



21世纪高等教育规划教材（机械工程类）

标准分享网  
www.bzfxw.com

# 钣金展开与加工工艺

（第二版）

章 飞  
翟 斌

主编

杨立峰

主审



机械工业出版社  
China Machine Press

21 世纪高等教育规划教材(机械工程类)

# 钣金展开与加工工艺

(第二版)

章 飞	主 编
翟 斌	
杨立峰	副主编
杨立峰	主 审



机械工业出版社

(京)新登字 054 字

### 内 容 简 介

本书分上、下两编,上编主要学习展开工艺,下编主要讨论了钣金零件的加工方法。第 1、2 章详细阐述了钣金零件展开的基本原理,为作展开图奠定了必要的理论基础,其中包括几何作图的基本方法、放样方法、线段实长的求法、断面实形的求法、板厚处理、加工余量、任意斜截圆管的展开等;为了将上述基本原理及方法应用于生产,第 3 章列举了各种典型钣金构件的展开方法;第 4 章详细介绍了裁料的各种方法以及所用的设备,包括剪裁、冲裁、锯割及氧气切割等;第 5 章详细介绍了钣金零件的各种成形方法,包括弯曲、滚弯、翻边及手工成形等;第 6 章介绍了钣金零件的连接与装配方法,包括铆接、咬接、焊接、法兰连接、套接、卡箍连接、手工矫正以及新兴的冲压连接等;第 7 章讨论了钣金零件的综合工艺性。

21 世纪高等教育规划教材(机械工程类)

钣金展开与加工工艺(第二版)

章 飞 翟 斌 主编

杨立峰 主审

责任编辑:武 江

责任印制:郭振华

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许保证出字第 117 号)

安 徽 蚌 埠 红 旗 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092 1/16·印张 13·字数 350 千字

2007 年 3 月第 2 版·2007 年 3 月第 2 次印刷

印数:5001-8000 定价:25.00 元

ISBN 7-111-03891-6/TG·857

# 修订说明

本书是在《钣金展开与加工工艺》第一版基础上修订而成的,书中吸收了高等院校近年来“钣金展开与加工工艺”教学改革和课程建设的成果,并结合企业对冷作、钣金专业人才的知识、能力、素质的要求,在总结编者长期教学经验与实践体会的基础上修编完成。原书由章飞主编,本次修订工作由翟斌修编完成。参加修订工作的有翟斌(绪论、第6、7章)、汪显声(第1、2章)、刘永庆(第3章)、杨立峰(第4、5章),由杨立峰主审。

本次修订的原则是以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,理论知识以“必需、够用”为度,并使理论知识的传授与钣金展开与加工工艺实践相结合,内容少而精。因此,按第一版章节体例编写,分上、下两编,上编主要学习展开工艺,下编主要讨论了钣金零件的加工方法,但内容上有较大变动。第1、2章详细阐述了钣金零件展开的基本原理,为作展开图奠定了必要的理论基础,其中包括几何作图的基本方法、放样方法、线段实长的求法、断面实形的求法、板厚处理、加工余量、任意斜截圆管的展开等;为了将上述基本原理及方法应用于生产,第3章列举了各种典型钣金构件的展开方法;第4章详细介绍了裁料的各种方法以及所用的设备,包括剪裁、冲裁、锯割及氧气切割等;第5章详细介绍了钣金零件的各种成形方法,包括弯曲、滚弯、翻边及手工成形等;第6章介绍了钣金零件的连接与装配方法,包括铆接、咬接、焊接、法兰连接、套接、卡箍连接、手工矫正以及新兴的冲压连接等;第7章讨论了钣金零件的综合工艺性。

本次修订力求使本书具有以下特色:

1. 本版教材在保留原教材特色的基础上,结合生产实际又选编了一些典型的展开图案例,以增强教材的实用性。

2. 内容全面、丰富,足以解决钣金零件展开与加工中的一些常见问题;

3. 理论基础扎实,实践经验丰富;

4. 既介绍了机械化生产方法,又介绍了手工加工方法;

5. 既适合作为高等院校教材,又可作为相关技术人员业务学习参考书。

限于编者水平,书中难免存在疏漏、错误之处,恳请广大读者不吝批评指正。

21 世纪高等教育规划教材编审指导委员会

2007 年 3 月

# 目 录

## 上编 展开工艺

绪 论 .....	(3)
第 1 章 展开基础知识 .....	(5)
1.1 基本几何图形的画法 .....	(5)
1.2 制图与画法几何基础知识 .....	(20)
1.3 放样与放样图 .....	(32)
1.4 断面实形的求法 .....	(37)
1.5 结合线及其求法 .....	(41)
复习题 .....	(53)
第 2 章 展开方法 .....	(55)
2.1 板厚处理 .....	(55)
2.2 加工余量 .....	(60)
2.3 作图展开的基本方法 .....	(63)
2.4 不可展曲面的近似展开 .....	(76)
复习题 .....	(80)
第 3 章 典型构件的展开 .....	(83)
3.1 直圆管和直圆管相交构件 .....	(83)
3.2 矩形管和矩形管相交构件 .....	(89)
3.3 一般位置圆管、角钢、槽钢的展开 .....	(91)
3.4 常见结构件展开实例 .....	(94)
复习题 .....	(115)

## 下编 钣金零件加工方法

第 4 章 裁料 .....	(119)
4.1 剪裁 .....	(119)
4.2 冲裁 .....	(126)
4.3 其他裁料方法简介 .....	(136)
复习题 .....	(138)
第 5 章 成形工艺 .....	(139)
5.1 概述 .....	(139)
5.2 弯曲成形 .....	(140)

---

5.3 滚弯 .....	(144)
5.4 翻边 .....	(149)
5.5 拉深 .....	(152)
5.6 其他成形方法 .....	(156)
5.7 手工成形 .....	(158)
复习题 .....	(166)
<b>第6章 连接与装配 .....</b>	<b>(167)</b>
6.1 焊接 .....	(167)
6.2 铆接 .....	(171)
6.3 咬缝 .....	(176)
6.4 其他连接方法简介 .....	(180)
6.5 手工矫正 .....	(183)
6.6 装配 .....	(187)
复习题 .....	(189)
<b>第7章 钣金零件的综合工艺性分析 .....</b>	<b>(190)</b>
7.1 钣金零件的工艺性 .....	(190)
7.2 确定工艺方案的原则 .....	(191)
7.3 工艺规程的编制 .....	(194)
7.4 典型零部件的生产实例 .....	(196)
复习题 .....	(199)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(200)</b>

上 编  
展开工艺

# 绪 论

冷作、钣金是以成形的金属板材、管材、型材为原料通过各种加工,使之成为成品的综合加工工艺。钣金零件的加工技术在航空航天、机械、化工和汽车工业,粮、油、饲料加工机械,通风除尘和气流输送管道,以及在日常生活用品中的餐饮器皿、不锈钢水槽、餐用工作台、家用电器构件等行业应用非常广泛。金属板材、管材、型材的加工占有重要的位置。

## 1. 钣金零件的特点

利用金属的塑性变形将板材加工成需要的零件称为钣金零件。按照材料的种类,钣金零件可以分为有色钣金零件和黑色钣金零件;按照成形方式可以分为冲压钣金零件和冷作钣金零件,本书主要讨论冷作钣金零件。冷作钣金零件具有如下特点:

(1)外形尺寸大,板料、壁厚较薄。

(2)表面可展,成形方法简单。冷作钣金零件或构件绝大部分都是由简单的基本形体或基本形体相交组成的。所以,其表面是可展的,而且成形的变形方式大都是以弯曲为主,对料厚小于1 mm的板材,一般都采用手工自由弯曲或煨弯;大于1 mm的板材,一般都采用机械弯曲,对于矩形件,大都采用折弯机折弯。对于拉伸、旋压、挤压和胀形等成形方法,近年来也经常用到。

(3)精度要求低,互换性差。冷作钣金零件与其他钣金零件的重要区别之一就是精度要求较低,对于无特殊要求的零件,其尺寸公差范围都较大,如管类零件的公差,一般在 $\pm 2$  mm。由于精度低,所以冷作钣金零件的互换性较差,通用零件也就特别少。

(4)批量小,单件生产多。目前,冷作钣金零件一般还没有形成大规模的生产模式,用于输送(各类管道弯头等)和振动筛体的钣金零件,因物料的磨损而需要经常更换。所以,冷作钣金零件不仅批量小,而且单件生产也比较多。

(5)手工制作量大,技术要求高。冷作钣金零件除了筛体用自动冲裁外,用手工制作的特别多,而且手工操作技术要求高。

手工操作主要有画线(放样展开)、裁料(凸凹曲线外形)、折弯、连接(咬接)、装配等内容。

## 2. 冷作钣金零件的加工过程

冷作钣金零件的加工过程,如图1所示,一般可分为:选材、画线、裁料、成形、连接和装配等几个环节。

(1)选材就是根据零件在工作中的作用和要求,确定其材质和厚度。

(2)画线(放样展开)在板料上按施工图画出的加工界线叫做画线。划在金属板料上的线称为标记线,其他各道工序的加工就按照标记线进行。在冷作钣金零件制造中,画线工作是十分重要的,构件制造的第一道工序就是画线。画线包括放样画线、展开画线和号料画线。放样画线简称放样,放样是根据施工图,经板厚处理后画出实际图形,它不仅是作展开图的基础,而且也是作展开图的依据。展开画线简称展开,展开是根据放样图画出的实际表面展开图,它是做样板或裁料的依据。号料画线也称裁料画线,它是根据展开图或样板留出加工余量后,直接在板料上画出裁料的界线和加工界线。



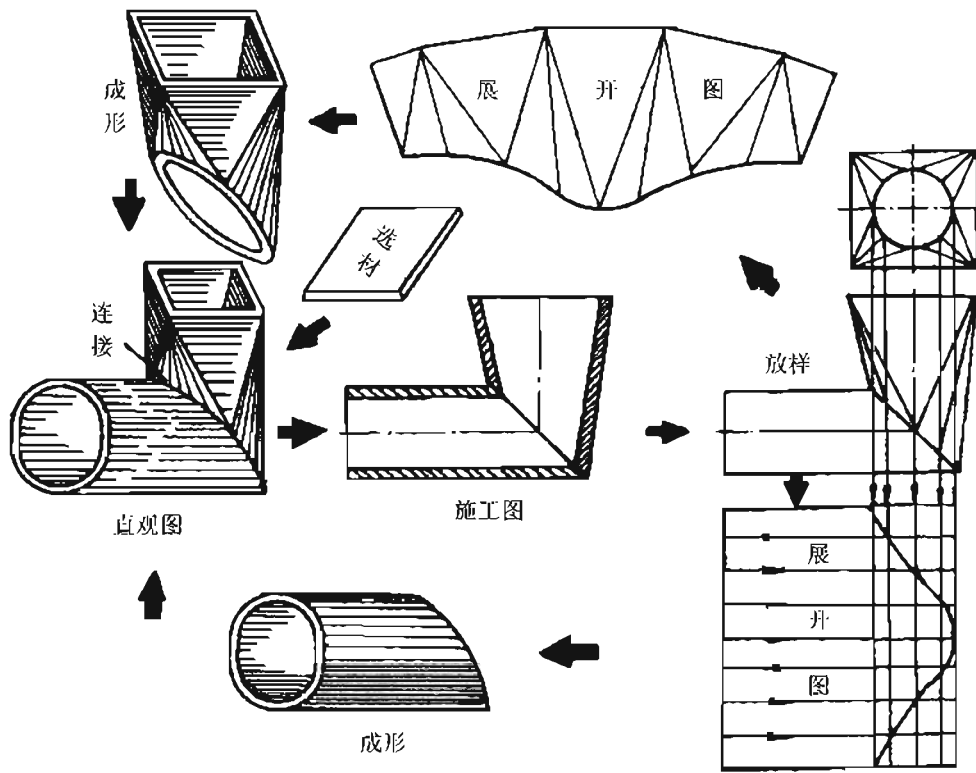


图 1 冷作钣金零件的加工过程

(3)裁料就是将所需要的零件展开外形从板料分离出来的工序。裁料方法主要有机械剪裁和手工剪裁。在冷作钣金零件中主要以手工剪裁为主,随着生产规模的不断扩大,机械剪裁和冲裁在冷作钣金零件中的应用也正越来越广泛。

(4)成形就是利用材料的塑性变形得到所需的形状的工序。钣金零件的成形方法可分为弯曲、拉深、挤压、旋压等。但在冷作钣金零件中,大都是以弯曲为主,而在弯曲成形中,滚弯、折弯用的特别多。另一方面,由于冷作钣金零件所具有的特点和企业的设备条件,目前有不少构件的成形仍然离不开手工操作。

(5)连接就是把单个成形的半成品零件,通过一定的方式连接成所需的零部件。

(6)装配就是按照一定的配合和技术要求,将零部件连接或固定起来使其成为产品的过程。冷作钣金零件常用的连接方法主要是咬接、铆接、螺栓连接、钎焊连接、套接、卡箍连接和冲压连接等。

### 3. 学习本课程的方法

本课程是一门理论和实践性都很强的专业课,因此,学习本课程时,应注意以下几点:

(1)首先要有较好的机械制图、金属工艺学和机械零件等基础知识,尤其是机械制图中的画法几何在作展开图中占有十分重要的位置。

(2)要注意培养综合运用所学知识的能力。本课程是一门综合性课程,学习本课程的过程也是综合运用所学知识的过程。

(3)要注意理论联系实际;结合生产实践,培养实际操作技能和动手能力。对展开部分的内容,要多做模型,注意理论展开与经验展开的关系,不要死搬硬套。对于加工工艺部分的内容,仅靠理论知识理解和解决生产中的问题是远远不够的,必须要掌握好基本知识和操作技能,并把它运用

---

到生产实践中去,在实践中经常总结经验,不断地提高。

# 第 1 章 展开基础知识

根据产品图纸画出展开图的过程是：首先画出零件的一个或两个视图，作出必要的辅助线或辅助面，求出构件的实际形状和各线实际长度以及构件的折弯角度等，作出下料样板，在板料上画线后转入下料工序，就完成了放样和画线的工序。而要画出图纸所示的图样，首先要学习基本几何作图的知识、图纸放样方法、相贯线的求法以及投影变换方法等。本章将结合机械制图和画法几何的知识，详细介绍以上作图内容。

## 1.1 基本几何图形的画法

根据已知条件作出所需要的几何图形即为几何作图。钣金件的形状虽然多种多样，但都是由一些基本图形构成的，熟练的基本图形绘图能力是必不可少的。下面介绍放样时常用的量具和工具以及常用图形的绘制方法和技巧。

### 1.1.1 钣金放样时常用量具和工具

#### 1. 常用量具

常用量具有直尺、卷尺和直角弯尺。

钢卷尺：如图 1-1(a)、(b) 所示，长度分为 1 m、2 m、3 m、5 m 等规格。图 1-1(d) 所示为盘尺，长度有 30 m、50 m 等。

直角弯尺：如图 1-1(c) 所示，由互相垂直的长、短两直尺组成，在尺面上标有刻度，用于画垂线或测量两制件的表面之间是否垂直。

钢直尺：如图 1-1(e) 所示，直尺也称为平尺，一般用不锈钢制成，常用 1 m 和 2 m 长的平尺。除使用平尺画直线外，常将平尺立起来弯曲后用于圆滑连接已知各点形成的曲线。直尺受热不均或一侧被重物砸击后会侧弯，要经常检查其直线度，可以用小锤轻敲一侧，使敲击处延展伸长而使其恢复直线度。

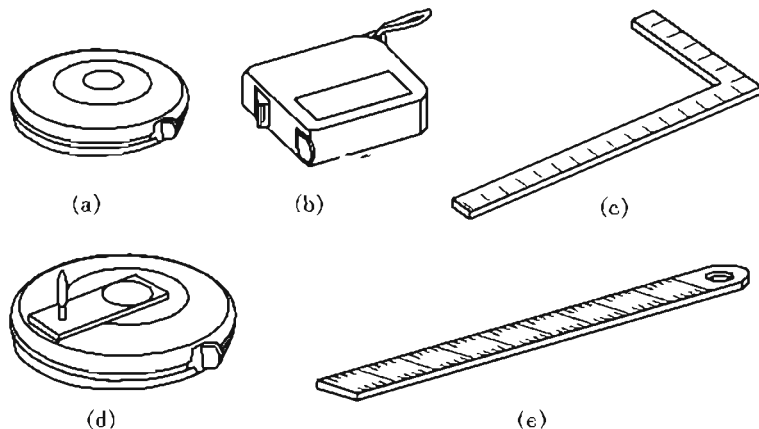


图 1-1 常用量具

## 2. 常用画线工具

常用画线工具有画规、地规、样冲、画针、手锤、粉线等。

**画规:**如图 1-2(a) 所示,画规也称圆规,用于画圆或圆弧,也可用来截取线段长度。因其规格不同,一般用于画 1 m 以下直径的圆。

**地规:**如图 1-2(b) 所示,地规的用途与画规相同,只是用于画较大半径的圆,一般由工人自制。为防止画线时画针与长杆间转动,长杆最好用方管制作。焊上螺丝钉,画针下端最好焊上硬质合金尖,以防磨损。松开锁紧螺钉,即可对两画针间距离进行调节。

**样冲:**如图 1-2(c) 所示,样冲是用工具钢制成的,可以用废钻头改制,样冲尖部磨成  $45^\circ \sim 60^\circ$  的尖角,并淬火硬化。放样时,用样冲打标记。画圆时可在圆心处打小眼以保证圆规脚的位置。在需要钻孔的位置打样冲眼使钻头容易找正。圆筒构件的筒身下料时,用其标注中心线,以备装配时找正。

**画针:**如图 1-2(d) 所示,画针一般用碳钢锻制而成,长度约 220 ~ 300 mm,直径为 3 ~ 6 mm,尖端磨成  $10^\circ \sim 20^\circ$ 。尖端最好用铜钎焊上硬质合金。磨硬质合金时,一定要轻磨,常蘸水,防止合金钢尖头磨热退火。放样时,用画针在金属坯料上画线,画针不要前后摆动,使用直尺画线时画针要向外略倾斜,并向画线前方倾斜,以防止画出弧线。

**粉线:**如图 1-2(e) 所示,粉线多用棉质细线或乐器使用的丝弦,缠在用木板或胶皮制成的粉线轴上,两人拉紧后,用粉笔在线上摩擦,对准画线位置打线。丝弦在使用前要用水煮一下,使其变软。粉线用于画大尺寸直线。用手上提时要拿正,防止打出弧线,在室外打线要注意风向。

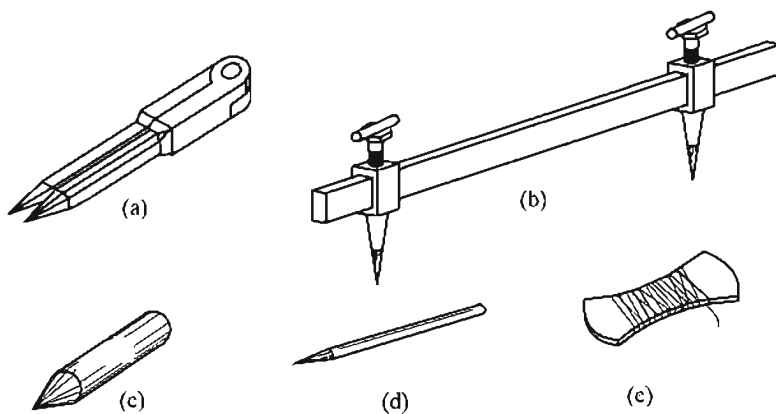


图 1-2 常用画线工具

### 1.1.2 平行线、垂直线、等分线的作法

#### 1. 直线

在批量生产时,常制作供长期使用的下料样板,用硬纸板、0.5 mm 厚铁板或镀锌板制成。在纸板上画线用 1 m 或 2 m 不锈钢平尺和铅笔画线,在铁板上用平尺和画针画线。在钢板放样平台或木制放样地板上,常用粉线打出直线,需要长期保留的线条可以用铅油代替粉笔打线,不同构件可以用不同颜色的铅油打出以示区别。

#### 2. 检验已知两直角边的垂直度

检验两直角边是否垂直的方法很多,依情况不同和个人习惯而不同,介绍如下:

(1) 勾三股四弦五法。由勾股定理知：在直角三角形中，两直角边的平方和等于斜边的平方。当量得两直角边分别为 300 mm、400 mm、斜边为 500 mm（或其倍数）时，是直角三角形。常用于检查钢板的两个边是否垂直。

(2) 利用勾股定理。量取两直角边分别为 1 000 mm 时，斜边应为 1 414. 2 mm。当两直角边均为 500 mm 时，斜边应为 707. 1 mm 等。

(3) 对角线长相等法。当确定矩形四边长相等时，对角线长度应相等。

(4) 直角尺检查法。当直角边长较短，构件尺寸较小时，可以用直角弯尺直接检查。

### 3. 平行线的画法

画平行线时主要是要保证平行精度，量取两平行线间尺寸时，为防止量斜而产生误差，在量宽度尺寸时加一直角尺控制方向或用圆规、地规画出，如图 1-3 所示。

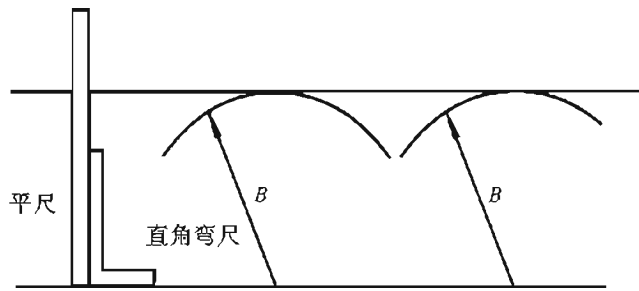


图 1-3 画平行线的方法

### 4. 直角的画法

(1) 根据半圆上的圆周角是直角的道理。如图 1-4(a) 所示，先打出一条基准线 1—4，再任打一条斜线 1—2；如图 1-4(b) 所示，取适当长度作为  $r$ ，量得等长 1—3、3—2、3—4；如图 1-4(c) 所示，连接 2—4， $\angle 142$  即为直角。其中 1—3、3—2、3—4 可以看成是圆的三个半径。

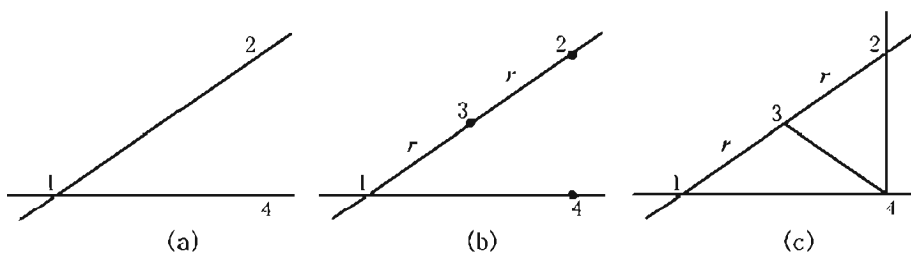


图 1-4 直角的画法

(2) 垂直平分线法。如图 1-5 所示，任意画一条直线 1—2，以 1 和 2 为圆心，以任意长度为半径画弧，交出 3 和 4，则 3—4 即为 1—2 的垂直平分线，即两线垂直。零件尺寸越大，量取的线段应该越长。

(3) 活用的垂直平分线法。如图 1-6 所示，画两平行线的垂直线时，用卷尺量得两平行线间中点 5，再量得等长 5—6 和 5—7，连接 6—7 即为垂直线。此种方法的优点是板面上的线条较少。

(4) 对角线法。如图 1-7 所示，先画出平行线 1—2 和 3—4，适当长度量得 1—7 和 2—6 等长，再量出 3—7 等于 1—2，即图上  $a$ ，再平分 3—6，得到点 5，1—5 即为垂直线，平行于 1—5 画出 2—4。此方法只适用于钢板较平的情况。

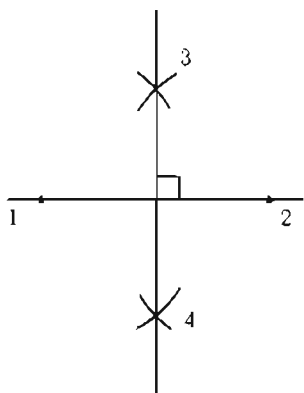


图 1-5 垂直平分线画法

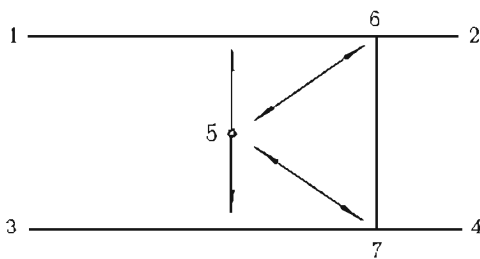


图 1-6 不画辅助线直接画两平行线的垂线

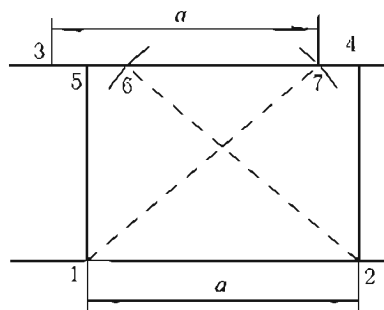


图 1-7 对角线法画垂线

### 5. 线段的平分法

(1) 用圆规等分法。对平分线段的精度要求不高时,可以用圆规直接等分。超出或不足部分再分出相应等分。

(2) 用平行线平分线段。相对于用圆规平分线段,此种方法求线段的等分点精度比较高,如图 1-8 所示,要平分线段 1—2。先过 1 作一任意直线,倾斜角应小一点,取适当长度作为单位长,量取所需等长份数,再过各点作 2—3 的平行线,得各等分点。

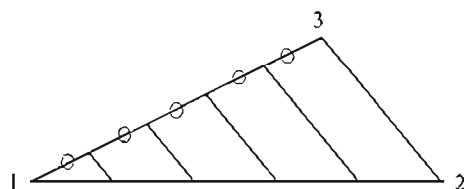


图 1-8 平行线平分比例线段

### 6. 弧线等分法

(1) 用量角器等分圆弧。当圆的半径不大时,用量角器等分圆周角,即等分了圆弧。

(2) 用垂直平分弦的方法两等分圆弧。如图 1-9 所示,以 1 和 2 为顶点作其垂直平分线,也即平分了圆弧。

(3) 用圆规试等分圆弧。在等分精度要求不高时,可以用圆规试等分,方法同等分线段。

(4) 计算弦长方法等分圆弧。用已知条件计算出每段弧长所对应的弦长而等分圆弧。

例如三等分圆弧,如图 1-10 所示,已知弧长 1—4 所对的圆心角  $37^\circ$ ,圆弧半径是 200 mm,要三等分圆弧,即要求出三分之一弧长所对应的弦长 3—4。 $\angle 3O4$  为  $37^\circ \div 3 = 12.33^\circ$ , $\angle A04$  为  $37^\circ \div 6 = 6.167^\circ$ 。在三角形  $A04$  中,由于

$$\frac{A-4}{4-O} = \sin 6.167^\circ$$

所以,  $A-4$  长度为:  $A-4 = 200 \times \sin 6.167^\circ = 21.49 \text{ mm}$ , 即弦长  $3-4 = 2 \times 21.49 = 42.98 \text{ mm}$ 。

### 7. 任意角度作法

当半径为 57.3 mm 时,  $\pi \times 57.3 = 180.0132591$ , 即 1 mm 弧长对应的圆心角为  $1^\circ$ 。当半径为 573 mm 时, 10 mm 弧长对应  $1^\circ$ , 量取对应弧长即可以得到相应的角度。也可以根据三角函数值画任意角度。例如: 画  $23^\circ$  角, 因为  $\tan 23^\circ = 0.424474816$ , 则对边为 424.47 mm 时, 邻边为 1000 mm。连接斜边即求出  $23^\circ$  角, 如图 1-11 所示。

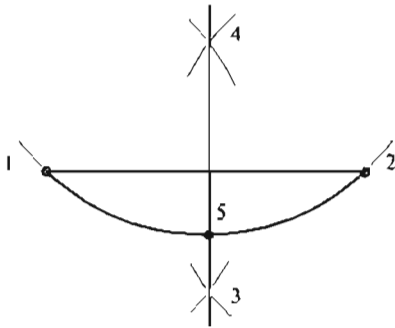


图 1-9 垂直平分弦法平分圆弧

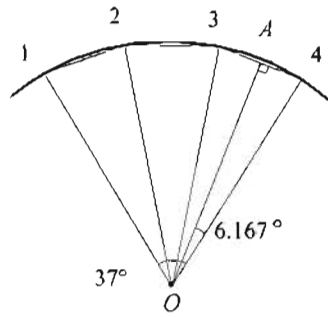


图 1-10 计算弦长法等分圆弧

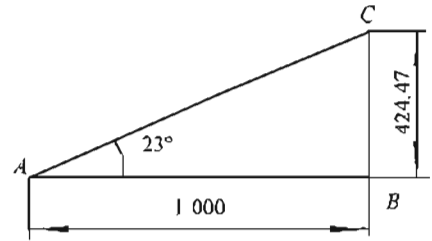


图 1-11 利用三角函数作任意角度

### 1.1.3 等分圆周

#### 1. 等分圆心角法等分圆周长

由于圆的圆心角为  $360^\circ$ ，画圆的内接正多边形时，可以计算出每个边所对的圆心角。例如，画圆的内接正五边形：由  $360^\circ/5 = 72^\circ$ ，则  $72^\circ$  角所对应的弧长为圆周长的  $1/5$ ，连接等分点即成五边形。因此，正  $n$  边形的一个边所对的圆心角为： $360^\circ/n$ 。

#### 2. 用三角函数计算圆内接正多边形的边长

如图 1-12 所示，假设要画圆内接正  $n$  边形，则图示角  $\alpha = 360^\circ/2n$ ，设边长的一半为  $a$ ，则  $a/r = \sin \alpha$ ， $a = r \sin \alpha$ 。

例如，已知圆的半径为 500 mm，求圆的内接正七边形的边长。边长  $2a = 2r \times \sin[360^\circ/(2 \times 7)] = 2 \times 250 \times \sin 25.71^\circ = 216.94$  mm。所以，圆内接正  $n$  边形的边长计算公式为：边长  $2a = 2r \sin(360^\circ/2n)$ ，即

$$P = D \sin(180^\circ/n)$$

式中， $P$  为正  $n$  边形边长； $D$  为圆的直径； $n$  为正多边形边数。

#### 3. 查系数表求圆内接正多边形的边长

将上式中的  $\sin(180^\circ/n)$  数值依次算出，列成表 1-1，当边数为  $n$  时设其值为  $K$ ，则上式成为

$$P = KD$$

表 1-1 圆内接正多边形边数与系数的关系

$n$	$K$	$n$	$K$	$n$	$K$	$n$	$K$	$n$	$K$
1		11	0.281 73	21	0.149 04	31	0.101 17	41	0.076 55
2		12	0.258 82	22	0.142 31	32	0.098 02	42	0.074 73
3	0.866 03	13	0.239 32	23	0.136 17	33	0.095 06	43	0.073 00
4	0.707 11	14	0.222 52	24	0.130 53	34	0.092 27	44	0.071 34
5	0.587 79	15	0.207 91	25	0.125 33	35	0.089 64	45	0.069 76
6	0.500 00	16	0.195 09	26	0.120 54	36	0.087 16	46	0.068 24
7	0.433 88	17	0.183 75	27	0.116 09	37	0.084 81	47	0.066 79

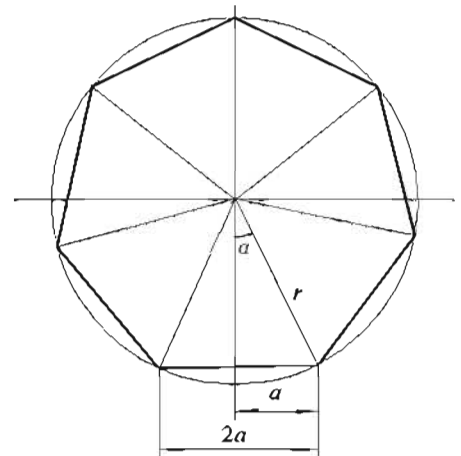


图 1-12 圆内接正  $n$  边形边长计算

续表

n	K	n	K	n	K	n	K	n	K
8	0.382 68	18	0.173 65	28	0.111 96	38	0.082 58	48	0.065 40
9	0.342 02	19	0.164 59	29	0.108 12	39	0.080 47	49	0.064 07
10	0.309 02	20	0.156 43	30	0.104 53	40	0.078 46	50	0.062 79

注： $K = \sin(180^\circ/n)$ ； $n$ 为边数； $K$ 为系数。

例如，已知圆直径为 500 mm，求内接正七边形的边长。  
查表 1-1 得  $K = 0.433 88$ ，则边长为： $P = KD = 0.433 88 \times 500 = 216.94 \text{ mm}$ 。

#### 4. 已知正多边形的边长作正多边形

如图 1-13 所示，先根据边长求出外接圆半径。以已知正七边形边长为 200 mm 为例计算外接圆半径。 $\angle 607 = 360^\circ/7 = 51.428 57^\circ$ ，由三角形内角和为  $180^\circ$  得  $\angle 176 = 180^\circ - 51.428 57^\circ = 128.57^\circ$ ，可以依次画出多边形。但最好求出半径  $O-6$ ，由  $A-6/6-O = \sin(51.43^\circ/2)$ ， $A-6 = 100$ ，所以半径  $O-6 = 100/\sin 25.71^\circ = 230.476 \text{ mm}$ 。画出外接圆后再画出多边形。

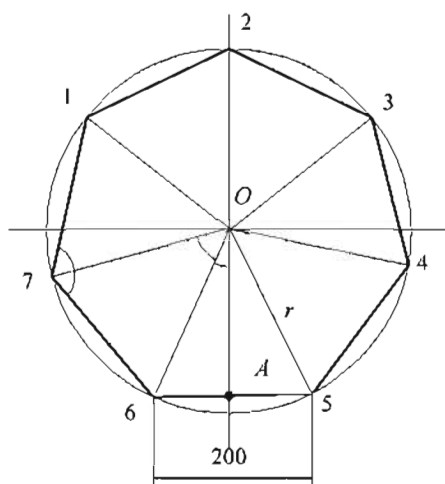


图 1-13 已知正七边形边长画七边形

#### 1.1.4 大半径圆弧画法

放样时，如果工件的圆弧半径要求很大，很难用圆规或地规画出，可以用下面的方法画出：

##### 1. 几何作图法

如图 1-14 所示，弦长 1—2，弦弧距 3—4，画 4—5 平行于 1—2，1—6 平行于 3—4，1—4 垂直于 1—5。相同数量等分 1—3、4—5、1—6，对应连线，交点即为圆上点。

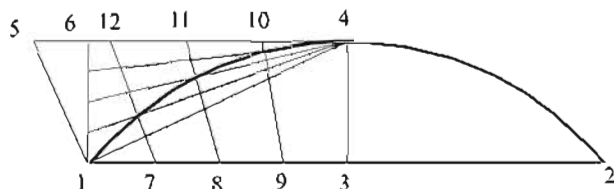


图 1-14 大半径圆弧画法

##### 2. 计算法求弦弧距画大半径圆弧

如图 1-15 所示，已知圆弧半径  $R$  和弦长  $AB$ ，求作圆弧  $ACB$ 。在直角三角形  $ADO$  中，由  $OA = R, AD = AB/2$ ，根据勾股定理：

$$OD = \sqrt{R^2 - AD^2}$$

则  $CD = R - OD$ ，同理，可求出 1—3、2—4 的长度，画出点 3、4 后，用圆滑曲线连接各点，画出圆弧。

例如，已知圆半径  $R = 3 000 \text{ mm}$ ，弦长  $AB = 400 \text{ mm}$ ，求作大圆弧  $AB$ 。

如图 1-15 所示， $OD = \sqrt{3 000^2 - 200^2} =$

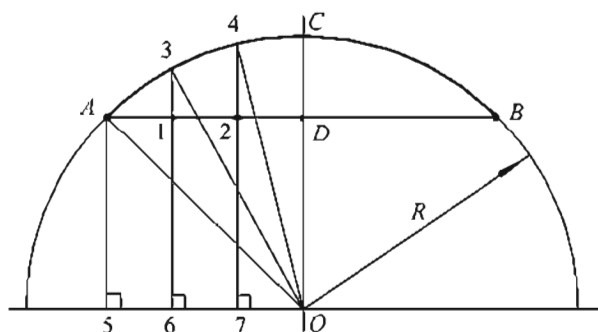


图 1-15 计算法画大半径圆弧



$2\ 993.3\text{ mm}$ ,  $DC = 3\ 000 - 2\ 993.3 = 6.7\text{ mm}$ 。

求弦上等分点:  $AD = 200\text{ mm}$ ,  $2-D = 200 \div 3 = 66.67\text{ mm}$ ,  $1-D = 133.3\text{ mm}$ 。

同理求出:  $3-6 = 2\ 997.03\text{ mm}$ ;  $7-4 = 2\ 999.26\text{ mm}$ ; 则  $1-3 = 2\ 997.03 - 2\ 993.3 = 3.73\text{ mm}$ ;  $2-4 = 2\ 999.26 - 2\ 993.3 = 5.96\text{ mm}$ 。画出 A、3、4、C 各点后, 用圆滑曲线连接各点, 画出圆弧。

### 1. 1. 5 圆弧连接

#### 1. 两直线间的圆弧连接

如图 1-16(a) 所示, 已知直线  $AB$ 、 $CD$ , 连接圆弧的半径为  $R$ 。连接方法为: 作 1—2、1—3 平行于  $AB$ 、 $CD$ , 距离为  $R$ , 得到交点 1, 以 1 为圆心,  $R$  为半径画弧, 即可连接两直线。图 1-16(b)、(c) 画法相同。

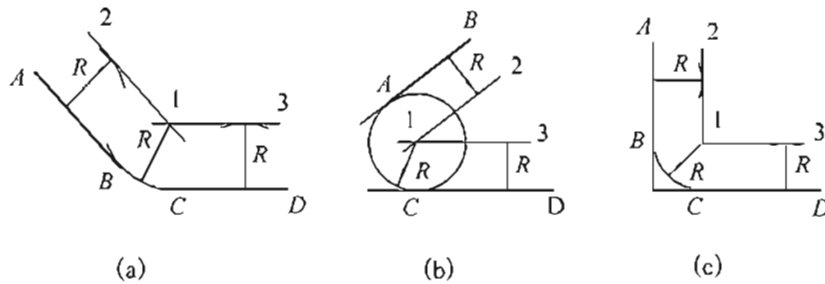


图 1-16 两直线间圆弧连接

#### 2. 直线与圆弧的连接

如图 1-17 所示, 已知直线 1—2 和圆  $O_1$ , 连接半径为  $R$ 。由图知: 连接圆弧的圆心距直线为  $R$ , 距圆心为  $r + R$ 。以  $O_1$  为圆心,  $r + R$  为半径画弧。距 1—2 为  $R$  画平行线, 得交点  $O_2$ , 即可画出圆弧。

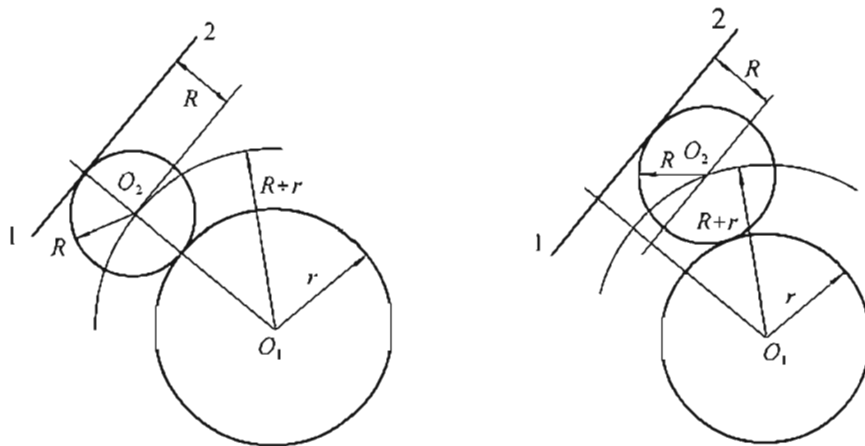


图 1-17 直线与圆弧连接

#### 3. 两圆弧外连接

如图 1-18 所示, 已知圆  $O_1$  和圆  $O_2$ , 要求以  $R$  外连接圆弧。分别以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心, 以  $r_1 + R$  和  $r_2 + R$  为半径画弧交出点  $O_3$ , 再以  $R$  为半径画出圆弧。

#### 4. 两圆弧内连接

如图 1-19 所示,已知圆  $O_1$  和圆  $O_2$ ,要求以  $R$  内连接圆弧。画法是以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心,以  $R - r_1$  和  $R - r_2$  为半径画弧交出点  $O_3$ ,再以  $O_3$  为圆心、 $R$  为半径画弧即可画出连接圆弧。

#### 5. 两圆内、外混合连接

如图 1-20 所示,已知圆  $O_1$ 、 $O_2$  和连接圆弧半径  $R$ ,求连接圆弧。画法是:以  $O_1$  为圆心,以  $r_1 + R$  为半径画弧,以  $O_2$  为圆心, $r_2 - R$  为半径画弧,交出  $O_3$  即可画出连接圆弧。

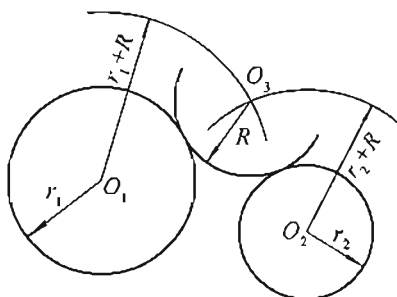


图 1-18 两圆弧外连接

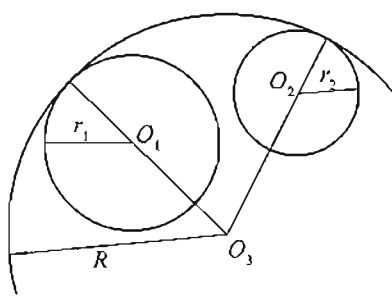


图 1-19 两圆弧内连接

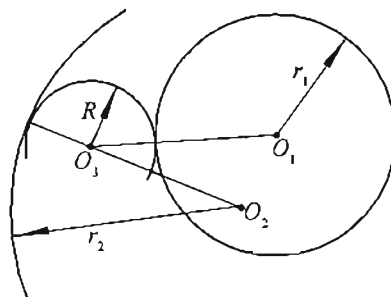


图 1-20 两圆内、外混合连接

### 1.1.6 斜度和锥度

#### 1. 斜度

斜度是指一直线对另一直线或一个平面对另一平面的倾斜程度。其大小用两线之间夹角的正切表示。如斜度为 1:6 的画法是:作一个直角三角形,对边为一个单位长,底边为 6 个单位长。

#### 2. 锥度

锥度是指正圆锥的底圆直径与其高度之比。如果是锥台,则为上、下两底圆直径之差与锥台高度之比。

### 1.1.7 椭圆、双曲线、抛物线、渐开线、螺旋线画法

#### 1. 椭圆的近似画法(四心法)

如果已知椭圆的长轴  $AB$ 、短轴  $CD$ ,如图 1-21(a) 所示。椭圆画法如下:

- (1) 连接  $AC$ ,以  $O$  为圆心, $OB$  为半径画弧,交  $Y$  轴于  $F$ 。
- (2) 以  $C$  为圆心, $CF$  为半径画弧交  $AC$  于  $E$ 。
- (3) 作  $AE$  的垂直平分线,与  $X$ 、 $Y$  轴分别交于  $O''$  和  $O'$ ,分别以  $O'$  和  $O''$  为圆心, $O'$  到  $C$  和  $O''$  到  $A$  为半径画弧,画出椭圆的一半,如图 1-21(b) 所示,另一半可对称画出。

#### 2. 椭圆的准确画法(同心圆法)

已知椭圆的长轴  $AB$ 、短轴  $CD$ ,如图 1-22(a) 所示。椭圆画法如下:

- (1) 以长轴  $AB$  和短轴  $CD$  为直径画同心圆。
- (2) 适当等分圆周,等分点越多,曲线越圆滑。
- (3) 过圆上等分点作水平线和垂直线得到交点 1、2。
- (4) 同样方法找出其他各点。

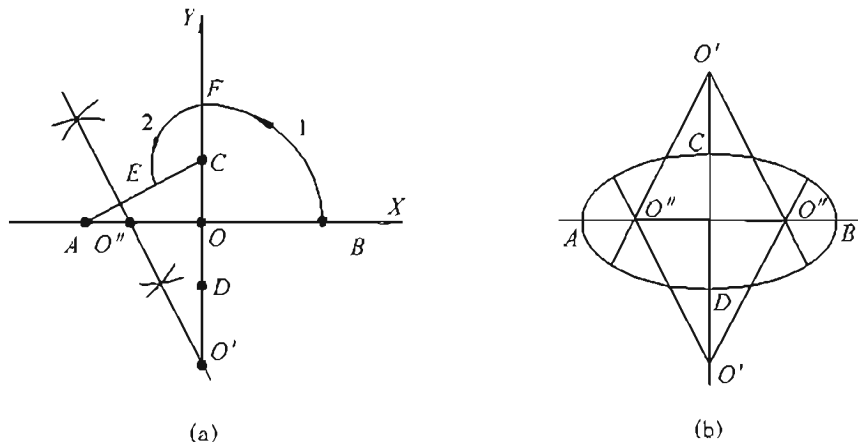


图 1-21 四心法近似画椭圆

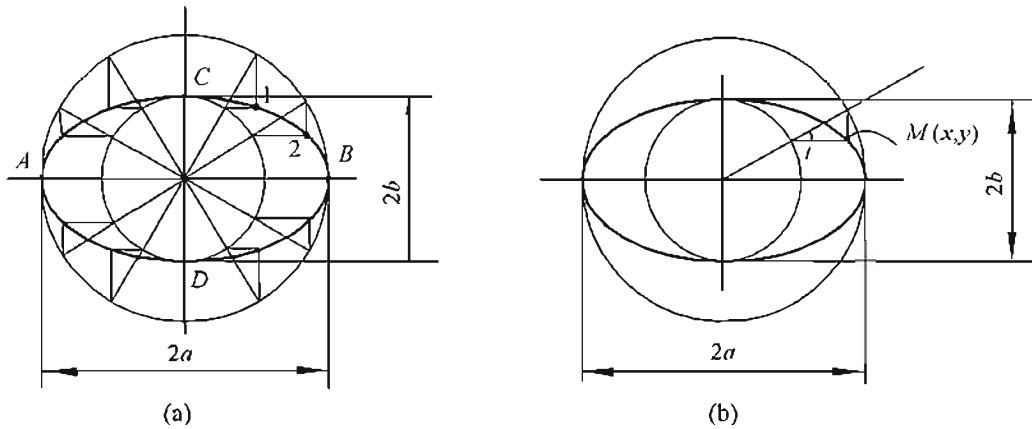


图 1-22 同心圆法画椭圆、椭圆的参数  $t$

(5) 圆滑连接各点即可。椭圆也可以用参数方程表示,在计算椭圆上点的坐标时,如图 1-22(b) 所示,椭圆的参数方程如下:

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

参数  $t$  是直线与  $x$  轴的夹角,也称偏心角或离心角。 $a$  是长半轴, $b$  是短半轴。只要给出一个角度  $t$  就可以算出点的  $x$ 、 $y$  坐标值。

### 3. 计算法画椭圆

椭圆的标准方程为

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

式中, $a$  为椭圆的长半轴; $b$  为椭圆的短半轴。

由上式可以推出公式:

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

只要给定椭圆上点的  $x$  坐标就可以求出对应的点的  $y$  坐标而求出椭圆上的点。

如图 1-23(a) 所示:例如,  $AB = 400 \text{ mm}$ ,  $CD = 200 \text{ mm}$ , 设将  $OB$  分为 4 段,  $x_1 = 50$ ,  $x_2 = 100$ ,  $x_3 = 150$ , 则可由上式算出:  $y_1 = 96.8$ ;  $y_2 = 86.6$ ;  $y_3 = 66.1$ , 即点 1(50, 96.8), 2(100, 86.6), 3(150, 66.1)。其他各点可对称画出。

也可以由长轴  $2a = 400$ , 短轴  $2b = 200$ , 即  $a = 200$ ,  $b = 100$ , 用公式

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

求出  $c = 173.2$ ,  $2c = 346.4$ , 即两焦点的距离(焦距)为  $346.4 \text{ mm}$ , 绳长  $2a = 400 \text{ mm}$ 。固定两点后, 可用绳画出椭圆, 如图 1-23(b) 所示。

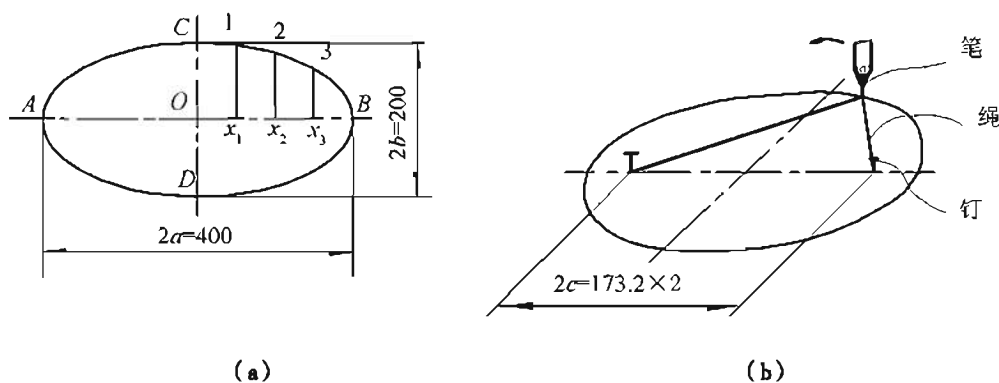


图 1-23 计算法画椭圆  
(a) 计算椭圆坐标 (b) 已知焦距和绳长画椭圆

#### 4. 双曲线的画法

如图 1-24 所示, 双曲线是动点  $M(x, y)$  距两定点(焦点)的距离之差为定长  $2a$  的点的轨迹。 $a$  是实半轴,  $b$  是虚半轴,  $c$  是焦距。顶点为  $(a, 0)$ 、 $(-a, 0)$ , 焦点坐标为  $(-c, 0)$  和  $(c, 0)$ , 标准方程为

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{x^2 - a^2}$$

式中,  $a$  为双曲线的实半轴;  $b$  为双曲线的虚半轴。

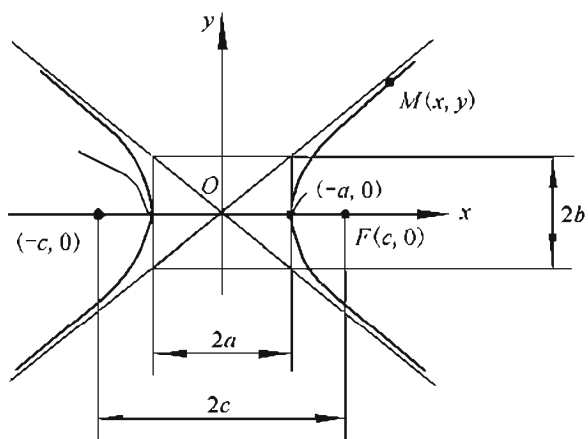


图 1-24 双曲线

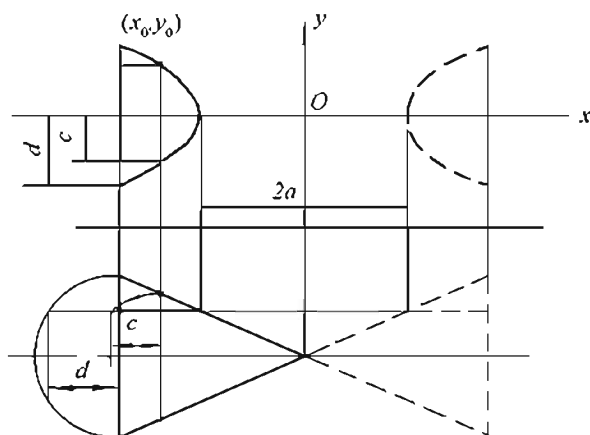


图 1-25 已知点求双曲线方程

如果已知方程画图时,代入  $x$  值即可求出对应的  $y$  值。找出各点,描点画图。

如果已知实半轴  $a$  和双曲线上的一点而方程未知,如图 1-25 所示,下图的左边是一个平放的锥体,设想右边有一个相同的锥体,用平行于轴线的平面去截,得到双曲线。已知曲线上的一个点  $(x_0, y_0)$  和图中所示的实半轴  $a$ 。将  $a$  和点坐标  $x = x_0, y = y_0$  代入方程求出  $b$ ,求出方程后,其他各点可任意设定  $x$  求出  $y$ 。

5. 抛物线的画法

如图 1-26 所示,抛物线是动点  $M(x, y)$  到定点  $P(p/2, 0)$  和到定直线(准线  $x = -p/2$ ) 距离相等的点的轨迹。开口向右、左、上、下的标准方程分别如下:

$$y^2 = 2px \quad y^2 = -2px \quad x^2 = 2py \quad x^2 = -2py$$

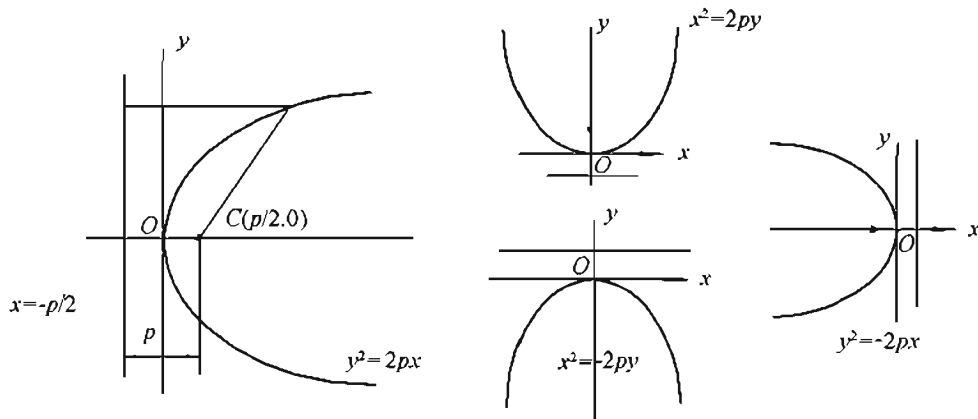


图 1-26 抛物线方程

(1) 抛物线方程求法。抛物线只有一个未知系数  $p$ ,只要知道抛物线过一个点,代入  $x, y$  即可求出  $p$ 。如图 1-27 所示,已知抛物线高 200 mm,宽 200 mm,设定一个坐标轴,抛物线过点  $(100, -200)$ ,将  $x = 100, y = -200$  代入  $x^2 = -2py$ ,得  $10\ 000 = -2p(-200)$ ,即  $p = 25$ ,则该抛物线标准方程为  $x^2 = -50y$ 。求其他点时,只要代入一个  $x$  即可得到一个  $y$ 。

(2) 抛物线的几何作图法。如图 1-28 所示,已知抛物线的宽度  $BC$  和高度  $AB$ ,相同等分  $OA$  和  $AB$ ,过  $OA$  的等分点向下作平行线, $O$  点与  $AB$  的等分点连线,交出抛物线上的点,连接圆滑曲线即可。

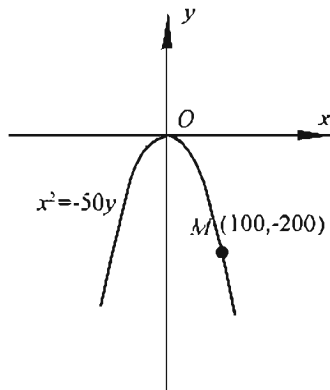


图 1-27 已知点坐标求抛物线方程

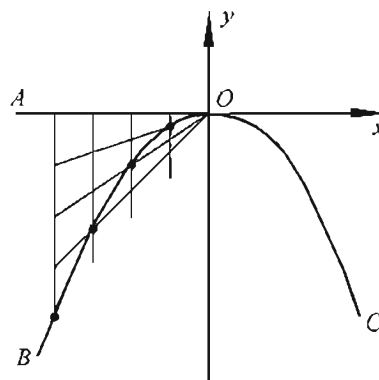


图 1-28 抛物线的几何作图法

### 6. 渐开线的画法

下面介绍两种渐开线的画法：

(1) 如图 1-29(a) 所示,把一根没有伸缩性的绳子绕在一个固定的圆周上,然后在绳子的端点 A 处将绳拉紧并逐渐拉开,拉开时保持绳与圆周始终相切,这时绳的端点 A 的轨迹叫做圆的渐开线,这个圆叫做渐开线的基圆。图 1-29(a) 中 A—3 的弧长与线段 3—4 的长度相等。画法是:如图 1-29(b) 所示,先将基圆分成若干等份,依次作切线,量对应弧长等于切线长,得到各点后,用曲线圆滑连接。

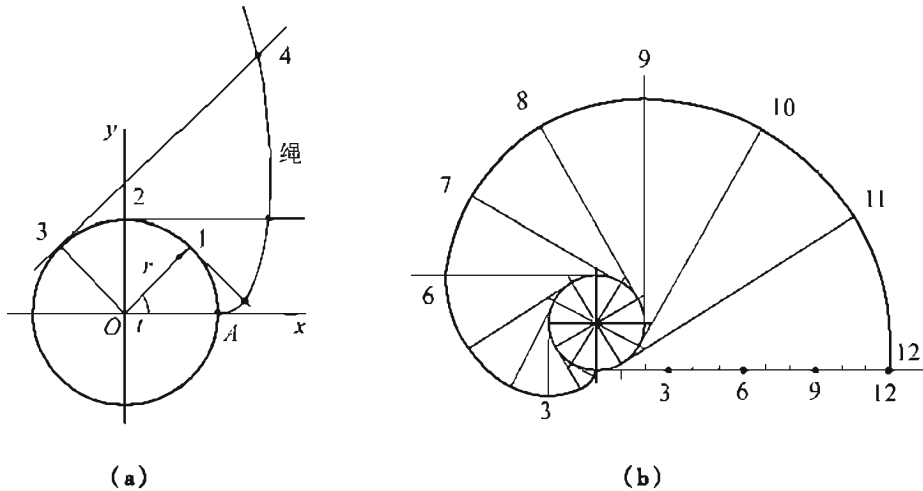


图 1-29 基圆画渐开线  
(a) 用绳画渐开线 (b) 已知圆画渐开线

(2) 近似画法。已知正方形  $abcd$  画渐开线,如图 1-30 所示,分别延长  $ad$ 、 $ba$ 、 $cb$ 、 $dc$ 。以  $a$  为圆心, $ac$  为半径画弧得点 1,再以  $b$  为圆心, $b-1$  为半径画弧得点 2,再以  $c$  为圆心, $c-2$  为半径画弧得点 3,再以  $d$  为圆心, $d-3$  为半径画弧得点 4,再以  $a$  为圆心, $a-4$  为半径画弧。

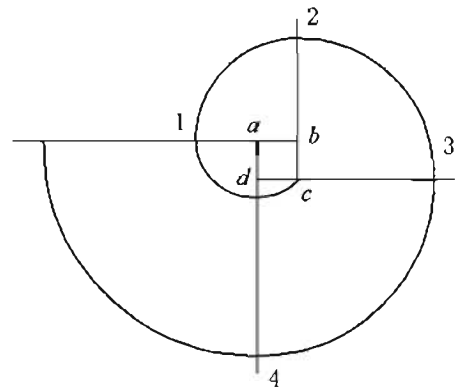


图 1-30 已知正方形画渐开线

### 7. 螺旋线的画法

凡是曲线上有任意四个连续的点不属于同一平面,则称该曲线为空间曲线。常见的规则空间曲线为螺旋线,螺旋线有圆柱螺旋线和圆锥螺旋线两种。

(1) 圆柱螺旋线。设圆柱的素线上一个动点,如图 1-31(a) 所示,沿素线匀速向上运动的同时又绕圆柱面的轴线做匀速转动,点的这种复合运动的轨迹,称为圆柱螺旋线。当动点旋转一周时,动点沿素线方向移动的距离,称为导程。

由于圆柱母线旋转方向不同,可分为右螺旋线和左螺旋线两种。右螺旋线的特点是其可见部分自左向右升高。圆柱面的直径、母线旋转方向和导程大小是圆柱螺旋线的三要素。

圆柱螺旋线的画法如图 1-31(a) 所示,在俯视图上等分圆周,相同等分主视图上的导程  $S$ ,分别向上投影得出交点。

(2) 圆锥螺旋线。圆锥螺旋线的画法如图 1-31(b) 所示,首先将已知导程  $S$  分成若干等份,再将

俯视图的圆分成相同等份,作出圆锥的素线,主视图上素线与导程等分线的交点即为圆锥螺旋线上的点。再向下交出螺旋线的俯视图。

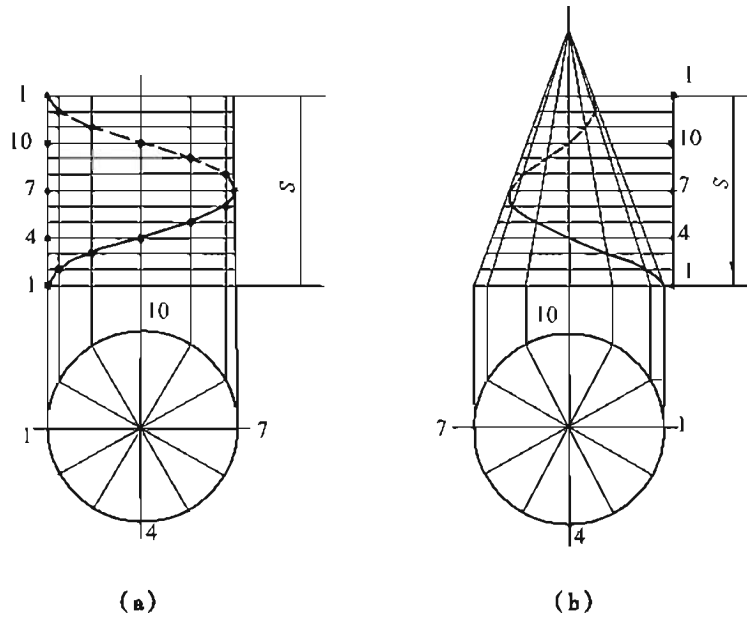


图 1-31 螺旋线画法  
(a) 圆柱螺旋线画法 (b) 圆锥螺旋线画法

### 1.1.8 几何图形的作法

#### 1. 鸡蛋圆的画法

如图 1-32 所示,画圆  $O$ ,以 1 和 2 为圆心,以圆的直径为半径画弧,再以点 3 为圆心,3—4 为半径画弧即可。

#### 2. 人孔门的画法

一般为两环套圆法,如图 1-33 所示,先画一个圆,以圆与  $y$  轴的交点 1 为圆心,画相同半径的圆,连接 2— $O$  并延长,以 2 为圆心,2—3 为半径画圆弧。另一侧画法相同。

#### 3. 阿基米德螺旋线的画法

如图 1-34 所示,将已知圆分成若干等份。图中分为 8 等份,将半径也分成 8 等份,依次连成圆滑曲线。

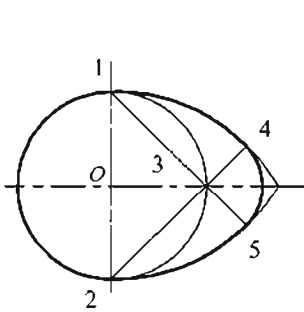


图 1-32 鸡蛋圆的画法

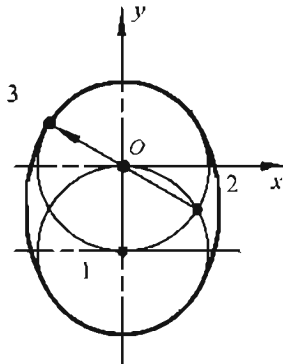


图 1-33 人孔门的画法

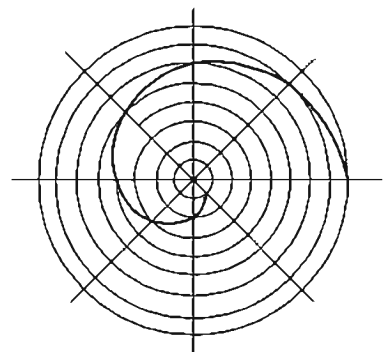


图 1-34 阿基米德螺旋线的画法

## 4. 计算法几何作图实例

(1) 圆内接正多边形计算法。已知圆直径为 500 mm, 求作九边形。

平分圆心角法:  $360^\circ/9 = 40^\circ$ , 用量角器量出。

边长计算法: 边长  $P = D \sin(180^\circ/9) = 500$

$\sin 20^\circ = 500 \times 0.342 02 = 171.01 \text{ mm}$ 。

查表计算法: 查表 1-1 得  $K = 0.342 02$ , 边长  $P = KD = 500 \times 0.342 02 = 171.01 \text{ mm}$ 。

(2) 大半径圆弧弦弧距计算法。已知圆半径为 11 000 mm, 弦长为 600 mm, 求画圆弧。

如图 1-35 所示:

$$O-1 = \sqrt{11\,000^2 - 300^2} = 10\,995.9 (\text{mm})$$

$$1-5 = 11\,000 - 10\,995.9 = 4.09 (\text{mm})$$

弦长  $AB$  等份越多越好, 图中分为 8 等份, 每段等份长为 75 mm, 则

$$2-6 = \sqrt{11\,000^2 - 75^2} - 10\,995.9 = 10\,999.74 - 10\,995.9 = 3.84 (\text{mm})$$

$$3-7 = \sqrt{11\,000^2 - 150^2} - 10\,995.9 = 10\,998.98 - 10\,995.9 = 3.08 (\text{mm})$$

$$4-8 = \sqrt{11\,000^2 - 225^2} - 10\,995.9 = 10\,997.7 - 10\,995.9 = 1.8 (\text{mm})$$

(3) 椭圆上点坐标计算法。设椭圆的长轴为  $2a = 600 \text{ mm}$ , 短轴为  $2b = 600/2 = 300 \text{ mm}$  (标准椭圆:  $2a:2b = 2$ ), 则  $2a = 600 \text{ mm}$ ,  $2b = 300 \text{ mm}$ ,  $a = 300 \text{ mm}$ ,  $b = 150 \text{ mm}$ 。椭圆方程为

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

将  $a = 300 \text{ mm}$ ,  $b = 150 \text{ mm}$  代入椭圆方程, 得

$$\frac{x^2}{300^2} + \frac{y^2}{150^2} = 1$$

如图 1-36 所示, 设四等分  $OB$ , 等分点坐标为 1(75, 0)、2(150, 0)、3(225, 0)。将  $x_1 = 75$ 、 $x_2 = 150$ 、 $x_3 = 225$  代入方程

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

得

$$y_1 = \pm 150/300 \sqrt{300^2 - 75^2} = \pm 145.24$$

$$y_2 = \pm 150/300 \sqrt{300^2 - 150^2} = \pm 129.9$$

$$y_3 = \pm 150/300 \sqrt{300^2 - 225^2} = \pm 99.2$$

即 1—4 为 145.24 mm, 2—5 为 129.9 mm, 3—6 为 99.2 mm。可根据对称性画出椭圆。

(4) 双曲线上点坐标计算法。如图 1-37(a) 所示, 设图纸给出或放样时求得双曲线过点  $A(300, 200)$ , 实半轴  $a = 180 \text{ mm}$ , 代入双曲线方程:

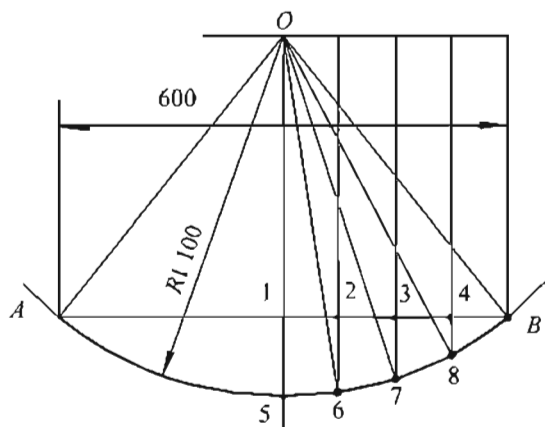


图 1-35 计算法画大半径圆弧实例

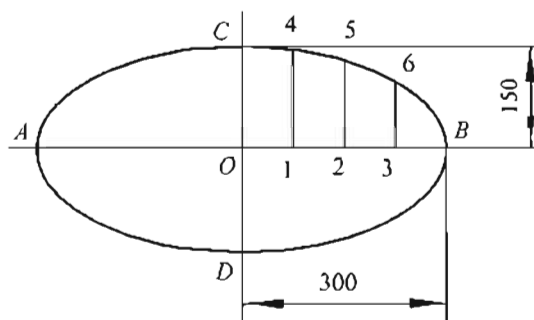


图 1-36 计算法画椭圆实例



$$\frac{300^2}{180^2} - \frac{200^2}{b^2} = 1$$

求出  $b = 150 \text{ mm}$ , 则双曲线方程为

$$\frac{x^2}{180^2} - \frac{y^2}{150^2} = 1$$

如图 1-37(b) 所示, 已知双曲线方程(上式), 求出曲线上点, 设将点 A 到点 E 的  $x$  坐标差分成 4 份, 则 A、B、C、D、E 各点的  $x$  坐标分别为 180、210、240、270、300。将各点的  $x$  坐标代入公式:

$$y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{x^2 - a^2}$$

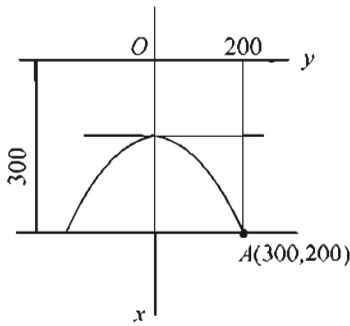
得

$$y_1 = \pm 150/180 \sqrt{210^2 - 180^2} = \pm 90.14$$

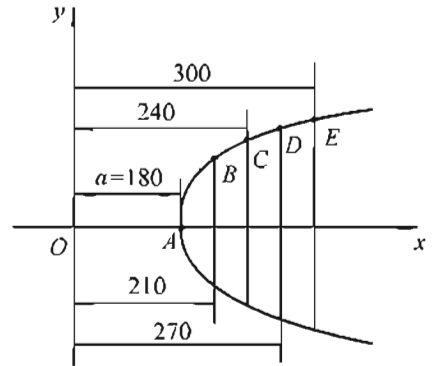
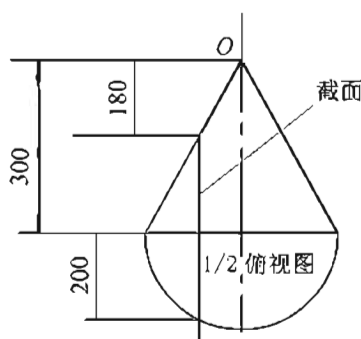
$$y_2 = \pm 150/180 \sqrt{240^2 - 180^2} = \pm 132.3$$

$$y_3 = \pm 150/180 \sqrt{270^2 - 180^2} = \pm 167.7$$

即曲线上的五个点为: A(180, 0)、B(210, 90.14)、C(240, 132.3)、D(270, 167.7)、E(300, 200)。另一侧对称画出。



(a)



(b)

图 1-37 双曲线上点坐标的计算

(5) 抛物线上点坐标计算法。如图 1-38 所示, 设放样时求得抛物线高 300 mm, 底宽 200 mm。如图, 设坐标轴  $x$ 、 $y$ , A 点坐标为  $(-100, -300)$ , 抛物线开口向下, 方程为

$$x^2 = -2py$$

代入  $x = -100$ 、 $y = -300$ , 得  $(-100)^2 = -2p(-300)$ , 则  $p = 16.6667$ ,  $2p = 33.3333$ 。于是方程为

$$x^2 = -33.33y$$

其他各点可依次代入求出。图中 CD 为 3 等分, 坐标为 E(0, -100)、G(0, -200), 将  $y_1 = -100$ 、 $y_2 = -200$ , 代入上式得  $x_1 = \pm 57.73$ 、 $x_2 = \pm 81.65$ , 得点 F(-57.73, -100)、H(-81.65, -200)。另一侧对称画出。

## 1.2 制图与画法几何基础知识

### 1.2.1 点、线、面的投影

#### 1. 三投影面体系中的分角

如图1-39所示,用三个轴: $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 轴和三个面: $H$ 、 $V$ 、 $W$ 面,可以把空间分为八个部分。 $W$ 面左侧的空间命名为第一、二、三、四分角,  $W$ 面右侧的空间命名为五、六、七、八分角。我国使用一分角,即由三个轴的正方向构成的空间,如图1-39(a)所示,三个投影轴是 $X$ 轴、 $Y$ 轴、 $Z$ 轴。将物体置于空间内向三个面作投影。图1-39(b)是换一个角度看三个反方向的投影轴。

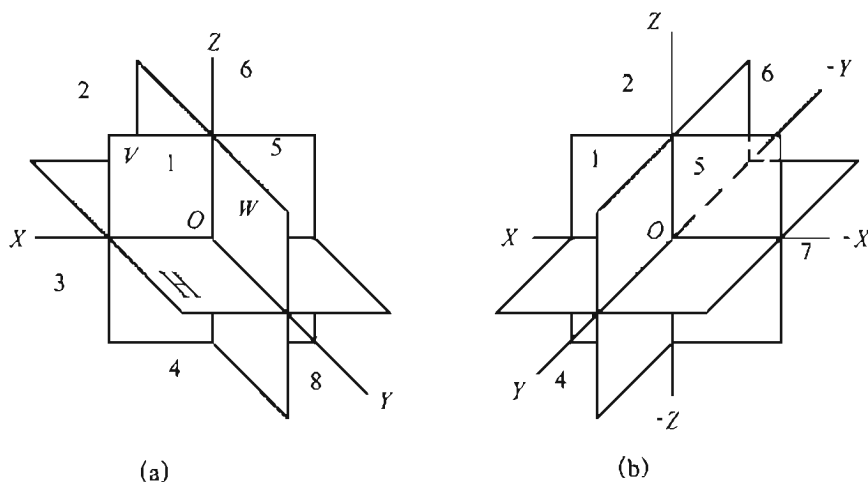


图 1-39 三投影面体系中的分角

在第一分角内,观察者先看到点,后看到投影面。而点在第七分角内时,如图1-40(a)所示: $X$ 轴的反方向为 $-X$ 方向, $Y$ 轴的反方向为 $-Y$ 方向, $Z$ 轴的反方向为 $-Z$ 方向。因为 $-Z$ 方向向下, $-X$ 方向向右, $-Y$ 方向向后,所以,点 $A$ 是置于第七分角内。如图1-40(b)所示,观察者先看到投影面,后看到点,因为 $H$ 面是水平面, $a$ 是 $A$ 点的水平投影。同理, $a'$ 是正面投影, $a''$ 是侧面投影。在图1-40(b)中,称 $V$ 面的投影为前视图。把 $H$ 面向上旋转,作为顶视图,放在前视图的上面。把左面的 $W$ 面向左旋转,作为左视图,放在前视图的左面。

#### 2. 点的投影

面可以看成是由线构成的,线可以看成是有点构成的,点是最基本的几何元素。点的两个投影能唯一地确定该点的空间位置,第三个投影点可由投影规律求出。

对两点而言,如图1-41所示, $\Delta X$ 为 $X$ 坐标差, $\Delta Y$ 为 $Y$ 坐标差, $\Delta Z$ 为 $Z$ 坐标差。在求直线实长和计算法展开时,经常用到坐标差。图中, $A$ 点在 $B$ 点的下边、左边、前边。

特殊位置点的投影,如图1-42所示, $A$ 为 $V$ 面上点, $B$ 为 $H$ 面上点, $C$ 为 $X$ 轴上点, $D$ 为 $W$ 面上点。

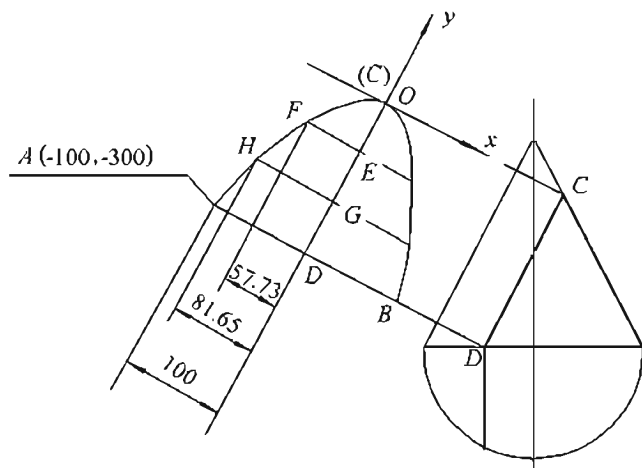


图 1-38 计算法画抛物线

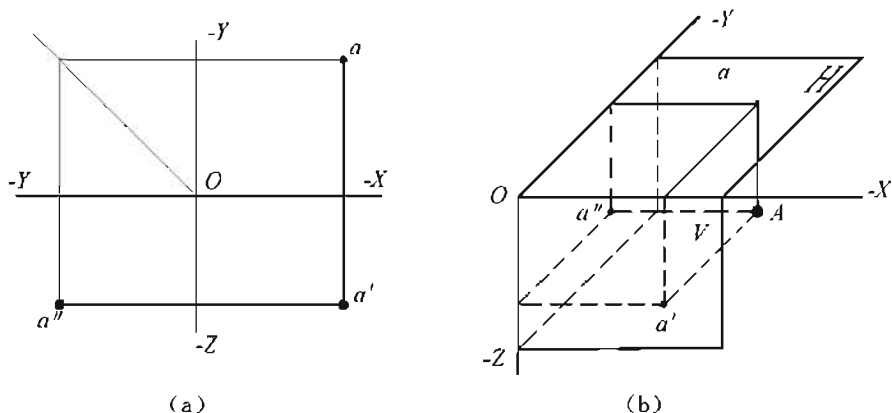


图 1-40 第七分角内点的投影

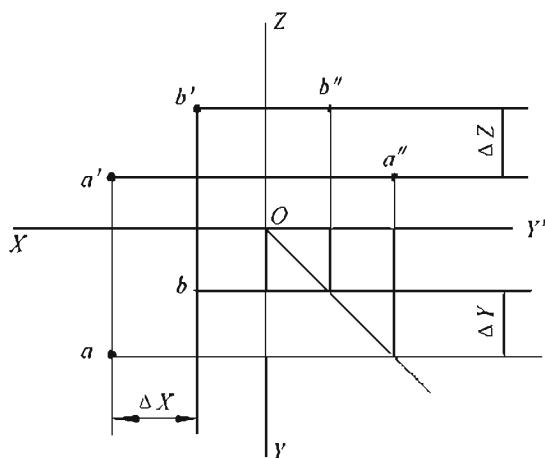


图 1-41 两点间的坐标差

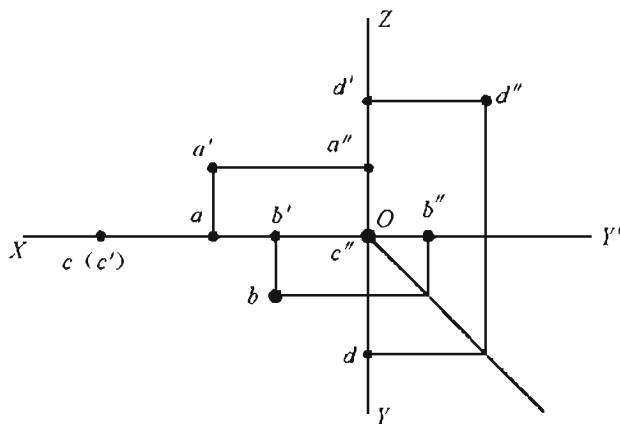


图 1-42 特殊位置点的投影

### 3. 直线的投影

直线可以分为一般位置直线和特殊位置直线,特殊位置直线又分为投影面的平行线和投影面的垂直线。

垂直于正投影面的直线称为正垂线。

垂直于侧投影面的直线称为侧垂线。

垂直于水平投影面的直线称为铅垂线。

平行于正投影面的直线称为正平线,其中两个特殊情况是侧垂线和铅垂线。

平行于侧投影面的直线称为侧平线,其中两个特殊情况是正垂线和铅垂线。

平行于水平面的直线称为水平线,其中两个特殊情况是正垂线和侧垂线。

如图 1-43 所示,直线 1—6、2—5、4—7、3—8 平行于  $V$  面,称为正平线;直线 1—3、2—4、5—7、6—8 平行于  $H$  面,称为水平线;直线 1—8、4—5、2—7、3—6 平行于  $W$  面,称为侧平线。

直线 1—2、4—3、5—6、8—7 垂直于  $W$  面,称为侧垂线;直线 1—4、2—3、5—8、6—7 垂直于  $V$  面,称为正垂线;直线 1—5、2—6、3—7、4—8 垂直于  $H$  面,称为铅垂线。而 1—7、3—5、4—6、2—8 是一般位置直线。

显而易见,正垂线在水平投影面和侧投影面的投影反映实长;侧垂线在正投影面和水平投影面的投影反映实长;铅垂线在正投影面和侧投影面的投影反映实长。

#### 4. 平面的投影

平面可以分为一般位置平面和特殊位置平面,特殊位置平面又可以分为投影面的平行面和投影面的垂直面。

平行于投影面的平面,统称为投影面的平行面。

平行于  $H$  面的平面,称为水平面。

平行于  $V$  面的平面称为正平面。

平行于  $W$  面的平面,称为侧平面。

垂直于投影面的平面,统称为投影面的垂直面。

垂直于  $H$  面的平面,称为铅垂面,铅垂面的两个特殊情况是正平面和侧平面。

垂直于  $V$  面的平面称为正垂面,正垂面的两个特殊情况是水平面和侧平面。

垂直于  $W$  面的平面,称为侧垂面,侧垂面的两个特殊情况是正平面和水平面。

显而易见,属于正平面的图形在正投影面的投影反映实形;属于侧平面的图形在侧投影面的投影反映实形;属于水平面的图形在水平投影面的投影反映实形。

如图 1-43 所示,平面 1—2—6—5、4—3—7—8 是正平面;平面 1—2—3—4、5—6—7—8 是水平面;平面 1—4—8—5、2—3—7—6 是侧平面。平面 1—3—7—5、2—4—8—6 是铅垂面,平面 5—2—3—8、1—6—7—4 是正垂面,平面 3—4—5—6、1—2—7—8 是侧垂面。平面 1—8—6、3—8—6、2—5—7、4—5—7、5—2—4、7—2—4、6—1—3、8—1—3 是一般位置平面。

以漏斗形状物体为例,分析一下线与面,如图 1-44 所示,正垂线为 1—4、2—3、5—8、6—7、9—12、10—11。侧垂线为 1—2、4—3、5—6、8—7、9—10、12—11。铅垂线为 5—9、6—10、7—11、8—12。一般位置直线为 1—5、2—6、3—7、4—8。正垂面为 1—4—8—5、2—3—7—6。侧垂面为 1—2—6—5、4—3—7—8。正平面为 5—6—10—9、8—7—11—12。侧平面为 5—8—12—9、6—7—11—10。水平面为 1—2—3—4、5—6—7—8、9—10—11—12。

#### 1.2.2 国外制图投影基础知识

近年来,直接用国外图纸生产焊接结构件已很常见。我国使用一分角绘图法,而有些国家使用三分角绘图法、七分角绘图法等。下面简单介绍绘图法。

如图 1-45 所示,一分角绘图法是把工件放在观察者和投影面之间,把观察到的工件形状画在后面的投影面上,保持“人—物—面”的位置关系。图 1-45(a) 是直观图,图 1-45(b) 是投影图。

三分角绘图法是:如图 1-46(a) 所示,顺序是:观察者—投影面—工件。犹如隔着玻璃看构件,将所看到的工件画在玻璃上一样,保持“人—面—物”的位置关系。正面看的图叫前视图,把顶视图放在前视图的上面,右视图放在前视图的右面(左视图放在前视图左面,不常用,底视图放在前视图的下面,不常用)。如果把顶视图放在前视图的下面,右视图放在前视图的左面就与一角法一样了。但是,由于三角法不习惯画左视图,也就不能方便的得到左视图了,投影图见图 1-46(b)。

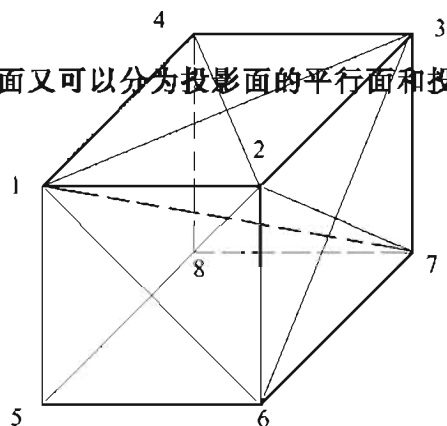


图 1-43 立方体上的线与面

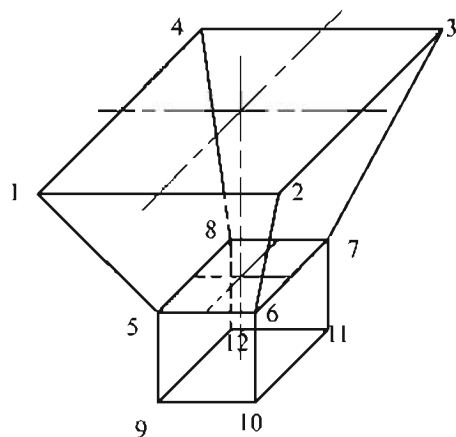


图 1-44 物体上的线与面

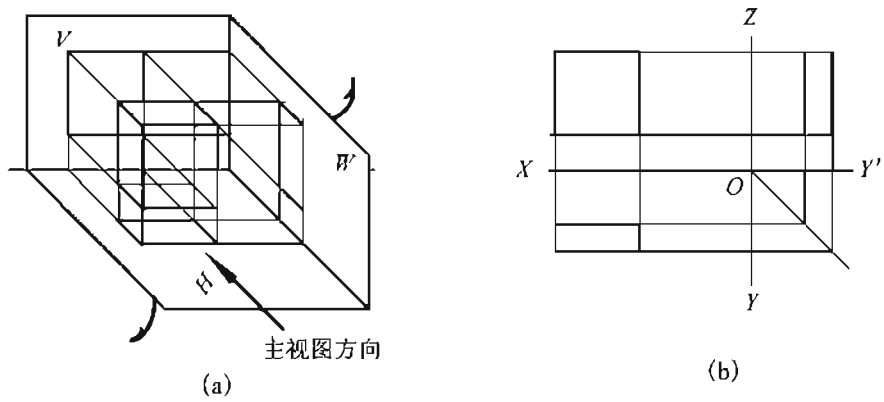


图 1-45 一分角绘图法  
(a) 投影直观图 (b) 三面投影图

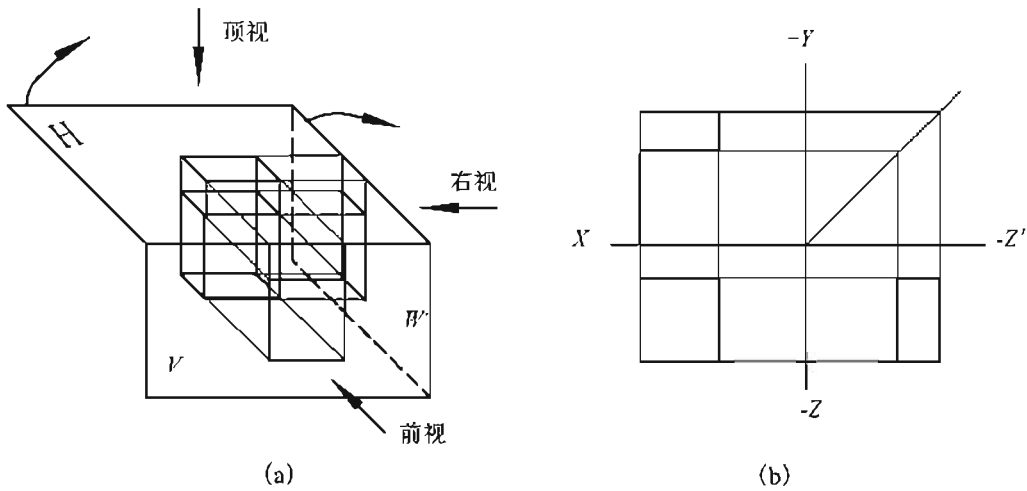


图 1-46 三分角投影直观图和投影图

其他分角绘图法依此类推。例如七分角绘图法，也保持“人—面—物”的位置关系。正面看的图是前视图，把顶视图放在前视图的上面，左视图放在前视图的左面。具体实例如图 1-47 所示，分别用一分角绘图法、三分角绘图法、七分角绘图法表达支座的三面投影图。由图可见，区别在于视图方向和摆放位置不同。

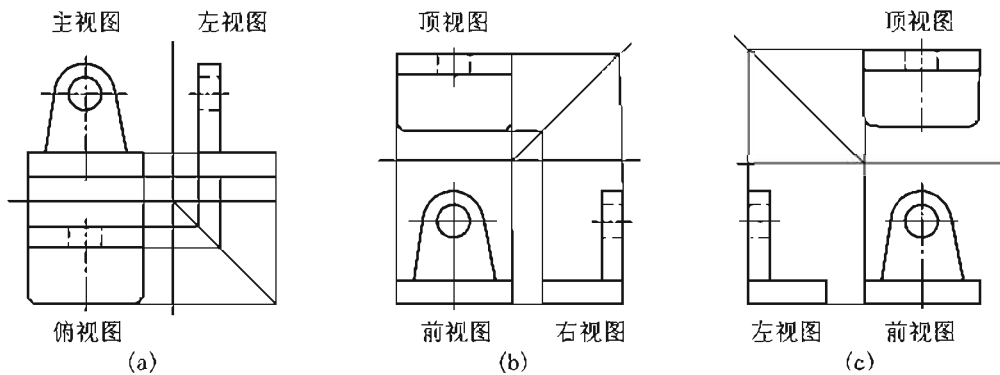


图 1-47 一、三、七分角绘图法实例  
(a) 一分角法 (b) 三分角法 (c) 七分角法

### 1. 2. 3 画法几何基础知识

#### 1. 点的投影规律

(1) 借助素线找点。如图1-48(a)所示,已知点 $A$ 在圆锥表面,求作俯视图上的点。如图1-48(b)所示,过锥顶与 $A$ 点作一素线,利用圆锥的素线 $OA$ 可方便地得到点 $A$ 的俯视图投影。

(2) 点的投影变换。较复杂的结构放样经常用到投影变换。例如,求两个一般位置平面的夹角,求蛇形管的中心轴线实长等。

如图1-49(a)所示,在原来的投影体系中,垂直于一个原来的投影面再新设一个新投影面,这个新投影面的方向可以根据情况自由决定。设图中有一个空间点 $A$ ,新设投影面 $V_1$ 垂直于 $H$ 面, $V_1$ 面和 $H$ 面的交线是 $X_1$ 轴。显然, $A$ 点向 $V$ 面投影的点 $a'$ 和 $A$ 点向新设的 $V_1$ 面投影的点 $a''$ 到 $H$ 面的距离相等,即 $a'a_x = a''a_{x_1}$ ,把 $V_1$ 面沿箭头方向放平,得到图1-49(b)。由图中可以看出:旧点到旧轴的距离等于新点到新轴的距离。

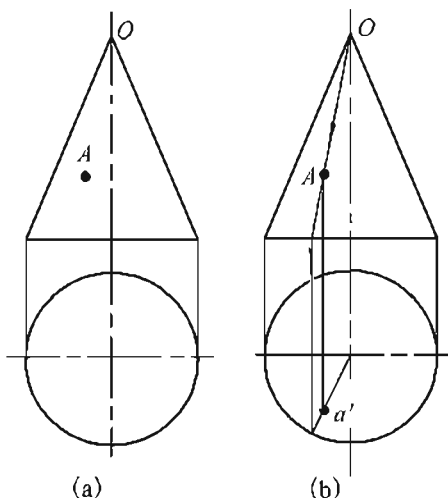


图1-48 取属于锥面上的点

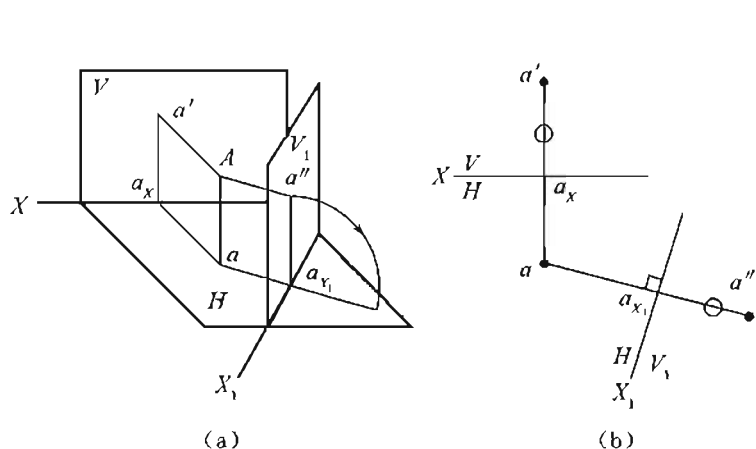


图1-49 点在 $V_1/H$ 体系中的投影

也可以垂直于 $V$ 面作投影变换,如图1-50(a)所示,垂直于 $V$ 面设新投影面 $H_1$ ,则 $A$ 点的两个投影点 $a_1$ 和 $a$ 到 $V$ 面的距离相等,如图1-50(b)所示,新点 $a_1$ 到新轴 $X_1$ 的距离等于旧点 $a$ 到旧轴 $X$ 的距离。

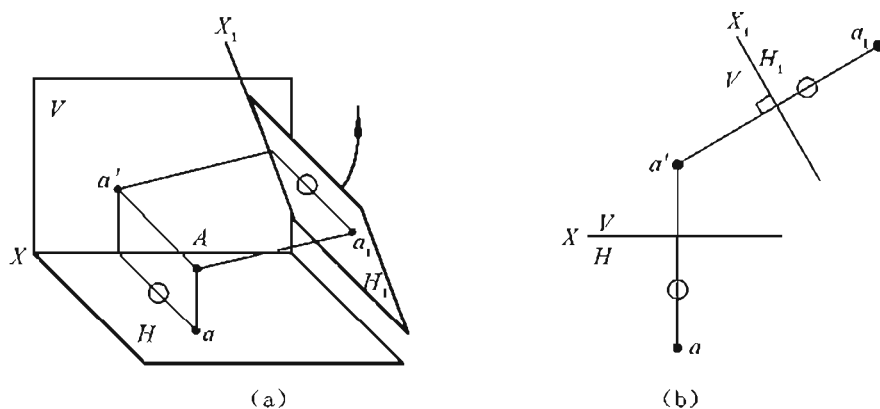


图1-50 点在 $V/H_1$ 体系中的投影

(3) 点的投影变换规律。点的新投影和不变投影的连线,必垂直于新投影轴。点的新投影到新投影轴的距离等于被更换的旧投影到旧投影轴的距离。新投影面上的点到新轴的距离要间隔一个投影图去量取旧点到旧轴的距离。

(4) 点的二次投影变换。在实际工作中,经常用到二次投影变换、三次投影变换以至更多,其规律是一样的,如图 1-51 所示。在图 1-51(a) 中,第一个新投影面垂直于  $H$  面,是  $V_1$  面。第二次投影变换的新投影面垂直于  $V_1$  面,与  $H$  面相对,是  $H_1$  面。在图 1-51(b) 中,点  $A$  一次变换后,再在适当方向设新轴  $X_2$ ,过  $a_1$  作  $X_2$  轴的垂直投影线,量取新点  $a_2$  到  $X_2$  轴的距离等于  $a$  到  $X_1$  轴的距离。

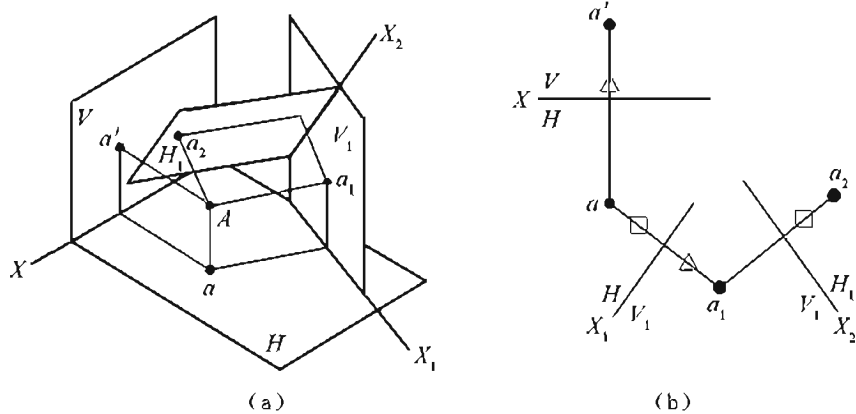


图 1-51 点的二次投影变换

## 2. 直线的投影规律

(1) 一般位置线段的实长。如图 1-52(a) 所示,线段  $AB$  是一般位置直线,正面投影是  $a'b'$ ,水平投影是  $ab$ ,在直观图上作辅助线  $a_1B$  和  $Ab_1$ 。可见,  $Bb_1$  是  $Z$  坐标差,  $Aa_1$  是  $Y$  坐标差。如图 1-52(b) 所示,作直角三角形,两直角边分别为投影长和坐标差,斜边即为实长。夹角  $\alpha$  是直线  $AB$  与  $H$  面的夹角,夹角  $\beta$  是直线与  $V$  面的夹角。利用勾股定理和三角函数即可方便地计算。规律如下:一般位置直线实长,以投影长和坐标差分别作为直角边画直角三角形,斜边即为线段实长;与投影面的夹角,直角三角形中坐标差的边所对的角是直线与投影面的夹角实角。

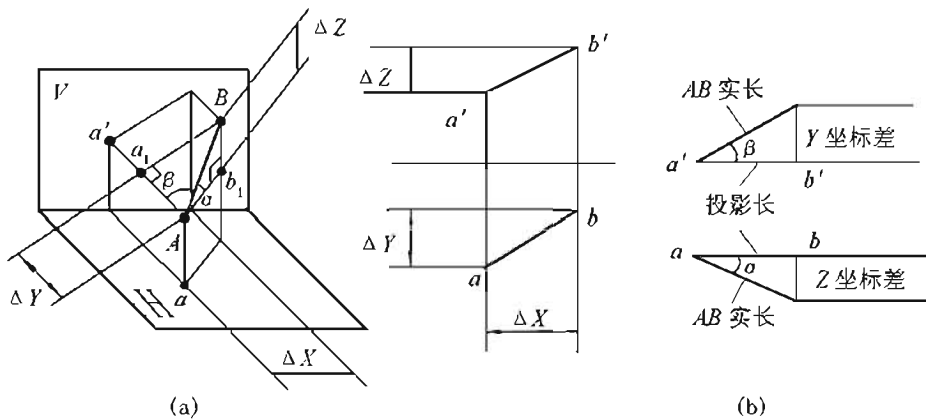


图 1-52 求一般位置直线的实长及与投影面的夹角

(2) 直线的迹点。有的构件展开时要用到迹线,例如画“斜马蹄”的展开图时,求素线的位置时

放样图要求求直线的迹点。迹点就是直线与投影面的交点。直线与  $H$  面的交点称为水平迹点，常以  $M$  标记；与  $V$  面的交点称为正面迹点；常以  $N$  标记；与  $W$  面的交点称为侧面迹点，常以  $S$  标记，直观图如图 1-53(a) 所示。迹点的求法如图 1-53(b) 所示：延长  $ab$  交出正面迹点  $N$ ；延长  $b'a'$  交出水平迹点  $M$ 。 $M$  和  $N$  投影到另一个投影图得到线上点  $n$  和  $m'$ 。

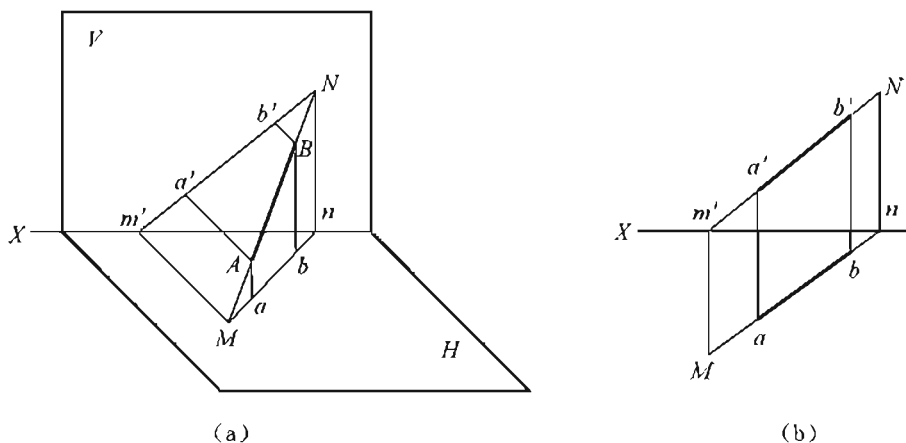


图 1-53 迹点的求法

(3) 两直线间的相对位置。两直线的相对位置有三种情况：平行、相交和交叉。平行两直线无交点，可以放在一个平面内，或说可以确定一个平面；两相交直线有一个公共点，两线在一个平面内；两直线既不平行又不相交称为交叉，交叉两直线又称异面两直线，两直线不能放在一个平面内，或者说用一个平面无法包含两交叉直线，两交叉直线间需要两个平面才能连接起来。

① 平行。两平行直线的投影也平行，两条直线在三个投影面的投影都无交点。两平行直线可以构成一个平面，在构件上可以用一块平板下料。在两个视图都平行的两条直线，不一定平行，如图 1-54 所示。

② 相交。两相交直线的投影也相交，且交点在三视图中是同一个点。如图 1-55 中的直线 1—2 和 1—3，交于点 1，两相交直线可以构成一个平面 1—2—3。而 2—4、3—4 两线交于点 4，是相交的，构成平面 2—3—4。

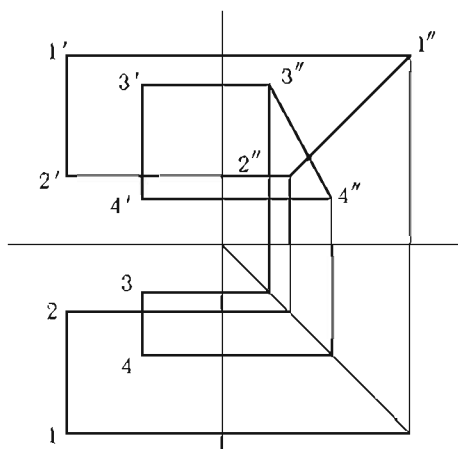


图 1-54 两交叉直线

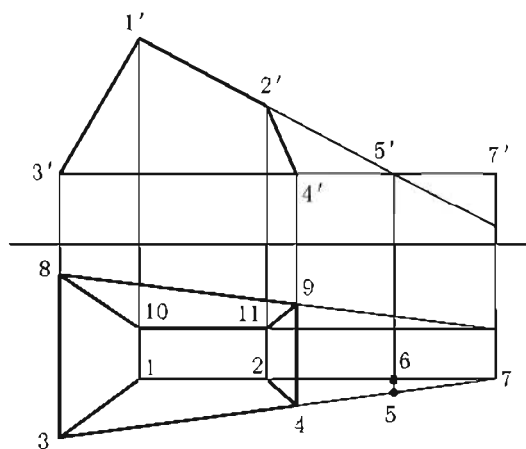


图 1-55 直线间的相交与交叉



③交叉。图1-55中所示构件的直线1—2和3—4,在正面投影图中交于一个点5',而在水平投影图中,1—2和3—4交于点7。点5'和点7的连线并不垂直于X轴,不是一个点。所以,直线1—2和3—4并不相交,是交叉的。所以,连接1—2和3—4两直线的是平面1—2—3和平面2—3—4,或三角形1—2—4和三角形1—3—4。

两直线既不平行又不相交即为交叉。例如,图1-55中的直线1—2和3—8,1—3和8—9,1—2和4—9等。

(4)直线的投影变换。直线的投影变换有两种:将一般位置直线变为投影面的平行线或变为投影面的垂直线。事实上,直线的投影变换就是两个端点的点的投影变换。平行于一般位置直线的投影作一条平行线,代表新投影面,则该直线平行于新投影面,成为新投影面的平行线。在此基础上,垂直于这条线再设新投影面,直线的投影就变成了一个点。

如图1-56(a)所示,先平行于 $ab$ 作直线 $X_1$ ,即设定了一个新投影面 $V_1$ ,垂直于 $X_1$ 轴作投影线,取新点 $a_1$ 、 $b_1$ 到新轴 $X_1$ 的距离等于旧点 $a'$ 、 $b'$ 到 $X$ 轴的距离。直线 $AB$ 就变为 $V_1$ 面的平行线了。为了使直线 $AB$ 变为投影面的垂直线,再垂直于 $a_1b_1$ 设新轴 $X_2$ ,量取新点 $a_2$ 到 $X_2$ 轴的距离等于 $a$ 到 $X_1$ 轴的距离,得到垂线 $a_2(b_2)$ ,直线 $AB$ 就变成了 $H_1$ 投影面的垂直线了。也可以平行于主视图进行投影变换,如图1-56(b)所示,平行于主视图设新投影面 $X_1$ ,到俯视图上找距离,移植到新投影图上,求出 $ab$ 线段实长。

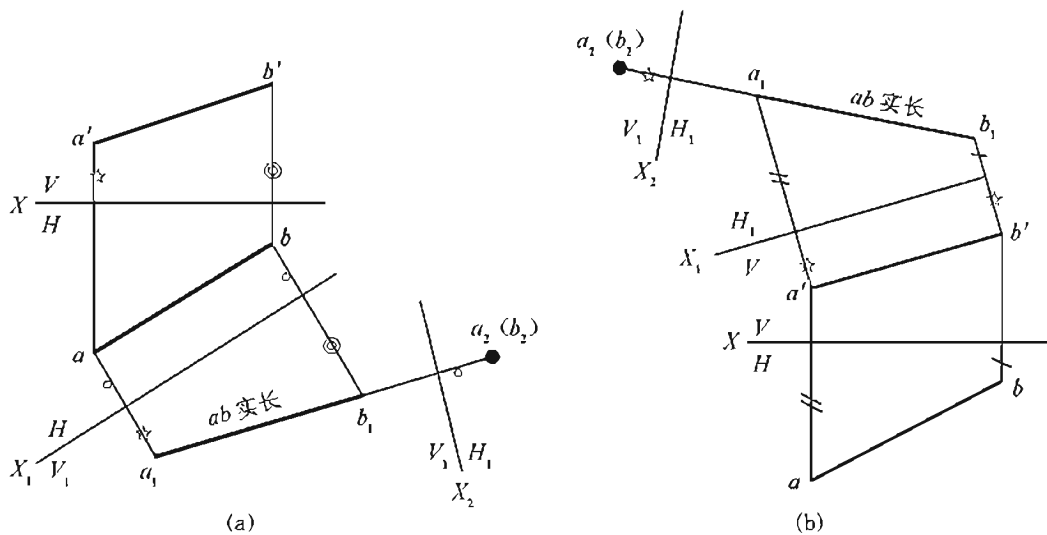


图 1-56 直线段的二次投影变换

直线的一次投影变换常用于求一般位置直线的实长。如图1-57所示,三节弯头的中节管的轴线是一般位置直线。如果三节圆管的轴线都反映实长时,相贯线的投影是直线。只要进行一次投影变换就可以达到三条轴线同时反映实长的目的。平行于直线2—3设新投影面 $V_1$ ,量取点 $1_1$ 、 $2_1$ 、 $3_1$ 、 $4_1$ 到 $X_1$ 轴的距离等于点1、2、3、4到 $X$ 轴的距离。三节圆管的轴线都反映实长,相贯线是直线。可依此图画出三节圆管的展开图。

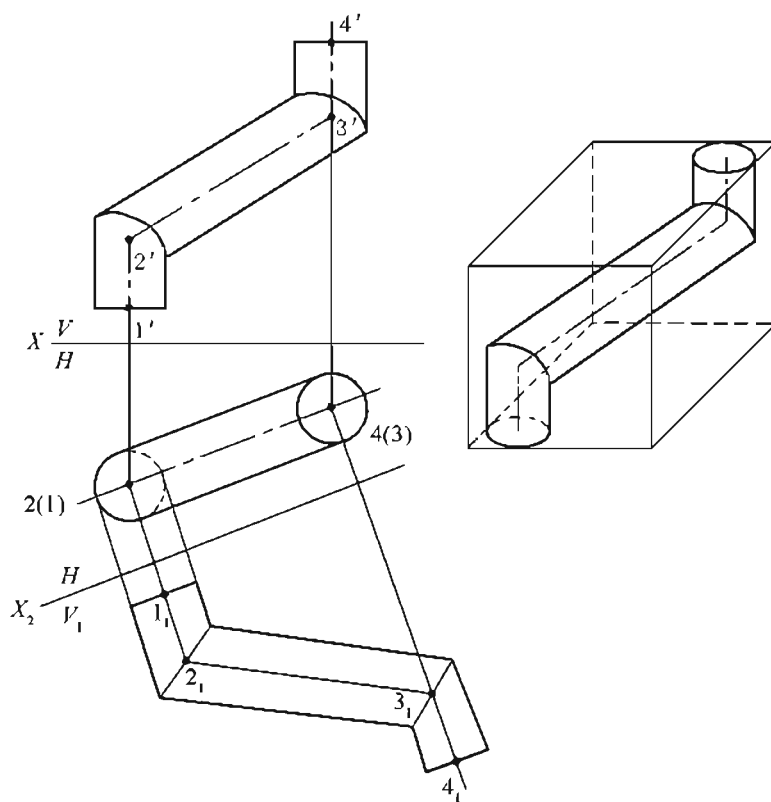


图 1-57 一次投影变换求三节弯头实形

直线的二次投影变换常用于将直线变为投影面的垂直线。如图 1-58 所示，两平面的交线是一般位置直线，要求两平面间的夹角，即求弯曲板料的弯曲角度。先平行于直线 1—2 设新投影轴  $X_1$ ，垂直于  $X_1$  画投影线，量取主视图各点到  $X$  轴的距离得到  $1_1、2_1、3_1、4_1$ ， $1_1—2_1$  即变为  $V_1$  面的平行线。再垂直于  $1_1—2_1$  设新轴  $X_2$ ，作投影线，量取俯视图的点 1、2、3、4 到  $X_1$  轴的距离得到点  $3_2、1_2、2_2、4_2$ 。这里，直线 1—2 已经变为  $H_1$  面的垂直线了，也即求出了两平面的夹角  $\alpha$ 。

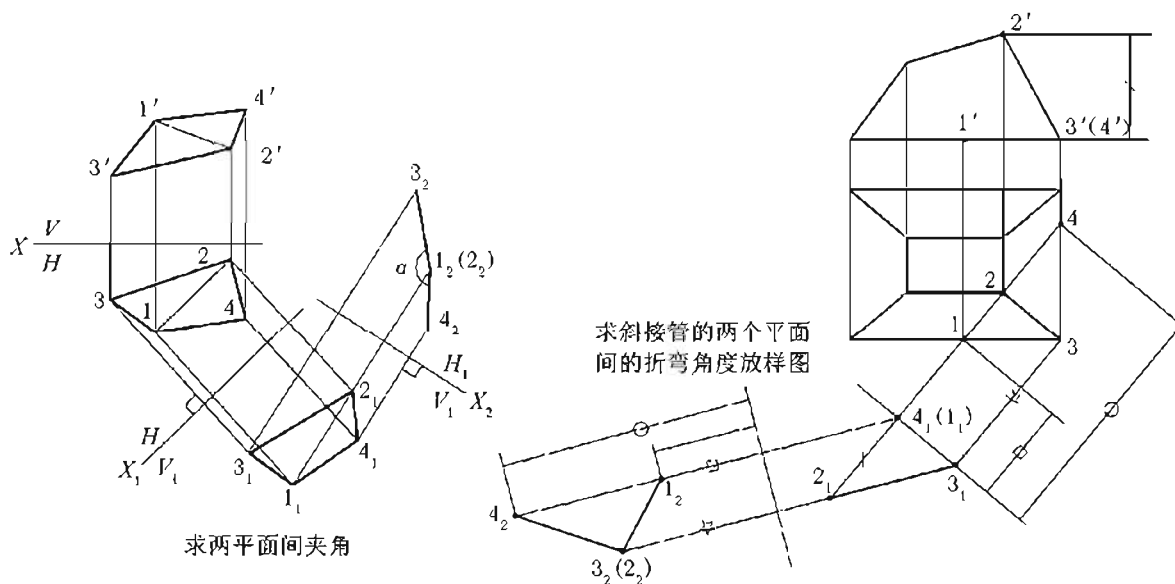


图 1-58 二次投影变换求二面角

### 3. 平面的投影规律

(1) 平面表示法。由初等几何知道,不属于同一直线上的三个点确定一个平面。因此,表示平面的方法如图 1-59 所示:不在同一平面上的三点如图 1-59(a) 所示,直线与线外一点如图 1-59(b) 所示,两相交直线如图 1-59(c) 所示,两平行直线如图 1-59(d) 所示,任意平面图形如图 1-59(e) 所示。

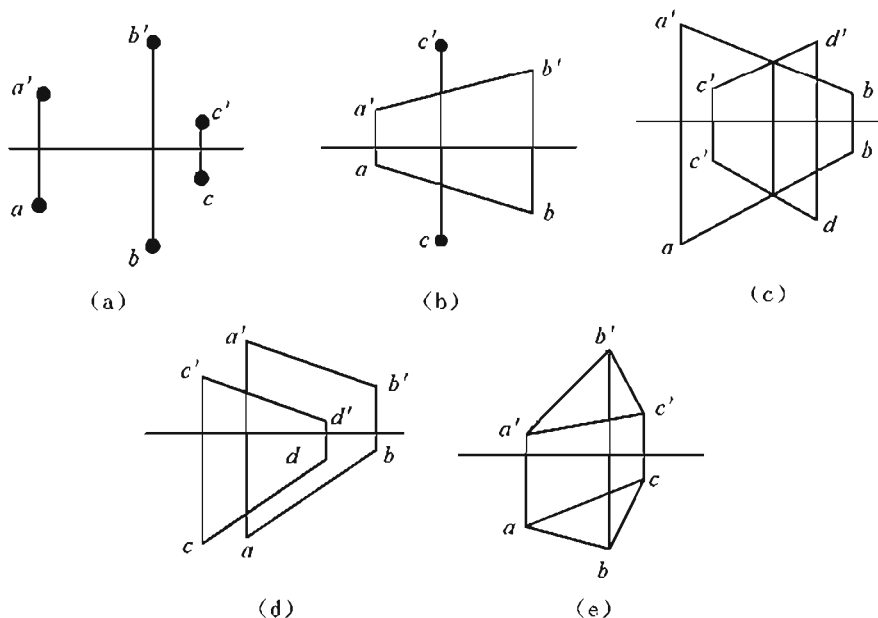


图 1-59 平面的五种表示法

空间的平面与投影面相交,其交线称为平面的迹线。如图 1-60(a) 所示,平面  $P$  与  $V$  面的交线称为正面迹线,常用  $P_V$  标记;平面  $P$  与  $H$  面的交线称为水平迹线,常用  $P_H$  标记;平面  $P$  与  $W$  面的交线称为侧面迹线,常用  $P_W$  表示。如图 1-60(b) 所示,两条迹线就可以表示平面  $P$ 。

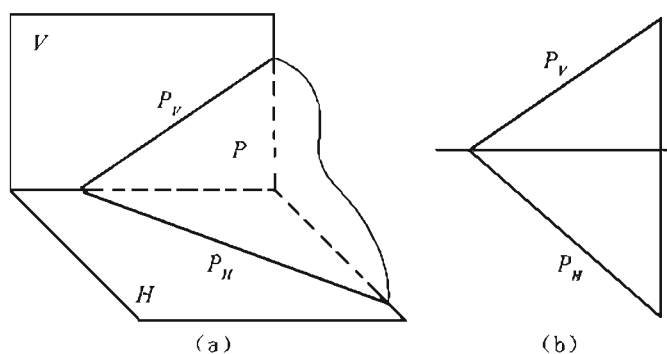


图 1-60 平面的迹线表示法

(2) 平面的投影变换。平面可以分为一般位置平面和特殊位置平面。特殊位置平面又可分为投影面的平行面和投影面的垂直面。

投影面的平行面是:正平面、侧平面、水平面。它们分别在  $V$  面、 $W$  面、 $H$  面反映实际形状。

投影面的垂直面是:正垂面、侧垂面、铅垂面。经过一次投影变换即可以求出实际形状。

用投影变换的方法可以方便地求出一般位置平面的实际形状。如图 1-61 所示,图 1-61(a) 是图纸给出的图样;图 1-61(b) 是工件立体图;圆管斜交平面  $P$ , 由于圆管轴线是一般位置直线, 圆管的主、俯视图画不完全。先平行于轴线 1—2 设新轴  $X_1$ , 量取  $1'$ 、 $2'$  到  $X$  轴的距离等于点  $1_1$ 、 $2_1$  到  $X_1$  轴的距离, 得到点  $1_1$ 、 $2_1$ 。因为平行于俯视图的轴线 1—2 设新投影面, 所以轴线  $1_1$ — $2_1$  平行于  $V_1$  面。可以画上圆管的直径, 直接画展开图。由于用平面斜截圆管得到椭圆, 圆管又平行于  $V_1$  面, 则椭圆的长轴是  $m$ — $n$ , 椭圆的短轴是圆管直径。图中省略了椭圆的详细画法, 实际放样时, 求管孔用管外皮。

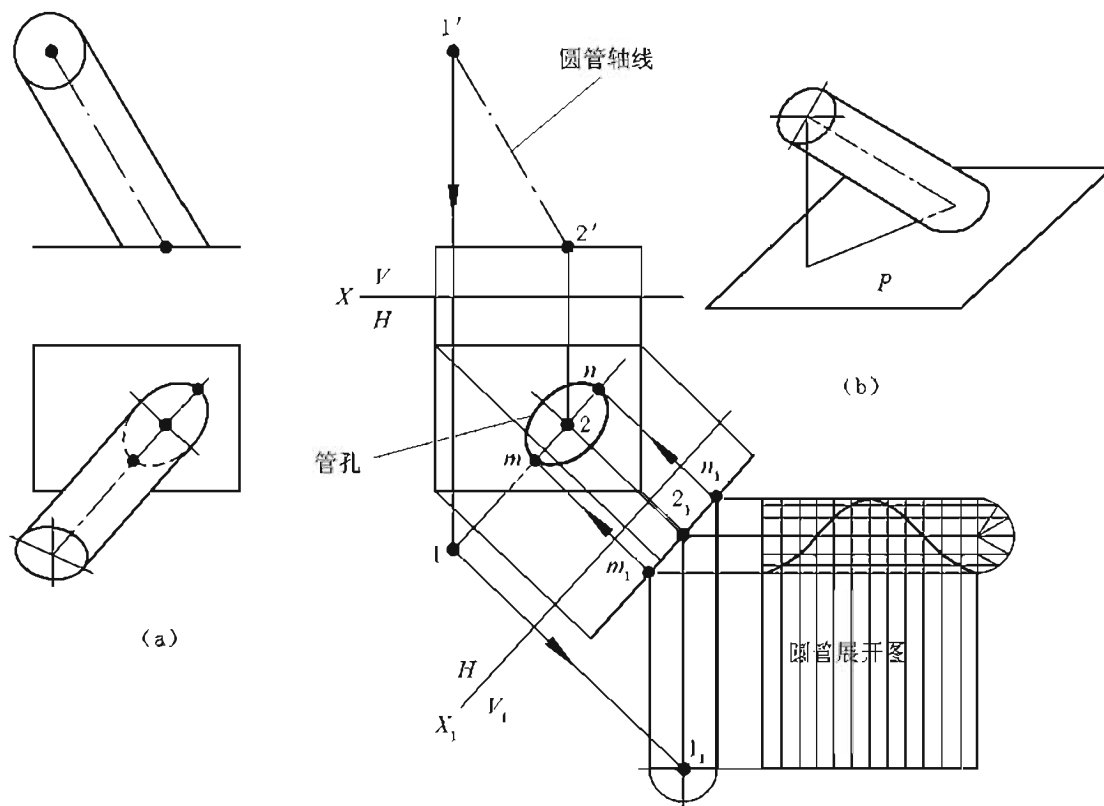


图 1-61 求圆管斜交平板的板孔形状及圆管展开图

#### 4. 点、线、面的旋转法

(1) 点的旋转。如图 1-62(a) 所示, 要求将点  $M$  绕已知轴线  $O_1O_2$  旋转, 旋到  $O_1M$  平行于  $V$  面。作法是: 如图 1-62(b) 在俯视图上以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心过  $M$  点画弧, 到平行于  $V$  面时, 向上投影得到  $M'$  点。

点的旋转常用于求直线的实长。例如, 求锥体表面上任意一点到锥顶的距离。如图 1-63 所示, 图 1-63(a) 表示圆锥上任意一点  $A$  绕圆锥轴线旋转, 将一般位置直线  $OA$  旋转为正平线, 在正投影面上的投影反映实长。图 1-63(b) 是点  $A$  旋转的投影图, 图 1-63(c) 表示用一个正垂面斜截圆锥时, 圆锥表面的代表性素线与截面的交点是 1、2、3、4、5、6、7, 其中  $O$ —7 和  $O$ —1 是正平线, 在图中反映实长, 将 2、3、4、5、6 各点旋转到  $O$ —1 线上, 得到各点到锥顶的实长。

(2) 直线的旋转。直线的旋转就是两个点的旋转, 只是旋转要“三同”: 绕同一轴旋转、旋转同一

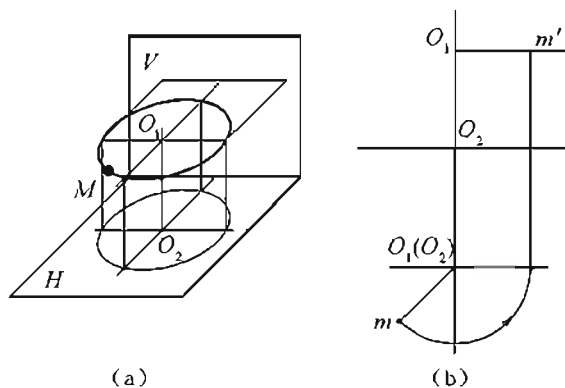


图 1-62 点绕铅垂轴旋转

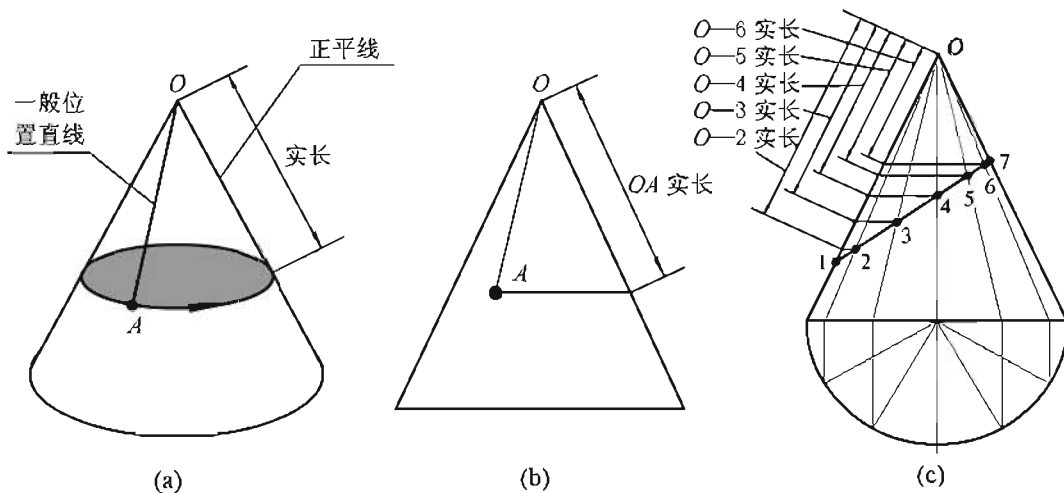


图 1-63 圆锥上任意点到锥顶的距离实长

角度、旋转同一方向。如图 1-64 所示,已知直线的水平投影 1—2 和正面投影 1'—2' 以及旋转轴  $O$ ,用旋转法求实长的方法是:在俯视图上以  $O$  为圆心,以  $O-1$ 、 $O-2$  为半径画弧,同轴旋转,转角相同,转至平行位置变为  $1_1-2_1$ ,再向上投影,得到直线的实长。实际上,是用俯视图的投影长和主视图的  $Z$  坐标差求出直线的实长。

如果未给定旋转轴,把一般位置直线旋转为投影面的平行面,就把过一个端点的投影面的垂直线作为旋转轴。如图 1-65 所示:图 1-65(a) 表示,假设过直线的端点  $a$  作铅垂轴  $O$ ,在俯视图上,直线  $ab$  绕  $O$  轴旋转, $b$  点旋至  $b_1$  点,向上投影至主视图,与  $b'$  向左交出  $b_1'$  点,连接  $b_1'$  至  $a'$ , $a'b_1'$  即为  $AB$  直线的实长。图 1-65(b) 表示绕正垂轴旋转  $ab$ ,旋平后,向下投影交出实长。

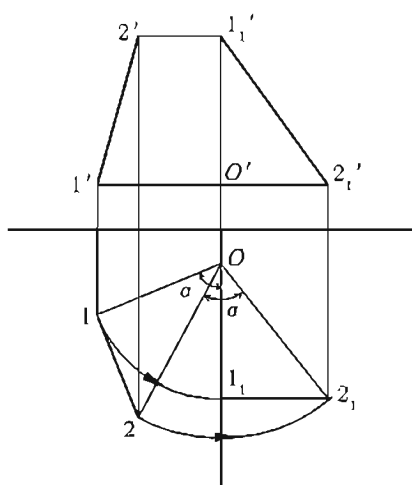


图 1-64 旋转法求一般位置直线的实长

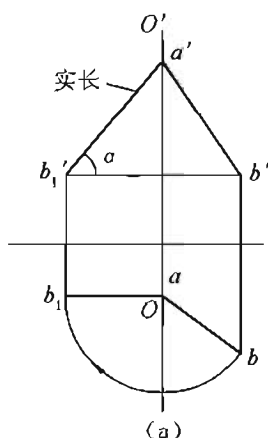
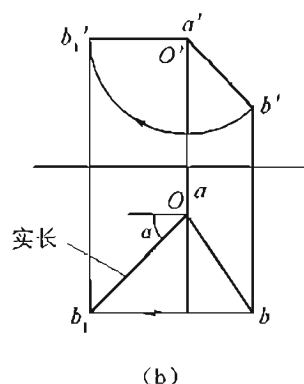


图 1-65 直线绕铅垂轴、正垂轴旋转



(3) 平面的旋转:

① 把一般位置平面旋转为投影面的垂直面。图 1-66 是把一般位置平面  $ABC$  旋转为正垂面的画法。画法是:借助于水平线旋转,过点  $3'$  向左画水平线,向下投影得点  $4$ ,进行无轴旋转,旋至直线  $4-3$  垂直于投影轴,由于直线  $4-3$  为水平线且垂直于  $V$  面,在  $V$  面的投影变为一个点,即平面  $1-2-3$  成为了投影面的垂直面。

② 把一般位置平面旋转为投影面的平行面。把一般位置平面旋转为投影面的平行面必须绕不同的轴旋转两次。先旋转成投影面的垂直面,再旋转为投影面的平行面,图 1-67 是在图 1-66 的基础上再旋转一次把投影线  $2_1-1_1$  旋至水平,向下投影,因为旋转过程中点  $1、2、3$  距  $V$  面的距离并没有改变,可由一次旋转后的点  $1_1、2_1、3_1$  向右画平行于投影轴的线交出  $1_2、2_2、3_2$ ,得到平面  $1-2-3$  的实际形状。

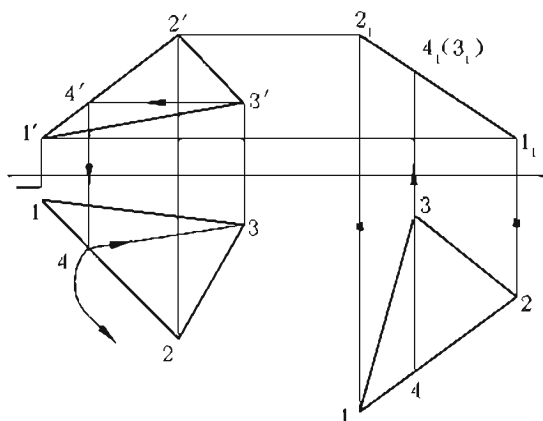


图 1-66 用不指明轴旋转法变一般位置平面为垂直面

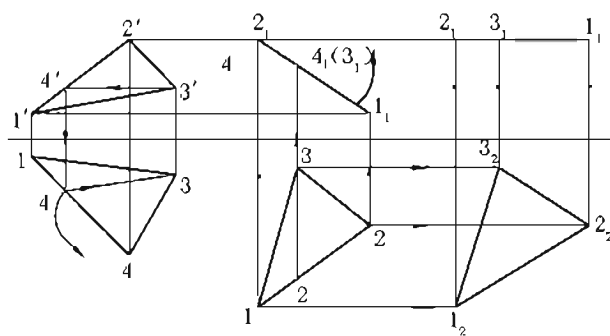


图 1-67 一般位置平面旋转为投影面的平行面

### 1.3 放样与放样图

展开放样有两种方法:图解法和计算法。

图解法简单易行,应用较广,但是难免有作图误差。计算法虽然麻烦,但误差较小。国内外已经出现用于直接求出零件展开图的计算机软件,操作很容易,只要按图纸要求选择同类型零件图形,

输入尺寸就可以得到展开图,将图形打印或直接输入数控切割机进行下料。但是,就中、小铆焊企业而言,还是图解法应用更为广泛。

### 1.3.1 放样

放样又叫放大样、现图。在读产品零件图纸时,直接读图就可以确定形状、尺寸的零件不需要放样,而必须经过放样、展开才能确定零件形状尺寸时才需要放样。根据施工图的要求,按1:1的比例将零件的一个或两个视图画到放样平台或板料上,这样画出来的图叫放样图。在放样图上进行进一步的作图才能求出某些线段的实际长度和零件的展开图。

#### 1. 放样求角钢框的斜拉筋长度

如图1-68所示,用1:1的比例将图样画于平台上,很容易求出斜拉角钢的长度。这根角钢的长度尺寸一般在图纸件号表里有标注,但只能作为参考,要实际放样验证一下。

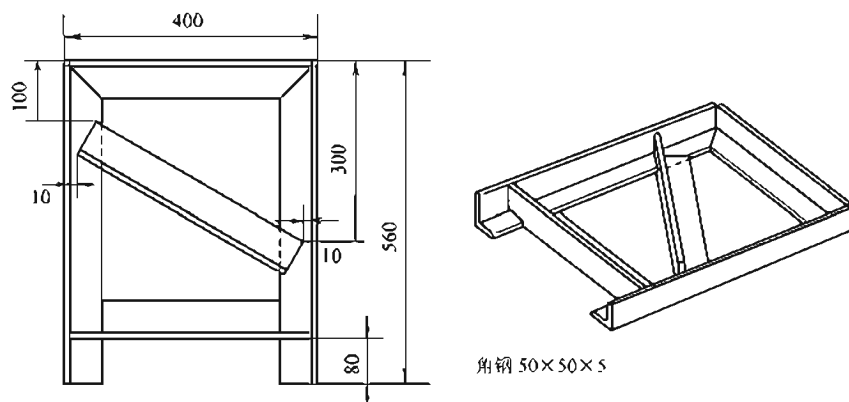


图 1-68 求拉筋角钢长度

### 2. 放样求支架的零件尺寸

如图 1-69 所示, 件号 1、2 可以用计算方法求出, 也可以用放样方法求出。用 1:1 的比例将主视图图样画于平台上, 很容易求出件 1、2 的下料长度。

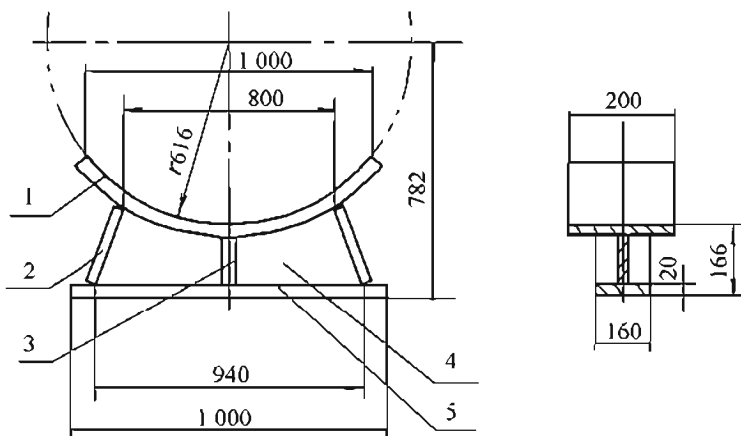


图 1-69 放样求支架拉筋板长度

### 3. 三通管的放样分析

如图 1-70 所示, 通风管件由件 1、3 角钢圈、件 2、4 圆筒组成, 角钢圈可以计算下料, 下料长度留有余量, 弯好后再去头。件 4 筒身也可以计算下料, 筒身上的孔可以在卷圆后画线切割。件 2 就必须经过放样求出展开图形后才能画线切割。

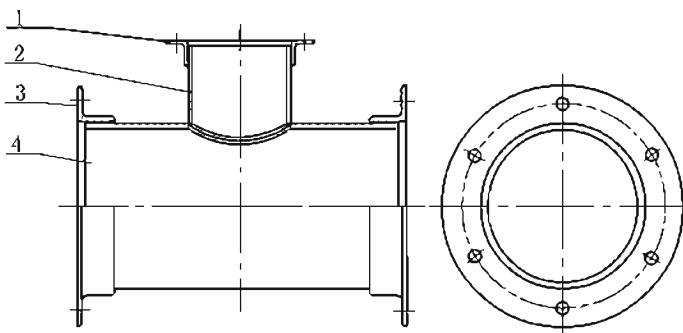


图 1-70 通风管件



### 1.3.2 放样图与施工图的区别

(1) 施工图纸的比例不确定,而放样图的比例一般只限 1:1。

(2) 放样时,目的明确,只要求出零件的尺寸、形状就可以了。因此,不必画得与图纸一样完全,更没有必要标注尺寸,只需将必要的点编好数字代号,以便寻找投影点的相互关系。有时仅画出一面投影的 1/4 或局部投影,就可以完成放样任务。

(3) 画放样图时,所有辅助线一般都保留,以明确线条之间的关系。

(4) 图纸上的一些需要放样才能求出实际尺寸的零件,图纸上标注的尺寸仅作为参考,尺寸出入较大或图纸有明显错误的应上报技术部门确定后再往下进行。

(5) 零件精度要求较高时,放样误差仅有 0.5 ~ 1 mm,放样图形的线条越细越好。放样时画的线条一般无粗细之分。

(6) 放样时,对于圆筒件、要经过火曲或冷曲的压弯件、一般要作出弯曲卡样板,有时还需要供装配时确定零件间相互位置的卡样板,在放样时要一并求出,并作出卡样板。

### 1.3.3 在具体构件中线段实际长度的求法

在画实际构件展开图时,首先要求出一般位置直线的实际长度,求线段实长的方法常用计算法、直角三角形法、梯形法、变换投影面法。

#### 1. 计算法求实长

(1) 弧长计算。对于圆筒形零件,直径与板厚的比值较小时,即板很厚,直径很小,板材在弯曲时会有变薄现象,展开长度计算依板料机械性能、弯曲加工温度等因素决定。一般情况下,直径与板厚的比值较大,板材变薄,长度延展较小,展开长度按板厚中心直径计算。当圆筒直径大于 1 000 mm 时,为保证计算精度, $\pi$  值常取 3.141 6,如图 1-71 所示。

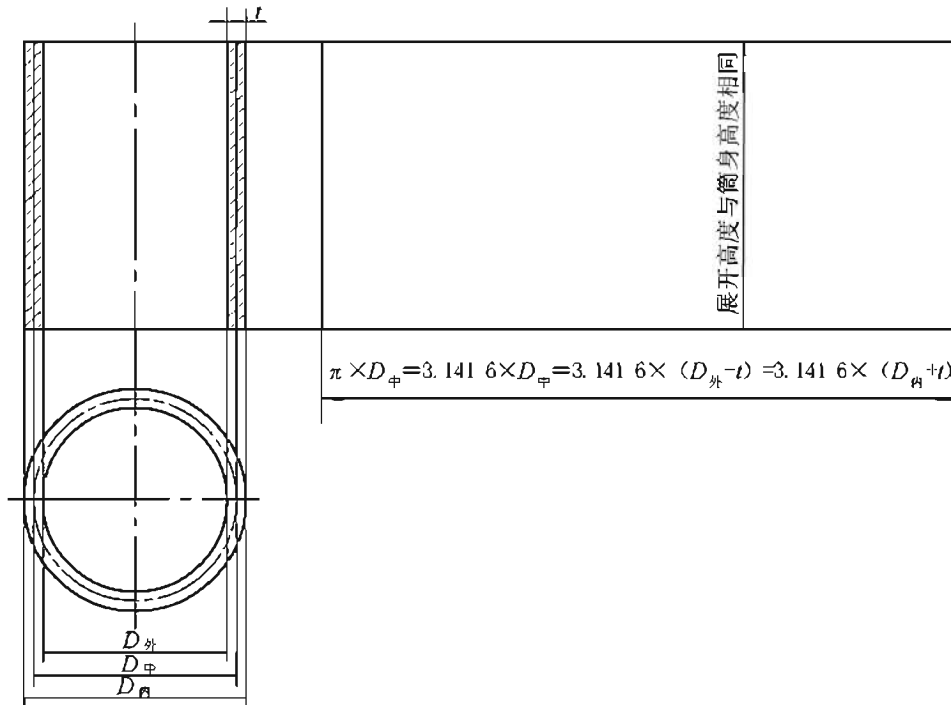


图 1-71 圆筒的展开图

(2) 螺旋线长计算。螺旋线可以看成是由一面三角形旗帜绕圆柱体卷制而成,三角旗的高是螺旋线的导程,三角旗的底边长是圆柱的直径乘  $\pi$ ,则螺旋线的展开长计算如图 1-72 所示。

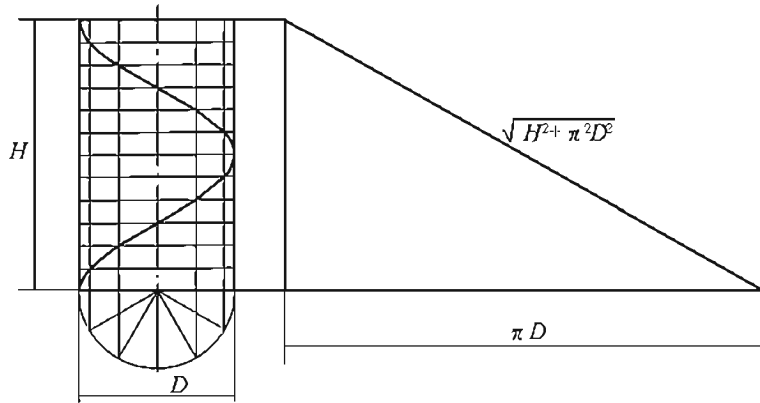


图 1-72 计算螺旋线展开长度

(3) 如图 1-73 所示,根据图纸画五角星的展开图,先要求出两条棱线的实长。已知图纸尺寸: $d$ 、 $D$ 、 $H$ ,可以根据勾股定理计算出实长 1 和实长 2。如果不计算,只要画出两个求实长的三角形即可以直接画展开图了。展开图的画法是:分别以  $2a$ 、 $2b$  为直径画同心圆,等分成 5 份后,依次连线完成展开图。

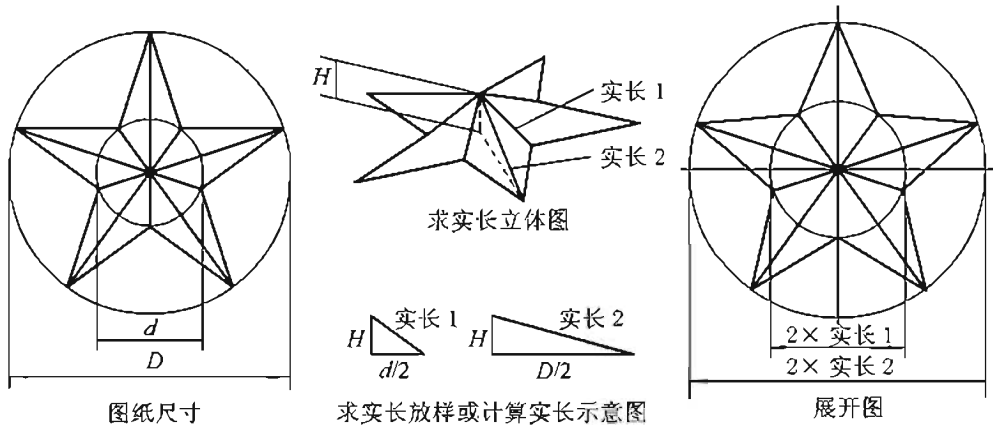


图 1-73 凸五角星的线段实长计算示意和放样、展开图

## 2. 直角三角形法求线段实长

用直角三角形法求线段实长的方法前面已经介绍,如图 1-52 所示,作一直角三角形,一条直角边取线段的投影长,另一条直角边取线段两端点的对应坐标差,三角形的斜边就是线段的实际长度。取主视图的投影长则取俯视图的纵向坐标差;取俯视图的投影长则取主视图的纵向坐标差。下面结合具体构件介绍线段实际长度的求法。

如图 1-74 所示,多棱台的上、下底平行,为便于画出各四边形,将四边形分成三角形,图中 5—8、4—9、3—9 是一般位置直线,需要求实长。3—8 是侧平线,虽然在侧面投影图显示实长,但为简便作图,也一起求实长。在实长图中,取俯视图的投影长和主视图的坐标差——上、下底面间距离  $H$  分别作直角边,直角三角形的斜边即是各线段的实长。

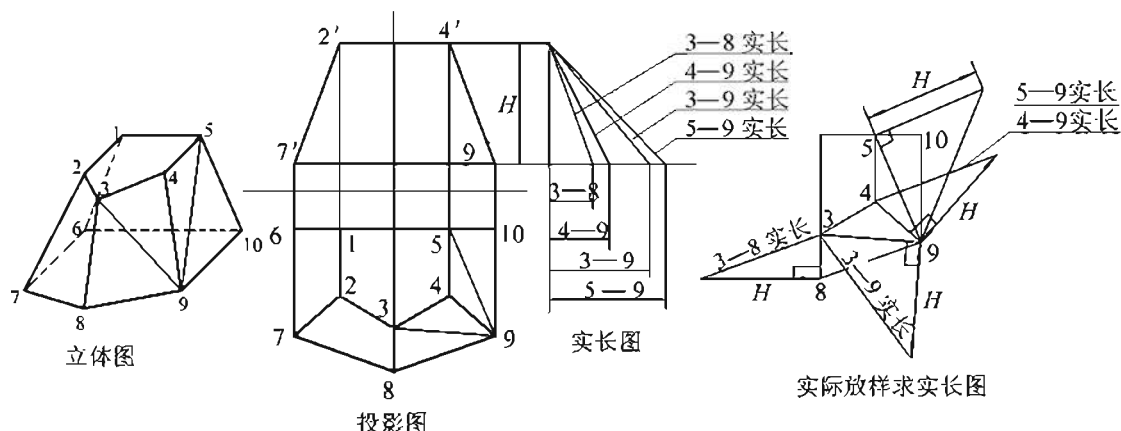


图 1-74 直角三角形法求线段实际长度

在实际工作中,只要画出俯视图的一半,在需要求实长的投影线的一个端点画直线垂直于该投影,量取坐标差作为直角边,连接斜边即可直接求出该线段的实长。

### 3. 梯形法求线段实长

梯形法求一般位置直线的实长,一般需要选取一个平面作为基准,梯形的下底是被求线段的投影长,两立边是线段两端点到基准面的距离,梯形的上底即为线段的实长。

如图 1-75 所示,“斜马蹄”是连接两不同方向、不同直径的圆管的过渡连接件,上口倾斜,端面是正圆,下口水平,端面也是正圆。为了画出展开图,必须求出每条素线的实长,图中以 2—6、3—7、4—8 三条素线为例,叙述梯形法求线段实长的作图步骤。

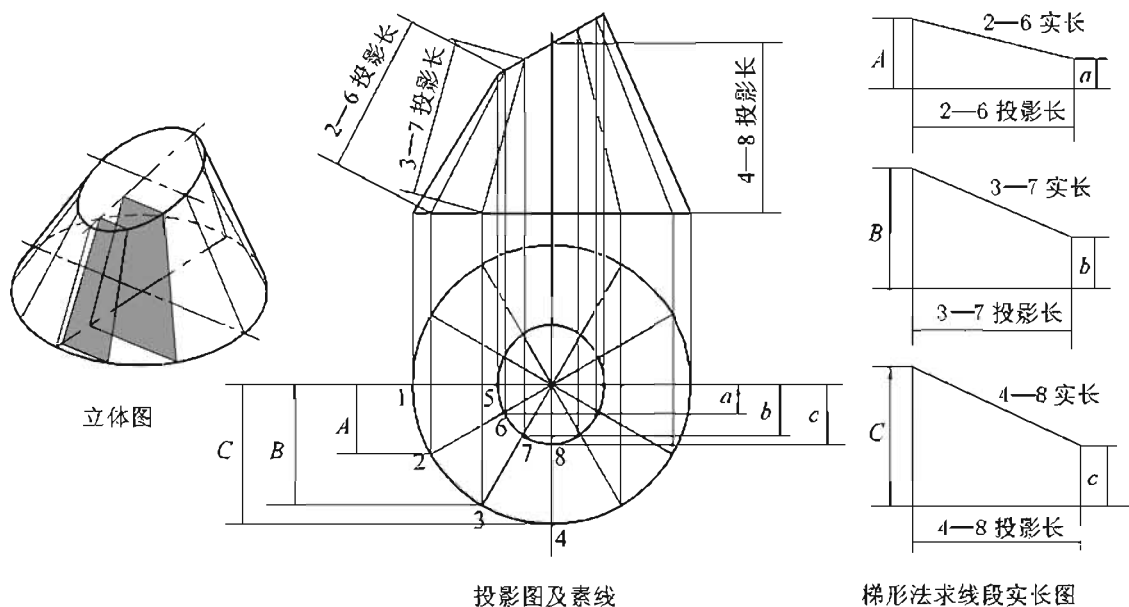


图 1-75 用梯形法求“斜马蹄”素线实际长度

首先选过构件轴线的侧平面作为基准面,设点 2、3、4 到基准面的距离为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ ,点 6、7、8 到基

准面的距离为  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。直线 2—6 的实长求法是,如图 1-75 的立体图所示,梯形的底边是线段在主视图上的投影长“2—6 投影长”,梯形的两腰与底边垂直,长度取线段两端点到基准面的距离即  $a$  和  $A$ ,梯形的上底就是线段 2—6 的实长,见线段实长图。用同样的方法求出 3—7、4—8 两线段的实长。实际展开时还要找出其他线段的实长,这里仅介绍用梯形法求线段实长的作图过程。

#### 4. 用投影变换方法求一般位置直线的实长

用投影变换方法求一般位置直线的实长,如图 1-76 所示,一次投影变换即可求出线段实长。以上、下口扭转的连接管为例,用投影变换求实长,如图 1-76(a) 所示。在主视图上平行于棱线设立新投影轴,量取俯视图上的对应距离画出棱线实长。此零件的 8 条棱等长,上、下口的边长在俯视图上反映实长。画展开图时如图 1-76(b) 所示,将各边依次连接成三角形,完成展开图。

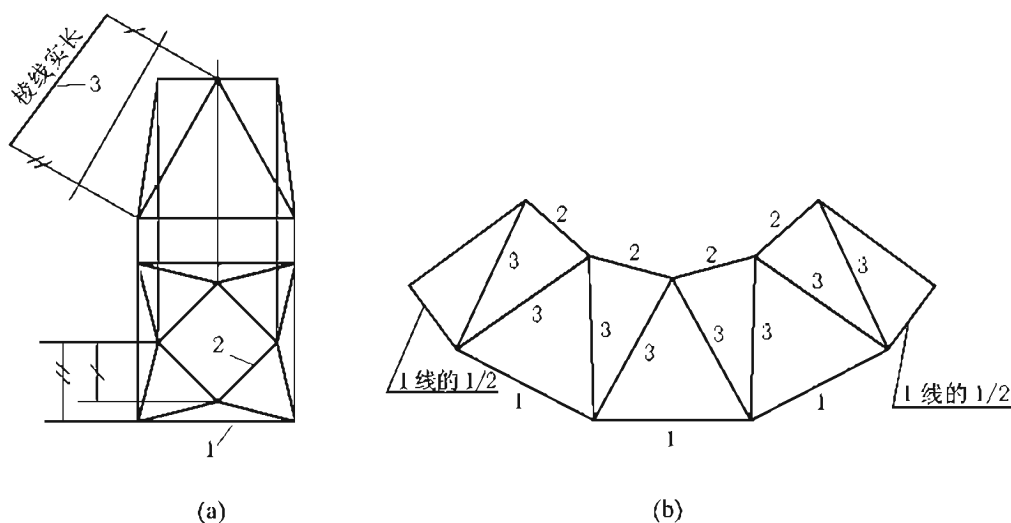


图 1-76 用投影变换法求线段实长实例

## 1.4 断面实形的求法

一条任意空间直线段,只有当它平行于某一投影面时,它在该投影面的投影才反映实长。同理,一个任意平面图形只有平行于某一投影面时,它在该投影面上的投影才反映实际形状。根据这个条件,可以用以下方法求断面的实际形状,以下断面的实际形状简称断面实形。

### 1.4.1 用平面截圆柱所得断面图

如图 1-77(a) 所示,用平面截圆柱体有三种方式,垂直于轴线截取,得到正圆,平行于轴线截取,得到矩形,斜截断面是椭圆。图 1-77(b) 表示两同直径圆柱体有相同的椭圆截面,可以互相很好地连接。图 1-77(c) 表示连接两互相垂直的等径圆管时,如图所示的弯头分节方法,可以保证中节管的断面是正圆,而如图 1-77(f) 所示的分节方法,两节管的断面都是椭圆,与设计者的意图相违背。图 1-77(d)、图 1-77(e) 表示垂直于管的轴线截得正圆时,斜截就得到椭圆;如果斜截管子的截面是正圆,管子就是截面为椭圆的椭圆管。

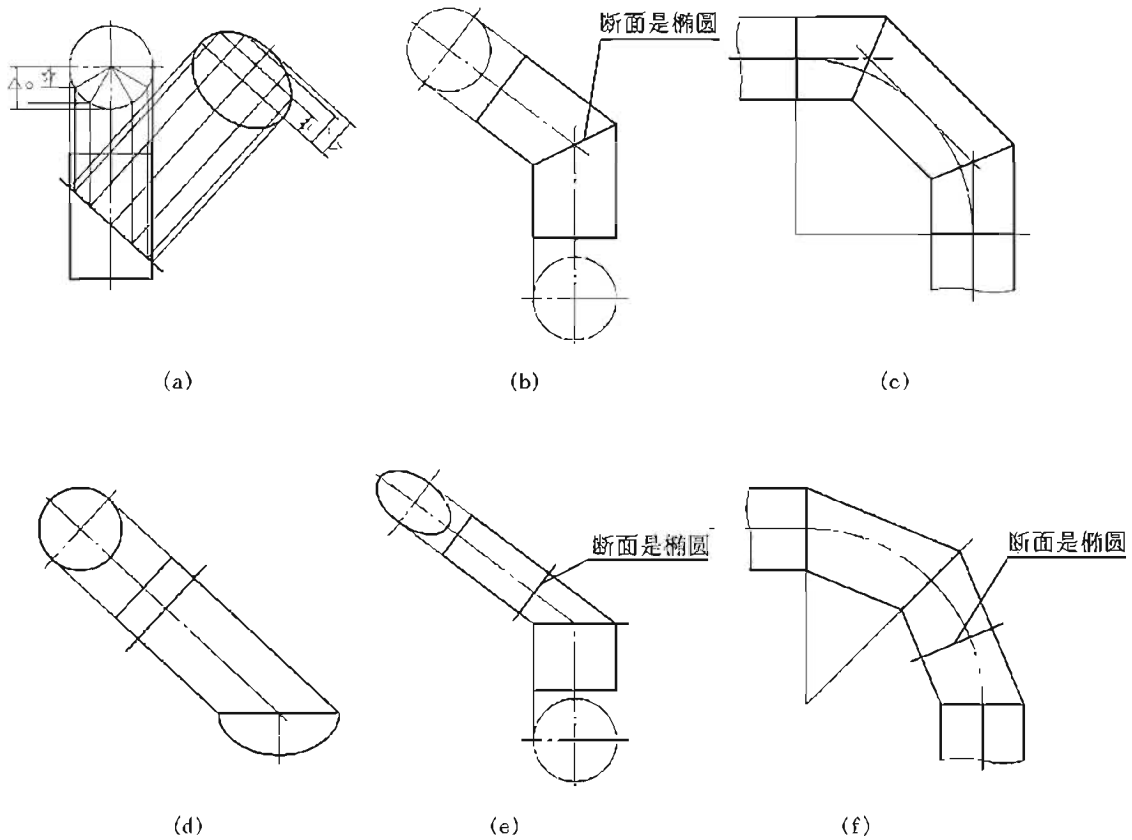


图 1-77 平面截圆柱体

### 1.4.2 用平面截圆锥所得断面图

#### 1. 用平面截圆锥的五种方式

以五个平面截正圆锥体为例,如图 1-78 所示,平面 A 垂直于圆锥轴线截得圆,平面 B 过锥顶截得三角形,平面 C 平行于斜边(截平面与锥体表面一条素线平行)截得抛物线,平面 D 垂直于底面截得双曲线,平面 E 斜截圆锥截得椭圆。

#### 2. 求平面截正圆锥的断面图

如图 1-79(a) 所示,由于圆锥是回转体,用垂直于锥体轴线的平面截切会得到正圆。用经过锥顶的平面 B 截切,如图 1-79(b) 所示,经过锥体的两条素线,得到三角形截面,三角形的高是主视图上截面的投影长,在俯视图上量取三角形的底边长。沿 C 截面截切,如图 1-79(c) 所示,适当选取一些锥体表面的素线,下面的半圆是圆锥俯视图的一半,将主视图上截切面与各素线的交点投影到下面的俯视图上,得到过各截切点的正垂线段的长度,量取到断面图上。主视图上的点 3 是特殊点,过点 3 作水平线,相当于用垂直于锥体轴线的平面去截,截得正圆,其半径就是 3 的线段长。图 1-79(d) 的画法也是借助主视图上素线与截面的交点求出正垂线段长。图 1-79(e) 的画法也相同,椭圆的短轴是主视图上过 1—7 线段的中点 m 的正垂线段。椭圆可以用椭圆作图法画出。

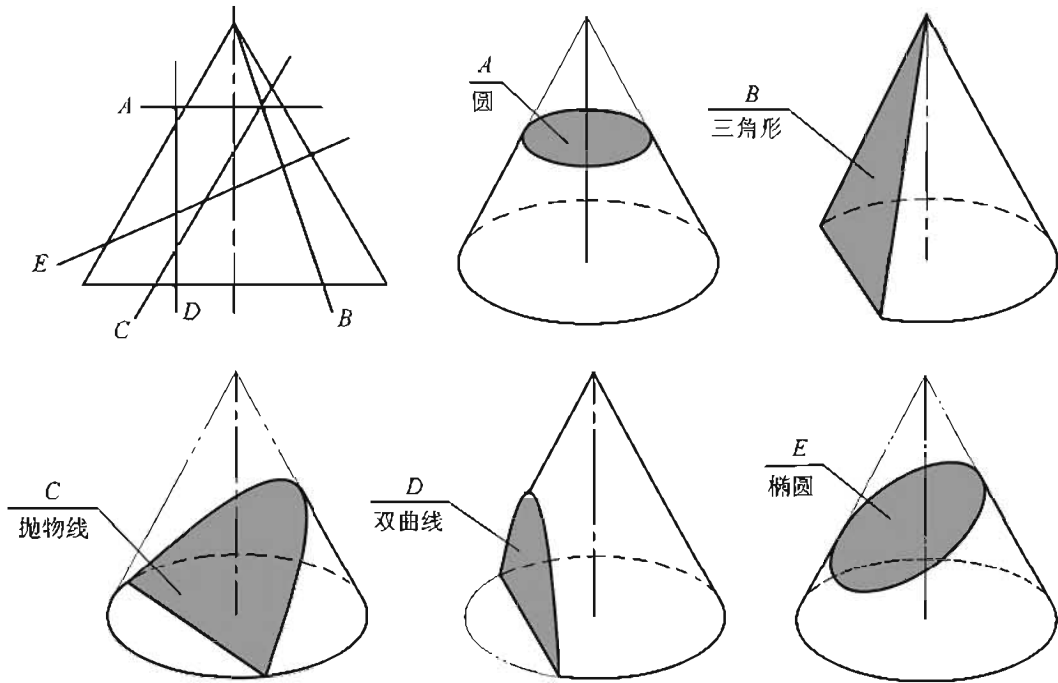


图 1-78 平面截圆锥得到的断面图

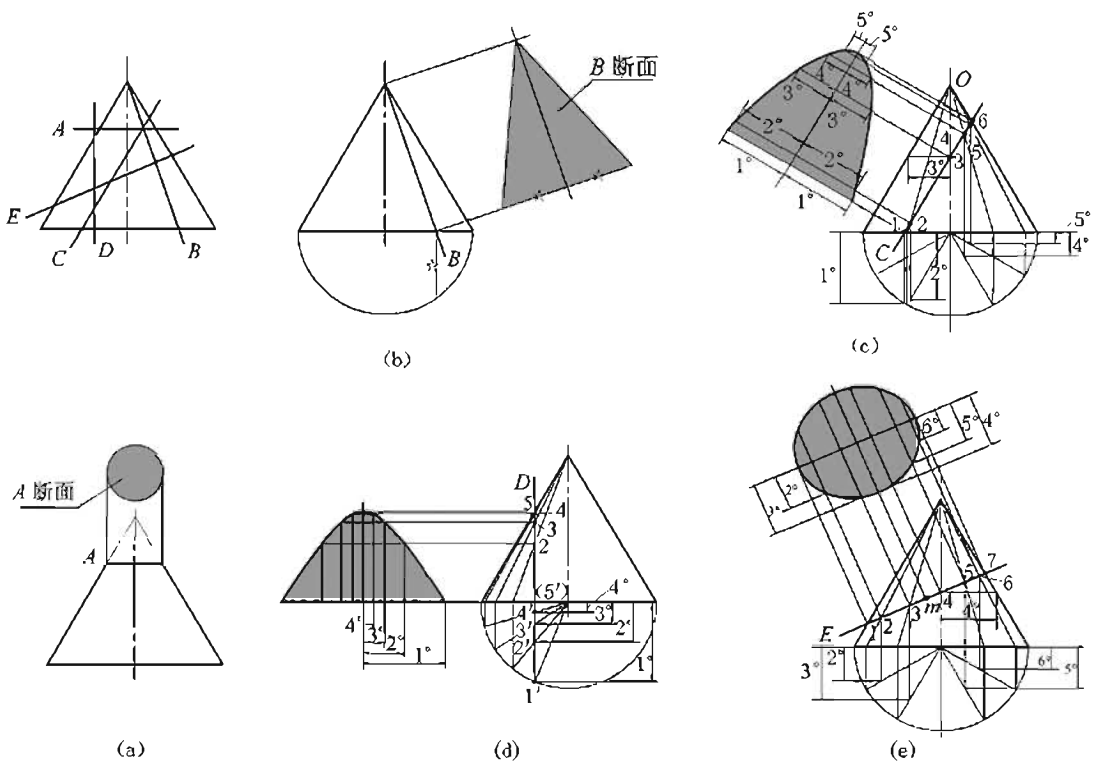


图 1-79 平面截正圆锥的断面图画法

(a) 沿 A 截面截切 (b) 沿 B 截面截切 (c) 沿 C 截面截切 (d) 沿 D 截面截切 (e) 沿 E 截面截切

### 1.4.3 斜截“天圆地方”的截面形状

如图 1-80 所示,设异形接头的上口是圆,下口是矩形,要求出它与正垂面相交的断面形状。先在俯视图上等分圆周,向上投影得到主、俯视图。在主视图上,过截面与素线的交点向下投影得交点。平行于截面设新投影轴  $X_1$ ,取俯视图上旧点到旧轴( $X$ 轴)的距离等于一次变换图上新点到新轴( $X_1$ 轴)的距离。

如图 1-81 所示,依照上述规律把各点都画出来即得到了断面实形。

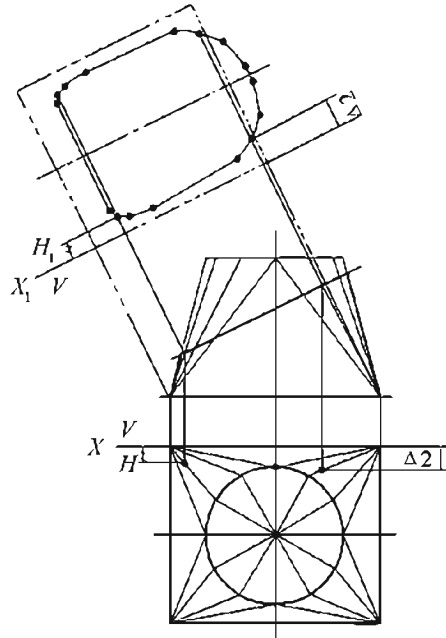


图 1-80 求异形过渡管的断面实形规律

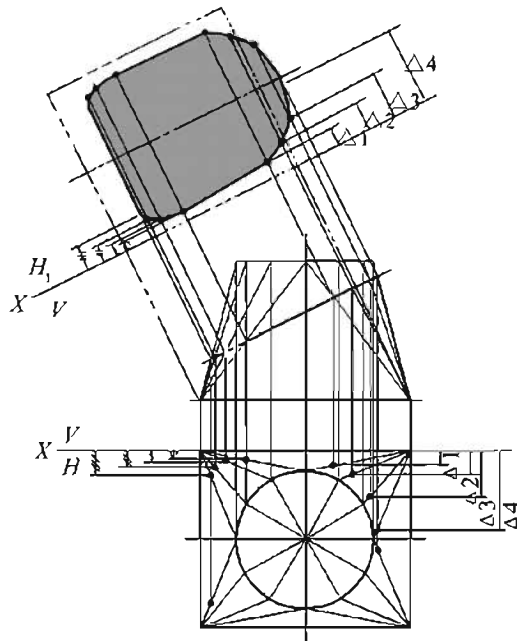


图 1-81 求斜截圆顶矩形底连接管的断面实形

### 1.4.4 求铅垂面截切回转体的断面

如图 1-82 所示,用铅垂面去截回转体,首先,在俯视图上作圆与截平面的投影相切,得切点 5,过圆的两端向上投影得截面 IV,过点 5 向上投影与截面 IV 相交得点 5',在截面 IV 与底面之间分为若干等份,图中分为 4 等份,得截面 I、II、III,由于截面垂直于回转体截面,截面为圆,在主视图上过两端点向下投影,以此长作为直径画圆,与俯视图截线交出 2、3、4、6、7、8。过各点向上投影,与截面 I、II、III 得交点 2'、3'、4'、6'、7'、8'。用曲线连接各点完成主视图。

为求出截交线,一次投影变换即可。平行于俯视图的截线设新投影轴  $X_1$ ,过俯视图上各点垂直于新轴投影,量取主视图上各点到  $X$  轴的距离作为新点到新轴  $X_1$  的距离,得到新点  $1_1$ 、 $2_1$ 、 $3_1$ 、 $4_1$ 、 $5_1$ 、 $6_1$ 、 $7_1$ 、 $8_1$ 、 $9_1$ 。曲线连接各点即完成截交线的实际形状。

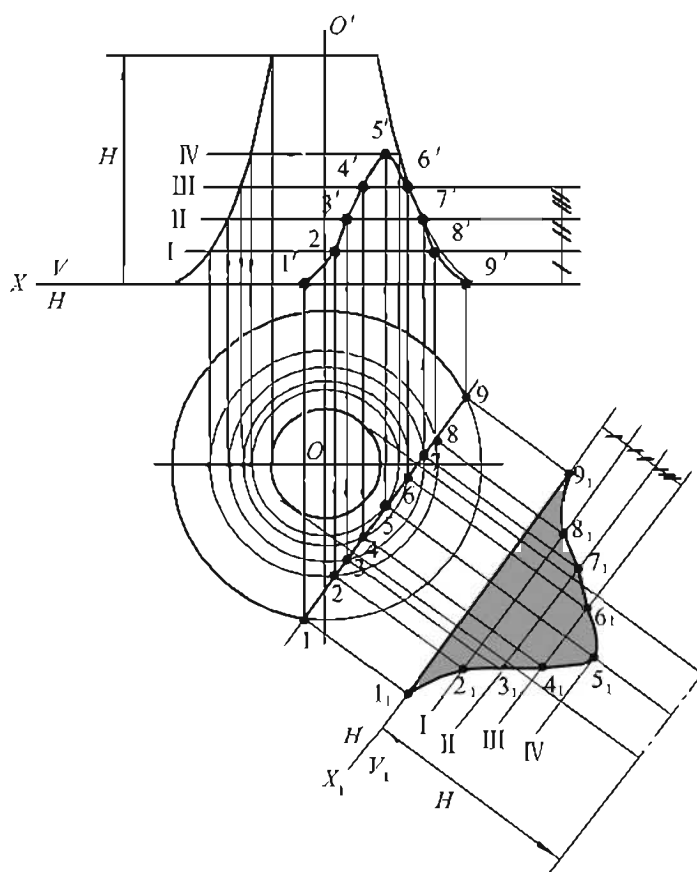


图 1-82 铅垂面与回转体的截面

## 1.5 结合线及其求法

### 1.5.1 结合线及其特性

在通风管道、物料输送、板材结构等焊接结构中,经常遇到两个或几个构件相交,其交线就是相贯线,在冷作钣金中习惯将相贯线称为结合线。

由于展开图上的一些曲线是根据结合线的投影绘制的,所以求结合线的作图必须准确。结合线



具有以下两个基本性质:

- (1) 结合线是两个基本体(球、柱、锥等)表面的共有线,是一系列共有点的集合;
- (2) 因为基本体具有一定的空间范围,所以结合线一般是封闭的空间曲线、平面曲线或直线。

根据上述性质可知,求结合线的实质,就是求两基本体表面的共有点,将这些点光滑地连接,即得结合线。

### 1.5.2 求结合线的方法

常用的求结合线的方法有:素线法、纬线法、辅助平面法和辅助球面法。

常见的基本体有球、柱、锥、环,它们都是回转体,由于母线的形状不同,绕轴线回转后形成不同的曲面,母线在曲面上的任何一个位置统称为素线。

立体分平面立体与曲面立体两大类,所以立体相贯可分为平面立体与平面立体相贯、平面立体与曲面立体相贯、曲面立体与曲面立体相贯三种情况。

#### 1. 两平面立体相贯

两平面立体的相贯线是闭合的空间折线或平面多边形。各段折线是两立体相应棱面的交线;相邻两折线的交点是某一立体的棱线与另一立体的贯穿点。因此,求两平面立体相贯线的方法,实质上就是求两个相应的棱面的交线,或求一立体的棱线与另一立体的贯穿点。

(1) 求直线与平面的贯穿点。常见的直线与平面的贯穿实例如图1-83所示,图1-83(a)、(b)是直线贯穿三棱柱,图1-83(c)、(d)是直线贯穿三棱锥。

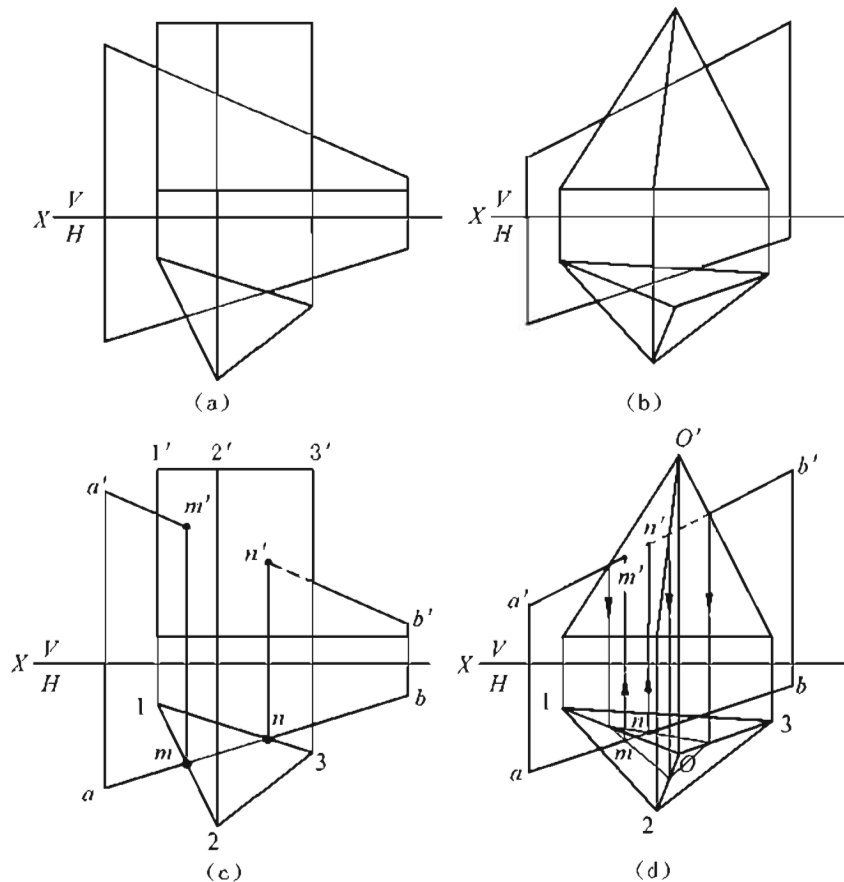


图 1-83 求直线与平面的贯穿点

图 1-83(a) 和图 1-83(c) 是所给题目的两投影图;图 1-83(b) 的画法是:由于正三棱柱的三个面都是铅垂面,可以看成是由无数条铅垂线所构成,在图 1-83(b) 的俯视图上,直线交三棱柱于  $m$ 、 $n$ ,可以把  $m$ 、 $n$  看成是两条铅垂线的投影,向上投影得到交点即为相贯点。图 1-83(d) 的画法是:假设过直线  $ab$  作一个正垂面,这个正垂面与三个棱在主视图得到交点,投影到俯视图,得到三角形。俯视图上三角形与直线的交点  $m$ 、 $n$  即为相贯点,向上投影交出相贯点  $m'$ 、 $n'$ ,连接直线,完成主视图。

(2) 三棱柱与三棱锥相贯。如图 1-84 所示,三棱柱的三个侧面都是铅垂面,三棱锥的三个侧面都是一般位置平面,求相贯线的实质就是求三棱锥的三个棱线与铅垂面的交点,即一般位置直线与铅垂面的交点。如图 1-84 所示,在俯视图上,2、3、4、5、6、7 就是贯穿点。向上投影,对应连接各点完成作图。

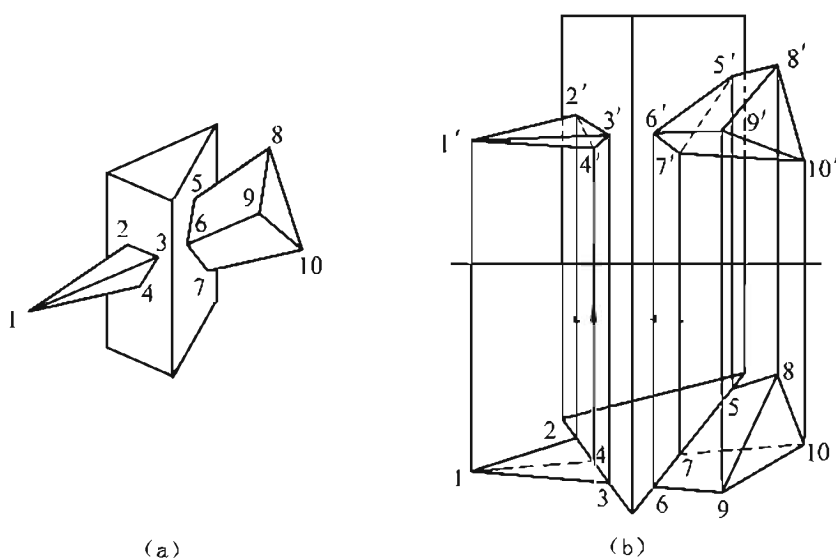


图 1-84 求三棱柱与三棱锥相交的相贯线

(3) 方管斜交四棱台。如图 1-85(a) 所示,方管的轴线是一般位置直线,在主、俯视图均无法直接画出完整的投影图,经过投影变换,垂直于方管的轴线方向看才可以得到相贯线。为此,进行两次投影变换。如图 1-85(b) 所示,首先,平行于俯视图上的方管轴线的投影线 1—2 设新轴  $X_1$ ,过 1 ~ 8 各点垂直于  $X_1$  轴投影,得到  $1_1$  ~  $8_1$  各点,再垂直于方管轴线 1<sub>1</sub>—2<sub>1</sub> 设新轴  $X_2$ ,投影后得到  $1_2$  ~  $8_2$  各点。这里的方管轴线已经垂直于新投影面,可以画方管的端面了。

为了使图形表达得更清楚,另画图 1-85(c)。

图 1-85(c) 是把支管的端面画出后,向回投影找相贯线的作图。方管的端面上、下边必平行于锥台的底面,因此,画方管的端面时,取直线  $ab$ 、 $da$  垂直于  $X_2$  轴。画出端面图后,借助于辅助线向回投影。画法如图 1-85(d) 所示。

为了更清楚地表示相贯线的求法,以及为了画出支管展开图,图 1-85(d) 把上图的一次、二次投影变换部分取出,描述相贯线的求法。过端面的  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  各点与  $5_2$  点连线,与各边相交得到辅助线。把辅助线向左投影与端口向左投影交出各相贯点。这里的方管素线均反映实长,向下对应取各线长,画出展开图。

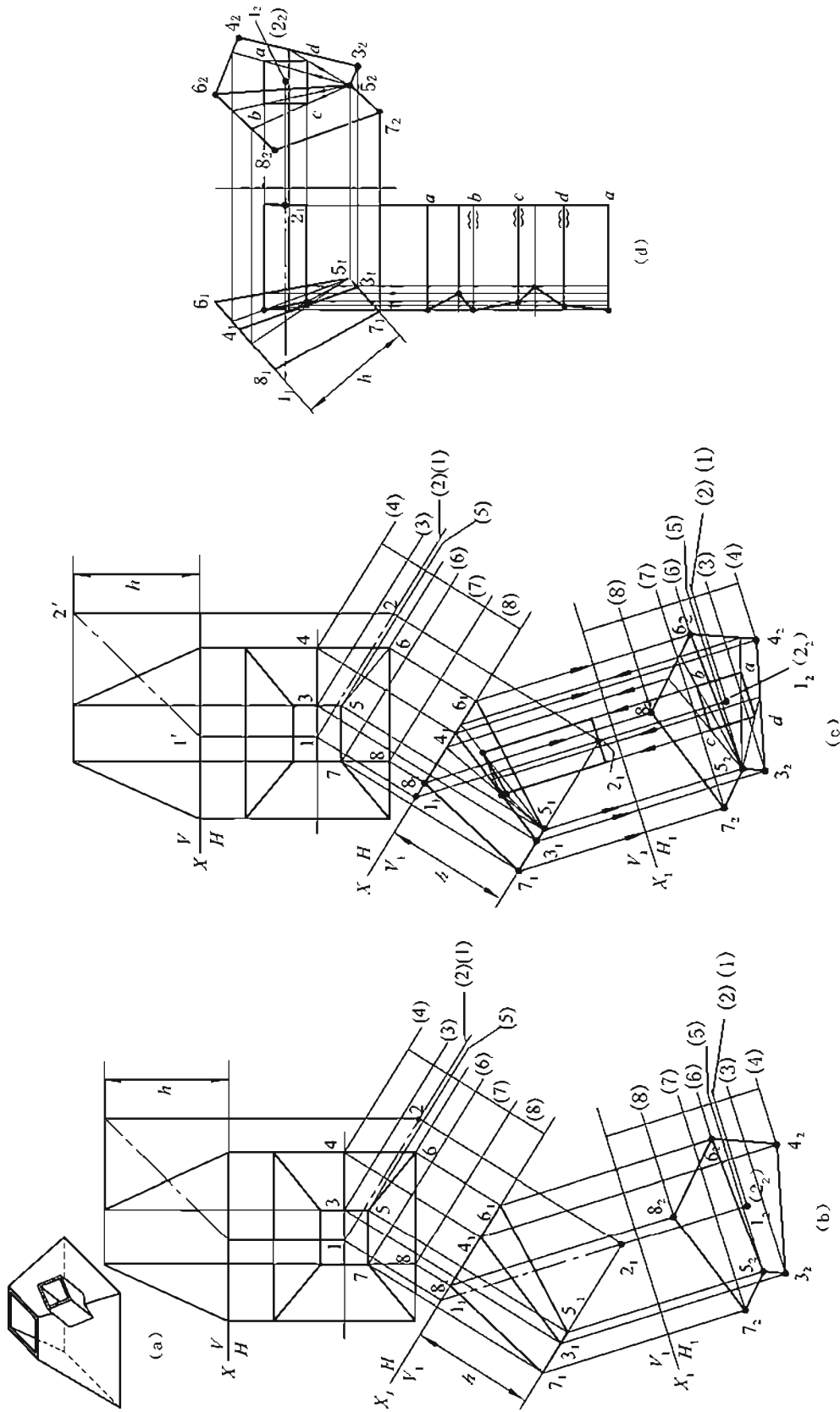


图 1-85 求方管斜交正四棱柱的相贯线

(a) 直观图 (b) 二次投影变换使支管轴线投影变为点  
(c) 求相贯线的作图 (d) 相贯线及支管展开图的画法

## 2. 平面立体与曲面立体相贯

平面立体与曲面立体相交,其相贯线一般是由若干个部分的平面曲线所组成的空间封闭曲线。每一部分平面曲线,是平面立体上某一表面与曲面立体表面的截交线。两部分曲线的交点,称为结合点,它是平面立体的棱线对曲面立体表面的贯穿点。因此,求平面立体和曲面立体的相贯线,可以归结为求截交线和贯穿点的问题。

(1) 方管直交圆锥台。图1-86(a)是直观图,图1-86(b)是原理图。设圆锥台上有任意一点A,过锥顶和A点连素线,投影到主视图交出投影。

图1-86(c)的画法同上。在俯视图上,由于投影的积聚性,正方形就是相贯线。在正方形上任取几个点,用图1-86(b)的画法求出主视图上的相贯线。

(2) 方管平交圆锥台。求圆锥上任意一点的方法常用上例的素线法和本例的纬圆法。如图1-87(a)表示锥管与方管相交的直观图。图1-87(b)表示用纬圆法找圆锥上任意一点的方法,在主视图上任意画一条底边的平行线,表示用水平面截正圆锥,在俯视图上得到相应直径的圆,与方管的投影交出相贯点,再向上投影得到主视图上的相贯点投影。图1-87(c)表示用纬圆法求出各相贯点。

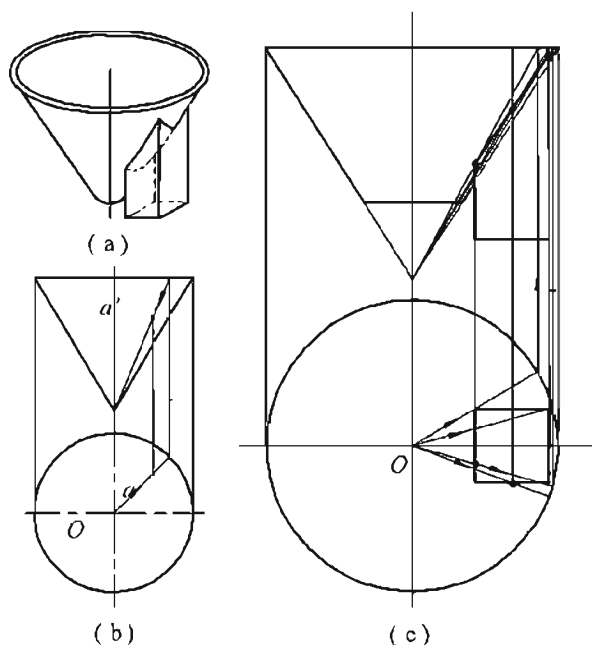


图 1-86 求方管直交圆锥台的相贯线

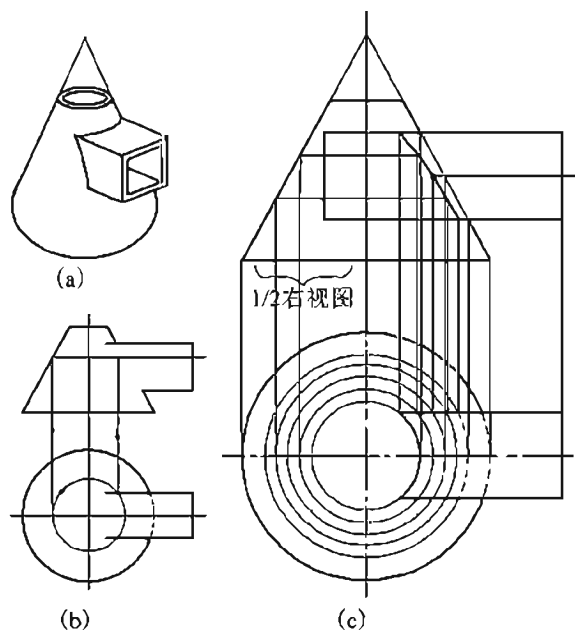


图 1-87 求方管平交圆锥台的相贯线

(3) 求方管与椭圆形封头相交的相贯线。图1-88(a)是直观图,椭圆形封头的特点是:平行于底面截切得到正圆,在该圆上的各点距底面高度相等。图1-88(b)是画法原理:设俯视图上有任意一点,过这个点画一个圆,向上投影得到一个截面的投影线,对应交点为主视图上的投影。在图1-88(c)中,由于俯视图上方管投影的积聚性即为相贯线,在俯视图的方管投影上任意取几个点,图中为示意,仅取7个点。过2、3、4、5、6画圆,将圆向上投影,交出对应的高度,得到主视图上的各点。对于点2、6,应投影到侧视图,为简化作图,在主视图上画出右视图的一半。

(4) 求方管与圆管斜交的相贯线。如图1-89所示,方管的轴线是1—2,是一般位置直线,在侧视图上平行于轴线设新投影面 $V_1$ ,即平行于1"—2"作直线,量取主视图上各点到Z轴的距离等于新点到 $V_1$ 轴的距离,在新投影面上的投影,主管轴线和支管轴线都反映实长,可以在左视图和一次投影

变换图上方便地求出相贯线。为了图形更清楚,另画一个图。

如图 1-90 所示,方管的四个棱线均为  $V_1$  面的平行线,在  $V_1$  面上反映实长,平行于  $V_1$  面的方管的两个面就是实形。另外两个面的求法是:接口在  $W$  面上的投影就是相贯线,在相贯线上任意取一点,向右投影,对应交出展开图上的点,求出两侧的展开实形。

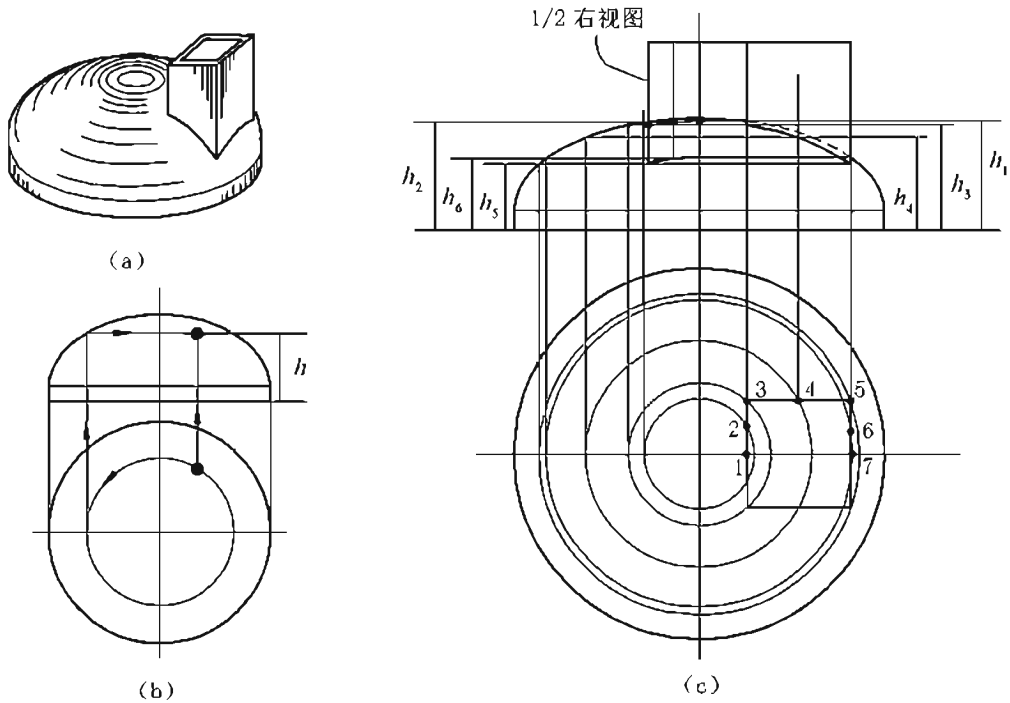


图 1-88 求方管与椭圆形封头的相贯线

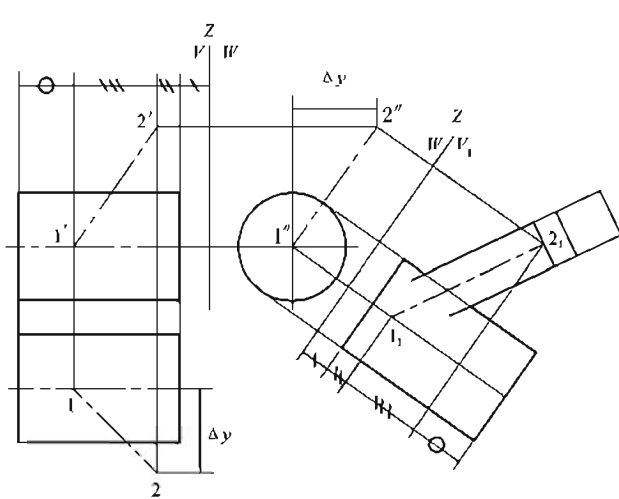


图 1-89 求方管与圆管斜交的相贯线

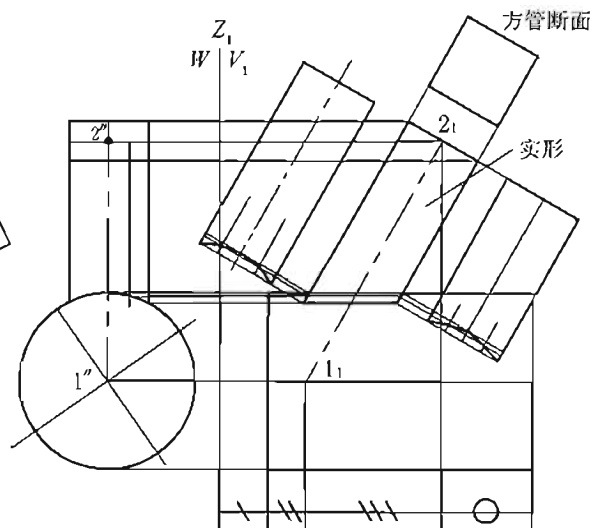


图 1-90 求方管斜交的相贯线和支管展开图

### 3. 两曲面立体相贯

一般情况下,两曲面立体的相贯线是封闭的空间曲线,求相贯线的实质就是求两立体表面的共有点,然后依次光滑地连接。求相贯点的一般方法是求三面共有点,如图 1-91 所示,一般方法是用

一个平面去截两个立体的表面,在断面图上找到两立体的共有点。

为便于作图,辅助面的选择以截两立体表面都能获得最简单的交线为原则,即尽可能使辅助面与立体表面交线至少有一个投影为直线或圆。

(1) 以平面为辅助面求相贯线。以平面为辅助面求相贯线的实例比较多,对于常见的立体,如球、锥、管、回转体等,都可以用平面截得直线或圆。图 1-92(a) 表示锥体与圆管相交,如果用平行于两立体的轴线截切,截面是直线和双曲线,如图所示,用垂直于两轴线的平面去截,得到两个圆,两圆的交点就是相贯点。图 1-92(b) 表示两圆管相交,用平行于两轴线的截面去截,得到两组直线,对应交点就是相贯点。图 1-92(c) 表示球面与锥面相交,垂直于两轴线截得两个圆,其交点就是相贯点。图 1-92(d) 表示钢水包的截面,钢水包由圆锥台和包嘴组成。包嘴是由圆管的一部分和两个平面三角形组成,用平行于圆锥轴线的截面截得双曲线和直线,其交点即为相贯点。

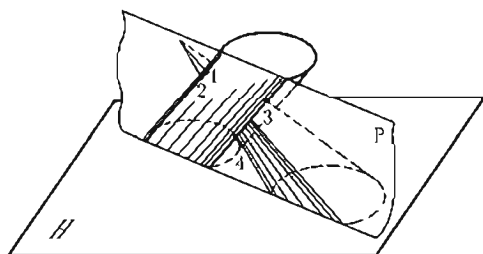


图 1-91 以平面为辅助面求相贯点

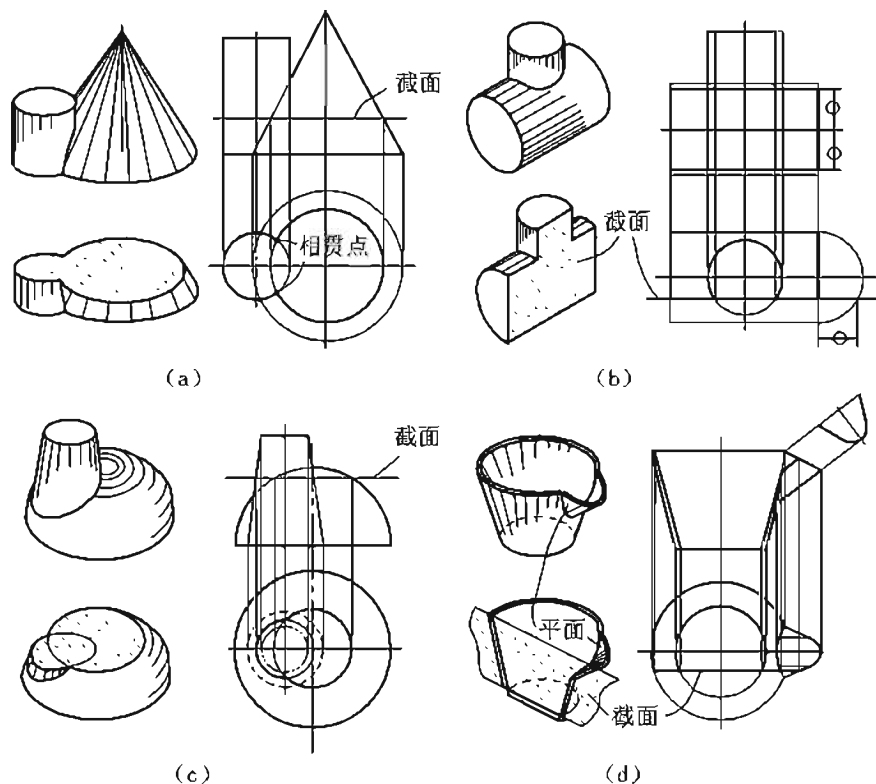


图 1-92 以平面为辅助面截立体求相贯线的实例

① 求锥管与锥管的相贯线。正圆锥管与正圆锥管相交常用于通风管道和物料输送管道,相贯线的求法常把球面法和截面法结合起来使用。

图 1-93(a) 表示圆锥与球体的交线,由于用平面在任意方向截切球体都得到一个圆,当两个锥体同时与一个球体相交时得到两个圆,如果这两个圆相交,交点就是相贯点。因此,当两圆锥体相交且两轴线都反映实长时,如图 1-93(b) 所示,可以以两圆锥轴线的交点为圆心,以适当的长度为半径画一系列圆,截得两圆锥投影的交点就是相贯点。图 1-93(b) 画了两个圆,与两圆锥交得截面的投

影线为直线 1—2 和 3—4,交出点 *a*,投影线 5—6 和 7—8 交出点 *b*,点 *a*、*b* 即为相贯点。

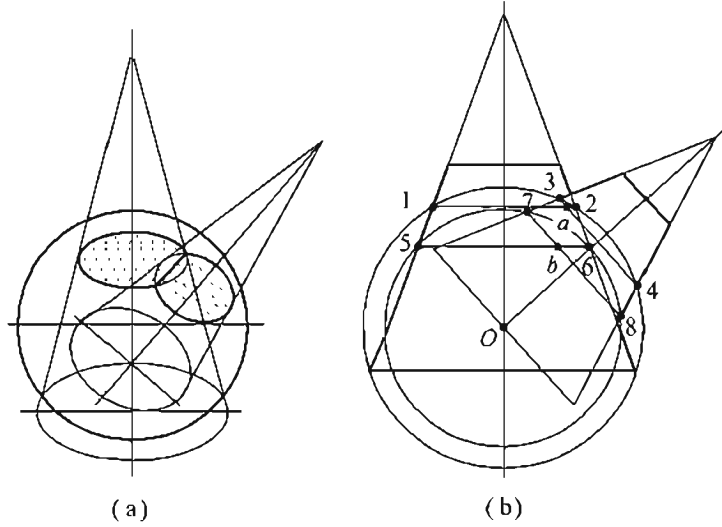


图 1-93 用球面法求两锥体相交的相贯线

但是,在一般情况下用这种方法只能求出部分相贯点,还得用截面法求得另外一些相贯点,如图 1-94 ~ 图 1-96 所示。

图 1-94(a) 表示两圆锥相交的直观图,图 1-94(b) 表示过支管素线的平面截切两圆锥,得到两直线和椭圆的一部分,其交点就是相贯点。具体作图如图 1-95、图 1-96 所示。

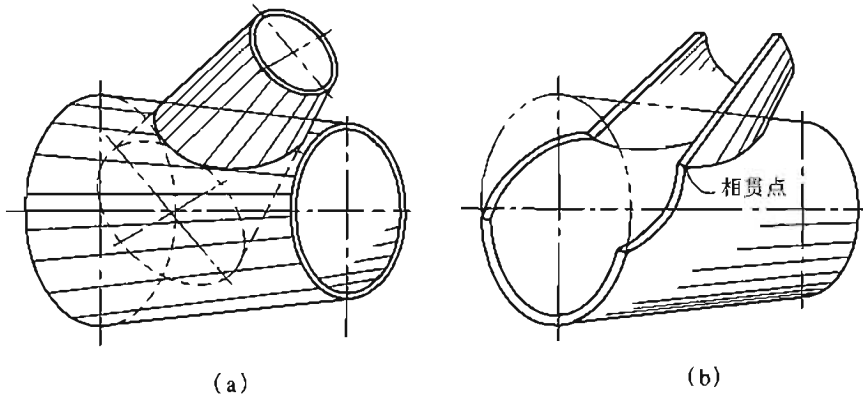


图 1-94 两圆锥相交的直观图和截面示意图

如图 1-95 所示,首先画出主视图和三处管口 1/2 断面图。过支管的素线截切两圆锥,图中只画出沿支管素线 2—9 截切的画法。为防止图形线条过多,其他截面的画法如图 1-96 所示。想象过支管的素线 2—9 作一个正垂面,向左上方向作一次投影变换,与支管截切得到两条直线,与主管截切得到椭圆的一部分,在方向视图上得到交点。画法是:等分两管端口 1/2 断面,图示为 6 等分,连接端口上的等分投影点,得到两管的素线。在主视图的左上方画直线平行于直线 2—9,量取 ☆6 和 ☆3,画出截面截支管的截面图。再过素线 2—9 与主管素线 *ae*、*bf*、*cg* 的交点向左上方投影,这些交点到中心平面的距离是图示的 ☆3、6—2 和 #2。对应量取到左上方的断面图上,交出断面图上各点。圆滑连接各点,得到两管的共有点,即相贯点。向回投影到主视图,得到相贯点的投影。

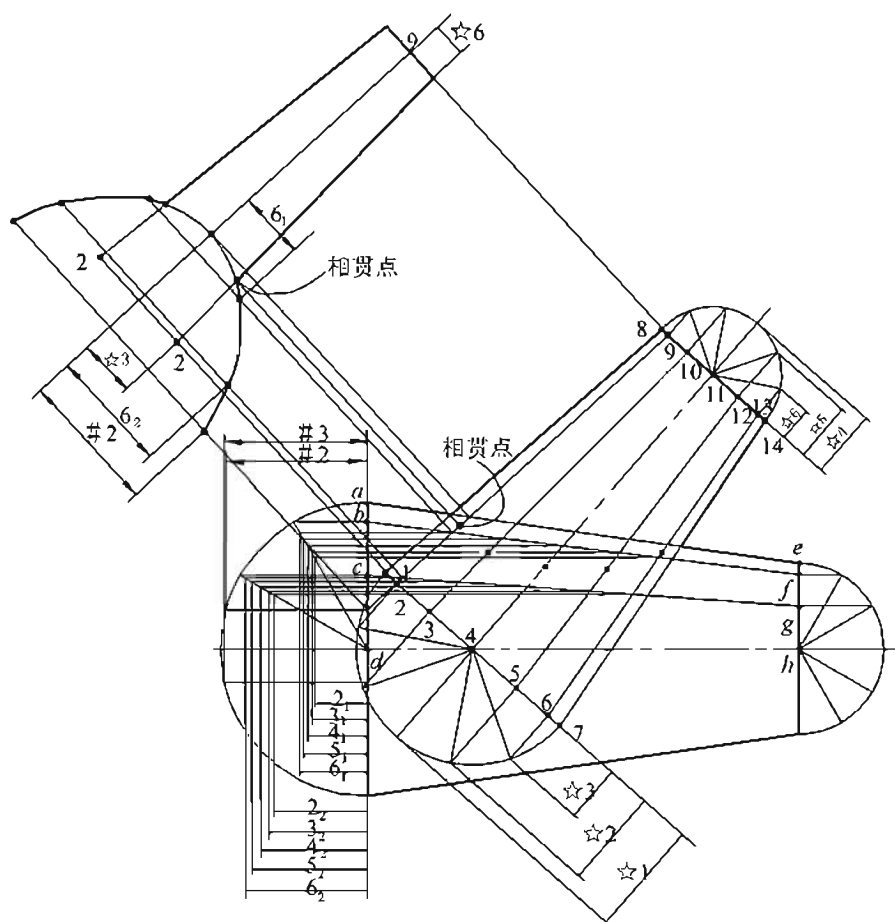


图 1-95 截切法求锥管与锥管的相贯线

其他截面相贯点的求法如图 1-96 所示,量取支管的素线长和端口上各分点的投影画出截面,得到如图的四个矩形。再把主视图上各支管素线与主管素线的交点照录到四条轴线上,量取各交点到中心平面的距离,如图所示的各线长  $2_1$ 、 $3_1$ 、 $4_1$ 、 $5_1$  以及  $2_2$ 、 $3_2$ 、 $4_2$ 、 $5_2$  和  $\star 1$ 、 $\star 2$ 、 $\star 3$ 、 $\star 4$ 、 $\star 5$ 、 $\star 6$ 。得到截面与主管的交线,即椭圆的一部分,交出两管的共有点。按图示箭头方向,向回投影到主视图,得到各相贯点。为了防止图形太乱,在主视图上并未连接各相贯点完成相贯线。

求相贯线时,也可以过主管上的素线用正垂面截切,截主管得到两条素线,截支管得到椭圆,对应求出交点。

② 求圆锥与半圆球的相贯线。焊接结构的容器类常用球形和椭圆形封头,其特点是垂直于轴线截切得到正圆。而垂直于轴线截切正圆锥也得到正圆。因此,如图 1-97 所示,用一系列水平面作为辅助面,可方便地求出相贯线。采用过锥顶的正平面和侧平面求出相贯线的四个顶点。过主视图锥体的轴线用侧平面截切,截得的圆与侧视图上锥体的投影交出相贯线的最前点和最后点,因为锥体和半球的轴线在前后方向一致,在主视图上的投影直接交出相贯线的最左点和最右点。其他各点的作法是:在主视图上任意作几条底面的平行线,分别交出球体的截面直径和锥体的截面直径,向下投影到俯视图,画出断面圆,交出交点,即为相贯点。投影至主视图,完成主视图的相贯线投影。

③ 求球罐与支撑圆管间的相贯线。如图 1-98 所示,在俯视图上,由于圆管投影的积聚性,圆管的投影即为相贯线的投影。在主视图上以水平面为辅助面,如图,作直线 1—2 平行于底面,与圆交得截面半径,向下投影,在俯视图上得到交点即为对应的相贯点,向上投影,得相贯点  $a$ 。其他各点



同理画出。为图形清楚，图中只画出两个点。

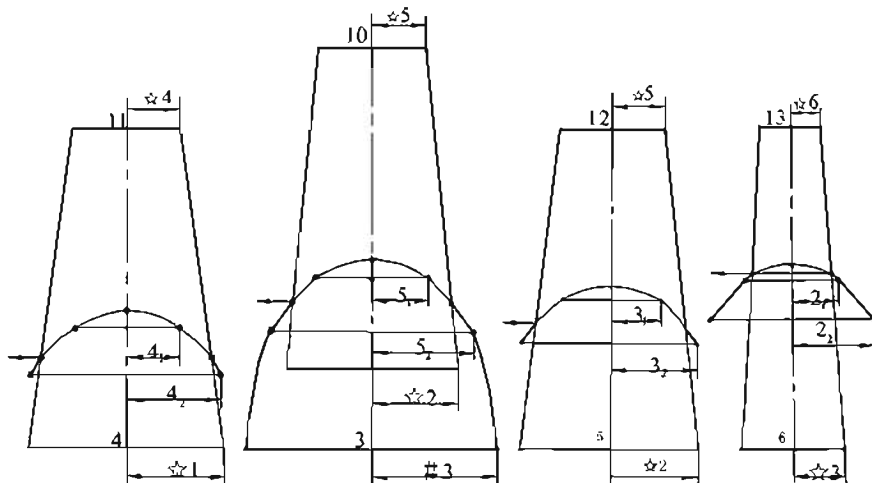


图 1-96 其他截面上相贯点的求法

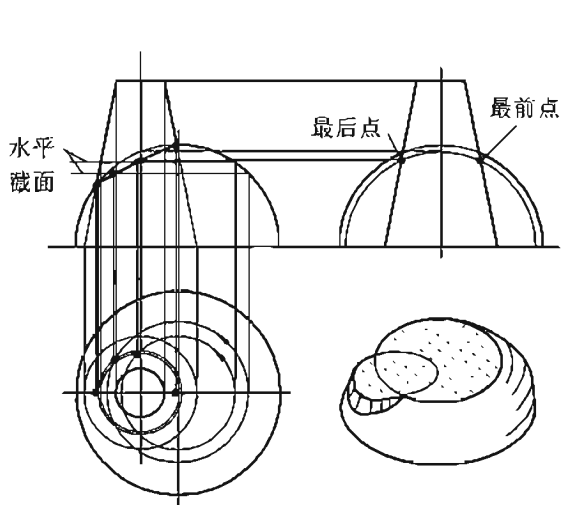


图 1-97 求圆锥与半圆球的相贯线

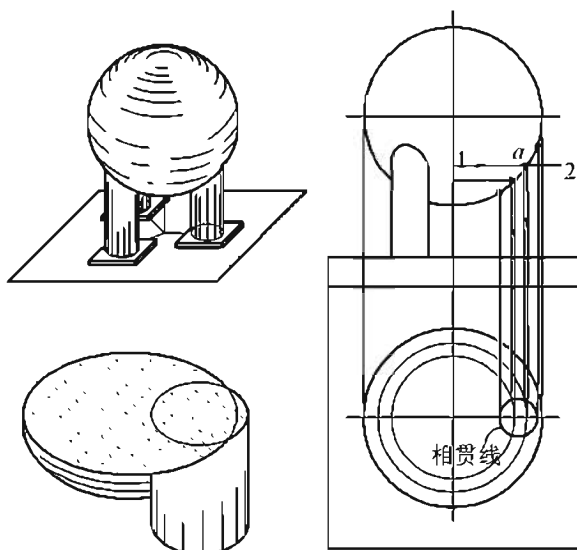


图 1-98 求球罐与支撑管间的相贯线

④ 求圆管与锥管间的相贯线。如图 1-99 所示，圆管与圆锥管垂直相交，其交线为封闭的空间曲线。在左视图上，由于相贯线的投影积聚性，圆管投影的一部分就是相贯线。适当等分锥管的断面圆弧，在左视图上和主视图上作出锥体素线，利用过左视图上各素线的正垂面作为辅助面，截切锥体，锥体截切后的断面实形就是主视图上的各素线投影。过左视图上各相贯点向左投影，对应交出主视图上的相贯点，圆滑连接曲线完成相贯线的投影。

(2) 以球面为辅助面求相贯线。若两回转体的轴线相交，且同时平行于一投影面时，常用球面为辅助面求相贯线。要求轴线相交的原因是：要以两轴线的交点作为辅助球面的球心。要求两回转体的轴线都反映实长的原因是：辅助球面与两回转体交出两个圆，当两回转体的轴线平行于投影面时，两截面圆的投影是直线，两线的交点即为相贯点。

常见回转体如图 1-100 所示。

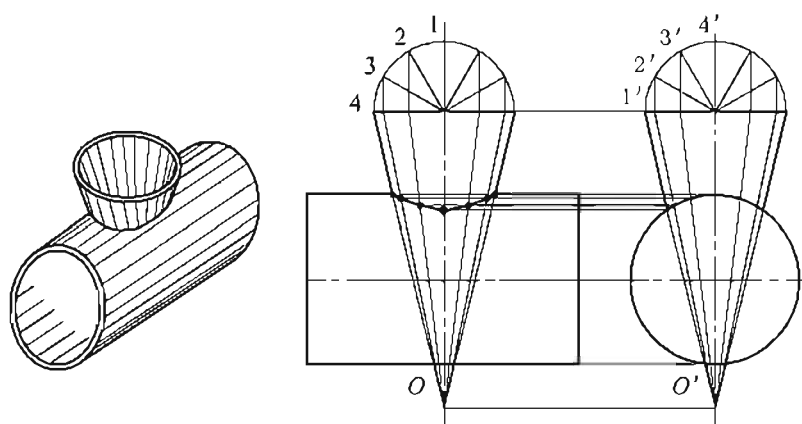


图 1-99 求圆管垂直相交圆锥管的相贯线

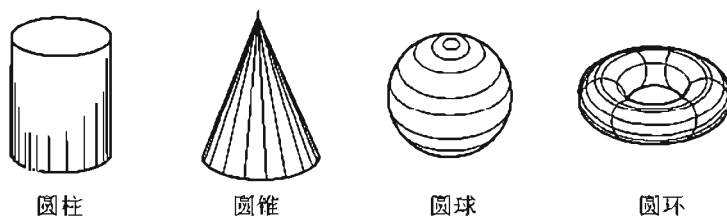


图 1-100 常见的回转体

① 求回转体与圆柱体的相贯线。如图 1-101 所示,两回转体相交,两件轴线交于一点且都反映实长。以两轴线的交点为圆心,以适当半径画圆,图中画了三个圆。每个圆作为一个球,与两回转体交出两个圆,其投影是两条直线,两条直线的交点就是相贯点。用曲线连接各点得到相贯线。

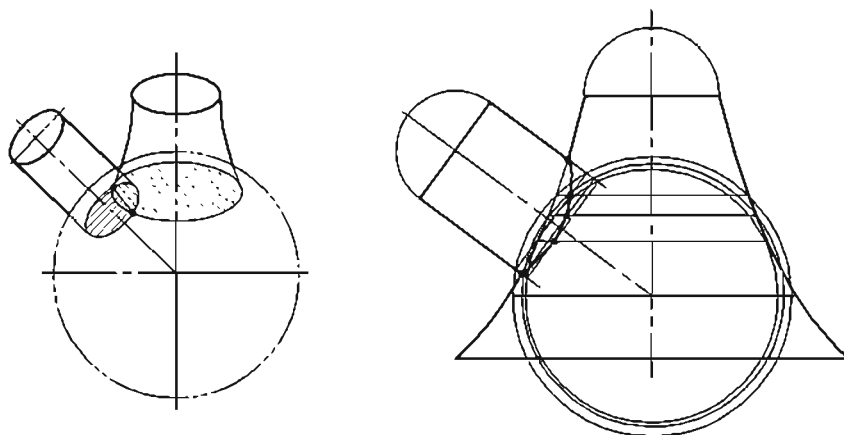


图 1-101 辅助球面法求圆柱与回转体的相贯线

② 求圆管与四节圆管弯头的相贯线。图 1-102(a) 是四节弯头的正面投影,中间是两整节,两端是两半节。图 1-102(b) 表示圆管与中间两节相交,主管的轴线与支管的轴线相交而且都反映实长,符合辅助球面法的条件。如图 1-102(b) 所示,以两轴线的交点  $O_1$  为圆心画同心圆,连接圆与两弯管的交点,交出相贯点。两节主管的交线上的相贯点可以不求,可以顺着相贯线的趋势交出。其求法是过两节主管的交线的正垂面截切两圆管,截得两椭圆的交点即为相贯点。

为了更清楚地表达以  $O_2$  为圆心画的同心圆,另画图 1-102(c)。图 1-102(d) 是画法的原理示意图。两圆管交球得到两个圆,其交点即为相贯点。

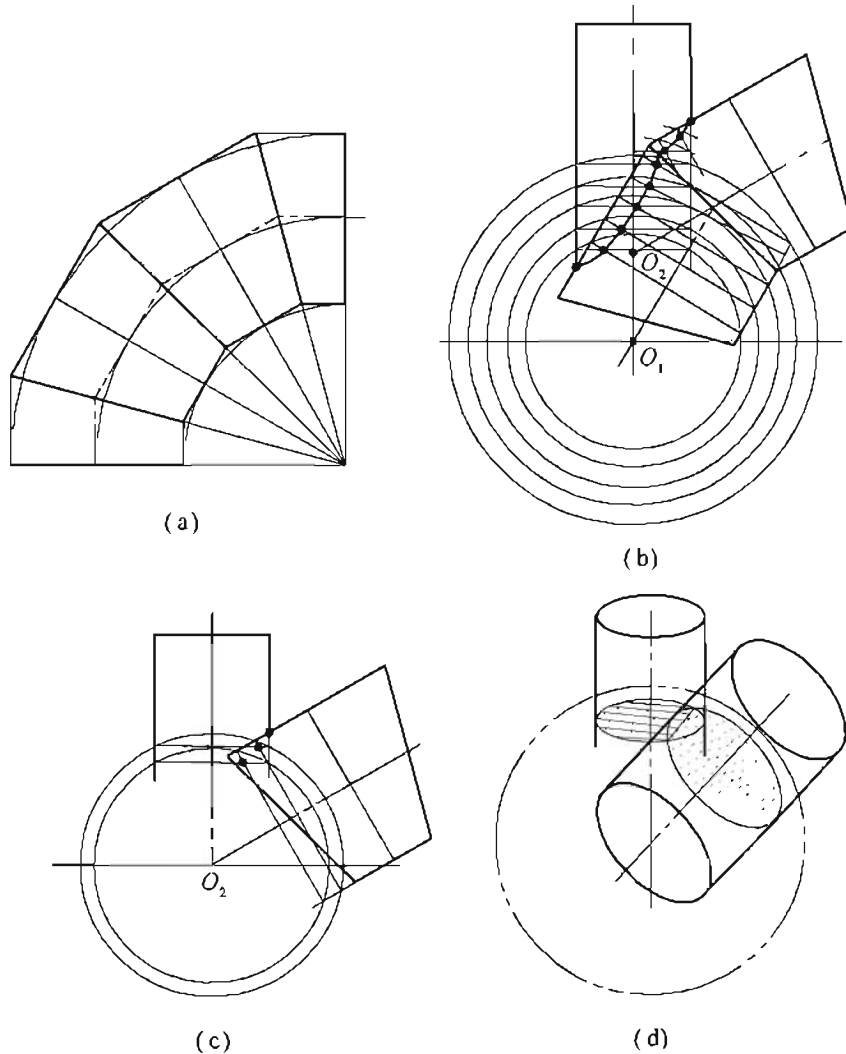


图 1-102 辅助球面法求圆管与四节圆管弯头的相贯线

③ 求复合体的相贯线。三个或三个以上立体相交,其表面形成的交线的总和称复合相贯线。复合相贯线为若干相贯线复合组成,这些相贯线的共有点,称为结合点,只有结合点才是三个曲面的共有点。它们也是各条相贯线上的分界点。

如图 1-103 所示,圆柱、圆锥、圆球相交形成三条相贯线,它们的共有点是结合点。求相贯线的具体作图方法如下:

圆锥与半球的交线是圆,由于锥体的轴线是铅垂线,在主视图上反映实长,其交线是水平的正圆,交线的投影是主视图上的直线。圆管与圆锥的相贯线求法采用辅助球面法,以圆管和锥管的轴线交点  $O$  为圆心画同心圆,对应交出相贯点。圆管与球体间的相贯线采用辅助平面法,如图 1-103(b) 所示,任意用若干个水平面截切球体与圆管,得到两个圆,在俯视图上交出相贯点。图 1-103(c) 中的俯视图只画了一半。结合点的求法是:结合点是三条相贯线的共有点,必在圆管与圆锥的交线上,在主视图上,必在其交线的投影线上。过其交线用水平面截切圆管与球体,截圆管得到两条直线,截球体得到圆,其交点就是结合点。

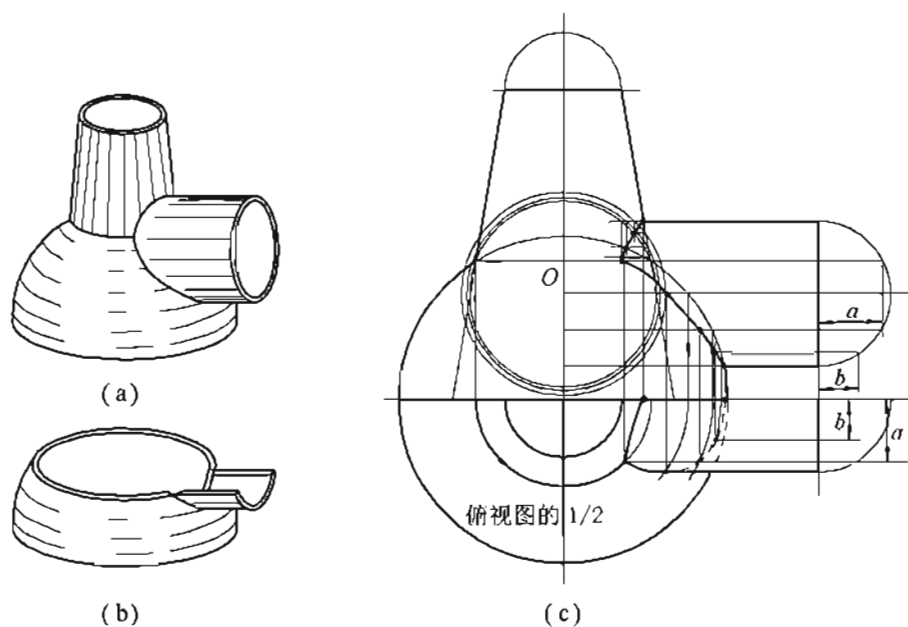


图 1-103 用辅助球面法和辅助平面法求相贯线

## 复 习 题

1. 将直线  $AB$  分成三等份。
2. 将 1—2 直线等分。
3. 作角等于已知角。
4. 将直角分成六等份。
5. 在直径为 60 mm 的圆周上进行等分成 13 份。
6. 已知椭圆长轴为 80 mm, 短轴为 55 mm, 试画椭圆。
7. 已知圆直径为 80 mm, 试将圆周等分成九等份。
8. 试画出正圆柱螺旋面的正面投影和水平投影(其中  $d = 30 \text{ mm}$ ,  $S = 35 \text{ mm}$ )。
9. 施工图与放样图有哪些区别?
10. 断面图在钣金下料中有哪些重要作用?
11. 如图 1-104 所示, 分别用直角三角形法、直角梯形法求线段  $ab$  的实长。
12. 如图 1-105 所示, 用旋转法、换面法求线段  $ab$  的实长。
13. 试用素线法和纬圆法分别作出图 1-106(a)、(b) 所示构件的结合线。
14. 用辅助平面法求作如图 1-107 所示构件的结合线。
15. 用辅助球面法求作如图 1-108 所示构件的结合线。

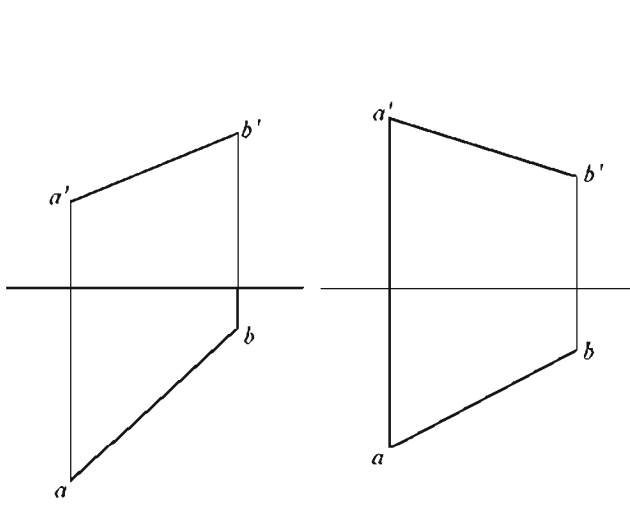


图 1-104

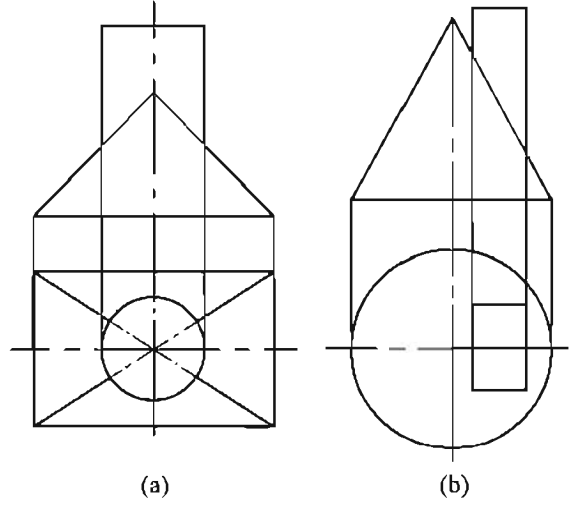


图 1-106

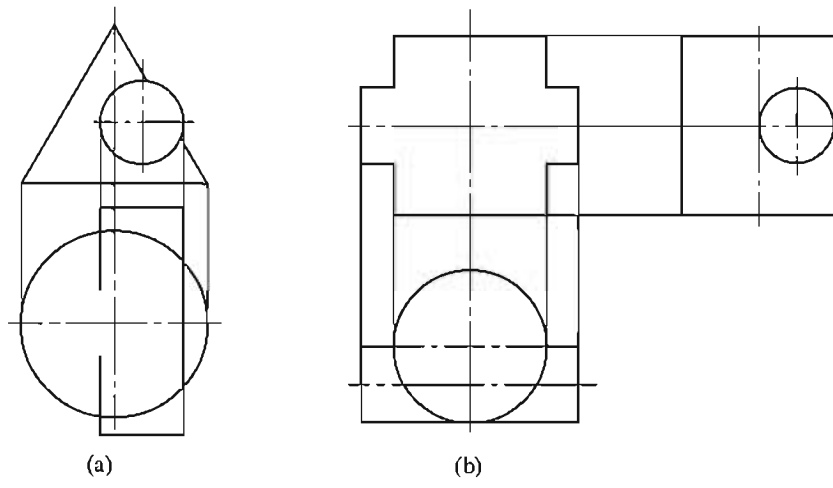


图 1-107

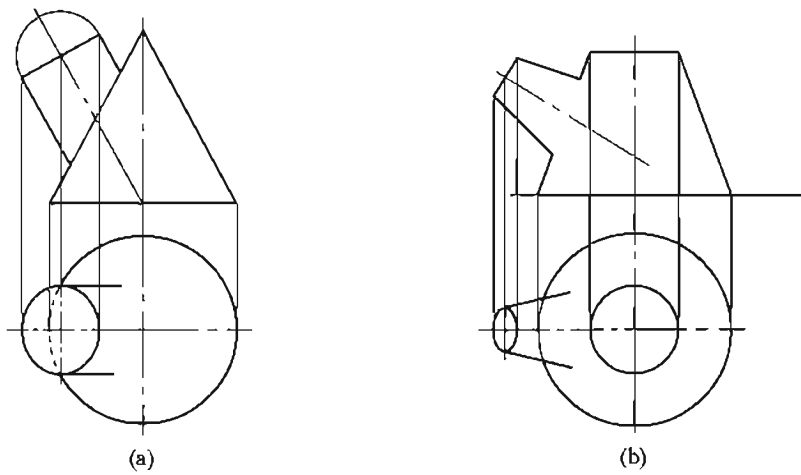


图 1-108

## 第2章 展开方法

一个钣金零件的制造,必须在放样图的基础上,将其表面展开,才能依据展开图下料制造。

所谓展开,就是将组成该零件的表面不遗漏、不重叠、不折皱地铺平在同一个平面内的工艺过程。虽然展开过程的简繁程度随零件的复杂程度而异,但也不是没有规律可循的。掌握展开的规律及其基本方法就构成了钣金工所特有的技术技能。

所谓展开图,是在展开过程中所画出来的零件表面的实形图。它是对零件展开过程的图线表述,同时也是下料的依据。

冷作钣金零件的表面形状是比较复杂的。根据形体的表面特征有平面、曲面以及曲面和平面相结合的形体之分。根据曲面形体表面是否可展又分为可展曲面与不可展曲面。

所谓可展与不可展,即是说如果某个零件表面能够不遗漏、不重叠、不折皱地全部铺平在同一平面上,就说该构件的表面是可展的,否则就是不可展的。

对于平面和柱面、锥面等曲面零件以及任意曲线的切线曲面都是可展的。本章将重点介绍平行线法、放射线法、三角形法等几种常用的作展开图的方法。

由于钣金零件的板厚和工艺要求对展开图的形状和大小都会产生一定的影响。所以,关于板厚处理和加工余量的选择确定等问题也在本章一并介绍。

### 2.1 板厚处理

任何一个钣金零件都是由一定厚度的板料制造而成的。在不同情况下,板厚会对零件的尺寸和形状产生一定的影响,将这些影响在放样及展开的过程中采取相应措施予以消除的实施技术就叫做板厚处理。对于薄板构件,如果略去板料的厚度,其产生的影响对构件的误差一般可以在工程允许的公差范围之内。因此,在实际工作中,当板厚 $t \leq 1.5 \text{ mm}$ 时,可以不考虑板厚处理问题。对于厚板构件就必须研究处理板料厚度的规律,并设法将板厚略去,画出没有板厚的放样图,然后展开,以保证所得到的零件符合设计要求。

#### 2.1.1 圆管类构件的板厚处理

##### 1. 板料弯曲的中心层与中性层

图2-1表示将厚度为 $t$ 的平板弯曲成圆弧状的断面长度变化。当板料弯曲时,里皮压缩,外皮拉伸,它们都改变了原来的长度,板料里皮展开长度比原长短,外皮展开长度比原长长,如果将板料看成是由无数金属层组成,在板厚中总会有一层的展开长度与弯曲前板料长度相等,即弯曲前后这一层材料的长度不发生变化,称这层为中性层。在展开下料时,按此层的长度确定。设弯曲内半径为 $R$ ,板厚为 $t$ ,中性

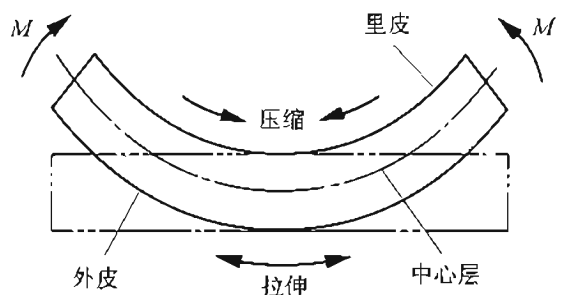


图2-1 弯曲时板料断面变化情况

层的位移系数见表 2-2。中性层的位置向内表面移动。当  $R/t$  大于 8 时,中性层的位置就是在板厚的中间,即按板厚的中心层计算。

### 2. 圆管的展开长度计算

圆管是断面为曲线构件的特例。如图 2-2 所示,其展开长度必须以中径为准计算,展开图为一矩形,高仍是  $H$ ,矩形的宽即展开长为  $\pi d_{\text{中}}$ ,也等于  $\pi(d+t)$  或  $\pi(D-t)$ 。其中  $d$  为内直径; $D$  为外直径; $t$  为板厚。在实际放样中,这类圆管的放样图可以不画,计算后直接画于板料上即可。

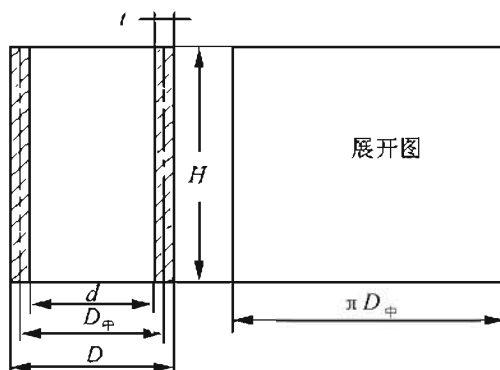


图 2-2 圆管展开时的板厚处理

### 3. 等径直角弯头展开的板厚处理

展开等径直角弯头时,依据接头处是否开坡口,放样方法有所不同,下面分别加以分析。

#### (1) 等径直角弯头接口处不开坡口时的板厚处理

接口采用不开坡口角接时,必须进行板厚处理,否则会使接口接触不严和两轴线间夹角小于  $90^\circ$ 。如图 2-3 所示,要使两件的接触面互不干扰,圆管的里面半圆是外皮接触,外面半圆是里皮接触。画展开图时,圆管里面接触的半圆按外皮半径画圆,等分后,向上投影,按外皮投影取素线长,圆管外面接触的半圆按里皮半径画圆,等分后,向上投影,按里皮投影取素线长。圆筒展开长按板厚中心层尺寸计算。

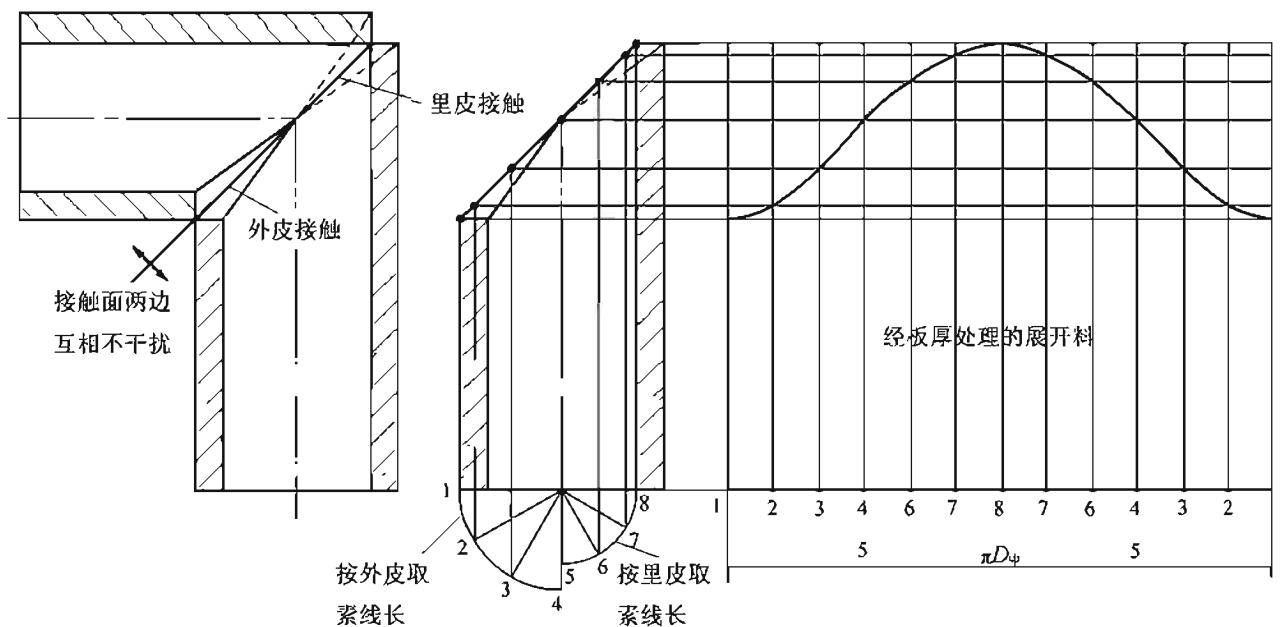


图 2-3 等径直角弯头不开坡口时的板厚处理

(2) 等径直角弯头接口处开坡口时的板厚处理。开坡口是将板边切割成一定形状的斜坡,可以调整接口接触部位,改善焊接条件,提高焊接强度。图 2-4 表示开坡口后,两件只有板厚中心层接触,因此放样图只画板厚中心层就可以了。展开图的展开长度和展开高度都以板厚中心为准。

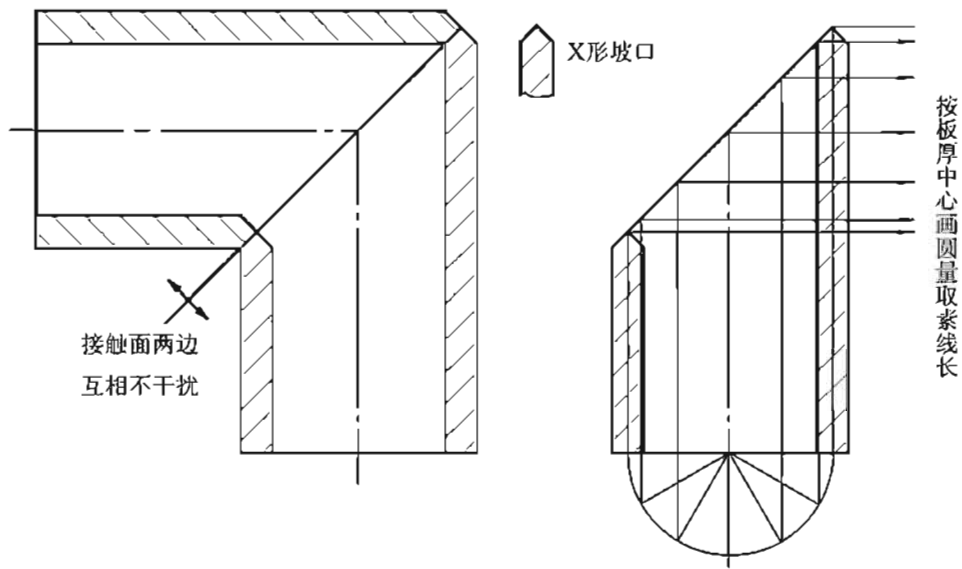


图 2-4 等径直角弯头接口处开坡口时的板厚处理

#### 4. 异径直角三通展开的板厚处理

图 2-5 是异径直角三通管构件。两圆的接口处均未开坡口, 根据板厚、焊接要求和图纸设计, 可以里皮接触, 也可以外皮接触。所以, 对于垂直圆管的展开应以里皮或外皮为准确定素线长度, 圆周展开长仍以  $\pi D_{\#}$  计算。一般情况下, 为方便主管的卷圆, 先不在主管上开孔, 支管制好后, 放在主管上画开孔线。在主管画线下料时, 应用样冲标记开孔位置。

关于不开坡口构件的板厚处理, 要具体问题具体分析。原则是以构件接触部位的有关尺寸为放样图和作展开图的尺寸标准。

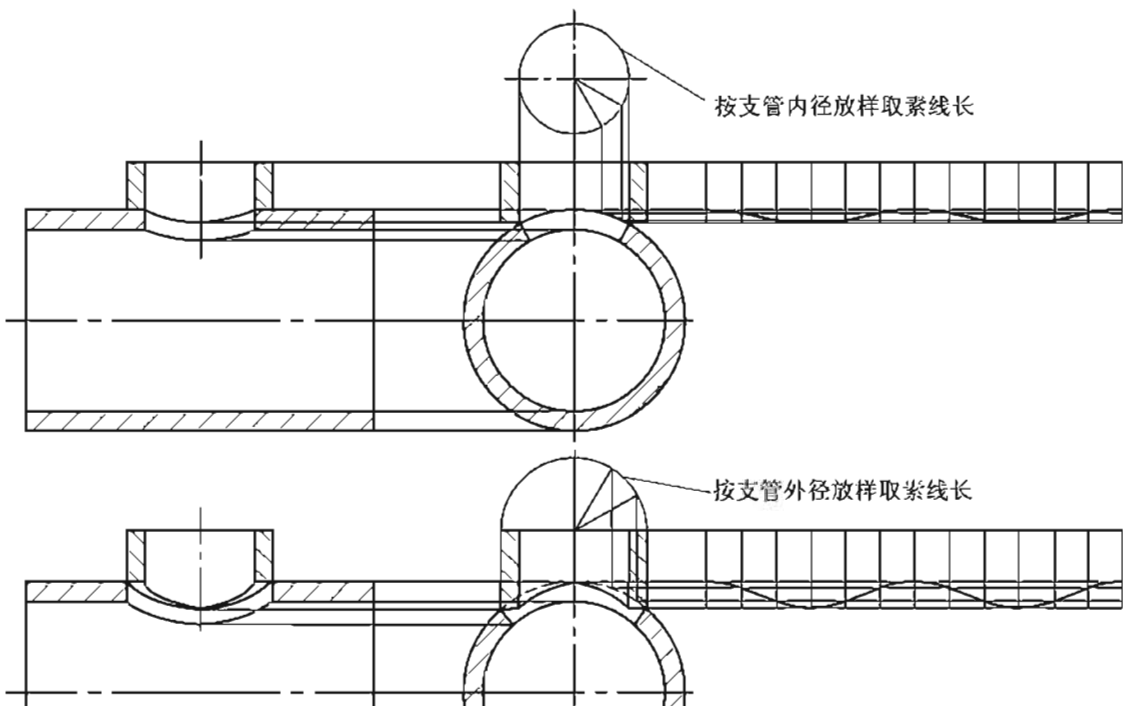


图 2-5 异径直角三通展开的板厚处理



## 2.1.2 板料弯曲时的板厚处理

### 1. 最小弯曲半径

板料弯曲时,弯曲半径越小,金属外层纤维拉的越长,为了防止弯曲件的断裂,必须限制弯曲半径,使之大于导致材料开裂之前的临界弯曲半径——最小弯曲半径。

最小弯曲半径数值由试验方法确定。表 2-1 所列为最小弯曲半径数值。

表 2-1 最小弯曲半径数值

材 料	退火的或正火的		冷作硬化的	
	弯曲线位置			
	垂直纤维	平行纤维	垂直纤维	平行纤维
08、10	0.1	0.4	0.4	0.8
15、20	0.1	0.5	0.5	1
25、30	0.2	0.6	0.6	1.2
35、40	0.3	0.8	0.8	1.5
45、50	0.5	1	1	1.7
55、60	0.7	1.3	1.3	2
磷 铜			1	3
半硬黄铜	0.1	0.35	0.5	1.2
软黄铜	0.1	0.35	0.35	0.8
紫 铜	0.1	0.35	1	2
铝	0.1	0.35	0.5	1.0

注:表内数值乘板厚为最小弯曲半径;弯曲与纤维成一定角度时可取中间值。

### 2. 中性层位移系数

当弯曲程度不大时,可以认为中性层位于板厚的中间;当弯曲程度很大时,即  $R/t$  很小时,中性层的位置随  $R/t$  的减小,向内侧移动,这时中性层的曲率半径通常用下面的经验公式确定:

$$R_{\text{展开}} = r_{\text{内半径}} + Kt \quad (2-1)$$

式中,  $R_{\text{展开}}$  为计算用展开半径;  $K$  为中性层位移系数,见表 2-2;  $t$  为板厚。

表 2-2 中性层位移系数

$R/t$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1	1.2
$K$	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.3	0.32	0.33
$R/t$	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	$\geq 8$
$K$	0.34	0.36	0.38	0.39	0.4	0.42	0.44	0.46	0.48	0.5

注:表内未有的数字取小值。

例题 2-1 计算如图 2-6 所示零件展开的长度。

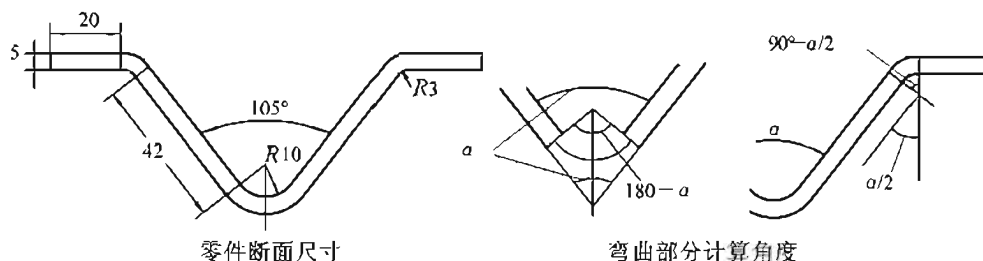


图 2-6 有圆角半径的弯曲件

解:计算弯曲部分的圆弧长度可以根据  $R/t$  查出中性层位移系数  $K$ ,然后按下式计算:

$$L_{\text{弯}} = \pi(180 - \alpha)(R + Kt)/180 \quad (2-2)$$

式中,  $\alpha$  为弯曲角;  $L_{\text{弯}}$  为弯曲部分展开长;  $R$  为弯曲内半径;  $K$  为中性层位移系数;  $t$  为板厚。

(1) 计算中间大圆弧展开长。由  $R/t = 10/5 = 2$ ,查表 2-2 得  $K = 0.38$ ,则

$$L_{\text{弯1}} = \frac{\pi \times (180 - 105)}{180} \times (10 + 0.23 \times 5) = 15.6(\text{mm})$$

(2) 计算两边小圆弧展开长的和。由  $R/t = 3/5 = 0.6$ ,查表 2-2 得  $K = 0.26$ ,则

$$\begin{aligned} L_{\text{弯2}} &= 2 \times \frac{\pi \times (90 - 105/2)}{180} \times (3 + 0.26 \times 5) \\ &= \frac{\pi \times (180 - 105)}{180} \times (3 + 0.26 \times 5) = 5.6(\text{mm}) \end{aligned}$$

(3) 零件展开长:

$$L = 20 + 20 + 42 + 42 + 15.6 + 5.6 = 145.2(\text{mm})$$

### 3. 无圆角半径的弯曲

无圆角半径的弯曲件,其展开尺寸是根据弯制前后制件体积相等,并考虑到弯曲处材料变薄情况而求得的。展开长度等于各直线长加弯曲处长度,即

$$L = \sum L_{\text{直}} + Knt \quad (2-3)$$

式中,  $L$  为毛料长度;  $\sum L_{\text{直}}$  为各直线段长度之和;  $n$  为弯角数目;  $t$  为板厚;  $K$  为在单角弯曲时,介于 0.4 ~ 0.5 之间,在双角弯曲时,介于 0.45 ~ 0.8 之间,在多角弯曲时,取 0.25;塑性很大的金属取 0.125。

例题 2-2 计算如图 2-7 所示的无圆角的多角弯曲件展开长度  $L$ 。

解:无圆角多角弯曲件的  $K$  值取 0.25,弯曲件的展开长度为

$$L = 15 + 25 + 6 + 30 + 8 + 10 + 18 + 0.25 \times 6 \times 2.5 = 112 + 3.75 = 115.75(\text{mm})$$

### 4. 铰链的展开长度计算

例题 2-3 计算如图 2-8 所示铰链的展开尺寸。图中  $t = 2.5 \text{ mm}$ 、 $R = 3.1 \text{ mm}$ 、 $a = 92.2 \text{ mm}$ 。

解:铰链展开长计算和一般弯曲件尺寸计算相似,所不同的只是中性层由板料厚度中间向弯曲外层移动。因此,中性层位移系数变为  $K_0$ ,其值可在表 2-3 中查得。

查表 2-3 铰链展开长度计算公式为

$$L = 1.5\pi(R + K_0t) + R + a \quad (2-4)$$

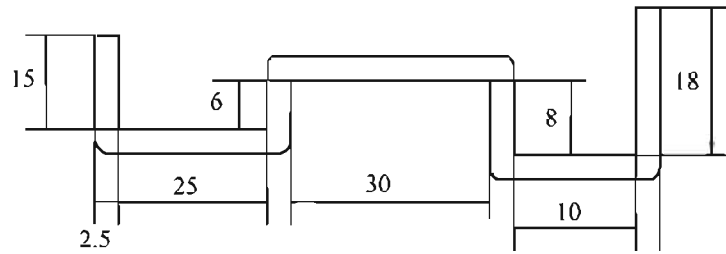


图 2-7 无圆角多角弯曲件

按  $R/t = 1.24$  查表 2-3, 可知  $K_0 = 0.64$ , 并将其他已知数代入

上式, 则

$$L = 1.5 \times 3.14 \times (3.1 + 0.64 \times 2.5) + 3.1 + 92.2 = 117.44 (\text{mm})$$

表 2-3 卷边时中性层位移系数  $K_0$

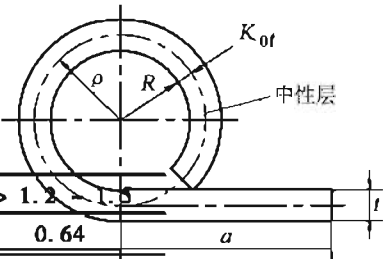


图 2-8 铰链

$R/t$	$> 0.5 \sim 0.6$	$> 0.6 \sim 0.8$	$> 0.8 \sim 1$	$> 1 \sim 1.2$	$> 1.2 \sim 1.5$
$K_0$	0.76	0.73	0.7	0.67	0.64
$R/t$	$> 1.5 \sim 1.8$	$> 1.8 \sim 2$	$> 2 \sim 2.2$	$> 2.2$	
$K_0$	0.61	0.58	0.54	0.5	

## 2.2 加工余量

所谓加工余量, 是指在加工时零构件需要连接(咬接、铆接、焊接或用螺栓连接等)的部位而在展开图的周边扩张出来的那部分面积。一个零构件总有接缝(板料弯曲后对应边相接的缝)、接口(两个以上零件相交的结合处), 它们所占用的板料在展开下料时应一并加以考虑, 以满足加工和装配的需要。

图 2-9 表示加了加工余量后的展开料, 两边的留量是卷弯后咬缝的余量, 上面的余量是连接两半管的咬口余量, 下面的余量是用于与圆管连接的法兰相连接的翻边余量。图 2-9 与图 2-3 的接口选的位置不同, 展开料的形状就不同。

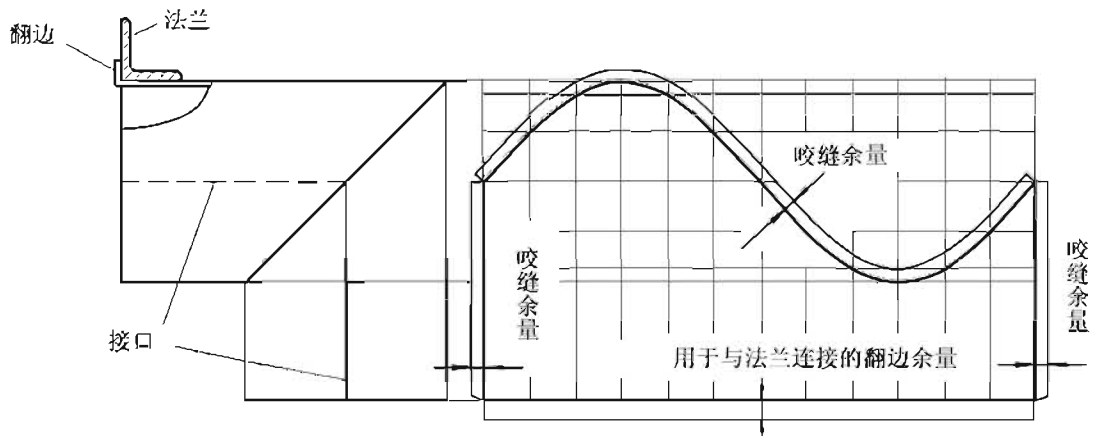


图 2-9 加了加工余量后的展开料

下面主要对常用的焊接、铆接和咬接方式的加工余量问题分别讨论。

### 2.2.1 焊接时的加工余量

#### 1. 坡口及边缘加工预留量

钢材在剪切及气割等加工中,由于受力变形或加热等影响,可能会产生内部组织及机械性能的变化,尤其是对强度较高、塑性较差的一些加工敏感性较强的金属材料,可能会在加工边缘产生加工硬化、细微裂纹以及渗碳、淬硬等缺陷。这些都将对焊接产生不利的影响,甚至会导致焊接缺陷的产生。因此,在焊接之前,有必要进行边缘加工,将这部分性能降低或有缺陷的金属去除,将被焊工件的边缘开出一定形状的坡口。另外,随着焊接结构更加广泛应用,其工作条件也越来越复杂,质量要求也越来越高,为了提高结构抗疲劳和耐腐蚀的能力,即使不是装配、焊接的工件边缘,即自由边,也不允许有缺口、裂纹、凹坑或尖棱、毛刺等存在,所以也有必要进行边缘加工予以清除。

对工件进行边缘加工的方法很多,有手工铲削、砂轮打磨、用加工机床进行机械加工,其中包括刨、铣、车等切削加工,以及气体火焰切割和碳弧气刨等方法。依据坡口加工方法的不同和板厚不同,预留量不同,一般要经机械加工的工件要在周边加3~5mm的预留余量。工件尺寸加大,板厚加大时要加大余量。

#### 2. 焊接变形预留余量

在零件下料时,主要考虑焊缝的横向收缩。例如,由多张钢板拼成的大直径、大板厚圆筒的焊接变形,结果是筒体轴向方向的缩短。焊接变形量与焊接方法、金属材料、板厚、电流大小、焊接层数等有关。低碳钢对接接头横向收缩量是:板厚为6~22mm时,焊缝的横向收缩量一般为1~2.4mm。T形接头的横向收缩量较小,板厚为5~20mm时,焊缝的横向收缩量仅为0.3~0.8mm。

#### 3. 对接、搭接、角接接头的下料余量

在放样、计算展开料时,对于如图2-10所示的接头形式要加接头余量,在一块板或两块板上预留下料余量。对于如图2-10(a)表示的搭接接头,要在两块板上留出加工余量;图2-10(b)、图2-10(c)表示搭接铆接接头,留出预留部分和将另外两块板料单独下料;图2-10(d)也是铆接,下料时要将立板留出折弯余量;图2-10(e)、图2-10(f)表示焊接时不加填料的焊接接头,例如用气焊、钨极氩弧焊、等离子焊等直接加热熔化焊接,下料时也要留出弯边量;图2-10(g)是外表平齐的角接接头,一般在里面点焊,下料时留出折边,但为保证接头外端接触严密,折边不要太大。

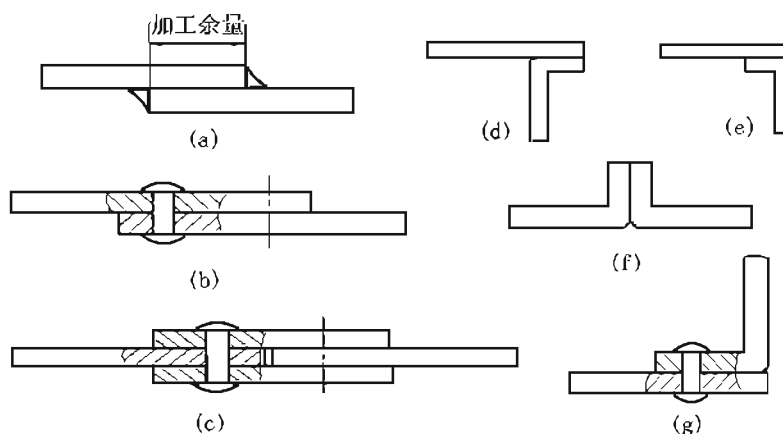


图 2-10 不同接头的加工余量

### 2.2.2 咬接时的加工余量

“接口”与“接缝”是两个不同的概念,所谓接口是指构件上由两个或更多的形体相交而形成的结合处,接口也称为咬口。而接缝是指一块板料弯曲后与对应边相接的那条缝,连接时也称为咬缝。它们之间的区别是:咬口(接口)是零件与零件之间的结合,而咬缝(接缝)是零件本身相对边缘的结合。

咬缝是把薄板的边缘折转扣合并压紧。咬缝连接不仅牢固、可靠,而且密封性能好,手法好时,咬口后不漏水。必要时,咬口后采用锡焊。采用咬缝连接的板料在下料时,要考虑留出咬缝余量,否则将使制成的工件尺寸变小,造成废品。咬缝余量如图 2-11、图 2-12 和图 2-13 所示。

咬接适用板厚小于 1.2 mm 的普通钢板,厚度小于 1.5 mm 的铝板和厚度小于 0.8 mm 的不锈钢板。咬接形式不同,加工余量也不同。

我们把咬接的宽度叫单口量,用  $b$  表示。单口量  $b$  与板厚有关,对于厚度为 0.2 ~ 1.2 mm 的板料, $b$  的宽度取 5 ~ 8 mm。咬接余量的大小由单口量  $b$  的数目计算。

咬缝余量的尺寸确定,以图中所示的  $b$  的倍数为准。以平缝单扣为例,因为咬缝占据了一个咬缝宽度  $b$ ,在展开图的基础上加 3 个咬缝宽度的余量即可。

图 2-11 是平缝的咬口断面示意图。其中单扣的断面层数是 4 层,两端共加  $3b$  的咬口余量。双扣的断面层数是 7 层,由于里面的宽度比较窄,两端共加  $5b$  的咬口余量。套扣的套下料宽度是  $4.5b$ 。

平缝用于连接平面构件和筒形件的纵缝。

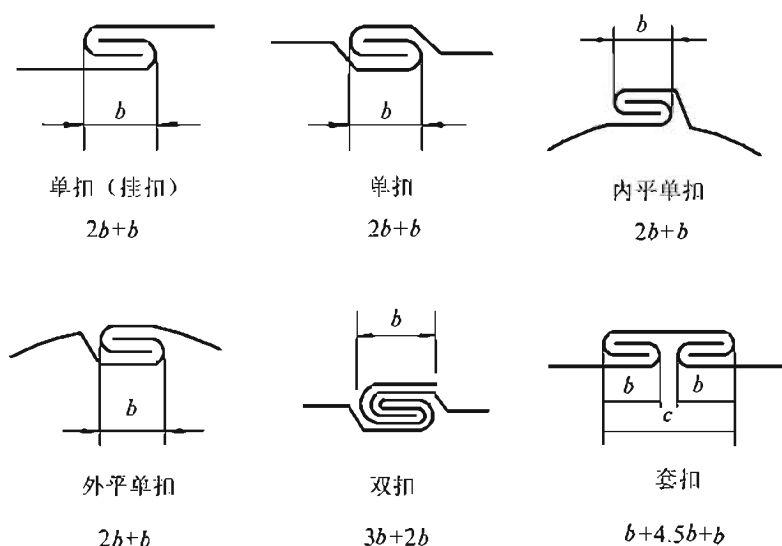


图 2-11 平缝

图 2-12 表示角缝的咬口断面形状。其咬口余量与平缝咬口分析方法相同。其中,匹茨堡缝也叫锤扣,它用在各种不同形状管件的纵长方向折角缝,广泛用于桶、箱、罩壳的上下底连接,各种曲面与底的连接。咬缝宽度取 5 ~ 8 mm。大型构件可取匹茨堡缝的宽度为 0.5 英寸,即  $b = 12.7 \text{ mm}$ 。

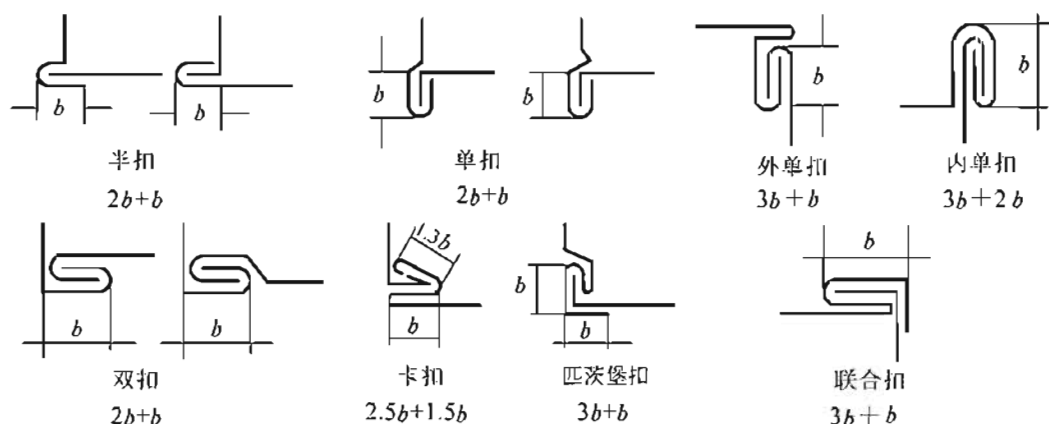


图 2-12 角缝

图 2-13 是立缝的断面图。由于立缝不占据构件的展开长度方向尺寸，断面有几层就加几层的宽度。立缝单扣两端共加 3 倍咬缝宽度。双扣共 5 层，加 5 倍咬缝宽度。咬缝宽度为 5 ~ 8 mm。立缝多用于平面、柱面和其他曲面的连接。外表要求平滑时用内扣，内壁要求光滑时用外扣。

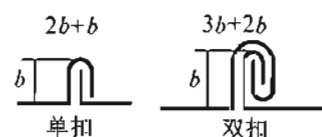


图 2-13 立缝

### 2.2.3 咬缝位置的选择

咬缝位置选取的不同，展开图的形状一般也不同。如等径直角弯管的咬缝位置在弯管的内侧和侧面，展开图的形状是不同的。咬缝位置的选取一般按照下列原则：

- (1) 必须使接缝为直线，不能是曲线，所以都取形体素线为接缝；
- (2) 使接缝尽可能地短，这样制作方便；
- (3) 符合视觉美学原则，例如将接缝选在靠墙或靠顶棚位置；
- (4) 还应根据零构件的受力情况和在不易泄漏的地方选取接缝位置；
- (5) 方便下料，有利于排样，节约材料。

总之，合理地选择接缝位置，要综合各方面情况，尽可能符合上述原则。

## 2.3 作图展开的基本方法

展开图是根据放样图绘制的，而不同的零构件由于形体特点的不同需要采用不同的展开方法求画展开图，下面介绍几种常用的作图展开方法。

### 2.3.1 平行线展开法

如果构件的表面是由柱面构成的，即表面可以看成是由无数条直素线构成，其表面的展开可以应用平行线法。常见的柱面有圆柱体、椭圆柱体和棱柱体，如果将其表面在平面上滚动一周，就得到了展开图。需要求出的是垂直于柱面的轴线的断面实形和具有代表性的各条素线实长。下面举实例说明用平行线画展开图的方法。

#### 1. 等径斜交三通管的展开

如图 2-14 所示等径斜交三通管在无坡口处理时均是外壁接触，所以放样图以外径画出，由于放样图中各素线的投影反映其实际长度，可以直接量取素线长。而画展开图时，展开长仍按板厚中心直径乘  $\pi$  计算。水平主管上的开孔画法与展开图画法相同，在对应素线上量取线段长。一般情况

下,板材在卷圆前不开孔,卷圆后,用孔的样板画线后再开孔。

关于等分点的多少,视构件尺寸而定,等分点越多,连接的曲线越圆滑。本书中只为说明展开原理,一般将整圆展开长分成 12 等份。

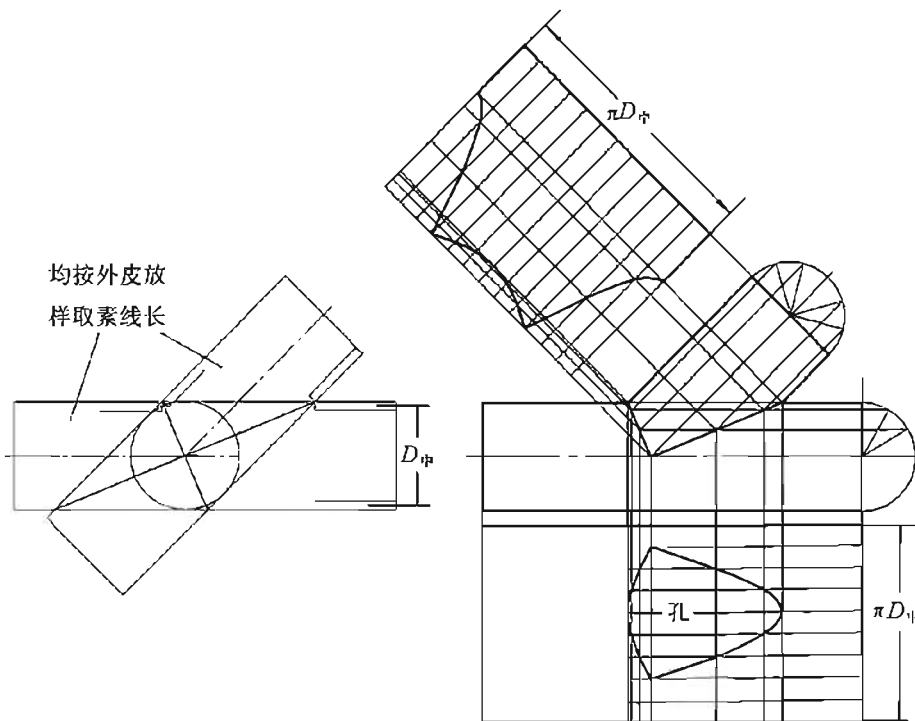


图 2-14 等径斜交三通管

### 2. 适合用平行线展开的管类构件

图 2-15 列出一些适合用平行线法展开的管件。由于各管件的轴线段均在放样图中反映实际长度,可以在放样图中直接量取素线长。图中的结合线均为两管轴线的角分线。

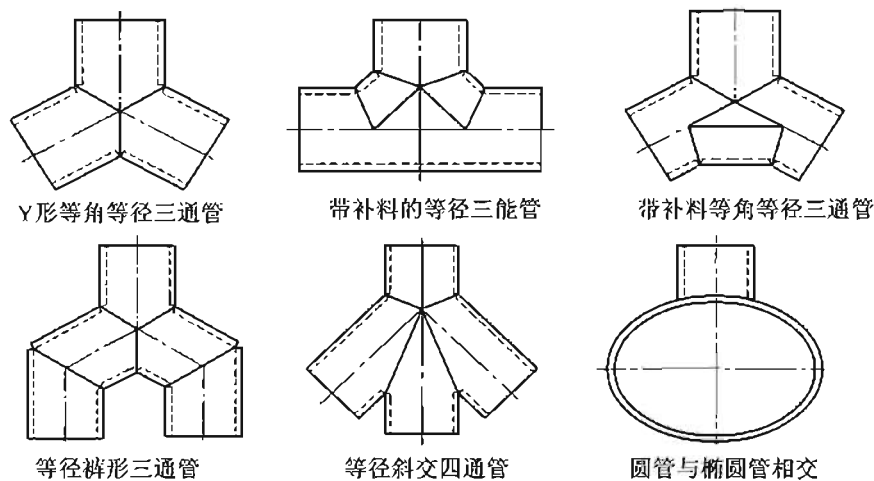


图 2-15 适于用平行线法展开的管件

### 3. 方管的展开实例

方管的展开比较简单,将四个平面的实际形状依次画出即可。但有些方管不经过投影变换无法完

整地画出主、俯视图的投影。一般先进行构件轴线的投影变换,当相邻两轴线都反映实长时,即可画出直线形结合线,画出构件的实际形状,再将构件向回投影,完成主、俯视图的投影。具体画法如下:

如图 2-16(a) 所示,三节弯管的直观图表示用矩形管连接立方体的右上至左下的管路,图 2-16(b) 表示已知的主、俯视图,可见,主视图无法直接画出完全图形。图 2-16(c) 表示经一次投影变换求出实形;在一次投影变换后,由于新投影面同时平行于三节圆管的轴线,在变换后的图上相贯线为直线,且为轴线的角分线。图中,作  $\angle 1,2,3_1$  和  $\angle 2,3_1,4_1$  的角分线,得两条相贯线。为了表达清楚怎样向回投影,另画图 2-17。

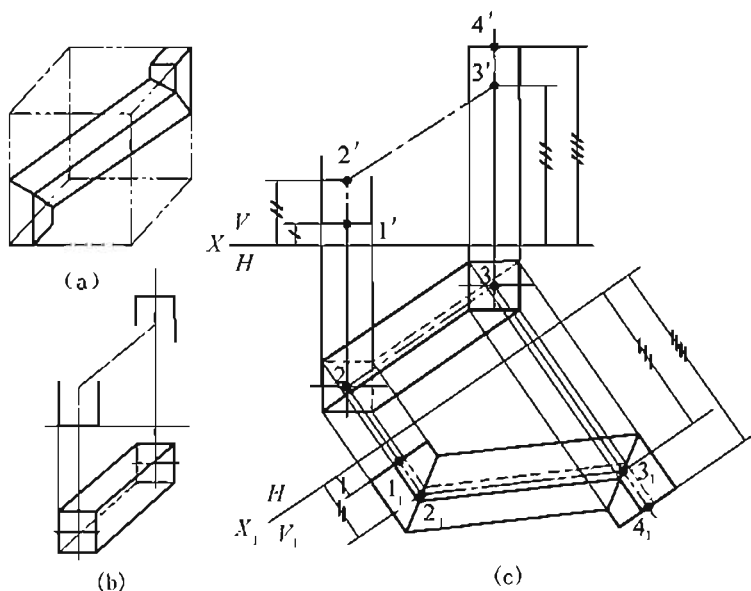


图 2-16 用投影变换解决三节弯管的投影

如图 2-17 所示,由俯视图向上投影,量取一次投影图上,上下端口到相贯线各点的距离,在主视图上找到相贯线各点,连线即得到主视图。

图 2-17 所示构件的展开图如图 2-18 所示,当钢板较薄(一般小于 6 mm)时,放样图的尺寸按板件的里皮。上、下、中三节的展开料在弯曲时,板料间的折弯角度均为直角。

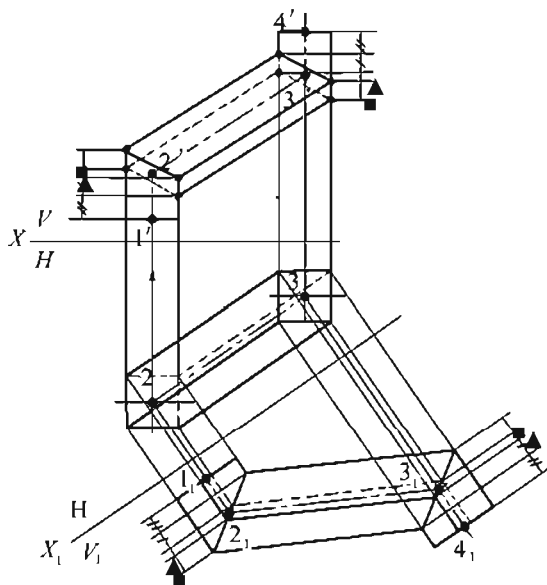


图 2-17 向上投影得主视图

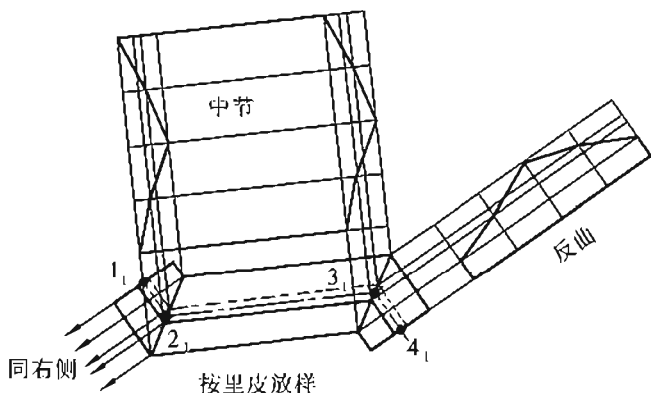


图 2-18 中节展开图和上节展开图



### 2.3.2 放射线展开法

如果形体的表面,是由一族交汇于一点的直素线构成,则该曲面称为以定点为顶点的锥面。锥面上过顶点的所有直线都叫锥面的素线。如图 2-19 所示,其锥面的展开都可以应用放射线法。

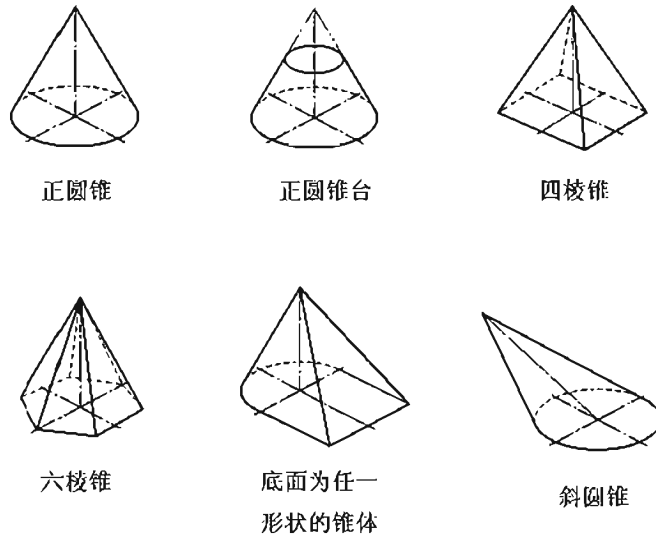


图 2-19 各种锥面形体

#### 1. 展开原理

若形体表面是由无数条直素线构成,并且这些直素线都汇交于一点,那么,就可以把形体表面上任意两条相邻素线及其所夹的底边线,看成是一个近似的平面小三角形,当各小三角形不遗漏、不重叠地按原来的相对位置铺开的时候,则原来的形体就被展开了。由于展开图上各素线都必然汇交于一点,如同从这一点发出的一组放射线,所以称这种方法为放射线法。

展开放样时,一般首先画出俯视图,圆周分点后向上投影,当求出每条素线的实长后,依次画出三角形即可得到展开图。实质上,放射线法展开就是以锥顶为圆心,画出一系列三角形而得到展开图。

#### 2. 应用举例

(1) 正圆锥管(大、小口)的板厚处理、展开图及计算法。当板厚超过 5 mm 时,常需要进行板厚处理。在图纸没有标明坡口形状、尺寸的情况下,一般采用角搭角的焊接。图纸给定的尺寸是上、下口直径和板厚以及上下两待接管间的高度。为了保证锥体的上口外皮与上面圆管的外皮相交、锥体下口的里皮与下面圆管的里皮相交,需要重新确定锥体的上、下口直径和高度。画法如图 2-20 所示,先根据图纸所给的尺寸画出待接的两圆管的断面图。图 2-20(b) 表示修改后的三个尺寸。图 2-20(a) 表示作图方法,以  $O$  为圆心,以板厚  $t$  为半径画弧,过点 2 作圆弧的切线,作直线 3—2 垂直于直线 2—1,线段 2—3 长是板厚  $t$ ,即可画出大、小口的断面图,得到新的大、小口直径  $D'_{\Phi}$ 、 $d'_{\Phi}$  和高度  $h$ 。依此画出展开图。

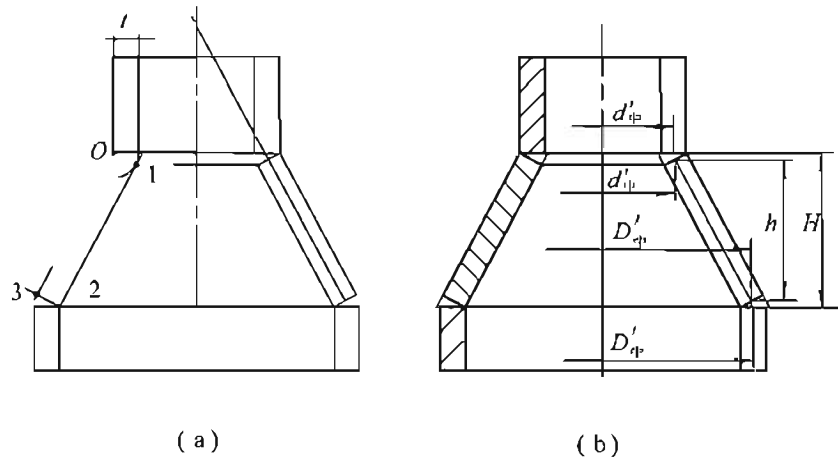


图 2-20 大、小口的板厚处理

在实际工作放样时没有必要画出全部投影图,只需画出一部分投影即可。如图 2-21 所示,画出上、下待接管的板厚,依上图方法求出经板厚处理后的 3 个尺寸,构成一个新的锥体投影。因为正圆锥体的表面素线长度相等,以锥顶为圆心到侧面素线的上、下端为半径画弧。量取圆弧长等于锥体上、下口的圆周长,完成展开图。

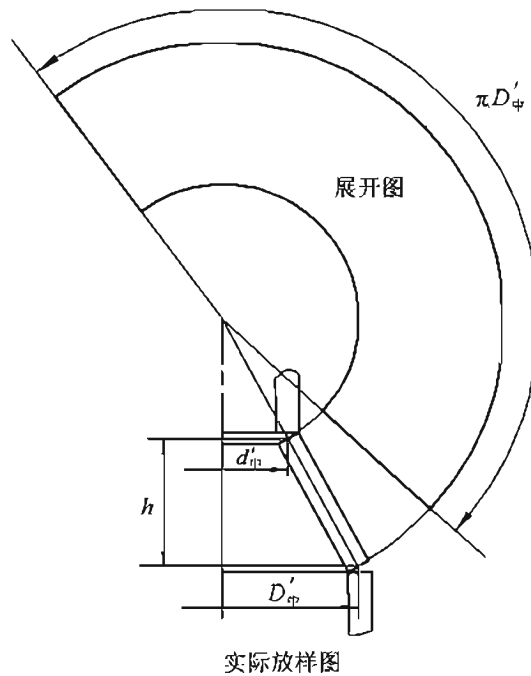


图 2-21 大、小口的实际放样图和展开图

如果经常生产大、小口,采用计算方法直接画展开图即省事又精确,计算方法很简单,如图 2-22 所示。

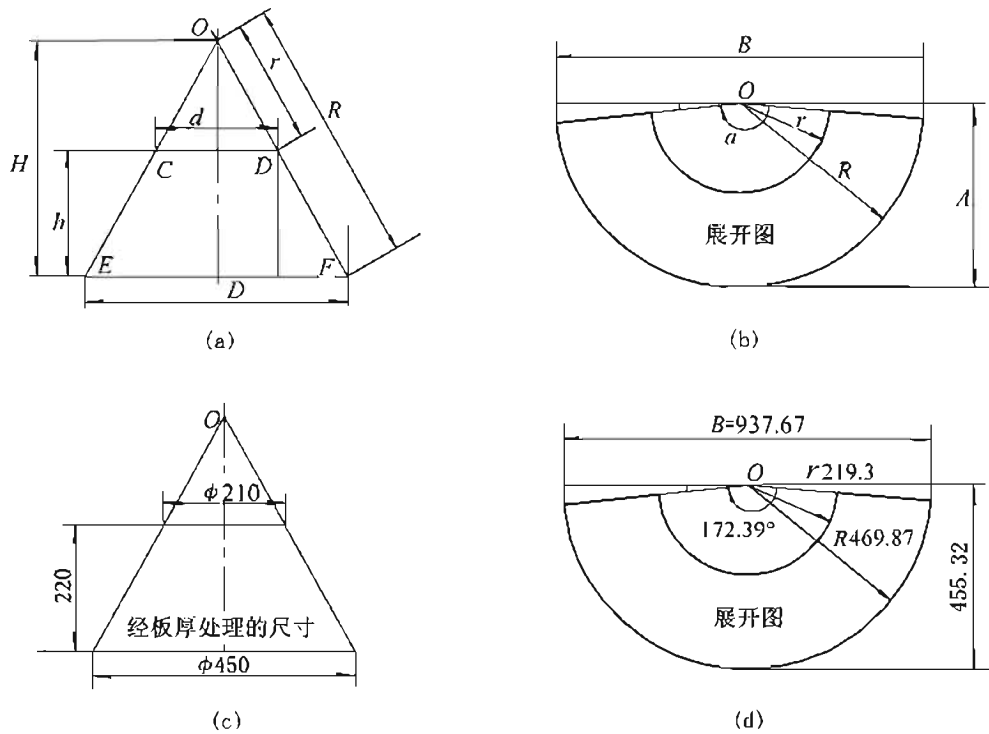


图 2-22 大、小口的计算公式及实例

由于  $\triangle OCD$  和  $\triangle OEF$  相似, 对应边成比例:  $D/d = H/(H-h)$ , 对于扇形, 弧长 = 角度  $\times$  半径。这里的角度用弧度制, 即度  $\times (\pi/180) =$  弧度, 弧度  $\times (180/\pi) =$  度, 于是推导出:

$$H = \frac{Dh}{D-d} \quad (2-5)$$

$$R = \sqrt{H^2 + (D/2)^2} \quad (2-6)$$

$$r = \sqrt{(H-h)^2 + (d/2)^2} \quad (2-7)$$

$$B = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \quad (2-8)$$

$$A = R - r \cos \frac{\alpha}{2} \quad (2-9)$$

$$\alpha = \frac{D}{R} \times 180^\circ \quad (2-10)$$

式中,  $H$  为圆锥高;  $D$  为大口直径;  $h$  为圆锥高度;  $d$  为小口直径;  $R$  为大口展开半径;  $r$  为小口展开半径;  $B$  为展开料宽度;  $A$  为展开料高度;  $\alpha$  为展开料扇形角度。

下面以图 2-22(c) 为例计算大、小口的展开尺寸。

**例题 2-4** 已知:  $d = 210 \text{ mm}$ ,  $D = 450 \text{ mm}$ ,  $h = 220 \text{ mm}$ 。求作展开图。

**解:** 将已知数据代入式(2-5) ~ 式(2-10) 得

$$H = \frac{Dh}{D-d} = \frac{450 \times 220}{450 - 210} = 412.5 (\text{mm})$$

$$R = \sqrt{H^2 + (D/2)^2} = \sqrt{412.5^2 + (450/2)^2} = 469.87 (\text{mm})$$

$$r = \sqrt{(H-h)^2 + (d/2)^2} = \sqrt{(412.5 - 220)^2 + (210/2)^2} = 219.3(\text{mm})$$

$$\alpha = \frac{D}{R} \times 180^\circ = \frac{450}{469.87} \times 180^\circ = 172.39^\circ$$

$$B = 2R \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 469.87 \sin \frac{172.39^\circ}{2} = 937.67(\text{mm})$$

$$A = R - r \cos \frac{\alpha}{2} = 469.87 - 219.3 \cos \frac{172.39^\circ}{2} = 455.32(\text{mm})$$

直接画出的展开图如图 2-22(d) 所示。

(2) 斜圆锥的展开。斜圆锥是底面为圆而轴线倾斜的锥体,垂直于轴线截切得到椭圆,因此,也可以称为椭圆锥。图纸给出尺寸见图 2-23 中的  $D$ 、 $H$ 、 $\alpha$ 。具体画法是:首先画出俯视图,为清楚表达图形关系,将圆周等分为 8 等份,具体产品尺寸较大时,应多等分。以  $O$  点为轴,将俯视图上的  $O-2$ 、 $O-3$ 、 $O-4$  各一般位置直线用旋转法旋转到正平线,投影到主视图上,求出  $O-2$ 、 $O-3$ 、 $O-4$  的实长  $O-2'$ 、 $O-3'$ 、 $O-4'$ , $O-1'$ 、 $O-5'$  是正平线,在主视图上反映实长。

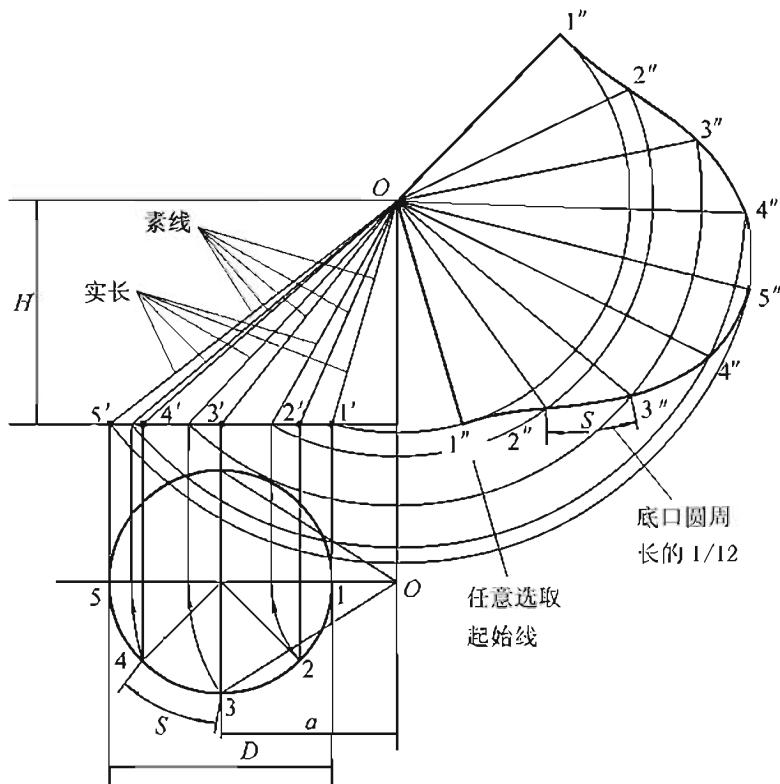


图 2-23 斜圆锥的展开

画展开图:以  $O$  为圆心, $O-2'$ 、 $O-3'$ 、 $O-4'$ 、 $O-1'$ 、 $O-5'$  为半径画弧,在适当位置过点  $O$  画直线作为起始线,画弧交出  $1''$ 。量取俯视图上的一段弦长(圆弧长  $S$ ),以  $1''$  为圆心、 $S$  为半径画弧与第 2 条线交出  $2''$ ,依次量取 8 个  $S$  长,形成 8 个小三角形,用圆滑曲线连接各点,得到展开图。

曲线画好后,应该用尺量一下曲线长,是否与底圆中心直径乘  $\pi$  的值相等。由于曲线中各段的曲率(弯曲程度)与底圆的曲率不同,量取相同弦长(弧长  $S$ ) 时弧长会有误差。如果误差超过允许

值,就要调整弦长,重新找点,直到曲线伸直长度等于底口展开长。

(3) 四棱锥台的展开。正四棱锥台的主、俯视图如图 2-24 所示,由俯视图可见四条棱线的投影交于一点,在主视图上的四条棱线投影也交于一点,因此,可以把四棱锥台的四条棱线看成是正圆锥的四条素线的一部分,用放射线法展开后,取出对应的四条棱线段即可得到展开图。图 2-24 中画出两例不符合放射线法展开的构件,可以看出,这两个构件的四条棱线并不汇交于一点。

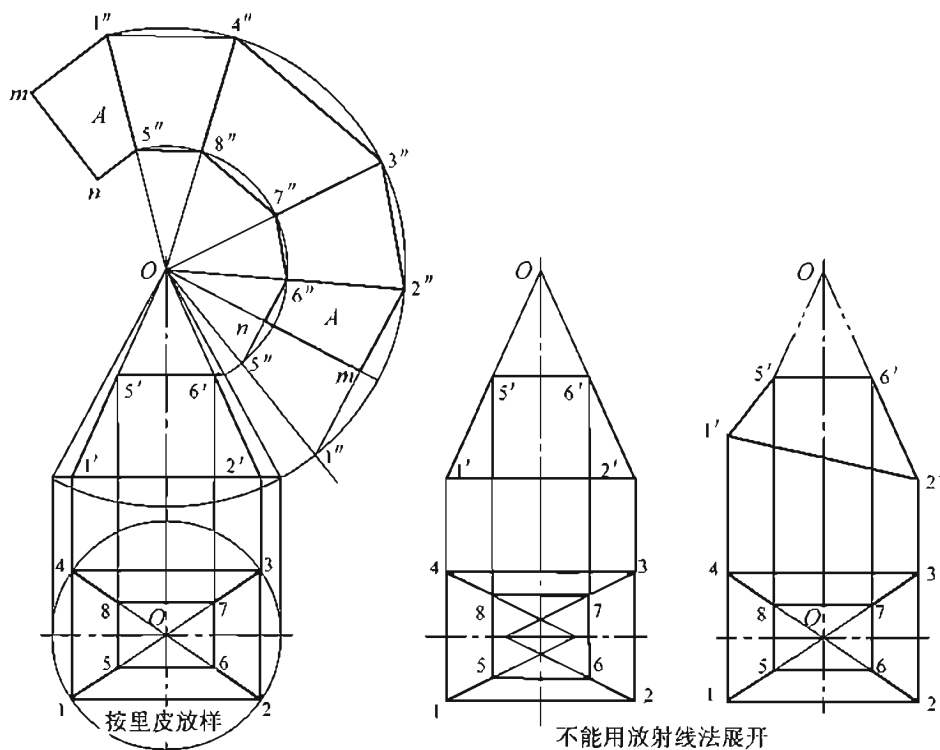


图 2-24 正四棱锥台的展开及不符合放射线法展开实例

正四棱台的展开具体画法简介如下:首先,在俯视图上画出下口投影,设本例构件的板厚较薄,折弯时不留折弯余量,按构件里皮画投影图。画俯视图的下口投影的外接圆,再向上投影画出圆锥的主视图,以  $O$  为圆心画弧,画出圆锥底口的展开弧线,在这条展开弧线上量取棱锥台的下口边长,画出下口的展开图。用旋转法求出锥顶到上口四点的实长,即在主视图上向右延长上口投影到锥体最右边的素线,得到交点,再以  $O$  点为圆心,过交点画弧,得到上口的展开线段,完成展开图。有些构件的接口线选取在平面上而不选取在棱线上,可将图中所示的一个大面分为两半,将图中所示的  $A$  区域复制到另一端,形成完整展开图。

### 2.3.3 三角形展开法

对于可展曲面来说,因为整个曲面是可展的,因此每一部分也一定是可展的。据此可以确定,由平面、柱面、锥面的全体或部分组合而成的任意形状表面,也一定是可展的。图 2-25 是异口连接管,上口是尺寸较小的圆,下口是方,俗称“天圆地方”,而上口是尺寸较小的方,下口是圆,俗称“天方地圆”。可以把如图 2-25 所示的管件看成是由四个斜圆锥部分表面和四个三角形平面组合而成的。如果用放射线法展开是很麻烦的,为了简便,可以使用另一种方法——三角形展开法。

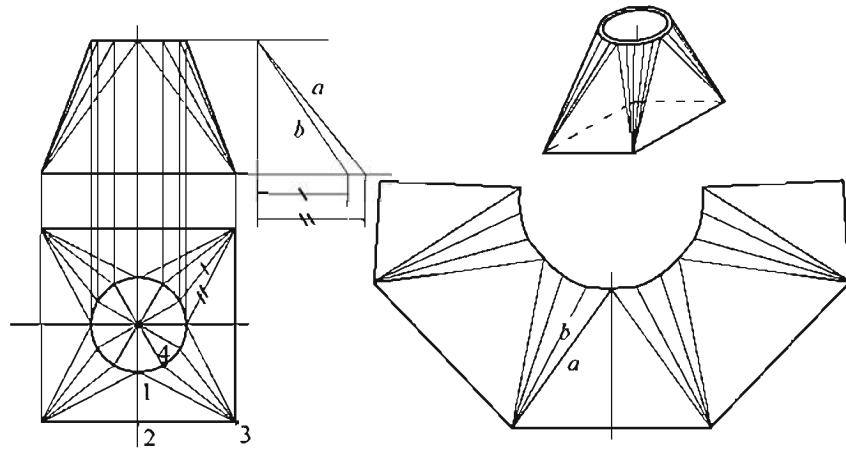


图 2-25 “天圆地方”的展开图画法

1. 展开原理

若形体的表面是由若干平面与曲面或曲面与曲面构成,那么,就可以把表面分成若干块小三角形。当把这些小三角形按原来的相互位置不遗漏地铺开开来的时候,则形体的表面就被展开了。

2. 应用举例

(1)“天圆地方”的展开图画法及计算法。“天圆地方”也是常见的连接件,上圆下方、下圆上方的画法完全一样,如图 2-25 所示,当板厚较薄时,方口按里皮,圆口按板厚中心放样,如图所示,上口的圆是水平曲线,在俯视图反映实长,下口也在俯视图反映实长。由于构件是对称的,只要求出两条素线的长度就可以用三角形法将三角形依次画出。用投影长和坐标差作直角三角形的两条直角边,斜边即为实长。如图,主视图的高度是素线的 Z 坐标差,量取俯视图的投影长作直角三角形的底边,斜边即为素线的实长。画展开图时,用一个圆规定为上口圆弧的单位弧长,另一个圆规量取直线长,用已知三边长画三角形的方法依次画出展开图。

在实际工作中,放样时不必画出完全的主、俯视图。如图 2-26 所示,只要画出俯视图的 1/4 即可,以俯视图上素线的投影长为一个直角边,主视图的高度作另一个直角边画两个直角三角形,其斜边即为素线实长,依此画出展开图。

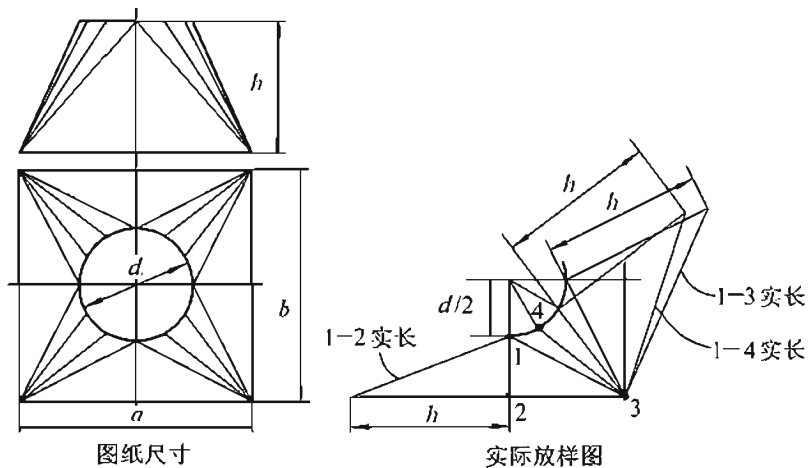


图 2-26 实际放样时的图形

用计算法画展开图并不用放样,只需求出实长即可。图2-27(a)所示是图纸尺寸,图2-27(b)表示任意一条一般位置直线的实长求解公式:

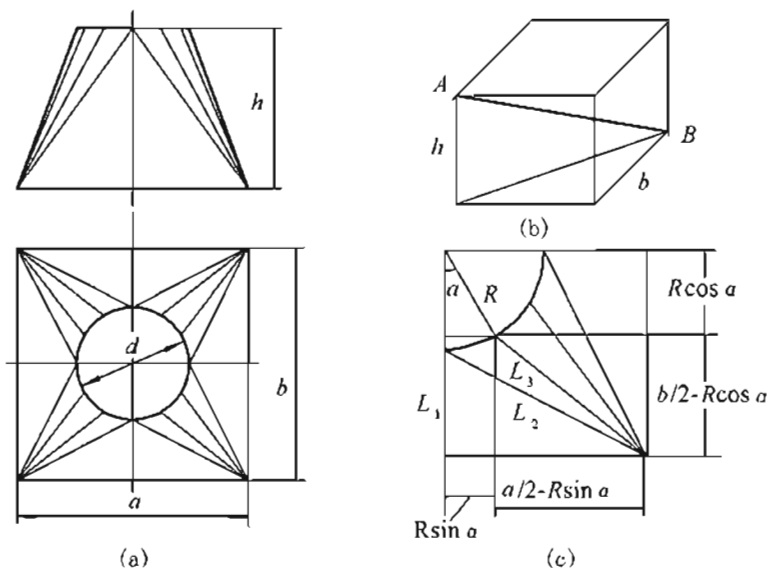


图 2-27 “天圆地方”的计算

$$AB = \sqrt{a^2 + b^2 + h^2} \quad (2-11)$$

$$L_1 = \sqrt{\left(\frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right)^2 + h^2} \quad (2-12)$$

在图 2-27(c) 中,任意一条素线的长度是:

$$L_{2,3} = \sqrt{h^2 + \left(\frac{\alpha}{2} - R \sin \alpha\right)^2 + \left(\frac{b}{2} - R \cos \alpha\right)^2} \quad (2-13)$$

以图 2-28 所示的实例为例计算如下:

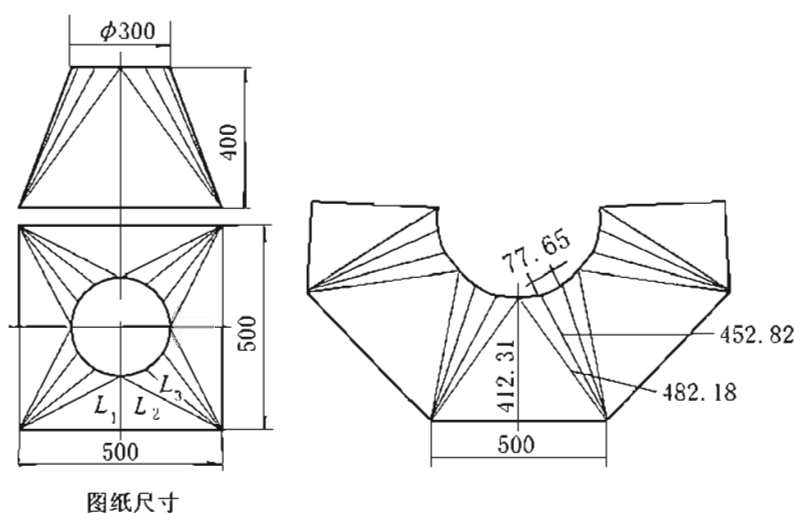


图 2-28 计算法求“天圆地方”的展开图

**例题 2-5** 设经过板厚处理后“天圆地方”尺寸为： $h = 400 \text{ mm}$ ,  $R = 150 \text{ mm}$ ,  $a = b = 500 \text{ mm}$ 。求素线实长。

解：上口圆分为 12 等份，一份的弦长：

$$P = D \sin(180^\circ/n) = 300 \sin(180^\circ/12) = 300 \times \sin 15^\circ = 300 \times 0.2588 = 77.65 (\text{mm})$$

依题得  $\alpha_1 = 0^\circ$ ,  $\alpha_2 = 30^\circ$ , 代入式(2-12)、式(2-13)得

$$L_1 = \sqrt{\left(\frac{500}{2} - \frac{300}{2}\right)^2 + 400^2} = 412.31 (\text{mm})$$

$$L_2 = \sqrt{400^2 + \left(\frac{500}{2} - 150 \sin 0^\circ\right)^2 + \left(\frac{500}{2} - 150 \cos 0^\circ\right)^2}$$

$$= \sqrt{160000 + 250^2 + (250 - 150)^2} = 482.18 (\text{mm})$$

$$L_3 = \sqrt{400^2 + \left(\frac{500}{2} - 150 \sin 30^\circ\right)^2 + \left(\frac{500}{2} - 150 \cos 30^\circ\right)^2}$$

$$= \sqrt{400^2 + (250 - 150 \times 0.5)^2 + (250 - 150 \times 0.866)^2} = 452.82 (\text{mm})$$

各素线长求出后，即可用三角形法画出展开图。

由于展开图上的曲线曲率较小，而俯视图上圆的曲率较大，所以量取弦长作展开图时，往往会使展开图上的曲线总长变短，不够圆的展开长。画图时，应该适当放大量取圆上分段的弦长。

(2) 上口倾斜并扭转的方管连接管展开图画法。图 2-29 是连接两方管的连接件，上面连接一个铅垂位置的方管，下面连接一个尺寸大一点的铅垂位置的方管，两方管扭转  $90^\circ$ 。图中所示，下口端面是正方形，而上口在俯视图上的投影是正方形，在主视图上的投影是倾斜的，因此，上口端面不是正方形，要求出上口端面实形可以另作一个方向视图。

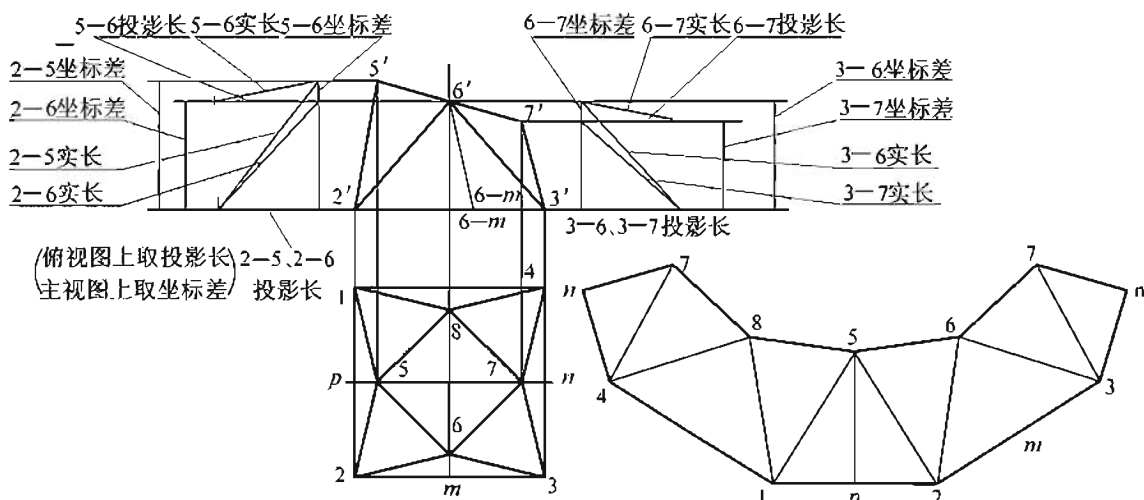


图 2-29 上口倾斜并扭转的方管连接管展开

连接上、下口的是 8 个三角形，首先，将每个三角形的实际边长求出。需要求出实长的线段是：2—5、2—6、3—6、3—7、5—6、6—7； $p$ —5、7— $n$  在主视图中的投影反映实长。6— $m$  的实长也可以不求。在本例中求一般位置直线的方法采用“投影长坐标差”法。在俯视图量取投影长作一个直角边，在主视图上量取铅垂方向的坐标差作另一直角边，直角三角形的斜边就是实长。

一般焊缝接口选在接缝较短处，因此，从三角形 1—5—2 开始展开，正方形底口的边长是实长，



可以直接量取,依次画出各三角形,完成展开作图。

### 2.3.4 三种展开方法的小结

#### 1. 平行线法仅适用于柱面构件的展开

当形体表面是柱面,即表面由互相平行的直素线组成时,可以用平行线法展开。如图 2-30 所示,图 2-30(a) 是柱面,俯视图投影是柱面的母线,铅垂素线沿母线移动,形成柱面,主视图取了柱面的一部分。由于各条素线在主视图上反映实长,只要将母线展开,对应取线段长即可完成展开图。而图 2-30(b) 表示试图将柱面分成三角形的作法是不对的,原因是图中的斜线如 5—9、6—10 等都不在弯板的表面上,用三角形法展开会产生较大误差。而图 2-30(c) 表示的面不是柱面,是扭曲面,只能用三角形法近似展开。

如果构件表面在一投影面上的投影是一条直线或曲线,其表面的素线必然在另一投影图上显示实长,可应用平行线法展开。

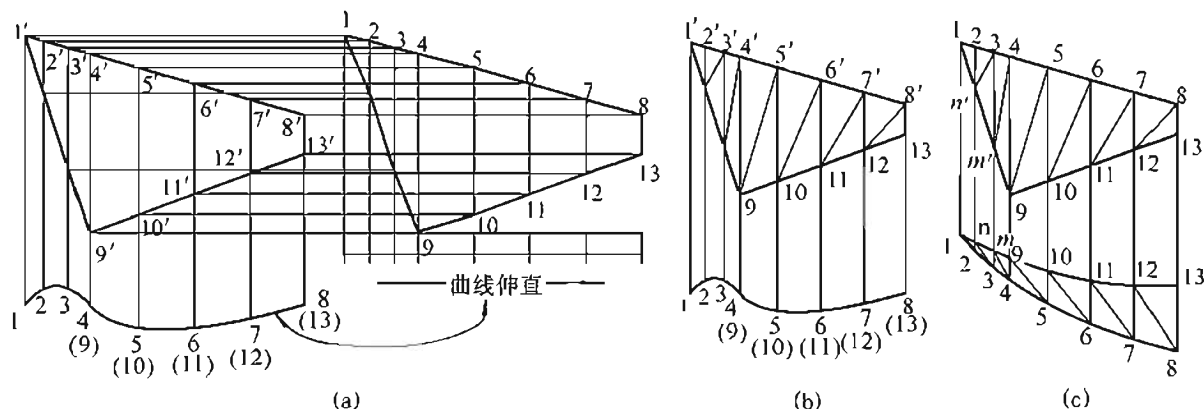


图 2-30 不同弯板的展开方法

#### 2. 放射线法仅适用于展开素线相交于一点的形体表面展开

尽管锥体表面各种各样,但展开方法却大同小异,作法可归纳如下:

- (1) 通过延长投影边等画出对应的完整锥体投影。
- (2) 等分断面周长作出一组素线和经过特殊点的素线,将锥体分成若干个小三角形。
- (3) 常用旋转法求出线段实长,把所有不反映实长的与作展开图有关的直线的实长一一不漏地求出来。

(4) 以锥顶为圆心,以最长的实长线为半径,画圆弧,在圆弧上量取各分点,画出素线,再以其他素线实长为半径画弧,与素线交出各展开点。画出截切部位所在的曲线的展开曲线,完成展开图。

有些零件的表面好像是锥面,其实素线并不交,不能用放射线法展开。例如图 2-31 所示:如果简单地平分上、下口圆弧所构成的素线,其素线位置并不合理。图 2-31(a) 是直观图,如果平均等分上、下口的圆弧,连接成素线,如图 2-31(b) 所示,相邻两素线是交叉的,并不能构成一个平面,只能用扭曲面连接两素线。而如图 2-31(c) 所示,首先,任意作一条上口圆的切线,与投影面交于迹点,过迹点作下口圆的切线,即切平面的迹线,连接两切点就确定了一条素线。再作几个切平面求出几

条素线,就相当于曲面在一些平面上滚动而留下的一系列直线。

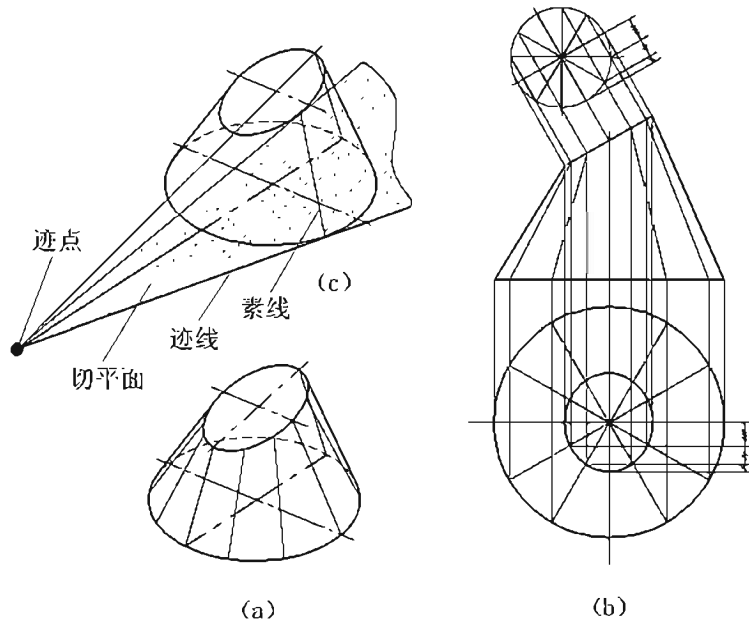


图 2-31 斜圆顶圆底连接管的素线确定

为了进一步说明相邻两素线间的关系,另画一个素线分析图,如图 2-32 所示,用均分上、下口圆弧的方法作出素线后,图示素线 1—2、3—4 在主视图交与点  $a'$ ,而在俯视图上,两线交于点  $O$ ,显然,两条线是交叉的,而交叉两直线是不能用平面连接的。

如图 2-33 所示,首先求迹点,在主视图上延长上口投影,与底面的延长线交于点  $P$ ,点  $P$  就是迹点。过点  $P$  向下投影,在直线  $MN$  上任意取点  $a、b、c、d、e、f$ ,通过以上各点同时作上、下口的切线,对应的切点连线,即为所求的素线。为了防止图形过乱,图中的主视图上仅画出了两条素线的投影。

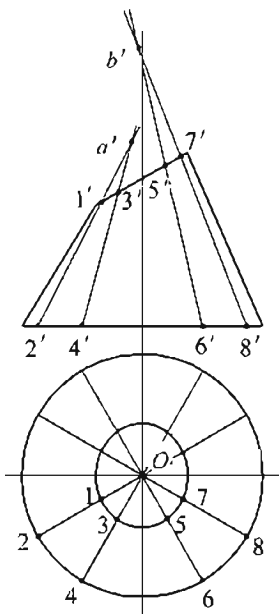


图 2-32 相邻两素线成交叉关系

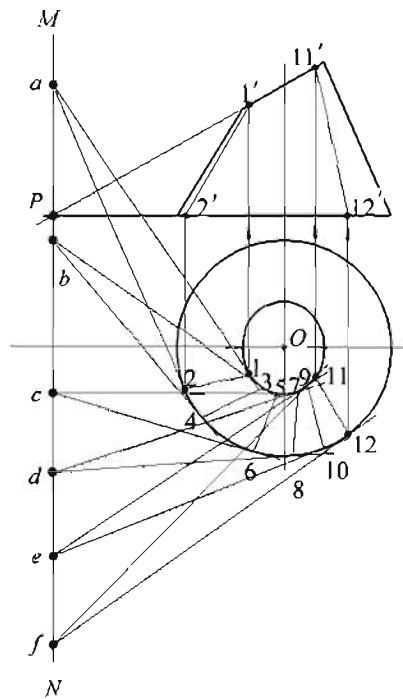


图 2-33 用迹线法求上口倾斜的圆管连接管的素线

### 3. 三角形法展开画法小结

因为三角形法略去了形体原来相邻素线间的平行、相交、异面(交叉)关系,而用新的三角形代替,因而对曲面来说它是一种近似的展开方法。这种方法不仅可以用来展开可展曲面,而且还可以作不可展曲面的近似展开图。

三角形法展开构件大致分为下述三个步骤:

(1) 先将形体表面正确地分割成若干小三角形,所谓正确分割,必须具备下列条件:

- ① 三角形的顶点应在构件上、下口边缘上;
- ② 三个边应能附着在构件表面;
- ③ 相邻三角形只能有一条公共边;
- ④ 构件的平面部分和曲面部分应相切,圆滑过渡。

(2) 求出所有小三角形各边的实长。

(3) 用已知三角形三边长画三角形的画法,依次画出三角形,完成展开图。

另外,在实际展开放样过程中,通过分析形体的有关对称关系,以及对各种展开方法和技巧的熟练掌握,可以简化和省略某些图线和编号,只作出非作不可的一些图线或者只找到一些关键的点,以求得能准确作出展开图为最终目的。

## 2.4 不可展曲面的近似展开

如果以一个圆为母线,直径为旋转轴,则所形成的旋转面是一个球面;如果以直线为母线,当直母线与旋转轴相交时,则所形成的旋转面是正圆锥面;如果当直母线平行于旋转轴时,则所形成的旋转面是圆柱面。这些统称为旋转曲面。

在旋转曲面中除了正圆锥面和圆柱面以外,其他旋转面都是不可展曲面,如图 2-34 所示的几种曲面就是不可展曲面。

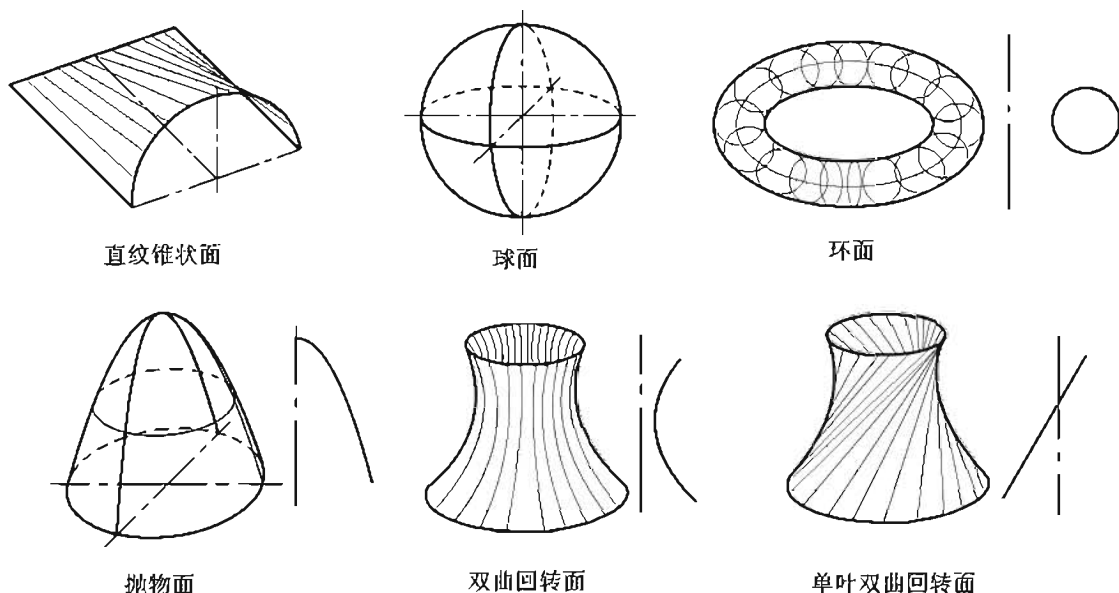


图 2-34 不可展曲面

虽然不可能得到不可展曲面的精确展开图,但是却可以得到它们的近似展开图。例如,一个球壳,可以把它的表面切割成很多小块,然后把每一小块都近似地看成小平面,最后把这些被认为是小平面平铺在同一个平面上,这样,球壳就被近似地展开了。

下面分别介绍几个实例以说明分割规则和展开过程。

### 2.4.1 不可展旋转曲面的近似展开

#### 1. 平行线法(沿经线分割法)展开球面

如果把球沿经线方向分成若干部分,然后把每相邻两经线间的不可展曲面看成是圆柱面的一部分,就可以用平行线法近似展开了——这种分割规则叫经线分割法。具体展开步骤如图 2-35 所示。

在俯视图上将圆的投影分成适当等份,将每一等份的分瓣看成圆柱面展开。主视图按板厚中心放样。展开图的展开长按主视图各段弧长,素线长按俯视图上的投影长。

#### 2. 放射线法(沿纬线分割法)展开球面

如图 2-36 所示,用相邻纬线为上、下底的正圆锥台的侧表面替代球面,然后用放射线法一一展开这些锥面,就近似地展开了半球。具体作图步骤如下:

分段时,如果图纸无分割具体要求,顶部圆直径不要太小,构件直径越大,分段越多。图中在主视图中任作三条纬线,即图中的三条水平线,将半球分成四个部分。把每段看成正圆锥台的侧表面,用放射线法展开各部分。

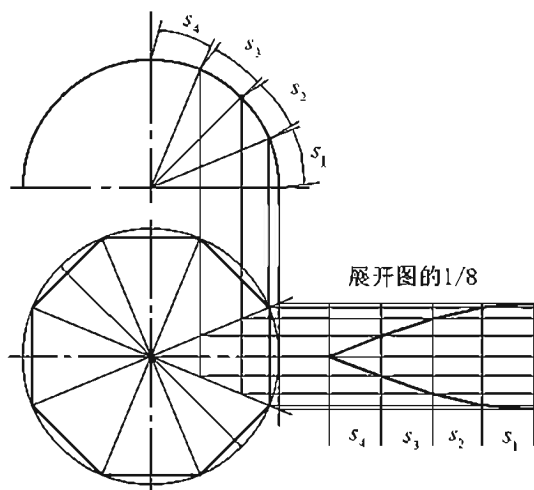


图 2-35 经线分割法展开半球面

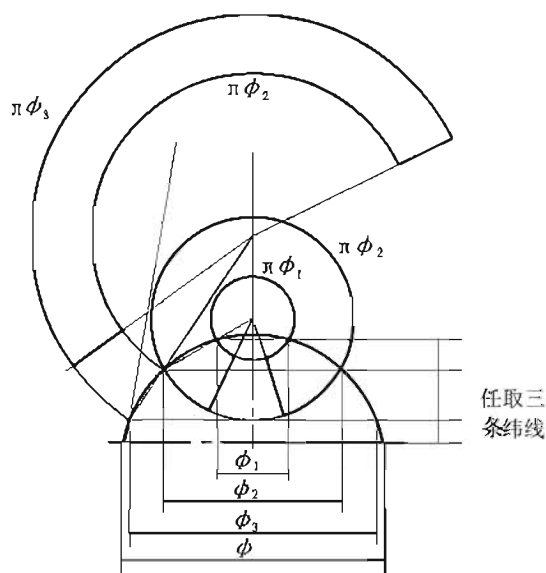


图 2-36 纬线分割法展开球面

#### 3. 用经、纬线联合分割法展开球面

如图 2-37 所示,用经线和纬线分割后,形成了 25 块小平面,中心是正八边形。其他小块都是梯形,为了保证容器内体积,最下面的梯形底边是底圆的外切线。展开方法与经线分割法相近,只是将分瓣分成三角形加三个梯形,还是用平行线法展开。

实际工作中可以将小梯形热压成球面的一部分,去边开坡口后,互相将焊口错开拼焊。

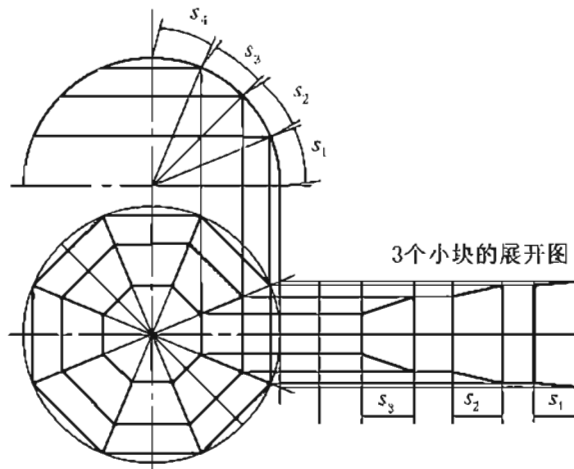


图 2-37 经线、纬线联合分割法展开球面

### 2.4.2 直纹不可展曲面的近似展开

直纹不可展曲面有直纹锥状面和直纹柱状面之分,典型直纹柱状曲面是螺旋叶片,一般采用三角形法、梯形法和计算法近似展开。下面逐一介绍。

#### 1. 三角形法

如图 2-38 所示,螺旋叶片可以看成是:一段垂直于铅垂轴线的直线段一边绕轴线旋转一边上升所构成,线段旋转一周上升的高度称为导程。线段的每一位置确定一根素线,素线间是交叉关系,属于不可展曲面。制造时,常加热后用胎具压制,由于变形过程中零件必然产生扭曲变形,批量生产时要根据材质、加工工艺等因素对下料样板形状进行调整。当叶片较窄,内管(心柱)直径较大时,下料误差较小,反之误差较大。

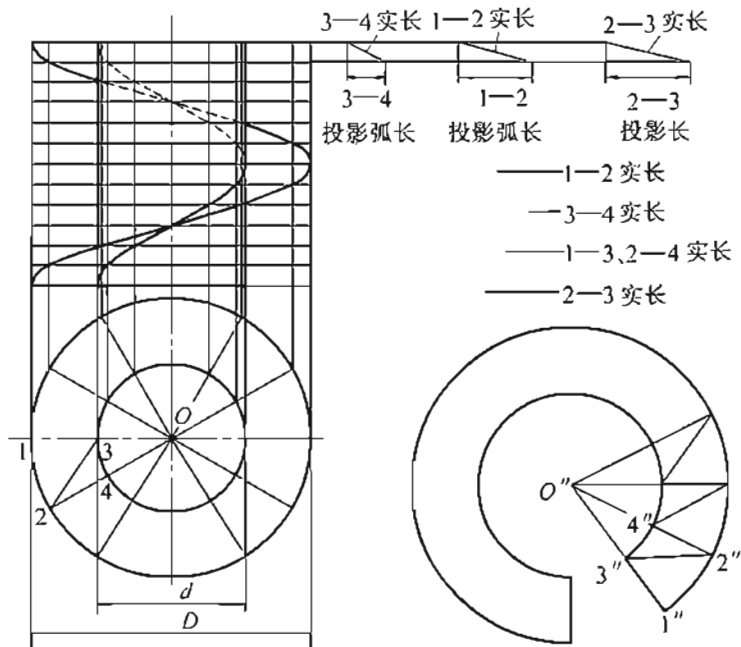


图 2-38 三角形法展开螺旋叶片

放样时,主视图可以不画,俯视图画半圆;用直角三角形法求实长,由于俯视图圆分12等份,垂直直角边量取导程的1/12,量取俯视图上的1—2、2—3、3—4的投影长作另一直角边,直角三角形的斜边就是线段实长。图中线段1—3、2—4是水平线,在俯视图反映实长。

实长求出后,连续依次画出各三角形,完成展开图。由于三角形作图存在累积误差,要量一下内、外螺旋线展开长度,以便加以修正。

## 2. 梯形法

如果将三角形小旗缠绕在圆形旗杆上,就得到螺旋线。同理,画一直角三角形,铅垂边长等于导程,水平边等于俯视图上内、外圆周长,则斜边就是螺旋线的展开长。

根据相似形边长成比例原理,画一梯形,高为螺旋叶宽 $B$ ,上下底为内、外螺旋线展开长,延长梯形斜边交出展开料圆心,画圆并在圆上量取内、外螺旋线展开长度,完成展开图。

## 3. 计算法

从作图法看出,可以通过计算先求出待画图的所有数据,然后直接按数值绘出展开图,如图2-39所示。

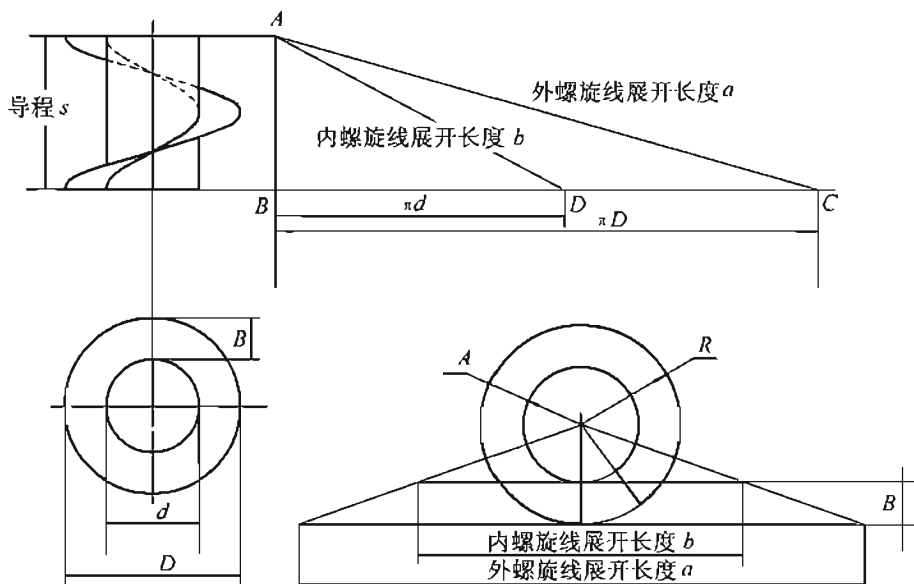


图 2-39 梯形法展开螺旋叶片

$$r = \frac{bB}{a-b}$$

$$R = r + B$$

$$\alpha = 360^\circ - \frac{180^\circ b}{\pi r} = 360^\circ - \frac{180^\circ a}{\pi R}$$

$$a = \sqrt{(\pi D)^2 + S^2}$$

$$b = \sqrt{(\pi d)^2 + S^2}$$

式中, $r$ 为展开图内圆半径; $R$ 为展开图外圆半径; $\alpha$ 为展开料缺口夹角; $a$ 为外螺旋线展开长; $b$ 为内螺旋线展开长; $D$ 为外圆直径; $d$ 为内圆直径; $S$ 为导程; $B$ 为叶片宽度 $[B = (D - d)/2]$ 。

通过上述几例,对本节不可展曲面的近似展开问题可归纳如下:

(1) 根据曲面的不同形状和尺寸,采用不同的分割方法。对于旋转面或者采用经、纬线分割,或者采用纬线分割,或者采用经线联合分割;而对于直纹面一般采用三角形分割法。上例的计算只适用于正圆柱螺旋面的近似展开。

(2) 将分割的每一小部分都看成是可展曲面或平面。

(3) 用前面所学习的展开方法和步骤,在求出所有不反映实长的有关线段的实长后,采用三角形法将每一块可展曲面一一展开。

## 复 习 题

1. 分述断面形状为曲线和折线时的板厚处理原则。
2. 选取咬缝位置的原则有哪些?
3. 理解平行线展开法原理,并说明一般作图步骤。
4. 具有什么样特点的形体其侧面可以采用放射线法展开?放射线法展开的原理是什么?
5. 用三角形法展开形体表面的关键是正确分割形体表面,那么怎样才算正确分割呢?
6. 用计算法求出螺旋叶片的展开图(图 2-39),已知: $D = 360 \text{ mm}$ , $d = 200 \text{ mm}$ , $S = 300 \text{ mm}$ 。
7. 用平行线法展开下列零件(图 2-40)。
8. 用放射线法作出下列零件展开图(图 2-41)。
9. 画出下列零件的展开图并写出作图步骤(图 2-42)。
10. 图 2-43 为一进料斗和某些作业机吸风口变形管,试画出其展开图形。
11. 测量日用水桶(圆锥形)的尺寸并画出所有零件的展开图形。

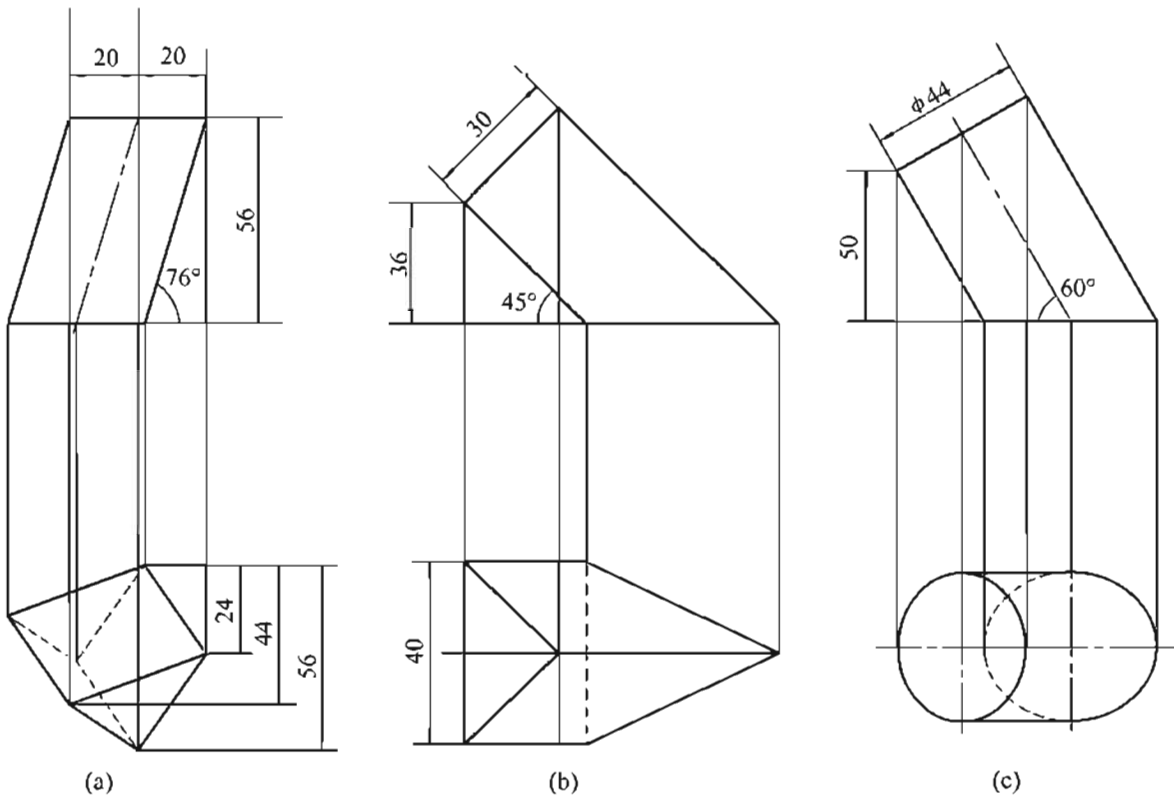


图 2-40



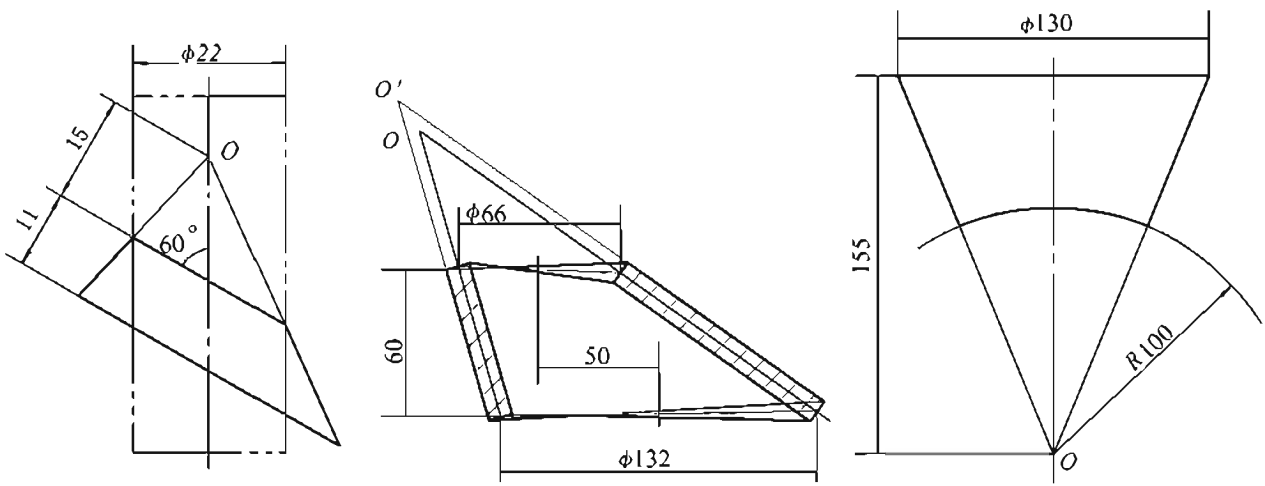


图 2-41

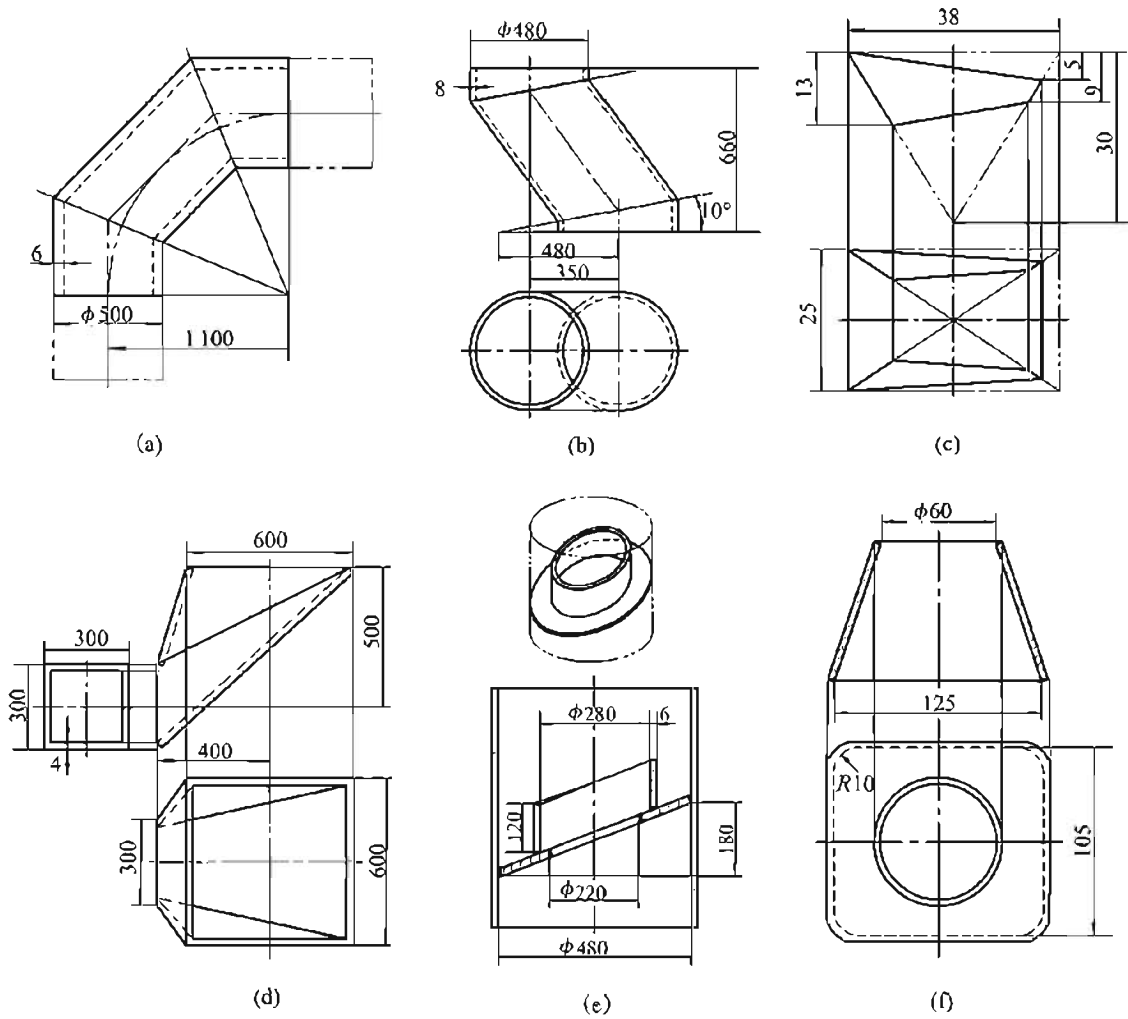


图 2-42

(a) 一节两半节 90° 直角弯头 (b) 蛇形管(分离器至煤磨下料管)  
 (c) 漏斗 (d) 两端口垂直方矩锥管 (e) 椭圆板和斜扁钢圈 (f) 圆顶带圆角矩形底接头

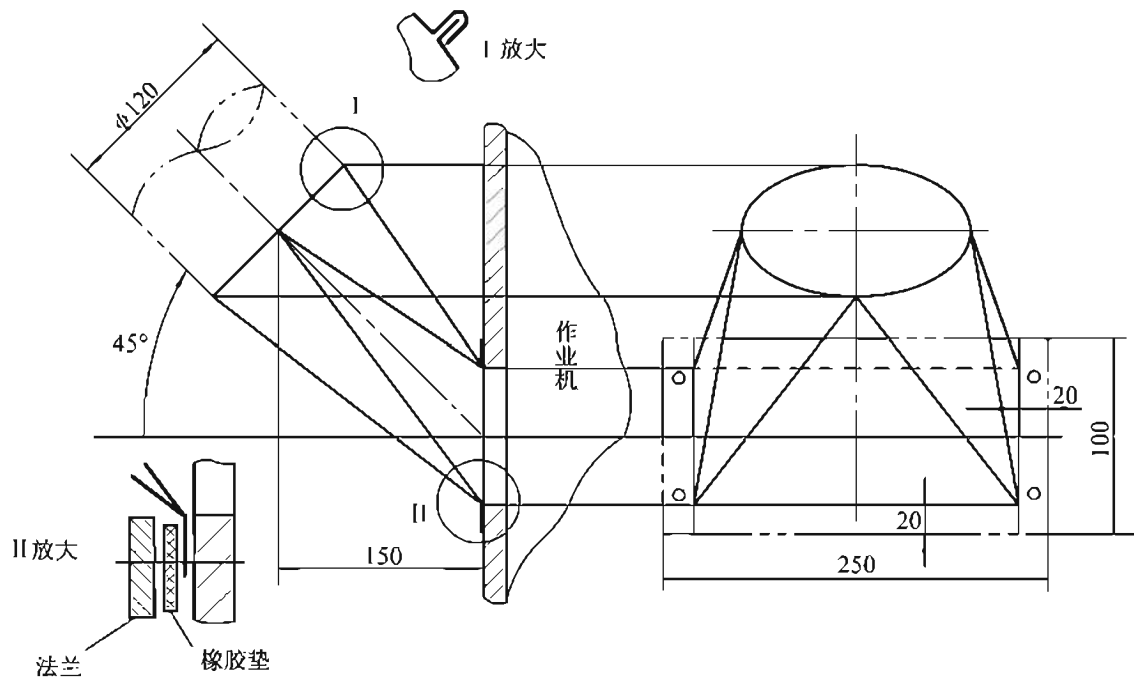


图 2-43

## 第 3 章 典型构件的展开

前面,我们讨论了构件展开的基本原理和方法。虽然构件的形状和大小是各种各样的,但其展开的原理是相同的。因此,我们不可能而且也没有必要一个个地拿出来研究,仅选一部分典型的代表作分析,从中发现它们的共同特征,找出规律性。这样,不论遇到什么样的构件,都能够顺利地展开。本章的目的,主要是进一步理解展开原理和如何灵活运用各种展开方法。

在钣金零件中,主要有以下基本形体:直圆管、矩形管、正棱锥(台)、斜棱锥(台)、正圆锥(台)、斜圆锥(台)和球面等。对于单个形体的展开,在第 2 章里大部分已经讨论过了,本章主要讨论相交构件的展开问题。

在讨论之前,作两点说明:第一,本章所画的图,一般都是单线条画出的、单线条所表示的尺寸,都是经板厚处理后的构件放样图;第二,咬接及其他加工余量在展开图中均未画出。

### 3.1 直圆管和直圆管相交构件

#### 3.1.1 等径圆管多节 90° 弯头

##### 1. 弯头的分节方法

圆管弯头用于连接两个待接圆管,待接圆管的轴线夹角可以是任意角度。对于圆管而言,用平面垂直于轴线截取,截面是圆,平行于轴线截取,截面是矩形,而倾斜于轴线截取,得到椭圆。因此,

如图 3-1(a) 和图 3-1(c) 的分节方法是不对的,如果斜截柱体得到的截面是圆,必然是椭圆管。因此,分节时,两边必须是半节。半节的方向与待接管的方向相同,而整节恰好是两个半节。如图 3-1(b) 所示,如果弯头的直径较粗而且弯曲半径较小,可以分较少的节数。例如,一整节两半节,将连接圆弧分为四等份,作圆弧的切线完成分节。如果圆管的直径较细、弯曲半径较大,常用两整节两半节和三整节两半节的分节方法。如图 3-1(d) 所示,要将 90° 连接圆弧分成 6 份,两边的半节是一份,作圆弧的切线完成分节。这样分节的结果使两端的半节与待接管的方向、断面形状相同,而且整节管的断面形状也成为正圆。

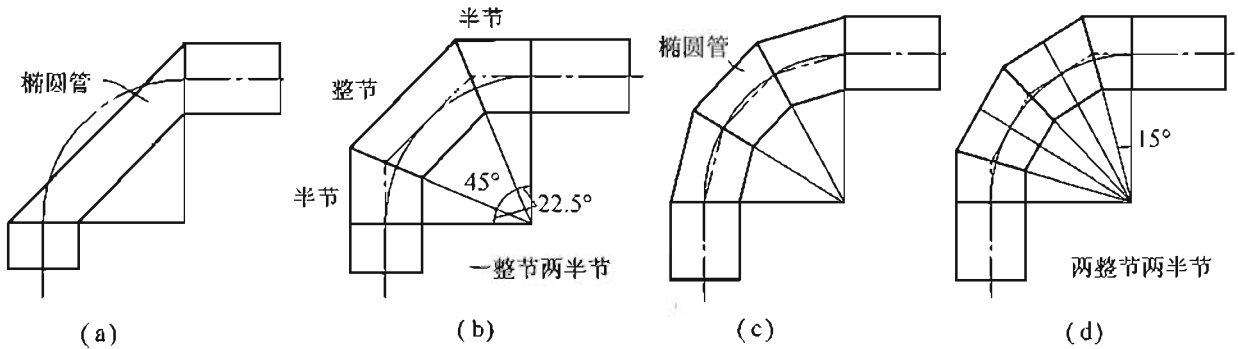


图 3-1 圆管弯头的分节方法

### 2. 四节 90° 弯头的展开图画法及计算法

如图 3-2 所示,90° 弯头分为两整节和两半节,半节的角度为 15°。整节的展开图恰好是两半节的展开图。板厚处理是长边按板厚里皮,短边按板厚外皮。其实,放样时不用画出投影图,只需求出  $r_1$ 、 $r_2$  和  $a$  即可直接画出展开图。

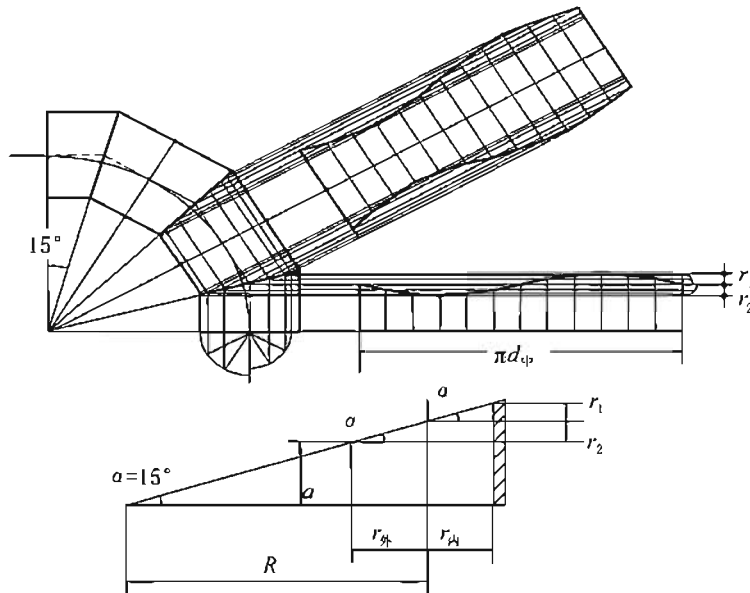


图 3-2 两整节两半节 90° 弯头的展开图画法和计算法

$$\frac{a}{R - r_{外}} = \tan 15^\circ \tag{3-1}$$

$$\frac{r_1}{r_{\text{内}}} = \tan 15^\circ \quad (3-2)$$

$$\frac{r_2}{r_{\text{外}}} = \tan 15^\circ \quad (3-3)$$

$$a = (R - r_{\text{外}}) \tan 15^\circ \quad (3-4)$$

$$r_1 = r_{\text{内}} \tan 15^\circ \quad (3-5)$$

$$r_2 = r_{\text{外}} \tan 15^\circ \quad (3-6)$$

式中,  $R$  为圆管轴线半径;  $a$  为半节展开图的直边长;  $r_1$  为展开图上的小半径;  $r_2$  为展开图上的大半径。当弯头采用三整节两半节时, 半节的角度是  $90^\circ/8 = 11.25^\circ$ , 代入上式即可。

已知弯头尺寸如图 3-3 所示, 经过计算不画投影图直接画展开图的方法如下:

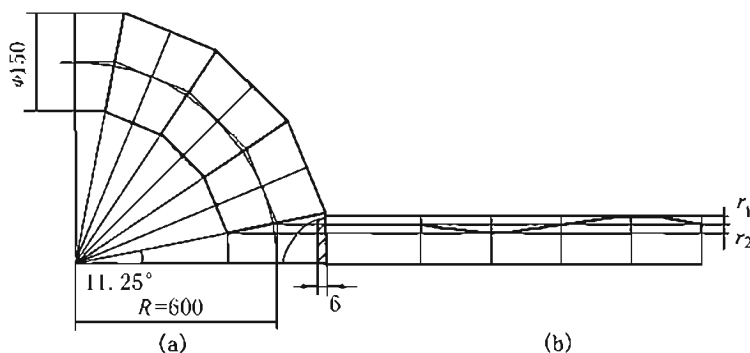


图 3-3 计算法画三整节两半节  $90^\circ$  弯头的展开图

已知:  $R = 600 \text{ mm}$ ,  $t = 6 \text{ mm}$ ,  $D_{\text{外}} = 150 \text{ mm}$ , 设分为三整节两半节, 则  $\alpha = 90^\circ/8 = 11.25^\circ$ 。将以上数据代入式(3-3)、式(3-4)和式(3-5)得

$$a = (R - r_{\text{外}}) \tan 11.25^\circ = (600 - 75) \tan 11.25^\circ = 525 \times 0.1989 = 104.4 (\text{mm})$$

$$r_1 = r_{\text{内}} \tan 11.25^\circ = (150/2 - 6) \times 0.1989 = 13.7 (\text{mm})$$

$$r_2 = r_{\text{外}} \tan 11.25^\circ = 150/2 \times 0.1989 = 14.9 (\text{mm})$$

$$\pi d_{\text{中}} = \pi(150 - 6) = 3.1416 \times 144 = 452.4 (\text{mm})$$

依以上数据可以直接画出展开图, 而不必画出图 3-3(a)。

### 3.1.2 四节扭曲圆管弯头

如图 3-4 所示, 直观图表示四节弯管连接右后上和左下前的圆管。

圆管的分节方法是: 在俯视图上分成六等份  $90^\circ$  圆弧, 连接各分点 1、2、3、4、5。由于待连接管的轴线方向必须与弯管两端节的轴线一致, 第一节和第四节的轴线必须是如图圆弧的切线, 即第一节圆管的轴线是正垂线, 第四节圆管的轴线是侧垂线。在主视图上, 第二节和第三节轴线确定的方法是: 均分 1'—4' 间的  $X$  坐标差和  $Z$  坐标差, 即 1'—4' 间左右方向均分, 上下方向也均分, 得点 3'。由于圆管间扭曲, 要把第二节和第三节圆管都分成两部分, 在第二节、第三节圆管的轴线上任取点  $m$ 、 $n$ 。

当两节圆管的轴线都平行于投影面时, 相贯线的投影才是两轴线的角分线, 两轴线都反映实长。为此, 要进行投影变换, 当圆管轴线投影是一个点时, 可求出两管的错心差, 当平行于两个圆管的轴线设新投影面时, 可求出相贯线和两管实形。

具体画法是: 先平行于中间两节圆管的一个进行一次投影变换。图中平行于第三节圆管的轴线 3'—4' 进行一次投影变换, 即平行于 3'—4' 设新轴  $X_1$ , 过点 1'、2'、 $n$ 、3'、 $m$ 、4'、5' 作  $X_1$  轴的垂线, 即

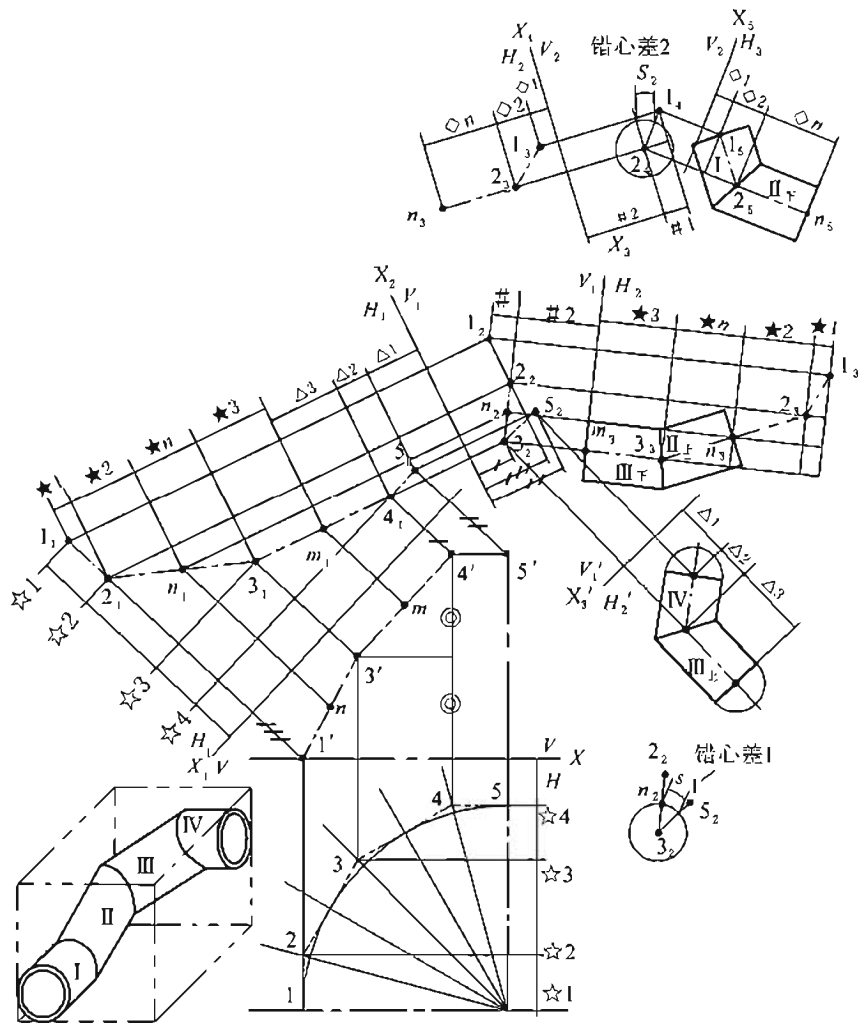


图 3-4 四节扭曲圆管弯头的展开图画法

投影线,量取俯视图上各点到 $X$ 轴的距离 $\star 1 \sim \star 4$ ,得到一次投影变换的轴线上的点 $1_1 \sim 5_1$ 。在这个图上,轴线 $3_1-4_1$ 成为新投影面的平行线。垂直于 $3_1-4_1$ 进行二次投影变换,以使其投影变为一个点。垂直于 $3_1-4_1$ 设新轴 $X_2$ ,过点 $1_1 \sim 5_1$ 向 $X_2$ 轴投影。量取主视图上轴线各点到 $X_1$ 轴的距离得点 $1_2 \sim 5_2$ 。由二次投影变换图上可以看出,轴线 $2_2-3_2$ 相对于 $4_2-5_2$ 左旋。为了求出错心差和防止图形过乱,把这个图复制到图3-4的右下角。画上圆管直径,得到 $m$ 点处的错心差 $S_1$ ,即第三节下半段相对于第三节上半段左旋了 $S$ 弧长。在二次投影变换图上,轴线 $3_1-4_1$ 成为 $V_1$ 面的垂线,在任何方向进行下一次投影变换都可以得到实长。

平行于轴线 $2_2-3_2$ 作第三次投影变换,即平行于第二节和第三节的轴线设新投影面 $H_2$ 。作法是:平行于 $2_2-3_2$ 设新轴 $X_3$ ,过 $1_2, 2_2, n_2, 3_2$ 作投影线,量取 $1_1 \sim m_1$ 到 $X_2$ 轴的距离得点 $1_3 \sim m_3$ 。其中轴线 $2_2-m_3$ 反映实长,可画上圆管的直径,求出两管轴线的角分线得到相贯线。平行于 $3_2-5_2$ 设新轴 $X_3'$ ,得第四节和第三节的投影图和相贯线。

为了求出第一节和第二节下半部分的实形,要先把轴线 $n_3-2_3$ 的投影变为点,再投影变换求出实形。由于图面限制复制 $n_3, 2_3, 1_3$ 到图的上端,经一次投影变换求出错心差 $S_2$ ,再一次投影变换求出第一节和第二节下半部分的实形。

四节圆管的展开图画法如图3-5所示,各管用平行线法展开。各管的展开图均采用正曲。两管

间的错心见两个直观图。两管的最短素线间的错心差为  $S_1$  和  $S_2$ 。在展开图上找到最短素线并错开对应的弧长,完成展开图。

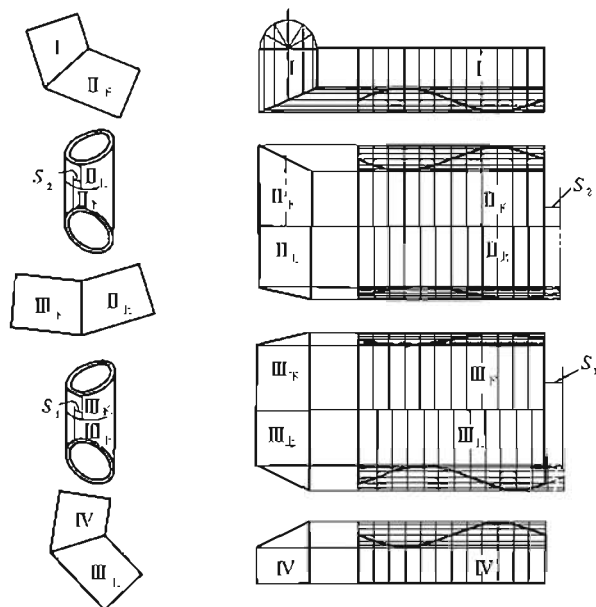


图 3-5 四节扭曲弯头分节展开图

### 3.1.3 钢管楼梯扶手的展开

如图 3-6 所示,扶手的转弯处由三根钢管组成,钢管 1—2、3—4 的轴线是侧平线,中节的轴线是侧垂线。在两个方向作投影变换可以求出两部分的实形。具体作法如下:

在侧视图上可以看出,管 1—2 相对于管 3—4 右旋  $90^\circ$ ,其错心差  $S$  是  $1/4$  圆周长。为求出中节的展开图,把中节以点  $M$  分为两部分。在侧视图上平行于轴线 1—2、2— $M$  设新轴,量取主视图上的各点到  $Z$  轴的距离,得点  $1_1$ 、 $2_1$ 、 $m_1$ ,由于两管轴线的投影是实长而且直径相等,两管轴线的角分线为相贯线,同理求出另一半的投影。画展开图时,把中节的下半部分画出后,上节的展开图向右位移  $S$ ,即位移  $1/4$  圆周长。

### 3.1.4 不等径圆管偏心相交的展开

在冷作钣金中,不等径圆管相交而成的构件,应用极为普遍。为了简化作图,我们设接口处一律开 X 形坡口。

不等径圆管相交时,其结合线一般都是一条封闭的空间曲线,展开时先求出结合线,然后用平行线法展开。

如图 3-7 所示,不等径两管偏心斜交三通管的展开方法是:首先,求出结合线,由视图可以看出斜圆管的表面素线是一组正平线,在主视图反映实长;在侧视图上,主管与支管的交线就是结合线,对应投影到主视图,就得到主视图上的结合线。端面图上的编号习惯是:如图所示,假想将端面像打开箱盖一样翻开,最前面的点在端面图的最上方,对应关系是侧视图上端面最高点是 4,主视图上端面最高点是 1。用平行线法展开支管和主管。图中只画出支管的展开图。除断面等分点确定的素线外,如果个别点需要求出,可以加特殊点的投影,例如求结合线的最高点,可以在侧视图上找到,即主管断面投影圆的最高点,向上画线,求出的素线应该在 9、10 之间,再将新增的素线投影到主视

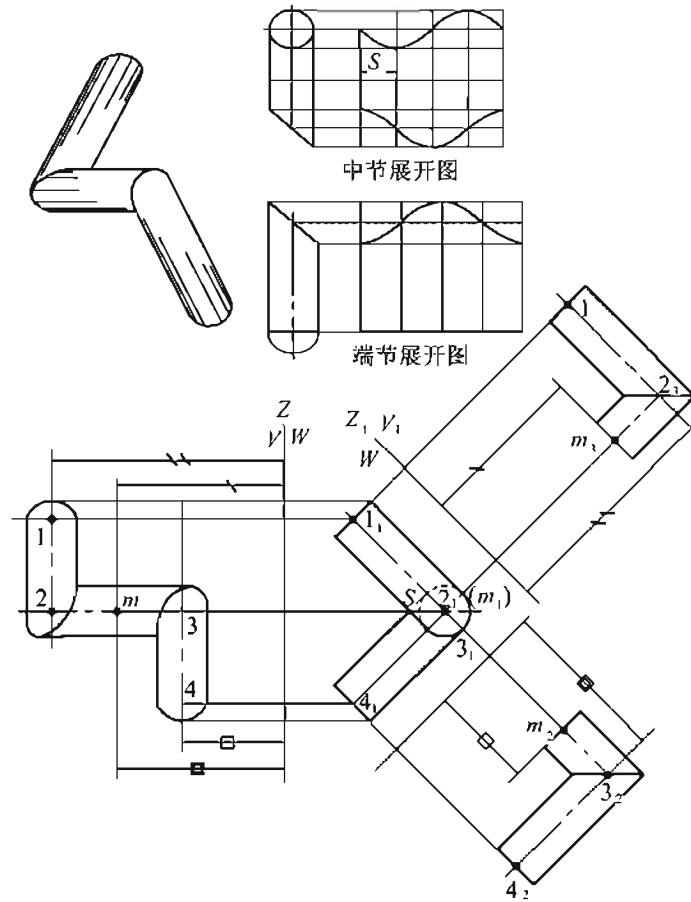


图 3-6 圆管楼梯转弯扶手的下料样板求法  
图和展开图上。由于版面限制,图中并未画出。

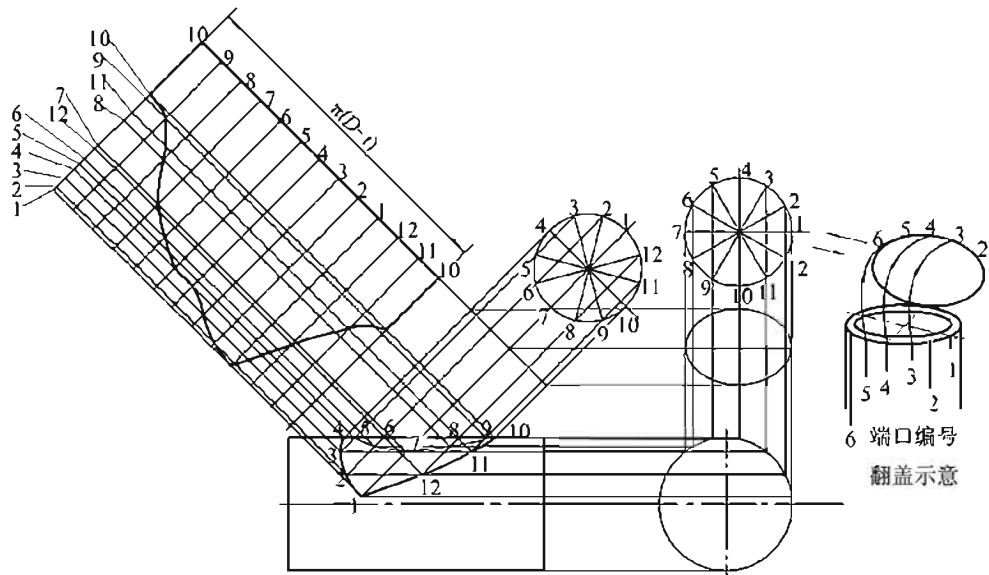


图 3-7 不等径圆管偏心斜交三通展开图



### 3.1.5 求支管轴线为一般位置的异径圆管斜交展开图

如图3-8所示,主管的轴线是侧垂线,支管的轴线是一般位置直线。如果创建一个投影面,同时平行于两条轴线,就可以方便地求出相贯线。

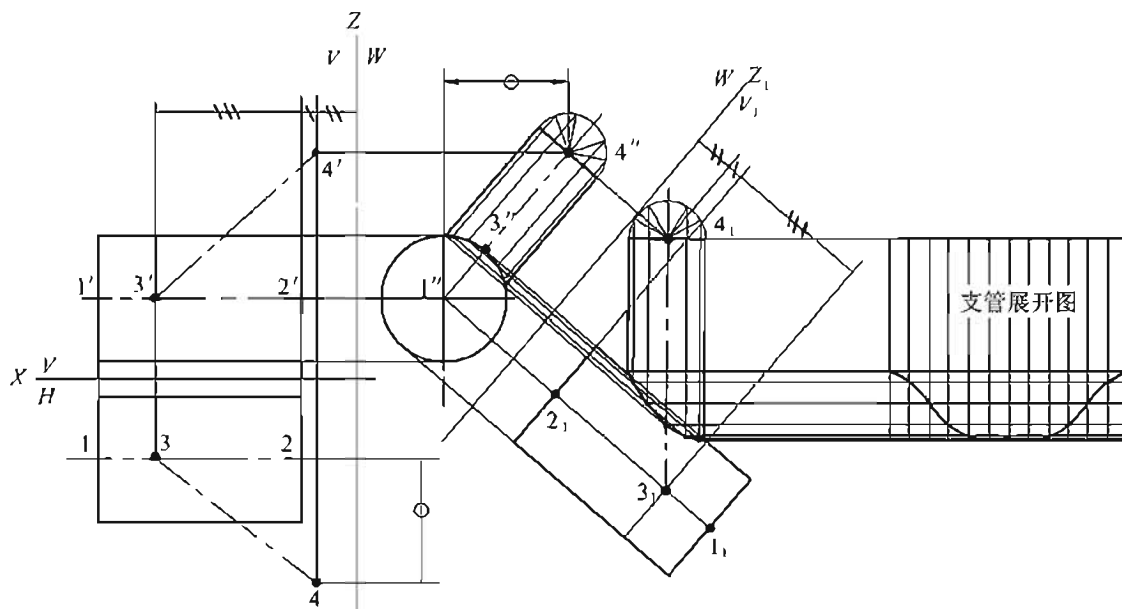


图3-8 求不同直径圆管斜交的展开

具体画法是:首先,根据主、俯视图画出左视图。可见,只要进行一次投影变换即可求出两管相交的相贯线。平行于左视图的支管轴线设新轴 $Z_1$ ,取主视图到 $Z$ 轴的距离等于新点 $1_1$ 、 $2_1$ 、 $3_1$ 、 $4_1$ 到 $Z_1$ 轴的距离。经过一次投影变换后,两根轴线都变成了 $V_1$ 面的平行线,在侧视图和一次投影变换图之间求相贯线。平分支管断面圆周长,分别对应交出相贯点。在一次投影变换图上,所有素线段均反映实长,可用平行线法展开两圆管。本例只画出支管展开图,主管上的孔可以在卷圆后用支管对照画出。

## 3.2 矩形管和矩形管相交构件

多面体与多面体相交时,其结合线是由几段首尾相接的直线组成,而且结合线上相邻两直线的交点一定是多面体的棱线对另一形体的贯穿点,这样的点称为结合线的拐点。拐点一定在多面体的棱上,它是结合线上的特殊点之一。求结合线时必须把所有的拐点都求出来。为了简化,对于矩形管与矩形管相交构件的板厚处理,在接口处均采取铲去外皮,使里皮接触而成单面坡口。

### 3.2.1 两节任意角度方锥管弯头

如图3-9所示的方口连接管由上、下两节构成,上、下口的端面都是正方形,以便连接两方管。如果板料较薄,可以用四块板折弯后咬口或焊成;如板厚较厚,可以分为上、下两节,由8块板构成;如果不折弯,则由12块板构成。

由于图示线段7—8与线段3—4、11—12是交叉关系,连接折弯线3—8、8—11时,连接方向不

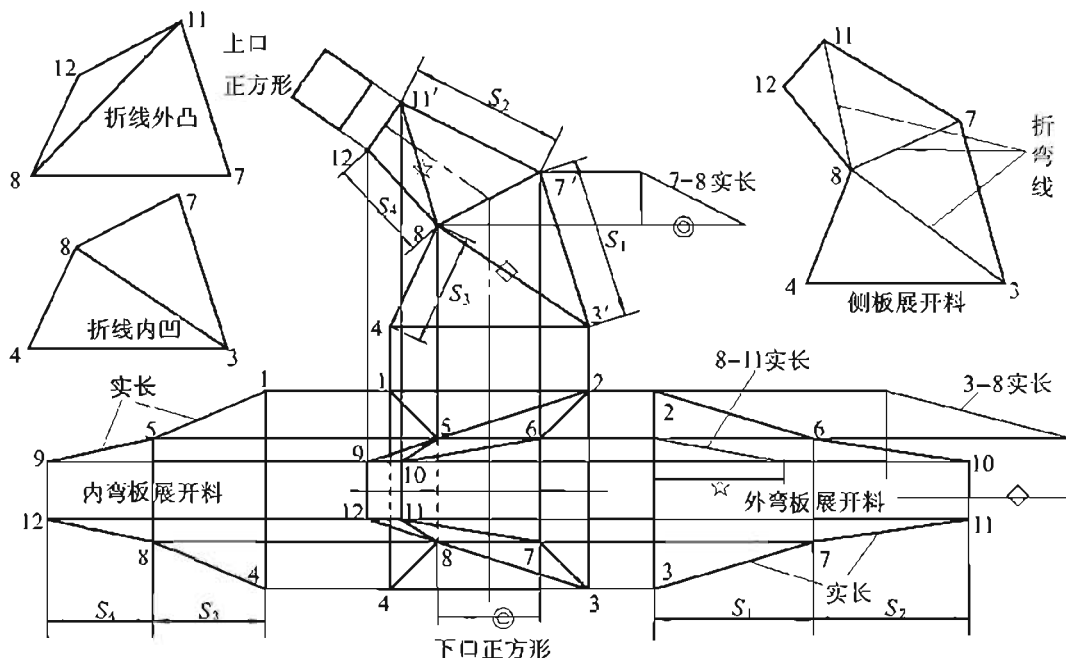


图 3-9 两节任意角度方锥管弯头

同时,折弯的角度和方向不同,如图左上角所示。一般情况下,向内凹的外观比较美观。

对于平面2—3—7—6,下口边线3—2、7—6是正垂线在俯视图反映实长,两平行线间距离是主视图上的 $S_1$ ,在俯视图上向右用平行线法展开,展开同时就获得了棱线3—7、2—6的实长。同理展开内、外弯板。对于折弯线3—8、8—11、8—7要求出实长,图上用“投影长坐标差法”求出实长。

用三角形法依次画出三角形完成侧板的展开。

### 3.2.2 四节方口三通管

图 3-10 为四节方口三通管的两面投影图。

此件左右对称,由上、中、下三部分组成,上、下口为相同的方形口,中节为过渡管。全部用内径作出放样和展开图。上、下管的棱线都是铅垂线,正方形内口边长为 $a$ ,上、下管的每条棱线在侧视图上的投影都反映实长。

图 3-11 是四节方口三通管的展开图画法。在侧视图上,垂直于上、下管的轴线作辅助线,量取方管里皮边长 $a$ ,用平行线法展开上、下管;

在侧视图上,结合线的投影线是相邻管轴线的角分线,中节前板和后板尺寸、形状完全相同,图中将中节的前、后板都画出。

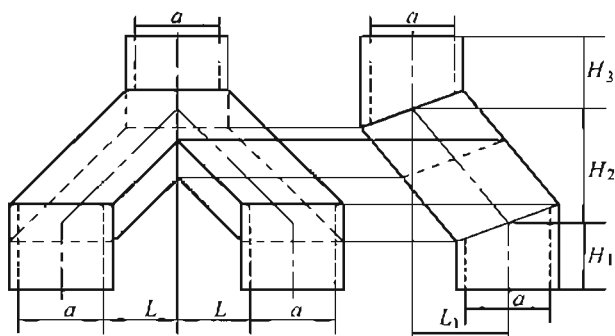


图 3-10 四节方口三通管

具体画法是:在侧视图上,过各点作中节轴线的垂直线,沿直线量取主视图上的相关尺寸 $L$ 和 $a$ ,对应交出各点完成中节展开图。对于中节的内侧板和外侧板,用三角形法展开,为清楚表达实长

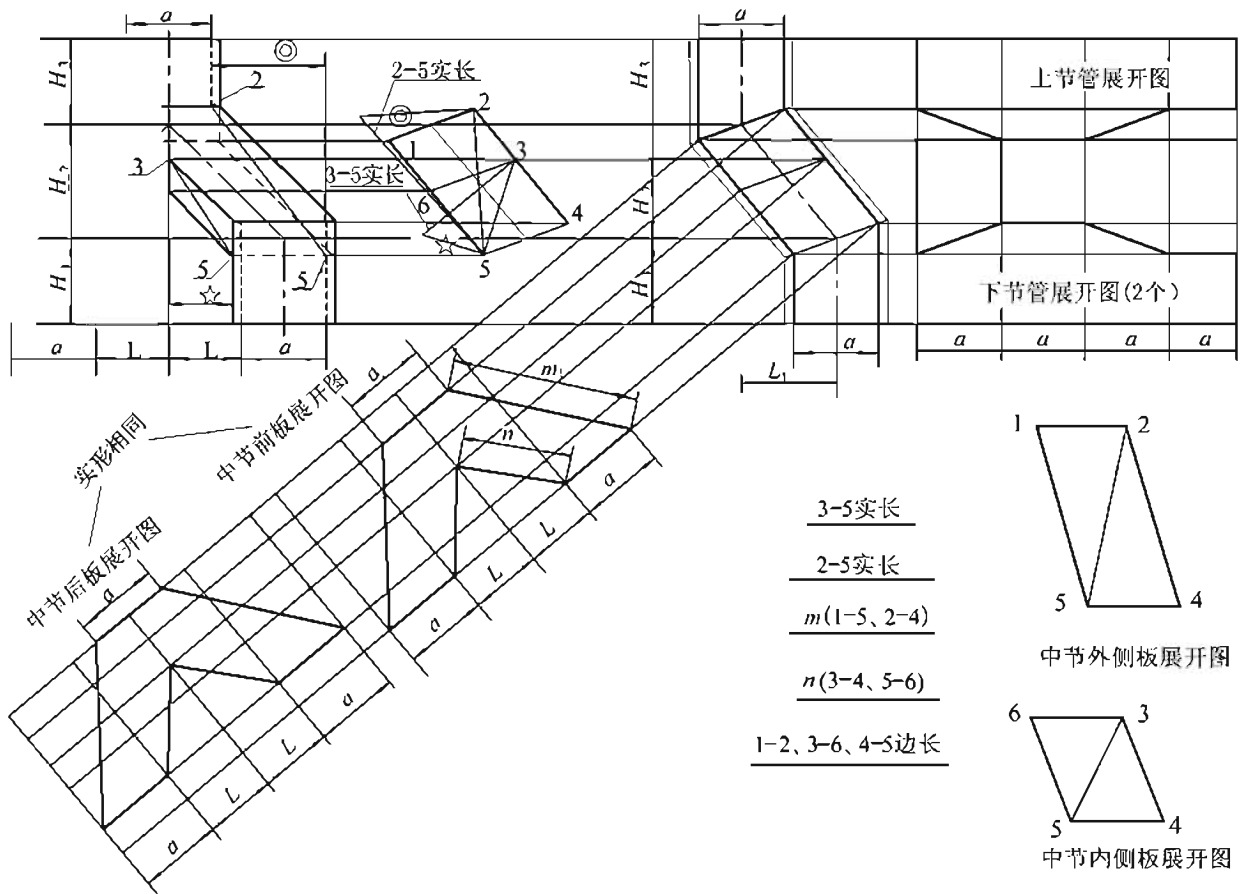


图 3-11 四节方口三通管放样展开图

线的求法,将侧视图的中节部分移出,用“投影长坐标差法”量取线段在侧视图的投影长和主视图上的X轴方向的坐标差,求得线段2—5、3—5的实长。线段2—4(1—5)、3—4(6—5)的实长可以在中节前、后板的展开图上对应量取 $m$ 、 $n$ 。而线段1—2、6—3、5—4是侧平线,在侧视图上反映实长,可以直接量取。各线段实长求出后,连续作出三角形,完成内、外侧板的展开图。

### 3.3 一般位置圆管、角钢、槽钢的展开

#### 3.3.1 一般位置圆管放样图

如图3-12所示,支座的上表面和下面的地脚板都是水平面,圆管的轴线是一般位置直线。在俯视图上平行于圆管轴线1—2设新投影面 $V_1$ ,即平行于1—2画新轴 $X_1$ ,量取主视图上1'、2'到 $X$ 轴的距离得点 $1_1$ 、 $2_1$ 。用平行线法求出钢管的下料样板。由于下料样板要围在钢管的外面,样板于钢管间有间隙,样板的展开长是圆管外径乘 $\pi$ 再加2 mm。

#### 3.3.2 一般位置角钢的展开图

如图3-13所示,角钢的棱线是一般位置直线,平行于主视图上的三条棱线作一次投影变换,量取俯视图上各点到 $X$ 轴的距离得到一次投影变换的投影,用平行线法展开。由于图示要求,端面的

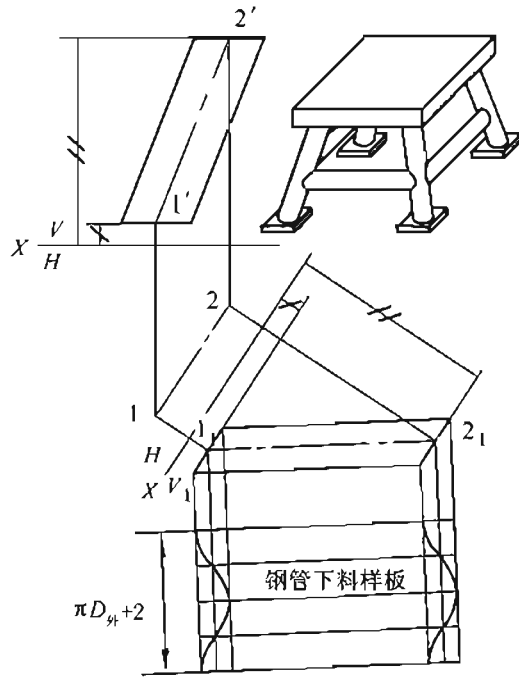


图 3-12 一般位置圆管的放样图

投影是直角,角钢要劈八字。垂直于反映实长的棱线再作投影变换,即可求出劈八字的角度  $\alpha$ 。

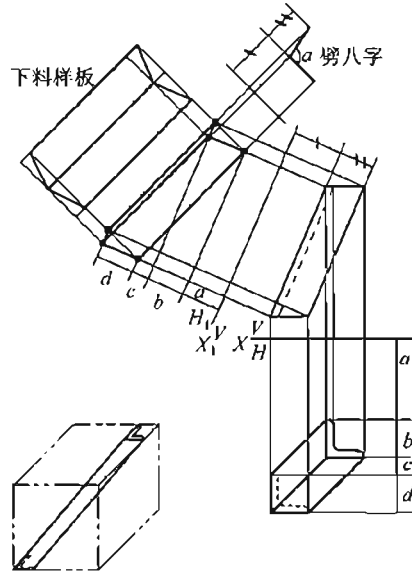


图 3-13 一般位置角钢的展开图

### 3.3.3 斜接角钢

如图 3-14 所示,斜截角钢中节处一般位置,在俯视图上可以画出中节的三个棱,而在主视图上不能完整画出。在俯视图上进行一次投影变换后才能画出主视图的各条棱的投影。具体画法是:在俯视图上,平行于角钢的棱线作一次投影变换,在一次变换图上,各条棱线的投影均反映实长,作棱

线的角分线得到相贯线,用平行线法展开。由图可见,再经过一次投影变换,角钢的断面仍为直角。

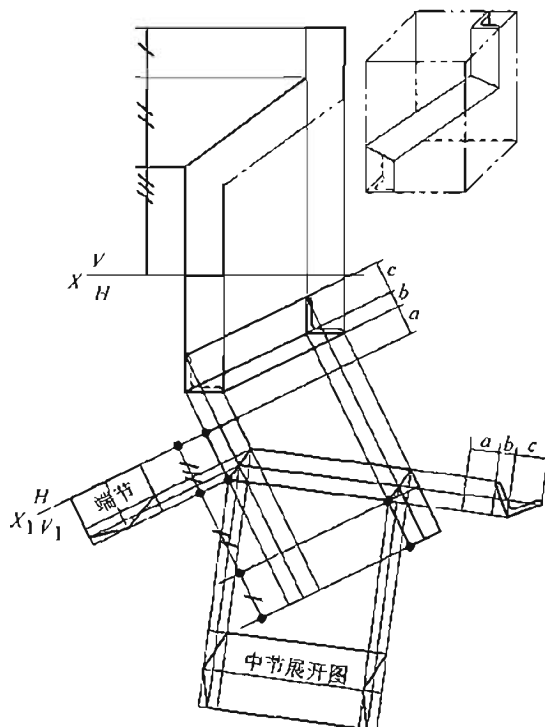


图 3-14 斜接角钢的展开图

### 3.3.4 圆锥体内的连接角钢

如图 3-15 所示,在圆锥体内,角钢水平内接。角钢的上表面是水平面,截圆锥得到圆。角钢的两端是圆弧。角钢的立面与圆锥相截得到双曲线。立面的两端是双曲线的一部分。

具体画法是:在主视图上延长角钢的水平面投影到锥体的两边得到截面圆的直径,再向下投影,画出圆,与俯视图的角钢交出相贯点,再投回主视图,得到点 1、2。再在主视图上延长角钢下缘的投影,投影到俯视图得到交点后,投影回到主视图得到点 5、8。为了求出 3—5、6—8 之间的曲线,再多设几个截面,图中仅增加了一个截面,得到点 4、7。由于角钢的棱线是侧垂线,在主视图上均反映实长,量取主视图上的投影长,画出角钢的展开图。

### 3.3.5 槽钢内接圆球

如图 3-16 所示,圆球内的槽钢由三个平面组成,上下表面是水平面,与球截得圆。对于槽钢的立面,可以用正平面截球体,得到圆,也可以用水平面截球。为了简化线条,图中只沿 1—2 截切圆球,在俯视图上得到相应交点后,投影回到主视图得点 3、4。在主视图上,槽钢的立面是实形。在俯视图上,槽钢的上下表面是实形。

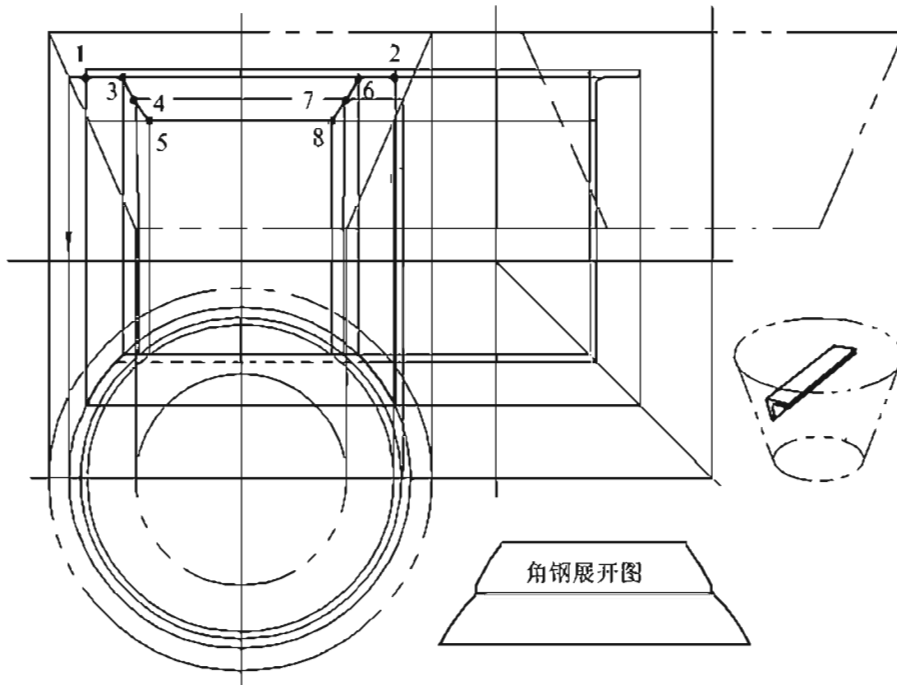


图 3-15 球圆锥体内连接角钢的展开图

### 3.4 常见结构件展开实例

#### 3.4.1 椭圆形封头的毛坯料计算

##### 1. 标准椭圆形封头毛坯料计算

椭圆形封头广泛用于压力容器和工业锅炉，标准椭圆形封头的形状和尺寸如图 3-17(a) 所示，椭圆的长半轴  $a$  和短半轴  $b$  常标注在封头的里皮。标准椭圆形封头  $a$  与  $b$  的比值是 2:1，即椭圆部分的高度是内直径的 1/4。为了便于装配和

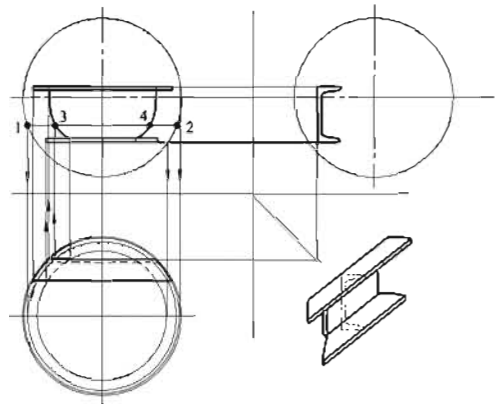


图 3-16 槽钢内接圆球的展开

防止应力集中，常有直边部分，见图中的直边高  $h$ ，直边高的数值不易过大，否则压制时易出皱褶。压制椭圆封头时，要去掉边缘不齐的部分，要去掉的余高为图中所示的  $\delta$ 。

椭圆形封头的毛坯料的尺寸确定与加工方法和设备类型有关，如热压和冷压、手工煨制与机械压制、采用摩擦压力机或油压机，封头的材质、板厚等都会影响到毛坯料的下料尺寸。一般专业生产厂家有较精确的经验尺寸，而往往是先压制几个后再逐渐确定坯料尺寸。下料时常采用的经验公式是：

$$D_p = 1.2D_{\text{内}} + 2h + 2\delta + 2t \tag{3-7}$$

式中， $D_p$  为椭圆形封头毛坯料直径； $D_{\text{内}}$  为椭圆形封头内直径； $H$  为直边高； $t$  为板厚； $\delta$  为去边余量。

例如，已知封头的内径  $D_{\text{内}} = 1400 \text{ mm}$ ，板厚  $t = 10 \text{ mm}$ ， $h = 30 \text{ mm}$ ， $\delta = 10 \text{ mm}$ ，则毛坯料的直径为

$$D_p = 1.2 \times 1400 + 2 \times 30 + 2 \times 10 + 2 \times 10 = 1780 (\text{mm})$$

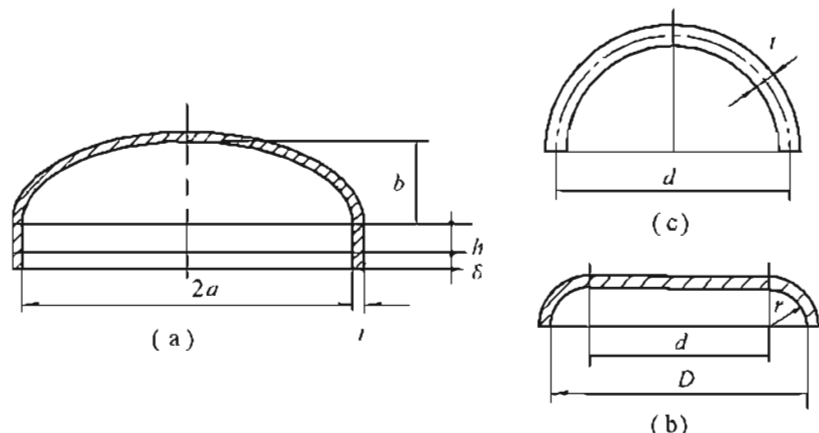


图 3-17 椭圆形封头下料计算

## 2. 平顶圆角封头毛坯料计算

平顶圆角封头的形状和尺寸如图 3-17(b) 所示, 毛坯料的计算公式为

$$D = \sqrt{2d + 6.3rd + 8r^2} + 2\delta \quad (3-8)$$

式中,  $D_p$  为毛坯料直径;  $d$  为平顶部分直径;  $r$  为圆角部分内半径;  $\delta$  为去边余量。

例如, 已知如图 3-17(b) 所示的平顶圆角封头尺寸为:  $D = 1200 \text{ mm}$ ,  $r = 80 \text{ mm}$ ,  $\delta = 10 \text{ mm}$ , 则毛坯料直径为

$$D_p = \sqrt{1040^2 + 6.3 \times 80 \times 1040 + 8 \times 80^2} + 2 \times 10 = 1307.2 (\text{mm})$$

## 3. 球形封头毛坯料计算

半球形封头的形状和尺寸如图 3-17(c) 所示, 毛坯料的经验计算公式为

$$D = \sqrt{2}d + 2\delta = 1.4142d + 2\delta \quad (3-9)$$

式中,  $D$  为毛坯料直径;  $d$  为球体板厚中心直径;  $\delta$  为加工余料直径。

例如, 当  $d = 400 \text{ mm}$ ,  $\delta = 10 \text{ mm}$  时, 毛坯料的直径为

$$D = 1.4142 \times 400 + 2 \times 10 = 585.68 (\text{mm})$$

### 3.4.2 料斗的展开图画法

料斗的形式很多, 常见的有圆筒形、圆锥形、方管形等。由于方管制造比较方便, 应用较广。下面以实际产品料斗为例介绍方管料斗的展开放样方法。

图 3-18(a) 是料斗的产品图, 料斗由上口法兰、半圆形管和前、后、左、右四块钢板组成。件 1 上口法兰处于水平面, 可以直接向上画线, 画出下料图。料斗的焊缝在无特殊说明时, 均采用“角搭接”焊接, 法兰下料时, 按方管的外皮尺寸画法兰的里口, 如图 3-18(a) 中所示的法兰下料图。

图 3-18(b) 是件 2 半圆管的投影图和展开图。其表面素线都是正垂线, 在侧视图上反映实长, 可以用平行线法展开。斜截圆管的板厚处理方法是短边按外皮取素线长, 长边按里皮取素线长 (见 90° 直角弯头展开图画法)。在图 3-18(b) 中, 1—2 部分的截面相当于斜截圆管的短边, 按外皮取素线长, 即在主视图中圆管投影的大半圆上等分圆弧向右投影取得素线长, 截面 3—4 部分相当于斜截圆管的长边部分, 按里皮取素线长, 即在主视图上的小半圆上等分圆弧向右投影, 得到对应的素

线长。在侧视图上得到各条素线长的长度后,向上画投影线,展开图上平行直线间的间距为主视图上半圆管断面的板厚中心弧长。

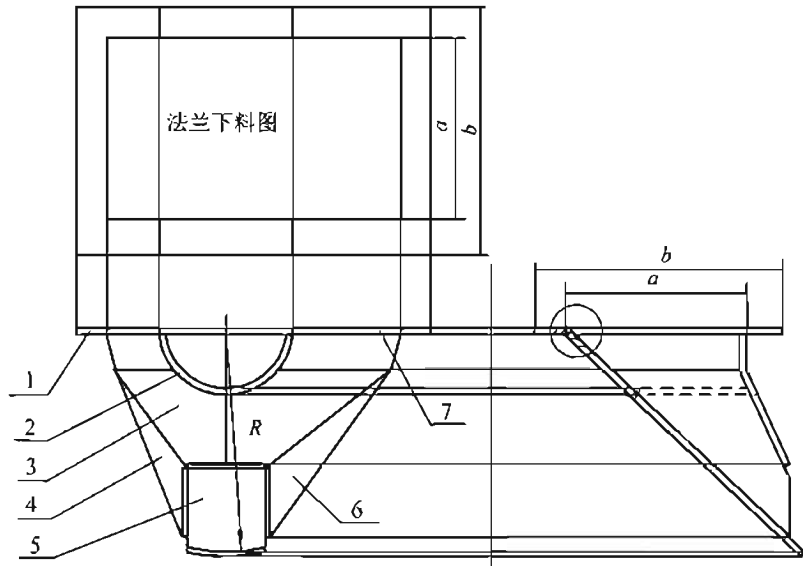
图 3-18(c) 表示件 5 的展开图画法。件 5 是平板,属于侧垂面,必须进行一次投影变换或作方向视图才能求出实形。如图 3-18(c) 所示,由于采用钢板里皮角搭角的焊接,在侧视图上采用里皮,即以侧视图钢板投影的上表面为基准画方向视图。

由于钢板的平面是侧垂面,在主视图上,左右方向反映实长。因此,在主视图上以圆管轴线  $OO_1$  为基准,量取左右方向的长度到方向视图上圆管轴线  $OO_1$  的左右方向,得到件 5 的展开图形。

图 3-18(d) 表示件 3 的展开图画法。件 3 由正平面和侧垂面构成,在主视图上钢板的上部就是实形。下部的画法与件 5 的画法相同,量取主视图上左右方向的长度等于方向视图上左右方向的长度。为了使曲线圆滑,在点 1、3、5 之间增加了点 2、4。

件 4 的展开图画法如图 3-18(e) 所示,侧板 4 的上半部分是正垂面,梯形的高是主视图上直线 1—3 的投影长,直线 1—2、3—4 是正垂线,在侧视图上反映实长。因此,可以直接画出上半部的展开图,见图 4-15(e) 的右下角展开图,以主视图直线 1—3 的投影长为高,以侧视图上直线 1'—2' 和 3'—4' 作直角梯形 1—2—3—4 的两个底,画出上部展开图——直角梯形 1—2—3—4。侧板的下半部分不是一个平面,直线 3—4 和 5—6 是两条交叉直线,只能用两个三角形平面构成,连接 3、5 构成折线则侧板外凸,连接 4、6 构成折线则侧板向内凹。图中采用连接 3、5 构成两个三角形 3—4—5 和 3—5—6。

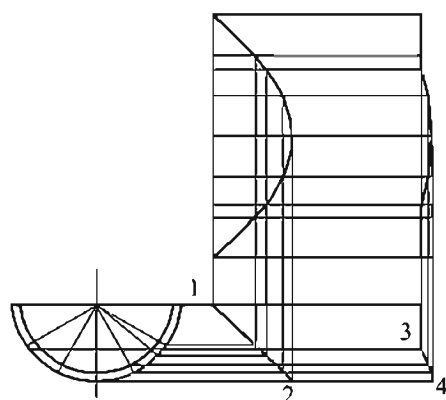
根据直角三角形的两个直角边分别是线段的投影长和坐标差,斜边为线段实长的求实长的方法,另画一个求直线实长的图,如图 3-18(e) 的左下角所示,量取侧视图上的投影长和主视图上的 X 坐标差  $\Delta X_1$ 、 $\Delta X_2$ ,对应连线求出一般位置直线 4—5、3—5、3—6 的实长。



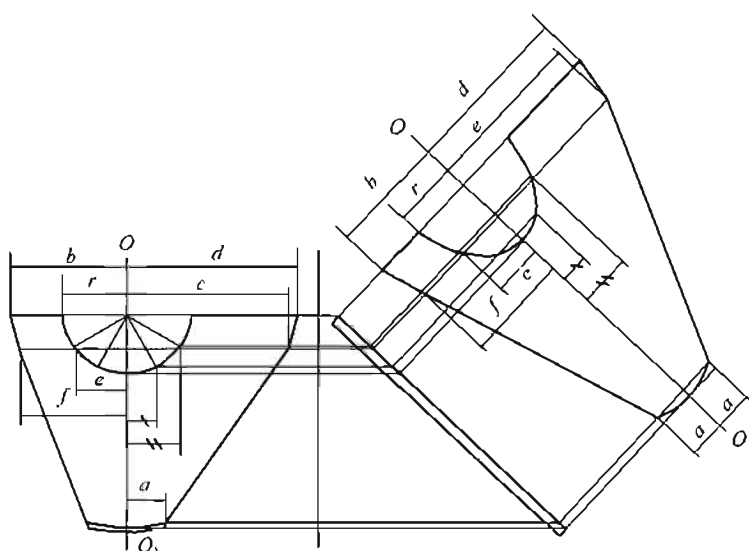
(a) 料斗产品图及上部法兰下料图

用已知三角形的三边长作三角形的方法画展开图。在沿直线 3—5 进行钢板折弯时,需要求出折弯角度卡样板。求角度要进行二次投影变换,具体画法是:平行于侧视图上的折线 3'—5' 设新投影轴  $Z_1$ ,过 3'、4'、5'、6' 各点垂直于  $Z_1$  轴作投影线,量取主视图上点 3、4、5、6 到 Z 轴的距离等于新点  $3_1$ 、 $4_1$ 、 $5_1$ 、 $6_1$  到  $Z_1$  轴的距离,得到一次投影变换图。由于一次投影变换的新投影面  $V_1$  平行于直线

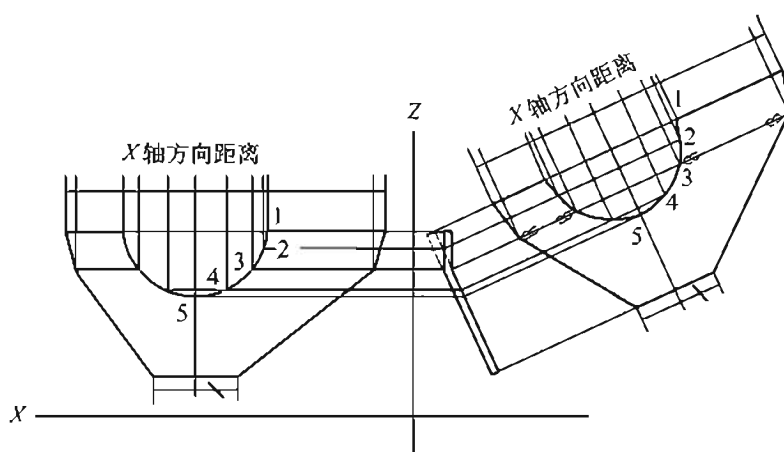




(b) 件2的展开图画法



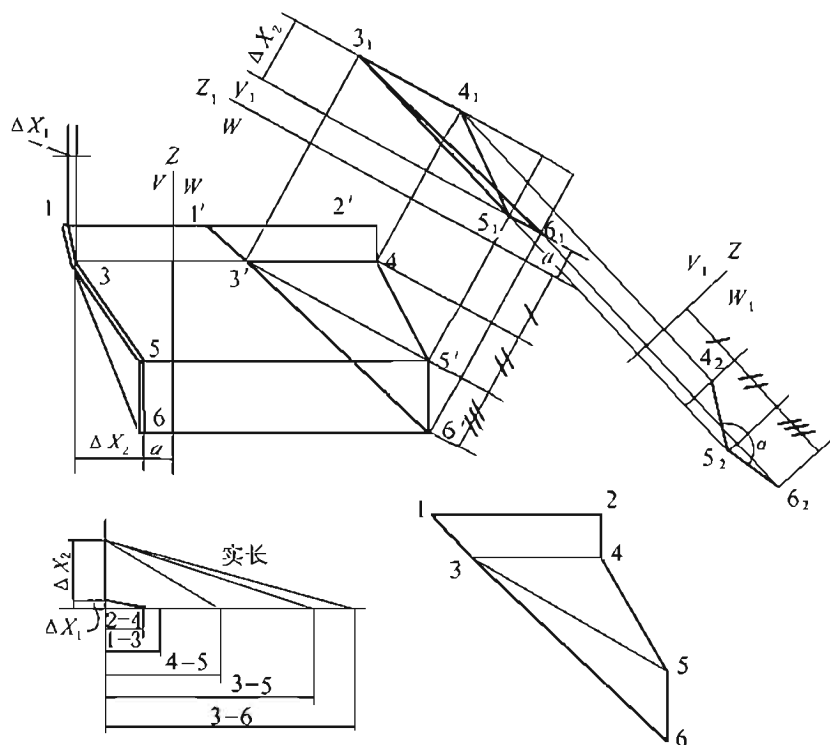
(c) 件5的展开图画法



(d) 件3的展开图画法

3'—5', 所以, 直线3<sub>1</sub>—5<sub>1</sub> 反映折线的实长。再垂直于直线3<sub>1</sub>—5<sub>1</sub>, 进行第二次投影变换, 设新轴Z<sub>2</sub>。量取侧视图上3'、4'、5'、6'到Z轴的距离得点4<sub>2</sub>、5<sub>2</sub>、6<sub>2</sub>, 连线后得到弯曲角度卡样板。

件6侧板的放样方法与件4相同, 不再介绍。



(e) 件 4 的展开图画法

图 3-18 料斗的展开图画法

### 3.4.3 椭圆形贮罐的展开图画法

如图3-19所示,贮罐由椭圆形罐、支座和人孔管组成,罐体壁厚为12 mm,封头带有25 mm高的直边,下部由四块钢板支承,主要尺寸如图所示。

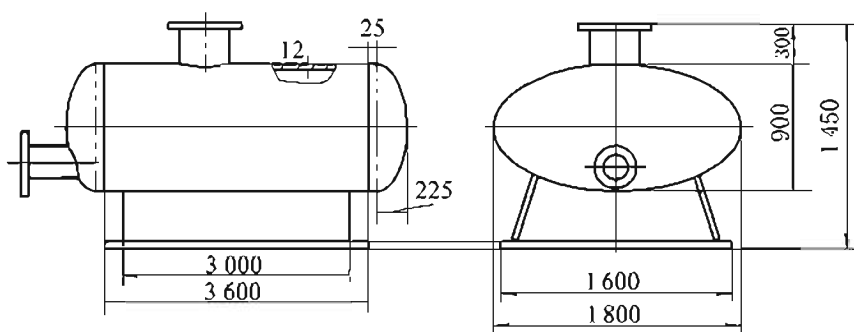


图 3-19 椭圆形贮罐产品图

#### 1. 椭圆筒体展开料计算方法

(1) 椭圆周长近似计算公式。当椭圆的尺寸较小或对椭圆的周长精度要求不高时,可采用下式计算:

$$L = 2Ka \tag{3-10}$$

式中, $L$ 为椭圆周长; $K$ 为系数(表3-1); $a$ 为椭圆长半轴。

表 3-1 椭圆周长计算系数

$b/a$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$K$	2.193	2.301 3	2.422 1	2.552 7	2.691 2	2.836 2

例如,设椭圆的长半轴  $a = 400 \text{ mm}$ ,短半轴  $b = 200 \text{ mm}$ ,求椭圆的周长。

由  $b/a = 200/400 = 0.5$ ,查表 3-1 得: $K = 2.422 1$ ,所以,椭圆周长近似为: $L = 2 \times 2.422 1 \times 400 = 1 937.68 \text{ mm}$ 。

(2) 根据四心法近似画椭圆时求椭圆周长。图 3-20(c) 是根据四心法近似画出的椭圆,椭圆是由四段圆弧组成的,所以可以近似地求出椭圆的周长。

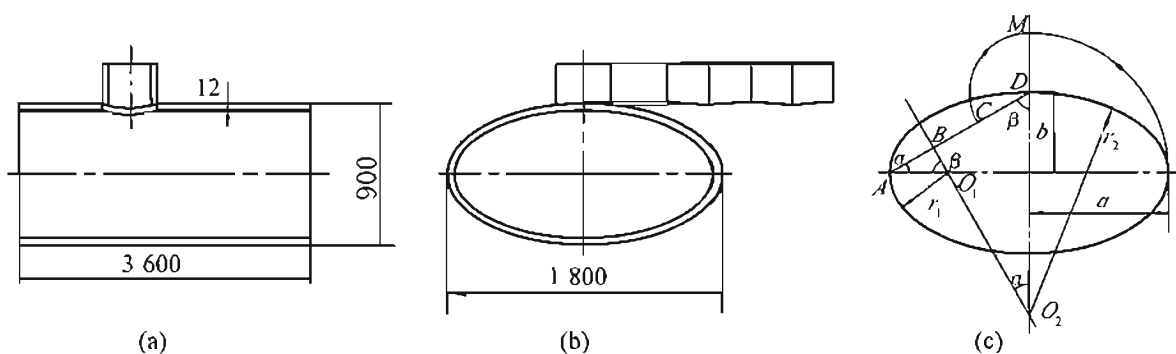


图 3-20 筒体的展开计算

根据作图法: $CD = b - a$ ,直线  $BO_2$  是直线  $AC$  的垂直平分线, $\triangle AOD$  和  $\triangle O_2BD$  都是直角三角形,而且共用  $\angle BDO$ 。因此,有图示的角  $\alpha$ 、 $\beta$  的关系。在直角  $\triangle ADO$  中, $OD/OA = \tan \alpha$ ,则

$$\alpha = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3-11)$$

式中, $\alpha$  为图示角度; $a$  为椭圆的长半轴; $b$  为椭圆的短半轴。

于是  $\beta = 90^\circ - \alpha$ 。在  $\triangle ABO_1$  中有如下计算式:

$$\begin{aligned} \frac{AB}{AO_1} &= \cos \alpha \\ AD &= \sqrt{a^2 + b^2} \\ CD &= a - b \\ AB &= \frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + b^2} - a + b) \\ AO_1 &= r \\ \frac{AB}{AO_1} &= \frac{AB}{r} = \cos \alpha \\ r_1 &= \left(\frac{1}{\cos \alpha}\right) \times \frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + b^2} - a + b) \end{aligned} \quad (3-12)$$

式中, $r_1$  为四心法画椭圆的小半径; $\alpha$  为图示角度; $a$  为椭圆的长半轴; $b$  为椭圆的短半轴。

在  $\triangle BDO_2$  中:

$$\frac{BD}{DO_2} = \frac{BD}{r_2} = \sin \alpha$$

$$BD = BC + CD = \frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + b^2} - a + b) + (a - b) = \frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + b^2} + a - b)$$

$$\text{则 } r_2 = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} + a - b}{2\sin \alpha} \quad (3-13)$$

式中,  $r_2$  为四心法画椭圆的大半径;  $\alpha$  为图示角度;  $a$  为椭圆的长半轴;  $b$  为椭圆的短半轴。

由数学公式弧长 = 角度(弧度制) × 半径, 即  $L = \alpha r$ , 可以方便地求出弧长。弧度和度的互换公式是: 弧度数 = 度数 ×  $\pi/180$ ; 反之, 度数 = 弧度数 ×  $180/\pi$ 。

$$L_{\text{四}} = 4(r_1\beta + r_2\alpha) \quad (3-14)$$

式中,  $L_{\text{四}}$  为椭圆的周长;  $r_1$  为四心法画椭圆的小半径;  $r_2$  为四心法画椭圆的大半径;  $\alpha, \beta$  为如图 3-20(c) 所示的角度(弧度数)。

$r_1$  和  $r_2$  可由式(3-12)、式(3-13)求得;  $\alpha, \beta$  可由式(3-11)和  $\beta = 90^\circ - \alpha$  获得。

例如, 已知椭圆的长半轴  $a = 400$  mm, 短半轴  $b = 200$  mm, 求椭圆的周长。将  $a, b$  代入式(3-11), 得

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan\left(\frac{b}{a}\right) = \arctan\left(\frac{200}{400}\right) = \arctan 0.5 = 26.565^\circ \\ &= 26.565 \times \left(\frac{\pi}{180}\right) = 0.4636 \text{ (rad)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } r_1 &= \left(\frac{1}{\cos \alpha}\right) \times \frac{1}{2}(\sqrt{a^2 + b^2} - a + b) \\ &= \frac{1}{\cos 26.565^\circ} \times \frac{1}{2}(\sqrt{400^2 + 200^2} - 400 + 200) \\ &= 138.2 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

这里的 rad 表示弧度数, 则

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 26.565^\circ = 63.435^\circ = 63.435 \times \pi/180 = 1.10 \text{ (rad)}$$

将  $a, b$  代入式(3-12)、式(3-13)、式(3-14) 得

$$\begin{aligned} L_{\text{四}} &= 4(r_1\beta + r_2\alpha) = 4(138.2 \times 1.10 + 723.61 \times 0.4636) = 1949.94 \text{ (mm)} \\ r_2 &= \frac{\sqrt{a^2 + b^2} + a - b}{2\sin \alpha} = \frac{\sqrt{400^2 + 200^2} + 400 - 200}{2\sin 26.565^\circ} = 723.61 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

(3) 根据椭圆周长近似计算公式求图 3-20 所示椭圆筒体的周长。图 3-20(a)、图 3-20(b) 表示支管的展开图和椭圆形管的投影图, 筒体下料尺寸的确定主要是求椭圆的展开长。如图所示, 按板厚中心计算, 椭圆的长轴  $2a = 1800 - 12$ , 短轴  $2b = 900 - 12$ 。利用四心法画椭圆的近似椭圆周长公式, 求得筒体展开长的过程如下:

将  $a = 894$  mm,  $b = 444$  mm 代入式(3-11) 得

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctan \frac{b}{a} = \arctan \frac{444}{894} = \arctan 0.4966 = 26.411^\circ = 0.461 \text{ (rad)} \\ \beta &= 90^\circ - \alpha = 63.589^\circ = 1.11 \text{ (rad)} \end{aligned}$$

代入式(3-12)、式(3-13) 得

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{1}{\cos 26.411^\circ} \times \frac{1}{2}(\sqrt{894^2 + 444^2} - 894 + 444) = 306.04 \text{ (mm)} \\ r_2 &= \frac{1}{2\sin 26.411^\circ}(\sqrt{894^2 + 444^2} + 894 - 444) = 1627.9 \text{ (mm)} \end{aligned}$$

代入式(3-14)得

$$L_{\text{下}} = 4(r_1\beta + r_2\alpha) = 4(306.04 \times 1.11 + 1627.9 \times 0.461) = 4\,360.7(\text{mm})$$

所以椭圆形筒体的下料尺寸为  $4\,360.7\text{ mm} \times 3\,600\text{ mm}$ 。用两张钢板即可以画出矩形展开料。下料时,在钢板上对四条中心线作标记,以便于装配。

### 2. 椭圆形封头展开料计算

图3-21所示为贮罐的封头。要求板厚为12 mm,为防止热压封头局部拉薄,采用板厚  $t = 14\text{ mm}$  下料。其封头展开图仍为一个椭圆,长、短轴的求法可分别对应于相应尺寸的标准椭圆形封头。计算过程如下:

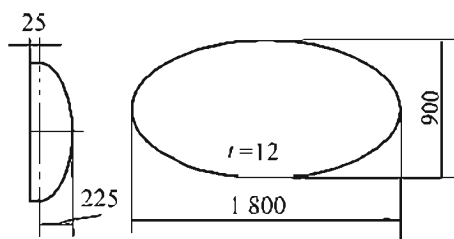


图 3-21 椭圆封头的毛坯料计算

采用经验公式为

$$D_p = 1.2D_{\text{内}} + 2h + 2\delta + 2t$$

由图可知:  $D_{\text{内}} = 900 - 24 = 876\text{ mm}$ , 设  $h = 25\text{ mm}$ ,  $\delta = 15\text{ mm}$ ,  $t = 14\text{ mm}$ , 则

$$D_{p1} = 1.2 \times (900 - 24) + 2 \times 25 + 2 \times 15 + 2 \times 14 = 1\,159.2(\text{mm})$$

$$D_{p2} = 1.2 \times (1\,800 - 24) + 2 \times 25 + 2 \times 15 + 2 \times 14 = 2\,239.2(\text{mm})$$

即椭圆毛坯料是长轴  $2\,239\text{ mm}$ 、短轴是  $1\,159\text{ mm}$  的椭圆。

### 3. 支座的下料尺寸

如图3-22所示,支座由三个件组成,底板的下料尺寸是  $1\,600\text{ mm} \times 3\,600\text{ mm}$ ,板厚  $t = 20\text{ mm}$ 。件3就是实形可放样求出。件2的尺寸是图示的  $a \times 3\,000\text{ mm}$ 。其中  $a$  的尺寸求法如下:

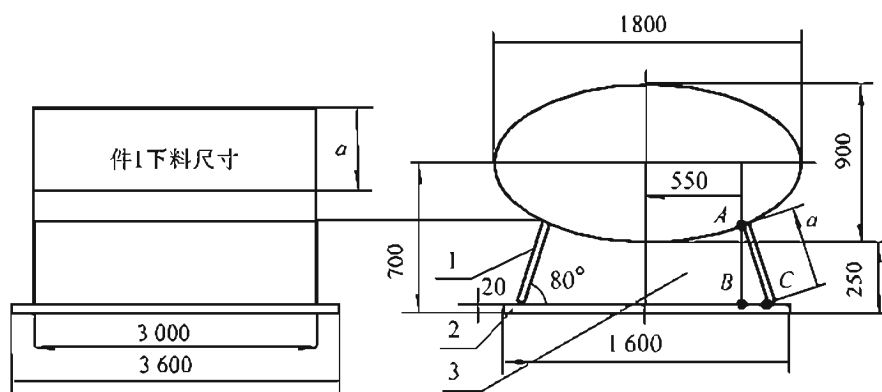


图 3-22 支座的下料

首先,求出  $A$  点的坐标。因为椭圆的方程是

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

代入  $a = 900 \text{ mm}$ ,  $b = 450 \text{ mm}$ ,  $x = 550 \text{ mm}$ , 得

$$\frac{550^2}{900^2} + \frac{y^2}{450^2} = 1$$

解出  $y_0 = 356 \text{ mm}$  ( $y_0$ : A 点到椭圆横轴线的距离)。再依据图示的  $\triangle ABC$  中,  $\angle ACB = 80^\circ$ ,  $BA = 700 - 20 - y_0$  (A 点到椭圆横轴线的距离)。再依据图示的  $\triangle ABC$  中,  $\angle ACB = 80^\circ$ ,  $BA = 700 - 20 - y_0 = 700 - 20 - 356 = 324 \text{ mm}$ 。在  $\triangle ABC$  中,  $AB/AC = \sin 80^\circ$ , 所以  $AC = AB/\sin 80^\circ = 324/0.9848 = 329 \text{ mm}$ 。

所以, 图 3-22 所示的件 1 下料尺寸为  $3\ 000 \text{ mm} \times 329 \text{ mm}$ 。

#### 4. 求支管与封头间的相贯线

如图 3-23 所示, 支管与封头的相贯线求法如下:

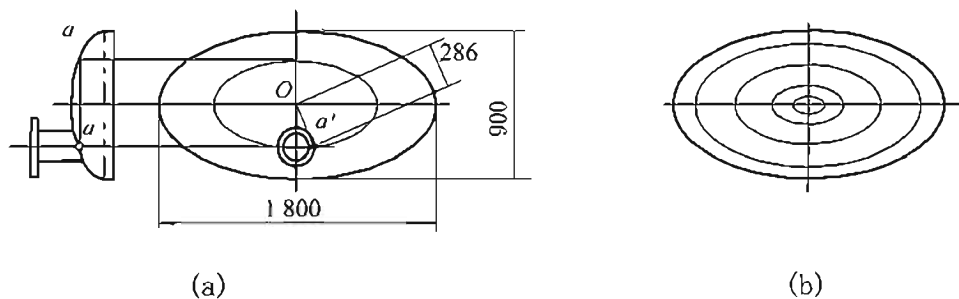


图 3-23 支管与封头的相贯线求法

如图 3-23(b) 所示, 用平行于封头底面的平面截封头, 得到一系列椭圆, 这一系列椭圆互相间的间距并不相等, 分别沿长轴和短轴按比例放大和缩小。如图 3-23(a) 所示, 在侧视图上由于投影的积聚性, 圆管的外壁就是相贯线的投影。为求得图示点  $a$  在主视图上的投影, 在侧视图上量得  $Oa'$  的距离是  $286 \text{ mm}$ 。如果按四心法画椭圆,  $Oa'$  与椭圆的短半轴长度一致。用比例求得对应的长半轴算式如下:

设对应的长半轴为  $a$ , 则

$$\frac{286}{450} = \frac{a}{900}$$

$$A = \frac{286 \times 900}{450} = 572 (\text{mm})$$

事实上, 还是原椭圆的长、短轴比例。

其实, 在这种情况下也可以不画断面椭圆, 在主视图上从轴线向下量  $286 \text{ mm}$ , 交出截面的主视图投影。在主视图上, 截面与支管轴线的交点即为相贯点。同理可求出其他相贯点。

#### 3.4.4 进料斗展开图画法

图 3-24 是球磨机进料斗的主视图和左视图。

已知尺寸:  $m$ 、 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $\phi$ 、 $\alpha$ 、 $f$ 、 $e$ 、 $g$ 、 $t$ ; 下面介绍放样方法。

进料斗由上、下两部分组成, 上面是上口正方与下口为椭圆的连接管, 下面是椭圆管。上部的展

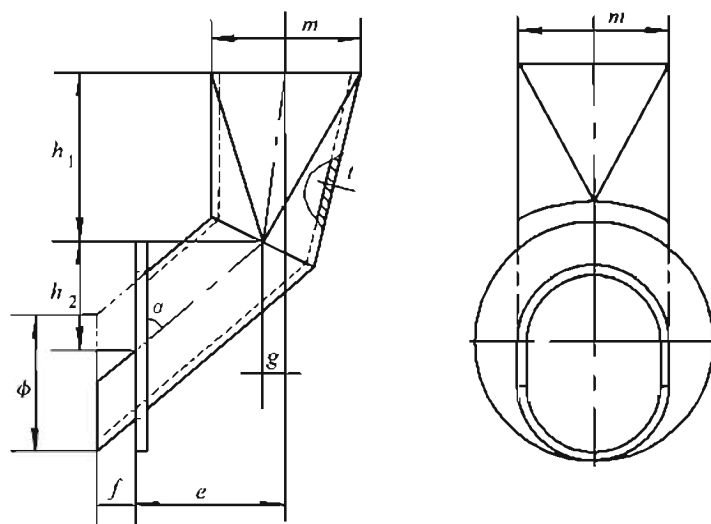


图 3-24 球磨机进料斗产品图

开图可采用三角形法,其画法与斜方圆连接管(斜天圆地方)展开方法相似。下部分椭圆筒可采用平行线法展开。如果料斗的尺寸很大,实际操作时,可整体放样,分体展开。

### 1. 椭圆筒展开方法

图 3-25 是椭圆筒的投影图及展开图。

椭圆筒的设计意图是料斗的开口处左端面的投影是正圆。图 3-25 中的  $\phi$  表示其左端面的投影为圆,即柱体的斜截面是圆,则柱体是椭圆柱面。椭圆柱面的表面素线互相平行,可以用平行线法展开。图中所示的柱体轴线是正平线,所以其表面素线也是正平线,在主视图的投影反映实长。

具体画法是:首先求出椭圆管的断面实形,垂直于椭圆管的轴线作一次投影变换,量取圆形分点左右方向的距离,对应画出椭圆断面图。椭圆断面上各分点间的圆弧长就是各素线间的距离。平行于椭圆管的轴线画一系列素线,素线间的距离就是椭圆断面上各分点的距离,见图中的弧长  $S$ 。将主视图上各素线的长度对应投影到各素线上,完成展开图。图中的接口选在椭圆管的侧面。

展开时的板厚处理方法是:下端不与其他件连接,不用考虑板厚处理。上端的板厚处理方法与  $90^\circ$  直角弯头的板厚处理方法相同,即长边按里皮取素线长,短边按外皮取素线长,见图 3-25 左面的断面图,画了一段里皮圆的圆弧,过里皮圆弧的等分点向右投影,在主视图上右上角处,展开时要去掉尖上的部分。

### 2. 进料斗上部连接管展开

根据图 3-26 画出连接管的主视图,上方口取板厚里皮,下口取板厚中心。在画上部连接管的展开图之前,必须先求出椭圆口的断面实形。

首先,等分断面圆得到各分点,过各分点向右投影到椭圆管的端面,平行于椭圆管的轴线画素线,然后,垂直于上部连接管的下端面作投影,得到方向视图,即进行了一次投影变换,得到上部连接管下端面的椭圆口实形。投影变换时,选旧轴和新轴为圆管和椭圆管的轴线,旧点到旧轴的距离等于新点到新轴的距离: $a$ 、 $b$ 、 $c$ 。

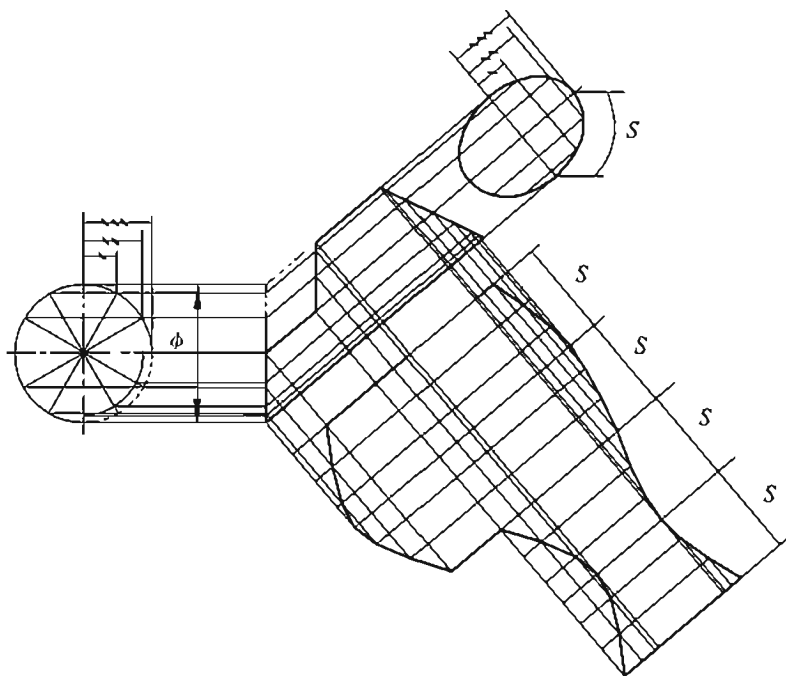


图 3-25 椭圆筒展开图

上部连接管是椭圆与方口的连接管,采用三角形法展开。首先等分椭圆弧长,得各分点 5、6、7、8、9、10、11,与上口点 1、2 连线得到各条素线。下面对各条素线的积聚性进行分析:直线 1—2、4—3 是侧垂线,在主视图上的投影反映实长。直线 1—4、2—3 是正垂线,在左视图上的投影反映实长。直线 1—8、2—8 是正平线在主视图反映实长。直线 4—5、1—5 是侧平线,在侧视图上反映实形。因此,只要求出 1—6、1—7、2—9、2—10、2—11 各线的实长即可。直线 2—11 的实长在主视图上求出,利用主视图上直线 2—11 的投影长作为一个直角边,量取上口方边的一半  $m$ ,作另一各直角边,斜边即为实长。实际上,还是利用投影长、坐标差法。其他几条素线的实长采用梯形法求出。设想用一系列过素线的正垂面去截切连接管,各素线到中心平面的图形画于图的左边,得到素线 1—6、1—7、2—9、2—10 各线的实长。依次将三角形连续画出,得到的展开图如图 3-27 所示。

### 3.4.5 球磨机出料筛下部各件展开

图 3-28 为球磨机出料筛下部的产品图,已知尺寸如图所示。接口形式采用“角搭角”焊接,即下料时,每个焊接处的下料尺寸均减去一个板厚 5 mm。各件展开均按里皮放样。件 9 “天圆地方”的圆口按板厚中心,方口按里皮放样。



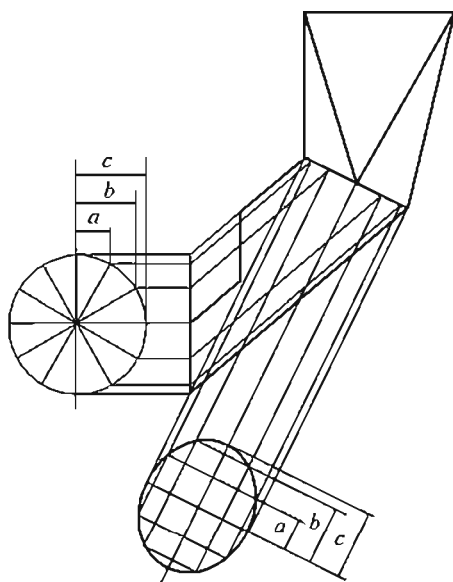


图 3-26 上部连接管的下口实形求法

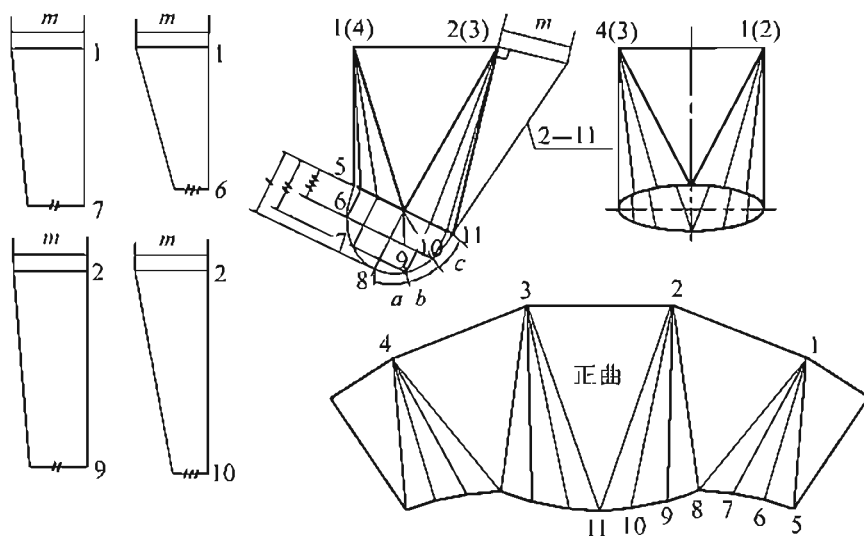


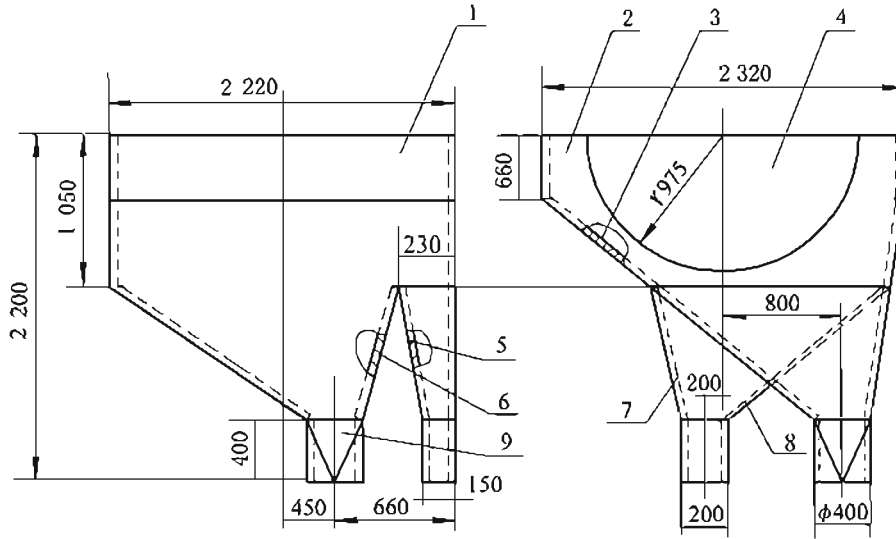
图 3-27 上部连接管的展开图画法

### 1. 阅读图纸

由主视图和左视图完全可以表达构件的形状和尺寸。球磨机磨碎原料后,将原料经这个大漏斗向下输送。上口的圆对应球磨机的出料圆管。下口将磨出物分为两部分输出。一个输出口较小在右后下方,一个输出口在左下前方。较小的输出口是方管,要连接另一个方管。较大的输出口是“天圆地方”,要连接圆管,外直径是 400 mm。由于板厚仅有 5 mm,下料时,除方圆连接管外,应尽量将各板连接在一起下料,在弯曲处折弯,即件 1、2、3、4 要尽量连接下面的板一起下料。图中未注明尺寸见零件图。

### 2. 件 1 的投影图及展开图

如图 3-29 所示,件 1 折弯线以上为正平面,在主视图反映实形,折弯线以下为侧垂面,在左视图反映实高  $L$ 、 $L'$ ,见图 3-29(a) 投影图。



板厚均为 5 mm, 材质均为 Q235

图 3-28 球磨机出料筛下部产品图

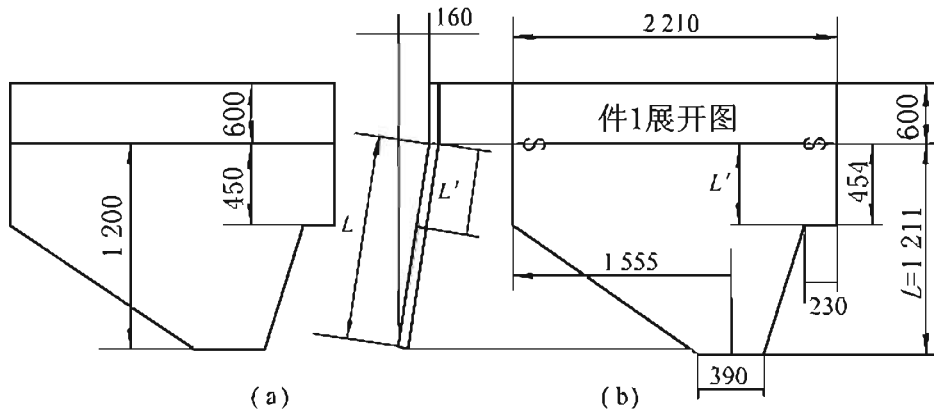


图 3-29 件 1 的投影图及展开图画法

展开高  $L$  可以放样求出, 也可以用勾股定理简单地算出:

$$L = \sqrt{1200^2 + 160^2} = 1211(\text{mm})$$

$$L' = \frac{L}{1200} \times (1050 - 600) = \frac{1211}{1200} \times 450 = 454(\text{mm})$$

件 1 的展开图如图 3-29(b) 所示。

### 3. 件 2 的投影图及展开图

如图 3-30 所示, 件 2 折弯线以上为侧平面, 在左视图反映实形, 折弯线以下为正垂面, 在主视图反映展开实高  $L$ 。用勾股定理计算  $L$  长度如下:

$$L = \sqrt{750^2 + 1355^2} = 1549(\text{mm})$$

$$a = \frac{1755}{1200} \times 450 = 658(\text{mm})$$

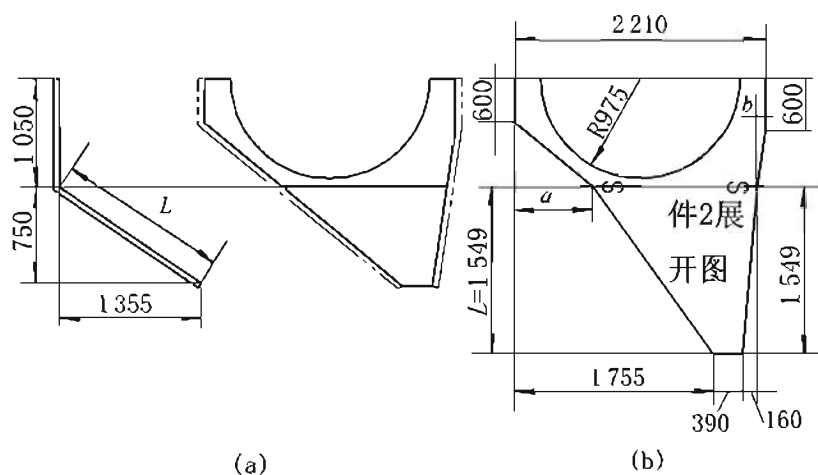


图 3-30 件 2 投影图及展开图

$$b = \frac{160}{1200} \times 450 = 60(\text{mm})$$

上式中  $a$  和  $b$  的计算是用相似三角形对应边成比例求得。相应的三角形和对应边长可以在图 3-28 中查出。

#### 4. 件 3 的投影图及展开图

件 3 折弯线以上为正平面,在主视图反映实形,折弯线以下为侧垂面,在左视图反映实高,见图 3-31。由图 3-28 查出相关尺寸计算出  $L$ 、 $L_1$  的尺寸如下:

$$L = \sqrt{1200^2 + 1755^2} = 2126(\text{mm})$$

$$L_1 = \frac{L}{1200} \times 450 = \frac{2126}{1200} \times 450 = 797(\text{mm})$$

#### 5. 件 4 的投影图及展开图

件 4 为侧平面,在左视图的投影反映实形,见图 3-32。尺寸  $a$  可以用相似三角形的性质算出:

$$a = \frac{160}{1200} \times 450 = 60(\text{mm})$$

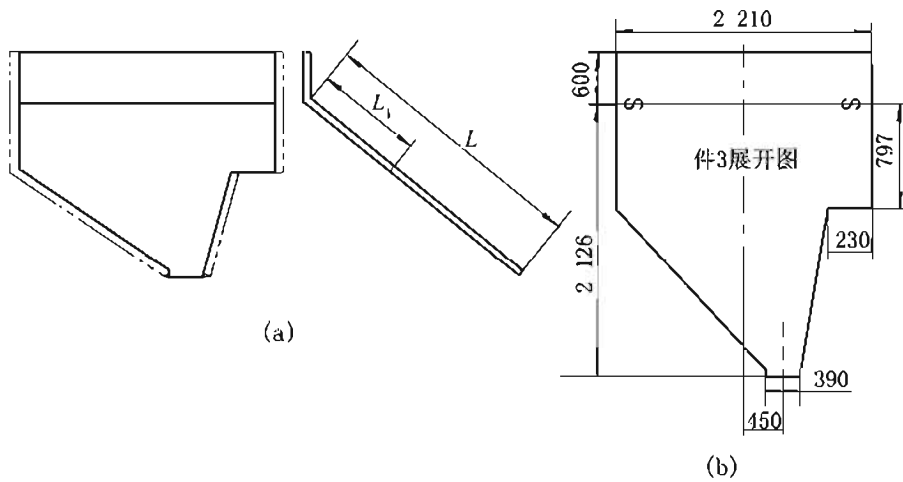


图 3-31 件 3 投影图及展开图

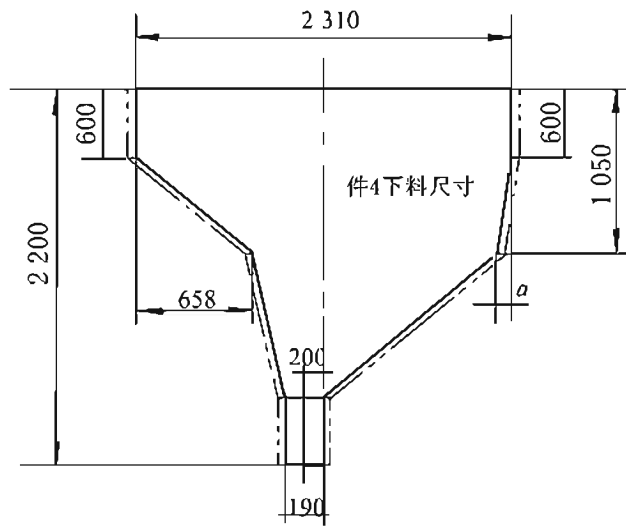


图 3-32 件 4 展开图

6. 件 5 的投影图及展开图

件 5 的上半部分是正垂面,在主视图的投影反映实高,折弯线以下部分是侧平面,在左视图反映实形,见图 3-33。用勾股定理可以算出梯形的实高为 758 mm。

$$L = \sqrt{750^2 + 80^2} = 758(\text{mm})$$

7. 件 6 的投影图和展开图

件 6 为正垂面,在主视图反映实高,左视图反映梯形上下底边长,见图 3-34。用勾股定理可以算出  $L$  :

$$L = \sqrt{230^2 + 750^2} = 784(\text{mm})$$

求出  $L$  长后,可以画出展开图,见图 3-34(b)。

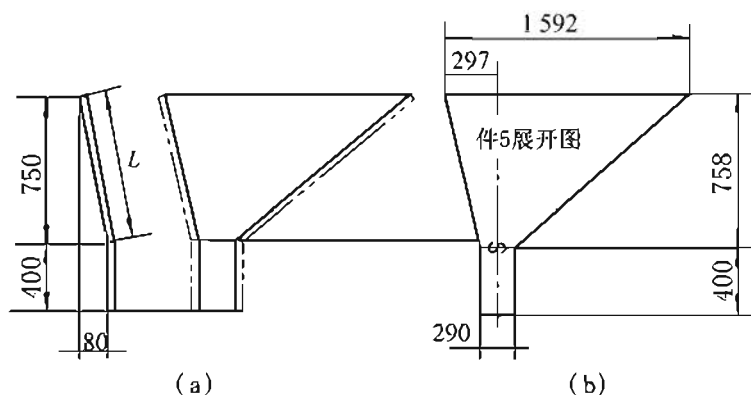


图 3-33 件 5 的投影图及展开图

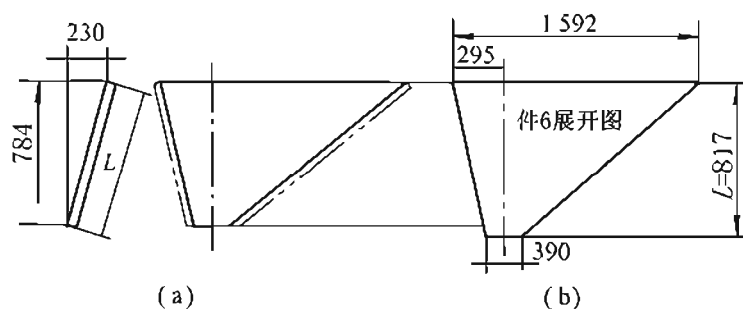


图 3-34 件 6 的投影图及展开图

8. 件 7 的投影图及展开图

件 7 折弯线以上部分为侧垂面,左视图反映实高  $L$ ,折弯线以下为正平面,在主视图反映实形,如图 3-35 所示。

$$L = \sqrt{750^2 + 147^2} = 764(\text{mm})$$

9. 件 8 的投影图及展开图

件 8 折弯线以上为侧垂面,在左视图反映实高,折弯线以下为正平面,在主视图反映实形,如图 3-36 所示。用勾股定理计算  $L$  长如下:

$$L = \sqrt{1\ 145^2 + 750^2} = 1\ 369(\text{mm})$$

件 8 展开图如图 3-36(b) 所示。

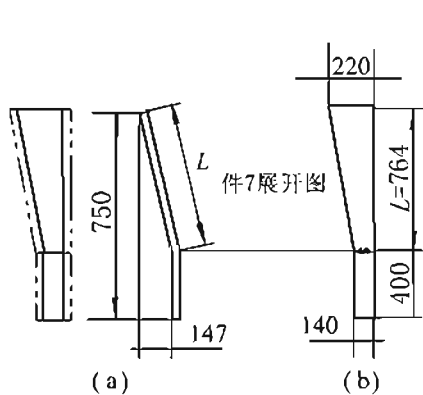


图 3-35 件 7 投影图及展开图

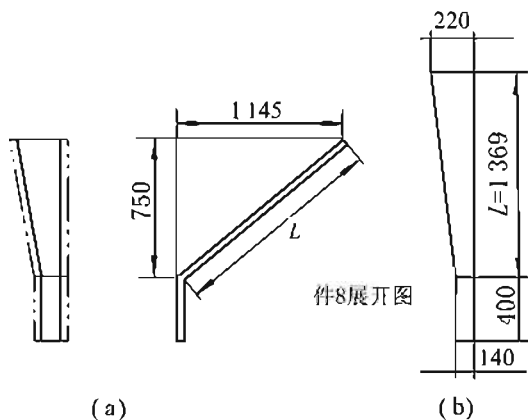


图 3-36 件 8 的投影图及展开图

### 10. 件 9 的投影图及展开图

件 9 为边长与直径相等的连接管(天圆地方)展开时方口按里皮,圆口直径按板厚中心。画法见图 3-37。由于板厚处理,直角三角形 3—4—5 只向后倾斜了一个板厚,可以看成是实形。由于素线对称,只要求出一条素线的实长就可画出展开图。量取俯视图上的素线投影长 1—2 作为一个直角边,取主视图的高作为另一各直角边,画三角形,求出素线 1—2 的实长。画展开图时,依次画出各三角形,完成展开图。

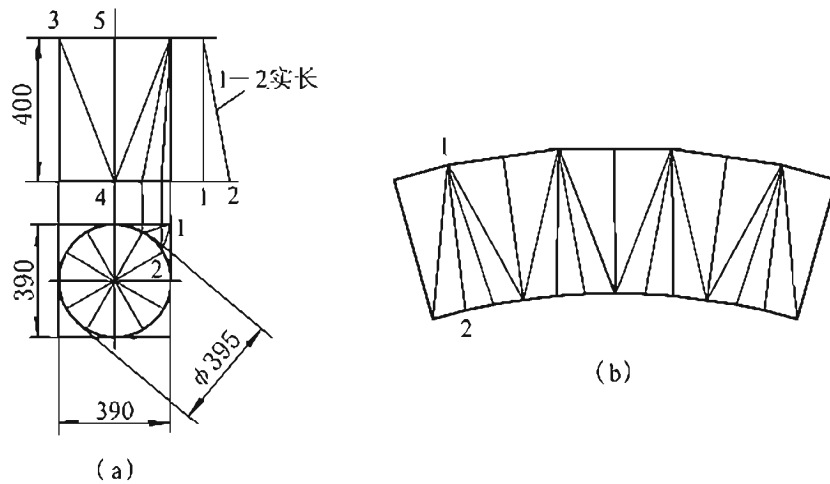


图 3-37 件 9 的投影图及展开图

### 3.4.6 矿热炉配料漏斗的展开

如图 3-38 所示,漏斗的上面连接圆管,由于是斜截圆管,漏斗的上口是椭圆。椭圆的长轴是斜截圆筒线段的长度  $D'$ , 短轴是圆筒的半径,即  $D/2$ 。漏斗的下口是正圆。

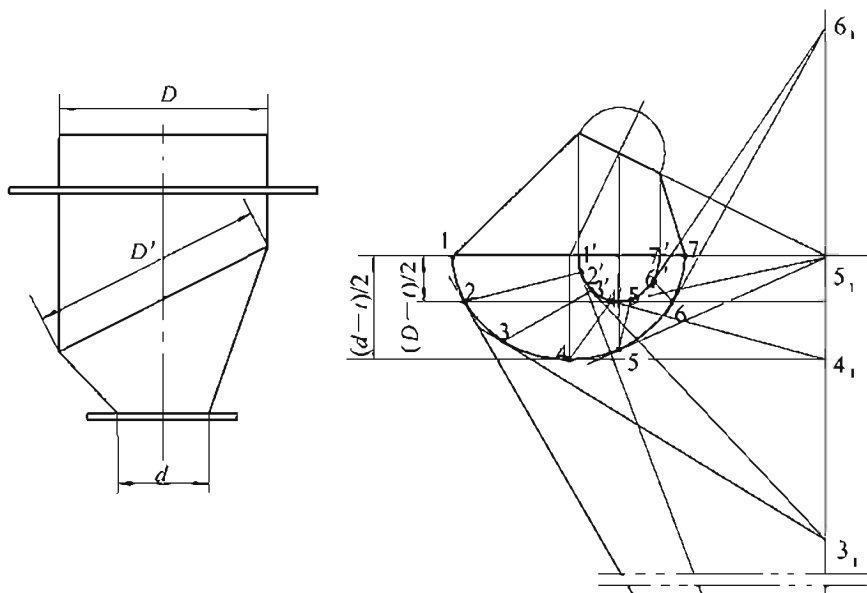


图 3-38 矿热炉配料漏斗的产品示意图和素线的确定

斗体表面为切素线曲面,决不能按一般上、下口等分求得素线,必须采用切平面法确定其素线,利用三角形法展开。

如图 3-38 所示,根据已知尺寸画出斗体的主视图和俯视图的一半投,小口是正圆,按小口的板厚中心直径放样。大口的长轴是 $(D'-t)$ ,短轴是 $(D-t)$ , $t$ 是板厚。

等分椭圆的周长比较麻烦,按小口等分半圆又会使大口的弧长分布不均。因为画展开图时可以依次地量取椭圆的弧长,适当地在大口任意取几个分点 1、2、3、4、5、6、7,过各分点作椭圆的切线,与上、下口平面的交线得到交点  $2_1$ 、 $3_1$ 、 $4_1$ 、 $5_1$ 、 $6_1$ 。再过  $2_1 \sim 6_1$  各点作小口圆的切线,得到点  $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ 、 $5'$ 、 $6'$ 。连接  $2_1-2'$ 、 $3_1-3'$ 、 $4_1-4'$ 、 $5_1-5'$ 、 $6_1-6'$  得到素线。

用直角三角形法求出各条素线和对角线实长,最后用素线、对角线实长和上端口椭圆各分点之间弧长和俯视图下端口等分点弧长依次拼画出三角形的实形,并用曲线圆滑连接。展开图的画法见前述。

### 3.4.7 特大展开半径圆锥台的计算展开

如图 3-39 所示,立式水泥窑下部是一个两端口直径相差较小,筒身比较高,展开半径特大的圆锥台。使用地规直接画弧比较困难,由于尺寸太大也很难制作样板,采用计算法展开可确保下料精度,提高工效,节约原材料。而采用三角形法展开既费工,积累误差又大,不宜采用。

由于构件的尺寸较大,下料时需要分节。大型圆锥台的分节数即环向焊缝的多少,要根据圆锥台的直径、锥度大小、供料板的规格及锥台的用途合理安排,既要考虑节省原材料,又要符合技术要求。

下面介绍大展开半径圆锥台的计算过程和展开方法。

#### 1. 计算圆锥台整体扇形展开料展开半径

(1) 锥台顶点到底面的总高:

$$F = \frac{D \times H}{D - d} = \frac{2\,440 \times 4\,500}{2\,440 - 2\,040} = 27\,450 (\text{mm})$$

式中, $F$ 为锥台顶点到底面的总高; $D$ 为锥台大口直径; $d$ 为锥台小口直径; $H$ 为锥台高度。

符号含义见图 3-40。

(2) 扇形大口展开半径:

$$R = \sqrt{F^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \sqrt{27\,450^2 + \left(\frac{2\,440}{2}\right)^2} = 27\,477.1 (\text{mm})$$

$$R_1 = \sqrt{1\,020^2 + 22\,950^2} = 22\,973 (\text{mm})$$

式中, $R$ 为锥台大口展开料展开半径; $R_1$ 为锥台小口展开料展开半径,见图 3-40。

#### 2. 扇形展开圆心角( $\alpha$ 角见图 3-40)

对于第一节而言,大口直径: $D = 2\,440 \text{ mm}$ ,大口展开半径: $R = 27\,477.1 \text{ mm}$ 。

$$\alpha = \frac{180D}{R} = \frac{180 \times 2\,440}{27\,477.1} = 15.984\,219\,59^\circ$$

$$\frac{\alpha}{2} = 7.992\,109\,794^\circ$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = 0.990\,287\,224$$

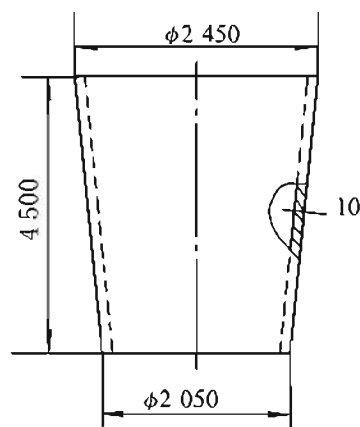


图 3-39 大展开半径圆锥台施工图

$$\sin \frac{\alpha}{2} = 0.139\ 036\ 729$$

工件尺寸太大,小数点后必须多取几位小数。

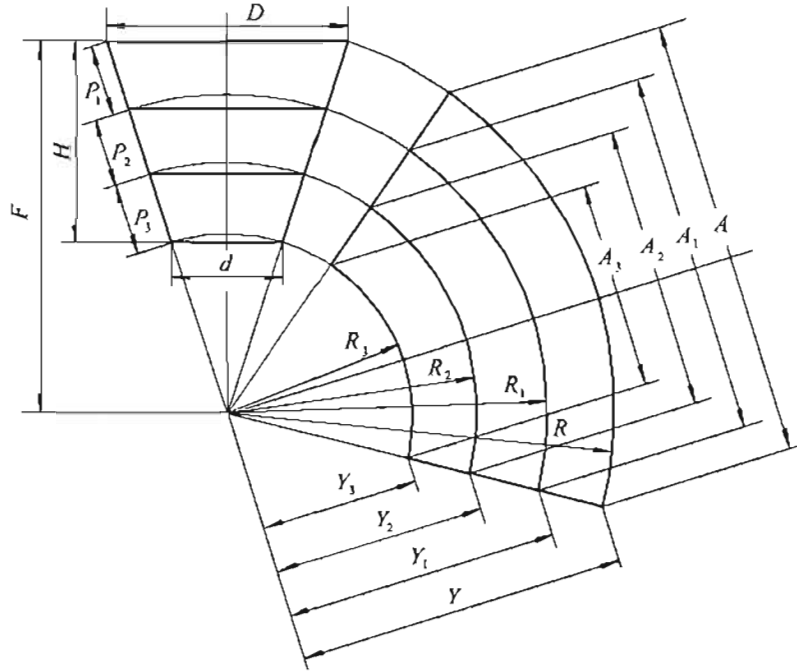


图 3-40 圆锥台的展开尺寸

### 3. 每节斜高的确定

假设供料宽 1 800 mm, 设去边余量为 10 mm, 为了合理用料要计算每节的斜高  $P_n$ , 即  $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ , 如图 3-40 和图 3-41 所示。

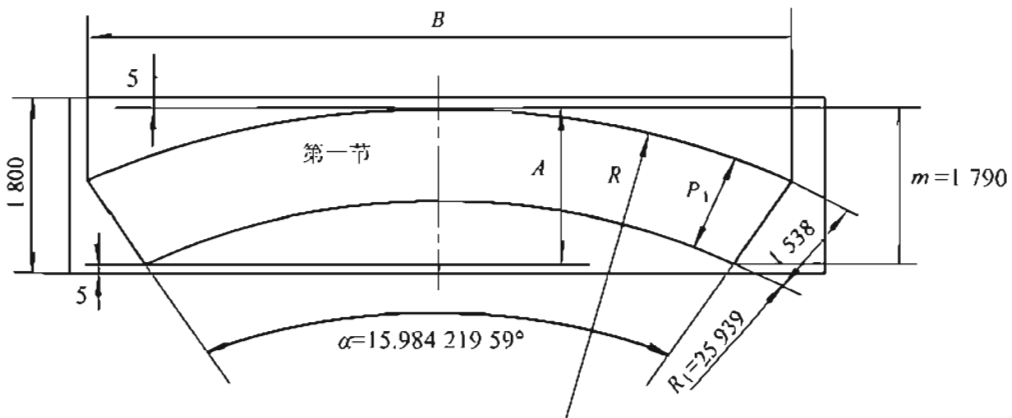


图 3-41 由供料宽度确定第一节斜高

(1) 已知板料宽求第一节斜高  $P_1$ : 参考图 3-40, 将第一节能够下料的高度  $m$  代入式(2-9):

$$A = R - r \cos \frac{\alpha}{2}$$



$$\text{即} \quad F_m = R - r \cos \frac{\alpha}{2} = R - (R - P_1) \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{推出} \quad P_1 = R - \frac{R - m}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

$$P_1 = R - \frac{R - m}{\cos \frac{\alpha}{2}} = 27\,477 - \frac{27\,477 - 1\,790}{0.990\,287\,224} = 1\,538.06(\text{mm})$$

$$\text{所示} \quad R_1 = R - P_1 = 27\,477.1 - 1\,538.06 = 25\,939.04(\text{mm})$$

式中,  $m$  为钢板下料宽度。

(2) 求第二节斜高  $P_2$ : 对于第二节来说,  $R_1$  是大口, 将  $m = 1\,790\text{ mm}$ 、 $R_1 = 25\,939.04\text{ mm}$  代入:

$$P_2 = R_1 - \frac{R_1 - m}{\cos \frac{\alpha}{2}} = 25\,939.04 - \frac{25\,939.04 - 1\,790}{0.990\,287\,224} = 1\,553.145(\text{mm})$$

$$\text{所以} \quad R_2 = R_1 - P_2 = 25\,939.04 - 1\,553.145 = 24\,385.9(\text{mm})$$

式中,  $R_1$  为第二节大口(第一节小口)展开料半径;  $R_2$  为第二节小口展开料半径;  $P_2$  为第二节斜高, 见图 3-40。

(3) 第三节斜高。这里的思路是: 如果第三张板料能画得下完整展开料的其余部分, 则可以用三块板拼成展开料。方法是先求出第三张板能够画得下的最大斜高  $P_3'$ , 在求出对应的  $R_3'$ , 与  $R_3$  比较, 得知是否需要第四张板。

$$P_3' = R_2 - \frac{R_2 - m}{\cos \frac{\alpha}{2}} = 24\,385.9 - \frac{24\,385.9 - 1\,790}{0.990\,287\,224} = 1\,568.378(\text{mm})$$

式中,  $P_3'$  为第三节斜高, 见图 3-40;  $R_2$  为第二节小口展开料半径。

所以,  $R_3' = R_2 - P_3' = 24\,385.9\text{ mm} - 1\,568.378\text{ mm} = 22\,817.52\text{ mm}$ , 而实际上面已经求出  $R_3 = 22\,973\text{ mm}$ ,  $R_3 > R_3'$ , 由此可以说明可以用三张板料拼成大小口。

可以求出  $P_3$ :

$$P_3 = R_2 - R_3 = 24\,385.9 - 22\,973 = 1\,412.9(\text{mm})$$

#### 4. 各节扇形展开弦长计算

下式中  $A$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  见图 3-42。

$$A = 2R \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 0.139\,036\,729 \times 27\,477 = 7\,641(\text{mm})$$

$$A_1 = 2R_1 \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 0.139\,036\,729 \times 25\,939 = 7\,213(\text{mm})$$

$$A_2 = 2R_2 \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 0.139\,036\,729 \times 24\,385.9 = 6\,781.07(\text{mm})$$

$$A_3 = 2R_3 \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \times 0.139\,036\,729 \times 22\,973 = 6\,388.18(\text{mm})$$

#### 5. 各节的弦心距计算

求出弦心距就可以求出弦弧距  $h$ , 参见图 3-42。

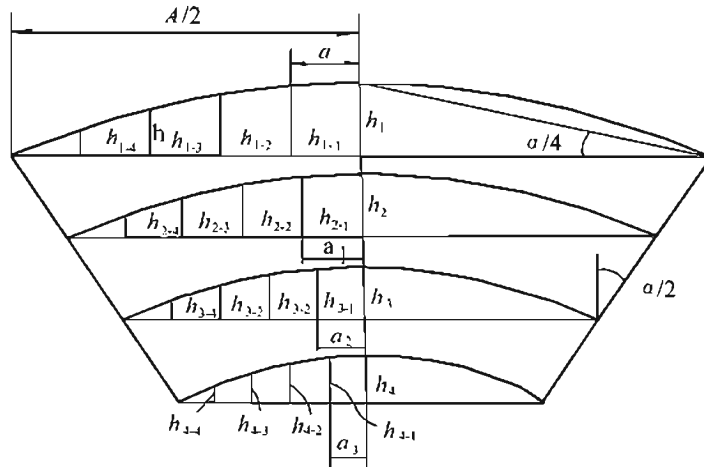


图 3-42 第一节扇形展开料分点弦高示意

$$Y = \sqrt{R^2 - \left(\frac{A}{2}\right)^2} = \sqrt{27\,477^2 - \left(\frac{7\,641}{2}\right)^2} = 27\,210(\text{mm})$$

$$Y_1 = \sqrt{R_1 - \left(\frac{A_1}{2}\right)^2} = \sqrt{25\,939^2 - \left(\frac{7\,213}{2}\right)^2} = 25\,687(\text{mm})$$

$$Y_2 = \sqrt{R_2 - \left(\frac{A_2}{2}\right)^2} = \sqrt{24\,886^2 - \left(\frac{6\,781}{2}\right)^2} = 24\,149(\text{mm})$$

$$Y_3 = \sqrt{R_3 - \left(\frac{A_3}{2}\right)^2} = \sqrt{22\,913^2 - \left(\frac{6\,388}{2}\right)^2} = 22\,750(\text{mm})$$

6. 展开料上各分点弦弧距

下式中各  $h$  高见图 3-42。

$$h_1 = \frac{A}{2} \tan \frac{\alpha}{4} = 0.069\,86 \times \frac{7\,641}{2} = 267(\text{mm})$$

$$h_2 = \frac{A_1}{2} \tan \frac{\alpha}{4} = 0.069\,86 \times \frac{7\,213}{2} = 252(\text{mm})$$

$$h_3 = \frac{A_2}{2} \tan \frac{\alpha}{4} = 0.069\,86 \times \frac{6\,781}{2} = 237(\text{mm})$$

$$h_4 = \frac{A_3}{2} \tan \frac{\alpha}{4} = 0.069\,86 \times \frac{6\,388}{2} = 223(\text{mm})$$

7. 第一节展开料大口弦各等分点的弦弧距

$$h_{1-1} = \sqrt{R^2 - a^2} - Y = \sqrt{27\,477^2 - 764^2} - 27\,210 = 256(\text{mm})$$

$$h_{1-2} = \sqrt{R^2 - (2a)^2} - Y = \sqrt{27\,477^2 - (2 \times 764)^2} - 27\,210 = 224(\text{mm})$$

$$h_{1-3} = \sqrt{R^2 - (3a)^2} - Y = \sqrt{27\,477^2 - (3 \times 764)^2} - 27\,210 = 171(\text{mm})$$

$$h_{1-4} = \sqrt{R^2 - (4a)^2} - Y = \sqrt{27\,477^2 - (4 \times 764)^2} - 27\,210 = 97(\text{mm})$$

式中,  $a$  为第一节  $A$  弦的等分距。

8. 其他各等分点弦弧高

第一节的弦弧距计算出以后,其他各节的弦弧距可以看成是直角三角形的立边, $A/2$  看成为直

角三角形的底边,利用相似三角形的对应边成比例的性质按比例计算。将弧高的比值: $h_n/h_1 = K_n$  作为系数计算其他各等分点弦弧高。

(1) 第二节大口弦各等分弧高。设  $h_2$  与  $h_1$  的比值为第二节大口的弦弧距系数。

$$K_2 = h_2/h_1 = 252/267 = 0.943\ 82$$

$$h_{2-1} = K_2 \times h_{1-1} = 0.943\ 82 \times 256 = 242(\text{mm})$$

$$h_{2-2} = K_2 \times h_{1-2} = 0.943\ 82 \times 224 = 211(\text{mm})$$

$$h_{2-3} = K_2 \times h_{1-3} = 0.943\ 82 \times 171 = 161(\text{mm})$$

$$h_{2-4} = K_2 \times h_{1-4} = 0.943\ 82 \times 97 = 92(\text{mm})$$

(2) 第三节大口弦各等分点弧高。设  $h_3$  与  $h_1$  的比值为  $K_3$ 。

$$K_3 = h_3/h_1 = 237/267 = 0.887\ 64$$

$$h_{3-1} = K_3 \times h_{1-1} = 0.887\ 64 \times 256 = 227(\text{mm})$$

$$h_{3-2} = K_3 \times h_{1-2} = 0.887\ 64 \times 224 = 199(\text{mm})$$

$$h_{3-3} = K_3 \times h_{1-3} = 0.887\ 64 \times 171 = 152(\text{mm})$$

$$h_{3-4} = K_3 \times h_{1-4} = 0.887\ 64 \times 97 = 86(\text{mm})$$

(3) 第三节小口弦各等分点弧高。设  $h_4$  与  $h_1$  的比值为  $K_4$ 。

$$K_4 = h_4/h_1 = 223/267 = 0.835\ 2$$

$$h_{4-1} = K_4 \times h_{1-1} = 0.835\ 2 \times 256 = 214(\text{mm})$$

$$h_{4-2} = K_4 \times h_{1-2} = 0.835\ 2 \times 224 = 187.4(\text{mm})$$

$$h_{4-3} = K_4 \times h_{1-3} = 0.835\ 2 \times 171 = 143(\text{mm})$$

$$h_{4-4} = K_4 \times h_{1-4} = 0.835\ 2 \times 97 = 80.5(\text{mm})$$

### 9. 各节两弦之间的距离

各节两弦之间的距离见图 3-40 和图 3-43。

$$L_1 = Y - Y_1 = 27\ 210 - 25\ 687 = 1\ 523(\text{mm})$$

$$L_2 = Y_1 - Y_2 = 25\ 687 - 24\ 149 = 1\ 538(\text{mm})$$

$$L_3 = Y_2 - Y_3 = 24\ 149 - 22\ 750 = 1\ 399(\text{mm})$$

### 10. 在钢板上直接展开料的方法

如图 3-43 所示,在板上画第一节扇形展开料过程如下:

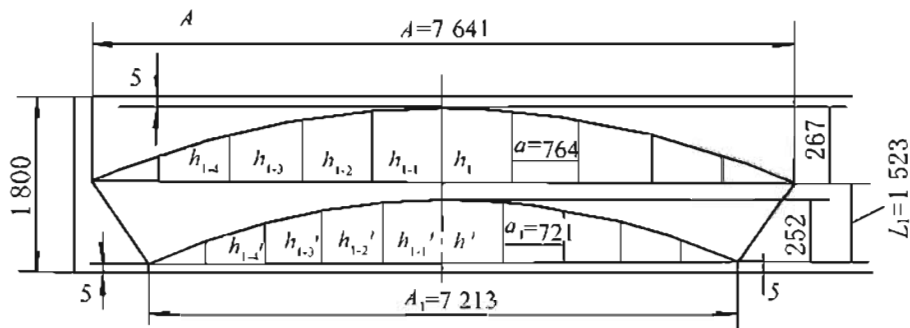


图 3-43 第一节扇形展开料在钢板上画线

(1) 在板的一侧平行板边 272 mm 画一平行线,长度与第一节大口弦长相等  $A = 7\ 641\ \text{mm}$ 。

(2) 作  $A$  弦的平行线与  $A$  弦的距离等于  $L_1 = 1\ 523\ \text{mm}$ 。

(3) 作  $A$  弦的垂直平分线交于平行线上, 作为扇形展开中心线, 以中心线为基准向平行线两边量取距离总长等于小口弦长  $A_1 = 7\ 213\ \text{mm}$ 。

(4) 连接两弦端点, 将  $A$ 、 $A_1$  两弦分成 10 等份, 并作垂线, 在其上量取各等分点弧高, 圆滑连接各点, 即得扇形展开实形。

为了确保锥台的高度, 考虑到气割收缩和滚制过程中小口减速碾磨以及焊接收缩, 应在小口圆弧展开的方向向外加常  $5\ \text{mm}$  余量。其他各节展开方法相同, 画法从略。

在实际操作时, 各弦等分弧高可以多分一些, 等分越多曲线连接越圆滑, 也可以采用  $0.35\ \text{mm}$  样板铁作一段圆弧的样板连接曲线。为防止计算有误, 计算后应对扇形展开料进行检验, 量取  $1/2$  扇形的对角线, 保证展开形状无误。

## 复 习 题

1. 用适当比例做如图 3-6 构件模型。
2. 用适当比例做如图 3-7 构件模型。
3. 用适当比例做如图 3-9 构件模型。
4. 用适当比例做如图 3-10 构件模型。
5. 用适当比例做如图 3-26 构件模型。
6. 用适当比例做如图 3-38 构件模型。

下 编

钣金零件加工方法

# 第 4 章 裁 料

裁料就是按照展开料或样板将材料裁剪成所需要的毛坯或制件的工艺。裁料的方法很多,常用的有剪裁、冲裁、锯割、氧气切割及激光切割等。在钣金行业中,钣金零件所用的板材多为镀锌金属薄板,故多用剪裁或冲裁下料。

## 4.1 剪 裁

剪切下料称为剪裁,它是利用双刀具分离材料的工艺。剪裁常用的设备有剪切机、滚剪机等。

### 4.1.1 剪裁常用的设备

#### 1. 剪切机

中小规格的机械传动剪切机,维护简便,行程次数高,成本较低。国产 Q11-12 × 2000 剪切机如图 4-1 所示。机架为钢板焊接整体结构,刀架沿圆弧摆动,因此刀片间隙通过刀架摆动支点的偏心轴得到调整,结构简单,调节方便。压料装置采用液压结构。

(1) 剪切机工作原理。如图 4-2 所示,上刀片 1 固定在刀架 2 上,下刀片 3 固定在下床面 4 上,床面上安装有托球 5,以便于板料 6 的送进移动,后挡料板 7 用于板料定位,位置由调位销 8 进行调节;液压压料筒 9 用于压紧板料,防止板料在剪切时翻转;栅板 10 是安全装置,以防工伤事故。

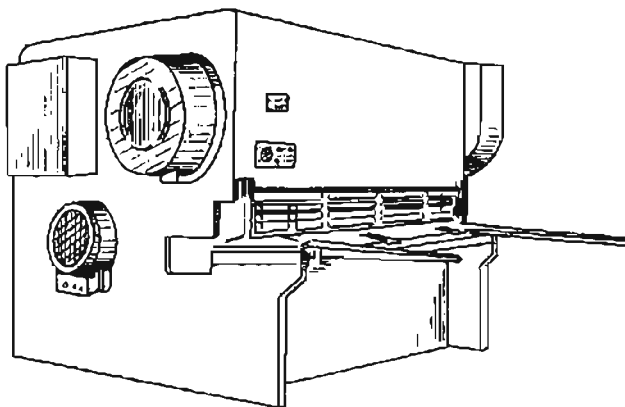


图 4-1 Q11-12 × 2000 剪切机

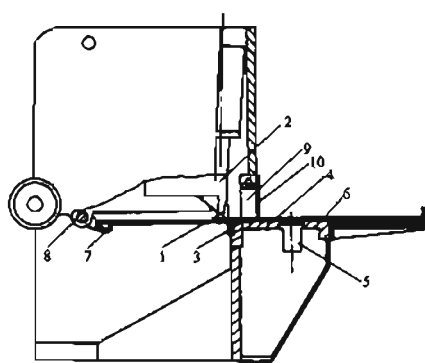


图 4-2 剪切机工作原理

- 1—上刀片;2—刀架;3—下刀片;
- 4—下床面;5—托球;6—板料;7—后挡料板;
- 8—调位销;9—压料筒;10—栅板

挡料板的调整可用手动或机动的方法。按样板手动调节的方法如图 4-3 所示:

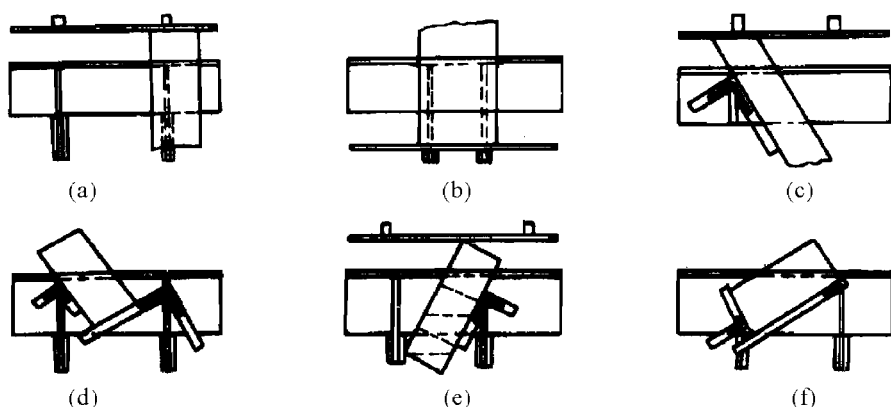


图 4-3 利用挡板剪料

(a) 用后挡板 (b) 用前挡板 (c) 用角挡板和后挡板 (d) 用两个角挡板  
(e) 用后挡板及角挡板 (f) 用角挡板及前挡板

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住。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住,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,剪切时同时利用角挡板和后挡板。

(2) 角形剪切机。为在板料上剪出所需的角形(图 4-4),采用角形剪切机,机器如图 4-5 所示。两个上刀片按角度固定安装在上刀架上,下刀片固定在工作台板上。由液压驱动上刀架,使其做上下剪切运动,在工作台上有两个可移动调节的坐标挡块,用于板料定位,以便切出所需角形。

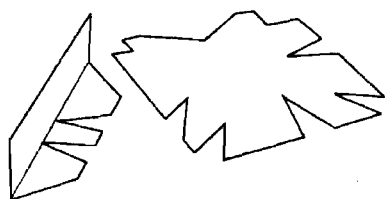


图 4-4 角形剪口

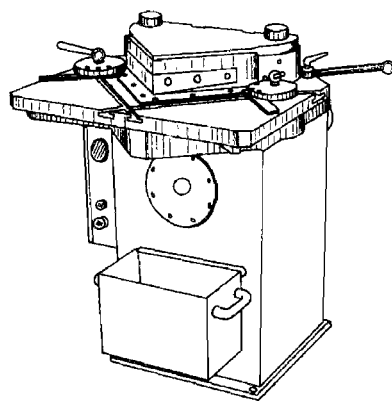


图 4-5 角形剪切机

(3) 液压传动剪切机的特点。液压传动剪切机有较多的优点:

① 工作安全,可以防止因超载而引起的机器事故。  
② 操作方便,可以实现单次行程、连续行程、点动和中途停止并返程等动作。因此,易于实现单机自动和用于流水线上工作。

③ 机器的体积小,重量轻,制动容易。

④ 机器振动小,工作平稳,刀具寿命长。

随着液压元件质量的改善,今后液压剪切机将会增加。

### 2. 滚剪机

滚剪机如图 4-6 所示,利用一对倾斜安装的上、下剪刀片进行剪切,能剪切曲线形、圆环形的板料。

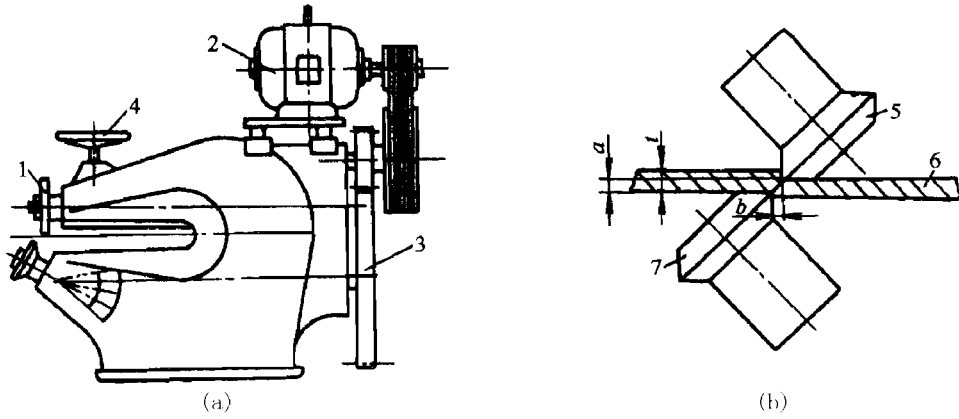


图 4-6 滚剪机

(a) 下滚刀倾斜 (b) 上下滚刀轴线平行

1—圆盘剪刀;2—电动机;3—齿轮;4—手轮;5—上剪刀;6—工件;7—下剪刀

滚剪机机座上装有 C 型的滚剪机架,工件支承机架根据需要配置。滚剪机架有上、下剪刀座,刀座上安装有剪刀,分别由电动机经减速装置直接驱动,作同速反向转动。上剪刀座安装在导轨上,手轮可控制其上、下移动。工件支承机架其下支承台可自由转动,上压头与活塞杆相连,液压缸带动其上、下移动,起压紧板料的作用,在进行滚剪时,上压头可与板料一起,绕活塞杆中心自由转动。活动挡块可沿导杆调整,剪切圆料时,挡块靠在剪切面的边缘上,起平衡自动送料力的作用。滚剪机架和工件支承机架的相对位置可根据滚剪板料的大小进行调整。

剪刀工作时须有正常间隙,其间隙应根据板料厚度的不同进行调整。如图 4-7(a) 所示,一般垂直间隙  $a = (1/3)\delta$ , 水平间隙  $b = (1/4)\delta$ 。剪刀若有重叠值时,如图 4-7(b) 所示,须使其值  $h = (1/5 \sim 1/3)\delta$ ,这样弧线很短,便于曲线剪切。垂直间隙用调节上剪刀的方法调整,水平间隙则用调节下剪刀的方法调整。

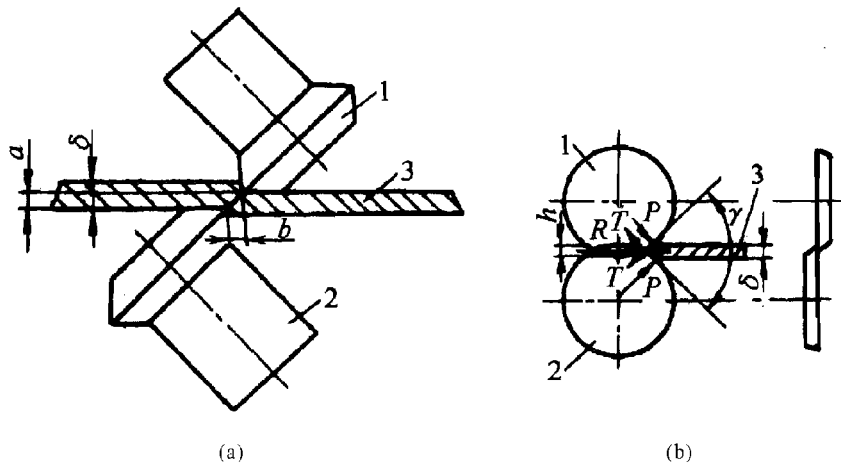


图 4-7 剪刀间隙调整

1—上滚刀;2—下滚刀;3—板料



用滚剪机剪切时,剪刀对板料有自动送料的作用,如图4-7(b)所示。为使板料能自动沿着刀口送料,板料与刀口之间摩擦力的合力 $R$ 应大于推力 $P$ 的合力。送料角 $\gamma$ 愈大,推力也愈大,当推力大于摩擦力时,可用调节挡块的方法平衡其推力。在相同的滚刀直径下,板料愈厚, $\gamma$ 角愈大,剪切愈困难。

#### 4.1.2 剪切过程

##### 1. 剪切过程

在剪床上的剪切过程可以分为三个阶段,如图4-8所示。

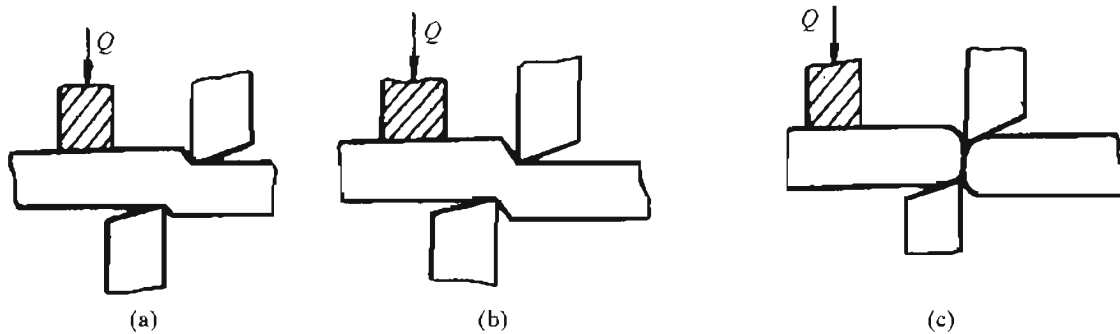


图4-8 剪裁过程

(1) 剪刀对板料施加压力使其发生弹性弯曲变形,与此同时,刀片的刃口局部挤入板料表层,如图4-8(a)所示。

(2) 上刀片继续下压,刃口局部挤入板料的深度增加,板料由弹性变形进入塑性变形,如图4-8(b)所示。

(3) 上刀片进一步下压,板料在上、下刀片的刃口附近开始出现裂缝,当裂缝相向扩展至最后相遇时,板料断裂,如图4-8(c)所示。

在正常间隙情况下,剪裁断面上出现三个不同的区域,如图4-9所示。A区表面由于剪刀剪切并与剪刀侧面摩擦,故带有光泽;B区主要是经挤压后变形断裂,故比较粗糙;C区主要是受拉变形,出现圆角。如果当间隙较大时,在B区的外表层会出现较大的毛刺。

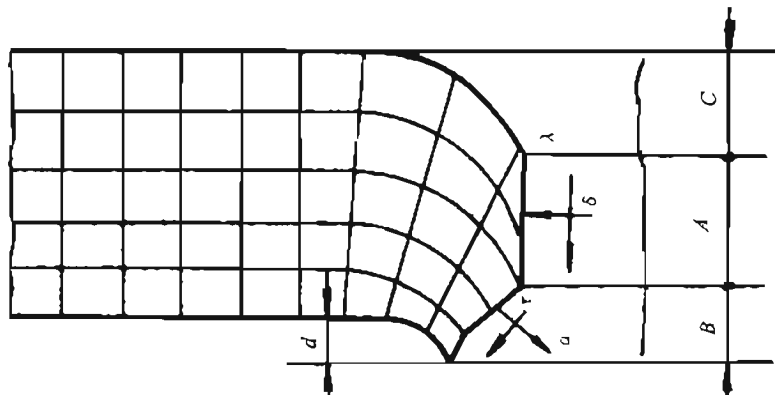


图4-9 剪裁断面的三个区域

## 2. 剪刀间隙的确定

剪刀间隙对裁件的断面质量、尺寸精度以及裁剪力都有影响。如果刃口间隙过大,材料上易产生毛刺。一般来讲,刃口间隙不应小到相当于材料厚度的  $1/10 \sim 1/20$ 。太大不能较好的剪切材料,甚至剪不断;太小两个刀片受到的摩擦力会增加,损伤刀刃。为了保险,剪刀片都经过预弯 ( $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ),如手工剪刀的两个刀片只在剪端相接触,在剪切过程中,接触点沿刀刃变动。

## 3. 手工剪裁

(1) 剪裁工具。手工剪裁的主要工具是手剪刀。手剪刀有直剪和弯剪两种,如图 4-10 所示,直剪刀用于剪切直线,弯剪刀用于剪切曲线,为便于剪切,手剪柄有直柄和弯柄两种形式。弯柄手剪其稳定性好且省力。当剪切较厚的板料时,应把剪柄的弯曲部位压在地上,可省力。但这种手剪所限制的刀口咬合度的碰合点,恰在手掌握着的部位,不小心就会把手夹住,直柄手剪没有这种弊病,但剪切时比较费力。

根据剪刀片的位置,手剪刀可分为右式剪刀和左式剪刀两种。右式剪刀的上刀片在右边,左式剪刀的上刀片在左边。右式剪刀在作业时刀刃不会遮盖剪切标记线,并且还可以利用左手向上提起被剪切的板料,使剪切较顺利进行。所以,国内各工厂所采用的大多数为右式剪刀剪切方式,如图 4-11 所示,左式手剪在作业中,不易看到剪切标记线,而且左手还要跨过持剪的右手去提出被剪切的材料,使用上极不方便。

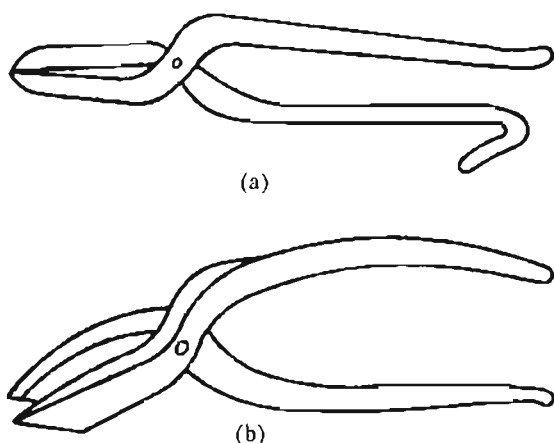


图 4-10 手剪刀  
(a) 直剪刀 (b) 弯剪刀

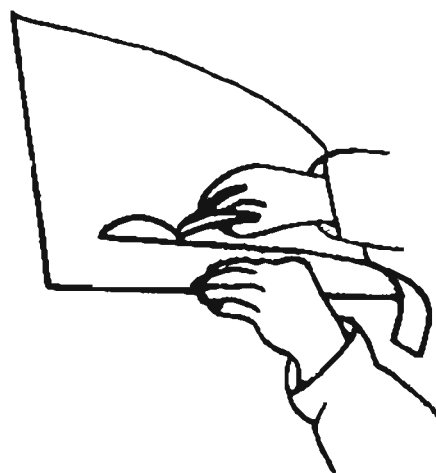


图 4-11 右式剪切方式

剪刀用含碳量 0.4% 以上的中碳钢制造,其刃部经淬火硬化后可达到  $54\text{HRC} \sim 58\text{HRC}$ 。其规格是按剪刀的长度划分的,常用的有  $100 \text{ mm}$ 、 $150 \text{ mm}$ 、 $200 \text{ mm}$  等。剪刀的全长一般约为剪刀长度的  $2.5 \sim 3$  倍。

各类剪床上的剪刀片一般皆用碳素工具钢或合金工具钢(如 T7A、T8A、或 40Cr)制造,经过热处理加工后其硬度可达到  $58\text{HRC} \sim 62\text{HRC}$ 。

剪刀的角度,根据剪切工件形式以及材料的硬度和厚度的不同,通常在  $55^\circ \sim 85^\circ$ 。切削刃的楔角越小,剪刀越锋利,但也容易磨损和崩口;反之,角度越大,剪切越费力。故手剪一般只用于剪切厚度为  $1 \text{ mm}$  以下的薄钢板及  $1.2 \text{ mm}$  以下的铜、铝板等。

(2) 剪切方法。剪切时握剪的方法有很多,一般来讲,右手要握持剪柄末端,以增加力臂。这样,

既省力又便于剪刀刃口向剪切方向推进,如图 4-12 所示。还可以将剪刀的弯柄夹持在台钳上,如图 4-13(a) 所示。单柄固定式手剪,要将一柄固定起来,如图 4-13(b) 所示,用拇指和手掌的虎口夹住上剪柄,食指在剪柄的中间抵住上剪柄,其他三个手指握牢下剪柄。刀口在闭合时应使上、下刀片彼此贴紧,不要出现缝隙,否则被剪切板料的断面就会出现毛刺,有时还会把板料夹在两刀片中间。

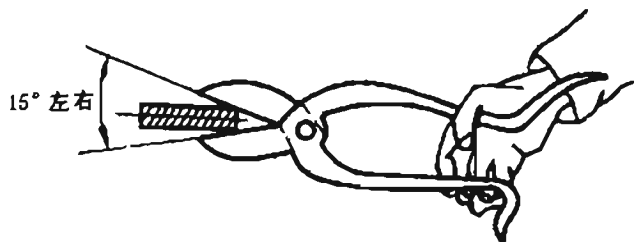


图 4-12 手剪的握持方法

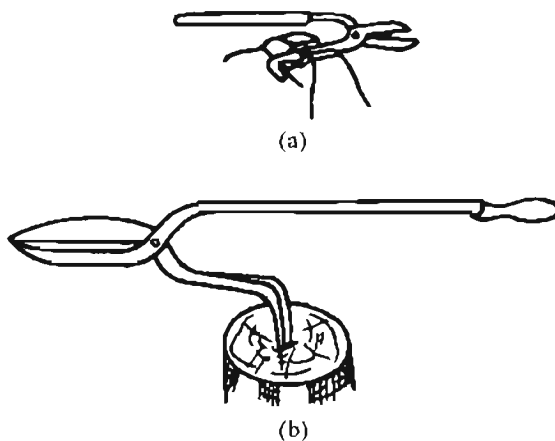


图 4-13 剪刀的固定

剪切时,刀口必须是垂直对准剪切线,剪口不要倾斜。刀片的倾角(张开角)要适当,如图 4-14 所示。倾角过大,板料过近地推向剪轴,在剪切时,板料就会往外滑移,这是因为倾角过大,剪切时产生一个推力的缘故。当合力大于工件与刀刃之间的摩擦力时工件便向外滑。倾角过小,工作面集中在剪刀的刃口前端,阻力臂增大,因而所需的剪切力也要求较大。

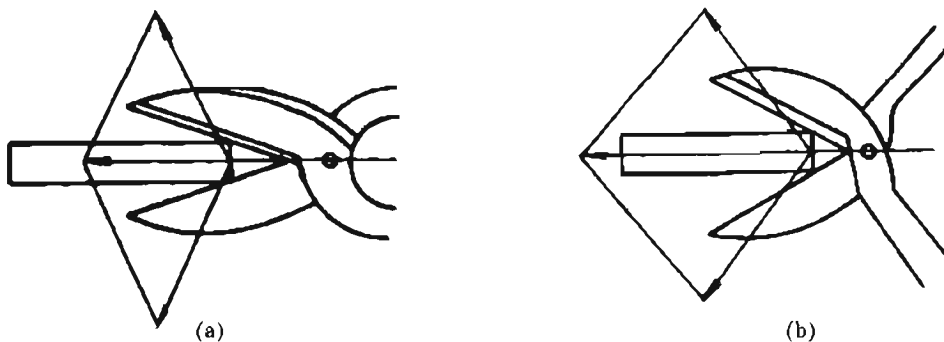


图 4-14 剪刀角度

手工剪切时,由于刀片倾角随着剪刀闭合而减少,所需的剪切力则逐渐增大,所以刃口的张开角度一般以  $15^\circ$  左右为宜。

初次使用手剪的人,大多喜欢把手剪铆得很紧,使上、下刃口间没有间隙,这是不妥当的。铆得过紧,刀口不但张合费力,而且也容易使刃口磨损变钝。所以,要调出适当的间隙。

在剪切作业中,应注意使标记线始终能够看得清楚。

剪切曲线外形时,如图 4-15 所示,应逆时针方向进行;剪切曲线内形时,应顺时针方向进行,因为这样操作,标记线可不被剪刀遮住。

在面积较小的板料上剪切窄条毛料时,可用左手拿着板料进行,如图 4-16 所示。

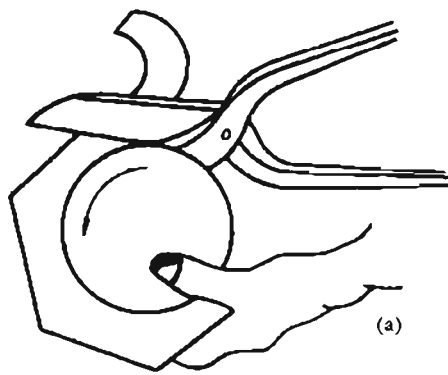
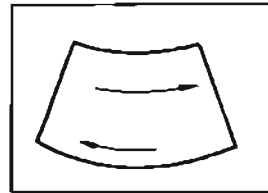


图 4-15 剪刀曲线外形



(b)

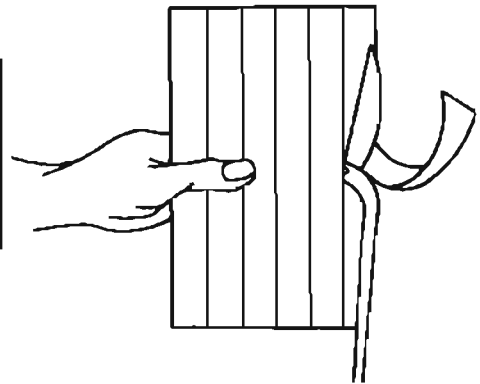


图 4-16 剪切窄条料

手剪的刃口使用变钝时,应重新刃磨。刃磨一般在水磨石上进行,如条件许可,最好在油石上进行。如果刃口出现崩裂豁口时,应首先在砂轮上磨去豁口(一般不要上砂轮刃磨),再在磨石上进行,刃磨时用力要适当,要使刃部的斜面保持平整,从端部到根部刃磨,直到锋利为止。

#### 4. 剪裁质量

剪裁质量的好坏,直接影响到工件的成形及产品的质量。剪裁质量受到多方面的影响,常见的有拱曲和扭曲变形、过剪和超差等。

剪刀间隙对断面质量有很大的影响。前面已经介绍,如果剪刀间隙过大,在裁件断面上会出现毛刺,同时转动力矩增加,工件旋转,也影响剪切质量,所以手剪的刃口间隙在板厚 $t$ 的 $1/10 \sim 1/20$ 之间为宜。剪床上刃口的间隙按具体情况调定。

(1) 拱曲和扭曲变形。在剪裁过程中,由于受外力作用,使材料内部组织发生变化所产生的残余应力引起拱曲和扭曲变形,手工剪裁尤其如此。

引起这些变形的原因通常是由于刃口间隙过大或过小,刃口磨损变钝等。这些情况越严重,则扭曲变形就越明显。所以在剪裁过程中,要注意选择合理的间隙,保持刃口的锋利及适当的压料力。

(2) 过剪与超差。在手工剪切过程中,常会出现过剪或超差。过剪是指在剪切过程中,由于导向不准或用力过猛,使剪刀进入非剪切线内,如图 4-17 所示。超差是指剪切件不符合设计的要求,如图 4-18 所示。

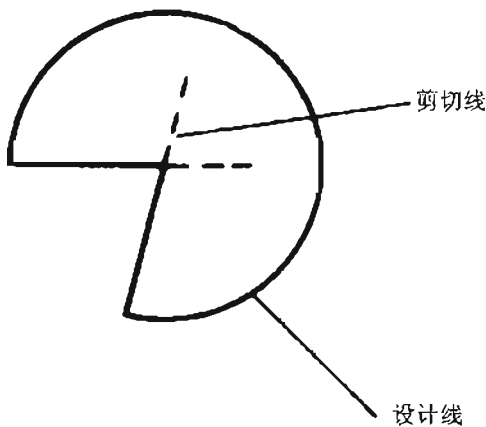


图 4-17 过剪

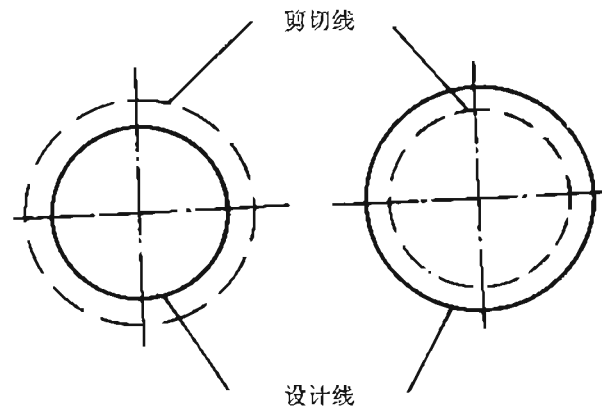


图 4-18 超差

通过对上述情况的分析可知,要想得到比较理想的剪裁件,必须是刃口间隙合理,且刃口要锋

利,操作时要看清画线,用力均匀;更要注意在手工剪切时,不得利用人为的力量将板料过于抬高,防止剪切时出现拱曲和扭曲变形。为了不发生过剪,常采用在凹折线的尖角处先钻工艺孔等措施。

## 4.2 冲 裁

利用冲模使板料相互分离的工序,称为冲裁。从广义上讲,属分离工序范畴,它包括切断、落料、冲孔、修边、切口等多种加工形式。但一般来说,冲裁工艺主要是指落料和冲孔两种工序。冲裁后,若以封闭曲线以内的部分作为有用制件时,称为落料;若以封闭曲线以外的部分作为有用制件时,称为冲孔。落料和冲孔的变形性质完全相同,只是在模具工作部分的设计中,分开考虑。

冲裁是冲压生产中的主要工艺方法之一,冲裁后得到的制件,可以成为成品零件,也可以作为弯曲、拉伸、成形等其他工序的坯料。

在冷作钣金中,冲裁应用也非常广泛,最典型的零件是各种清理机械中的筛体,如图 4-19 所示。

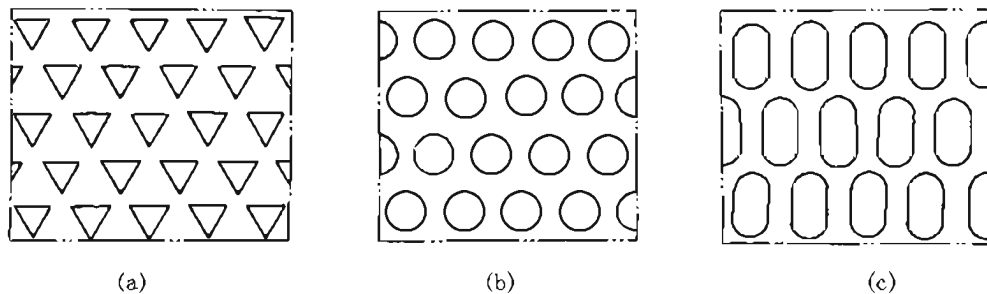


图 4-19 筛孔形状  
(a) 三角孔 (b) 圆孔 (c) 长圆孔

### 4.2.1 冲裁设备与工装

在冲压生产中,常用压力机为冲压工艺提供冲压动力。压力机种类繁多,但是生产中最常见、应用最多的是机械式曲轴压力机。安装在曲轴压力机上的工装是模具。

#### 1. 曲轴压力机的工作原理

曲轴压力机的工作原理如图 4-20 所示,开关闭合后,电动机旋转,小带轮 12 带动大带轮 10 转动,通过小齿轮 6 再带动大齿轮 7 转动。合上离合器 8,曲轴 1 开始转动,然后通过连杆滑块机构,带动滑块 3 做上下往复运动。离合器在电动机和飞轮不停地运转下,可使曲柄连杆机构开动或停止,压力机每完成一个冲程,即上下运动一个循环,离合器会自动分离,滑块会自动停在上止点上,除非按下连续冲压开关,压力机才会连续循环冲压。

工作时,踩下脚踏板(制动器 9),离合器接合,曲柄回转并通过连杆带动滑块做上下往复运动,将被加工的板料放在上、下模之间,即可进行冲裁。

#### 2. 压力机的主要技术参数

(1) 公称压力,是指压力机曲轴旋转到离下止点  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$  处,滑块所提供的压力,如图 4-21 所示的曲轴滑块机构。

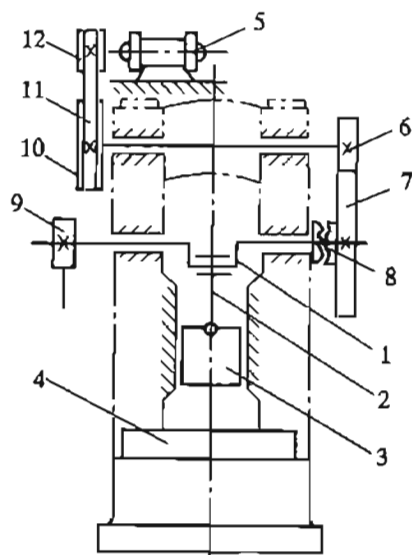


图 4-20 曲轴压力机工作原理

- 1—曲轴;2—连杆;3—滑块;4—工作台;  
5—电动机;6—小齿轮;7—大齿轮;8—离合器;  
9—制动器;10—大带轮;11—V形带;12—小带轮

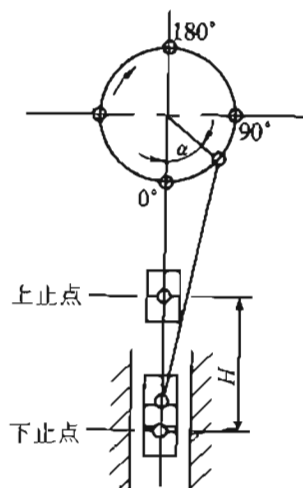


图 4-21 曲柄滑块机构

(2) 滑块行程。滑块从上止点到下止点经过的距离,其数值是曲轴长度的 2 倍。

(3) 滑块每分钟冲压次数。反映了曲柄压力机的工作频率,普通压力机一般为 60 ~ 150 次/min,高速压力机可达每分钟千次以上。

(4) 闭合高度。压力机的装模高度,滑块运动到下止点,滑块底平面与压力机工作台面之间的距离  $H$ 。由于连杆的高度可以调节,所以闭合高度可以改变,即可以从最小闭合高度调节到最大闭合高度。

(5) 工作台面尺寸。工作台面的外形(长×宽)尺寸及中间漏料孔的尺寸。

(6) 模柄孔尺寸。滑块下平面中心处安放模具模柄的圆孔直径及模柄孔深尺寸。

### 3. 模具在压力机上的安装

装在冲压机上,对材料进行成形加工的专用工具,称为模具。而把一部分材料分离出的模具称为冲裁模。

冲裁模的结构分上、下两部分,模具在压力机上的安装,如图 4-22 所示。模具的上模部分通过模柄 6 插入滑块中心的模柄孔中,同时要保证上模板的上平面必须与滑块的下平面贴紧,然后用压紧螺钉 1 把模柄压紧。模具的下模部分安放在压力机工作台上,压力机滑块带动下模部分缓慢下行,使导柱进入导套内,然后用压板 9 和螺钉 8 固定下模部分。放松连杆锁紧装置,并让滑块处于下止点,然后调节连杆长度,使模具达到正常闭合状态。例

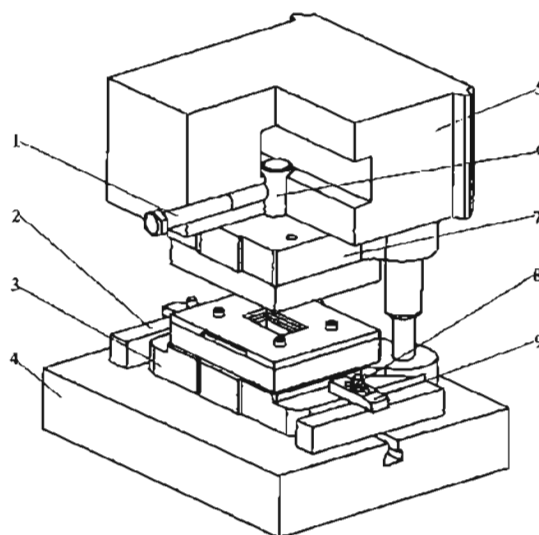


图 4-22 模具在压力机上的安装位置

- 1—压紧螺钉;2—垫块;3—下模板;4—压力机工作台面;  
5—滑块;6—模柄;7—上模板;8—螺钉;9—压板

如,对于冲裁模,让凸模进入凹模 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$ ,闭合高度调好后必须锁紧连杆锁紧装置。

#### 4. 冲裁模的基本结构

冲裁模的基本结构应满足冲裁模生产的要求,不仅在尺寸、形状上符合要求,还必须是制造方便,使用方便,具有一定的寿命,操作安全和成本低廉等。

冲裁模的形式很多,都是按不同的分类方法命名的。按工艺性质分,有落料模、冲孔模、切边模、切口模、切断模等;按工序组合分,有简单冲裁模、连续冲裁模、复合冲裁模等;按导向方式分,有导向模和无导向模(导板模、导柱模);按模具材料分,有金属模和非金属模。下面介绍几种简单冲裁模(单工序模):

(1) 敞开式冲模。如图4-23所示,毛料采用固定挡销定位,卸料工作由箍在凸模上的硬橡皮完成,无导向装置。其优点是:结构简单,制造成本低。但由于凸模的运动是依靠冲床滑轨导向,不易保证间隙的均匀,因此冲裁件的精度不高,模具安装不方便,生产效率低,工作部分也容易磨损。常用于小批量、精度要求又不高、外形较简单零件的冲裁。

(2) 导板式冲模。如图4-24所示,结构特点是:使用了导板,不仅能保证凸、凹模有均匀的间隙,在工作中不发生偏移,能提高冲裁件的质量,而且还可以起到卸料的作用。导板和凸模一般采用H7配合。这种模具的精度较高,使用寿命较长,安装容易,安全性能较好。

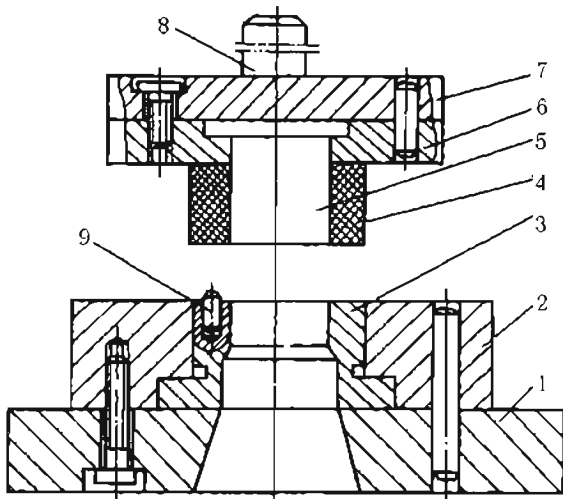


图 4-23 敞开式冲模

1—上模板;2—下模座;3—凹模;  
4—橡胶;5—凸模;6—上模座;  
7—上模板;8—模柄;9—固定挡销

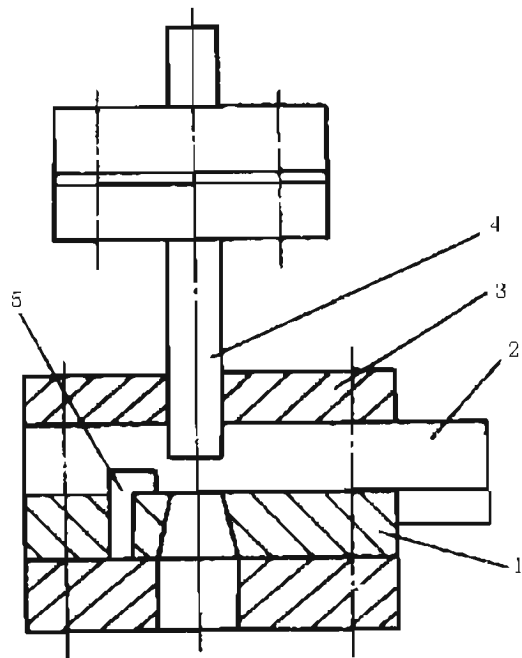


图 4-24 导板式冲模

1—凹模;2—导尺;3—导板;  
4—凸模;5—定位销

(3) 导柱式冲模。如图4-25所示,工作时由导柱与导套进行导向,故能很好地保证模具间隙的均匀,提高冲裁件的精度,减轻模具磨损,安装也比较方便。故只适用于生产批量较大、精度要求较高的零件。

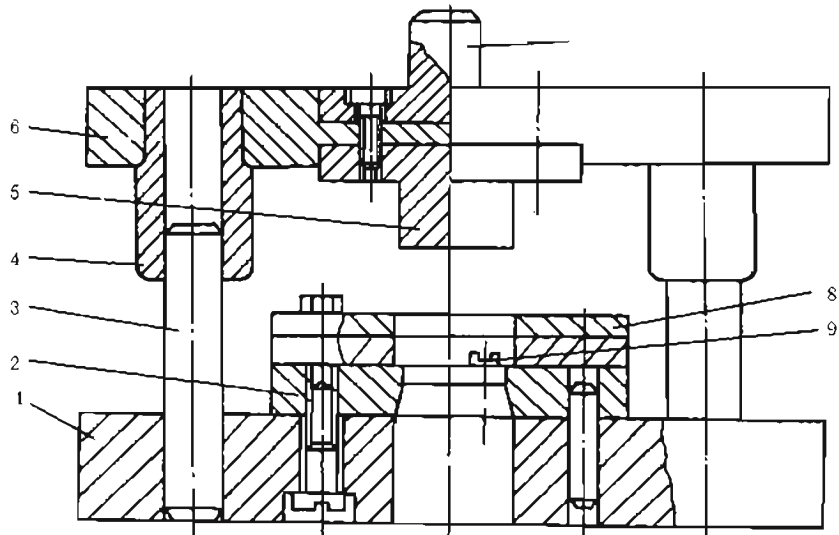


图 4-25 导柱式冲模

- 1—模座;2—凹模;3—导柱;4—导套;5—凸模;  
6—上模座;7—模柄;8—卸料板;9—定位销

上面仅介绍了三种较常用的简单冲裁模(单工序模)。如生产批量很大,为了提高生产效率,提高冲裁质量,还可以使用连续冲裁模或复合冲裁模等。

### 4.2.2 冲裁的变形

如图 4-26 所示为一简易冲裁模冲孔时的情况。它由模柄、凸模、凹模和下模座四个部分组成。凸模和凹模都具有锋利的刃口,凹模的内径按要求大于凸模的刃口,两者之间留有间隙。

#### 1. 冲裁的变形过程

在冲裁过程中,冲裁的变形过程是从凸模接触材料到材料被一分为二的过程,即板料的冲裁变形过程是在瞬间完成的。这个过程大致可分为三个阶段,如图 4-27 所示。

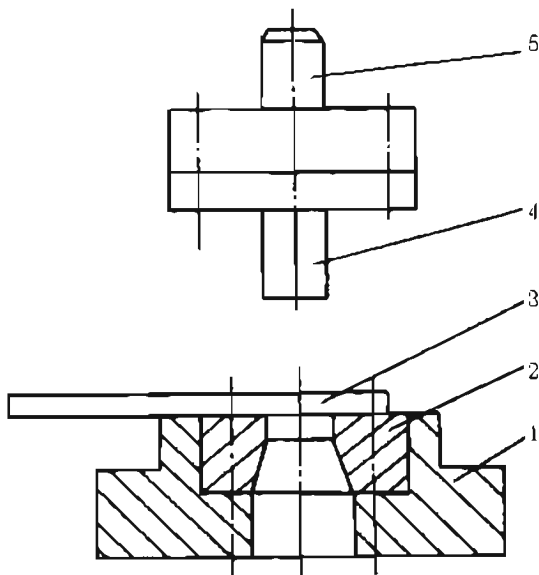


图 4-26 冲裁模冲孔

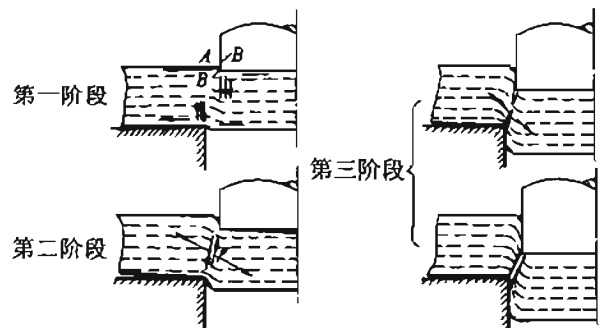


图 4-27 冲裁的变形过程



(1) 弹性变形阶段。冲裁开始,在凸模压力和弯矩的作用下,材料开始产生弹性压缩、弯曲、拉深和挤压等变形,材料稍有穹弯,与凸、凹模接触处形成很小的圆角,并微微挤入凹模洞口。随着凸、凹模刃口压入材料,刃口处的材料所受的应力逐渐增大,直至达到弹性极限。在这一阶段中,因材料内部的应力没有超过弹性极限,处在弹性变形状态。若使凸模回升,材料就可恢复原状。

(2) 塑性变形阶段。凸模继续下压,刃口处由于应力集中,材料应力首先达到屈服强度材料开始产生剪切变形,塑性变形便从刃口附近开始。随着凸、凹模切刃的挤入,材料变形抗力不断增加,变形拉力不断上升,直到在板料的整个厚度方向上产生塑性变形,变形区的一部分相对于另一部分移动。随着凸模下降,塑性变形进一步产生,同时硬化加剧,冲裁力不断增大,直到刃口附近的材料出现裂纹时,冲裁力达到最大值,塑性变形阶段告终。在该阶段,除产生大的剪切变形外,弯曲、拉深和挤压变形也很严重。间隙越大,弯曲和拉深越大,而挤压则小;反之,间隙越小,弯曲和拉深则越小,挤压变形则增大。

(3) 断裂分离阶段。当刃口附近材料达到材料破坏应力时,材料裂纹便产生了。裂纹的起点是在刃口侧面距刃尖很近的板料处,裂纹先从凹模一侧开始,然后才在凸模刃口侧面产生,已产生的上、下微小裂纹随凸模继续下压。在拉应力作用下,沿最大剪应力方向不断向板料的内部扩展。当间隙合理时,上、下裂纹相遇重合,板料便被剪断分离。

冲裁分离后零件的断面与零件的平面并非完全垂直,而是带有一定的锥度,如图4-28所示为冲裁断面特征。其冲裁断面特征由毛刺、断裂带、光亮带(剪切带)和塌角带(圆角带)四部分组成。这四部分在冲裁断面上所占的比例随材料的机械性能、料厚、刃口锐钝、模具结构及凸、凹模间隙等不同而变化。塑性差的材料,断裂倾向严重,断裂带增宽,光亮带、圆角带所占比例较小,毛刺也较小,塑性好的材料则相反。对于同一种材料这四部分的比例也随料厚、间隙、刃口锋利程度、模具结构以及零件轮廓形状的不同而变化。要想提高冲裁断面质量,可通过增加光亮的高度或采用整形工序实现。增加光亮高度的关键是通过延长塑性变形阶段,从而推迟裂纹的产生。

## 2. 冲裁间隙

冲裁间隙是指凸、凹模刃口的缝隙距离。凸、凹模工作部分的外形轮廓为封闭曲线。凹模孔口直径比凸模直径略大,即凸、凹模间存在间隙, $Z = D_d - d_s$ ,叫双向间隙, $Z/2$ 叫单向间隙,如图4-29所示。从冲裁过程分析中可知,凸、凹模间隙对冲裁断面质量有极重要的影响。此外,冲裁间隙对冲裁件尺寸公差、模具寿命、冲裁力、卸料力和推料力等也有很大影响。因此,冲裁间隙是一个非常重要的工艺参数。

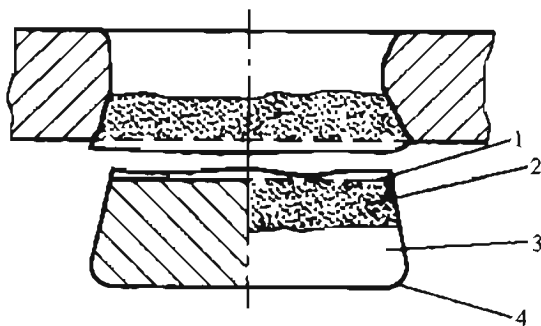


图 4-28 冲裁件的断面特征

1—毛刺;2—断裂带;3—光亮带;4—圆角带

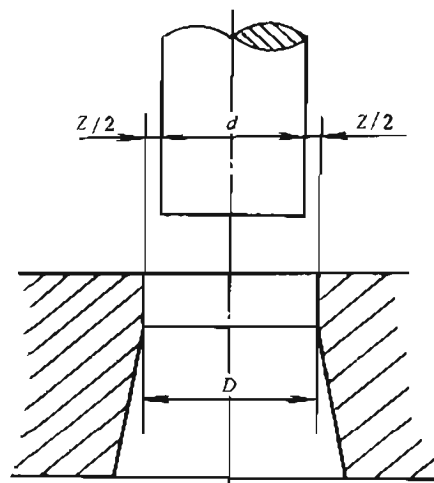


图 4-29 冲裁间隙

### 3. 合理冲裁间隙的确定

合理冲裁间隙就是在这—冲裁间隙下,冲裁件的断面质量较好,尺寸精度较高,模具寿命较长。但是对于同一间隙值,要想同时满足上述各方面的要求是不可能的。综合考虑上述各个因素的影响,可选择—个适当的间隙范围作为合理冲裁间隙,其上限为最大合理间隙  $Z_{max}$ ,下限为最小合理间隙  $Z_{min}$ ,考虑到模具在使用过程中的磨损会使间隙增大,故制造新模具时要采用  $Z_{min}$ 。

必须指出,不同的行业、不同的材料、不同的零件、不同的精度、不同的生产批量,其冲裁间隙的选取是不一样的,表 4-1 和表 4-2 供设计时参考。

表 4-1 冲裁间隙(双面)(较高精度)

mm

材料厚度 $t$	T845、1Cr18Ni19		A2、A3、 35CrMoQSnP10-1、 D11		08F、10、15、H62、 T1、T2、T3		L2、L3、L4、L5		红纸板、胶板、 胶布板		纸、皮革、 云母纸	
	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$
0.35	0.03	0.05	0.02	0.05	0.01	0.03	-	-	-	-	-	-
0.5	0.04	0.08	0.07	0.07	0.02	0.04	0.02	0.03	0.01	0.02	0.005	0.015
0.8	0.09	0.12	0.10	0.10	0.04	0.07	0.025	0.045	0.015	0.035	0.005	0.015
1.0	0.11	0.15	0.08	0.12	0.05	0.08	0.04	0.06	0.02	0.04	0.10	0.02
1.2	0.14	0.18	0.10	0.14	0.07	0.10	0.05	0.07	0.03	0.06	0.015	0.03
1.5	0.19	0.23	0.13	0.17	0.08	0.12	0.06	0.10	0.04	0.07	0.015	0.035
1.8	0.23	0.27	0.17	0.22	0.12	0.16	0.07	0.11	0.05	0.09	0.02	0.04
2.0	0.28	0.32	0.20	0.24	0.13	0.18	0.08	0.12	0.06	0.10	0.025	0.045
2.5	0.37	0.43	0.25	0.31	0.16	0.22	0.11	0.17	0.08	0.12	0.03	0.05
3.0	0.48	0.54	0.33	0.39	0.21	0.27	0.14	0.20	0.10	0.14	0.04	0.06

表 4-2 冲裁间隙(双面)(较低精度)

mm

材料厚度 $t$	08、10、35、09Mn、 A3、B3		16Mn		40、50		65Mn	
	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$	$Z_{min}$	$Z_{max}$
< 0.5	无间隙							
0.5	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060
0.6	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072
0.7	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092
0.8	0.072	0.104	0.072	0.102	0.072	0.104	0.064	0.092
0.9	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126
1.0	0.100	0.140	0.100	0.140	0.100	0.140	0.090	0.126
1.2	0.126	0.180	0.132	0.180	0.132	0.180		
1.5	0.132	0.240	0.170	0.240	0.170	0.230		
1.75	0.220	0.320	0.220	0.320	0.220	0.320		
2.0	0.246	0.360	0.260	0.380	0.260	0.380		
2.1	0.260	0.380	0.280	0.400	0.280	0.400		
2.5	0.360	0.500	0.380	0.540	0.380	0.510		
2.75	0.400	0.560	0.420	0.600	0.420	0.600		
3.0	0.460	0.640	0.480	0.660	0.480	0.660		

### 4.2.3 冲裁模刃口尺寸计算

#### 1. 刃口尺寸计算原则

- (1) 落料以凹模为基准,冲孔以凸模为基准。
- (2) 考虑模具的磨损大小和方向,并用磨损系数  $X$  控制。
- (3) 模具的制造精度比制件的精度至少要高 2 ~ 3 级。

#### 2. 分开加工必须满足的条件

冲裁模的凸、凹模的加工方法有两种:一种是分开加工;另一种是配合加工。由于配合加工精度较低,故生产中一般都采用分开加工。采用分开加工必须满足下列条件:

$$\delta_{\text{凸}} + \delta_{\text{凹}} \leq Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}$$

式中,  $\delta_{\text{凸}}$  为凸模制造公差;  $\delta_{\text{凹}}$  为凹模制造公差;  $Z_{\text{max}}$  为最大冲裁间隙;  $Z_{\text{min}}$  为最小冲裁间隙。

根据此条件,可以方便地确定凸、凹模的制造公差,即

$$\delta_{\text{凸}} = \delta_{\text{凹}} = 0.5(Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}})$$

#### 3. 落料件凸、凹模刃口尺寸计算

如图 4-30 所示的零件,其所有尺寸可以分为三种:一种是轴类尺寸  $A_{-\Delta}$ ;一种是孔类尺寸  $B^{+\Delta}$ , 一种是非轴非孔尺寸  $C \pm \Delta$ 。

对于轴类尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式为

$$A_{\text{凹}} = (A - X\Delta)^{+\delta_{\text{凹}}}$$

$$A_{\text{凸}} = (A - X\Delta - Z_{\text{min}})_{-\delta_{\text{凸}}}$$

对于孔类尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式为

$$B_{\text{凸}} = (B + X\Delta)_{-\delta_{\text{凸}}}$$

$$B_{\text{凹}} = (B + X\Delta + Z_{\text{min}})^{+\delta_{\text{凹}}}$$

对于非轴非孔尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式为

$$C_{\text{凹}} = C_{\text{凸}} = C \pm \delta_{\text{凹}}$$

式中,  $A_{\text{凹}}$ 、 $B_{\text{凹}}$ 、 $C_{\text{凹}}$  为凹模刃口尺寸;  $A_{\text{凸}}$ 、 $B_{\text{凸}}$ 、 $C_{\text{凸}}$  为凸模刃口尺寸;  $\Delta$  为制件的公差;  $X$  为磨损系数,取 0.5 ~ 1;  $Z_{\text{min}}$  为最小冲裁间隙,查表 4-1 或表 4-2;  $\delta_{\text{凸}}$ 、 $\delta_{\text{凹}}$  为凸、凹模制造公差。

#### 4. 冲孔件凸、凹模刃口尺寸计算

冲孔是以凸模为基准,所以对于轴类尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式为

$$A_{\text{凸}} = (A - X\Delta)^{+\delta_{\text{凸}}}$$

$$A_{\text{凹}} = (A - X\Delta - Z_{\text{min}})_{-\delta_{\text{凹}}}$$

对于孔类尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式为

$$B_{\text{凸}} = (B + X\Delta)_{-\delta_{\text{凸}}}$$

$$B_{\text{凹}} = (B + X\Delta + Z_{\text{min}})^{+\delta_{\text{凹}}}$$

对于非轴非孔尺寸,其凸、凹模刃口尺寸计算公式与落料的公式完全一样。

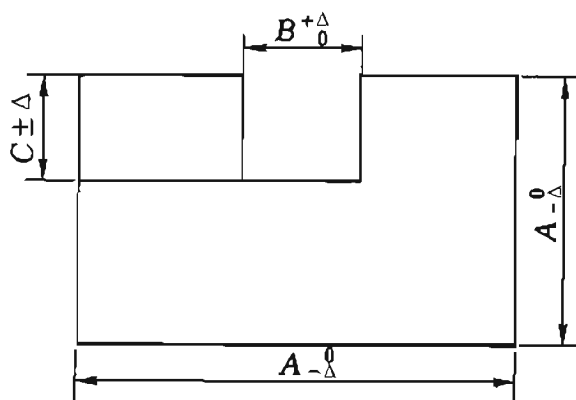


图 4-30 落料件凸、凹模刃口尺寸计算

### 5. 半尺寸凸、凹模刃口尺寸计算

如图 4-31 所示,零件磨损后  $a$  尺寸两边的位置都发生了变化,即尺寸变小,而尺寸  $b$  则不同,中心线的位置不变,即尺寸单边变小,把这种单边发生磨损的尺寸称为半尺寸。如果磨损后尺寸变小,称为轴类半尺寸;如果磨损后尺寸变大,称为孔类半尺寸。

半尺寸凸、凹模刃口尺寸计算方法与全尺寸相同,只是把冲裁间隙和模具的制造公差减半选取即可。

如图 4-32 所示的零件,材料为 10 钢,  $t = 1$ , 采用分开加工的方法,试确定凸、凹模刃口尺寸及公差。

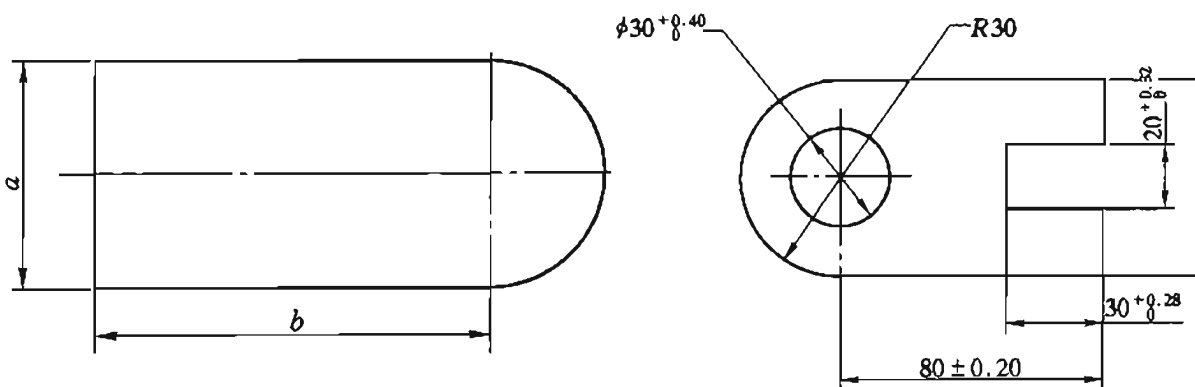


图 4-31 半尺寸凸、凹模刃口尺寸计算

图 4-32 刃口尺寸计算例题

考虑到大批量生产及模具寿命,采用较大的冲裁间隙,故查表 4-2 得  $Z_{\max} = 0.14$ 、 $Z_{\min} = 0.10$ , 则凸、凹模制造公差取为  $\delta_{\pm} = \delta_{\mp} = 0.5(Z_{\max} - Z_{\min}) = 0.02$ , 取磨损系数为  $X = 0.75$ 。

(1)  $60_{-0.36}$  为落料轴类尺寸:

$$A_{\mp} = (A - X\Delta)^{+\delta_{\mp}} = (60 - 0.75 \times 0.36)^{+0.02} = 59.73^{+0.02}$$

$$A_{\pm} = (A - X\Delta - Z_{\min})_{-\delta_{\pm}} = (59.73 - 0.10)_{-0.02} = 59.63_{-0.02}$$

(2)  $20^{+0.32}$  为落料孔类尺寸:

$$B_{\mp} = (B + X\Delta)_{-\delta_{\mp}} = (20 - 0.75 \times 0.32)_{-0.02} = 20.24_{-0.02}$$

$$B_{\pm} = (B + X\Delta + Z_{\min})^{+\delta_{\pm}} = (20.24 + 0.10)^{+0.02} = 20.34^{+0.02}$$

(3)  $30^{+0.28}$  为落料非轴非孔尺寸,必须化为  $30.14 \pm 0.14$ :

$$C_{\mp} = C_{\pm} = C \pm \delta_{\mp} = 30.14 \pm 0.01$$

(4)  $80 \pm 0.20$  为落料轴类半尺寸,必须化为  $80.2_{-0.40}$ :

$$A_{\mp} = (A - X\Delta)^{+\delta_{\mp}/2} = (80.2 - 0.75 \times 0.4)^{+0.01} = 79.9^{+0.01}$$

$$A_{\pm} = (A - X\Delta - Z_{\min}/2)^{+\delta_{\pm}/2} = (79.9 - 0.05)_{-0.01} = 79.85_{-0.01}$$

(5)  $30^{+0.40}$  为冲孔孔类尺寸:

$$B_{\pm} = (B + X\Delta)_{-\delta_{\pm}} = (30 - 0.75 \times 0.4)_{-0.02} = 30.3_{-0.02}$$

$$B_{\mp} = (B + X\Delta + Z_{\min})^{+\delta_{\mp}} = (30.3 + 0.10)^{+0.02} = 30.4^{+0.02}$$

#### 4.2.4 冲裁力、卸料力、推件力和顶件力

为了合理选用冲压设备和正确设计模具,必须要正确计算冲裁过程中的各种外力。冲裁时,冲裁设备必须要克服冲裁工序的各种抗力,如冲裁力、卸料力、推件力和顶件力等,才能保证冲裁成

功。计算这些外力的目的主要是合理选择冲床的公称压力,不使机床超载而破坏,提高使用寿命和效率。

### 1. 冲裁力

冲裁力是指冲裁时,材料对凸模的最大抗力。它是选用冲裁设备和检验冲模强度的重要依据,其大小主要与材质、厚度、零件的周边长度有关。

用平刃冲模冲裁时,可按下式计算:

$$F_{\text{冲}} = kLt\tau$$

式中, $F_{\text{冲}}$ 为冲裁力; $L$ 为冲裁件周长(mm); $t$ 为零件厚度(mm); $\tau$ 为材料的抗剪强度(Pa); $k$ 为系数,一般 $k$ 取1.3。

### 2. 卸料力、推件力和顶件力

当冲裁工作结束时,由于冲裁中材料的弹性变形及摩擦仍继续存在,冲孔部分的板料紧箍在凸模上(落料部分的材料卡在凹模洞口中),为继续下一步的工作,必须将它们从凸(凹)模上卸(推)掉。我们把从凸模上卸下材料所需的力,称为卸料力;将卡在凹模中的材料从冲裁力的反方向顶出所需的力,称为顶件力,如图4-33所示。卸料力、推件力和顶件力是从冲床和卸料装置或顶件器中获得的。但影响这三个力的因素有许多,如材质、模具间隙、零件形状、尺寸和厚度、模具结构润滑情况及搭边大小等。在实际生产中,常按经验公式计算。

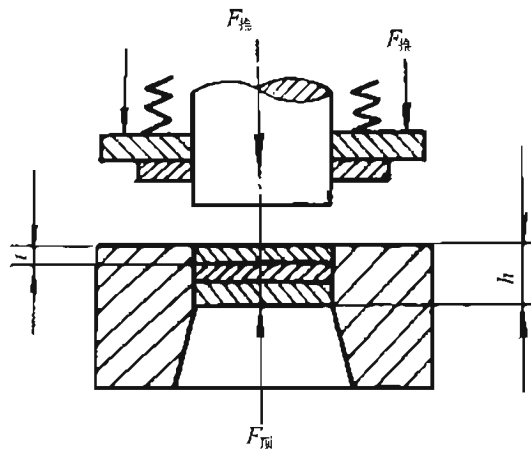


图4-33 卸料力、推件力和顶件力

$$F_{\text{卸}} = K_{\text{卸}} F_{\text{冲}}$$

$$F_{\text{推}} = nK_{\text{推}} F_{\text{冲}}$$

$$F_{\text{顶}} = K_{\text{顶}} F_{\text{冲}}$$

式中, $F_{\text{冲}}$ 为冲裁力; $K_{\text{卸}}$ 为卸料力系数,取0.02~0.06; $K_{\text{推}}$ 为推件力系数,取0.03~0.07; $K_{\text{顶}}$ 为顶件力系数,取0.04~0.08; $n$ 为同时卡塞在凹模刃口内的冲压件或废料件数,一般情况下, $n = h/t$ , $h$ 为凹模刃口的高度, $t$ 是材料的厚度。

## 4.2.5 冲裁件的排样

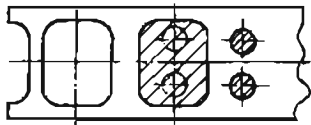
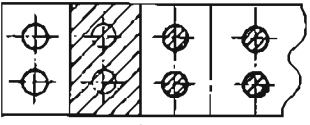
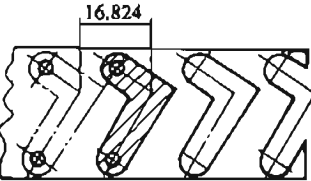
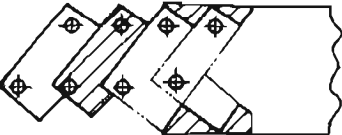
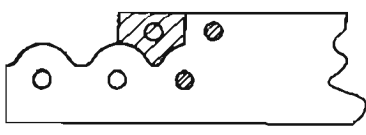
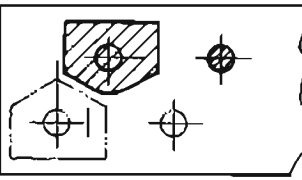
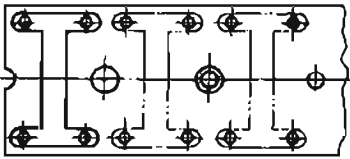
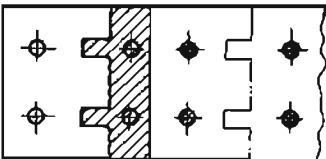
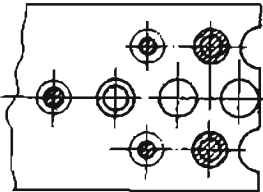
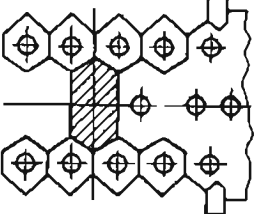
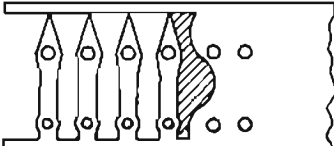
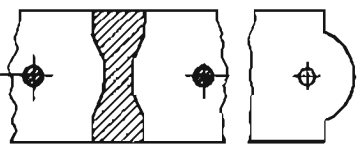
### 1. 排样方法

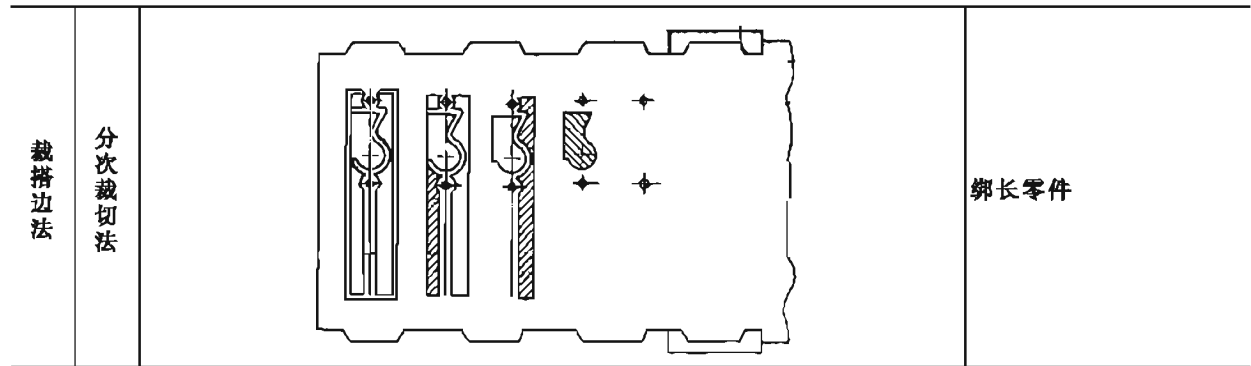
展开料在板料上的布置方案叫排样,排样的目的在于减少材料损耗,降低生产成本。排样可以

采用单行排或多行排;可以采用有废料排或少、无废料排;可以采用直排或斜排。不同的排样方法,其材料利用率不同,因此生产中必须合理排样,降低材料消耗,提高材料利用率。

在排样时,除了注意提高材料利用率外,还应考虑到板料的纤维方向是否符合下道工序的要求,以及操作是否方便等因素。冲裁排样形式分类如表 4-3 所示。

表 4-3 冲裁排样形式分类示例

排样形式	有废料排样	少、无废料排样	适用范围
直排			方、矩形零件
斜排			椭圆形、T形、Γ形、S形零件
直对排			梯形、三角形、半圆形、T形、I形、Π形零件
混合排			材料与厚度相同的两种以上的零件
多行排			大批生产中尺寸不大的圆形六角形、方形、矩形零件
裁搭边法			细长零件



2. 搭边

排样时制件与制件之间及制件与条料侧边之间留下的余料称为搭边。搭边的作用是补偿定位误差,保证冲出合格的制件。搭边还可以使冲裁后的条料具有一定的刚度,便于条料送进。搭边过大,浪费材料;搭边过小,冲裁时容易被拉入凸、凹模间隙中,损坏模具。搭边值一般由经验确定,可取 $(2 \sim 3)t$ 。

### 4.3 其他裁料方法简介

在前面已经提到,裁料的方法很多,除了已叙述的剪裁和冲裁外,从裁料的整体工艺性出发,下面简单介绍其他几种裁料的方法。

#### 4.3.1 铣切下料

铣切下料是在铣床上进行的,利用高速旋转的铣刀对层叠的板料进行铣切。铣刀是一种多刃刀具,同时参加切削的刃多且长,切削时无空行程,故切削速度快,效率高。主要用于较厚的钢板、型材和层叠的板料等。

铣切过程如图 4-34 所示,把板料 5 和铣切样板 4 用弓形夹 3 夹紧,形成“料夹”。当铣刀 1 高速转动后,推动料夹,靠弓形夹底座在台面 6 上移动,使铣切样板紧靠靠柱 2 移动,板料则被铣刀铣切。因铣刀直径和靠柱直径相等,所以铣出的零件外形与铣切样板相同。

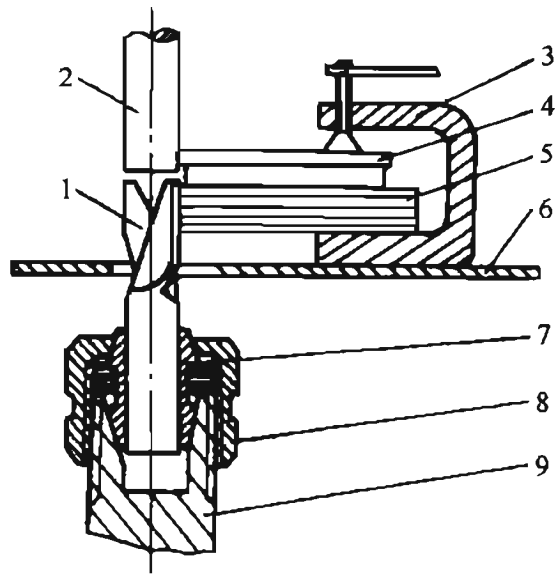


图 4-34 铣切过程

1—铣刀;2—靠柱;3—弓形夹;4—铣切样板;  
5—板料;6—台面;7—夹头;8—紧固螺母

#### 4.3.2 气割

气割是常用的切割方法之一,气割不但可以切割任意厚度的钢材,而且设备简单,费用经济,生产率高,使用灵活,所以气割得到了广泛的应用。

气割是利用氧气和可燃气体混合而产生预热火焰,将金属预热到燃烧温度(燃点),然后用高纯度、高速度的氧气流喷射已预热的金属上,于是金属开始燃烧并产生大量的热量,所产生的液态熔渣被高速氧气流吹走;这样上层金属氧化时产生的热量传给下层金属,下层金属也预热到燃点并

燃烧,使气割由割件表面深入到整个厚度,直至将金属割穿。随着割嘴的移动,气割过程连续不断地进行,形成切口,割出了所需要的形状。

气割用的气体包括助燃气体和可燃气体。助燃气体是氧气;可燃气体有乙炔气、液化石油气及天然气等,其中乙炔气是应用最广泛的气体。

按操作方式可分为手工气割和机械气割。手工气割的设备和工具有氧气钢瓶、乙炔钢瓶、减压器、回火保险器、胶管和割炬等。如图 4-35 所示为手工气割时的设备示意图。氧气瓶和乙炔瓶分别输出高压氧气、乙炔气,用减压器减压,降低到工作压力的氧气、乙炔气,通过橡胶管输送到割炬进行切割工作。



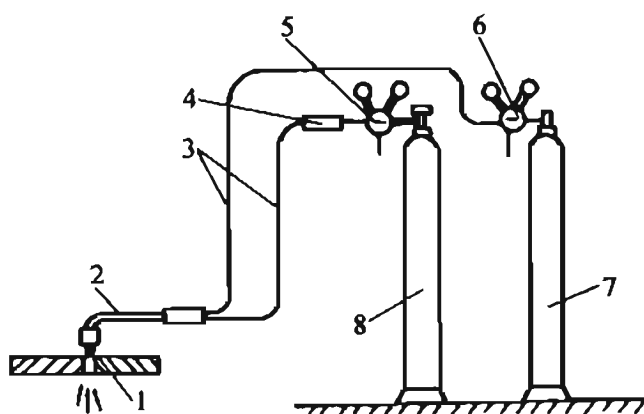


图 4-35 手工气割设备示意图

1—工件;2—割炬;3—胶管;4—回火保险器  
5—乙炔减压器;6—氧气减压器;7—氧气瓶;8—乙炔瓶

### 4.3.3 砂轮切割

砂轮切割是利用砂轮片高速旋转与工件摩擦产生热量使之熔化而形成割缝。砂轮切割简捷,效率高,操作简便,因而广泛应用于切割角钢、槽钢、扁钢、钢管等型材,尤其适用于切割不锈钢、轴承钢等各种合金钢。

图 4-36 所示为应用广泛的可移动式砂轮切割机,它由切割动力头 4、可转夹钳 1、中心调整机构 3 和底座 2 等组成。通常使用的砂轮片直径为 300 ~ 400 mm,厚度为 3 mm,砂轮转速达 2 900 r/min,切割线速度 60 m/s。为防止砂轮破裂,采用有纤维的增强砂轮片。整个动力头和砂轮中心可根据切割需要进行调节和旋转,其旋转可通过手柄实现,手柄上还装有开关,用以控制电动机的运行。

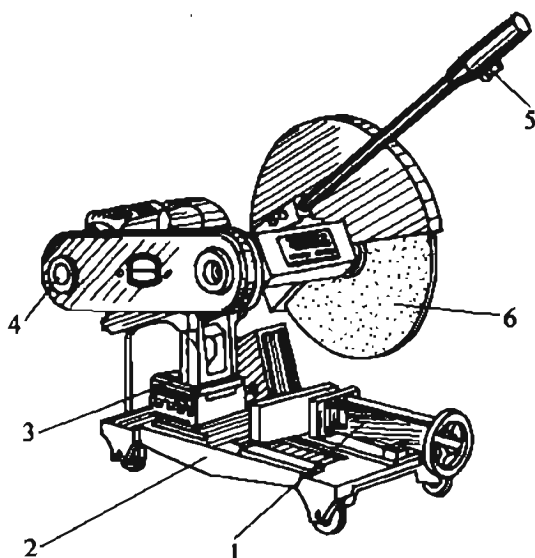


图 4-36 可移动式砂轮切割机

1—可转夹钳;2—底座;3—中心调整机构  
4—切割动力头;5—开关;6—砂轮

可转夹钳根据切割需要,可调节其与砂轮主轴的夹角( $0^{\circ}$  ~  $45^{\circ}$ ),调整时,只要松开内六角螺

钉,拔出定位销,钳口就能以支点螺钉为圆心旋转到所需要的角度。在底座下装有四个滚轮,这样整个砂轮切割机便可移动。

切割时将型材装在可转夹钳上,并夹紧,打开手柄上的开关,驱动电动机,通过带传动,砂轮片做高速旋转,待砂轮转速达到稳定时,操纵手柄进行切割。开始切割时,由于砂轮与型材处在磨削状态,其摩擦热的温度还未达到材料的熔点,这时用力不能过猛,否则极易造成砂轮崩裂;待其温度到达熔点后,再均匀进给便可完成切割。

### 复 习 题

1. 为什么剪床上的刀刃一般都做成斜刃口?
2. 剪裁过程可分为哪三个阶段?
3. 为什么剪床一般都设有压料装置?
4. 什么叫冲裁?它和剪裁有哪些相同和不同之处?
5. 影响冲裁件质量的因素有哪些?哪一个因素最为重要?
6. 如图 4-37 所示的零件,材料为 Q235A 钢板,厚度为 3 mm。
  - (1) 计算冲模刃口部分的尺寸及公差。
  - (2) 确定冲床的吨位。
7. 选择裁料方法一般应根据哪些原则?
8. 怎样调整砂轮切割机的可转夹钳?

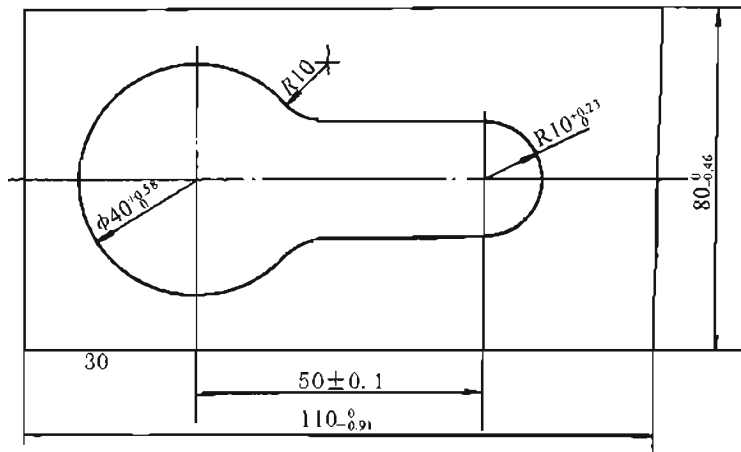


图 4-37

# 第5章 成形工艺

## 5.1 概 述

成形就是将坯料加工成一定形状零件的工艺。本章主要讨论板料的成形。按成形所用的工具、设备,分机械成形与手工成形;按成形时坯料的温度,分冷加工和热加工两种。

成形过程中坯料的变形性质,决定该零件的成形方式。典型的成形方式可归纳为五类,如表5-1所示。

表 5-1 成形工艺的分类

类 别	图 例	特 点
弯 曲		在弯矩作用下,改变坯料的曲率半径和角度,有压弯、挠弯、滚弯和拉弯
翻 边		空心件侧壁由坯料上原始孔产生局向拉薄并沿轴向延伸而得
胀 形		$D_0$ 不变,变形区由坯料双向胀形,厚度变薄,成形出空心件
拉 深		空心件侧壁由坯料局向压缩并沿径向延伸而得
组 合 成 形	<p><math>l_d</math>:拉深区 <math>l_f</math>:翻边区</p>	在一个零件上存在两种或两种以上类别的成形区

严格地说,实际零件的成形几乎都是复合成形。如图5-1所示的零件,设 $A = \frac{D_0}{d_p}$ ,  $B = \frac{d_0}{d_p}$ ,其成形方式取决于 $A$ 和 $B$ 的相对大小。若 $A$ 很大、 $B$ 很小,为拉胀; $A$ 、 $B$ 都很大,则为翻边; $A$ 、 $B$ 都很小,则为拉深。一般情况下,将为三者的综合。

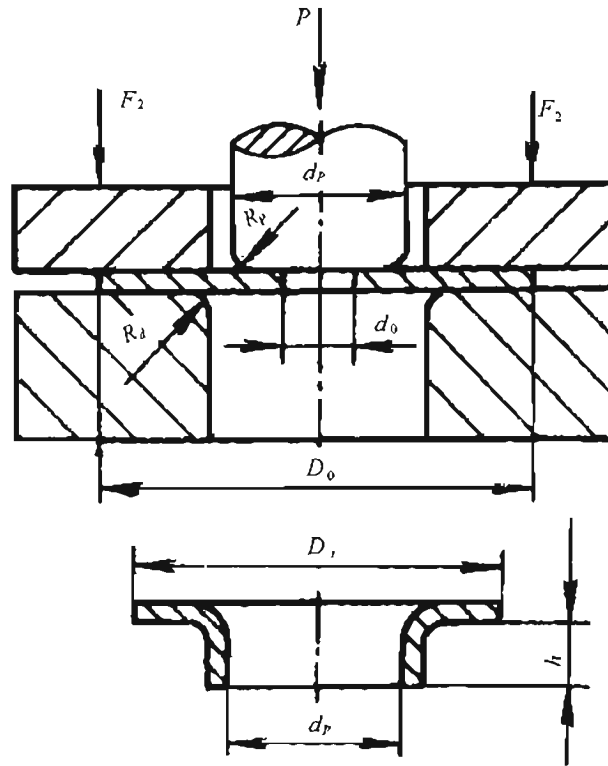


图 5-1 成形分析

成形过程就是坯料在外力的作用下产生一定量的塑性变形过程。要实现某种成形,就要研究外力作用方式和变形体内应力分布状态间的规律,以及变形体内应力分布状态和塑性应变的关系。前者决定钣金成形机械的工艺参数、模具结构等,后者决定成形的可能性和成形的制约条件等。

## 5.2 弯曲成形

### 5.2.1 弯曲变形

#### 1. 弯曲变形过程

金属板料V形和U形的弯曲过程是最基本的弯曲变形。在弯矩的作用下,板条将发生弯曲半径和角度的变化,板料在弯曲过程中受力情况如图5-2所示。

弯曲开始时,模具的凸、凹模与板料在 $A$ 、 $B$ 处相接触,凸模在 $A$ 处所施加的外力为 $P$ (V形弯曲为 $2P$ ),凹模面上的 $B$ 点处产生反力与此外力构成弯曲力矩 $M = P \times L$ 。在此弯曲力矩的作用下,板料产生塑性变形。在弯曲过程中,如图5-3(a)所示,弯曲过程随着凸模逐渐进入凹模板料,在凹模上的支撑点 $B$ 将逐渐向模具中心移动,即力臂逐渐变小,由 $l_0$ 变为 $l_1 \cdots l_n$ 。同时,弯曲件的弯曲圆角

半径也逐渐减小,由 $r_0$ 变为 $r_1 \cdots r_n$ ,如图5-3(b)所示。当弯曲到一定程度时,板料与凸模三点接触,如图5-3(c)所示。这以后凸模便把板料的直边,向与以前相反的方向压向凹模。最后,当凸模在最低位置时,板料的角部及直边均受到凸模的压力,弯曲件的圆角半径和夹角完全与凸模相吻合,如图5-3(d)所示,弯曲过程便可结束。

弯曲开始后,板料首先经过弹性弯曲,然后进入塑性弯曲。在图5-3(c)之前,板料都向一个方向(凸模方向)弯曲,这种弯曲形式称为自由弯曲。在此弯曲状态下,板料与模具基本贴合,但没有受到凸模的碾压作用,弯曲件的圆角半径和角度受凸模下降距离影响而有较大的波动。当板料直边反向向凹模方向变形,到达图5-3(d)位置时,板料受到凸模的碾压作用,因此板料的直边、圆角都与模具的相应部分完全贴合,这种弯曲称为校正弯曲。它是在金属板料与模具基本贴合后,还要对板料施加压力的弯曲。

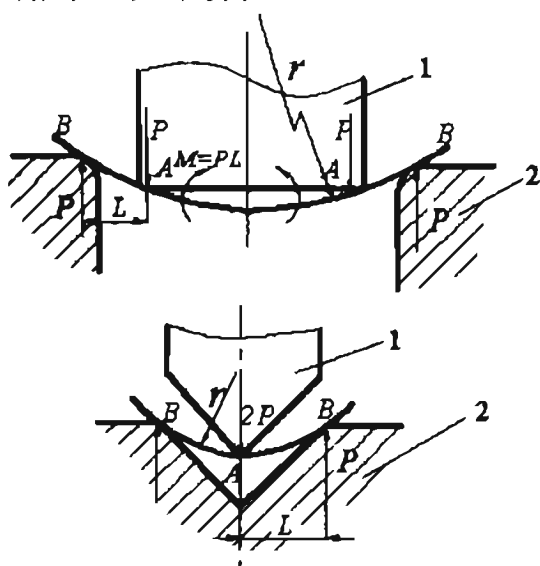


图5-2 板料弯曲受力状况图

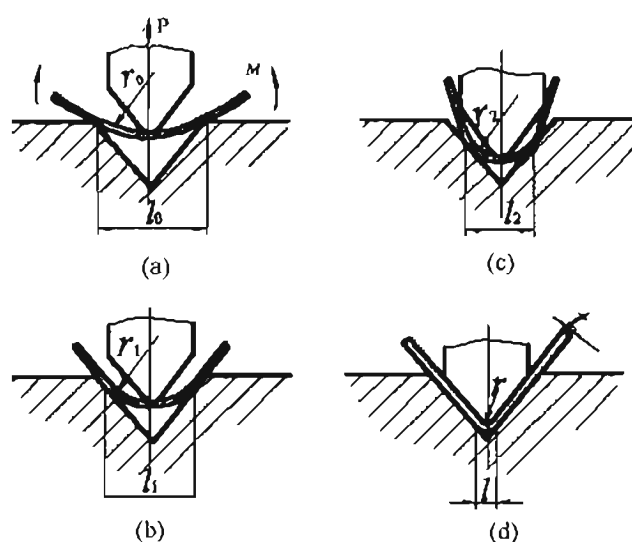


图5-3 弯曲过程

1—凸模;2—凹模

## 2. 弯曲半径

为了描述弯曲过程中变形量的大小,常用最小相对弯曲半径 $r/t$ 表示。其中, $r$ 为弯曲材料内侧表面(靠近凸模处)的曲率半径; $t$ 为板料厚度。相对弯曲半径 $r/t$ 愈小,弯曲的变形程度愈大,使毛坯外层纤维发生破坏性愈大,容易被弯裂。弯曲过程中,在板料厚度为定值时,弯曲变形主要取决于弯曲件的弯曲半径,相对弯曲半径 $r/t$ 的值一般小于3~5。

## 3. 曲件回弹

塑性弯曲和任何一种塑性变形过程一样,都伴随着弹性变形。外加弯矩卸去以后,板料产生弹性恢复,消除一部分弯曲变形的效果,使弯曲件的形状和尺寸发生与加载时变形方向相反的变化,这种现象称为回弹。回弹使工件形状、尺寸与模具的形状、尺寸不一致,从而降低弯曲件的质量。

影响弯曲件回弹值大小的因素很多,如材料的力学性能、相对弯曲半径、弯曲角度等,它们对弯曲工艺的实施影响很大,并且与模具结构相关。因此,它们是弯曲工艺和弯曲模具设计中一个非常重要的问题。

## 5.2.2 弯曲模

### 1. 弯曲模的分类

弯曲模的结构形式很多,分类方法也较多。通常按弯曲件形状,分为V形件、U形件、Z形件、圆形状弯曲模;按弯曲角度多少,分为单角弯曲模、双角弯曲模、四角弯曲模等形式;按组合形式,分为单工序弯曲模、多工序弯曲模;按结构复杂程度,又分为简单弯曲模、复杂弯曲模形式。

### 2. 弯曲模的典型结构

(1)V形件弯曲模。V形件弯曲模也是单角弯曲模,大部分没有模架。如图5-4所示为通用V形件弯曲模。该模具由凸模1、顶杆2、定位板3、凹模4等组成。工作时,毛坯放在定位板3上,在凸模1的作用下,毛坯沿着凹模4圆角滑动,同时顶杆2向下运动,并压在弹簧上直至毛坯弯曲成形。

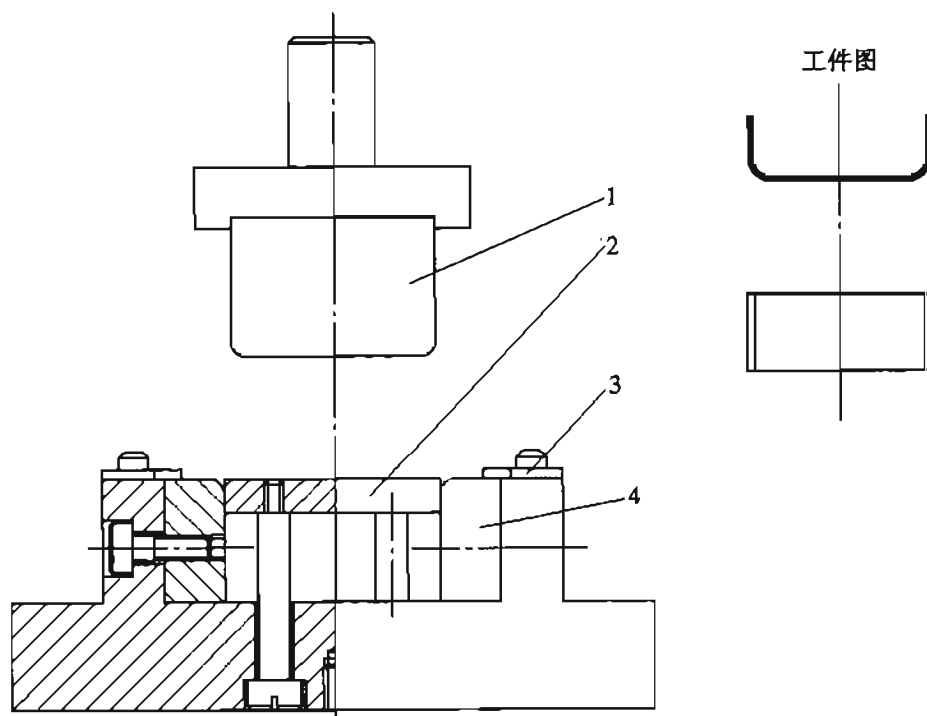


图 5-4 V形件弯曲模

1—凸模;2—顶板;3—定位板;4—凹模

该模具结构简单,制造容易,对于板料厚度偏差要求不严。定位板3可以根据零件的尺寸大小而调节;凹模4有四种不同的弯曲角度,可以弯曲成不同角度的V形件。在弯曲终了时,可以得到不同程度的校正,但该模具生产效率低,适用批量较小的弯曲件生产。

(2)U形件弯曲模。U形件弯曲模也称双角模,如图5-5所示列出的是几种不同结构形式U形件弯曲模。每种结构形式都有自己的特点与用途。

图5-5(a)为无顶件块结构形式,主要用于底面无平面度要求的零件。该模具结构简单,制造容易,但弯曲件精度较低。图5-5(b)为弯曲终了时底部能得到校正的结构形式,弯曲件精度比图5-5(a)精度高。图5-5(c)为凸模分体活动式结构形式。凸模尺寸可以根据板料厚度进行调整,也可以校正底部及两个侧壁。

该模具结构较复杂,制造相对费时,成本较高,凸模的强度受到一定的影响,主要用于外侧尺寸要求较高的零件。图 5-5(d) 为凹模分体活动式结构形式。该模具主要是应用于内侧尺寸要求较高的零件。零件精度较高,底部和侧壁都能得到校正。同样,凹模的强度不如整体式好,其他同上。图 5-5(e) 是 U 形件精弯曲模,弯曲件质量、精度都很高。原因就是由于凹模为活动式的,活动凹模与板料之间无相对滑动,不会损坏零件表面,所以弯曲件质量高。图 5-5(f) 为变薄弯曲模,凸、凹模间隙比板料厚度小,材料被弯曲的同时,还要受到挤压,所以弯曲力不仅会增大,也容易使零件表面划伤,甚至断裂。模具需要有足够的强度。

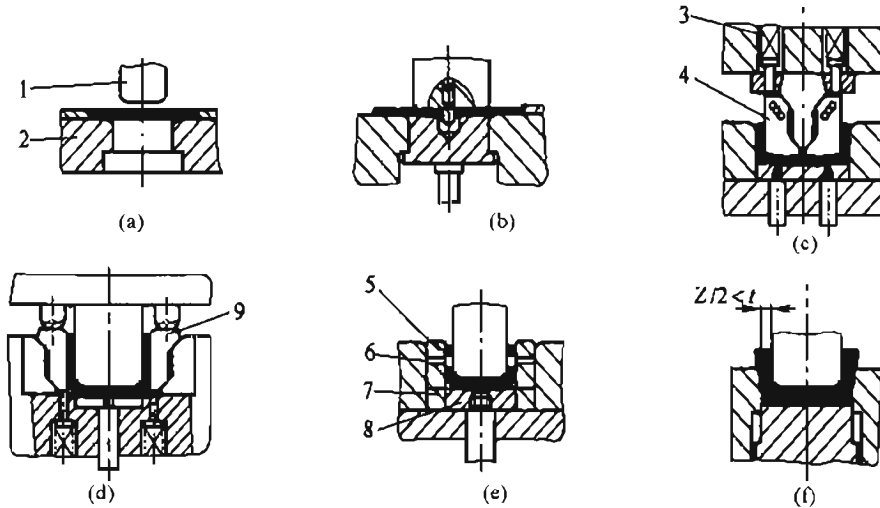


图 5-5 U 形件弯曲模

1—凸模;2—凹模;3—弹簧;4—凸模活动镶块;  
5、9—凹模活动镶块;6—定位销;7—转轴;8—顶板

(3) Z 形件弯曲模,具体结构如图 5-6 所示。

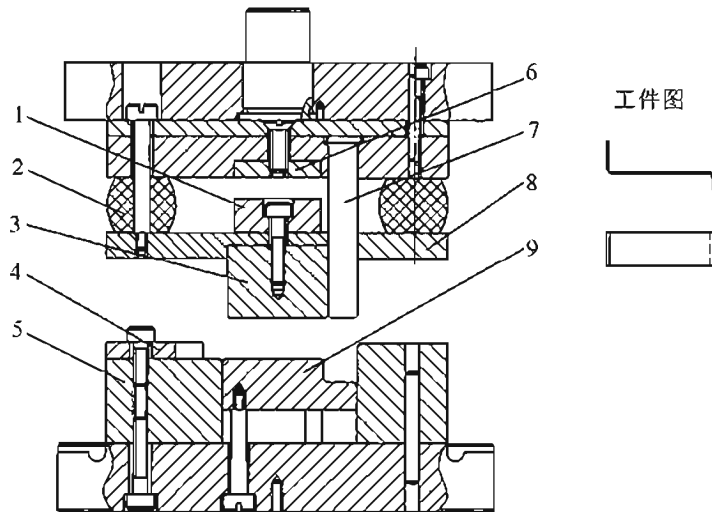


图 5-6 Z 形件弯曲模

1—压块;2—橡胶;3—凸模 II;4—定位板;5—凹模;  
6—镶块;7—凸模 I;8—托板;9—顶块

此类弯曲件的两个直边的弯曲方向相反,模具结构必须有向两个相反方向弯曲的动作。这种模具结构复杂,制造相对困难,成本也就较高。但只要结构合理,安排工序得当,就会得到很好的综合效益,弯曲前,在橡胶2作用下,凸模3、凸模7的端面是平齐的。弯曲时,凸模3下行,和板料接触,凸模3与顶块9将板料毛坯夹紧。由于下模板下的弹顶装置的弹力大于托板8上橡胶的弹力,随着上模下行,凸模7相对于凸模3发生相对运动,使工件右端先弯曲成形。当压块1接触到凸模固定板中的镶块6时,整个上模部分将推动顶块9向下运动,从而使工件左端弯曲成形。当顶块与下模板相碰时,整个工件得到校正。所以,该模具适用于弯曲件形状简单、精度较低的零件弯曲。

(4) 复合弯曲模。如图5-7所示为复合弯曲模。它在一次冲程中完成打孔、裁料及U形弯曲。设计时,要保证合力作用线与模柄轴线重合。

(5) 闭角弯曲模。因工件弯曲角度小于 $90^\circ$ ,故称为闭角弯曲模,属于复杂模具类,模具结构如图5-8所示。弯曲后的工件,从垂直于图面的方向在凸模上抽出。

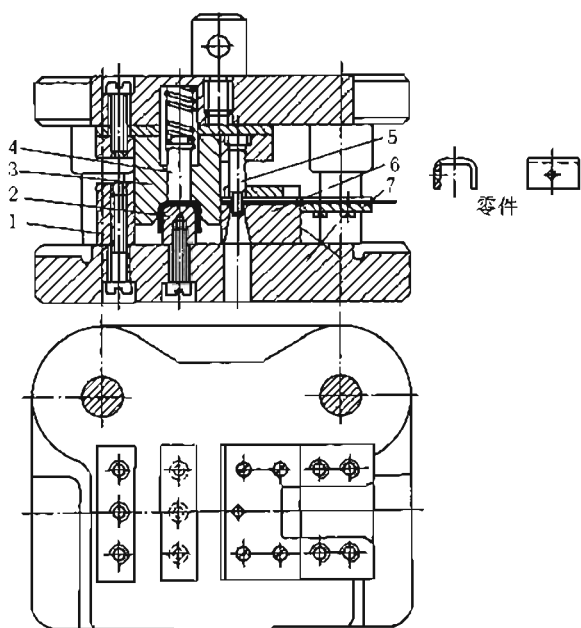


图 5-7 复合弯曲模

1—挡块;2—弯曲凸模;3—弯曲凹模;4—顶件销;  
5—冲孔凸模;6—冲孔凹模;7—托料板

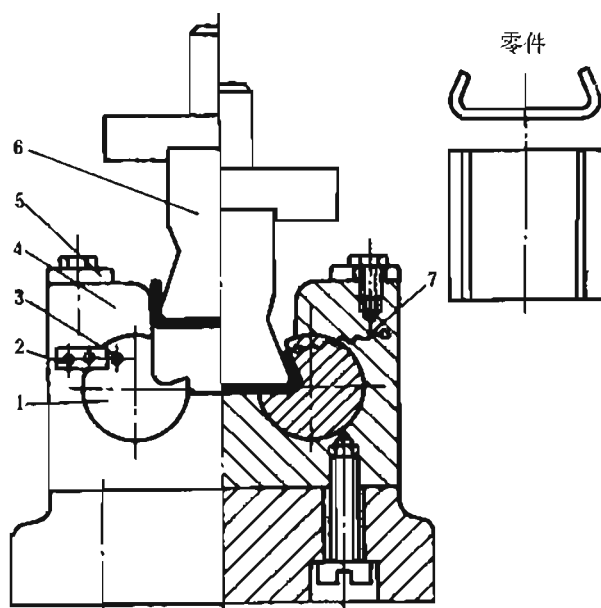


图 5-8 闭角弯曲模

1—活动模块;2—止动块;3—销钉;4—凹模;  
5—定位板;6—凸模;7—弹簧

## 5.3 滚 弯

在卷板机上对板料进行连续三点弯曲成形的加工方法称滚弯(也称卷弯)。滚弯可将板料弯成圆管、圆柱面或圆锥面等单曲率制品,也可以弯曲成曲率半径较大的双曲面制品,如大直径球瓣等。如果在卷板机上配用适当的工艺装备,还可以滚弯型钢等。

### 5.3.1 卷板机工作原理

卷板机根据辊筒数目可分为三辊卷板机和四辊卷板机两类。其中,三辊卷板机按辊筒布置形式分为对称式和不对称式两种。如图5-9所示为三辊和四辊卷板机辊筒分布及工作原理示意图。



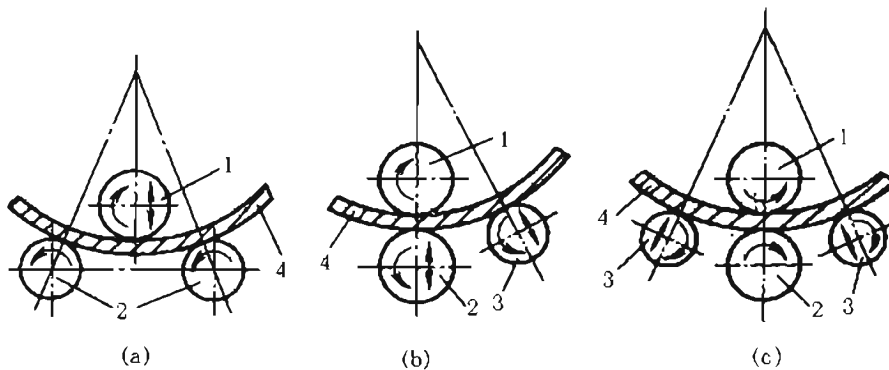


图 5-9 卷板机

(a) 对称式三辊卷板机 (b) 不对称式三辊卷板机 (c) 四辊卷板机

1—上辊;2—下辊;3—侧辊;4—板料

如图 5-9(a) 所示为对称式三辊卷板机。在两个下辊的中间对称位置上有上辊 1, 上辊是被动的, 能在垂直方向作上下调节, 对板料 4 施加压力, 以得到不同的弯曲程度。下辊 2 呈水平分布, 安装在固定的轴承内, 由电动机通过齿轮减速器作同方向、同速转动。工作时, 板料置于上、下辊之间, 上辊下压, 下辊旋转, 在压力和摩擦力作用下, 板料发生连续三点的均匀弯曲, 从而完成滚弯成形。板料的弯曲半径由上辊的下压量决定, 下压量越大, 弯曲半径越小; 反之, 弯曲半径越大。

由滚弯工作原理可知, 板料只有与辊轴成三点接触时才能得到弯曲, 因而板料滚弯到两端时, 各有一段长度是得不到弯曲的, 这段长度称为剩余直边。剩余直边的长度约为两下辊距离的一半。

对称三辊卷板机结构简单、紧凑, 易于维修, 投资小, 成形较准确, 因而应用广泛, 但对称卷板机滚弯时, 其两端均有剩余直边部分, 需要预先弯曲或采用其他方法将其弯曲。

如图 5-9(b) 所示为不对称三辊卷板机。上辊位于下辊的上面, 另一辊轴在侧面, 称为侧辊。上、下两辊由同一电动机带动旋转, 下辊能作上、下调节, 调节的最大距离约等于能滚弯钢板的最大厚度。侧辊是被动的, 能沿倾斜方向调节。弯曲时, 将板料送入上、下辊之间, 调节下辊压紧板料, 产生一定的摩擦力, 再调节侧辊加压, 当上、下辊旋转时, 板料即发生弯曲。不对称式三辊卷板机滚弯时, 板料一端的剩余直边较小, 其值小于板厚的两倍。虽然另一端在侧辊与下辊之间的板料得不到弯曲, 但只要将板料从卷板机上取出后调头弯曲, 就能完成整个弯曲。

不对称三辊卷板机结构较简单, 剩余直边较小, 但辊轴受力较大。相对卷弯能力较小。虽然不需要预弯就能完成整个滚弯, 但需要调头弯曲, 操作不方便, 所以一般用于不太厚材料的弯曲。

如图 5-9(c) 所示为四辊卷板机。它与不对称三辊卷板机基本相似, 只是在另一侧增加了一只侧辊, 板料弯曲分别由两侧辊担任, 因而两端的剩余直边很小, 不需要预弯和调头滚弯, 可直接完成整个滚弯过程。

四辊卷板机辊轴多, 结构复杂, 体积大, 上下辊夹持力较大, 易将氧化皮压入工件表面造成压伤。另外两侧辊相距较远, 对称滚圆的曲率不太精确, 操作要求较高。但工艺通用性广, 可以矫正扭斜、错边等, 还可以即位装配点焊, 滚弯时对中方便。四辊卷板机一般用于重型工件的滚弯。

### 5.3.2 滚弯工艺

钢板滚弯由预弯(压头)、对中、滚弯和矫弯四个步骤组成。

### 1. 预弯

由对称式卷板机工作原理可知,板料滚弯时,两端总有剩余直边,不同类型的卷板机,剩余直边的长度是不同的。由于剩余直边部分在滚弯时得不到弯曲,所以要进行预弯,预弯的长度要大于理论剩余直边的长度。常用的预弯方法如图 5-10 所示。

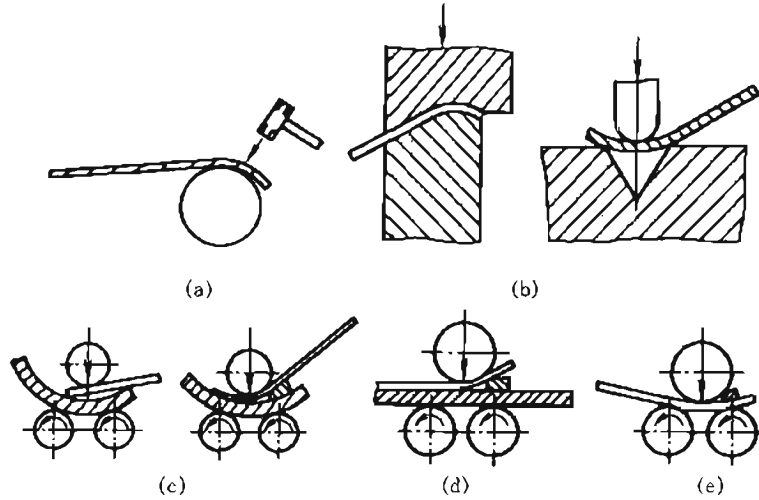


图 5-10 常用的预弯方法

(a) 手工预弯 (b) 用压力机预弯 (c) 用模板预弯 (d) 用基板和垫块预弯 (e) 用楔形块预弯

(1) 手工预弯。如图 5-10(a) 所示为手工预弯,将钢板置于钢轨或圆钢上,用锤击方法弯曲剩余直边部分,此种方法适用于厚度较小的板料的预弯。

(2) 用压力机预弯。如图 5-10(b) 所示,在压力机上用模具一次压弯,或利用通用压弯模多次压弯成形,压制时,注意应让板料处于自由弯曲状态,防止弯曲过度出现压痕。

(3) 在三辊卷板机上用模板预弯。当板料厚度小于 24 mm 时,可用预先弯好的弯曲模板进行预弯,模板的厚度应比工件板料厚度大 2 倍,曲率半径应略小于弯曲件的半径,以克服板料弯曲时的回弹。采用模板预弯,应严格控制上辊的下压量,防止过载损坏设备。如果模板的曲率半径大于弯曲件的半径,可在模板上加一块楔形垫板进行预弯,以减小弯曲半径,如图 5-10(c) 所示。

(4) 在三辊卷板机上用基板和垫块预弯。在无弯曲模的情况下,可以取一平板,其厚度比弯件板料厚度大两倍,在平板上放置一楔形垫块,板边置于垫块上,压下上辊,便可进行预弯,如图 5-10(d) 所示。

(5) 在三辊卷板机上用楔形垫块预弯。此方法是直接将板料边缘置于下辊筒近中心处,放入楔形垫块,压下上辊即可进行预弯,如图 5-10(e) 所示。其弯曲半径是通过移动楔形垫块的位置和调节上辊的下压量来实现的,因而操作比较烦琐。

在预弯中,应经常用弯曲样板检查弯曲曲率,使预弯半径达到预定的弯曲半径。如果预弯不足,会造成外棱角缺陷,如图 5-11(a) 所示;如果预弯过大,则引起内棱角缺陷,如图 5-11(b) 所示。

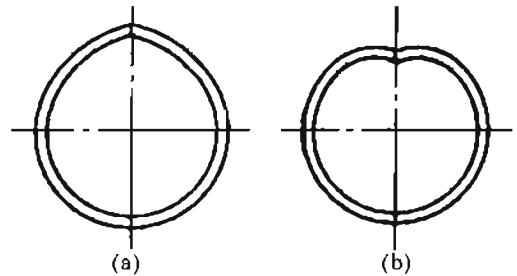


图 5-11 预弯缺陷 (a) 外棱角缺陷 (b) 内棱角缺陷

## 2. 对中

对中的目的是使工件的弯曲线与辊轴线平行,保证滚弯后的工件形状准确。否则,滚弯后工件将出现扭斜(图 5-12)。对中的方法一般采用目测法,即用眼睛观察上辊或下辊的外形线是否平行于板料的边缘对中,也可利用卷板机上的挡板或下辊筒上的对中槽对中,如图 5-13(a)、(b) 所示。此外,还可以采用倾斜进料,用另一个下辊定位对中,如图 5-13(c) 所示。

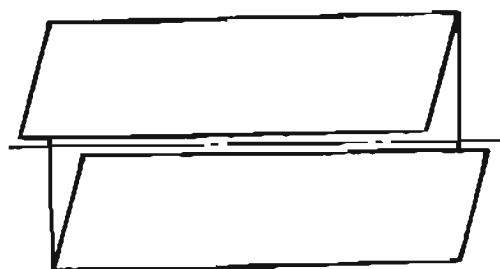


图 5-12 扭斜

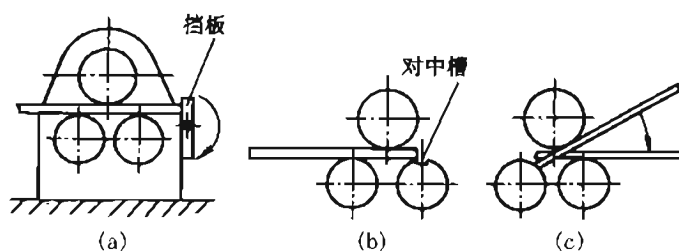


图 5-13 对中方法

(a) 挡板对中 (b) 对中槽对中 (c) 倾斜进料对中

## 3. 滚弯

板料对中后,通常采用多次进给法滚弯。

(1) 圆柱面滚弯。先调节上辊位置,使板料发生初步的弯曲,然后来回滚动。当板料移至边缘时,应根据板边和辊的相对位置,检验板料位置是否正确,然后再逐步调节上辊下压,并来回滚弯,使板料的曲率半径逐步减小,直至达到规定的要求。一般每次上辊的下压量约 5 ~ 10 mm,不同材料的板厚、板宽,不同的弯曲半径,上辊的每次下压量都略有差异。若板料较薄,板宽不大,材料变形抗力较小,每次下压量应小些;反之,可大些。上辊的下压量不能太大,否则,坯料的变形程度很大,坯料与下辊摩擦力太小,将无法带动板料来回滚动,实现滚弯。在滚弯中,应经常用样板检验滚弯的曲率半径,由于钢板的回弹,滚弯必须适当弯曲过量。这样卸载后,其弯曲半径正好符合规定的曲率半径。但过弯量不能太大。否则,弯曲半径太小会产生过弯缺陷,如图 5-14 所示。如果圆柱面是由多曲率半径组成的(图 5-15),及  $R_1 < R_2 < R_3 < R_4$ ,应在滚弯前画出不同曲率半径弧面的滚弯区域线,滚弯时先整体滚弯到曲率半径最大的  $R_4$ ,待  $R_4$  达到要求,再以  $R_3$  半径为准,滚弯  $R_3$ 、 $R_2$ 、 $R_1$  区域。以此类推,直至工件达到规定的曲率半径。

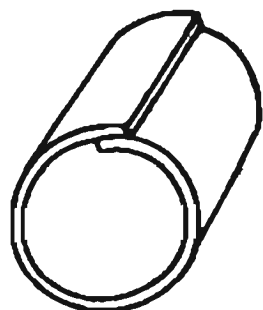


图 5-14 过弯

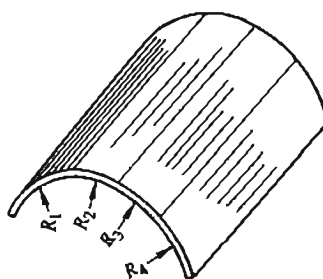


图 5-15 不同曲率的圆柱面

(2) 圆锥面滚弯。滚弯圆锥面时,只要调节上辊,使之与下辊中心线呈倾斜位置,其斜度等于圆锥面的斜度。圆锥面卷弯过程与圆柱面相似,先预弯后滚弯。一般采用分区滚弯法(图 5-16)。

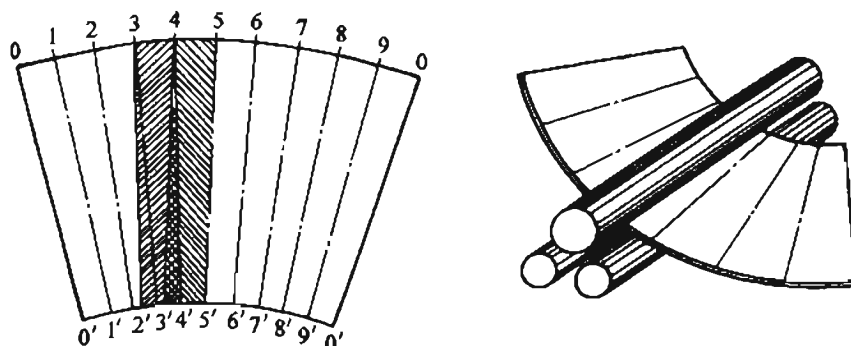


图 5-16 圆锥面分区滚弯

圆锥面的毛坯展开后为扇形,由于锥形小直径一端的展开长度比大直径短,因而要求小直径一端的滚弯速度慢,大直径一端的滚弯速度快,但卷板机的辊轴是以同一速度旋转的,由于其直径相同,所以两端滚过周长基本相同。为了能弯成锥形面,将扇形坯料分成若干相同的滚弯区域,使各部分大、小端的弧线长度差减小。滚弯时,先预弯两边,并从两边的区域开始滚弯,然后逐步滚到中部,每次滚弯一小区域后,必须转动钢板,使滚弯部分的中心线对准上辊的轴线。滚弯中,应经常用样板检查,由于两端的曲率半径不同,所以样板应备两块,分别检查两端的曲率。

(3) 加热滚弯。板料的厚度越大,滚弯的半径越小,则滚弯时的变形也越大。冷滚弯时的变形越大,材料所产生的加工硬化也越严重,因而在材料内部产生很大的应力,这会严重影响制造质量,甚至产生裂纹造成产品报废,因此一般碳素钢当板料厚度大于或等于内径  $D$  的  $1/40$  时( $J \geq D/40$ ),应进行加热滚弯。此外,当弯曲件的弯曲力大于设备的承载能力时,也应采用加热滚弯的方法,以降低材料的变形抗力。

不同材料的加热温度是不同的,常用材料的热作温度范围如表 5-2 所示。加热温度为开始滚弯温度,终止温度为滚弯停止温度。如果低于终止温度滚弯,材料易出现加工硬化造成变形抗力上升,影响弯件的质量,失去了加热滚弯的作用。

表 5-2 常用材料的热作温度范围

材料牌号	热作温度 /℃	
	加 热	终止(不低于)
Q235、15、15g、20、20g、22g	900 ~ 1 050	700
Q345、16Mn、16MnR、Q390(15MnV)、15MnVR	950 ~ 1 050	750
390(15MnTi)	950 ~ 1 050	750
Q420(15MnVN)	950 ~ 1 050	750
15MnVNRe	950 ~ 1 050	750
Cr5Mo、12CrMo、15CrMo	900 ~ 1 000	750
14MnMoVBR	1 050 ~ 1 100	850

续 表

材料牌号	热作温度 /℃	
	加 热	终止(不低于)
12MnCrNiMoVCu	1 050 ~ 1 100	850
14MnMoNbB	1 000 ~ 1 100	750
0Cr13、1Cr13	1 000 ~ 1 100	850
1Cr18Ni9Ti、12Cr1MoV	950 ~ 1 100	850
黄铜 H62、H68	600 ~ 700	400
铝及其合金 1060、5A02、3A21	350 ~ 450	250
钛	420 ~ 560	350
钛合金	600 ~ 840	500

加热滚弯时,由于材料的塑料很好,不必考虑回弹,但在滚弯过程中,必须及时清除氧化皮,否则,剥落的氧化皮在钢板与辊轴之间滚轧,使弯件内壁形成凹坑和斑点,影响弯件的质量。加热成形后,不能立即将温度很高的工件从卷板机上卸下,否则会造成工件的变形。应让工件在终弯的曲率下不断滚动,直至温度小于 500℃ 为止。

钢板加热时,表面会产生氧化皮而损失部分材料,同时在滚弯时,钢板在辊轴的压力下也会使厚度减小,总的减薄量约 5% ~ 6%,而长度方向尺寸略有增加,因此,在下料时应根据加热次数适当增加钢板厚度尺寸,减小长度尺寸。

#### 4. 矫弯

滚弯的零件焊接后会产生变形,必要时可进行矫形滚弯,矫弯分加载、滚卷和卸载三个步骤。加载按计算或经验将滚轴调到所需的最大矫正曲率的位置,使板料受压。滚卷是工件在矫正曲率的曲度下,来回滚卷 1 ~ 2 圈,着重滚卷接缝区域。卸载是在滚卷状态之下,逐步减小弯曲力,使工件在逐步减小的矫弯载荷下滚卷几周。

滚弯后的制件,常会出现形状误差,如锥形、腰鼓形、束腰、歪斜、过弯、棱角等外形缺陷,还有表面压伤、卷裂等缺陷。加工时,应查找原因,采取相应措施,保证加工质量。

## 5.4 翻 边

将半成品孔或边缘翻成竖边的冲压方法称为翻边。翻边形式有内孔翻边和外缘翻边,如图 5-17 所示。

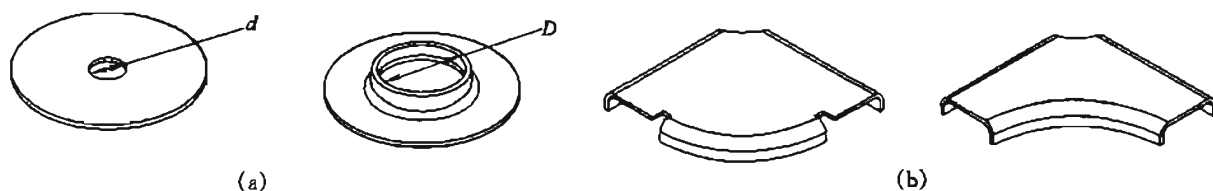


图 5-17 翻边的形式  
(a) 内孔翻边 (b) 外缘翻边

### 5.4.1 圆孔翻边

#### 1. 翻边系数

圆孔翻边时,材料沿圆周的切向产生拉伸变形,并使材料厚度变薄,越靠近口部,变形量越大。当变形超过一定程度时,孔的边缘就会被拉破。圆孔翻边的变形程度用翻边系数  $K_f$  表示:

$$K_f = d/D$$

式中,  $d$  为预冲孔直径;  $D$  为翻边后孔的直径。

影响翻边系数的因素有很多,例如,材料的塑性越好、相对厚度越大、预冲孔表面质量越好,翻边系数就越小。此外,翻边凸模的形状也与翻边系数有很大关系。常用的翻边凸模形状有球形、锥形、抛物线形等。

各种材料的首次翻边系数  $K_f$  值如表 5-3 所示。如果允许翻边的口部有微裂纹时,可以采用表中的  $K_{fmin}$  值。

表 5-3 各种材料的一次翻边系数

材料名称	翻边系数	
	$K_f$	$K_{fmin}$
白铁皮	0.70	0.65
软钢 $t = 0.25 \sim 2 \text{ mm}$	0.72	0.68
软钢 $t = 2 \sim 4 \text{ mm}$	0.78	0.75
黄铜 H62 $t = 0.5 \sim 4 \text{ mm}$	0.68	0.62
铝 $t = 0.5 \sim 5 \text{ mm}$	0.70	0.64
硬铝合金	0.89	0.80

#### 2. 平板毛坯上冲底孔后翻边

这类零件的几何尺寸如图 5-18 所示。工艺计算时,首先要核算翻边高度  $H$ 。圆孔翻边的最大翻边高度  $H_{max}$  为

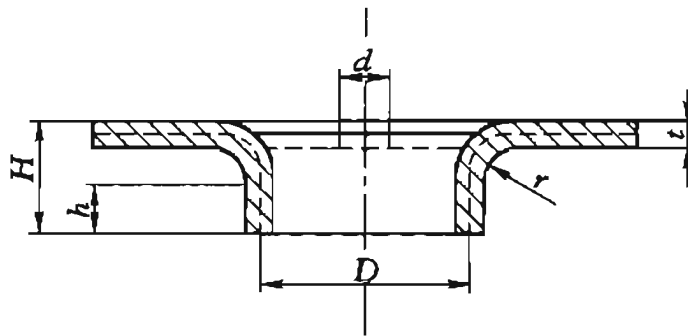


图 5-18 平板毛坯翻边

$$H_{max} = D(1 - K_{fmin})/2 + 0.43r + 0.72t$$

如果零件的高度  $H \leq H_{max}$ ,则说明可以在平板毛坯上直接翻边得到所需形状,这时可以求出预冲孔直径  $d$  为

$$d = D - 2(H - 0.43r - 0.72t)$$

如果零件的高度  $H > H_{max}$ ,则必须采用在拉深件上冲底孔后再翻边。

### 3. 拉深件上冲底孔后翻边

这类零件的几何尺寸如图 5-19 所示。工艺计算时,应确定拉深件的高度  $h_1$  和预冲孔直径  $d$ , 其计算公式为

$$h_1 = H - h + r$$

$$h = D(1 - K)/2 + 0.57(r + 0.5t)$$

$$d = KD$$

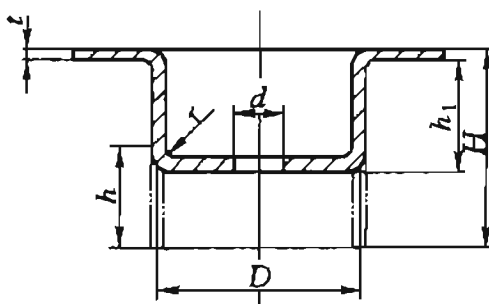


图 5-19 拉深件毛坯上翻边

### 5.4.2 非圆形孔翻边

非圆形孔翻边的边缘形状一般由椭圆、矩形、凸或凹圆孔和直线段组成,如图 5-20 所示。翻边时,从变形性质来看,沿孔边只有  $c$  部属于翻边变形,而  $a$  部为拉延变形,  $b$  部为弯曲变形。因为非翻边部分可以减轻翻边部分的变形程度,故非圆形孔翻边系数  $K_r'$  (一般指小圆弧  $c$  部的翻边系数)可小于圆孔翻边系数  $K_r$ , 大约为

$$K_r' = (0.85 \sim 0.95)K_r$$

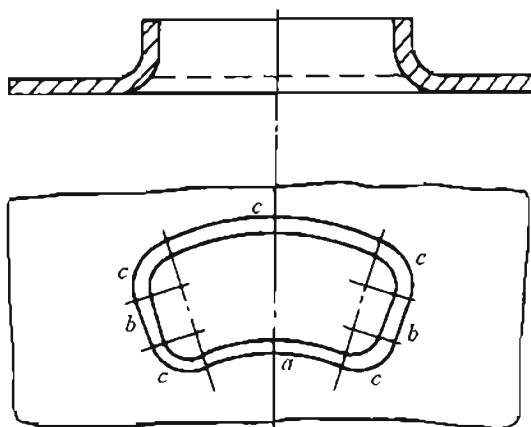


图 5-20 非圆形孔翻边

翻边的凸模形式,孔的加工方法,以及材料的相对厚度对极限翻边系数均有影响。对于非低碳钢材料,按其塑性的好坏可适当减小或增大  $K_r'$  值。

### 5.4.3 翻边模结构

图 5-21 是一副平板毛坯上翻边模,采用倒装式结构。凸模 2 的导引段可以用来对毛坯进行定

位,毛坯在压边圈 3 压紧的状态下完成翻边。翻边后工件留在凹模 1 内,随着上模上升,并由打板把工件从凹模内推出。

图 5-22 是一副拉深件毛坯上翻边模,采用正装式结构。具有预冲孔的带凸缘拉深件毛坯放于翻边凹模上定位,上模下行,压边圈压住毛坯,凸模插入预冲孔中完成翻边。回程时,压边圈使工件脱离凸模而留在凹模内,然后顶板将工件从凹模内顶出。

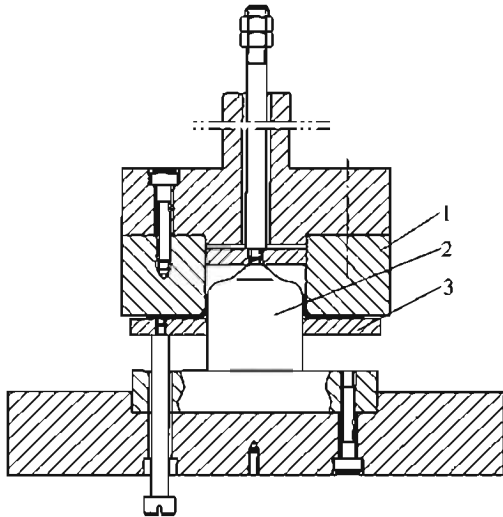


图 5-21 平板毛坯上翻边模  
1—凹模; 2—凸模; 3—压边圈

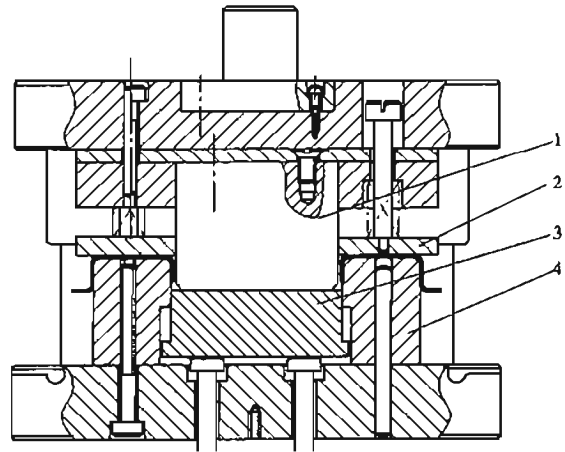


图 5-22 拉深件毛坯上翻边模  
1—凸模; 2—压边圈; 3—顶块; 4—凹模

## 5.5 拉 深

拉深是把剪裁或冲裁成一定形状的板料毛坯,利用冲模变成开口空心工件或以开口空心工件为毛坯,通过拉深模进一步使空心件毛坯改变形状和尺寸的冲压工序,如图 5-23 所示,平板材料 3 放在凹模 5 上。凸模 1 在压力机的作用下下行,凸模底端压住材料,迫使其滑向凹模型孔内拉深成制件 4。模具的工作部分没有锋利的刃口,而是有一定半径的圆角,凸模和凹模之间的间隙略大于材料厚度。在图中还设置了压边圈 2,在拉深时,压边圈与凹模将材料压住,材料只能在压边圈与凹模之间移动,其作用是在拉深时防止材料起皱。

由于拉深工艺能加工出薄壁壳体零件,因此广泛应用于电子、电器、航空、仪表、汽车等各种工业部门和日用品生产中。

拉深模是把坯料拉压成开口空心件,或者把空心体拉压成外形更小而厚度没有明显变化的空心体模具。

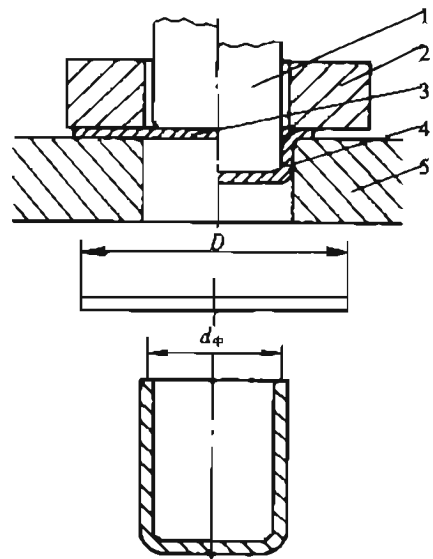


图 5-23 拉深加工示意图  
1—凸模; 2—压边圈; 3—板料; 4—制件; 5—凹模



### 5.5.1 拉深工艺

拉深圆筒形零件是最简单、最典型的,圆筒形零件的拉深工艺特点如下:

#### 1. 拉深过程

拉深所用的模具一般由凸模、凹模和压边圈(有时可不带压边圈)三部分构成,如图5-24所示。其凸模和凹模的结构和形状与冲裁模不同,它们的工作部分没有锋利的刃口,而是做成圆角。凸模与凹模的间隙稍大于板料的厚度。拉深开始时,平板坯料同时受凸模压力和压边圈压力的作用,其凸模的压力要比压边圈压力大得多。坯料受凸模向下的压力作用,随凸模进入凹模,最后使得坯料被拉深成开口的筒形件。在拉深的过程中,由于凹模口小于坯料的直径,因此坯料的一部分材料在拉深过程中产生塑性流动而转移,这部分材料除一部分增加了制件的高度外,另一部分则增加了筒壁的厚度。由此看来,拉深过程是由于坯料受力所引起的金属内部相互作用,使金属在每一小单元体之间都产生内应力,在内应力作用下,发生了应变状态,使得材料发生塑性变形,而不断地拉入凹模内,最后成为筒形件。

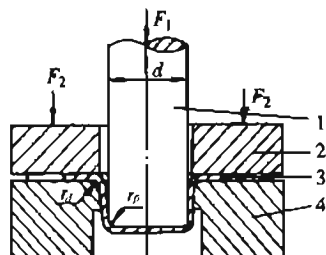


图 5-24 拉深过程

1—凸模;2—凹模;3—压边圈;4—工件

#### 2. 拉深系数

拉深过程的变形特点是从坯料的大断面积变成小断面积的筒形件。所谓拉深系数( $m$ ),即每次拉深后的断面积与拉深前的断面积之比,也就是拉深后工件的直径  $d$  与拉深前毛坯(半成品)的直径  $D$  之比,即  $m = d/D$ 。它表示拉深过程中材料的变形程度。拉深系数越小,拉深时材料变形程度就越大。材料拉深系数的最小值反映材料的最大变形程度,该最小数值称为极限拉深系数。生产中,确定拉深系数对拉深工艺有重要意义。

部分拉深件只需一次拉深就能成形。拉深系数就是拉深件筒部直径  $d$  与毛坯直径  $D$  的比值,即

$$m = \frac{d}{D}$$

部分拉深件需要经过多次拉深才能最终成形,如图5-25所示,各次拉深的拉深系数分别为

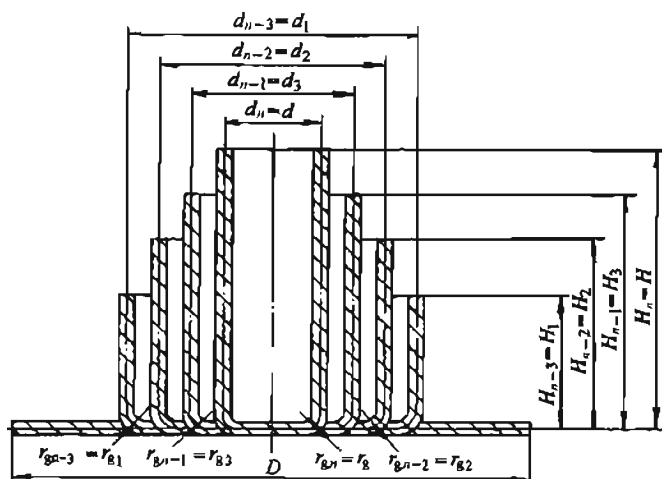


图 5-25 无凸缘圆筒形的多次拉深

$$m_1 = \frac{d_1}{D} \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1} \quad \cdots \quad m_{n-1} = \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}} \quad m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$$

如果第  $n$  次拉深为最后一次拉深, 则

$$m_m = \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d}{d_{n-1}}$$

式中,  $m_1, m_2, \cdots, m_{n-1}, m_n$  为各次拉深的拉深系数;  $d_1, d_2, \cdots, d_{n-1}, d_n$  为各次拉深后的半成品或拉深件筒部直径(mm);  $D$  为毛坯直径(mm);  $d$  为拉深件筒部直径(mm)。

多次拉深的总拉深系数  $m$  为

$$m = m_1 m_2 \cdots m_{n-1} m_n = \frac{d_1}{D} \times \frac{d_2}{d_1} \times \cdots \times \frac{d_{n-1}}{d_{n-2}} \times \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D} = \frac{d}{D}$$

从降低拉深件生产成本, 提高经济效益出发, 在制定拉深工艺时, 拉深的次数越少越好, 这就希望尽可能地降低每一次拉深的拉深系数。但是, 对于某一次拉深量而言, 拉深系数不能无限制地减小。这是因为, 对于某一种材料, 当拉深条件一定时, 筒壁传力区中所产生的最大拉应力  $F_{\max}$  的数值, 是由变形程度即拉深系数的大小决定的。 $m$  值越小, 则变形程度越大,  $F_{\max}$  值越大。当  $m$  值减小到某一数值时, 将使  $F_{\max}$  值达到危险断面的抗拉强度  $\sigma_b$ , 从而导致危险断面拉裂。我们把某种材料在拉伸时危险断面濒于拉裂这种极限条件所对应的拉深系数称为这种材料的极限拉深系数(或称最小拉深系数), 记为  $m_{\min}$ 。

### 3. 影响极限拉深系数的因素

极限拉深系数的数值, 取决于筒壁传力区的最大拉应力和危险断面的强度。凡是能够使筒壁传力区的最大拉应力减小, 或使危险断面强度增加的因素, 都有利于减小极限拉深系数。

(1) 材料的力学性能。材料的力学性能指标中, 影响极限拉深系数的主要是材料的强化率( $\sigma_s/\sigma_b$ 、 $n$ 、 $D$ 等)和厚向异性指数( $r$ )。材料的强化率越高( $\sigma_s/\sigma_b$  比值越小,  $n$ 、 $D$  值越大), 则筒壁传力区最大拉应力的相对值越小, 同时材料越不易产生拉伸缩颈, 危险断面的严重变薄和拉断相应推迟。因此, 强化率越高的材料, 其极限拉深系数的数值也就越小。厚向异性指数越大的材料, 厚度方向的变形越困难, 危险断面越不易变薄、拉断, 因而极限拉深系数越小。

#### (2) 拉深条件。

① 模具几何参数。凸模圆角半径  $r_p$  的大小对于筒壁传力区的最大拉应力影响不大, 但对危险断面的强度有较大影响。 $r_p$  过小, 将使材料绕凸模弯曲的拉应力增加, 危险断面的变薄量增加。 $r_p$  过大, 将会减小凸模端面与材料的接触面积, 使传递拉深力的承载面积减小, 材料容易变薄, 同时板料的悬空部分增加, 易于产生内皱(在拉伸凹模圆角半径  $r_d$  以内起皱)。

凹模圆角半径  $r_d$  过小, 将使凸缘部分材料流入凸、凹模间隙时的阻力增加, 从而增加筒壁传力区的拉应力, 不利于减小极限拉深系数。但是,  $r_d$  过大, 又会减小有效压边面积, 使凸缘部分材料容易失稳起皱。

由于凸缘区材料在流向凸、凹模间隙时有增厚现象, 当凸、凹模间隙过小时, 材料将受到过大的挤压作用, 并使摩擦阻力增加, 不利于减小极限拉深系数。但是间隙过大, 则又会影响拉深件的精度。

② 压边条件。压边力过大, 会增加拉深阻力, 但是如果压边力过小, 不能有效地防止凸缘部分材料起皱, 将使拉深阻力剧增。因此, 在保证凸缘部分材料不起皱的前提下, 尽量将压边力调整到最小值。

③ 摩擦和润滑条件。凹模和压边圈的工作表面应比较光滑, 并在拉深时用润滑剂进行润滑。在不影响拉深件表面质量的前提下, 凸模工作表面可以做得比较粗糙, 并在拉深时不使用润滑剂。这些都有利于减小极限拉深系数。

(3) 毛坯的相对厚度。毛坯的相对厚度 $(t/D) \times 100$ 的值越大,则拉深时凸缘部分材料抵抗失稳起皱的能力越强,因而可以减小压边力,减小摩擦阻力,有利于减小极限拉深系数。

(4) 拉深次数。由于拉深时材料的冷作硬化使材料的变形抗力有所增加,同时危险断面的壁厚有所减小,因而后一次拉深的极限拉深系数应比前一次拉深的极限拉深系数大。通常第二次拉深的拉深系数要比第一次拉深的拉深系数大得多,而以后各次则逐次略有增加。

(5) 拉深件的几何形状。不同几何形状的拉深件在拉深变形过程中各有不同的特点,因而极限拉深系数也不同。例如,带凸缘拉深件首次拉深的极限拉深系数比无凸缘拉深件首次拉深的极限拉深系数小。

## 5.5.2 拉深模

### 1. 拉深模的分类

拉深模的结构,是根据拉深件的几何尺寸、尺寸精度、材料、产量和所使用的压力机确定的,拉深模一般比较简单。一套拉深模,一般只能完成一次拉深,故它属于单工序模。按工艺顺序不同,可分为首次拉深模和以后各次拉深模;按有无压边装置,可分为无压边圈拉深模和有压边圈拉深模;按使用压力机类型不同,可分为单动压力机拉深模和双动压力机拉深模;按拉深方向不同,可分为正向拉深模和反向拉深模,以及双向都有的双向拉深模。

### 2. 拉深模的典型结构

(1) 首次拉深模。如图 5-26 所示为不带压边装置的首次拉深模。工作时,毛坯放置在定位圈 2 内定位,凸模 1 下行进行拉深。拉深完成后,凸模回升,弹性卸料器将拉深件从凸模上卸下。该模具结构简单,适用于不需要压边的首次拉深模。凸模上开设通气孔,目的是便于将拉深件从凸模上卸下,并防止卸件时拉深件变形。

如图 5-27 所示为带压边装置的首次拉深模。毛坯放在压边圈 2 的定位孔内,上模下行时,先由压边圈 2 和凹模 5 一起完成压边,然后进行拉深。拉深完成后,上模回升,压边圈起顶件作用,使拉深件脱离凸模 1,留在凹模中的拉深件则由推块推出凹模。该模具采用倒装结构,由安装在下模座上的弹顶器或气垫提供压边力,能够获得较大的压边力,并且便于调整压边力的大小。

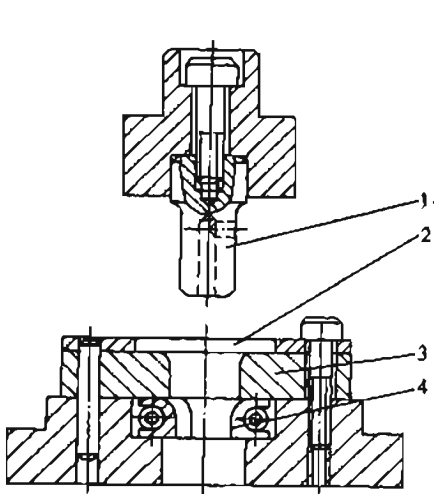


图 5-26 不带压边圈的首次拉深模

1—凸模;2—定位圈;3—凹模;4—弹性卸料器

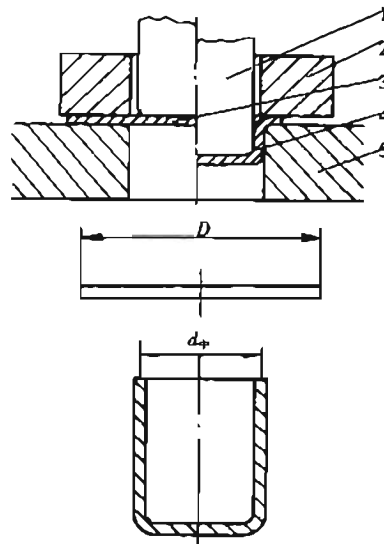


图 5-27 拉深加工示意图

1—凸模;2—压边圈;3—板料;4—制件;5—凹模

(2) 以后各次拉深模。如图 5-28 所示为以后各次拉深模,前次拉深得到的半成品由压边圈 6 的外圆定位,上模下行时,先由压边圈 6 和凹模 3 完成压边,然后进行拉深。拉深完成后,上模回升,压边圈顶件,推块 1 推件。

(3) 落料拉深复合模。如图 5-29 所示为落料拉深复合模,条料送进时,由挡料销 1 定位。上模下行,先由凸凹模 2 和落料凹模 6 完成落料,再由凸凹模和拉深凸模 7 完成拉深。拉深时,顶块 5 起到压边圈的作用。拉深完成后,上模回升,卸料板 4 卸料,顶块 5 顶件,推块 3 推件。

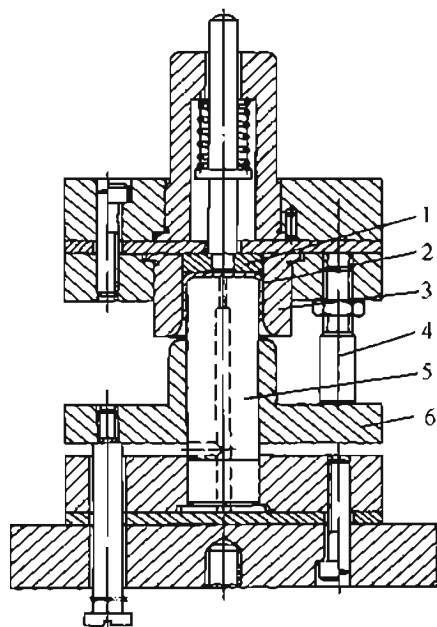


图 5-28 以后各次拉深模

1—推块;2—拉深件;3—凹模;  
4—限位柱;5—凸模;6—压边圈

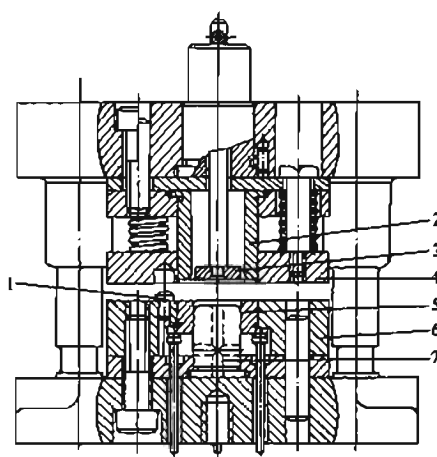


图 5-29 落料拉深复合模

1—挡料销;2—凸凹模;3—推块;4—卸料板;  
5—顶块;6—落料凹模;7—拉深凸模

设计落料拉深复合模时应注意:拉深凸模的工作端面一般应比凹模的工作端面低一个料厚,保证落料完成后再进行拉深;选用压力机时应校核压力机的行程负荷曲线;应有足够的壁厚(按落料冲孔复合模的要求校核)。

## 5.6 其他成形方法

成形是指用各种局部变形的方式改变工件坯料形状的各种加工方法。冷冲压成形类工序除弯曲、拉深外,还有其他工序,如胀形、缩口、卷边、翻边等。它们是将经过冲裁、弯曲、拉深加工后的半成品,或经过其他方法加工后的坯料再进行冲压。

这些成形工序的共同特点是通过材料的局部变形改变毛坯或工序件的形状,但各自的变形特点差异较大。

成形模是将冲裁、弯曲或拉深等工序加工出来的坯件使其进一步变形后,形成所要求的零件制品所用的模具。

### 5.6.1 胀形

胀形与其他冲压成形工序的主要不同之处是:胀形时变形区在板面方向呈双向拉应力状态,在板厚方向上是减薄,即厚度减薄,表面积增加。胀形主要用于:加强筋、花纹图案、标记等平板毛坯的

局部成形;波纹管、高压气瓶、球形容器等空心毛坯的胀形;管接头的管材胀形;飞机和汽车蒙皮等薄板的拉胀成形。汽车覆盖件等曲面复杂形状零件成形时,也常常包含胀形成分。

常用的胀形方法有钢模胀形和以液体、气体、橡胶等作为施力介质的软模胀形。软模胀形由于模具结构简单,工件变形均匀,能成形复杂形状的工件,如液压胀形、橡胶胀形。另外,高速、高能特种成形的应用,越来越受到人们的重视,如爆炸胀形、电磁胀形等。

如图 5-30 所示,胀形工件胀形时,材料双向受拉,厚度减小。如果变形太大,材料容易胀破。

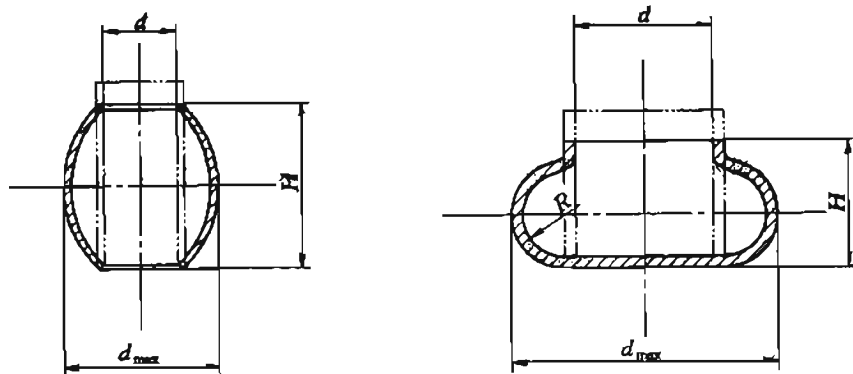


图 5-30 胀形工件

### 5.6.2 缩口

将圆管或筒形拉深件口部直径缩小的冲压方法称为缩口,如图 5-31 所示,缩口时,变形区材料受切向压应力的作用产生压缩变形,因此缩口口部失稳起皱。此外,筒壁由于承受全部缩口压力,也容易产生失稳变形。缩口的变形程度用缩口系数  $K_s$  表示为

$$K_s = d/D$$

式中, $d$  为缩口后的直径; $D$  为缩口前的直径。

影响缩口系数的因素有许多。例如,材料的塑性好、厚度大,凹模表面光洁,模具具有防筒壁失稳的支承结构等,都可以使缩口系数减小。

### 5.6.3 卷边

将拉深件的口部边缘卷成圆弧形状的冲压方法称为卷边。卷边除了增加零件美观外,还可以防止拉深件边缘的冲裁毛刺划伤人或物。如图 5-32 所示为卷边工件。

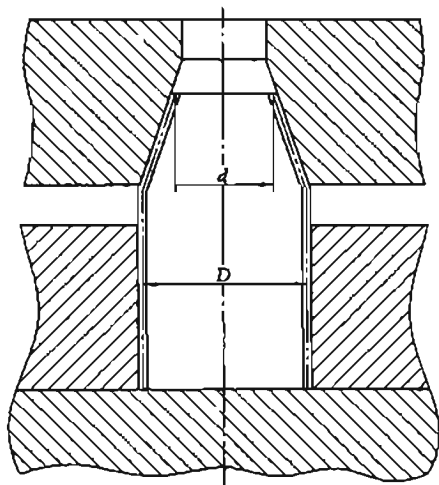


图 5-31 缩口

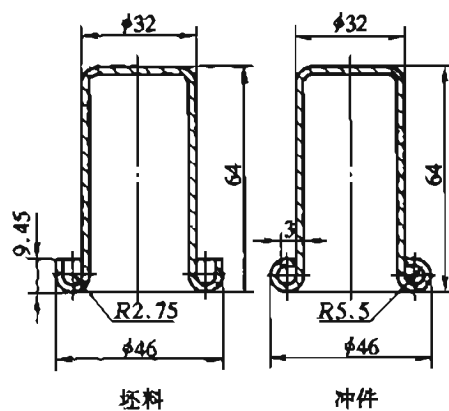


图 5-32 卷边工件

### 5.6.4 旋压

旋压用以制造各种不同形状的旋转体零件,基本原理如图 5-33 所示。毛坯 1 用尾顶针 5 上的压块 4 紧紧地压在模胎 2 上,当主轴 3 旋转时,毛坯和模胎一起旋转。操作旋棒 7 对毛坯施加压力,同时旋棒又做纵向运动,开始旋棒与毛坯是一点接触,由于主轴旋转和旋棒向前运动,毛坯在旋棒的作用下,产生由点到线,由线到面的变形,逐渐地被赶向模胎,直到最后与模胎贴合为止。

材料在旋压过程中,产生切向收缩和径向延伸。

旋压用的工具主要是旋棒,旋棒可分为单臂式和双臂式。双臂式是由助力臂和主力臂组成(图 5-33),旋棒 7 即为主力臂。助力臂用销钉固定在旋压床的支架上,主力臂用销钉固定在助力臂上,助力臂绕支架转动,主力臂又绕助力臂转动。旋压时,用手可同时操作两个旋棒运动。单臂式旋棒则仅有主力臂而无助力臂,双臂式比单臂式省力、灵活。

成形工艺包括的内容还有许多,仅从变形特点看,这些工序的变形性质是各不相同的,它们有些与弯曲相似,有些则与拉深相似。尽管各工序有各自不同的变形特点,但它们之间又是相互关联的。例如,局部成形的胀形工序和内孔翻边,主要是受拉应力作用而变形,工件常因拉裂而造成废品。而缩口和外缘翻边等工序,则主要是受压应力而变形,工件又常因起皱而造成废品。同时,这些成形工序往往又与落料、冲孔、弯曲、拉深等工序相组合,可制成形状相当复杂的工件,这些工件的变形方式更加复杂。因此,在分析这些成形工序时,不能孤立地从一方面去考虑其变形过程,而应从多方面因素去分析和研究,从而进一步摸清其变形特点和规律,针对存在问题,采取相应措施加以解决。

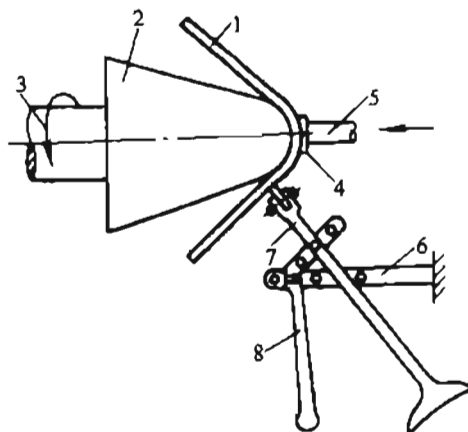


图 5-33 旋压原理图

1—毛坯;2—模胎;3—主轴;4—压块;  
5—尾顶针;6—支架;7—旋棒;8—助力臂

## 5.7 手工成形

随着生产的不断发展和技术的不断进步,绝大多数的成形工艺是在机器上完成的,手工方法往往作为补充加工或修整工作。但在单件生产情况下,或一些形状比较复杂的零件,仍离不开手工制作及加工。粮油加工的辅勘设施,通风与气力输送管道网,利用自重输送物料的管道网,其制件多系手工成形。手工成形要求操作者掌握利用简单的手工成形工具,使板料实现弯曲、放边和收边这三种基本变形的操作技能。而一个制件的成形可分解为咬缝、咬口、折边、弯卷、卷边、拔缘、拱曲等工作的组合。这种方法虽然劳动强度大,但由于使用的工具简单,操作比较灵活,至今仍被广泛采用。

下面介绍弯曲、卷边、放边、收边、拔缘、拱曲、咬缝及校正等手工成形工艺的基本要领及方法。

### 5.7.1 手工成形工具

常用的成形工具如图 5-34 所示。对于不同的加工材质和成形的需要,手锤有多种不同的形状、大小和材料,而常用的如图示的斩口锤、木锤。木锤有平头和球头两种,平头锤多用于使板料增厚收缩的捶击;球头锤多用于在胎模中使板料变薄胀形成曲面。方尺用檀木制成,用以捶击板料,可使捶

击痕迹不明显而使制件表面平整、光滑。方尺是用于板料弯曲的主要捶击工具。

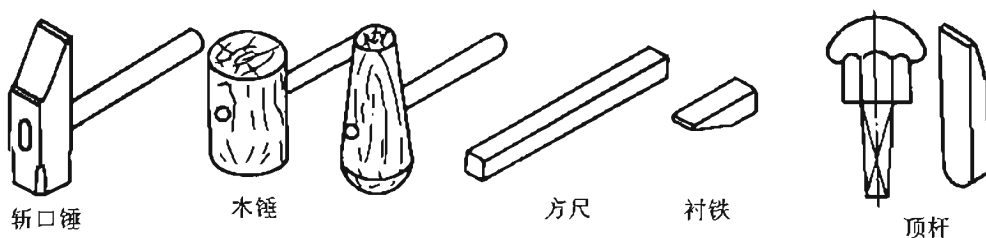


图 5-34 手工成形常用工具

衬铁用于整形时承受锤子的冲击力,可有多种形状,一般重 1 ~ 3 kg,便于手持。顶杆用于拱曲或小型工件成形时,撑支内腔。方钢一般是端面为 500 mm 见方,长约为 2.5 m;圆钢直径  $\phi 50$  mm 左右,长约为 2.5 m,主要用以制作长的方管、圆管和做铁砧用。

手工成形工具还需有手虎钳(用于板料拼装固定)和常用的钳工工具等。

手工成形的灵活性较大,对一个制件的成形,采用哪些成形工具并无规定,可视现有工具多寡,择便而用。

### 5.7.2 手工弯曲

手工弯曲是采用必要的工具通过手工操作弯曲板料。弯曲形式有折边、弯卷两种。

#### 1. 折边

折边指弯曲曲率半径很小的角形弯曲。对短小零件的折边可在台钳上进行,为避免钳口网纹压痕,可在钳口处垫角钢或其他金属片,如图 5-35 所示。弯曲时,手拉板料上端,用木锤捶击根部,借助于垫铁可弯曲闭角弯曲件,如图 5-36 所示。

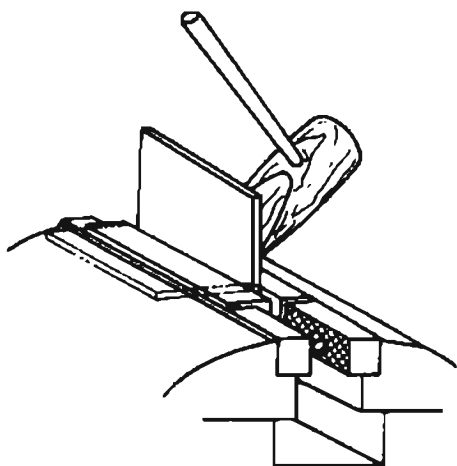


图 5-35 短小零件折边

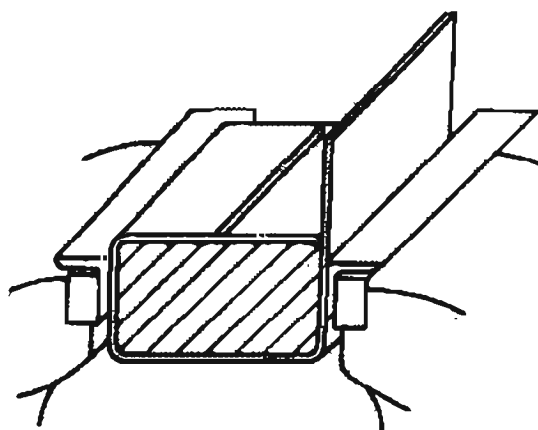


图 5-36 闭角弯曲件

对宽长的弯曲折边,将弯曲线对准方钢边沿,并用手虎钳固定,人力压弯后,用方尺修弯角,如图 5-37 所示。

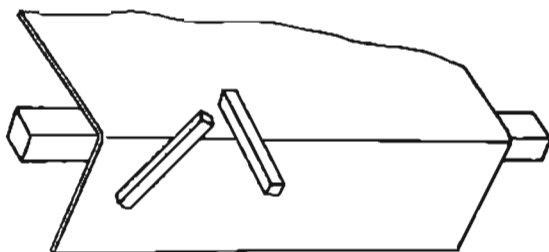


图 5-37 宽长板折边

## 2. 弯卷

圆筒件弯卷时,将板料搁置在圆钢上,用方尺将两端预弯,预弯长度约为 100 mm。如果是咬缝连接,要掌握方尺捶击的合适部位(图 5-38),以防止咬缝被敲扁。每隔一段素线间距,将板料在圆钢上压弯、圈圆。对材质较差的材料,圈圆时会出现不规则的棱线,这时可先向弯曲的反方向圈圆一次。咬缝连接或焊接后,将筒形件套上圆钢上矫圆。矫圆有两个方面:一是消除棱角,其方尺的捶击部位(图 5-39);二是找圆,找圆以两端为着重点,借助光线在筒件上的反射,判别曲率的均匀程度,在曲率小的两侧按消除棱角的方式,使中部凸起。

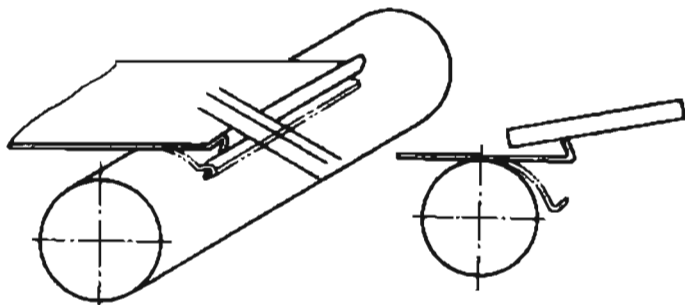


图 5-38 手工预弯

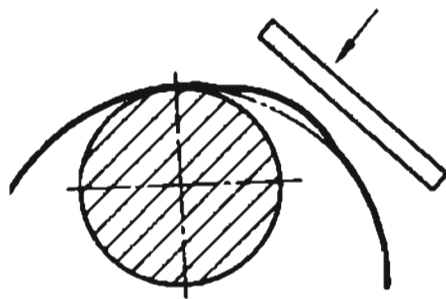


图 5-39 整圆

### 5.7.3 手工卷边

手工卷边分为空心卷边和包丝卷边两种。卷边是将平板料的直线或曲线边缘卷曲成管状,如图 5-40 所示。卷边是为了提高薄板零件的边缘刚度,避免锐边伤人。有时也是为了便于零件间的连接或美观。

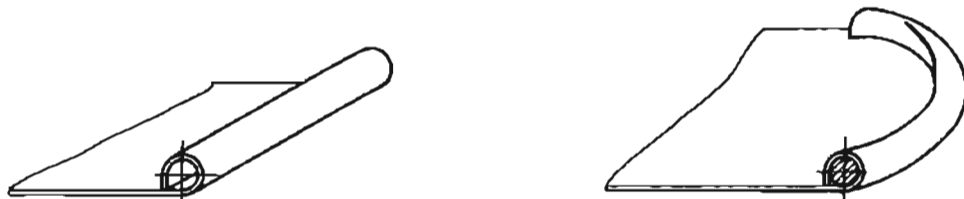


图 5-40 卷边

(a) 空心直卷边 (b) 包丝曲卷边

包丝卷边的制作步骤如下(图 5-41):

- (1) 根据铁丝直径  $d$ ,在板料边缘上画出  $d/2$  和  $3d$  两条弯曲线。



(2) 将  $d/2$  处的弯曲线弯成约  $70^\circ$  弯角, 弯角不要过尖。从  $d/2$  至  $3d$  间敲成圆弧, 然后从端面插入铁丝。

(3) 翻转板料用方尺捶实。在方钢上修整, 修整不严重的过卷和包容不足的疵病, 并使卷边粗细一致和平滑。

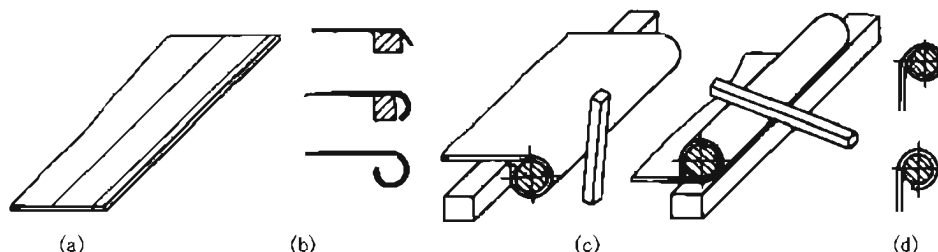


图 5-41 卷边操作  
(a) 划线 (b) 卷曲 (c) 整形 (d) 疵病

#### 5.7.4 手工放边与收边

放边与收边是用手工成形工具使钣金零件的边缘或周沿产生变薄延展(放边)与增厚收缩(收边)的变形。

##### 1. 放边的操作

如图 5-42 所示, 将截面是 L 形的型材, 用斩口锤斩击, 使其一边的纤维伸长而制成法兰制件, 是放边的典型例子。放边的操作有如下三种:

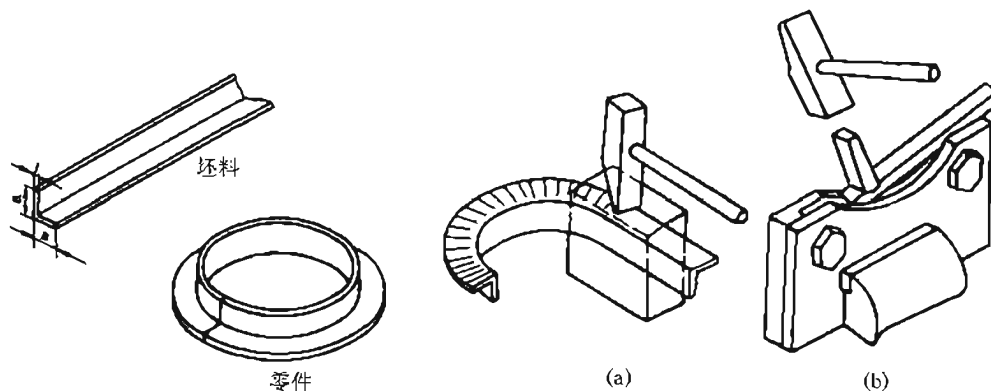


图 5-42 放边  
(a) 拉薄放边 (b) 型胎放边

(1) 打薄放边。将锤放的一边置于铁砧上, 用斩口锤斩击。要注意斩击线垂直于型材外缘, 斩击的中点距外缘为总宽的  $1/3$  处, 锤子稍向外侧倾斜, 斩击落点要稠密均匀。

(2) 拉薄放边。拉薄放边是将捶放的一边置于橡胶或硬木上捶放。由于垫料较软而有弹性, 斩击时材料同时还受斩击线两侧方向的拉应力作用。

拉薄放边的零件表面比较光滑, 但成形速度不如打薄放边快。

(3) 型胎放边。按弯曲的曲率半径做出型胎, 将 L 形型材嵌入型胎中, 用顶木捶放, 如图

5-42(b) 所示。

这种捶放相当于断面惯性矩为  $I$  的板料弯曲,对于较薄的材料容易弯裂或扭曲。一般用作打薄或拉薄到一定程度后的型胎校形。

### 2. 收边操作

如图 5-43 所示,将截面是 L 形的型材,使其一边前纤维增厚收缩而制成法兰零件是收边的典型例子。在图 5-43(b) 中,收边部分是指四个圆角区域。

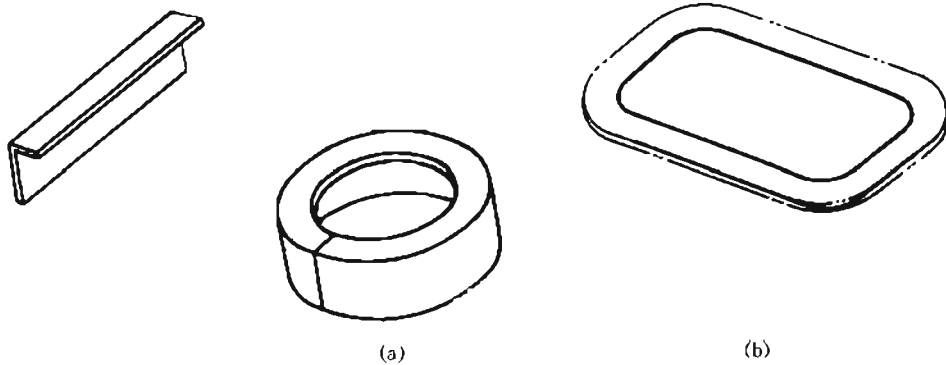


图 5-43 收边

收边的操作方法通常有如下两种:

(1) 起皱钳收边。如图 5-44 所示,用起皱钳(尖头钳)将收边部位钳成波纹,要求波纹尽可能细密,并使坯料收缩弯曲至比工件要求更小的曲率半径。然后,用木锤将起皱波纹打平。最后,用铁锤平整,并使坯料展放至工件要求的曲率半径。

(2) 起皱模收边。对较厚的坯料,起皱钳不易操作,可用硬木制成起皱模,将坯料在起皱模上用斩口锤斩出波纹,最后按上述方法消除、平整皱折,如图 5-45 所示。

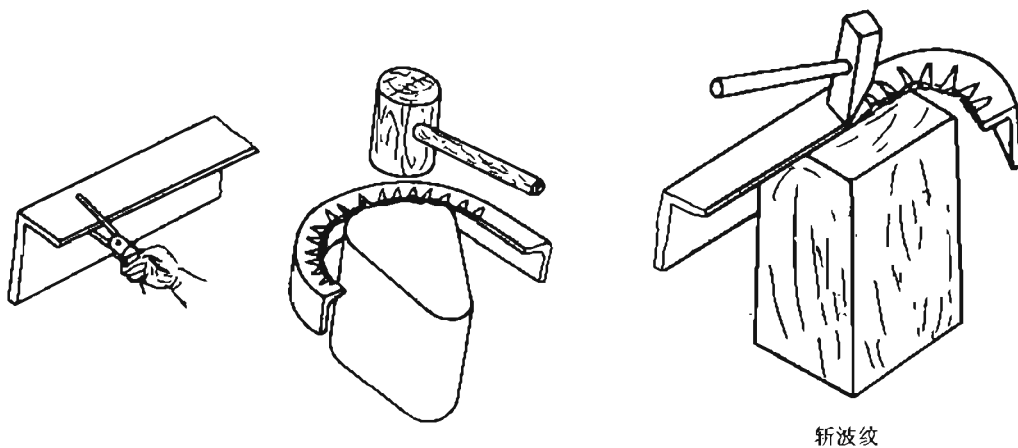


图 5-44 起皱钳收边

图 5-45 起皱模收边

放边与收边的成形极限,主要不是受拉压失稳条件的限制,而是决定于操作者的技术水平,即手工的变薄延伸和增厚收缩能达到的形成极限,较远变形区同时受均匀拉、压力的冷冲压,形成极限低,而且对手工成形来说,压缩类变形的成形极限比拉伸类成形极限低,即在绝对值相同的条件

下,收边操作比放边操作困难。故在钣金手工成形中有“易放难收”之说。

### 5.7.5 手工拔缘

拔缘就是用放边或收边的方法,把零件的边缘翻出凸缘。拔缘操作的效果同翻边相同,因此,拔缘的作用、目的也和翻边一样,拔缘也可叫做手工翻边。

拔缘分为内拔缘(相当于平面拉伸类翻边)、外拔缘(相当于平面压缩类翻边)和管节拔缘(相当于曲面翻边)三种。

按拔缘操作时所用的工具不同,可分为自由拔缘和型胎拔缘两种操作法。

#### 1. 自由拔缘

自由拔缘是用斩口锤、木锤在铁砧(方、圆钢)上的操作。

(1) 内拔缘。按拔缘高度在坯料上画出拔缘线,用打薄放边的捶击方式翻起凸缘,如图 5-46 所示。如果凸缘翻成直角,一次放边的塑变量不能太大,如可先  $30^\circ$  翻一周,最后翻至  $90^\circ$ ,分三次捶放。凸缘越高,需捶放次数越多,以免凸缘撕裂。

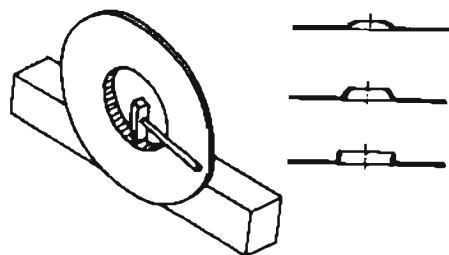


图 5-46 内拔缘

(2) 外拔缘。按拔缘高度在坯料上画拔缘线,用收边的捶击方式翻起凸缘。在铁砧上,按照零件外缘宽度线,用木锤敲打进行拔缘,首先将坯料周边弯曲,在弯边上制出皱折,再打平皱折,使弯边收缩成凸边。薄板拔缘时,需经多次反复打出皱折、打平皱折,才能制成零件。因此在每次打平皱折后,可在弯边的边缘上先制出 10 mm 宽的向内折角圆环,以加强弯边的稳定性,操作过程如图 5-47 所示。

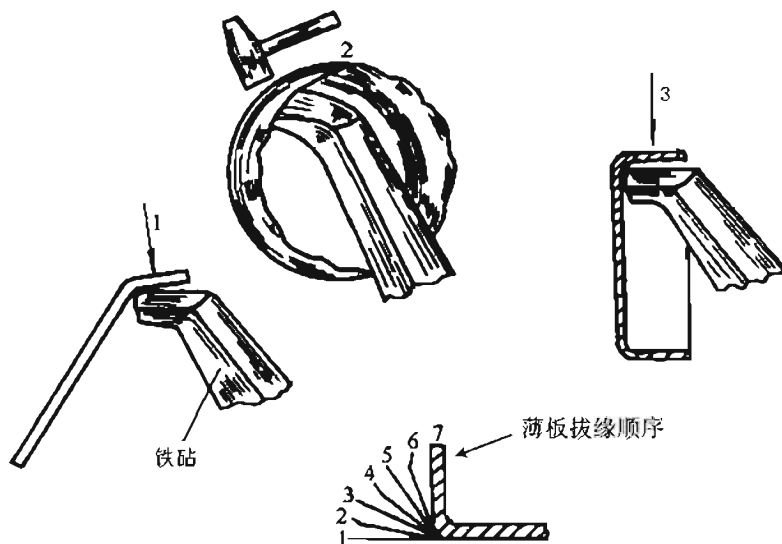


图 5-47 外拔缘操作过程

1—先弯;2—制皱折;3—打平皱折

拔缘时,锤击点的分布和锤击力的大小要稠密、均匀,不能操之过急。如锤击力量不均,可能使弯边形成细纹皱折而最后发生裂纹。

管节拔缘,在管节内侧划出拔缘线,按放边撞击方式翻出凸缘,如图 5-48 所示。与内拔缘相同,

需分若干次捶放才能翻出垂直凸缘,否则会出现撕裂。管节拔缘容易出现如图 5-49 所示的三种疵病。

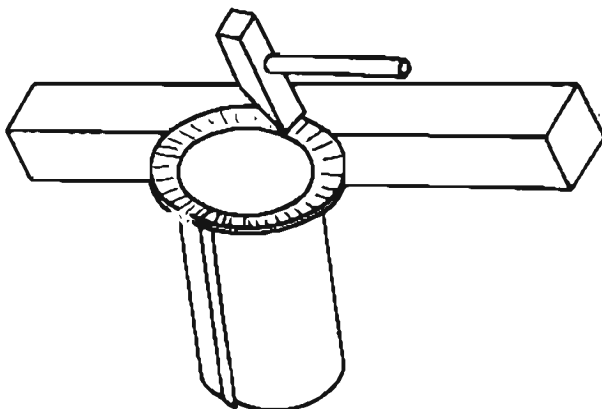


图 5-48 管节拔缘

图 5-49(a) 是因为拔缘线处斩击捶放的延展量过大,或凸缘外端斩击延展量不足而硬将凸缘翻成垂直所致。在第二种情况下,会同时出现图 5-49(b) 的形状。图 5-49(c) 是凸缘外端斩击延展过量的情况,这时较难修复到正确的形状。

管节拔缘的用途之一是手工制作多节弯头时,弯头各节间的咬口连接。

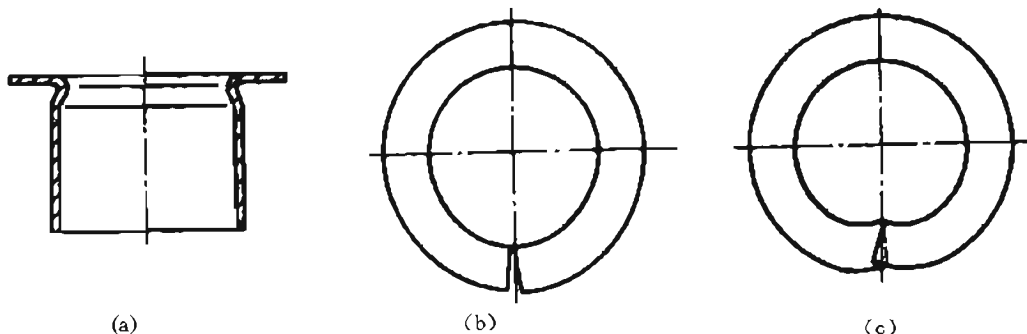


图 5-49 管节拔缘操作不当  
(a) 颈结 (b) 外凸 (c) 内凹

## 2. 型胎拔缘

型胎拔缘要求铁砧工作边制成和工件拔缘部分有相同的曲率。型胎拔缘用于制件的批量生产,可提高生产效率和成形质量,如图 5-50 所示。

### 5.7.6 手工拱曲

拱曲,是指将板料用手工捶击成凸凹曲面形状的零件。通过板料周边起皱向里收,中间打薄向外拉,这样反复进行,使板料逐渐变形得到所需的形状,所以拱曲零件一般底部都变薄,如图 5-51 所示。拱曲可分为用顶杆手工拱曲和胎模手工拱曲两种。

#### 1. 顶杆手工拱曲法

这种方法应用于拱曲深度较大的零件,主要是利用顶杆和手工捶击的方法制圆弧形零件,如图 5-52 所示,其操作过程如下:

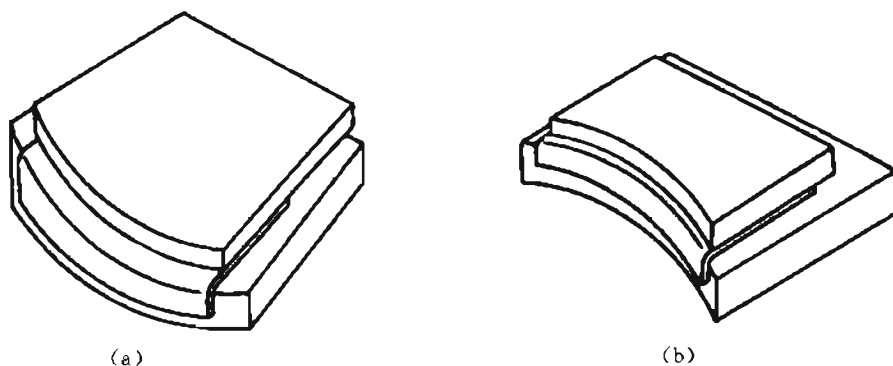


图 5-50 型胎拔缘  
(a) 外拔缘 (b) 内拔缘

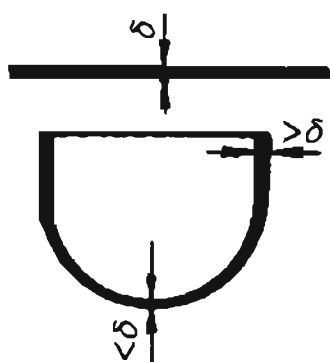


图 5-51 拱曲件厚度变化

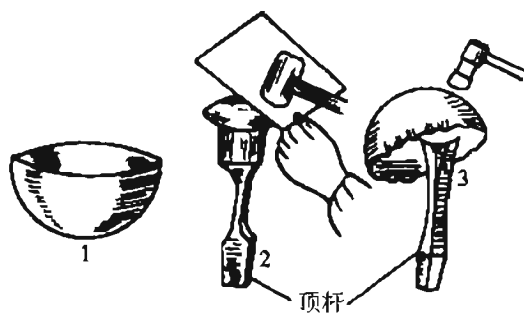


图 5-52 半球形零件的拱曲  
1—零件;2—锤;3—顶杆

(1) 拱曲时,首先把板料的边缘做出皱褶,然后在顶杆上将边缘的皱褶打平,使边缘向内弯曲,同时用木锤轻轻而均匀地捶击中部,使中部的坯料伸展拱曲。捶击的位置要稍稍超过支撑点,敲打位置要准确。否则,容易打出凹痕,甚至打破。

(2) 捶击时,用力要轻而均匀,而且打击点要稠密,边捶击边旋转坯料。根据目测随时调整捶击部位,使表面光滑、均匀。凸出的部位不应再捶击。否则,愈打愈凸起。

(3) 捶击到坯料中心时,要不断转动,不能集中在一处捶击,以免坯料中心伸展过多而凸起。依次收边捶击中部,并配合中间检查,使其达到要求为止。为考虑最后修光时,要产生回弹变形,一般拱曲度要稍大些。

(4) 用平头锤在圆杆顶上,把拱曲成形好的零件进行修光,然后按要求画线,并进行切割、锉光边缘。在加工过程中,如发现坯料由于冷作而硬化,应及时进行退火处理,否则容易产生裂纹。

## 2. 胎模手工拱曲法

一般尺寸较大、深度较浅的零件,可直接在胎模上进行拱曲,如图 5-53 所示。其操作过程如下:

(1) 坯料压紧在胎模上,用手锤从边缘开始逐渐向中心部分捶击,图 5-53(a)、(b)、(c) 是拱曲过程,由边缘逐渐向中心拱曲,图 5-53(d) 是在橡皮上伸展坯料。

(2) 拱曲时,捶击应轻而均匀,这样才能使整个加工表面均匀地伸展,形成凸起的形状,并可以防止拉裂。为使坯料伸展得快,在拱曲过程中,可垫橡皮、软木、砂袋等进行伸展坯料,这样表面质量较好。

(3) 在拱曲过程中,不能操之过急,应分几次,使坯料逐渐下凹,直到坯料全部贴合胎模,成为

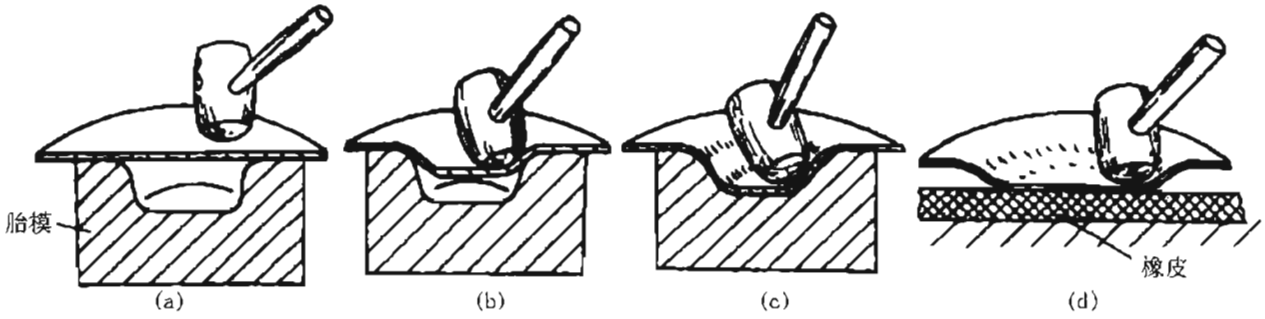


图 5-53 在胎模上拱曲

所需的形状。最后用平头锤在顶杆上打光局部凸痕。

### 复 习 题

1. 按照变形的性质, 钣金零件典型的成形方式可分为几类?
2. 在弯曲成形中, 影响回弹的主要因素有哪些?
3. 弯曲可分为几类? 其特点是什么?
4. 滚弯工艺分为哪几个步骤?
5. 什么叫翻边? 常见翻边形式有哪些?
6. 常用手工成形工具有哪些?
7. 试画出如图 5-54 所示的零件弯曲顺序图并设计其弯曲模。



图 5-54

8. 什么叫收边和放边? 收边和放边常用的方法有哪几种?
9. 常用拔缘的方法有哪几种?
10. 什么叫手工拱曲? 操作过程应注意什么?

## 第 6 章 连接与装配

钣金制件加工中的连接,是指零件与零件之间的结合,或是组成一个零件的多个坯料之间的结合。装配则是指多个构件或部件之间的连接关系,一般可分为部件装配和局部系统装配。钣金零件之间常用的连接方法有焊接、铆钉连接、咬接、粘接、螺栓连接、法兰连接、套接、卡箍连接和混合连接等。除了螺栓连接、法兰连接和卡箍连接为可拆连接外,其余均为不可拆连接。

### 6.1 焊 接

将被焊接的工件表面和焊料加热,使焊料熔化,填满被焊接工件的缝隙(或不用焊料填缝隙,如点焊等),把工件连接起来,这种工艺称为焊接。

钣金工程中,用于通风除尘、气力输送或物料输送的钣金制件,都要求在连接处除了能保证有足够的强度外,还要求具有良好的密封性能,使管道不漏风和粉尘不外扬。所以,往往在铆接或咬接后,还要进行焊接,以提高连接处的密封性能。

焊接的种类很多,用气体燃烧熔化焊料和加热焊件的称为气焊;用电弧产生的高温熔化焊件和加热焊件的称为电弧焊。另外,从焊接温度来看,用熔点高于 450 ℃ 的焊料进行焊接的称为硬钎焊;用熔点低于 450 ℃ 的焊料进行焊接的称为软钎焊,两者通称为钎焊。气焊和电弧焊产生的热量高,适于较厚板材的焊接。薄板钣金制件的材料多为 12 mm 以下的镀锌板,故不宜采用气焊或电弧焊,一般多用钎焊,本节重点介绍钎焊。

#### 6.1.1 钎焊的特点

钎焊就是将焊料(锡合金)加热到熔化的程度,而被焊接工件在不被熔化的情况下,使它们连接起来。其焊缝的抗拉强度为  $\sigma_b = 50 \sim 70 \text{ MPa}$  (用铜锌合金做焊料称为硬钎焊,焊缝的抗拉强度可达 490 MPa)。

钎焊(主要软钎焊,也称锡焊)之所以能在薄板钣金制件的制作中得以广泛使用,因为具有以下特点:

- (1) 由于加热温度低,时间短,不致引起构件的变形,即使在焊薄板构件时,也不致使板料焊穿。
- (2) 焊件不需要进行专门清理就可得到光洁的焊缝。
- (3) 焊接工具少,操作简便,生产效率高。
- (4) 由于钎焊的机械强度较低,所以焊缝不能承受较大的外力。

#### 6.1.2 钎焊常用的工具

钎焊常用的工具有烙铁、锉刀、刮刀、砂纸、刷子等。烙铁有电烙铁和火烙铁等。

电烙铁的外形如图 6-1(a) 所示,它由外壳、电阻丝、铜棒、手柄和导线等组成。当电烙铁通电后,电阻丝将电能转变为热能,由铜棒传出进行加热焊接。电烙铁按其功率大小有 20 ~ 500 W 多种,钣金加工用的电烙铁一般在 150 ~ 500 W。如果功率过小,则热量不够,会影响钎焊质量。

火焰铁由烙铁头和手柄组成,如图 6-1(b)所示。烙铁头用纯铜锻打而成,与铁柄的连接可采用铜钎焊焊接;或用螺纹连接;或将铁柄头部压出凹痕,塞入烙铁头上钻出的孔中,并锤击烙铁头的两侧压紧固定。烙铁头的质量在0.125 ~ 1 kg之间,火焰铁加热用焦炭炉、电炉、煤气炉或氧—乙炔焰等。有时为了使用方便,可将火焰铁固定在氧—乙炔焊炬上,这样可获得足够的热量,连续焊接较大的工件。

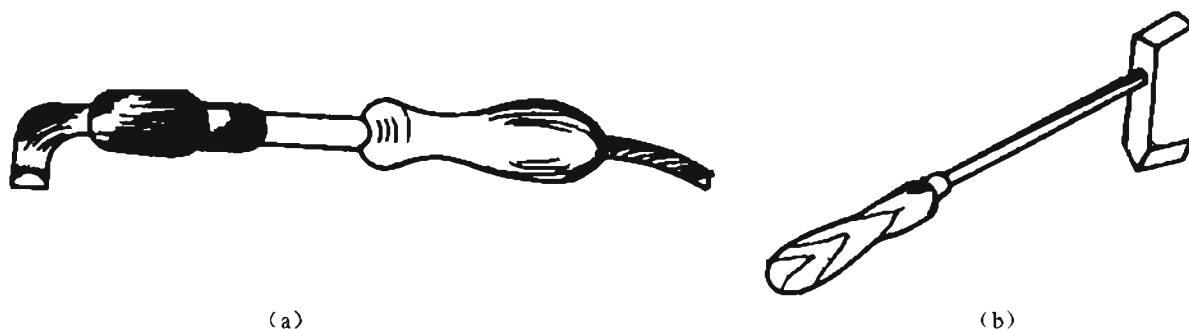


图 6-1 锡焊工具  
(a) 电烙铁 (b) 火焰烙铁

### 6.1.3 钎料与钎剂

钎焊的焊接质量好坏,很大程度上取决于钎料。因此,选择钎料时,必须考虑以下几点:

- (1) 钎料要有合适的熔点(低于金属的熔点)。
- (2) 良好的填缝能力。
- (3) 与焊件金属能良好地作用(溶解和扩散)。

钎料根据其熔点的高低分硬钎料和软钎料两大类。硬钎料的熔点在 450 °C 以上,它的种类很多,常用的有铜锌、银基、铝基和镍基等。为了改善它们的力学性能和工艺性能,如降低熔点、增加流动性等,常在以上的基础上再加入少量的锌、锰、磷、镍、镉等。软钎料的熔点在 450 °C 以下,有以锡、铅、锌、镉等为基础的合金。由于成分不同,其熔点也不一样,最低可达 180 °C 左右。其中,锡铅钎料应用最广,它们的成分、性能和用途如表 6-1 所示。

表 6-1 锡铅钎料成分、性能和用途

国标型号	牌 号	名 称	化学成分(质量分数,%)						熔化温度 /°C	抗拉强度 /MPa	用 途	
			锡	锑	铅	锌	镉	银				杂质
HLSn18PbSb	HL601	锡铅钎料 1号	17 ~ 19	1.5 ~ 2.0	余量	-	-	-	< 0.5	183 ~ 279	27	含锡量低,但结晶温度间隔大,烙铁钎焊时操作比较困难且机械性能较差,可钎焊油壶、容器、镀锌铁皮、黄铜等
HLSn30PbSb	HL602	锡铅钎料 2号	29 ~ 31	1.5 ~ 2.0	余量	-	-	-	< 0.5	183 ~ 258	32	是应用较广的锡铅焊料,润湿性较好,用于钎焊铜、黄铜、铁、锌板、白铁皮、散热器、仪表、无线电器械、电动机的匝线、电缆套及刮擦钎焊铝管等



续 表

国标型号	牌 号	名 称	化学成分(质量分数,%)						熔 化 温 度 /℃	抗拉 强 度 /MPa	用 途	
			锡	锑	铅	锌	镉	银				杂质
HLSn40PbSb	HL603	锡铅钎料 3号	39 ~ 41	1.5 ~ 2.0	余量	-	-	-	< 0.5	183 ~ 238	37	是应用最广的锡铅钎料,用来钎焊钢及铜合金、钢、锌零件等,可得到较光洁的表面,常用于钎焊散热器、无线电设备、仪表导线及镀锌铁皮等
HLSn90PbSb	HL604	锡铅钎料 4号	89 ~ 91	≤ 0.1	余量	-	-	-	< 0.3	183 ~ 215	42	含锡量高,可用来钎焊大多数钢材、铜材和很多其他金属,这种焊料的特点是抗腐蚀性好,多用来钎焊煮制或储存食品的器皿和医疗器材的内部焊缝
HLSn60PbSb	HL610		59 ~ 61	0.3 ~ 0.8	余量	-	-	-	-	183 ~ 190	46	适宜钎焊电子仪表精密件产品
HLSn50PbSb	HL613		49 ~ 51	0.3 ~ 0.8	余量	-	-	-	-	183 ~ 215	37	适用钎焊铜、黄铜、镀锌或镀锡铁皮以及散热器、计算机零件等

钎焊时,由于加热会使已清理的金属表面重新发生氧化,增加了钎焊的困难,所以,要借助于钎剂的作用,去除焊件和钎料表面的氧化膜及其他脏物。钎剂,又称助焊剂或焊药,钎剂熔化后覆盖在焊件和钎料表面,隔绝空气起保护作用。同时,还能改善钎料的流动性,保证钎焊过程顺利进行,以获得良好的焊接质量。

钎剂的选择与钎料和连接件有直接关系,不同的钎料和钎焊方法要用不同的钎焊钎剂,一般对铜及铜合金、钢和镀锌钢板等材料进行软钎焊时,常采用氯化锌做钎剂;如果再加一些氯化铵更能增加它的活性。钎焊不锈钢时,必须在氯化锌钎剂中加入一些盐酸,以增加钎剂去除不锈钢表面氧化膜的能力。

氯化锌钎剂可用氯化锌直接加水配制,也可以用35% ~ 45%的工业盐酸,加入金属锌粒,让其反应,直至不冒泡为止,即可得氯化锌溶液。

钎焊镀锌钢板时,有时因表面存在镀锌层,会使钎料增加锌的含量,引起钎料的熔点升高,造成焊接不良,所以在钎焊时可直接使用盐酸。当盐酸涂在锌层上时,盐酸立即与锌化合生成氯化锌,这样在去除镀锌层的同时又生成氯化锌,使钎焊能顺利地进行。

钎焊铜质零件时,可以用松香或松香酒精溶液等有机钎剂。如果需要增加一些活性,可适当加一点氯化锌,即成一般的焊锡膏,使钎焊能顺利地进行。焊锡膏具有一定的腐蚀性,所以焊后要清洗干净,防止腐蚀焊件。一般软钎焊用的钎剂如表6-2所示。

表 6-2 常用软钎焊钎剂及其用途

序 号	成分(质量分数,%)	用 途
1	氯化锌 25、水 75	钎焊钢、铜及其合金、镍合金等
2	氯化锌 18、氯化铵 6、水 50	钎焊钢、铜及其合金
3	氯化锌 25、盐酸 25、水 50	钎焊不锈钢、耐热合金等

续 表

序号	成分(质量分数,%)	用途
4	松香与松香酒精溶液	钎焊铜及其合金
5	松香 28、氯化锌 3、氯化铵 1、酒精 68	钎焊镀锌铁皮、铜及其合金等
6	氯化锌 45、氯化钠 10、氯化镉 30、氯化铵 15	软钎焊铝青铜
7	氯化锌 65、氯化钠 10、氯化镉 10、氯化铵 15	软钎焊铝黄铜

### 6.1.4 钎焊的操作和方法

钎焊前,先将接缝表面的油污及氧化层去除干净,清除的办法可用刮刀、锉刀、盐酸及砂布等,直至出现金属光泽为止。加热烙铁到需要的温度,让加热烙铁的工作部分在钎剂中浸一下,以去掉表面的氧化锡层,立即蘸锡(钎料)进行焊接。焊接时,焊缝最好放成船形位置,烙铁移动速度要适当,以获得丰满而又光滑的钎焊接缝。如果烙铁移动的速度太快,将引起导热差,钎料熔解和湿润不够,焊缝毛糙,强度极差;如果移动的速度太慢,则效率不高。同时,由于钎料的温度很高,流动性太好,当接缝的间隙过大时,就会出现钎料泄漏,浪费钎料或形成焊瘤,影响钎焊质量。

如果是全靠钎焊连接的制件,在焊接时,应先用烙铁在焊缝两端和中间焊几个定位焊点,如图 6-2 所示,以保证焊缝位置正确,然后进行连续焊接。

对于较长的构件,如图 6-3 所示,在焊接时,烙铁的头应全部接触焊缝以便传递较多的热量,起着一边焊接一边对焊件预热的作用。连续焊接时,烙铁沿焊缝移动的速度要适当。如果移动太慢,焊锡就会堆积过多,不仅浪费焊锡,还会影响焊缝的整洁;如果移动太快,焊锡难以填满焊缝而影响焊接强度。

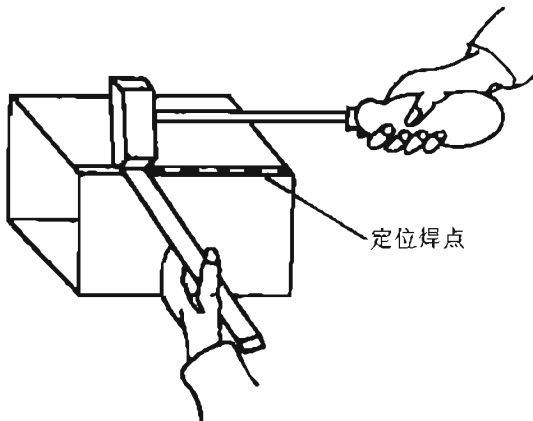


图 6-2 焊前定位

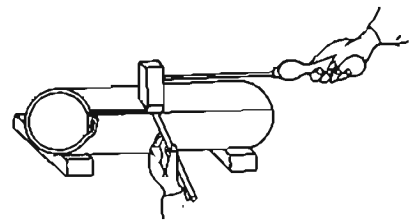


图 6-3 长焊缝焊接

当焊缝比较长时,在焊接过程中,烙铁在工件上拉动,焊锡应具有很好的流动性。若发现焊锡在烙铁上不能很快熔化时,说明温度已到不能继续施焊的程度了,这时应对烙铁重新加热。

焊接对接焊缝:如图 6-4 所示,薄板一般不开坡口,为了扩大焊接面,往往把接缝做成斜面。

焊接搭接焊缝:如图 6-5 所示,配合较好的搭接焊缝,焊料层应薄而均匀。

焊接盖板焊缝:如图 6-6 所示,盖板必须符合工件的形状,如果盖板配合得好,焊接后能保证足够的强度。

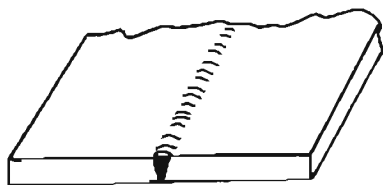


图 6-4 对接焊缝



图 6-5 搭接焊缝

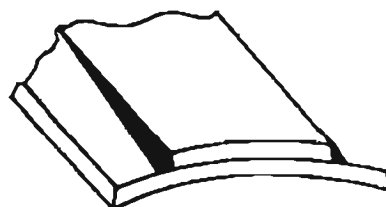


图 6-6 盖板焊接

施焊后,要擦去焊缝四周残留的焊剂和锡渣,避免氧化生锈,保持焊缝部位的整洁。

焊接较厚较大的制件,尤其是铜制件,应把大制件加热至  $100 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,这样不仅可避免制件过多地吸收烙铁的热量,影响焊接效果,而且还可以保证施焊的进行和焊接强度。

采用烙铁钎焊时,烙铁的加热应让工作部分向上,以免使工作部分上的钎料过分氧化(俗称“烧死”)。当烙铁头“烧死”时,即使蘸过钎剂也不能还原,导热性能差,不能焊接,需要重新锉光镀锡才能使用,一般控制烙铁加热温度,可以通过观察烙铁头上钎料层的光泽判断,以光泽变暗但尚未变黄为准。

## 6.2 铆 接

铆接是借助铆钉形成的不可拆连接。铆接的韧性和塑性比焊接好,传力均匀可靠,容易检查和维修,所以应用于承受严重冲击或振动载荷等结构的连接。此外,在异种金属和焊接性能差的金属连接中,铆接应用也较广泛。目前,虽然许多铆接被焊接所代替,但由于工艺的特殊要求,铆接还是占有较重要的位置,在钣金加工中尤为如此。

### 6.2.1 铆接种类及其连接形式

#### 1. 铆接种类

根据构件的工作要求和应用范围的不同,铆接可分为强固铆接、紧密铆接和密固铆接三种。

(1) 强固铆接。强固铆接要求铆钉能承受大的作用力,保证构件有足够的强度,对构件的密封性无特殊要求,如屋架、桥梁、立柱和横梁等构件的连接。

(2) 紧密铆接。紧密铆接要求连接后,工件接缝处应有良好的密封性,以防漏水或漏气,一般常用于贮藏液体或气体的薄壁构件的铆接,如水箱、贮罐等。

(3) 密固铆接。密固铆接要求铆接后,不但要保证构件有较高的连接强度,还要保证其接缝具有良好的密封性,如压缩空气罐等。

#### 2. 铆接的连接形式

铆接的连接形式有搭接、对接和角接等三种。

(1) 搭接。搭接就是将一块钢板搭在另一块钢板上,在其重叠部分用铆钉连接,如图 6-7(a) 所示。

(2) 对接。对接就是将被连接件置于同一平面内,用盖板和铆钉进行连接,如图 6-7(b) 所示。这种连接有单盖板和双盖板两种形式。

(3) 角接。角接一般采用角钢作为连接件,使两块钢板形成角连接的方式,如图 6-7(c) 所示。角接有一侧角钢连接和两侧角钢连接两种。

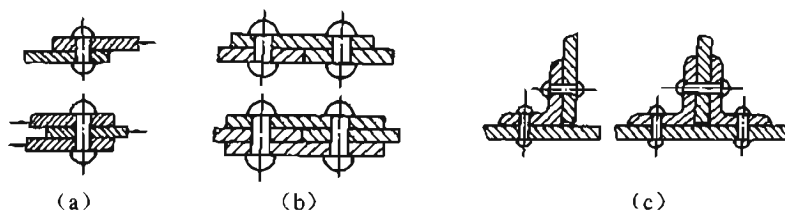


图 6-7 铆接形式  
(a) 搭接 (b) 对接 (c) 角接

### 6.2.2 铆接工艺

#### 1. 铆钉及其选用

铆钉是铆接结构中最基本的连接件,由圆柱铆杆、铆钉头和墩头所组成。

根据结构的形式、要求及其用途不同,铆钉的种类很多。在钢结构连接中,常见的铆钉形式有半圆头铆钉、平锥头铆钉、沉头铆钉、半沉头铆钉、平头铆钉、扁圆头铆钉和扁平头铆钉等,如表 6-3 所示。

表 6-3 铆钉种类

国家标准	铆钉形式	铆头形状	铆杆直径(mm)
GB 863—1986 GB 867—1986	半圆头铆钉 粗制 精制		$\phi 2 \sim 36$ $\phi 0.6 \sim 16$
GB 864—1986 GB 868—1986	平锥头铆钉 粗制 精制		$\phi 2 \sim 36$ $\phi 2 \sim 16$
GB 865—1986 GB 869—1986	沉头铆钉 粗制 精制		$\phi 2 \sim 36$ $\phi 1 \sim 16$
GB 863—1986 GB 870—1986	半沉头铆钉 粗制 精制		$\phi 2 \sim 36$ $\phi 1 \sim 36$
GB 109—1986	平头铆钉		$\phi 2 \sim 6$
GB 871—1986	扁圆头铆钉		$\phi 1.2 \sim 10$
GB 872—1986	扁平头铆钉		$\phi 1.2 \sim 10$

在各种铆接缝中,半圆头铆钉应用最广泛,特别是强固结合用半圆头铆钉和密固结合用半圆头铆钉两种铆钉应用更为广泛。现将它们的尺寸规格列入表 6-4。

表 6-4 强固、密固结合用半圆头铆钉

mm

公称直径 $d$	头部尺寸		钉杆长度 $L$	公称直径 $d$	头部尺寸				钉杆长度 $L$
	直径 $D$	高度 $H$			直径 $D$		高度 $H$		
	强固结合用	强固结合用			强固结合用	密固结合用	强固结合用	密固结合用	
1	1.8	0.6	2 ~ 6	8	14	14	4.8	4.8	16 ~ 60
(1.2)	2.1	0.7	3 ~ 8	10	16	17	6.0	6.0	16 ~ 85
1.4	2.5	0.8	3 ~ 10	(11.5)	19	21	7.0	8.0	20 ~ 90
(1.7)	3.0	1.0	3 ~ 12	13	21	24	8.0	9.0	22 ~ 100
2	3.5	1.2	3 ~ 14	16	25	29	9.5	10.0	26 ~ 110
2.5	4.6	1.6	5 ~ 20	19	30	34	11.0	12.0	32 ~ 150
3	5.3	1.8	6 ~ 20	22	35	39	13.0	14.0	38 ~ 180
(3.6)	6.3	2.1	8 ~ 24	25	40	44	15.0	16.0	52 ~ 180
4	7.1	2.4	8 ~ 28	28	45	50	17.0	18.0	55 ~ 180
5	8.8	3.0	8 ~ 35	30	50	55	19.0	20.0	55 ~ 180
6	11.0	3.6	10 ~ 42	34	55	60	21.0	22.0	70 ~ 200
7	12.8	4.2	14 ~ 50	38	60	65	23.0	24.0	75 ~ 200

注:括号内的直径,这两种铆钉都尽可能不采用。

在小型结构中,常用空心或开口铆钉,如图 6-8 所示。

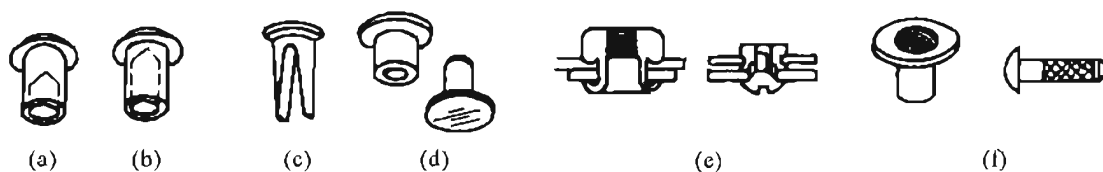


图 6-8 空心铆钉

(a) 半空心式 (b) 空心式 (c) 开口式 (d) 压合式 (e) 螺纹式 (f) 钻通式

压合式铆钉包括实心元件(阳模)和空心元件(阴模)。在铆接的钢结构中,主要应用钢制的铆钉。除特殊规定以外,一般钢制铆钉的材料采用 Q235-A 和 Q215-A 普通碳素钢,或 ML<sub>2</sub>、ML<sub>3</sub> 普通碳素铆接用钢和 10、15 优质碳素钢。

为了便于铆接,钉孔应大于钉杆。具体尺寸,按装配精度的要求而定。

## 2. 铆接工具

手工铆接常用的工具有手锤、压紧冲头和顶模等。手锤大多数用圆头锤,其规格大小按铆钉直径选定。最适用的是 0.2 kg 或 0.4 kg 的小手锤。压紧冲头(又称漏冲),如图 6-9(a) 所示,当铆钉插入孔内后,用它将被铆的板料压紧并使之贴合。顶模(又称窝子),如图 6-9(b) 所示,一般用中碳钢

或碳素工具钢(T8),经头部抛光制成。其半圆形凹球面,应与半圆头铆钉的标准尺寸相同。另外,在批量较大或不利手工铆接时,可用铆钉枪和拉铆枪,如图6-10所示,铆枪有电动和风动两种。

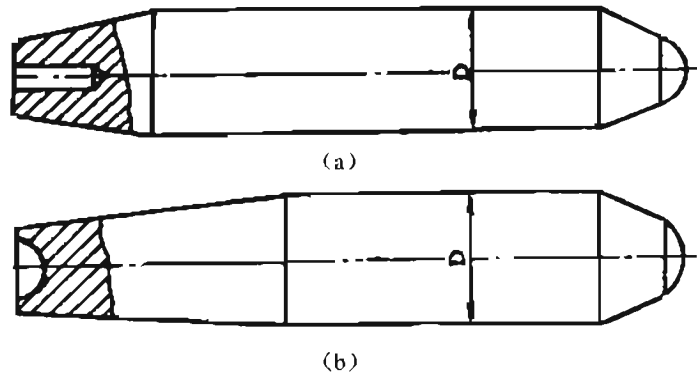


图 6-9 铆接工具  
(a) 漏冲 (b) 窝子

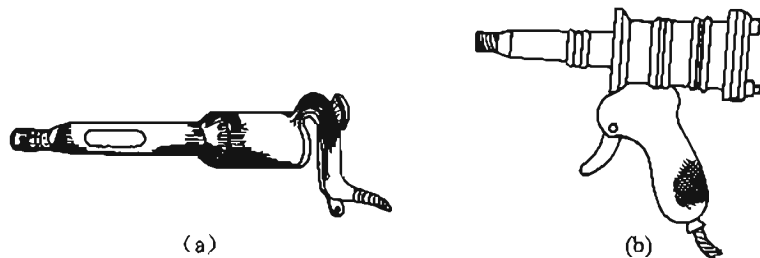


图 6-10 铆枪  
(a) 铆钉枪 (b) 拉铆枪

### 3. 手工铆接方法

铆接之前,应确定铆钉的直径和长度。

(1) 铆钉直径的确定。铆钉在工作过程中大多数受剪切力。因此,铆钉直径的大小与被连接板件的最小厚度有关。一般取板厚的1.8倍。当连接为搭接时,板厚是指搭接板板厚;当厚度相差较大的钢板相互铆接时,则为两者的平均厚度。

(2) 铆钉长度的确定。铆接时,所取铆钉的长度必须能铆出符合要求的铆合头及获得足够的铆接强度。铆钉的长度包括板件的总厚度、铆钉伸出部分的长度。一般埋头铆钉的伸出长约为铆钉直径的0.8~1.2倍;平头铆钉的伸出长度为铆钉直径的1.25~1.5倍,如图6-11所示。铆钉伸出板件的长短,直接影响着铆接件的质量。过长会增加铆接的时间及劳动力,也容易使铆钉杆弯曲;过短打不出铆钉头,铆接不牢。

若铆接厚度为 $h$ ,当确定出伸出部分长度 $a$ 后,则铆钉长度为 $L = h + a$ 。

(3) 钻孔铆接。钻孔铆接时,应使铆钉孔的直径略大于铆钉直径,以使铆钉能顺利通过铆钉孔。铆钉孔不能太大或太小。孔径太小,铆钉被强行打入,易使连接板孔壁受损,影响铆接强度;若孔径太大,铆接时易使铆钉偏斜,铆钉与连接板孔壁接触不良,降低承载能力。

经钻孔的制件在铆接时,往往因不能紧密贴合,在制件之间会出现缝隙。在操作中要在制件放

入铆钉后用漏冲铆紧,如图6-12(a)所示,然后再铆合,否则,会出现如图6-12(b)所示的现象,影响铆接强度和質量。

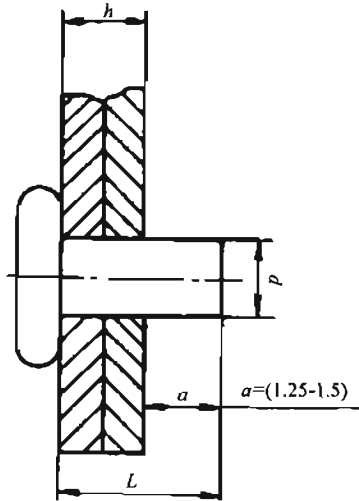


图 6-11 平头铆钉的伸出长度

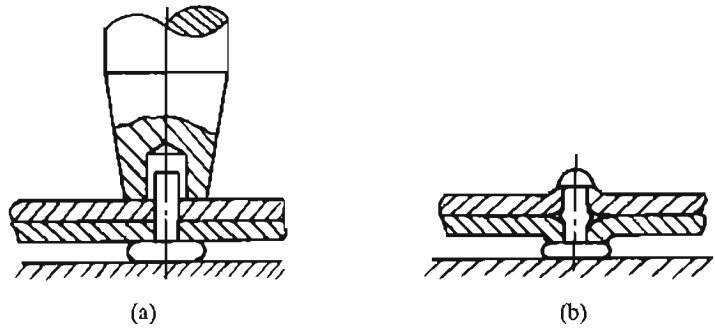


图 6-12 钻孔铆接

(4) 漏冲铆接。漏冲铆接时,先把铆钉放在铆接部位,然后用手锤在板的上方轻轻敲击,如图6-13(a)所示,以确定板下方的铆钉位置是否正确。当敲到铆钉位置时,会在板料上出现铆钉的痕迹,一旦位置确定后,即可紧握漏冲,用手锤锤击漏冲,迫使铆钉穿透板料。当双层板料总厚度不超过1 mm时,可一次冲漏;当板料厚度较厚时,则必须分开冲漏。

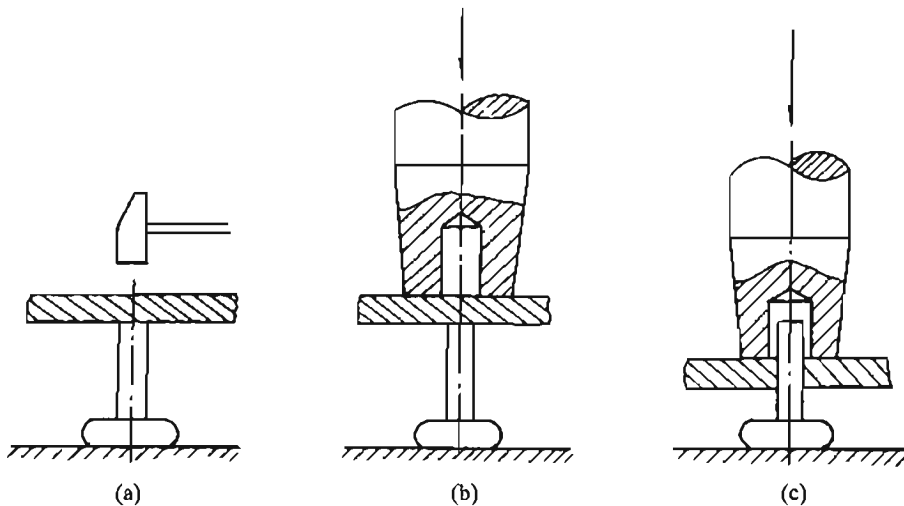


图 6-13 漏冲铆接

在铆合时,若制件的外观质量有要求时,应将铆合的钉头用窝子窝成半回头,但要避免图6-14中所示的现象。

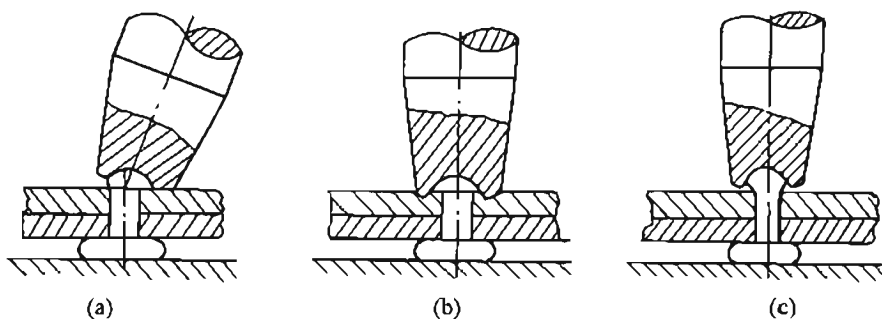


图 6-14 不正确的窝圆头方法  
(a) 窝子与钉钎未对正 (b) 用力过大 (c) 用力过轻

### 6.3 咬 缝

在钣金加工中,把制件毛坯的两端或两块板料的边缘折转扣合,并彼此压紧的连接称为咬缝(也称咬接)。咬缝根据制件的加工关系分为咬缝和咬口连接。根据咬缝的方法,可以分为手工咬缝和机械咬缝。

在管道工程中,钣金制件的材料多为薄板。因此,咬缝用得最多,尤其手工咬接相当广泛。本节仅讨论手工咬缝的工艺与方法。

#### 6.3.1 咬缝的连接形式

根据制件的结构和使用要求不同,所采用咬缝的连接形式也不同,图 6-15(a)、(b)、(c) 为平式单咬缝。平式咬缝具有一定的连接强度,操作方便,所以一般薄板结构的平连接均采用平式单咬缝。由于结构的要求不同,可将平式单咬缝加工成外平口[图 6-15(b)]或内平口[图 6-15(c)]。如火炉烟囱圆管需要插入其他零件内,要求外面平滑,此时应将连接处的接缝制成外平口;如盆、桶等接缝,要求内壁平滑,则应将接缝加工成内平口。

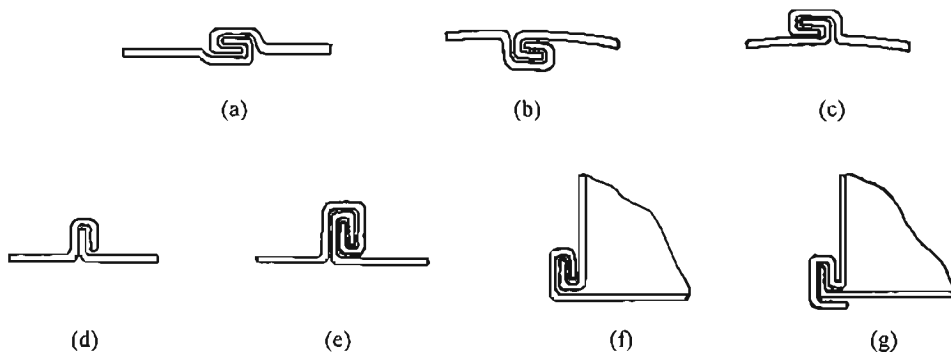


图 6-15 咬缝形式  
(a)、(b)、(c) 平式单咬缝 (d)、(e) 立式咬缝 (f)、(g) 角咬缝

如图 6-15(d)、(e) 所示为立式单咬缝和立式双咬缝,该种咬缝具有较高的连接强度和刚性,常用于大直径多节弯管及管道的连接。



如图 6-15(f) 所示为双折角咬缝,它具有较高的连接强度,常用于盆、桶底部的连接以及矩形管的角连接等。

如图 6-15(g) 所示为外包角咬缝,它外表平整,刚性好,连接时不需要内衬铁,操作方便,适用于矩形弯管、各种罩壳以及内部无法放置衬铁结构的角连接。

### 6.3.2 咬缝的咬接工艺

#### 1. 咬接工具

咬缝的咬接通常是手工操作,手工咬接的常用工具有手锤、木锤、打板、扁口、规铁等。其中,打板是咬接作业中的主要工具,用硬木制成,大小要适中,太大不易握持,太小拍打力量又不够,一般为  $45\text{ mm} \times 450\text{ mm}$ 。木锤多用于圆形制件的立咬口抛边。扁口用于压缝,也称压缝器。咬口的打制需在规铁上进行,为便于操作,一般将规铁固定在工作台上,如图 6-16 所示。

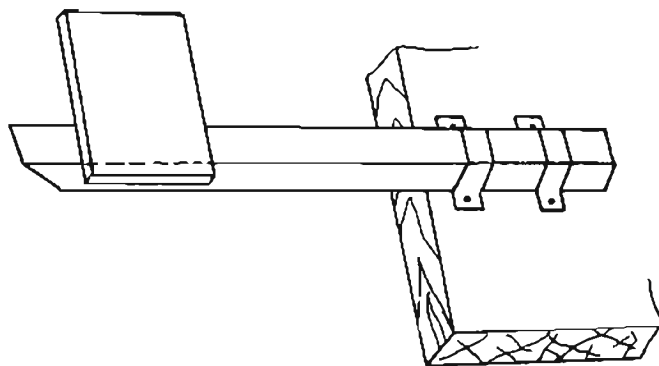


图 6-16 规铁的固定方法

#### 2. 咬缝工艺

咬缝一般制作步骤如下:根据咬缝形式计算咬缝余量;在板边画出咬缝弯曲线;按弯曲线折弯板边;将两边扣合并压紧,完成咬接。

(1) 平式单咬缝的咬接。平式单咬缝一般用于  $0.2 \sim 1.5\text{ mm}$  板料的连接,其咬缝宽度随板料厚度而定。当板料厚度在  $0.2 \sim 0.5\text{ mm}$  时,咬缝宽度取  $3 \sim 5\text{ mm}$ ;当板料厚度在  $0.75 \sim 1.5\text{ mm}$  时,咬缝宽度在  $5 \sim 8\text{ mm}$  之间。平式单咬缝余量等于咬缝宽度的 3 倍,其咬接过程如下:

- ① 根据板厚确定咬缝宽度,并放出为咬缝宽度 3 倍的咬接余量。
- ② 在板边画出咬缝折弯线(一板边为咬缝宽度;另一板边为咬缝宽度的 2 倍)。
- ③ 将板边的弯曲线对准规铁的棱角,用木拍敲击折弯成直角,如图 6-17(a) 所示。
- ④ 将板料翻身,用木拍敲打板边进一步折弯,如图 6-17(b) 所示。注意折弯时,要留出大于板厚的间隙。否则,另一板边无法插入而不能咬接。

⑤ 将板料前移略大于折弯板边宽度的距离,用木拍敲击折弯约  $45^\circ$ ,如图 6-17(c) 所示。另一板边也用同样方法制作。

- ⑥ 将两板边扣合,并敲击压紧,如图 6-17(d)、(e) 所示。

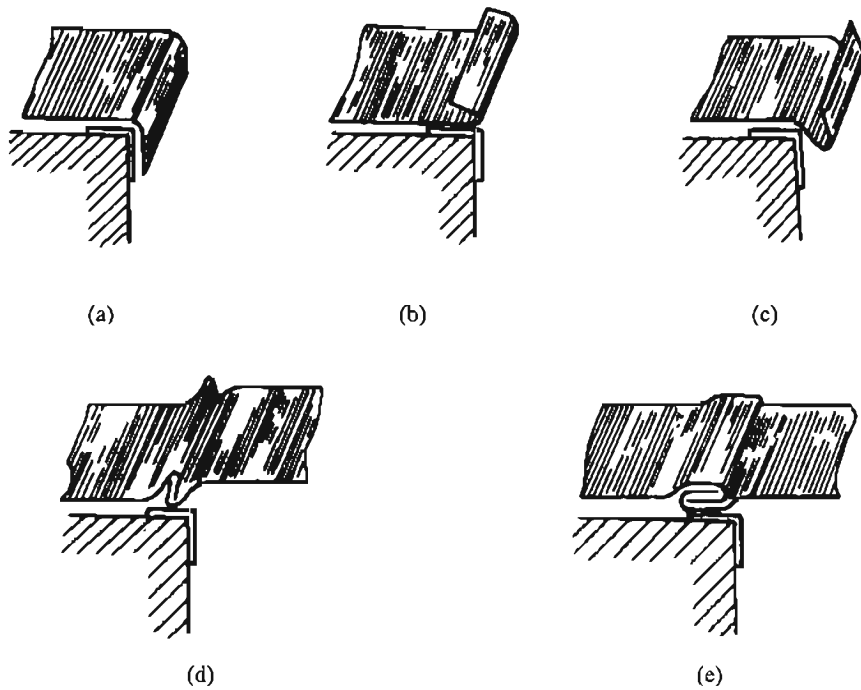


图 6-17 平式单咬缝的咬接

⑦ 如果要求接缝内平口或外平口,可采用扁口压出,如图 6-18(a) 所示,或利用规铁的边缘压出,如图 6-18(b) 所示。

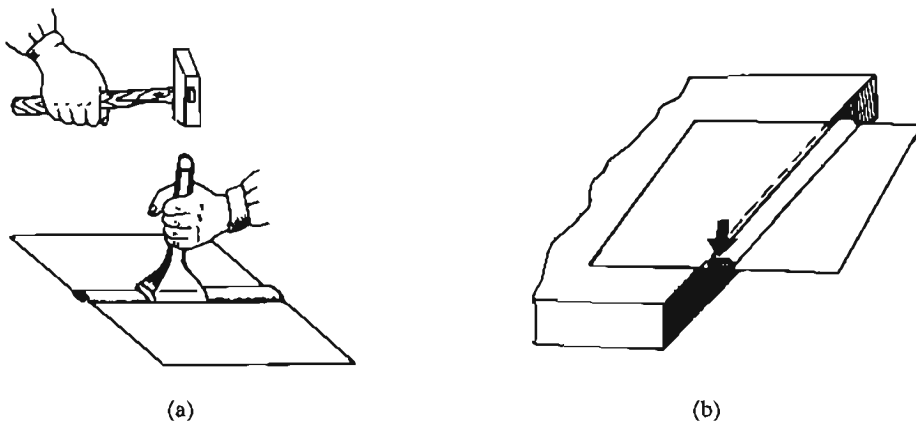


图 6-18 接缝平口的压制  
(a) 压缝器压缝 (b) 平台边缘压缝

(2) 立式咬缝的咬接。立式咬缝的高度由板厚、结构尺寸及咬缝要求而定,一般在 8 ~ 20 mm 之间,薄板取较小值,厚板则取较大值。立式单咬缝余量为咬缝高度的 3 倍,其咬接步骤如下:

- ① 根据板厚和咬缝要求等确定咬缝高度,放出咬缝余量,并在板边画出弯曲线(板边等于咬缝高度,另一板边等于咬缝高度的 2 倍)。
- ② 将板料弯曲线对准平台或规铁,用木拍敲击折弯成直角,如图 6-19(a) 所示。
- ③ 将板料翻身,用木拍继续弯曲,为防止板边扣合,可用大于板厚的垫板嵌入折弯,如图

6-19(b) 所示。

- ④ 将板料前移略大于咬缝高度的距离,继续用木拍敲击折弯成直角。
- ⑤ 另一板边也按咬缝高度画出弯曲线,并折弯成直角。
- ⑥ 将两边扣合,用规铁衬垫并敲击压紧,如图 6-19 (c) 所示。

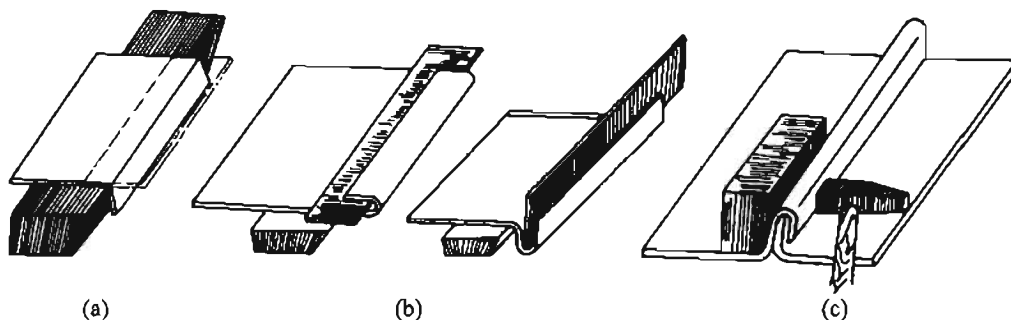


图 6-19 立式单咬缝的咬接

立式双咬缝的咬接余量为咬缝高度的5倍,画弯曲线时,一板边为咬缝高度的2倍,另一板边为咬缝高度的3倍。咬缝制作的前过程与立式单咬缝相似,然后用厚度等于咬缝高的垫铁衬垫,将咬缝的上半部分折弯、压紧,如图 6-20 所示,即可得立式双咬缝。

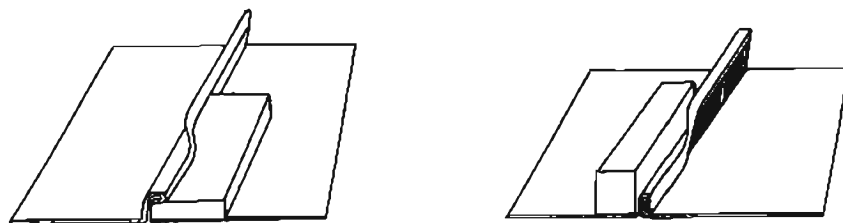


图 6-20 立式双咬缝的咬接

(3) 角咬缝的咬接。角咬缝的宽度由板料的厚薄确定,一般在 3 ~ 8 mm 之间,薄板取较小值,厚板则取较大值。角咬缝的咬接余量为咬缝宽度的3倍。其制作过程如下:

- ① 根据板料的厚度确定咬缝宽度,放出咬接余量,在板边画出折弯线(一边为咬缝宽度,另一边为咬缝宽度的2倍)。
- ② 将折弯线对准平台或规铁,用木拍折弯成直角,然后将板料翻身,用木拍敲击进一步折弯(留出大于板厚的间隙),如图 6-21 (a)、(b) 所示。
- ③ 将另一板折弯成直角,然后翻身让已折弯的板料挂扣于直边上,如图 6-21 (c) 所示。
- ④ 将挂扣的直边部分折弯、压紧,如图 6-21 (d) 所示。

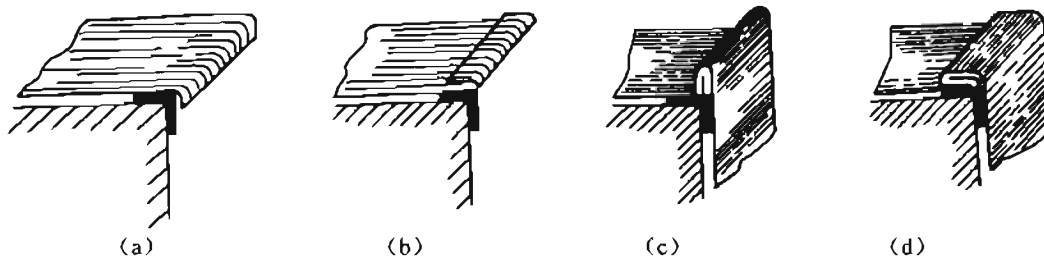


图 6-21 角咬缝的咬接

(4) 外包角咬缝的咬接。外包角咬缝的余量为咬缝宽度的 5 倍,其制作过程如下:

① 根据咬缝宽度,画出弯曲线(一边为咬缝宽度,另一边为咬缝宽度的 4 倍)。

② 将较大余量的板料置于规铁之上,把 2 倍于咬缝宽度的弯曲线对准规铁棱角,用木拍折弯成直角,然后翻身继续折弯,并用略大于板厚的垫板插入,防止压实,如图 6-22(a) 所示。

③ 将板料后移略小于咬缝宽度的距离,用木拍折弯成直角,然后翻身继续折弯并压紧,如图 6-22(b) 所示。

④ 再将板料翻身置于规铁边缘上,压下咬缝,使表面平整,如图 6-22(c) 所示。

⑤ 将另一板边也折弯成直角。

⑥ 将板料直边插入咬缝中,然后敲弯立边扣合并压紧,如图 6-22(d) 所示。

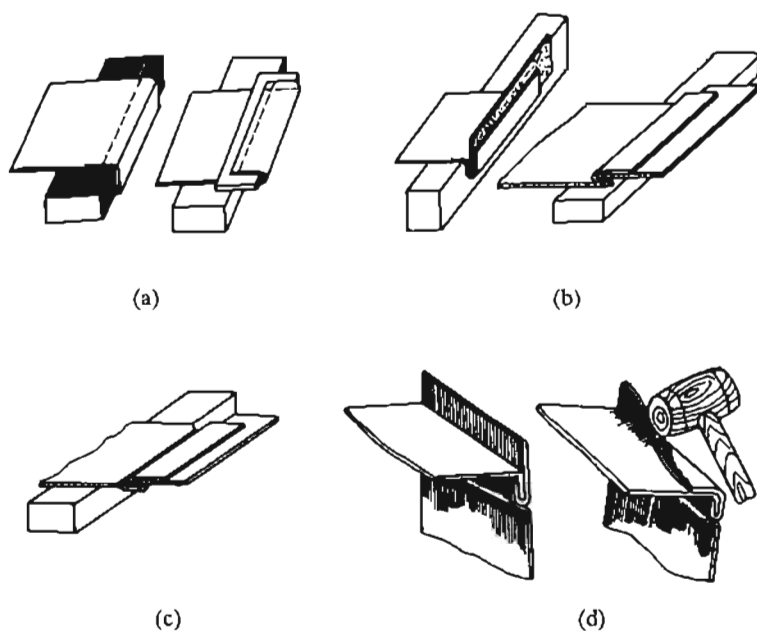


图 6-22 外包角咬缝的咬接

## 6.4 其他连接方法简介

在钣金构件的连接中,除了前面介绍的三种方法外,还有法兰连接、套接、卡箍连接和冲压连接。下面分别就它们的连接特点和基本结构作简单介绍。

### 6.4.1 法兰连接

法兰连接的基本结构如图 6-23 所示,连接件有法兰盘、密封圈和若干螺栓等。法兰盘的尺寸、材料、规格及螺栓数量和尺寸在规范中均作了规定。

为了连接可靠,被连接管的尺寸和法兰盘的尺寸要有一定的要求,否则,会给装配带来困难。

法兰连接的优点是:装拆方便,连接可靠。所以,常用于需要经常更换、系统分界处的管道连接。其缺点是:连接件多,尺寸要求严格,成本高。

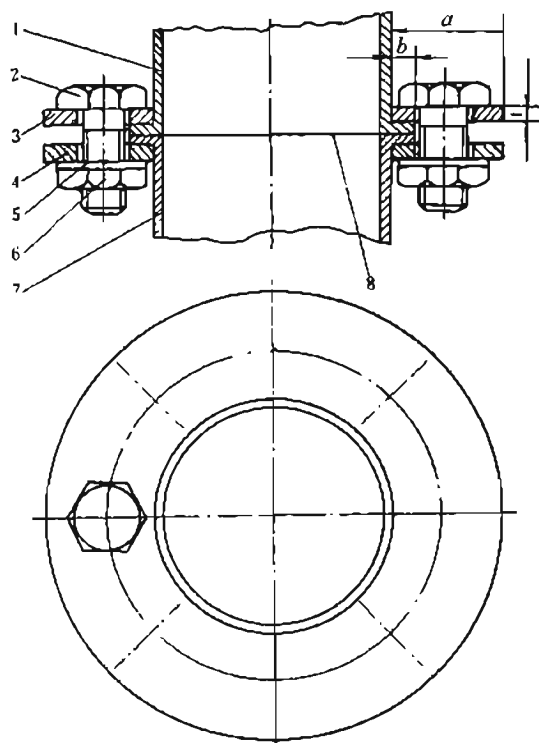


图 6-23 法兰连接

1—甲管;2—螺栓;3、4—法兰盘;5—垫圈;6—螺母;7—乙管;8—密封圈

### 6.4.2 套接

套接就是将被连接的两管的连接处分别做成大小头,使小头直接插入大头的一种连接,套接是钣金构件连接中最简单的一种连接方法。

采用套接时,应注意两个问题:一是要使气流流动的方向与小头端面相顺,而不能相对,以免堵塞物料和增加阻力;二是小头插入大头的长度 $S$ ,确定 $S$ 的长度一般要根据管道的长度、安装的斜度,以及承重能力等情况而定。管道越长,与水平的斜角越小,且承受的物料越重时, $S$ 就应越大,否则就会因连接强度不够而使连接处开裂。一般可取插进的长度 $S$ 为60 mm左右,最大可取 $S$ 为150 mm。为了增加套接的强度和密封性,往往还要在套接处进行钎焊。

套接主要优点是:连接简单可靠,不需要连接件,结构十分简单。因此,在通风、除尘等管道中应用十分广泛。其缺点是比较费料。

### 6.4.3 卡箍连接

卡箍连接的结构如图6-24所示,连接件有卡箍、密封圈和螺钉等。

卡箍连接主要有如下要求:

- (1) 被连接的周管直径误差不能大,而且必须要圆。
- (2) 被连接圆管的法兰边的最大直径必须相等。
- (3) 卡箍的直径大小要合适。

如果达不到上述要求,连接就比较困难,而且也不可靠。卡箍连接具有优点为:连接件少,拆装

方便。所以,近年来,在钣金构件的连接中应用越来越广泛。其缺点是:对被连接件的尺寸精度要求比较严格,对卡箍的制作要有专用设备,以及只能连接圆管等。

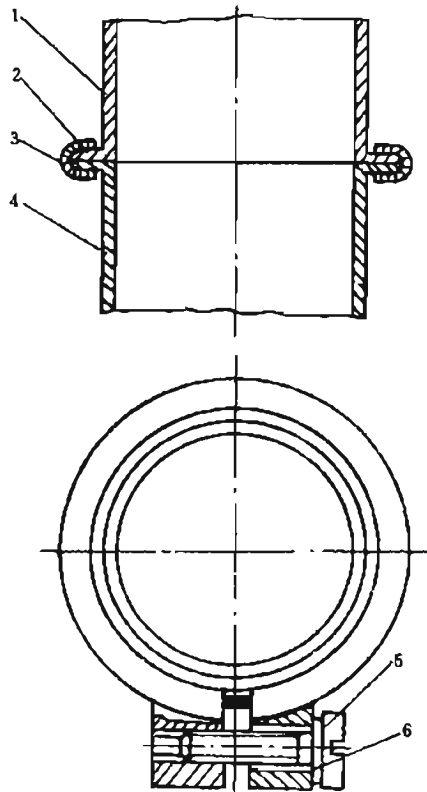


图 6-24 卡箍连接

1—甲管;2—卡箍;3—密封圈;4—乙管;5—螺钉;6—垫圈

### 6.4.4 冲压连接

冲压连接技术是一种新型机械连接技术,广泛应用于汽车、家电和机械制造行业,特别应用于金属板件的连接。这种连接方法的机理是用一个简单的圆形凸模将被连接件压进凹模,如图 6-25 所示。在进一步的压力作用下,凸模这一侧的材料被压,使凹模内的材料向外“流动”。冲压连接具有如下特点:结果产生一个既无棱边又无毛刺的圆连接点,而且不会影响其抗腐蚀性,即使对表面有镀层或喷漆层的板件,也同样能够保留其原有的防锈、防腐特性,因为镀层和漆层也随之一起变形流动。材料在连接点处被压实,所以被强化,不会出现力学上的应力集中现象。这种连接方法既可单点连接,也可多点连接。

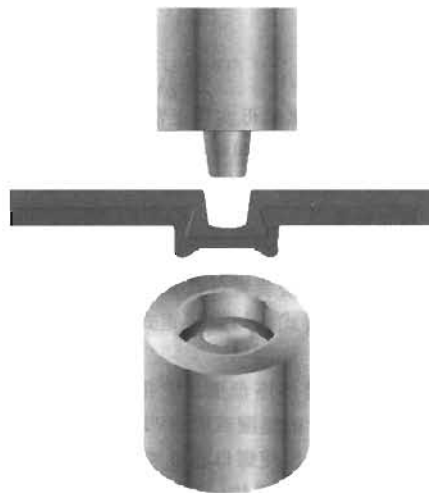


图 6-25 冲压连接的凹、凸模

## 6.5 手工矫正

金属板材、型材因受外力或加热等因素的影响,会产生变形,如弯曲、扭曲和局部等,消除金属板材、型材变形的不平、不直或翘曲等缺陷的操作称为矫正。矫正的方法很多,按矫正时被矫正工件的温度分类,可分为冷矫正与热矫正两种。冷矫正就是在常温条件下进行的矫正。由于矫正时有冷作硬化现象存在,只适宜用于矫正塑性较好、变形不严重的金属材料。对于变形十分严重或脆性较大,以及长期存放露天而生锈的金属板材和型材,要加热到  $700 \sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  的高温下进行热矫正。根据外力的来源和性质,可分为手工矫正、火焰矫正和机械矫正。本节只介绍手工矫正。

### 6.5.1 矫正原理

金属材料变形有两种形式:一种是弹性变形;另一种是塑性变形。金属材料产生变形的原因主要是钢材残余应力引起的变形;钢材在加工过程中引起的变形;钢材因运输、存放不当引起的变形等。如果钢材的变形量超过允许偏差,就必须进行矫正。矫正是针对塑性变形好的金属材料而言的。

钢材是由钢坯轧制而成的,在长度方向可以看成是由许多纤维组成,钢材的任何一种变形均可被看成其内部纤维长短不一所造成的。因此,矫正的原理就是使钢材较短部分的纤维伸长或使较长部分的纤维缩短,即“放”和“收”,最后各部分的纤维长度趋于一致,从而消除钢材或制件的弯曲、扭曲和凹凸不平等变形。

### 6.5.2 矫正工艺

#### 1. 手工矫正工具

手工矫正通常是采用捶击等方法进行的,手工矫正常用的工具如下:

(1) 平板和铁砧。它们是矫正板材、型材和工件基座的工具。

(2) 软、硬手锤。矫正一般材料,通常使用钳工手锤(榔头)或方形手锤。矫正已加工过的表面、薄钢板或有色金属制件,应使用木锤、铜锤、橡胶锤等软手锤,图 6-26 为木锤矫正板料。

(3) 抽条和拍板。抽条是采用条状薄板料制成的简易手工工具,用于抽打较大面积的薄板料,如图 6-27 所示。拍板是用质地较硬的檀木制成的专用工具,用于敲打板料。

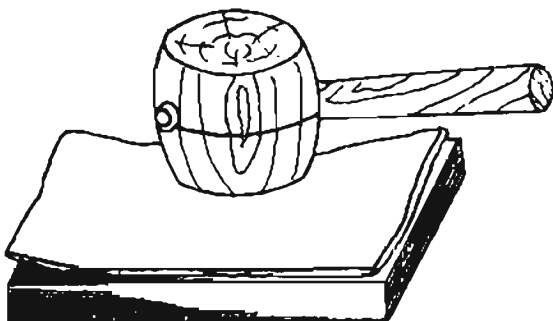


图 6-26 木锤矫正板料

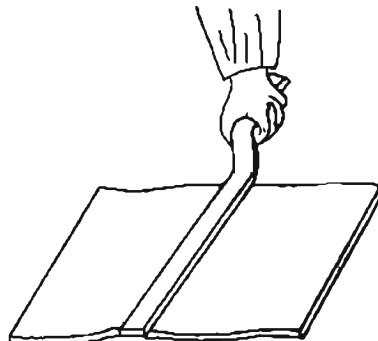


图 6-27 用抽条抽打板料

(4) 螺旋压力工具。适用于矫正较大的轴类零件或棒料。

(5) 检验工具。检验工具有平板、角尺、直尺和百分表。

## 2. 手工矫正方法

由于金属材料的厚度、零件的形状、材质,以及变形程度等不同,其矫正方法也就不一样。但不论是哪一种情况,其矫正原理都是相同的。为了掌握矫正的基本操作方法,这里仅介绍几种典型变形零件的矫正。

(1) 薄板的矫正。金属薄板和厚板的矫正方法不同。薄板主要有中间凸起,边缘呈波浪形,以及翘曲等变形,如图 6-28 所示。引起这些变形的主要原因是在外力的作用下,材料内部纤维组织长短不一,形成不平衡的内应力,有些部位伸长而凸起,没有伸长的部位受伸长部位的牵制而形成起皱或翘曲。知道了变形产生的原因,就可以找到矫正的方法。

薄板中间凸起,是由于变形后中间部分变薄而引起的。矫正时,应先捶击板料边缘,逐渐向凸起部位敲击,如图 6-28(a) 所示。捶击的速度要快,力量要轻,使边缘的厚度与凸起部位的厚度愈趋近则愈平整。若表面有几处凸起的部位,则应先捶击凸起部位之间的地方,使各凸起部位连成一个总的凸起部分后,然后用上述方法矫正。

如果薄板四周呈波浪形,这说明板料的四周变薄而伸长了,如图 6-28(b) 所示。捶击点应从中间向四周,按图中箭头所指的方向,密度逐渐变稀,力量逐渐减小。以反复多次捶打,使板达到平整。如果板料发生翘曲等不规则的变形,如图 6-28(c) 所示,当对角翘曲时,就应沿另外没有翘曲的对角线捶击使其延展而矫平。

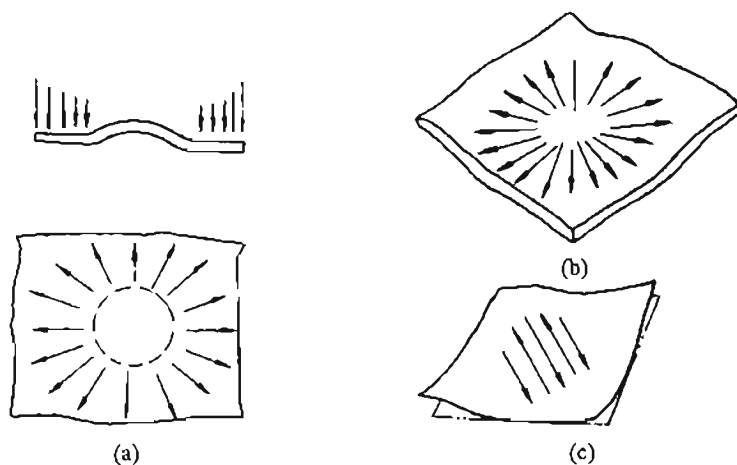


图 6-28 薄板的矫正  
(a) 中间隆起 (b) 边缘呈波浪形 (c) 对角翘

如果板料有微小扭曲时,可用抽条从左到右顺序抽打(图 6-27),因抽条与板料接触面积较大,受力均匀,容易达到平整。

(2) 条料的矫正。条料的变形有弯曲(立弯和厚弯)和扭曲两种。当条料在厚度方向上弯曲时,条料凸起向上,直接捶击凸起处即可矫平,如图 6-29(a) 所示。当条料在宽度方向弯曲时,可用手锤依次捶击条料内层,如图 6-29(b)、(c) 所示,或捶击条料内层三角区,使其延展而矫平,如图 6-29(d) 所示。

如果条料产生扭曲变形,可将其一端用台钳夹住,用叉形扳手夹住另一端,进行反方向扭转,待扭曲变形消失后,再将其矫平,如图 6-30 所示。

(3) 角型材的矫正。角型材由于断面小而且长,在加工、运输或存放不当时,都容易产生变形。其变形形式主要有弯曲(外弯和内弯)、扭曲及角变形等,如图 6-31 所示。



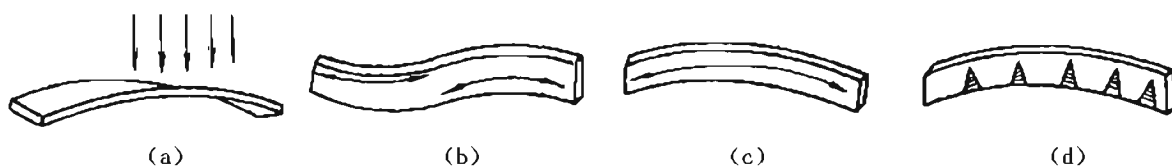


图 6-29 条料弯曲的矫正

(a) 矫正板材厚度方向弯曲 (b) 捶击板材内层 (c) 捶击板材内层 (d) 捶击内层三角区

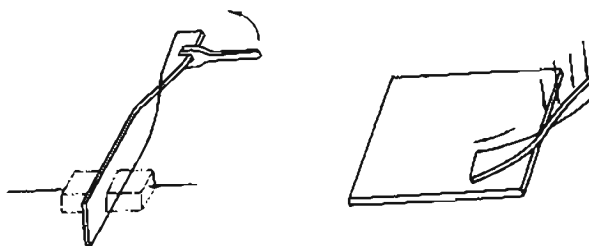


图 6-30 条料扭曲的矫正

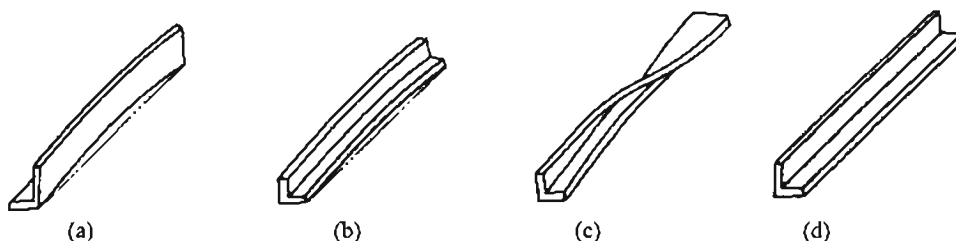


图 6-31 角型材的变形

(a) 外弯 (b) 内弯 (c) 扭曲 (d) 角弯形

角型材不论是外弯还是内弯,都可将它凸起处向上,放在合适的钢圈上或砧座上,捶击凸部,使其反向弯曲而矫正。矫正外弯时,角型材应放在钢圈上,捶击时为了不使材料翻转,锤柄稍微抬高或放低 $\alpha$ 角度(约 $5^\circ$ 左右),并在敲击的瞬间,除用力打击外,还稍带向内拉或向外推的力,如图 6-32(a)所示。矫正角钢内弯时,应将角钢背面朝上立放,然后捶击矫正,方法同外弯矫正,如图 6-32(b)所示。

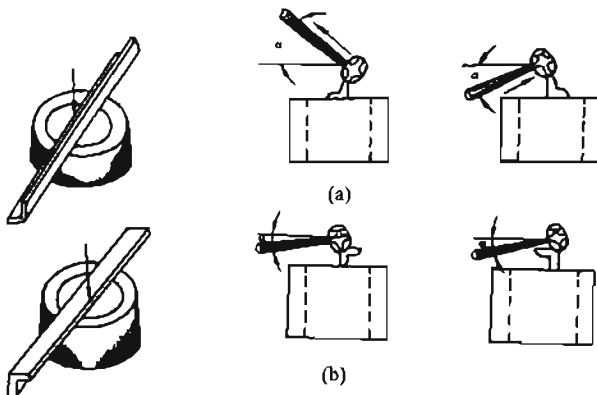


图 6-32 角型材弯曲的矫正

(a) 外弯 (b) 内弯

角型材扭曲的矫正,可将一端用台钳夹持,用扳手夹持另一端作反向扭转,如图 6-33 所示。待扭曲消除后,再用锤捶击进行修整。

当发生角变形时,可以在 V 形铁上或平台上捶击矫正,如图 6-34 所示。

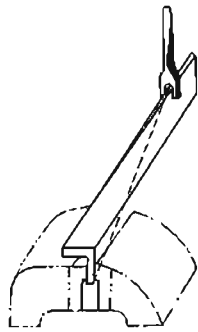


图 6-33 角型材扭曲的矫正

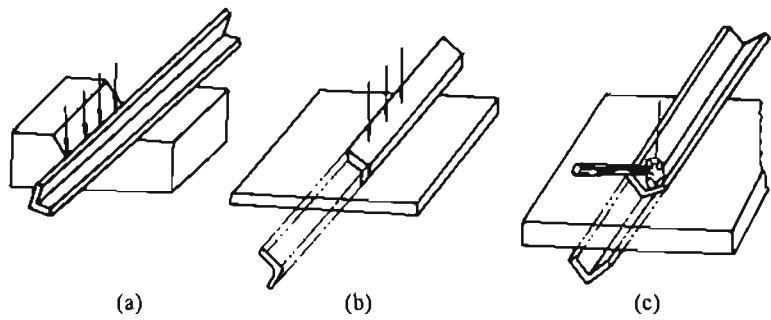


图 6-34 角型材角变形的矫正

(a)、(b) 夹角大于 90° 的矫正 (c) 夹角小于 90° 的矫正

如果角型材同时存在几种变形,应先矫正变形较大的部位,后矫正变形较小部位。如果既有弯曲又有扭曲变形,应先矫正扭曲变形,然后矫正弯曲变形。

(4) 焊接型材的矫正。用型材焊接的构件,因受热胀冷缩的影响,容易产生不同程度的变形。尤其是薄板材或没有焊接夹具时,变形更为突出。为使其符合图纸的要求,就需要进行矫正。

焊接型材的变形主要有角变形和两边弯曲两种形式。

由角型材焊接的 L 形或矩形框架工件,经焊接后角度有不同程度的变大或变小,而且还会出现双边弯曲的情况。其矫正方法是:对于出现的角度变形,当角变形是小于要求的角度(如 90°)时,可用手锤敲击底面焊缝的左右,使其向外延展;当变形角大于所要求的角度时,应捶击角钢的立面,如图 6-35 所示。对于出现双边弯曲变形,在两端加垫铁,捶击中间,如图 6-36 所示。对于角型材焊接的矩形框架产生的角变形,若角度小于所要求的角度,可将框架对角竖立,使  $\alpha$  角对准  $\beta$  角并垂直于平台上,捶击  $\alpha$  角,则  $\alpha$  角和  $\beta$  角向外扩张,即达矫正的目的,如图 6-37 所示。

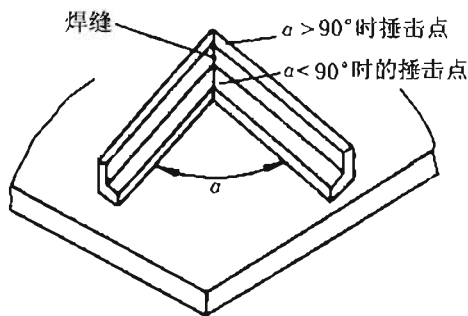


图 6-35 角变形的矫正

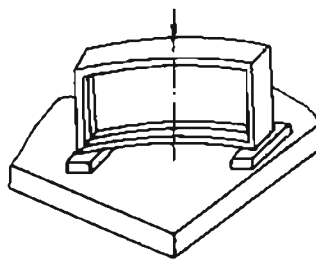


图 6-36 双边弯曲矫正

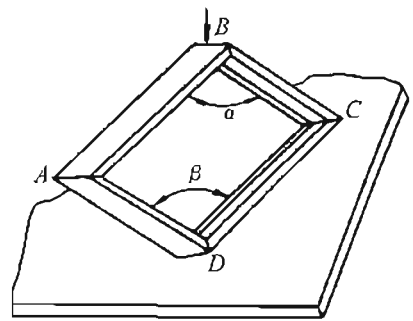


图 6-37 焊接型材矩形框架的矫正

(5) 焊接筒体的矫正。焊接后的筒体往往会产生焊缝处的内凹(或外凸),以及曲率半径局部过大或过小等变形。对这些变形,除了采用手工冷矫正外,也可用火焰矫正。用火焰矫正筒体的内凹和曲率半径局部过大的方法如图 6-38 所示。

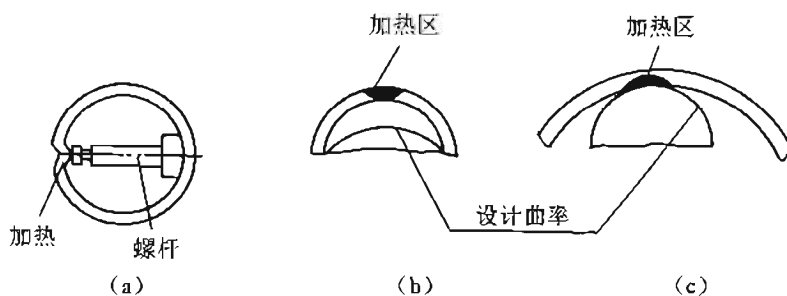


图 6-38 焊接筒体的矫正

(a) 焊缝处内凹 (b) 局部曲率过大 (c) 局部曲率过小

## 6.6 装 配

钣金、冷作制品总是由许多零件组合而成的。按规定的技术要求,将零件或部件进行配合和连接,使之成为半成品或成品的工艺过程,称为装配。钣金、冷作制品的质量优劣,不但取决于零件、部件的制造精度,而且在很大程度上取决于装配的质量。因此,装配是决定产品质量的重要环节。

### 6.6.1 装配原理

#### 1. 装配方法

钣金、冷作制品生产中常用的装配可分为部件装配和系统装配等。

部件装配,是指多个零件或构件的连接,如图 6-39 所示的八节弯管和裤形三通管就属于部件装配。部件装配大都是用咬口连接、铆接、卡箍连接或焊接。系统装配,是指多个部件的连接。如果这个系统还要与其他系统或部件连接,该系统就称为局部系统,如图 6-39 所示的吸风罩同分支管的装配就是局部系统装配。由多个局部系统组成的连接称为总系统装配,或称总体安装。

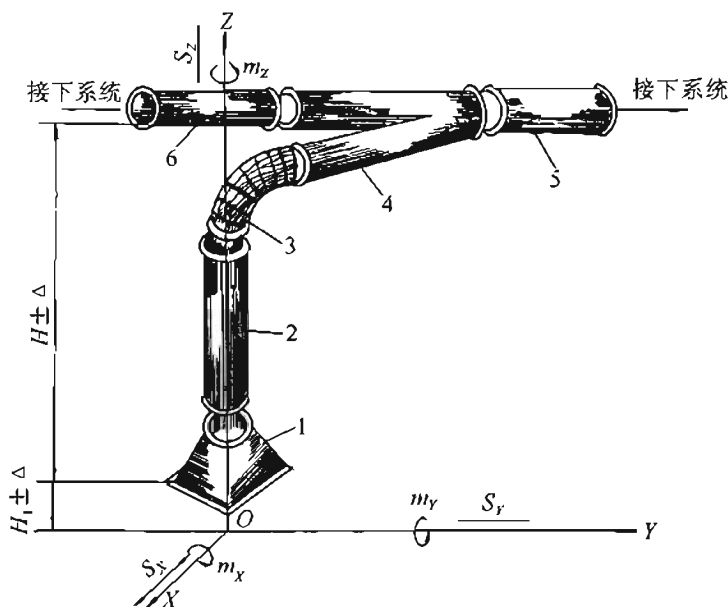


图 6-39 吸风罩同分支管的装配

1—吸风罩;2—风管;3—八节弯管;4—裤形三通管;5、6—分支管

## 2. 装配特点

(1) 手工操作技术要求高。如前所述,钣金零件、部件的装配大都以手工咬接、焊接和铆接为主。如果没有一定手工操作的经验和技能,装配后的零件、部件容易发生各种变形,就会影响到系统装配的顺利进行。

(2) 系统装配和总体装配的调整量大。为了满足设计的要求,在系统装配时,必须要留有一定的装配调整余量。其余量的大小和位置要根据系统的复杂程度、调整的可能性及方便性来确定。如图 6-39 所示的局部系统的装配调整余量,若吸风罩 1 与分支管 6 的距离设计要求为  $H$ ,那么装配的调整余量  $\Delta$  应取决于吸风罩与尘源的距离  $H_1$  公差  $\Delta$  的大小, $\Delta$  愈大,则调整余量愈大;反之,愈小。所以,为方便调整,装配余量  $\Delta$  的位置应留在风管 2 上,而不应该留在吸风罩 1 和八节弯管 3 上。

(3) 对焊接和装配的程序要求严格。由于冷作钣金制件大多采用不可拆连接,在装配时尤其要注意装配(焊接)顺序及不可拆连接在系统中的位置,避免零件、部件的报废及返修。

(4) 总体装配的路线较长,刚性较差,容易产生变形。用薄板制成的钣金件,一般情况下是体积较大、局部刚性较差,再加之装配路线较长,所以在装配中很容易产生各种变形。因此,装配过程中的矫正量较大,需要的工装和夹具也较多。

(5) 分段装配多。考虑到出厂和运输、安装条件等因素,对于大系统、大部件必须进行分段装配。为保证总装进度和质量要求,在分段装配前,应在厂内先进行试装,必要时可把段与段之间不可拆连接改为可拆连接。

## 6.6.2 装配工艺

### 1. 装配的基本条件

钣金零件在系统装配中,必须具备定位和夹紧两个基本条件。定位是确定钣金零件在空间或零件、部件之间的相对位置。零件、部件或系统必须限制空间的六个自由度后才能定位。六个自由度需要有分布适当的六个支承点限制,称为六点定位原则。夹紧就是借助外力将准确定位的零件、部件或局部系统固定在某一位置上。例如,通风、除尘等管道的装配大都是固定在地面、楼板或墙壁上。

### 2. 装配工装

根据冷作钣金制件的特点及工作位置,在装配时,必须具备适应工作条件的工具和夹具。装配工具是用于对零件、部件定位找正、测量检验,以及辅助工作的工具,常用的有水平软管、水准仪装配样板、量角器等。装配时,必须使用相应的夹具,对零件、部件施加压力,使其获得正确的定位。夹紧方式有压紧、顶(撑)紧和拉紧等。

### 3. 装配顺序

- (1) 研究和熟悉装配图纸及有关技术文件,了解产品结构,各零件、部件的作用及相互关系。
- (2) 划分部件和系统(局部和总体)。
- (3) 装配现场的布置。
- (4) 检查零件、部件尺寸。
- (5) 确定零件、部件及系统的定位方法。
- (6) 制定装配顺序。

### 4. 装配实例

现以五节咬接弯头为例,对其装配要点作简要分析(图 6-40)。

- (1) 装配顺序。为使咬缝操作方便,应先将管 IV、管 II 与管 III 咬口连接,然后再分别将管 V 和

I 与之咬口连接。

(2) 咬缝连接时要均匀。在折边时就应注意折边宽度必须相等。在咬接管 II、III 和管 III、IV 时,要随时用如图 6-41 所示的检验样板进行检查,以防止累积误差过大,最后不宜调整。

当全部咬口完成以后,要用角尺检查是否符合图纸要求。

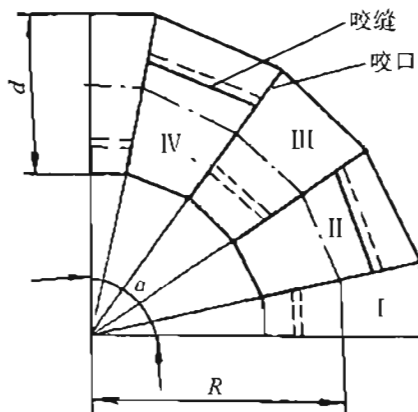


图 6-40 五节弯头的装配

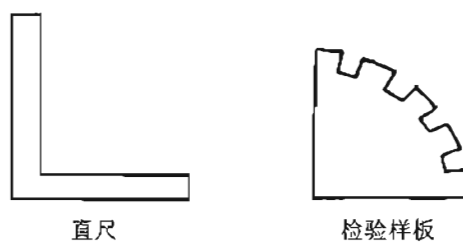


图 6-41 检验量具

## 复 习 题

1. 钣金零件常用的连接方法有哪些?
2. 已知铆钉直径分别为 2.5 mm、3.6 mm、4 mm 和 6 mm,若是粗装配,试确定各铆钉孔的直径。
3. 什么叫咬接?其形式有哪些?
4. 钎焊的特点有哪些?其操作步骤和方法是什么?
5. 用法兰连接和卡箍连接时,各有什么特殊要求?
6. 什么叫矫正?其原理是什么?
7. 钣金装配的特点有哪些?

## 第7章 钣金零件的综合工艺性分析

前面各章,我们已对钣金零件的加工过程,以及每个过程中所用到的各种基本加工方法进行了讨论。本章主要讨论怎样根据具体的零件合理地选择相应的工艺方案和编写工艺规程等问题,并通过常用零件的生产实例,进一步了解钣金零件的加工过程和方法。

### 7.1 钣金零件的工艺性

钣金零件的工艺性一般包括很多内容,但仅就冷作钣金而言,其工艺性内容主要有以下几个方面。

#### 7.1.1 放样展开的工艺性

如前所述,钣金构件的表面大都属于可展表面,所以要获得准确的外形,应由表面展开的准确性决定,而展开的准确性不仅取决于展开方法的选择是否合理,而且还取决于零件本身形体的复杂性等。影响放样展开工艺性的主要因素如下:

(1) 材料的厚度。对于厚板,在放样时就必须要进行板厚处理,否则就会影响展开外形尺寸的准确性。但对于薄板来说,由于板厚对展开外形尺寸的影响较小,在能达到要求时,放样就不需要进行板厚处理,甚至可以省去放样图,直接利用施工图进行展开。显然,厚度越厚,放样展开就越复杂,其工艺性也就越差;反之,厚度越薄,放样展开就越简单,其工艺性也就越好。

(2) 零件的形状。对于单个的简单的形体(如圆柱、棱柱和锥等),展开时就比较容易而且精确;对于单一形体相交组成的构件,要看它们相交的方式和结合线的类型,如果是复杂相交,或相交后的结合线不是直线型而又不易求出时,那么该构件的放样展开就较困难。

由此可见,对于薄板而形体又比较简单的零构件,其放样展开的工艺性就比较好;反之,就比较差。

#### 7.1.2 排样裁料的工艺性

展开后的形状和大小可能是多种多样的,为了合理地利用原材料,在裁料前必须进行排样,不论展开形状和大小是否相同,只要材质和厚度相同的展开料均可在同一张板料上进行排样,排样好坏的主要标志是材料利用率的大小。如果展开料的外形是直线或外凸曲线,那么在裁料(尤其手工剪裁)时就比较容易;如果展开料的外形是内凹曲线或封闭的内孔时,在裁料(尤其手工剪裁)时就困难得多。由此可见,展开料的外形为直线或外凸曲线的零件,排样时不但材料的利用率高,而且有利于裁料的操作,其排样裁料的工艺性好。

#### 7.1.3 加工成形的工艺性

加工成形的工艺性,是指零件成形的可能性、经济性以及难易程度。成形工艺性是整个工艺性的重要内容之一。

影响成形工艺性的主要因素是零件的形状和大小、板材的机械性能和厚度等。例如,对于尺寸

不大的筒形或锥形零件,如果用塑性较好的薄板,甚至用手工直接弯曲成形,再进行适当修整就可以了;反之,对于外形比较复杂、尺寸较大的零件,如果用塑性较差的厚板,用手工成形时的劳动强度就大,而用机械成形时所用的设备和工装就多,成本增加。因此,如果成形越容易越方便,成本越低,则该零件的成形工艺性就越好。

#### 7.1.4 连接装配的工艺性

连接装配的工艺性,是指连接的可靠性和装配的难易程度。

连接的可靠性与连接的类型有关。在保证连接可靠的情况下,应使连接的路线最短,操作方便。特别是在用咬接时,其相交构件的角度不应过小;否则,在形成锐角的部分,操作起来就十分不方便,有时甚至是不可能的。

装配的难易程度与零部件和系统的划分有关。在划分零部件和系统时,既要保证装配的基本条件,又要具有良好的连接工艺性。因为在冷作钣金的装配中,连接和装配并不能完全分开。

要使零件具有良好的工艺性,对于可以改变的因素,在设计时就要充分地考虑到。

## 7.2 确定工艺方案的原则

工艺方案,是指对零件在整个生产过程及其每个阶段的加工方法的规划。制造钣金零件的工艺方案可能多种多样,但如何选择一种较合理的方案,就必须根据具体情况具体分析。对于冷作钣金来说,其工艺方案一般可分为展开工艺方案、裁料工艺方案、成形工艺方案和连接装配方案四大类型。每种工艺方案可能有多种方法,如展开工艺方案有平行线展开、放射线展开、三角线展开和经验展开等四种方法。

一般来说,在确定工艺方案时,要根据以下几个原则考虑:

(1) 认真分析零件的工艺性。如前所述,冷作钣金的工艺性主要有放样展开、排样裁料、加工成形和连接装配等内容。分析零件的工艺性就是对图纸进行研究,即对零件的形状、尺寸、精度、表面质量、材料规格和技术条件等是否具有合理性进行审查。当图纸出现问题时,应和设计人员进行协商,在不影响产品质量的前提下更改,以满足加工的要求。

(2) 结合零件的生产批量和设备情况。对于大批量的零件,应具有必要的加工设备,并且使设备具有一定的自动化程度;对于小批量的零件,如果没有相应的加工设备,需要购新设备时,要充分考虑经济性,以便选择较合理的工艺方案。

(3) 根据工装的制造能力和工人技术水平。钣金零件的加工与机械零件加工的一个较大不同点就在于:在有了相应的加工设备的前提下,钣金零件的加工还要具有必要的工装(如各种成形模具等),以及能够正确使用工装的工人。因此,在设计工装时,要使工装具有简单的结构。这样,不仅制造方便,而且也便于使用和维修。

在确定具体的工艺方案时,必须先对零件整个加工过程的各个工艺方案进行综合考虑,因为各工艺方案之间都有许多联系,当出现矛盾时,要重新选择,直至都比较合理为止。

现以简单的三通管为例,说明工艺方案确定的步骤和方法。

已知产量为20件(材料为普通碳素钢板),尺寸如图7-1(a)所示。试分别确定该构件的放样展开、排样裁料、加工成形和连接装配的工艺方案。

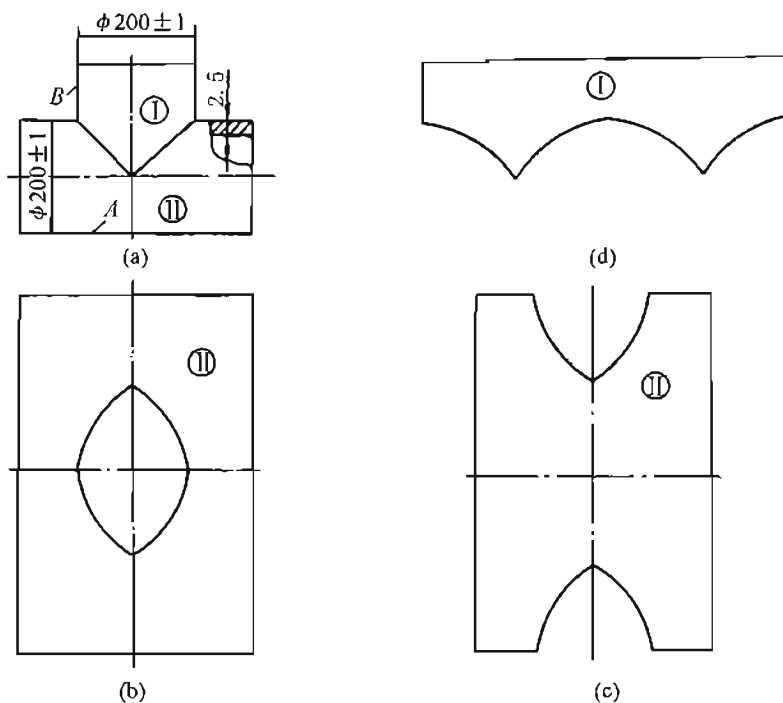


图 7-1 确定管 I、II 的裁料工艺方案  
(b) 接缝在 A 处 (c) 接缝在 B 处

(1) 进行工艺性分析。由已知条件可知,该构件为等径垂交三通接头,材料塑性较好,结合线为直线型,因为是中厚板,而公差为±1.0,所以要进行板厚处理才能满足要求。展开方法可以采用辅助圆法或系数法,甚至经验展开法。故放样展开的工艺性好,而且不难算出直排时的材料利用率。管 I 的展开外形有直线和凹曲线,而管 II 的展开有内外形,若将接缝选在 A 素线处,如图 7-1(b) 所示,则内形为封闭的孔,外形均为直线。若将接缝选在 B 素线处,如图 7-1(c) 所示,其外形含有部分内凹曲线,而无封闭的内孔。所以不论接缝选在什么地方,再加之是中厚板,用剪裁都是比较困难,用冲裁而成本又高。所以裁料工艺性较差。因为是圆管,不论是用滚弯或手工煨弯,其成形工艺性都较好。管 I 和管 II 的接口处,由于板料较厚,采用焊接方法,比铆接或咬接要好得多。

(2) 选择和比较各工艺方案的合理性。通过分析可知,该构件的整体工艺性良好,根据确定工艺方案的原则,将各道工序的不同工艺方案比较,如表 7-1、表 7-2、表 7-3、表 7-4 所示。

表 7-1 放样展开工艺方案及比较

工艺内容	方案 I	方案 II	方案 III	方案 IV
	平行线法	辅助圆法	系数法	经验法
放样	需要	需要	不需要全部	不需要全部
板厚处理	需要	需要	需要	需要
结合线	要求	要求	要求	要求
作展开图	较简单	简单	简单	最简单
外形准确性	较高	较高	高	较低



表 7-2 裁料工艺方案及比较

方 案 内 容	管 I (接缝选在 A 处)				管 II (接缝选在 B 处)	
	方案 I		方案 II		方案 III	方案 IV
	手工剪裁		机械剪裁		手工剪裁	机械剪裁
	外 形	内 孔	外 形	内 孔	外 形	外 形
毛料利用率	较高		较高		较高	
设备条件	不需要	钻床	剪床(冲床)	冲床	不需要	剪床
工装条件	不需要	不需要	剪:不需要 冲:模具	模具	不需要	不需要
加工条件	好	差	好	好	好	好
零件质量	断面不平整, 零件有变形	断面不平整, 零件变形大	断面平整, 不变形	断面不平整, 不变形	断面不平整, 有变形	断面平整, 不变形
生产效率	较低	低	高	高	较低	高

表 7-3 成形工艺方案及比较

方 案 内 容	方案 I	方案 II
	手工煨弯	机械滚弯
设备条件	不需要	滚弯机
工装条件	不需要	不需要
表面质量	不平整	平整
生产效率	低	高

表 7-4 连接工艺方案及比较

方 案 内 容	方案 I	方案 II	方案 III
	铆 接	(电)焊接	咬 接
密封性	差	好	差
可靠性	好	好	较差
操 作	较方便	方便	困难
生产效率	低	较高	低

(3) 确定工艺方案。综合各工艺内容和方案的比较,最后工艺方案的选择如表 7-5 所示。

表 7-5 工艺方案的选择

工艺内容	确定方案	备注
放样展开	方案 III——系数法	
裁料	外形:方案 II——机械剪裁 内形:方案 I——手工剪裁	设备条件较好时
成形	方案 II——滚弯	设备条件较好时
连接	方案 II——电焊接	

### 7.3 工艺规程的编制

工艺规程(也称工艺路线)是指导加工零件的具体文件,是生产准备的基础,同时也是检验零件的重要依据。按工艺规程进行生产,不仅可以提高产品质量、降低生产成本和缩短生产周期,而且也是冷作钣金规范化生产的必要手段和有效途径。

钣金零件的工艺规程一般可分为裁料工艺规程、成形工艺规程和连接装配工艺规程等。

(1) 工艺规程的编制原则。不论是哪一类工艺规程,在编制前除了要对零件的工艺性认真分析和确定出具体工艺方案外,在编写时还要应注意以下几个原则:

- ① 保证产品质量。
- ② 提高生产效率。
- ③ 降低生产成本。
- ④ 改善劳动条件。
- ⑤ 缩短生产准备周期。

(2) 工艺规程的编写内容。正如前面所说,在编写工艺规程前,首先要对零件的工艺性认真分析,确定出合理的工艺方案后,才着手进行编写。工艺规程的编写内容主要有以下几项:

- ① 填写零件的图号、名称、数量、材料的名称或牌号以及材料的厚度等。
- ② 加工工序。加工工序是工艺规程的核心,其内容包括加工顺序及每道工序所需要的设备、工装、加工和检验依据等。必要时,还应加上技术要求。
- ③ 简图。简图是用来对加工时的辅助说明,如留加工余量和钻工艺孔的位置等。

**注意:**对于外形相同,大小不同,加工工艺一样和工艺方案相同的零件,就没有必要对每个零件都要编写一份工艺规程,而可以采用同一典型工艺规程与工艺卡片相结合的办法。所谓典型工艺规程,就是根据零件的材料、结构特点、当前的工艺水平和结合生产中的实际情况,将零件制造进行科学分类而制定出同类型的工艺规程。工艺卡片只是给每种零件在生产时,说明采用哪一类型的典型工艺规程以及什么样的特殊要求等。在生产时,工艺卡片与典型工艺规程联合使用,可以大大减少编写工艺规程的工作量。

为了说明工艺规程的具体编写方法,现以如图 7-1(b) 所示的主管 II 为例,其裁料工艺规程的编写如表 7-6 所示。



## 7.4 典型零部件的生产实例

### 7.4.1 多节圆管弯头的制作

在粮、油、饲料加工厂里的通风除尘和气力输送的网路中,为了减少转弯处的阻力,一般都采用三节以上的多节弯头。因为在管径( $d$ )、弯角( $\varphi$ )和弯头曲率半径( $R$ )不变时,组成弯头的节数( $n$ )越多,弯头处就越平滑,产生的阻力就越小;反之,节数越少,产生的阻力就越大。但是,如果节数过多时,对继续降低局部阻力的作用却不再显著,反而在弯头的制作时,会造成人力和物力的浪费。根据实践经验,对于弯角 $\varphi = 90^\circ$ 的弯头,一般采用6~7节就可以了。这里仅以图7-2所示的四节弯头为例,说明其制作过程:

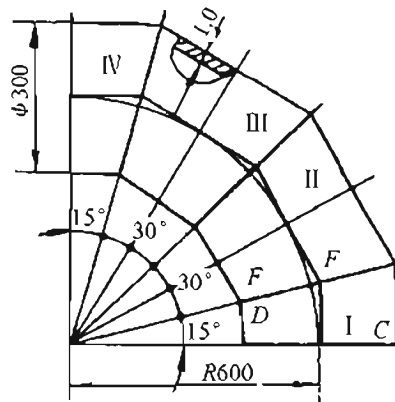


图 7-2 四节弯头

已知:材料为镀锌铁皮,料厚1 mm,单件生产。该构件为简单的等径圆柱相交,材料为镀锌薄板,塑性较好,故构件的整体工艺性良好。制作工艺过程如下:

(1) 放样展开。由于是薄板,板厚对展开尺寸的影响不大,故在放样时可以不进行板厚处理,即把施工图作为放样图,展开时以里皮尺寸或外皮尺寸为准均可。根据弯头的分布规律,在作展开图时,只要作管I的展开图就行了。展开方法可采用经验展开法,以管I的展开图作为展开样板画出其他各节的展开图。完成展开图后,必须在连接的地方留出加工余量后才能裁,如图7-3(a)所示。本例可用咬接,咬接宽度 $s = 8 \text{ mm}$ 。若咬缝用单平咬接,咬口用单立咬接,则咬口余量为 $\delta_1 = s = 8 \text{ mm}$ , $\delta_2 = 2s = 16 \text{ mm}$ 。咬缝余量为 $\delta_f = 1.5s = 12 \text{ mm}$ 。如果管I、管IV与其他管的连接用法兰连接,那么在管I、管IV的直线边还要留出法兰边余量。为了在接口时不发生干涉,可采用两种办法:一种是在接缝尖角处倒角 $\alpha$ ;另一种是使接缝的位置错开,注意这时的展开外形要发生变化。实际上,这只要将管I的展开料从中间剪断,在排样时来回颠倒即可,至此完成裁料样板。

(2) 排样裁料。排样时,要利用裁料样板来回多排几遍,选择较合理的一种,既要使材料的利用率高,又要使在裁料时操作方便,排样方案如图7-3(b)所示。在连接时,为了避免出现歪扭现象,应在各节背部(管的展开图最宽处)和腹部(管的展开图的最窄处)画出对准线,以作为连接时的基准。

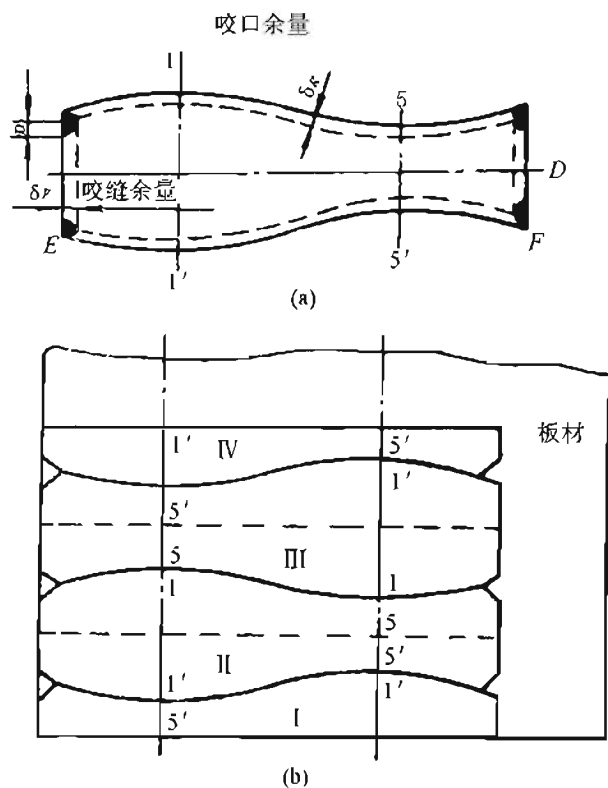


图 7-3 放余量、排样

排样后进行裁料,裁料方法可用弯剪刀手工剪裁,剪裁时,要注意不要过剪,否则就会造成废品。为了保证成形的方便和连接装配的质量,剪裁后要进行矫平和断面去毛刺。

(3) 成形。每节管属于等曲率的圆管,最适合滚弯机滚弯成形。如果没有滚弯设备,也可用手工进行煨制。但必须注意,因为每节管弯曲后都要接缝,为了在咬接时的方便,在煨制前应将接缝处先制成半折边。

(4) 连接装配。将成形后的各管先进行接缝,接缝处采用单平咬接。为了便于接口,每相邻管的接缝应相互错开。接缝后,再进行矫正以降低不圆度。

在进行咬口时,其连接的形式采用单立咬接,这样不仅操作时方便,而且还可以提高弯头的刚度。必须注意,如果该构件安装在室外,咬口时应像图 7-4 所示的咬口形式,以免雨水渗入管内。接口操作时,应将两管背部和腹部的基准线对齐后再进行,以防止装配出现歪扭现象。各管的咬口顺序,可以先连接管 II 和管 III,再分别连接管 I 和管 IV;也可以先连接管 I 和管 II 或者管 III 和管 IV,最后连接管 II 和管 III。但不论采用哪种连接顺序,则装配后的实际弯角  $\varphi$  与设计要求的弯角  $\varphi$  总是有误差的。一般在要求不太精确时,可以在留接口余量时作适当调整。虽然还不能完全消除误差,但不会影响与系统的装配和使用。

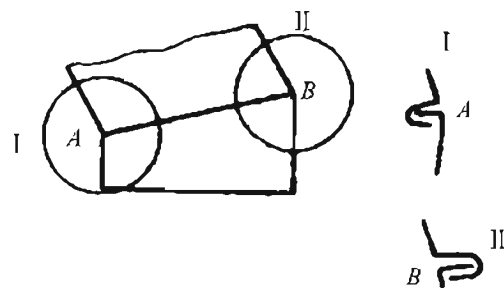


图 7-4 咬口形式

如果对弯头的密封性有要求,在咬接后,还应对所有的咬接处再加钎焊。

### 7.4.2 XL-55 型旋风除尘器的制作

旋风除尘器的基准尺寸  $D$ ,  $D$  确定后, 其他尺寸相应确定。 $D$  的尺寸由所需要处理的含尘量而定, 具体方法可参照有关书籍。对于 XL-55 型旋风除尘器, 具体尺寸如下:  $D = 550 \text{ mm}$ ,  $d = 0.55D$ ,  $h_1 = 0.8D$ ,  $g = 0.25D$ ,  $f = 50 \text{ mm}$ ,  $l = 0.1D$ ,  $d_1 = 100 \sim 150 \text{ mm}$ ,  $h_2 = 2D$ ,  $b = 0.225D$ ,  $e = 0.5D$ 。

(1) 选材。镀锌铁皮  $t = 1.0 \text{ mm}$ 。

(2) 放样展开。根据已知尺寸画放样图, 如图 7-5(a) 所示。

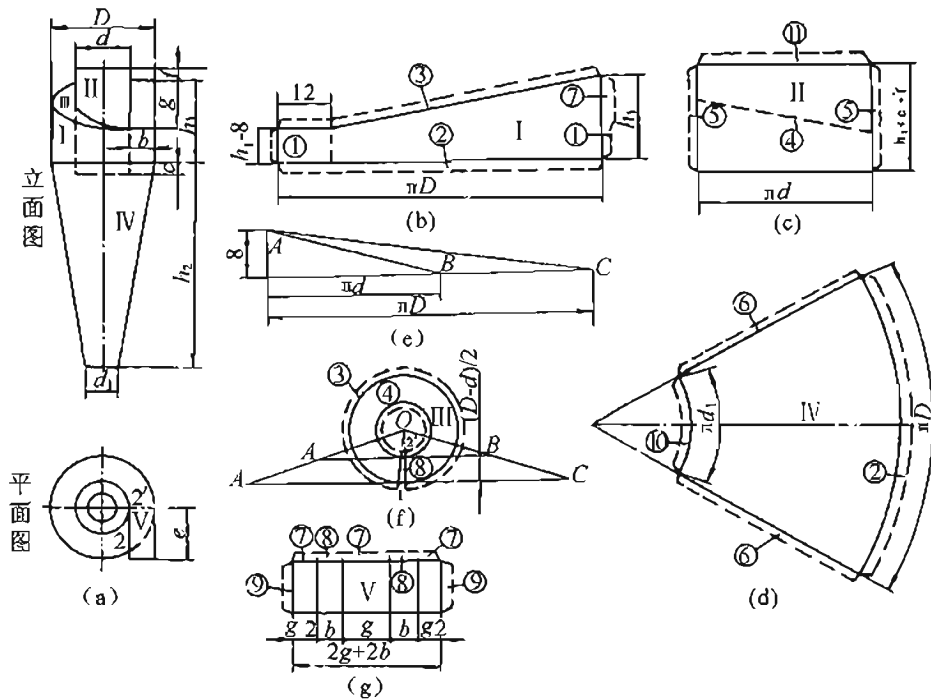


图 7-5 旋风除尘器的展开

(a) 放样图 (b) I 的展开图 (c) II 的展开图 (d) IV 的展开图 (e) 求实长图 (f) III 的展开图 (g) V 的展开图

作展开图:

① I 的展开, 用平行线法, 如图 7-5(b) 所示。接缝用平咬接, 故在 ① 处留出咬接余量, 与 III 连接用联合角咬接, 故应在 ③ 处留出角咬接余量, ⑦ 处与 V 的 ⑦ 处的连接用铆接, 故应留出 20 mm 左右的铆接余量。

② II 的展开十分简单, 其外形展开是一个宽为  $h_1 + c + f$  和长为  $d$  的矩形, 如图 7-5(c) 所示。因为在 III 的圆孔中要插入 II 管, 所以应将 III 的 ④ 处折成直角边, 与 II 管 ④ 处用铆接, 故应在 III 的 ④ 处留出 20 mm 左右的铆接余量。II 的接缝用平咬接, 故应在 ⑤ 处留出咬接余量。对于压入式旋风除尘器, ⑪ 处是排风口, 一般需要与直圆管法兰连接, 故应在 ⑪ 处留出法兰边余量。若用立咬接或套接, 则应分别留出立咬接和套接余量。

③ IV 的展开可用扇形法展开, 如图 7-5(d) 所示。接缝用平咬接, 故在 ⑥ 处应留出平咬接余量; ② 处与 I 的 ② 处用立咬接, 故应留出立咬接余量; ⑩ 处还应留出法兰边余量。

④ 螺旋曲面 III 的展开。可用近似展开法展开, 先用直角三角形法分别求出内外圈弧的实长  $AB$  和  $AC$ , 如图 7-5(e) 所示。作展开图: 任作垂线, 在垂线上截取线段等于  $D - d/2$ , 得 1、2' 点。分别过 1、2' 点作水平线, 以 1—2' 为对称轴, 分别在水平线上截取线段, 等于实长  $AC$  和  $AB$ , 得 A、C、A、B 点。

再分别连接  $A_1A_2$  点,  $C_1B_1$  点, 并延长与  $1-2'$  的延长线交于  $O$  点。以  $O$  点为圆心, 分别以  $O_1$ 、 $O_2'$  为半径画弧, 在大弧上截取弧长等于  $AC$ , 将弧的端点与  $O$  相连交小弧。至此, 完成展开图, 如图 7-5(f) 所示。在与 I、II、V 相连接处留出连接余量。

⑤ 矩形 V 的展开。展开后的外形仍然是个长为  $2g + 2b$ , 宽为  $e$  的矩形。V 的接缝用单平咬接, 在 ⑨ 处留出接缝余量。在 ⑦、⑧ 与其他相应连接的地方, 还应留出连接余量。

(3) 排样裁料。将展开料在所选的板料上进行排样, 应多排几种方案, 选择一个利用率较高的再进行裁料。如果每种方案的利用率都较低, 可以将某些不规则的展开料在适当的位置剪开, 如 IV 可以从对称线上剪开, 最后再拼接。这样虽然给连接带来不便, 但可以大大提高材料的利用率。

每块展开料的裁料, 均可用手工剪裁。

(4) 成形。因为板料较薄, 所以都可以用手工煨弯或折弯, 如设备条件较好, 用折弯机和滚弯机成形最为方便。III 的成形, 可从开口处沿轴向加拉力即可, 拉伸后两端口的轴间距离应等于导程  $g$ 。III 的 ④ 处的折边应放在拉伸后进行, 不但可以减少拉力, 而且可以防止起皱。

(5) 连接装配。装配连接顺序如下:

- ① 将 II 管与 III 铆接牢固。
- ② I 与 III 咬接。
- ③ 将 V 装入 I、II、III 形成的矩形孔中, 并进行铆接、钎焊连接和密封。
- ④ I 与 IV 咬接。

完成上述工序后, 再对照图纸进行局部矫正。如果有要求, 最后进行表面喷漆或烤漆处理。

## 复 习 题

1. 钣金零件的工艺性内容有哪几方面?
2. 确定工艺方案的原则有哪些?
3. 试分别编写如图 7-5 所示的 XL-55 型旋风除尘器的裁料(包括排样)、成形和连接装配的工艺规程。
4. 如图 7-5 所示, 按 4: 1 比例做 XL-55 旋风除尘器的模型(材料可用双层绘图纸)。

## 参考文献

1. 陈万里. 钣金工下料基础知识. 北京: 中国建筑工业出版社, 1981
2. 樊文萱. 钣金展开. 北京: 北京出版社, 1985
3. 陆洞民, 杨惠英, 施寅. 计算机绘图. 北京: 清华大学出版社, 1988
4. 天津市机械工业局. 钣金工必读. 北京: 机械工业出版社, 1981
5. 李寿萱. 钣金成形原理与工艺. 西安: 西北工业大学出版社, 1985
6. 钣金冲压工艺手册编委会. 钣金冲压工艺手册. 北京: 国防工业出版社, 1989
7. 王天. 技术工人实用手册. 北京: 国防工业出版社, 1981
8. 第四机械工业部标准化研究所. 冷冲模设计. 1981
9. 李硕本. 冲压工艺学. 北京: 机械工业出版社, 1982
10. 陶长根. 钣金工艺学. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1989
11. 夏巨谔等. 实用钣金工. 北京: 机械工业出版社, 2004
12. 陆秋生. 冷作·钣金工入门. 北京: 机械工业出版社, 2003
13. 汪显声. 冷作钣金工实用技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2004