



高职高专“十一五”规划教材

金属结构展开下料与成型技术

王洪光 主编



化学工业出版社



中国图书分类号：U448.37 中国版本图书馆CIP数据

金属结构展开下降与成型技术

王德成 王德成

中国铁道出版社

高职高专“十一五”规划教材

金属结构展开下料与成型技术

王洪光 主 编

鲁海龙 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书涵盖了铆焊工程中展开下料与加工成型技术。全书分六章。第一章是划线和下料的基础知识,主要介绍了划线和下料的方法。第二章是可展表面的展开方法,介绍了钣金展开的三种方法,同时还介绍了大型结构的计算展开。第三章是容器的下料,用实例说明了球形容器、圆柱形容器和多层容器的下料方法。第四章是型钢结构的展开下料,主要介绍各种型钢结构的下料方法。第五章是钢材的切割与成型,分别介绍了锯割、剪切、冲裁、凿削、气割、碳弧气刨、磨削、压制及压延等工艺。第六章是联接,介绍了螺纹联接、铆接、胀接、咬缝及焊接等联接方法。

本书不仅可作为高职高专的专业课教材,也可作为技工学校的冷作钣金工教材。

图书在版编目(CIP)数据

金属结构展开下料与成型技术/王洪光主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 10
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-06683-1

I. 金… II. 王… III. 金属结构-成型-高等学校: 技术学院-教材 IV. TU39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 170185 号

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 李 娜

责任校对: 周梦华

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 451 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 30.00 元

版权所有 违者必究

前 言

金属结构是工业建设工程的骨架和脊梁，而铆焊工程则是完成金属结构的关键。由于国家建设的需要，近年来许多高职高专院校都开设了焊接专业，这对于高速发展经济建设来说，无疑是对铆焊人才一个重要的补充。

铆焊是“钢铁的裁缝”。现在许多学校的焊接专业，“缝”（焊接）的问题教材是很系统的，但在“裁”（下料）的问题上，至今没有一本合适的教材，因此，有的学校是用一些铆工学习资料代用的，有的借用技工学校教材，也有的学校干脆就不开下料课了。为此，我们编写了这本教材，以满足焊接专业的学生学习金属下料之用。

根据对市场的调查，在劳动力市场上，会焊的工人好找，但会下料的工人却不好找，而即会焊又会下料的工人就更难找了。而在激烈的市场竞争条件下，尤其是在全球金融危机的形势下，将学生培养成会“裁”会“缝”的铆焊工作者，在劳动力市场上定会备受欢迎。

本书共分六章，第一章为划线和下料方法，这里主要解决的是工具的使用和划线方法问题；第二章是可展表面的展开方法，主要介绍的是板料结构的下料；第三章为容器的下料，这是过去的许多书中涉及很少的；第四章是型钢结构的展开下料，主要介绍的是圆钢、角钢、工字钢和槽钢结构的展开下料；第五章是钢材的切割与成型，前几章解决的是板料的下料形状问题，而这一章则要把这块材料切割下来，同时根据结构的需要制成所需的形状。第六章是联接，这里重点介绍了焊接以外的联接方法，即：螺纹联接、胀接、铆接和咬缝，也简单介绍了一些焊接方法，其中气焊是焊接专业的书上没有的内容。

本书由王洪光主编，其中第一章由王延林和李晓娟编写，第三章由鲁海龙编写，第四章由赵继平编写，第五章由边朝顺编写，其他内容由王洪光编写。本教材中难免出现一些不妥之处，欢迎读者批评指正。

编 者

2009年6月

目 录

绪论	1	一、正圆锥体的展开	44
一、铆焊工程所用的材料	1	二、平口正圆锥管的展开	47
二、铆焊工程结构的类型	2	三、小锥度平口圆锥管的展开	48
三、金属结构的制作过程	3	四、斜口正圆锥管的展开	50
复习题	3	第三节 三角形展开法	54
第一章 划线和下料方法	4	一、三角形展开法的基本原理	54
第一节 划线的工具和使用	4	二、线段实长的求法	54
一、划针	4	三、上圆下方接管(天圆地方)的 展开	55
二、圆规	4	四、上下不同直径圆接管(变径)的 展开	62
三、长杆圆规	5	五、圆顶长圆底接管的展开	63
四、粉线	5	六、给料斗体的展开	65
五、角尺	5	第四节 相贯体的展开	67
六、样冲	6	一、相贯线的基本概念	67
七、划针盘	6	二、切线法求相贯线及展开	67
八、划线规	7	三、取点法求相贯线及展开	73
九、曲线尺	7	四、辅助平面法求相贯线及展开	78
十、比例放大规	7	五、辅助球面法求相贯线及展开	80
第二节 基本的划线方法	8	第五节 正圆柱螺旋面的近似展开	84
一、直线的划法	8	一、圆柱螺旋线的形成	84
二、直线的等分法	8	二、正圆柱螺旋面的形成及画法	85
三、垂直线的划法	10	三、正圆柱螺旋面的近似展开	85
四、平行线的划法	12	第六节 板厚处理	88
五、角的等分法	13	一、中性层的概念	88
六、大圆弧的计算画法	15	二、单件的板厚处理	89
七、圆周等分的画法	15	三、相贯件的板厚处理	90
八、划线	15	第七节 常见结构的展开放样	91
第三节 放样与下料	17	一、其他类型结构圆方接管的展开	91
一、放样台	17	二、弯头	95
二、实尺放样	17	复习题	101
三、光学放样	21	第三章 容器的下料	106
四、下料	21	第一节 容器表面的近似展开	106
五、合理用料	23	一、球体表面的近似展开	106
复习题	26	二、封头的展开下料	113
第二章 可展表面的展开方法	27	第二节 圆柱形压力容器的下料	114
第一节 平行线展开法	27	一、圆柱形压力容器的基本类型	114
一、柱面的展开	27	二、20m ³ 液化石油气运气罐的设计与 展开下料	115
二、等径圆管弯头的展开	31		
三、圆柱曲面的展开	38		
第二节 放射线展开法	44		

第三节 多层容器的下料	116	三、碳弧气刨	179
一、多层容器的结构	116	四、机械的边缘加工	182
二、50m ³ 多层高压容器展开和下料	117	五、磨削	183
第四节 球罐的展开下料	119	第三节 弯曲成型	184
一、球罐的展开下料方法的选择	119	一、卷板	184
二、下料样板的制作	120	二、水火弯板	192
三、几种大型球罐的计算展开	120	第四节 压制成型	195
复习题	125	一、压弯	195
第四章 型钢结构的展开下料	126	二、压延	204
第一节 型材结构的展开	126	复习题	220
一、圆钢的展开	126	第六章 联接	222
二、扁钢结构的展开	127	第一节 螺纹联接	222
三、角钢结构的展开	132	一、螺纹联接形式	222
四、槽钢和工字钢结构的展开	137	二、螺纹联接的装配工具	225
第二节 柱的下料	139	三、螺纹联接的装配方法	227
一、实腹柱的下料	139	四、螺纹联接类型的选择	230
二、格构柱的下料	141	第二节 铆接	231
第三节 其他金属结构及下料要点	148	一、铆接的种类及接头的构造	231
一、塔式起重机的梁	148	二、铆钉	234
二、吊顶结构	150	三、铆接设备	236
三、栏杆(栅栏)	152	四、铆接工艺	237
复习题	154	第三节 咬口和胀接	242
第五章 钢材的切割与成型	156	一、咬口	242
第一节 机械切割	156	二、胀接	245
一、锯割	156	第四节 焊接	258
二、剪切	160	一、气焊	259
三、冲裁	165	二、焊条电弧焊	264
第二节 边缘加工	171	三、其他焊接方法	270
一、凿削	171	复习题	273
二、气割	173	参考文献	275

绪 论

金属结构制造过程中，展开下料与加工成型是一个重要环节。与焊接、金属的切削、热处理和检验等工艺结合，形成完整的金属结构制造过程。

什么是金属结构呢？所谓金属结构是指用金属的板材、型材或管材，通过适当的展开下料方法，再按确定的相对位置关系联接起来组成的设备或产品。金属结构的制造工艺很多，但本书只讲展开下料与加工成型。

一、铆焊工程所用的材料

在金属冶炼之后，先制成锭，以供加工成各种材料。对于钢铁材料而言，轧钢厂用钢锭轧制成钢材，供金属结构制造使用。根据钢材的断面形状，钢材可分为板材、管材、型材和线材（图 1 所示）。

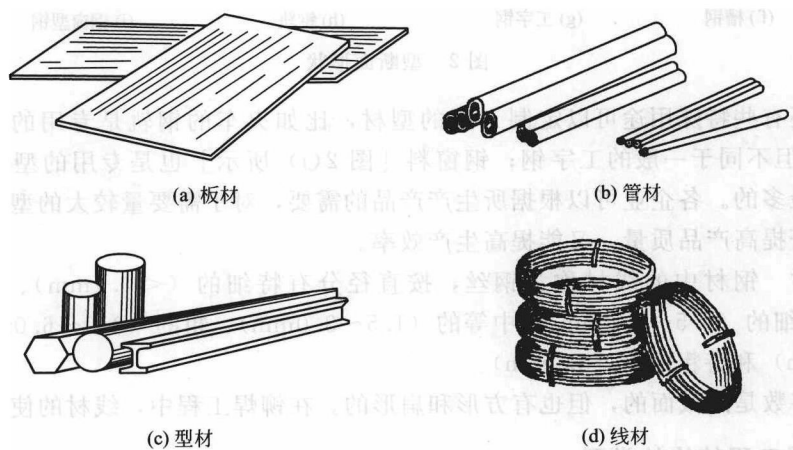


图 1 钢材

(1) 板材 板材是一种广泛应用的钢材，其断面形状是宽度远远大于厚度的矩形，常用于制造容器、机身、壳体等，故碳钢板常用低、中碳钢制造。

厚度小于 4mm 的称为薄钢板；厚度为 4~25mm 的称为中厚钢板；厚度大于 25mm 的称为厚钢板。钢板的表示方法为厚×宽×长。

根据钢板的用途，可分为锅炉钢板、压力容器钢板、造船钢板、桥梁钢板和特殊钢板，特殊钢板种类很多，常见的有镀锌钢板、不锈钢钢板、花纹钢板和复合钢板等。

(2) 管材 钢制管材称为钢管，钢管分有缝钢管和无缝钢管。一般情况下为了降低成本常用有缝钢管或焊接钢管，对于石油化工及高压管道则需用无缝钢管。

近年来，管材的应用范围不断扩大，除各种管道应用外，许多以钢代木的地方常用方管和矩形管，比如现在的课桌多为方形管制成桌腿，用密度板做桌面。除方管和圆管外，有些地方还用异形管。

(3) 型材 钢材的四大品种之一的型钢其品种是最多的。根据其断面形状不同，型钢可分为圆钢 [图 2(a) 所示]、方钢 [图 2(b) 所示]、扁钢 [图 2(c) 所示]、六棱钢 [图 2(d)

所示]、角钢 [图 2(e) 所示]、槽钢 [图 2(f) 所示] 和工字钢 [图 2(g) 所示] 等。圆钢的断面是圆形, 方钢的截面是正方形, 扁钢的断面是矩形, 六棱钢的断面是正六边形, 以上这几种型钢都是实心且截面对称的, 可以用于钢结构的杆件, 也可制造机械零件。角钢、槽钢和工字钢则都是外轮廓较大但截面不大, 故受力时能显示较好的刚度, 常用于框架结构。如高压电塔都是用角钢制成; 有些轻型起重机用工字钢作主梁。

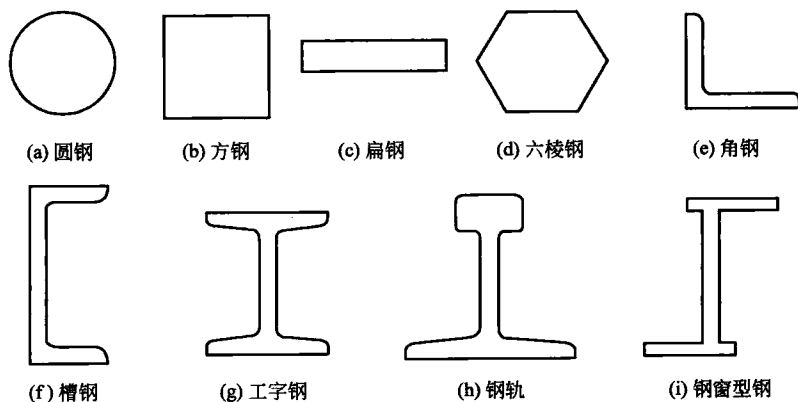


图 2 型断面形状

此外, 还有些特殊用途可以定制专用的型材, 比如火车的钢轨是专用的工字钢 [图 2(h) 所示], 但不同于一般的工字钢; 钢窗料 [图 2(i) 所示] 也是专用的型材; 总之, 型材的种类是最多的。各企业可以根据所生产产品的需要, 对于需要量较大的型材进行批量定制, 即能显著提高产品质量, 又能提高生产效率。

(4) 线材 钢材中的线材称为钢丝, 按直径分有特细的 ($<0.1\text{mm}$)、细的 ($0.1\sim0.5\text{mm}$)、较细的 ($0.5\sim1.5\text{mm}$)、中等的 ($1.5\sim3.0\text{mm}$)、粗的 ($3.0\sim6.0\text{mm}$)、较粗的 ($6.0\sim8.0\text{mm}$) 和特粗的 ($>8.0\text{mm}$)。

线材大多数是圆截面的, 但也有方形和扁形的。在铆焊工程中, 线材的使用是较少的。

二、铆焊工程结构的类型

以上这些钢材都是金属结构常用的材料。铆焊工程常见的金属结构有以下几种。

1. 钢钣结构

(1) 钣金类结构 均为可展表面, 比如排风管道的风管、弯头、圆方接管、变径接管 (锥形圆接管) 及吸烟罩等。

(2) 冲压和压延结构 这类结构则是将平板通过压延制成的, 比如汽车的油箱、家用的液化石油气瓶、均是将平板经冲压成半个油箱和半个液化石油气瓶再焊接而成的。小型的结构就更多了, 餐具和厨具中的不锈钢制品属于冲压结构的比比皆是, 小的如匙子、碟子、杯子; 稍大上点的, 如不锈钢的大盆、锅及许多专用金属器皿。

(3) 大型容器 无压容器的形状不受限制, 只要确保承重后不变形就可以了, 这里所说的大型容器主要指压力容器。近百年来, 由于石油化工工业的发展, 大型压力容器的应用越来越广, 比如化工厂里的合成塔、热电厂里锅炉的汽包、液化石油气运输车上的储气罐、上千立方米的液化石油球形储罐等, 均为大型压力容器。这些容器的形状只有两种: 一是圆柱形, 二是球形, 而不能制成其他形状。钢板的厚度则随着压力的增加和直径的增大而增加。

(4) 梁柱类 用钢板制成的梁、柱称为实腹梁和实腹柱。用钢板制成的电线杆是典型的实腹柱,箱型梁结构的桥式起重机的主梁是典型的实腹梁。

2. 型钢与钢管结构 下面这些结构采用型钢和钢管更为合理。

(1) 梁、柱类 用型钢和钢管制作梁和柱称为格构梁和格构柱。比如塔式起重机的主体是用角钢制作的柱,并且是分节式的,可根据楼高来增减起重机的高度;塔式起重机的梁是用钢管制作的,也是格构式。

(2) 栏杆(栅栏)类 许多单位的围护是用院墙,但现在多数单位用栏杆式结构,即每隔一定距离设一个柱子,在两个柱子之间用钢管、角钢或钢条(小方钢)焊成栏杆式围护,为了美观或展现单位特色,也可以制作一些花样图案。这类结构技术要求不高。

(3) 底座 对于大型容器和大型设备,底座也是一个重要结构,如果底座出现问题,设备就不能正常工作甚至倾覆而造成事故。比如 1000m^3 的液化石油气球罐来说,整体重量可达 1100t 之多,对其底座的要求是可想而知的了。制作这个底座均采用钢管和型钢,并且要进行可靠的计算和合理的结构设计。

三、金属结构的制作过程

金属结构的制作过程如下:

金属结构设计→金属材料备料和检验→展开放样→切割下料→压制成型(边缘修整)→装配连接→(热处理)→质量检验→涂漆并交付使用。

作为大型的铆焊结构,往往是在现场制作。比如高压电塔由于结构太大就不能在工厂里制成后再行安装,而是直接在现场进行放样下料、装配焊接,焊后马上进行质量检验,合格后就涂漆并交付使用。大型球罐也是如此,一个 1000m^3 的球罐直径达 12m 以上,制作完是无法运输的,因此只能在现场进行装配焊接。至多可以在厂内下料并压制成型,然后再到现场装配焊接。因此,上面所讲的金属结构(大型铆焊结构)的制作过程没有出厂过程。

本书是为焊接专业学生的一门重要专业课。常言道“铆焊不分家”有两层意思:一是铆工和焊工常在一起工作;二是铆工要会点焊工,焊工也应会点铆工。通过本课程的学习,会使焊接专业的学生了解金属结构的制作过程;了解焊接与铆工的关系;掌握一定的金属结构放样下料知识;了解一些冷切割及加工成型知识。通过现场实习,学员能集铆工和焊工技术于一身,在激烈的市场竞争中,面对就业难的形势,可在铆、焊两个工种上根据市场的需求任意选择工作,具有更强的适应社会的能力。

复 习 题

1. 何为金属结构?
2. 金属材料包括哪些种类?型钢常见的有哪些种类?
3. 铆焊结构中,钢板结构有哪些类型?型钢和钢管结构有哪些类型?
4. 试述铆焊结构的制作过程。
5. “铆焊不分家”是什么意思?

第一章 划线和下料方法

划线是在钢板上按照工件的尺寸划出加工线的过程。在放样和下料时，必须进行具体的划线操作，以标志出中心线、轮廓线、定位线等。

划线要求线条清晰、粗细均匀、保证尺寸的准确。

划线分为平面划线和立体划线两种。平面划线是在一个平面上所进行的划线；立体划线是同时在几个面上相关联的划线。铆焊工作在放样和下料中，多数是在平面上的划线。

第一节 划线的工具和使用

在钢板上进行划线时，通常应用的工具有划针、圆规、角尺、样冲和曲线尺等。

一、划针

划针（图 1-1）用在钢板或型材表面上划出凹痕的线段。通常采用直径 4~6mm，长约 200~300mm 的弹簧钢丝或高速钢制成，划针的尖端必须经过淬火，以增高其硬度。有的划针还在尖端焊上一段硬质合金，然后磨尖，以保持长期锋利。

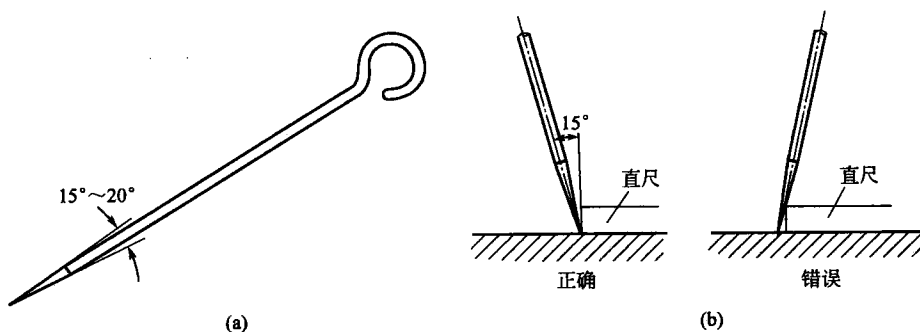


图 1-1 划针及用法

为使所划线条清晰正确，针尖必须磨得锋利，其角度约为 15°~20°。由钢丝制成的划针用钝重磨时，要经常浸入水中冷却，但要注意不要使针尖过热退火而变软。

使用划针时，用右手握持，使针尖与直尺的底边接触，并应向外侧倾斜约 15°~20° [图 1-1(b)]，向划线方向倾斜约 45°~75°。用均匀的压力使针尖沿直尺移动划出线来，用划针划线要尽量做到一次划成，不要连续几次重划，否则线条变粗，反而模糊不清。

二、圆规

圆规（图 1-2）用于在钢板上划圆、圆弧或分量线段的长度。常用的有普通圆规 [图 1-2(a)] 和弹簧圆规 [图 1-2(b)] 两种。普通圆规的开度调节方便，所以适用于量取变动的尺寸，为避免工作中受振而使开度变动，可用螺帽锁紧。弹簧圆规的开度用螺母来进行调节，两脚尖开度在工作中不易变动，所以在分量尺寸时应用。

圆规一般采用中碳钢或工具钢制成，两脚要磨成长短一样，脚尖能靠紧合拢，这样就能划较小的圆弧。脚尖应保持锋利，经热处理淬硬，有的在两脚端部焊上一段硬质合金，耐磨

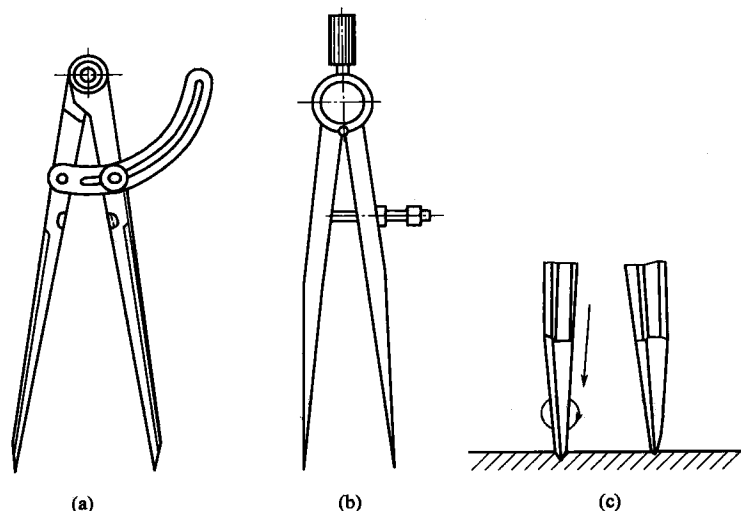


图 1-2 圆规及用法

性更好。使用圆规时，以旋转中心的一个脚尖插在作为圆心的孔眼内定心，并应施加较大的压力 [图 1-2(c)]，另一脚则以较轻的压力在材料表面上划出圆弧，这样可使中心不致移位。

三、长杆圆规

划大圆、大圆弧或分量长的直线时，可用长杆圆规（图 1-3）。长杆采用断面为长方形的木质杆制成，也可以采用表面磨光的钢管。在长杆上套有两只可以移动调节的圆规脚，圆规脚位置调整后用紧定螺钉锁紧。长杆圆规的杆身长度可达 3m。

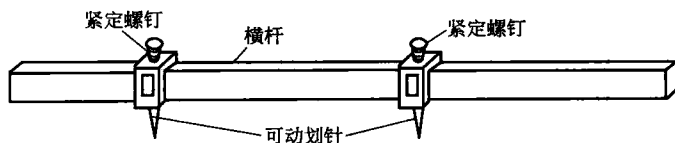


图 1-3 长杆圆规

四、粉线

划长的直线时，很难用直尺一次划成，如果用直尺分几段划，则不易正确。只有应用粉线（图 1-4），才可以提高划长直线工作的效率与质量。

划线时将粉线拉直，用粉笔在线上来回擦动，就可以使粉线涂上白粉，将粉线两端按住在钢板上，然后将粉线中部垂直提起并放开，在钢板上就能弹出线条来。弹线时，要注意风向，防止把线吹斜。当线长超过 2.5m 时，不要在大风下进行弹线。弹线也可用墨线或油线。为使尺寸准确，要求粉线粗细不得超过 1mm。

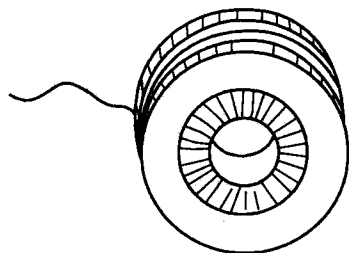


图 1-4 粉线

五、角尺

角尺有扁平的 [图 1-5(a)] 和带筋的 [图 1-5(b)] 两种。扁平的角尺主要用于划直线，以及检验工件装配角度的正确性，这种角尺也适用于在钢板上的划线，它一般采用 2~3mm 厚的钢板、铜板、硬质铝板、不锈钢板制成。使用带筋角尺时，可以将筋靠在型钢的直边

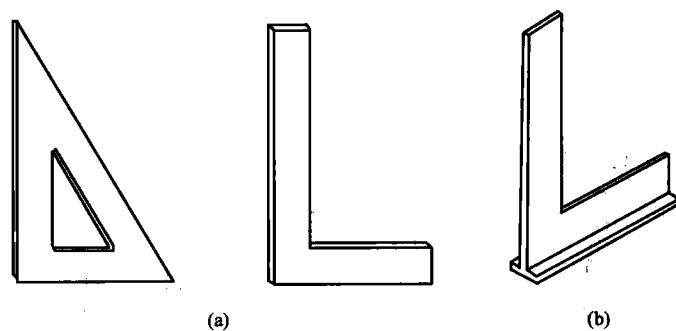


图 1-5 角尺（弯尺）

上，划出与直边垂直的线，这种角尺灵活方便，适用于各种型钢的划线。

六、样冲

为使钢板上所划的线段能保存下来，作为施工过程中的依据或检查标准，就得在划线后用样冲〔图 1-6(a)〕沿线冲出小眼作为标记。在使用圆规划圆弧前，也要使用样冲先在圆心上冲眼，作为圆规脚尖的定位。样冲的尖端要经过淬火并磨成 $45^\circ \sim 60^\circ$ 的圆锥形。

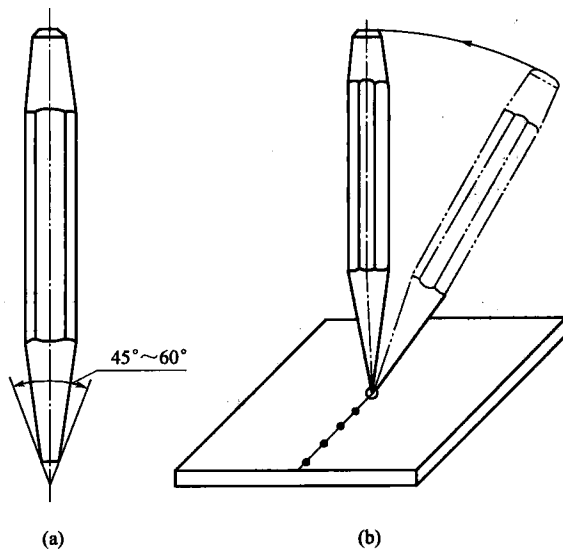


图 1-6 样冲及用法

使用样冲时先将尖端置于所划的线上，样冲成倾斜位置〔图 1-6(b)〕，然后将样冲竖直，用手锤轻击顶端，冲出孔眼。在直线线段上可冲得稀些，曲线线段上应冲得密些。

七、划针盘

划针盘（图 1-7）用于在平台上划线或找正工件定位的正确度。它由底座、立柱、划针和夹紧螺母等组成。划针的直头端用来划线，弯头端常用来找正工件的位置。用夹紧螺母把划针固定在支柱一定的高度上。

划线时，应使划针基本上处于水平位置，不要倾斜太大；划针伸出的部分应尽量短些，这样划针的刚度较好，不易产生抖动；划针的夹紧也要可靠，避免尺寸在划线过程中变动；在拖动底座时，一方面将针尖靠紧工件，划针与工件的划线面之间沿划线方向要倾斜一定角

度, 另一方面应使底座与平台台面紧紧接触, 而无摇晃或跳动现象, 为此, 底座与平台的接触面应十分干净。

八、划线规

划线规(图 1-8)用作划与型钢边相平行的直线。在使用时将划线的端板靠住型钢的边缘, 移动划线规, 用划针划出与其型钢相平行的直线。针尖与端板的距离可以随需要而调整。

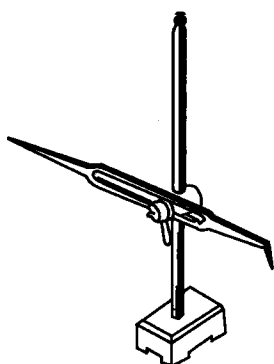


图 1-7 划线盘

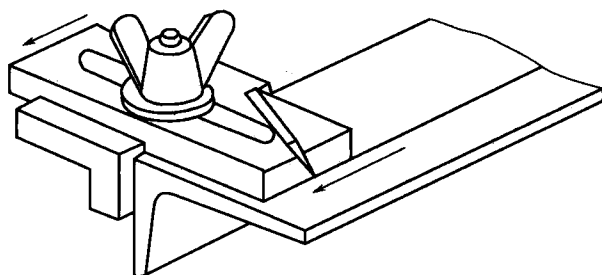
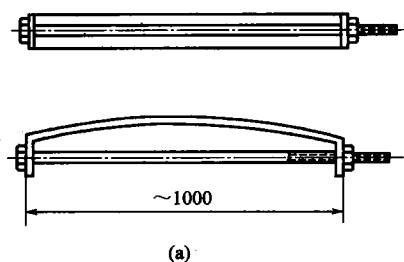


图 1-8 划线规

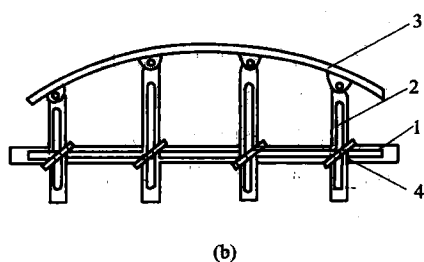
九、曲线尺

划线工作中, 常常需要用光滑的曲线连接数个已知的定点, 使用曲线尺, 可以提高工作效率。图 1-9(a) 为结构比较简单的一种曲线尺, 它是用螺杆一头的螺帽来调整尺的曲率半径。

图 1-9(b) 为另一种曲线尺, 它由横杆 1、滑杆 2、弯曲尺 3 及定位螺钉 4 组成。横杆可用木材制成。其断面尺寸为 $60 \times 40\text{mm}$, 滑杆上开有长方形的孔 ($20 \times 10\text{mm}$), 滑杆即在孔中移动调节。在各滑杆的端头与弯曲尺铰接, 这种尺可用金属或易于弯曲的纤维材料制成。



(a)



(b)

图 1-9 曲线尺

使用曲线尺时, 调节各滑杆, 使尺弯曲成与各已知定点接触, 然后旋紧定位螺钉, 将其固定, 再沿弯曲尺划出所需要的曲线。

十、比例放大规

对于较大的结构, 在图纸上不能作出 $1:1$ 的图形, 可在图纸上按 $1:2$ 、 $1:3$ 或 $1:4$ 画出图样, 然后用比例放大规(图 1-10)放大画到钢板上。这个工具使用时, 先按所需比例确定轴的位置, 轴在中间 1 的位置是 $1:1$; 轴在 2 的位置是 $1:2$; 轴在 3 的位置是 $1:3$; 最大到 $1:5$ 。

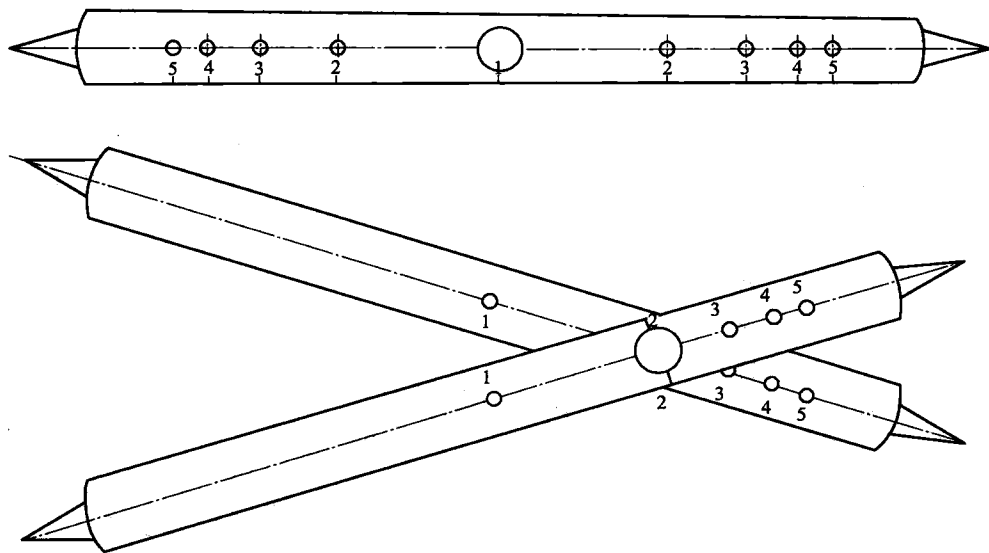


图 1-10 比例放大规

使用比例放大规应先确定比例，并验证一下误差。然后用小端在画好的图纸上量取图纸尺寸，再用大端在钢板上定出工件尺寸，便可将图样放大画在钢板上。

第二节 基本的划线方法

零件的形状虽然是多种多样的，有的甚至很复杂，但是任何一个复杂的图形，都是由直线、曲线、圆等基本线条所组成。为提高划线的质量和效率，必须熟练地掌握基本几何图形的画法。

一、直线的划法

划短直线（小于 1000mm）时，可用直尺使其一边通过选定的两点，并将直尺紧压于钢板上，然后用划针或石笔沿直尺的底边划出直线。石笔端头要磨扁，才能使划出的线条较细而准确，线条粗度不得超过 0.5mm。

对于划较长的直线（大于 1000mm）时，很难用直尺一次划成，这时可将直线分段划出，但这样划得的直线不易正确，因此最好采用粉线一次弹出。

对于长达十米以上的直线，如果要求直线的准确度较高，又不能用粉线一次直接弹出，在这种情况下通常采用间接的划法：用一直径为 0.5~1.5mm 的钢丝，钢丝 1 两端通过索板 3，固定于划线的板料上，如图 1-11 所示。钢丝与索板间用开式索具螺旋扣 2（又名花兰螺丝）联接，开式索具螺旋扣是由左、右旋的螺纹组成，旋转时便可调节钢丝拉紧的程度。钢丝的高度应尽可能低，然后用角尺 4 贴靠钢丝的一侧，在角尺下端定出所得点子，这样在整个长度上依次定出数点，再用粉线弹出，一般以三点弹一粉线，并使相邻粉线有一定重叠段，以保证直线的准确度。

二、直线的等分法

(1) 二等分已知直线 已知 ab 直线 [图 1-12(a)]，其二等分作法如下。

① 以 a 点为圆心 [图 1-12(b)]，取大于 $1/2ab$ 之长为半径，用圆规作一圆弧。

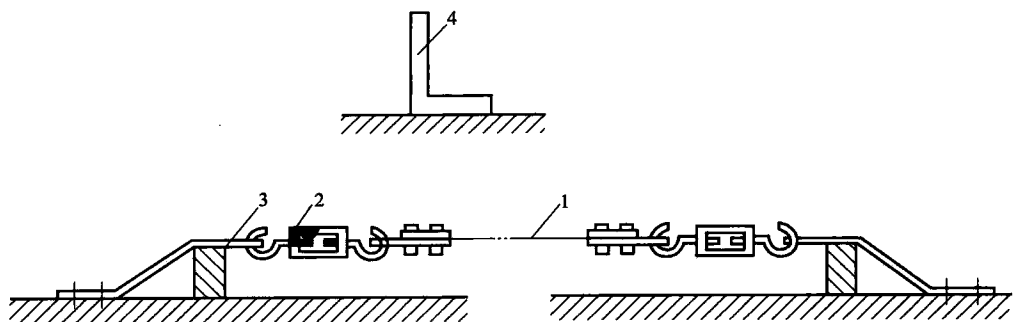


图 1-11 用钢丝作长直线

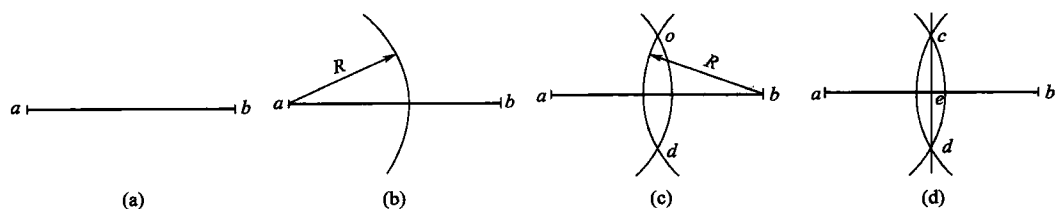


图 1-12 作直线的二等分

② 以 b 点为圆心 [图 1-12(c)], 以等长 R 为半径作圆弧, 两圆弧相交于 c 及 d 两点。

③ 用直线连接 cd 交直线 ab 于 e , [图 1-12(d)], e 点即为 ab 直线的中点 (同时 cd 与 ab 线垂直)。

(2) 作直线的 $2n$ 等分 (n 为正整数) 用直线二等分的方法, 可将直线等分至 $2n$ 分。划线时先用圆规将已知直线作二等分, 再把分得的一半再等分, 一直继续到所需的等分数为止。

(3) 作直线的 $2n+1$ 等分 (n 为正整数) 当 n 为 1、2、3... 或等分数为 7、11、13..., 等分数不是偶数。这种等分的特点是不能采用上面所述的二等分方法, 进行这种奇数或质数的等分时, 可以将作图法和算法相结合应用。下面来说明这种等分的方法。

等分时先将等分数减 1, 然后再把剩下的等分数分解, 直至能进行方便的等分为止。

例如, 将一直线分为 13 等分; 我们首先将 13 分解为:

$$13 = 1 + 12 = 1 + 2 \times 6 = 1 + 2 \times 2 \times 3$$

因此在划线时先把线段总长减去一等分 bc 之长度 (图 1-13), bc 长用线段全长除等分数计算求得, 将余下的距离 ac 作二等分得 d 点, 等分后的线段 ad 再二等分得 e 点。如此再将 ae 之距离作三等分 (用试凑法) 得 f 、 g 两点, ag 或 gf 和 fe 之长均为线段 ab 长的 $1/13$ 。

(4) 直线的任意等分法 设已知直线 ab [图 1-14(a)], 其任意等分 (图中为七等分) 的作法如下。

① 以直线 ab 的任一端点作一角度线 ac [图 1-14(b)]。

② 在所作的直线上量取以任意长度的七等分 [图 1-14(c)], 得 1、2、3... 7

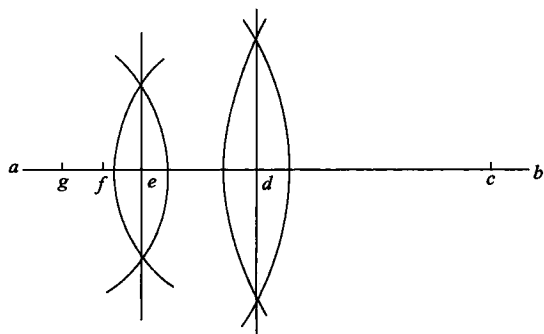


图 1-13 直线的十三等分

各点。

③ 用直线连接 b 、 7 两点 [图 1-14(d)]。

④ 通过 6 、 5 、 4 、 3 、 2 、 1 各点，分别作直线平行于 $b7$ 线 [图 1-14(e)]，各平行线与直线 ab 的交点 $6'$ 、 $5'$ 、 $4'$... $1'$ 将 ab 直线七等分。

在这里应该强调，对于均分的精度要求不高或尺寸较大时，可以用算法进行均分，这也是比较简便的方法。但在分段时也要按先分中、后分段的过程。

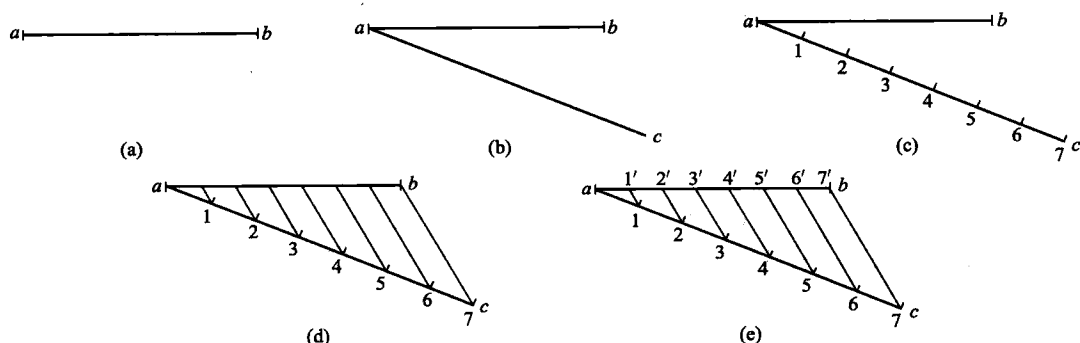


图 1-14 直线的任意等分

三、垂直线的划法

垂线可以直接用三角板画出，画时要先使一条直角边与线段重合，再沿另一直角边画出的线便是垂线。如果没有三角板，也可以用 70 克以上的纸叠出直角代替三角板上的直角作出垂线。但当要求较高时，则需要用作图法。

(1) 过直线上的定点作该直线的垂线 设已知直线 ab ，作过线上定点 c 的垂线 [图 1-15(a)]，作法如下。

① 以 c 为圆心，任取适当之长值为半径作圆弧，交直线 ab 于 d 、 e 两点 [图 1-15(b)]。

② 分别以 d 、 e 两点为圆心，用大于 cd 之长为半径作两个圆弧，得交点 f [图 1-15(c)]。

③ 过 c 、 f 两点作直线，此线即为 ab 的垂直线，并过定点 c [图 1-15(d)]。

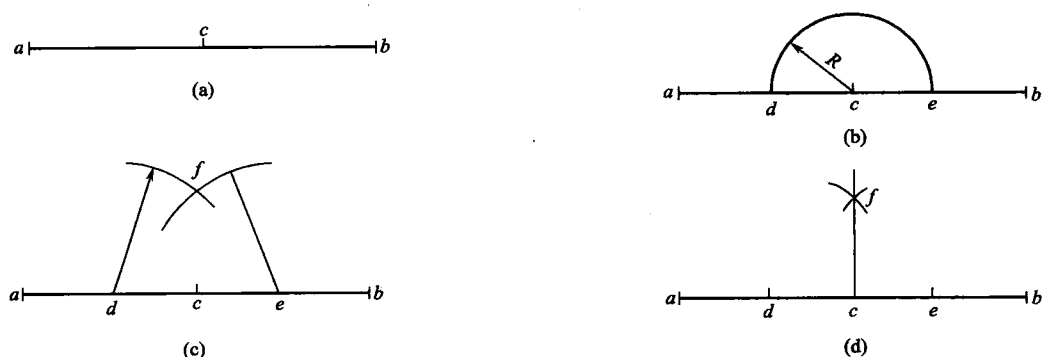


图 1-15 线段垂线的作法

(2) 过直线的端点作该直线的垂线 设已知直线 ab ，作过直线端点 b 的垂线 [图 1-16(a)]，作法如下。

① 任取线外一点 c 为圆心，以 cb 之长为半径作圆，交直线 ab 于 d 点 [图 1-16(b)]。