

工程图学基础教程

(第二版)

钱志峰 刘 苏 主编

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书根据 1994 年制订的“画法几何及机械制图课程教学基本要求”的精神,结合当前系列课程教学改革的具体情况编写而成。全书共 11 章,主要介绍制图的基本知识与技能;点、直线、平面的投影;直线与平面、平面与平面的相对位置;投影变换;立体投影;轴测投影;组合体;机件的常用表达方法;常用件的表示法;零件图和装配图等。书中的每一章融入了计算机绘图内容及大量计算机绘图实例。书末有附录和参考文献。本书配有教学辅导光盘一张,内含电子教案和习题指导两部分。

本书可作为高等院校工科有关专业的教材,也可供工程设计、制图等有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程图学基础教程/钱志峰,刘苏主编.2 版. —北京:科学出版社,2001

ISBN 7-03-009519-7

I. 工… II. ①钱… ②刘… III. 工程制图 IV. TB23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 053863 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1998 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2001 年 9 月第 二 版 印张:21

2001 年 9 月第二次印刷 字数:483 000

印数:4 001—10 000

定价:38.00 元(含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

本书根据 1994 年制订的“画法几何及机械制图课程教学基本要求”(机械类专业适用)的精神,结合系列课程教学改革的具体情况组织编写,适用学时为 80~120 学时。

本书第一版于 1998 年 8 月出版。根据使用后反馈的信息以及教学改革深入发展的现状,本书在本次再版时作了较大的修改和调整。

本书修改后的主要特点是:

一、对全书的传统结构体系作了调整,使画法几何与机械制图结合得更为紧密,采用先有三维实体,再建立正交二维图形,然后由正交二维图形再逐步建立起三维实体的构架。这样编排更符合教学规律和认识规律,在节省教学时数的同时,教学效果明显。

二、本书中将计算机绘图内容融入各章节,并增加了大量计算机绘图实例,在加强徒手绘图能力的同时,强调贯彻手工绘图和计算机绘图并重的原则,经过教学实践,效果很好。

三、本书新增配套教学辅导光盘一张,光盘内含电子教案和习题指导两部分。教师在多媒体教室将本光盘与教材和习题集配套使用,效果更佳;学生亦可在微机上使用本光盘自行预习或复习,加深理解。该教改成果经课堂教学实践并推广后,已获得省级优秀教学成果一等奖。

本书由南京航空航天大学机电学院设计工程系组织本系有关教师编写。本书教材部分由钱志峰教授主编,光盘由刘苏副教授主编。教材部分具体参加编写的有钱志峰(前言,目录,绪论),钱晓星(第一、二、九章,附录 2),王静秋(第三、四、五、六、七章,附录 1),卜林森(第八、十、十一章),全书由王荣珏教授主审。光盘部分电子教案由刘苏、李海燕、徐文胜、钱晓星、王静秋制作完成,习题指导由李海燕、刘苏制作完成,光盘由王荣珏、钱志峰教授主审。

本书在编写过程中得到了校、院及系其他教师的大力支持和帮助,在此特向他们表示衷心感谢。

限于编者水平,书中不当之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2001 年 4 月

目 录

前言	
绪论	(1)
第一章 制图的基本知识与技能	(3)
§ 1.1 制图的基本规定	(3)
§ 1.2 常用绘图工具及其使用	(8)
§ 1.3 绘图的方法和步骤	(10)
§ 1.4 计算机绘图概述	(14)
§ 1.5 AutoCAD 的基本绘图和编辑命令	(17)
第二章 点、直线、平面的投影	(43)
§ 2.1 投影法	(43)
§ 2.2 三视图的形成及其投影规律	(44)
§ 2.3 点的投影	(46)
§ 2.4 直线的投影	(48)
§ 2.5 平面的投影	(56)
第三章 直线与平面、平面与平面的相对位置	(62)
§ 3.1 直线与平面平行、平面与平面平行	(62)
§ 3.2 直线与平面相交、平面与平面相交	(64)
§ 3.3 直线与平面垂直、平面与平面垂直	(67)
§ 3.4 点、线、面综合题解	(68)
第四章 投影变换	(72)
§ 4.1 概述	(72)
§ 4.2 换面法	(73)
§ 4.3 旋转法——绕投影面垂直轴旋转	(81)
第五章 立体投影	(88)
§ 5.1 平面立体	(88)
§ 5.2 常见回转体	(91)
§ 5.3 两曲面立体相交	(103)
§ 5.4 直线与立体相交	(111)
§ 5.5 其它绘图命令	(114)
第六章 轴测投影	(119)
§ 6.1 轴测投影的基本知识	(119)
§ 6.2 正等测轴测图的画法	(121)
§ 6.3 斜二测轴测图的画法	(128)
§ 6.4 AutoCAD 轴测图的绘制	(129)
第七章 组合体	(133)
§ 7.1 组合体的组合方式	(133)

§ 7.2	组合体的分析方法	(135)
§ 7.3	组合体的画图方法	(136)
§ 7.4	组合体视图的尺寸注法	(139)
§ 7.5	组合体的读图方法	(143)
§ 7.6	图层	(150)
§ 7.7	三视图的绘制	(152)
§ 7.8	尺寸标注	(157)
第八章	机件的常用表达方法	(166)
§ 8.1	视图	(166)
§ 8.2	剖视图	(169)
§ 8.3	断面图	(176)
§ 8.4	局部放大图和简化画法	(179)
§ 8.5	机件的各种表达方法综合举例	(181)
§ 8.6	第三角投影法简介	(182)
§ 8.7	图案填充	(183)
第九章	常用件的表示法	(191)
§ 9.1	螺纹和螺纹紧固件	(191)
§ 9.2	键、销连接	(208)
§ 9.3	齿轮	(211)
§ 9.4	弹簧	(218)
§ 9.5	滚动轴承	(221)
§ 9.6	图块的定义和使用	(223)
第十章	零件图	(232)
§ 10.1	零件图的内容	(232)
§ 10.2	零件的表达分析	(232)
§ 10.3	零件图上的尺寸标注	(236)
§ 10.4	零件图上的技术要求	(241)
§ 10.5	常见的零件工艺结构	(256)
§ 10.6	零件的测绘	(258)
§ 10.7	看零件图	(260)
§ 10.8	计算机绘制零件工作图举例	(262)
第十一章	装配图	(264)
§ 11.1	装配图的作用和内容	(264)
§ 11.2	部件的表达方法	(266)
§ 11.3	装配图上的尺寸标注	(268)
§ 11.4	装配图中的编号、明细表和标题栏	(269)
§ 11.5	部件结构的工艺性	(271)
§ 11.6	部件测绘和装配图画法	(272)
§ 11.7	看装配图及拆画零件图的方法	(277)
§ 11.8	计算机绘制装配图举例	(283)
附录 A	曲线和曲面简介	(285)
§ A.1	曲线	(285)

§ A.2	曲面	(290)
§ A.3	曲面的切平面	(297)
附录 B	工程制图常用参考表	(299)
§ B.1	螺纹	(299)
§ B.2	螺纹联结件	(302)
§ B.3	键	(309)
§ B.4	销	(311)
§ B.5	滚动轴承	(312)
§ B.6	公差与配合	(313)
§ B.7	标准尺寸及各种孔的尺寸注法	(320)
§ B.8	常用材料及热处理	(322)
参考文献	(326)

绪 论

一、本课程的性质和任务

本课程是工程类专业的一门必修的技术基础课。它研究解决空间几何问题以及绘制和阅读工程图样的理论和方法。

本课程的主要任务如下：

1. 学习投影法(主要是正投影法)的基本理论及其应用。
2. 培养对三维形状与相关位置的空间逻辑思维和形象思维能力。
3. 培养空间几何问题的图解能力。
4. 培养阅读和绘制机械图样的基本能力。
5. 培养用计算机绘制机械图样的基本能力。

此外,在教学过程中还必须有意识地培养学生自学的能力、分析问题和解决问题的能力,以及认真负责的工作态度和严谨细致的工作作风。

二、本课程的发展和学习方法

由于计算机技术的飞速发展,计算机图形技术也得到了相应的发展。自 20 世纪 80 年代以来,西方国家工业设计图纸的 80%是在计算机上设计和成图的;我国的一些大型企业,计算机成图比例也达到了 60%,还有相当一些大企业已进入无图纸生产阶段。不难预料,随着本课程的发展,计算机绘图必将逐步取代传统的手工绘图。

为了顺利学好本课程,必须掌握正确的学习方法。

首先,必须掌握正确的思维方法。本课程的学习一般都安排在大学一年级进行,对于刚进大学校门的学生来说,一般都习惯于用逻辑思维的方法学习,而学习本课程却必须采用空间思维的学习方法。空间思维包含了逻辑思维和形象思维,两者相互依存,共同发展。在学习的初期阶段应以形象思维为主,不断地由物画图,由图想物,由浅入深,逐步搞清和理解三维空间物体和二维平面图形之间的对应关系。随着学习的不断深入,应逐渐增加逻辑思维的分量。

其次,提高听课效率。进入大学的学生,在中学时期一般都已养成良好的记笔记的习惯。由于本门课研究的是图形,在课堂上作图形笔记有一定难度,费时且影响听课效果。所以,在课堂上不提倡作传统笔记,而提倡在书上作旁注的形式,当你听到对你有启发的讲课时,可在书上有关地方进行旁注,这样效果好。

再次,正确对待作业。由于本门课是实践性很强的一门课程,所以作业量比较大。在做作业时,学生普遍感到费时、难做,有的甚至应付作业,觉得反正后面要用计算机来画图,手工做作业马虎些无妨,这是错误的观点。事实上,要熟练掌握用计算机来画图,清晰的投影概念是必不可少的,而前面的手工做作业正是为了加深和理解课堂上所讲的投影概念,因此,必须认真完成每堂课后的作业。

最后,由于图样在生产中起着很重要的作用,绘图和读图的差错,都会给生产带来损失。所以,在做作业时,必须培养认真负责的工作态度和严谨细致的工作作风。

本课程只能为学生的绘图和读图能力打下初步基础,在后继课程中还要继续培养和提高这种能力。

第一章 制图的基本知识与技能

本章介绍的内容有:制图的基本规定;绘图工具和仪器的使用方法;绘图的方法和步骤;计算机绘图概述;Auto CAD 的基本命令等。

§ 1.1 制图的基本规定

图样是工程技术中用来进行技术交流和指导生产的重要技术文件之一,是工程界的共同语言。为此,国家制订了绘制图样的一系列标准,简称国标,其代号为“GB”。国标对图样的画法作了严格的统一规定,我们在绘制图样时必须严格遵守国家标准中的规定,以充分发挥图样的语言功能。

一、图纸幅面和格式 (GB/T 14689-93)

(一) 图纸幅面尺寸

绘制图样时,应优先采用基本幅面。必要时,也允许选用加长幅面。基本幅面共有五种,幅面代号和幅面尺寸见表 1.1。

表 1.1 图纸基本幅面代号和尺寸

单位: mm

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
B × L	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297
e	20		10		
c	10			5	
a	25				

(二) 图框格式

在图纸上必须用粗实线画出图框,其格式分为不留装订边和留有装订边两种,但同一产品的图样只能采用一种格式。不留装订边和留有装订边的图框格式见图 1.1,其中(a)、(b)不留装订边,(c)、(d)留有装订边。图中 e、c、a 为图框离开纸边的距离,其数值见表 1.1。

(三) 标题栏的方位及格式

每张图纸上都必须画出标题栏。标题栏的位置应位于图纸的右下角,如图 1.1 所示。国家标准 (GB10609.1-89) 推荐的标题栏格式比较复杂,学生在做作业时建议采用教学用简化标题栏,见图 1.2。

二、比例 (GB/T 14690-93)

图样中图形与其实物相应要素之间的线性尺寸之比称为比例。国家标准规定了绘制

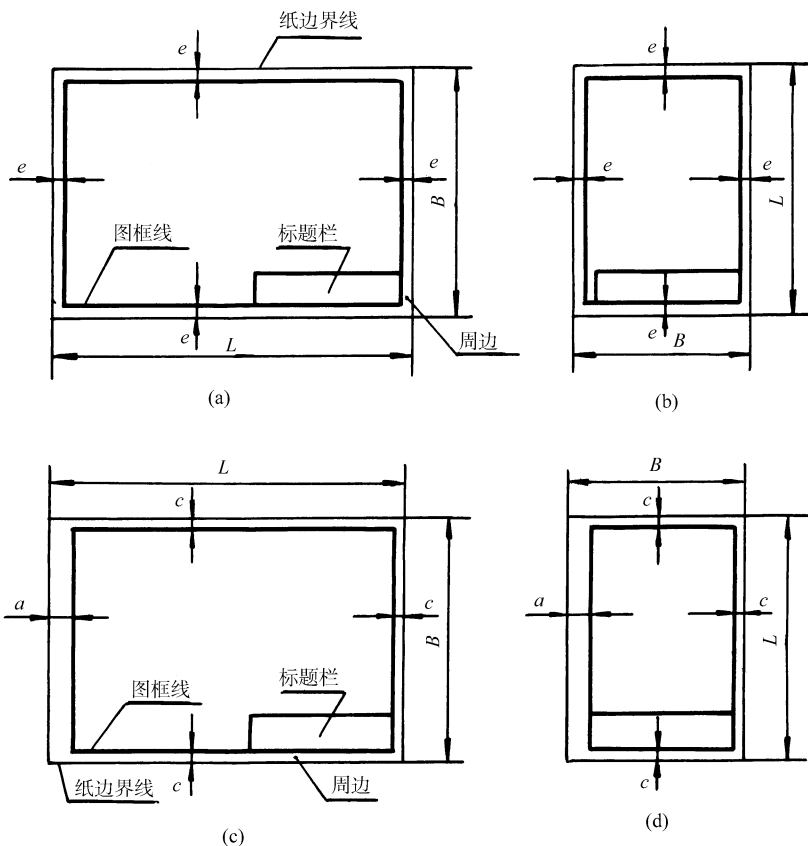


图 1.1 图框格式

		130			
		12	28	12	28
7 × 4 (=28)	绘图	(签名 年 月 日)		(图样名称)	材料
	班级				数量
	学号			(学校名称)	比例
	审核	(签名 年 月 日)		图号	

图 1.2 教学用简化标题栏

图样时一般应采用的比例,见表 1.2。

绘制图样时,应根据机件的大小及其结构的复杂程度来选取相应的比例,一般应尽可能按机件的实际大小(1:1)画出,以便直接从图样上看出机件的真实大小。当机件大而简单时,可采用缩小的比例;当机件小而复杂时,可采用放大的比例。无论采用缩小还是放大的比例,在标注尺寸时,都按机件的实际尺寸标注,而在标题栏的比例栏中填写相应的比例。

表 1.2 比例

种 类	第一系列	第二系列
原值比例	1:1	
放大比例	5:1 2:1 5×10 ⁿ :1 2×10 ⁿ :1 1×10 ⁿ :1	4:1 2.5:1 4×10 ⁿ :1 2.5×10 ⁿ :1
缩小比例	1:2 1:5 1:10 1:2×10 ⁿ 1:5×10 ⁿ 1:1×10 ⁿ	1:1.5 1:2.5 1:3 1:4 1:6 1:1.5×10 ⁿ 1:2.5×10 ⁿ 1:3×10 ⁿ 1:4×10 ⁿ 1:6×10 ⁿ

三、字体 (GB/T 14691-93)

图样中的字体在书写时必须做到:字体工整、笔划清楚、间隔均匀、排列整齐。

图样中各种字体的大小应根据国家标准规定的大小进行选取。国标规定字体高度(用 h 表示)的公称尺寸系列为:1.8,2.5,3.5,5,7,10,14,20mm。字体高度代表字体号数。

图样中的汉字应写成长仿宋体,并应采用中华人民共和国国务院正式公布推行的《汉字简化方案》中规定的简化字。汉字的高度 h 不应小于 3.5mm,字宽一般为 $h\sqrt{2}$ 。

长仿宋体的书写要领是:横平竖直,注意起落,结构匀称,填满方格。

下面是一些常用字体的示例。

(一) 长仿宋体示例

字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐

横平竖直,注意起落,结构均匀,填满方格

(二) 拉丁字母示例

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

(三) 希腊字母示例

A B Γ Δ E Ζ Η Θ Ι Κ Λ Μ Ν Ξ Ο Π Ρ Σ Τ Υ Φ Χ Ψ Ω

α β γ δ ε ζ η θ ι κ λ μ ν ξ ο π ρ σ τ υ φ χ ψ ω

(四) 阿拉伯数字示例

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

(五) 罗马数字示例

I II III IV V VI VII VIII IX X

四、图线 (GB 4457.4-84)





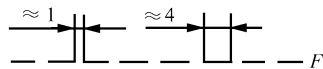
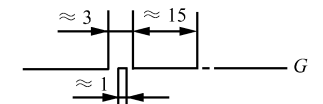

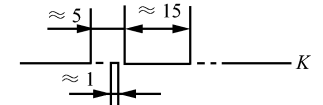
(一) 图线型式及应用

各种图线的名称、型式、代号、宽度以及在图样上的一般应用见表 1.3 和图 1.3。

图线分为粗、细两种。粗线的宽度 b 应按图的大小和复杂程度,在 0.5~2mm 之间选择,细线的宽度约为 $b/3$ 。

图线宽度的推荐系列为:0.18,0.25,0.35,0.5,0.7,1,1.4,2mm。

表 1.3 图线型式及一般应用

图线名称	图线形式及代号	图线宽度	一般应用
粗实线	 A	b	A1 可见轮廓线
细实线	 B	约 b/3	B1 尺寸界线及尺寸线 B2 剖面线 B3 重合剖面轮廓线
波浪线	 C	约 b/3	C1 断裂处的边界线 C2 视图和剖视的分界线
双折线	 D	约 b/3	D1 断裂处的边界线
虚线	 F	约 b/3	F1 不可见轮廓线
细点划线	 G	约 b/3	G1 轴线 G2 对称中心线 G3 轨迹线
粗点划线		b	有特殊要求的线或面的表示线
双点划线	 K	约 b/3	K1 相邻辅助零件的轮廓线 K2 极限位置的轮廓线

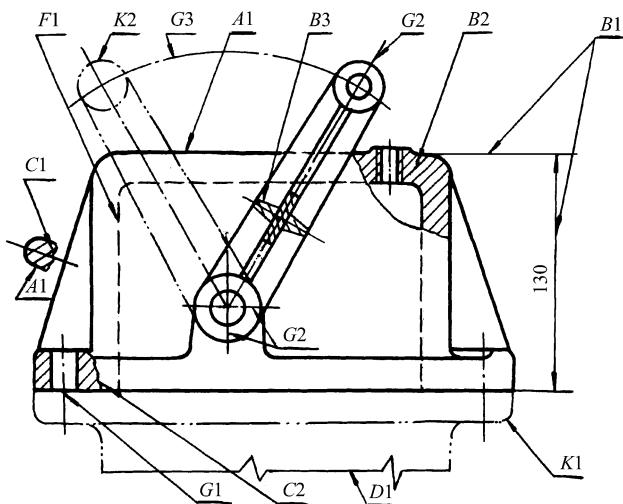


图 1.3 图线型式及一般应用

(二) 图线画法

1. 同一图样中同类图线的宽度应基本一致。虚线、点划线及双点划线的线段长度和间隔应各自大致相等。

2. 两条平行线（包括剖面线）之间的距离应不小于粗实线的两倍宽度，其最小距离

不得小于 0.7mm。

3. 绘制圆的对称中心线时,圆心应为线段的交点。点划线和双点划线的首末两端应是线段而不是短划。

4. 在较小的图形上绘制点划线或双点划线有困难时,可用细实线代替。

五、尺寸注法 (GB4458.4-84)

(一) 基本规则

1. 机件的真实大小应以图样上所注的尺寸数值为依据,与图形的大小及绘图的准确度无关。

2. 图样中(包括技术要求和其它说明)的尺寸,以毫米(mm)为单位时,不需标注计量单位的代号或名称。如采用其它单位,则必须注明相应计量单位的代号或名称。

3. 图样中所标注的尺寸,为该图样所示机件的最后完工尺寸;否则应另加说明。

4. 机件的每一尺寸,一般只标注一次,并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

(二) 尺寸的组成

一个完整的尺寸应由尺寸数字(或加有关符号)、尺寸线和尺寸界线组成。

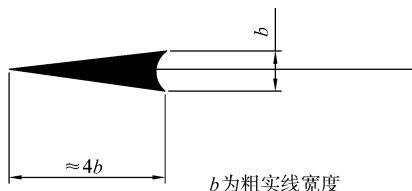


图 1.4 箭头形式

1. 尺寸数字。尺寸数字要严格按照标准字体书写清楚,同一张图样上保持字高一致,且不能被任何图线通过。

2. 尺寸线。尺寸线用细实线绘制,其终端形式常采用箭头,见图 1.4。箭头应与尺寸界线接触。尺寸线不能用其它图线代替,也不得与其它图线重合或画在其延长线上。

3. 尺寸界线。尺寸界线用细实线绘制,并应由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出。也可利用轮廓线、轴线或对称中心线作为尺寸界线。

(三) 尺寸的注法

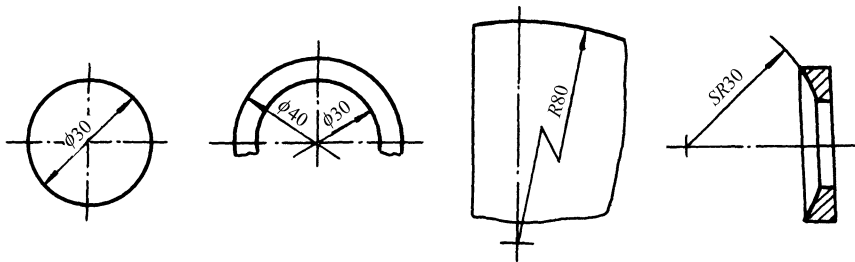
尺寸的标注形式多样,这里列出一些常见尺寸的标注形式,见表 1.4。

表 1.4 常见尺寸的标注形式

线性尺寸注法	图例
说明	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> </div> <p>1. 尺寸线必须与所标注的线段平行。 2. 尺寸数字:水平方向注写在尺寸线上方,字头朝上;垂直方向注写在尺寸线左方,字头朝左;倾斜方向注写在尺寸线斜上方,字头朝上。应避免在 30°范围内注写,不可避免时可引出标注。</p>

圆、圆弧、球面尺寸注法

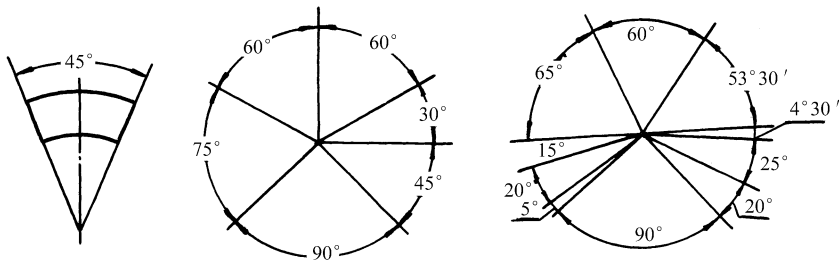
图例



说明 标注直径尺寸时,在尺寸数字前面加符号“ ϕ ”。标注半径尺寸时,在尺寸数字前加符号“R”。标注球面尺寸时,在“ ϕ ”或“R”前加符号“S”。

角度尺寸

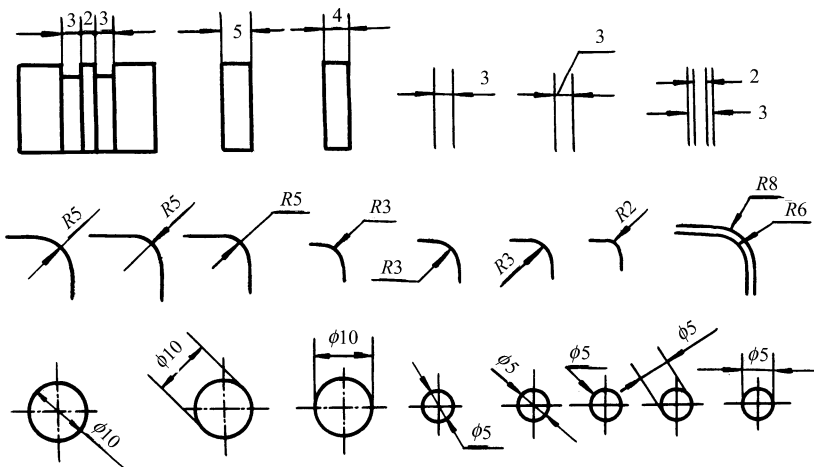
图例



说明 表示角度的数值一律水平书写,并注明单位。

小尺寸注法

图例



§ 1.2 常用绘图工具及其使用

正确使用绘图工具是保证绘图质量和提高绘图速度的一个重要方面。因此,必须养成正确使用绘图工具的良好习惯。常用绘图工具有:图板、丁字尺、三角板、圆规、分规、铅笔等。同时随着计算机技术本身的不断进步和其应用领域的不断拓展,计算机以其大容量、高运行速度、高精度的特点,迅速成为绘制工程图样的一种高效快捷的工具,下面分

别介绍。

一、图板、丁字尺和三角板

图板、丁字尺和三角板一般应联合使用。画图时,应将图纸固定在图板上。让丁字尺的尺头紧靠着图板左侧的导边,利用尺身自左至右画水平线。上下移动丁字尺可画一系列互相平行的水平线。三角板除了直接用来画直线外,配合丁字尺可画铅垂线和其它角度的倾斜线,见图 1.5。

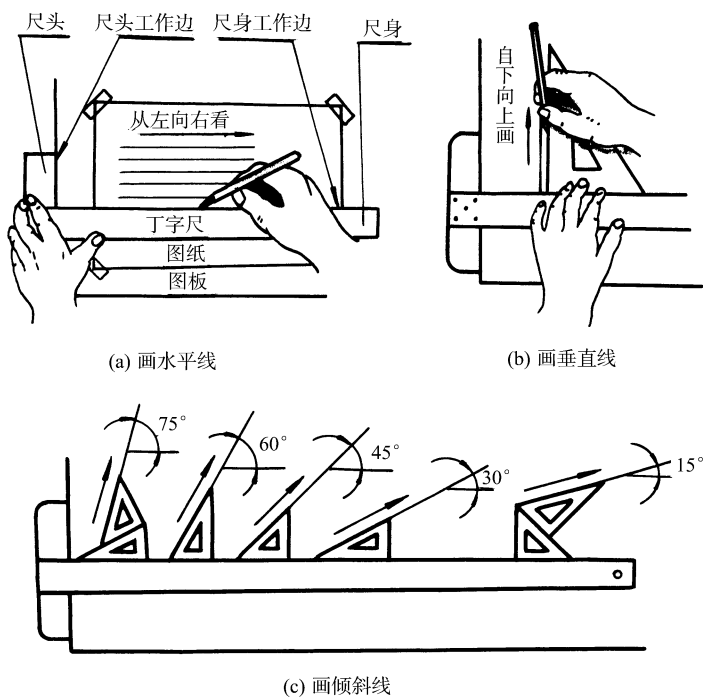


图 1.5 图板、丁字尺和三角板的使用

二、圆规和分规

圆规是画圆和圆弧的工具。使用前应先调整针脚,使针尖略长于铅芯,见图 1.6。需说明一点,为了保证图面质量,圆规上的铅芯应比画直线用的铅芯软些。

分规是量取线段或等分线段用的工具。分规两脚的针尖并拢后应能对齐,见图 1.7 (a)。分规在等分线段时采用试分法,见图 1.7 (b)。

三、铅笔

绘图铅笔一般分为 H~6H, HB 和 B~6B 共 13 种规格。H 前数字越大,铅芯

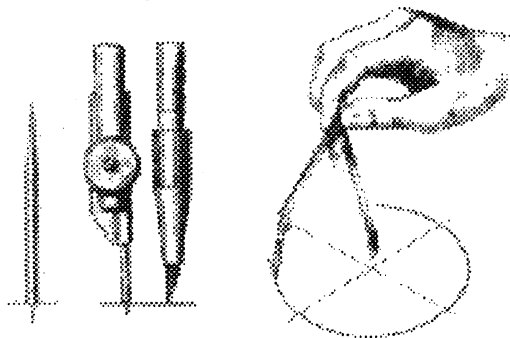


图 1.6 圆规的用法

越硬, B 前数字越大, 铅芯越软。绘图时推荐采用: 打底稿用 H (或 HB), 加深图线或写字用 HB (或 B), 圆规用 B (或 2B)。在削铅笔时, 铅芯伸长 6~8mm 为宜, 一般磨成圆锥形, 也可磨成扁平形, 见图 1.8。

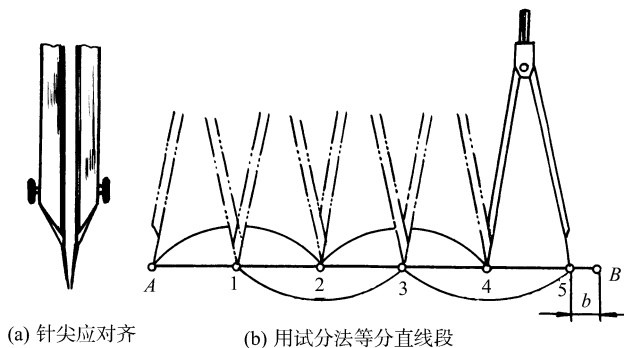


图 1.7 分规的用法

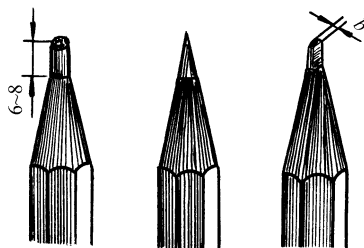


图 1.8 铅笔的削法

§ 1.3 绘图的方法和步骤

要使图样绘得又快又好, 除有一套得心应手的绘图工具并正确使用外, 还必须掌握一定的作图方法和步骤。

一、绘图的一般方法和步骤

(一) 绘图前的准备工作

在绘图前首先应准备好图纸及各种绘图工具, 包括图板、丁字尺、三角板、圆规、铅笔等工具及用品, 并将铅笔按用途削好; 图板、丁字尺、三角板擦干净; 图纸用胶带纸固定在图板左上角。

(二) 绘制底稿

根据图形的大小和个数, 在图框中的有效绘图区域合理布图, 要求做到布图匀称。然后用 H 或 HB 铅笔将图中所有图线 (剖面线除外) 画出底稿。

(三) 铅笔加深

为了保证成图的整洁与美观, 加深时的顺序和技巧是至关重要的, 建议采用下列加深顺序:

第一步: 从上往下、从左往右用 B 铅加深细实线和点划线的圆及圆弧。

第二步: 从上往下、从左往右用 HB 铅加深细实线和点划线的直线, 其中剖面线一次画成。

第三步: 从上往下、从左往右用 2B 铅加深粗实线的圆及圆弧。

第四步: 从上往下、从左往右用 B 铅加深粗实线的直线。

第五步: 从上往下、从左往右用 HB 铅画尺寸箭头, 注写尺寸数字, 填写标题栏等。

在加深过程中, 应经常擦干净丁字尺和三角板, 尽量用干净白纸盖住已画好的图线,

以避免摩擦而使线条变模糊。

二、几何作图

机件的使用场合和功能各异,造成机件形状的多种多样,但都是由各种几何形体组合而成,它们的图形也不外是一些几何图形的组合。下面介绍几种常用几何图形的作图方法。

(一) 正多边形

正三角形、正四边形、正六边形可直接利用圆规或三角板画出,中学已学过,这里不再叙述。其它正多边形可参照图 1.9 的近似画法作图。

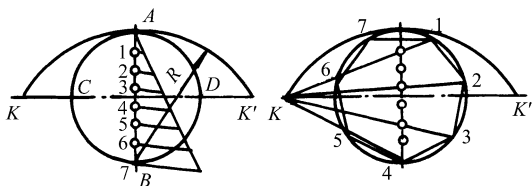


图 1.9 正多边形作法

(1) n 等分直径 AB (图中 $n=7$); (2) 以 A 或 B 作圆心, 直径 AB 为半径作弧, 交 CD 延长线于 K 或 K' ; (3) 自 K 或 K' 与 AB 上的奇数点 (或偶数点) 相连, 并延长至圆周, 得各分点, 即可作多边形

(二) 斜度和锥度

斜度是一直线对另一直线或一平面对另一平面的倾斜程度, 其大小用该两直线或两平面间夹角的正切来表示, 在图样上则以 $1:n$ 的形式标注。图 1.10 表示 AC 对 AB 的斜度为 $BC:AB=1:4$ 。与 AC 直线平行的所有直线的斜度都是 $1:4$ 。

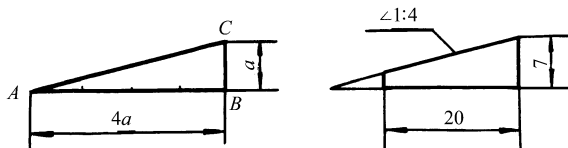


图 1.10 斜度

锥度是正圆锥体底圆直径与该正圆锥体高度之比, 在图样上同样以 $1:n$ 的形式标注。图 1.11 表示该圆锥的锥度为 $AB:OS=1:2$ 。

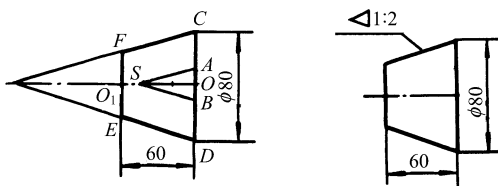


图 1.11 锥度

(三) 圆弧连接

在绘制机件图形时,我们常常会遇到两条直线之间,或一条直线和一条圆弧线之间,或两条圆弧线之间用另一条圆弧线光滑地连接起来,这种连接我们称它为圆弧连接。用来连接已知线的圆弧线称为连接弧。连接弧的半径是给定的,但它的圆心位置和连接点必须用作图方法确定。常见圆弧连接有圆弧与直线连接,圆弧与圆弧连接两类。

1. 圆弧与直线连接。连接弧与已知直线相切时,半径为 R 的连接弧的圆心轨迹是一条与已知直线相距为 R 的平行线。在这条平行线上选定圆心后向已知直线作垂线,垂足就是切点。有圆心、半径、切点即可作连接弧,见图 1.12(a)。

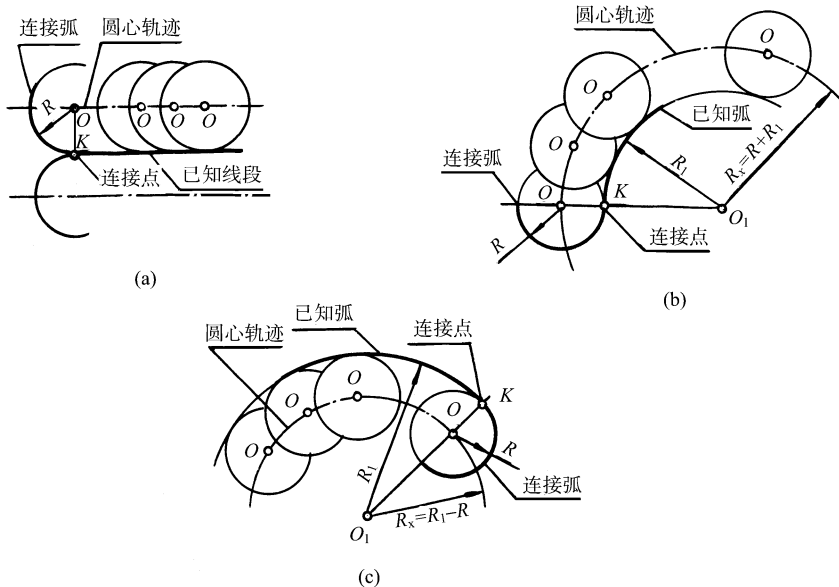


图 1.12 圆弧连接

2. 圆弧与圆弧连接。圆弧与圆弧连接分两种情况,一是连接弧与已知弧外切,一是连接弧与已知弧内切。当外切时,连接弧的圆心轨迹是一个以已知弧的圆心为圆心,已知弧的半径和连接弧的半径之和为半径的同心圆。当内切时,连接弧的圆心轨迹是一个以已知弧的圆心为圆心,已知弧的半径和连接弧的半径之差的绝对值为半径的同心圆。无论外切还是内切,连接弧与已知弧相切的切点都是在连接弧的圆心和已知弧的圆心的连线或其延长线与已知弧的交点上。见图 1.12(b)、(c)。

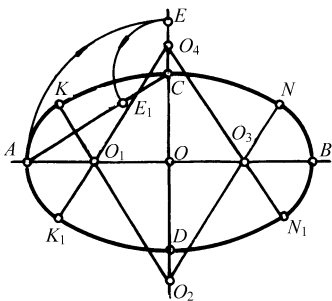


图 1.13 四心圆法画椭圆

(四) 椭圆的近似画法

图 1.13 示出了已知长、短轴用四心圆法作椭圆的一种画法,这是机械制图中用得比较多的一种作椭圆的方法。图中先取 $OE = OA$, 连 AC , 再取 $CE_1 = CE$ 。作 AE_1 的垂直平分线, 交 OA 于 O_1 , 交 OD 延长线于 O_2 。对称量取 O_3 、 O_4 。分别以 O_1 、 O_2 、 O_3 、 O_4 为圆心, O_1A 、 O_2C 、 O_3B 、

O_4 D 为半径作弧,即可连成椭圆。 K 、 K_1 、 N 、 N_1 为切点。

三、平面图形分析和画法

平面图形分析,主要分析构成平面图形的每段弧线的画法。如图 1.14 所示,图中每段弧线的半径都是已知的。所不同的是 R_{10} 、 R_{13} 、 R_5 三段圆弧的圆心位置在图上是直接标出的,这样的弧称为已知弧,可直接作图。而 R_6 圆弧的圆心位置在图上没有标出,需依靠已知弧 R_{13} 和 R_5 作出,这样的弧称为连接弧。画连接弧需首先用作图方法找出其圆心。根据上节内容,由图可知, R_6 和 R_5 是外切,用半径相加来作圆心轨迹; R_6 与 R_{13} 是内切,用半径相减来作圆心轨迹。两轨迹线的交点即为 R_6 圆心的位置,找出两圆弧的相切点,即可作图。

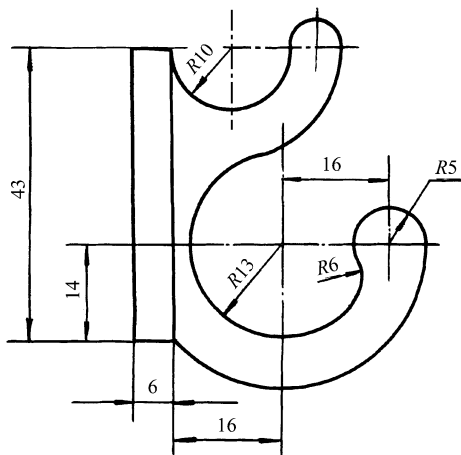


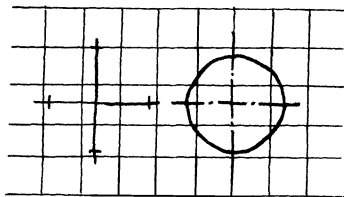
图 1.14 平面图形分析与画法

四、徒手画草图的方法

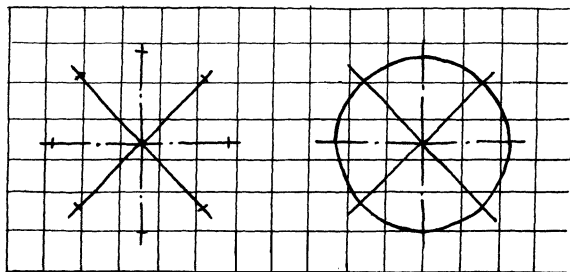
不借助绘图工具,用目测徒手绘图,称为绘草图。在进行机器测绘,讨论设计方案,进行技术交流等工作时,常需绘草图。待定稿后再根据草图整理成仪器图或进行计算机绘图。所以,工程技术人员应掌握一定的徒手绘草图的能力。

徒手绘草图时,握笔应稳而有力。画直线时,应眼看线的终点,手腕靠纸面,沿画线方向移动。无论在哪个方向上的直线,我们都可转动图纸,使它处于最顺手的方向。画短线时,常以手腕运笔,画长线时,则以手臂动作。

徒手绘圆时,应先用十字线定圆心,然后根据圆的大小,将圆分成若干等份,在每个等份上截取半径,最后画成圆,见图 1.15。



(a) 小圆画法



(b) 大圆画法

图 1.15 徒手画圆的方法

§ 1.4 计算机绘图概述

随着计算机技术的迅速发展,计算机整机性能不断提高,它的应用领域也日益扩大。现代科学技术的进步,也使得某些图纸越来越复杂,对图纸的精度要求也越来越高,像飞机和船舶生产中的模线,大规模集成电路中的掩膜图等图纸,已非手工绘制所能胜任。同时,社会化大生产和商品经济的快速发展,也迫使企业缩短产品和工程的设计周期,提高生产率,降低成本,加速产品更新换代,增强竞争力。这一切使得计算机作为一种新型的高效绘图工具迅速在工程界普及开来,用计算机绘图快速精确,图形易于保存,并具有良好的可修改性,大幅度提高了绘图效率。计算机已成为工程技术人员的得力助手。

本书将介绍在计算机上普遍使用的绘图工具软件 AutoCAD 2000 的使用。AutoCAD 软件是由美国 Autodesk 公司研制开发的高效绘图软件包,自 1982 年 12 月推出 1.0 版本以后,经过不断的改版和升级,成为目前广泛流行的通用绘图软件。AutoCAD 2000 版本采用 Windows 多窗口环境操作,支持对象的属性编辑,新增三维动态观测器和设计中心,使得软件的使用更加方便和直观。

首先我们来介绍 AutoCAD 的启动和工作界面。


一、AutoCAD 的启动

AutoCAD 2000 版本采用 Windows 窗口操作,这使得软件的应用操作起来如同使用 Windows 的应用程序一样容易。

启动 AutoCAD 2000 如同启动 Windows 的其它应用程序一样,可以从“开始”菜单中的“程序”找到 AutoCAD,然后启动。或者使用 Windows 桌面上的 AutoCAD 快捷图标,双击图标启动 AutoCAD。

AutoCAD 启动以后弹出如图 1.16 所示的对话框。

该对话框提供四种方式进入绘图环境。

1.  Open a Drawing 打开原有图形文件。

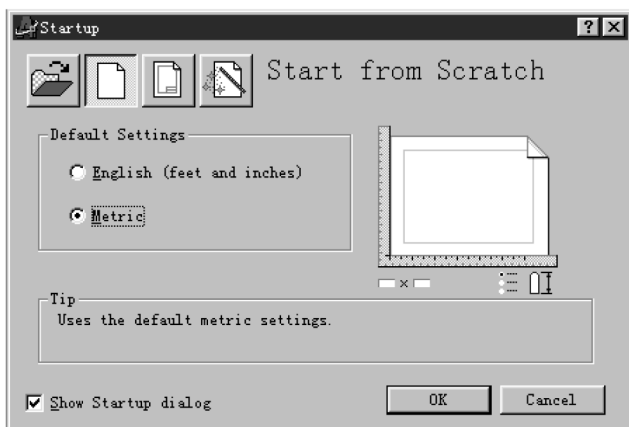





图 1.16 AutoCAD 启动对话框

2.  Start from Scratch 直接进入。
3.  Use a Template 使用模板。
4.  Use a Wizard 使用向导。

第一种方式通过打开旧文件,后三种方式通过建立新文件均可进入绘图环境。

二、AutoCAD2000 的工作界面

进入 AutoCAD 的绘图环境以后,计算机将显示如图 1.17 的工作界面。

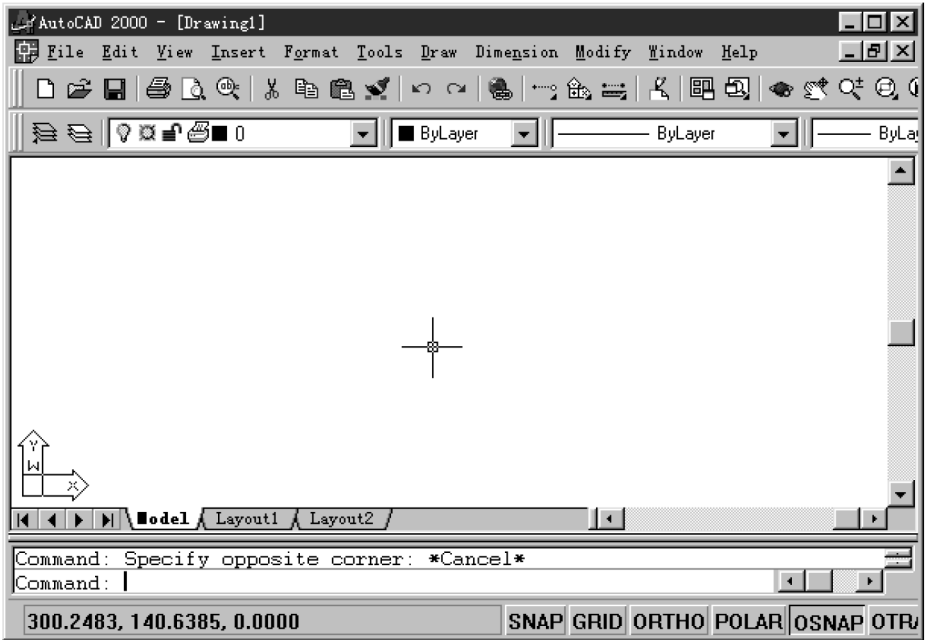


图 1.17 AutoCAD 工作界面

界面主要由四部分组成,中间最大的区域是图形显示窗口,用以显示绘制的图形;图形窗口上面是标题栏和菜单栏,显示为主菜单区,包括十一个命令群组,每个群组又有下拉菜单和对话框,涵盖了 AutoCAD 的全部命令;菜单栏的下面是图标工具栏,包含了 AutoCAD 的大部分常用命令。图标工具栏的数目可多可少,其缺省值是四个工具栏,包括标准(Standard)工具栏、对象特征(Object Properties)工具栏、绘图(Draw)工具栏和修改(Modify)工具栏。图形窗口下面是命令行,操作命令可以从这里用键盘输入。最后是状态栏。

三、AutoCAD 的命令输入

虽然 AutoCAD2000 的命令种类繁多,有些命令功能还十分复杂,但只要学会命令及参数输入方法,看懂命令提示信息,那么它们的使用也就变得很简单了。

(一) 命令和参数的输入方法

当图形窗口下面的命令行出现 Command:时,AutoCAD 就处于准备接受命令的状态,

可以直接从键盘输入命令名,也可以用光标点取相应的菜单项,然后 AutoCAD 可能又提示输入该命令所需的参数或子命令。至这些交互信息提供完毕后,命令功能便立即执行。一般命令的输入响应过程如下:

Command: 命令名↵

命令提示信息:输入参数或子命令↵

对于命令提示序列的正确回答,应掌握下列四条有关符号的约定:

(1)斜杠“/”作为命令选项(称子命令)的分隔符。大写字母表示选项的缩写形式。输入命令或子命令时,只要输入大写字母即可。

(2)在尖括号<>内出现的是缺省值或当前值。

(3)若想中途退出命令或使输入的命令作废,可键入 Ctrl+C 键。

(4)在 Command:提示下,直接输入回车(↵),将会重复执行上一条命令。

• 大多数的 AutoCAD 命令都要求提供某些参数,它们的数据类型包括:

- 几何量——点、距离或位移、角度
- 数值型——整数和实数
- 开关量——On 或 Off
- 字符串型——文本、属性值、尺寸文本、关键字及文件名

(二) 点的输入

点的输入可有下列五种不同的方法:

- 绝对坐标 x,y,[z]
- 相对坐标 @△x,△y,[△z]
- 极坐标 @距离<角度
- 用鼠标器在屏幕上拾取点

- 用 Osnap 功能捕捉当前图中的特征点

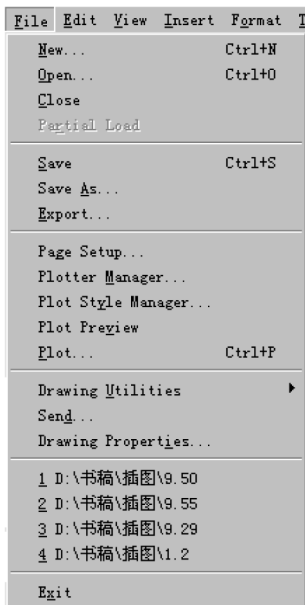


图 1.18 File 下拉菜单

四、AutoCAD 的图形文件管理

与手工制图一样,用 AutoCAD 作为工具进行绘图和设计作业时,也要准备好“图纸”,即图形文件,然后在上面构思草图乃至完成最后的详图。中途也可以将图形保存起来,供今后继续绘制或修改。一旦图形绘制完成,需要入库,即存放到磁盘上。对图形文件的这些管理操作都可以通过主菜单中的 File 命令群组完成。AutoCAD2000 启动后进入图形界面,用户点取主菜单的 File 群组后,将出现如图 1.18 所示的下拉菜单。

下面分别说明常用选项的功能:

- (1) New 选项,开始建立一个新图形文件。
- (2) Open 选项,可让用户打开一个已有的图形文件。
- (3) Save 选项,用来存储图形文件,如果图形没有文件名,则要输入新图形文件名。如果是调入的一个旧文件,修改后要存储,则点取此项直接存盘。

(4) Save As 选项,点取该项可存储新文件或将当前图形以另一文件名存盘。

(5) Exit 选项,点取这一项可退出 AutoCAD,回到 Windows 桌面。退出前,如果图形已修改,系统将提示存盘。

§ 1.5 AutoCAD 的基本绘图和编辑命令

这一节我们介绍 AutoCAD 基本的绘图和编辑命令。


一、基本绘图命令

AutoCAD 中的基本图形元素有直线、圆、文字等。一个基本图形元素又称一个图形实体。绘制命令均在主菜单 Draw 中,见图 1.19,“Draw”工具条见图 1.20。

(一)画直线命令


命令:LINE

下拉菜单:Draw→Line。


工具条:Draw→


功能:绘制直线。

命令格式:

Command: Line  (或在下拉菜单中选择)

Specify first point:(A 点) (输入 A 点)

Specify next point or [Undo]:(B 点) (输入 B 点)

Specify next point or [Undo]:(C 点) (输入 C 点)

Specify next point or [Close/Undo]: (结束命令)

说明:

输入起点后,系统接着提示 Specify next point or [Undo]:要求用户接着输入下一直线段的端点,输入折线终点后,在下一个 Specify next point or [Undo]:提示处键入回车,即可结束命令。

在 Specify next point or [Undo]:处键入 U(Undo 取消),可取消才画的一段直线,再键入一次 U,再取消前一段,以此类推。在 Specify next point or [Undo]:提示符后键入 C(Close 封闭),系统会从折线当前端点向折线起点画一条封闭线,形成一个封闭线框,并自动结束命令。



图 1.19 Draw 下拉菜单



图 1.20 “Draw”工具条

例 1.1 见图 1.21,操作过程如下:

Command: Line (或在下拉菜单中选择)

Specify first point: (A 点) (输入 A 点)

Specify next point or [Undo]: 5, 5 (绝对坐标定 B 点)

Specify next point or [Undo]: @3, -1 (相对直角坐标定 C 点)

Specify next point or [Close/Undo]: @2<90 (相对极坐标定 D 点)

Specify next point or [Close/Undo]: U (取消 DC 段直线)

Specify next point or [Close/Undo]: C (封闭)

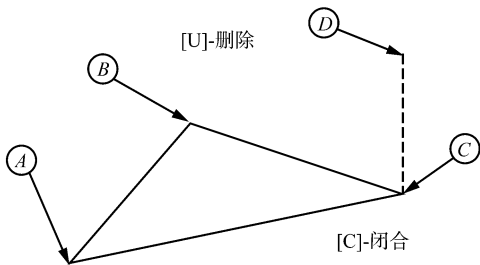


图 1.21 绘制直线示例

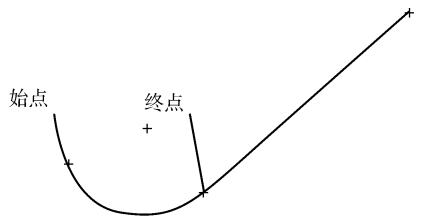


图 1.22 圆弧终点为直线起点的作图过程

另外,LINE 命令还有一个很好的附加功能,如果在 Specify first point: 提示符后键入回车,系统就认为直线的起点是上一次画的直线或圆弧的终点。若上一次画的是直线,现画的直线就能和上次直线精确地首尾相接。若上次画的是圆弧,新画的直线按圆弧的切线方向画出。见图 1.22。

(二)绘正多边形线命令

命令: POLYGON

下拉菜单: Draw → POLYGON

工具条: Draw →

功能: 提供三种方式画正多边形。

1. 定边法。系统要求指定正多边形的一条边的两个端点,见图 1.23(a),然后,系统从边的端点开始按逆时针方向画出正多边形,该指定边即确定了正多边形的放置方向。

命令格式:

Command: POLYGON (或在下拉菜单中选择)

Enter number of sides <4>: 5 (绘制正 5 边形)

Specify center of polygon or [Edge]: E (选择定边法)

Specify first endpoint of edge: (A 点) (输入 A 点)

Specify second endpoint of edge: (B 点) (输入 B 点)

2. 外接圆法。AutoCAD 要求指定外接圆的圆心和半径,若键盘键入半径值,则正多边形的一条边为水平,见图 1.23(d)。若用光标拖动方式在屏幕上输入一点,半径由该点

到圆心的距离确定,该点同时也是正多边形的一个顶点,故该点的指定也就确定了正多边形的安置方向,见图 1.23(e)。

命令格式:

Command: POLYGON ↙ (或在下拉菜单中选择)

Enter number of sides <5>: ↙ (绘制正 5 边形)

Specify center of polygon or [Edge]: (0 点) ↙ (输入圆心)

Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>: ↙

(键入一个选择[内接于圆/外切于圆] <I>:) (选择外接圆方式)

Specify radius of circle:

(指定外接圆半径:)

3. 内切圆法。AutoCAD 要求用户指定正多边形内切圆的圆心和半径,若键入半径值,多边形的一边为水平,见图 1.23(b)。若用拖动方式输入一点,该点与圆心的距离为半径,该点就是多边形上一条边的中点,即内切圆与多边形一条边的一个切点。该点的指定,也就确定了正多边形的安置方向,见图 1.23(c)。

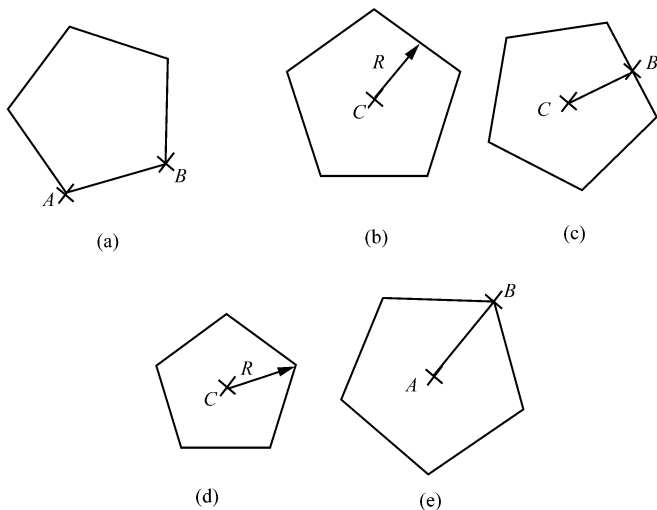


图 1.23 绘制正多边形的三种方式

(a) 定边法; (b)、(c) 内切圆法; (d)、(e) 外接圆法

命令格式:

Command: POLYGON ↙ (或在下拉菜单中选择)

Enter number of sides <5>: ↙ (绘制正 5 边形)

Specify center of polygon or [Edge]: (0 点) ↙ (输入圆心)

Enter an option [Inscribed in circle/Circumscribed about circle] <I>: C ↙

(键入一个选择[内接于圆/外切于圆] <I>:) (选择内切圆方式)


Specify radius of circle:

(指定内切圆半径:)

(三) 绘矩形命令

命令: RECTANG

下拉菜单: Draw → Rectang

工具条: Draw → 

功能: 根据输入的两个对角坐标, 生成一个矩形实体。见图 1.24。

命令格式:

Command: RECTANG (或在下拉菜单中选择)

Specify first corner point or [Chamfer/Elevation/Fillet/Thickness/Width]: 输入第一角点

(确定第一角点或[倒角/标高/圆角/厚度/宽度]:)

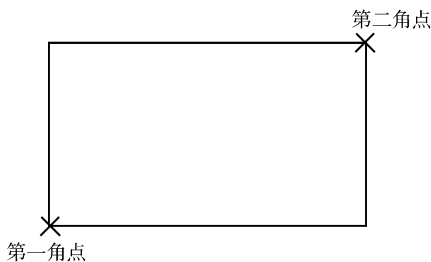


图 1.24 用 RECTANG 画矩形

宽度]:)

Specify other corner point: 输入第二角点


说明:

“倒角/标高/圆角/厚度/宽度”四个参数均是在矩形的四个角上做文章, “倒角”参数将每个角都切去一块, “标高”参数将决定该矩形沿着 Z 轴方向的高度, “圆角”参数将矩形的每个角都转为圆弧形, “厚度”参数决定矩形的厚度, “宽度”参数设置矩形的多段线宽度。

(四) 绘圆弧命令

命令: ARC

下拉菜单: Draw → Arc

工具条: Draw → 

功能: 用多种方式画圆弧。

AutoCAD 几乎提供了画图弧的每一种可能的几何方法, 可从下拉菜单(见图 1.25)选择画弧方式中的任意一种。

ARC 命令有八个选择项, 分别是:

S 表示 Start point 起始点

C 表示 Center 圆心

E 表示 End point 终点

A 表示 Angle 圆心角

R 表示 Radius 半径

D 表示 Direction 起点弧切线方向

L 表示 Length of chord 弦长

Continue 延续

执行画弧操作时, 有时需要用户输入一个点或一个数值, 此时可用键盘输入点的坐标或数值, 也可用光标在屏



图 1.25 绘制圆弧的下拉菜单

幕取点或使用光标拖动在屏幕上定数值。有时系统需要用户选择某个选择项。这就需要用户详细阅读命令区的提示,明白系统需要再作出响应。ARC 的八个选择项按一定的功能组合。可形成十种画弧方式:

1. 由三点画弧,见图 1.26(a):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→3 point

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (A 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: (B 点)↙

Specify end point of arc: (C 点)↙

2. 起始点、圆心、终点方式,见图 1.26(b):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S,C,E)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ c` Specify center point of arc: (C 点)↙

Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: (E 点)↙

圆弧半径已由起始点与圆心位置确定,终点是用来确定圆弧所含的圆心角,故终点一般在弧上。

3. 起始点、圆心、圆心角方式,见图 1.26(c):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S,C,A)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ c` Specify center point of arc: (C 点)↙

Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: `_ a` Specify included angle: (A 值)↙

圆心角 A 值 >0 ,逆时针画弧,圆心角 A 值 <0 ,顺时针画弧。

4. 起始点、圆心、弦长方式,见图 1.26(d):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S,C,L)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ c` Specify center point of arc: (C 点)↙

Specify end point of arc or [Angle/chord Length]: `_ l` Specify length of chord: (L 值)↙

弦长值用来确定弧的圆心角。系统规定,从始点开始以逆时针方向画弧。若弦长值为负,绘制大于半圆的弧,反之,则绘制小于半圆的弧。

5. 起始点、终点、圆心角方式,见图 1.26(e):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S,E,A)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ e`

Specify end point of arc: (E 点)↙

Specify center point of arc or [Angle/Direction/Radius]: `_ a` Specify included angle: (A 值)↙

若圆心角为正值,从起始点到终点逆时针画弧,否则顺时针画弧。

6. 起始点、终点、起始方向,见图 1.26(g):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S, E, D)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ e`

Specify end point of arc: (E 点)↙

Specify center point of arc or [Angle/Direction/Radius]: `_ d` Specify tangent direction for the start point of arc: (角度值)↙

起始方向就是圆弧在起点的切线方向,输入的角度值确定了该切线的方向角。

7. 起始点、终点、半径方式,见图 1.26(f):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→(S, E, R)

Command: `_ arc` Specify start point of arc or [CEnter]: (S 点)↙

Specify second point of arc or [CEnter/ENd]: `_ e`

Specify end point of arc: (E 点)↙

Specify center point of arc or [Angle/Direction/Radius]: `_ r` Specify radius of arc: (R 值)↙

系统规定,半径 $R > 0$,从起始点逆时针绘小于半圆的弧,反之,绘大于半圆的弧。

8. 圆心、起始点、终点方式:

本操作方式与方式 2 类同,见图 1.26(b)。

9. 圆心、起始点、圆心角方式:

本操作方式与方式 3 类同,见图 1.26(c)。

10. 圆心、起始点、弦长方式:

本操作方式与方式 4 类同,见图 1.26(d)。

* 用以下方法可将圆弧与上面所画的直线或圆弧光滑连接,见图 1.26(h):

Command: 选下拉菜单 Draw→Arc→Continue

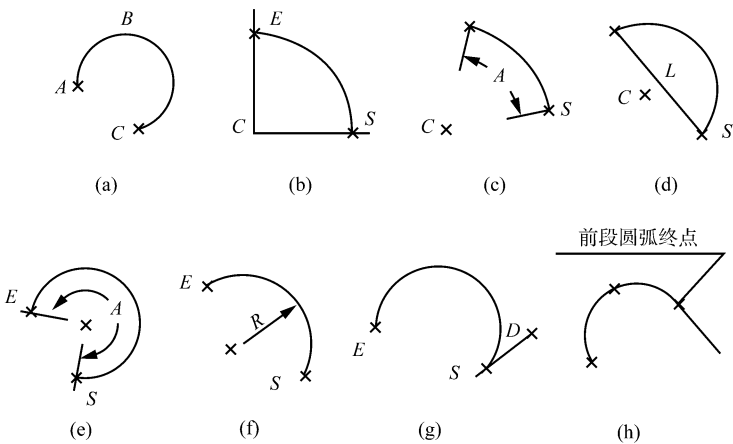


图 1.26 十种绘制圆弧的方式(Drawing→Arc)

(a) 3-point; (b) S, C, E 和 C, S, E; (c) S, C, A 和 C, S, A; (d) S, C, L 和 C, S, L;


(e) S, E, A; (f) S, E, R; (g) S, E, D; (h) CONTIN


Command: _ arc Specify start point of arc or [CEnter]: ↙ (以上次所画弧或直线的终点为起点,上次所画弧终点的切线方向或上次所画直线为新弧的起点方向)



Specify end point of arc: (E点)↙

该方式实为(S、E、D)方式,特别适用于已绘一条直线或圆弧后,直接绘制一圆弧与该线或圆弧平滑连接。

(五) 绘圆命令

 命令: CIRCLE

 下拉菜单: Draw → Circle

 工具条: Draw → 

功能: 用六种方式生成圆。

根据不同的绘制任务提供生成一个圆的不同的几何条件。AutoCAD 提供了六种生成圆的方式,用户可根据已了解的几何条件选最合适的方式绘制圆。图 1.27 为 Circle 选项的子菜单。

各选项的含义如下:

- | | |
|----------|------------------------------|
| Center | 圆心,输入一坐标点。 |
| Diameter | 直径,输入一直径值或光标拖动,光标与圆心的距离即为直径。 |
| Radius | 半径,输入一半径值,也可光标拖动。 |
| 3 point | 三点确定圆,依次输入三个点。 |
| 2 point | 直径上的两点定圆。 |
| TAN | 切点、指定一直线、圆或圆弧,所生成圆与之相切。 |



图 1.27 绘制圆的下拉菜单

Circle 的六个子菜单分别为:

1. Center, Radius 圆心,半径画圆,见图 1.28(a):

Command: 选下拉菜单 Draw → Circle → Center, Radius

Command: _ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: (C点)↙
(给出圆心点)

Specify radius of circle or [Diameter] <410.8461>: 40 ↙ (输入半径)

2. Center, Diameter 圆心,直径画圆,见图 1.28(b):

Command: 选下拉菜单 Draw → Circle → Center, Diameter

Command: _ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: (C点)↙
(给出圆心点)

Specify radius of circle or [Diameter] <489.2858>: _ d Specify diameter of circle <978.5717>: 80 ↙ (输入直径)

3. 2 point 由直径上两点画圆,见图 1.28(c):

Command: 选下拉菜单 Draw → Circle → 2 points

Command: _ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]: _ 2p Spec-

ify first end point of circle's diameter: (P1 点) ↙

Specify second end point of circle's diameter: (P2 点) ↙

4. 3 point 由三点确定一个圆, 见图 1.28(d):

Command: 选下拉菜单 Draw→Circle→3 points

Command: `_ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:` `_ 3p` Spec-

ify first point on circle: (P1 点) ↙

Specify second point on circle: (P2 点) ↙

Specify third point on circle: (P3 点) ↙

5. TTR 由切点、切点、半径方式画圆, 见图 1.28(e):

Command: 选下拉菜单 Draw→Circle→Tan, Tan, Radius

Command: `_ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:` `_ ttr`

Specify point on object for first tangent of circle: (T1 点) ↙ (选第一个与圆相切的目标)

Specify point on object for second tangent of circle: (T2 点) ↙ (选第二个与圆相切的目标)

Specify radius of circle $\langle 439.7943 \rangle$: 80 ↙ (半径值)

选 TTR 选项后, 屏幕上的十字光标变成捕捉光标, 移动捕捉光标到与所绘圆相切的目标, 单击左键即可。选取目标时的单击点的位置很重要, 它决定了所画圆与被切实体的相对位置。

6. TTT 由切点、切点、切点方式画圆, 见图 1.28(f):

Command: 选下拉菜单 Draw→Circle→Tan, Tan, Tan

Command: `_ circle Specify center point for circle or [3P/2P/Ttr (tan tan radius)]:` `_ 3p` Spec-

ify first point on circle: `_ tan to` (T1 点) ↙ (选第一个与圆相切的目标)

Specify second point on circle: `_ tan to` (T2 点) ↙ (选第二个与圆相切的目标)

Specify third point on circle: `_ tan to` (T3 点) ↙ (选第三个与圆相切的目标)

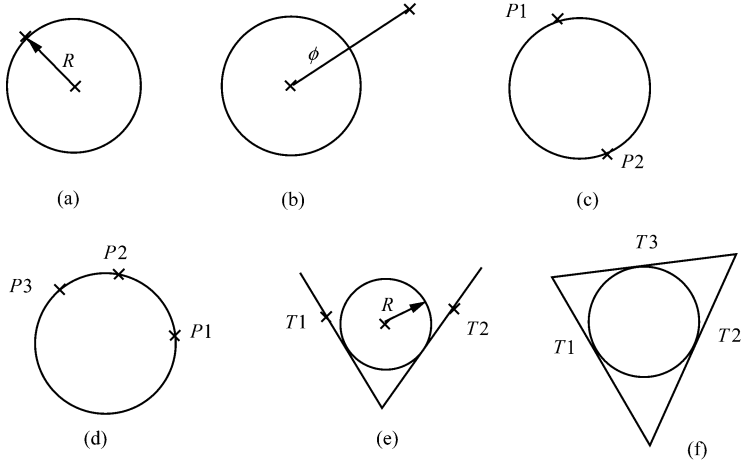


图 1.28 六种绘制圆的方式 (Draw→Circle)

(a) 圆心, 半径; (b) 圆心, 直径; (c) 2-point; (d) 3-point; (e) 切点, 切点, 半径; (f) 三切点