 1-26　圆锥体与球体相贯

相贯形式	过球心	偏离球心
图示		
相贯线特点	封闭的直线	封闭曲线

3）方形管或多面管与球体的相贯。其相贯线只有一种形式，那就是封闭的曲线，如图 1-81 所示。

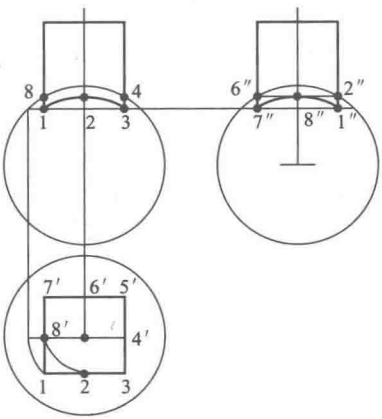


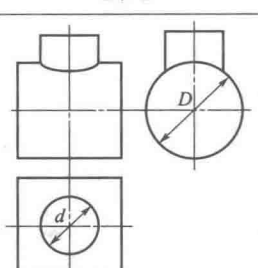
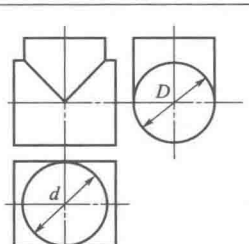
图 1-81　方口形管与球的相贯线

1.3.1.2　两曲面体组合投影

（1）两曲面体组合投影

1）两柱面积聚法投影。当相交两圆柱的轴线正交或交叉垂直时，若其轴线垂直于投影面，则圆柱面在该投影面上的投影积聚为一个圆，且结合线上的点在该投影面上的投影也一定积聚在该圆上，即结合线的两面投影也具有积聚性，见表 1-27，而其他投影可根据表面上取点的方法作出。

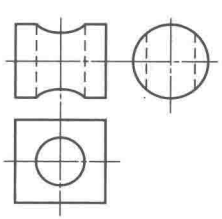
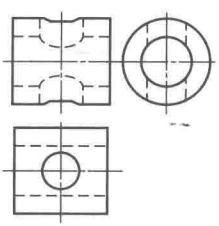
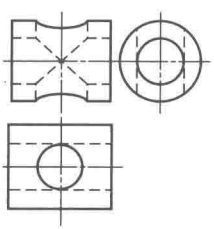
表 1-27　两圆柱结合线（相贯线）投影形状的变化

尺寸变化	$D>d$	$D=d$
投影图		
投影形状	曲线向着大圆柱水平轴线方向弯曲	过两轴线交点的相交直线

2）两柱面结合线投影形状的变化。由表 1-27 可知，对于相互垂直的两柱面结合线投影，当大圆柱面直径 D 大于小圆柱面直径 d 时，其投影曲线形状总是向着大圆柱水平轴线方向弯曲。当大圆柱面直径 D 等于小圆柱面直径 d 时，其投影曲线形状则为过两轴线交点的相交直线。

对于圆柱体中心有通孔时的结合线投影形状更不同，当轴线上有单向圆柱孔时，结合线曲线投影形状总是向着圆柱轴线弯曲。当轴线上有不等径垂直圆柱孔时，结合线曲线投影形状总是向着大孔轴线弯曲。当轴线上有等径垂直圆柱孔时，结合线曲线投影形状总是为过两轴线交点的相交直线，见表 1-28。

表 1-28　圆柱穿孔的结合线形状

形式	轴线上有单向圆柱孔	轴线上有不等径垂直圆柱孔	轴线上有等径垂直圆柱孔
投影图			
投影形状	曲线向着圆柱轴线弯曲	曲线向着大孔轴线弯曲	过两轴线交点的相交直线

（2）复杂立体组合投影　如图 1-82 所示，为零件节温器盖的结构投影图，其主体部分是一空心半球与两空心等径小圆柱体相贯，两空心小圆柱体的轴线穿过球体，且二者的上半部分与半球正交，而下半部分与水平圆筒正交，前后耳板与主体部分相交。

这类复杂结构的投影，一般均按基本形体的三视图画出其轮廓线、剖面线等，而其相交处均由结合线投影画出其过渡线。

1.3.1.3　相贯体交线的求作

（1）切线法　切线法就是通过作圆的切线，把彼此对接的两形体的轮廓形状画出来。两形体的轮廓线相交，就会得出交点，连接

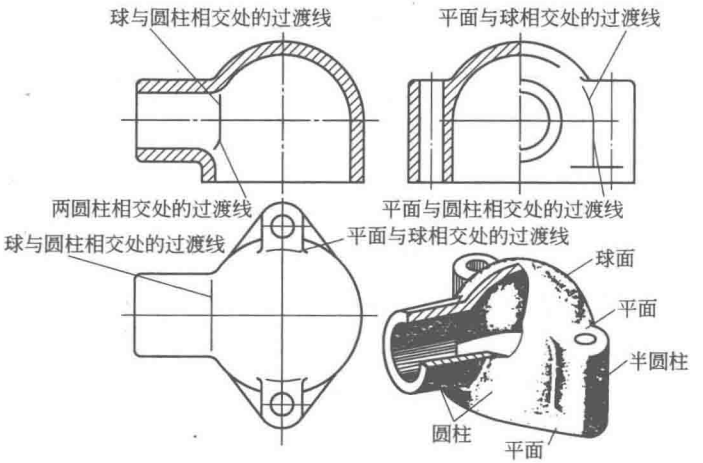


图 1-82　节温器盖投影图

两交点所得的直线，就是两形体之间的交线。

切线法主要适用于作截头圆柱和截头圆锥的截交线，因为它们的截交线在与该截交面垂直的投影面上反映为直线。这根直线——交线的位置确定如图 1-83 所示。

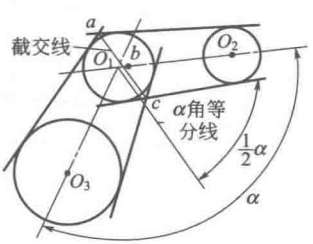
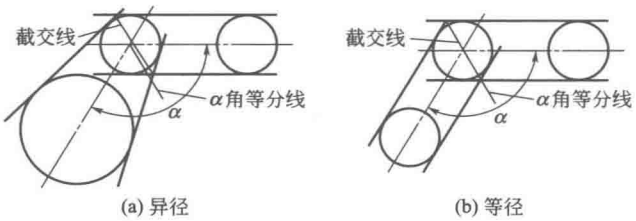


图 1-83　切线法原理图

图 1-83 所示为圆锥与圆锥相交。作图时先按图纸规定的 α 角，画出两圆锥的中心线，交点为 O_1，再画出小口中心 O_2、大口中心 O_3。然后以 O_1、O_2、O_3 作圆心，分别画出三个圆；作出三个圆的切线，得切线的交点 a、c，连接 a、c，即得截交线。

从图 1-83 中可以看出，截交线 ac 并不通过圆心 O_1，不与 α 角的等分线重合，只与 α 角的等分线平行，这是因为锥体的口径由大变小的缘故，因此，截交线总会向小口径一方偏移。大、小口径相差越大，ab 的偏移距离也就越大。如图 1-84(a) 所示，也是同样的情况，即截交线与 α 角的等分线相平行，但不重合。

图 1-84(b) 的情况不同，因为是等径圆管相交，圆的直径一



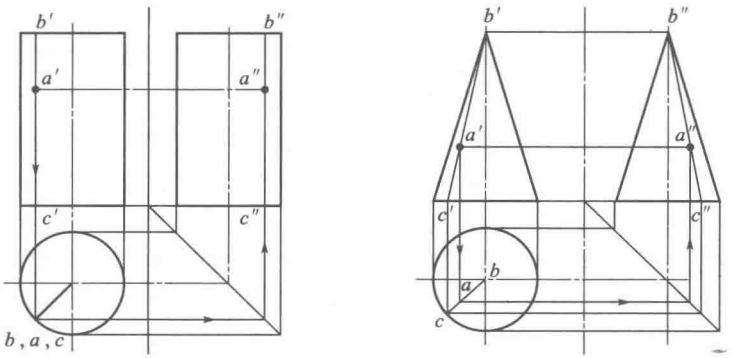
(a) 异径　　(b) 等径

图 1-84　不同情况相交时的尺寸变化

样，因此，作出的截交线与 α 角的等分线相重合。由此可见，凡属等径圆管制品，不必采用切线法作交线，而用角度等分线作为截交线就行。反之，凡属圆锥管对接或圆管与圆锥管截交的钣金制品，如果用角度等分线作交线就错了，而应该用切线法作交线，否则，作出的展开图将与设计要求不符，而且制作时难以相接或相贯。

(2) 素线法　素线法也称辅助线法。如果不作辅助线，点的投影就没有相应的位置；有了辅助线，就可以先作出辅助线的投影，然后根据投影的“三等”关系，把点的位置从其他视图里找出来。

如图 1-85 所示，是用素线法在圆柱面和圆锥面上找点的原理图。图 1-85(a) 所示是在圆柱面上找点。可以把圆柱看成是由许多直线沿着圆周密集排列而成，这些直线就是素线。圆柱面上任意一点 a，一定在过该点的素线 bc 上，因此，只要求出该素线的投影，就能求出该点的投影。



(a) 在圆柱面上找点　　(b) 在圆锥面上找点

图 1-85　用素线法在圆柱面和圆锥面上找点

图 1-85(b) 所示，是在圆锥面上找点。可以设想圆锥面是由许多素线组成的，圆锥面上任意一点 a，必在过该点的素线 bc 上，只要求出该素线的投影，即可求出该点的投影。

(3) 辅助球面法　若两旋转体相贯，两轴线相交且平行于同一投影面时，用辅助球面法求其相贯的交点比较方便。

辅助球面法是应用旋转体与球体相交，和轴线通过球心时，它们的相贯线是一个圆的原理来作图，即以球心在旋转体轴线上的球面截旋转体，则球面与旋转曲面的截交线是一个圆。

图 1-86 所示为两圆柱体相贯组合，它们的轴线相交于 O 点，以 O 点为球心，以适当的长度为半径作球面，同时交于两圆柱体，得出两圆截交线，这截交线相交于 A、B 两点，这两点是两圆柱面的共有点，也就是两圆柱相贯线中的相贯点。

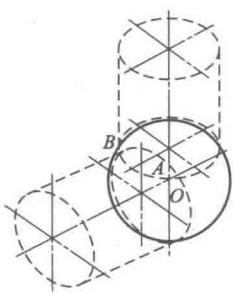


图 1-86　辅助球面法的原理图

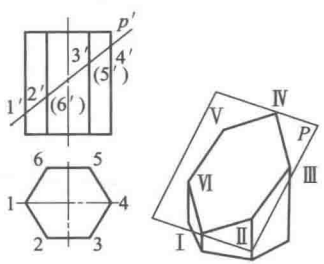


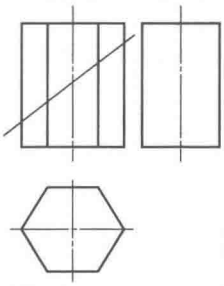
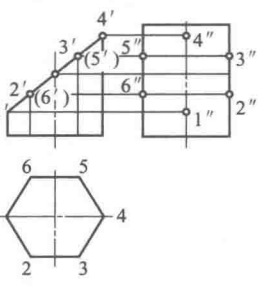
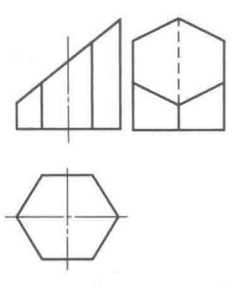
图 1-87　六棱柱被正垂面切割的形式

1.3.2　切割体的绘制与识读

1.3.2.1　平面立体被平面切割

(1) 六棱柱被切割　如图 1-87 所示，六棱柱被正垂面切割，截平面与六棱柱的六条棱线都相交，所得截交线是一个六边形。六边形的顶点为各棱线与 P 平面的交点。截交线的正面投影积聚在 P'上，1′、2′、3′、4′、5′、6′分别为各棱线与 P'的交点。由于六棱柱的六条棱线在俯视图上的投影具有积聚性，所以截交线的水平面投影为已知。根据截交线的正面、水平面投影可作出侧面投影，见表 1-29。

表 1-29　六棱柱截交线的侧面投影

步骤	画左视图	画侧面投影	连线，描深
图示			
说明	画出被切割前六棱柱的左视图	根据截交线六边形各顶点的正面、水平面投影作出各顶点的侧面投影 1″、2″、3″、4″、5″、6″	连接 1″、2″、3″、4″、5″、6″，补画遗漏的线，擦去多余作图线(注意：六棱柱上最右棱线的侧面投影为不可见，左视图上不要漏画这一段虚线)，描深

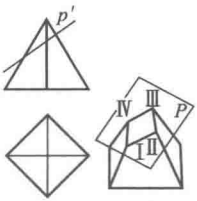
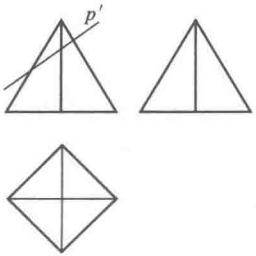


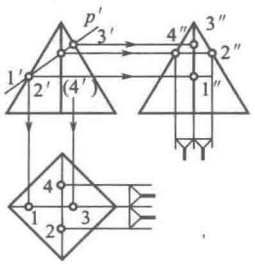
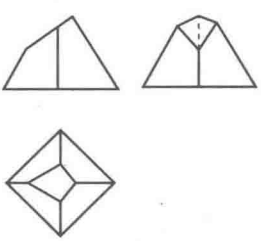
图 1-88　正四棱锥被平面切割

(2) 正四棱锥被平面切割　如图 1-88 所示，正四棱锥被正垂面切割，截交线是一个四边形，四边形的顶点是四条棱线与截平面 P 的交点。由于正垂面的投影具有积聚性，所以截交线的正面投影积聚在 P' 上，$1'$、$2'$、$3'$、$4'$ 分别为四条棱线与 P' 的交点。作图步骤见表 1-30。

表 1-30　正四棱锥被平面切割

步骤	图示	说明
画左视图和俯视图		画出被切割前正四棱锥的左视图和俯视图

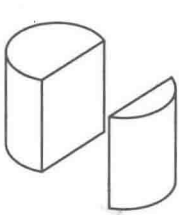
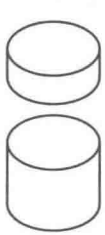
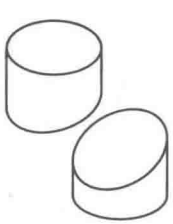
续表

步骤	图示	说明
画水平面和侧面投影		根据截交线的正面投影作水平面投影和侧面投影。截交线的侧面投影可直接由正面投影按高平齐的投影关系作出。水平面投影 1、3 可由正面投影按长对正的投影关系直接作出；水平面投影 2、4 由侧面投影 2″、4″按俯视图、左视图宽相等的投影关系作出
连线、描深		在俯视图及左视图上顺序连接各交点的投影，擦去多余的图线并描深。注意不要漏画左视图上的虚线

1.3.2.2 圆柱被平面切割

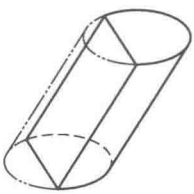
(1) 正圆柱被平面切割　根据截平面与圆柱轴线的相对位置不同，正圆柱被平面切割后产生的截交线情况见表 1-31。

表 1-31　正圆柱被平面切割

位置	平行于轴线	垂直于轴线	斜交于轴线
图示			
说明	两平行直线	圆	椭圆

(2) 斜圆柱被平面切割　斜圆柱被平面切割后产生的截交线情况见表 1-32。

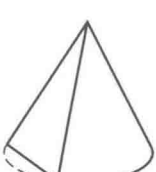
表 1-32　斜圆柱被平面切割

位置	平行于斜圆柱圆截面	垂直于斜圆柱轴线	斜交于斜圆柱轴线
图示			
说明	圆	两平行直线	椭圆

1.3.2.3　圆锥被平面切割

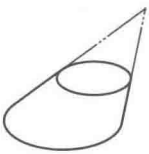
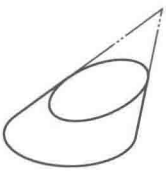
(1) 正圆锥被平面切割　根据截平面相对圆锥轴线的不同位置，圆锥面被切割后的截交线有四种形式，见表 1-33。

表 1-33　正圆锥被平面切割的形式

位置	平面和圆锥面轴线垂直	平面经过圆锥面的锥顶	平面不垂直于圆锥面轴线，也不过锥顶	
图示				
说明	圆	相交于锥顶的两直线	二次曲线(包括椭圆、双曲线、抛物线)	

(2) 斜圆锥被平面切割　斜圆锥被平面切割的形式见表 1-34。

表 1-34　斜圆锥被平面切割的形式

位置	垂直于斜圆锥面的圆截面	经过斜圆锥面锥顶	不过锥顶，倾斜或平行于斜圆锥面轴线
图示			
说明	圆	两相交直线	二次曲线

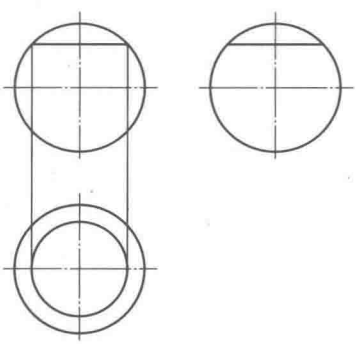


图 1-89　水平面切割球的视图

1.3.2.4　球被平面切割

平面切割球时，截交线总是圆。根据截平面对投影面的不同位置，球的截交线投影可能是反映其实形的圆，也可能是椭圆。

图 1-89 所示的是一个被水平面切割的球，截交线在正面、侧面投影中均积聚为直线，水平面投影反映了该截交线的实形——圆。该圆的直径等于正面投影中截交线积聚投影线段的长度。

第2章

钣金展开技术

2.1 钣金展开的工艺处理

钣金展开是运用某种方法把设计曲面摊平到一个平面上，形成展开图。对于柱面、锥面和盘旋面这三种可展曲面，理论上可以准确地展开为平面，曲面和它的展开图之间存在着等距对应关系，即展开前后，展开图与曲面具有相同的面积，它们之间任一对对应曲线具有相等的长度，任一对对应曲线的夹角也不发生变化。

对于不可展曲面（如球面、螺旋面），则只能作近似展开。一般首先把被展曲面划分为适当大小的曲面片，然后把每个曲面片近似地看为柱面、锥面或平面等某种可展曲面，并用相应的方法进行展开，得到近似的展开图，最后把经过下料、成形后的各曲面片组合、焊接后形成钣金构件。

各种展开原理与方法均是面向零厚度的理想几何曲面的，而设计曲面总是具有一定的板厚。当板面厚度较大时，展开中就应该考虑板厚对板面的展开长度和两板面接口处形状的影响，即板厚处理，以保证产品的形状符合设计要求。

设计钣金构件时，应尽量采用可展曲面，以便准确展开。若只能采用不可展曲面时，应优先采用展开性能较好的曲面，以减小展开误差。当构件表面由多个曲面组成时，应尽量保证相邻表面间光

滑过渡，不产生折棱或交线。另外，尽量使表面间的结合线成为平面曲线，以提高接口处的展开精度。

2.1.1 表面素线的分布规律

钣金结构零件的表面是由无数条素线构成的，表面展开就是将立体表面上的素线相应地铺展在平面上的过程，如图 2-1 所示。将这些能决定图形展开的素线与轮廓表示出来，就必须要了解立体表面上素线的分布规律。

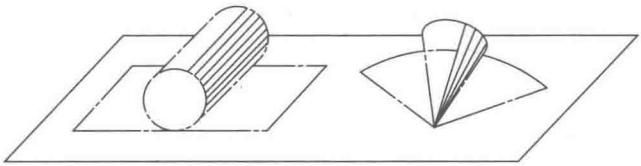


图 2-1 表面素线展开过程

2.1.1.1 直线面素线的分布规律

直线面是指以直线为母线而形成的表面，如工程上常见的柱状面、锥状面、切线面、单叶双曲回转面等。

(1) 柱状面素线的分布规律 柱状面是由一直母线 AB 沿一曲导线 BMN 运动，且在运动中所有素线均始终平行于一直导线所形成的面，如图 2-2 所示。

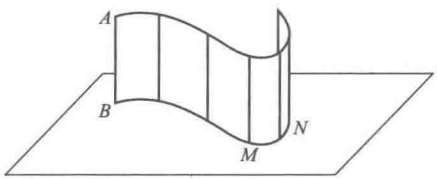


图 2-2 柱状面的形成

柱状面的曲导线可以是闭合或不闭合的，并且当柱状面的曲导线为折线时形成棱柱面，如图 2-3 所示。当柱状面的曲导线为圆且与母线垂直时，则形成正圆柱面。因此，柱状面上素线分布的规律是所有素线互相平行，用互相平行的平面截切柱状面所得的断面图

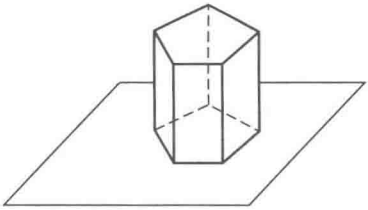


图 2-3　曲导线为折线时形成棱柱面

形相同且均为圆形。

（2）锥状面素线的分布规律　锥状面是由一直母线 AS 沿一曲导线 AMN 运动，且在运动中所有素线始终相交于一定点 S 所形成的面，如图 2-4 所示。定点 S 称为锥顶。

锥状面的曲导线也可以是闭合的或不闭合的，闭合曲导线的形状及其垂直于轴线截面与锥状面交线的形状不同，则形成的锥状面形状也不同。当锥状面的曲导线为折线且与母线垂直时，形成棱锥状面；当锥状面的曲导线为圆且垂直于中轴线时，则形成正圆锥状面；但当曲导线为圆而不垂直于中轴线时，则形成正椭圆锥状面或斜椭圆锥状面。因此锥状面上素线分布的规律是所有素线相交于一点，用相互平行的平面截切锥状面所得的断面图形相似，过锥顶的截交线为直线。

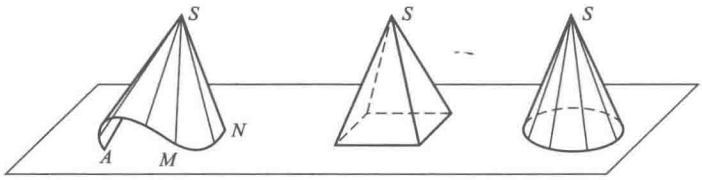


图 2-4　锥状面的形成

（3）切线面素线的分布规律　切线面是由一条直线沿曲导线 CMN 运动，且在运动中所有素线始终与曲导线相切所形成的面，如图 2-5 所示。其曲导线称为脊线。

明显带有脊线的切线面在实际工程上并不常见，常用的是它的转化形式，如图 2-6 所示。当切线面的曲导线为等距离的螺旋线 NMQ 时形成圆柱螺旋曲面，曲面 MAA_1M_1 仅是该切线面的一部分。

切线面的一个重要特征是同一素线上各点有相同的切平面，切线面上相邻的两条素线一般既不平行也不相交，但当导线上两点距离趋近于零时，相邻的两条切线便趋向同一切平面。

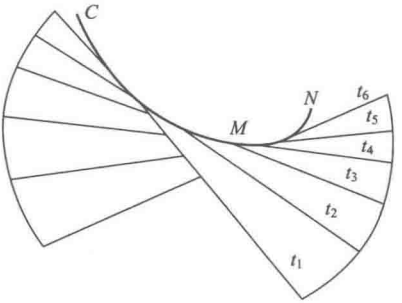


图 2-5　切线面的形成

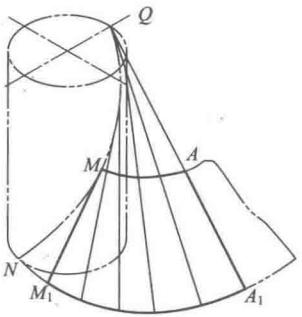


图 2-6　切线面的转化形式

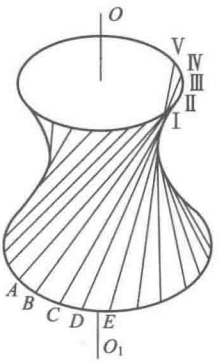


图 2-7　单叶双曲回转面的形成

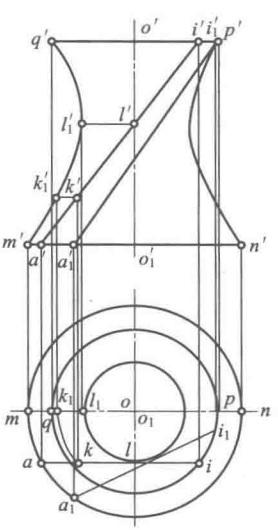
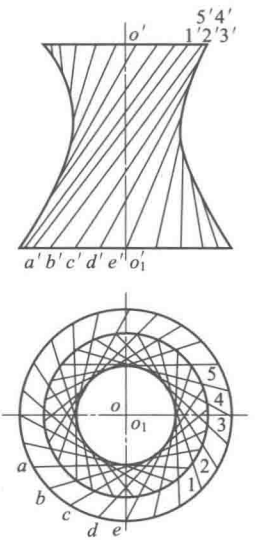
柱状面和锥状面也符合这个特征，它们是切线面的一种特殊形式，即脊线蜕化为一点的切线面。

（4）单叶双曲回转面　单叶双曲回转面是由一直母线绕与其交叉的轴线回转所形成的曲面，如图 2-7 所示。其投影图的画法有两种，见表 2-1。

2.1.1.2　曲线面曲线的分布规律

曲线面是指以曲线为母线并作曲线运动所形成的面，如圆球面、椭球面和圆环面等。如图 2-8 所示的曲线面是由上部的切线面和下部的曲线面共同构成。

表 2-1　单叶双曲回转面的投影图画法

方法	等分素线投影法	绕轴旋转投影法
图示		
步骤	先将母线端点 A、Ⅰ所回转的圆周分为 n 等分，然后对应画出 BⅡ、CⅢ、DⅣ等共 24 条素线投影，画出各素线正面投影的包络线（即得该曲面的正视转向线的正投影为一双曲线）。然后画出各素线水平投影的包络线，画出外视转向线与若干素线的投影（即得该曲面的俯视转向线的水平投影为母线上距轴线最近点的回转而形成的圆）	投影时，将直母线 AⅠ上的每一点绕轴 OO_1 运动的轨迹其为一圆，其端点 A 回转和直径为 mn 圆（$m'n'$），端点Ⅰ回转的直径为 pq 圆（$p'q'$）。其他点如 k、l 等可在水平投影图上以 O 为圆心，ok、ol 等为半径作圆。而后求出各圆正面投影的端点 k'_1、l'_1 等，再将 q'、l'_1、k'_1、m 等点连接成双曲线形状（即为所求单叶双曲回转面的正视转向线的正面投影）

（1）曲线面形成的特点　这类曲线面通常均具有双重曲度，其母线上任一点的运动轨迹均是垂直于轴线的圆，且垂直于轴线的平面与曲线面相交时，其交线（相贯线）也必定为圆，通常称这些圆形交线为纬线或纬圆，如图 2-9 所示。

曲线面投影时，通常表示出回转轴线、顶圆和底圆轮廓线、曲线的正面投影（即正视轮廓线和转向线），以及最大圆和最小圆的

水平投影，也是俯视轮廓线和转向线。

（2）曲线面投影的性质　当回转体轴线通过球心相贯时，其相贯线的正面投影为回转体轮廓线与球面交点的连线。该线垂直于轴线平行于水平面，相贯线的水平投影为截平面沿喉圆切球的圆，反映其实形。

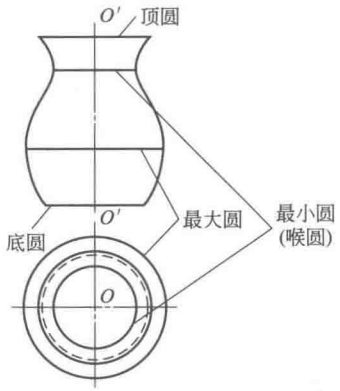


图 2-8　曲线面形成的罐

相贯线是相交两形体表面的共有线和分界线，由于形体具有一定的范围，所以相贯线都是封闭的，并且球面相贯线也是球表面与回转体表面的共有线和分界线，线上所有的点也是两形体表面的共有点。因此，回转体与球相贯的投影特性是将所有共有点依次连接起来形成实形，并且求曲线面投影的实质则是求相交形体的相贯线。

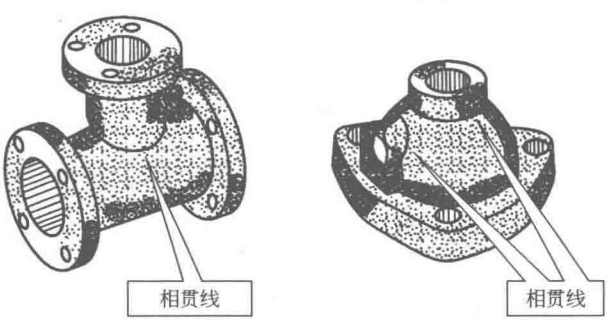


图 2-9　曲线面形成的三通与球阀

2.1.1.3　螺旋面螺线分布的规律

螺旋面是指一母线以螺旋线为导线作螺旋运动所形成的曲面。母线可以是直线也可以是曲线，工程中常用的是直母线螺旋面，常分为正螺旋面和斜螺旋面两种。

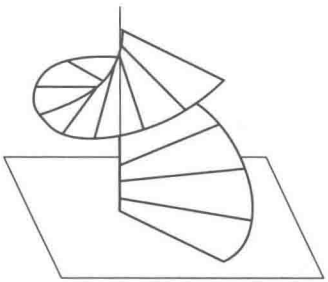
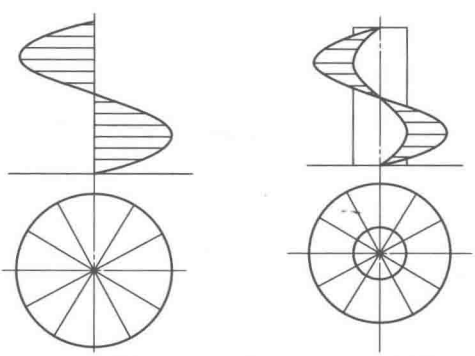


图 2-10　正螺旋面

（1）正螺旋面　正螺旋面是指直母线与轴线相交成直角时所形成的螺旋面，如图 2-10 所示。其轴线为铅垂线，曲面上的素线均为水平线。

作图时，可先作出导程为 s 的螺旋线，再过螺旋线上的各等分点作出与轴线相交的横线即可，如图 2-11(a) 所示。当正螺旋面与小圆柱面相交时，则其交线可为与导线有相同导程的螺旋线，如图 2-11(b) 所示。



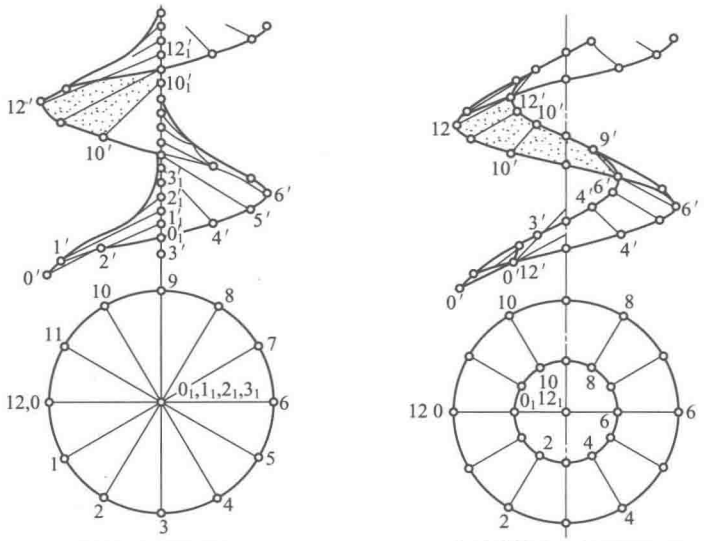
(a) 导程为s螺旋线　　(b) 交线可为螺旋线

图 2-11　螺旋线

（2）斜螺旋面　斜螺旋面是指直母线与轴线斜交成任意 α 角时所形成的螺旋面，如图 2-12(a) 所示。其母线的一端沿圆柱螺旋线运动，另一端始终与轴线相交，运动轨迹即为斜螺旋面，也称之为阿基米德螺旋面。

画斜螺旋面投影图时，首先作出已知导线（螺旋线）的投影，再作出平行于正面的素线的正面投影 $0'0_1'$，其与轴线交角反映 α 角的实际大小，其水平投影为 00_1，即以 0_1 为圆心的圆半径。其余素线的投影可据母线两端点的运动轨迹画出。

母线每旋转一个角度时，两端点上升同一高度，如端点水平投



(a) 斜螺旋面投影　　(b) 柱体截体斜螺旋面部分投影

图 2-12　斜螺旋面及其投影

影由 00_1 转到 $11'$，正面投影由 $0'0_1'$ 升到 $1'1'_1$，其升高的高度均为导程 s 的 $1/n$（图中为 1/12），由此可作出 22_1、$2'2'_1$、33_1、$3'3'_1$ 等。同时，在正面投影上沿各条素线投影的外侧，还可画出包络线，即可得出斜螺旋面的投影。此外，若用小圆柱体截切斜螺旋面，还可得出部分螺旋面，如图 2-12(b) 所示。

2.1.2　表面曲线可展性分析

2.1.2.1　可展表面

能在一个平面上全部平整展开，而不发生撕裂或皱褶时的立体表面就是可展表面。可展表面的相邻两素线应能构成一个平面，如柱状面和锥状面的相邻两直素线平行或相交时，总能构成一个平面，如图 2-13 所示，是常见的可展表面。

作这些表面的展开图时，可以将相邻两素线间很小一部分曲面看成平面进行展开，因此柱状面和锥状面的展开方法则与棱柱面、棱锥面的展开方法相同。

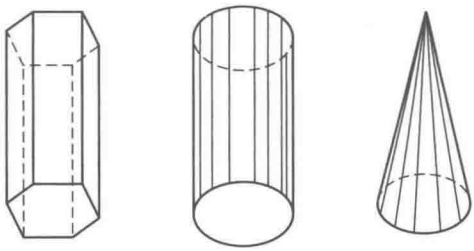


图 2-13　常见的可展表面

切线面在相邻两条素线无限接近时，也可构成一微小的平面，因此也可为可展表面。总之，凡是在连续的滚动中以直素线与平面相切的立体表面均为可展表面。

如图 2-14 所示，五个示例中的上、下口形状均相同，左、右两端结构也一样，只是中段式样不同，图 2-14 中(a)～(d) 均由可展面组成，作展开图比较容易。图 2-14(e) 则是由不可展曲面组

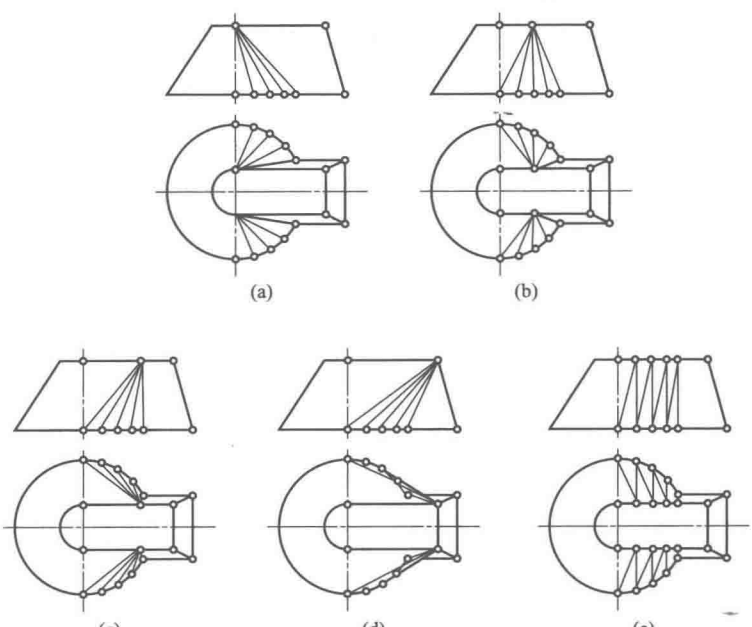


图 2-14　常见钣金结构上的可展表面与不可展表面

成，展开时误差较大，设计时应尽量避免采用。

2.1.2.2 不可展表面

凡构件母线是曲线或相邻的两素线且为交叉的表面即为不可展表面，如圆球面、圆环面、正螺旋面等曲表面，由于其表面均不能按其实际形状和大小不变形地依次展开成平面，所以理论上称之为不可展表面，如图 2-15 所示。

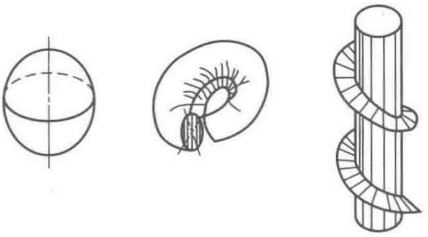


图 2-15 不可展表面

尽管圆球、圆环、正螺旋扭曲面等曲纹面上不存在直素线，其相邻两条直素线既不平行也不相交而是异面直线，但由于生产的需要，仍必须将这些不可展表面采用近似展法作出其展开图。近似展开法的实质是先将不可展曲面分成若干较小的部分分块下料，然后再将每一小部分表面均看成是可展的平面、柱状面或锥状面进行展开，最后再切割下料并焊接成为整体。

2.1.2.3 构件表面尽量用可展曲面构造

(1) 连接管表面分析 给定两个圆管的口径和位置，用一节圆管把它们连在一起，这节起连接作用的圆管称为连接管。连接管的表面常为柱面或锥面，它们都是可展曲面。

如图 2-16 所示，给定的圆管为两轴线共面的等径圆柱管，连接管为与它们直径相同的圆柱管。由于相邻两管公共内切于一球面，所以它们间的结合线为椭圆，投影中均积聚为直线。绘图时应首先以轴线交点 A 和 B 为中心，以给定圆柱管直径为直径画出两公共内切球的投影圆，两圆的公切线就是圆柱连接管的外形轮廓线。用直线连接相邻轮廓线的交点，便得到结合线的投影。

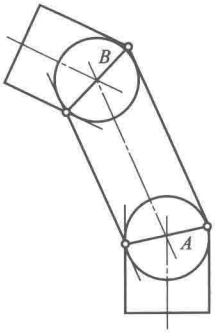
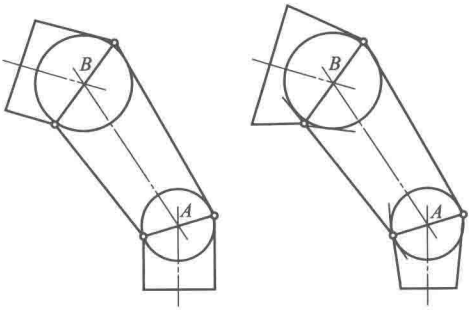


图 2-16　圆柱管连接轴线共面的两圆管



(a) 不等径　　(b) 锥管

图 2-17　圆锥管连接轴线共面的两圆管

如图 2-17 所示为用圆锥管连接轴线共面的两圆管的情况。图(a) 为两不等径圆柱管，图(b) 为两圆锥管，圆锥连接管与被连接管仍公共内切于球面，结合线仍积聚为直线。绘图方法与图 2-16 基本相同，区别只在于公共内切球的直径不再相等，它们的投影圆分别内切于相应被连接管的投影轮廓线。

当两端给定圆管的轴线不共面时，也可以用圆柱管或圆锥管来连接，如图 2-18 所示，是用圆锥管连接两不等径圆柱管的情形，上面圆柱管的轴线为侧垂线，下面圆柱管的轴线为铅垂线，两轴线交叉。绘图时，两视图中各管的投影轮廓线仍相切于相应的公共内切球的投影圆。不同的是，由于圆锥连接管的轴线是投影面倾斜线，它与任一投影面均不平行，所以尽管结合线仍为椭圆曲线，但其投影都不是直线。连接管表面分析应用实例见表 2-2。

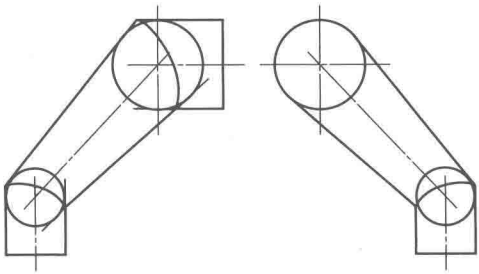
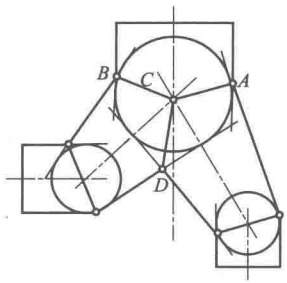
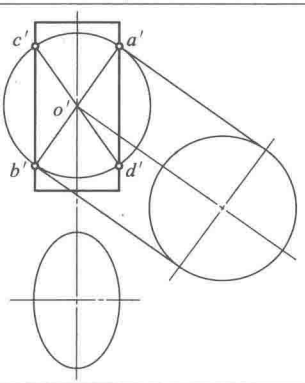
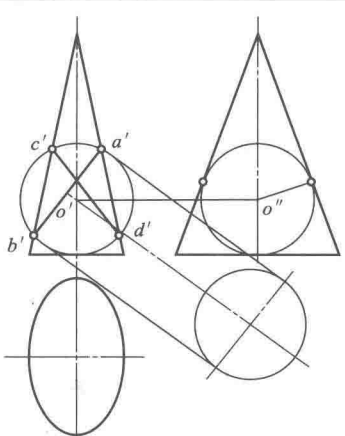
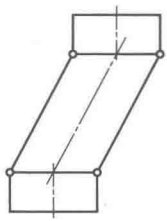
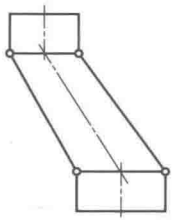
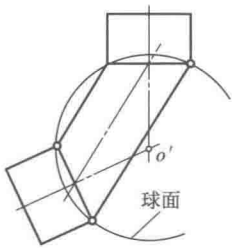
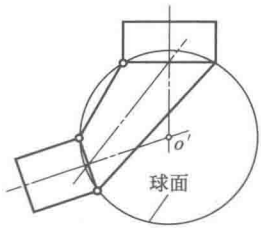


图 2-18　圆锥管连接轴线异面的两圆管

表 2-2　连接管表面分析应用实例

连接管形式		图示	表面分析
两圆锥连接管连接三节圆柱管	圆锥连接管的应用		两个圆锥管间的结合线为 CD，其投影为直线。椭圆柱管和椭圆锥管也常作为连接管，这时，常以它们的圆截面为端口与被连接管相接。椭圆柱和椭圆锥面的圆截面可用图解方法求得
	椭圆柱面的圆截面		椭圆柱面的轴线为铅垂线。在正面投影中，以轴线上任一点 o' 为圆心，以水平投影中的椭圆长轴为直径作圆，它与椭圆柱正面投影轮廓线交于 a'、b'、c' 和 d' 四点，直线 $a'b'$ 和 $c'd'$ 就是两个圆截面的正面积聚性投影，图中用投影变换的方法作出了圆的实形
	椭圆锥面的圆截面		已知椭圆锥面的三投影作其圆截面的情形，椭圆锥面的轴线为铅垂线。首先在左视图中作投影轮廓线的内切圆，圆心为 o''，其正面投影为 o'。以 o' 为圆心在正面投影中作同样大小的圆，它与椭圆锥面正面投影轮廓线交于 a'、b'、c' 和 d' 四点，直线 $a'b'$ 和 $c'd'$ 即为两个圆截面的积聚性投影

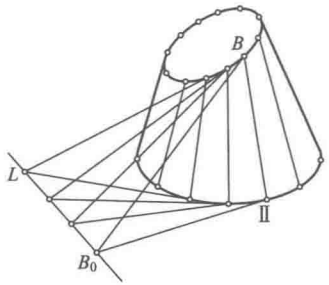
续表

连接管形式		图示	表面分析
两被连接圆管的轴线平行，且端口均垂直于轴线	椭圆柱管连接两轴线平行的等径圆柱管		当两被连接圆管的轴线平行，且端口均为垂直于轴线的圆时，可直接用椭圆柱或椭圆锥管来连接
	椭圆锥管连接两轴线平行的不等径圆柱管		
两被连接圆管的轴线相交	连接管为两等径圆柱管		--以它们轴线的交点 o' 为中心、适当长度为半径作球面的投影圆，球面与两圆柱管分别交于垂直于各自轴线的圆，投影中积聚为直线，这两个直径相同的圆也就是它们间椭圆柱连接管的圆截面
	连接管为两不等径圆柱		情形与上相似，不同之处只在于球面与两被连接管的交线圆直径不同，所以两圆口间的连接管为椭圆锥管。应当注意的是，在作图中，两被连接管的圆端口必须位于同一个球面上，否则连接管的表面就是不可展曲面了

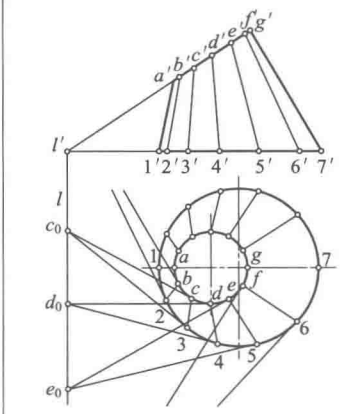
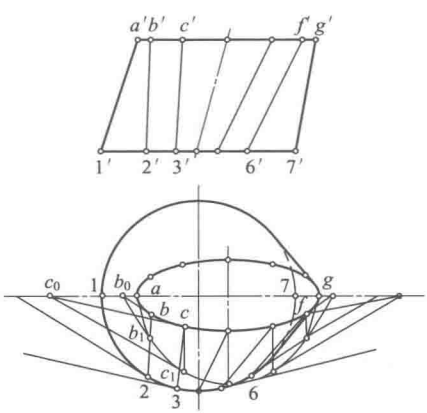
(2) 异形接头表面分析　异形接头是在结构中把两个不同形状、不同方位的端口连接起来的制件。设计中除要求逐渐过渡外，一般只要求满足制件两端口的形状和尺寸，对表面形状并没有完全确定，在展开时为减少变形误差，应尽量将其表面设置为可展曲面。异形接头表面设置应用实例见表 2-3。

(3) 构件表面的光滑过渡　有些构件的表面往往由多个平面和曲面相接构成，在进行表面设置时，应注意使相邻表面间光滑过渡，即相邻两表面在分界处相切过渡，不产生折棱或交线。构件表面的光滑过渡应用实例见表 2-4。

表 2-3　异形接头表面设置应用实例

接头形式	图示		表面设置分析
椭圆-圆变形接头	两端口曲线为盘旋面的导线		对构件表面的设置常常是通过对其素线的设置来完成的。椭圆-圆变形接头其上口为处于正垂面位置的椭圆，下口为水平的圆口，根据素线的不同设置，构件表面可能为不可展的直线面，也可能为可展的盘旋面。图中是将其设置为盘旋面的方法。构件的两端口曲线为盘旋面的导线，平面 $BB_0Ⅱ$ 与两导线相切，两切点 B 和 Ⅱ 的连线 $BⅡ$ 就是盘旋面的一条素线。改变切平面的位置，就会得到一系列其他位置的素线

续表

接头形式	图示	表面设置分析
椭圆-圆变形接头	投影作图 	首先在主视图中延长上口直线与下口水平线交于点 l'，过 l' 作垂线为其水平投影 l，L 为上下口平面的交线；然后在俯视图中把上口曲线作十二等分，得到等分点 a、b、…、g，它们的正面投影为 a'、b'、…、g'。再过 a、b、…、g 作上口曲线的切线，它们分别与 l 交于 a_0、b_0、…、g_0 点，过这些点分别作下口底圆的切线，切点为 1、2、…、7，它们的正面投影为 1′、2′、…、7′；最后用直线分别连接 A Ⅰ、B Ⅱ、…、G Ⅶ 的同面投影，即得到盘旋面上各素线的两面投影
平行口椭圆-圆异形接头		平行口的椭圆-圆异形接头，通过素线设置使其表面为盘旋面。首先在俯视图中以椭圆中心为圆心，以椭圆长轴为直径画半圆并将其六等分，过各分点 a_1、b_1、…、g_1 作竖直线与椭圆交于点 a、b、…、g，它们的正面投影为 a'、b'、…、g'；然后在俯视图中过点 a_1、b_1、…、g_1 作半圆的切线，分别与椭圆长轴所在的直线交于点 a_0、b_0、…、g_0，连接 aa_0、bb_0、…、gg_0 即为椭圆过其上各分点的切线。再在俯视图中作下端口圆的切线，它们分别相应平行于 aa_0、bb_0、…、gg_0，所得切点为 1、2、…、7，它们的正面投影为 1′、2′、…、7′；最后用直线连接 A Ⅰ、B Ⅱ、…、G Ⅶ 的同面投影，即完成素线的设置。构件后半表面的素线与前半表面对称

续表

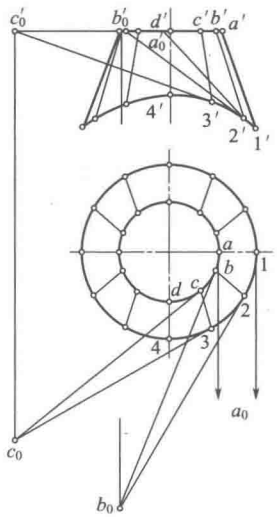
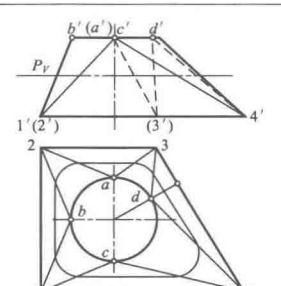
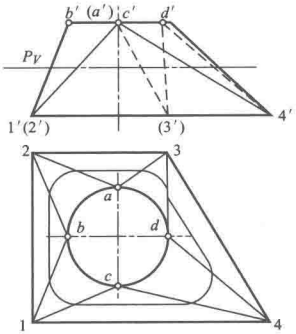
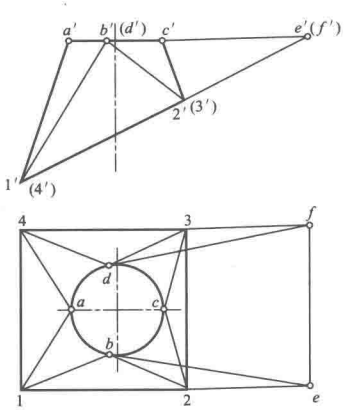
接头形式	图示	表面设置分析
鞍形接头		把鞍形接头表面设置为盘旋面的作图：接头上口为水平的圆口，下口为空间曲线，其水平投影为圆。由于结构前后和左右对称，所以只需作出右前 1/4 表面的素线设置。作图时，首先把俯视图中下口 1/4 圆作三等分，得等分点 1、2、3、4，它们的正面投影为 1′、2′、3′、4′；然后在主视图中，过 1′、2′、3′、4′分别作下口曲线的切线，它们与上口平面分别交于点 a_0'、b_0'、c_0'、d_0'（d_0' 位于无穷远处，切线省略未画），过这些点向下作垂线，分别与俯视图中过点 1、2、3、4 所作下口水平投影圆的切线交于点 a_0、b_0、c_0、d_0（d_0 在无穷远处）。再过这些点作上口水平投影圆的切线，切点为 a、b、c、d，它们的正面投影为 a'、b'、c'、d'；最后用直线连接 $A\,\mathrm{I}$、$B\,\mathrm{II}$、$C\,\mathrm{III}$ 和 $D\,\mathrm{IV}$ 的同面投影，即可完成右前 1/4 表面的素线设置，其他素线可利用对称关系得到

表 2-4　构件表面的光滑过渡应用实例

接头形式	图示	接头表面分析
平行口的方-圆接头		平行口的方-圆接头上口为圆形，下口为梯形，两口平面均为水平面。接头表面由梯形的边与圆上点构成的平面和梯形的顶点与圆上两点间一段圆弧构成的椭圆锥面相接而成

续表

接头形式	图示	接头表面分析
平行口的方-圆接头		梯形的边和顶点都是确定的，对于上口圆上分点的确定，因为上下口平面互相平行，所以可以在俯视图中过圆心向梯形四边分别作垂线，它们与圆的交点 a、b、c 和 d 即为圆上的四个分点。这时，接头表面由四块三角形平面和四个椭圆锥面光滑拼接围成。相反，如果把 d 点也配置在圆的象限点上，则表面在椭圆锥面与平面间 $D\text{Ⅲ}$ 和 $D\text{Ⅳ}$ 连接处会产生折棱，影响表面的光顺。图中所示用水平面 P 截切构件表面，从水平投影中交线的光滑程度可以说明这一点
不平行口的方-圆接头		不平行口的方-圆接头下口为矩形口，且位在正垂面上。由于下口矩形中的 $\text{Ⅰ}\text{Ⅳ}$ 和 $\text{Ⅱ}\text{Ⅲ}$ 边仍与上口水平面平行，所以它们对应的上口圆上的分点 A 和 C 仍用“平行口方-圆接头”的方法作出。为作出下口另外两边 $\text{Ⅰ}\text{Ⅱ}$ 和 $\text{Ⅲ}\text{Ⅳ}$ 的对应分点 B 和 D，需先把 $\text{Ⅰ}\text{Ⅱ}$ 和 $\text{Ⅲ}\text{Ⅳ}$ 两边延长并与上口水平面分别交于点 E 和 F，然后在俯视图中，过点 e 和 f 分别向上口圆作切线，切点 b 和 d 即为所求分点的水平投影，它们的正面投影 b' 和 d' 重合在一起。这样，接头表面仍由四块三角形平面和四个椭圆锥面光滑连接所围成

2.1.3 表面展开的基本方法

立体表面展开的基本方法有平行线法、放射线法和三角形法三种，均是利用作图法将金属板壳构件的表面全部或局部按其实际形状和大小，依次铺平在同一平面上，铺成平面图形的绘图方法。

作图法的共同特点都是先按立体表面的性质，用直素线将待展表面分割成许多小平面，用这些小平面去逼近立体表面。然后求出这些小平面的实形，并依次画在平面上，从而构成立体表面的展开图。作展开图的整个过程均是由“结构分析”、“化整为零”、“积零为整”三个阶段完成。

2.1.3.1 平行线展开法

当构件由棱柱面、圆柱面等柱状面构成时，假想沿构件的某条棱线或素线将构件切开，然后将构件的表面沿着与棱线（素线）垂直的方向打开，并依次摊平在同一平面上，所得的轮廓形状即为构件的展开图，如图 2-19 所示。这种作图方法则称为平行线法。

平行线法是作展开图的基本方法之一，应用最为广泛。其作展开图的步骤大体如下。

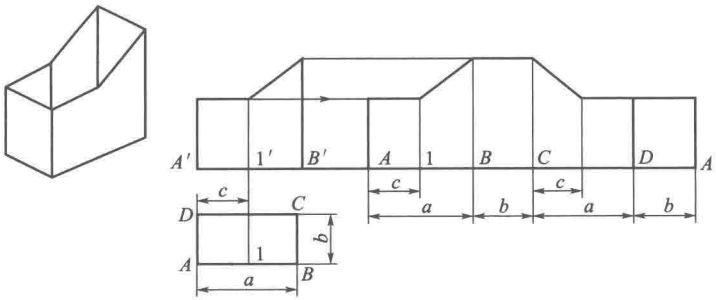
1）作构件投影图。先作出构件的主视图和断面图（主视图可表示出构件的高度，断面图可表示出构件的周围长度）。

2）求作结合线。将断面图分成若干等分（如为多边形以棱线为交点），等分点越多展开图越精确，当构件断面或表面上遇折线时，必须在折点处加画一条辅助平行线，如图 2-19(a) 中的点 1 及图 2-19(b) 所示的点 a。

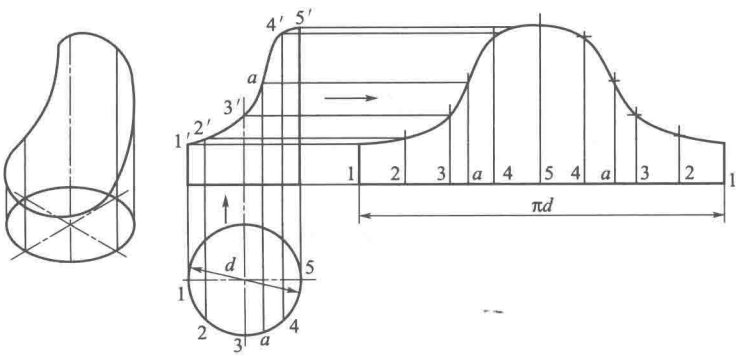
3）画水平线。在平面上画一条水平线 AA，使其等于断面图周围伸直长度（两个 $a+b$ 的尺寸总和），且将长度 c 含在长度 a 内，并照画各分点。

4）作垂线。由水平线上各点向上引垂线，并取各线长对应等于主视图上各素线的高度。

5）连接点。用直线或光滑曲线连接各点，即可得出构件的展开图。



(a) 顶部切缺矩形管



(b) 顶部切缺圆形管

图 2-19　平行法作展开图

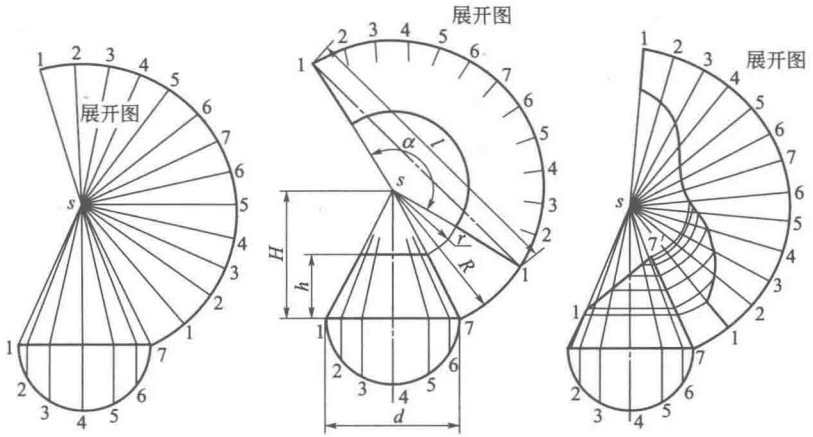
2.1.3.2　放射线展开法

放射线展开法是将锥体表面用呈放射形的素线，分割成共顶的若干三角形小平面，求出其实际大小后，以这些放射形素线为骨架，依次将其画在同一平面上，即得所求锥体表面的展开图。它适用于构件表面素线相交于一个共同点的圆锥、棱锥及其截体件。如图 2-20 所示，正圆锥、平口圆锥管、斜截圆锥管的展开步骤如下。

1）画出构件主视图及锥底断面图。

2）图形分割。将构件图分割出数个三角形小平面。将断面图圆周分成若干等分（棱锥取角点）。

3）引垂线。由等分点 2、3、4、5、6 或角点向主视图底边引垂线，得与锥底 1～7 各垂足点，再由各垂足点向锥顶引素线，分



(a) 正圆锥的展开　(b) 平口圆锥管的展开　(c) 斜口圆锥管的展开

图 2-20　锥状面构件的展开

锥面为 12 个小三角形面。

4）求出素线截切部分的实长。以锥顶为中心到锥底实长作半径，画圆弧等于断面周长或周围伸直长度，并将所画圆弧按断面图的等分数划分等分（棱锥取边长），再由等分点向锥顶连放射线。

对于平截和斜截锥管，可过锥口与各素线的交点，引底口平行线交于圆锥母线 $S7$，则各交点至锥顶的距离即为素线截切部分的实长。

5）作出展开图。在所画的各射线上，对应截取主视图上各素线的实长而得出各点。然后再通过各点连成光滑曲线或折线，即得到所求展开图。

对于平口和斜口锥管，先用各素线截切部分的实长，截切展开图上对应的素线而获得各点，再用光滑曲线连接展开图上各素线的切点，该曲线与原展开图圆弧线间的部分图形，即为平口和斜口圆锥管的展开图。圆锥被斜截后，各素线长度不再相等，且用各素线截切部分的实长截切展开图上对应的素线长也不相等。因此，斜口锥管展开图的形状不再是规则的环形。

2.1.3.3　三角形展开法

三角形展开法又称三角线法，是以立体表面素线（棱线）为

主，画出必要的辅助线，并将构件立体表面依复杂形状分成一组或多组三角形平面。然后再求出每个三角形的实形，并依次画在平面上，从而得到整个立体表面的展开图。

用三角形法可展开平行线法和放射线法所不能展开的复杂表面构件，且适用于各类形体、一般平面立体表面，只是精确程度有所不同。如图 2-21 所示的通风管道中的正四棱锥管。其展开法的基本步骤如下。

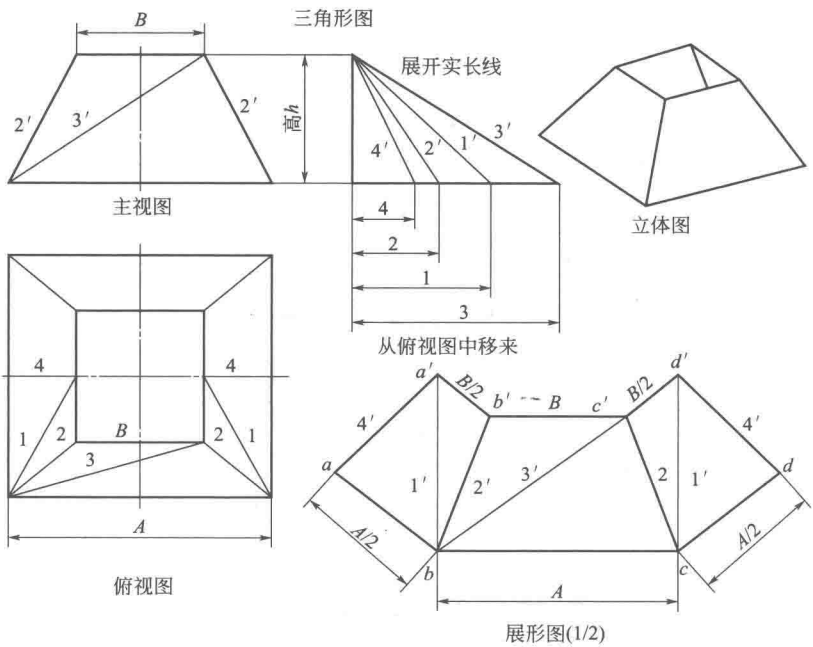


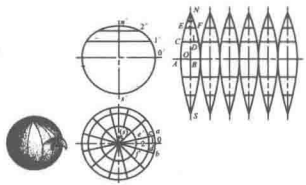
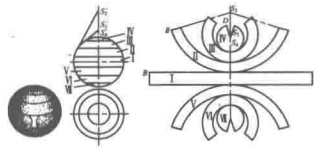
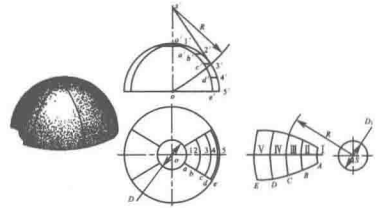
图 2-21　正四棱锥管的展开

1）画出构件的主视图、俯视图和其他必要的辅助图。

2）作三角形图。利用三角形图求出展开实长线（即求出各棱线或辅助线的实长），若构件表面不反映实形还需求出实形。

3）作出展开图。按求出的实长线和断面实形作出展开图，并在展开图中将各小三角形，按主视图和断面图中的顺序和相邻位置依次画出。然后再将所有有关的点，用曲线或折线光滑连接即得展开图。

表 2-5　圆球面的展开

方法	柱面法	锥面法	分块法
图示			
分析	用一系列的经线把圆球面分为若干部分，应用平行线法画出每一部分的展开图(形状与柳树叶相似)	在球面上作若干水平纬线，把球面分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ等7部分球面带，把第一球面带Ⅰ当作它是内接正圆柱面来展开，把Ⅱ、Ⅲ等球面带当成内接正圆锥面展开	将半球面分为1块顶板和8块相同形状的侧板。两侧板接缝线为圆弧，其正面投影为椭圆弧，水平投影为过圆心的直线段。由于8块侧板形状相同，因此只需作出其中一块侧板的展开图作样板就可以

续表

方法	柱面法	锥面法	分块法
操作步骤	1. 在俯视图的圆周上等分 12 等份，得各等分点与圆心 n 连接（图中仅表示一个等份），将球面分为 12 部分 2. 在主视图的 1/4 圆周 $o'n'$ 分为三等份，得等分点 $1'$、$2'$、n'，并将 $o'n'$ 弧展开画成直线 ON。取 $01=0'1'$，$12=1'2'$，$2N=2'N'$，过点 0、1、2 分别作 ON 垂线 3. 过主视图上点 $1'$、$2'$ 作纬线，在水平投影画出纬圆；纬圆与等分线 na、nb 相交得点 c、d 和 e、f；在展开图上以 O 为对称点，取 $AB=ab$；1 为对称点，取 $CD=cd$；2 为对称点，取 $EF=ef$，得点 A、C、E 和 B、D、F，也可用弦长近似代替弧长 4. 把各端点连成曲线 $ACEN$ 及 $BDFN$，得 1 等分球面上半片展开图（下半片与上半片对称） 5. 以求得一片展开图为样板，依次再画出 11 片	1. 把主视图的右半圆周分为 7 等份，过等分点作水平纬线 2. 把各相邻等分点连线，得正圆柱面Ⅰ，正圆锥面Ⅳ，圆锥台面Ⅱ、Ⅲ。若将锥台面轮廓线延长相交于 S_2'、S_3' 成圆锥面的正面投影。由纬线作出水平投影的纬圆 3. 将Ⅰ展开矩形（按柱面展开），其余按正锥面和正锥台面展开	1. 作顶板的展开图。顶板的展开图为圆，其直径 D_1 等于 $0'1'$ 弦长的两倍 2. 将主视图的 1/2 半圆等分为五等份，得等分点 $1'$、$2'$、$3'$、$4'$、$5'$，并由它求得水平中心线上点 1、2、3、4、5，然后以 o 为圆心，$o1$、$o2$、$o3$、$o4$、$o5$ 为半径画圆，同时把水平圆分为六等份，把各等分点与 o 连线，得 6 个侧板的水平投影 3. 在俯视图上定出等分直线与各圆相交点 a、b、c、d、e，过这些点引垂线与过等分点 $1'$、$2'$、$3'$、$4'$、$5'$ 所引水平线相交点于 a'、b'、c'、d'、e'，把这些点连成光滑曲线，即得主视图上一块侧板的投影 4. 在主视图上把点 $3'$ 与球心 o' 相连，过点 $3'$ 作 $o'3'$ 的垂线交垂直中心线于点 s'。作任一直线，在直线上取一点 s' 为圆心，用 $s'3'$ 长为半径画圆弧与直线交于点Ⅲ，然后以此点为基准点，将圆弧 $1'5'$ 展成直线，得点Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ（用主视图上两相邻等分点的圆弧长截得） 5. 以 s 为圆心，sⅠ、sⅡ、sⅢ、sⅣ、sⅤ为半径画同心圆弧，用俯视图上相对应的弧 aa、bb、cc、dd、ee 在同心圆弧上截得点 A 与 A、B 与 B、C 与 C、D 与 D、E 与 E，最后用光滑曲线依次连接这些点

在完成各种不同类型的钣金结构件的展开时，既需要展前结构分析，又需要熟悉作图法展开和计算法展开技术，还需要了解板厚处理方法及其对展开图尺寸的影响，以便能准确确定各种构件的展开尺寸。

2.1.3.4 用平行线法和放射线法求作不可展曲面的展开

钣金制件中有的曲面若是不能在该曲面上画出直线，可将其划分成若干较小曲面，并把这些小曲面看成小圆柱面或小圆锥面，应用平行线法或放射线法作其展开图。

(1) 圆球面展开　圆球面的展开有柱面法、锥面法和分块法，见表 2-5。

(2) 圆环面展开　钣金制件的管道设计中，有时需做一个过渡弯管。如把两个轴线互相垂直的圆柱管子连接起来，构成了直角圆环形弯管。这些直角圆环面属于不可展曲面，在设计时，应采用数段斜口圆柱管或圆锥管连接起来，近似地代替直角圆环面。

1) 直角等径环形管展开图的作法。直角等径环形管展开图如图 2-22 所示。

分析：把直角弯管的接头分为若干段圆柱面代替圆环面，然后作这些段的斜圆管展开图，近似代替圆环面的展开图。为了简化作图和节约原材料，可把数段斜口圆柱管拼成一个直圆柱管来展开。

操作步骤如下。

① 把弯管分为 n 节（图中为三节），B、C 为两节，A、D 为两半节（因为弯管两端平口应相互垂直，所以只能用两半节的斜口正圆柱管）。作图时，把圆弧或直角分为三等份，得等分点 1、2、3、4。把这四点与圆心连线并延长，与三个同心圆弧相交，过这些交点作圆弧切线，将圆环面变成圆柱面。

② 将 B、D 节绕轴线旋转 180°后，与 A、C 节依次叠合，恰好拼成一个完整的圆柱管。

③ 作出各节斜口圆柱管展开图，即得所求。

由于弯管上各节圆柱管的斜口与轴线的倾斜角相同，因此各节按一正一反叠合。

2) 不等径直角圆球面展开图作法。不等径直角圆球面展开图

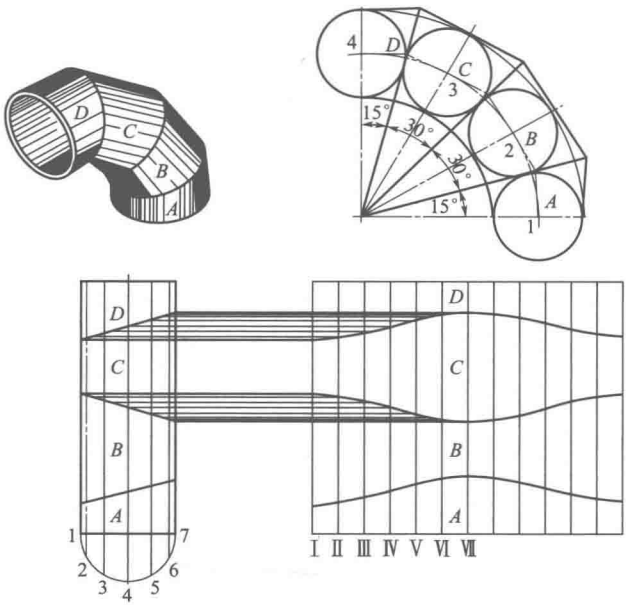


图 2-22　直角等径环形管展开图

如图 2-23 所示。

分析：不等径圆环面应采用数段锥度相同的圆锥管依次连接成直角弯管，近似代替不等径圆环面。两端口平面互相垂直，分为四节，头尾半节，将中间Ⅱ、Ⅲ节绕着自身轴线旋转 180°，使其与头尾Ⅰ、Ⅳ两半节拼合成为完整的圆锥台。用放射线法将其展开。

操作步骤如下。

① 将不等径圆环面分为四部分，以大径为底面，小径为端面，互相垂直，分为六等份。头尾Ⅰ、Ⅳ两半节占一等份，中间两完整节Ⅱ、Ⅲ占两等份。

② 将Ⅱ、Ⅳ节绕轴线旋转 180°与Ⅰ、Ⅲ节依次叠合在一起，成为一个圆锥台。

③ 按完整的圆锥台展开。

④ 分节在圆锥台展开图上展开，这样节省材料。

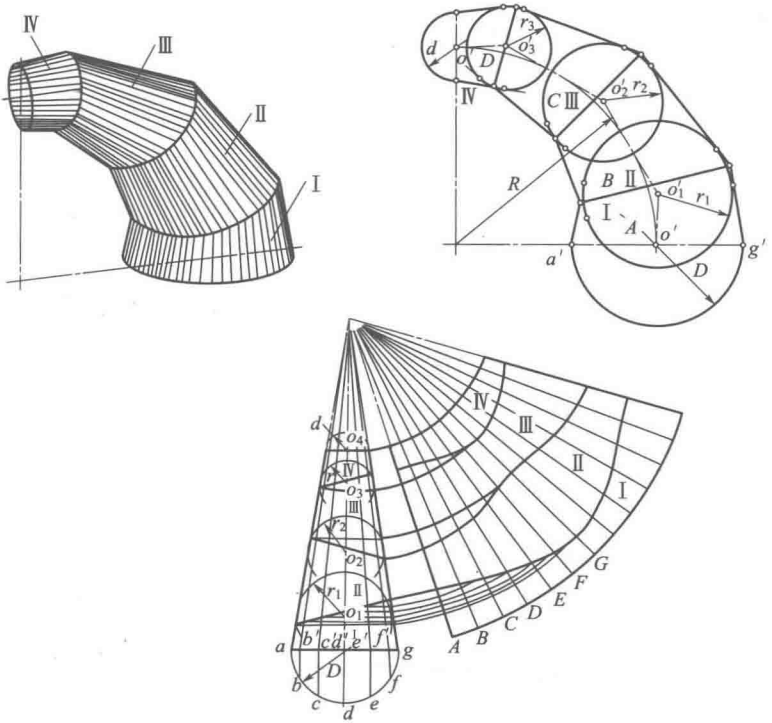


图 2-23　不等径直角圆球面展开图

2.2　展开实长与实形的求法

2.2.1　旋转法

2.2.1.1　旋转法求实长的原理

旋转法就是将倾斜线环绕垂直于某投影面的轴线，旋转到与另一投影面平行的位置，则在该投影面上的投影线段，即为倾斜线的实长。为了作图方便，轴线一般过倾斜线的一个端点，也就是以该端点为圆心，以倾斜线为半径进行旋转。

图 2-24 所示是旋转法求实长的原理图。AB 是一般位置线段，

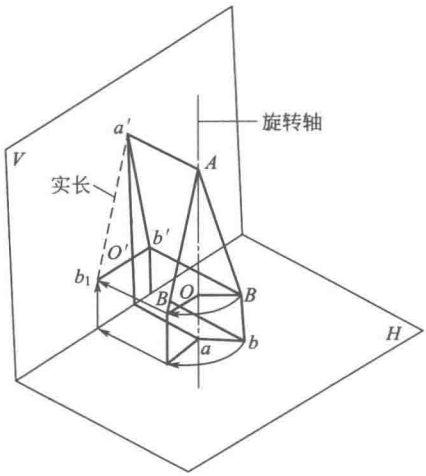
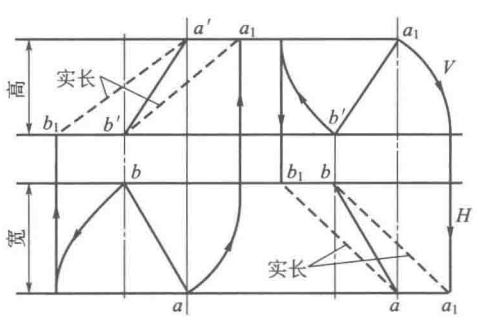


图 2-24　旋转法求实长的原理

它倾斜于任一投影面。AB 在 V 面的投影 $a'b'$ 和在 H 面的投影 ab，都比实长缩短。假设过 AB 的一端点 A 作垂直于 H 面的轴 AO，当 AB 线绕 AO 轴线旋转到与 V 面平行的位置 AB_1 时，它在 V 面上的投影 $a'b_1'$（图中以虚线表示实长）反映其实长。

2.2.1.2　旋转法求实长的作法

如图 2-25 所示，是运用旋转法求实长的作法，图中(a) 是将



(a) 水平投影旋转　　(b) 正交投影旋转

图 2-25　旋转法求实长的作法

水平投影 ab 进行旋转，使之与正面投影面相平行，得出点 a_1、b_1，连接 a_1b'或$a'b_1$，就是线段 AB 的实长。图中(b) 是将正面投影 $a'b'$进行旋转，使之与水平投影面相平行，得出 a_1、b_1，连接 a_1b 或 ab_1 就是所求线段 AB 的实长。

2.2.2 直角三角形法

2.2.2.1 直角三角形法求实长的原理

直角三角形法求实长的原理如图 2-26 所示，它实质上是辅助投影画法的简便做法。

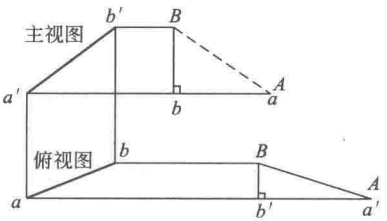


图 2-26 直角三角形法求实长原理图

从图 2-26 中已知一般位置线段 AB 的正面投影为 $a'b'$，水平投影为 ab，用直角三角形法求 AB 线段的实长，一是以 AB 线段的水平投影 ab 为一个直角边，以正面投影 $a'b'$线段两端点的高度差 Bb 为另一直角边，作直角三角形，其斜边 Ba 就是 AB 的实长；二是以 AB 线段的正面投影 $a'b'$为一个直角边，以水平投影 ab 线段两端点的宽度差 Bb'为另一直角边，作直角三角形，其斜边 Ba 就是 AB 的实长。

2.2.2.2 直角三角形法求实长示例

如图 2-27 所示，是用直角三角形法求四棱锥棱线实长并将其展开的实例。

用直角三角形法求四棱锥棱线实长的操作步骤如下。

1) 画出工件的主视图和俯视图。图 2-27 中 ab、bc、cd、da 是实长，oa、ob、oc、od 四条棱线不是实长。

2) 在正交投影 $a'b'$的延长线上求 oa 线段的实长。方法是：以 oo 和 oa 作为直角三角形的两个直角边，画出直角三角形，其斜边

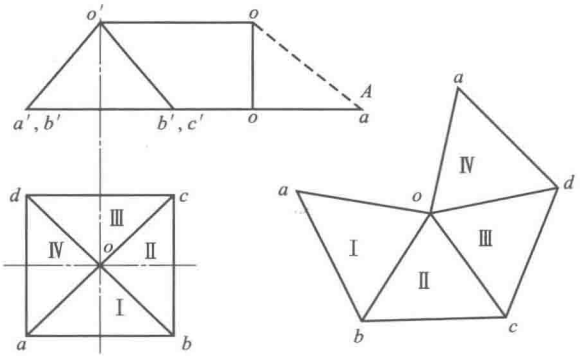


图 2-27　直角三角形法求四棱锥棱线实长

oa 即 oa 线段的实长，也是 ob、oc、od 线段的实长。

3）分别以 ab、oa、ob，…，da、od、oa 的实长作三角形，所得即四棱锥Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四个侧面的展开图。

2.2.3　直角梯形法

2.2.3.1　直角梯形法求实长的原理

图 2-28 所示是直角梯形法求实长的原理图。

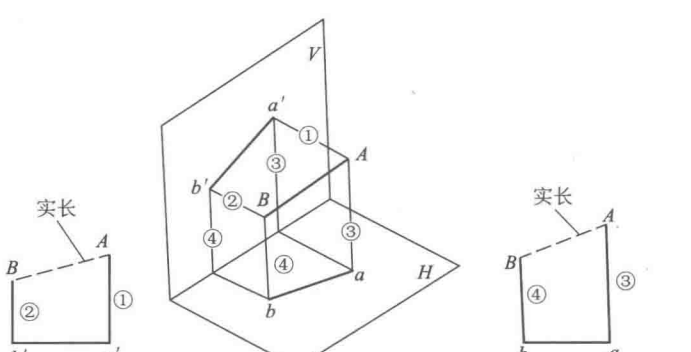


图 2-28　直角梯形法求实长原理

图 2-28 中一般位置线段 AB 在 V 面和 H 面上都不能反映实

长，但线段 AB 的两个端点与 V 面之间的距离可以在 H 面上得到，即 Aa' 和 Bb'。同样，A、B 两点与 H 面之间的距离也可以在 V 面上得到，即 Aa 和 Bb。根据这一原理，用直角梯形法，就可以求出线段 AB 的实长。

2.2.3.2 直角梯形法求实长的方法

(1) 利用正交投影求线段 AB 的实长　将 AB 的正交投影 $a'b'$ 作为直角梯形的底边，由 a'、b' 两点分别向下引垂线，截取长度为 Aa' 和 Bb'，连接 AB，即为所求。

(2) 利用水平投影求线段 AB 的实长　将 AB 的水平投影 ab 为直角梯形的底边，由 a、b 两点分别向上引垂线，截取长度为 Aa 和 Bb，连接 AB，即为所求。

2.2.4 辅助投影面法

2.2.4.1 辅助投影面法的基本原理

如图 2-29 所示，AB 是一般位置线段，它不平行于任一投影面，在各视图里的投影都比实长缩短，因此在作图时应保持 AB 的位置不变，并新设置一个辅助投影面 V_1，使 V_1 平行于 AB 且垂直于 H 面，这样，AB 直线在 V_1 面上的投影 a_1b_1 就反映实长（如图所示虚线）。

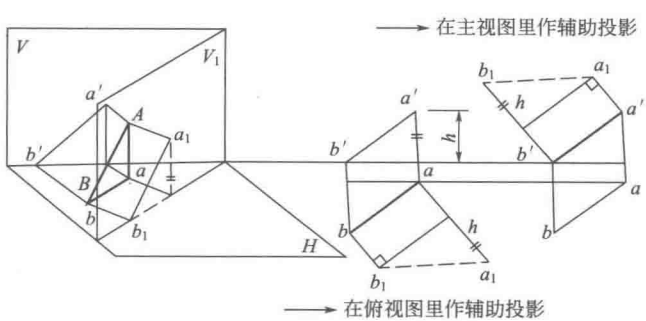


图 2-29　用辅助投影求实长原理图

从图 2-29 中可以看出，点 a'、A 和 a_1 距 H 面的高度差是一致的。将图摊平后得出的实长在俯视图里，即 a_1b_1。求 AB 实长

时，首先在俯视图里量取宽度差，然后连接 a_1b_1，即为实长。

2.2.4.2 辅助投影面法求实长示例

图 2-30 所示为用辅助投影面法求圆面的实形。其操作步骤如下。

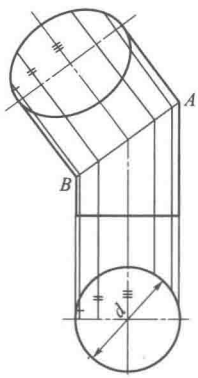


图 2-30 用辅助投影面法求圆柱截面的实形

1）做出主视图和俯视图，将俯视图的 $\frac{1}{2}$ 圆周进行 6 等分。

2）过等分点向上引垂线，得出素线在主视图里的位置。

3）从等分点向下引垂线，与底中心线相交，即得截面各素线间的宽度。

4）过截面斜口上各素线交点向平行于截面斜口的长轴引垂线，然后按照“宽相等”的规则，把俯视图里各等分点与底圆中心线之间的距离，依次相对应地画到俯视图里去，得出各点。

5）顺连各点，即为截面的实形——椭圆。

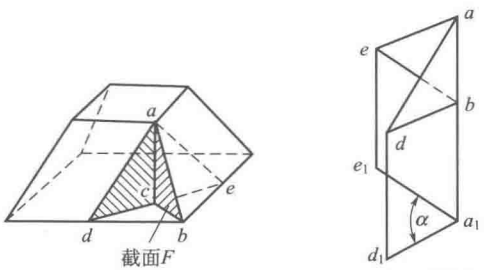
2.2.5 二次换面法

2.2.5.1 二次换面法原理

当物体的倾斜部分比较复杂时，只用一次辅助投影面仍不能满足表达实形的要求，就需要在一次辅助投影面上再加一个新的投影面，以解决求实形的问题。这种采用第二次投影面的方法，称为二次变换投影面，简称二次换面法。

2.2.5.2 二次换面法应用示例

如图 2-31(a) 所示，是加料斗的形状（即由斜面组成的棱台），它是用钢板焊接成的。为了增强料斗接缝处的强度，常在接缝外面加焊一块角钢。角钢原材料的断面为 90°。为将角钢加工成符合 α 角的形状，就需用“二次换面法”求出实际需要的角。



(a) 加料斗的形状　　(b) 标线投影

图 2-31　加料斗

(1) 分析　α 角由两个斜面相交而成，斜面相交处的棱线为 ab，要求出实形，就须使棱线 ab 与投影面垂直，这样 α 角的真实大小才能在视图上反映出来，如图 2-31(b) 所示。

图 2-27(a) 是把棱锥台截去角部的 1/2，方便看到由 $\triangle abc$ 围成的截面 F。再选取第一个辅助投影面 P_1，与原来的水平投影面垂直，又与截面 F 平行，也与棱线 ab 平行。从棱锥台角部的一端斜看过去，可以看到截面 F 的实形，即 $\triangle a'b'c'$。$\triangle a'b'c'$ 同时也是棱锥台角部的实形。这时，再取第二个辅助投影面 P_2，与棱线 ab 的实长 $a'b'$ 相垂直，就满足了求 a 角所必须具备的条件，从而做出 a 角的真实形状。

(2) 求实形　操作步骤如下。

1) 做出棱锥台的主视图和俯视图，如图 2-32 所示。

2) 在俯视图里通过棱线 ab 的两端点，作与 ab 相垂直的引线，得出 d、e 各点。

3) 在 de 延长线上截取 $a'c'$，使 $a'c'$ 的长度等于棱锥台的高度 H，过点 c' 作 $a'c'$ 的垂线，得点 b'，连接 $a'b'$，得直角 $\triangle a'b'c'$，完成第一次辅助投影。

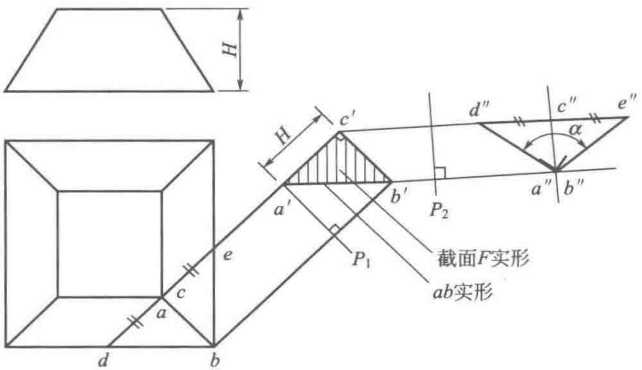


图 2-32　二交换面法求实形

4）取第二次辅助投影面 P_2，使之与 $a'b'$ 相垂直，$a'b'$ 积聚为一点 a''（b''）。取 $d''c''$ 等于 $c''e''$ 等于 dc（ec），连接等腰三角形 $d''a''$（b''）e''，得出 α 角，完成第二次辅助投影，求出 α 角实形。

2.3　计算法展开

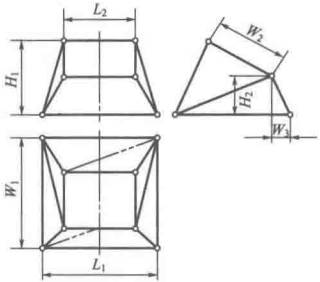
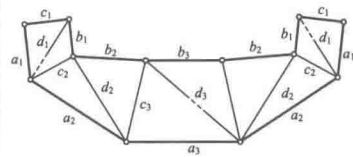
计算法展开是通过计算解析表达式来代替作图法展开和放样的过程。一般需先计算出展开图中的点坐标值、线段和曲线实际长度，再由计算结果绘出图形，或由计算机直接绘出图形。计算法展开的优点是展开精度高，便于应用计算机绘图，并可避免展开大件时，受到场地对放样作业的限制。

2.3.1　平面构件计算展开

平板构件的各表面均是平面，过渡接头的表面多由不同的平面和曲面混合而成，二者一般均用三角线法展开，需要计算出各三角形表面的三边长度，即平面构件各条线段的长度，继而画出展开图。

平面构件计算展开示例见表 2-6。

表 2-6　平面构件计算展开示例

构件类型	视图及尺寸	说明	计算式	计算展开图
方棱锥过渡接管		方锥管的斜顶棱锥漏斗其上口倾斜，上下两端皆为矩形，左右侧板和前后侧板形状各对应相同，所以其展开图形状也应对应相同	从图中条件中可知：$a_1=L_1/2$，$a_2=W_1$，$a_3=L_1$；$b_1=L_2/2$，$b_2=W_2$，$b_3=L_2$。分别计算为： $c_1=\sqrt{H_2^2+W_3^2}$； $c_1=\sqrt{c_1^2+(L_1-L_2)^2/4}$； $d_1=\sqrt{c_1^2+L^2/4}$； $d_2=\sqrt{H_2^2+(L_1-L_2)^2/4+(W_1-W_3)^2}$； $d_3=\sqrt{H_1^2+(L_1+L_3)^2/4+(W_1-W_0-W_3)^2}$； $W_0=\sqrt{W_2^2-(H_1-H_2)^2}$	

续表

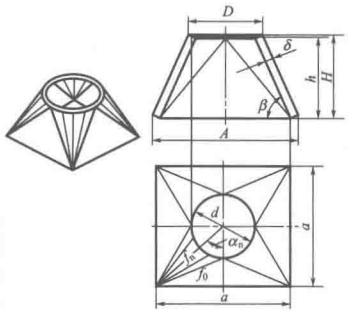
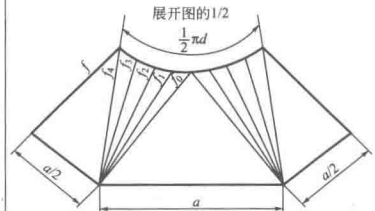
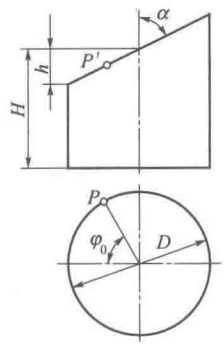
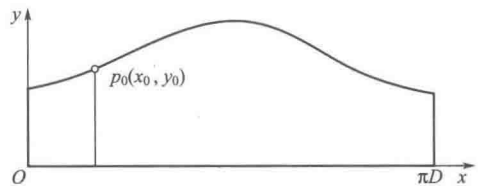
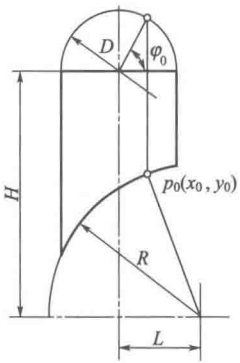
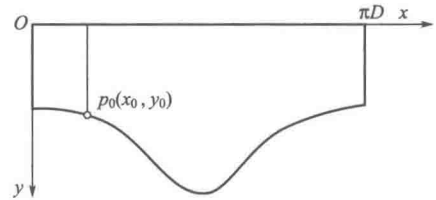
构件类型	视图及尺寸	说明	计算式	计算展开图
圆方过渡接管		构件由四个三角形平面和四个锥面相切构成，已知尺寸为 D、A、B、H 及 δ，求构件展开图的关键是求出四个平面与圆形端口的切点位置，从而求得各切线长（即结合线）	各计算式为：$d_1=D-\delta\sin\beta_1$； $d_2=D-\delta\sin\beta_2$； $d=\frac{1}{2}(d_1+d_2)\ \tan\beta_1=\frac{2H}{A-D}$； $\tan\beta_2=\frac{2H}{B-D}$； $a=A-2\delta\sin\beta_1$；$b=B-2\delta\sin\beta_2$； $h_1=H-\frac{\delta}{2}\cos\beta_1$； $h_2=H-\frac{\delta}{2}\cos\beta_2$； $h=\frac{1}{2}(h_1+h_2)$； $f_0=\frac{1}{2}\sqrt{a^2+(b-d_2)^2+4h_2^2}$； $f_{1\sim3}=$ $\frac{1}{2}\sqrt{(a-d\sin\alpha_{1\sim3})^2+(b-d\cos\alpha_{1\sim3})^2+h^2}$； $f_4=\frac{1}{2}\sqrt{(a-d\sin\alpha_4)^2+(b-d\cos\alpha_4)^2+h_1^2}$； $f=\frac{1}{2}\sqrt{(a-d)^2+h_1^2}$	

表 2-7　曲面构件计算展开示例

构件类型	视图及尺寸	说明	计算式	计算展开图
球磨机落料筒		上口呈平面并斜截圆柱面，其展开图相当于等径圆管弯头的一节展开图	展开曲线上每个点 P_0 将对应一个固定的角 φ_0，先利用直角坐标系推导出点 P_0 的坐标，结合线展开曲线方程，则点 P_0 的坐标计算为：$y=H-h\cos\frac{2x}{D}$；或 $y=H-\frac{D}{2}\cos\frac{2x}{D}\tan(90°-\alpha)$（将圆柱料筒的圆周分为 12 等份，每隔 30°取一个 φ_0 的值代入上述曲线方程，则可计算出 12 个 P_0 点的坐标值）	

续表

构件类型	视图及尺寸	说明	计算式	计算展开图
排烟出口筒		筒体的下端口呈弧面斜截圆柱面	以由各尺寸间的几何关系和角 φ_0，结合线展开曲线的方程，点 P_0 的坐标：$x_0 = D\varphi_0/2$，$y_0 = H-\sqrt{R^2-(L-\frac{D}{2}\cos\frac{2x}{D})^2}$，当圆弧的中心在圆筒的轴线上，即 $L=0$ 时，$y_0 = H-\sqrt{R^2-\frac{D^2}{4}\cos^2\varphi_0}$ 或 $y_0 = H-\sqrt{R^2-\frac{D^2}{4}\cos^2(\frac{2x}{D})}$（将圆柱料筒的圆周分为 12 等分，每隔 30°取一个 φ_0 的值代入上述曲线方程，则可计算出 12 个 P_0 点的坐标值）	

2.3.2 曲面构件计算展开

柱面构件的展开放样是采用解析计算式代替平行线法，通常先推导出柱面上结合线的展开曲线方程式，或计算出展开曲线上若干点的坐标值，得出点的运动轨迹，从而求得柱面的展开图。

曲面构件的计算展开示例见表 2-7。

第3章

钣金展开的计算基础

3.1 计算基础

3.1.1 常用坐标系

在运用展开方法时，常常要把计算的对象或计算结果定位于相应的坐标系中。对于计算对象，一般采用三维空间直角坐标系，而对于计算结果，由于是平面图形，一般采用二维平面坐标系。

3.1.1.1 平面直角坐标系

平面直角坐标系如图 3-1 所示，相互垂直的横轴 Ox 和纵轴 Oy 将平面分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ四个象限，它们分别对应右上、左上、左下、右下四个区域。平面中一点 M 的位置可用 x 和 y 两个坐标来确定，如图 3-2 所示。柱面构件的计算展开常用到平面直角坐标系。

3.1.1.2 平面极坐标系

平面极坐标系如图 3-3 所示。O 点为极点，Ox 为极轴，平面中一点 M 的位置用极角 θ 和矢径 ρ 来确定。

锥面构件的计算展开常用到极坐标系，使用时应注意，极角从极轴开始，逆时针转动为正，顺时针转动为负。

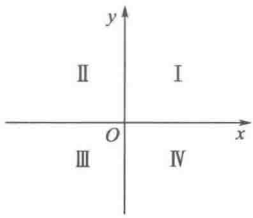


图 3-1　平面直角坐标系

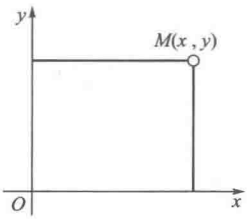


图 3-2　平面直角坐标系中 M 点的位置坐标

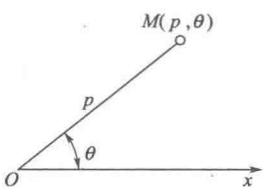


图 3-3　平面极坐标系

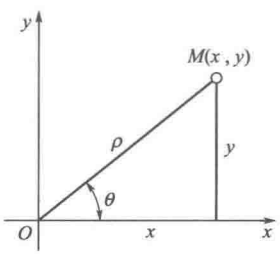


图 3-4　直角坐标与极坐标转换关系

3.1.1.3　坐标转换

图 3-4 所示是直角坐标与极坐标的转换关系，具体由以下公式确定：

$$\begin{cases} x=\rho\cos\theta \\ y=\rho\sin\theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho=\sqrt{x^2+y^2} \\ \theta=\begin{cases} \arctan(y/x) & (x>0) \\ \pi+\arctan(y/x) & (x<0) \end{cases} \end{cases}$$

在进行较复杂构件的计算和建立一类构件通用的计算展开数学模型时，有时会遇到坐标的变换。图 3-5(a) 所示为平面直角坐标系的平移变换，其中 x、y 为旧坐标，x_1、y_1 为新坐标，e、f 是新坐标系原点 O_1 在旧坐标系下的坐标。点 M 新、旧坐标间的关系为：

$$\begin{cases} x = x_1 + e \\ y = y_1 + f \end{cases}$$

图 3-5(b) 所示为平面坐标系的旋转变换，α 为新坐标系绕原点 O 相对于旧坐标系统的旋转角度，旋转变换时，点 M 新、旧坐标间的关系为：

$$\begin{cases} x = x_1 \cos\alpha - y_1 \sin\alpha \\ y = x_1 \sin\alpha + y_1 \cos\alpha \end{cases}$$

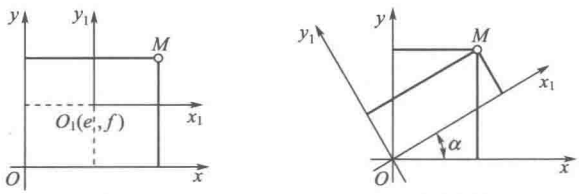


图 3-5　平面直角坐标系变换

图 3-6 所示为空间直角坐标系，三根坐标轴 Ox、Oy 和 Oz 两两相互垂直，每两根坐标轴形成一个坐标面，即 xOy、yOz、zOx 坐标面，三个坐标面把空间分成 8 个区域。空间中一点 M 的位置可用三个坐标 x、y 和 z 来确定，如图 3-7 所示。

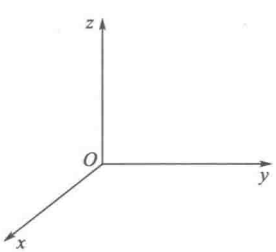


图 3-6　空间直角坐标系

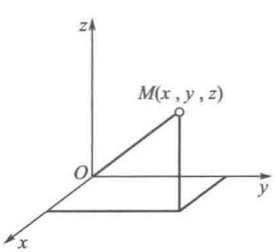


图 3-7　空间直角坐标系中 M 点的位置坐标

3.1.2　直线实长和两平面间夹角的计算

3.1.2.1　直线实长的计算

直线实长的计算在计算法展开时有着广泛的应用。如图 3-8 所

示，空间一般位置的直线 M_1M_2 的空间位置由两端点的直角坐标 x_1、y_1、z_1 和 x_2、y_2、z_2 确定，其实长 L 的计算公式为：

$$L=\sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2},$$

从计算公式中可知，直线的实长等于其两端点在 x、y 和 z 方向坐标差的平方和再开方。

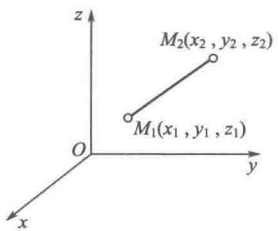


图 3-8　计算直线实长

公式应用时可能会遇到一些特殊的情况。如当直线平行于某一坐标面时，两端点的某一坐标值相同，其坐标差为零；当直线垂直于某一坐标面（即平行于某一坐标轴）时，两端点有两对坐标值相同，这时，另一对坐标的差值就为直线的实长；另外，计算时有可能三个方向中某个方向的坐标是已知的，这时公式中便直接利用该值的平方进行计算。

3.1.2.2　两平面间夹角的计算

两平面间夹角即它们间的两面角，在求取平面体构件相邻两面间的卡样板角度和蛇形管的错心角等情况下会遇到。

（1）行列式　两平面间夹角的计算要用到四阶行列式及其展开运算，先要把四阶行列式降为三阶，然后再将各三阶行列式展开，最后再合并同类项进行整理。

把四阶行列式转化为三阶行列式，只能采用降阶的方法，其中可用行展开或按列展开的方式，下面的公式是按四阶行列式的第一列进行展开的。

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} b_2 & c_2 & d_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} - a_2 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_3 & c_3 & d_3 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} +$$

$$a_3 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 \\ b_4 & c_4 & d_4 \end{vmatrix} - a_4 \begin{vmatrix} b_1 & c_1 & d_1 \\ b_2 & c_2 & d_2 \\ b_3 & c_3 & d_3 \end{vmatrix}$$

三阶是行列式的展开可用斜乘方法直接求出，其公式如下：

$$\begin{vmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{vmatrix} = a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - a_1b_3c_2 - a_2b_1c_3 - a_3b_2c_1$$

(2) 计算两平面间的夹角　如图 3-9 所示，空间两平面分别为三角形 ABC 和 BCD，设它们间的夹角为 α，四个顶点 A、B、C、D 的直角坐标分别为 $A(x_A、y_A、z_A)$、$B(x_B、y_B、z_B)$、$C(x_C、y_C、z_C)$和 $D(x_D、y_D、z_D)$，则平面 ABC 的方程为：

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ x_A & y_A & z_A \\ x_B & y_B & z_B \\ x_C & y_C & z_C \end{vmatrix} = 0$$

将其展开并化简为：$A_1x + B_1y + C_1z + D_1 = 0$

平面 BCD 的方程为：

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ x_B & y_B & z_B \\ x_C & y_C & z_C \\ x_D & y_D & z_D \end{vmatrix} = 0$$

将其展开并化简为：$A_2x + B_2y + C_2z + D_2 = 0$

因此夹角 α 可由下式确定：

$$\alpha = \arccos \frac{A_1A_2 + B_1B_2 + C_1C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}\sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}$$

在应用中应该注意的是所求平面可能不止三个顶点，这时应考虑计算方便，在每个平面上选取三个合适的不共线顶点，用它们的坐标进行运算就可以了。

3.1.3 圆的计算

圆的计算是展开时最常用的计算方法之一，如图 3-10 所示，在图中，圆 O 的中心与直角坐标系的原点 O 重合，半径为 R，圆的方程为：

$$x^2 + y^2 = R^2$$

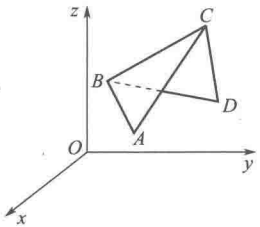


图 3-9　计算两平面间的夹角

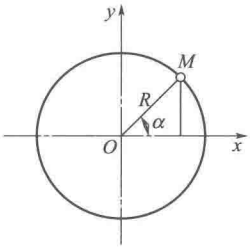


图 3-10　圆的计算

也可写成参数形式，为：

$$\begin{cases} x = R\cos\alpha \\ y = R\sin\alpha \end{cases}$$

圆的周长 L 为：

$$L = 2\pi R = D$$

圆心角 α 所对圆弧的长度 A 为：

$$A = \frac{\alpha\pi}{180}R$$

3.1.4　椭圆的计算

如图 3-11 所示，椭圆 O 的中心位于直角坐标系的原点，其长轴等于 $2a$，短轴等于 $2b$，长短轴方向分别与坐标系的 x 轴和 y 轴重合。椭圆的方程为：

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

也可写成参数形式：

$$\begin{cases} x = a\cos\alpha \\ y = b\sin\alpha \end{cases}$$

要计算椭圆上点的坐标，可直接利用它的参数方程，如图3-11中点 M_i 的坐标为：

$$x = a\cos\alpha_i \qquad y = b\sin\alpha_i$$

椭圆周长和弧长的计算常采用近似的方法。

3.1.4.1　椭圆弧长的近似计算

常采用以弦长代替弧长的计算方法。在图 3-11 中，设点 M_i

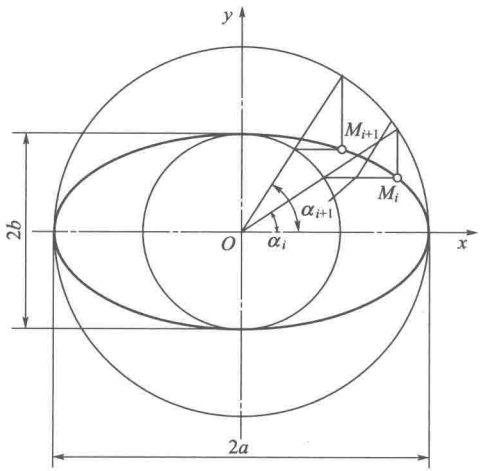


图 3-11　椭圆的计算

的坐标为 $x_i = a\cos\alpha_i$，$y_i = b\sin\alpha_i$，点 M_{i+1} 的坐标为 $x_{i+1} = a\cos\alpha_{i+1}$，$y_{i+1} = b\sin\alpha_{i+1}$，在 M_i 和 M_{i+1} 两点间的椭圆弧长 L 就可近似计算为：

$$L = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$
$$= \sqrt{a^2\ (\cos\alpha_{i+1} - \cos\alpha_i)^2 + b^2\ (\sin\alpha_{i+1} - \sin\alpha_i)^2}$$

3.1.4.2　椭圆周长的精确计算

设椭圆周长为 s，则 s 的计算公式为：

$$s = 4a\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - e^2\sin^2\alpha}\, ba = 4aE(e, \frac{\pi}{2})$$

式中：

$$E(e, \frac{\pi}{2}) = \frac{\pi}{2}[1 - (\frac{1}{2})^2 e^2 - (\frac{1\times3}{2\times4})^2 \frac{e^4}{3} -$$
$$(\frac{1\times3\times5}{2\times4\times6})\ \frac{e^6}{5} - \cdots]$$

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a}}$$

3.1.4.3 椭圆周长的近似计算

公式为：

$$s=\pi[1.5(a+b)-\sqrt{ab}\,]$$

或

$$s=\frac{\pi}{2}\sqrt{7(a^2+b^2)+2ab}$$

3.1.4.4 椭圆周长的弦长逼近

在1/4椭圆周上取 $n+1$ 个点 M_i（$i=0$，1，…，n），它们把1/4椭圆分为 n 个椭圆弧段。用以弦长代替弧长的计算方法求出各弧段 M_iM_{i+1} 的长度 L_i（$i=0$，1，…，$n-1$），最后把各段长度加在一起，便得到了1/4椭圆周的近似长度，于是椭圆的周长为：

$$s=4\sum_{i=0}^{n-1}L_i$$

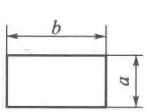
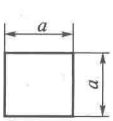
应该注意的是：由于椭圆上各处的曲率不同，所以为减小以弦长代替弧长时产生的误差，在划分椭圆时，曲率大的地方应取密一些。

3.1.5 其他几何图形面积与体积的计算

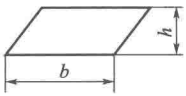
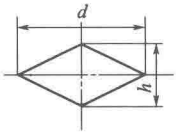
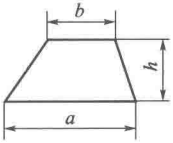
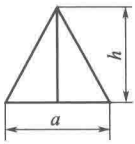
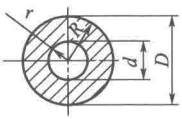
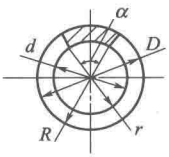
3.1.5.1 几何图形面积的计算

几何图形面积的计算见表3-1。

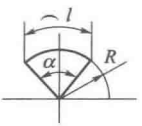
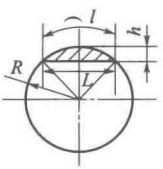
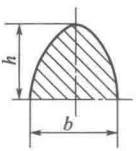
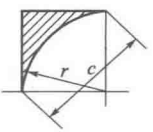
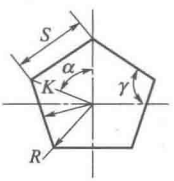
表3-1 几何图形面积的计算

图形名称	图形	说明	计算公式
长方形		A——面积，××²； b——长，××； a——宽，×× （××表示长、宽等的长度单位，以下意义相同）	$A=ba$
正方形		A——面积，××²； a——边长，××	$A=a^2$

续表

图形名称	图形	说明	计算公式
平行四边形		A——面积，××²； b——底边，××； h——高，××	$A=bh$
菱形		A——面积，××²； d——对角长，××； h——高，××	$A=\frac{1}{2}dh$
梯形		A——面积，××²； a——上底，××； b——下底，××； h——高，××	$A=\frac{1}{2}(a+b)h$
三角形		A——面积，××²； a——底，××； h——高，××	$A=\frac{1}{2}ah$
圆环		A——面积，××²； D——大圆的直径，××； d——小圆直径，××； R——大圆半径，××； r——圆的半径，××	$A=\pi(R^2-r^2)$
局部圆环		A——面积，××²； D——大圆的直径，××； d——小圆直径，××； R——大圆半径，××； r——圆的半径，××； α——圆环对圆心角，(°)	$A=\frac{\pi\alpha}{360^\circ}(R^2-r^2)$

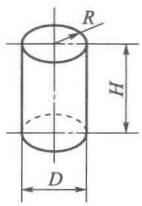
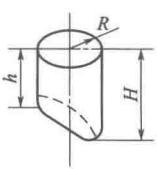
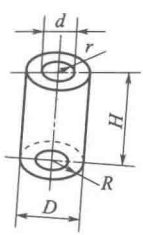
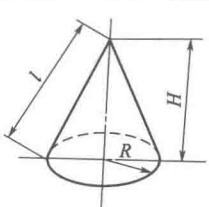
续表

图形名称	图形	说明	计算公式
扇形		A——面积，××²； R——圆的半径，××； l——弧长，rad； α——对应圆心角，(°)	$A=\frac{\pi R^2\alpha}{360^\circ}\approx 0.008727\alpha R^2$ $=\frac{Rl}{2}$ $\left(l=\frac{\pi R\alpha}{180^\circ}\approx 0.01745\alpha R\right)$
弓形		A——面积，××²； R——圆的半径，××； l——弧长，rad； L——弦长，××； h——弓形高度，××	$A=\frac{1}{2}[Rl-L(R-h)]$ $\left(h=R-\frac{1}{2}\sqrt{4R^2-L^2}\right)$
抛物线弓形		A——面积，××²； b——抛物线幅长，××； h——抛物线高度，××	$A=\frac{2}{3}bh$
角橡		A——面积，××²； r——圆的半径，××； c——角缘对应的弦长，××	$A=r^2-\frac{\pi r^2}{4}\approx 0.2146r^2$ $=0.1073c^2$
正多边		A——面积，××²； S——正多边形边长； γ——内角，(°)； α——圆心角，(°)； K——边到中心的距离，××； R——顶点到中心的距离，××	$A=\frac{SK}{2}n=\frac{1}{2}nSR\cos\frac{\alpha}{2}$

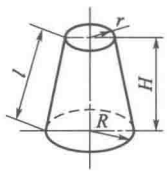
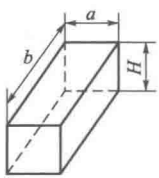
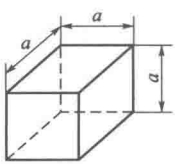
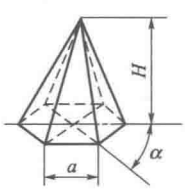
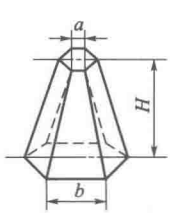
3.1.5.2 几何图形体积与表面积的计算

几何图形体积与表面积的计算见表 3-2。

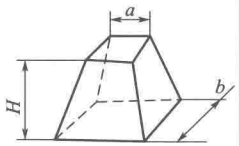
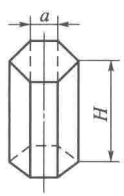
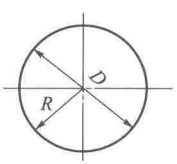
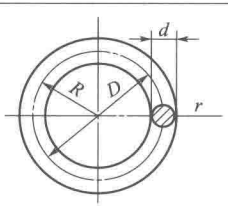
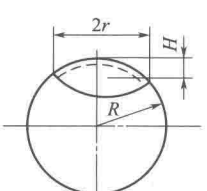
表 3-2 几何图形体积与表面积的计算

图形名称	图形	说明	计算公式
圆柱体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； H——圆柱体高度，××； D——圆柱体直径，×× （××表示长、宽、高等的长度单位，以下意义相同）	$V=\pi R^2 H=1/4(\pi D^2 H)$ $A_0=2\pi RH$
斜底圆柱体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； H——圆柱体高度，××； h——圆柱体斜口高度，××； R——圆柱体半径，××	$V=\pi R^2 \dfrac{H+h}{2}$ $A_0=\pi R(H+h)$
空心圆柱体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； H——圆柱体高度，××； D——圆柱体直径，××； d——圆孔直径，××； R——圆柱体半径，××； r——圆孔半径，××	$V=\pi H(R^2-r^2)$ $=1/4\pi H(D^2-d^2)$ $A_0=2\pi H(R+r)$
圆锥体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； H——圆锥体高度，××； R——圆锥体大端半径，××； l——锥体母线长，××	$V=1/3\pi HR^2$ $A_0=\pi Rl$ $(l=\sqrt{R^2-H^2})$

续表

图形名称	图形	说明	计算公式
截顶圆锥体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； H——锥体高度，××； R——圆锥体大端半径，××； r——圆锥体小端半径，××； l——锥体母线长，××	$V=\frac{1}{3}\pi H(R^2+r^2+Rr)$ $A_0=\pi l(R+r)$ $(l=\sqrt{H^2-(R-r)^2})$
长方体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； b——长方体长，××； a——长方体宽，××； H——长方体高，××	$V=abH$ $A_0=2(ab+aH+bH)$
正方体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； a——正方体边长，××	$V=a^3$ $A_0=6a^2$
角锥体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； a——角锥体边长，××； H——角锥体高，××； α——圆心角，(°)	$V=\frac{1}{3}HA_1$ (A_1——底面积) $A_0=\frac{1}{2}aHn$ (n——正多边形边数)
截顶角锥体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； a——截顶角锥体顶边长，××； b——截顶角锥体底边长，××； H——截顶角锥体高，××	$V=\frac{1}{3}H(A_1+A_2+\sqrt{A_1A_2})$ (A_1——顶面积， A_2——底面积) $A_0=\frac{1}{2}(a+b)Hn+A_1+A_2$ (n——正多边形边数)

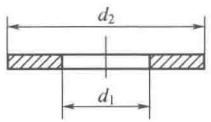
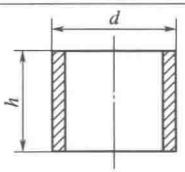
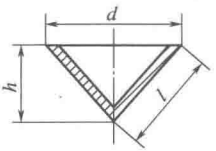
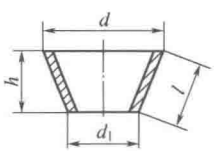
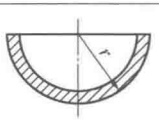
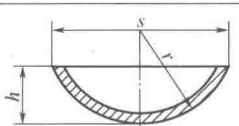
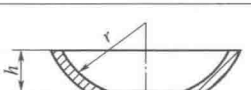
续表

图形名称	图形	说明	计算公式
正方锥体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； a——正锥体上体边长，××； b——正锥体下体宽，××； H——角锥体高，××	$V=\frac{1}{3}HA_1$ （A_1——底面积） $A_0=\frac{1}{2}aHn$ （n——正多边形边数）
正六角体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； a——正六角体边长，××； H——正六角体高，××	$V=2.598a^2H$ $A_0=aHn+2A$ （n——正多边形边数； A——多边形底面积）
球体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； D——圆球直径，××； R——圆球半径，××	$V=\frac{4}{3}\pi a^3$ $A_0=12.57R^2$
圆球环体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； D——圆球直径，××； R——圆球半径，××； d——圆球环体直径，××； r——圆球环体半径，××	$V=2\pi Rr^2$ $A_0=4\pi^2Rr$
截球体		V——体积，××³； A_0——侧表面积，××²； R——圆球半径，××； H——截球高度，××； r——截球体截体圆半径，××	$V=\frac{1}{6}\pi H(3r^2+H^2)$ $A_0=2\pi RH$

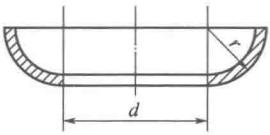
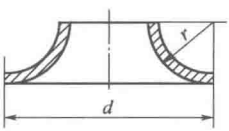
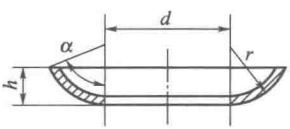
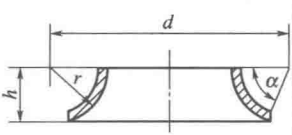
3.1.5.3 各种压延件的表面积计算

各种压延件的表面积计算见表 3-3。

表 3-3 各种压延件的表面积计算

图形名称	图形	表面积计算公式
圆环		$S=\frac{\pi}{4}(d_2^2-d_1^2)$
圆筒		$S=\pi dh$
圆锥		$S=\frac{\pi dl}{2}$
圆锥台		$S=\frac{\pi dl}{2}(d-d_1)$
半球面		$S=2\pi r^2$
球冠面		$S=2\pi rh$
球面带		$S=2\pi rh$

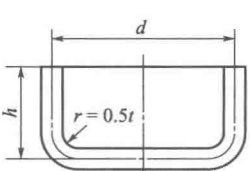
续表

图形名称	图形	表面积计算公式
四分之一球带(凸)		$S=\frac{\pi}{4}(2\pi dr+8r^2)$
四分之一球带(凹)		$S=\frac{\pi}{4}(2\pi dr-8r^2)$
部分球带(凸)		$S=\pi(dL+2rh)$ $L=\frac{\pi r\alpha}{180^\circ}$
部分球带(凹)		$S=\pi(dL-2rh)$ $L=\frac{\pi r\alpha}{180^\circ}$

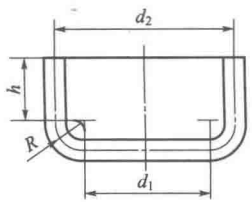
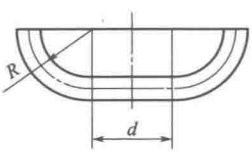
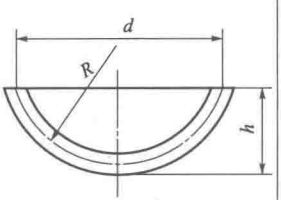
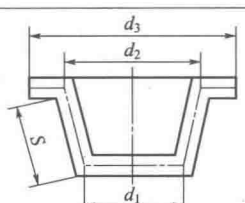
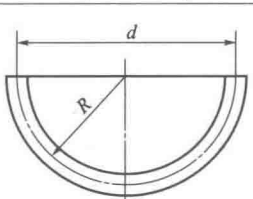
3.1.5.4 常用压延件的坯料直径计算

常用压延件的坯料直径计算见表 3-4。

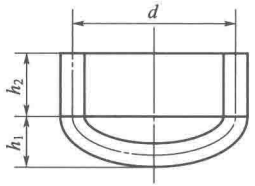
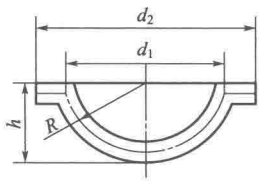
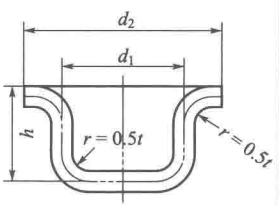
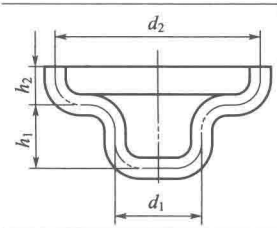
表 3-4 常用压延件的坯料直径的计算

图形	说明	计算公式
	d——筒体直径，mm； h——筒体高，mm	$D=\sqrt{d^2+4dh}$

续表

图形	说明	计算公式
	R——圆角半径，mm； d——筒体直径，mm； d_1——下部直径，mm； d_2——上部直径，mm； h——筒体高，mm	$D=\sqrt{d_1^2+4d_2h+2\pi d_1R+8R}$
		$D=\sqrt{d^2+2\pi d_1R+8R^2}$
		$D=\sqrt{d^2+4h^2}$
	S——锥面长，mm； d_1——筒底直径，mm； d_2——上口直径，mm； d_3——下口直径，mm	$D=\sqrt{d_1^2+2S(d_1+d_2)+d_3^2-d_2^2}$
	d——形体直径，mm	$D=\sqrt{2d^2}$

续表

图形	说明	计算公式
	d——筒体直径，mm； h_1——球面高，mm； h_2——筒体高，mm	$D=\sqrt{d^2+4(h_1^2+dh_2)}$
	d_2——形体外径，mm； h——形体高，mm	$D=\sqrt{d_2^2+4h^2}$
	d_1——筒体直径，mm； d_2——下部直径，mm； h——高度，mm	$D=\sqrt{d_2^2+4d_1h}$
	d_1——上部直径，mm； d_2——下部直径，mm； h_1——下部圆柱体高，mm； h_2——上部圆柱体高，mm	$D=\sqrt{d_2^2+4(d_1h_1+d_2h_2)}$

3.2 程编计算

3.2.1 程编计算公式法展开

程编计算公式法展开是在计算法展开的大量实践中，根据计算

器的程编计算应用而总结出的较先进的展开技术。它可省去作图法大量的对实样图到展开图形的求作过程，同时也可简化一般计算法展开中复杂而又反复的计算过程，因此是施工中较先进的展开新技术。施工条件许可时把所用公式编程序输入微机，使用起来就更为方便，同时也为快速掌握展开下料技术提供了一个捷径。

(1) 展开原理　根据画法几何对形体展开原理，对形体进行分类后用解析计算的方法对各种形体展开所需要的线段实长或曲线建立表达式，就是对平面表示的各种空间形体的展开问题用这些计算公式表示代替，利用计算器的程编运算能力直接得出展开实形所需要的尺寸，这就是公式法展开的基本原理。

它和一般计算法展开的不同处在于它不是根据作图顺序按展开步骤用数学计算逐步去求解，而是按构件几何形体的归类简化出展开形状边缘线的解析表达式，使常用的大部分展开问题可以按平面投影的图样要求套用公式计算，得出数值而直接做出展开图形，把很多复杂的展开问题变得简单化。即程编计算公式法展开就是根据施工图样要求对需展开构件进行形体分析后套用专用公式程编计算后直接得出做展开图尺寸的方法。

(2) 展开的基本步骤

1) 根据施工图纸图样，对需要展开的构件进行形体分析并构思放样草图和展开草图。

2) 根据构件形体选用计算公式，核实计算草图中已知条件并按公式中需要对不符合计算公式的已知条件进行简化计算。

3) 化简公式中已知条件数值使公式更加简化，然后利用计算器程编计算得出展开图的尺寸数值。

4) 根据计算数值和展开草图形状制作展开样板或直接下料。

(3) 展开公式的分类和形体分析　计算公式的分类基本上是以构件形体来划分的，尤其是常用的构件形体。展开工艺过程是要将平面（施工图样）上表示的空间形体（构件）的表面在平面（展开图样）上表示出来。但展开图样的形状不仅由构件结构所决定，而且板料厚度和制造工艺的不同也都对展开图样有一定的影响。而且即使符合了施工图样的要求，由于施工者对构件形体设计的不同也会对展开方法和展开形状有很大的影响。

传统的图解法展开在线形放样和结构放样中的工艺处理就是要解决这些问题而得出放样图，再利用展开图画法去得出展开图样。而计算法展开一般不再1∶1地放大样件，为了计算时的概念清楚，一般要画计算草图（只为计算做提示用的草图）和展开草图（为下料做提示用的草图），因为计算草图的尺寸数值决定了展开图的形状尺寸。要做到准确就必须对施工图的构件有正确的形体分析并构思出正确的计算草图。要保证展开的准确和符合工艺要求，在形体分析时一般要考虑以下几个方面。

1）构件的结构分析。

2）构件的板厚处理。

3）相贯线的接头处理要求。

4）制造工艺的需求。

5）材料的限制性。

具体的构件在形体分析时均有各自的特点和许多复杂的情况，在形体分析时都应考虑到。

3.2.2 计算器的程编计算应用

由于计算器的程编计算功能，公式法展开计算可以使很多复杂形体的展开计算简单化。程编运算是这种展开放样方法可以使用的十分重要的手段，随着科学技术的不断进步，随身携带小巧、方便的计算工具将更加先进。现以夏普（SHARP）EL-514型袖珍计算器为例进行应用介绍。

该计算器外壳坚固很适合现场施工使用，而且价格便宜。虽然模式编入的公式总步数仅为40步，但由于有K_1和K_2两记忆功能键的使用，基本可以解决对展开放样中常用计算公式的编程运算。

程编计算的一般用法如下。

SHARP EL-514型袖珍计算器外形尺寸为149mm×76mm×20mm，重量为102g，外观按键排列如图3-12所示。

（1）程编运算常用按键说明

[0]～[9]——数字输入键；

[+] [-] [=]——加、减、等于键；

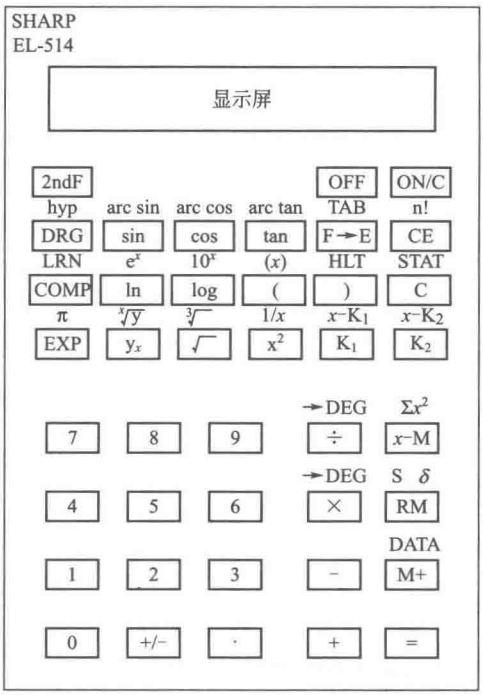


图 3-12　SHARP EL-514 型袖珍计算器按键排列

→DEG ×——乘键/六十进制转换为十进制键；

→DEG ÷——除键/十进制转换为六十进制键；

+/-——正负转换键/运算顺序互换键；

x-M——将显示数存入记忆键；

RM——记忆取出键；

M+——记忆累加键；

2ndF——第二功能键；

DRW——角度单位选择键；

arc sin sin——正弦函数键/反正弦函数键；

arc cos / cos ——余弦函数键/反余弦函数键；

arc tan / tan ——正切弦函数键/反正切函数键；

LRN / COMP ——程序计算键/设定或清除程序键；

10^x / log ——常用对数键/常用指数键；

(x) / (——左括弧键/程序变数输入键；

HLT /) ——右括弧键/程序暂停键；

$1/x$ / x^2 ——平方键/倒数键；

x-K_1 / K_1 ——记忆取出键/将显示存入 K_1 记忆键；

x-K_2 / K_2 ——记忆取出键/将显示存入 K_2 记忆键。

说明：x-M、x-K_1、x-K_2 都是将显示数分别存入 M、K_1、K_2 中，在此同时各储存器的原记忆内容分别被清除。

（2）显示符号及意义说明

M：记忆符号；

—：负号；

E：错误或溢出符号；

2F：第二功能符号；

DEG：度表示符号；

RAD：弧度制角度符号；

GRAD：梯度制角度符号；

(：右括号符号（可至 7 重）；

LRN：学习程序（LEARN）形式指示符号；

[1]：程序形式变数输入指示符号。

（3）程序运算

1）按 2ndF 、LRN / COMP 键后可输入程序步骤，同时清除记忆中

所有步骤。

2）当要输入可变数时先按 [2ndF]、[(x) (]键。

3）当输入步骤完成，按下 [2ndF] [COMP] 键。

4）按下 [COMP] 键时执行记忆内所有步骤。

（4）程编计算应用

1）圆面积计算的程编。圆面积计算的程编过程和操作顺序见表 3-5。

表 3-5　圆面积计算的程编

按键顺序	显示	说明
[2ndF] [LRN COMP]	LRN　0	选择程序形式
[2ndF] [π] [×]	LRN　3.141592654	输入圆周率数值
[2ndF] [(x)]	LRN　[1]	示意可输入变量
[1] [x^2] [=]	LRN　3.141592654	以 $r=1$ 输入并得出结果
[2ndF] [LRN]	0	程序编排结束

程序编排结束后就可根据变量 r（半径）的不同数值来进行调用，以求出不同半径时的圆面积值。如需求 $r=15\text{mm}$ 和 $r=25.5\text{mm}$ 时的 s 值，其操作过程见表 3-6。

表 3-6　圆面积计算的程编后的调用

按键顺序	显示	说明
[COMP]	[1]	调用程序，示意输入 r 值
15 [COMP]	706.858347	显示 $r=15\text{mm}$ 时的 s 值
[COMP]	[1]	调用程序，示意输入 r 值
25.5 [COMP]	2042.820623	显示 $r=25.5\text{mm}$ 时的 s 值

2）无缝钢管每米重量计算的程编。无缝钢管每米重量计算公式为：

$$G=0.02466\delta(D-\delta)$$

式中 G——钢管每米重量，kg/m；

δ——钢管壁厚，mm；

D——钢管外径，mm。

程编过程和顺序见表 3-7。

表 3-7 钢管重量计算的程编

按键顺序	显示	说明
2ndF　LRN	LRN 0	选择程序形式
0.2466 × 2ndF (x)	LRN [1]	示意可输入第一变量 δ 值
1 × (	LRN [	$\delta=1$ 输入
2ndF (x)	LRN [2]	示意可输入第二变量 D 值
1 − 2ndF (x)	LRN [3]	示意可输入第三变量 δ 值
1) =	LRN 0	$\delta=1$ 输入并提出计算结果
2ndF　LRN	0	程序结果

3.2.3 钣金展开中程编计算的应用

以如图 3-13 所示的在标准椭圆封头上插管的构件为例，说明程编计算在钣金展开中程编计算的应用。

3.2.3.1 图解法展开

从施工图样中可看出，圆管外壁与封头内壁接触，放样图可直接用管外径和封头内径画出，而展开周长用样板在外壁画线时为 $\pi(\phi+2\text{mm})$，如图 3-14 所示。其求作步骤如下。

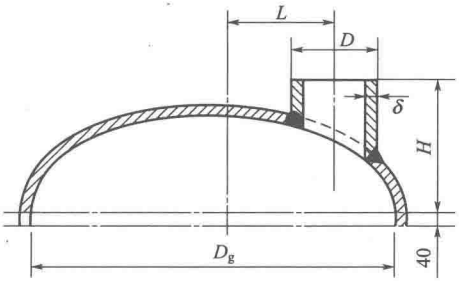


图 3-13　标准椭圆封头上插管的施工图样

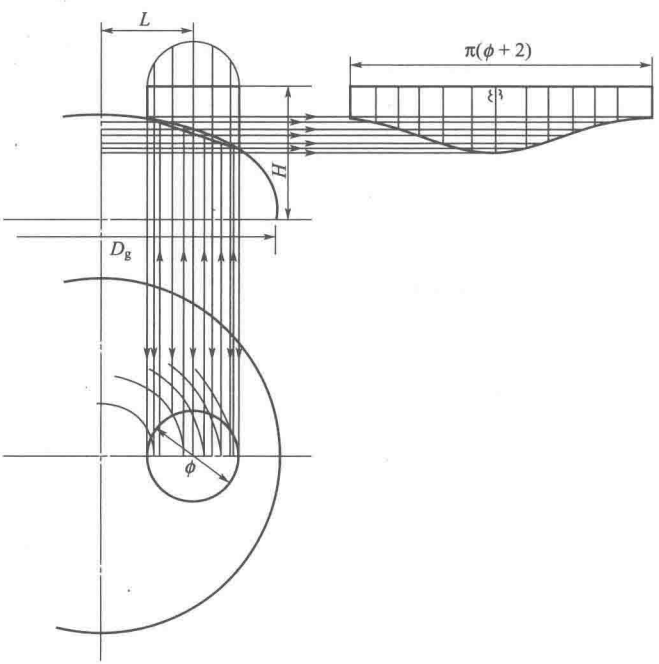


图 3-14　插管的放样展开

1）按施工图要求的尺寸 1∶1 画出实样图。

2）用辅助素线法进行正视图上相贯线的求作。

3）用平行线法进行圆管的展开，作出展开图。

3.2.3.2 程编计算公式法展开

(1) 计算　根据图 3-13 中插管的形体选用计算公式 $y_n=H-\dfrac{\sqrt{D_g^2/4-r_2-L^2+2Lr\cos(x_n/r)}}{2}$。利用计算器内记忆功能，令：$D_g^2/4-r_2-L^2=K_1$，$2Lr=K_2$，则公式简化为：

$$y_n=H-\frac{\sqrt{K_1+K_2\cos(x_n/r)}}{2}。$$

设已知图中 $D_g=2000\text{mm}$，$L=406\text{mm}$，$r=137.5\text{mm}$，$\delta=2\text{mm}$，$D=273+2=275\text{mm}$，$H=900\text{mm}$。

则：$K_1=2000^2/4-137.5^2-406^2=816257.75$，$K_2=2\times406\times137.5=111650$。

代入公式可得：$y_n=900-\dfrac{\sqrt{816257.75+111650\cos(x_n/137.5)}}{2}$。

将计算公式进行程编得出一系列以 $x_n(0\sim2\pi r)$ 为变量的 y_n 的对应值，见表 3-8。

表 3-8　插管展开实长线数值表

x_n 变量值	0	100	200	300	400	πr
y_n 的对应值	418.3601579	425.7481618	444.6957212	466.351635	479.4016416	480.2954164

(2) 作图　求作步骤如下。

1) 以 0 为原点，做 $x0y$ 直角坐标，如图 3-15 所示。

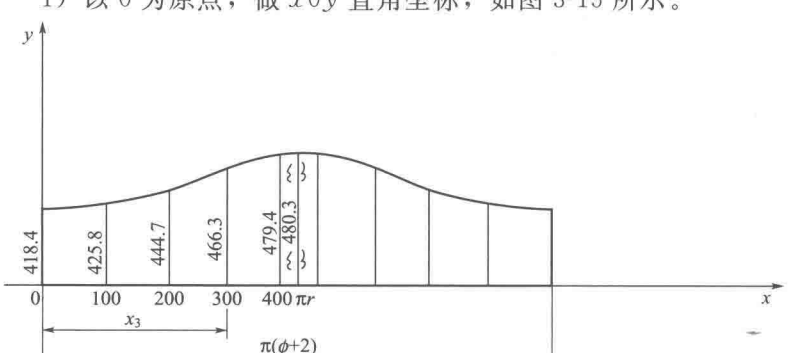


图 3-15　插管的展开图

2）在 x 轴上取 100mm、200mm、300mm、…、πr 各点。

3）过各点作 x 轴垂线。

4）在各垂线上依次截取 x_n 值对应的 y_n 值，得各点坐标。

5）光滑连接各点即得到插管画线样板 1/2 展开图形。

（3）程编计算的操作过程　插管展开程编计算的操作过程见表 3-9。

表 3-9　插管展开程编计算的操作过程

按键顺序	显示	说明
0.25 [×] 2000 [x^2] [−] 137.5 [x^2] [−] 406 [x^2] [=] [2ndF] [K_1]	816257.75	将 $D_g^2/4-r_2-L^2$ 值存入 K_1 记忆键
2 [×] 406 [×] 137.5 [=] [2ndF] [K_2]	111650	将 $2Lr$ 值存入 K_2 记忆键
[2ndF] [LRN]	LRN 0	选择程序形式
[2ndF] [(x)]	LRN [1]	示意可以输入变量
1 [÷] 137.5 [=] cos	LRN 0.999999992	输入 1 及运算过程
[×] [K_1] + [K_2] [=] [$\sqrt{\ }$] [×] 0.56 + [−] 900 [=] [+/−]	LRN 418.3601596	输入运算过程并给出运算结果
[2ndF] [LRN]	0	程序结束
[COMP]	[1]	程序调用，示意输入变量
0 [COMP]	418.3601579	$x_n=0$ 时，y_n 的对应值
[COMP] 100 [COMP]	425.7481618	$x_n=100$ 时，y_n 的对应值
[COMP] 200 [COMP]	444.6957212	$x_n=200$ 时，y_n 的对应值

续表

按键顺序	显示	说明
COMP 300 COMP	466.351635	$x_n=300$ 时，y_n 的对应值
COMP 400 COMP	479.4016416	$x_n=400$ 时，y_n 的对应值
COMP 137.5 2ndF π = COMP	480.2954164	$x_n=\pi r$ 时，y_n 的对应值

3.3 各种构件的展开计算应用

3.3.1 圆锥体和棱锥体展开计算

3.3.1.1 圆锥的展开计算

(1) 正圆锥的展开计算　正圆锥构件形体如图 3-16 所示。已知圆锥底直径 $D=600\text{mm}$，圆锥高度 $H=800\text{mm}$，试求各展开素线长度。

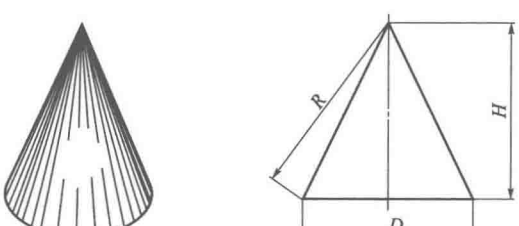


图 3-16　正圆锥

正圆锥展开计算原理图如图 3-17 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-10。

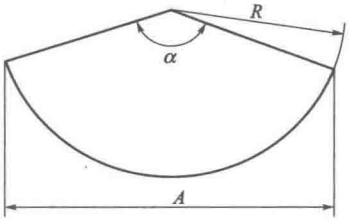


图 3-17　正圆锥展开计算原理图

表 3-10　正圆锥展开计算

展开素线	公式	计算
R	$R=\sqrt{(D/2)^2+H^2}$	$R=\sqrt{(600/2)^2+800^2}=854.4\text{mm}$
α	$\alpha=180°(D/R)$	$\alpha=180°\times(600/854.4)=126.4°$
A	$A=2R\sin(\alpha/2)$	$A=2\times854.4\times\sin(126.4°/2)=1525.3\text{mm}$

（2）斜圆锥的展开计算　斜圆锥构件形体如图 3-18 所示。已知圆锥底直径 $D=500\text{mm}$，圆锥高度 $H=550\text{mm}$，$R=250\text{mm}$，$A=350\text{mm}$，要求将底圆周等分为 $n=16$ 份。试求各展开素线长度。

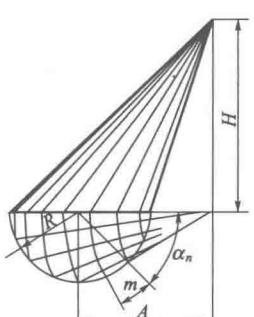


图 3-18　斜正圆锥

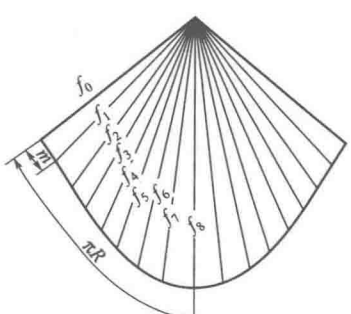


图 3-19　斜圆锥展开计算原理图

斜圆锥展开计算原理图如图 3-19 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-11。

表 3-11　斜圆锥展开计算

展开素线		公式	计算
m		$m=2\pi R/n$	$m=2\times25/3.14=98.2\text{mm}$
α_n	α_0	$\alpha_n=360°/n$（α 角以此值递增）	$\alpha_0=22.5°\times0=0°$
	α_1		$\alpha_1=22.5°\times1=22.5°$
	α_2		$\alpha_2=22.5°\times2=50°$
	α_3		$\alpha_3=22.5°\times3=67.5°$
	α_4		$\alpha_4=22.5°\times4=90°$
	α_5		$\alpha_5=22.5°\times5=112.5°$
	α_6		$\alpha_6=22.5°\times6=135°$
	α_7		$\alpha_7=22.5°\times7=157.5°$
	α_8		$\alpha_8=22.5°\times8=180°$
f_n	f_0	$f_n=\sqrt{(A-R\cos\alpha_n)^2+R^2\sin^2\alpha_n+H^2}$	$f_0=\sqrt{(350-250\cos0°)^2+250^2\sin^20°+550^2}=559\text{mm}$
	f_1		$f_1=\sqrt{(350-250\cos22.5°)^2+250^2\sin^222.5°+550^2}=570.8\text{mm}$
	f_2		$f_2=\sqrt{(350-250\cos45°)^2+250^2\sin^245°+550^2}=603\text{mm}$
	f_3		$f_3=\sqrt{(350-250\cos67.5°)^2+250^2\sin^267.5°+550^2}=647.5\text{mm}$
	f_4		$f_4=\sqrt{(350-250\cos90°)^2+250^2\sin^290°+550^2}=698\text{mm}$
	f_5		$f_5=\sqrt{(350-250\cos112.5°)^2+250^2\sin^2112.5°+550^2}=744.6\text{mm}$
	f_6		$f_6=\sqrt{(350-250\cos135°)^2+250^2\sin^2135°+550^2}=782\text{mm}$
	f_7		$f_7=\sqrt{(350-250\cos157.5°)^2+250^2\sin^2157.5°+550^2}=806\text{mm}$
	f_8		$f_8=\sqrt{(350-250\cos180°)^2+250^2\sin^2180°+550^2}=814\text{mm}$

（3）正圆锥管（薄板）的展开计算　正圆锥管（薄板）构件形体如图 3-20 所示。已知正圆锥管（薄板）大端直径 $D=450\text{mm}$，小端直径 $d=300\text{mm}$，圆锥高度 $H=250\text{mm}$，试求各展开素线长度。

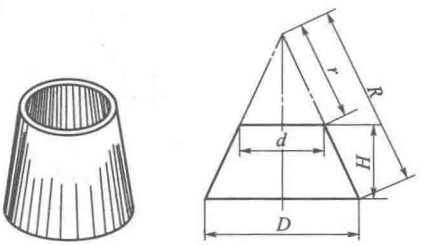


图 3-20　正圆锥管（薄板）

正圆锥管（薄板）展开计算原理图如图 3-21 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-12。

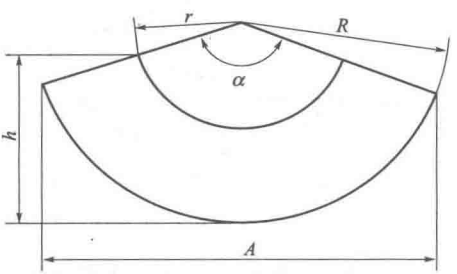


图 3-21　正圆锥管（薄板）展开计算原理图

表 3-12　正圆锥管（薄板）展开计算

展开素线	公式	计算
R	$R=\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2+\frac{D^2H^2}{(D-d)^2}}$	$R=\sqrt{\left(\frac{450}{2}\right)^2+\frac{450^2\times250^2}{(450-300)^2}}=783\text{mm}$
r	$r=(d/D)R$	$r=(300/450)\times783=522\text{mm}$
α	$\alpha=180°(d/r)$	$\alpha=180°\times(300/522)=103.4°$
h	$h=R-r\cos(\alpha/2)$	$h=783-522\cos(103.4°/2)=459.5\text{mm}$
A	$A=2R\sin(\alpha/2)$	$A=2\times783\times\sin(103.4°/2)=1229\text{mm}$

（4）正圆锥管（厚板）的展开计算　正圆锥管（厚板）构件形体如图 3-22 所示。已知正圆锥管（薄板）大端直径 $D=1200\text{mm}$，小端直径 $d=900\text{mm}$。圆锥高度 $H=400\text{mm}$，板厚 $\delta=10\text{mm}$，试求各展开素线长度。

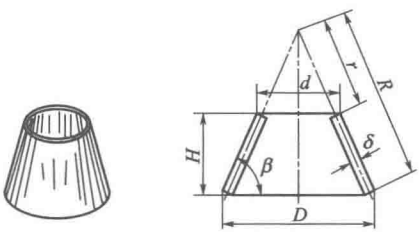


图 3-22　正圆锥管（厚板）

正圆锥管（厚板）展开计算原理图如图 3-23 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-13。

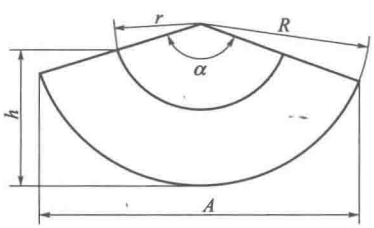


图 3-23　正圆锥管（厚板）展开计算原理图

表 3-13　正圆锥管（厚板）展开计算

展开素线	公式	计算
β	$\tan\beta=2H/(D-d)$	$\tan\beta=(2\times400)/(1200-900)=21.6667$ 查表得 $\beta=69.4°$
d_1	$d_1=d-\delta\sin\beta$	$d_1=900-10\times\sin69.4°=890.6\text{mm}$
D_1	$D_1=D-\delta\sin\beta$	$D_1=1200-10\sin69.4°=1190.6\text{mm}$
R	$R=D_1/(2\cos\beta)$	$r=890.6/(2\times\cos69.4°)=1265.6\text{mm}$
r	$r=d_1/(2\cos\beta)$	$R=1190.6/(2\times\cos69.4°)=1692\text{mm}$
α	$\alpha=180°(d_1/r)$	$\alpha=180°\times(890.6/1265.6)=126.7°$
h	$h=R-r\cos\alpha/2$ 当 $\alpha>180°$ 时， $h=R+r\sin[(\alpha-180°)/2]$	$h=1692-1265.6\cos(126.7°/2)=1124.3\text{mm}$
A	$A=2R\sin(\alpha/2)$	$A=2\times1692\times\sin(126.7°/2)=3024.5\text{mm}$

(5) 圆锥台的展开计算

1) 直角斜圆锥管的展开计算。直角斜圆锥管构件形体如图3-24所示。已知圆锥底大端直径 $D=2020\text{mm}$，小端直径 $d=1220\text{mm}$，圆锥高度 $h=890\text{mm}$，板厚 $\delta=14\text{mm}$，要求将其圆周等分为 $n=16$ 份，试求各展开素线长度。

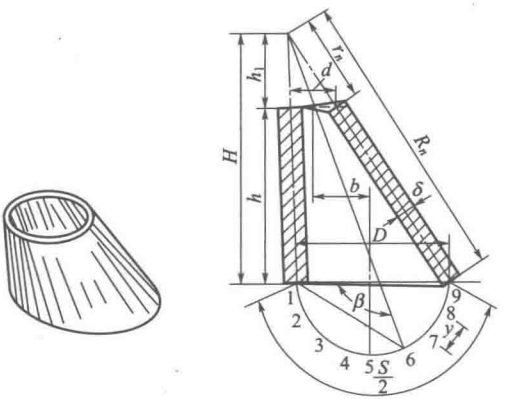


图 3-24 直角斜圆锥管

直角斜圆锥管展开计算原理图如图 3-25 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-14。

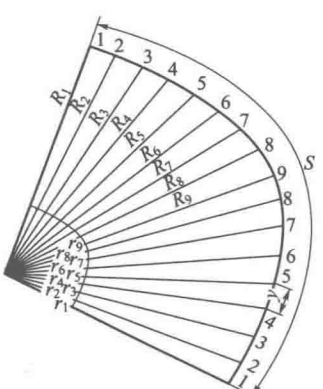


图 3-25 直角斜圆锥管展开计算原理图

表 3-14　直角斜圆锥管展开计算

展开素线		公式	计算
D_1		$D_1=D-\delta$	$D_1=2020-14=2006\text{mm}$
d_1		$d_1=d-\delta$	$d_1=1220-14=1206\text{mm}$
H		$H=D_1h/(D_1-d_1)$	$H=2006\times890/(2006-1206)=2232\text{mm}$
h_1		$h_1=H-h$	$h_1=2232-890=1342\text{mm}$
β_n	β_1	$\beta_n=(n-1)\times360°/n$ $(n=1,2,3,\cdots,n/2+1)$	$\beta_1=360°/16\times(1-1)=0°$
	β_2		$\beta_2=360°/16\times(2-1)=22.5°$
	β_3		$\beta_3=360°/16\times(3-1)=50°$
	β_4		$\beta_4=360°/16\times(4-1)=67.5°$
	β_5		$\beta_5=360°/16\times(5-1)=90°$
	β_6		$\beta_6=360°/16\times(6-1)=112.5°$
	β_7		$\beta_7=360°/16\times(7-1)=135°$
	β_8		$\beta_8=360°/16\times(8-1)=157.5°$
	β_9		$\beta_9=360°/16\times(9-1)=180°$
R_n	R_1	$R_n=\sqrt{(D\sin\frac{\beta_n}{2})^2+H^2}$	$R_1=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{0°}{2}\right)^2+2232^2}$ $=2232\text{mm}$
	R_2		$R_2=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{22.5°}{2}\right)^2+2232^2}$ $=2266\text{mm}$
	R_3		$R_3=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{50°}{2}\right)^2+2232^2}$ $=2388\text{mm}$
	R_4		$R_4=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{67.5°}{2}\right)^2+2232^2}$ $=2495\text{mm}$
	R_5		$R_5=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{90°}{2}\right)^2+2232^2}$ $=2645\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
R_n	R_6	$R_n=\sqrt{(D\sin\frac{\beta_n}{2})^2+H^2}$	$R_6=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{112.5^\circ}{2}\right)^2+2232^2}$ =2786mm
	R_7		$R_7=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{135^\circ}{2}\right)^2+2232^2}$ =2901mm
	R_8		$R_8=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{157.5^\circ}{2}\right)^2+2232^2}$ =2975mm
	R_9		$R_9=\sqrt{\left(2006\times\sin\frac{180^\circ}{2}\right)^2+2232^2}$ =3001mm
r_n	r_1	$r_n=R_nh_1/H$	$r_1=2232\times1342/2232=1342$mm
	r_2		$r_2=2266\times1342/2232=1362$mm
	r_3		$r_3=2388\times1342/2232=1436$mm
	r_4		$r_4=2495\times1342/2232=1500$mm
	r_5		$r_5=2645\times1342/2232=1590$mm
	r_6		$r_6=2786\times1342/2232=1675$mm
	r_7		$r_7=2901\times1342/2232=1744$mm
	r_8		$r_8=2975\times1342/2232=1789$mm
	r_9		$r_9=3001\times1342/2232=1804$mm
y_n		$y_n=D_1\sin(180^\circ/n)$	$y_n=2006\times\sin(180^\circ/16)=2006\times\sin11.25^\circ$ =391mm
S		$S=\pi D_1$	$S=\pi\times2006=6302$mm

2）钝角斜圆台的展开计算。钝角斜圆台构件形体如图 3-26 所示。已知圆锥底大端直径 $D=1620$mm，小端直径 $d=920$mm，圆锥台高度 $h=894$mm，两端口偏心距 $b=450$mm，板厚 $\delta=12$mm，要求将其圆周等分为 $n=16$ 份，试求各展开素线长度。

钝角斜圆锥管展开计算原理图如图 3-27 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-15。

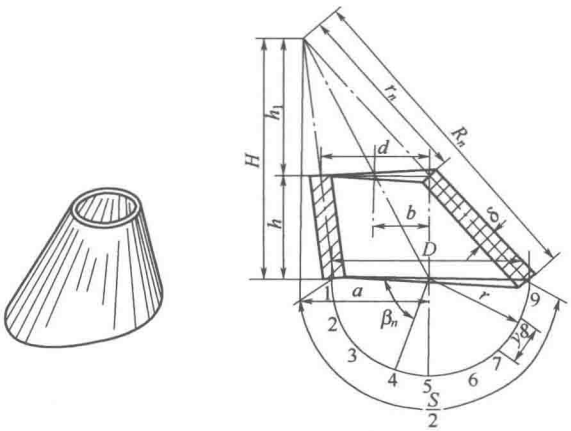


图 3-26　钝角斜圆台

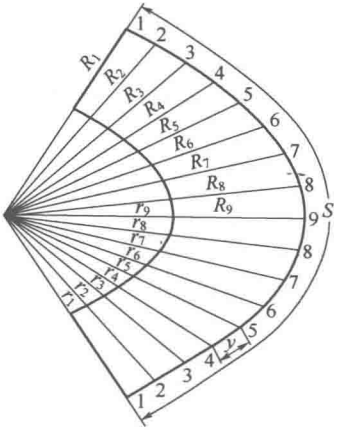


图 3-27　钝角斜圆锥管展开计算原理图

表 3-15　钝角斜圆锥管展开计算

展开素线	公式	计算
D_1	$D_1=D-\delta$	$D_1=1620-12=1608$mm
d_1	$d_1=d-\delta$	$d_1=920-12=908$mm
H	$H=D_1h/(D_1-d_1)$	$H=1608\times894/(1608-908)=2054$mm
h_1	$h_1=H-h$	$h_1=2054-894=1160$mm
a	$a=Hb/h$	$a=2054\times450/894=1034$mm

续表

展开素线		公式	计算
β_n	β_1	$\beta_n=(n-1)\times 360°/n$ $(n=1,2,3,\cdots,n/2+1)$	$\beta_1=360°/16\times(1-1)=0°$
	β_2		$\beta_2=360°/16\times(2-1)=22.5°$
	β_3		$\beta_3=360°/16\times(3-1)=50°$
	β_4		$\beta_4=360°/16\times(4-1)=67.5°$
	β_5		$\beta_5=360°/16\times(5-1)=90°$
	β_6		$\beta_6=360°/16\times(6-1)=112.5°$
	β_7		$\beta_7=360°/16\times(7-1)=135°$
	β_8		$\beta_8=360°/16\times(8-1)=157.5°$
	β_9		$\beta_9=360°/16\times(9-1)=180°$
R_n	R_1	$R_n=\sqrt{a^2+\left(\frac{d_1}{2}\right)^2-ad_1\cos\beta_n+H^2}$	$R_1=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos0°+2054^2}$ $=2067\text{mm}$
	R_2		$R_2=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos22.5°+2054^2}$ $=2097\text{mm}$
	R_3		$R_3=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos50°+2054^2}$ $=2181\text{mm}$
	R_4		$R_4=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos67.5°+2054^2}$ $=2302\text{mm}$
	R_5		$R_5=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos90°+2054^2}$ $=2436\text{mm}$
	R_6		$R_6=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos112.5°+2054^2}$ $=2563\text{mm}$
	R_7		$R_7=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos135°+2054^2}$ $=2666\text{mm}$
	R_8		$R_8=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos157.5°+2054^2}$ $=2733\text{mm}$
	R_9		$R_9=\sqrt{1034^2+\left(\frac{1608}{2}\right)^2-1034\times1608\cos180°+2054^2}$ $=2756\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
r_n	r_1	$r_n=h_1r_n/H$	$r_1=1160\times2067/2054=1167\text{mm}$
	r_2		$r_2=1160\times2097/2054=11184\text{mm}$
	r_3		$r_3=1160\times2181/2054=1232\text{mm}$
	r_4		$r_4=1160\times2302/2054=1300\text{mm}$
	r_5		$r_5=1160\times2436/2054=1376\text{mm}$
	r_6		$r_6=1160\times2563/2054=1447\text{mm}$
	r_7		$r_7=1160\times2666/2054=1506\text{mm}$
	r_8		$r_8=1160\times2733/2054=1543\text{mm}$
	r_9		$r_9=1160\times2756/2054=1556\text{mm}$
y		$y=D_1\sin(180°/n)$	$y=1608\times\sin11.25°=314\text{mm}$

3）锐角斜圆台的展开计算。锐角斜圆台构件形体如图 3-28 所示。已知圆锥底大端直径 $D=1820\text{mm}$，小端直径 $d=1020\text{mm}$，圆锥台高度 $h=894\text{mm}$，两端口偏心距 $b=220\text{mm}$，板厚 $\delta=14\text{mm}$，要求将其圆周等分为 $n=16$ 份，试求各展开素线长度。

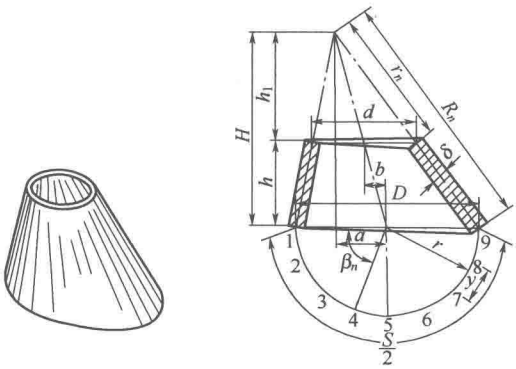


图 3-28　锐角斜圆台

钝角斜圆锥管展开计算原理图如图 3-29 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-16。

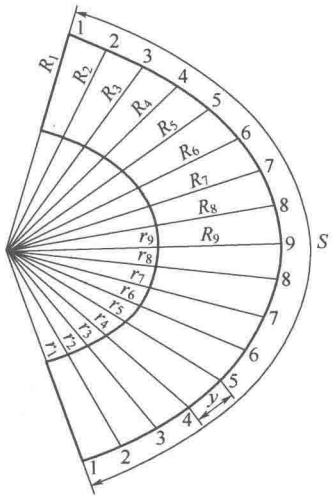


图 3-29　锐角斜圆锥管展开计算原理图

表 3-16　直角斜圆锥管展开计算

展开素线		公式	计算
D_1		$D_1=D-\delta$	$D_1=1820-14=1806$mm
d_1		$d_1=d-\delta$	$d_1=1020-14=1006$mm
H		$H=D_1h/(D_1-d_1)$	$H=1806\times894/(1806-1006)=2018$mm
h_1		$h_1=H-h$	$h_1=2018-894=1124$mm
a		$a=Hb/h$	$a=2018\times220/894=497$mm
β_n	β_1	$\beta_n=(n-1)\times360°/n$ $(n=1,2,3,\cdots,n/2+1)$	$\beta_1=360°/16\times(1-1)=0°$
	β_2		$\beta_2=360°/16\times(2-1)=22.5°$
	β_3		$\beta_3=360°/16\times(3-1)=50°$
	β_4		$\beta_4=360°/16\times(4-1)=67.5°$
	β_5		$\beta_5=360°/16\times(5-1)=90°$
	β_6		$\beta_6=360°/16\times(6-1)=112.5°$
	β_7		$\beta_7=360°/16\times(7-1)=135°$
	β_8		$\beta_8=360°/16\times(8-1)=157.5°$
	β_9		$\beta_9=360°/16\times(9-1)=180°$

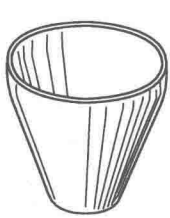
续表

展开素线		公式	计算
R_n	R_1	$R_n=\sqrt{a^2+\left(\frac{d_1}{2}\right)^2-ad_1\cos\beta_n+H^2}$	$R_1=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos0°+2018^2}$ $=2064\text{mm}$
	R_2		$R_2=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos22.5°+2018^2}$ $=2081\text{mm}$
	R_3		$R_3=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos50°+2018^2}$ $=2142\text{mm}$
	R_4		$R_4=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos67.5°+2018^2}$ $=2198\text{mm}$
	R_5		$R_5=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos90°+2018^2}$ $=2277\text{mm}$
	R_6		$R_6=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos112.5°+2018^2}$ $=2353\text{mm}$
	R_7		$R_7=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos135°+2018^2}$ $=2416\text{mm}$
	R_8		$R_8=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos157.5°+2018^2}$ $=2457\text{mm}$
	R_9		$R_9=\sqrt{497^2+\left(\frac{1860}{2}\right)^2-497\times1860\cos180°+2018^2}$ $=2472\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
r_n	r_1	$r_n=h_1R_n/H$	$r_1=1124\times2064/2018=1150\text{mm}$
	r_2		$r_2=1124\times2081/2018=1159\text{mm}$
	r_3		$r_3=1124\times2142/2018=1193\text{mm}$
	r_4		$r_4=1124\times2198/2018=1224\text{mm}$
	r_5		$r_5=1124\times2277/2018=1268\text{mm}$
	r_6		$r_6=1124\times2353/2018=1311\text{mm}$
	r_7		$r_7=1124\times2416/2018=1346\text{mm}$
	r_8		$r_8=1124\times2457/2018=1369\text{mm}$
	r_9		$r_9=1124\times2472/2018=1377\text{mm}$
y		$y=D_1\sin180°/n$	$y=1806\times\sin11.25°=352\text{mm}$

(6) 折边正锥体展开计算　折边正锥体构件形体如图 3-30 所示。已知圆锥底大端直径 $D=2028\text{mm}$，小端直径 $d=881\text{mm}$，直边高 $h_1=40\text{mm}$，锥体不计直边高度 $H=1225\text{mm}$，弧中半径 $n_1=330\text{mm}$，折边区间夹角 $\omega=30°$，板厚 $\delta=14\text{mm}$，试求各展开素线长度。



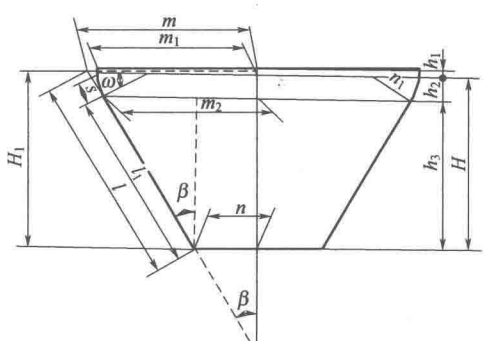


图 3-30　折边正锥体

折边正锥体展开计算原理图如图 3-31 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-17。

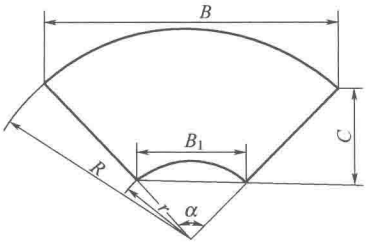


图 3-31　折边正锥体展开计算原理图

表 3-17　折边正锥体展开计算

展开素线	公式	计算
S	$S=\pi(n_1+\delta/2)\omega/180^\circ$	$S=3.14(330+14/2)30^\circ/180^\circ=176.4$mm
D_1	$D_1=D-\delta$	$D_1$2028−14=2014mm
d_1	$d_1=d-\delta$	$d_1=881-14=867$mm
m_2	$m_2=D_1/2-(n_1+\delta/2)+(n_1+\delta/2)\cos\omega$	$m_2=014/2-337-337\cos30^\circ=1062$mm
h_2	$h_2=(n_1+\delta/2)\cos\omega$	$h_2=337\cos30^\circ=168.5$mm
h_3	$h_3=H-h_2$	$h_3=1225-168.5=1086.5$mm
β	$\beta=\arctan(m_2-d_1/2)/h_3$	$\beta=\arctan(1062-867/2)/1086.5=30^\circ$
l_1	$l_1=h_3/\cos\beta$	$l_1=1056.5/\cos30^\circ=1225$mm
l	$l=l_1+S+h_1$	$l=1225+176.4+40=1471.4$mm
m	$m=l\sin\beta+d_1/2$	$m=1471.4\sin30^\circ+867/2=1169.25$mm
H_1	$H_1=l\cos\beta$	$H_1=1471.4\times\cos30^\circ=1274.4$mm
R	$R=m/\sin\beta$	$R=1169.25/\sin30^\circ=2339$mm
r	$r=d_1/2\sin\beta$	$r=867/2\sin30^\circ=867$mm
α	$\alpha=360^\circ m/R$	$\alpha=360^\circ\times1169.25/2339=179.96^\circ$
B	$B=2R\sin\alpha/2$	$B=2\times2339\sin30^\circ/2=1210.76$mm
B_1	$B_1=2r\sin\alpha/2$	$B_1=2\times867\sin30^\circ/2=448.79$mm
C	$C=(R-r)\cos\alpha/2$	$C=(2339-867)\cos30^\circ/2=1421.84$mm

3.3.1.2 棱锥的展开计算

(1) 三棱锥的展开计算

1) 正三棱锥的展开计算。正三棱锥构件形体如图 3-32 所示。已知正三棱锥底边边长 $A=600\text{mm}$，棱锥高度 $H=800\text{mm}$，试求各展开素线长度。

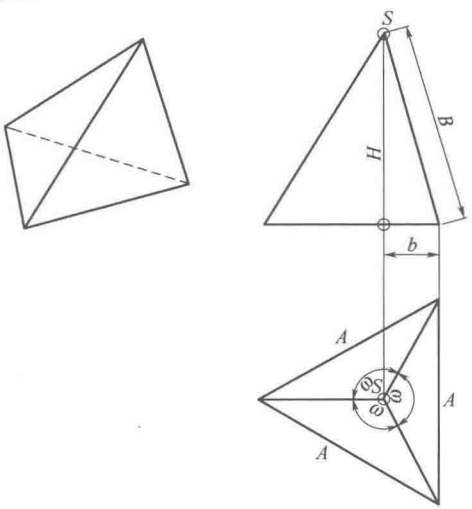


图 3-32 正三棱锥

正三棱锥展开计算原理图如图 3-33 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-18。

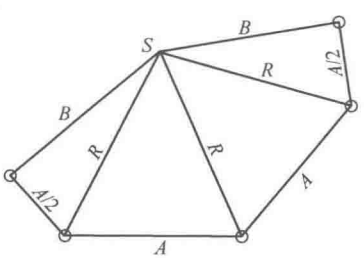


图 3-33 正三棱锥展开计算原理图

2) 正三棱锥台的展开计算。正三棱锥台构件的形体如图 3-34 所示。已知正三棱锥底边边长 $A_1=600\text{mm}$，顶边长度 $A_2=300\text{mm}$，棱锥台高度 $H=500\text{mm}$，试求各展开素线长度。

表 3-18　正三棱锥展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/3=120°$
b	$b=\dfrac{A}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b=\dfrac{600}{2\tan\dfrac{120°}{2}}=173.2\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+b^2}$	$B=\sqrt{800^2+173.2^2}=818.5\text{mm}$
R	$R=\sqrt{H^2+(\dfrac{A}{2})^2+b^2}$	$R=\sqrt{800^2+\left(\dfrac{600}{2}\right)^2+173.2^2}=871.8\text{mm}$

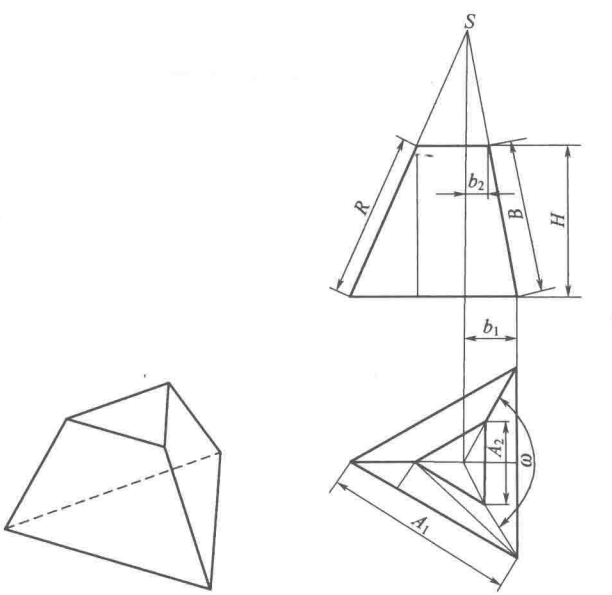


图 3-34　正三棱锥台

正三棱锥台展开计算原理图如图 3-35 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-19。

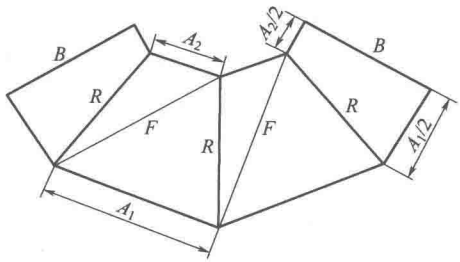


图 3-35　正三棱锥台展开计算原理图

表 3-19　正三棱锥台展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/3=120°$
b_1	$b_1=\dfrac{A_1}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_1=\dfrac{600}{2\tan\dfrac{120°}{2}}=173.2\text{mm}$
b_2	$b_2=\dfrac{A_2}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_2=\dfrac{300}{2\tan\dfrac{120°}{2}}=86.6\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+(b_1-b_2)^2}$	$B=\sqrt{500^2+(173.2-86.6)^2}=507.4\text{mm}$
R_0	$R_0=\dfrac{b_1-b_2}{\cos\dfrac{\omega}{2}}$	$R_0=\dfrac{173.2-86.6}{\cos\dfrac{120°}{2}}=173.2\text{mm}$
R	$R=\sqrt{R_0^2+H^2}$	$R=\sqrt{173.2^2+500^2}=529\text{mm}$
E	$E=(A_1-A_2)/2$	$E=(600-300)/2=150\text{mm}$
F_0	$F_0=\sqrt{(b_1-b_2)^2+(A_1-E)^2}$	$F_0=\sqrt{(173.2-86.6)^2+(600-150)^2}=458.18\text{mm}$
F	$F=\sqrt{F_0^2+H^2}$	$F=\sqrt{458.16^2+500^2}=678.2\text{mm}$

（2）四棱锥的展开计算

1）正四棱锥的展开计算。正四棱锥构件的形体如图 3-36 所示。已知正四棱锥底边边长 $A=1000\text{mm}$，棱锥高度 $H=$

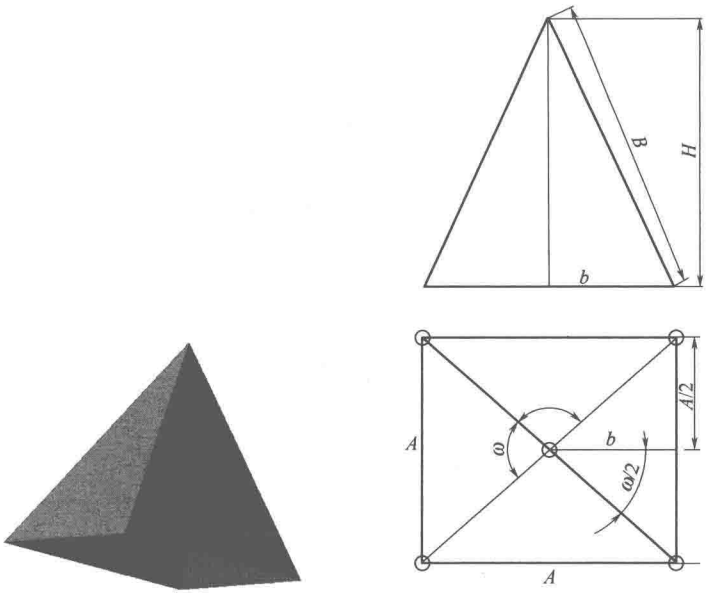


图 3-36　正四棱锥

1200mm，试求各展开素线长度。

正四棱锥展开计算原理图如图 3-37 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-20。

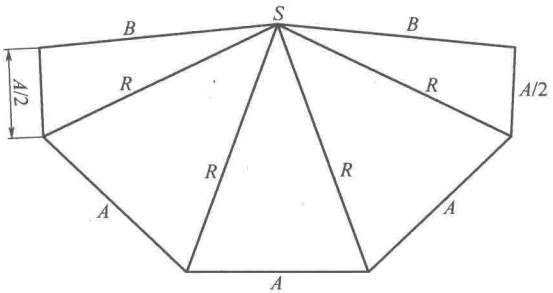


图 3-37　正四棱锥展开计算原理图

2）正四棱锥台的展开计算。正四棱锥台构件的形体如图 3-38 所示。已知正四棱锥台底边边长 $A_1=500\text{mm}$，顶边边长 $A_2=300\text{mm}$，棱锥台高度 $H=350\text{mm}$，试求各展开素线长度。

表 3-20　正四棱锥展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/4=90°$
b_1	$b_1=\dfrac{A_1}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_1=\dfrac{1000}{2\tan\dfrac{90°}{2}}=500\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+b^2}$	$B=\sqrt{1200^2+500^2}=1300\text{mm}$
R	$R=\sqrt{H^2+\left(\dfrac{A}{2}\right)^2+b^2}$	$R=\sqrt{1200^2+\left(\dfrac{1000}{2}\right)^2+500^2}=1392.5\text{mm}$

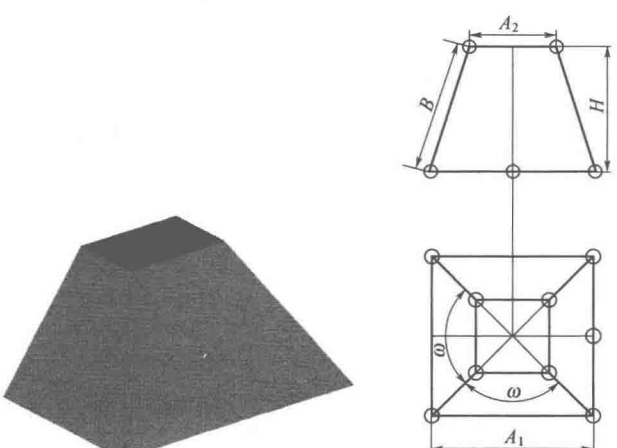


图 3-38　正四棱锥台

正四棱锥台展开计算原理图如图 3-39 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-21。

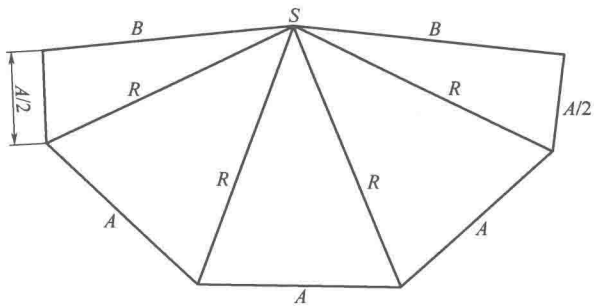


图 3-39　正四棱锥台展开计算原理图

表 3-21　正四棱锥台展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/4=90°$
b_1	$b_1=\dfrac{A_1}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_1=\dfrac{500}{2\tan\dfrac{90°}{2}}=250\text{mm}$
b_2	$b_2=\dfrac{A_2}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_2=\dfrac{300}{2\tan\dfrac{90°}{2}}=150\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+(b_1-b_2)^2}$	$B=\sqrt{350^2+(250-150)^2}=364\text{mm}$
R_0	$R_0=\dfrac{b_1-b_2}{\cos\dfrac{\omega}{2}}$	$R_0=\dfrac{250-150}{\cos\dfrac{90°}{2}}=141.42\text{mm}$
R	$R=\sqrt{R_0{}^2+H^2}$	$R=\sqrt{141.42^2+350^2}=377.49\text{mm}$
F_0	$F_0=\sqrt{(b_1-b_2)^2+\left(A_1-\dfrac{A_1-A_2}{2}\right)^2}$	$F_0=\sqrt{(250-150)^2+\left(500-\dfrac{500-300}{2}\right)^2}=412.31\text{mm}$
F	$F=\sqrt{F_0^2+H^2}$	$F=\sqrt{412.31^2+350^2}=540.8\text{mm}$

(3) 五棱锥的展开计算

1) 正五棱锥的展开计算。正五棱锥构件形体如图 3-40 所示，已知正五棱锥底边边长 $A=400\text{mm}$，棱锥台高度 $H=600\text{mm}$，试求各展开素线长度。

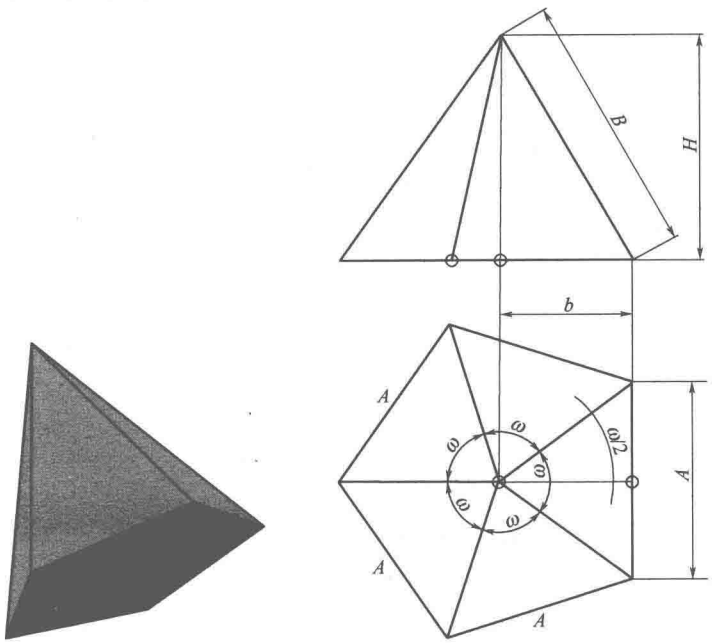


图 3-40　正五棱锥

正五棱锥展开计算原理图如图 3-41 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-22。

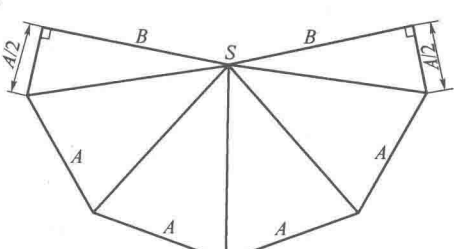


图 3-41　正五棱锥展开计算原理图

表 3-22　正五棱锥展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/5=72°$
b	$b=\dfrac{A}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b=\dfrac{400}{2\tan\dfrac{72°}{2}}=275.28\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+b^2}$	$B=\sqrt{600^2+275.28^2}=660.1\text{mm}$
R	$R=\sqrt{H^2+\left(\dfrac{A}{2}\right)^2+b^2}$	$R=\sqrt{600^2+\left(\dfrac{400}{2}\right)^2+275.28^2}=689.8\text{mm}$

2）五棱锥台的展开计算。五棱锥台构件形体如图 3-42 所示。已知五棱锥台底边边长 $A_1=600\text{mm}$，顶边边长 $A_2=300\text{mm}$，棱锥台高度 $H=350\text{mm}$，试求各展开素线长度。

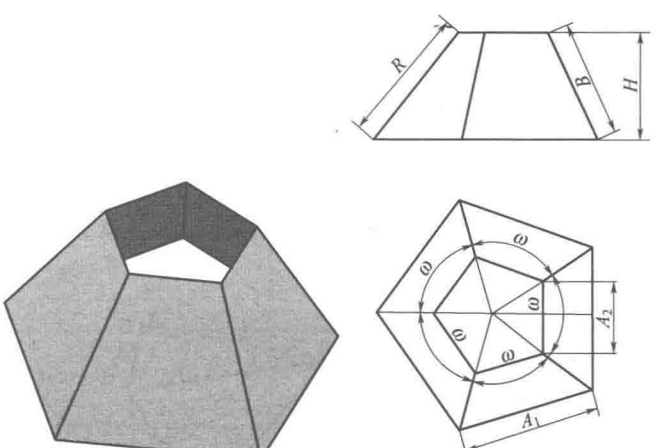


图 3-42　五棱锥台

五棱锥台展开计算原理图如图 3-43 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-23。

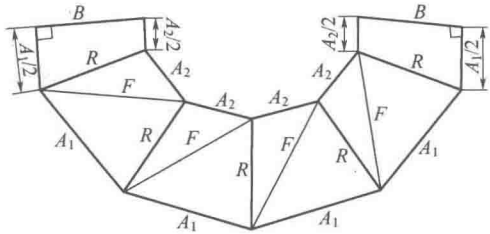


图 3-43　五棱锥台展开计算原理图

表 3-23　五棱锥台展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/5=72°$
b_1	$b_1=\dfrac{A_1}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_1=\dfrac{600}{2\tan\dfrac{72°}{2}}=412.91\text{mm}$
b_2	$b_2=\dfrac{A_2}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_2=\dfrac{300}{2\tan\dfrac{72°}{2}}=206.46\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+(b_1-b_2)^2}$	$B=\sqrt{350^2+(412.91-206.46)^2}=406.4\text{mm}$
R_0	$R_0=\dfrac{b_1-b_2}{\cos\dfrac{\omega}{2}}$	$R_0=\dfrac{412.91-206.46}{\cos\dfrac{72°}{2}}=255.19\text{mm}$
R	$R=\sqrt{R_0^2+H^2}$	$R=\sqrt{255.19^2+350^2}=433.2\text{mm}$
F_0	$F_0=\sqrt{(b_1-b_2)^2+\left(A_1-\dfrac{A_1-A_2}{2}\right)^2}$	$F_0=\sqrt{(412.91-206.46)^2+\left(600-\dfrac{600-300}{2}\right)^2}=495.1\text{mm}$
F	$F=\sqrt{F_0^2+H^2}$	$F=\sqrt{495.1^2+350^2}=606.3\text{mm}$

（4）六棱锥的展开计算

1）正六棱锥的展开计算。正六棱锥构件形体如图 3-44 所示。已知正五棱锥底边边长 $A=500\text{mm}$，棱锥台高度 $H=600\text{mm}$，试

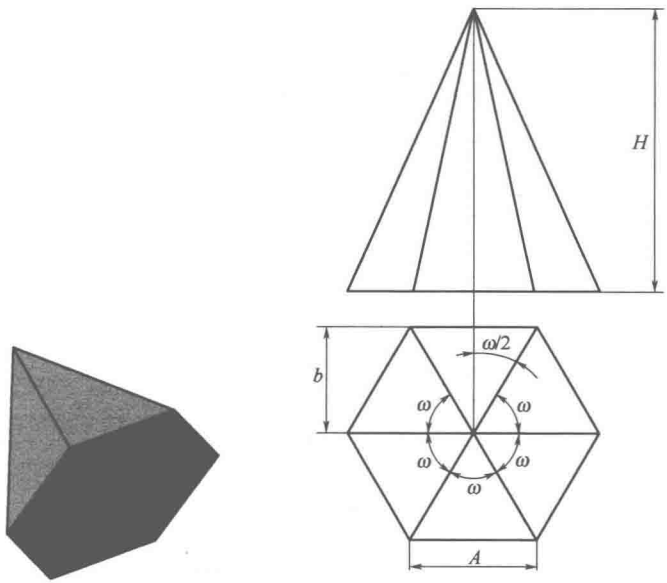


图 3-44　正六棱锥

求各展开素线长度。

正六棱锥展开计算原理图如图 3-45 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-24。

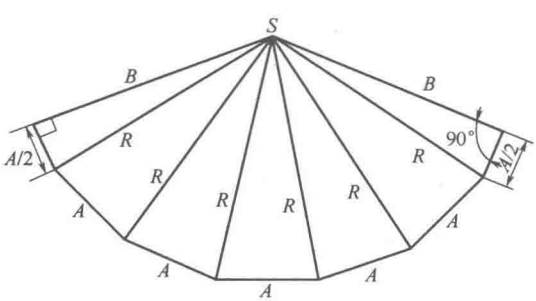


图 3-45　正六棱锥展开计算原理图

2）六棱锥台的展开计算。六棱锥台构件形体如图 3-46 所示。已知五棱锥台底边边长 $A_1=600\text{mm}$，顶边边长 $A_2=400\text{mm}$，棱锥台高度 $H=500\text{mm}$，试求各展开素线长度。

表 3-24　正六棱锥展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/6=60°$
b	$b=\dfrac{A}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b=\dfrac{600}{2\tan\dfrac{60°}{2}}=433\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+b^2}$	$B=\sqrt{600^2+433^2}=739.9\text{mm}$
R	$R=\sqrt{H^2+\left(\dfrac{A}{2}\right)^2+b^2}$	$R=\sqrt{600^2+\left(\dfrac{500}{2}\right)^2+433^2}=781\text{mm}$

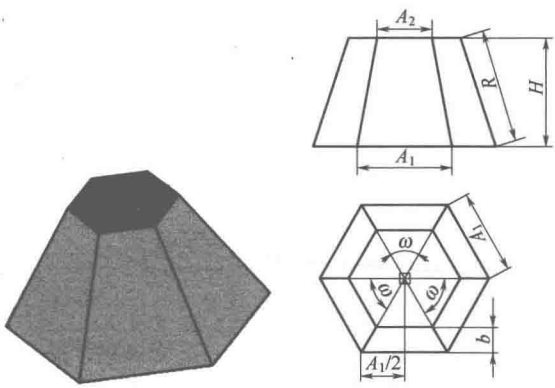


图 3-46　六棱锥台

六棱锥台展开计算原理图如图 3-47 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-25。

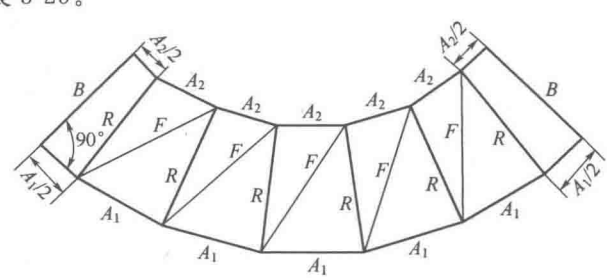


图 3-47　六棱锥台展开计算原理图

表 3-25　六棱锥台展开计算

展开素线	公式	计算
ω	$\omega=360°/n$ n——棱锥底的边数	$\omega=360°/6=60°$
b_1	$b_1=\dfrac{A_1}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_1=\dfrac{600}{2\tan\dfrac{60°}{2}}=519.6\text{mm}$
b_2	$b_2=\dfrac{A_2}{2\tan\dfrac{\omega}{2}}$	$b_2=\dfrac{400}{2\tan\dfrac{60°}{2}}=692.8\text{mm}$
B	$B=\sqrt{H^2+(b_1-b_2)^2}$	$B=\sqrt{500^2+(519.6-692.8)^2}=529.2\text{mm}$
R_0	$R_0=\dfrac{b_1-b_2}{\cos\dfrac{\omega}{2}}$	$R_0=\dfrac{519.6-692.8}{\cos\dfrac{60°}{2}}=-200\text{mm}$
R	$R=\sqrt{R_0^2+H^2}$	$R=\sqrt{(-200)^2+500^2}=538.5\text{mm}$
F_0	$F_0=\sqrt{(b_1-b_2)^2+\left(A_1-\dfrac{A_1-A_2}{2}\right)^2}$	$F_0=\sqrt{(519.6-692.8)^2+\left(600-\dfrac{600-400}{2}\right)^2}=529.14\text{mm}$
F	$F=\sqrt{F_0^2+H^2}$	$F=\sqrt{529.14^2+500^2}=728\text{mm}$

3.3.2　三通与弯头的展开计算

3.3.2.1　三通的展开计算

(1) 等径三通的展开计算

1) 正交 90°等径三通的展开计算。正交 90°等径三通如图 3-48 所示。已知管子外径 $D=325\text{mm}$，管子壁厚 $\delta=8\text{mm}$，管子等分数 $n=12$。计算展开素线值。

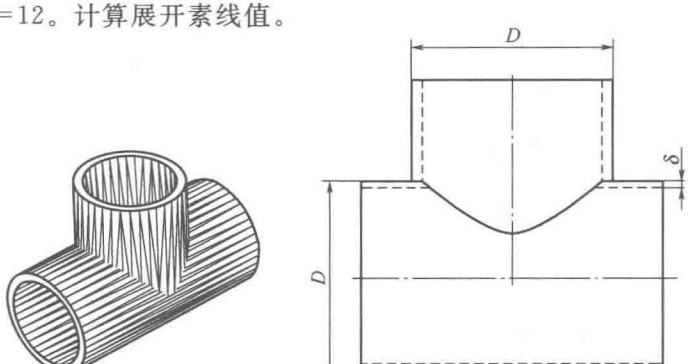


图 3-48　正交 90°等径三通

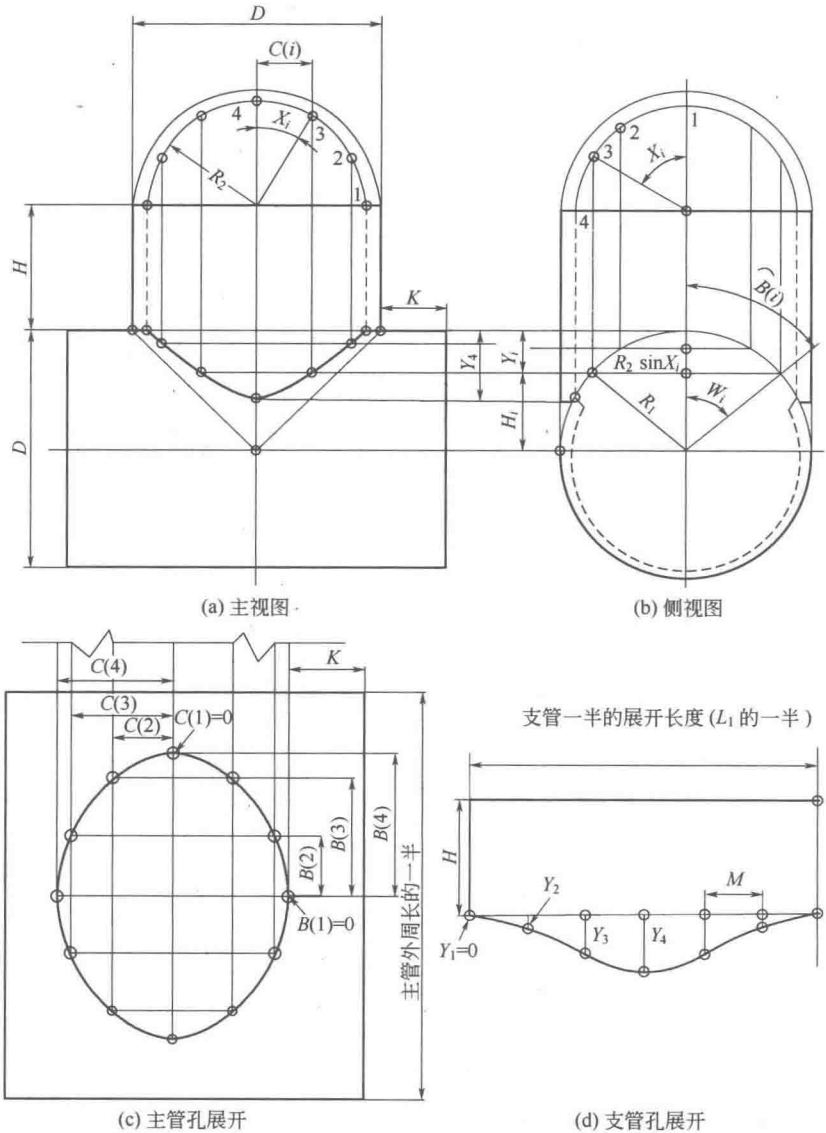


图 3-49　正交 90°等径三通展开计算原理图

正交 90°等径三通展开计算原理图如图 3-49 所示。各素线的展开值计算见表 3-26。

表 3-26　正交 90°等径三通展开计算

展开素线		公式	计算
R_1		$R_1=D/2$	$R_1=325/2=162.5$mm
R_2		$R_2=R_1-\delta$	$R_2=162.5-8=154.5$mm
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/n$ $(i=1,2,\cdots,n/4+1)$	$X_1=(1-1)\times360°/12=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/12=30°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/12=60°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/12=90°$
Y_i	Y_1	$Y_i=R_1-\sqrt{R_1^2-(R_2\sin X_i)^2}$	$Y_1=162.5-\sqrt{162.5^2-(154.5\times\sin0°)^2}$ $=0$mm
	Y_2		$Y_2=162.5-\sqrt{162.5^2-(154.5\times\sin30°)^2}$ $=19.5$mm
	Y_3		$Y_3=162.5-\sqrt{162.5^2-(154.5\times\sin60°)^2}$ $=70.3$mm
	Y_4		$Y_4=162.5-\sqrt{162.5^2-(154.5\times\sin90°)^2}$ $=112.1$mm
C_i	C_1	$C_i=R_2\sin X_i$	$C_1=154.5\times\sin0°=0$mm
	C_2		$C_2=154.5\times\sin30°=77.25$mm
	C_3		$C_3=154.5\times\sin60°=133.8$mm
	C_4		$C_4=154.5\times\sin90°=154.5$mm
W_i	W_1	$W_i=\arcsin[(R_2\sin X_i)/R_1]$	$W_1=\arcsin[(154.5\times\sin0°)/162.5]=0°$
	W_2		$W_2=\arcsin[(154.5\times\sin30°)/162.5]=28.38°$
	W_3		$W_3=\arcsin[(154.5\times\sin60°)/162.5]=55.43°$
	W_4		$W_4=\arcsin[(154.5\times\sin90°)/162.5]=71.95°$
B_i	B_1	$B_i=(\pi W_i R_1)/180°$	$B_1=(3.14\times0°\times162.5)/180°=0$mm
	B_2		$B_2=(3.14\times30°\times162.5)/180°=80.5$mm
	B_3		$B_3=(3.14\times60°\times162.5)/180°=157.5$mm
	B_4		$B_4=(3.14\times90°\times162.5)/180°=204.1$mm
L		$L=\pi(D-\delta)$	$L=3.14\times(325-8)=995.38$mm
L_1		$L_1=\pi(D+1)$	$L_1=3.14\times(325+1)=1023.64$mm
M		$M=L_1/n$	$M=1023.64/12=85.31$mm

注：X_i 为等分对应点的圆心角；Y_i 为支管展开素线长度；C_i 为主管孔宽；B_i 为主管孔展开长；L 为管中心径展形长度；L_1 为管外径加 1mm 样板厚展开长度；M 为 L_1 的每等分距离。

2）斜交等径三通的展开计算。斜交等径三通构件形体如图 3-50所示。已知管子外径 $D=325$mm，两节管子斜面交角度 $B=60°$，管子等分数 $n=16$。计算展开素线值。

斜交等径三通展开计算原理图如图 3-51 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-27。

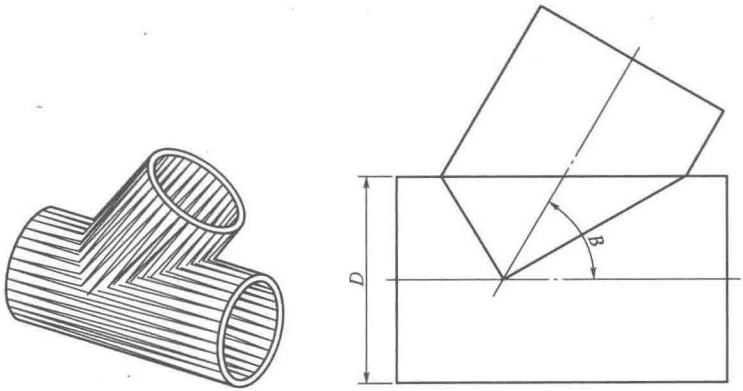


图 3-50　斜交等径三通

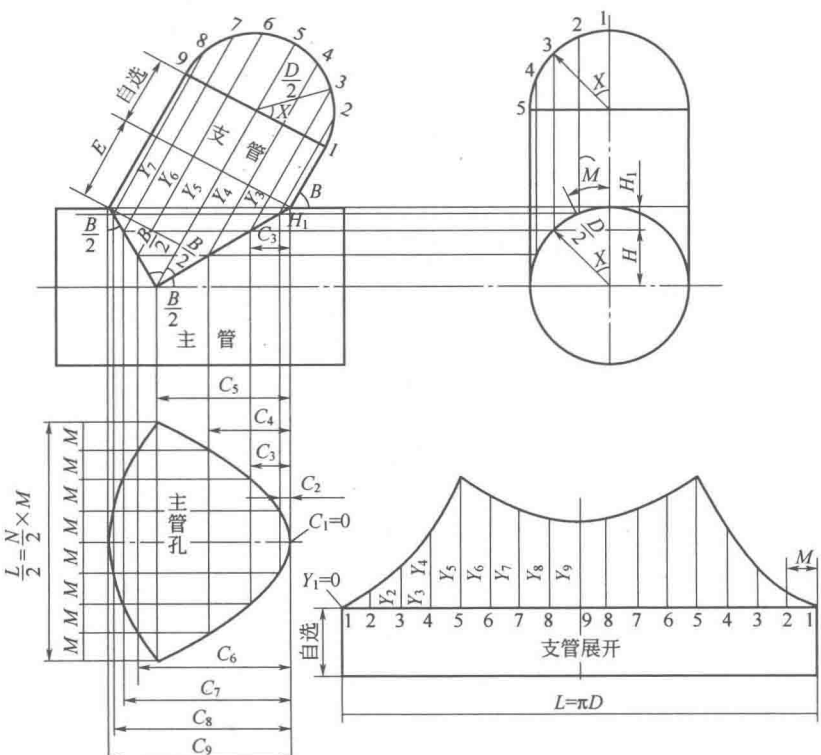


图 3-51　斜交等径三通展开计算原理图

表 3-27　斜交等径三通展开计算

展开素线		公式	计算
R		$R=D/2$	$R=325/2=162.5\text{mm}$
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/n$ $(i=1,2,\cdots,n/2+1)$	$X_1=(1-1)\times360°/16=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/16=22.5°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/16=45°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/16=67.5°$
	X_5		$X_5=(5-1)\times360°/16=90°$
	X_6		$X_6=(6-1)\times360°/16=112.5°$
	X_7		$X_7=(7-1)\times360°/16=135°$
	X_8		$X_8=(8-1)\times360°/16=157.5°$
	X_9		$X_9=(9-1)\times360°/16=180°$
Y_i	Y_1	当 $X_i\leqslant90°$ 时： $Y_i=R(1-\cos X_i)/\tan(B/2)$ $(i=1,2,3,4,5)$ 当 $X_i>90°$ 时： $Y_i=E+R(1+R\cos X_i)\tan(B/2)$ $(i=6,7,8,9)$	$Y_1=162.5\times(1-\cos0°)/\tan30°=0\text{mm}$
	Y_2		$Y_2=162.5\times(1-\cos22.5°)/\tan30°=21.4\text{mm}$
	Y_3		$Y_3=162.5\times(1-\cos45°)/\tan30°=82.4\text{mm}$
	Y_4		$Y_4=162.5\times(1-\cos67.5°)/\tan30°=173.7\text{mm}$
	Y_5		$Y_5=162.5\times(1-\cos90°)/\tan30°=281.5\text{mm}$
	Y_6		$Y_6=187.68+162.5\times(1+\cos112.5°)\times\tan30°$ $=245.6\text{mm}$
	Y_7		$Y_7=187.68+162.5\times(1+\cos135°)\times\tan30°$ $=215.1\text{mm}$
	Y_8		$Y_8=187.68+162.5\times(1+\cos157.5°)\times\tan30°$ $=194.8\text{mm}$
	Y_9		$Y_9=187.68+162.5\times(1+\cos180°)\times\tan30°$ $=187.68\text{mm}$
E		$E=Y(n/4+1)-R\tan(B/2)$	$E=281.5-162.5\times\tan30°=187.68\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
C_i	C_1	$C_i=Y_i=R(1-\cos X_i)/\tan(B/2)$ $(i=1,2,3,4,5)$	$C_1=Y_1=0$mm
	C_2		$C_2=Y_2=21.4$mm
	C_3		$C_3=Y_3=82.4$mm
	C_4		$C_4=Y_4=173.7$mm
	C_5		$C_5=Y_5=281.5$mm
	C_6	$C_i=R/\tan X_i-R\tan(B/2)\cos X_i$ $(i=6,7,8,9)$	$C_6=162.5/\tan30°-162.5\times\tan30°\times\cos112.5°=317.4$mm
	C_7		$C_7=162.5/\tan30°-162.5\times\tan30°\times\cos135°=347.8$mm
	C_8		$C_8=162.5/\tan30°-162.5\times\tan30°\times\cos157.5°=368.1$mm
	C_9		$C_9=162.5/\tan30°-162.5\times\tan30°\times\cos180°=375.3$mm
L		$L=\pi D$	$L=3.14\times325=1020.5$
M		$M=L/n$	$M=1020.5/16=63.78$mm

注：X_i 为等分对应点的圆心角；Y_i 为支管展开素线长度；C_i 为主管孔宽度展开素线长度；L 为圆周长；M 为周长等分值。

(2) 异径三通的展开计算

1) 正交 90°异径三通的展开计算。正交 90°异径三通构件形体如图 3-52 所示。已知三通主管外径 $D=720$mm，支管外径 $D_1=580$mm，支管壁厚 $\delta=8$mm，等分数 $n=16$。计算展开素线值。

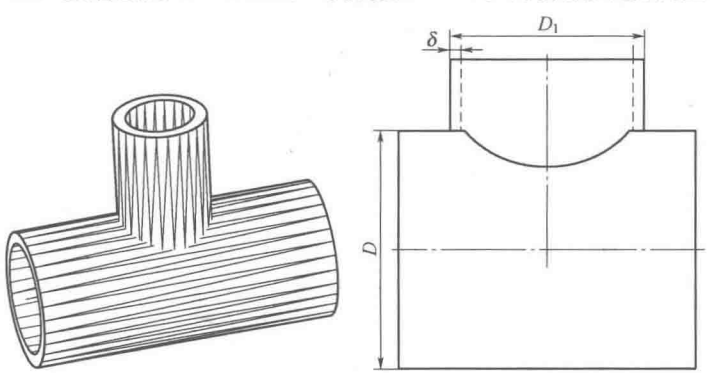
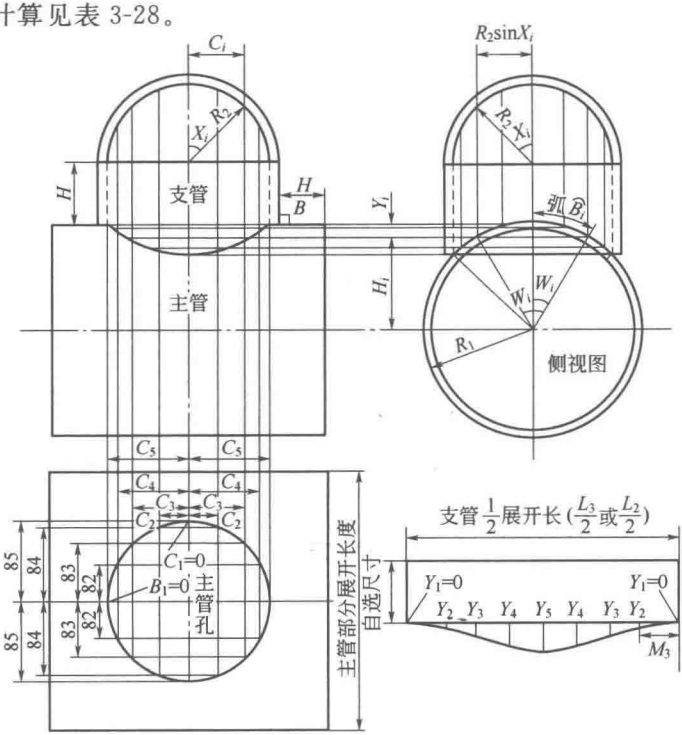


图 3-52　正交 90°异径三通

正交 90°异径三通展开计算原理图如图 3-53 所示。各素线的展开值计算见表 3-28。



(H、K 为自选取尺寸)

图 3-53　正交 90°异径三通展开计算原理图

表 3-28　正交 90°异径三通展开计算

展开素线		公式	计算
R		$R=D/2$	$R=720/2=360$mm
R_1		$R_1=(D_1-2\delta)/2$	$R_1=(580-2\times8)/2=282$mm
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/n$ ($i=1,2,\cdots,n/4+1$)	$X_1=(1-1)\times360°/16=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/16=22.5°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/16=45°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/16=67.5°$
	X_5		$X_5=(5-1)\times360°/16=90°$
	X_6		$X_6=(6-1)\times360°/16=112.5°$
	X_7		$X_7=(7-1)\times360°/16=135°$
	X_8		$X_8=(8-1)\times360°/16=157.5°$
	X_9		$X_9=(9-1)\times360°/16=180°$

续表

展开素线		公式	计算
Y_i	Y_1	$Y_i=R-\sqrt{R^2-(R_1\times\sin X_i)^2}$ 由于三通支管与主管相贯线是左右、前后对称的，因此只计算四分之一圆周等分点的展开素线长度即可	$Y_1=360-\sqrt{360^2-(282\times\sin0°)^2}=0\text{mm}$
	Y_2		$Y_2=360-\sqrt{360^2-(282\times\sin22.5°)^2}=16.6\text{mm}$
	Y_3		$Y_3=360-\sqrt{360^2-(282\times\sin45°)^2}=60.3\text{mm}$
	Y_4		$Y_4=360-\sqrt{360^2-(282\times\sin67.5°)^2}=111.6\text{mm}$
	Y_5		$Y_5=360-\sqrt{360^2-(282\times\sin90°)^2}=136.2\text{mm}$
	Y_6		$Y_6=Y_4=111.6\text{mm}$
	Y_7		$Y_7=Y_3=60.3\text{mm}$
	Y_8		$Y_8=Y_2=16.6\text{mm}$
	Y_9		$Y_9=Y_1=0\text{mm}$
C_i	C_1	$C_i=R_1\sin X_i$	$C_1=Y_1=0\text{mm}$
	C_2		$C_2=Y_2=21.4\text{mm}$
	C_3		$C_3=Y_3=82.4\text{mm}$
	C_4		$C_4=Y_4=173.7\text{mm}$
	C_5		$C_5=Y_5=281.5\text{mm}$
W_i	W_1	$W_i=\arcsin[(R_1\sin X_i)/R]$	$W_1=\arcsin[(282\times\sin0°)/360]=0°$
	W_2		$W_2=\arcsin[(282\times\sin22.5°)/360]=17.44°$
	W_3		$W_3=\arcsin[(282\times\sin45°)/360]=33.63°$
	W_4		$W_4=\arcsin[(282\times\sin67.5°)/360]=46.36°$
	W_5		$W_5=\arcsin[(282\times\sin90°)/360]=51.57°$
B_i	B_1	$B_i=(\pi W_i R)/180°$	$B_1=(3.14\times0°\times360)/180°=0\text{mm}$
	B_2		$B_2=(3.14\times17.44°\times360)/180°=109.5\text{mm}$
	B_3		$B_3=(3.14\times3.63°\times360)/180°=211.3\text{mm}$
	B_4		$B_4=(3.14\times46.36°\times360)/180°=291.3\text{mm}$
	B_5		$B_5=(3.14\times51.57°\times360)/180°=324\text{mm}$
L_1		$L_1=\pi(D-\delta)$	$L_1=3.14\times(720-8)=2235.68\text{mm}$
L_2		$L_2=\pi(D_1-\delta)$	$L_2=3.14\times(580-8)=1796.08\text{mm}$
L_3		$L_3=\pi(D_1+1)$	$L_3=3.14\times(580+1)=1824.34\text{mm}$
M_3		$M_3=L_3/n$	$M_3=1824.34/16=114.02\text{mm}$

注：X_i 为等分对应点的圆心角；Y_i 为支管展开素线高度；C_i 为主管孔等分点宽度；B_i 为主管孔等分点长度；L_1 为主管展开长度；L_2 为支管中心径展开长度；L_3 支为管外径加 1mm 样板厚展开长度；M_3 为支管展开的每等分值。

2）斜交异径三通的展开计算。斜交异径三通构件形体如图3-54所示。已知三通主管外径 $D=500\text{mm}$，支管外径 $D_1=450\text{mm}$，两节管子斜面交角度 $B=60°$，管子等分数 $n=12$。计算展开素线值。

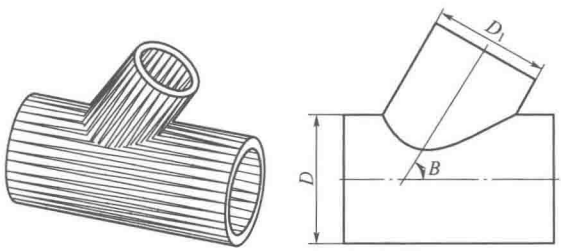


图 3-54　斜交异径三通

斜交异径三通展开计算原理图如图 3-55 所示。各素线的展开值计算见表 3-29。

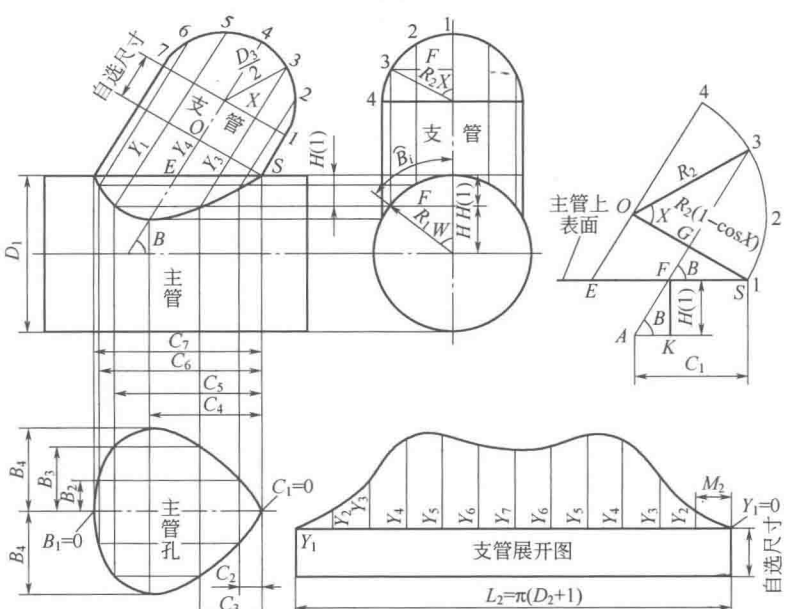


图 3-55　斜交异径三通展开计算原理图

表 3-29　斜交异径三通展开计算

展开素线		公式	计算
R		$R=D/2$	$R=500/2=250\text{mm}$
R_1		$R_1=D_1/2$	$R_1=450/2=225\text{mm}$
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/n$ $(i=1,2,3,\cdots,n/2+1)$	$X_1=(1-1)\times360°/12=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/12=30°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/12=60°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/12=90°$
	X_5		$X_5=(5-1)\times360°/12=120°$
	X_6		$X_6=(6-1)\times360°/12=150°$
	X_7		$X_7=(7-1)\times360°/12=180°$
F_i	F_1	$F_i=R_1\sin X_i$	$F_1=225\times\sin0°=0\text{mm}$
	F_2		$F_2=225\times\sin30°=112.5\text{mm}$
	F_3		$F_3=225\times\sin60°=194.86\text{mm}$
	F_4		$F_4=225\times\sin90°=225\text{mm}$
	F_5		$F_5=225\times\sin120°=194.86\text{mm}=F_3$
	F_6		$F_6=225\times\sin150°=112.5\text{mm}=F_2$
	F_7		$F_7=225\times\sin180°=0\text{mm}=F_1$
H_i	H_1	$H_i=\sqrt{R^2-F_i^2}$	$H_1=\sqrt{250^2-0^2}=250\text{mm}$
	H_2		$H_2=\sqrt{250^2-112.5^2}=223.26\text{mm}$
	H_3		$H_3=\sqrt{250^2-194.86^2}=156.62\text{mm}$
	H_4		$H_4=\sqrt{250^2-225^2}=108.97\text{mm}$
	H_5		$H_5=\sqrt{250^2-194.86^2}=156.62\text{mm}$
	H_6		$H_6=\sqrt{250^2-112.5^2}=223.26\text{mm}$
	H_7		$H_7=\sqrt{250^2-0^2}=250\text{mm}$
Z_i	Z_1	$Z_i=R-H_i$	$Z_1=250-250=0\text{mm}$
	Z_2		$Z_2=250-223.26=26.74\text{mm}$
	Z_3		$Z_3=250-156.62=93.38\text{mm}$
	Z_4		$Z_4=250-108.97=141\text{mm}$
	Z_5		$Z_5=250-156.62=93.38\text{mm}$
	Z_6		$Z_6=250-223.26=26.74\text{mm}$
	Z_7		$Z_7=250-250=0\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
Y_i	Y_1	$Y_i=R_2(1-\cos X_i)/\tan B+Z_i/\sin B$	$Y_1=225\times(1-\cos0°)/\tan60°+0/\sin60°=0\text{mm}$
	Y_2		$Y_2=225\times(1-\cos30°)/\tan60°+26.74/\sin60°=48.3\text{mm}$
	Y_3		$Y_3=225\times(1-\cos60°)/\tan60°+93.38/\sin60°=172.8\text{mm}$
	Y_4		$Y_4=225\times(1-\cos90°)/\tan60°+141/\sin60°=292.7\text{mm}$
	Y_5		$Y_5=225\times(1-\cos120°)/\tan60°+93.38/\sin60°=302.68\text{mm}$
	Y_6		$Y_6=225\times(1-\cos150°)/\tan60°+26.74/\sin60°=273.3\text{mm}$
	Y_7		$Y_7=225\times(1-\cos180°)/\tan60°+0/\sin60°=259.8\text{mm}$
P_i	P_1	$P_i=Z_i/\tan B$	$P_1=0/\tan60°=0\text{mm}$
	P_2		$P_2=26.74/\tan60°=15.4\text{mm}$
	P_3		$P_3=93.38/\tan60°=53.9\text{mm}$
	P_4		$P_4=141/\tan60°=81.4\text{mm}$
	P_5		$P_5=93.38/\tan60°=53.9\text{mm}$
	P_6		$P_6=26.74/\tan60°=15.4\text{mm}$
	P_7		$P_7=0/\tan60°=0\text{mm}$
C_i	C_1	$C_i=P_i+R_2(1-\cos X_i)/\sin B$	$C_1=0+225\times(1-\cos0°)/\sin60°=0\text{mm}$
	C_2		$C_2=15.4+225\times(1-\cos30°)/\sin60°=50.2\text{mm}$
	C_3		$C_3=53.9+225\times(1-\cos60°)/\sin60°=183.8\text{mm}$
	C_4		$C_4=81.4+225\times(1-\cos90°)/\sin60°=341.2\text{mm}$
	C_5		$C_5=53.9+225\times(1-\cos120°)/\sin60°=443.6\text{mm}$
	C_6		$C_6=15.4+225\times(1-\cos150°)/\sin60°=500.2\text{mm}$
	C_7		$C_7=0+225\times(1-\cos180°)/\sin60°=519.6\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
W_i	W_1	$W_i=\arcsin F_i/R$	$W_1=\arcsin 0/250=0°$
	W_2		$W_2=\arcsin 112.5/250=26.74°$
	W_3		$W_3=\arcsin 194.86/250=51.21°$
	W_4		$W_4=\arcsin 225/250=64.16°$
	W_5		$W_5=\arcsin 194.86/250=51.21°$
	W_6		$W_6=\arcsin 112.5/250=26.74°$
	W_7		$W_7=\arcsin 0/250=0°$
B_i	B_1	$B_i=(\pi W_i R)/180°$	$B_1=(3.14\times 0°\times 250)/180°=0\text{mm}$
	B_2		$B_2=(3.14\times 17.44°\times 250)/180°=116.6\text{mm}$
	B_3		$B_3=(3.14\times 3.63°\times 250)/180°=223.4\text{mm}$
	B_4		$B_4=(3.14\times 46.36°\times 250)/180°=279.9\text{mm}$
L_1		$L_1=\pi D_1$	$L_1=3.14\times 500=1570\text{mm}$
L_2		$L_2=\pi(D_2+1)$	$L_2=3.14\times(450+1)=1416.14\text{mm}$
M_2		$M_2=L_2/n$	$M_2=1416.14/12=118.01\text{mm}$

3.3.2.2 弯头的展开计算

(1) 两节直角等径弯头的展开计算　两节直角等径弯头构件形体如图3-56所示。已知管子外径 $D=426\text{mm}$，管子壁厚 $\delta=6\text{mm}$，管子中心线高度 $H=650\text{mm}$，要求将其圆周等分为 $n=12$ 份。

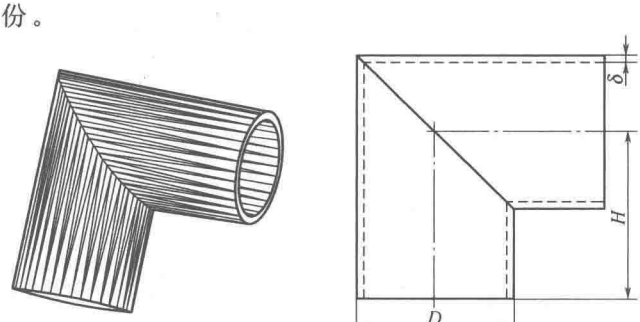


图 3-56　两节直角等径弯头

两节直角等径弯头展开计算原理图如图 3-57 所示。各素线的展开值计算见表 3-30。

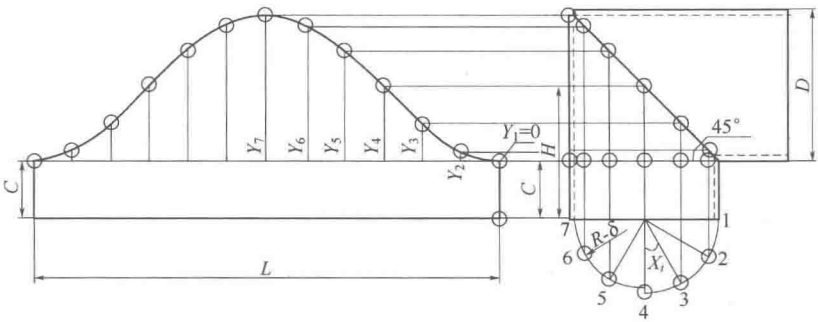


图 3-57　两节直角等径弯头展开计算原理图

表 3-30　两节直角等径弯头展开计算

展开素线		公式	计算
$R(X_i \leqslant 90°)$		$R=D/2$	$R=426/2=213\text{mm}$
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times 360°/n$ $(i=1,2,3,\cdots,n/2+1)$	$X_1=(1-1)\times 360°/12=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times 360°/12=30°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times 360°/12=60°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times 360°/12=90°$
	X_5		$X_5=(5-1)\times 360°/12=120°$
	X_6		$X_6=(6-1)\times 360°/12=150°$
	X_7		$X_7=(7-1)\times 360°/12=180°$
Y_j	Y_1	当 $X_i \leqslant 90°$ 时：$Y_i=D/2(1-\cos X_i)/\tan 45°$ 当 $X_i>90°$ 时：$Y_i=[D/2-(D/2-\delta)(1-\cos X_i)]/\tan 45°$	$Y_1=[213\times(1-\cos 0°)]/\tan 45°=0\text{mm}$
	Y_2		$Y_2=[213\times(1-\cos 30°)]/\tan 45°=28.5\text{mm}$
	Y_3		$Y_3=[213\times(1-\cos 60°)]/\tan 45°=106.5\text{mm}$
	Y_4		$Y_4=[213\times(1-\cos 90°)]/\tan 45°=213\text{mm}$
	Y_5		$Y_5=[213-(213-6)\times(1-\cos 120°)]/\tan 45°=316.5\text{mm}$
	Y_6		$Y_6=[213-(213-6)\times(1-\cos 150°)]/\tan 45°=392.3\text{mm}$
	Y_7		$Y_7=[213-(213-6)(1-\cos 180°)]/\tan 45°=420\text{mm}$

注：X_i 为圆心角在第 i 等分时的角度；Y_i 是展开素线高度；i 是等分点的编号。

(2) 两节变径弯头的展开计算　两节变径弯头构件形体如图 3-58 所示。已知弯头外径 $D_1=800\text{mm}$，$D_2=325\text{mm}$，$H_1=400\text{mm}$，$H_2=600\text{mm}$，弯头两节夹角 $B=120°$，要求将其圆周等分为 $n=16$ 份。计算各展开素线高度。

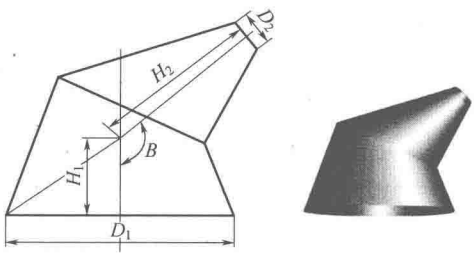


图 3-58　两节变径弯头

两节变径弯头展开计算原理图如图 3-59 所示。各素线的展开值计算见表 3-31。

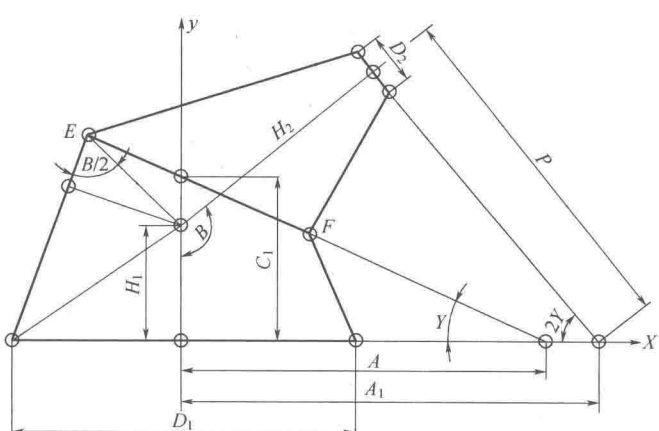


图 3-59

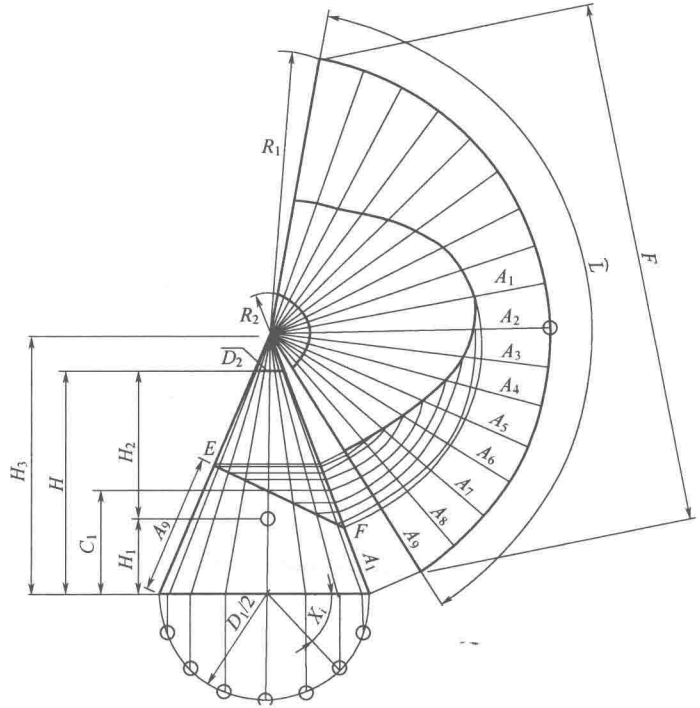


图 3-59　两节变径弯头展开计算原理图

表 3-31　两节变径弯头展开计算

展开素线	公式	计算
H	$H=H_1+H_2$	$H=400+600=1000$mm
H_3	$H_3=HD_1/(D_1-D_2)$	$H_3=(1000\times820)/(820-325)$ $=1656.6$mm
B_0	$B_0=\arctan[2H/(D_1-D_2)]$	$B_0=\arctan[(2\times1000)/(820-325)]$ $=76.1°$
B_1	$B_1=\arctan(2H/D_1)$	$B_1=\arctan[(2\times1000)/820]=67.71°$
C	$C=\sqrt{H_1^2+D_1^2/4}$	$C=\sqrt{400^2+(820/2)^2}=572.8$mm
R_0	$R_0=C\sin(B_0-B_1)$	$R_0=572.8\sin(76.1°-67.71°)=83.6$mm
B_3	$B_3=180°-B_0-B/2$	$B_3=180°-76.1°-120°/2=43.9°$

续表

展开素线		公式	计算
A_2		$A_2=R_0/\sin(B_0/2)$	$A_2=83.6/\sin(76.1°/2)=135.64\text{mm}$
Y		$Y=90°-B/2$	$Y=90°-120°/2=30°$
H_5		$H_5=H_2\sin(B-90°)$	$H_5=600\sin(120°-90°)=300\text{mm}$
H_4		$H_4=H_1+H_5$	$H_4=400+300=700\text{mm}$
P		$P=H_4/\cos(B-90°)$	$P=700/\cos(120°-90°)=808.29\text{mm}$
A_1		$A_1=H_2\cos(B-90°)+H_4\tan(B-90°)$	$A_1=700\cos(120°-90°)+700\tan(120°-90°)=923.76\text{mm}$
R_2'		$R_2'=A_2\cos B_1$	$R_2'=135.64\times\cos67.71°=51.45\text{mm}$
A		$A=(H_1+A_2\sin B_3)/\tan Y-R_2'$	$A=(400+135.64\sin43.9°)/\tan30°-51.45=804.28\text{mm}$
C_1		$C_1=A\tan Y$	$C_1=804.28\times\tan30°=464.35\text{mm}$
K		$K=-\tan B/2$	$K=-\tan120°/2=-1.732\text{mm}$
R_1		$R_1=\sqrt{H_3^2+(D_1/2)^2}$	$R_1=\sqrt{1656.3^2+(800/2)^2}=1703.9\text{mm}$
R_2		$R_2=\sqrt{(H_3-H)^2+(D_2/2)^2}$	$R_2=\sqrt{(1656.3-1000)^2+(325/2)^2}=676.1\text{mm}$
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/N$ $(i=1,2,3,\cdots,N/2+1)$	$X_1=(1-1)\times360°/16=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/16=22.5°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/16=45°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/16=67.5°$
	X_5		$X_5=(5-1)\times360°/16=90°$
	X_6		$X_6=(6-1)\times360°/16=112.5°$
	X_7		$X_7=(7-1)\times360°/16=135°$
	X_8		$X_8=(8-1)\times360°/16=157.5°$
	X_9		$X_9=(9-1)\times360°/16=180°$

续表

展开素线		公式	计算
A_i	A_1	$A_i=\dfrac{R_1(D_1/2)\cos X_i-A}{(D_1/2)\cos X_i+KH_3}$	$A_1=[1706.5\times(410\cos0^\circ-804.28)]/[410\cos0^\circ+(-1.732\times1656.6)]=273.6\text{mm}$
	A_2		$A_2=[1706.5\times(410\cos22.5^\circ-804.28)]/[410\cos22.5^\circ+(-1.732\times1656.6)]=291.6\text{mm}$
	A_3		$A_3=[1706.5\times(410\cos45^\circ-804.28)]/[410\cos45^\circ+(-1.732\times1656.6)]=340.3\text{mm}$
	A_4		$A_4=[1706.5\times(410\cos67.5^\circ-804.28)]/[410\cos67.5^\circ+(-1.732\times1656.6)]=401.6\text{mm}$
	A_5		$A_5=[1706.5\times(410\cos90^\circ-804.28)]/[410\cos90^\circ+(-1.732\times1656.6)]=478.4\text{mm}$
	A_6		$A_6=[1706.5\times(410\cos112.5^\circ-804.28)]/[410\cos112.5^\circ+(-1.732\times1656.6)]=542.1\text{mm}$
	A_7		$A_7=[1706.5\times(410\cos135^\circ-804.28)]/[410\cos135^\circ+(-1.732\times1656.6)]=591.1\text{mm}$
	A_8		$A_8=[1706.5\times(410\cos157.5^\circ-804.28)]/[410\cos157.5^\circ+(-1.732\times1656.6)]=621.6\text{mm}$
	A_9		$A_9=[1706.5\times(410\cos180^\circ-804.28)]/[410\cos180^\circ+(-1.732\times1656.6)]=631.9\text{mm}$
X		$X=180^\circ D_1/R_1$	$X=(180^\circ\times800)/1706.5=86.49^\circ$
M		$M=\pi D_1/N$	$M=(3.14\times800)/16=157\text{mm}$
F_1		$F_1=2R_1\sin X/2$	$F_1=2\times1706.5\sin86.49^\circ/2=2338.3\text{mm}$

注：A 为 EF 在 X 轴上的截距；K 为两节交线斜率。

3.3.3 异形构件的展开计算

3.3.3.1 上下口扭转方锥接头的展开计算

(1) 上下口扭转 45°的方锥接头　上下口扭转 45°的方锥接头构件形体如图 3-60 所示。已知 $A=1200\text{mm}$，$B=600\text{mm}$，$H=800\text{mm}$。计算各展开素线尺寸。

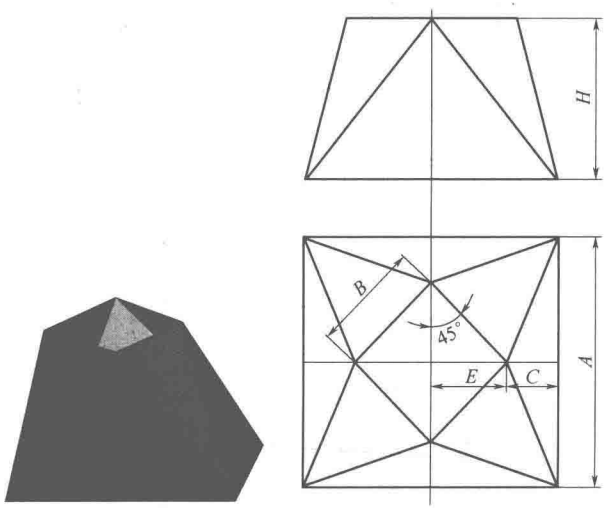


图 3-60　上下口扭转 45°的方锥接头

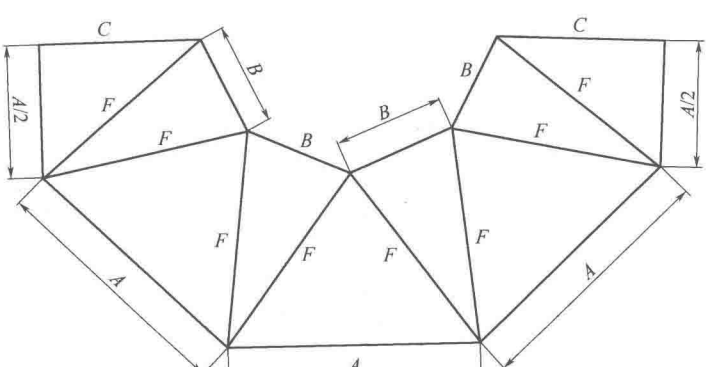


图 3-61　上下口扭转 45°的方锥接头展开计算原理图

上下口扭转 45°的方锥接头展开计算原理图如图 3-61 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-32。

表 3-32　上下口扭转 45°的方锥接头展开计算

展开素线	公式	计算
E	$E=B\sin45°$	$E=600\times0.70701=424.3$
K	$K=A/2-E$	$K=A/2-E=1200/2-424.3=175.74$
F	$F=\sqrt{K^2+\left(\frac{A}{2}\right)^2+H^2}$	$F=\sqrt{175.74^2+\left(\frac{1200}{2}\right)^2+800^2}=1015.3$
C	$C=\sqrt{K^2+H^2}$	$C=\sqrt{175.74^2+800^2}=819.1$

（2）上下扭转 90°的矩形连接管　上下扭转 90°的矩形连接管构件形体如图 3-62 所示。已知 $A=500\text{mm}$，$B=200\text{mm}$，$H=300\text{mm}$。计算各展开素线尺寸。

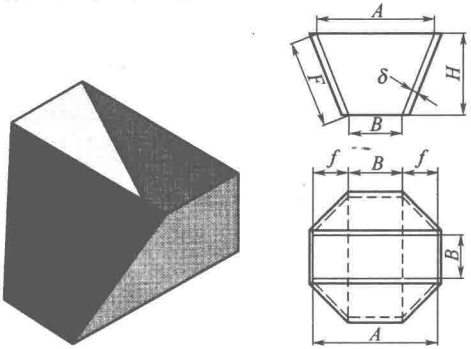


图 3-62　上下扭转 90°的矩形连接管

上下扭转 90°的矩形连接管展开计算原理图如图 3-63 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-33。

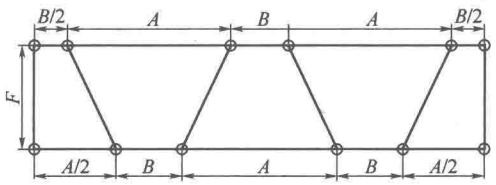


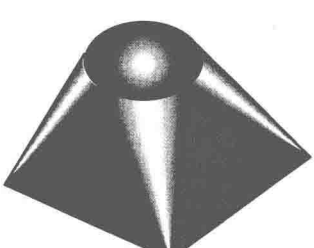
图 3-63　上下扭转 90°的矩形连接管展开计算原理图

表 3-33　上下扭转 90°的矩形连接管展开计算

展开素线	公式	计算
f	$f=(a-b)/2$	$f=(500-200)/2=150\text{mm}$
F	$F=\sqrt{f^2+H^2}$	$F=\sqrt{150^2+300^2}=335.4\text{mm}$
L	$L=2A+2B$	$L=2\times500+2\times200=1400\text{mm}$

3.3.3.2　正圆顶方底的展开计算

正圆顶方底构件形体如图 3-64 所示。已知上底圆 $D=300\text{mm}$，下底矩形边长 $A=600\text{mm}$，$B=380\text{mm}$，天圆地方接头的高度 $H=280\text{mm}$，圆周等分数 $n=12$。计算各展开素线尺寸。



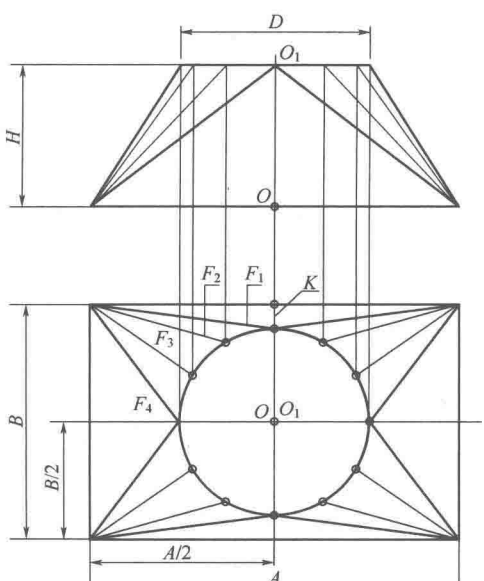


图 3-64　正圆顶方底构件

正圆顶方底展开计算原理图如图 3-65 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-34。

表 3-34　正圆顶方底展开计算

展开素线		公式	计算
R		$R=D/2$	$R=300/2150\text{mm}$
X_i	X_1	$X_i=(i-1)\times360°/n$ $(i=n/4+1,n/4,\cdots,1)$	$X_1=(1-1)\times360°/12=0°$
	X_2		$X_2=(2-1)\times360°/12=30°$
	X_3		$X_3=(3-1)\times360°/12=60°$
	X_4		$X_4=(4-1)\times360°/12=90°$
F_j	F_1	$F_j=\sqrt{H^2+\left(\frac{B}{2}-R\sin X_i\right)^2+\left(\frac{A}{2}-R\cos X_i\right)^2}$ $(i=n/4+1,n/4,\cdots,1)$ $(j=1,2,\cdots,n/4+1)$	$F_1=\sqrt{280^2+\left(\frac{380}{2}-150\times\sin90°\right)^2+\left(\frac{600}{2}-150\times\cos90°\right)^2}$ $=412.3\text{mm}$
	F_2		$F_2=\sqrt{280^2+\left(\frac{380}{2}-150\times\sin60°\right)^2+\left(\frac{600}{2}-150\times\cos60°\right)^2}$ $=364.2\text{mm}$
	F_3		$F_3=\sqrt{280^2+\left(\frac{380}{2}-150\times\sin30°\right)^2+\left(\frac{600}{2}-150\times\cos30°\right)^2}$ $=347.2\text{mm}$
	F_4		$F_4=\sqrt{280^2+\left(\frac{380}{2}-150\times\sin0°\right)^2+\left(\frac{600}{2}-150\times\cos0°\right)^2}$ $=370.1\text{mm}$

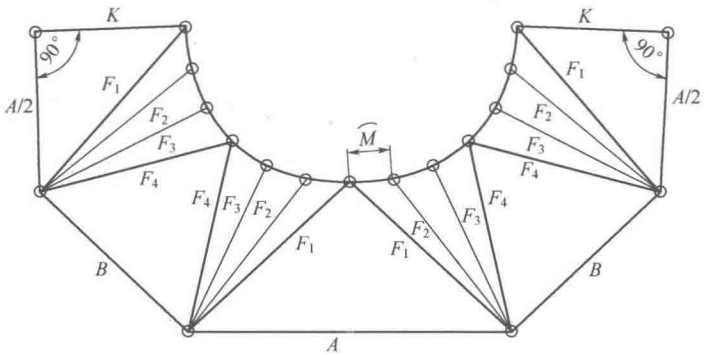


图 3-65　正圆顶方底展开计算原理图

3.3.3.3　圆方偏心过渡连接管的展开计算

圆方偏心过渡连接管构件形体如图 3-66 所示。已知圆方偏心过渡连接管圆中直径 $d=480\text{mm}$，方里口 $a=480\text{mm}$，偏心距 $y=150\text{mm}$，高 $h=375\text{mm}$，圆周等分数 $n=16$ 份。试计算各展开素线尺寸。

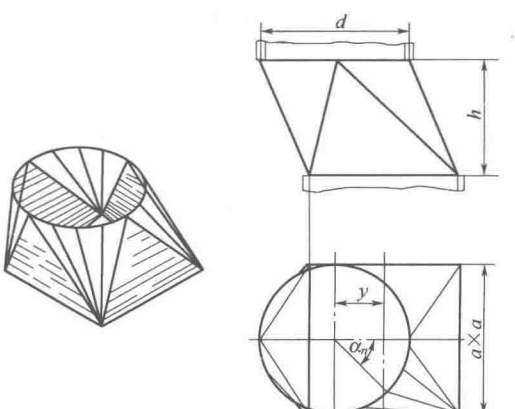


图 3-66　圆方偏心过渡连接管

圆方偏心过渡连接管展开计算原理图如图 3-67 所示。各素线的展开尺寸计算见表 3-35。

表 3-35 圆方偏心过渡连接管展开计算

展开素线		公式	计算
r		$r=d/2$	$r=480/2=240\text{mm}$
m		$m=180\pi/n$	$m=180\pi/16=94.25\text{mm}$
α_n	α_1	$\alpha_n=(i-1)\times360°/n$ $(i=1,2,\cdots,n/2+1)$	$\alpha_1=(1-1)\times360°/16=0°$
	α_2		$\alpha_2=(2-1)\times360°/16=22.5°$
	α_3		$\alpha_3=(3-1)\times360°/16=45°$
	α_4		$\alpha_4=(4-1)\times360°/16=67.5°$
	α_5		$\alpha_5=(5-1)\times360°/16=90°$
	α_6		$\alpha_6=(6-1)\times360°/16=112.5°$
	α_7		$\alpha_7=(7-1)\times360°/16=135°$
	α_8		$\alpha_8=(8-1)\times360°/16=157.5°$
	α_9		$\alpha_9=(9-1)\times360°/16=180°$
f_n	f_0	$f_n=\sqrt{\left(\frac{a}{2}+y-\frac{d}{2}\cos\alpha_n\right)^2+\left(\frac{d}{2}\sin\alpha_n-\frac{a}{2}\right)^2+h^2}$ $(0°\leqslant\alpha<90°)$	$f_0=\sqrt{\left(\frac{480}{2}+150-\frac{480}{2}\cos0°\right)^2+\left(\frac{480}{2}\sin0°-\frac{480}{2}\right)^2+375^2}$ $=469.88\text{mm}$
	f_1		$f_1=\sqrt{\left(\frac{480}{2}+150-\frac{480}{2}\cos22.5°\right)^2+\left(\frac{480}{2}\sin22.5°-\frac{480}{2}\right)^2+375^2}$ $=436.9\text{mm}$
	f_2		$f_2=\sqrt{\left(\frac{480}{2}+150-\frac{480}{2}\cos45°\right)^2+\left(\frac{480}{2}\sin45°-\frac{480}{2}\right)^2+375^2}$ $=440.6\text{mm}$
	f_3		$f_3=\sqrt{\left(\frac{480}{2}+150-\frac{480}{2}\cos67.5°\right)^2+\left(\frac{480}{2}\sin67.5°-\frac{480}{2}\right)^2+375^2}$ $=479.4\text{mm}$
	f_4		$f_4=\sqrt{\left(\frac{480}{2}+150-\frac{480}{2}\cos90°\right)^2+\left(\frac{480}{2}\sin90°-\frac{480}{2}\right)^2+375^2}$ $=541\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
f_n	f'_4	$f_n=\frac{1}{2}\sqrt{(a-2y)^2+(d-a)^2+4h^2}$ ($\alpha=90°$)	$f'_4=\frac{1}{2}\sqrt{(480-2\times150)^2+(482-482)^2+4\times375^2}$ $=385.6\text{mm}$
	f_5	$f_n=\frac{1}{2}\sqrt{(a-2y-d\cos\alpha_n)^2+(d\sin\alpha_n-a)^2+4h^2}$ ($90°<\alpha\leqslant180°$)	$f_5=\frac{1}{2}\sqrt{(480-2\times150-480\cos112.5°)^2+(480\sin112.5°-480)^2+4\times375^2}$ $=375.45\text{mm}$
	f_6		$f_6=\frac{1}{2}\sqrt{(480-2\times150-480\cos135°)^2+(480\sin135°-480)^2+4\times375^2}$ $=389.8\text{mm}$
	f_7		$f_7=\frac{1}{2}\sqrt{(480-2\times150-480\cos157.5°)^2+(480\sin157.5°-480)^2+4\times375^2}$ $=424.2\text{mm}$
	f_8		$f_8=\frac{1}{2}\sqrt{(480-2\times150-480\cos180°)^2+(480\sin180°-480)^2+4\times375^2}$ $=424.2\text{mm}$
f		$f=\sqrt{y^2+h^2}$	$f=\sqrt{150^2+375^2}=403.9\text{mm}$

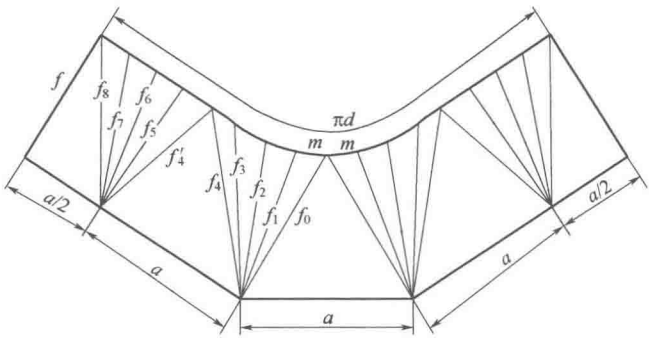


图 3-67　圆方偏心过渡连接管展开计算原理图

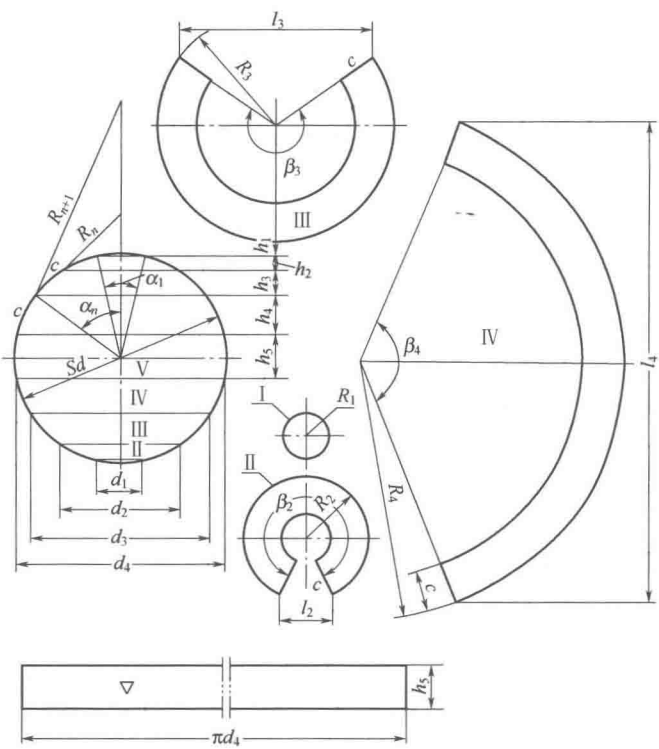


图 3-68　球面构件分块展开图

3.3.4 曲面和封头的展开计算

3.3.4.1 球面分块的展开计算

球面分块就是将球面按纬线划分为若干节做出展开图。球面构件分块展开计算原理图如图 3-68 所示。已知球中径 $d=620\text{mm}$，圆周等分数 $n=16$，求各素线展开长度。

球面构件分块展开计算见表 3-36。

表 3-36 球面构件分块展开计算

展开素线		公式	计算
α_n	α_1	$\alpha_1=360°/n$	$\alpha_1=360°/16=22.5°$
	α_2	$\alpha_2=\alpha_1+\alpha_1/2$	$\alpha_2=22.5°+22.5°/2=33.75°$
	α_3	$\alpha_n=\alpha_{(n-1)}+\alpha_1$ $(n=3,4,5)$	$\alpha_3=33.75°+22.5°=56.25°$
	α_4		$\alpha_4=56.25°+22.5°=78.75°$
	α_5		$\alpha_5=78.75°+22.5°=101.25°$
d_n	d_1	$d_n=d\sin\alpha_n$	$d_1=620\times\sin22.5°=121\text{mm}$
	d_2		$d_2=620\times\sin33.75°=344.5\text{mm}$
	d_3		$d_3=620\times\sin56.25°=515.5\text{mm}$
	d_4		$d_4=620\times\sin78.75°=608\text{mm}$
h_n	h_1	$h_1=\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_1/2)$	$h_1=\frac{620}{2}\times(1-\cos22.5°/2)=6\text{mm}$
	h_2	$h_2=\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_2)-h_1$	$h_2=\frac{620}{2}\times(1-\cos33.75°)-6=46.2\text{mm}$
	h_3	$h_3=\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_3)-h_1-h_2$	$h_3=\frac{620}{2}\times(1-\cos56.25°)-6-46.2$ $=85.6\text{mm}$
	h_4	$h_4=\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_4)-h_1-h_2-h_3$	$h_4=\frac{620}{2}\times(1-\cos78.75°)-6-46.2-85.6$ $=111.7\text{mm}$
	h_5	$h_5=\frac{d}{2}(1-\cos\alpha_5)-h_1-$ $h_2-h_3-h_4$	$h_5=\frac{620}{2}\times(1-\cos101.25°)-6-46.2-$ $85.6-111.7=120.7\text{mm}$

续表

展开素线		公式	计算
c_n	c_1	$c_n=\frac{1}{2}\sqrt{(d_n-d_{n-1})^2+4h_n^2}$	$c_1=\frac{1}{2}\sqrt{(121-0)^2+4\times6^2}=60.8\text{mm}$
	c_2		$c_2=\frac{1}{2}\sqrt{(344.5-121)^2+4\times46.2^2}$ $=121.6\text{mm}$
	c_3		$c_3=c_2=c_4=c$
R_n	R_1	$R_n=\frac{d_nc_n}{d_n-d_{n-1}}$	$R_1=\frac{121\times60.8}{121}=60.8\text{mm}$
	R_2		$R_2=\frac{344.5\times121.6}{344.5-121}=187.4\text{mm}$
	R_3		$R_3=\frac{515.5\times121.6}{515.5-344.5}=366.6\text{mm}$
	R_4		$R_4=\frac{608\times121.6}{608-515.5}=799.3\text{mm}$
β_n	β_2	$\beta_n=180^\circ\frac{d_n}{R_n}$	$\beta_2=180^\circ\times\frac{344.5}{187.4}=330.9^\circ$
	β_3		$\beta_3=180^\circ\times\frac{515.5}{366.6}=253.1^\circ$
	β_4		$\beta_4=180^\circ\times\frac{608}{799.3}=136.9^\circ$
l_n	l_2	$l_n=2R_n\sin(\beta_n/2)$	$l_2=2\times187.4\sin(330.9^\circ/2)=94.2\text{mm}$
	l_3		$l_3=2\times366.6\sin(253.1^\circ/2)=589\text{mm}$
	l_4		$l_4=2\times799.3\sin(136.9^\circ/2)=1486.8\text{mm}$

3.3.4.2 球体封头的展开计算

球体封头展开是将球表面按经线方向划分成若干瓣做出展开图的方法。球体封头展开计算原理如图 3-69 所示。已知球体封头由 6 块板料和极帽拼接而成，封头的中径 $D=2400\text{mm}$，$R=1200\text{mm}$，极帽的 $d_1=1200\text{mm}$，板厚 $\delta=16\text{mm}$，将球心角等分 4 等份，封

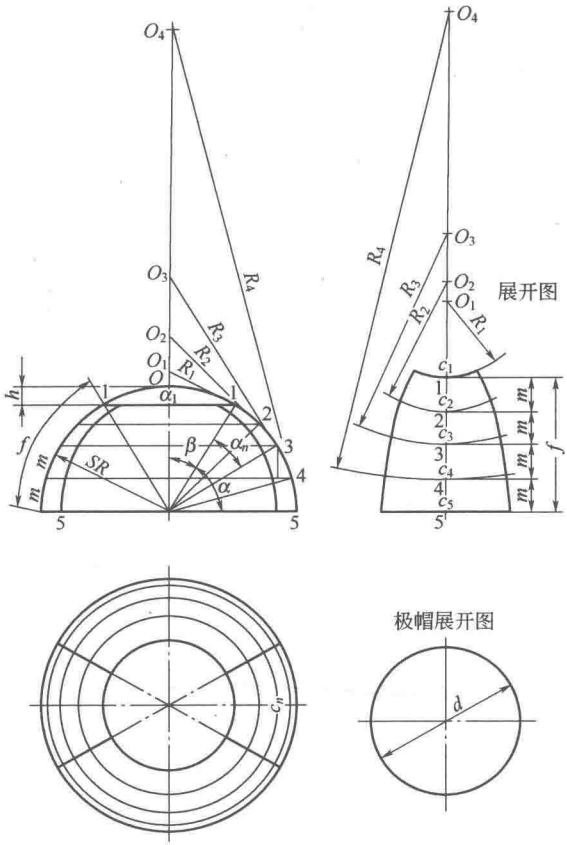


图 3-69　球体封头的展开

头等分数 $n=6$。求各展开素线长度。

球体封头的展开计算见表 3-37。

表 3-37　球体封头的展开计算

展开素线		公式	计算
β		$\beta=\arcsin(d_1/D)$	$\beta=\arcsin(1200/2400)=30°$
α_n	α_1	$\alpha_n=i[(90°-\beta)/n]$ $(i=1,2,3,4)$	$\alpha_1=1\times(90°-30°)/4=15°$
	α_2		$\alpha_2=2\times[(390°-30°)/4]=30°$
	α_3		$\alpha_3=3\times[(390°-30°)/4]=45°$
	α_4		$\alpha_4=4\times[(390°-30°)/4]=60°$

续表

展开素线		公式	计算
R_n	R_1	$R_n=R\tan(\beta+\alpha_n)$	$R_1=1200\times\tan(30°+0°)=692.8\text{mm}$
	R_2		$R_2=1200\times\tan(30°+15°)=1200\text{mm}$
	R_3		$R_3=1200\times\tan(30°+30°)=2078.5\text{mm}$
	R_4		$R_4=1200\times\tan(30°+45°)=4478.5\text{mm}$
	R_5		$R_5=1200\times\tan(30°+60°)=\infty$
$\overset{\frown}{c_n}$	$\overset{\frown}{c_1}$	$\overset{\frown}{c_n}=\dfrac{2\pi R}{n}R\sin(\beta+\alpha_n)$	$\overset{\frown}{c_1}=\dfrac{2\pi\times1200}{6}\times1200\times\sin(30°+0°)=628.3\text{mm}$
	$\overset{\frown}{c_2}$		$\overset{\frown}{c_2}=\dfrac{2\pi\times1200}{6}\times1200\times\sin(30°+15°)$ $=888.4\text{mm}$
	$\overset{\frown}{c_3}$		$\overset{\frown}{c_3}=\dfrac{2\pi\times1200}{6}\times1200\times\sin(30°+30°)$ $=1088.3\text{mm}$
	$\overset{\frown}{c_4}$		$\overset{\frown}{c_4}=\dfrac{2\pi\times1200}{6}\times1200\times\sin(30°+45°)$ $=1213.8\text{mm}$
	$\overset{\frown}{c_5}$		$\overset{\frown}{c_5}=\dfrac{2\pi\times1200}{6}\times1200\times\sin(30°+60°)$ $=1256.6\text{mm}$
f		$f=\dfrac{1}{2}\pi R\left(1-\dfrac{\beta}{90°}\right)$	$f=\dfrac{1}{2}\pi\times1200\times\left(1-\dfrac{30°}{90°}\right)=1256.6\text{mm}$
m		$m=f/4$	$m=1256.6/4=314.15\text{mm}$
h		$h=R(1-\cos\beta)$	$h=1200\times(1-\cos30°)=160.8\text{mm}$
d		$d=\sqrt{d_1^2+4h^2}$	$d=\sqrt{1200^2+4\times160.8^2}=1242.3\text{mm}$

3.3.4.3 封头的展开计算

(1) 球缺体封头放样坯料直径的计算　球缺体封头有三种结构形式，其放样坯料的直径计算见表 3-38。

(2) 半球体封头放样坯料直径的计算　半球体封头放样坯料的直径计算见表 3-39。

表 3-38　球缺体封头放样坯料直径的计算

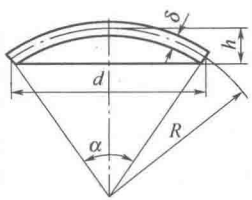
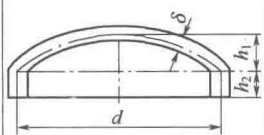
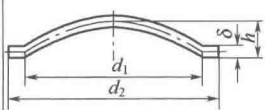
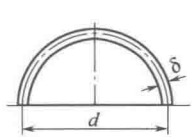
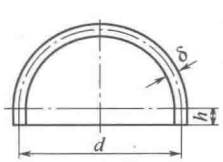
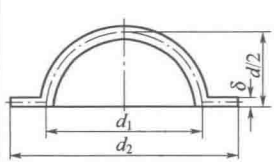
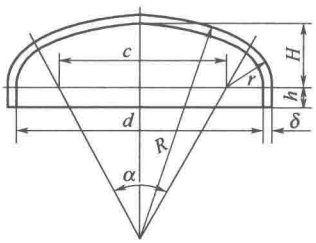
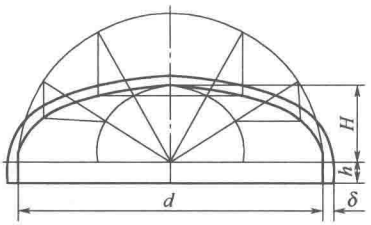
类型	球缺体封头	球缺体直边封头	球缺体平边封头
图示			
公式	$D=\frac{\pi R\alpha}{180^\circ}+2t$ $\cos(\alpha/2)=(R-h)/R$ 若已知 d、h、δ，则： $D=\sqrt{d^2+4h^2}+2t$ t——加工余量	$D=\sqrt{d^2+4(h_1^2+dh_2)}+2t$ t——加工余量	$D=\sqrt{d_1^2+4h^2}+2t$ t——加工余量

表 3-39　半球体封头放样坯料直径的计算

类型	半球体封头	半球体直边封头	半球体平边封头
图示			
公式	$D=\sqrt{2d}+2t$ t——加工余量	$D=\sqrt{2d^2+4h^2}+2t$ t——加工余量	$D=\sqrt{d_1^2+d_2^2}+2t$ t——加工余量

（3）椭圆体封头放样坯料直径的计算　椭圆体封头放样坯料直径的计算见表 3-40。

表 3-40　椭圆体封头放样坯料直径的计算

类型	大小半径椭圆体封头	椭圆体封头
图示		
公式	$D=\frac{\pi\alpha}{180^\circ}(R-r)+\pi r+2hk+2t$ $(\cos\alpha/2=\frac{R-H}{R-r})$ k——拉伸系数，一般为 0.75； t——加工余量，当 $\delta>25$ 时，取 $t=\delta$；当 $\delta<25$ 时，取 $t=(1\sim2)\delta$	$D=\frac{\pi}{2}\sqrt{2\left[\left(\frac{d}{2}\right)^2+H^2\right]-\frac{1}{4}\left(\frac{d}{2}-H\right)^2}+2hk$ k——拉伸系数，一般为 0.75； 当 $H=\frac{1}{4}d$ 时，$D=d+H+h$

第 4 章

放样施工图样与技术

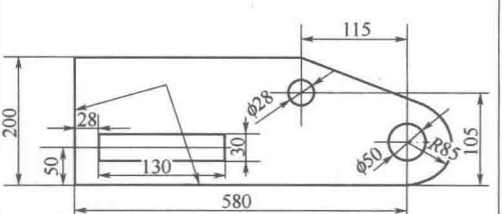
4.1 放样基准与样板和样杆的制作

4.1.1 放样基准

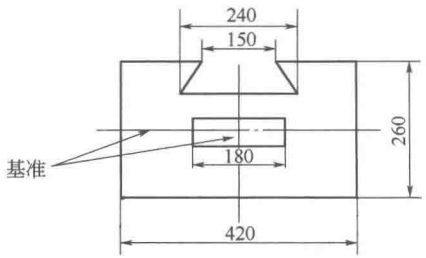
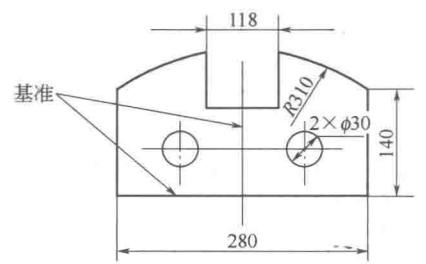
4.1.1.1 放样基准

放样基准是指放样时起决定作用的基准线或基面。正确地选用和确定放样基准，能使放样方便、准确和快捷。钣金放样基准见表 4-1。

表 4-1 钣金放样基准

基准类型	图示	说明
以两条相互垂直的边线为基准		从工件是互相垂直的两个方向的尺寸标注情况可看出，每个方向的许多尺寸都是依据相互垂直的边线来确定的，因此这两条边线就是选用的放样基准

续表

基准类型	图示	说明
以两中心线为基准		图中工件上尺寸与两条中心线对称，并且其他尺寸也是以中心线为依据确定的，因此这两条中心线应作为此工件的放样基准
以一条边线和一条中心线为基准		此工件高度方向的尺寸是以底线为依据，而宽度方向的尺寸与中心线对称，所以此工件的底线与中心线应是放样基准

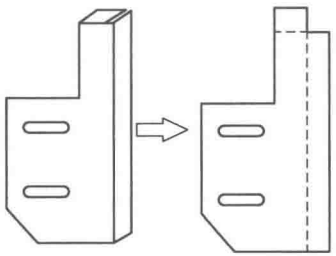
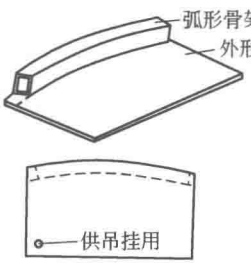
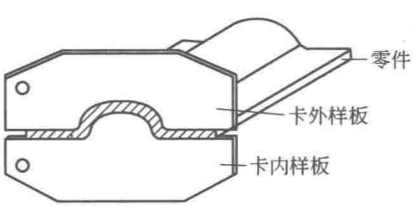
4.1.1.2 基准线划法及要求

通常先划基准线，后划圆弧或圆周，最后再划所有直线，从而完成大的轮廓线。一般较短的基准线可以直接用钢尺或粉线划出，而对于外形尺寸长达几十米甚至超百米的大型金属结构，可用拉钢丝配合角尺或悬挂线锤的方法划出基准线。

如图 4-1(a) 所示的圆锥台漏斗，为保证大、小法兰盘上 M、N 面间的距离要求，可先划出 M 基准线，使 M、N 面间的距离仅有一个 b 尺寸保证即可。但若先划出 H 面基准线时，M、N 面间的距离则需要由 c 和 $a-b$ 两个尺寸来保证，其误差显然较大。

目前有些工厂采用激光经纬仪作出大型结构的放样基准线，可以获得较高的精确度。无论采用何种方法，各图中的基准线必须作得十分准确，保证必要的精确度，且经过必要的检验和标准规定的符号。

续表

种类	图例	说明
展开样板		把工件的实际形状依次摊开在一个平面上的样板称为展开样板
外形样板		也称成形样板，是零件成形中形位状态的标准，也是检验外形的依据
卡形样板		卡形样板也称切面板，有卡内和卡外之分，主要用于检验零件内形与外形状况

(2) 样板的制作

1) 样板的材料。样板制作材料，一般采用 0.5～2mm 的薄钢板。当样板较大时，可用板条拼成花格骨架，以减轻重量。对于中小型件大多采用 0.5～0.75mm 的薄钢板制作；对于精度要求不高的一次性样板，为节约材料可用黄板纸或油毡纸制作。

2) 样板的制作方法。一般外形样板是按图示尺寸画在样板料

上剪切，然后修正并划上或钻出孔位，检验无误后即可当做样板使用。这种方法也称画样法。

还有一种叫过样法，如图 4-2 所示，主要是装配时有一个明确的定位方向。样板没有特定的依据可循，可按情况灵活应用，但制作出的零件一定要符合技术要求。

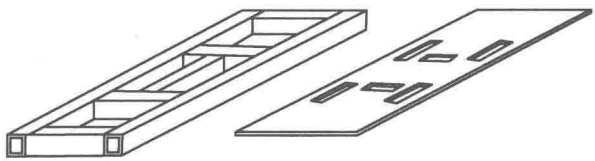


图 4-2　过样法

4.1.2.3　样杆的制作

样杆主要用于定位，有时也用于简单零件的号料，定位样杆上应标有定位基准线。如图 4-3 所示，圆筒内径的弯曲尺寸依靠 6 根十字交叉的扁钢样杆定位，圆筒内径的同轴度则依靠钢丝样杆定位，并且在扁钢交叉处标有定位基准线。

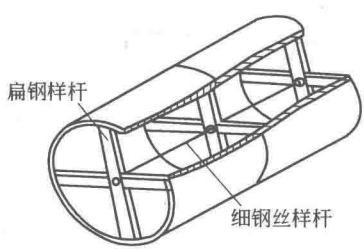


图 4-3　圆筒成形定位样杆

另外，对于多个较长零件的制作，如每一个尺寸都用钢直尺或钢卷尺去量取，操作繁琐。用一根制作简单、尺寸准确、使用有效的样杆，将大大提高工作效率。

(1) 样杆制作材料　样杆材料一般用 25mm × 0.8mm 或 20mm×0.8mm 的扁钢条或铝条制作。对于一些利用计算机放样的大型企业，有条件的也可采用铝质活络样板，并根据计算机提供的数据，在专门平台上得到样板曲边的任何形状，从而可节省大量

制作样板的材料和工时。

（2）样杆的制作方法　样杆的简单制作方法如图 4-4 所示。

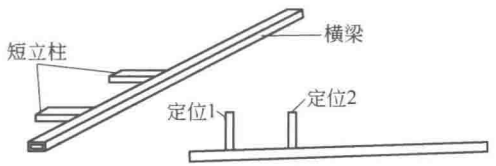


图 4-4　用扁钢制作的样杆

4.1.2.4　样板符号

在制作样板进行号料时，经常使用常见的几种符号，见表 4-3。

表 4-3　放样中常见的符号

符号名称	图示	符号名称	图示
板缝线		余料切线	
中心线		弯曲线	
R 曲线	$R_{曲}$	结构线	
切断线		刨边加工	

4.2　放样施工准备

钣金结构生产的第一道工序是放样与号料，而放样号料的第一道工序则是对钣金件原材料进行质量检验、变形矫正等。其中矫正工序也可穿插于切割下料、冷作成形、组装工艺过程中变形的矫正。

4.2.1 钣金材质检验

材质检验是任一机械产品设计、试制、工艺准备、试生产直至正式投入使用等过程中穿插的必要工序，各个环节间均必须运用化学分析、金相检验、性能测试、无损检测等技术，并按照有关标准化规范，对原材料、加工工序及外协件进行检验。

4.2.1.1 材质检验标准

原材料检验是为判断材料的化学成分、组织结构、性能指标等是否符合相应标准，见表 4-4。

表 4-4 材质检验标准

项目	内容说明
技术标准	是指相关机构对技术工作中重复事物和概念所作出的统一规定，也是以科学技术、实践经验等综合成果为基础，所作出的技术准则和依据
质量标准	根据我国标准文献的最新分类方法，材料质量类标准包括综合基础类标准、钢铁产品类标准以及工艺质量类标准等 钢铁产品标准是指生产厂商生产出的每种钢铁产品所应满足的标准，也是用户订货验收时应遵循的判断依据。一般包括有适用范围或主要用途、品种规格、技术要求、试验条件与交货条件等几个层次的内容
检验标准	试验条件主要规定了如何检验技术要求中规定的项目，包括取样数量、取样部位、试验方法等。试验类方法标准统一规定了测试方法、理化检验规程和评级标准

4.2.1.2 材质检验

(1) 材质检验技术　材质检验技术有成分分析法和光谱分析法两种，见表 4-5。

(2) 断口分析技术　低倍断口分析是指用肉眼或不大于 20 倍的放大镜，观察分析金属及合金的断口组织状态，检查材料的宏观缺陷，特别是对断口进行初步的观察和分析。断口分为脆性断口、韧性断口及疲劳断口。

脆性断裂大多是穿晶断裂，断口是沿一定的结晶平面迅速发展而成的，断口一般较平整，有金属光泽，呈结晶状。韧性断口大都是塑性较好的材料在伴随有剧烈滑移时形成的断口。断口一般是穿晶且成纤维状杯锥断口，锥部较平滑呈暗灰色状。

表 4-5　材质检验技术

检验技术		说　明
成分分析法	化学分析法	化学分析法可进行定量和定性分析材料的成分，需预先确定送检材料所含元素的类别，从而选用相应的标准溶液，滴入被测物质的相应溶液中，使之发生化学反应。根据反应物颜色或有无沉淀发生的变化，确定化学反应的终点，并根据所选用的标准液体积量的消耗数，计算被测物的含量。化学分析法精度较高，可达到 0.01%～0.001%，但耗费时间较长
	仪器分析法	光度计法是利用光线分别透过有色的标准溶液和被测物溶液，比较透过光线的强度，可测得被测物的含量，使化学分析更为方便
光谱分析法		对于材料的成分预先一无所知时，可采用光谱分析法，利用光谱分析仪将材料所含各种元素的谱线显示出来，从而确定送检材料的元素种类及其含量 利用分光镜或光谱仪进行金属定性和定量光谱分析时，通常利用电弧或高压火花作特殊光源，以激发原子辐射光能将金属变为气态，使所含元素的蒸气发光。光谱线的强度(亮度)，随金属中该元素的含量变化而变化，光谱线的强度(亮度)越大，说明该元素的含量越高。对照已知各元素光谱线的强度，便可确定出物质中这些元素的百分含量。光谱分析迅速、价廉，能分析微量元素，灵敏度和精确度高

疲劳断裂是在重复变化载荷作用下所发生的断裂，一般开始于零件中某些受高应力的部位，特别是表面上不连续部位。疲劳裂纹产生后，随着交变应力的继续，裂纹逐渐向截面其余部位扩展，直到有效截面积被缩小到不能再承受外力时，部件则突然断裂。

在低倍观察时，疲劳断口分为裂源周围平滑而细密的区域（形成了所谓贝壳状条纹或海滩条纹）和部件的有效截面积被缩减到临界值时所产生的静力破坏区。

在进行失效分析时，为探索产生失效的原因，除对断口进行低倍观察外，还必须在高倍的扫描电子显微镜下观察分析断口的微观形貌，以确定断裂机制。

(3) 组织分析技术　利用光学金相显微镜对金属的打磨、抛光、腐蚀后进行观察分析，可观察到金属组织的组成物大小、形状和位置，非金属夹杂物与成分偏析、晶界氧化及显微裂纹，以及钢件的渗碳层、渗氮层、渗铝层等的厚度和特征。

(4) 无损检测技术　无损检测是在机器零件不被破坏的情况下，对材料内部缺陷进行检测的技术，可应用于材料和产品的静态及动态检验。主要方法有射线探伤、超声波探伤、磁力探伤等。

X 射线探伤是根据 X 射线在被检零件与内部缺陷介质中的能量衰减程度不同，而引起射线并透过工件后强度的差异进行测试。这种差异可用 X 射线胶片记录下来，如图 4-5 所示，或用荧光屏、像增强器、射线探测器等观察，从而对照标准评定零件的内部质量。

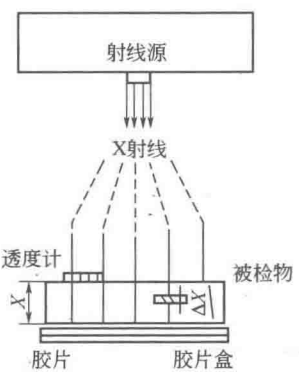


图 4-5　X 射线探伤处

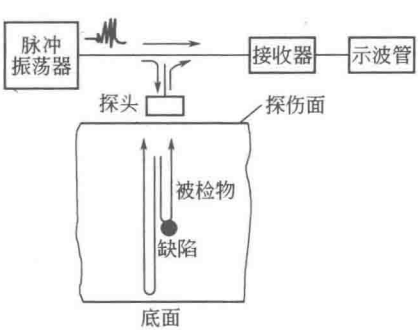


图 4-6　超声波探伤

超声波探伤是由电子设备产生的 0.4～25MHz 超声波，射入被检查物内碰到该物的另一侧底面及遇到缺陷时，能被反射回来的信号差别进行测量，如图 4-6 所示。可在荧光屏上检查出缺陷的大

小、性质和存在的部位。

磁力探伤是将磁场加在被测工件上，如图 4-7 所示，利用磁力线（虚线）表示磁场方向，并按磁场方向来磁化工件，则可较容易地检测出缺陷。磁化电流使用交流电或直流电均可，但对靠近表面的内部缺陷用直流磁化比交流磁化效果更好（磁化电流的选择见表 4-6）。

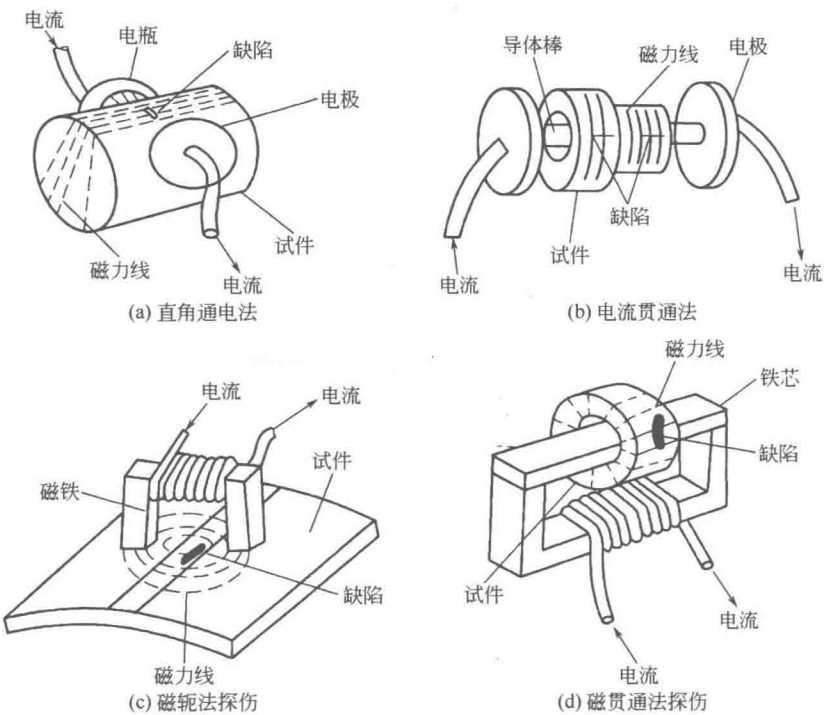


图 4-7　磁力探伤技术

表 4-6　板材的磁化电流规范选择

规范分类	周向磁化		纵向磁化
	连续法	剩磁法	连续法与剩磁法
较宽规范	$I=5\delta$	$I=10\delta$	电流均为 300～1000A，当磁轭法的极距在 75～150mm 时，电磁铁的提升能力大于 5kg
标准规范	$I=5\delta$	$I=16\delta$	
严格规范	$I=10\delta$	$I=30\delta$	

注：I——电流，A；δ——板材厚度，mm。

在磁粉探伤中，磁化方向至关重要，若检验工件中平行于轴向缺陷时，可采用图 4-7(a) 和 (b) 所示的直角通电法和电流贯通法对工件周向磁化进行检验。若检验工件中平行于径向（横向）缺陷时，则可采用图 4-7(c) 和 (d) 所示的磁轭法和磁贯通法对工件纵向磁化检验。无损探伤特别适用于探测件内部的面积型缺陷，如裂纹、白点、分层、夹渣、疏松和焊缝中未焊透等。

(5) 材质检验项目　所选材质是否符合技术和质量标准，要对其成分、组织和性能等进行检验。材质项目的检验方法与内容见表 4-7。

表 4-7　材质检验的项目与方法

检验项目	方法	项目内容
表面质量	标准量具检验和肉眼观察	结疤、划痕、折叠、表面裂纹、氧化皮、外形尺寸
成分	化学分析仪器进行检验	钢号是否正确、成分是否超差
低倍试验	酸蚀法	组织的均匀结构情况、横断面有无缺陷
断口试验	断口检验法	有无白点、石状断口等
奥氏体晶粒度	金相显微镜法	过热
非金属夹杂物	金相显微镜法	夹杂过多、链状沿晶界分布
脱碳层	金相显微镜法	表层含碳量降低
其他	按相关标准	网状碳化物、带状组织等

4.2.2　钣金形状矫正

矫正是对几何形状不符合产品要求的钢结构和原材料进行修正的方法。

4.2.2.1　矫正的原理与要求

(1) 矫正工作原理　材料产生变形的原因是由于一部分较长的纤维受到周围的压缩而产生压应力，而另一部分纤维较短，则受到周围的拉伸而产生拉应力。当材料内部拉、压应力形成后必定要平衡分布时就造成钢材或工件变形。因而矫正时必须通过施加外力、

锤击或局部加热，使较长的纤维缩短、较短的纤维伸长，最后使各层纤维长度趋于一致，即拉、压应力趋于平衡，从而消除变形或使变形减小到规定的范围之内。

（2）矫正允许变形量

1）型钢形状允许偏差。各种厚度的钢板在矫正后，均需使用长度为 1m 的直尺进行检查，并要求其表面翘曲度不得超过表 4-8 中的规定。型钢的直线度、角钢两边的垂直度、槽钢及工字钢翼板的垂直度允许偏差，如图 4-8(a)、(b) 所示，图中 f 为型钢的挠度，Δ 为槽钢及工字钢直边偏差。

表 4-8　钢板表面允许翘度与组件角度允许偏差

钢板厚度 δ/mm		表面允许偏差/mm					
		3～5	6～8		9～11	>12	
翘曲度 f/mm		3.0	2.5		2.0	1.5	
组件短边长度 L/mm		角度偏差 $\Delta\alpha$			短边偏差 e/mm		
		≤315	315～1000	>1000	≤315	315～1000	>1000
精度等级	A 级	±20′	±15′	±10′	±6	±4.5	±3
	B 级	±15′	±30′	±20′	±13	±9	±6
	C 级	±1°	±45′	±30′	±18	±13	±9
	D 级	±1°30′	±1°15′	±1°	±26	±22	±18

2）组件角度允许偏差。组件角度偏差公称尺寸是以短边为基准边，其长度从图样标明的基准点算起，若在图样上未标明角度而只标注长度尺寸时，则允许偏差以 mm/m 计算，且未标注时一般选用 B 级，如图 4-8(c) 所示，图中 α 为组件角度，$\Delta\alpha$ 为角度偏差，e 为短边偏差，其倾斜角度允许偏差见表 4-8。

4.2.2.2　矫正类型及状态

矫正工作状态实际上包括表 4-9 所列的三大部分。钢材及构件产生变形的原因均与应力有关，在不同阶段存在不同的残余应力，既有外力、内应力作用产生的塑性变形，还有热应力导致的塑性变形。

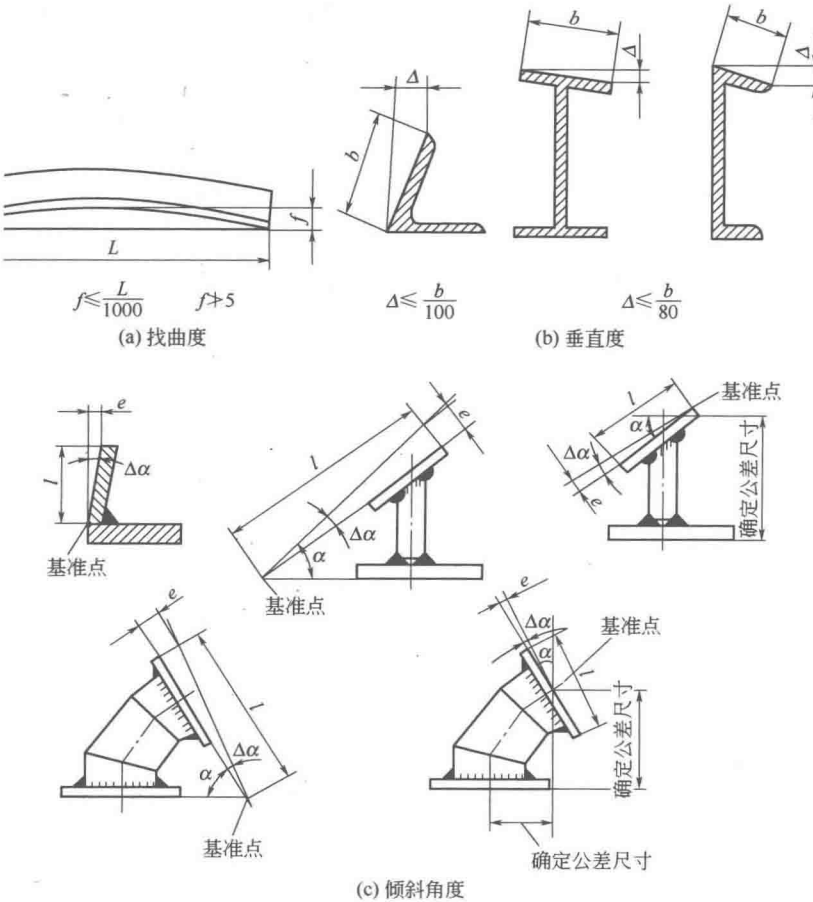


图 4-8　型钢与组件的允许偏差

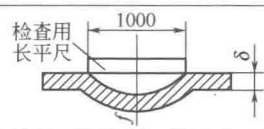
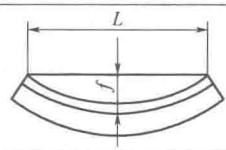
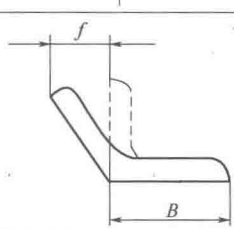
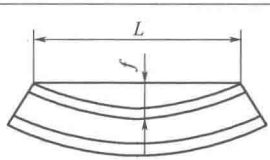
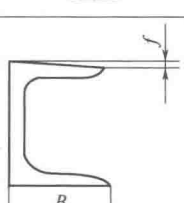
表 4-9　钣金矫正状态

分类	矫正阶段	矫正对象	变形原因
原钢材	备料阶段	板材、型材或管材变形	轧制过程中产生的残余应力
毛坯件	钢板冲裁或切割成零件或坯料后	加工或冲割变形	剪切挤压或局部受热产生的热应力
部件与产品	新产品在组装焊接过程中及组装使用后	焊接或装配变形	焊接残余应力和吊装外力产生的内应力

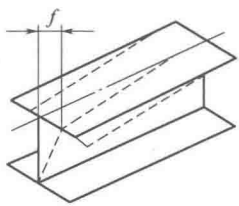
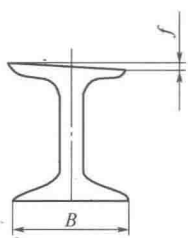
(1) 原钢材矫正　钢材轧制过程中不可避免地产生残余应力而引起变形。在轧制厚板时，由于金属塑性和较大的横向刚度，延伸较多的中心部分克服了相邻延伸较少的边缘部分而产生不均匀的伸长；在轧薄板时，由于其冷却快，塑性差，延伸较多的表层部分克服了相邻延伸较少的内部的作用而产生钢板的波浪变形。

轧制薄板以卷筒板料供货，生产中应经过开卷、矫平后才能切割下料。矫平后的一般允差见表 4-10。

表 4-10　钢材矫正对象与允许偏差

矫正对象	形位精度	图示	允许偏差/mm
钢板凹陷	平面度		在 1mm 范围内，当 $\delta \geqslant 14$，$f \leqslant 1$；当 $\delta \leqslant 14$，$f \leqslant 2$
角钢弯料	波浪状		角钢全长直线度 $f \leqslant L \times (1/1000)$，且局部波浪状与平面度在每米长度内不得超过 2mm
	平面度		角钢角度不成直角时，应按尺寸 B 计算，$f \leqslant B \times (1/1000)$（不等边则为 1.5/1000），且局部平面度在每米长度内不得超过 2mm
槽钢弯扭	直线度		槽钢全长直线度 $f \leqslant L \times (1.5/1000)$，且局部波浪状与平面度在每米长度内不得超过 2mm
	歪扭		槽钢直边倾斜 $f \leqslant B \times (1/1000)$，且局部波浪状与平面度在每米长度内不得超过 2mm

续表

矫正对象	形位精度	图示	允许偏差/mm
工字钢扭斜	直线度		$L \leqslant 1000$，$f \leqslant 5$，且局部平面度在每米长度内不得超过2mm
	歪扭		工字钢直边倾斜 $f \leqslant B \times (1/1000)$，且局部波浪状与平面度在每米长度内不得超过2mm

（2）毛坯件矫正

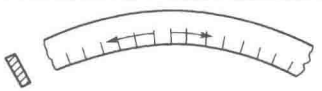
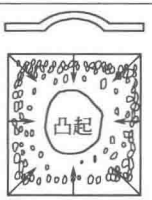
1）冲裁毛坯矫正。将零件或毛坯从整张钢板上冲裁下料时，由于轧制工艺造成的内应力要得到部分释放，必定会引起冲裁件和坯料变形，故必须将冲裁件和坯料矫平，并将其几何形状矫正。

2）切割条料矫正。平直的钢材在压力剪或龙门剪床上剪成条料或毛坯时，在剪刀挤压力作用下会产生弯曲或扭曲变形，必须在后续加工前进行矫平处理。

（3）组装结构矫正

1）组装前矫正。在钢结构制造过程中，经常会遇到钢板产生波浪或凸起变形、各种型钢产生扭曲或弯曲变形，以及焊接结构件产生各种焊接变形等，见表 4-11。各种变形均必须经过矫正处理后，才能进行后续的加工或装配。钢结构产品由于焊接应力产生的变形，不仅会降低装配质量，还会使结构内产生附加内应力，影响结构的强度、使用寿命以及产品外观质量。

表 4-11　材料的变形

变形类型	图示	变形类型	图示
弯曲		扭曲	
凸起		波浪	

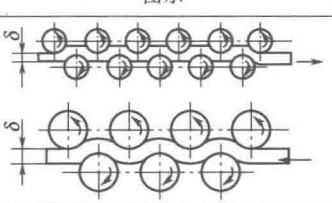
2）组装后矫正。钢结构产品组装成形后，若在使用过程中受到高温、重力等工作条件和环境条件的作用，也会产生各种形式的变形，也必须返修进行矫正。

4.2.2.3　矫正工艺方法

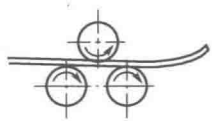
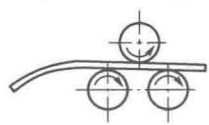
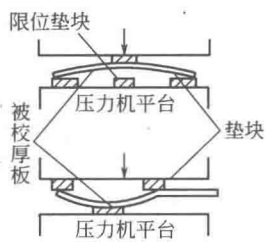
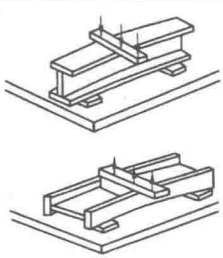
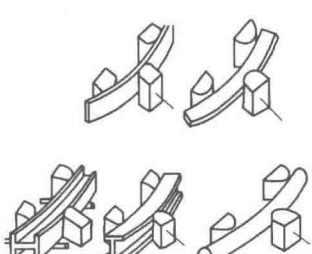
常用的矫正工艺方法有机械矫正法、手工矫正法和火焰矫正法。

（1）机械矫正法　机械矫正是借助于机械设备对变形工件及变形钢材等进行矫正。常用的机械矫正方法有大幅薄钢板矫平、大型型钢矫直、拼接板缝压平、圆形件矫圆等。各种方法均需在各种不同的压力机下进行，见表 4-12。

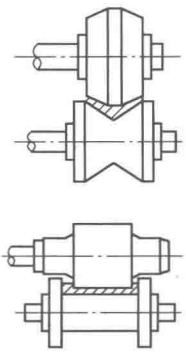
表 4-12　常用机械矫正方法

方法		图示	适用范围与说明
矫平机矫正	大薄板与中厚板矫平		用矫平机矫正板料时，厚板辊少，薄板辊多，上辊双数，下辊单数
	小块板矫平		矫正板厚相同的小块板料，可放在一块大面积的厚板上同时滚压多次，并翻转工件，直至矫平

续表

方法		图示	适用范围与说明
辊板机矫正	第一次正滚		用三辊辊圆机矫正板料，它是通过板材反复弯曲变形而使应力均匀，从而提高板料的平面度
	第二次正滚		
压力机矫正	厚板上拱矫正		适用于厚板矫正，可用液压机在工件凸起处施加压力，且适当矫枉过正，使材料内应力超过屈服点，产生塑性获得平整变形。但在卸载后有些部分会恢复弹性
	型钢侧弯和上拱矫正		用液压机将侧弯和上拱的工字钢或箱形梁弯曲处进行矫正
	钢板条和型钢撑直矫正		用撑直机横向施加压力将窄钢板、工字钢、槽钢等弯曲处进行矫正

续表

方法		图示	适用范围与说明
压力机矫正	型钢矫正辊形状		角钢和槽钢翼边变形或弯曲矫正时所用的矫正辊侧面工作状态

1）大幅薄板辊压矫平。板材的变形一般在多辊矫平机上矫正。钢板越厚，矫正越容易，而钢板越薄越容易变形，则矫正越困难。通常厚度在3mm以上的钢板，一般在五辊或七辊矫平机上矫平，但厚度在3mm以下的薄板，则必须在九辊、十一辊或更多辊矫平机上矫平。

矫平机的工作部分由上下两列辊轴组成，如图4-9所示，通常有5～11个工作轴辊，下列辊为主动辊，通过轴承和机体连接，由电动机带动旋转，其位置不能调节。上列辊为从动辊，可通过手动螺杆或电动升降装置作垂直调节，改变上下辊列的距离，以适应不同厚度钢板的矫平。

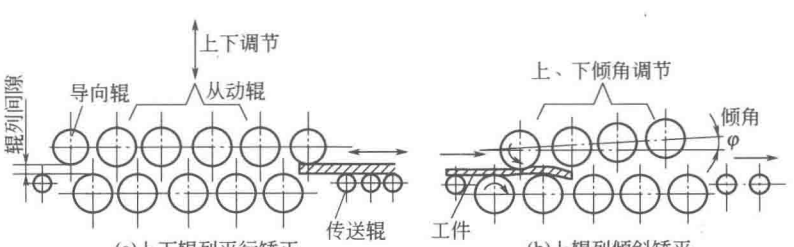


图4-9　多辊矫平机上矫正上幅薄钢板

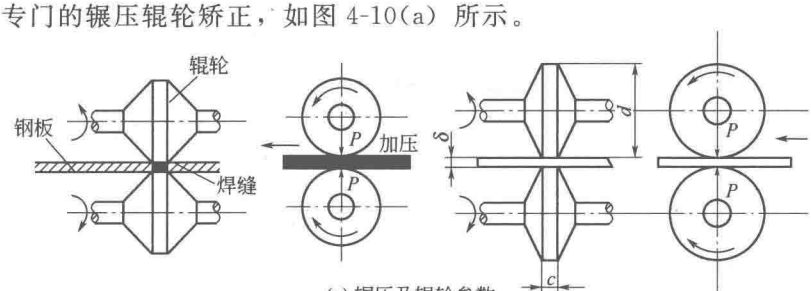
图4-9(a)为列辊平行矫平方法。矫平前，将矫平机的上、下

两列轴辊平行排列设置，并将其上、下列辊的间隙设置为略小于被矫正钢板的厚度。矫平时，当钢板通过上、下列辊时，便产生反复弯曲，再通过最后的导向辊，将得以调平。

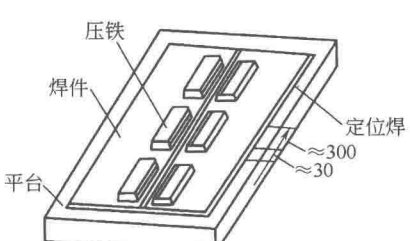
图 4-9(b) 所示为列辊倾斜矫平方法。若将矫平机的上列辊倾斜设置，则其上、下列辊的轴心连线将会形成很小的夹角，并使上列辊既能作升降调节，还能借助转角机构改变倾角大小，从而使上下列辊的间隙向出口端逐渐增大。矫平时，当钢板在上、下列辊间通过时，弯曲曲率逐渐减小，前面几对轴辊进行的是钢板的基本弯曲，继续进入时其余各对轴辊则对钢板产生附加拉力，至最后一个辊轴前，钢板将在附加拉力作用下变形并趋近于弹性弯曲，使钢板获得矫正。

通常，这类矫平机多用于薄板的矫正，并对于凹凸变形严重或面积较大的薄板，可根据变形情况，选择大小和厚度合适（厚度 0.5～1.0mm）的低碳钢板条，垫在需更大拉伸的部位，可以提高矫平效果。

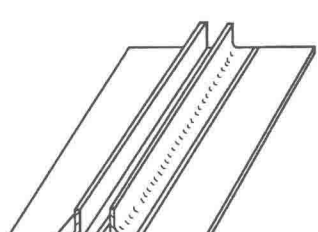
2）薄板接缝辗压矫平。薄板拼接后容易产生波浪变形，可用专门的辗压辊轮矫正，如图 4-10(a) 所示。



(a) 辗压及辊轮参数



(b) 压铁辅助



(c) 角钢辅助

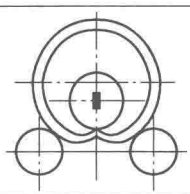
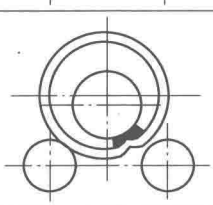
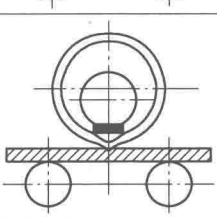
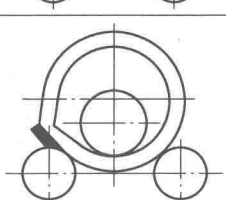
图 4-10　辗压机辗压与辅助矫正

波浪变形是由焊缝纵向收缩引起的，当薄板结构为直焊缝或圆周焊缝且比较规则时，在焊缝及其两侧上采用辊轮施加一定压力并反复辗压，使焊缝及其附近的金属得到延展伸长，从而可消除波浪变形。

当拼节薄板变形严重或面积较大时，可采用压铁分别放在焊缝两侧［图 4-10(b)］，或在焊缝两侧点固角钢［图 4-10(c)］，以便提高矫正效果。

3）薄壁弯圆件辊压矫圆。大型薄壁弯圆件矫圆时，一般采用在三辊卷板机上进行，并根据变形形式的不同，采用加载法、加辅助垫板法等，见表 4-13。

表 4-13　三辊卷机矫圆操作要点

变形类型	矫圆方法	图示	操作要点
内棱角变形	上辊轴加载法		利用辊板机上辊的下调加载，并多次反复辊圆矫正，同时用样板检验至合格后逐步卸载，至局部完全矫圆为止
	棱角上加垫板法		在弯圆件内棱角右上角加一块适当厚度的垫板，并与辊板机上辊轴在右下面紧贴，然后经局部多次滚动矫圆
外棱角变形	内外辊辅助垫板法		在两辊与弯圆件外棱角之间旋转一较大的厚垫板，同时在上辊下面与外棱角间放一小块厚垫板，然后再调上辊并加载，经局部多次反复滚动矫圆
	棱角下加垫板法		在弯件外棱角左下面与辊板机左下辊上面之间加一适当厚度垫板，再在局部变形处多次滚动矫圆

4）厚板和型材液压矫平。矫正厚板弯曲和扭曲变形时，将钢板的凸起面向上，并用两条相同厚度的扁钢在凹凸两侧支承工件，使工件在外力作用下发生塑性变形，达到矫正的目的，如图 4-11 所示。

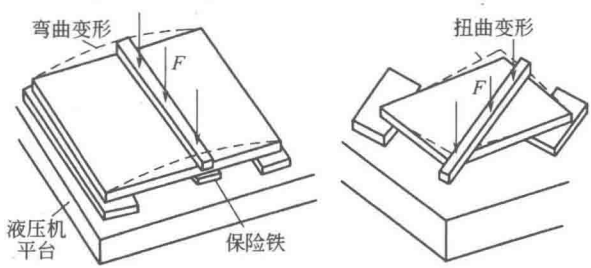


图 4-11　厚板材变形液压矫正

为使钢板在去除外力后回弹而矫直，在施加外力时，钢板应超过平直状态略呈反向变形。当工件受力点下面空间间隙较大时，应放置垫铁，垫铁厚度应略小于两侧垫板的厚度。若钢板的变形较复杂时，应先矫正扭曲等变形，后矫正弯曲变形，这时要适当改变垫铁和施加压力的位置，直至矫平为止。

图 4-12 所示是利用液压机产生的外力，将构件紧压在具有足够刚度的夹具或平台上，使槽钢构件产生与变形方向相反的塑性变形，并使两者互相抵消，从而矫正槽钢的弯曲和扭曲变形。为提高矫正的质量及速度，操作时应根据工件尺寸和变形部位，合理设置加压部位、木垫块厚度及放置位置、胎夹具与翻转模尺寸等。

5）型钢与焊接梁撑直矫正。型钢和各种焊接梁的弯曲变形，可采用型钢撑直机反向弯曲法矫正变形。如图 4-13(a) 所示，撑直机运动件成水平布置，运动件分单头和双头两种，双头运动件两面对称，可两面同时工作，机床效率较高。工作时，型钢置于支撑和推撑之间，并可沿长度方向移动，支撑的间距可由操纵手轮调节，以适应型钢不同程度的弯曲。当推撑由电动机驱动作水平往复运动时，便周期性地对被矫正的型钢施加推力，使其产生反向弯曲而达到矫正的目的。

推撑的初始位置可以调节，以控制变形量。台面设有滚柱以支撑型钢，减小型钢来回移动时的摩擦。型钢撑直机也可用于型钢的

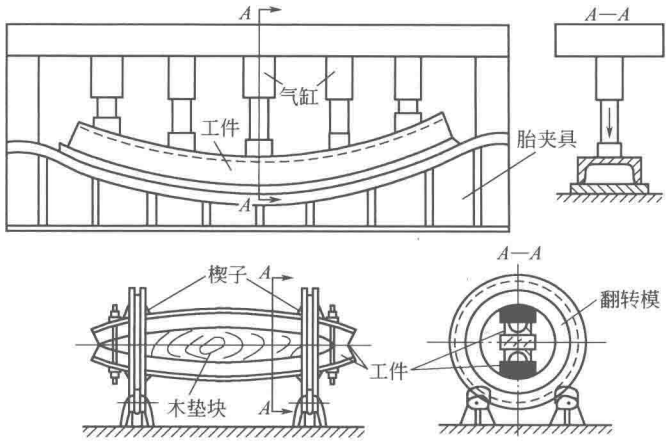
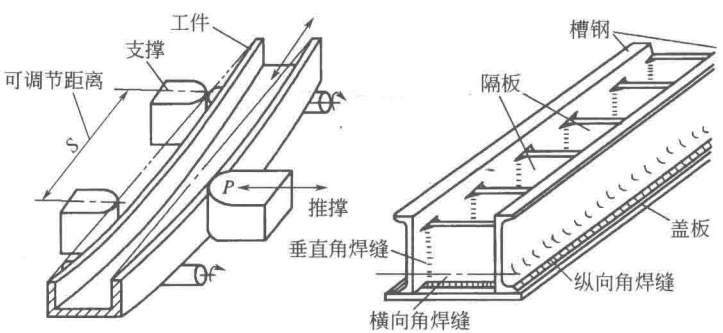


图 4-12　槽钢弯曲液压矫正



(a) 槽钢弯扭撑直　　(b) 焊接梁设置盖、隔板与焊接顺序

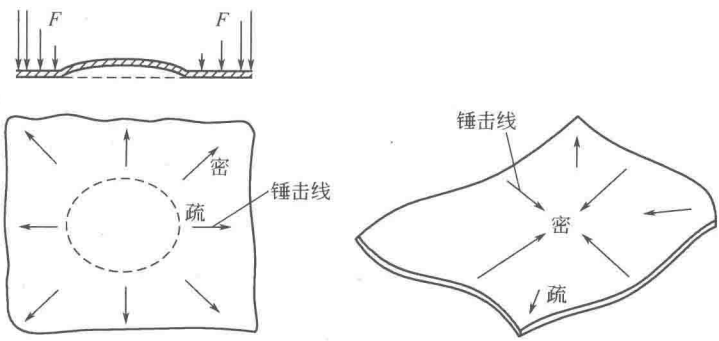
图 4-13　型钢和焊接梁撑直机与辅助矫正

弯曲加工，即为弯曲和矫正两用机床。通常，对于复杂截面或结构的型钢焊接梁，为有效地减少焊接梁的挠曲变形，并提高撑直矫正工作效率，应采用合理的焊接顺序或改变结构形状，如图 4-13(b)所示，先焊尺寸较大的纵向角焊缝，再焊横向角焊缝，最后焊接垂直角焊缝。

(2) 手工矫正法

1) 大幅薄板变形的矫正。由于板材纤维四周紧、中间松而造

成薄板中部凸起变形（俗称“鼓包”），如图 4-14(a) 所示。矫正时可采用收边和放边基本原理，由凸起处边缘开始向周边呈放射形锤击，越向外锤击密度越大，锤击力也加大，以使由里向外各部分金属得到不同程度的延伸和放松，凸起变形便在锤击过程中逐渐消失。若钢板中间部位有几处相邻的凸起时，则应在各凸起交界处轻轻锤击，使数处凸起合并成一个，然后再锤击其四周使之展平。



(a) 中间松，放四周　　(b) 四周松，放中间

图 4-14　薄板的手工矫平

由于板材四周纤维松、中间紧造成薄板四周产生波浪变形，如图 4-14(b) 所示。矫正时可采用橡皮带抽打四周，使周边材料收缩，再锤放中间，且由外向内锤击，锤击的密度和力度逐渐增加，这样板材中部的延展较大，使四周的波浪变形得到矫正。

2）飞机蒙皮变形的矫正。由于飞机蒙皮尺寸较大，工作时外表面直接和气流接触，构成飞机的气动外形，虽然其变形程度相对不大，但要求外形流线光滑、准确度较高。蒙皮矫正与薄板矫正一样，将“紧”处放“松”、“松”处收“紧”，尽可能使用直径较大的（>60mm）硬木锤，以保证其表面不留有较明显的痕迹。若使用直径大于 60mm 的铝锤时，表面必须涂油后再进行锤击，使平台与蒙皮表面、锤头与蒙皮表面间均隔有一层油，以保证锤击处不产生痕迹。通常对于单曲度蒙皮表面的小凸起或波浪状边缘，用垫一硬橡皮向里镦进行矫正；而双曲度蒙皮表面的凸凹不平，则必须将毛料两边夹紧，将凸模的凹凸处向上顶，并将平滚轮放在凸凹不平处滚展，如图 4-15(a) 所示。

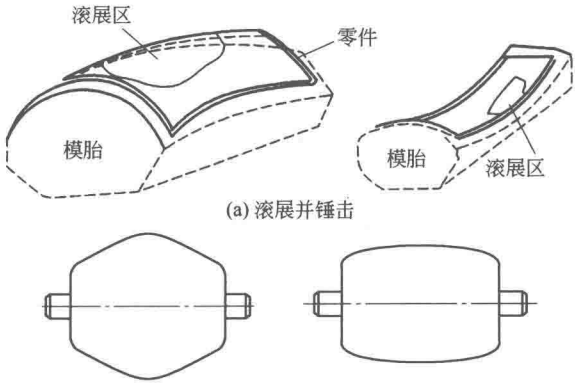


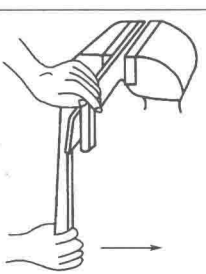
图 4-15　飞机蒙皮的矫正

若在辗滚机上利用图 4-15(b) 所示的滚轮滚平时，滚轮的间隙可以调整。但对于区域很小或无法滚展的部位，仍需要用手工锤击辅助矫正，并将滚展、锤击配合橡皮带抽打，直到矫正为止。

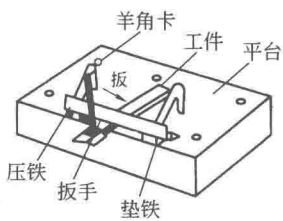
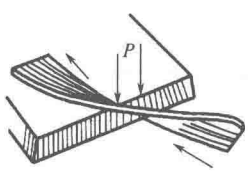
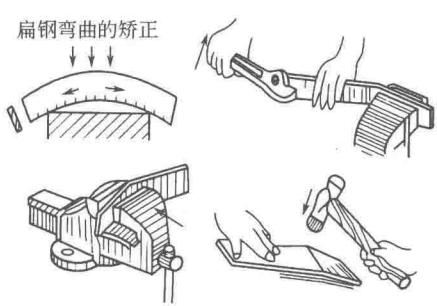
3）窄钢板条变形的矫正。窄钢板条往往同时存在双向弯曲和扭曲变形。矫正时通常选择手工矫正，并确定正确的矫正工序，即扭曲变形矫正→立面弯曲变形矫正（钢板条宽度平面的弯曲）→平面弯曲变形矫正（钢板条厚度平面内的弯曲）。

当然，窄钢板条上的几种变形是相互影响的。因此各种变形的矫正也要交替进行，但这种交替是在基本矫正工序基础上进行的，见表 4-14。

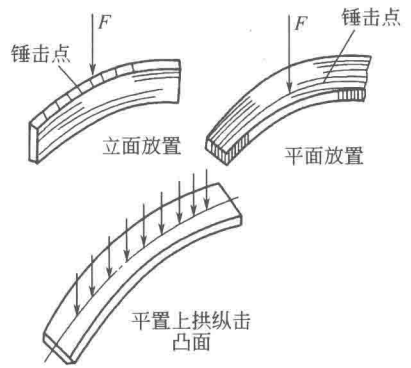
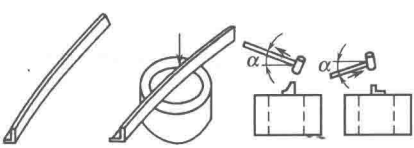
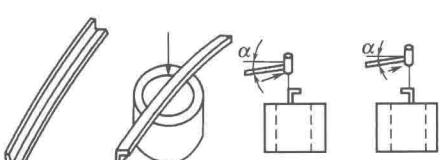
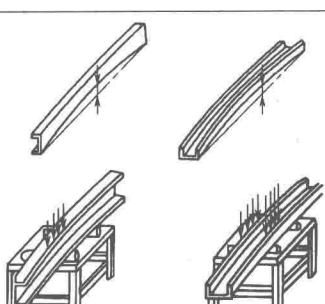
表 4-14　手工矫正方法

方法		图示	操作说明
扁钢扭转	叉形扳手夹持矫正		将扁钢的一端用台虎钳夹住，另一端用叉形扳手或活扳手夹持扁钢向扭曲的相反方向扭转，当扭曲变形消失后，再用锤击将其矫平

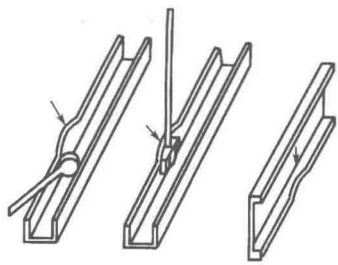
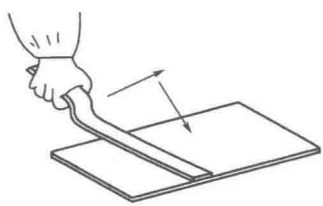
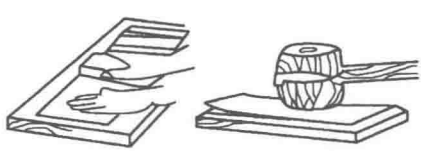
续表

方法		图示	操作说明
扁钢扭转	活扳手夹持矫正		将扁钢的一端用台虎钳夹住，另一端用叉形扳手或活扳手夹持扁钢向扭曲的相反方向扭转，行扭曲变形消失后，再用锤击将其矫平
	平台上羊角卡夹持矫正		将扭曲端夹持在平台上，下面加垫铁，上面放压铁，然后将另一端套在扳手上，用力作反向扭转，直至消除扭曲
	锤击配合矫正		若扭曲严重时，可将扭曲处伸在平台边缘外，以接触点为支点，沿扭曲反向锤击，然后再矫正
扁钢弯曲	钳台夹持矫正		扁钢在厚度方向上弯曲时，将弯曲处夹入台虎钳，钳口反方向扳动末端，或直接压直，再放到平板或铁砧上锤击矫平；扁钢在宽度方向上弯曲时，可先将其凸面向上放在铁砧上，锤打凸面，再平放在铁砧上，锤击弯形里面，使其伸长而变直

续表

方法		图示	操作说明
扁钢弯曲	锤击配合矫正		厚度较大钢板条在立面弯曲时，可将其置于平台上，用大锤直接击打上凸起面。但板厚较小时则锤击其凹侧平面；若平面弯曲时，可将其置于平台上，用大锤垫上平锤（或木锤），沿窄钢板条凸起面的纵向中心线进行击打
型钢弯曲	角钢外弯矫正		将角钢放在钢圈上或铁砧上。在用力锤击时，锤柄应稍微抬高或放低一个高度（α约为5°）
	角钢内弯矫正		将角钢背（宽）面朝上立放，其矫正方法与外弯矫正方法相同
	槽钢立弯和旁弯矫正		槽钢立弯或旁弯变形矫正时将槽钢用两根圆钢垫起，然后用大锤锤击

续表

方法		图示	操作说明
型钢弯曲	槽钢翼板矫正		槽钢翼板局部凸起时，可用一手锤垂直或横向抵住凸起处，用另一锤锤击。若局部凹陷时，也可将翼板平放，锤击凸起处，直接矫平
薄板延展	薄板微小扭曲矫正		薄板有微小扭曲时可用抽条从左到右（或从右到左）顺序抽打平面，直至平整
	铜箔、铅箔变形矫正		铜箔、铅箔等薄而软的箔片变形，可将箔片放在平板上，一手按住箔片，另一手用木块沿变形处挤压，使其延展达到平整，也可用木锤或皮锤锤击矫平

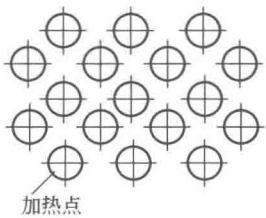
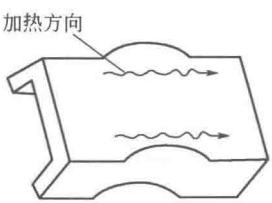
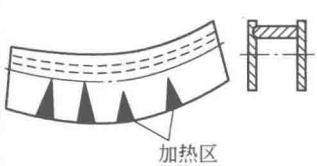
（3）火焰矫正法

1）火焰加热方式。火焰加热有点状加热、线状加热和三角形加热三种方式。见表 4-15。

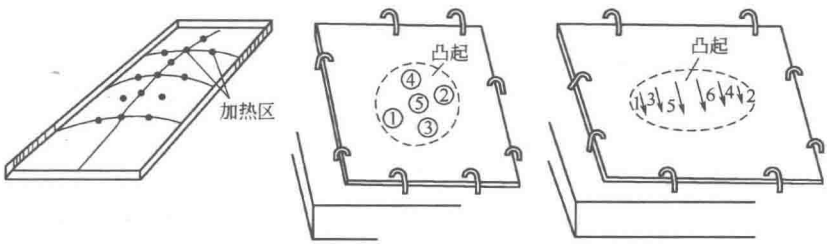
2）薄板件火焰矫正

① 框架薄板火焰矫正。对于框架薄板的失稳变形状态，可采用点状或线状加热进行矫正，如图 4-16 所示。加热时，可将加热点或加热线均匀分布于产生波浪变形或上拱的部位。但由于火焰加

表 4-15　火焰加热方式

加热方式	图示	说明
点状加热		当薄板中间凸起而四周较平整时，可将钢板凸面向上置于平台上，四周用卡子压紧，对称地从凸起边缘向中心围拢。若板件较厚，加热点的直径不小于 20～30mm。若板件变形量较大时，加热点间距要小，一般为 50～100mm，且每加热一点应立即锤打加热点。若板件呈波浪变形时，加热点周围还要浇水冷却并锤击
线状加热		当钢板边缘松弛形成波浪变形时，先用卡子将钢板三边压紧在平台上，使变形尽量集中在钢板的一边，从凸起的两侧向中间对称线状加热，加热线的宽度、长度和间距视变形情况而定，一般线状加热多用于变形量大及刚性大的工件
三角形加热		当厚钢板或型钢产生弯曲变形时，可将火焰摆动、加热区呈三角形状，三角形底边在被矫正钢板或型钢边缘，而三角形角顶向内。一般三角形的顶角约为 30°，高度约为工字形结构腹板高度的 1/2～1/3。三角形法加热常用于矫正厚度和刚度较大构件的变形

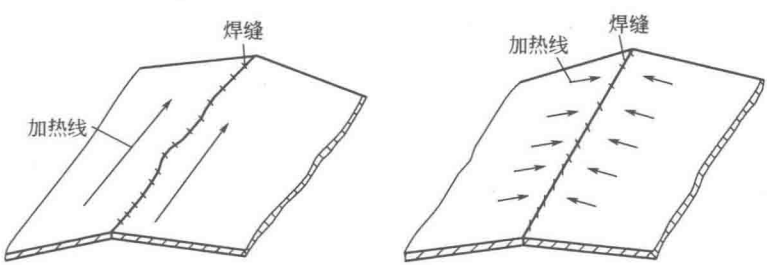
热的范围相对比较大，极易促使薄板受热部位进一步上拱，如图 4-16(a) 所示，从而降低薄板自身对加热点金属的压缩作用。因此，需要利用外力限制薄板的上拱，采用多孔板压住工件，再通过小孔对工件凸起部位进行点状加热，如图 4-16(b) 所示，或通过椭圆孔对工件凸起处进行线状加热，如图 4-16(c) 所示，以提高矫形效果。



(a) 框架加压点状加热　(b) 孔板加压点状加热　(c) 孔板加压线状加热

图 4-16　框架钢板结构点、线状火焰矫正

② 对接薄板火焰矫正。将处于自由状态的薄钢板对接焊后，由于接头处局部受热和冷却，必然使焊缝处引起纵向波浪变形和横向角变形，如图 4-17 所示。通常是沿焊缝方向，先在焊缝两侧用线状加热矫正其纵向变形，如图 4-17(a) 所示，然后在垂直焊缝方向，再在焊缝两侧用横向短线状加热矫正其角变形，如图 4-17(b) 所示。

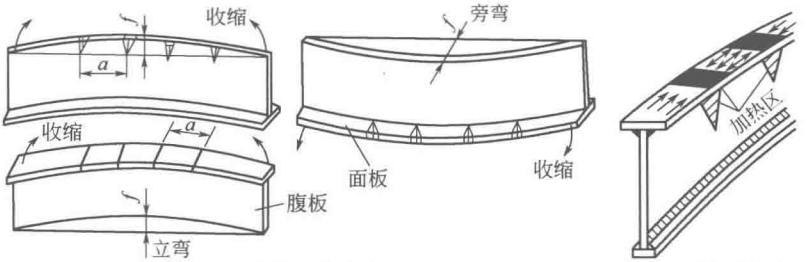


(a) 纵向变形的加热线　(b) 角变形的加热线

图 4-17　对接薄板的线状火焰矫正

3) 型钢焊接梁火焰矫正。图 4-18(a) 所示是非对称的Ⅱ形钢的旁弯，通常可采用三角形加热法，在下盖板的外弯侧矫正。对于非对称工字钢的上挠变形 [图 4-18(b)]，则可通过在盖板上加热矩形面积和在腹板上部加热三角面积进行矫正。

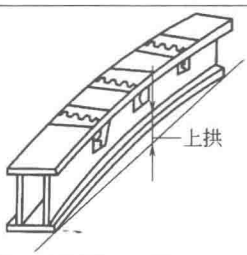
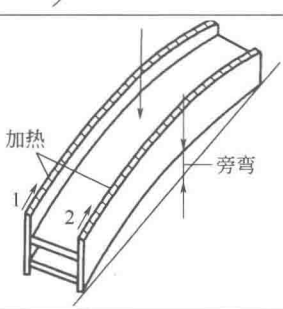
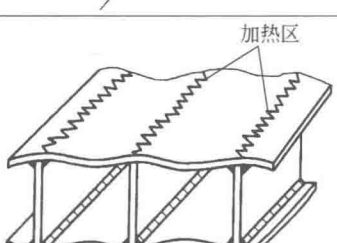
4) 箱形板架梁火焰矫正。见表 4-16。



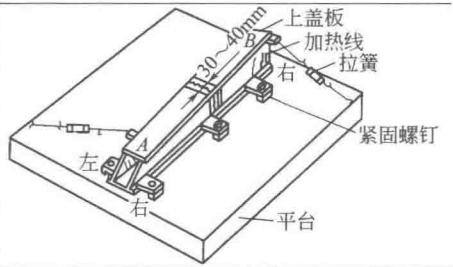
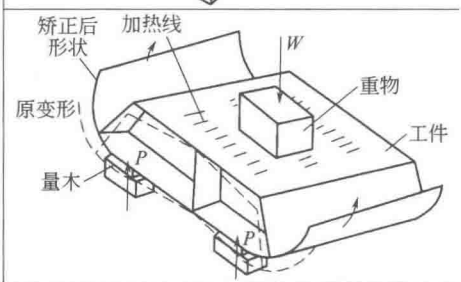
(a) 腹板弯曲矫正　　(b) 盖板弯曲矫正

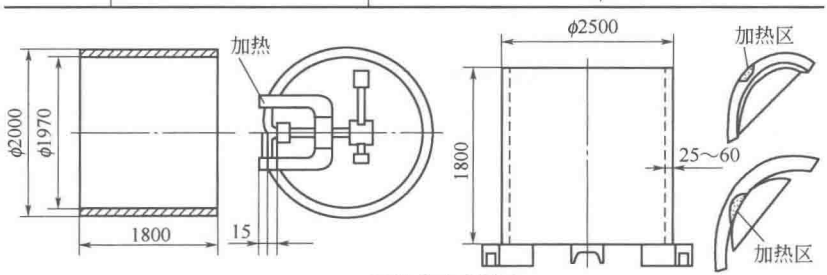
图 4-18　型钢焊接梁火焰矫正

表 4-16　箱形板架梁火焰矫正

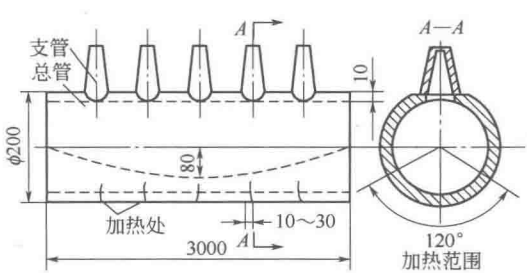
变形类型	矫正说明	图示
上拱	上拱和旁弯部位加热锯齿形线矫正，变形较小时取单线，变形较大时则取双线或锯齿形线。每个加热区的大小和间隔距离视弯曲挠度而定。当厚板箱形梁的上拱和旁弯变形较严重时，在加热的同时可借助机具顶压以附加外力	
旁弯变形		
角变形	在角焊缝背面的凸凹交界拐点处用长线状、短线状或十字交叉状加热矫正。若变形仍未完全消除，再在凸起的中间部位进行加热，或间隔跳幅矫正	

续表

变形类型	矫正说明	图示
扭曲变形	一般应先矫正构架的变形，后矫正钢板的变形，若构架相对较弱时，板和构架的矫正可以交叉进行。当板厚不同时，先矫正厚板，后矫正薄板，矫正每一部分的同时要考虑到对相邻部分和整体结构的影响，并注意下道工序的装配要求	
大型板架结构变形		



(a) 筒体内凹矫正



(b) 风管加热部位

图 4-19　筒体与转炉风管的火焰矫正

5）筒体变形矫正。对于筒体类或复杂筒形构件的弯曲变形，也可采用火焰矫正，如图 4-19 所示。筒体内凹变形时，还需用螺旋压紧装置配合火焰加热矫正，如图 4-19(a) 所示，一般采用三角形加热法，且三角形底边长 20～40mm，加热范围为总管 120°所对应的弧长，如图 4-19(b) 所示，加热温度约 800℃，分 5 处加热，经 2～3 次矫平即可达到技术要求。

4.3 放样施工工艺

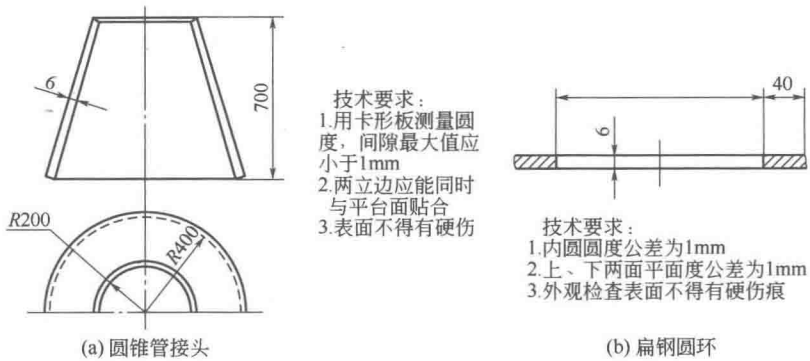
放样施工工艺是在产品图样基础上，根据产品的结构特点和制造工艺需要，采用 1∶1 的实尺比例在钢板上绘制放样图、展开图、数据、样杆、样板的过程。放样施工工艺也称实尺放样，它是最基本的放样方法。

4.3.1 放样图及其应用

放样图又称放大样，是按照施工图（视图）的基本要求或构件的主体形状，遵循正投影原理，将构件按中性层或里皮尺寸画在放样台、纸板或钢板上所得的单线图，画放样图的过程即为放样。

4.3.1.1 放样图绘制

(1) 图样比例与表示内容　放样图是以 1∶1 的实尺比例进行绘制，并按构件中性层弯曲半径或里皮尺寸进行必要的计算及展开，以获得产品制造过程中所需要的放样图、数据、样杆、样板和草图等，然后完成在钢板或型钢上的划线号料等工作。它依据的施工图是将产品立体形状按一定比例放大或缩小绘制，如图 4-20(a) 所示。放样图上 1∶1 的比例不仅能精确反映实物的尺寸和形状，还可直接用于展开，而且不必标注中性层、里皮以外的尺寸，也无须划出板厚，如图 4-20(b) 所示。同时施工图上不仅需表明投影关系，内部或局部的关系，绘画两个以上视图或剖视图及局部放大图等，还需标注构件的全部尺寸与形位公差、表面粗糙度、标题栏及有关技术说明等才能加工成形。

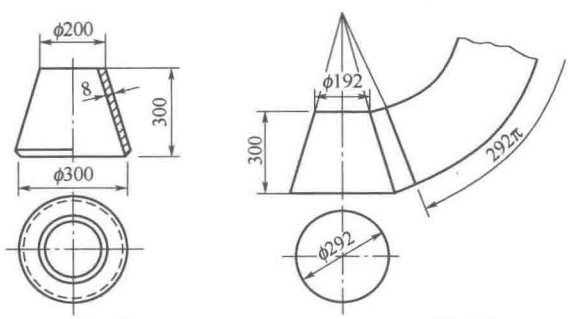


(a) 圆锥管接头　　(b) 扁钢圆环

图 4-20　简单曲面构件的施工图

(2) 图样绘制线条　放样图线条的粗细无关紧要，但常需要添加各种与展开有关的必要辅助线条，而去掉视图中与放样无关的线条，甚至可以去掉与展开下料无关的视图。

如图 4-21 所示的锥管放样图与施工图，其差别很大，在放样图主视图上添划出了锥管头的锥顶点，并按照中性层法将锥管主、俯视图仅划成了单线图并标注。尤其在展开图上去掉了与展开下料无关的俯视图，并仅标注锥管的展开长度尺寸。



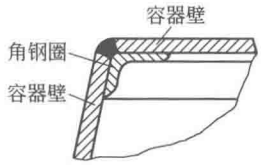
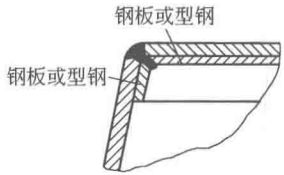
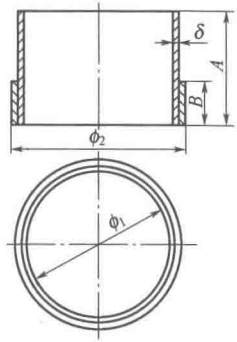
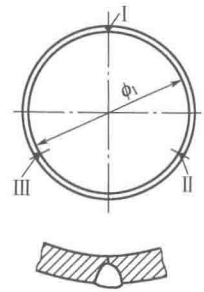
(a) 施工图　　(b) 放样图与展开图

图 4-21　圆锥管的放样与展开图

4.3.1.2　放样图结构处理

钣金产品放样时，在不违背原设计基本要求的前提下须按工艺要求对放样图进行结构处理。结构工艺性处理涉及面较大，有时也很复杂。放样过程中的结构处理示例见表 4-17。

表 4-17　放样过程中的结构处理示例

示例	容器局部结构处理		大圆筒件结构处理	
图示				
	改进前	改进后	视图	拼接位置与坡口形式
处理说明	圆锥台容器的端部结构，用角钢圈内衬对角焊缝内侧进行加固连接，但须将角钢圈断面进行“劈八字”形状处理，而只有在加工时进行加热才能弯曲成形。将角钢圈改为两件焊接组合形式，就可用机器上冷加工成形，节省了加热工艺，提高了效率		产品原设计中只给出了各部件尺寸要求，但由于此圆筒部件尺寸较大，需由几块拼制而成，所以在放样时采用焊缝Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的拼接位置及坡口形式，并考虑其中性层位置、接口线及展开形状等问题，同时还要根据产品的具体情况和工厂条件进行妥善处理	

4.3.1.3 放样图的作用

(1) 计算毛料与展开　利用放样图可结合必要的工艺计算，直接求出构件用料的真实形状和尺寸，有时还可直接划出构件的展开图以及与之连接的构件的位置线。

(2) 制作样板及胎具　依据放样图，可绘制出供号料划线用的草图，从而制作出各类样板、样杆和样箱，以便准备光学放样或计算机放样等。同时，利用放样图，并依据构件的制作工艺需要，还可设计出加工成形或装配所需的胎具和模具等。

(3) 拼装连接成形　利用放样图，可直接对某些构件进行装配定位，即所谓“地样装配”等。桁架类构件和某些组合框架类构件的装配，经常采用此法将放样图划在钢质装配平台上，如图 4-22(a) 所示的屋架的地样装配。装配时，先在平台上划出屋架的放样图，保证各部分尺寸位置准确划出后沿样图外轮廓线焊上多个定位挡板，再按图样位置放好连接板、夹板、上下弦杆与腹杆并定位焊，如图 4-22(b) 所示。

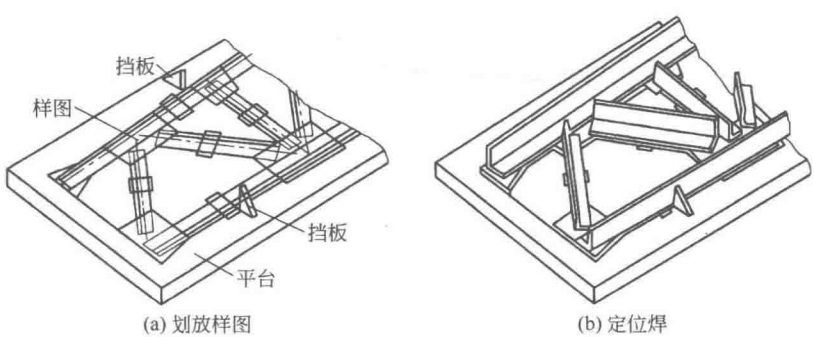


图 4-22　屋架半扇的地样装配

4.3.2 放样程序与过程

放样程序要经过放样前准备、放样过程确定、放样尺寸确定、样板及胎具制作等，同时在放样过程又要确定线形放样、结构放样和展开放样三个互相交错联系的过程。

4.3.2.1 放样前准备

(1) 分析构件图样　在进行单件或少量的钣金件制作时，放样前必须先看懂构件按正投影原理划出的施工图。划面上构件的形状、组成部分、尺寸和有关技术要求是钣金工从事生产的依据，只有画好施工图和看懂图，才能进行放样号料工作。

(2) 准备放样工量具　在看清、看懂图样的结构尺寸及工艺性要求后，首先准备好划线放样所需的工量具等物，以便于在划线期间校核所划图样是否符合设计图样的形状和尺寸要求，检查是否留有应留的工艺或加工余量，以及还要检查矩形类工件对角线长度的一致性。

4.3.2.2 放样过程确定

(1) 线形放样　线形放样是指根据结构制造需要，绘制构件整体或局部轮廓（或若干组剖面）的投影基本线形。

1) 绘制线形图准备。根据所要绘制图样的大小和数量，合理安排好各图在放样台或钢板上的位置。对于大型结构件的放样，为了节省放样台面积和减轻放样劳动，允许采用部分视图重叠或单向缩小比例的方法。

2) 构件基本线形的绘制。线形放样时，以划出设计要求必须保证的轮廓线为主，因工艺需要须变动的线形可暂时不划。如图 4-1(a) 所示炉壳主体部件图样中，主视图可以垂直中心线和炉上口轮廓线为放样划线基准，俯视也可以两互相垂直的中心线为放样划线基准，分别准确地划好各个视图中的基准线，如图 4-1(b) 所示。然后，先划出必须符合设计要求的筒体件尺寸，以及由设计给定且不得改动的炉底位置。对于圆锥台件的尺寸，须在处理好接缝部位尺寸后才能划出。而筒体件上的孔，则没有先后顺序。

3) 线形放样要点。进行线形放样，必须严格遵循正投影规律。同时，对于有复杂曲面的金属结构，如船舶、飞行器、车辆等，则往往采用平行于投影面的剖面剖切，划出一组或几组线形表示结构的完整形状和尺寸，如图 4-23 所示，所划出的线形图必须满足光顺性和协调性要求。

(2) 结构放样　结构放样是指在线形放样的基础上，依据制造工艺要求进行工艺性处理的过程，它包括接缝形式确定、接缝位置

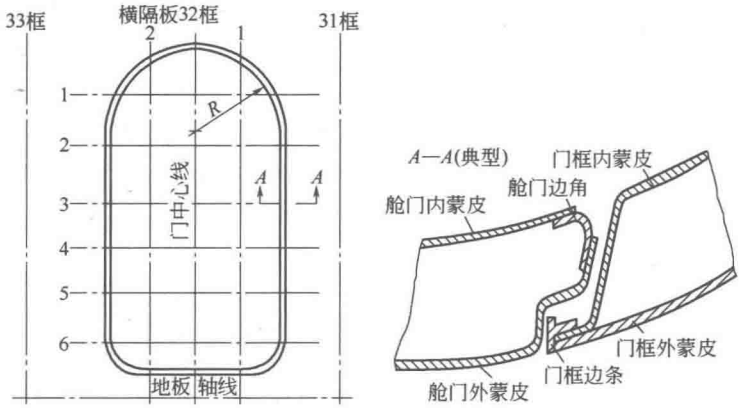
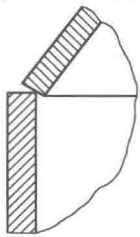
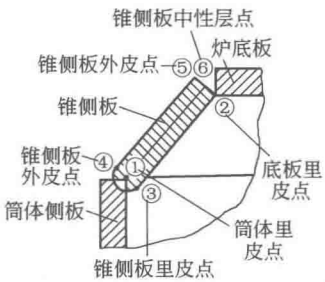


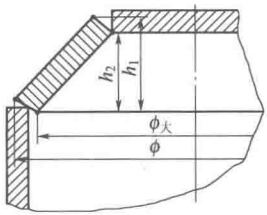
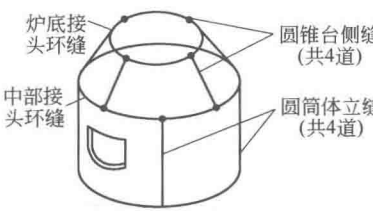
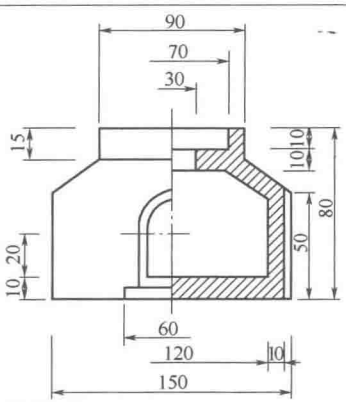
图 4-23　飞机舱门和门框结构剖视图

布置、结构样板草图绘制、各种样板及胎架绘制等内容，见表 4-18。

表 4-18　结构放样内容与示例

内容	工艺要求	图示	说明
接缝形式的确定	由于材料规格及加工条件等限制，需根据构件实际情况将原设计中的整件分为几部分加工和组合，正确、合理地确定结合部位置及连接形式，并对原设计中的连接部位结构形式进行工艺性分析再加以修正		图示为炉壳主体部件的连接。炉底板体积小、重量轻，易于装配、焊接，可使炉体内、外环缝几乎均处于平角焊位置，以便于操作
接缝形式的划法			以圆筒件里皮点为圆心，以圆锥台侧板板厚的 1/2 为半径划圆。再过炉底板下沿里皮点，向左下方引已划出圆的切线，则此切线即为圆锥台侧板里皮线。然后分别过筒体里皮点和炉底板里皮点引里皮线垂线，使之长度等于板厚，得出③、④、⑤点；连接④、⑤两点得到圆锥台侧板外皮线。同时，再划出板厚中心线①至⑥的连线以供展开时用

续表

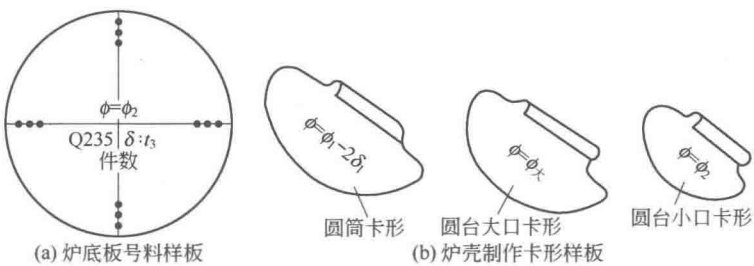
内容	工艺要求	图示	说明
接缝位置的布置	根据加工工艺及实际生产现有的加工能力，对结构中的某些部位或部件给以必要的改动		构件 a、b、ϕ_1、ϕ_2 尺寸较大，且圆锥台锥变太大，不能滚弯成形，而需分几块压制成形或手工煨制成形
			圆锥台件需要改为分段制作再组对，并且需组对的中部环缝、炉底环缝、四道圆锥台侧缝和圆筒体立缝各接缝部位，应按不削弱构件强度、尽量减少变形的原则确定，焊缝应交错排列，且远离加工孔的位置
绘制结构草图	依据计算出的料长，绘制出钣金结构的草图并量取必要的数据，以便准备号料样板		圆锥台件结构尺寸作了变动，需要根据放样图上改动的圆锥台件，绘制出其结构草图，以备装配时用。草图上应标出必要的尺寸即大端最外轮廓圆直径 ϕ 和总高度 h_1 等

(3) 展开放样　展开放样是在结构放样的基础上，对不反映实形或需展开的部位进行展开，以求取实形的过程。一般展开放样的具体过程如下。

1) 板厚处理。根据加工过程中的各种因素，合理考虑板厚对构件形状、尺寸的影响，划出欲展开构件的单线图（即所谓理论线）。

2）展开作图。利用已划出的构件单线图，运用投影理论和钣金展开的基本方法，作出构件的展开图。

3）绘制号料草图。如表 4-18 中圆锥炉壳图所示的直径为 ϕ2mm 的圆形炉底板，根据已作出的展开图形状和尺寸，必须在作出号料样板前，先绘制出号料草图，以便供样板制作时使用，如图 4-24(a) 所示。



(a) 炉底板号料样板　　(b) 炉壳制作卡形样板

图 4-24　制作炉壳零件的各类样板

(4) 绘制样板及胎具　样板及胎具的绘制包括检验样板的绘制、加工成形样板的绘制和装配胎架的绘制三个内容。

例如图 4-23 所示的飞机舱门和门框剖切视图中，舱门纵横隔板都是控制切面，舱门由多块薄料经拉形或落压后胶接在门框上，其成形样板及结合方法如图 4-25 所示。

绘制装配胎架时，在工件不适于以装配平台作支承时，如炉壳筒体、各种容器、船舶、飞机等，均需以曲面胎架作支承进行装配。如图 4-26(a) 所示的圆筒对接装配胎架，若采用手工弯曲成形时，则必须考虑弯曲成形操作台的形式及尺寸，需要绘制手动滚轮式胎架或装配不翻转胎架。

若采用半自动或自动辊制时，则需要绘制如图 4-26(b) 所示的圆筒形工件通用胎架；对于圆锥台若为压制成形时，需要考虑胎模形状和尺寸并绘制胎模图。图 4-26(c) 所示为圆锥台或油罐罐顶的专用胎架，是由模板构成胎架的支承工作面。模板是通过放样得出实际形状再加工而成，这种专用胎架只适用于一种形状、尺寸的工件装配所用。

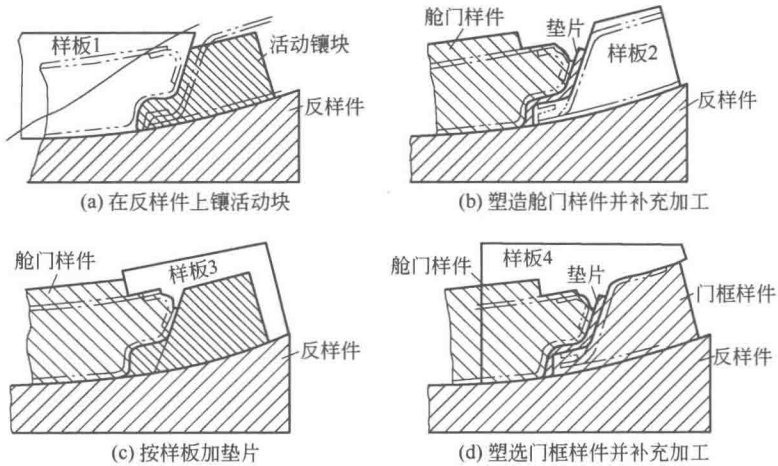


图 4-25　飞机舱门和门框号料样板与样件的结合

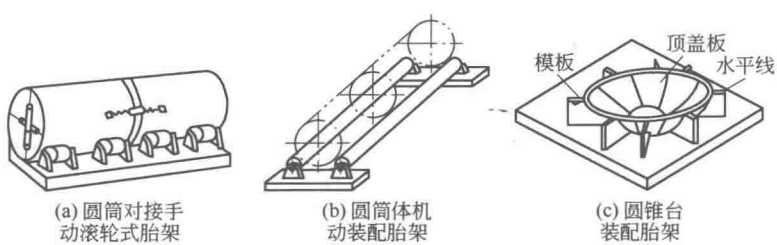


图 4-26　曲面工件装配胎架

4.3.2.3　放样尺寸确定

(1) 工件坯料尺寸的确定　工件坯料尺寸的确定方法有展开法、计算法、试验法和综合法等。展开法是按钣金作图展开方法，将工件表面全部展平在放样台或钢板上，可直接测量出坯料的尺寸。计算法是按展开原理或压延变形前后体积不变原则，推导出计算公式而计算出坯料的尺寸。试验法是通过试验来决定形状较复杂工件的坯料尺寸，而综合法则是针对过于复杂的工件，而对其不同部位所分别采用的展开法和计算法，以及同时还需采用的试验法综合予以配合验证。

(2) 工艺变量的确定　由于工艺变量的影响因素很多，因此在

确定工艺变量时，通常需要综合考虑以下因素。

1）放样过程和号料过程中放样误差的影响因素。

2）切割、边缘加工、各种冲压成形加工过程中误差的影响因素。

3）零件装配边缘的修整和装配间隙的控制、部件装配和总装装配的误差，以及必要的反变形矫正值等影响因素。

4）火焰矫正时，所产生的收缩变形量影响。焊接时，所产生的焊接应力及焊接变形等影响因素。

5）铆接和咬接加工时，铆接上、下盖板及咬接薄板端面的加工误差、装配误差以及操作变形量等影响因素。

通常，为了消除产品制造中加工误差、损耗和结构变形对产品形状和尺寸精度的影响，必须采取加放一定的余量措施，如图 4-27 所示，并参照经验合理地确定余量应加放的部位、方向及数值等。

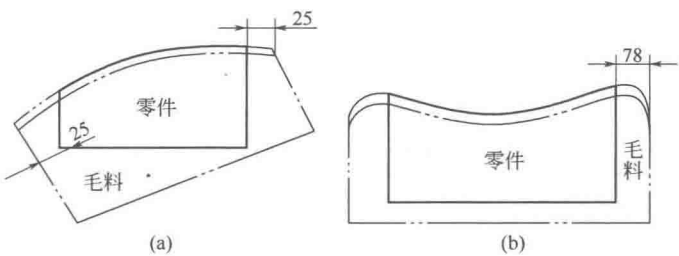


图 4-27　零件周边附加工艺余量

（3）加工余量的确定　放样切割后的构件由板料拼接成形时，不论采用何种连接方法制作，均必须在放样图和展开图的周围，放出一定宽度的加工或修边余量（亦称为展开料），加工余量的外边线总是和展开图相应边线平行或并行，其大小取决于边缘加工形式和采用的连接方法。通常气割后铣边或刨边时，加工余量取 4～5mm，剪切后铣边或刨边时，加工余量则取 3～4mm。

由于常用的连接方法有铆接、焊接、咬接、胀接或胶接等，所以不同的连接方法，加工余量大小不同，确定方法也不同。

4.3.2.4　放样允许误差

在放样过程中，由于受到放样量具和工具以及使用方法等因素

的影响，实样图绘制中会出现一定的尺寸偏差，这种尺寸偏差需要控制在一定的允许范围内才能保证精度要求。实际生产中，放样图允许的偏差值应根据新产品类型、尺寸大小的精度要求来考虑，一般情况下可参考表 4-19 中给出的允许误差值。

表 4-19　常用放样允许的误差值

项目内容	允许误差/mm	项目内容	允许误差/mm
十字线	±0.5	样板两孔距离	±0.5
平行线和准线	±(0.5～1.0)	样杆、样条和地样	±1.0
轮廓线	±(0.5～1.0)	角度板和地样	±1°
结构线	±1.0	加工样板角度	±20′
样板和地样	±1.0	装配用样杆和样条	±1.0

4.4　放样号料技术

4.4.1　划线号料程序

号料通常由手工操作，并按有关技术要求，同时还要考虑产品整个工艺、合理用料等，灵活而准确地在各种板料、型钢及成形零件上直接划出工件切割线的工作，如图 4-28 所示。

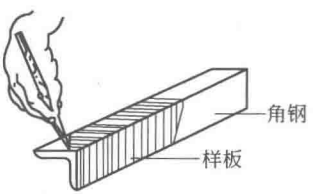


图 4-28　划针号料

4.4.1.1　号料前准备

(1) 熟悉产品制作工艺　号料前应熟悉产品图样和制作工艺，用以合理地去安排零件号料的先后顺序，并确定零件在材料上的位

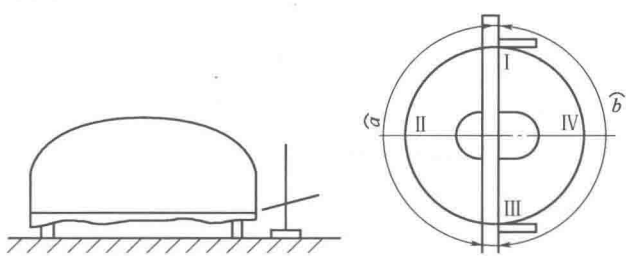
置分布符合制作工艺的要求。

(2) 检验技术资料　根据产品图样，验明样板、样杆、草图及号料数据，核对钢材牌号、规格是否与图样及技术条件要求一致，保证其一致性。

(3) 检验号料材料　对材料的有无裂缝、夹层、表面疤痕或厚度不均匀等缺陷进行检查，并根据产品技术要求进行适当处理。

4.4.1.2　号料操作要求

(1) 工量具操作要求　通常手工号料使用的工具有划针、石笔、圆规、划规、粉线、直尺、角尺、样冲、划针盘、曲线尺、吊线锤和水平仪等。如图 4-29(a) 所示，在用划针盘或石笔划线时，为避免样板移动，可将样板用夹子等可靠地固定在板料上，然后再使划针锥面紧靠在样板外缘或直尺边缘移动且用力要均匀，如图 4-29(b) 所示。



(a) 划针盘号料　　(b) 样板和直尺号料

图 4-29　手工划线号料

(2) 划线操作要求

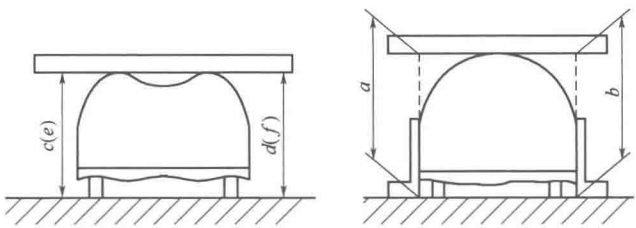
1) 平面划线。平面划线时，要先划基准线，后划圆弧或圆周，最后再划所有的直线，从而完成大的轮廓线。对于垂直线需用作图法求出，而不可用量角器或 90°角尺划出，用划针或石笔划出的线不应过粗，并应紧靠在尺子或样板的边沿进行。

用弹划粉线划线时，拽起的粉线应在欲划线的垂直平面内，不得偏斜。用圆规在钢板上划线时，为防止圆规脚尖的滑动，应先在确定处打上样冲眼。

2) 立体划线。如图 4-30(a) 所示的有人孔封头划线时，首先需将直尺放在椭圆人孔的长轴和短轴位置上，用垫块衬托在封头的

直边上，最终使直尺到平台的距离相等。

如图 4-30(b) 所示的无人孔封头划线时，将 90°角尺放在封头的四个对应方向，用不同厚度的垫块衬托，使封头的直边部位与 90°角尺重合。然后，将直尺放在封头顶部的最高处，量取两边 a 和 b 的高度，再以 $(a+b)/2$ 作为直尺到平台的距离。



(a) 有人孔划线　　(b) 无人孔划线

图 4-30　立体封头划线

(3) 划线允许误差　划线允许误差值应限制在±（0.5～1）mm范围。其中，直线、钻孔线、铆接孔距线、样冲眼和线间距等的划线，允许误差均为±0.5mm。而曲线、结构线、料宽和长等的误差均可增大到±1mm。

4.4.1.3　号料后处理要求

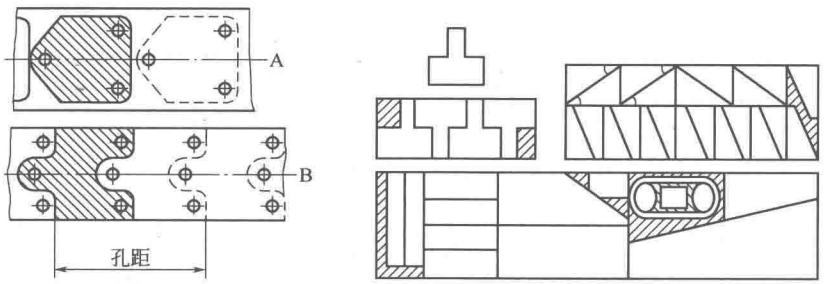
号料划线后，在零件的加工线、接缝线及孔的中心位置等处，应根据加工需要打上錾印或样冲眼。同时，按样板上的技术说明，用白铅油或瓷漆标注清楚，为下道切割工序提供方便，文字、符号、线条应端正、清晰。若按样板钻孔时，还应按样板孔位打出样冲点。

4.4.2　号料技术方法

4.4.2.1　板材号料技巧

(1) 集中单排号料　同一种零件排样时，可选用集中单排的方式，并且按照冲裁零件断口质量要求，合理选择有废料排样、少废料排样或无废料排样三种情况中任意一种。

如图 4-31(a) 所示，A 为有废料排样，而 B 则为无废料排样。一般应根据模具结构设计要求，按表 4-20 所示进行合理选择排样

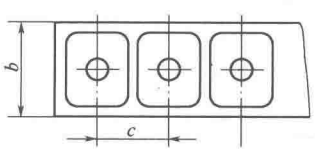
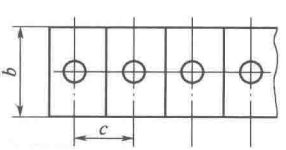
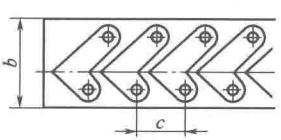
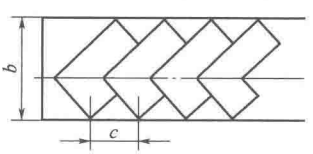
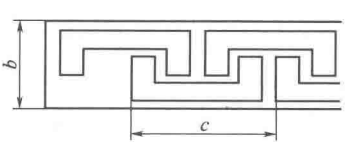
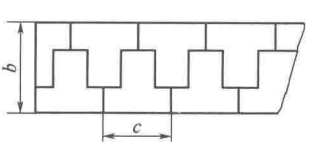
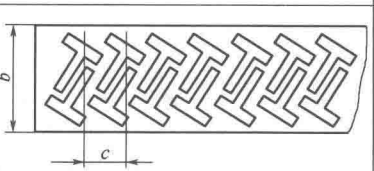
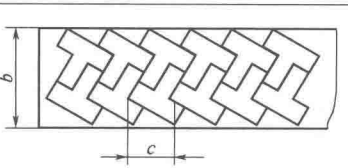


(a) 集中单排号料　　(b) 集中套排号料

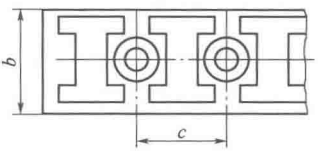
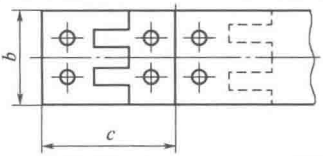
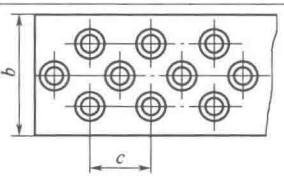
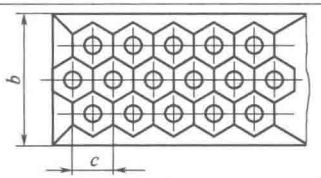
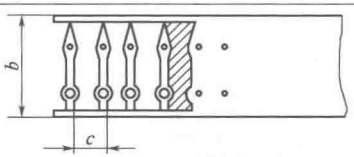
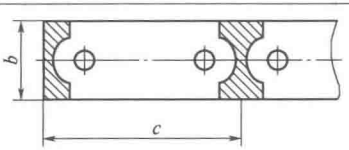
图 4-31　号料与排样方法

方法。

表 4-20　钣金冲裁排样方法

形式	有废料排样	少、无废料排样
直排		
斜排		
直对排		
斜对排		

续表

形式	有废料排样	少、无废料排样
混合排		
多行排		
裁搭排		

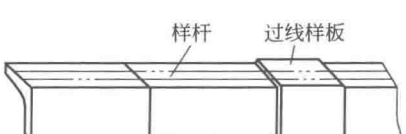
（2）集中套排号料　由于零件材质和规格的多样性，为合理使用原材料，提高材料的利用率，可将使用相同牌号材料，且厚度相同的零件集中在一起，形成长短搭配、凸凹相就，如图 4-31(b) 所示。

（3）余料再利用　板料或型料号料后，会出现一些形状和长度大小不同的余料。将这些余料按牌号、规格集中在一起，用于小型零件的号料，可使材料的利用率达到最大限度。

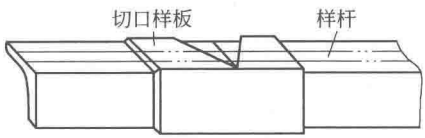
4.4.2.2　型钢号料方法

型钢的号料方法见表 4-21。

表 4-21　型钢的号料方法

方法	图示	说明
整齐端口号料		在型钢上号料切割零件长度时，若需要切成整齐端口形状，一般采用样杆或卷尺确定长度尺寸，再利用过线样板划出端线

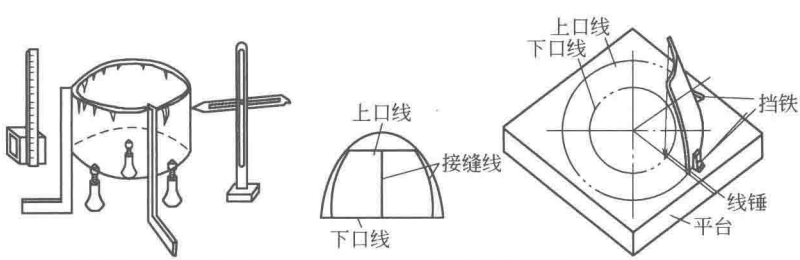
续表

方法	图示	说明
中间切口或异形端口号料		在型钢上号料切割带有中间切口或异形端口零件长度时，先需要利用样杆或卷尺确定切口位置，再利用切口处形状样板划出切口线

4.4.2.3 二次号料及误差

(1) 二次号料　对于某些加工前无法准确下料的零件，常常在一次号料时留有充分的余量，待加工后或装配时再进行二次号料。

在进行二次号料前，材料结构形状必须矫正准确，以消除结构上存在的变形，并在精确定位后，才能进行二次号料。中、小型零件可直接在平台上定位划线，如图 4-32(a) 所示。对于大型钣金结构，则在钢板或装配台上利用划线工具并配合经纬仪等仪器进行二次划线，如图 4-32(b) 所示。



(a) 小型零件二次号料平台　　(b) 多瓣球形封头二次号料平台

图 4-32　二次号料平台

对于某些装配定位线或结构上的某些孔口，还需要在零件加工后或装配过程中划出并注明，亦属于二次号料。

(2) 号料允许误差　号料划线为加工成形提供直接依据。为了保证产品质量，号料划线必须严格控制在允许误差范围内。常用的号料允许误差值见表 4-22。

表 4-22　常用号料允许误差值

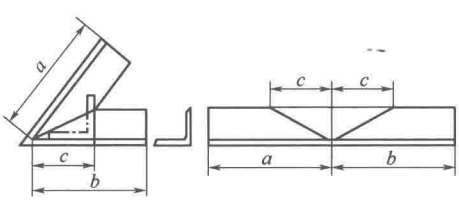
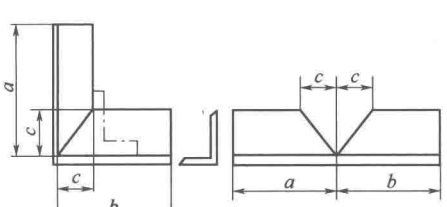
项目名称	允许误差/mm	项目名称	允许误差/mm
直线	±0.5	料宽和长	±1
曲线	±(0.5～1.0)	钻两孔距离	±(0.5～1.0)
结构线	±1.0	铆接孔距	±0.5
钻孔线	±0.5	样冲眼和线间	±0.5
减轻孔	±(2.0～5.0)	扁铲	±0.5

4.4.3　型钢切口号料

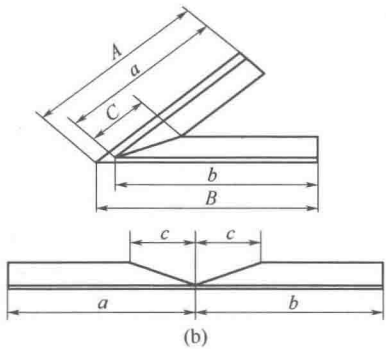
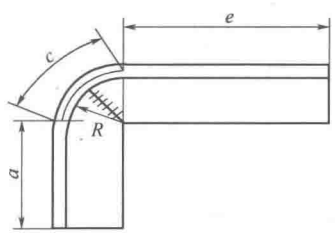
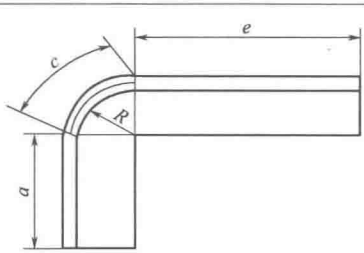
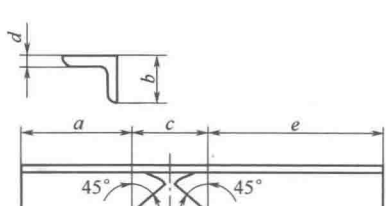
4.4.3.1　角钢弯曲切口号料

角钢弯曲切口号料见表 4-23。

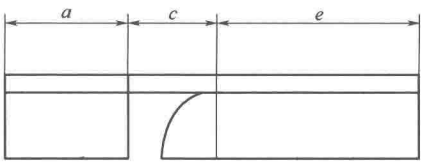
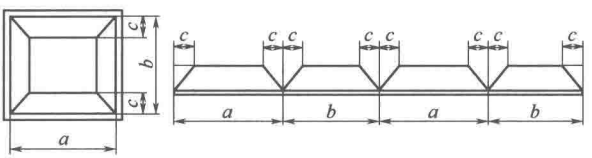
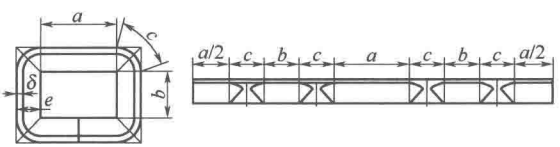
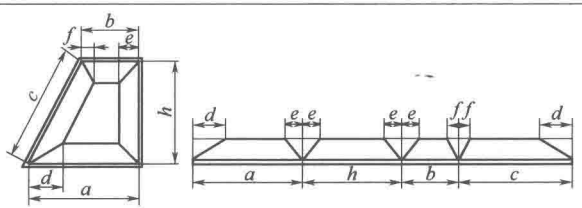
表 4-23　角钢弯曲切口号料

内容	切口和形状	说明
内弯任意角外尖角	(a)　(b)	角钢切口内弯成锐角时的切口和料长，(a)为工件成形后的形状和尺寸，(b)为切口形状和料长
	(a)	角钢切口内弯钝角等所用方法与内弯锐角相同，(a)为角钢切口内弯直角，(b)为任意角的切口和料长

续表

内容	切口和形状	说明
内弯任意角外尖角	 (b)	角钢切口内弯钝角等所用方法与内弯锐角相同，(a)为角钢切口内弯直角，(b)为任意角的切口和料长
内弯90°外圆角		切口位于45°分角线上
		位于45°分角线上切口形状及料长
		切口位于直角边线上

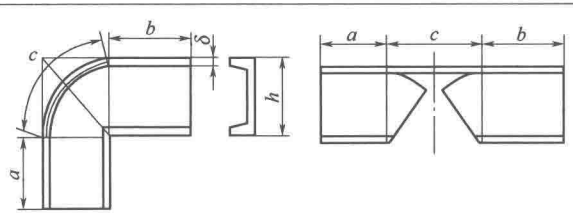
续表

内容	切口和形状	说明
内弯90°外圆角		位于直角边线上切口形状及料长
内弯各种框形		内弯矩形框时的切口形状及料长
		内弯外圆角矩形框时的切口形状及料长
		内弯梯形框时的切口形状及料长

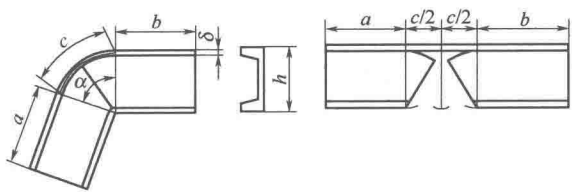
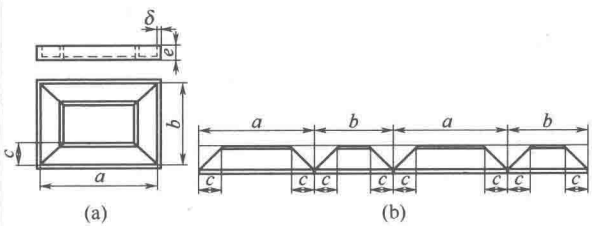
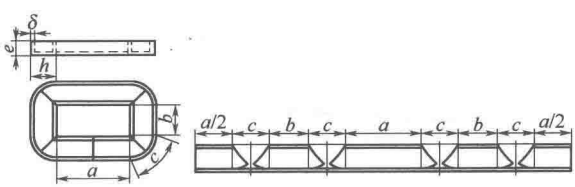
4.4.3.2 槽钢弯曲切口号料

槽钢弯曲切口号料见表 4-24。

表 4-24 槽钢弯曲切口号料

内容	切口和形状	说明
平弯90°圆角		号料的关键是计算圆弧的长度 $c=\pi a(h-\delta/2)/180°$

续表

内容	切口和形状	说明
任意圆角		号料的关键是计算圆弧的长度 $c=\pi a(h-\delta/2)/180°$
侧弯矩形框		切口侧弯四个直角为一矩形框件。(a)为成形图;(b)为料长与切口形状
侧弯圆角矩形框		切口侧弯圆角矩形框的料长与切口形状

4.5 典型钣金件放样技术

4.5.1 板壳类构件的放样

板壳类构件是指由各种型钢和钢板弯曲构成的各类外壳结构，如通风机机壳、除尘器筒壳及各种电器外壳等。由于这类构件大多是比较复杂的曲面外形结构，一般需要展开后确定其各部结构的放样尺寸。这里以图 4-33 所示的通风机机壳为例来说明板壳类构件的放样技术。

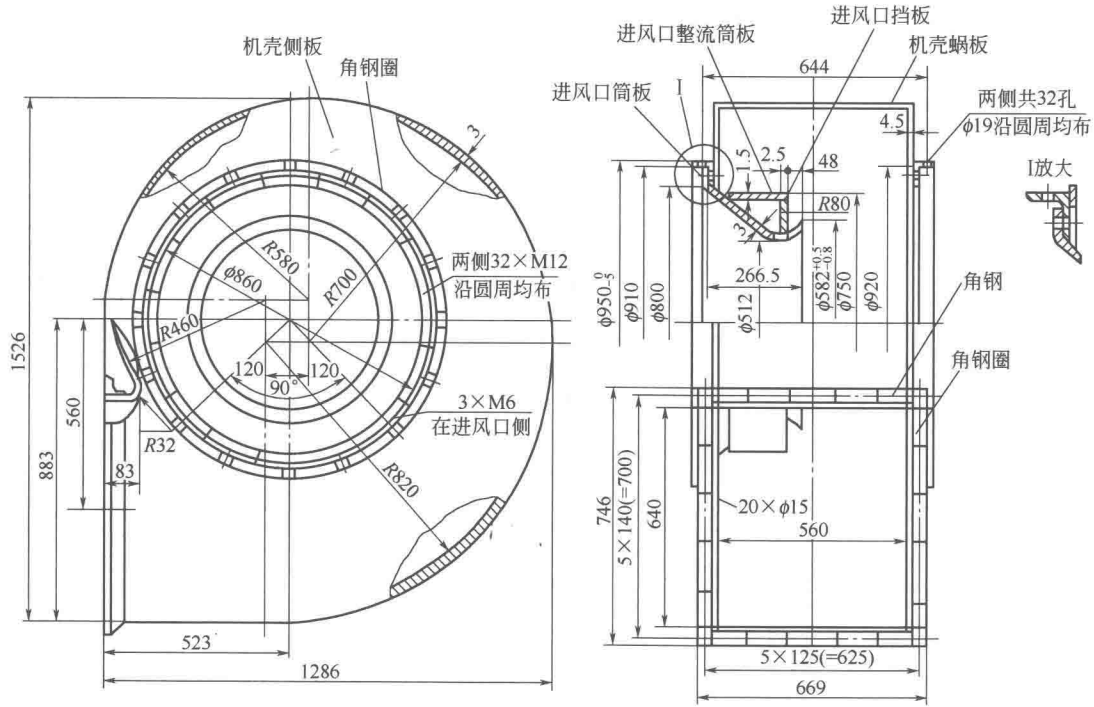


图 4-33　离心式通风机机壳施工图

如图 4-33 所示，离心式通风机机壳是一个比较复杂的板壳结构，外观形状似蜗牛，各部件多为曲面形状，全部采用 Q235 钢板、角钢及角钢圈组成，需要展开放样后才可制作各种号料样板或工件模型等。

4.5.1.1 侧板和蜗板展开放样

如图 4-34 所示，是机壳体侧板的主视图，已知其基圆直径 $D=860\text{mm}$，各圆弧半径 R_1、R_2、R_3、R_4、R_5 及 a、b、c、h、f 的长度尺寸见图 4-33 标注。

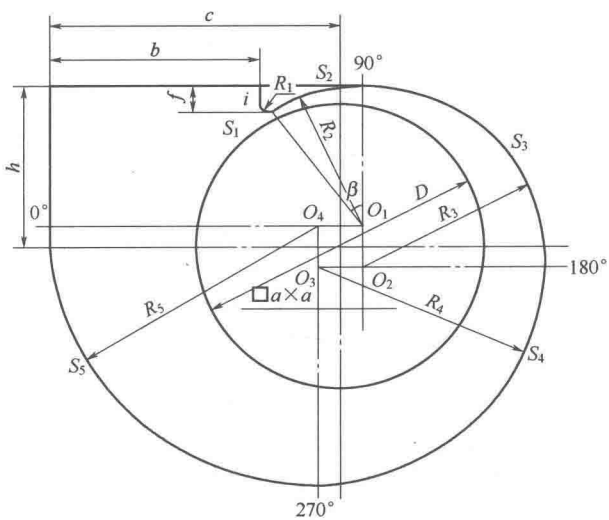


图 4-34　机壳板主视图

(1) 机壳侧板展开放样　机壳侧板图解法展开放样步骤如下。

1) 划一正方形。先在图面中心划一个边长为 a 的正方形，以便得出 O_1、O_2、O_3、O_4 各点。

2) 划侧板圆弧。先分别以正方形的四个顶点 O_1、O_2、O_3、O_4 为圆心，以 R_2、R_3、R_4、R_5 为半径，依次划出 S_1、S_2、S_3、S_4、S_5 各圆弧段，再划出半径为 R_1 的小圆弧段，并使之与以 R_2 为半径的圆弧段 S_1 成光滑连接。

3) 划侧板外形。依次划出 h、b、c、i 各直线段，并使直线

段 h 与圆弧段 S_5、直线段 i 与曲线段 f 的曲段分别成光滑连接，机壳侧板外形即可确定。

(2) 机壳蜗板展开放样　已知机壳蜗板的宽度 B，利用计算法求蜗板的展开长度。

由图 4-34 可知，机壳蜗板的长度是由直线段 i、曲线段 S 加上直线段 h 组成，即蜗板的展开计算式为：

$$L=[i+S+(h-\frac{a}{2})]\times B$$

式中，i、S 段的展开长度求法如下。

1) i 线段的求法。求作 i 线段的展开长度时，可直接从图 4-34放样线中量出，也可以用几何关系式 $i=f-R_1$ 计算求得。

2) S 曲线的求法。求作 S 曲线的展开时，可按图 4-34 放样图中的板厚中心线直接量出，也可用公式 $S_1=\frac{\pi}{2}\left(R_1+\frac{\delta}{2}\right)$ 和 $S=\frac{\pi\left(R_2-\frac{\delta}{2}\right)}{180^\circ}\beta$ 计算求得。

另外，还需配合公式 $\beta=\arcsin\frac{c+\frac{a}{2}-b-R_1}{R_2}$、$S_3=\frac{\pi}{2}\left(R_3-\frac{\delta}{2}\right)$、$S_4=\frac{\pi}{2}\left(R_4-\frac{\delta}{2}\right)$、$S_5=\frac{\pi}{2}\left(R_5-\frac{\delta}{2}\right)$、$S=S_1+S_2+S_3+S_4+S_5$ 一起计算求出 S 值，并将其代入机壳蜗板展开计算式，求得 L 值即为蜗板的展开长度。机壳蜗板的展开放样图是一矩形。

(3) 壳体号料与样板制作

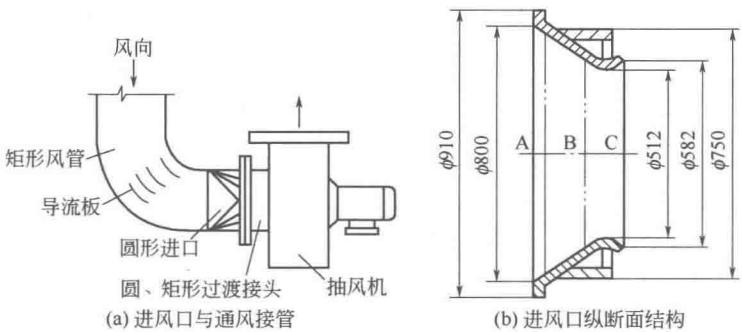
1) 壳体号料方法。在板厚为 3mm 和 4.5mm 的 Q235 钢板上，分别划好机壳蜗板和机壳侧板的下料尺寸线，同时检验板料的平整程度，及时矫平并合理利用。然后，选择合适的剪切或气割方法，沿划好的尺寸线进行切割下料。

2) 样板制作方法。切割下料后，先将板料断面和边缘的毛刺清理干净，以便预备制作成品样板。制作时先将机壳侧板矫平，再将机壳蜗板进行滚弯成形、压形及整修，并用检验样板检查圆弧曲

率，保证成形质量符合要求。

4.5.1.2 进风口展开放样

通风机的进口多制成圆形管，为了与通风机进口管连接，在圆形管与矩形管之间须制作一个圆矩形过渡 90°弯头，将圆形截面经弯头变为矩形截面，如图 4-35(a) 所示。



(a) 进风口与通风接管　　(b) 进风口纵断面结构

图 4-35　通风机进风口结构与接管

(1) 进风口结构分析　图 4-35(b) 为进风口结构图，进风口是由进风口筒板、整流筒板和挡圈三部分构成。进风口筒板是由板厚为 3mm 的锥形筒翻边而成，整体制作较困难，又必须将其分为 A、B、C 三件［以图 4-35(b) 中双点划线为界］分别号料与成形。

进风口筒板的 A 件为一法兰圈，可在钢板上直接画样号料切割而成；B 件为一圆锥筒，展开成弓形后由钢板辊制而成；C 件为一弧形外弯板筒，需展开后分两片压制成形。

(2) 进风口放样与号料　进风口放样时，应根据图样放出整个进风口结构的实样，然后依据实样所确定的各零件投影、尺寸及接合位置，进一步展开各件并制作号料及成形样板，用各零件样板在原材料上号料、划线，并按线准确剪切或气割下料。

(3) 进风口样件制作工艺　在分别滚弯、压形、整修后，要预先制作圆弧样板，以便将圆锥筒 B 和弧形外弯板筒 C 的 ϕ582mm、ϕ521mm 圆弧及时进行整形。

在拼接进风口筒板和整流筒板的对接缝时，要预先整修、矫正，使其符合图样尺寸及公差要求，保证进风口筒板与法兰圈同轴

度，保证进风口筒板能装入法兰圈、整流筒板能装在挡圈外侧。再将法兰圈放在装配平台上，依次先将进风口筒板装入法兰圈、定位焊固定，再将挡圈拼装在进风口筒板外壁所预先划好的位置线上，定位焊固定，最后将整流筒板装在挡圈外侧，并且定位焊固定。

4.5.1.3 其他件放样制作

(1) 进风口角钢圈　进口角钢圈的规格是∟63mm×63mm×6mm，材料为Q235钢，可采用直接划样法号料。下料后先弯曲成形并修正圆直径，再进行钻孔与攻螺纹，然后经检验合格后再与壳体装配。从加工工艺考虑，进风口角钢圈必须在壳体装配前与侧板先行装焊。

(2) 出风口角钢框　出口角钢框的规格是∟50mm×50mm×5mm，材料仍为Q235钢，仍可直接划样下料后，先拼装焊接成形，然后经反复矫正、严格检验并准确无误后，再进行第二次划线号孔、预钻孔以及与机体装配。

4.5.2 容器类构件的放样

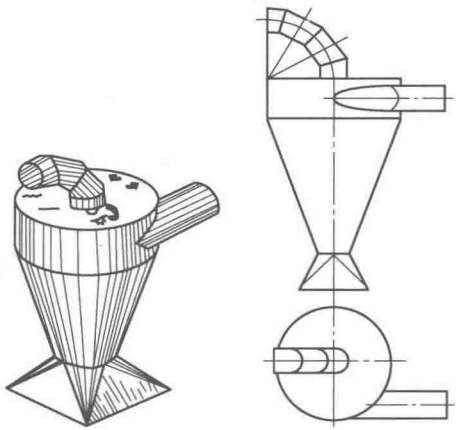
图4-36所示是典型的容器类构件——化工设备上的物料提取集粉容器，该构件是由圆方过渡接头、圆锥筒、圆筒、圆管和弯管所构成的复杂容器构件，全部由5mm厚的L5铝板焊制而成，焊接方法全部采用氢弧焊焊接。

4.5.2.1 放样工艺分析

(1) 筒体放样精度要求　容器构件的主体是由板材滚弯成各种形状的曲体拼焊而成，其板料厚度稍大，要求焊缝质量较高、密封性能较好，尺寸加工精度一般要求较高。

除需要用卡形样板测量其圆度接缝误差、各组件上下两口平行度偏差均应小于0.5mm外，还要求圆锥筒件放样时留取一定的工件锥度，以便制作弯曲胎具时参考。因此，为得到其用料的实际形状和尺寸，需将组成容器构件的各曲体均展开放样。

(2) 板料接口工艺处理　为保证容器构件耐压、耐热等性能要求，一般需将各弯曲壳体和相互间的板壁接口，并采用板厚的中性层和实际结合线展开放样。对于集粉装置的各组件接口，由于筒壁



(a) 立体图　　(b) 投影图

图 4-36　物料提取集粉容器

较薄，其接缝一般不必开设坡口。

（3）样板或样件的制作　容器构件无论是外部形状还是内部结构，均比较复杂，制造工序较多，工艺难度较大，在放样中必须制作多种类型的样板，并绘制一些放样草图。

4.5.2.2　集粉装置放样过程

装置中除了作为支撑底座的圆方过渡接头外，其余均为圆筒状和圆锥状，这些组合构件的放样一般要经过线形放样、结构放样和展开放样三个过程。

（1）圆锥筒的放样过程

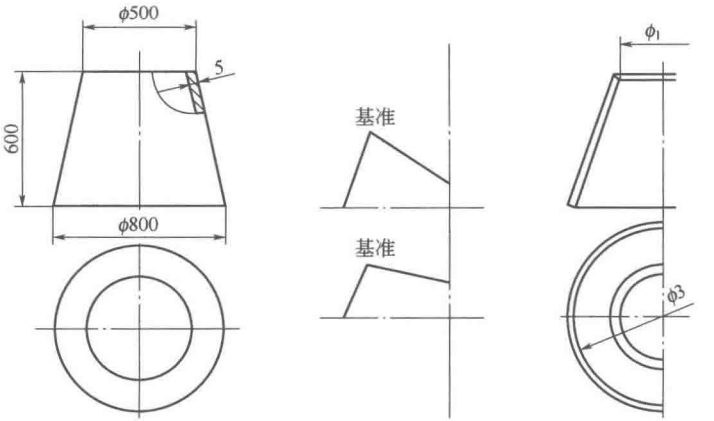
1）确定放样划线基准。以图 4-37(a) 所示的圆锥筒施工图为参照，将放样主视图以中心线和圆锥筒底面轮廓线为放样划线基准，如图 4-37(b) 所示。

2）划出工件的基本线形。由于该工件为对称形状，故可以工件中心线作为对称轴，仅划出工件一半的基本线形即可，如图 4-37(c)所示。

（2）圆锥筒的结构放样

1）将锥筒分成两半，分别弯曲成半筒体形状。

2）拼接成一体，并且将两半筒体连接位置，确定在锥筒的垂



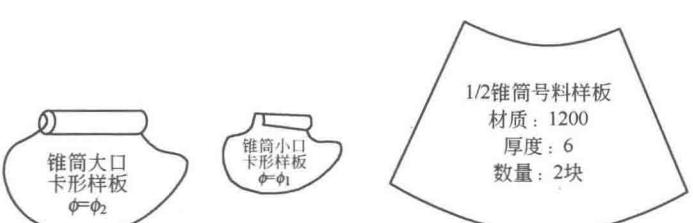
(a) 施工图　(b) 划线基准　(c) 划工件基本线形

图 4-37　圆锥筒施工与线形放样图

直中心线处。

3）确定弯曲成形样板及胎具所需数据。

圆锥筒弯曲加工时，一般需要两个卡形样板，如图 4-38(a) 所示，其中上口卡形样板直径为 ϕ_1，底口卡形样板直径为 ϕ_2，均可由放样图 4-37(c) 中量取，并在样板上均需注明名称及相关尺寸。圆锥筒号料时，需要用图 4-38(b) 所示的号料样板进行。锥筒弯曲成形时，需要的胎具长度可取 700mm，粗算胎具锥度为 $\Delta=(800-400)\text{mm}/600\text{mm}=2/3(\Delta 2:3)$。

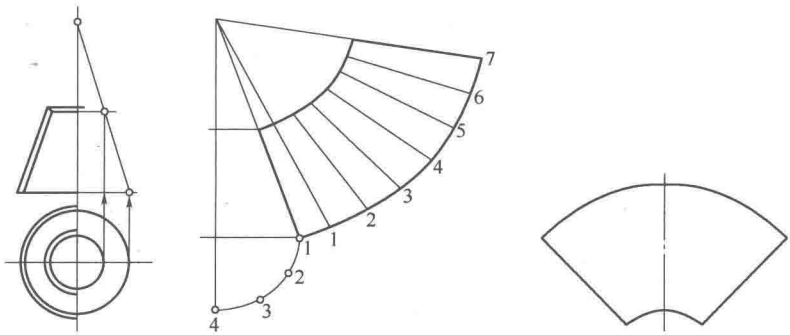


(a) 卡形样板　(b) 号料样板

图 4-38　锥筒放样样板

(3) 圆锥筒的展开放样　圆锥筒展开时，其上口、底口的展开长度及锥筒高度，均以板厚中性层为基准计算，经处理后的放样图

如图 4-39(a) 所示。



(a) 放样图　　(b) 半圆锥展开图　　(c) 号料样板图

图 4-39　圆锥筒展开放样图

利用中性层法处理后，便可划出圆锥筒的单线放样图及展开图，如图 4-39(b) 所示，继而绘制出锥筒的号料样板图，如图 4-39(c)所示，并在制作样板上注明名称及相关尺寸数据。

(4) 圆锥筒的制作工艺

1) 号料及切割下料。用锥筒号料样板在 L5 铝板上划好下料尺寸线，并按线准确剪切或锯切下料。然后将锥容器底圆按样图尺寸直接划在 L5 铝板上，并按线剪切下料。

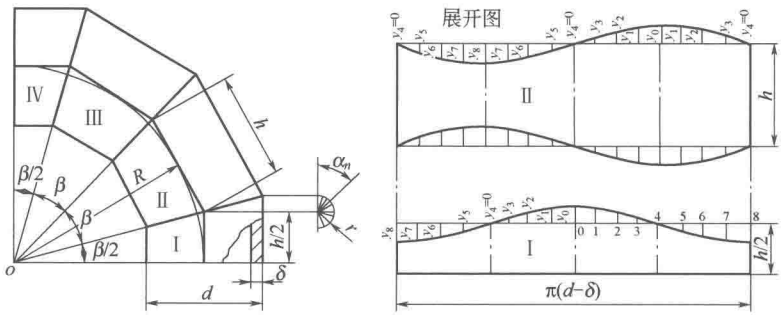
2) 弯曲成形工艺。将切割好的板料矫平，仔细清理边缘毛刺，然后在弯曲加工胎具上弯曲成形，并随时用卡形样板测量圆度、用直尺检测上、下两口平行度。要求其间隙值应小于 1mm，且上、下两口平行度偏差应小于 1mm。

3) 组装及焊接。组装前先将锥筒和底圆的接头表面氧化物清理干净，再将锥筒纵缝定位焊固定，并焊接成形。随后将底圆和锥筒组装，按照图样尺寸及公差要求，二者对接接头间隙应小于 1mm，先用定位焊固定，再将环缝焊接成形。

4.5.2.3　四节弯管的放样过程

直角弯管是由两端节和多中节组合而成，其中两端节相等且为每一中节的 1/2，且中间各节均相等，如图 4-40 所示，已知四节等径 90°弯管的回转半径为 R，圆管直径为 d，而中节分节角 β 为

$90°/(4-1)=30°$，端节分节角 $\beta/2$ 为 15°。



(a) 视图与分节图　　(b) 各节展开图

图 4-40　四节等径 90°弯管展开放样图

(1) 作图法展开放样

1) 求作弯管的分节角。以直角弯管两直边交点 o 为圆心，以 R 为半径划 1/4 圆周，并六等分直角回转圆弧，过等分点向中心连线为各节的分节线（端节占一等份，中间节占二等份），则得出各分节角。

2) 求作弯管的主视图。先划出各节圆管的轴线，并使端节轴线与弯管断面垂直、各节轴线与回转圆弧相切，再以直径 d 为尺寸划出各节轮廓线，完成弯管的主视图。

3) 作弯管各节的展开图。采用平行线法，将各节的接缝错开 180°布置，四节的展开图拼划在一起为一矩形。

(2) 计算法展开放样　设弯管的每一中节所对的中心角为 β，则端节的中心角为 $\beta/2$，若节数为 n，则中心角和计算式为：

$$\frac{\beta}{2}=\frac{90°}{2(n-1)} \qquad \beta=\frac{90°}{n-1}$$

$$\frac{h}{2}=R\tan\frac{\beta}{2} \qquad h=2R\tan\frac{\beta}{2}$$

$$y_n=r\cos\alpha_n$$

当 $0°\leqslant\alpha_n\leqslant90°$ 时，$r=\frac{1}{2}(d-2\delta)\tan\frac{\beta}{2}$，则：

$$y_n=\frac{1}{2}(d-2\delta)\tan\frac{\beta}{2}\cos\alpha_n$$

当 $90°\leqslant\alpha_n\leqslant180°$ 时，$r=\frac{1}{2}d\tan\frac{\beta}{2}$，则：

$$y_n=\frac{1}{2}d\tan\frac{\beta}{2}\cos\alpha_n$$

式中 $h/2$——端节轴线长度，mm；

h——中节轴线长度，mm；

y_n——展开图圆周长度等分点至曲线坐标值；

R——弯管中心半径，mm；

r——辅助圆半径，mm；

d——圆管半径，mm；

δ——板料厚度，mm；

α_n——辅助圆等分角，(°)。

4.5.3 支架类构件的放样

图 4-41 所示为煤气管道支架施工图。这类构件的尺寸一般较大，多由各种规格的型钢杆件及钢板构成，且一般不需展开和弯曲加工，所以这类构件放样一般不含展开放样内容。

4.5.3.1 管道支架施工图样分析

(1) 工件用途及结构尺寸　管道支架放样精度较高，各中间杆和主体杆的尺寸误差均较小，并且各中间杆的长度尺寸在图中均未给出，均需要在放样过程中由主体杆的间距等尺寸确定。由于施工图中的管道支架为单件小批量生产，外形尺寸较小，便于生产中吊装，材质为普通的 Q235 钢管、钢板和角钢，因此一般工厂的加工能力容易适应。

(2) 各杆件间的位置关系及要求　根据各杆件之间的位置关系和尺寸要求，确定可变动与不可变动的杆件。施工图中，工件各杆件轴线位置、地脚位置、圆弧托板的弧线位置是不可变动的。其他杆件尺寸，根据放样实际情形可作适当改动。

(3) 各杆件材料规格及精度要求　管道支架除立柱采用直径为 ϕ60mm 的 Q235 钢管外，其余各种板类件均采用厚度为 8～10mm 的 Q235 钢板，各种杆类件均采用规格为 ∟45mm×45mm×5mm 的 Q235 角钢。

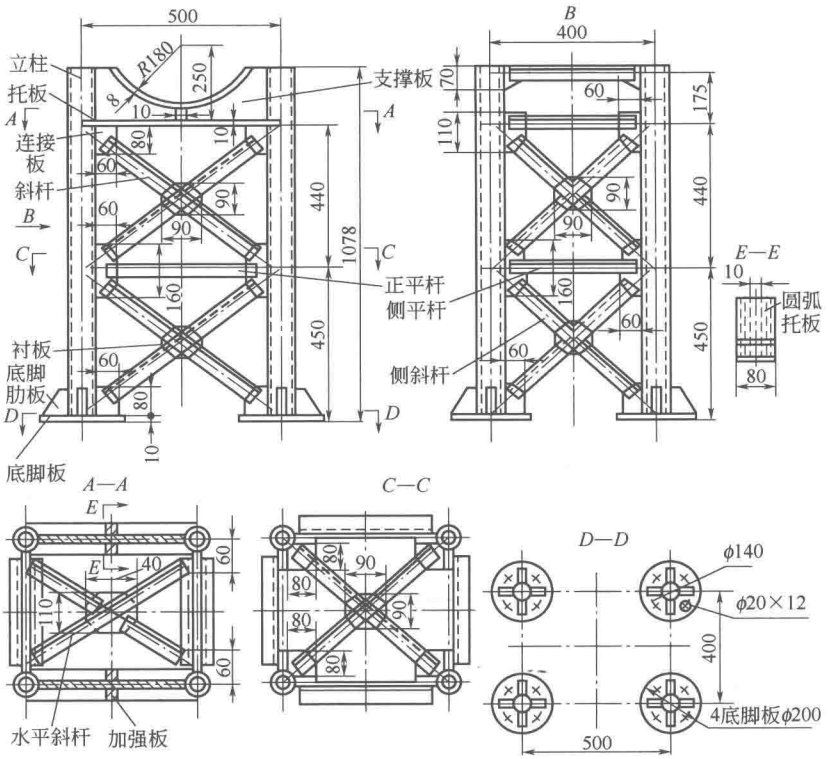


图 4-41　煤气管道支架施工图

支架整体拼接技术要求，全部采用焊条电弧焊、搭接接头，各搭接焊缝长度不得小于 30mm，角钢在各连接板口的搭接长度不得小于 40mm，$R180$ 圆弧托板的圆心相对于轴线的偏心不得超过 2mm，并在工件拼焊成形后，将全部表面刷涂两遍防锈漆。

（4）放样准备　放样准备工作主要包括准备放样平台、放样量具及工具等。放样平台通常由厚度为 12mm 以上的低碳钢板拼焊而成，预先矫平钢板并对齐、磨光其接缝。然后，在钢板下面用枕木或型钢垫起且调平，也可将厚钢板直接铺在平整地面上构成简易的钢结构平台。

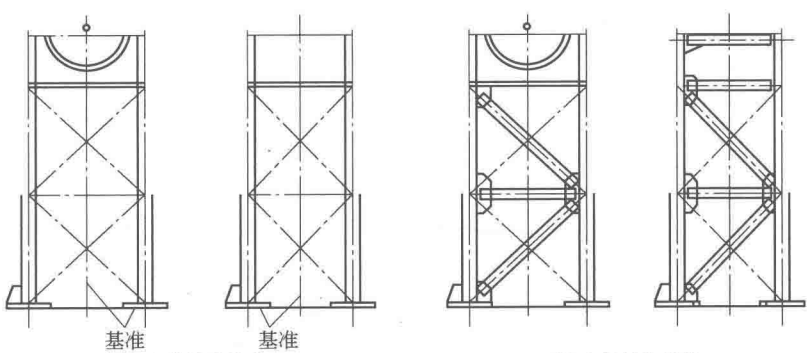
4.5.3.2　放样工艺过程

（1）支架主体线形放样

1）确定放样划线基准。根据施工图 4-41 所示，为保证管道支架的几个主要尺寸要求，需要选择支架底平面轮廓线和任一主管件轴线，作为主视图的两个放样基准线比较合适。

2）划出构件基本线形。由于施工图中支架结构是以各杆件轴线位置为依据进行的设计计算和力学分析，各杆轴线的位置对支架的受力状态、承载能力将影响很大，所以支架结构中各杆件的轴线即为结构的基本线形，放样时应该首先划出。

同时为保证支架处于理想的受力状态，应使各杆件轴线在支架的各节点处相交，如图 4-42(a) 所示。其次，再划出主管、底脚板、上托板、圆弧托板这些不可变动件的准确位置和必要的轮廓线。



(a) 主体线形放样　　(b) 主体结构放样

图 4-42　管道支架主体线形放样

（2）支架主体结构放样

1）划出未定杆件和连接板，如图 4-42(b) 所示。

2）确定中间杆件尺寸。在划好的图样上确定并量取中间杆件长度尺寸时，保证杆件与连接板搭接焊缝长度足以满足强度要求。

当样图上出现杆件重叠，或杆件在连接板上搭接长度不正确时，应修正图样所给的尺寸，如图 4-43 所示。在修正结构尺寸时，应注意结构的主体立管杆件与各轴线尺寸及角度不得改动。

（3）样板制作与号料　管道支架构件需要制作的全部样板，如图 4-44 所示。在制作样板时，可分不同情况采用不同划法和材料，

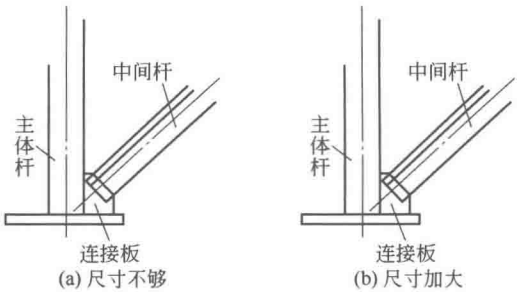


图 4-43　修正结构尺寸

圆弧托板、托板、衬板及底脚板等均可采用黄板纸直接划样法制作，而与中间杆端头相接的各连接板，则采用 8mm 厚的 Q235 板料，利用过渡划样法直接制作。各杆件长度样杆，可在样图上直接量取杆件长度制作。

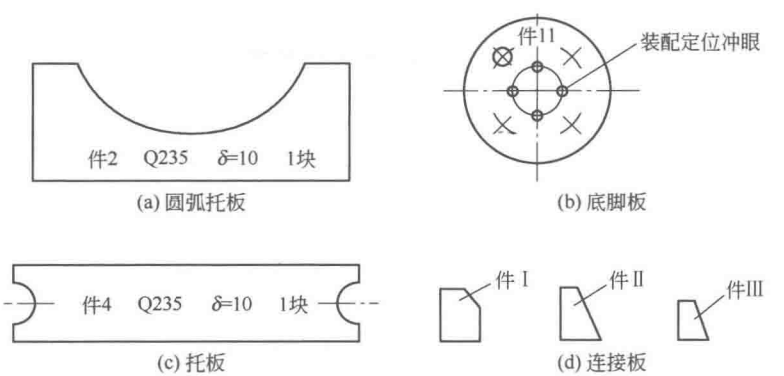


图 4-44　管道支架各样板

第5章

钣金下料技术

5.1 钣金下料的工艺基础

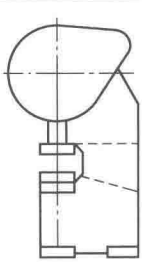
5.1.1 下料常用设备

钣金工制作过程中常用的机械设备主要有压力机、剪板机与弯曲校正机等。

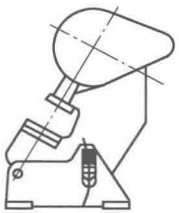
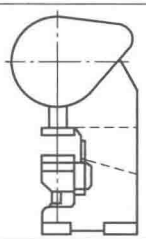
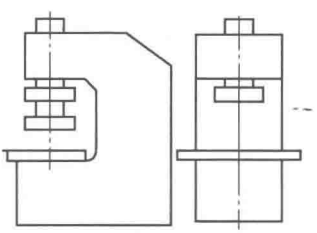
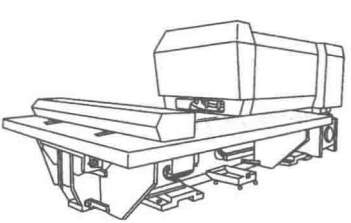
5.1.1.1 压力机

压力机用于将板料压弯成各种形状，也可用于压延、冲裁、落料、切边等工作。压力机有机械压力机、液压压力机和数控转塔冲床等，见表5-1。

表5-1 压力机

分类		图示	说明
机械压力机	固定台		刚性和抗振稳定性好，适用于较大吨位

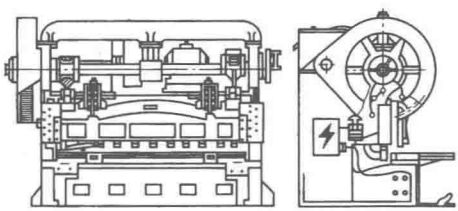
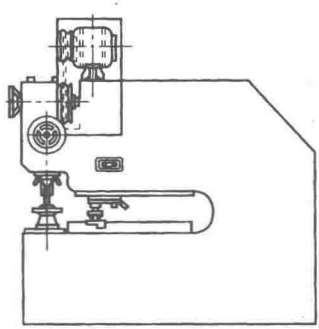
续表

分类		图示	说明
机械压力机	可倾式		压力机的工作台可倾斜 20°～30°，工件或废料可自动滑下
	升降式		升降式压力机适用于模具高度变化的冲压工作
液压压力机			主要用于中(厚)钢板的冷(热)弯曲、成形、压制封头、折边、拉延和板材与结构件矫正等工作
数控转塔冲床			数控转塔冲床是一种由计算机控制的高效、高精度、高自动化的板材加工设备。板材自动送进，只要输入简单的工件加工程序，即可在计算机的控制下自动加工，也可采用步冲的方式，用小冲模冲出大的圆孔、方孔及任意形状的曲线孔。广泛用于电器开关、电子电工仪表、家用电器、纺织机械、粮食机械及计算机等行业，特别适用于多品种、中小批量复杂多孔板件的冲裁加工

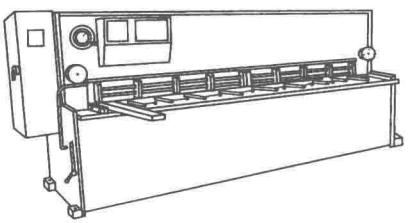
5.1.1.2 剪板机

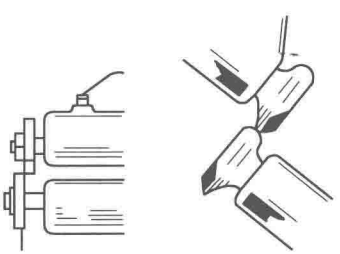
剪板机有剪切直线的龙门剪板机以及既可剪切直线又可剪切曲线的振动剪床和圆盘剪切机等，见表 5-2。剪板机的生产效率高，切口光洁，是一种应用广泛的切割方法。

表 5-2 剪板机

分类	图示	说明
龙门剪板机		是最常用的一种剪切设备，其刀刃较长，能剪切较宽的板料，剪切厚度由剪床的功率而定，主要用于剪切直线。该剪板机的上刀架是由电动机经两级齿轮减速，带动曲柄轴，通过连杆带动上刀架做上、下运动，以完成剪切
振动剪床		振动剪床是一种应用面较广的板料加工机械，其结构简单，容易制造，质量轻，体积小，工艺性广，适用于板料的中、小批量和单件生产。该剪床除了能进行剪切外，还可用来冲孔、冲槽、切口、翻边耳。被加工的板料厚度一般在 10mm 以下
圆盘剪板机（滚剪机）		圆盘剪板机的剪切轮盘通常有水平轮和倾斜轮两种，如图 5-1 所示。圆盘剪板机用于剪切直线、圆、圆弧或曲线

续表

分类	图示	说明
数控液压剪板机		数控液压剪板机是传统的机械式剪板机的更新换代产品。其机架、刀架采用整体焊接结构，经振动消除应力，确保机架的刚性和加工精度。该剪板机采用先进的集成式液压控制系统，提高了整体的稳定性与可靠性。同时采用先进的数控系统，剪切角和刀片间隙无级调节，使工件的切口平整、均匀且无毛刺，能取得最佳的剪切效果



(a) 水平轮　　(b) 倾斜轮

图 5-1　剪切轮盘

5.1.1.3　其他设备

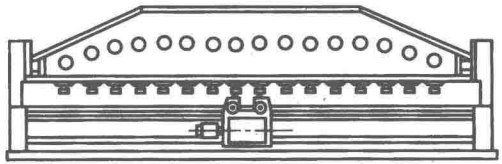
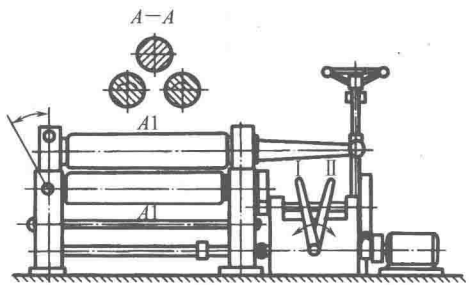
其他设备包括刨边机、弯曲校正机等，见表 5-3。

5.1.2　板厚的处理

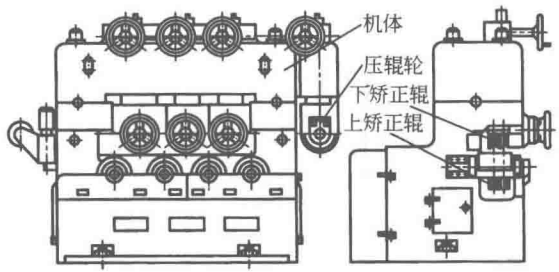
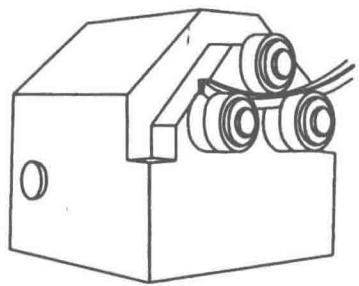
5.1.2.1　接口放加工余量

板料制成立体空间工件时，总会有接口缝和咬口缝（简称接口）。接口缝一般指板料焊接和铆接的缝口，咬口缝是指 1.2mm 以下的薄板拼接时采用的咬口。

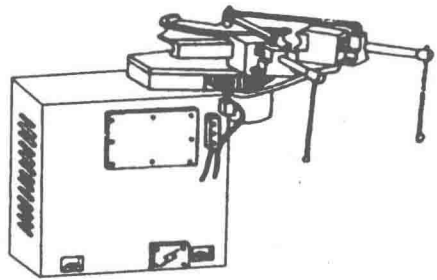
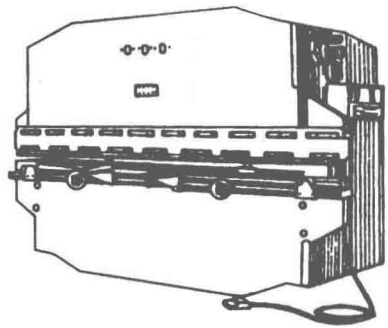
表 5-3　其他常用下料设备

名称		图示	说明
刨边机			用于板料边缘的加工，可加工焊接坡口，刨掉钢板边缘毛刺、飞边和硬件化层等
弯曲校正机	卷板机		用于将板料弯卷成圆柱面、圆锥面或任意形状的柱面。卷板机按辊筒的数目与布置形式分为三辊卷板机和四辊卷板机两类。三辊又分为对称与不对称两种

续表

名称		图示	说明
弯曲校正机	板料校平机		它可通过反复正、反进行弯曲，用形成的波浪来消除板材的凹凸不平。是矫正面积较大、较厚钢板平直度的矫正设备
	型材弯曲机		是一种专门用于卷弯角钢、槽钢、工字钢、扁钢、方钢和圆钢等各种异型钢材的高效加工设备。可一次上料完成卷圆、校圆工序加工

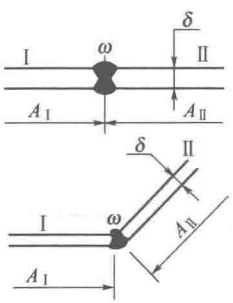
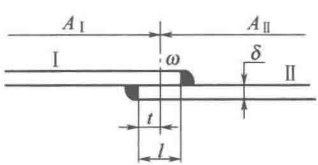
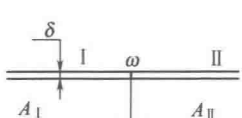
续表

名称		图示	说明
弯曲校正机	弯管机		是在常温下对金属管材进行有芯或无芯弯曲的缠绕式弯管设备
	板料折边机		用于对板料弯曲成各种形状，还可用于剪切、压平和冲孔工序加工

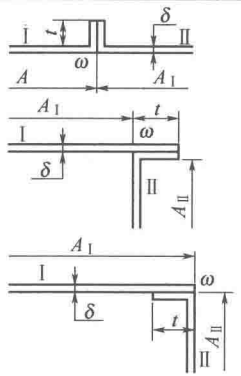
接口处必须经过工艺处理，它们可以用焊接、铆接或咬口连接，使工件成为一个完整的刚体。若经过加工处理，连接的部分必须在展开图的实样之外加放适当的余量，称为放加工余量。在实际操作中，尤其在制作圆管工件时，可以认为按周长下料是对的，但在工件制成后，由于板料的加工余量未处理好，实际尺寸会小于原设计的尺寸。

（1）焊接时放加工余量　焊接时放加工余量的情况见表 5-4。

表 5-4　焊接时放加工余量

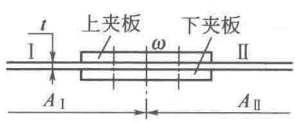
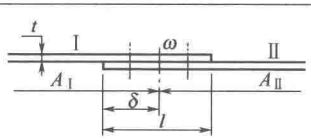
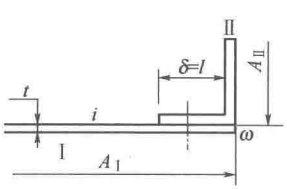
类型	图示	说明
对接		板料Ⅰ、Ⅱ的加工余量 $t=0$
搭接		若 l 为搭接余量，如 ω 居中，则板料Ⅰ、Ⅱ的加工余量 $t=1/2l$
薄钢板料		$t=0$

续表

类型	图示	说明
薄钢板料		$t=5\sim12\text{mm}$

（2）铆接时放加工余量　铆接时放加工余量的情况见表 5-5。

表 5-5　铆接时放加工余量

类型	图示	说明
夹板对接		板料Ⅰ、Ⅱ的加工余量 $t=0$
搭接		设搭接余量为 l，ω 在中间，则板料Ⅰ、Ⅱ的加工余量 $t=1/2l$
角接		板料Ⅰ的加工余量 $t=0$，板料Ⅱ的加工余量 $t=l$

（3）卷边时放加工余量

1）板料边缘卷边。如图 5-2 所示，板料卷边分为空心卷边与

实心卷边。

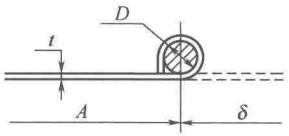


图 5-2　板料边缘卷边时放加工余量

实心卷边时内用铁丝或圆钢。工件边缘卷边有两种用途：一是增强工件的牢固强度，二是避免毛刺扎伤使用人员。

卷边圆管的加工余量应是 $t=\pi(D+\delta)$。卷边圆管的直径 D 应大于板厚 δ 的 3 倍以上。

厚板料或型钢焊接时，要预留焊缝 1～3mm，此时加工余量为负值。在制作通风管道时，把个别几节风管适当加长些，作为装配时调节之用。

2）咬口。接口缝在制作薄板工件时是避免不了的。除了上述焊接、铆接之外，咬口接缝也是很重要的一种。咬口连接方式是将工件两端或两块板料的边缘折边扣合，并彼此压紧，使之成为一体。

咬口一般适用于薄板料，有白铁皮或黑铁皮（当然有时也用于铝皮、铜皮、薄不锈钢板等）。一般板料的厚度 $\delta\leqslant 1.2$mm。若板料厚度超过 1.2mm 时，咬口作业较为困难。厚度 $\delta\leqslant 1.5$mm 的铝板和厚度 $\delta\leqslant 0.8$mm 的不锈钢板，也可用咬口接合。咬口宽度可参考表 5-6。

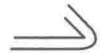
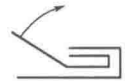
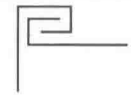
表 5-6　咬口宽度参考　　单位：mm

板料厚度	咬口宽度	角形咬口宽度
0.5～0.7	5～8	5～7
0.7～0.8	7～10	7～8
0.8～1.2	10～12	8～10

咬口宽度 l 叫单口量，咬口加工余量的大小以咬口宽度 l 的数值来计量。咬口宽度 l 与板厚 δ 有关，即 $l=(8\sim 12)\delta$。当 $\delta<0.7$mm 时，$l\leqslant 6$mm。

咬口步骤示意见表 5-7。

表 5-7　咬口操作步骤示意

咬口名称	操作步骤				
单平咬口①					
双平咬口					
单立咬口					
角形外单咬口①					
嵌底咬口					
联合咬口①					

① 薄板工件常用的咬口。

操作中应注意以下事项。

① 为防止咬口在制成后变成蛇形，咬口制作必须在有铁板的工作台上进行，或在方铁、槽钢、40mm 以上的角钢上操作，但必须平直，不可有凹陷或弯曲。

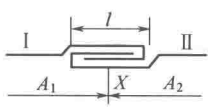
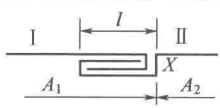
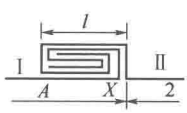
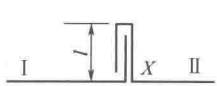
② 为防止板料将延伸变形，影响咬口，制作咬口时要用木拍板或木锤，切勿用铁锤。

③ 咬口操作中，均采用板料的断面，并在两板间留有空隙，以表达咬口搭配关系。实际上咬口制成后是互相紧扣的紧固件，不能有任何空隙。

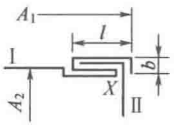
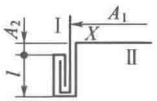
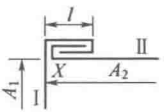
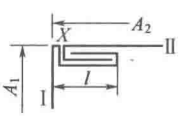
④ 联合咬口中的 1/2、2/3 等是指加工余量 t 的具体尺寸。

各种类型咬口图见表 5-8。

表 5-8　各种类型咬口图

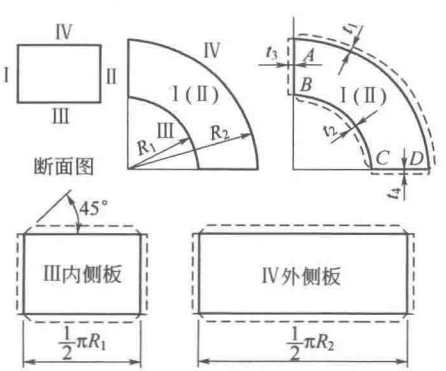
咬口名称	咬口形状	加工余量	咬口用途
单平咬口		X 在中间 $t=1.5\delta$	板料拼接、落水管圆管件、大通风道圆管件
		X 在右边 $t_{\text{I}}=1.5l$ $t_{\text{II}}=2l$	用于要求表面平整、没有明显咬口缝
双平咬口		X 在右边 $t_{\text{I}}=4l$ $t_{\text{II}}=3l$	用于强度高、严密性较高的工作连接
单立咬口		$t_{\text{I}}=l$ $t_{\text{II}}=2l$	用于工件的端连接、建筑屋顶薄金属板之间的连接
双立咬口		$t_{\text{I}}=3l$ $t_{\text{II}}=4l$	用于严密性要求高，不漏水，高强度工件

续表

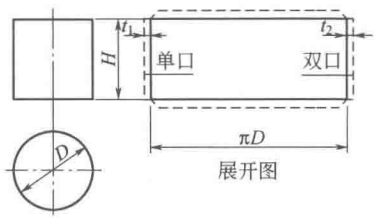
咬口名称		咬口形状	加工余量	咬口用途
联合咬口			X 在右边 $t_{\text{I}}=3l+b$ $t_{\text{II}}=l$	用于工厂车间大中小型通风道、方形风管件以及各种防护罩
嵌底咬口			$t_{\text{I}}=2l$ $t_{\text{II}}=3l$	用于大小方油桶、圆油桶及化工用罐体、通风道封头
角形咬口	外单咬口		$t_{\text{I}}=2l$ $t_{\text{II}}=2l$	用于方形或矩形通风管以及方形、圆形容器底部
	内单咬口		$t_{\text{I}}=2l$ $t_{\text{II}}=2l$	用于要求较高和讲究美观的各种容器

(4) 展开图中的加工余量　见表 5-9。

表 5-9　展开图中的加工余量

类型	说明	图示
矩形直角弯头管	在展开图中放加工余量就是在展开图实样的边线向外扩展的宽度	

续表

类型	说明	图示
直圆管	t_1 为单缝，t_2 为双口缝。t_2 按 t_1 的 2 倍放加工余量	

5.1.2.2 板厚处理

制作管件或构件的板材有厚有薄，当用厚度 $\delta<1.5$mm 的板材制作时，展开放样一般可不考虑板厚的影响；当板厚 $\delta\geqslant 1.5$mm，管件和构件尺寸要求精确时，展开放样应考虑板厚的影响，否则因尺寸不准确，造成加工困难、质量低劣、产生废品。

消除板厚影响的过程称为板厚处理。板厚处理的内容包括管件或构件的展开长度、管件或构件的放样高度、相贯体的接口。

(1) 确定中性层　圆筒在由平板弯曲成形的过程中，外层受拉伸变长，内层受压缩缩短，在板厚中间有一层既不伸长又不缩短且长度等于平板原有长度的中间层。这种既不受拉伸又不受压缩的中间一层，称为中性层。其弯曲半径为 R。由此可见，弯曲圆弧件的展开长度应等于中性层的长度，如图 5-3 所示。

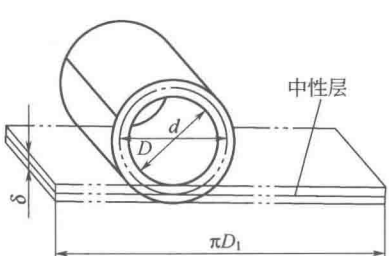


图 5-3　圆筒的中性层

由于中性层长度在弯曲时不变，所以在展开工作中必须找到中性层的位置。当弯曲变形程度很小时，中性层位于板料厚度的几何

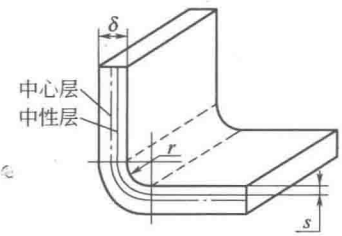


图 5-4　圆弧形弯板的中性层

中心，但当弯曲变形较大时，弯曲变形区厚度变薄，中性层位置将发生变动。

弯板中性层位置与弯曲半径 r 和板料厚度 δ 的比值大小有关，如图 5-4 所示。若 $r/\delta>5$，中性层近于板厚的 1/2 处（$R=x_0\delta$）。若 $r/\delta\leqslant5$，中性层位置向板厚中心内侧一边移动（$R=r+x_0\delta$）。表 5-10 中列出了各种不同情况下的中性层位置移动因数 x_0 的数值。

表 5-10　中性层位置移动因数 x_0

r/δ	0.1	0.25	0.5	0.8	1	2	3	4	5	>5
x_0	0.3	0.35	0.38	0.405	0.42	0.455	0.47	0.475	0.48	0.5

（2）单件的板厚处理

1）圆管的板厚处理。如图 5-5 所示，设圆管的内径为 d_1，外径为 d_0，中心径即平均直径为 d。板材弯曲成圆管时，圆管的展开长度应等于中心径的展开长度 πd。

板材弯曲成圆管时的展开长度 L：

$$L=\pi(d_1+\delta)\text{或}L=\pi(d_0-\delta)$$

2）矩形管的板厚处理。如图 5-6 所示，因矩形管的四角为直角，则中性层靠里皮，里皮四边长度不变，所以其展开长度以里皮为准，如图 5-6(a) 所示。如果采用拼焊，其板厚处理如图 5-6(b) 所示，两块按 a 下料，两块按 b 下料，或按 $b+\delta$ 或 $a+\delta$ 下料。

3）折线形断面的板厚处理。任意角度折线形断面的板厚处理与矩形断面板厚处理相同，如图 5-7 所示。

4）圆锥管的板厚处理。圆锥管的板厚处理应考虑板厚对展开弧长的影响和板厚对放样高度的影响。圆锥管的板厚处理如图 5-8

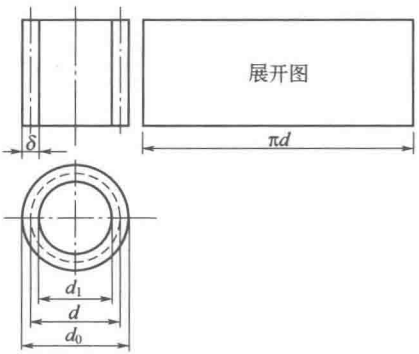
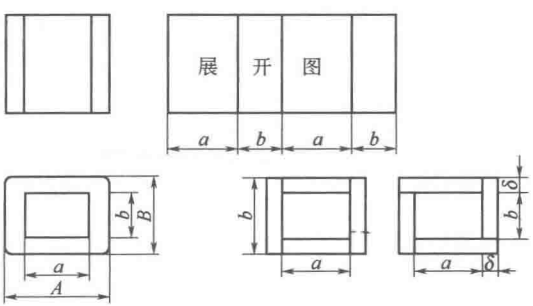


图 5-5　圆管的板厚处理



(a) 直接下料　　(b) 拼接下料

图 5-6　矩形管的板厚处理

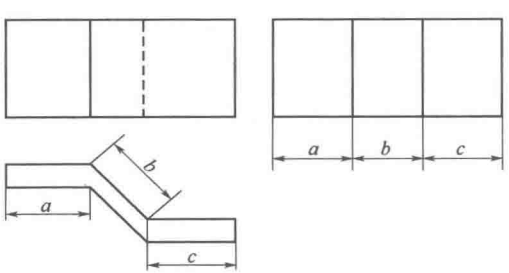


图 5-7　任意角度折线形断面的板厚处理

所示，展开弧长取大端直径的圆周长度；展开半径取中性层圆锥母线长，即大端直径取 D_2，小端直径取 d_2。画展开图时应取板厚中

心处的垂直高度 h；如果成形后对大、小端进行加工修理，则放样高度取总高 h_0。

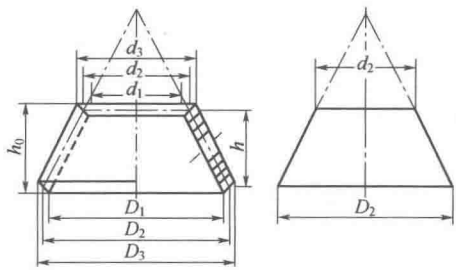


图 5-8　圆锥管的板厚处理

5）顶圆底方变径管的板厚处理。如图 5-9 所示，顶圆底方变径管有圆管、矩形管、圆锥管的综合特征。展开放样时应以中性层尺寸为准，即圆口取平均直径 $d_0-\delta$，方口取里皮尺寸 $(A-2\delta)\times(B-2\delta)$。展开放样高度取值与圆锥管相同，取样板厚中心处的垂直高度 h，或取总高 h_0 后再加工修理。

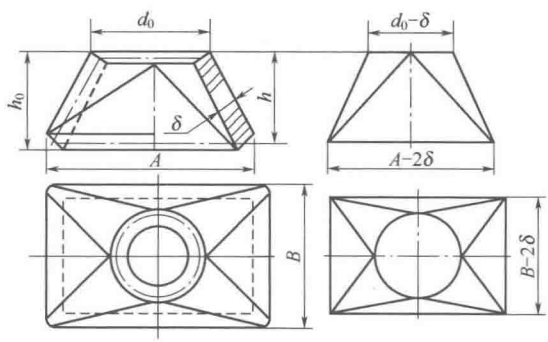


图 5-9　顶圆底方变径管的板厚处理

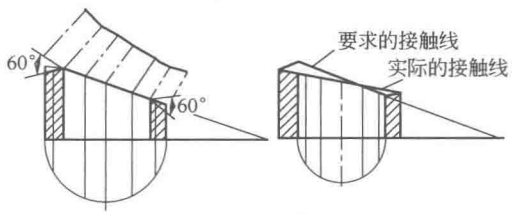
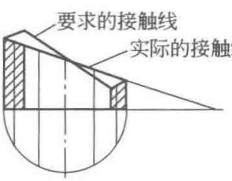
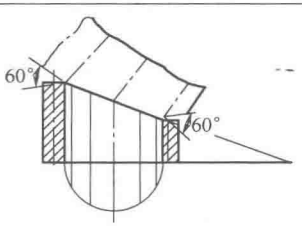
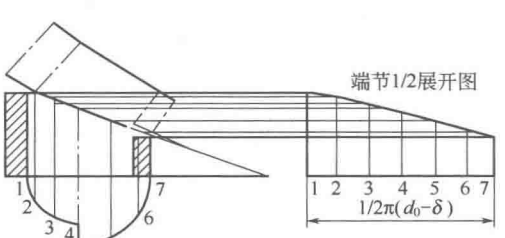
（3）相贯形体的板厚处理

1）圆管焊接弯头的板厚处理。焊接弯头是由几个弯头节焊接而成的，加工方法不同，板厚处理也不同。

当用板材制作时，展开长度按弯管中心径计算；当用现成直管制作时，展开样板的展开长度按外径加样板纸厚计算。画放样图决

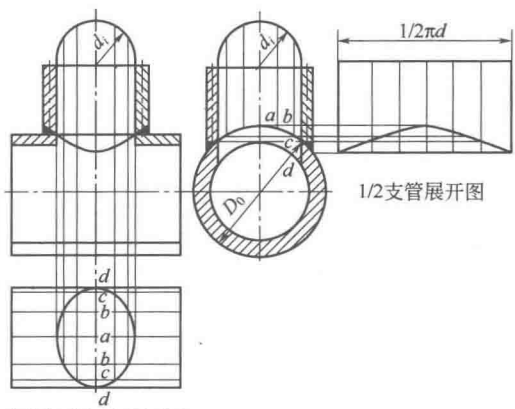
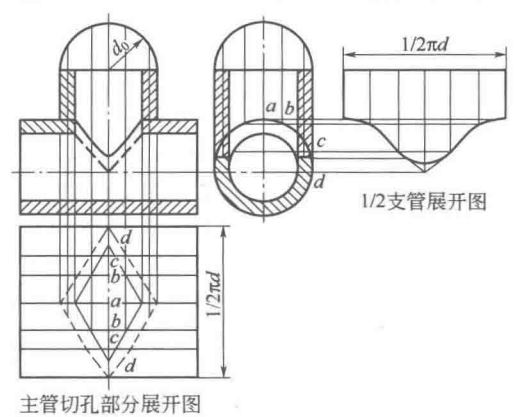
定素线高度时，确定断面圆直径的方法见表 5-11。

表 5-11　确定断面圆直径的方法

工艺手段	图示	说明
锯割、砂轮切割、铣刀切割		断面应以外径来画，如若采用内径来画，则形成“鼻头”
气割、等离子弧切割		以管子外径画断面圆进行展开放样，加工出 V 形坡口后，弯管的实际角度大于要求的角度
		以管子内径画断面圆进行展开放样，加工出 V 形坡口后，弯管的实际角度符合要求
划线、切割卷圆成形		加工 V 形坡口，则取内径画断面圆展开放样；不加工坡口中。而各节间背部是里皮接触，也取内径画断面圆；里部是外皮接触，取外径画断面圆。画展开图以中心径为准

2）直交三通的板厚处理。直交三通有异径直交和等径直交两种，见表 5-12。

表 5-12　直交三通的板厚处理

类型	图示	处理说明
异径直交		在异径直交三通的支管展开图中，各素线长以里皮高度为准，在支管内径 d_i 所画的断面图上等分后作素线、求得高度，主管上切孔的展开长度应以侧视图支管里皮与主管外皮接触部分的尺寸为准，即图中的弧线 $abcd$；切孔的展开宽度以支管内径 d_i 为准；主、支管的展开长度根据不同情况按公式 $L=\pi(d_i+1)$ 或 $L=\pi(D_0+t)$ 计算得出
等径直交		处理主管切孔时应在切孔最宽处两侧收缩支管的壁厚，然后平滑地过渡到两端尖角部分，图中实线表示的较小切孔就是处理以后的切孔。在实际放样中，为避免焊接后尖角处应力集中，应把尖角处理成圆角

5.1.3 合理用料

5.1.3.1 坯料尺寸的确定

放样时的坯料尺寸由零件的展开尺寸、工艺变量（伸长或收缩量）与加工余量三部分组成，其确定方法见表 5-13。

表 5-13 坯料尺寸的确定方法

方法	说明	适用范围
展开法	按钣金工展开方法将工件表面展开	单向压(拉)延变形或比较均衡的双向压(拉)变形零件
计算法	按展开原理或压(拉)延变形前后面积不变的原则推导出计算公式	
试验法	通过试验决定形状较复杂零件的坯料	存在双向压(拉)变形的零件
综合法	对于计算过于复杂的零件，可对不同部位分别采用展开法和计算法，有时还需同时用试验法来配合验证	

坯料尺寸的确定方法以筒节和 90°压制弯头为例进行说明。

(1) 筒节放样尺寸的确定

1) 卷制筒节周长 l。其计算公式为：

$$l = K\pi(D_n + S) + 2t$$

式中 K——修正系数，见表 5-14；

D_n——筒节直径，mm；

S——工艺变量（伸长或收缩量）；

t——边缘加工余量，mm。

表 5-14 修正系数 $K\pi$ 值

材料	冷卷		热卷
	三辊	四辊	
低碳钢及奥氏体不锈钢	3.14	3.137～3.17	3.12～3.129
低合金钢及合金钢	3.14		

2) 环缝加工余量。薄壁筒节每端余量见表 5-15。厚壁筒节的端部错位矫正困难，每端应放出 7～18mm。

表 5-15　边缘加工余量 t　　mm

不加工	机械加工		需去除下料热区
	板厚≤25	板厚>25	
0	3	5	>5

(2) 90°压制弯头放样尺寸的确定　90°压制弯头放样尺寸的确定如图 5-10 所示。可用试验法确定其坯料尺寸。

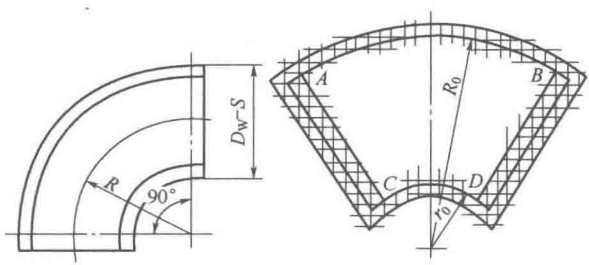


图 5-10　90°压制弯头

试验法确定其坯料尺寸各计算公式为：

$$r_0=R-\frac{1}{2}(D_w-S)$$

$$R_0=r_0+\frac{\pi}{2}(D_w-S)\approx R+1.07(D_w-S)$$

$$CD=\frac{\pi}{2}[R-\frac{1}{2}(D_w-S)]$$

$$AB=\frac{1.15\pi}{2}[R+\frac{1}{2}(D_w-S)]=0.575\pi[R+\frac{1}{2}(D_w-S)]$$

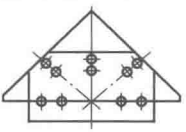
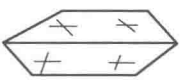
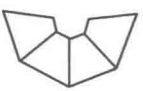
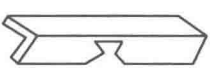
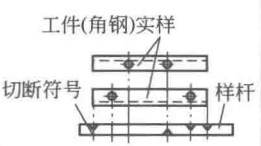
注意周边应放 15～35mm 余量作下料划线。

5.1.3.2　样板的制作

(1) 样板材料的选用　样板材料一般用 0.25～2mm 的薄钢板。但当下料数量多、精度要求不高时，可用硬纸片、胶合板、塑料片等。

(2) 样板的种类　样板的种类很多，见表 5-16。

表 5-16　样板的种类

种类	名称	图示	用途
号料样板和样杆	板材样板		用于板料下料，制出的零件形状尺寸与样板相同
	型材样板		用于型材下料、号孔、划端线
	板材展开样板		用于构件展开下料
	型材展开样板		用于型材切口的展开后与下料划缺口
	型材样杆		用于型材料下料和排孔
定位样板	斜度样板		装配时为确定零件间的相对斜度
检查样板	弯曲零件样板		按样板来检验零件的质量
	卷圆零件样板		

(3) 样板尺寸的确定

1) 焊接结构件的样板。制作这类样板时应考虑焊接结构的余量，其结构类型与横、纵收缩值见表 5-17。

表 5-17 焊缝横、纵向收缩近似值 mm

接头类型		横向								纵向
		5	8	10	12	14	16	20	24	
对接接头		1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.6	3.1	0.15～0.3
		1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2.4	2.8	
单面坡口十字角焊缝		1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	3.0	3.5	0.2～0.4
单面坡口角焊缝		0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.4	
双面间断角焊缝		0.4	0.3	0.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0～0.1

2) 弯管下料的样板。制作这类样板时要按中性层计算，但要考虑减去弯头的伸长量，具体数值见表 5-18。

表 5-18 管子弯头的伸长量

管子直径/mm	16～18	25～30	35～42	51～89	108	133	159
弯管角度 α/(°)	180	180	180	10	10	10	10
伸长量	5	8～9	9～10	0.8～1.3	1.3～1.5	1.5～1.7	2.0～2.3

5.1.3.3 合理用料

(1) 材料的利用率 计算材料利用率可用体积比，也可用质量

比，但用面积最为简单。材料利用率的计算公式为：

$$\eta=\frac{nS_1}{S}\times 100\%$$

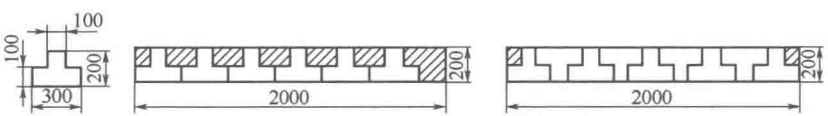
式中 η——材料利用率，%；

n——板材上零件的个数，件；

S_1——单个零件的面积，mm^2；

S——所用板材的面积，mm^2。

（2）合理用料的方法　材料经合理编套，可减少消耗，提高利用率。如图 5-11(a) 所示零件，如若按图（b）所示的第一种方案下料，只能排套出 6 个零件，材料的利用率为 60%；若按图（c）所示第二种方案，则可排套出 9 个零件，材料的利用率为 90%。

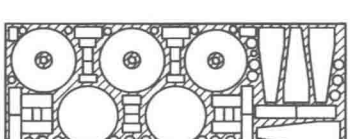
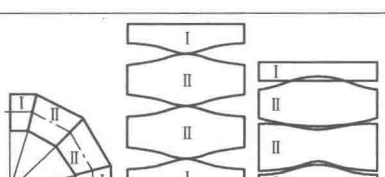


(a) 示例零件　(b) 第一种方案　(c) 第二种方案

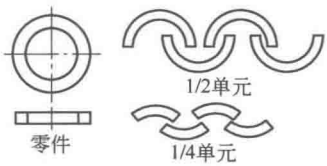
图 5-11　合理用料示例

1）钢板的套料。钢板套料有集中下料法、排料套料法和零件整拼法，见表 5-19。

表 5-19　钢板的套料

套料方法	示例图示	说明
集中下料法		将同一材质和同一厚度的零件集中在一起，统筹安排，大小搭配，充分利用
排料套料法	 零件　方案一　方案二	按零件的形状采用直排、对排、单排、斜排、多排等方式

续表

套料方法	示例图示	说明
零件整拼法		在工艺许可的情况下，采用以小拼整的结构

2）型材套料的方法。型材的套料相对简单，采用的是长短搭配法，通常先下尺寸较长的料，然后下较短的料，经严格计算，使余料最短。

5.2 钣金下料的方法

5.2.1 剪切下料

剪切加工的方法很多，但其实质都是通过上、下剪刃的相对作用，对材料施加剪切力，使材料发生剪断分离。剪切时，材料置于上、下剪刃之间，在剪切力的作用下，材料的变形与剪断过程分为弹性变形、塑性变形和开裂分离三个阶段，见表 5-20。

表 5-20 材料变形与剪断过程的三个阶段

阶段性	名称	说明
第一阶段	弹性变形阶段	在剪刃口开始与材料接触时，材料产生压缩、拉伸和弯曲变形，剪刃间隙越大弯曲越严重。材料应力没有超过弹性极限
第二阶段	塑性变形阶段	当上剪刃继续下降时，材料应力达到屈服强度时便开始发生塑性变形。同时，剪刃的刃口也开始压入材料，变形区材料硬化加剧，剪切变形抗力加大，直到刃口附近侧面的材料由于拉应力作用出现微裂纹时，塑性变形阶段结束
第三阶段	开裂分离阶段	已经形成上下微裂纹，随着上剪刃的继续压入，裂纹沿最大切应力方向不断向材料内部扩展，当上、下刃口产生的剪裂缝重合时，材料最终被拉断分离

材料剪断面上具有明显的区域性特征，如图 5-12 所示，可以明显地分为塌角、光亮带、剪裂带和毛刺四个部分。

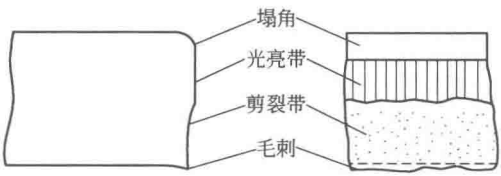


图 5-12　剪断面状况

塌角是当剪刃压入材料时，刀口附近的材料被牵连拉伸变形的结果；光亮带是由剪刃挤压切入材料时形成，表面光滑平整；剪裂带则是在材料剪裂分离时形成，表面粗糙，略有斜度，不与板面垂直；而毛刺是在出现微裂时产生的。

钢材经过剪切加工，将引起力学性能和外部形状的某些变化，对钢材的使用性能造成一定的影响，表现为以下现象。

① 窄而长的条形料，用斜刃剪床剪切后将产生明显的弯曲和扭曲复合变形。

② 剪切使材料的边缘产生冷加工硬化。钢板厚度小于 25mm 时，硬化宽度在 1.5～2.5mm 范围内。

剪切工件往往有多条剪切线，在龙门式斜口剪床上进行剪切时，要合理安排剪切顺序，必须是按顺序剪切的剪切线不交叉，前一次剪切不影响下一次剪切分料；当板料面积较大时，剪切时不能一人单独操作，可安排多人配合作业；在龙门式斜口剪床上剪切工件，对线定位方法有前挡板定位、后挡板定位、目测定位、灯影定位等多种，可灵活运用；另外，要根据剪切材料的性质、厚度，检查并调整剪刃的间隙。

5.2.1.1　手工剪切

(1) 常用手剪刀　常用手剪刀有小手剪刀、大手剪刀和弯头手剪刀，用于剪切薄钢板、镀锡板、紫铜板和黄铜薄板等，见表 5-21。

(2) 手剪刀剪切法　手剪刀剪切方法主要用于单件、少量生产，其方法见表 5-22。

表 5-21　常用手剪刀

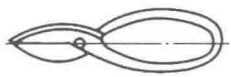
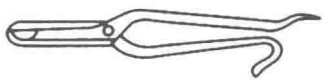
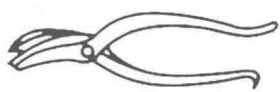
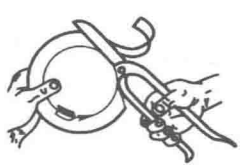
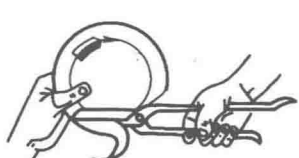
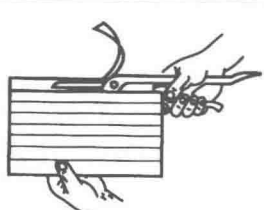
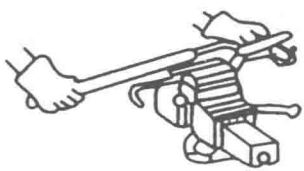
常用手剪刀	图示	适用场合
小手剪刀		用于剪切厚度在 1mm 以下的钢板
大手剪刀		用于剪切厚度在 2mm 以下的钢板
弯头手剪刀		用于剪切圆形板或曲线轮廓板料零件，可剪切厚度在 2mm 以下的铝板，厚度在 0.8mm 以下的钢板

表 5-22　手剪刀剪切方法

剪切工件	图示	方法
剪外圆	 	剪大圆或大圆弧时，用顺时针剪切；剪小圆或小圆弧时用逆时针剪切
剪短直料		被剪掉的部分位于剪切的右边，每剪一次，剪刀张开约 2/3 刀刃长，两刀刃间不能有空隙

续表

剪切工件	图示	方法
剪长、宽直料		被剪掉的部分位于剪刀的左边，使之向上弯曲，便于剪切
台虎钳上剪切		将剪刀的下柄用虎钳夹住，上柄可套一根管子，以增大剪切力

一般在手动剪切薄板料时，习惯于右手握剪刀，左手持料，如图 5-13 所示。手握剪刀时，剪把不能露出掌心太长，否则不便于对剪把施力，但尾端又不能握在手掌中，否则不便于右手握剪刀。左手持料时，按剪切方向送进，并使上剪刃与剪切线对正，在一条直线或曲线的切线上。

剪切时，要用上剪刃紧压住材料，并使剪口与材料成一角度，如图 5-14 所示。

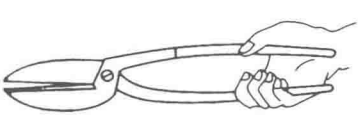


图 5-13　手剪的正确握法

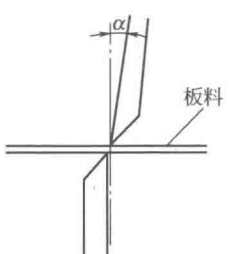
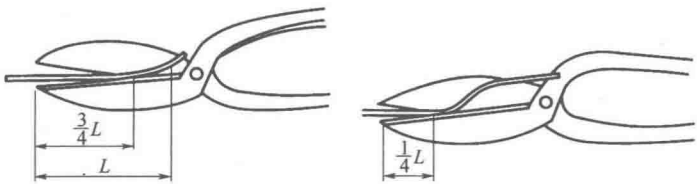


图 5-14　剪口状态

开始剪切时，两刃口只张开剪刃全长的 3/4，一次剪切终了时，剪刃不应完全合拢，应留 1/4 剪刃长。即剪刀的每次开启和闭

合，剪刃只是其 1/4～3/4 处的刃口与板料接触，则每次剪切板料的剪切长度应是剪刃长度的 1/2 左右，如图 5-15 所示。



(a) 剪切开始　　(b) 剪切终了

图 5-15　剪刃工作状态

剪切刃闭合时，压线连续剪切，剪口要重合，两刃之间保持不大于 0.2mm 的间隙，薄料取小值，厚料取大值，如图 5-16所示。

如果板料上的剪切线对工件来说是凹进去的形状，即凹角时，应先在该剪切线凹进的交点处钻止裂孔或留一定距离不剪开。钻止裂孔的目的是让两边的剪切线在剪切时使剪刃的终了位置均落在止裂孔上，留一定距离不剪开也是不让两边剪刃最后一刀的剪刃的终了位置留在工件上，其目的是不在工件上的交点处留下刃口印，以免产生应力集中源。一般采用在剪切线交点处留一定距离不剪开，待剪后用手掰下连接处，再使用锉刀修到切割要求。对角材的截断，可先锯开角根，再用剪刀沿线剪断，如图 5-17 所示。

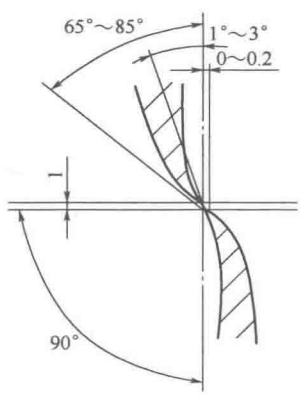


图 5-16　剪刃间隙

当剪切线为曲线时，剪刃沿曲线的运行方向是以剪刃口不遮住剪切线为准，以便操作者剪切时控制上剪刃保持与曲线的切线方向相一致。

剪切内孔的方法是先在板料上开一个工艺孔，再用弯口剪采用螺旋方式逐渐扩大至剪切线，剪切大的内孔，较好的方法是振动

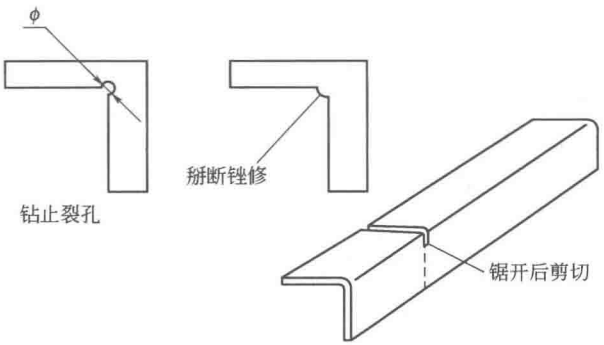


图 5-17　剪切凹角及角材

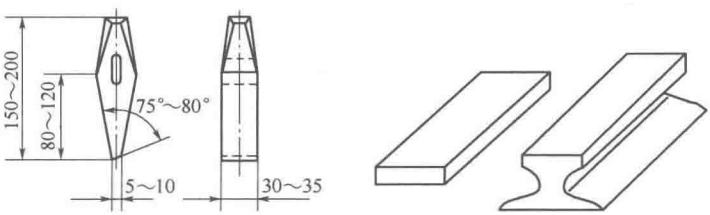
剪切。

在板料的剪切操作中，常会出现剪不断、尺寸超差、剪切线间断不直、剪裂及毛刺多等现象。具体原因与排除方法见表 5-23。

表 5-23　剪切故障分析与排除方法

故障现象	故障分析	排除方法
板料剪不断	是由于上、下刀刃的间隙过大；或刃口过钝，或板料过厚	应适当调整上、下刃间间隙；保持刀刃磨锐；同时选择合适的板材厚度
剪切尺寸超差	剪刀的上刀刃与板料的剪切线未对正	剪切线是直线时，上刀刃应对正并压着直线剪切；当剪切曲线时，剪刀剪切方向应以不遮住画线为准，上刀刃压着板料保持与画线的切线方向相一致进行剪切
剪切线间断不直	相邻前后剪切间剪刀与板料间有松动	将上刀刃压线连续剪切
剪裂	是由于在工件凹角处未钻止裂孔或因刃口超过画线而留下未剪断的刃口导致了应力集中源，因多种原因而扩展成各种裂纹；或者可能是因为上、下刃口太小，剪切时剪刃全部闭合咬伤零件	按要求钻止裂孔或留锉修余量；调整刃口间隙，剪切时不要完全闭合，应留刃长的 1/4 再进一步剪切
毛刺多	可能是由上、下刃剪切间隙不合适导致而成或剪刃太钝	调整刃口间隙，并试剪；定期地修磨刀刃

(3) 克切　克切是手工剪切钢板的一种方法，它的最大特点是不受工作位置和零件形状的限制。克切工具主要是上克子和下克子，如图 5-18 所示。上克子多经锻制而成，材质一般选取碳素工具钢；下克子则可根据实际情况利用废剪刃片或用钢轨加工而成。



(a) 上克子　　(b) 下克子

图 5-18　克切工具

1) 克切操作。克切时一般采用先直线后弧线、先短线后长线的克切顺序。工作中要保证板料与下克子上平面贴合。克切作业主要由掌克者及打锤者配合完成，打锤者站在下克刃一侧，两人互成 90°为宜。

① 起克：起克时把板料平放在下克子上，下克子伸出，以过线找正，使克切线与下克子刃重合。上克子刃对准切料线置于板料上，要探出 1/3 克子刃宽，并与下克子刃相靠。同时保持上克子的前面与被切钢板垂直，刃口与钢板成 10°～15°的倾角，如图 5-19 所示。起克时，锤击力要小些，以便起克不准时及时修正，确认正常后，开始逐段克切。直线克切时，为提高质量，要随时纠正克切偏向，不断变换钢板的位置和锤击力。

② 曲线部分的克切：在板料上克切曲线时，因上、下克刃均为直线形，每一次克切也只能克切出一段直线，因此，克切曲线的实质是沿曲线的切线位置，克切出直线段，围绕曲线形成一个外切多边形，克切出的直线段越短，就越接近曲线。因此，每次的克切量要尽量小些，克子与钢板夹角要大一些，锤击力要小些，并频繁地转动和移动板料，使每次板料曲线都与克刃相切。

③ 孔克切：为使内圆孔克切的开口准确，首先在孔的边缘划切线，如图 5-20 所示，以方便切点与下克子对正。起克时，将上克刃前尖角与板料过线所划切点对正，锤击开口。开好口后的克切

方法与曲线克切相同。内方孔克切也要划线对正下克子。起克一般在孔的折角处，一条直边最后克切也是在折角处，只是最后一次克切要将上克刃后尖角对准折角，将克子把向下压，与起克角度一致但方向相反。

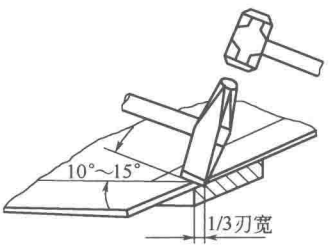


图 5-19　起克

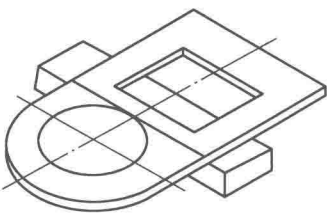
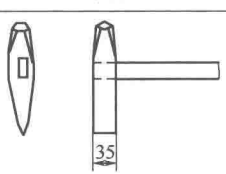
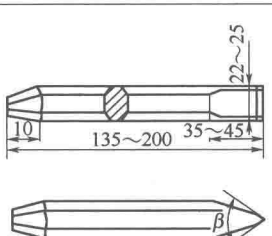


图 5-20　孔起克对线

2）克切件的质量检查。克切件的检查内容主要是：克切件的各部尺寸是否符合图样要求，克切件的边缘是否整齐，有无毛刺及撕裂现象。

（4）铲切　铲切是利用铲子一个刀刃进行切割的，常用铲子有带柄的大铲和不带柄的扁铲以及尖铲三种，其规格和用途见表 5-24。各种铲切的方法见表 5-25。

表 5-24　铲子及其用途

类型	图示	用途
大铲		用于剁切钢料
扁铲		用于铲切薄板件、断切棱角

续表

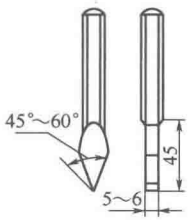
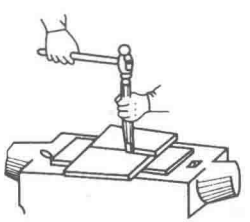
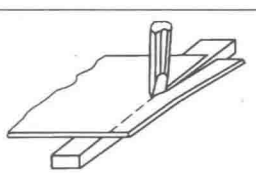
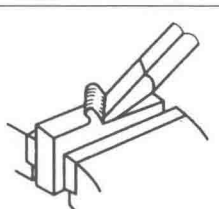
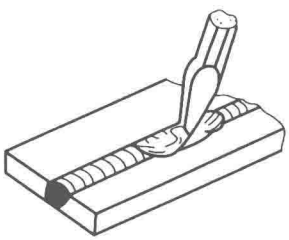
类型	图示	用途
尖铲		用于开孔、剔键槽等

表 5-25　铲切的方法

铲切类型	图示	方法说明
板料的铲切		当用铲子铲切钢板时，可将钢板置于平台或铁砧上，然后用铲子按切断线边缘进行铲切，为防止损伤铲子，可用软钢板加以衬垫
		将板料的切断线对准硬钢边缘，然后用铲子铲切
焊接坡口铲切		焊接前，将接缝边缘加工出一定的斜度，以减小接缝边缘的厚度，保证焊透。当工件不大时，可将其放于台虎钳上夹紧后铲切
		当工件较大时，可直接进行铲切。铲切时，应根据坡口所需要的角度和尺寸，调整好铲子的角度，控制好铲切量

续表

铲切类型	图示	方法说明
焊根挑铲		当焊缝出现缺陷要进行补焊时，可用尖铲先将焊缝缺陷挑铲去除。挑铲时，从缺陷两边开始逐步铲切，每层铲切量不宜过厚，一般为 0.5～1.5mm，直至焊缝缺陷全部去除。铲切时，应根据切入下凹量，调整好铲子角度，控制好铲切量

5.2.1.2 机械剪切

剪切机常用来剪裁直线边缘的板料毛坯，能保证板材剪切表面的直线性和平行要求，减少板材扭曲，使制件获得较高质量。如图 5-21 所示，上刀片固定在刀架上，下刀片固定在床面上，床面上安装有托球，以便于板料的送进移动，后挡板用于板料的定位，位置由调位销进行调节。液压压料筒用于压紧板料，以防板料剪切时翻转。

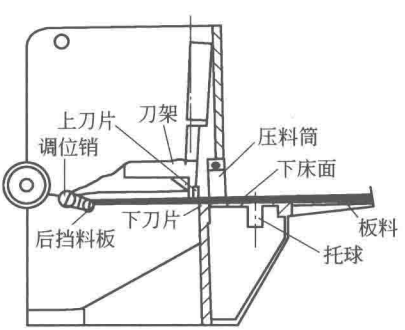
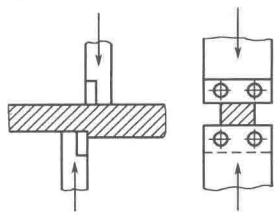
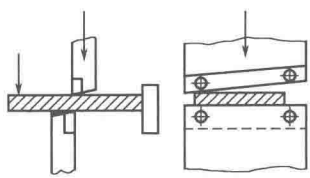
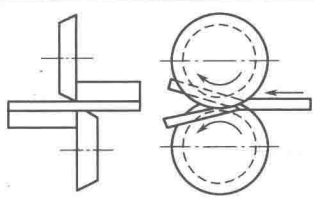
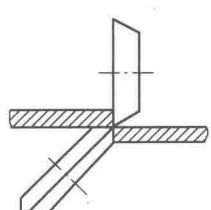
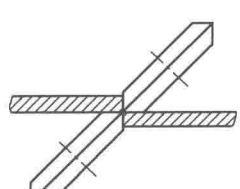


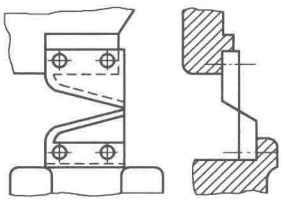
图 5-21 剪切机工作原理

(1) 剪切机剪刀片的形式 剪切机剪刀片根据剪切机类型的不同有多种形式，见表 5-26。

表 5-26　剪切机剪刀片的形式

剪切机种类		图示	说明
直线剪切机	平口剪切机		上、下剪刀片的刀口是平行的，剪切时受力大，适宜于剪切窄而厚的条钢
	斜口剪切机		下刀板在水平位置固定不动，上刀板倾斜一定角度做上、下运动，剪切时受力小，适用于剪切较长的钢板
	圆盘剪切机		剪刀片由一对圆形滚刀组成，剪切时上下滚刀做相反运动，适用于剪切很长的条料
曲线剪切机	单斜圆盘剪切机		下滚刀是倾斜的，适用于剪切直线、圆弧线
	双斜圆盘剪切机		上下滚刀都是倾斜的，适用于剪切圆、圆环和任意曲线

续表

剪切机种类		图示	说明
曲线剪切机	振动式剪切机		上刀板做成倾斜的上下运动。下刀板是固定的(有的下刀板是板状的,刃口倾斜),能剪切各种开关复杂的板料,还能在板料中间剪切出各种形状的孔

(2) 挡料板的调整　挡料板的调整可用手动和机动的方法。图 5-22所示是挡板剪料。按样板手动调节的方法如下。

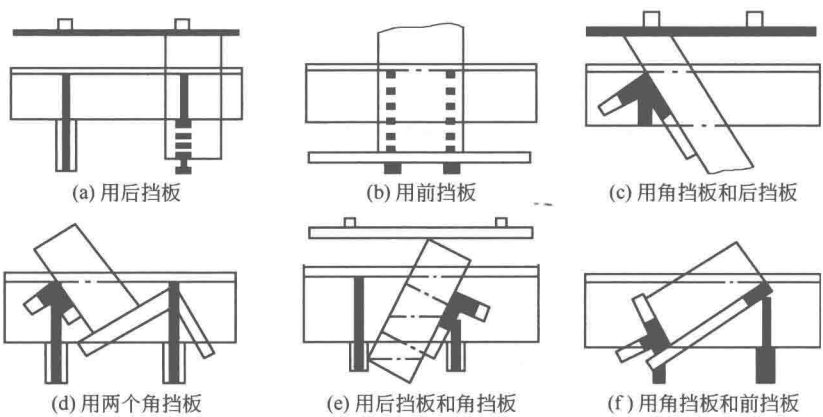


图 5-22　利用挡板剪料

1) 调整前挡板。把后挡板靠紧下刀口，再把样板靠紧后挡板，将前挡板靠紧样板并固定。松开后挡板，去掉样板，装上板料进行剪切。

2) 调整后挡板。将样板托平对齐下刀口，再把后挡板靠紧样板并固定，去掉样板，装上板料进行剪切。

3) 调整角挡板。先将样板放在台面上对齐下刀口，调整角挡板并固定。再根据样板调整后挡板，剪切时同时利用挡板和后挡板。

5.2.2 铣切下料

铣切下料是利用调整旋转的铣刀对成叠的板料进行铣切，其工艺方法简单，生产效率高。铣切生产线示意图如图 5-23 所示，铣切流程见表 5-27。

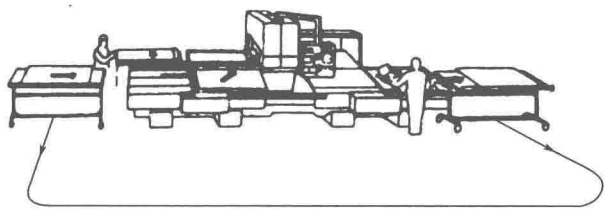
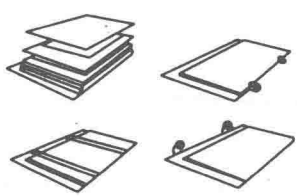
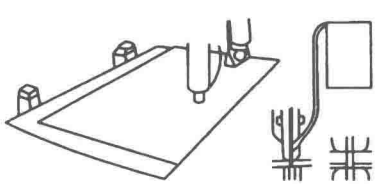
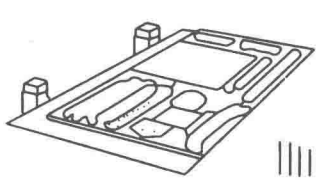
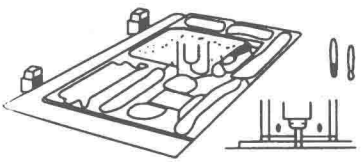
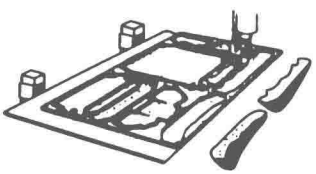


图 5-23　铣切生产线

表 5-27　铣切流程

流程	图示	说明
材料准备		备料，在座板上堆叠，打定位销，装在机器的弓形夹上
钻定位销孔		钻定位销孔，铆定位销，套载零件的周边，定位销孔的位置已由计算机自动编制储存在自动控制系统中
加工孔		按程序自动更换钻头，自动加工零件所有的孔

续表

流程	图示	说明
铣切周边		自动更换刀，自动加工零件周边
取料		取下已加工完成的零件

铣切操作工艺与设备如下。

(1) 铣切过程与钣金铣床　如图 5-24 所示，把板料和铣切样板用弓形夹夹紧，形成“料夹”。当铣刀高速转动后，推动料夹，靠弓形夹底座在台面上移动，使铣切样板靠紧靠柱移动，板料则被铣刀铣切。因铣刀直径和靠柱直径相等，故而铣出的零件外形与铣切样板相同。

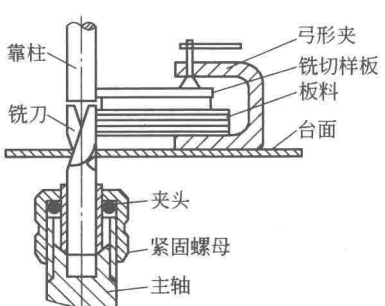


图 5-24　铣切过程

下轴位式钣金铣床的传动系统如图 5-25 所示。由电动机经齿轮、带轮、齿轮箱变速使主轴获得 16000r/min 的转速，由电动机

经变速机构使主轴作上升或下降运动。

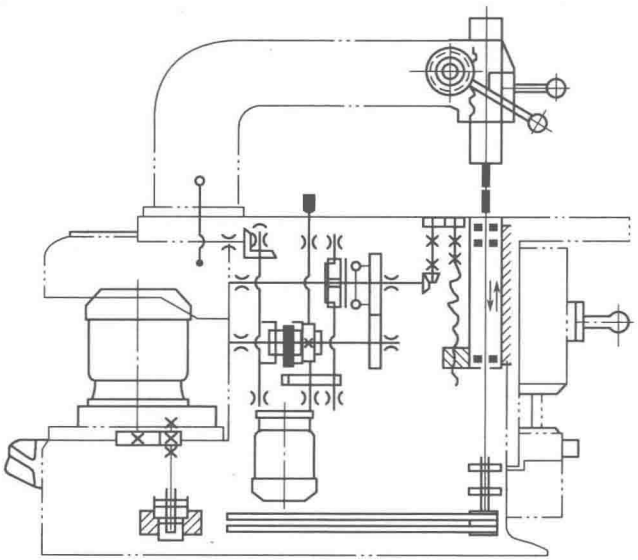


图 5-25　钣金铣床机械传动示意图

靠柱装夹机构如图 5-26 所示。靠柱与套筒靠锥面配合，摆动手柄可使套筒升降。用固定圆箍固定套筒在适当位置，使靠柱的高度适应铣切不同厚度时的需要，拆卸时定位横销经圆柱将靠柱顶出。

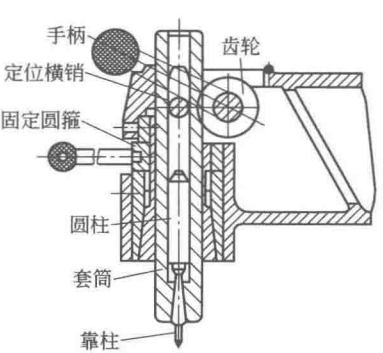


图 5-26　靠柱装夹机构

钣金铣床所用靠柱，尾柄为圆锥形，用于装夹，前端为圆柱形，制成大小不同的直径，起靠模作用。

如图 5-27 所示，钣金铣床所用铣刀有软料刀和硬料刀。硬料刀的螺旋角小一些。铣切内孔要磨出主刃倾角，如图 5-27(c) 所示。铣刀装进夹头，外伸长度 45mm 左右，如图 5-28 所示。



图 5-27　钣金铣床所用铣刀

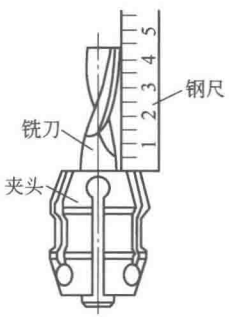


图 5-28　铣刀的装卡

（2）在回臂铣钻床上铣切　回臂铣钻床的床身固定在地基上，床身上装有两个回臂，每个回臂各由三节组成，由于用转动轴连接，可以伸曲，最大外伸量为2900mm，最小外伸量为 350mm。回臂可用手牵动，摆动最大角度为 210°。两个圆回臂的端部分别装有钻削头和铣切头，转速为 12000r/min。

铣刀和靠柱安装在同一方向，如图 5-29所示，工作时靠柱不旋转与样板表面接触进行导向，铣刀作高速旋转进行铣切，如图 5-30 所示。

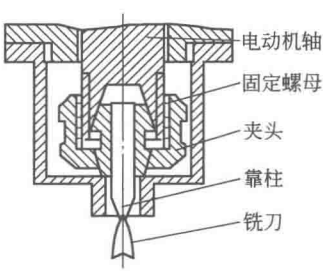


图 5-29　铣刀的装夹

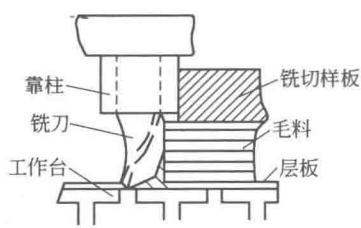


图 5-30　铣切过程示意

（3）铣切样板

1）钣金铣床用铣切样板。按照零件的展开样板或展开件制造。平板零件的铣切样板按照外形样板制造。其制造要求如下。

① 铣切样板用 2～4mm 厚的硬铝板和 10mm 厚的层板铆接而成，铝板面为铣切样板的正面。

② 正面铝板外形允许比所依据的展开样板大 0.2mm，层板外形允许比铝板外形小 0.2mm。

③ 铆钉直径为 4～5mm，铆接边距为 15mm，间距为 50mm。

样板的正反两面均不允许铆钉头凸出。

④ 样板正面打上标记符号。

2）回臂铣钻床用铣切样板。按照展开样板或展开制造，平板零件的铣切样板按照样板制造。但在外形尺寸上要考虑靠柱与铣刀尺寸的差值。铣切样板按材料不同可分两种：一种是用整块精制层板制造；另一种是用厚度为3～5mm的硬铝板与航空层铆接而成。其制造要求如下。

① 正面厚2mm的钢板按样板的外形均匀缩小$5.5_{-0.2}^{0}$mm，内孔则放大$5.5_{-0.2}^{0}$，如图5-31所示。

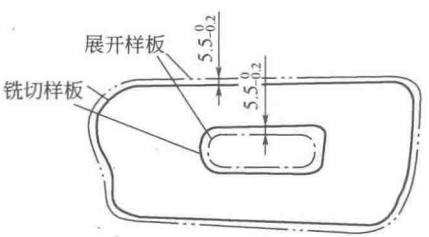


图5-31　依据展开样板制造铣刀样板

② 中间层板比正面钢板周边允许小0.2mm。

③ 反面厚1.5mm的钢板比正面钢板周边允许小0.5mm。

④ 铝铆钉直径为5mm，铆接边距为15mm，间距为50mm。样板正面铆钉头允许凸出表面但不能大于1mm，样板反面铆钉头不允许凸出表面，如图5-32所示。

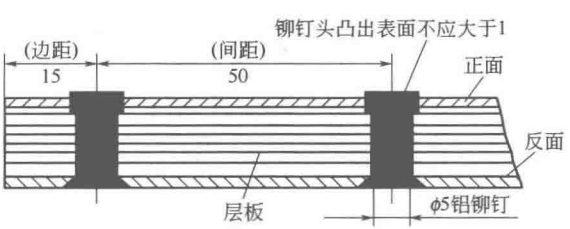


图5-32　铆接样板

⑤ 大型样板可在保证边距100～150mm处适当开出减轻孔，并醒目地注明“减轻孔”标记。

⑥ 样板正面打上标记符号。

⑦ 样板边缘必须保证较低的粗糙度和直线度，样板磨损后，为继续使用，可修整周边均匀缩小 1mm 或 2mm，并醒目地注明均匀缩小的数据。

⑧ 当展开样板凹入部分转角 $R<4$mm 时，一律按 $R=4$mm 制造。铣切样板上的 $R=4+5.5=9.5$mm，如图 5-33 所示。

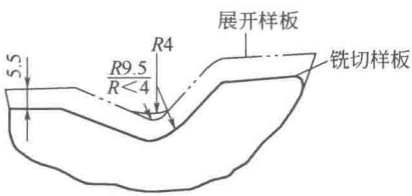


图 5-33　样板凹入部分的制造

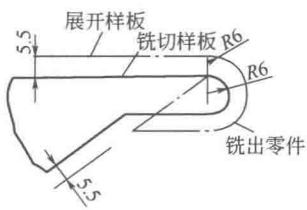


图 5-34　留出余量

⑨ 当展开样板上凸出尖角 $R<6$mm 时，可以采取如图 5-34 所示留出余量的办法或如图 5-35 所示采用配制销棒、棒孔，安装辅助导板的方法。

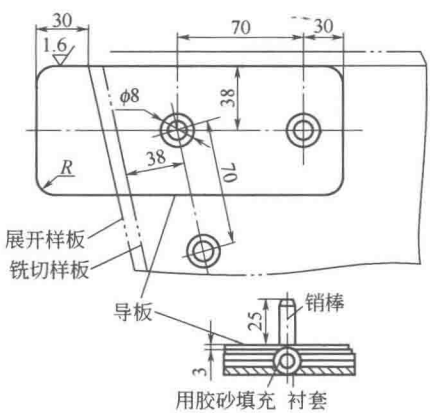


图 5-35　安装导板

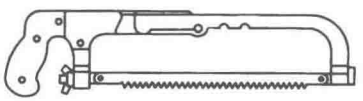
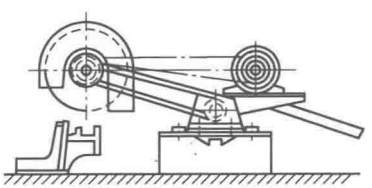
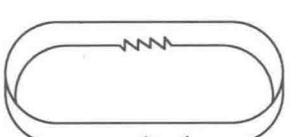
5.2.3　锯切下料

5.2.3.1　锯切工具及选用

锯切常用的工具为手锯、圆盘锯、摩擦锯、金属带锯等，锯切

材料时，一般可根据锯切材料的性质和尺寸大小选择使用，见表5-28。

表 5-28　锯切工具与应用范围

锯切工具	图示	应用范围
手锯		有粗齿、中齿、细齿三种，锯切低碳钢、纯铜、防锈铝、塑料等软材料或较大截面材料时选择粗齿；在锯切中等硬度钢、黄铜、厚壁管或型钢时，选中齿；锯切金属薄板、薄壁管、小而薄的型钢时，选细齿
圆盘锯		有高速和低速之分，高速圆盘锯适用于铝、铜等金属导管；低速圆盘锯适于型钢、方钢的锯切
摩擦锯（砂轮）		用于碳钢、不锈钢管、钢型材的小尺寸有色和黑色导管等的锯切
金属带锯		用于板衬、管、型材等的锯切

5.2.3.2　锯切方法及参数

（1）薄板材锯切　在锯切大型薄板成条状毛料时，可首先选择金属带锯锯切，并根据锯切材料性质选择合适的齿形及齿距，然后

再将薄板夹在两块木板中间压紧。锯切时，利用金属带锯，将大型薄板连同木板一起锯开，如图 5-36 所示。

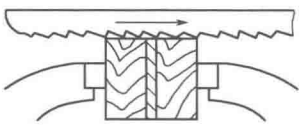


图 5-36　薄板的锯切

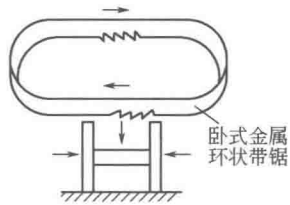


图 5-37　厚壁型材的锯切

(2) 厚壁型材的锯切　对于较厚壁型材和板材的切割，可采用高强度的卧式金属环状带锯进行连续锯切，如图 5-37 所示。锯切的速度可达 18～120m/min，切割效率可达 80cm²/min，是一种高效率的型钢切割方法。

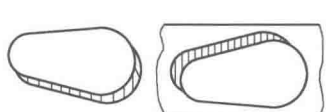
带锯切割具有自动送料功能，可以实现一次拟定尺寸后自动连续送料，其毛料长度尺寸重复精度可以控制在 0.5mm 以内，断面质量较高，特别适用于切割各种型材。

5.2.4　冲裁下料

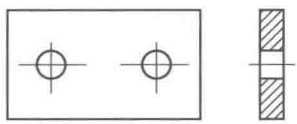
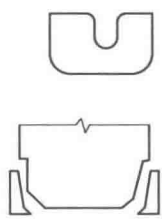
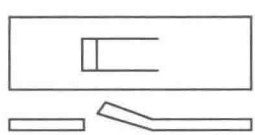
利用冲模分离板料的工序称为冲裁。在大批量生产时，采用冲裁分离可以提高生产效率，易于实现机械化和自动化，因而应用广泛。

冲裁可以制成成品零件，也可以为弯曲、压延和成形工艺准备坯料。冲裁工艺的种类很多，有落料、冲孔、豁边、切口、切边等，见表 5-29。

表 5-29　冲裁工艺的种类

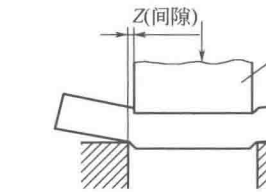
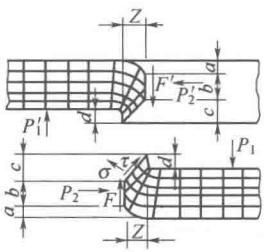
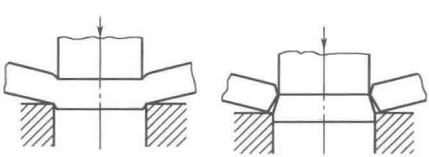
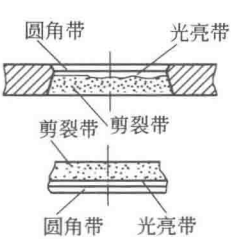
工艺种类	图示	说明
落料		切掉零件的周边，中间落下的是零件

续表

工艺种类	图示	说明
冲孔		冲切过程与落料相似，留中间落下的余料
豁边		切去工件周围的某一部分使工件边缘出现豁口或为一定形状
切口		把工件边缘某一处切开，但不使其分离(如百叶窗)
切边		把压延件周边的多余部分切掉

冲裁是一种封闭的剪切工序，是由带剪刃的凸模和带剪刃的凹模做上、下相对运动而完成冲切，其凸模尺寸比凹模尺寸小而存在间隙。因此在冲裁过程中，材料变形会受到间隙的影响而经历弹性变形、塑性变形和断裂等过程，见表 5-30。

表 5-30　冲裁变形与分离过程

变形阶段	图示	说明
弹性变形阶段	 	冲裁落料时，将条状板料置于凸、凹模之间，当凸模压住板料向下运动时，板料在凸、凹模纵向压力 P_1、P_1'，横向挤压力 P_2、P_2'和摩擦力 F、F'共同作用下，先产生弹性弯曲变形，并略微挤入凹模的洞口形成圆角带，板料的内应力达到弹性极限而产生上翘
塑性变形阶段		当凸、凹模刃口附近的材料内应力超过屈服强度时，板料产生塑性变形而部分材料被挤入洞口中，所有应力将集中在凸、凹模刃口圆角处，并使其间隙处的材料纤维先后弯曲、拉伸，直至出现细微裂纹和流动的光亮带
断裂阶段		随着凸模继续下压，当材料内应力达到抗剪强度极限、冲裁力达到最大值时，受剪处光亮带终止，但细微裂纹迅速扩展直至上下会合，板料与零件被冲切分离，并形成粗糙纤维状的剪裂带

根据断口附近各部分的变形性质和外貌特征不同，冲裁区可分为

圆角带、光亮带、剪裂带和毛刺区四个区域。其中光亮带光滑、垂直，具有最好的尺寸精度和粗糙度，其宽度为冲裁件断面的1/3～1/2。

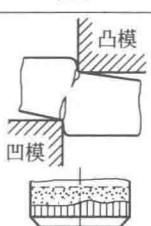
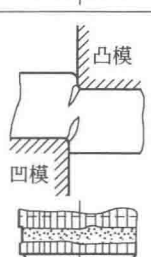
圆角带、光亮带、剪裂带三区的状态即可决定冲裁件的断面质量，而出现的毛刺区则可降低冲裁件的质量。这四个区域的尺寸比例与材料的性质、板厚、模具结构尺寸及间隙、刃口锋利程度等冲裁条件有关。

5.2.4.1 冲裁下料影响因素

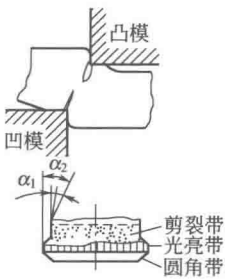
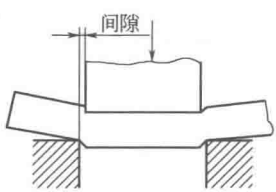
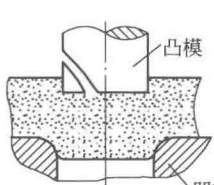
材料在冲裁过程中，冲裁件直径（或长度、宽度）与废料的相应尺寸不同，其差值为凸、凹模间隙的两倍。凸、凹模间隙，刃部磨损状态及整修工艺是保证冲裁件断面表面粗糙度、尺寸准确度和外表平整度的重要因素。

（1）冲裁间隙的影响　凸、凹模之间的尺寸差就是冲裁间隙，落料时，凹模的尺寸与工件的轮廓尺寸相等，间隙取在凸模的两侧，而冲孔时则相反，将间隙取在凹模的两侧。通常，单边间隙在板料厚度的5%～15%时为合理。冲裁间隙对断面质量、尺寸形状和模具寿命都有影响，见表5-31。

表5-31　冲裁间隙对断面质量、尺寸形状和模具寿命的影响

影响方面	图示	说明
断面质量的影响		冲裁时，若将凸、凹模间隙控制在合理范围内，可使板料从凸、凹模刃口边沿最大剪应力方向产生裂纹并互相重合，且断面平直、光洁，毛刺很小
		若凸、凹模间隙过小，上、下两个剪裂纹将错开断裂，并使断面弯曲不平且毛刺较大，同时还会加速模具刃口的磨损

续表

影响方面	图示	说明
断面质量的影响		若凸、凹模间隙过大，拉力增大，材料易被撕裂，且裂纹在刃口稍远的侧面上产生，致使零件光亮带减小，圆角与断裂斜度增大，拉断毛刺又大又厚
尺寸形状的影响		冲裁件在冲裁过程中，开始变形时与受力方向相反而产生上翘变形。若间隙过大，材料纤维被拉伸变长，上翘的程度越严重，冲裁结束后被分离落下的材料尺寸变小，而留在材料上的孔的尺寸变大。若间隙过小，被冲材料在冲裁过程中被严重挤压，冲裁结束后回弹较大，造成被分离后落下的材料尺寸变大，而留在材料上的孔的尺寸变小。此外，间隙过大或过小时，材料在冲裁中的被挤压、拉伸、弯曲等变形中会造成分离后的表面不平整或形状变化而影响冲裁件的形位公差
模具寿命的影响		若间隙过小，板料对凸、凹模刃口产生的侧压力增大，摩擦力也随之增大，从而会加剧对模具的磨损，使寿命下降。若间隙过大，两刃口处端面上的压应力分布不均匀，易崩刃或产生塑性变形

（2）冲模刃口状态的影响　冲裁件质量不仅取决于板料的性能，还取决于冲模刃口的磨损状态。当凸、凹模磨钝后，即使凸、

凹模间隙合理，也将在零件上产生毛刺，如图 5-38(a) 所示。若凸模刃口不锋利，会使落料件边缘产生毛刺，如图 5-38(b) 所示。若凸模和凹模的刃口均不锋利，则在冲裁件边缘和孔口均会留下毛刺，如图 5-38(c) 所示。

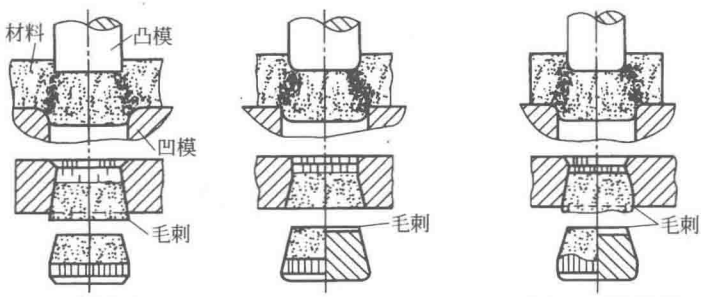


图 5-38　冲模口状态对断面质量的影响

(3) 冲裁间隙值的选取　冲裁间隙的选择不仅严重影响冲裁件的断面质量和尺寸精度，还影响模具的寿命，同时也影响冲裁力大小。

冲制落料件时，应选凹模刃口尺寸等于冲裁件尺寸，而凸模尺寸则为冲裁件尺寸减去相应的间隙值，修正余量另做考虑，如图 5-39 所示。

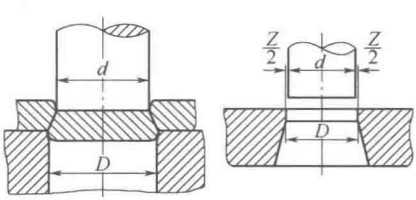


图 5-39　间隙与刃口尺寸确定

冲制冲孔件时，应选凸模刃口尺寸等于所要求的孔的尺寸，而凹模具刃口尺寸则是孔的尺寸加上两倍的间隙值。并且冲制断面质量要求较高的件，应选取较小的间隙值。若对冲裁件的断面质量无严格要求，为提高冲模的寿命，可加大间隙。冲裁模合理双边间隙值见表 5-32。

表 5-32　冲裁模合理双边间隙值　　mm

材料种类		不同板料厚度下的间隙值				
		0.1～0.4	0.4～1.2	1.2～2.5	2.5～4	4～6
软钢、黄铜		0.01～0.02	(7%～10%)δ	(9%～12%)δ	(12%～14%)δ	(15%～18%)δ
硬钢		0.01～0.05	(10%～17%)δ	(18%～25%)δ	(25%～27%)δ	(27%～29%)δ
磷青铜		0.01～0.04	(8%～12%)δ	(11%～14%)δ	(14%～17%)δ	(18%～20%)δ
铝及铝合金	软	0.01～0.03	(8%～12%)δ	(11%～12%)δ	(11%～12%)δ	(11%～12%)δ
	硬		(10%～14%)δ	(13%～14%)δ	(13%～14%)δ	(13%～14%)δ

注：1. 冲裁件断面质量较高时，可将表中间隙值减小 1/3 作为最小间隙值。

2. 圆柱形型孔凹模取表中较大数值；锥形型孔凹模具取表中较小数值。

(4) 冲裁刃口尺寸的计算　由于冲裁时落料件的尺寸接近于凹模刃口的尺寸，冲孔件的尺寸接近于凸模刃口的尺寸，所以冲裁件尺寸和冲裁模间隙都取决于凸模和凹模刃口的尺寸。冲裁模刃口尺寸选择见表 5-33，其制造公差见表 5-34。

表 5-33　冲裁模刃口尺寸的选择

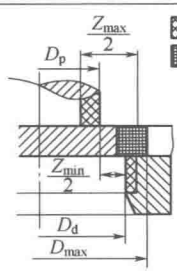
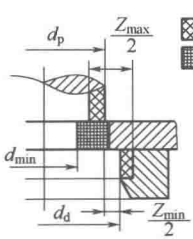
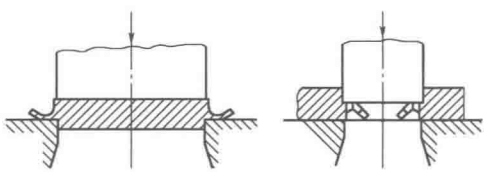
刃口尺寸	图示	选择原则
凹模刃口尺寸		冲制落料件时，先按落料件确定凹模刃口尺寸，取凹模为基准件。为保证凹模磨损在一定范围内，也能冲出合格的零件，其尺寸应取接近或等于落料件公差范围内的最小极限尺寸。然后，根据最小合理间隙 Z 确定凸模尺寸
凸模刃口尺寸		冲制冲孔件时，先按冲孔件确定凸模刃口尺寸，取凸模为基准件。为保证凸模磨损在一定范围内仍可使用，其尺寸应取接近或等于孔的最大极限尺寸然后根据最小间隙 Z 确定凹模尺寸

表 5-34　冲裁模制造公差　　mm

公称尺寸	≤18	>18～30	>30～80	>80～120	>120～180	>180～260	>260～360	>360～500	>500
$\Delta_{凸}$	0.020	0.020	0.020	0.025	0.030	0.030	0.035	0.040	0.050
$\Delta_{凹}$	0.020	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045	0.050	0.060	0.070

(5) 修整工艺与参数　整修模工作部分的尺寸与冲裁凸、凹模结构相同。在整修时要考虑弹性变形量，外缘整修时，工件略有增大，如图 5-40 所示，内缘整修时，应注意孔径的回弹量。



(a) 外缘整修　　(b) 内孔整修

图 5-40　整修模及其工序

5.2.4.2　冲裁下料工艺

(1) 冲裁件尺寸形状　为简化模具结构，减少排样废料，落料件的外形和冲孔件的孔形应尽量避免复杂的形状，多采用圆形、矩形等规则形状，如图 5-41 所示。

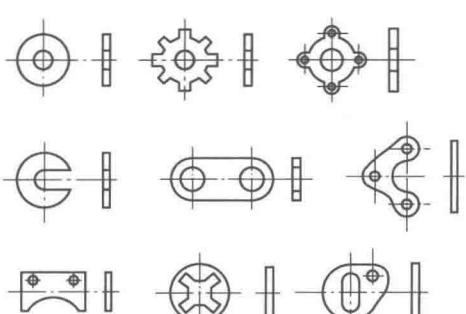


图 5-41　冲裁件合理外形

1) 最小尺寸。零件冲裁加工部分的尺寸越小，所需冲裁力也越小。但尺寸过小时，会增大凸模单位面积上的压力，使其强度不足。

零件冲裁加工部分的最小尺寸与零件的形状、板厚和材料的力学性能有关，具体可参考表 5-35 和表 5-36。

表 5-35　无导向凸模冲孔最小尺寸

材料	圆形孔(直径 d)	方形孔(孔宽 b)	矩形孔(孔宽 b)	长圆形孔(孔宽 b)
钢($\tau\approx685$MPa)	$\geqslant1.5\delta$	$\geqslant1.35\delta$	$\geqslant1.2\delta$	$\geqslant1.1\delta$
钢($\tau\approx390\sim685$MPa)	$\geqslant1.3\delta$	$\geqslant1.2\delta$	$\geqslant1.0\delta$	$\geqslant0.9\delta$
钢($\tau\approx390$MPa)	$\geqslant1.0\delta$	$\geqslant0.9\delta$	$\geqslant0.8\delta$	$\geqslant0.7\delta$
黄铜、铜	$\geqslant0.9\delta$	$\geqslant0.8\delta$	$\geqslant0.7\delta$	$\geqslant0.6\delta$
铝、锌	$\geqslant0.8\delta$	$\geqslant0.7\delta$	$\geqslant0.6\delta$	$\geqslant0.5\delta$

注：τ——抗剪强度；δ——板厚。

表 5-36　有导向凸模冲孔最小尺寸

材料	圆形(直径 d)	矩形(孔宽 b)
硬钢	0.5δ	0.4δ
软钢与黄铜	0.35δ	0.3δ
铝、锌	0.3δ	0.28δ

冲裁件的内、外应避免尖锐转角，在各直线或曲线的连接处设置适当的过渡圆角，如图 5-42 所示，且内外圆角的最小半径按经验公式计算或根据使用材料参考表 5-37 选取。

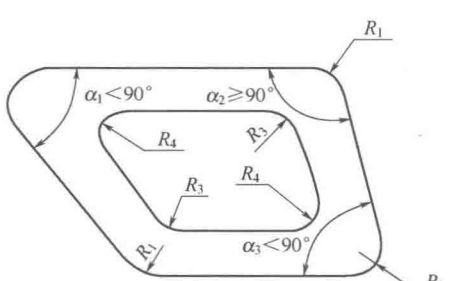
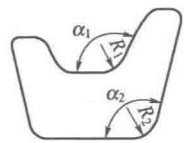


图 5-42　内外圆角半径

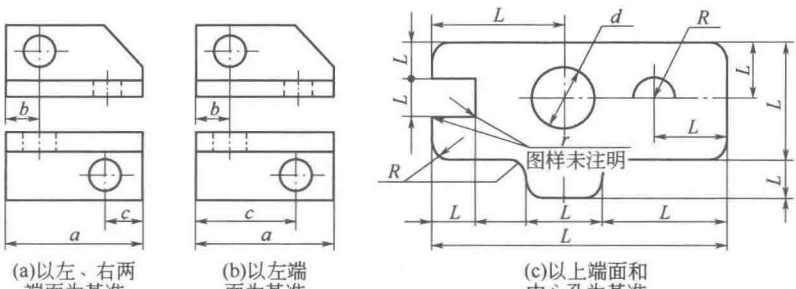
表 5-37　常用低碳钢、合金钢和铜与铝材料件的最小圆角半径

mm

工序	角度	最小圆角半径			图示
		低碳钢	合金钢	铜、铝	
落料	$\alpha_1 \geqslant 90°$	0.25δ	0.35δ	0.18δ	
	$\alpha_2 < 90°$	0.50δ	0.70δ	0.35δ	
冲孔	$\alpha_1 \geqslant 90°$	0.30δ	0.45δ	0.20δ	
	$\alpha_2 < 90°$	0.60δ	0.90δ	0.40δ	

注：δ——板厚。

2）冲裁件的尺寸基准。冲裁件的结构尺寸标注基准，应尽可能与冲裁时的定位基准相重合，以免产生误差。如图 5-43 所示的两种冲裁件，分别需要在互相垂直的面上冲制圆孔、侧面上冲制凹槽及凸台。图（a）所示的两个孔分别以左、右两端面为尺寸基准，冲裁工艺采取两次以左端面定位冲制两孔，尺寸 c 受尺寸 a 的影响难以保证其精度。若采取图（b）所示的标注方式，则可排除尺寸 a 误差对尺寸 c 的影响，容易保证 b、c 两尺寸的精度要求。图（c）所示的左侧凹槽及下面的凸台是以中心圆孔和上端面为尺寸基准，冲裁工艺可采取同时以上端面和中心孔一次定位冲制，容易保证尺寸的精度。



(a)以左、右两端面为基准　(b)以左端面为基准　(c)以上端面和中心孔为基准

图 5-43　冲裁件的尺寸基准

3）冲裁件的尺寸精度。是指冲裁件与基本尺寸的差值，差值越小，尺寸精度越高。一般分为经济级与精密级两类，见表 5-38。

表 5-38　冲裁件的尺寸精度

冲裁类型		普通冲裁	整修	精密冲裁
尺寸精度	经济级	IT12～IT14(冲孔比落料高一级)	IT8～IT9	IT8～IT9
	精密级	IT9～IT11(落料低于 IT10，冲孔低于 IT9)	IT6～IT7	IT6～IT7

(2) 冲裁件排样方法

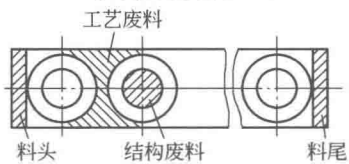


图 5-44　废料

1) 条料的合理利用。减少废料面积，尽可能在相等的面积上冲制出多的冲裁件，是提高材料利用率的关键。废料可分为结构废料和工艺废料两类，如图 5-44所示。

2) 条料的合理排样。结构废料由形成冲裁件的形状结构产生，与排料方法无关；工艺废料是零件之间、零件与条料侧边之间及料头和料尾的废料，与排料和冲裁方案有关。因此合理的排样能有效控制工艺废料的产生。

排料应根据冲裁件的形状、尺寸和材料结构等灵活确定，一般情况下尽可能采用无废料的排样方式，如图 5-45 所示。

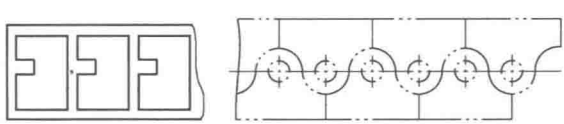


图 5-45　排样方法

(3) 搭边值的确定　为提高冲裁质量，简化模具制造，延长模具寿命，冲裁时材料在凸模刃口侧应留有足够的宽度，即搭边。搭边值 a 一般与冲裁件的板厚 δ 有关。

1) 工件外形越复杂，圆角半径越小，搭边与边距值越大。

2) 工件的外形尺寸越大，其搭边与边距值越大。

3) 材料板厚越大，搭边与边距值越大。

4) 材料强度和硬度高，搭边与边距值应减小；塑性好，则搭

边与边距值适当加大。

搭边值一般由经验确定，表 5-39 为最小搭边值经验数据。

表 5-39　最小搭边值经验数据　　mm

板厚 δ	圆形零件圆角 $r \geqslant 2\delta$		矩形边长 $L<50$	
	工件间搭边值	侧面搭边值	工件间搭边值	侧面搭边值
<0.25	1.8	2.0	2.2	2.5
0.25～0.5	1.2	1.5	1.8	2.0
0.5～0.8	1.0	1.2	1.5	1.8
0.8～1.2	0.8	1.0	1.2	1.5
1.2～1.6	1.0	1.2	1.5	1.8
1.6～2.0	1.2	1.5	1.8	2.5
2.0～2.5	1.5	1.8	2.0	2.2
2.5～3.0	1.8	2.2	2.2	2.5
3.0～3.5	2.2	2.5	2.5	2.8
3.5～4.0	2.5	2.8	2.5	3.2
4.0～5.0	3.0	3.5	3.5	4.0
5.0～12	0.6δ	0.7δ	0.7δ	0.8δ

5.2.5　气割下料

5.2.5.1　氧气自动切割

氧气切割是利用氧-乙炔气体火焰对钢材进切割的方法，如图 5-46 所示，其切割过程分为三个阶段。

① 金属预热。开始气割时，必须用预热火焰将欲切割处的金属预热至燃烧温度（即燃点）。一般碳钢在纯氧中的燃点为 1100～1150℃。

② 金属燃烧。把切割氧喷射到达到燃点的金属上时，金属便开始剧烈地燃烧，并产生大量的氧化物。由于金属燃烧时会放出大量的热，使氧化物呈液体状态。

③ 氧化物被吹除。液态氧化物受切割氧流的压力作用而被吹除。上层的金属氧化时，产生的热量能传至下层金属，使下层金属

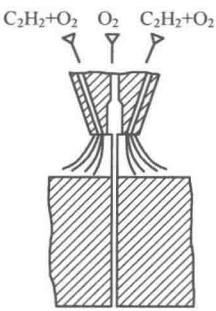


图 5-46 氧气切割示意

预热到燃点，切割过程由表面深入到整个厚度，直至将金属割穿。同时金属燃烧时，产生的热量和预热火焰一起，又将邻近的金属预热至燃点，沿切割线以一定的速度移动割炬，即可形成割缝，使金属分离。

（1）气割设备

1）割炬。割炬是手工气割的主要工具，可以安装和更换割嘴，以及调节预热火焰气体和控制切割氧流量。图 5-47 所示为常用的射吸式割炬，它与焊炬的原理相同，混合气体由割嘴喷出，点燃后形成预热火焰。乙炔气流量的大小由乙炔调节阀控制。不同的是另有切割氧调节阀，专用于控制切割氧气流量。射吸式割炬可在不同的乙炔压力下工作，既能使用低压乙炔，又能使用中压乙炔。

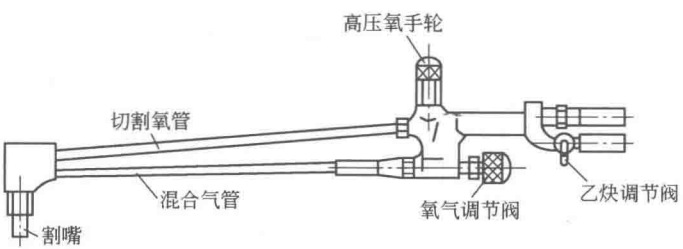


图 5-47 射吸式割炬

按可燃气体与氧气的混合方式来分类，割炬还有等压式割炬，如图 5-48 所示。

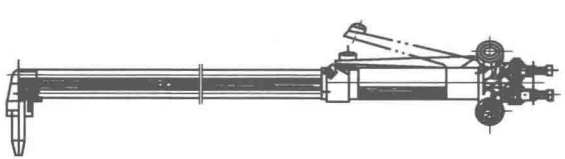


图 5-48 等压式割炬

常用割炬的型号有 G01-30、G01-100、G01-300 和 GD1-100。前三种为射吸式，后一种为等压式。射吸式割炬的主要技术数据见

表 5-40。

表 5-40　射吸式割炬的主要技术数据

割炬型号	割嘴型号	割嘴直径/mm	切割厚度范围(低碳钢)/mm	气体压力/MPa		气体耗量/(m^3/h)	
				氧气	乙炔	氧气	乙炔
G01-30	1	0.7	3.0～1.0	0.2	0.001～0.1	0.8	0.21
	2	0.9	10～20	0.25		1.4	0.24
	3	1.1	20～30	0.3		2.2	0.31
G01-100	1	1.0	20～40	0.3		0.2～2.7	0.35～0.4
	2	1.3	40～60	0.4		3.5～4.2	0.4～0.5
	3	1.6	60～100	0.5		5.5～7.3	0.5～0.6
G01-300	1	1.8	100～150	0.5		9.0～10.8	0.6～0.78
	2	2.2	150～200	0.65		11～14	0.8～1.1
	3	2.6	200～250	0.8		14.5～18	1.15～1.2
	4	3.0	250～300	1.0		19～26	1.25～1.6

2）氧气瓶。如图 5-49 所示，氧气瓶由瓶底、瓶体、瓶箍、瓶阀、瓶帽和瓶头组成，是用来储存和运输氧气的高压容器，其工作压力为 15MPa，容积 40L。

瓶体是用合金钢以热挤压而制成的圆筒形无缝容器。瓶体外表涂有天蓝色漆，并用黑漆写上“氧气”两字。瓶阀是控制瓶内氧气进出的阀门。目前主要采用活瓣式瓶阀，这种瓶阀使用方便，可直接用扳手去开启和关闭。

3）乙炔瓶。乙炔瓶是储存和运输乙炔的一种钢制压力容器。使用乙炔瓶时，具有纯度高，不含水分，杂质含量低；压力高，能保持气焊、气割火焰的稳定；设备轻便，工作比较安全，便于保持工作场地的清洁等优点。

乙炔瓶的外形与氧气瓶相似，其外表面涂白色，并用红漆写上“乙炔”等字样。在瓶内装有浸满着丙酮的多孔性填料，如图 5-50 所示，使乙炔稳定而又安全地储存在乙炔瓶内。当使用时，溶解在

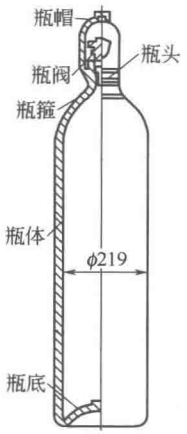


图 5-49　氧气瓶

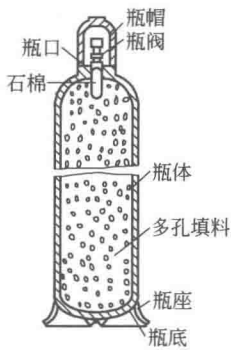


图 5-50　乙炔瓶的内部结构

丙酮内的乙炔就分离出来，通过乙炔阀流出，而丙酮仍留在瓶内，以便溶解再次压入的乙炔，乙炔瓶阀下面的填料中心部位的长孔内放有石棉，其作用是促进乙炔与填料的分离。

（2）氧气减压器　氧气减压器如图 5-51 所示，主要用于氧气减压，其进气口的最高压力为 15MPa，工作压力调节范围为 0.1～2.5MPa。

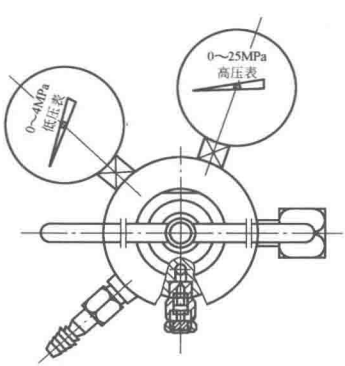


图 5-51　氧气减压器

（3）气割方法　气割前先把工件垫起，使工件下面留出一定的空间并使其畅通，以保证切口的熔渣向下顺利排出。工件表面的油

污和铁锈要清洗干净，为保证气割尺寸准确，工件上应预先划线。

1）气割火焰。根据氧与乙炔的不同比率，火焰可分为中性焰、碳化焰和氧化焰三种，见表 5-41。气割时预热火焰用中性焰。

表 5-41　氧-乙炔火焰

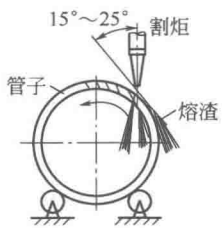
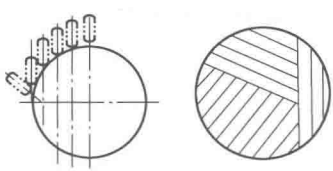
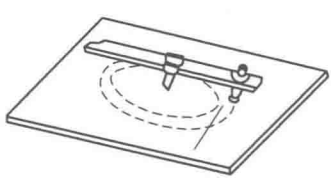
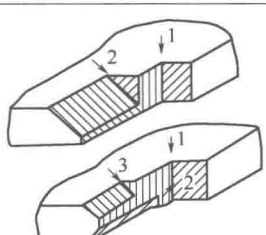
火焰类别	图示	特点	比率
中性焰		焰芯温度较高，形成光亮而明显的轮廓；内焰颜色较暗，呈淡橘红色；外焰是一氧化碳和氢气与大气中的氧气完全燃烧生成的二氧化碳和水蒸气	氧与乙炔的混合比为 1.1～1.2
碳化焰		火焰长，且明亮。焰芯轮廓不清，外焰特长。当乙炔过剩量很大时，会冒黑烟	氧与乙炔的混合比小于 1.1
氧化焰		焰芯呈淡紫蓝色，轮廓不明显；外焰呈蓝色，火焰挺直，燃烧时发出急剧的“嘶嘶”声	氧与乙炔的混合比大于 1.2

2）气割的方法。常见气割的方法见表 5-42。

表 5-42　常见气割的方法

类型	图示	说明
薄钢板（$\delta<4$mm）		采用较小火焰，割嘴向气割反方向倾斜，以增加气割厚度，气割速度要快
中厚钢板		预热火焰要大，气割气流长度要超过工件厚度的 1/3，预热时割嘴与工件表成 10°～20°倾角，使割件边缘均匀受热，气割时割嘴与工件表面保持垂直，待整个断面割穿后移动割嘴，转入正常气割，气割将结束时，应略放慢速度，使切口下部完全割断

续表

类型	图示	说明
钢管		固定钢管一般从管子下部气割，分两次割完。预热时火焰垂直于管子表面，待割穿后将割嘴逐渐改变方向，按图中1方向割至顶面，再按2方向气割
		气割时如逆时针转动管子，则将割嘴偏离顶面一段位置，使气割点的气线与割嘴轴线成15°～25°，则熔渣沿内外管同时落下
圆钢		割嘴先对准圆钢预热，在慢慢打开气割阀的同时，将割嘴转为垂直方向气割。小直径圆钢一次割完，大直径圆钢需分步割完
法兰		气割法兰的圆圈时，可借助转杆定心和气割
坡口		用双割炬或三割炬气割坡口时，割炬1在前用于气割直边，割炬2、3在后用于气割上下部的斜边

(4) 气割质量的影响因素和检查

1) 气割质量的影响因素

① 切割氧气的纯度。切割时应使用纯氧，如果纯度低于98%，氧气中的杂质在切削时就会吸引热量，并在切口表面形成其他化合物薄膜，阻碍金属燃烧，使气割速度降低，氧气消耗量增加。

② 切割氧气的压力。压力过低会引起金属燃烧不完全，降低切割速度，且割缝之间有粘渣现象。过高的压力反而使过剩的氧气起冷却作用，使切口表面高低不平。一般为0.45～0.5MPa。

③ 切割氧气射流。最佳的射流长度可达500mm左右且有明晰的轮廓，此时吹渣流畅，切口光洁，棱角分明，否则粘渣严重，切口上下宽窄不一。

④ 气割速度。一般气割速度与工件的厚度和使用的割嘴形式有关。工件越厚，切割的速度越慢；工件越薄，气割的速度应越快。气割速度由操作者根据割缝的后拖量自行掌握。后拖量是指在氧气切割过程中，在切割面上的切割氧气流轨迹的始点与终点在水平方向上的距离，氧乙炔切割的后拖量如图5-52所示。

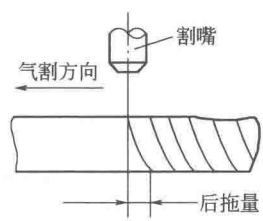


图5-52 后拖量示意

在气割时，后拖量总是不可避免的，尤其气割厚板时更为显著。合适的气割速度，应以使切口产生的后拖量比较小为原则，若气割速度过快，会造成后拖量过大，使切口不光洁，甚至造成割不透；若气割速度过慢，会使切口边缘不齐，甚至产生局部熔化现象，割后清渣也较困难。气割时，若能合适地选择气割速度，不但可以保证气割质量，还可降低氧气的消耗量。

2) 气割件质量的检查

① 测量割件各部分尺寸是否符合图样。

② 检查气割切口表面是否平整干净，割纹是否均匀一致。

③ 检查切口边缘是否有熔化现象，氧化物是否易于清除。

④ 检查切割直线段的平直程度。

5.2.5.2 等离子切割

等离子切割是一种新工艺，它利用气体介质通过电弧产生“等

离子体”。等离子弧可以通过极大的电流，具有极高的温度，因其截面很小，能量高度集中，在喷嘴出口的温度可达 20000℃，可以进行高速切割。等离子弧发生装置如图 5-53 所示。由于等离子弧中的正离子和电子等各种带电粒子所带正、负电荷的数相等，所以整个等离子弧呈中性。

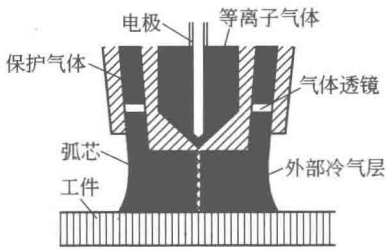


图 5-53　等离子弧割嘴

（1）等离子弧的产生形式　等离子弧按电源连接方式分为转移型和非转移型两种，如图 5-54 所示。转移型弧是在电极和工件之间燃烧，水冷喷嘴不接电源，仅起冷却压缩作用。非转移型弧是在电极和喷嘴之间燃烧，水冷喷嘴既是电弧电极，又起冷却压缩作用，而工件不接电源，因此非转移型等离子弧又称为等离子焰。

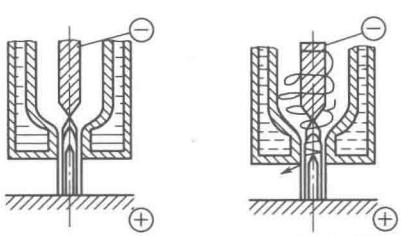


图 5-54　等离子弧的分类

转移型和非转移型同时存在则称为混合型等离子弧，转移型难以直接形成，须先引燃非转移型弧后才能变为转移型弧。

为了进一步提高并控制等离子弧的温度和能量密度，可在喷嘴中通以径向或切向流动的离子气流，如图 5-55 所示，通常采用氮气、氩气、氢气或其他混合气体。

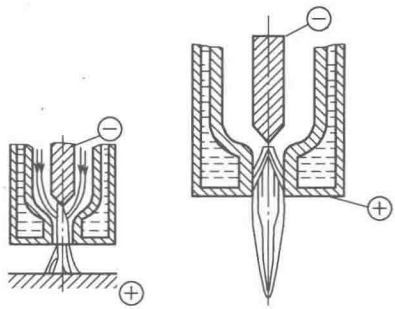


图 5-55　喷嘴气流

（2）等离子切割方法

1）双气流等离子切割。如图 5-56 所示，当两极通电引弧后，在喷嘴内通入压力为 0.3～0.5MPa 的氮气、氩气、氢气或其他混合冷却气体，电弧外围将被冷却气体包围并压缩。在冷却气体的压缩作用下，弧柱区的带电粒子流被迫向弧柱中心聚集，从而增加粒子间的相互碰撞频率，使弧柱内的气体被完全电离并高度集中为等离子体。

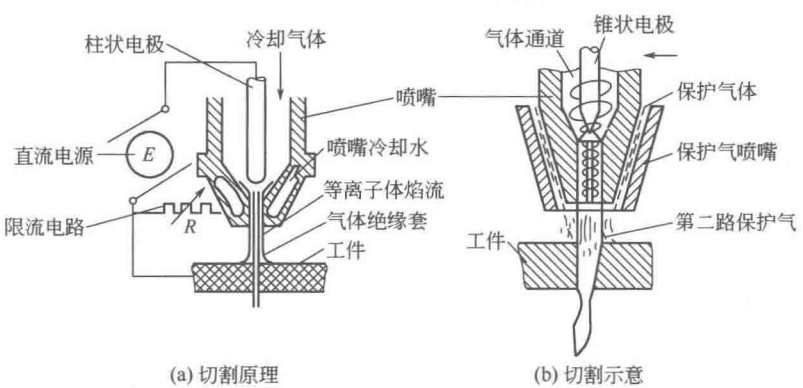


图 5-56　双气流等离子切割

等离子体具有很高的导热性和导电性，其焰流在具有 0.4～0.5MPa 压力的第二路保护气体吹送下，以极大的速度从喷嘴中喷出，使被切割材料的切口处立即熔化，并被高速气流吹走和烧损，

从而形成切口。等离子焰流外围的第二路气体，不仅起保护作用，更主要的是使等离子焰流进一步压缩，提高其能量密度。

2）水压缩等离子切割。水压缩等离子切割原理与双气流等离子切割基本相同，只是利用压缩水通路的特殊喷嘴，用环状压缩水代替冷气流，对即将喷出的等离子焰流进一步压缩。

如图 5-57 所示，当钨极和工件间经高压高频振荡的气体电离形成电弧后，电弧在通过具有细孔道的喷嘴时，弧柱将被强迫缩小，并进一步受到由枪体径向通入的高压水的对称喷射及强烈压缩，使其能量密度进一步提高。

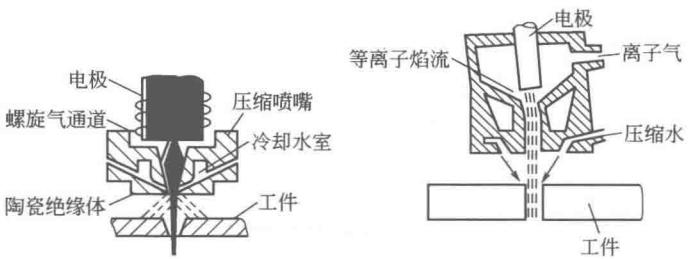


图 5-57　水压缩等离子切割

高压水在电弧高温的作用下，分解成氢气和氧气构成切割气体的一部分，分解成的氧气可加强碳钢的燃烧，对切割碳钢更有利。高速水流冲刷切割处，不仅对工件有强烈冷却作用，还能提高切口质量和切割速度，同时也有效地防止切割产生金属蒸气和粉尘气的有毒烟尘。

水压缩等离子切割特别适用于水中切割工件，既可降低能耗，又降低了切割噪声，减少了粉尘和烟气，已得到了广泛的应用。图 5-58 所示为水下用割嘴。

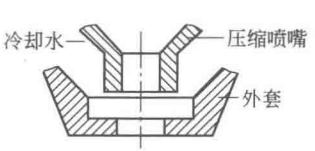


图 5-58　水下用割嘴

3）空气等离子切割。图 5-59 (a) 所示为空气等离子切割原理。在电极周围通入一定压力和流量的压缩空气，直接包围并强烈冷却电弧，迫使弧柱向中心集中并通过喷嘴。然后，经高温电弧加热分解出氧、氮、氢等带电离子流。

离子流在热压缩、电磁压缩和喷嘴孔道压缩三种效应的共同作用下；被压缩得很细，且能量密度高集中。同时，分解氧与切割金属产生化学放热反应，加快切割速度；未分解的空气以高速冲刷割口；充分电离的氮和氢等离子体焓值高，能量大，切割速度高，切割质量也很好。特别适用于切割 4～60mm 厚的低碳钢，其中 10mm 厚时切割速度可达 3m/min，如图 5-59(b) 所示，也可以切割铜、不锈钢、铝及其他材料。

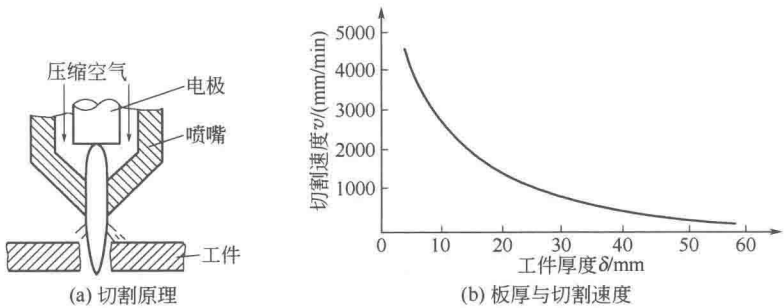


图 5-59　空气等离子切割

4）微束等离子切割。微束等离子弧即小电流等离子弧，其能量密度高，功耗低，气流量消耗少，切口窄，热变形翘曲小，适用于成材薄板的曲线切割。一般微束等离子切割材料厚度为 5～30mm，使用功率 16kW 左右。最小的微束等离子切割材料厚度为 0.1mm，其喷嘴孔径为 0.1～0.4mm，切口宽度为 0.15～0.3mm，最小功率为 0.5kW。

(3) 等离子切割工艺

1）等离子气种类的选择。等离子切割在生产中通常采用氢气、氮气与氢气混合和氮气与氢气混合以及氩气与氢气混合等。由于离子气的导热性越好，等离子弧的温度越高，离子气的相对原子或分子质量越大，则越易于排除割口处熔化的金属。离子气的选择应依据切割材料的性质要求而确定，一般原则如下。

① 切割薄板、中厚板及厚板的有色金属或化学活泼性强的材料，用氢气与氩气混合气体。

② 切割较厚板的碳钢，用氮气和氩气混合气体。

2）气体流量。气体流量要与喷嘴孔径相适应，为加强电弧的热压缩效应，使弧柱能量更加集中，可适当增大气体流量，有利于提高切割能力和切割质量。

3）气割电流与电压。电流和电压决定了等离子弧的功率，当提高等离子弧的功率时，切割速度和切割厚度均可相应增加。但切割电流过大会使弧柱变粗，切口变宽，电极和喷嘴也易烧坏。

当切割大厚度工件时，随切割厚度的增加，切割电流对切割速度的影响减小，要通过增加气体流量和改变气体成分提高切割电压。但是切割电压超过空载电压的 2/3 时，电弧将不稳定。因此，为便于引弧和提高切割电压，要求等离子切割电源的空载电压不得低于 150V。

4）气割速度。气割生产率高低的衡量指标和切口表面平直的重要条件是气割速度。在功率不变的情况下，提高切割速度能使切口变窄，热影响区变小，但速度太快反而不能割透工件，还会降低生产率，造成切口表面粗糙不平直，切口底部熔瘤增多。一般在保证切透的情况下，尽可能选用大的切割速度。

5）喷嘴距工件高度。随喷嘴到工件距离增加，弧柱有效热量减少，并对熔融金属的吹力减弱，引起切口下部熔瘤增多，切割质量明显降低。当距离过小时，喷嘴与工件间易短路而烧坏喷嘴。因此，电极在喷嘴内缩进量通常为 2～4mm 时，喷嘴距离工件的高度一般在 6～8mm，空气等离子切割和水压等离子切割时还可以略小。

各种不同厚度材料的不同切割方法工艺参数见表 5-43～表 5-45。

表 5-43　不同材料的一般等离子切割工艺参数

材料	厚度/mm	喷嘴孔径/mm	空载电压/V	切割电流/A	切割电压/V	切割速度/(cm/min)	氮气流量/(L/min)
不锈钢	8	3	160	185	120	75～84	35～39
	20	3	160	220	125	58～67	32～37
	30	3	230	280	140	53～61	45

续表

材料	厚度/mm	喷嘴孔径/mm	空载电压/V	切割电流/A	切割电压/V	切割速度/(cm/min)	氮气流量/(L/min)
铝及铝合金	12	2.8	215	250	125	140	74
	21	3.0	230	300	130	125～133	74
	34	3.2	240	350	140	58	74
纯铜	5	—	—	310	70	157	24
	18	3.2	180	340	84	50	28
	38	3.2	252	304	106	19	26
低碳钢	50	7	252	300	110	17	17.5

表 5-44　不同材料的水压等离子切割工艺参数

材料	厚度/mm	喷嘴孔径/mm	压力流量/(L/min)	氮气流量/(L/min)	切割电压/V	切割电流/A	切割速度/(cm/min)
低碳钢	3	3～4	2～1.7	52～78	145～140	260	500
	6	3～4	2～1.7	52～78	160～145	300～380	380
	12	4～5	1.7	78	160～155	400～500	250～290
	51	5.5	2.2	123	190	700	60
不锈钢	3	4	1.7	78	140	300	500
	19	5	1.7	78	165	575	190
	51	5.5	2.2	123	190	700	60
纯铝	3	4	1.7	78	140	300	572
	25	5	1.7	78	165	500	203
	51	5.5	2	123	190	700	102

表 5-45　不同厚度钢的空气等离子切割参数

材料	厚度/mm	喷嘴孔径/mm	空气流量/L/min	空载电压/V	切割电压/V	切割电流/A	切割速度/(cm/min)
不锈钢	8	1.0	8	210	120	30	20
	6						38
	5						43
碳钢	8						24
	6						42
	5						56

5.2.6 激光自动切割下料简介

激光切割是一种将激光束和气体束同时聚焦在工件表面上对材料进行切割的方法。

5.2.6.1 激光切割原理

(1) 固体激光器 激光器以掺入低浓度过渡元素或稀土元素的单晶体或玻璃为基础。过渡元素或稀土元素原子中的电子在非相干的强光辐照下，会部分地被激励至更高的能级，如图 5-60 所示。一个具体能级的部分激励由于能实现“粒子数反转”，因而是激光工作的关键。当给定能级的粒子数目极大地超过了相应于热平衡的数目时，就存在粒子数反转。没有这种反转，受激发射的光子将在介质内部被吸收，激光就不会发生。电子一旦受激后，就要分一步或几步回到它的正常能级上去，每一步都会失去一个离散数量的能量。如果这几次能量损失中有一次导致发射一个量子的电磁波，就会产生激光。

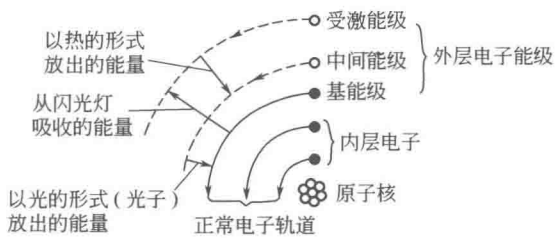


图 5-60 激光过程中电子能量的吸收与发射

通过对晶体端部的加工并涂覆镜面材料（或采用外部镜子），使发射的光沿晶体来回反射就可以增强放大效应。然后，如果一部分光从一端的部分透射镜透出，则可获得一束近乎单色并且不发散的输出光束。但由于激光介质能级的结构很致密，实际上得到的是一些波长非常接近的光。衍射和系统的不完善会使光束发散。所有固态激光的波长由掺入元素的荧光光谱决定。钕玻璃和掺钕钇铝石榴石两者都发射接近于红外线的光线，其波长为 1.6μm。可用简单的光学系统，将该光束聚焦在一个小点上。固体激光系统如图 5-61 所示。

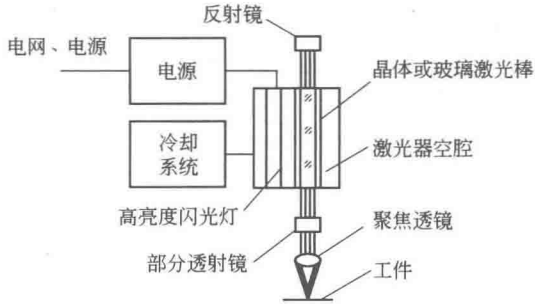


图 5-61　固体激光系统

使闪光灯输出与激光介质偶合的激光空腔是激光设备的一个重要器件。在许多系统中，该空腔包括一个高度抛光的椭圆筒和分别置于共轭焦点上的闪光灯和激光介质。在这种布置中，将闪光灯的输出聚焦到激光晶体上。有时采用多个椭圆筒，这样就可以用多支灯去泵激一个晶体。

由于固体激光器在最好情况下也只有 3%左右的效率，而且其平均功率约为几百瓦，所以大量的热作为激光过程的附产物。因而，需要一个大容量的冷却系统将产生的热量带走。一个平均输出为 400W 的固体激光器，其冷却系统必须带走大约 15kW 的废热。

(2) 气体激光器　图 5-62 所示是一个简单的气体激光器系统示意图。它主要是一个起激光作用的混合气体循环流动的管子。气体在管子一端的全反射镜和另一端的部分透射镜之间被部分激励时，就产生了激光作用。

在工业应用的 CO_2 激光器中，CO_2 分子在放电中被振荡激励。由于用放电进行的 CO_2 直接振荡激励的效率很低，因而在介质中加入 N_2。N_2 能有效地接收放电的能量，并且由于 N_2 的振荡能级非常接近 CO_2 的一些振荡能级，CO_2 被 N_2 的谐振能交换所激励。这种两步过程比 CO_2 直接振荡过程更快且效率更高。接着 CO_2 从较高的振荡能级跃迁至一个中间能级并发射一个光子；两个能级间的能量差相应于红外区 10.6μm 的特征波长。然后，中间能级的 CO_2 分子必须回到基态以完成整个过程。在起激光作用的混合气体中加入 He 可加速这种跃迁。CO_2 分子与氦原子间的碰撞，使

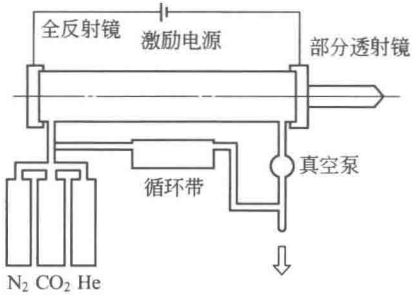


图 5-62　简单气体激光器系统

剩余的激励能传输给 He。然后这部分能量被带走，成为废热。

用对流冷却和电激励的 CO_2 激光器，目前是适于生产用的额定连续输出功率达 20kW 的大功率激光设备的基础。它利用激光器气体的快速流动，带走激光腔体内的废热。这种激光器的典型电光转换效率为 10%～15%，所以有效地带走废热对于保证连续工作很重要。为降低工作成本，采用气液热交换器，并使激光气体通过该系统再循环。为防止因 CO_2 和 N_2 在放电时分解而产生的污染积累，需要连续不断散热和补充少量激光气体，因此要消耗少量气体。

5.2.6.2　激光切割

如图 5-63 所示，是激光在振荡外面被反射镜所折射，经透镜聚焦在切割头上。激光束可以像等离子弧或氧燃烧气体割炬那样作为直线或曲线切割板料的热源，组成激光切割机。也可以把激光切割机与步切机组合在一台机床上，如图 5-64 所示。该机可以用模具进行冲切，也可以用激光进行切割。被加工的板料由送料装置的夹钳定位并夹紧，送料装置可沿 x-y 坐标精确地作送进运动，整个加工过程可用计算机进行控制。如图 5-65 所示，激光功率曲线表明切割复杂轮廓形状时用于降低功率的脉冲和改善优质切割质量的脉冲图形。

由于连续激光系统可得到的功率密度不足以通过蒸发和排出液态金属的过程来进行切割。因此，通常要采用一股辅助气流将熔融金属从切口中吹走。对于低功率连续激光系统，一般用氧作辅助气体，以便在能进行氧切割的金属中利用其放热反应。高功率切割可

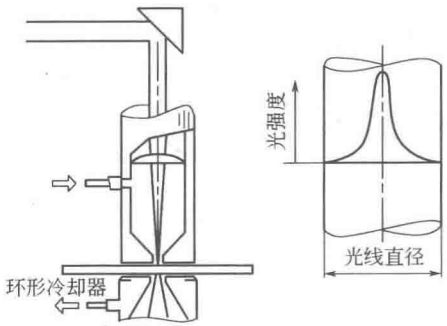


图 5-63　激光切割头

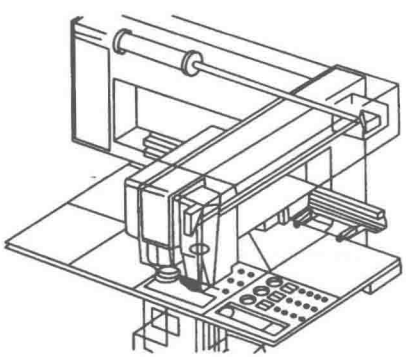
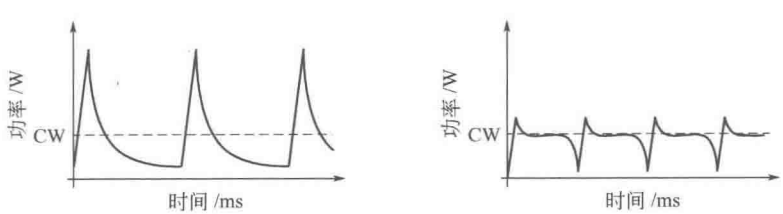


图 5-64　激光一步切联合机



(a) 降低功率脉冲　　(b) 改善切割质量的脉冲

图 5-65　脉冲图形

用类似的方法，但也可有效地采用许多其他辅助气体，如压缩空气、氦、氩、二氧化碳、氮等。用惰性气体作辅助气时切口边缘干

净、无氧化，但有时在下缘有坚韧的挂渣。用氧气辅助切割时，挂渣通常很脆，因而容易除去。

切割速度与厚度的关系如图 5-66 所示，说明一定功率时切割速度与厚度成反比。图 5-67 说明在一定范围内，切割速度正比于激光功率。

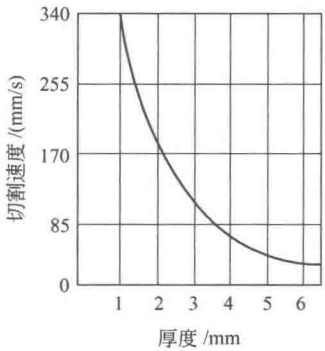


图 5-66　切割速度与厚度的关系

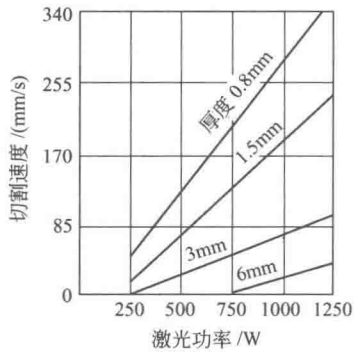


图 5-67　切割速度与功率的关系

激光切割金属时的典型性能见表 5-46。虽然切割性能随激光功率的增加而改善，但改善程度一般不与功率成正比。

表 5-46　典型激光切割性能

金属	厚度/mm	功率/kW	切割速度/(mm/s)	金属	厚度/mm	功率/kW	切割速度/(mm/s)
钢	1.3	0.5	60	镍合金	1.5	0.85	38
	1.6	0.5	41		3.2	4.0	50
	2.3	0.6	30	钛	1.0	0.23	85
	3.2	4.0	68		5.1	0.6	55
	16.8	4.0	19		31.8	3.0	21
	54	6.0	5.5		50	3.0	8.5
不锈钢	03	0.35	73	铝	3.2	4.3	42
	1	0.5	28		6.4	6.8	17
	2.3	0.6	30		12.7	5.7	13
	3.2	3.0	42				

与气割或等离子弧切割相比较，激光束切割有以下优点。

1）激光发生器不需要与工件靠得很近，便于在某些有限位置上进行切割。

2）激光切割不像等离子切割那样需要把工件作为电路的一部分。

3）激光束可在一个很小光点内提供极高的功率密度，因而可进行切口和热影响区都很窄的高速切割。

4）激光束可用长焦距透镜整形使之钻小直径的深孔。

生产应用中，激光束切割使用设备成本较高；另外，激光系统虽能切割厚达 50mm 的钢材，但也只适于切割厚度小于 13mm 的金属。

5.2.7 薄壁管料的冲切下料

在压力机上利用模具对管料切断的方法就是冲切法，它适用于管料相对厚度 $\delta/D<0.1$ 的薄壁管。

5.2.7.1 冲切过程

管料冲切过程如图 5-68 所示。当压力机滑块下行，切刀刃尖与管壁接触，压力达到一定值时，刃尖开始压入管料。随着刃尖压入过程的增加，导致材料瞬间脆裂，刃尖随之进入管腔。然后切刀侧刃与凹模侧刃剪切管壁，直至完全切断管料。

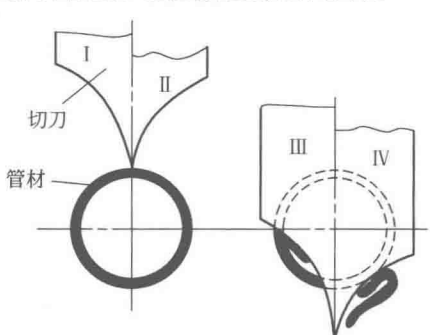


图 5-68 管料冲切过程示意

为减小管料被压扁的现象，通常将凹模做成桃形，如图 5-69 所示，以便冲切前先使管料在左、右半凹模的强力夹持下产生一定量的反变形，使管壁上部突出，然后再由切刀冲切，便可减少管料被切刀压扁的缺陷。

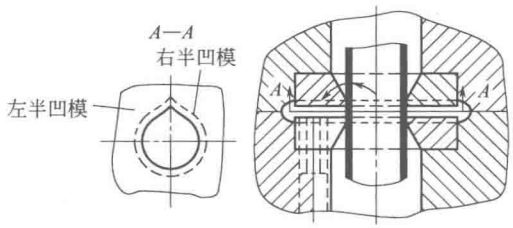
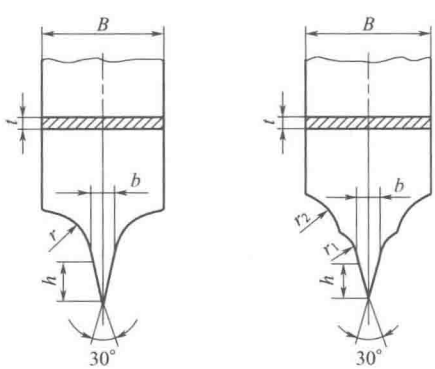


图 5-69　冲切凹模

5.2.7.2　切刀形状及尺寸

切刀形式如图 5-70 所示，切刀刃尖做成宽度为 b 且成 30°的尖劈，尖劈后面做成带一定形状的曲线即为圆弧形，这样易于磨削加工，也能较好地满足冲切要求。



(a) 单圆弧切刀　　(b) 双圆弧切刀

图 5-70　切刀形式

由于双圆弧切刀冲切时，管料上部约 1/4 的废料先被切断并掉入管内，有利于后续的冲切工作，故而双圆弧切刀要比单圆弧

的好。

（1）单圆弧切刀　为减少冲切过程中管壁的压扁、畸变现象，应使切刀的圆弧 $r \geqslant 4R$。但圆弧半径 r 也不能无限制地增大，当 r 过大时，切刀刃形状细而长，造成强度不足，易折断，且增大了压力机的行程。

（2）双圆弧切刀　双圆弧切刀曲线可用作图法求出，如图 5-71所示。首先按选定的比例绘出管料的横截面图，在管料中线上任一点作法线，又过该点作另一线与法线的交角为 θ。取若干点（点越多越精确）作这样的线，这些线的包络线便是刀刃的理论曲线形状。θ 越大，切屑向内形成，但作出的刀刃形状宽而短，强度好；θ 越小，当 θ 是负值时，则切屑向外形成，此时刀刃形状细而长，使强度降低，并易折断。按该法求出刀刃的理论包络曲线

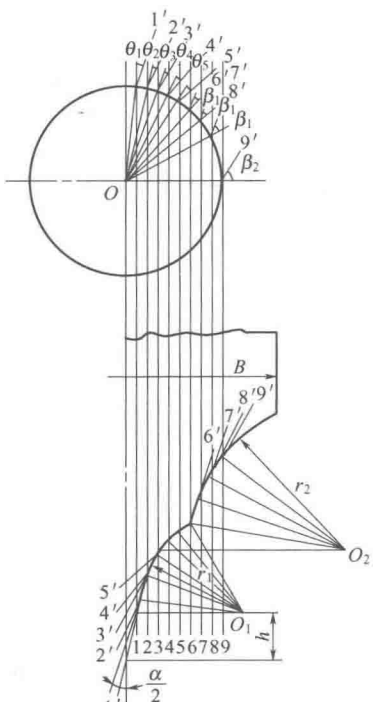
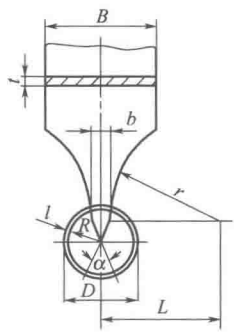
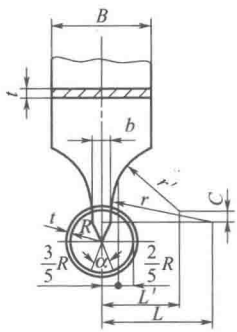


图 5-71　双圆弧切刀曲线作图

后，分别选用 r_1 和 r_2 圆弧半径光滑连接包络线，即得双圆弧切刀的形状，r_1 和 r_2 分别是双圆弧半径。双圆弧切刀的其他尺寸参数，按表 5-47 确定。

表 5-47　双圆弧切刀尺寸参数

尺寸参数	 $r=4R$ 切刀	 $r=4R$、$r'=2.5R$ 切刀	
r，r'	$r=4R$	$r=4R$ $r'=2.5R$	
L，L'	$L=4R$	$L=4R$ $L'=2.5R$	
C		$C=0.483R$	
b	$b=(0.5\sim2)t$		
α	$\alpha=30°$		
t	$t=(1\sim3)\delta$		
B	$B\geqslant1.5D$		
H	$H\geqslant6R$	$H\geqslant5.5R$	

冲切法适用于薄壁管。采用该法切断管材时，管壁易被压扁，而使管料切断面的圆度降低。管壁被压扁的程序与切刀刀刃顶角值有关，生产中常用的刀刃顶角为 30°。

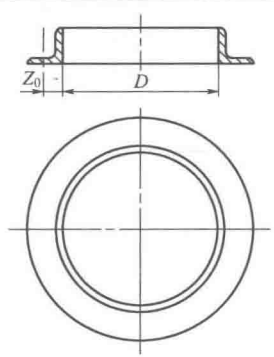
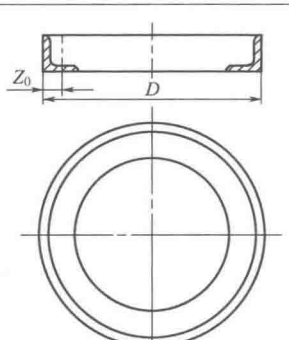
5.3 型钢构件的展开下料方法

5.3.1 各种钢圈展开下料方法

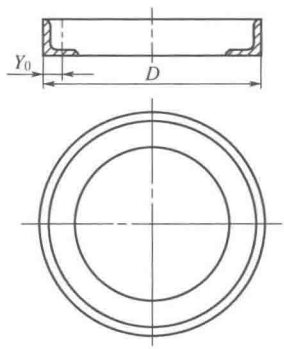
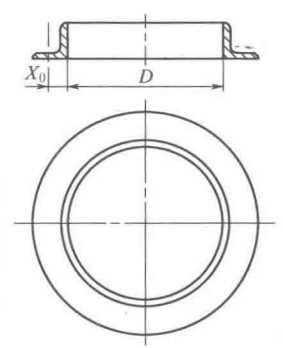
5.3.1.1 角钢圈

角钢圈分内弯曲和外弯曲两种，它的展开料长一般按重心直径来计算，因加工方法的不同，在加工后料长有所差异，所以加工前一般要加工出 100mm 左右的加工余量，在煨制成形后再切掉，各种角钢圈的净料长计算见表 5-48。

表 5-48 角钢圈展开下料方法

类型	图示	下料计算
等边角钢外弯曲圈		$L=\pi(D+2Z_0)$
等边角钢内弯曲圈		$L=\pi(D-2Z_0)$

续表

类型	图示	下料计算
内弯曲不等边角钢圈		$L=\pi(D-2Y_0)$
外弯曲不等边角钢圈		$L=\pi(D+2X_0)$

5.3.1.2 槽钢圈

槽钢圈与角钢圈相似，当加工条件不同时，其展开料长也有差异。其计算下料方法见表 5-49。

5.3.1.3 工字钢

工字钢计算下料方法见表 5-50。

表 5-49　槽钢圈展开下料方法

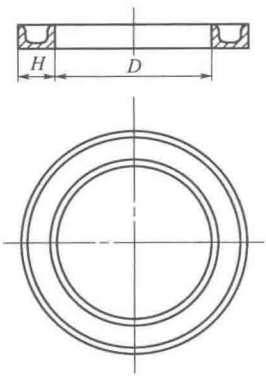
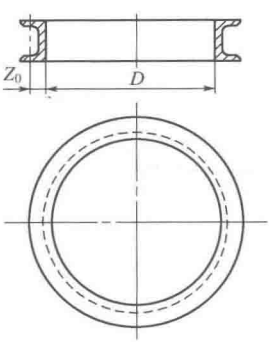
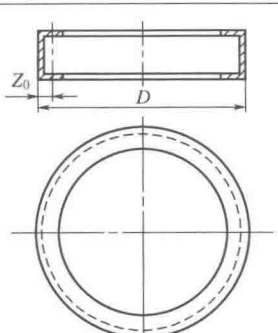
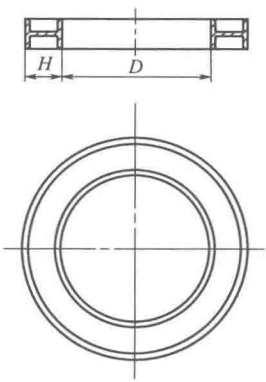
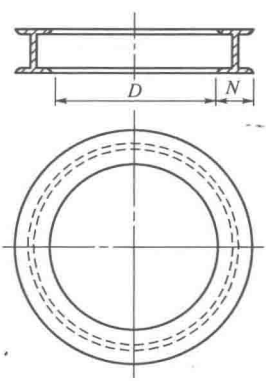
类型	图示	下料计算
平弯曲槽钢圈		$L=\pi(D+H)$
外弯曲槽钢圈		$L=\pi(D+2Z_0)$
内弯曲槽钢圈		$L=\pi(D-2Z_0)$

表 5-50　工字钢展开下料方法

类型	图示	下料计算
平弯曲工字钢圈		$L=\pi(D+H)$
立弯曲工字钢圈		$L=\pi(D+N)$

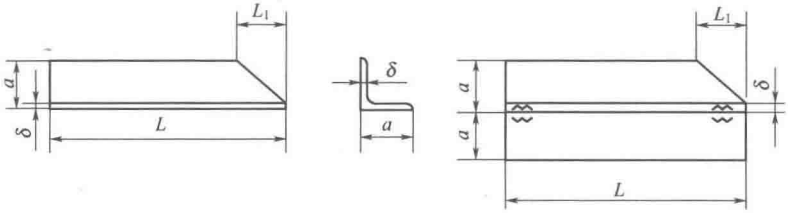
5.3.2　各种型钢的切角和弯曲展开下料方法

5.3.2.1　角钢的切角

角钢切角有单面切角和双面切角两种情况，一般施工中均是用样板在角钢外表面上画线，样板可用 0.5mm 的薄铁板制作。

(1) 角钢单面切角的下料　图 5-72(a) 所示为等边角钢单面切角的两面投影，(b) 为单边切角样板的展开图，中心线标记为样

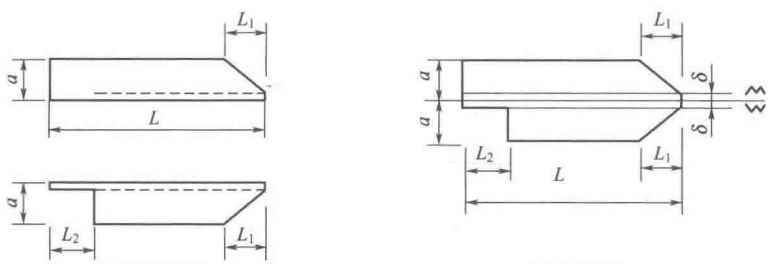
板弯折线。



(a) 两面投影　　(b) 展开图

图 5-72　角钢的单面切角下料示意图

(2) 角钢双面切角的下料　图 5-73(a) 所示为等边角钢双面切角的两面投影，(b) 为双边切角样板展开图，中心标记为样板折弯线。



(a) 两面投影　　(b) 展开图

图 5-73　角钢的双面切角下料示意图

切角下料时用角钢画线样板画线的立体图如图 5-74 所示。

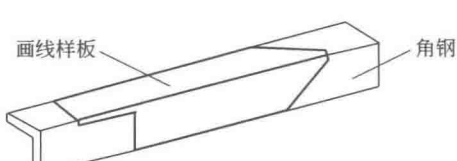
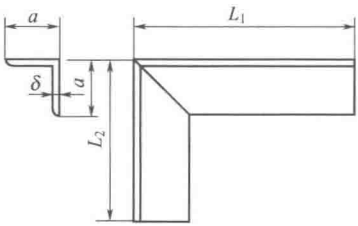
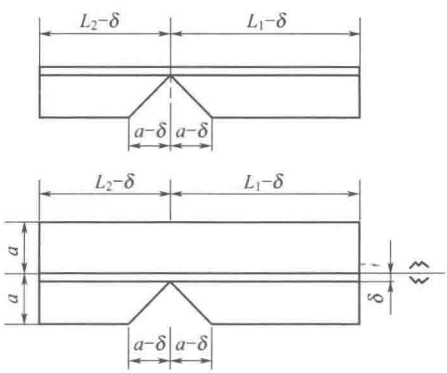
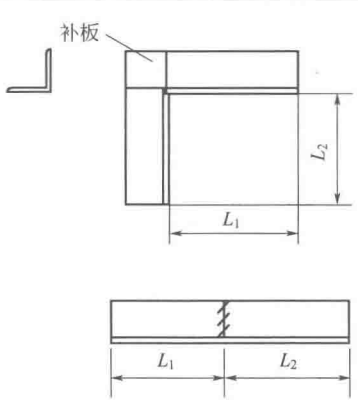


图 5-74　角钢的样板画线

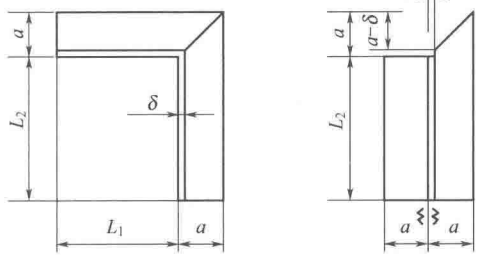
5.3.2.2　角钢的弯直角

角钢弯角有内、外之分，其展开下料方法见表 5-51。

表 5-51　角钢弯直角展开下料方法

类型	图示	下料说明
内弯直角	 	下料时要考虑板厚 δ 对切角尺寸和展开料长的影响。料长为内壁尺寸，为 $L_1-\delta$ 和 $L_2-\delta$；切角宽度为 $2(a-\delta)$；如用样板进行画线下料，则切角尺寸也为 $2(a-\delta)$
外弯直角		外弯直角可进行外弯后补料，进行对接。其外弯切角和内弯切角相同，应减去板厚，如直接画线，则要在角钢表面上减去板厚再画 45°角，同时要保证 L_2 和 L_1 的长度

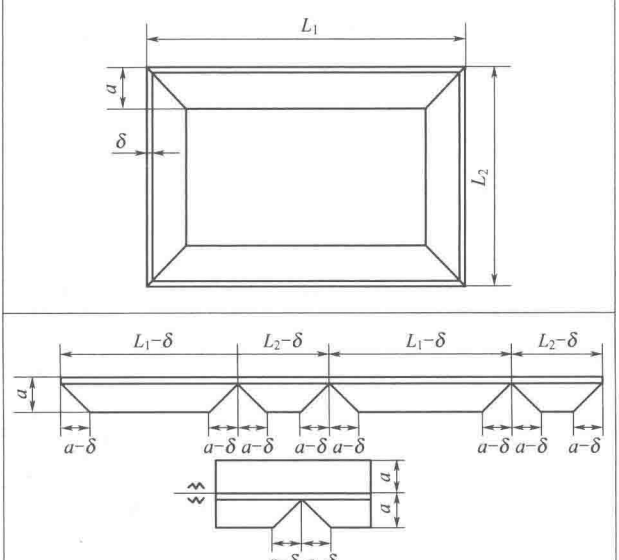
续表

类型	图示	下料说明
外弯直角		外弯直角可进行外弯后补料，进行对接。其外弯切角和内弯切角相同，应减去板厚，如直接画线，则要在角钢表面上减去板厚再画 45°角，同时要保证 L_2 和 L_1 的长度

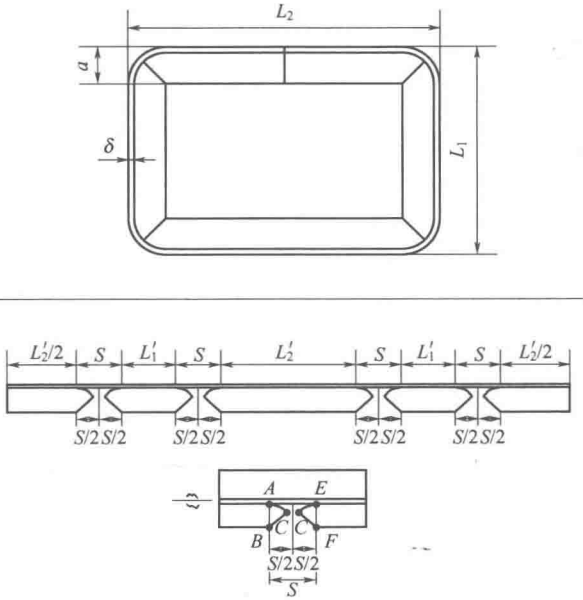
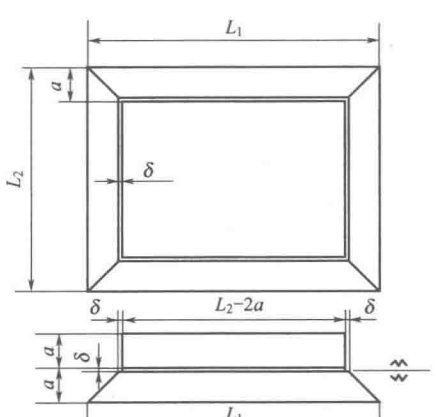
5.3.2.3 角钢弯矩形框

角钢弯矩形框时的下料方法见表 5-52。

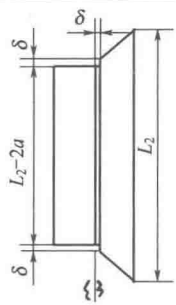
表 5-52 角钢弯矩形框时的下料方法

类型	图示	下料说明
内弯矩形框		料较长时，可直接下料，也可作切口样板

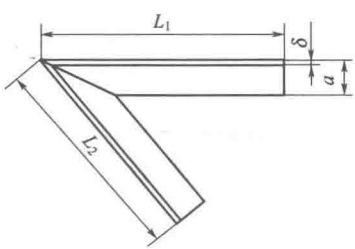
续表

类型	图示	下料说明
内弯圆角矩形框		取料长 L 按 L_1'、L_2' 和 S 尺寸分段： $L=2(L_1'+L_2'+S)$ $L_1'=L_1-2a$ $L_2'=L_2-2a$ $S=\frac{\pi}{2}\left(a-\frac{\delta}{2}\right)$
拼接矩形框		料长 $L=2(L_1+L_2)$，在画线时应注意切角长度为 $a-\delta$

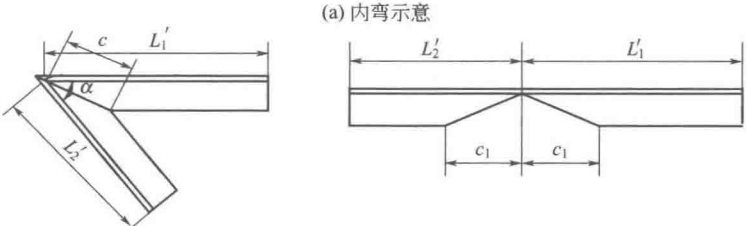
续表

类型	图示	下料说明
拼接矩形框		料长 $L=2(L_1+L_2)$，在画线时应注意切角长度为 $a-\delta$

如图 5-75 所示，对于角钢内弯任意角度构件，其形式有锐角和钝角两种情况。但均采用内壁尺寸作料长。展开料长放样后内壁长度为 L_1' 和 L_2'，切口长度 $c_1=c\cos(\alpha/2)$。



(a) 内弯示意



(b) 料长展开计算示意

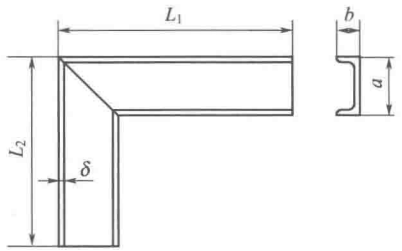
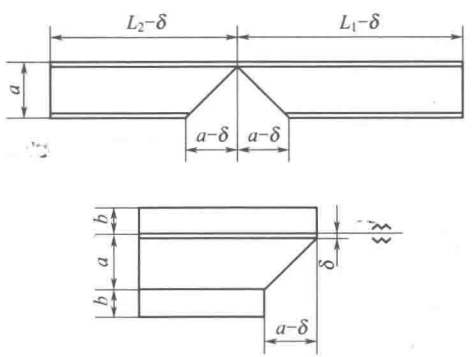
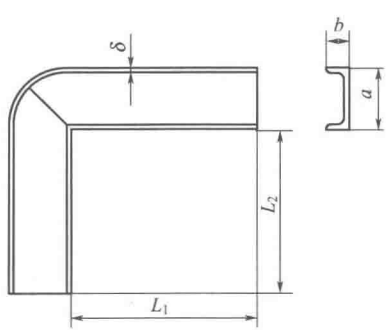
图 5-75　角钢内弯任意角度

5.3.2.4　槽钢弯折

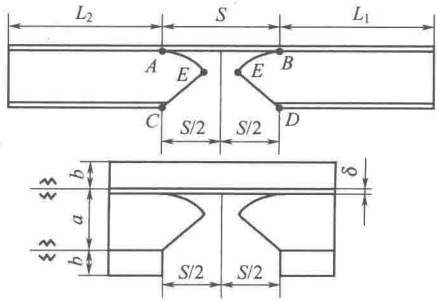
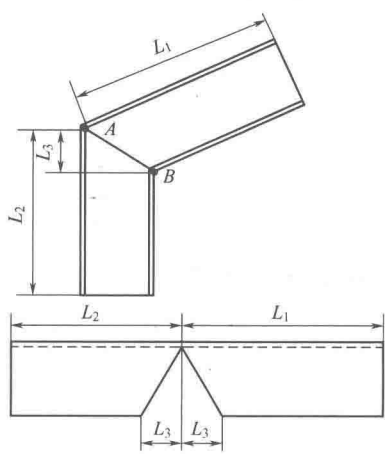
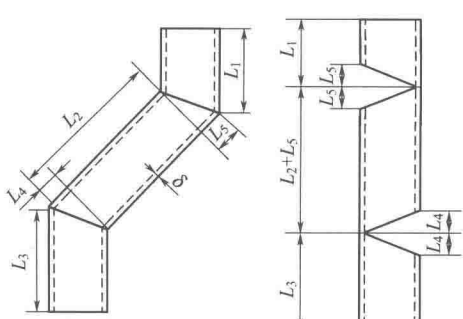
槽钢的折弯有大面弯折 90°、任意角弯折和双弯折角等形式，

其下料方法见表 5-53。

表 5-53　槽钢弯折下料的方法

类型	图示	下料计算
大面弯折 90°	 	$L=L_1+L_2-2\delta$ $c=a-\delta$ （弯折成形和级拼成形时的料长与画线样板相同）
大面弯折 90° 圆角		$L=L_1+L_2+S$ $S=\pi(a-\delta/2)/2$ $\overset{\frown}{AE}=\overset{\frown}{BF}=(a-\delta)/2$

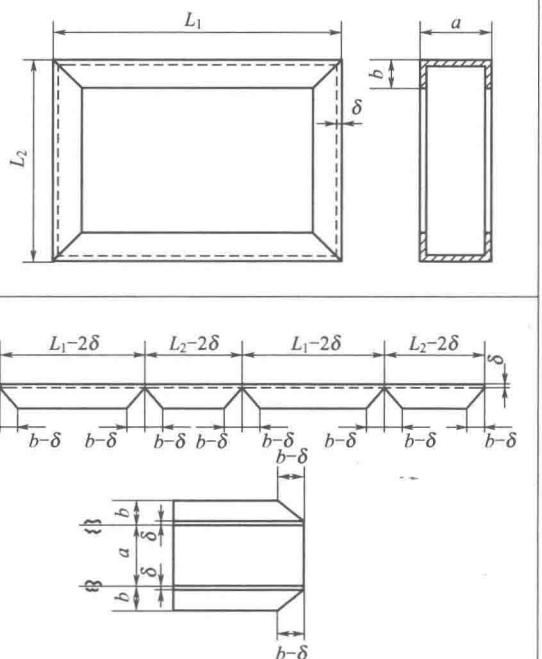
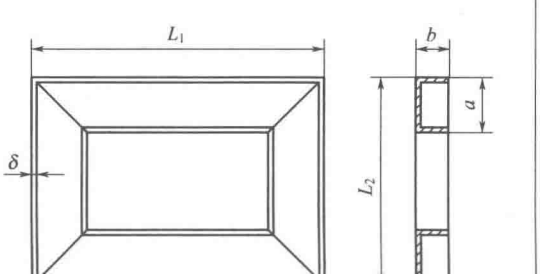
续表

类型	图示	下料计算
大面弯折 90° 圆角		$L=L_1+L_2+S$ $S=\pi(a-\delta/2)/2$ $\overset{\frown}{AE}=\overset{\frown}{BF}=(a-\delta)/2$
大面弯折任意角		$L=L_2+L_1$
大面双弯折		$L=L_1+L_2+L_5+L_6$

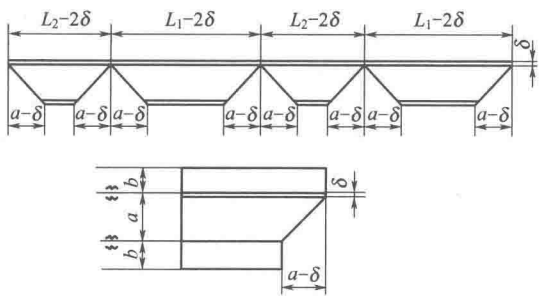
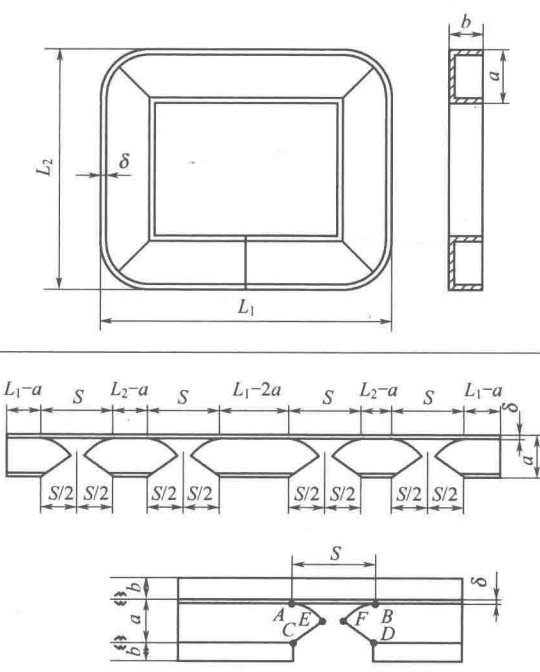
5.3.2.5 槽钢的矩形组对的下料方法

槽钢的矩形组对的下料方法见表 5-54。

表 5-54 槽钢的矩形组对的下料方法

类型	图示	下料计算
立面内弯组对矩形框		$L=2(L_1+L_2)-8\delta$ 切角长度$=b-\delta$
大面组对矩形框		$L=2(L_1+L_2)-8\delta$ 切角长度$=a-\delta$

续表

类型	图示	下料计算
大面组对矩形框		$L=2(L_1+L_2)-8\delta$ 切角长度$=a-\delta$
大面组对圆角矩形框		$L=2(L_1+L_2)-8a+4\pi$ $S=\pi(a-\delta/2)/2$

第6章

钣金成形与连接装配技术

6.1 钣金成形技术

6.1.1 常用工、夹量具

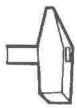
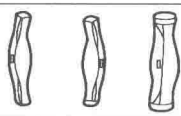
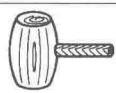
6.1.1.1 成形工具及其使用

(1) 锤子 锤子有金锤、钳工锤和大锤等，其规格和用途见表6-1。

表6-1 锤子

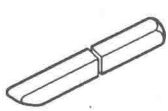
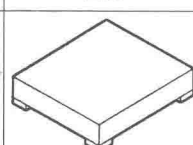
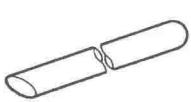
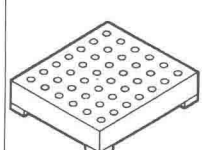
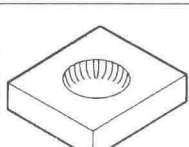
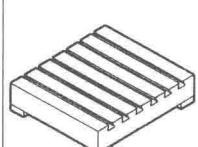
名称	图示	规格/kg	用途
圆头锤		0.25、0.5、0.75、1、1.25、1.5	作一般锤击用，如錾削、铆接等
斩口锤		0.0625、0.125、0.25、0.5	用于金属薄板的敲平与翻边
八角锤		0.9～10.9	用于手工自由锻锤击工件

续表

名称	图示	规格/kg	用途
钣金锤		0.25～0.75	用于金属薄板的放边与收边
专用手锤		0.25～0.75	用于薄板的弯曲、放边、收边、拔缘和拱曲加工
木锤		0.25～1.5	用于锤击落地钢板及表面粗糙度有较高要求的金属表面
方木棒		45mm×40mm	用于金属薄板的卷边与咬缝连接

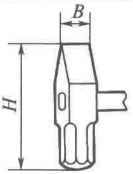
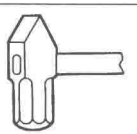
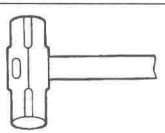
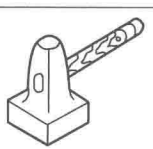
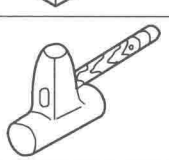
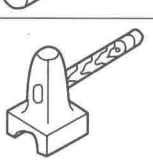
（2）衬垫工具　衬垫工具有方杠、圆杠、型胎、平台等，其用途见表 6-2。

表 6-2　衬垫工具

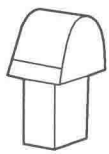
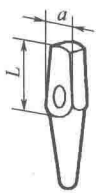
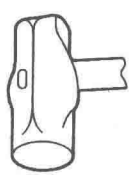
名称	图示	用途	名称		图示	用途
方杠		用于薄板弯曲成形、咬缝等，其端部用于板边的放边、拔缘等	平台	平台		用于工件的矫形或装配
圆杠		用于薄板弯曲成形等，其端部用于拱曲等		带孔平台		在孔中插入卡子固定工件，用于型材或管材的矫形或成形
型胎		用于薄板拱曲		带T形槽平台		在T形槽中插入螺栓固定工件，用于工件矫形或成形装配、焊接等

（3）手锻工具　手锻工具可分为打击工具、成形工具、支持工具等，见表 6-3。

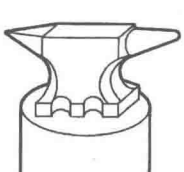
表 6-3　手锻工具

名称		图示	规格	用途
大锤	直头		一般是 3.6～7.2kg B=60～80mm H=(2～2.5)B	打击
	横头			
	平头			
型锤	平面型锤		0.75～2kg	用于表面质量要求较高工件的矫形或成形，可防止锤痕
	外圆型锤			
	内圆型锤			卡脖压槽
	上型锤			

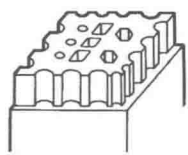
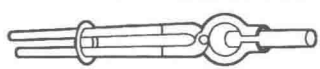
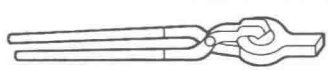
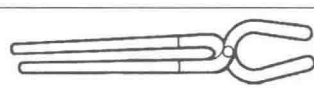
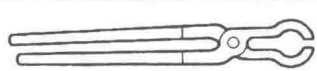
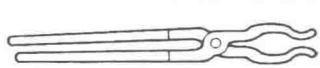
续表

名称		图示	规格	用途
型锤	下型锤		0.75～2kg	卡脖压槽
冲型锤	冲子		$a=32mm$ $L=90mm$	冲孔
	窝子			导角
	理头冲			锻理头螺钉
	摔子			摔圆修光

续表

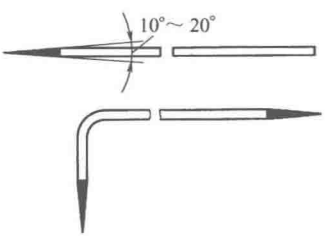
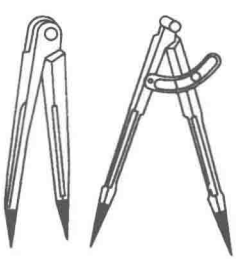
名称		图示	规格	用途
剁子	冷剁		$\alpha_1=45°\sim60°$ $\alpha_2=70°\sim80°$ （有时不做成角度，直接做成2mm宽的平口刃）	切断
	热剁			
	圆弧剁			
铁砧	羊角砧		一般是100～150kg	支承锻造毛坯
	双角砧			

续表

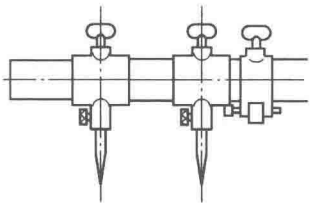
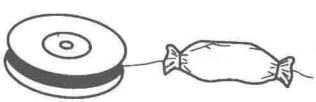
名称		图示	规格	用途
铁砧	球面砧		一般是100～150kg	支承锻造毛坯
	花砧			
锻钳	圆钳		一般采用Q255或40钢，钳杆长度一般为500～800mm	夹持
	方钳			
	扁钳			
	方钩钳			
	大口尖钳			
	圆钩钳			
	小尖口钳			
	圆尖口钳			

（4）划线工具　划线工具分为自动划线工具和手工划线工具。自动划线的工具是一些专业设备或计算机及辅助设备等机械。手工划线在实际工作中应用极广，使用的工具通常有划针（石笔）、划规、长划规、直尺、角尺、样冲、划线盘等，见表 6-4。

表 6-4　常用划线工具

名称		图示	说明
划针			划针是直接在毛坯或工件上划线的工具。在已加工表面划线时常使用 3～5mm 的弹簧钢丝或高速钢制成的划针，将划针尖部磨成 15°～20°，为提高划针尖部硬度和耐磨性，其尖部要经淬火处理。在铸件、锻件等表面划线时，常用尖部焊有硬质合金的划针
划规	普通划规		用来划圆或圆弧、等分线段、等分角度和量取尺寸的工具。普通划规结构简单、制造方便，两脚长短一致。在普通划规上装上锁紧装置，当拧紧锁紧螺钉，则可保持已调节好的尺寸不会松动
	弹簧划规		使用时可旋转调节螺母来调节尺寸。此划规适用在光滑面上划线

续表

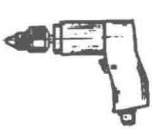
名称		图示	说明
划规	长划规		也称滑动划规，主要用来划大尺寸的圆。使用时在滑杆上滑动划规脚可以得到所需要的尺寸
样冲			为避免划出的线被擦掉，划线后要用样冲在线条上打出冲眼作加工标记。样冲用工具钢制成，并经淬火硬化，其尖角一般呈 45°～60°
粉线			粉线用于在板料上弹出白色的长直线
墨斗			用于在板料上弹出黑色或彩色的长直线
线锤			在制件上找垂直用

续表

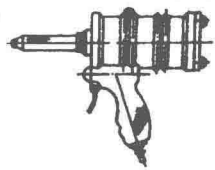
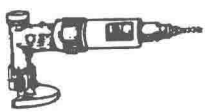
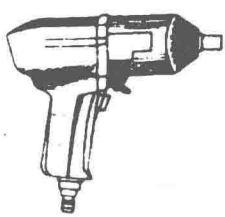
名称	图示	说明
划针盘		在立体制件上划线

（5）风动工具　风动工具包括风砂轮、风钻、风剪和拉铆枪等，见表 6-5。

表 6-5　风动工具

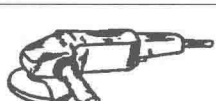
名称	图示	用途
风砂轮		磨修焊缝、除锈、抛光等
风动砂轮（直角携带式）		修磨大型机件、模具、焊缝和钢材边缘的飞边、毛刺和浮油等
风钻		钻孔、扩孔、攻螺纹、胀管等，适用于易燃、易爆等特殊场合
风铲		开焊缝坡口、挑焊根

续表

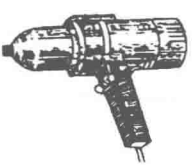
名称	图示	用途
铆钉枪		铆接工作用
风剪		剪切薄板用
风动扳手		拧紧或拆卸螺栓、螺母用

（6）电动工具　电动工具有电钻、电动扳手、电剪、电动型材切割机及角向磨光机等，见表 6-6。

表 6-6　电动工具

名称	图示	用途
电钻		钻孔用
角向磨光机		金属铸件、零部件的清理、去毛刺、焊缝的打磨、抛光、砂光和除锈

续表

名称	图示	用途
电剪		剪切薄钢板或其他金属板材用
电动扳手		扳旋螺栓、螺母用
电动螺钉旋具		装拆螺钉用
电动型材切割机		切割各种型材
电动割管机		切割大尺寸管子

(7) 起重工具　起重工具是指起吊或提升重物时所用的工具，常见的起重工具有千斤顶与起重滑车、起重绳索和吊具等，见表6-7～表6-9。

表 6-7　千斤顶与起重滑车

名称		图示	用途与规格
千斤顶	螺旋式		用于顶举重物；型号为“LQ”，起重量为 5～10t
	齿条式		顶升离地面较高或较低的重物
	油压式		型号为“YQ”，起重量为 3～320t
分离式液压起顶机			用于起重，安装附件后还可作拉、压、扩张、夹紧等动作，有 5t 和 10t 两种
起重滑车			有吊钩型、吊环型和吊梁型。应用时与其他起重机械配合使用

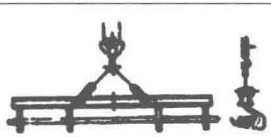
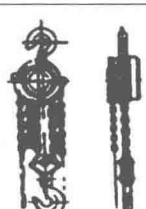
表 6-8　起重绳索与附件

名称	图示	特点与用途
麻绳		分为印尼棕绳、白棕绳、混合绳和线麻绳四种，具有轻便、易捆绑等优点，但强度低，易磨损和腐蚀。用于吊运质量小于 500kg 的工件

续表

名称	图示	特点与用途
钢丝绳		强度高，耐磨损，工作可靠，成本低，但不易折弯，不能吊运温度较高的工件
吊索		可分为万能吊索、单钩吊索、双钩吊索等。具有牢固、经济和使用方便等优点，应用广泛
吊链		自重大，挠性好，用于起吊沉重或高温重物
钢丝绳夹		是用于夹紧钢丝绳末端的一种绳索附件，夹持牢固、装拆方便
卸扣		用于连接被吊重物和吊索
索具螺旋扣		在受静止、固定拉力场合作调节绳索拉伸的松紧程度之用
钢丝绳用环套		装置在钢丝绳的连接端，保护绳索不致磨损或折损

表 6-9　常用吊具

名称	图示	用途
偏心式吊具		吊运垂直或水平的钢板
槽钢吊具		吊运单根的槽钢
工字钢吊具		吊运单根工字钢
厚钢板吊具		吊运厚钢板
平衡梁		吊运各种长尺寸的型钢、管子和轴类零件。吊运过程中无需捆绑
手拉葫芦		在野外或工地无起重机设备的场地，用于起升重物。起重量为 5～10t，起升高度在 2.5～5mm

续表

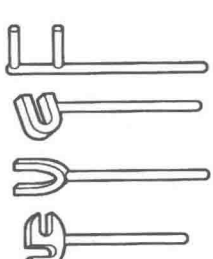
名称	图示	用途
电动葫芦		一般安装在直线或曲线工字梁轨道上，用以起升和运输重物。起重量为5～10t，起升高度在6mm以上
卷扬机		用以起升或运移重物

6.1.1.2 夹具及其使用

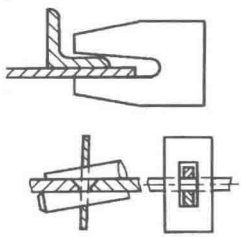
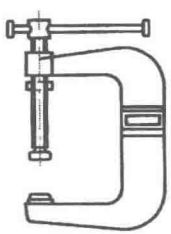
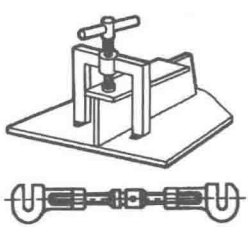
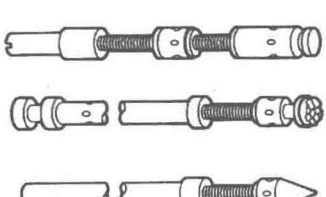
在划线、装配的焊接工作中，夹具用于工件的定位和夹紧等。按夹具的动作分类或分为手动、气动、液压的磁力夹具等。

(1) 手动夹具 手动夹具有杠杆式、楔条式、螺旋式、肘节式和偏心式等，见表6-10。

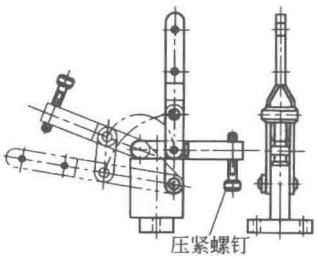
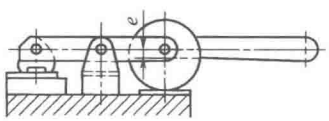
表6-10 手动夹具

名称	图示	用途
杠杆夹具		利用杠杆原理夹紧工件，又能用于矫形和翻转工件

续表

名称	图示	用途
楔条夹具		利用开口或开孔的夹板和楔条配合，将工件夹紧。将楔条打入时，楔条的斜面可产生夹紧力，从而达到夹紧的目的
螺旋夹具		利用螺杆的作用起到夹、拉、顶、撑等多种功能
		借助Ⅱ形或L形铁及螺杆起压紧作用
		利用螺栓两端具有正反方向的螺纹，旋转螺栓时，起到顶紧或撑开的作用

续表

名称	图示	用途
肘节夹具		用于中、薄板的拼装，夹紧快，夹紧厚度的调节范围大
偏心夹具		用手柄旋转偏心轮，从而改变偏心距 e 达到夹紧的目的

(2) 气动夹具　气动夹具如图 6-1 所示，是利用压缩空气的压力，推动活塞杆往复移动，从而达到夹紧目的。它适用于中、薄板构件的夹紧。

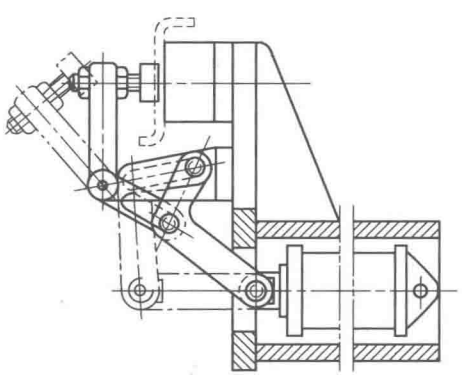


图 6-1　气动夹具

(3) 液压夹具　液压夹具如图 6-2 所示，主要由液压缸、活塞和活塞杆等。液压缸使活塞杆产生直线运动，推动杠杆装置来夹紧

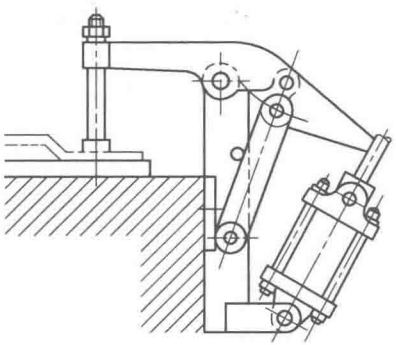


图 6-2　液压夹具

工件。液压夹具的优点是夹紧力大，工作可靠；缺点是液体易泄漏，维修不便。

（4）磁力夹具　磁力夹具有永磁式和电磁式两种，图 6-3 所示为磁力夹具的应用情况。这种夹具是利用磁铁吸引钢板，依靠磁力或旋转压马上的丝杠或杠杆夹紧工件。

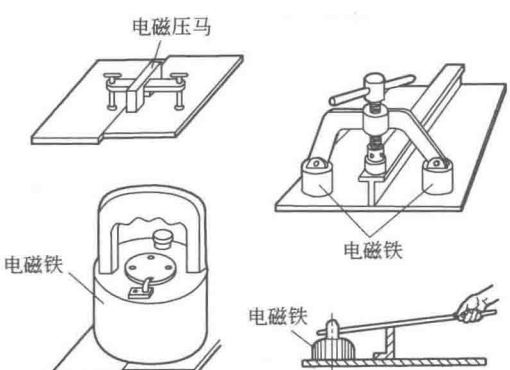
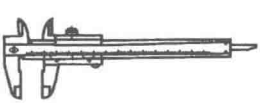
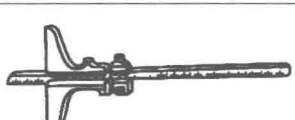


图 6-3　磁力夹具的应用

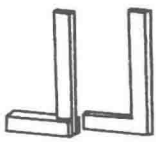
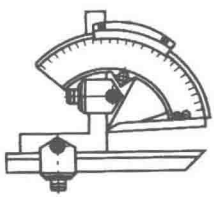
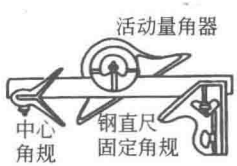
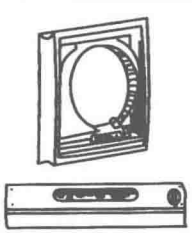
6.1.1.3　常用量具

钣金下料中常用的量具有很多，如钢直尺、卷尺等，具体见表 6-11。

表 6-11　常用量具

名称	图示	测量范围	精度值	用途
钢直尺		0～150mm、 0～300mm、 0～500mm、 0～1000mm	0.5mm	用来测量较短工件的长度、内外径等尺寸。通常钢直尺正面刻度为公制单位，背面有公、英制换算
钢卷尺		0～1m、0～2m、 0～3m、0～5m、 …、0～100m	1mm	用来测量工件的尺寸与距离，条带上的刻度以公制居多，也有公英制并存，使用和携带较为方便
游标卡尺		0～125mm、 0～200mm、 0～300mm	0.02mm、 0.05mm、 0.1mm	属中等测量精度的量具。常用来测量工件的内外径、深度，带划线脚的既可测量内孔尺寸，还可用脚尖作少量的划线
深度尺		0～200mm、 0～300mm、 0～500mm	0.02mm、 0.05mm	用于测量孔的深度、台阶的高低和槽的深度
高度尺		0～200mm、 0～300mm、 0～500mm、 0～1000mm	0.02mm、 0.05mm	用来测量高度或对零件进行划线

续表

名称	图示	测量范围	精度值	用途
90°角尺		90°	00级、0级、1级、2级	是一种定值的角尺量具，用于测量、检验工件的垂直度和划垂线
万能角度尺		外角：0°～180°；内角40°～130°	2′、5′	属中等精度量具，用于测量工件的角度
活动量角器		钢直尺0～300mm；活动量角器0°～180°；固定角规45°、90°	1°	用于测量一般的角度、长度、深度、水平度以及在圆形工件上定中心等
水平尺		0.02/1000～0.05/1000mm	0.01mm	用来测量工件表面的水平度
卡钳		100～600mm	—	是一种间接测量量具，与钢直尺配合测量工件的内外尺寸

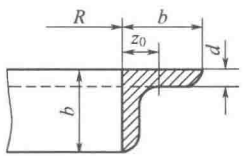
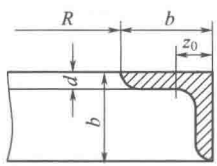
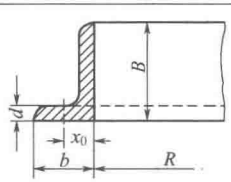
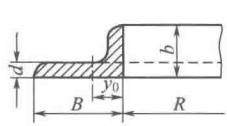
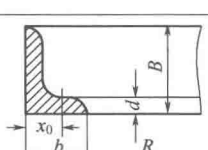
6.1.2 手工弯曲

手工弯曲是指利用手工工具将板材、管料或型材弯曲成一定角度或弧度的方法。手工弯曲是钣金工基本操作技能之一。

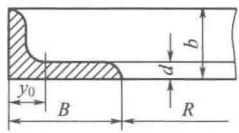
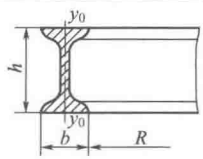
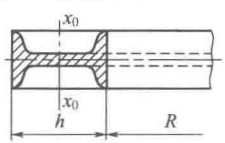
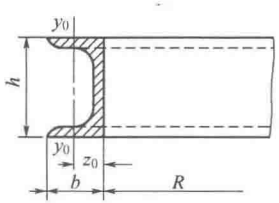
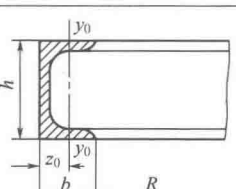
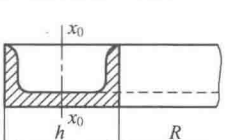
6.1.2.1 各种型材最小弯曲半径的计算

各种型材最小弯曲半径的计算见表 6-12。

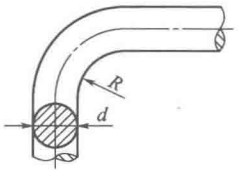
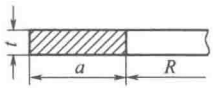
表 6-12 各种型材最小弯曲半径的计算

名称		图示	状态	计算公式
等边角钢	外弯		热	$R_{min}=\frac{b-z_0}{0.14}-z_0\approx 7b-8z_0$
			冷	$R_{min}=\frac{b-z_0}{0.04}-z_0=25b-26z_0$
	内弯		热	$R_{min}=\frac{b-z_0}{0.14}-b+z_0\approx 6(b-z_0)$
			冷	$R_{min}=\frac{b-z_0}{0.04}-b+z_0=24(b-z_0)$
不等边角钢	小边外弯		热	$R_{min}=\frac{b-x_0}{0.14}-x_0\approx 7b-8x_0$
			冷	$R_{min}=\frac{b-x_0}{0.04}-x_0=25b-26x_0$
	大边外弯		热	$R_{min}=\frac{B-y_0}{0.14}-y_0\approx 7B-8y_0$
			冷	$R_{min}=\frac{B-y_0}{0.04}-y_0=25B-26y_0$
	小边内弯		热	$R_{min}=\frac{b-x_0}{0.14}-b+x_0\approx 6(b-x_0)$
			冷	$R_{min}=\frac{b-x_0}{0.04}-b+x_0=24(b-x_0)$

续表

名称		图示	状态	计算公式
不等边角钢	大边内弯		热	$R_{\min}=\dfrac{B-y_0}{0.14}-B+y_0\approx 6(B-y_0)$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{B-y_0}{0.04}-B+y_0=24(B-y_0)$
工字钢	以 y_0-y_0 轴弯曲		热	$R_{\min}=\dfrac{b}{2\times 0.14}-\dfrac{b}{2}\approx 3b$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{b}{2\times 0.04}-\dfrac{b}{2}=12b$
	以 x_0-x_0 轴弯曲		热	$R_{\min}=\dfrac{h}{2\times 0.14}-\dfrac{h}{2}\approx 3h$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{h}{2\times 0.04}-\dfrac{h}{2}=12h$
槽钢	以 y_0-y_0 轴外弯		热	$R_{\min}=\dfrac{b-z_0}{0.14}-z_0\approx 7b-8z_0$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{b-z_0}{0.04}-z_0=25b-26z_0$
	以 y_0-y_0 轴内弯		热	$R_{\min}=\dfrac{b-z_0}{0.14}-b+z_0\approx 6(b-z_0)$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{b-z_0}{0.04}-b+z_0=24(b-z_0)$
	以 x_0-x_0 轴弯曲		热	$R_{\min}=\dfrac{h}{2\times 0.14}-\dfrac{h}{2}\approx 3h$
			冷	$R_{\min}=\dfrac{h}{2\times 0.04}-\dfrac{h}{2}=12h$

续表

名称	图示	状态	计算公式
圆钢		热	$R_{min}=d$
		冷	$R_{min}=2.5d$
扁钢	 当$\frac{a}{t}<10$时	热	$R_{min}=3a$
		冷	$R_{min}=12a$

6.1.2.2 手工弯曲的操作

(1) 角形件的弯制　角形件如图 6-4 所示，其操作见表 6-13。

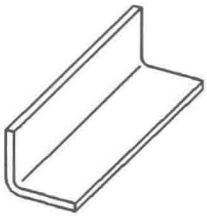
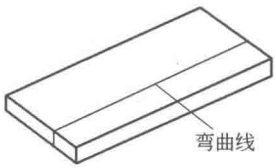
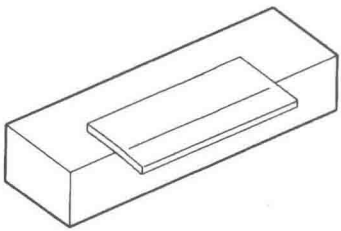
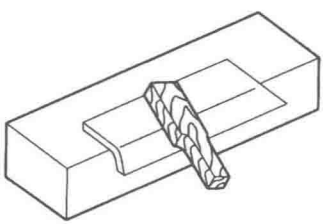


图 6-4　角形件

表 6-13　角形件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线

续表

步骤	图示	操作说明
安放		将工件安放在规铁上，并使弯曲线对准规铁的角边
弯曲		左手压住板料，右手用木槌先在两端将工件敲弯成一定角度（以便定位），然后再全部弯曲成形

（2）“⊓”形件的弯制 “⊓”形件如图 6-5 所示，其操作见表 6-14。

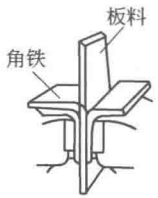
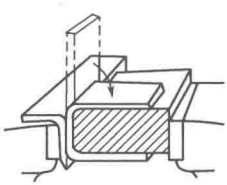


图 6-5 “⊓”形件

表 6-14 “⊓”形件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线

续表

步骤	图示	操作说明
装夹		将两块角铁垫入台虎钳的钳口上，使角铁与两边靠紧钳口，再将板料装在两块角铁之间
弯一侧直角		将木块放在板料伸出端的顶部，用锤子敲打木块，直至将板料一侧弯成直角
弯另一侧直角		松开虎钳，将工件翻转90°，将一衬垫插入工件U形底部，重复上述操作，将工件另一端弯成直角

(3) “Z”形件的弯制 “Z”形件如图6-6所示，其操作见表6-15。

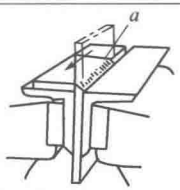
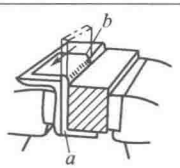


图6-6 “Z”形件

表6-15 “Z”形件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线

续表

步骤	图示	操作说明
弯 a 角		依划线将工件夹在角铁里，先弯成 a 角
弯 b 角		调头将方衬垫放入 a 角，再对准划线将工件夹在角铁里弯成 b 角

(4) “⊓”形件的弯制 “⊓”形件如图 6-7 所示，其操作见表 6-16。

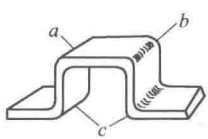
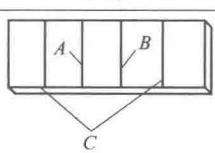
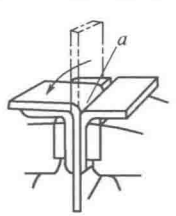
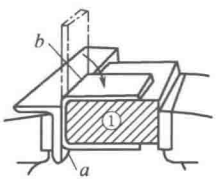
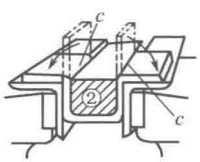


图 6-7 “⊓”形件

表 6-16 “⊓”形件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线
弯 a 角		依划线将工件夹在角铁里，先弯成 a 角

续表

步骤	图示	操作说明
弯 b 角		将衬垫垫在①处，将工件弯成 b 角
弯 c 角		将衬垫垫在②处，将工件弯成 c 角

(5)“□”形件的弯制“□”形件如图 6-8 所示，其操作见表 6-17。

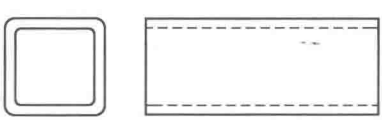
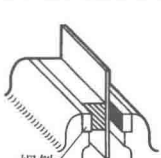
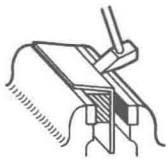
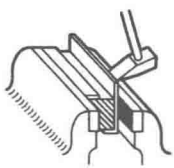


图 6-8 “□”形件

表 6-17 “□”形件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线
装夹		将规铁插入台虎钳钳口一边，再将板料装夹在规铁与另一钳口之间

续表

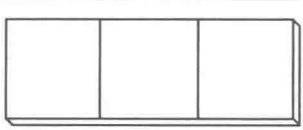
步骤	图示	操作说明
弯一直角		用锤子敲打板料，将板料一侧弯成直角
成形		将弯曲线对准规铁的角，依次弯制其他几个直角，将工件弯制成形

（6）半圆形压板的弯制　半圆形压板如图 6-9 所示，其操作见表 6-18。

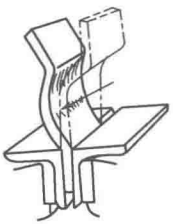


图 6-9　半圆形压板

表 6-18　半圆形压板的弯制操作

步骤	图示	操作说明
划线		根据弯曲零件下好展开料，并划出弯曲线
弯形		按划线将工件夹持在台虎钳的两块角铁垫里，然后用方头锤的窄头锤击所需弯曲的部位

续表

步骤	图示	操作说明
弯形		按划线将工件夹持在台虎钳的两块角铁垫里，然后用方头锤的窄头锤击所需弯曲的部位
		
修整		在半圆模上修整圆弧，使之符合要求

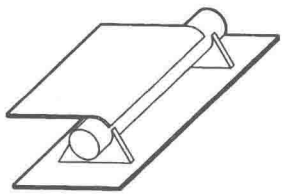
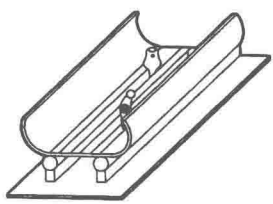
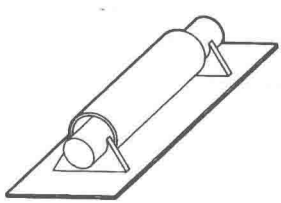
(7) 圆筒件的弯制　圆筒件如图 6-10 所示，其操作见表 6-19。



图 6-10　圆筒件

(8) 管子的弯形　管子的直径在 13mm 以下时，一般是采用冷弯的，在 13mm 以上时则采用热弯。但管子的最小弯曲半径必须大于管子直径的 4 倍。

表 6-19　圆筒件的弯制操作

步骤	图示	操作说明
打直头		将板料平放在圆钢上，用木锤或木打板由外向内均匀捶击进行弯曲
打圆弧		直头形成后，将板料放在胎具或槽钢上，用木锤敲圆（弯曲位置线应与板料两边平行）
修圆		将弯好的圆筒套在圆钢上校圆

当弯曲管子的直径在 10mm 以下时，不需要在管子内灌砂，但当直径大于 10mm 时，弯曲时则一定要在管子内灌砂，且砂子

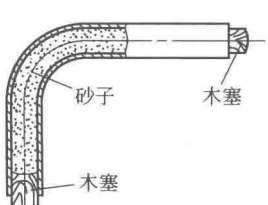


图 6-11　管子弯前的灌砂

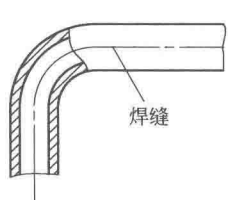


图 6-12　焊缝在中性层位置

一定要装紧才好，然后用木塞将管子的两端塞紧，如图 6-11 所示，这样在弯曲时管子才不会瘪下去的。对于有焊缝的管子，弯曲时必须将焊缝放在中性层的位置上，如图 6-12 所示，否则弯曲管子时会使焊缝裂开。

冷弯管子可以在虎钳上进行或是在其他弯管工具上进行，如图 6-13 所示。管子的一端置于模子的凹槽中，并用压板固定，再用手扳动杠杆，杠杆上的滚轮便会压紧管子，迫使管子按模子进行弯曲。

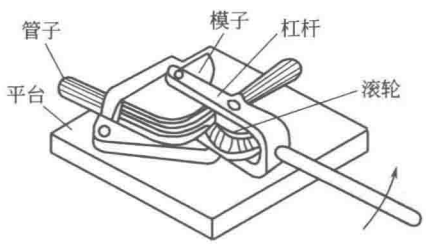


图 6-13　手工弯管工具

热弯管子时，则可在弯曲处加热，加热长度可按经验公式来计算。例如曲率半径为管子直径 5 倍时，则：

加热长度＝(弯曲角度/15)×管子直径

将管子弯曲处加热后取出放在钉好的铁桩上，按规定的角度弯曲，如图 6-14 所示。若加热部位太长，可浇水，使弯曲部分缩短

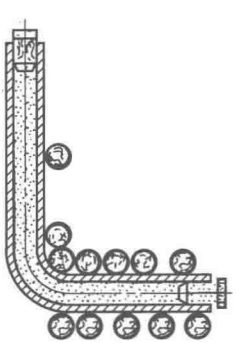
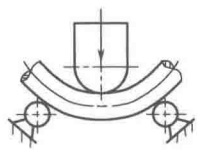
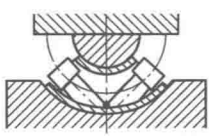
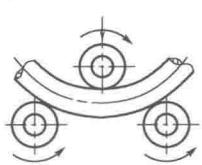
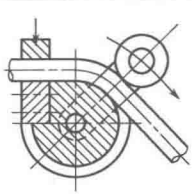
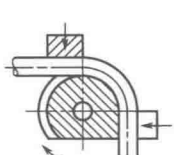


图 6-14　热弯大管子

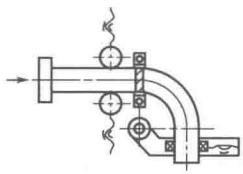
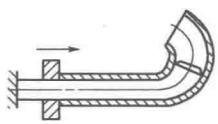
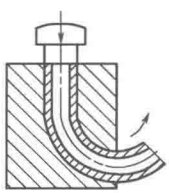
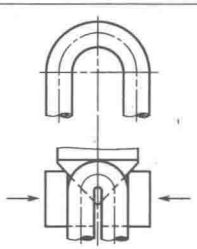
到需要的长度。

常用机械弯管的方法见表 6-20。

表 6-20　常用机械弯管的方法

方法		图示	说明
压(顶)弯	自由弯曲		冷压或热压；管内加支撑或不加支撑
	带矫正		
滚弯			需带槽滚轮，冷弯
回弯	辗压式		使用最广泛；冷压或热压；管内加支撑或不加支撑
	拉拔式		

续表

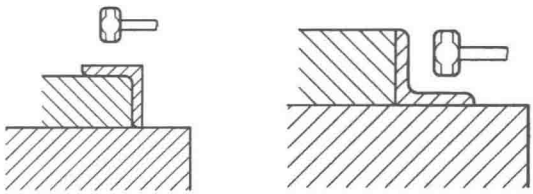
方法		图示	说明
推弯			外壁减薄；弯曲半径可调；热弯；不需模具
挤弯	芯棒式		热挤
	型模式		冷挤
			需加热预弯，挤压后精整

6.1.2.3 操作注意事项与禁忌

1）当角钢弯曲曲率较小时，如大直径的角钢圈，由于材料弹性变形的影响比较大，故多对角钢采用全加热。如工件较长，可采用分段加热、分段弯曲的方法。当部分区域曲率较大（如角钢方框的转角处），材料拉伸严重，而其他部位不需弯曲时，可只对曲率较大的弯曲部位进行局部加热。

2）角钢内弯时，两翼边材料挤缩，容易产生翘起的缺陷。这

时，可以用大锤随时修打，如图 6-15(a) 所示。



(a) 内弯防止平面边翘曲　　(b) 外弯防止平面边拉裂

图 6-15　角钢弯曲时的辅助措施

3）角钢内弯时，靠模的高度应等于或略高于角钢凹面高度，并应有与角钢内角吻合的圆角。

4）角钢外弯时，两翼边材料拉伸严重，易产生拉裂的缺陷，可用大锤边弯边修打，以使拉伸处延展均匀，防止拉裂，如图 6-15(b)所示。

5）由于材料加热后变软，直接锤击易在工件上留下明显的锤痕，因此在锤击时应垫以平锤，避免用大锤直接锤击工件。

图 6-16 所示为加热后手工弯曲扁钢的操作示例，其操作方法与弯曲角钢相同。

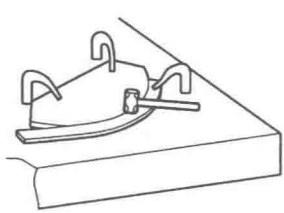
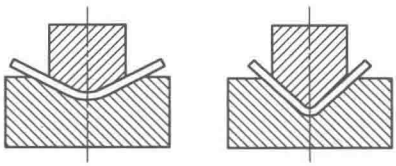


图 6-16　手工弯曲扁钢的操作示例

6）工件弯曲时，除塑性变形外，同时伴有弹性变形，产生回弹。因而弯曲件的圆角半径不宜过大，如图 6-17 所示，否则难以保证精度。也不宜过小，否则外层纤维产生拉裂破坏，如图 6-18 所示。

7）弯曲件的直角边高度 h 不宜过小，必须大于等于弯边高度 $h_{\min}$（$h > h_{\min} = r + 2\delta$），如图 6-19 所示，才能保证工件弯曲



(a) 过大　　(b) 合适

图 6-17　圆角弯曲半径

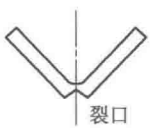


图 6-18　圆角半径过小造成的裂口

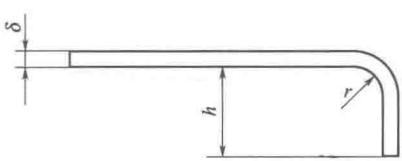
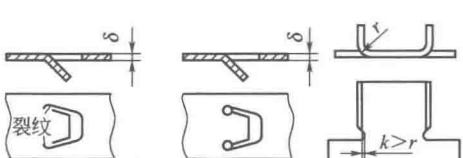


图 6-19　直角边高度

质量。

8）弯曲有孔的毛坯时，孔边距不宜过小。如孔位过于靠近弯曲区，则弯曲时孔的形状会发生变化。

9）在局部弯曲某一边缘时，为防止在交接处由于应力集中而产生撕裂，不应忽视先冲卸荷孔、切槽；或将弯曲线位移一定距离，如图 6-20 所示。



(a) 错误　　(b) 正确　　(c) 正确

图 6-20　冲卸荷孔槽

10）复杂形状零件不能一次弯成，应多次弯曲成形。工序安排的原则是先弯外角，后次弯曲不能影响前次弯曲部分的变形。弯曲次数可为两次、三次甚至更多，如图 6-21 所示。

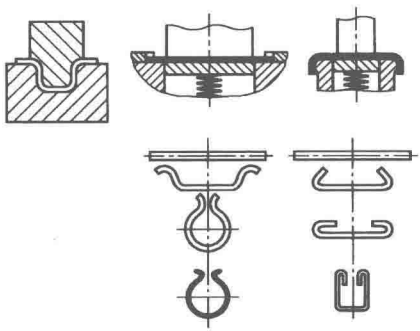
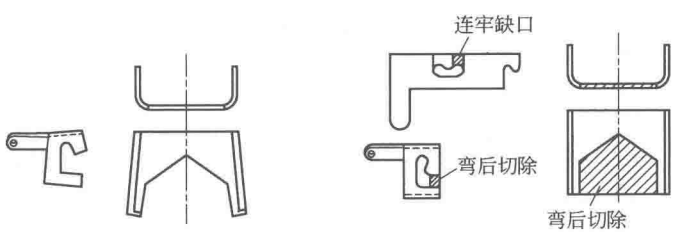


图 6-21　多次弯曲成形工件

11）弯曲件边缘有缺口，须在缺口处留有连接带，待弯曲成形后再将连接带切除，如图 6-22 所示。否则弯曲时会出现叉口，严重时无法成形。



(a) 不正确的处理　　(b) 正确的处理

图 6-22　弯曲件缺口的处理

6.1.3　收边与放边

6.1.3.1　手工收边

使毛坯纤维收缩变短的过程称为收边。收边时先将坯料边缘“起波”，使坯料纤维沿纵向高长度变短，然后被消平（此时应防止波纹向两侧伸展回复）。收边主要用来加工凸曲线。

(1) 收边件展开尺寸的计算

1) 角形收边成半圆零件。如图 6-23 所示，展开料的计算式为：

$$B=a+b-\left(\frac{r}{2}+\delta\right)$$

$$L=\pi(R+b)$$

式中 B——展开料的宽度，mm；

a、b——弯边宽度，mm；

r——零件弯曲半径，mm；

δ——材料厚度，mm；

L——展开料长度，mm；

R——圆角半径，mm。

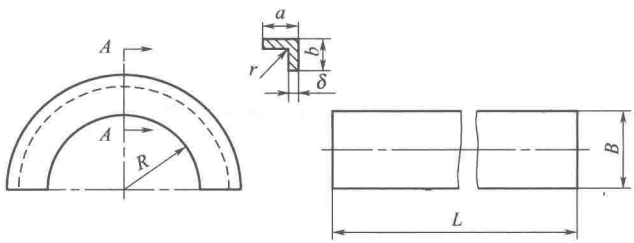


图 6-23 半圆形零件

2) 角形收边成直角零件。如图 6-24 所示，展开料的计算式为：

$$B=a+b-\left(\frac{r}{2}+\delta\right)$$

$$L=L_1+L_2+\frac{\pi}{2}\left(R+\frac{b}{2}\right)$$

式中 B——展开料的宽度，mm；

a、b——弯边宽度，mm；

r——零件弯曲半径，mm；

δ——材料厚度，mm；

L——展开料长度，mm；

L_1、L_2——直线部分长度，mm；

R——圆角半径，mm。

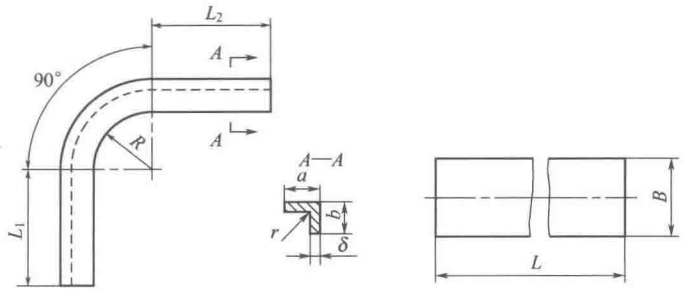
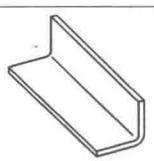
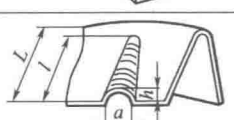
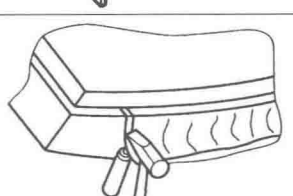


图 6-24　直角形零件

（2）手工收边的方法　收边的操作见表 6-21。

表 6-21　收边的操作方法

方法	图示	操作说明
弯直角		根据图样下料并折弯
折波	 波纹合理 $h<a_1$；$l=\frac{3}{4}L$	先用折波钳使板料边缘形成皱褶波纹，使其达到所需曲率
消波		再用橡胶锤捶平（此时板料边缘皱褶消除，长度缩短，厚度增大）
收边		将坯料夹在型胎上，用铝锤顶住坯料，用木锤敲打顶住的部分，坯料逐渐被收缩而收边

6.1.3.2 手工放边

放边的加工过程与收边相反，放边在成形过程中使材料边缘变薄伸展，如图 6-25 所示。

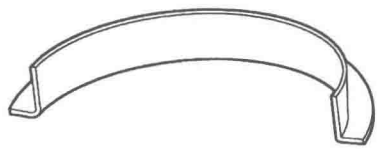


图 6-25 放边零件

(1) 放边零件展开尺寸计算

1) 半圆形零件。如图 6-26 所示的半圆形零件，其展开宽度可用弯曲型材展开长度的计算公式来计算：

$$B=a+b-\left(\frac{r}{2}+\delta\right)$$

式中 B——展开料宽度，mm；

a、b——放边宽度，mm；

r——圆角半径，mm；

δ——材料厚度，mm。

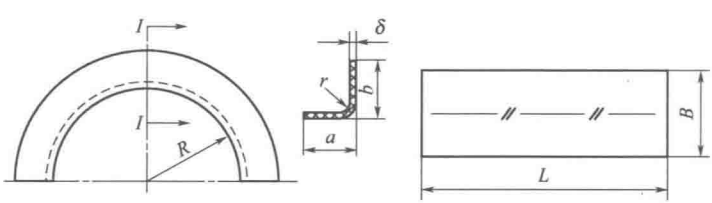


图 6-26 放边半圆形零件

展开长度由于在放边的平面使各处材料伸展的程度不同，外缘变薄量大、伸展得多，内缘变薄量小，伸展得少，所以展开料长度取放边宽度 b 一半处的弧长来计算：

$$L=\pi\left(R+\frac{b}{2}\right)$$

式中 L——展开料长度，mm；

R——零件弯曲半径，mm；

b——放边一边的宽度，mm。

2）直角形零件。如图 6-27 所示，其展开宽度与上式相同，展开长度 L 等于直线部分和曲线部分之和，即：

$$L=L_1+L_2+\frac{\pi}{2}\left(R+\frac{b}{2}\right)$$

式中 L_1、L_2——直线部分长度，mm；

R——弯曲半径，mm；

b——放边一边的宽度，mm。

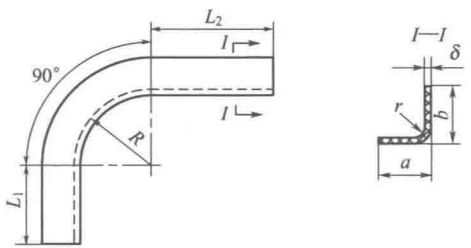
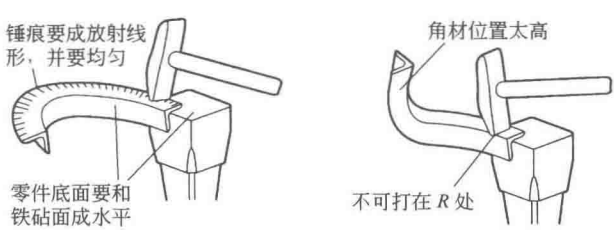


图 6-27　放边直角形零件

（2）放边的操作方法　制造凹曲线弯边的零件，可用直角型材在铁砧或平台上捶放角材边缘，如图 6-28(a) 所示，使边缘材料厚度变薄、面积增大、弯边伸长，愈靠近角材边缘伸长愈大，愈靠近内缘伸长愈小，这样直线角材就逐渐被捶放成曲线弯边的零件。



(a) 正确捶放　　(b) 错误捶放

图 6-28　打薄捶放

在捶放的操作过程中，首先是计算出零件的展开尺寸，放边时角材底面须与铁砧表面保持水平，不能太高或太低，否则在放边中

角材会产生翘曲。锤痕要均匀并成放射形，捶击的面积占弯边宽度的3/4，不能沿角材的R处敲打，捶击的位置要在弯曲部分，有直线段的角形零件，在直线段内不能敲打。在放边过程中，材料会产生冷作硬化，发现材料变硬后，要退火处理，继续捶放易打裂，在操作中，随时用样板或量具检查线形，达到要求后进行修整、校正的精加工。

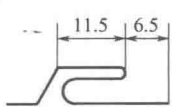
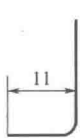
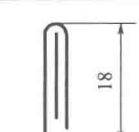
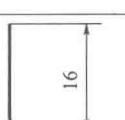
6.1.4 咬缝与卷边

6.1.4.1 咬缝

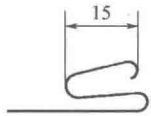
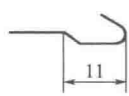
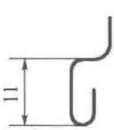
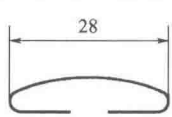
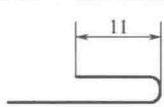
咬缝是把一块板料的两边或两块板料的边缘折转扣合，并彼此压紧的方法。

(1) 咬缝的结构形式　各种咬缝的结构形式见表6-22。

表6-22　咬缝的结构形式

名称	图示		适用板厚/mm
	咬缝	缝扣	
匹茨堡缝			0.6～1.0 1.0～1.25
			0.6～1.0 1.0～1.5
立缝			0.9～1.25
			0.9～1.5

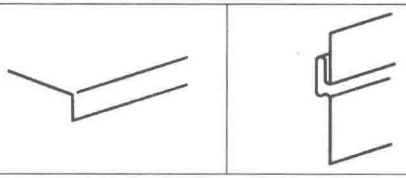
续表

名称	图示		适用板厚/mm
	咬缝	缝扣	
卡扣缝			0.6～1
			0.6～1
槽缝			0.8～1.25 1.25～1
双折底缝			0.5～1
			0.5～1
套扣缝			0.5～1.25
			0.6～1.25 1.25～1.5

(2) 各种咬缝的制作

1) 匹茨堡缝的制作。匹茨堡缝的制作见表 6-23。

表 6-23 匹茨堡缝的制作

步骤	图示	操作说明
制扣		将板料切成所需尺寸，并根据咬缝宽度划线，制出相应的单扣和袋扣
合扣		把单扣放入袋扣中进行合扣
压紧		用木锤敲打两扣凸缘处，将其捶平并压紧

匹茨堡缝的应用非常广泛，其优点之一是单扣可做成圆弧状，而袋扣可在平板上制好后再配合单扣碾成圆弧，如图 6-29 所示。

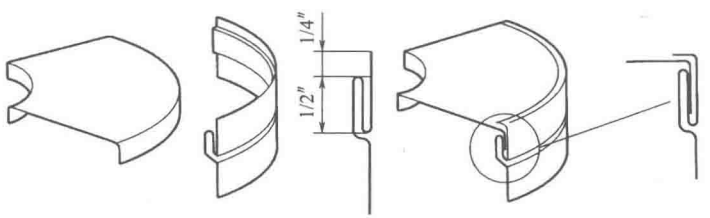
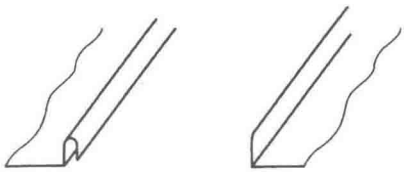


图 6-29 匹茨堡缝可弯成曲面

2) 立缝的制作。立缝也称捷缝，是一种典型的纵长缝。这种缝含有一个弯成直角的双折缝［图 6-30(a)］和一个单折边［图

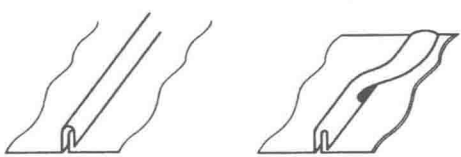
6-30(b)]。



(a) 双折缝　　(b) 单折边

图 6-30　立缝的制作

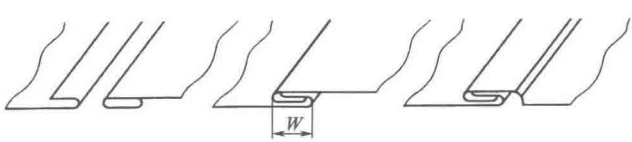
制作时将双折缝放在单折边上，然后用木锤打扁压紧，如图 6-31 所示。



(a) 合扣　　(b) 打扁压紧

图 6-31　立缝的制作

3）槽缝的制作。槽缝是连接薄板或中等板最常用的接缝方式。这种缝有两个相同的折边，制作时将这两个折边相互钩住，然后用手槽钻的做槽工具或用起槽机合拢缝扣，如图 6-32 所示。

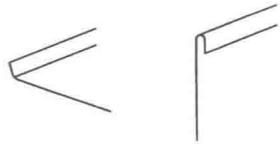


(a) 折边　　(b) 合扣　　(c) 拢缝

图 6-32　槽缝的制作

4）双折缝的制作。这种缝有一个单折边和一个双折边，如图 6-33 所示。制作时，先将两折边按图 6-34(a) 所示的方法结合起来，然后在砧铁上弯折，完成接缝的制作，如图 6-34(b) 所示。

5）套扣缝的制作。用以连接导管横断方向的接缝。要把连接和管件按图 6-35 所示的方式把两边弯折成扣，其边缘的宽度视工



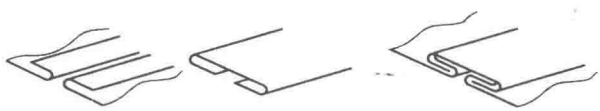
(a) 单折边　　(b) 双折边

图 6-33　双折缝的折边



(a) 合扣　　(b) 弯折　　(c) 压紧

图 6-34　双折缝的制作



(a) 弯扣　　(b) 套扣

图 6-35　套扣缝的制作

作需要而定。

这种缝一般都和 S 形滑扣合用，如图 6-36 所示。S 形滑扣是一个做成 S 形的板条形成两个袋扣的连接。和套扣合用时，S 形扣最常用的地方是连接导管的断面，也常用在两段板片需要以平缝方式结合无需连接强度的场合。图 6-37 所示是如何使用 S 形扣和套扣来连接导管的断面。

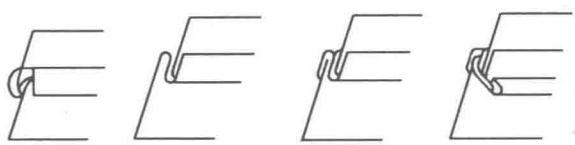


图 6-36　S 形滑扣

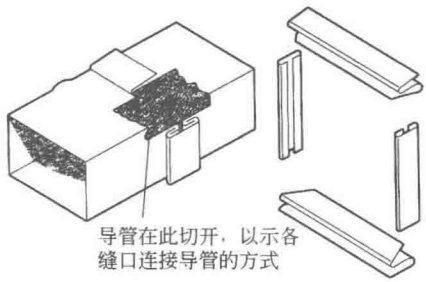


图 6-37　S形滑扣的应用

6）套接缝的制作。套接缝常用于纵长方向的角缝连接。其结构如图 6-38 所示，它由单扣和双扣组成套接缝。

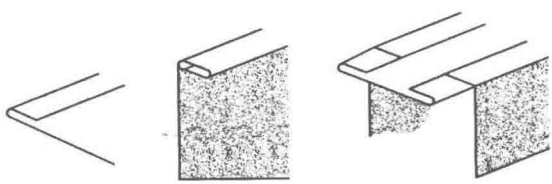


图 6-38　套接缝

采用套接缝制作导管时，必须注意各结合角隅是否平直，毛边是否已修磨，否则整个导管会发生扭曲，或各导管的边缘参差不齐，如图 6-39 所示。

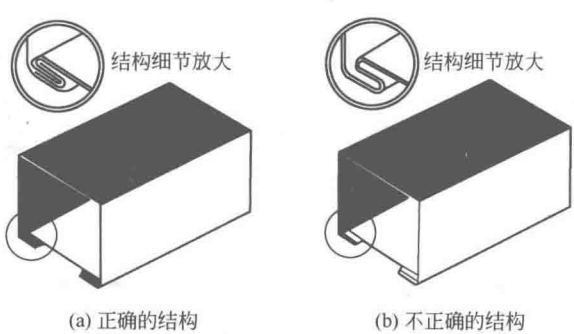


图 6-39　管件的结构方式

7）榫缝的制作。榫缝是连接圆桶和凸缘的便捷方法，主要用于圆管和椭圆管。其制作方法是把圆桶的端口开缝，按如图 6-40 所示的方法，每间隔一片折成直角。弯折的榫片起止挡作用，而竖直的榫片准备弯包在欲连接的凸缘上，且接缝采用软钎焊固定，以保持其密封性。

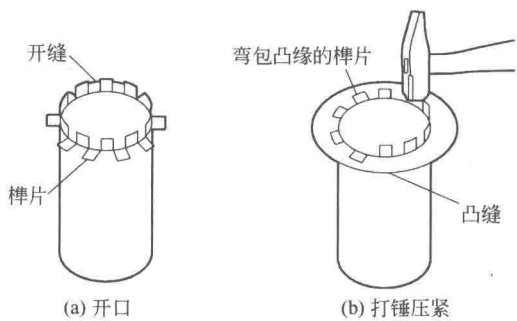


图 6-40　榫缝的制作

6.1.4.2　卷边

将薄板制件的边缘卷成圆弧状，这样的结构称为卷边。卷边的目的是为了消除薄板边缘锐利的锋口，同时提高薄板边缘的强度和刚度。卷边分夹丝卷边和空心卷边两种，如图 6-41 所示。



图 6-41　卷边

夹丝卷边是在卷边内嵌入一根铁丝，以加强边缘的刚性，铁丝的粗细应根据零件的尺寸和所受的力来确定，一般铁丝的直径为板料厚度的 3 倍以上。包卷铁丝的边缘应不大于铁丝直径的 2.5 倍，如图 6-42 所示。

（1）卷边裕量的计算　卷边零件由直线和曲线两部分组成，主要是算出卷曲部分的长度，然后再加上直线部分，便得出总的展开尺寸。可参照图 6-43 按下式计算：

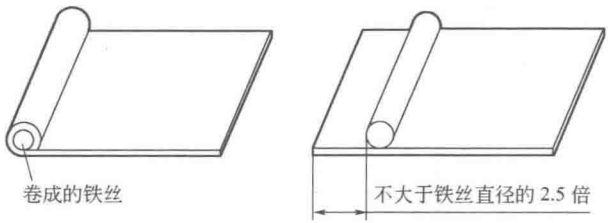


图 6-42　夹丝卷边的要求

$$L = d/2 + 3\pi(d+\delta)/4$$

式中　L——卷边裕量；

d——卷边内径；

δ——板厚。

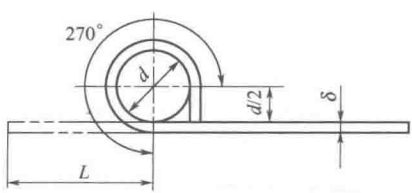
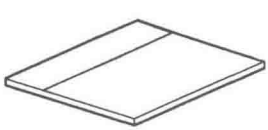


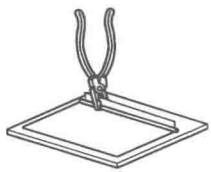
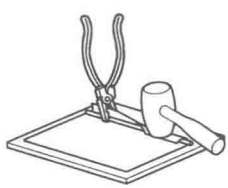
图 6-43　卷边裕量

（2）卷边的操作　卷边的操作见表 6-24。

表 6-24　卷边的操作

步骤	图示	操作说明
划线		将板料切成所需要的尺寸，沿边量出 2.5 倍铁丝直径的距离划线
折弯		将板料按划线折成直角

续表

步骤	图示	操作说明
放丝		将铁丝剪成适当长度放入已折妥的边内，并用手钳夹固铁丝位置
卷边		用木锤捶打板缘包住铁丝，再用铆钉锤逐段扣紧成形

6.1.5 拔缘与拱曲

6.1.5.1 拔缘

拔缘是将板料制出一定高度的曲线弯边方法，是收边与放边的具体应用。用收边制凸曲线弯边工件称外拔缘，用放边制出凹曲线弯边工件称内拔缘。拔缘可手工和用模具进行。手工拔缘的方法见表 6-25。

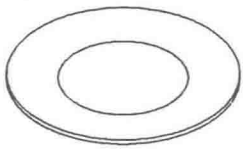
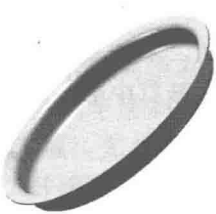
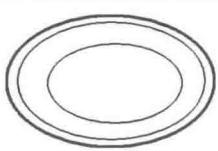
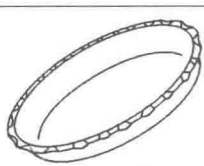
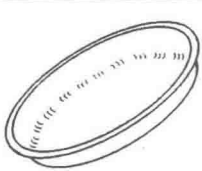
6.1.5.2 拱曲

利用顶杆或胎模将平板坯件中部捶放延展、外缘起皱收边、形成双向弯曲曲面的操作称为拱曲。拱曲过程中，零件的外缘壁厚增大，中部减薄。

(1) 顶杆拱曲　可直接成形零件，也可作为其他拱曲的后续工序，比如胎模拱曲成形到手锤无法继续时，需套在顶杆上继续进行。大直径拱曲件在顶杆上对外缘收边可节省大的型胎，并可在顶杆上进行矫正及修光外表面。

操作时先将板料边缘用起皱钳作出皱褶，在顶杆上将皱褶拍

表 6-25　手工拔缘

类型	图示		操作说明
	工件	步骤	
外拔缘			计算展开尺寸，下料、划出拔缘宽度线
			将拔缘边敲出根部轮廓线，用折波钳做出波纹（或敲出波纹）
			逐个平波使边缘收缩而成凸弯边，划线修除余料
内拔缘			下料、划出拔缘线
			内拔缘，在顶铁上用木锤制出拔缘根部
			用胶木锤或铝锤捶放边缘达到拔缘高度

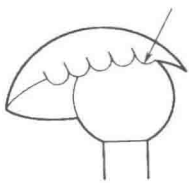


图 6-44　顶杆拱曲

平，如图 6-44 所示，使板料向内弯曲，同时轻轻而均匀地用木锤敲击中部，使中部延展拱起，拱曲时应不断转动坯料。如此反复进行几次，拱曲达到图样要求即可。最后切边、修边及在顶杆上将工件修光。

在用顶杆手工拱曲时应注意以下几点。

1）拱曲度较大的钣金件，可在顶杆上用收缩和排展交错的方法进行，如图 6-45 所示。

2）拱曲时，用木锤轻轻而均匀地敲打中部，使中部的坯料伸展拱曲。敲打的位置要稍稍超过支承点，敲打位置要准确，否则易打出凹痕，甚至打破。



图 6-45　收缩和排展交错形拱曲半球

3）敲打时，用力要轻而均匀，而且打击点要稠密，边敲打边旋转坯料。根据目测随时调整敲打部位，使表面光滑、均匀。凸出的部位不应再敲打，否则愈打愈凸起。

4）敲打到坯料中心时，要不断转动，不能集中在一处敲打，以免坯料中心伸展过多而凸起。依次收边敲打中部，并配合中间检查，使其达到要求为止。

5）在加工过程中，如发现坯料由于冷作而硬化，为防止产生裂纹，应及时进行退火处理。

（2）胎模拱曲　如图 6-46 所示，将坯料压紧在胎模上，用木锤从模腔的边缘开始逐渐向中心部位锤击，使

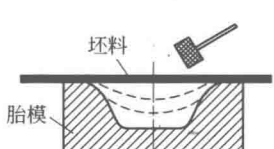


图 6-46　胎模拱曲

坯料下凹，直至全部贴合模腔。拱曲变形量较大时，应分几次进行，每次一个模具，如图中虚线所示。拱曲过程中，可垫橡皮、砂袋、软木来使坯料伸展，这样不仅伸展较快，而且拱曲后的零件表面平滑。胎模拱曲适于尺寸较大、深度较浅的零件制作。

在用胎模拱曲时应注意以下事项。

1）敲打要轻且均匀，使整个加工表面均匀地伸展，形成凸起的形状。

2）操作中应分几次使坯料逐渐全部贴合胎模成形。

3）最后用平头锤在顶杆上打光敲击凸痕。

(3) 在步冲机上手工拱曲　将胎模安装在步冲机的工作平台上，坯料压在胎模上，并随工作台旋转，上模作上下的锤击运动，上模与下模间还有一个相对的径向运动。该方法的拱曲质量好，生产效率高。

6.1.6　滚弯

6.1.6.1　滚制柱面

(1) 柱面滚弯工艺分析　柱面的表面素线是相互平行的，在滚制柱面工件时，要求滚板机的上、下轴辊应平行，不能带有斜度，否则会使滚出的工件带有锥度。

如图 6-47 所示，为了不使滚弯工件出现歪扭现象，板料放入滚板机后，要进行位置找正。

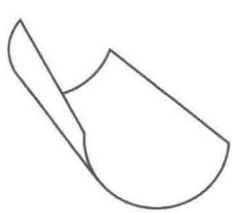


图 6-47　柱面滚制时的歪扭现象

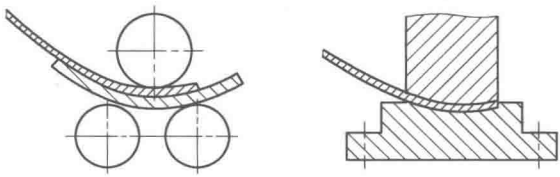
小圆筒一般整筒滚制，大圆筒则要分两半滚制。分两半滚制时，应将单片板料分为三个区域，先滚压两端，再滚压中间。较大工件滚弯时，为了避免其自重引起附加变形，必要时还要有吊车予以配合。

(2) 滚弯的步骤

1）滚弯前应准备工件内圆弧卡形样板、大锤、压弧锤、槽头胎具等工具。

2）使用对称三轴辊滚板机，需要进行预弯板料两端，如图

6-48所示，预弯长度应略大于两下辊中心距的一半。在预弯过程中，要用卡形样板进行检查，直至达到图样要求的曲率为止。



(a) 卷板机预弯　　(b) 压力机预弯

图 6-48　手工弯工件两端

3）检查滚板机的上下轴辊是否平行，若不平行，应将其调整平行。工件在上下滚轴之间的位置必须校正。工件放入滚板机后，利用挡板或轴辊上的定位槽找正，也可以用目测或 90°角尺找正。

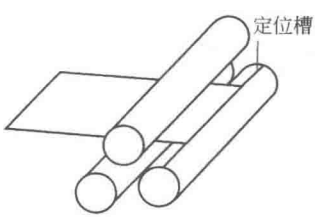


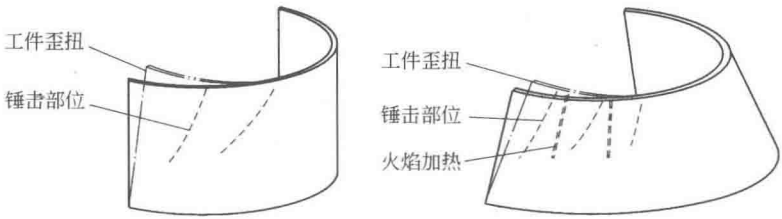
图 6-49　工件找正

利用滚板机轴辊上的定位槽进行找正时，将下辊的定位槽转到最上端位置，使放入滚板机的板料边缘与定位槽平行，如图 6-49 所示。在厚钢板的弯曲过程中，要经常检查，经常校对，发现偏差及时纠正。

4）滚压中若出现歪扭现象要及时调整，其方法是采用手工矫正如图 6-50(a) 所示。在矫正过程中，应根据工件的歪扭方向和程度，确定锤击（火焰加热）位置，施加相应锤击力量。矫正力不足时可辅以火焰局部加热进行矫正，如图 6-50(b) 所示，同时也要避免因矫正失当而引起工件反向歪扭或曲率过大。

（3）滚弯件成形质量检查。

1）在滚弯过程中，由于弹复的影响，往往不能一次滚压至工件要求的曲率。一般要凭经验初步调节上辊压下量，然后再滚压，并用样板测量。然后根据测量结果，对上辊压下量进一步调节，再滚压、测量，直至达到要求为止。较薄钢板在滚弯过程中曲率过大时，可在圆筒、外圆均匀地锤击；对于厚钢板，矫正曲率比较困难，因此在滚压较厚板料时，一定要注意操作，保证质量。



(a) 直管歪扭矫正　　(b) 锥管歪扭矫正

图 6-50　滚弯件歪扭的矫正

2）用卡形样板沿圆筒内表面上、下边沿检查整个工件的曲率，对不合格处应及时修整。

3）检查半圆筒两直边是否平行（即共面）。用目测方法观察两直边是否平行，或者用如图 6-51 所示的方法检测，若两直边都与平台贴合，说明两边平行，若不能与平台贴合则需矫正。

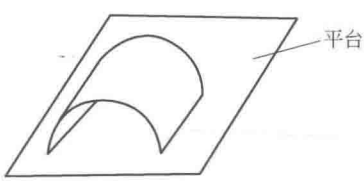


图 6-51　圆筒两边平行度检验

6.1.6.2　滚制锥面

（1）锥面滚弯工艺分析　锥面的表面直素线是汇交于一点，每条素线上各点的曲率也不相同，所以在滚弯时，滚板机上、下辊之间应有一定的倾角，尽量使轴辊的轴线与坯料的母线重合。

为使滚板机上的轴辊始终近似地压在锥面素线上，在滚弯过程中，锥面大小口的进给速度应具备有一定的差异。由于滚板机两下辊是平行的，单靠上辊倾斜，锥面大小口的进给速度达不到要求，因此在上轴辊倾斜的基础上还应采用分段滚制或减速等方法，使滚制过程中锥面大小口的进给速度达到需要的差值。

滚弯过程中要不断对锥面大小口的圆度进行测量，直到两口的圆度均符合要求。

（2）锥面的滚弯步骤和方法

1）备好锥面大小口的卡形样板、大锤、压弧锤、锥面槽头胎具等。为使工件滚弯后便于矫正，锥筒一般采用两块拼接，分别滚制。

2）根据工件厚度选用预弯方法，预弯板料两端，或者预留余量。

3）滚弯方法。

① 分段滚制法，如图 6-52 所示。滚弯前，利用锥面素线将板料分为若干小段。滚弯时将上轴辊与小段的中位素线对正压下，在小段范围内来回滚压。滚制完一段后，随即移动板料，按上述方法再滚压下一段。为使工件表面圆弧光滑过渡，两段滚压区域应相互重合。滚压过程中通过分段挪动板料补偿锥面两口进给速度差的不足。分段越多，则锥面成形越好。

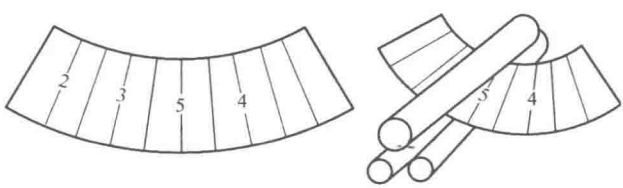


图 6-52　锥面的分段滚制

② 小口减速滚制法，如图 6-53 所示。在滚板机底座上焊制一个顶柱，顶柱上端与上辊轴平齐，或在两个辊轴外侧安置两根滚柱，这两根滚柱与上辊轴的中心线平齐。滚压时将坯料小口靠紧顶柱或滚柱，以增加小口边缘在滚弯时的摩擦力，使小口移动的速度小于大口的移动速度，从而达到滚制锥面的目的。

锥面滚弯，要先滚弯板料两端部分，再滚弯中间部分。滚弯过程中，要经常用样板检查工件大小口的圆度，以控制滚弯进程。

4）滚弯质量检查。

① 用卡形样板检查工件大、小口的圆度。

② 检查两直边是否平行。

6.1.6.3　型钢的滚弯

型钢由于断面不对称，弯曲后往往会出现扭曲现象。因此除了

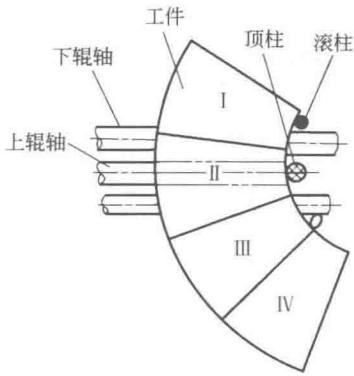


图 6-53　锥面小口减速滚制

使用专用型钢滚圆机以外，在普通滚圆机上滚压型钢需要设计一套专用模具或采取一定的工艺措施。

（1）采用钢模套滚弯　角钢外弯，需要两副钢模套分别装在两根下轴辊上，进行滚弯。如果内弯则需要在上辊安装钢模套进行滚弯。当滚弯半径较小时，可以加热滚弯。

（2）不采用钢模套滚弯　主要是保证型钢在上下辊之间的稳定性。

6.1.6.4　滚弯件的对接

滚弯后的工件大多数是封闭型的，如圆筒、角钢圈等。除了一块坯料滚制对接外，较大的工件也有两块、三块拼接的。一般锥管都是由两块或两块以上坯料拼接而成。滚弯件在对接前应对歪扭、对口不严、曲率不均匀等现象应进行修整，特别是对接焊缝处，一定要符合对接质量要求。对接缝出现间隙大、高低不平、扭曲等现象时，常采用各种拉具、顶具、夹具来装配。对接口不严、间隙大的工件，可用螺栓夹紧对正，如图 6-54(a) 所示，对齐接缝后施定位焊。对接口歪扭的工件，用斜拉杆等工具拉正，对齐接缝后施定位焊。

锥筒采用立装法装配，如图 6-55 所示。装配时，将两个半锥筒立放在平台上，使两直边对齐后施以定位焊。定位焊后对各部尺寸及接口处的圆度进行进一步检查，确定无误后进行焊接。



(a) 接缝间隙大　　(b) 接缝歪扭矫正

图 6-54　对接小型圆管接缝

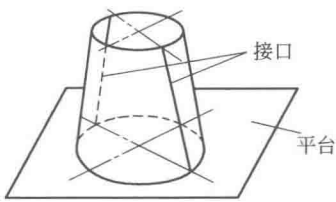


图 6-55　锥筒的装配

在实际操作中，如果滚弯工件较大，由几块料拼接而成，弯曲后一定要进行修形，部分工件为保证质量需要进行二次号料、切割。对接前要根据施工图样或工艺文件技术要求，对工件进行全面检验后再确定拼接装配。

6.2　连接装配

6.2.1　焊条电弧焊

焊条电弧焊是用手工操纵焊条进行焊接的电弧焊接方法。焊接时，将焊条与焊件之间接触短路引燃电弧，电弧的高温将焊条与焊件局部熔化，熔化了的焊芯以熔滴的形式过渡到局部熔化的焊件表面，融合一起形成熔池。药皮熔化过程中产生的气体和液态熔渣，不仅使熔池和电弧周围的空气隔绝，而且与熔融金属发生一系列冶金反应，随着电弧沿焊接方向不断移动，熔池液态金属逐步冷却结晶，形成符合要求的优质焊缝。焊条电弧焊的过程如图 6-56 所示。

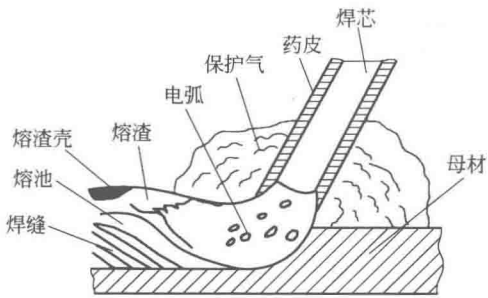


图 6-56　焊条电弧焊过程示意图

6.2.1.1　焊条电弧焊所用工具与设备

(1) 焊钳　如图 6-57 所示，是用以夹持焊条（或炭棒）并传导电流进行焊接的工具。

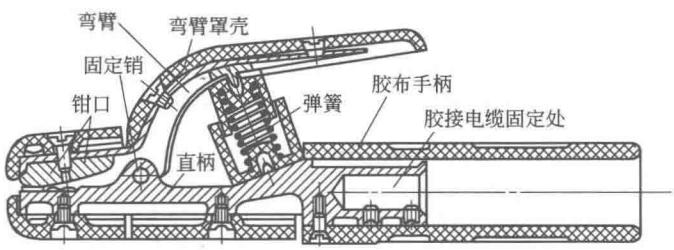


图 6-57　焊钳的结构

焊钳具有良好的绝缘性、隔热性和导电性。要求能迅速、牢固地夹持焊条和松开焊条，使用轻便。常用焊钳有 300A 和 500A 两种规格，其技术参数见表 6-26。

表 6-26　焊钳技术参数

型号	额定电流/A	焊接电缆孔径/mm	适用焊条直径/mm	质量/kg	外形尺寸(长×宽×高)/mm
G352	300	14	2～5	0.5	250×80×40
G582	500	18	4～8	0.7	290×100×45

(2) 焊接电缆　焊接电缆的作用是传导焊接电流。焊接对焊接电缆有如下要求。

1) 应由多股细纯铜丝制成，其截面应根据焊接电流和导线长度选择。

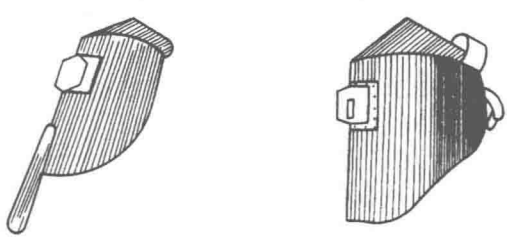
2) 电缆外皮必须完整、柔软，且绝缘性好，不可有破损。

3) 焊接电缆长度一般不宜超过 20～30m。如需超过时，可用分节导线，连接焊钳的一段用细电缆，便于操作，以减轻焊工劳动强度。

4) 焊机的电缆线应尽量使用整根的导线，中间一般不应该有连接接头。当焊接工作中确实要加长导线时，电缆线的接头应采用电缆接头连接器，其连接简便牢固。

焊接电缆型号有 YHH 型电焊橡胶套电缆和 YHHR 型电焊橡胶特软电缆。

(3) 面罩　面罩是为防止焊接时产生的飞溅、弧光及其他辐射对焊工面部及颈部损伤的一种遮蔽的工具，有手持式和头盔式两种，如图 6-58 所示。面罩上装有用以遮蔽焊接有害光线的护目玻璃。

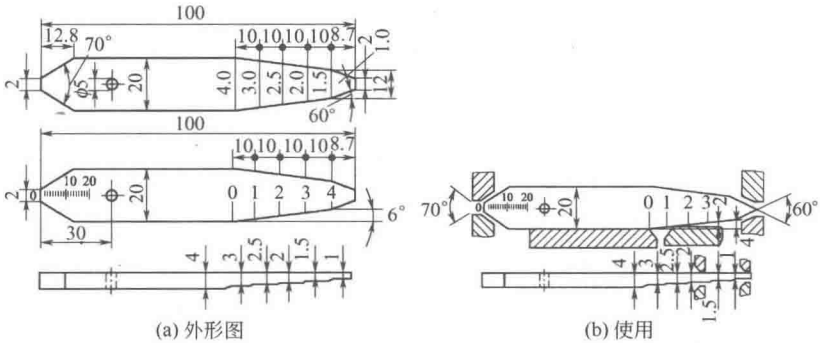


(a) 手持式　　(b) 头盔式

图 6-58　面罩

(4) 焊缝量规　焊缝量规是用以检查坡口角度和焊缝宽度、高度的一种专用量具，这种量规的结构与使用如图 6-59 所示。

(5) 焊道量规　焊道量规如图 6-60 所示，它是用来测量焊脚尺寸的量具。此种量具制作简单，只要用一块厚 1.5～2.0mm 的钢板，在角上切去一个边长为 6mm、8mm、10mm 或 12mm 的等腰三角形，并在切去的斜边两头适当地挖出两个弧形。



(a) 外形图　　(b) 使用

图 6-59　焊缝量规

焊道量规的使用方法如图 6-61 所示。(a) 说明焊道的焊角大小是 8mm，而 (b) 说明焊道的焊角大于 6mm，需 8mm 或其他角度去测量。

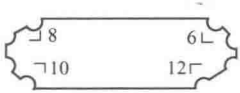
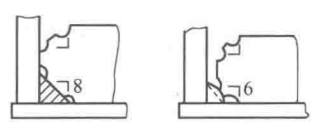


图 6-60　焊道量规



(a) 焊角为 8mm　(b) 焊角大于 6mm

图 6-61　焊道量规的使用方法

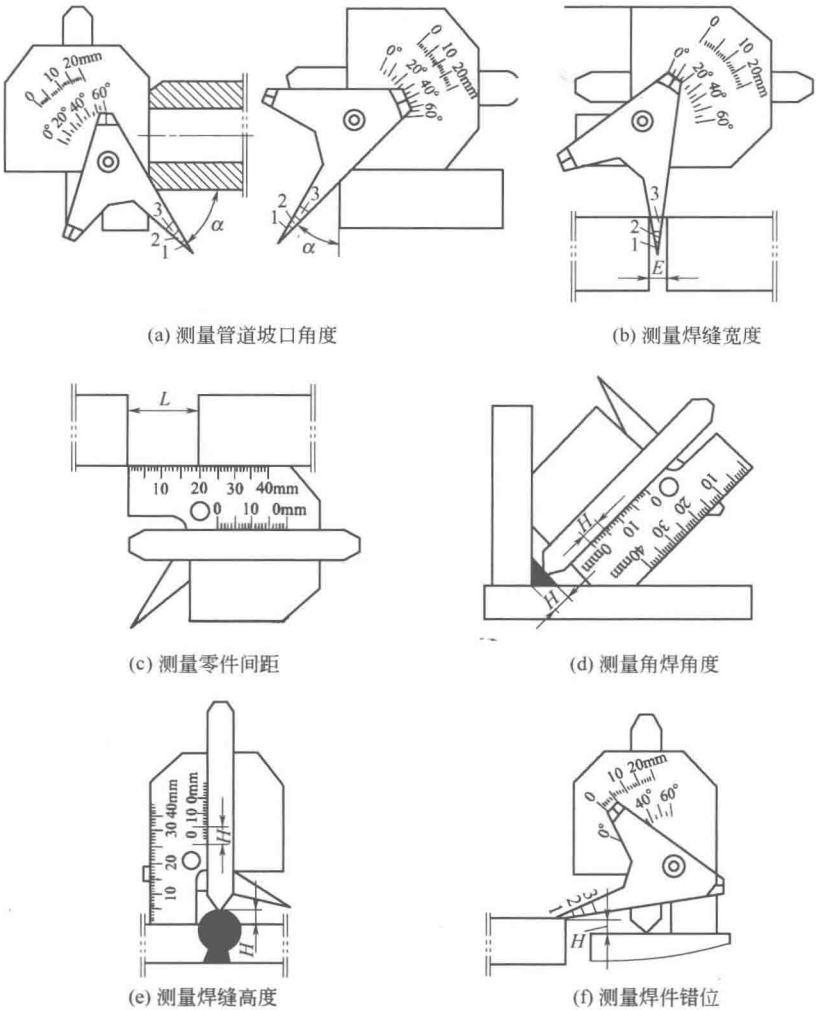
(6) 焊工万能量规　焊工万能量规是一种精密量规，用以测量焊件焊瓣的坡口角度、装配间隙、错位以及焊后对接焊缝的余高、焊缝宽度的角焊缝的焊脚等，如图 6-62 所示。

焊工万能量规的外形尺寸为 71mm×54mm×8mm，质量为 80g，使用时应注意避免磕碰划伤，不要接触腐蚀性气体、液体，保持尺面清晰，用毕放入封套内。

(7) 电弧焊机　电弧焊机是进行手工电弧焊的主要设备，它实质上是用来进行电弧放电的电源。电弧焊机按供应电流性质不同可分为直流焊机和交流焊机两大类；按结构不同又分为弧焊变压器、弧焊发电机和弧焊整流器三种类型，见表 6-27。

6.2.1.2　焊条电弧焊的基本操作

(1) 焊接工艺参数的选择



(a) 测量管道坡口角度　(b) 测量焊缝宽度

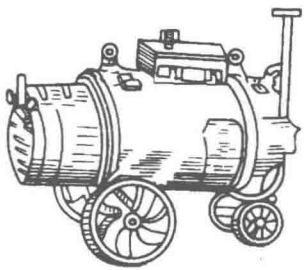
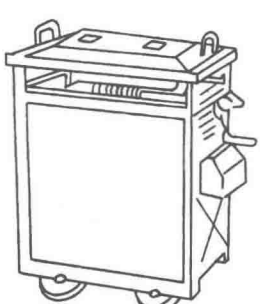
(c) 测量零件间距　(d) 测量角焊角度

(e) 测量焊缝高度　(f) 测量焊件错位

图 6-62　焊缝测量示意图

1）焊条的选择。在焊接中，最常用的焊接材料就是焊条。焊条由焊芯（金属芯）和药皮组成。焊条前端的药皮有 45°左右的倒角，以便于引弧。焊条尾部有一段裸露的焊芯，长约 10～35mm，

表 6-27　电弧焊机的分类与结构特点

分类	图示	特点说明
直流电弧焊发电机		1. 由一台交流电动机和一台直流发电机组成，电动机带动发电机而形成直流焊接电源 2. 结构复杂，造价高，易损坏且维修困难 3. 电流稳定，但运转时噪声大，且空载损耗大
交流弧焊变压器		1. 输出电流为交流电 2. 结构简单，制造方便，成本低 3. 使用可靠，维修方便
弧焊整流器		1. 噪声小，空载损耗小 2. 成本低，制造和维修方便

便于焊钳夹持和导电。焊条的长度一般在250～450mm之间，如图6-63所示。

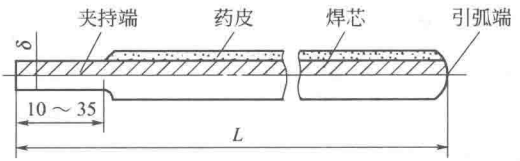


图6-63　焊条的组成

焊条直径（指焊芯直径）有2.0mm、2.5mm、3.2mm、4.0mm、5.0mm、5.8mm及6.0mm等几种规格，常用的有2.5mm、3.2mm、4.0mm、5.0mm四种。通常情况下，可根据焊件厚度来选择焊条直径，见表6-28。

表6-28　焊条直径与焊件厚度的关系

焊件厚度/mm	≤2	3～4	5～12	>12
焊条直径/mm	2	3.2	4～5	≥5

2）电源种类与极性。由于直流电弧焊时，焊接电弧正、负极上的热量不同，所以采用直流电源时有正接和反接之分，如图6-64所示。

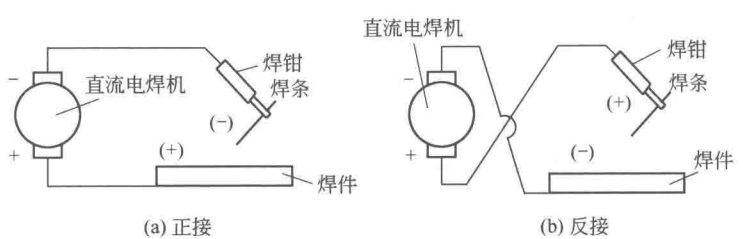


图6-64　直流电源的正接与反接

正接是指焊条接电源负极，焊件接电源正极，此时焊件获得热量多，温度高，熔池深，易焊透，适于焊接厚件；反接是指焊条接电源正极，焊件接电源负极，此时焊件获得热量少，温度低，熔池浅，不易焊透，适于焊接薄件。

3）焊接电流的选择。焊接电流的大小对焊接质量生产率有较大的影响。电流过小，电弧不稳定，易造成夹渣和未焊透等缺陷，从而降低接头的力学性能；电流过大，则会引起熔化金属的严重飞溅，甚至烧穿工件。焊接电流主要由焊条直径、焊接位置、焊条种类、焊缝层数等决定。

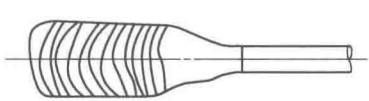
4）电弧电压的选择。焊条电弧焊电压主要由电弧长度来决定。电弧长，电弧电压高；电弧短，电弧电压低。

在焊接过程中，电弧过长，电弧燃烧不稳定飞溅增多，焊缝成形不易控制，尤其对熔化金属保护不利，有害气体侵入，还将直接影响焊缝金属的力学性能。因此，焊接时应该使用短弧（即焊条直径的 0.5～1.0 倍）。

5）焊接速度。单位时间内完成的焊缝长度称为焊接速度。焊接速度应该均匀适当，既保证焊透又要保证不烧穿，同时还要使焊缝宽度和高度符合图样设计要求。

焊接速度对焊缝成形的影响见表 6-29。

表 6-29　焊接速度对焊缝成形的影响

速度	图示	影响
太慢		焊接速度过慢，使高温停留时间增长，热影响区宽度增加，焊接接头的晶粒变粗，力学性能降低，同时变形量增大。当焊接较薄焊件时，则易烧穿
太快		速度均匀，既能保证焊透，又保证不烧穿，同时也使焊缝宽度和高度符合图样设计要求
适中		焊接速度过快，熔池温度不够，易造成未焊透、未熔合、焊缝成形不良等缺陷

6）焊接层数。当焊件较厚时，往往需要多层焊，如图 6-65 所示。

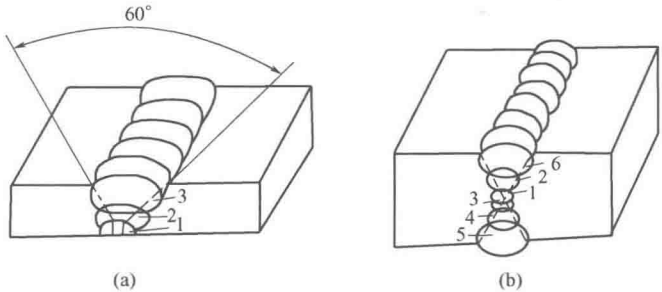


图 6-65　多层焊

① 多层焊时，后层焊道对前一层焊道重新加热和部分熔化，可以消除前者存在的偏析、夹渣及一些气孔。

② 后层焊道对前层焊道具有热处理作用，能改善焊缝的金属组织，提高焊缝的力学性能，因此，对一些重要的结构，焊接层数多些为好，但每层厚度最好不大于 5mm。

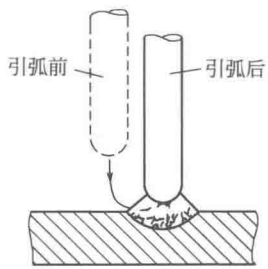
（2）基本操作技术

1）引弧。电弧开始时，在焊条末端和焊件之间建立电弧的过程称为引弧。引弧的方法包括不接触引弧和接触引弧两类。接触引弧法就是在引弧前先接通焊接电源，便电焊条端部与焊件短路，当焊条拉开时就能引燃电弧，由于操作手法的不同，常用的引弧方法有划擦法和敲击法两种，见表 6-30；不接触引弧的方法很少使用。

表 6-30　接触引弧的方法

引弧方法	图示	操作说明	特点
划擦法	引弧前　引弧后	先将焊条前端对准焊件，然后将手腕扭转一下，使焊条在焊件表面上轻微划擦一下，焊条提起 2～4mm，即在空气中产生电弧。引弧后，使电弧长度不超过焊条值	引弧方法似划火柴，易于掌握

续表

引弧方法	图示	操作说明	特点
直击法		先将焊条前端对准焊件，然后将手腕下弯，使焊条轻微碰一下焊件，再迅速将焊条提起2～4mm，即产生电弧。引弧后，手腕放平，使弧长保持在与所用焊条直径相适应的范围内	引弧时，因手腕动作不灵活，感到不易掌握

2）运条。焊接过程焊条相对焊件所做的各种操作运动总称运条。

运条包括沿焊条轴线的送进、沿焊道轴线方向的移动和横向摆动三种动作，如图 6-66 所示。

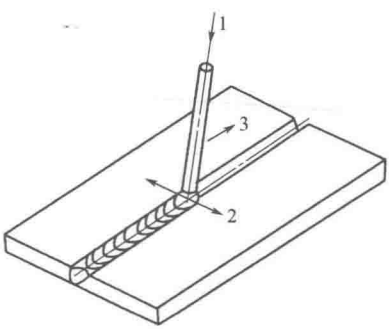


图 6-66　运条的基本动作

1—送进；2—摆动；3—纵向前移

送进是指焊条沿焊条轴线向下进行的移动。在焊接过程中，由于焊条的熔化，会使电弧变长，为了维持弧长不变，要求焊条的送进速度必须等于熔化速度，才能保证焊接过程稳定。若送进速度大于熔化速度，则弧长会越变越短，焊接电流迅速增加，电弧电压降低，就会发生短路，使电弧熄灭；若送进速度小于熔化速度，则弧长会越变越长，焊接电流会越来越小，熔化速度随之变小，使电弧

迅速变长直至熄灭。

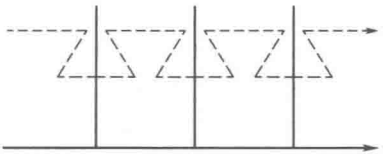
纵向前移是指焊条沿焊缝轴线方向向前的移动，使熔敷金属与熔化的母材形成焊缝。焊条前移的速度就是焊接速度，它对焊缝质量、焊接生产率有很大的影响。若焊接速度太快，电弧来不及熔化足够的焊条与母材，则焊缝很窄，或产生未焊透、熔合不良等缺陷；若焊接速度太慢，则会造成焊缝过高、过宽、外形不整齐，产生过烧或烧穿缺陷。焊接过程中必须保持焊接速度均匀，才能获得外形美观的焊道。

摆动是指焊条沿焊缝轴线的垂直方向的运动。其摆幅决定焊缝的宽度，摆幅越大，焊缝越宽。应根据焊条的直径和要求的焊缝宽度控制摆幅。焊接过程中要保持摆幅一致，才能获得宽度均匀、边缘整齐的焊缝。正常焊缝的宽度不超过焊条直径的2～5倍。

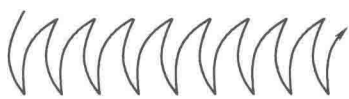
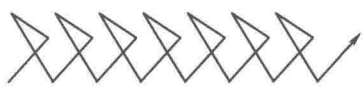
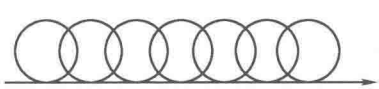
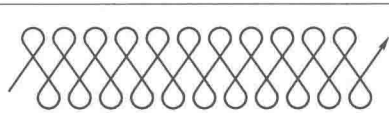
焊条的摆动主要靠的是手腕的摆动，而且焊条摆动的线速度不一定是均匀的。在打底焊时，为了保证背面成形，防止焊漏或烧穿，电弧横过间隙时的速度较快，在两侧坡口处焊条应稍作停留约0.5s，以保证边缘熔合，防止咬边。焊薄板或窄焊道时，可以不摆动。

焊接过程中，为了获得较宽的焊缝，焊条在送进和移动过程中，还要作必要的摆动。运条方法很多，常用运条方法及适用范围见表6-31。

表6-31　常用的运条方法及适用范围

运条方法	图示	适用范围
直线形		1. 厚3～5mm的I形坡口平焊 2. 多层焊打底 3. 多层焊、多道焊
直线往返形		1. 焊薄板 2. 间隙大的对接平焊或打底焊道

续表

运条方法		图示	适用范围
锯齿形			1. 对接接头的平焊、立焊等 2. 角接接头立焊
月牙形			
三角形	斜三角形		1. 角接接头仰焊 2. 对接接头开 V 形坡口横焊
	正三角形		1. 角接接头平焊、仰焊 2. 对接接头横焊
圆圈形	斜圆圈形		1. 角接接头立焊 2. 对接接头平焊
	正圆圈形		对接接头厚板平焊
八字形			

3）焊缝的起头。起头是指刚开始焊接的阶段，在一般情况下这部分焊道略高些，质量也难以保证。因为焊件未焊之前温度较低，而引弧后又不能迅速使焊件温度升高，所以起点部分的熔深较浅；对焊条来说在引弧后的 2s 内，由于焊条药皮未形成大量保护气体，最先熔化的熔滴几乎是在无保护气氛的情况下过渡到熔池中去的，这种保护不好的熔滴中有不少气体。如果这些熔滴在施焊中

得不到二次熔化，其内部气体就会残留在焊道中形成气孔。因此焊道起头时可以在引弧后稍微拉长电弧，从距离始焊点 10mm 左右处回到始焊点，如图 6-67 所示，再逐渐压低电弧，焊条做微微的摆动，达到所需的焊道宽度，然后正常焊接。

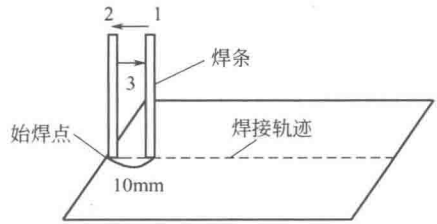


图 6-67　焊缝的起头

另外，为了减少气孔，操作中可采用跳弧焊，即电弧有规律地瞬间离开熔池，把熔滴甩掉，但焊接电弧并未中断。另一种间接方法是采用引弧板，即在焊前装配一块金属板，从这块板上开始引弧，焊后割掉，如图 6-68 所示。采用引弧板，不但保证了起头处的焊缝质量，也能使焊接接头始端获得正常尺寸的焊缝，常在焊接重要结构时应用。

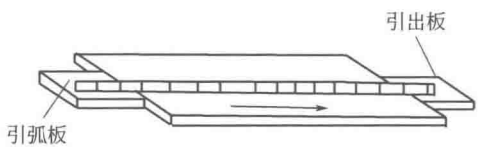


图 6-68　引弧板和引出板

4）焊缝的连接。在操作时，由于受焊条长度的限制或操作姿势的变换，一根焊条往往不可能完成一条焊道。因此，出现了焊道前后两段的连接问题。焊道的连接一般有以下几种方式，如图 6-69 所示。

5）焊缝的收尾。焊缝的收尾是指一条焊缝结束时采用的收弧方法。收尾动作不仅是熄弧，还要填满弧坑。如果收尾时即拉断电弧，会形成低于焊件表面的弧坑，另外，过深的弧坑使焊道收尾处强度减弱，并容易造成应力集中而产生弧坑裂纹。

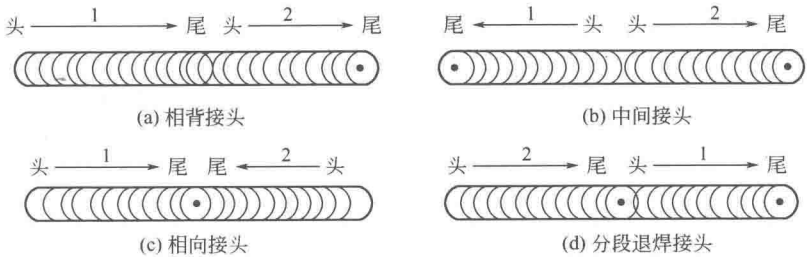


图 6-69 焊道的连接方式

1—先焊焊道；2—后焊焊道

一般收尾动作有划圈收尾法、反复断弧收尾法、回焊收尾法，见表 6-32。

表 6-32 焊缝收尾的方法

收尾的方法	图示	操作说明	适用场合
划圈法		焊条移至焊道终点时，作圆圈运动，直到填满弧坑再拉断电弧	适用于厚板焊接，对于薄板则有烧穿的危险
反复断弧法	熄弧 引弧	焊条移至焊道终点时，在弧坑上需作数次反复熄弧—引弧，直到填满弧坑为止	适用于薄板结焊接
回焊法	3 2 1 75° 75°	焊条移至焊道收尾处即停止，但不熄弧，此时适当改变焊条角度。焊条位置由 1 转到 2，待填满弧坑后再转到 3，然后慢慢拉断电弧	适用于碱性焊条焊接

6）定位焊。焊前为了固定焊件的相对位置进行的焊接操作称为定位焊，俗称点固焊。定位焊形成的短小的断续焊缝称为定位焊，也称固焊缝。定位焊缝一般比较短小，焊接过程中都不去掉，作为正式焊缝的一部分保留下来，因此，定位焊缝的质量好坏，位置、长度和高度是否合适，会直接影响正式焊缝的质量及焊件的变形。

焊接定位焊缝时，必须注意以下几点。

① 必须按照焊接工艺规定的要求焊接定位焊缝。

② 定位焊焊道不能太高，起头和收尾应圆滑，不能太陡，必须保证熔合良好，防止焊缝接头时，定位焊缝两端焊不透。

③ 定位焊缝的长度、余高、间距见表 6-33。要保证足够的强度，以减少变形。

表 6-33　定位焊缝的参考尺寸

焊件厚度/mm	定位焊缝余高/mm	定位焊缝长度/mm	定位焊缝间距/mm
≤4	<4	5～10	50～100
4～12	3～6	10～20	100～200
>12	>6	15～30	200～300

④ 定位焊缝不能焊在焊缝方向发生急剧变化的地方，也不能焊在焊缝交叉处，通常至少应距离这些位置 50mm 以上。

⑤ 应尽量避免强迫装配，以防止焊接过程中定位焊缝产生裂开现象，必要时可增加定位焊缝的长度，并减小定位焊缝间距。

⑥ 定位后必须尽快焊接，避免中途停顿或存放时间过长，使焊接区受环境污染，产生焊接缺陷。

⑦ 定位焊使用的焊接电流可比正常焊接电流大 10%～15%。

6.2.2　铆接

用铆钉将两个或两个以上的工件组成一个不可拆卸的连接，就是铆接。

6.2.2.1　铆钉及铆接工具

（1）铆钉　铆钉的各部名称如图 6-70 所示。原头是已制成的

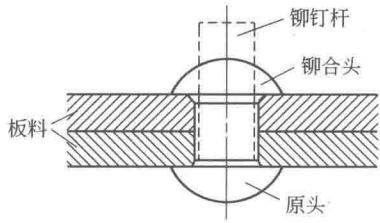


图 6-70　铆钉各部分的名称

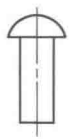
铆钉头，铆合头是铆钉杆在铆接过程中做成的第二铆钉头。

根据铆钉制造材料的不同，它可分为钢质、铜质、铝质铆钉等。按其形状分为平头、半圆头、沉头、半圆沉头、管状空心和皮带铆钉等，见表 6-34。

表 6-34　铆钉的种类和应用

名称	图示	应用
平头铆钉		铆接方便、应用广泛，常应用于一般无特殊要求的铆接中，如铁皮箱盒和其他组合件中
半圆头铆钉		应用广泛，如钢结构的屋架、起重机等
沉头铆钉		应用于框架等制品表面要求平整的地方
半圆沉头铆钉		用于有防滑要求的地方，如踏脚板等

续表

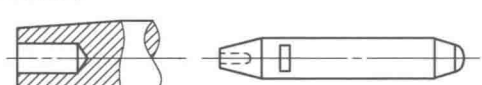
名称	图示	应用
管状空心铆钉		用于铆接处有空心要求的地方，如电器部件的铆接等
皮带铆钉		用于铆接机床制动带，以及铆接毛毡、橡胶、皮革等

铆钉的直径和被连接板的最小厚度 S' 有关，铆钉的直径一般等于板厚的 1.8 倍。当几块板铆接在一起的时候，直径至少要等于所有板的总厚度 S 的 1/4。标准铆钉及钻孔直径按表 6-35 来选取。

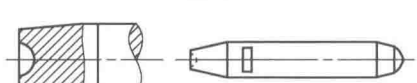
表 6-35　标准铆钉及钻孔直径　　mm

铆钉直径	2	2.5	3	4	5	6	7	8	10	12	16
孔径	2.2	2.8	3.2	4.3	5.3	6.4	7.4	8.4	11	13	17

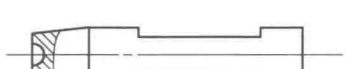
(2) 铆接工具　手工铆接工具有手锤、压紧冲头、罩模和顶模，如图 6-71 所示。



(a) 冲头



(b) 罩模



(c) 顶模

图 6-71　铆接工具

罩模用于铆接时镦出完整的铆合头；顶模用于铆接时顶住铆钉原头，这样既有利于铆接，又不损伤铆钉原头。

6.2.2.2 铆钉排列及铆接方式

（1）铆接方式　常见的铆接方式有搭接铆接、单盖板的对接铆接、双盖板的对接铆接，如图 6-72 所示。

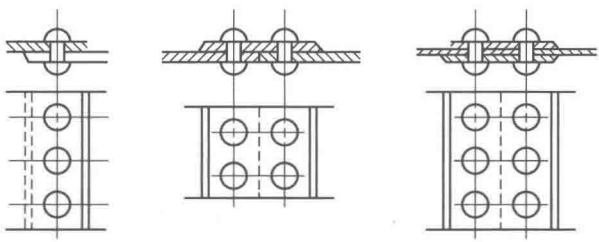


图 6-72　铆接方式

（2）铆钉的排列形式　铆钉的排列形式有单排排列、双排排列、双排棋盘式排列，如图 6-73 所示。

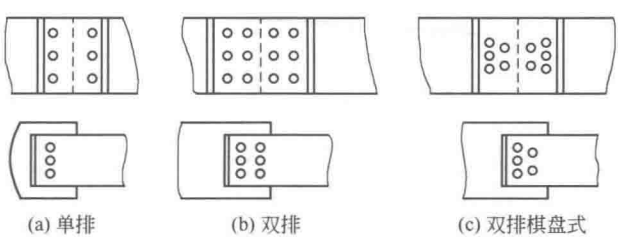


图 6-73　铆钉的排列方式

（3）铆距　铆钉之间的中心距及铆钉中心至板料边缘的距离规定如下。

1）凡单排排列，铆钉中心之间的距离应等于铆钉直径的 3 倍，而铆钉中心至铆件边缘的距离要是铆钉孔为钻孔，应为铆钉直径的 1.5 倍，要是冲孔，应为铆钉直径的 2.5 倍。

2）凡双排排列，铆钉距离应等于铆钉直径的 4 倍，而铆钉中心至铆件边缘的距离为铆钉直径的 1.5 倍。在铆钉排列之间距离应

为铆钉直径的 2 倍。

6.2.2.3 铆接的方法和应用

1）固定铆接。其方法如下。

① 试配铆接件，在铆接件上划好铆钉孔的位置。

② 确定并修整铆钉杆的长度。

③ 按铆钉直径钻出相应的铆钉孔，如果是沉头铆钉时，还要锪孔。另外，为了使铆钉头紧密地贴在工件表面上，最好在孔口处倒角。

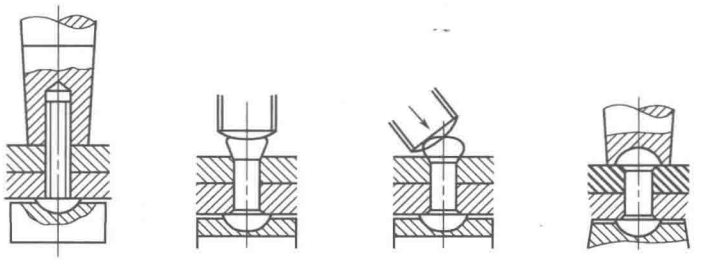
④ 把铆钉插入铆钉孔中。

⑤ 用镦紧冲头镦紧铆接件，使其压紧贴合。

⑥ 用手锤镦粗铆钉头，做出铆合头，在铆接开始时锤击力量不能太大，发防止铆钉被打弯。

⑦ 最后用罩模修整铆合头。

铆制半圆头铆合头和沉头铆合头的方法如图 6-74、图 6-75 所示。



(a) 镦紧　(b) 镦粗铆钉头　(c) 把铆钉头锤成圆形　(d) 修成铆合头

图 6-74　铆制半圆头铆合头的方法

2）活动铆接。活动铆接的形式如图 6-76 所示。

铆接时要轻轻锤击铆钉和不断扳动两块铆接件，要求铆好后仍能活动，又不松旷。在活动铆接时最好用二台形铆钉，如图 6-77 所示，大直径的一台可使一块铆接件活动，小直径的一台可铆紧另一块铆接件，这样能达到铆接后仍能活动的要求。

3）铆空心铆钉。有些工件是不能重击的，如木料、胶板、量

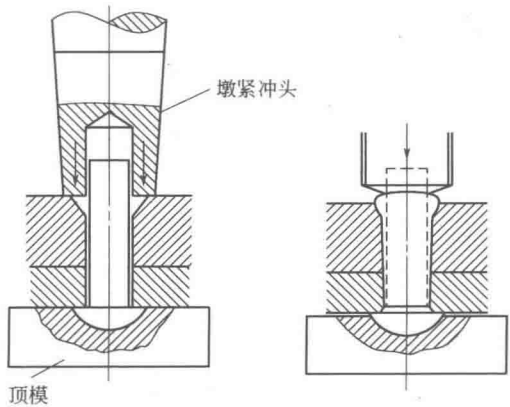


图 6-75　铆沉头铆钉的方法

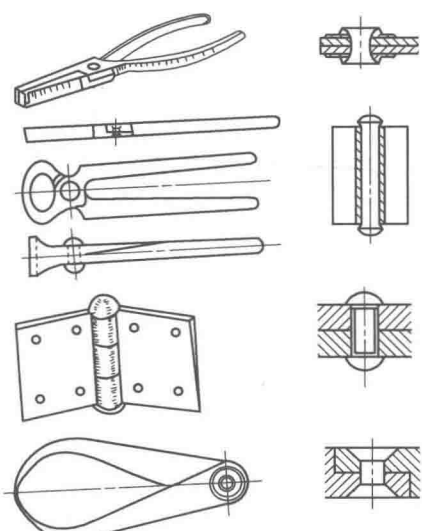


图 6-76　活动铆接的形式

具等到上面的绝热手柄，不适合使用上述两种方法进行铆接，因此，就要使用空心铆接（即翻边铆钉）进行铆接。其操作方法如下。

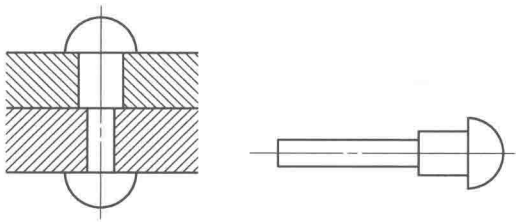


图 6-77　活动铆接

① 空心铆钉插入孔后，先用冲子将钉冲成翻边，如图 6-78(a) 所示；

② 再用钉头型冲子冲铆，如图 6-78(b) 所示。

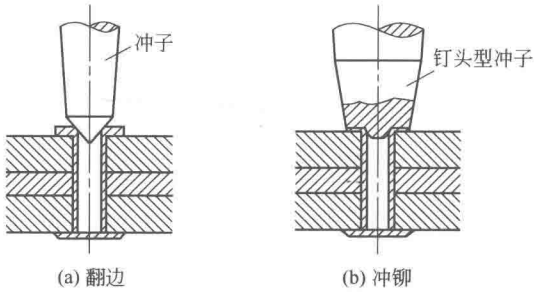
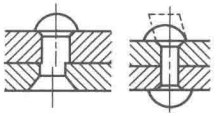


图 6-78　空心铆钉的铆接方法

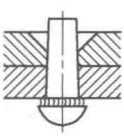
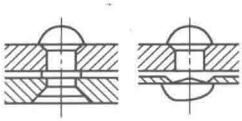
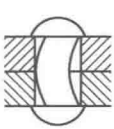
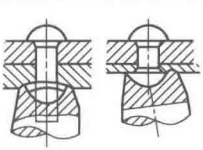
6.2.2.4　铆接的质量分析

铆接时若铆接直径、长度、通孔直径选择不适或操作不当，则会影响质量。常见的废品形式和原因见表 6-36。

表 6-36　常见废品的形式与原因

废品形式	图示	产生原因
铆合头偏歪		1. 铆钉太长 2. 铆钉歪斜，铆钉孔未对准 3. 镦粗铆合头时不垂直造成铆钉歪斜

续表

废品形式	图示	产生原因
半圆头铆合头不完整		铆钉太短
沉头孔未填满		1. 铆钉太短 2. 镦粗时锤击方向与板料不垂直
铆钉头未贴紧工件		1. 铆钉孔直径太小 2. 铆钉孔口未倒角
工件上有凹痕		1. 罩模修整时歪斜 2. 罩模直径太大 3. 铆钉太短
铆钉杆在孔内弯曲		1. 铆钉孔太大 2. 铆钉直径太小
工件之间有间隙		1. 工件板材连接面不平整 2. 压紧冲头未将板材压紧

6.2.3 螺纹连接

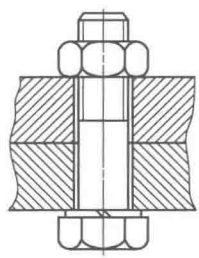
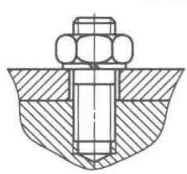
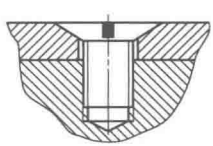
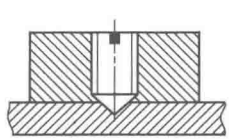
螺纹连接是以螺纹为特征的可拆连接，是钣金加工最常用的方

式之一。是利用多个螺纹紧固件的良好配合，将被连接件连接成一体。螺纹连接方便、成本低廉，广泛用于需要拆卸的钣金件的连接。

6.2.3.1 螺纹连接形式

螺纹连接的形式有四种，见表 6-37。

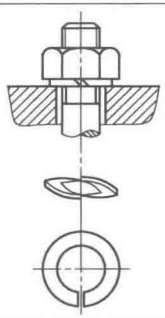
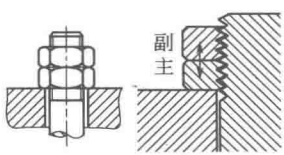
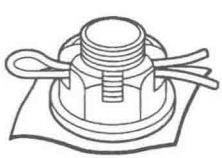
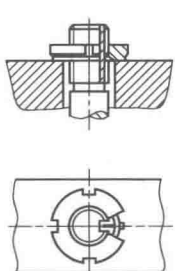
表 6-37 螺纹连接的形式

形式		图示	特点
螺栓连接	普通		螺栓孔径比螺杆径大 1～1.5mm，制孔要求不高，结构简单、装卸方便、应用最广
	配合		铰制孔用螺栓的螺杆与通孔采用过渡配合，靠螺杆受剪及接合面受挤来平衡外载荷能力和定位能力
	高强度		螺栓孔径比螺杆径大，用螺栓拧紧、接合面压，而产生摩擦力来平衡外载荷
双头螺柱连接			用于经常装拆、结构紧凑或工件较厚不宜用单头螺栓的场合。采用两端有螺纹的杆件连接件
螺钉连接			用于受力不大又不需要经常装拆的场合。螺钉直接拧入被连接件的螺纹孔中，不用螺母
紧定螺钉连接			利用拧入零件螺纹孔中的螺纹的末端顶住另一零件表面或顶入相应的凹坑，固定两个零件的相对位置，可传递不大的力或力矩

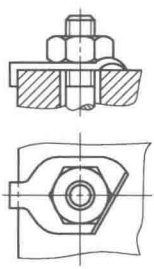
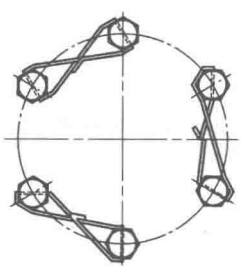
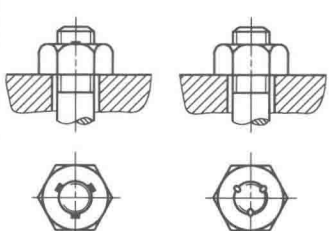
6.2.3.2 螺纹连接的防松措施

螺纹连接的防松措施见表 6-38。

表 6-38 螺纹连接的防松措施

措施		图示	说明	应用
摩擦防松	弹簧垫圈		结构简单，使用方便，但在有振动、冲击的条件下使用则防松效果差	一般用于不很重要的螺纹连接
	双螺母		利用两螺母的对顶作用受到附加拉力与摩擦力，结构简单	用于平稳、低速和重载连接
机械防松	开口销		一般在拧紧螺母后再配钻销孔	用于需承受较大冲击、振动的高速机械中连接
	外舌止动垫圈		外舌一边向上敲弯与螺母紧贴，另一边向下敲弯与被连接件贴紧，使螺母锁紧	用于较重要或受力较大的场合

续表

措施		图示	说明	应用
机械防松	六角螺母用止退垫圈		螺母拧紧后将垫片上的支耳弯贴近螺母及紧固零件	用于一些重要的连接
	金属丝		将低碳钢丝穿入螺钉头部孔内，将各螺钉串联起来，使其相互制动	用于不常装拆的连接
点焊点铆防松			利用点焊、点铆粘接的方法，会破坏螺纹副关系	用于一次永久防松的场合

6.2.3.3 螺纹连接的工艺

(1) 常用的紧固件组合　螺纹连接的外观形式包括凸头型和沉头型，紧固件包括螺栓（钉）、螺母和垫片、开口销等。凸头型连

接件的螺栓头凸出工件的表面，其头部形状有六角、双六角、圆柱、半圆和扁圆头等类型；沉头型连接件的头部以锥体形式沉入工件内，并与工件表面齐平，根据结构受力情况，其头部锥度一般有90°沉头、100°沉头两种。

(2) 螺纹紧固件的装配。

1) 核对螺栓、螺母、垫圈等紧固件牌号、规格和标记是否相符，并检查外观标记和外观质量，不应有损伤、锈蚀等缺陷。

2) 螺母安装前，应先在螺纹部分光整1～3次，自锁螺母仅光整到自锁部分前面。

3) 螺纹配合应做到用手能自由旋入，过紧会咬坏螺纹，过松则会使螺纹在受力后发生断裂。

4) 被连接件与螺栓、螺母的贴合面应平整光洁，否则容易松动。

5) 螺栓应按孔的轴线方向推入，装配具有过盈配合的螺栓，应在放正螺栓后（不允许偏斜时）用木锤轻轻打入或按照有关工艺文件规定的施工方法压入。

6) 装配后的螺栓末端露出螺母的高度应尽可能小，但不能小于一个螺距。

6.2.3.4 螺纹连接的预紧

在螺纹组连接中，为了保证每个螺栓预紧力的一致性，保证接合面压力分布均匀，应按一定顺序来拧紧螺纹，并且不要一次完成拧紧，应按顺序分两次或三次拧紧。

使螺栓之间在预紧过程中相互影响最小的拧紧顺序是最好的顺序，其规律为：从最靠近接合面形状中心的螺栓开始，根据中心或对称等基本原则，逐步从中心向外侧扩散。

螺纹组连接的拧紧顺序如图6-79所示。图中的数字代表拧紧螺栓的顺序，拆卸螺栓的顺序与装配拧紧的顺序相反。

6.2.4 装配技术

6.2.4.1 装配中零件的定位方法

装配中零件的定位方法见表6-39。

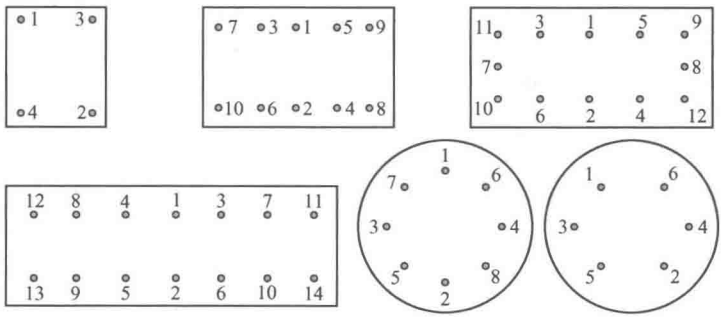


图 6-79　螺纹组连接的拧紧顺序

表 6-39　零件的定位方法

类型	图示	类型	图示
划线定位		挡铁定位	工艺上加固 挡铁
销轴定位	销轴 构件	样板定位	样板

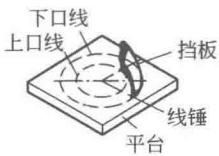
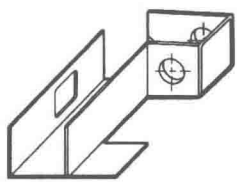
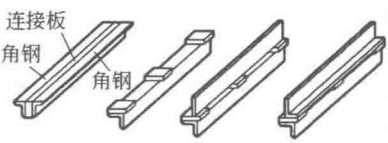
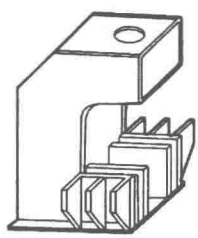
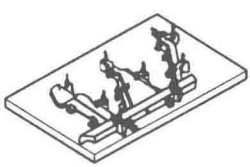
6.2.4.2　组装方法

组装方法见表 6-40。

6.2.4.3　总装工艺要点

1）对需要放样的构件划出中心线，其偏差不大于 0.5mm，并敲好样冲标示。

表 6-40　组装方法

类型	图示	类型	图示
在样组装		卧装	
仿形组装		立装	
胎具组装			

2）对尺寸要求较高的焊件，须考虑焊件的装配间隙（表6-41）和焊件的收缩量（表 6-42）。

表 6-41　一般焊件的装配间隙

焊缝种类	机加工后端面接触	角焊缝	型钢接头
装配间隙	0～1.5mm	≤2mm	≤3mm

注：1. 装配间隙超过上述尺寸，必须采取堆焊，不得在间隙中加填充物。

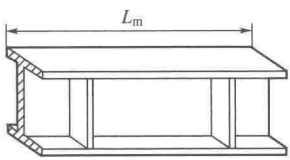
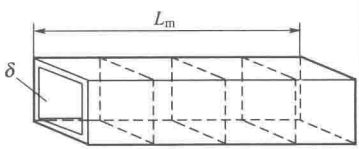
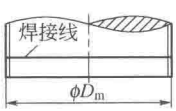
2. 角焊缝允许局部间隙为 3mm，但其长度必须小于焊缝长度的 15%。

3）装配中的零件允许修正。

4）焊接装配应考虑焊接时焊工操作的难易度，需制订出最合适的装配顺序。

5）对刚性差的构件，应适当加撑挡或支承工具等工艺加固。同时为防止运输中变形，焊后应保留刚性支（胎）架。

表 6-42　焊件收缩量

图示	焊接收缩量	适用范围
	长度方向的收缩量为(1)、(2)、(3)项的总和： (1)$L_m \times 0.3$mm/m (2)与主体焊接的加强板数量取左、右加强板数量多的数量 A 个($A \times 0.2$mm/个) (3)消除应力热处理的收缩量($L_m \times 0.1$mm/m)	适用板厚为16～40mm
	长度方向的收缩量为(1)、(2)、(3)项的总和： (1)$L_m \times 0.3$mm/m (2)与主体焊接的间隔板数 B 个($B \times 0.2$mm/个) (3)消除应力热处理的收缩量($L_m \times 0.1$mm/m)	
	圆周收缩量为(1)、(2)两项的总和： (1)$D_{m\pi} \times 0.4$mm/m (2)消除应力热处理的收缩量($D_{m\pi} \times 0.3$mm/m)	适用直径为300～500mm的筒体

第 7 章

钣金计算机辅助应用技术

7.1 三维 CAD 在钣金件设计中的应用

传统的钣金件设计是根据工程师在大脑里构思产品三维结构形体，再通过几何投影直接得到展开图，需要人工进行计算和查表。随着计算机技术和计算机图形学的发展，三维计算机辅助设计已在各个领域得到了广泛应用。三维 CAD 技术与二维 CAD 技术的根本区别是通过图形内部的有效性算法保证了图形中每条线段或图素之间关系的合理性，即三维 CAD 生成的图形是以一个零件模型的形式存在，而不是由互相无关的线条组成的图。

CAD 在其造型设计技术上可以划分为三个主要的层次：线框造型、曲面造型以及实体造型。目前市场流行的钣金设计软件在技术上基本属于实体造型技术。钣金件的设计主要有以下两种方法。

① 通过草图的拉伸、抽壳等操作，首先产生实体的零件模型，然后通过识别折弯和切口特征来转换成钣金零件。

② 直接采用钣金特征创建钣金零件模型，这种方法直接从钣金零件开始建模，一般是从最初的基体法兰特征或称为基板开始，该方法直接体现了钣金件制造的过程，是目前主流的钣金设计方式，应用较为广泛。

图 7-1 所示是这两种方法的基本流程，第二种方法中将钣金件视为某种不变厚度的板材经过折弯、拉延成形，因此在模型数据上

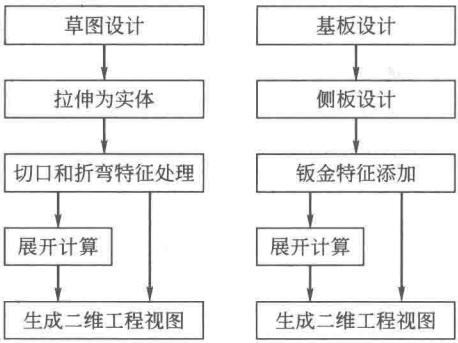


图 7-1　三维钣金件设计方法

精简了板材厚度方向上的描述，即这种方法所描述的零件模型只有两个面。模型数据紧凑，运算速度高，占用计算机资源少。同时，钣金件在制造上是通过一定形状的板材经过折弯加工或拉延等方法成形的，这种设计方法在操作上更符合其制造的方式。

三维钣金特征建模的目的是为了有效地组织产品信息，从而为计算机理解产品信息提供方法。钣金零件同其他机械零件一样，一个完整的描述不但要包括零件在几何、形状方面的信息，而且要有尺寸公差、制造精度、材料以及技术要求等方面的信息，由此可将钣金特征归纳为形状特征、精度特征、材料特征以及管理特征，如图 7-2 所示，其基本内容见表 7-1。

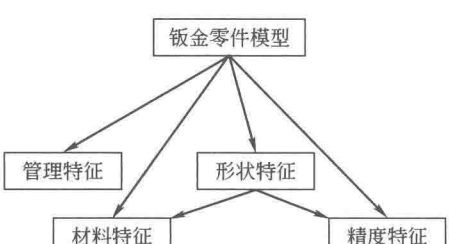


图 7-2　钣金特征的分类

这样的钣金特征分类使得钣金零件的信息更加完整、充实，在钣金件设计阶段充分考虑到在后续制造、工艺环节所必需的数据，

表 7-1　钣金特征的基本内容

特征分类	英文表示	基本内容
形状特征	Form Feature	属于公称几何的范畴，用于确定零件的全部几何信息和反映形体构造关系的高层信息
精度特征	Precision Feature	反映了公称几何尺寸所允许的偏差，包括各种公差和表面粗糙度信息
材料特征	Material Feature	反映材料的成分和状态的非几何形状信息，包括材料特性/规格、材料处理和表面处理等信息
管理特征	General Feature	指与零件管理相关的信息集合，如零件名、零件类型、设计者、设计日期等

同时为零件的管理提供了有效的数据基础，解决了传统造型只有单一几何形状特征这一问题。

上述所定义的钣金特征信息结构彼此相对独立，同时又存在联系。其中形状特征作为钣金零件描述的核心，既是其他特征赖以存在的主体，又是实现特征造型的关键。

钣金零件的形状特征可以进行细化，分为主特征、连接特征、辅助特征和复合特征。主特征反映了零件的主干构成，它可以单独存在，主要包括了基板特征、平板特征、自定义特征以及实例特征；连接特征是进行主特征连接的桥梁，它不能单独存在，一个连接特征必须依赖于两个主特征，主要包括折弯特征；辅助特征依附在主特征上，不能单独存在，一般包括孔特征、槽特征、褶边特征、自定义特征以及成形特征；复合特征作为部分辅助特征的属性，同样也不能单独存在，它以辅助特征为基础添加相应属性，主要包括线性阵列特征和圆周阵列特征，具体特征结构如图 7-3 所示。图 7-4 是形状特征的分类应用到实际的钣金零件造型的一个实例。

(1) 基板特征　这是构成钣金件的最基本特征，其余特征都是在基板特征的基础上构建的。一般软件总是默认长方形作为基板特征的基本形状，以长、宽作为形状参数；此外，为满足基板特征在形状方面的不同需求，避免特征单一化，用户可以通过自定义基面草图来控制基板特征的基面形状。单个钣金零件只存在唯一的基板特征，并且只有在基板特征定义完成后，其余形状特征的创建才会被激活。这样的设计很好地控制了钣金件在设计中的流程，减少了

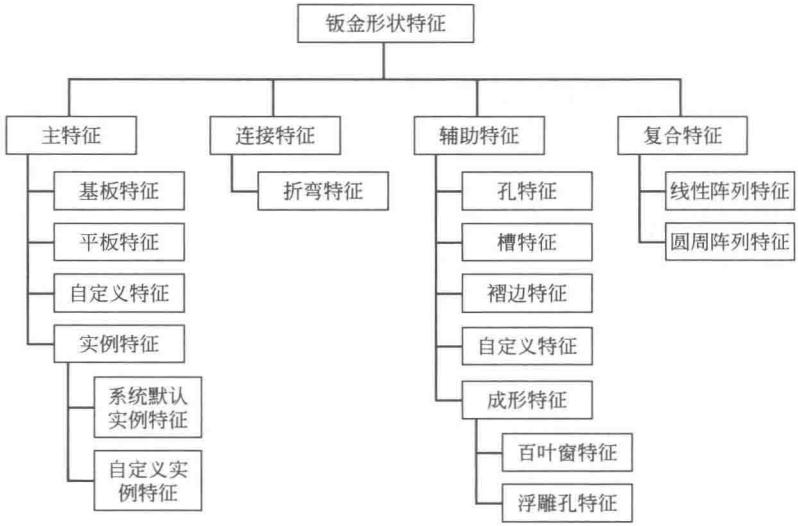


图 7-3　钣金形状特征的分类

不必要的错误，同时基板特征的创建为后续钣金件的展开提供了原基准特征。

（2）折弯特征　折弯特征要依赖于两个板特征才能存在，它是连接特征的桥梁。在折弯特征创建的过程中，用户可以进行折弯方向、折弯特征宽度、释放槽类型以及折弯角度的选择。考虑到钣金折弯特征在后续加工中的需求，系统会根据已有的数据基础，如折弯方向、零件材料、厚度、折弯机的类型、系统展开公式进行参数的智能判断，对该折弯特征的设计提出合理的解决方案，因此折弯特征中含有重要的加工工艺信息。

（3）平板特征　该特征依赖于折弯特征存在，折弯特征创建以后就要进行相应的平板特征或者实例特征的设计，否则所构造的钣金零件不符合实际制造需求。一般应用软件会智能地提示用户进行修改，创建缺少的形状特征。默认情况下的平板特征截面形状为长方形，以长、宽作为形状参数，另外用户可以自定义截面草图来修改平板特征的截面形状。

（4）实例特征　作为主特征之一的实例特征与平板特征有着相

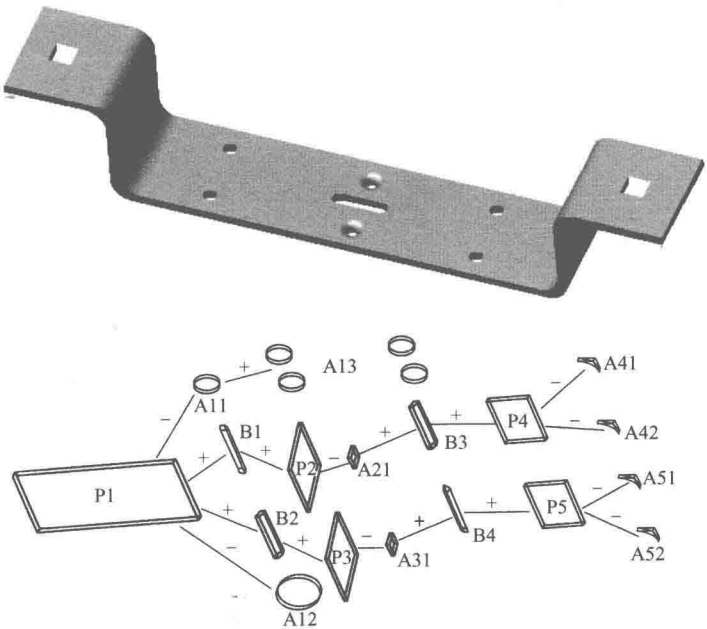


图 7-4　典型钣金零件模型及其特征分解

似的功能，它同样要依赖于折弯特征存在，实例特征的加入简化了用户的操作次数，避免了多次重复折弯特征和平板特征的创建，用户可以根据需求自定义不同的实例特征来扩充系统功能。实例特征的引入解决了创建重复特征时的繁琐操作，同时增强了软件的自动功能。

图 7-5 所示的是 SolidWorks 钣金设计特征菜单，可以看到这个特征操作已基本包含了钣金件的主要形状特征，如褶边、折弯、闭合边角、展开和折叠等。

现代 CAD 技术中，将工程常见的形状和结构归纳为一些特征，也称之为特征造型，这个技术是在三维实体造型和参数化造型技术基础上发展的，使得 CAD 在设计方式上更加接近工程的实际。

显然，通过三维 CAD 可以便捷地完成钣金件的设计，包括焊接件的设计，进行折弯计算获取钣金件所需的下料展开图。

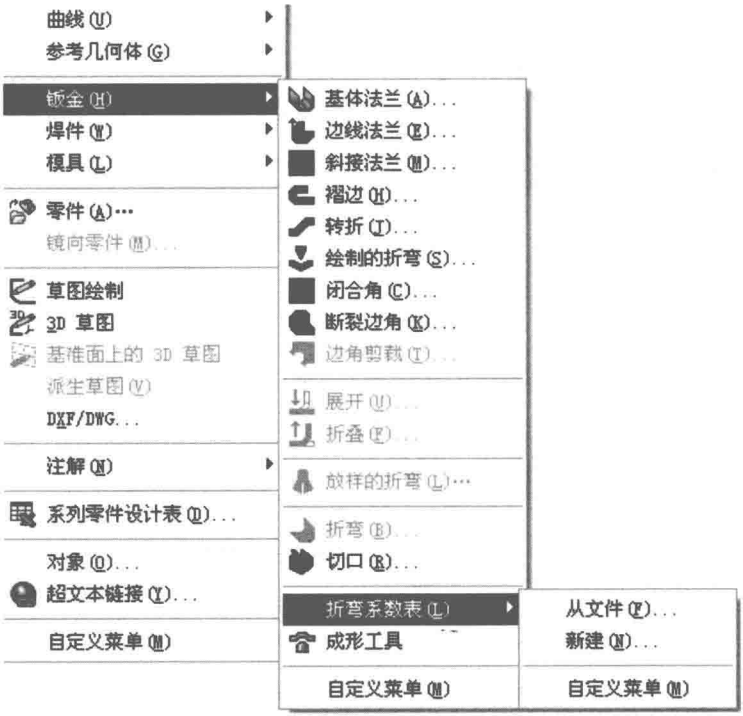


图 7-5　SolidWorks 钣金设计特征菜单

7.2　用计算机绘制展开图

7.2.1　AutoCAD2012 软件简介

7.2.1.1　AutoCAD2012 界面操作

AutoCAD2012 启动后的用户工作界面如图 7-6 所示，该界面由标题栏、下拉菜单栏、“绘图”工具栏、“修改”工具栏、状态栏、绘图区、十字光标、坐标系等组成。

(1) 标题栏　标题栏位于 AutoCAD2012 用户工作界面的顶



图 7-6　AutoCAD2012 用户工作界面

部，如图 7-7 所示，用于显示当前正在运行的文件。标题栏右端的状态控制按钮 _ □ × 分别用于最小化、最大化和关闭 AutoCAD2012 工作环境。



图 7-7　标题栏

（2）菜单栏　菜单栏位于标题栏的下侧，主要由“常用”、“网格建模”、“渲染”、“插入”、“注释”、“参数化”、“视图”、“管理”、“输出”等菜单项组成，如图 7-8 所示。



图 7-8　菜单栏

当单击任何一个菜单项时，系统都会弹出相应的基本工具，这里包含了 AutoCAD2012 几乎全部的功能命令，通过选择基本工具的任一命令选项，即可完成与该项目相对应的操作。如图 7-9 所示的“视图”基本工具。

（3）工具栏　工具栏是常用菜单命令的集合，它可以完成绝大



图 7-9 “视图”基本工具选项

部分的绘图工作。AutoCAD2012 有数种工具提示，提供用于与工具栏、对象捕捉和绘图操作进行交互式操作的弹出信息。用户可以在工具栏、菜单栏、功能区和对话框中查看工具提示。开始时会显示一个基本工具提示。如果继续悬停，则工具提示将展开以显示更多信息。可以自定义工具提示的显示和内容，如图 7-10 所示。

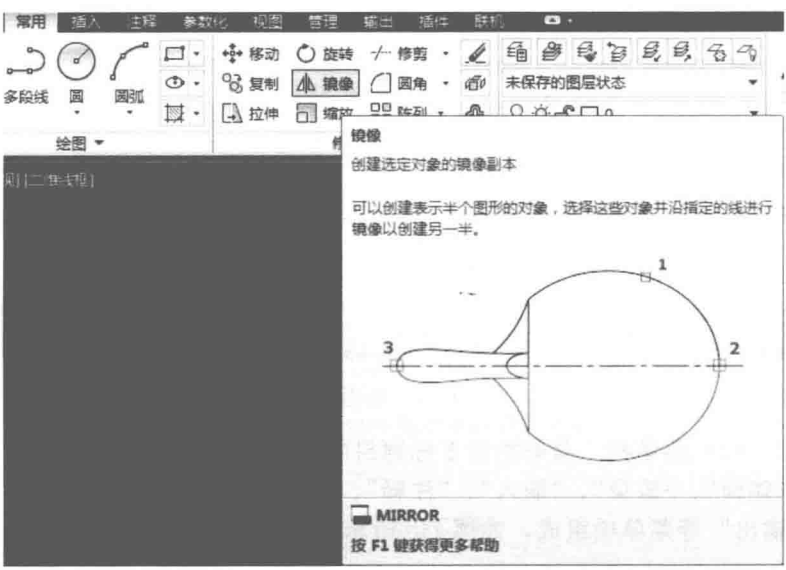


图 7-10 显示命令工具提示

(4) 状态栏 状态栏位于命令行下方，如图 7-11 所示，主要用于显示 AutoCAD2010 当前的状态。状态栏的左端用于显示当前十字光标所处的三维坐标值（即 X、Y、Z 坐标），当移动鼠标光标时，坐标也随之不断更新。

(5) 命令行 命令行位于绘图窗口下方，是用户与 AutoCAD 进行直接对话的窗口。通过命令右侧的滚动条或按下“F2”键，



图 7-11　状态栏

可打开如图 7-12 所示的 AutoCAD 文本窗口来显示与日俱增的提示信息。

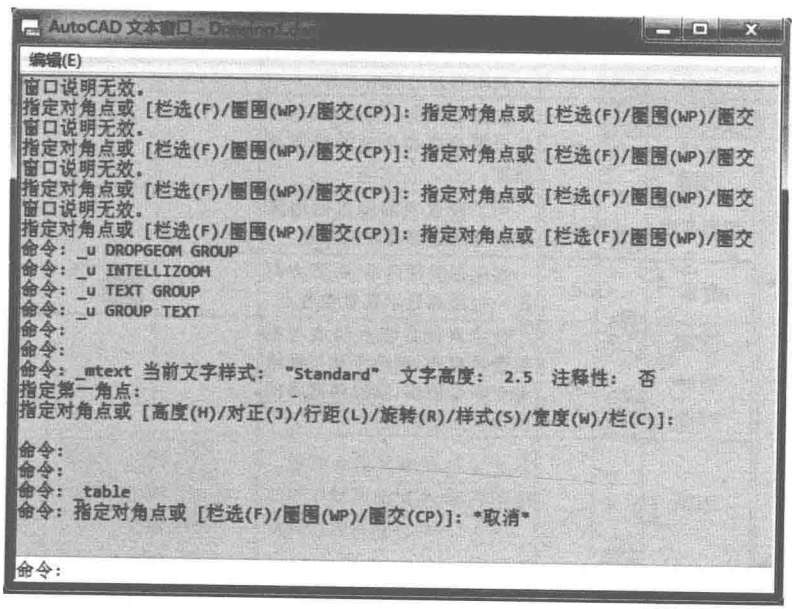


图 7-12　AutoCAD 文本窗口

(6) 绘图区　绘图区是用户绘图的工作区，它占据了 AutoCAD 工作界面的大部分屏幕空间，用户绘制的任何内容都将显示在这个区域中。

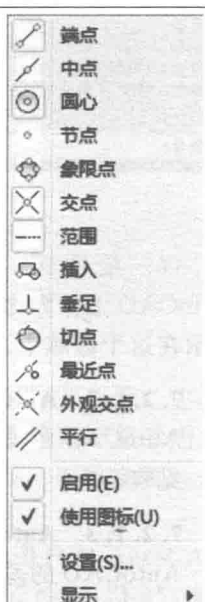
7.2.1.2　AutoCAD 的实用命令

AutoCAD 的实用命令包括文件操作命令和绘图工具命令两部分，见表 7-2。

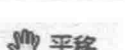
7.2.1.3　AutoCAD 的基本绘图

AutoCAD 的基本绘图工具栏如图 7-13 所示，其常用的绘图命令与操作见表 7-3。

表 7-2 AutoCAD 的实用命令

种类	命令		功能说明	图示
	中文	英文		
文件操作	新建	New	新建一个图形文件	
	打开	Open	打开一个已有的图形文件	
	保存	Save	保存当前的图形文件	
	关闭	Close	关闭当前的图形文件	
绘图工具	单位	Units	该命令列出一对话框，用户可设置长度和角度的单位及精度	
	图形界限	Limits	用于设置当前图形的边界控制和对边界界限的检查	
	栅格	Grid	在图形界限内沿 X、Y 方向按一定距离显示视觉参考点	
	捕捉	Snap	使定点设备输入的点与捕捉栅格对齐，该命令常与栅格命令联合使用，这时两栅格的间距设为相同值	
	对象捕捉	Osnap	该模式使用户在绘图时可以精确、快速地锁定图形上的相关点	

续表

种类	命令		功能说明	图示
	中文	英文		
绘图工具	正交	Ortho	该命令约束用户只能画出平行于 X 轴或 Y 轴方向的直线	
	范围	Zoom	该命令用来把屏幕上显示的图形放大或缩小，但并不改变图形的实际尺寸	
	平移	Pan	该命令用来移动当前绘图窗口中的图形	

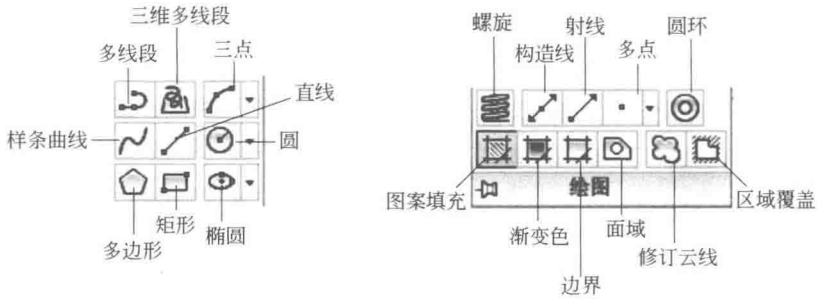


图 7-13　绘图工具

表 7-3　常用的几种绘图命令的操作

命令	说明	菜单工具选择
绘制直线	用鼠标或键盘来确定线段的起点和终点	单击 按钮
绘制点	点命令用于在指定位置绘制一个或多个点。系统允许设置点的样式和大小，悬停绘图下拉菜单 即弹出该对话框，如图 7-14 所示	单击 按钮
定数等分对象	把指定的对象等分成确定的份数，并在等分位置插入等分点	选择菜单工具，点击倒三角，在下拉菜单中选择 定数等分
绘制多边形	正多边形命令可利用正多边形上的一边、正多边形的内切圆或外接圆来绘制正多边形	选择工具 按钮

续表

命令	说明	菜单工具选择
绘制圆	圆命令可通过指定圆心和半径、圆心和直径、圆上两点等多种方式来画圆	选择菜单工具 按钮
绘制圆弧	圆弧命令可通过多种方法绘制，具体情况见表 7-4	选择菜单工具 按钮
绘制样条曲线	样条曲线命令可以用户给出的点绘制一条光滑的自由曲线	选择菜单工具单击 按钮

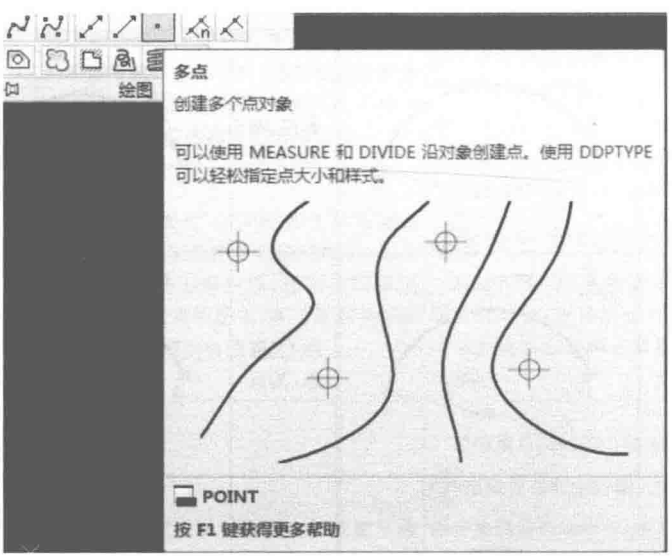
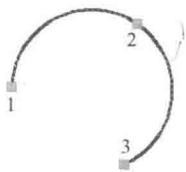
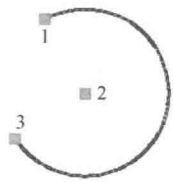
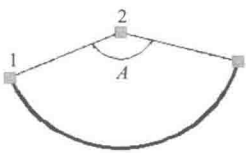
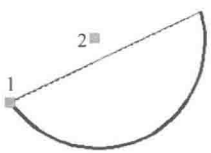
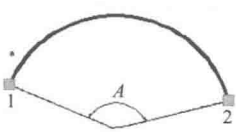
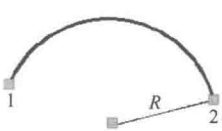
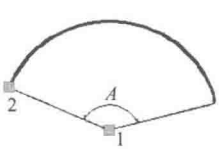
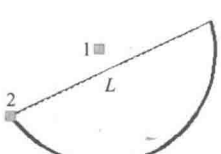


图 7-14　点样式对话框

7.2.1.4　AutoCAD 的图形编辑与修改

AutoCAD 的修改工具栏如图 7-15 所示，其常用的修改命令与操作见表 7-5。

表 7-4　圆弧的绘制方法

命令	图示	命令	图示
三点		起点、圆心、端点	
起点、圆心、角度		起点、圆心、长度	
起点、端点、角度		起点、端点、方向	
起点、端点、半径		圆心、起点、端点	
圆心、起点、角度		圆心、起点、长度	

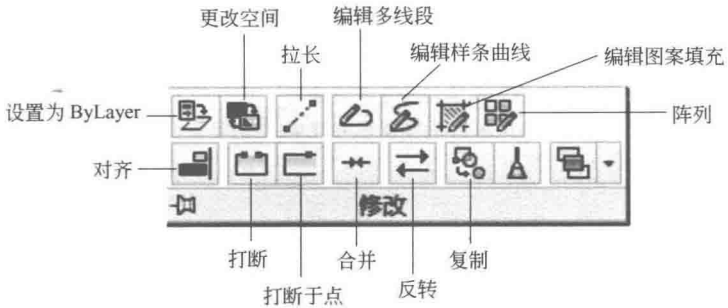


图 7-15　修改工具

表 7-5　常用的几种绘图命令的操作

命令	说明	操作
选择实体对象	当用户对图形实体进行编辑和修改时，许多命令都要求用户选择要编辑和修改的实体对象。在操作时，用户可先启动命令，再选择要编辑的对象；也可以先选择对象，然后再启动相应的编辑命令	选择实体对象可用“SELECT”命令或用鼠标在屏幕上直接操作选取，在命令行输入“SELECT”命令
删除与恢复图形	在命令行输入“OOPS”命令可恢复最后一次用 ERASE 命令删除的图形，但对前一次的删除不起作用，这时可以使用“UNDO”命令逐次回退，直至取消当初的删除操作，使图形得到恢复	选择菜单[修改]/[删除]或单击按钮或在命令行输入“ERASE”命令，系统提示选择要删除的对象，选择后按“Enter”键或单击鼠标右键即完成图形对象的删除
移动和复制图形	移动命令把图形对象由当前位置平移至指定位置；复制命令把图形对象进行一次或多次复制，源对象仍然保留，复制生成的每个对象都是独立的	选择菜单[修改]/[移动]或单击按钮或在命令行输入“MOVE”命令来启动移动命令，然后系统要求选择移动对象和确定基点位置，再指定基点移动的新位置来完成图形的移动；选择菜单[修改]/[复制]或单击按钮或在命令行输入“COPY”命令来启动复制命令

续表

命令	说明	操作
旋转图形	旋转命令把图形对象绕指定基点旋转确定的角度，角度值为正时按逆时针旋转，角度值为负时按顺时针旋转	选择菜单[修改]/[旋转]或单击按钮或在命令行输入“ROTATE”命令
镜像图形	镜像命令用于绘制图形相对于镜像线的轴对称图形，源图形可以保留，也可以删除	选择菜单[修改]/[镜像]或单击按钮或在命令行输入“MIRROR”命令
修剪图形	修剪命令用指定的剪切边界剪断图形对象	选择菜单[修改]/[修剪]或按钮或在命令行输入“TRIM”命令
打断图形	打断命令可以部分删除对象或把对象分解为两部分	选择菜单[修改]/[打断]或单击按钮或在命令行输入“BREAK”命令

7.2.1.5 AutoCAD 的文字输入与尺寸标注

一幅完整的展开工程图样，除去图形信息之外，还包含尺寸、标记、文字说明等非图形信息。下面简要介绍 AutoCAD 的文字输入与尺寸标注功能。

(1) 创建文字样式　选择菜单工具 A，会弹出如图 7-16 所示的“文字样式”对话框。



图 7-16 “文字样式”对话框

在“文字样式”对话框中，用户可以建立新的文字样式，指定样式名，修改或删除已命名的文字样式。还可以通过设置来确定文字的字体、字高和效果等属性。

(2) 输入多行文字　选择菜单工具 A，通过指定两个角点在绘图窗口中确定一个用来放置多行文字的矩形区域，同时打开如图 7-17 所示的多行文字编辑器。通过多行文字编辑器，用户可确定段落文字的某

些属性，如字体、字高、颜色、下划线等，并输入和编辑要创建的文字内容，然后按“确定”按钮，即可在所选矩形区域中生成所编辑的文字。

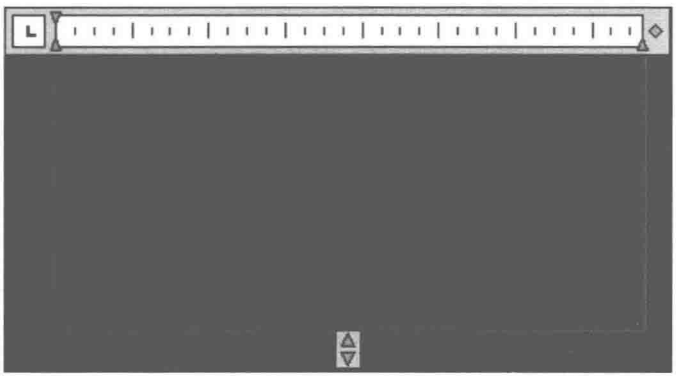


图 7-17　多行文字编辑器

（3）创建与设置尺寸标注样式　与文字样式类似，在标注尺寸前也要先创建与设置尺寸标注的样式，从而控制尺寸标注的格式和



图 7-18　标注样式管理器

外观。

选择“注释”菜单工具中的“标注”右下角箭头，可打开如图7-18所示的标注样式管理器。

如要创建一个新的标注样式，按 新建(N)... 按钮，在如图7-19所示的“创建新标注样式”对话框中输入新样式的名称，选择创建时依据的基础样式，并指定新样式的适用范围，单击“继续”按钮，便会打开如图7-20所示的“新建标注样式”对话框。

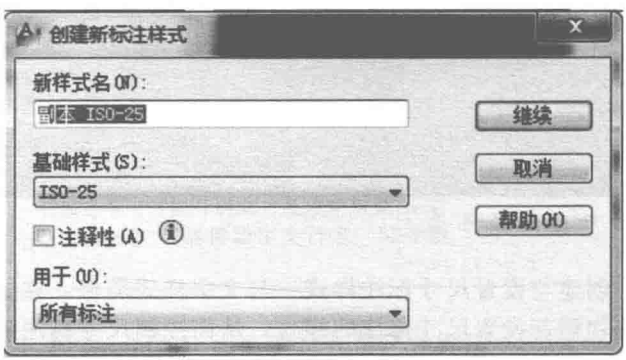


图7-19 “创建新标注样式”对话框

(4) 标注图形尺寸 AutoCAD通过标注命令为图形创建多种形式的尺寸标注，标注工具栏如图7-21所示，各种标注命令的图标均可在工具栏中找到。

7.2.1.6 颜色、线宽及线型

用户通过“特征”工具栏可以方便地设置对象的颜色、线型及线宽等信息。“特征”工具栏如图7-22所示，其中的“对象颜色”、“线宽”和“线型”为三个下拉列表，设置时可在其中选取合适的选项。

7.2.2 用AutoCAD绘制展开图

在掌握了基本的AutoCAD命令后，就可以方便、快捷地用计算机辅助绘制钣金构件的展开图了。

下面以绘制如图7-23所示斜截圆锥管的展开图为例介绍绘图过程。



图 7-20 “新建标注样式”对话框

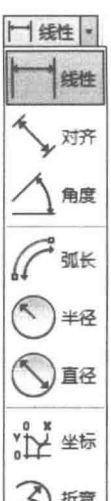


图 7-21 标注工具栏

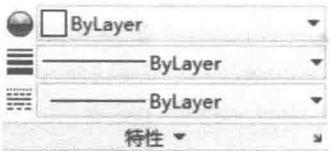


图 7-22 “特征”工具栏

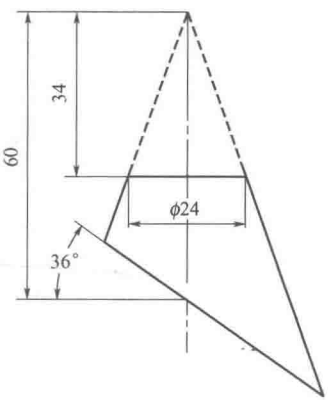


图 7-23 斜截圆锥管的放样展开图

7.2.2.1 配置绘图环境

绘图环境配置的操作步骤如图 7-24 所示。



图 7-24 绘图环境配置的操作步骤

7.2.2.2 绘制圆锥管的投影图

绘制圆锥管的投影图的操作方法和步骤见表 7-6。

7.2.2.3 求画各等分素线的实长

求画各等分素线的实长的操作方法和步骤见表 7-7。

表 7-6　绘制圆锥管投影图的操作方法和步骤

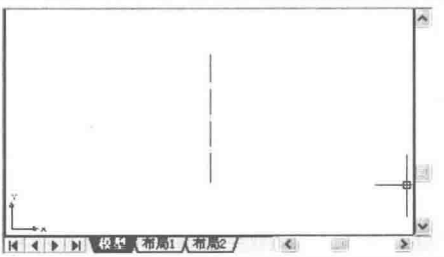
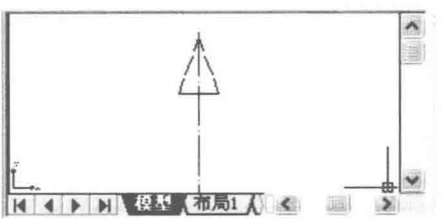
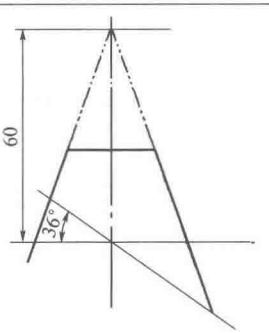
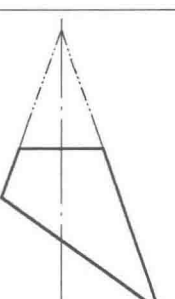
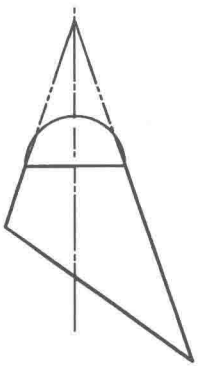
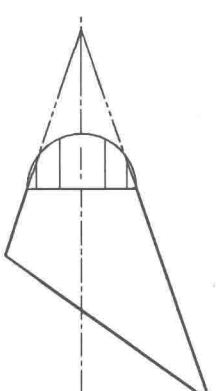
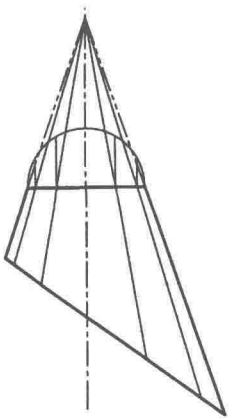
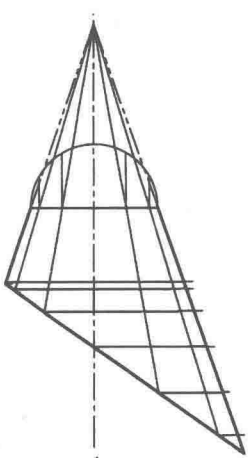
步骤	说明	图示
画轴线	选择“点画线型”，设置线宽 0.15（红色），在适当位置画出圆锥管的轴线	
画圆锥假想的上轮廓线	选择“连续型”，设置线宽 0.35（黑色），画出圆锥管的上口直线，长 24mm；再选择“双点画线型”设置线宽 0.15（黑色），由尺寸 34 画出假想的上部轮廓	
画圆锥轮廓线	选择“连续型”，设置线宽 0.35（黑色），用“直线”命令画出左、右双点画线的延长线，长度可长些，再利用 60 和 36° 画出下口斜直线，长度也可以稍长，与刚才画出的左右轮廓线相交	
修剪	利用 命令去除长出的多余线段	

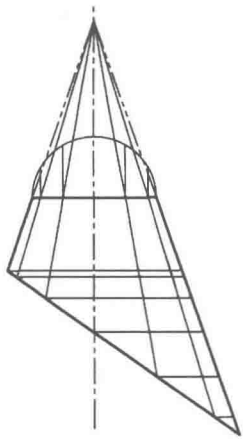
表 7-7　求画各等分素线实长的操作方法和步骤

步骤	说明	图示
画上口半圆	选择“连续型”，设置线宽 0.15（黑色），用 命令画出上口半圆	
等分圆	用“定数等分”命令把半圆作六等分，然后用 命令过相应等分点用竖直线，与上口直线相交	

续表

步骤	说明	图示
延伸	利用 命令把各等分点素线延伸至下口斜线	
画水平线	打开“正交”功能，利用 命令过各等分素线与下口斜线的交点分别作水平线	

续表

步骤	说明	图示
修剪	利用 命令去除长出的多余线段	

7.2.2.4 画出各等分素线的展开位置

其操作方法和步骤如下。

1）用 命令，以锥顶为圆心，以锥顶到上口直线右端点距离为半径画适当大小的圆弧。

2）用 命令过锥顶画直线与圆弧相交于 A 点。用 命令把圆弧从 A 点分成两段。

3）用“定距等分”命令将大圆弧等分为 12 份。

4）用 命令过锥顶画直线与圆弧等分点连接，并用 命令将其延伸至适当长度。

5）用 命令，以锥顶为圆心，分别以各素线实长为半径画圆弧。

操作完成的展形位置图如图 7-25 所示。

7.2.2.5 求各等分素线的展开长度

用 命令，以相应的展开素线和圆弧为剪切边，按要求修剪

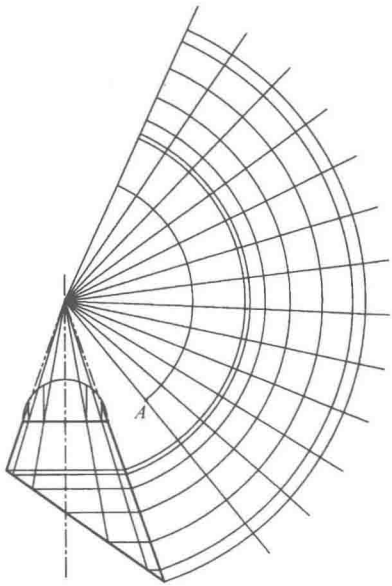


图 7-25　画各等分素线的展开位置

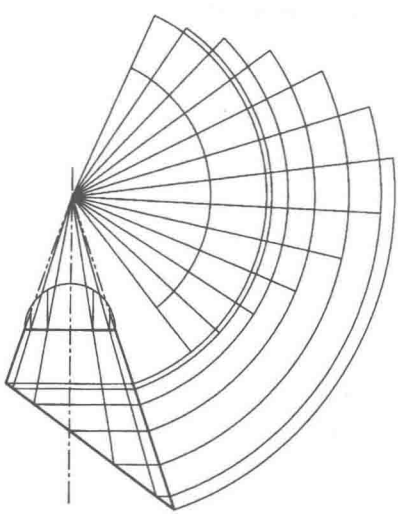


图 7-26　求出各等分素线的展开长度

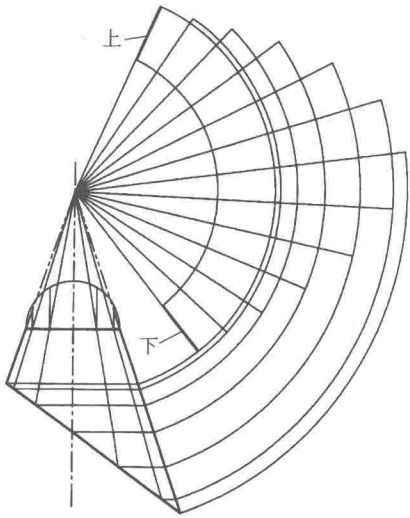


图 7-27　画上、下两端直素线

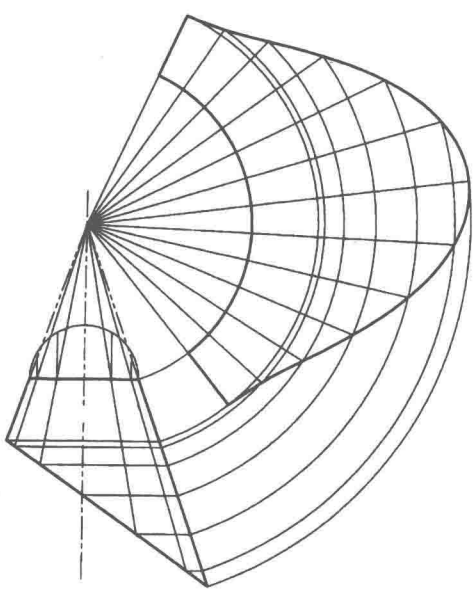


图 7-28　斜截圆锥管的展开图

掉长出的直线和圆弧，如图 7-26 所示。

7.2.2.6 完成展开图

其操作方法与步骤如下。

1）选择线宽 0.35，用 命令画出展开图的上、下两端直素线，如图 7-27 所示。

2）用 命令绘制展开图的外端曲线，完成展开图样，如图 7-28 所示。

7.3 编制计算机展开程序

7.3.1 展开数据的编程计算

计算机展开程序用 Visual Basic（简称 VB）语言编制。它简单易学，效率高，功能强。其程序代码如下：

```
Private Sub Form_Click()'过程开始
  Dim y()20 '数组定义
  a=7.5:n=32
  pi=3.1415926/180
a=a * pi
print"2bt=;a/pi;",n=";n
Print
Printer. Print"2bt=;a/pi;",n=";n
m=0:t=0
For I=0 To n/2 '数值计算与输出
  afi=I * 360 * pi/n
  If I<n/4 Then
    y(I)=Format(Cos(afi) * Tan(a/2)/2),"0.0000"
    Print Tab(t);"y(";I;")=";y(I);d";
    Printer. Print Tab(t);"y(";I;")=";y(I);d";
  Else If I= n/4 Then
```

```
    Print Tab(t);"y(";I;")=";0;
    Printer. Print Tab(t);"y(";I;")=";0;
  Else
    y(I)=Format(—(Cos(afi) * Tan(a/2)/2),"0. 0000")
    Print Tab(t);"y(";I;")=";y(I);(d-2t)";
    Printer. Print Tab(t);"y(";I;")=";y(I);(d-2t)";
  Else If
  m=m+1:t=m * 30
  If Int((I+1)/3)=(I+1)/3Then    '输出格式控制
    Print:Print
    m=0:t=0
  Else If
  Next I
  Printer. EndDoc
End Sub    '过程结束
```

Visual Basic 采用事件驱动编程机制，这样的程序称为事件程序。上面的程序代码编制在窗体事件过程 Fom _ Click 中，程序运行后，将显示一个窗体，单击窗体内的某个位置，过程的程序被调用执行。

程序变量 a 代表弯管中间节所对圆心角，n 代表中性层圆周的等分数量，afi 代表下口转角 a，这里赋予 a 的值为 7.5，n 的值为 32。在第 6 行和第 8 行，程序显示并打印 a 和 n 的值。从第 10 行至第 29 行，程序运用循环语句按公式反复 16 次计算不同 a 值时的 y 值数据，循环体中用条件语句来控制当 a 为不同值时，y 值所采用的计算形式，并把计算结果显示和打印输出。程序中的 m 和 t 是不控制输出格式而设置的变量。程序运行后，单击显示出的窗体内部，便会在窗体中显示 y 值的计算结果，如图 7-29 所示。改变程序第 3 行变量 a 和 n 的值，便会得到中间节所对不同圆心角和中性层圆周不同划分数量时的 y 值计算结果。

7.3.2 展开图绘制编程

利用高级编程语言环境或通过对绘图软件进行第二次开发，可

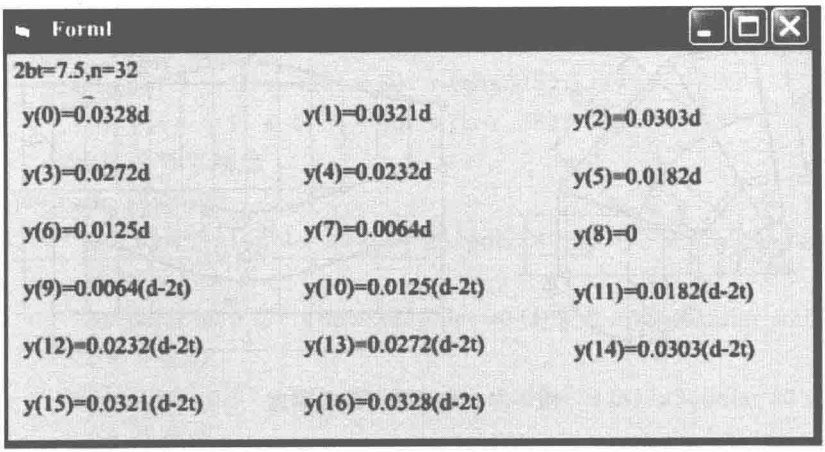


图 7-29　程序计算结果

直接画出构件的展开图。

下面以图 7-30 所示的多节任意角等径弯头为例讲解。

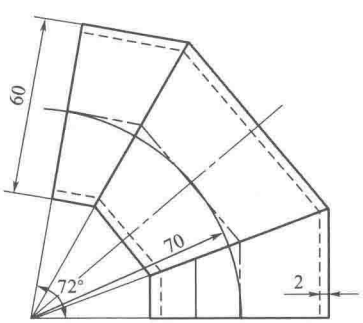


图 7-30　多节任意角等径弯头

从图 7-30 可看出，展开编程已知应用条件为：弯头管子外径 $D=60$mm，弯头角度 $B=72°$，管子壁厚 $T=2$mm，弯头半径 $R=70$mm，要求圆周等分数 $N=12$。

管子展开编程原理如图 7-31 所示。

编程如下：

```
(defun  c:zkt()
```

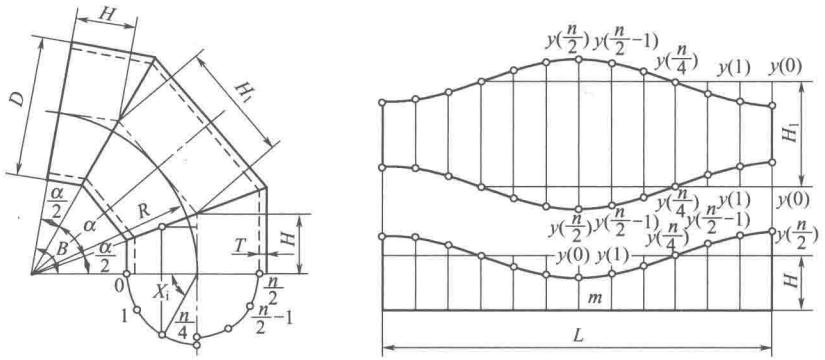


图 7-31　管子展开编程原理

```
;图形初始化
(command"ucsicon""off"
  "erase""c"(getvar"vsmin")(getvar"vsmax")"
  "limits"'(0  0)'(260  184)
  "zoom""a"
  "osnap""off"
)
;变量初始值计算
(setq bt(*0.1 pi))
(setq h(*70(/(sin bt)(cos bt))))
(setq h(*2h))
(setq n 12)
(setq m(/(*(-60 2)pi)12))
;曲线振幅值计算(Y 值)
(setq k(/pi 180))(setq t(/(sin bt)(cos bt)))
(setq af0(* 0 k)af1(* 30 k)af2(* 60 k)af3(* 90 k))
(setq af4(* 120 k)af5(* 150 k)af6(* 180 k))
(setq y0(* 0.5(*60(*(cos af0)t))))
(setq y1(* 0.5(*60(*(cos af1)t))))
(setq y2(* 0.5(*60(*(cos af2)t))))
```

```
(sretq y3 0)
(setq y4(* -1(* 0.5(*60(*(cos af4)t)))))
(setq y5(* -1(* 0.5(*60(*(cos af5)t)))))
(setq y6(* -1(* 0.5(*60(*(cos af6)t)))))
;计算端节下端点
(setq z(/pi 2)
  a0'(30 40)a1(polar a0 0 m)a2(polar a0 0(* 2 m))a3(polar
  a0 0(* 3 m))
  a4(polar a0 0 (* 4 m))a5(polar a0 0(* 5 m))a6(polar a0 0
  (* 6 m))
  a7(polar a0 0 (* 7 m))a8(polar a0 0(* 8 m))a9(polar a0 0
  (* 9 m))
  a10(polar a0 0 (* 10 m))a11(polar a0 0(* 11 m))a12
  (polar a0 0(* 12 m))
)
;计算端节上端点
(setq b0(polar a0 z(+ h y6))b1(polar a1 z(+ h y5))b2(polar
a2 z(+ h y4))
b3(polar a3 z(+ h y3))b4(polar a4 z(- h y2))b5(polar a5 z
(- h y1))
b6(polar a6 z(- h y0))b7(polar a7 z(- h y1))b8(polar a8 z
(- h y2))
b9(polar a9 z(+ h y3))b10(polar a10 z(+ h y4))b11(polar
a11 z(+ h y5))
b12(polar a12 z(+ h y6))
)
;计算中间节下端点
(setq e(+ 20 h)
c0(polar a0 z(+ e y0))c1(polar a1 z(+ e y1))c2(polar a2 z
(+ e y2))
c3(polar a3 z(+ e y3))c4(polar a4 z(- e y4))c5(polar a5 z
(- e y5))
```

```
c6(polar a6 z(- e y6))c7(polar a7 z(- e y5))c8(polar a8 z
(- e y7))
c9(polar a9 z(+ e y3))c10(polar a10 z(+ e y2))c11(polar a11
z(+ e y1))
c12(polar a12 z(+ e y0))
)
;计算中间节上端点
(setq f(+ e h1)
  d0(polar a0 z(- f y0))d1(polar a1 z(- f y1))d2(polar a2 z
  (- f y2))
  d3(polar a3 z(- f y3))d4(polar a4 z(+ f y4))d5(polar a5 z
  (+ f y5))
  d6(polar a6 z(- f y3))d7(polar a7 z(+ f y5))d8(polar a8 z
  (+ f y4))
  d9(polar a9 z(- f y3))d10(polar a10 z(- f y2))d11(polar
  a11 z(- f y1))
  d12(polar a12 z(- f y0))
)
; 画端节展开图
(setver"lwdisplay"1);显示线宽
(command" - lweight"0.3
    "line"b0 a0 a12 b12""
    "spline"b0 b1 b2 b3 b4 b5 b6 b7 b8 b9 b10 b11 b12""'(200
    71.8421)
    "- lweight"0.2
  "line"b1 a1 """"line"b2 a2""""line"b3 a3""""line"b4 a4""""line"
  b5 a5""
  "line"b6 a6 """"line"b7 a7""""line"b8 a8""""line"b9 a9""""line"b10
  a10""""line"b11 a11""
)
;画中间节展开图
(command" - lweight"0.3
```

```
    "line"c0 d0""
    "line"c120 d12""
  - "spline"c0 c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8 c9 c10 c11 c12""'
    (0 92.492)""(200 92.492)
    "spline"d0 d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9 d10 d11 d12""'
    (0 118.4486)""(200 118.486)
    "- lweight"0.2
    "line"d1 c1 """"line"d2 c2""""line"d3 c3""""line"d4 c4""""line"
    d5 c5""
    "line"d6 c6 """"line"d7 c7""""line"d8 c8""""line"d9 c9""""line"
    d10 c10""
    "line"d11 c11 ""
)
;标注尺寸
(setvar"dimasz"3)
(setvar"dimexe"2)
(setvar"dimtxt"3)
(setvar"dimtih"0)
(setvar"dimtad"1)
(setvar"dimgap"1.5)
(command"dimlinear"a0 a12'(125 30)
         "dimlinear"b3 a12'(225 55)
         "dimlinear"d3 c3'(225 105)
  )
)
```

程序编写完成后，将其保存为 .lsp 格式的文件，文件名可自行命名。然后通过选中［工具］栏的［加载活动编辑窗口］按钮或选择［工具］菜单中的［加载编辑器中的文字］选项，来装载程序，使程序代码被译为计算机能够执行的指令，这时 Visual Lisp 会在控制台窗口显示出装载成功或出错提示。如果装载成功，在 AutoCAD 命令行中输入程序自定义函数名，回车，程序即被执行，得到如图 7-32 所示的展开图。

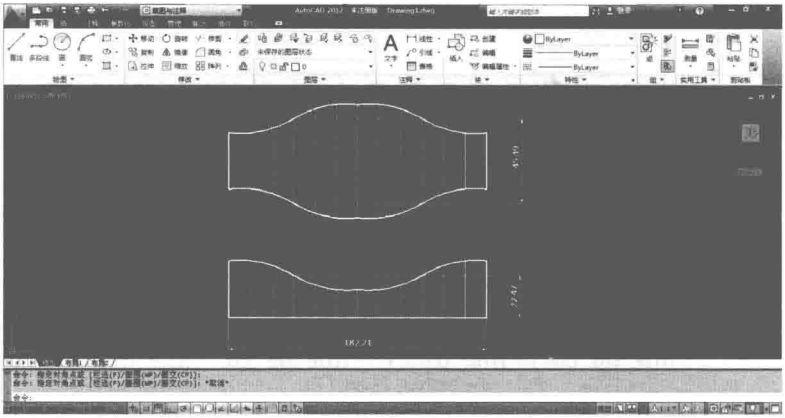


图 7-32　编程绘制展开图

7.4　计算机钣金展开系统

把展开多种钣金构件的计算机程序集成在一起，便形成了钣金展开计算机辅助系统。钣金展开系统一般具有使用方便的用户界面，较强的通用性以及参数化和可视化等特点，用户输入构件的基本条件后，系统可输出展开样板的数据信息、图形信息、物理信息等。利用这些信息可直接生成展开样板。

7.4.1　软件简介

7.4.1.1　AutoPOL For Windows 的工作界面

AutoPOL For Windows 是一款由瑞典 FCC Softire AB 公司开发的用于钣金与管道设计并展开的软件。它具有标准的 Windows 界面与操作风格，简单易用、算法高效，运动速度快。AutoPOL For Windows 的工作界面如图 7-33 所示。

(1) 标题栏　标题栏位于 AutoPOL For Windows 用户工作界面的顶部，如图 7-34 所示，用于显示当前正在运行的文件。标题栏右端的状态控制按钮  分别用于最小化、最大化和关闭

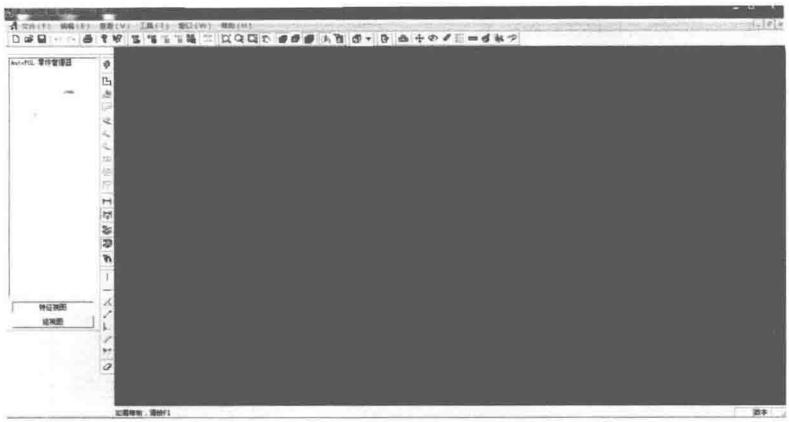


图 7-33　AutoPOL For Windows 的工作界面

AutoPOL For Windows 工作环境。

图 7-34　标题栏

(2) 菜单栏　菜单栏位于标题栏的下侧，如图 7-35 所示。当单击任何一个菜单项时，系统都会弹出相应的基本工具，通过选择基本工具的任一命令选项，即可完成与该项目相对应的操作。

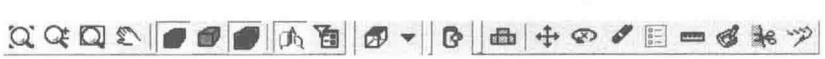


图 7-35　工具菜单栏

7.4.1.2　主要功能

(1) 自动展开 (Unfolder)　用于导入在其他 CAD 系统中建立的三维模型，并将其展开为二维平面图形。

(2) 钣金设计 (Designer)　用于建立复杂钣金零件，如拖架、箱体等的三维模型，并将其展开为二维平面图形。

(3) 管道设计 (Piper)　用于生成各种管道转换接口零件的三维模型，并将其展开为二维平面图形。

(4) 浏览器 (Viewer)　用于浏览由任何系统生成的 ipt、sat 和 pol 格式的文件。

7.4.2 软件操作简介

软件操作简介以“异径斜交圆柱管”的展开为例进行说明。

1）在 AutoPOL For Windows 主界面中点击“ ”（创建管子）工具按钮，则弹出如图 7-36 所示的构件选择图形界面。

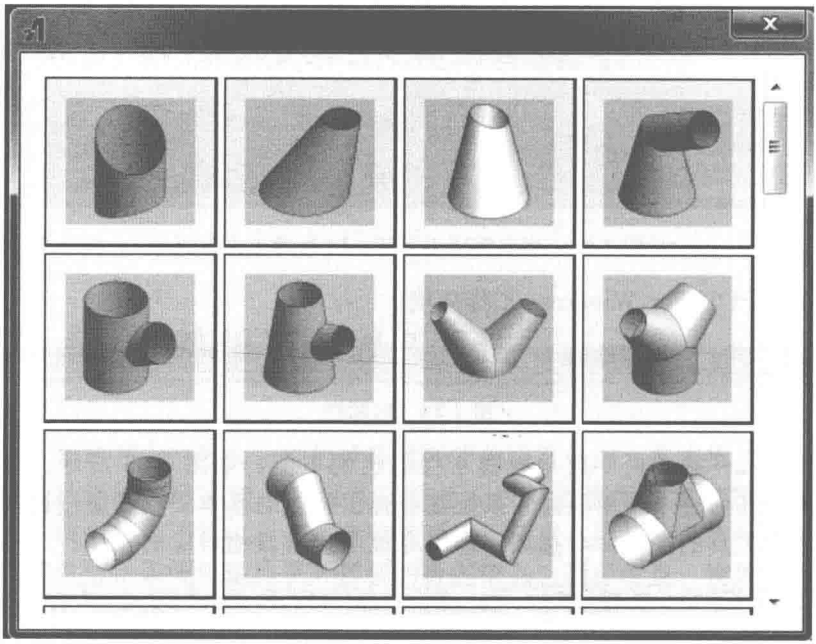


图 7-36　构件选择图形界面

2）将鼠标移至所需构件图形上，单击鼠标左键，会弹出如图 7-37 所示的尺寸输入图形界面。在该界面中，尺寸参数作为变量输入，修改数据框中的数值，即可得到该构件中不同的结构形式。

3）单击“ 确定 ”按钮，系统自动生成按用户输入尺寸确定的构件的三维模型，如图 7-38 所示。

4）单击“展开工具”工具栏“ ”（展开工具）按钮，则弹出如图 7-39 所示的“展开”对话框，用户可在其中进行相关设置。

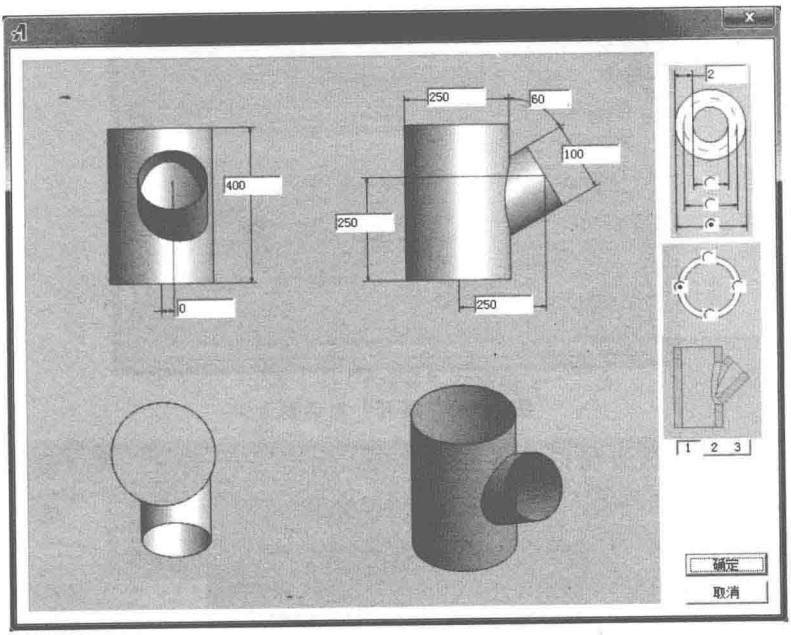


图 7-37　尺寸输入图形界面

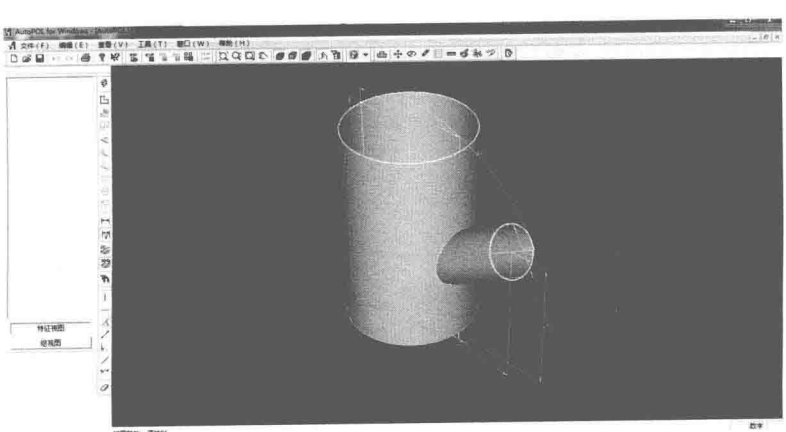


图 7-38　生成构件的三维模型

5）在如图 7-38 的界面中单击三维模型的构件表面选择要展开

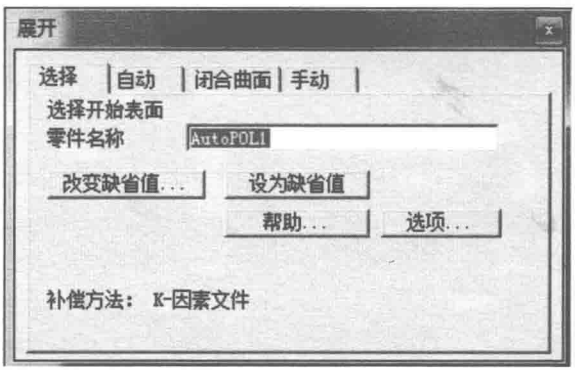


图 7-39 “展开”对话框 1

的部分，则该表面以线条分布呈现，如图 7-40 所示。且“展开”对话框将显示如图 7-41 所示的界面。

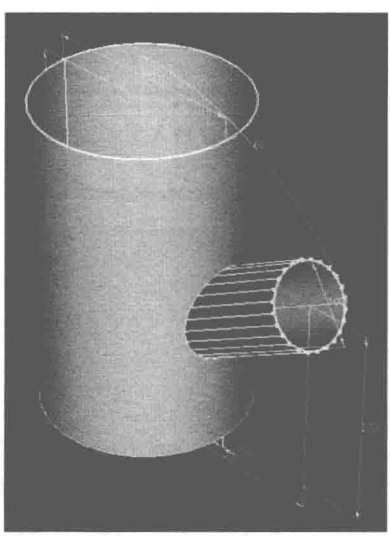


图 7-40 选择所要展开的构件表面

6）单击“ 展开 ”按钮，系统自动生成如图 7-42 所示的该表面的二维展开图形。

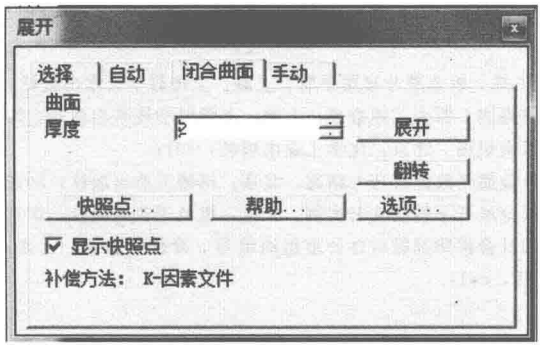


图 7-41 “展开”对话框 2

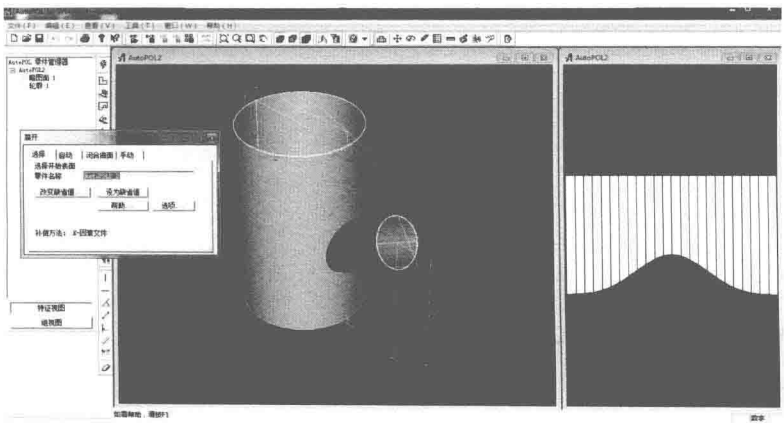


图 7-42 生成的二维展开图

参 考 文 献

[1] 李德富，王兵．钣金展开实用手册．上海：上海科学技术出版社，2011.

[2] 邱言龙，雷振国．钣金工速查表．上海：上海科学技术出版社，2013.

[3] 丁继斌．钣金识图．北京：化学工业出版社，2011.

[4] 杨玉杰．钣金展开放样技巧与精通．北京：机械工业出版社，2010.

[5] 姜文深．钣金展开下料技法与实例．北京：机械工业出版社，2012.

[6] 人力资源和社会保障部教材办公室组织编写．冷作钣金工．北京：中国劳动社会保障出版社，2011.