

21 世纪应用型本科“十二五”规划教材——汽车类  
省级精品资源共享课程规划建设教材

# 机 械 制 图

主 编 张 鄂

副主编 陈建明

主 审 郑 镁

参 编 李 曼 孟会玲  
张改莲 高丽娜

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书是根据教育部工程图学教学指导委员会 2005 年修订的“普通高等院校工程图学课程基本要求”，以科学性、先进性、系统性和实用性为目标，并在总结近年来的教学改革和研究经验的基础上编写的。本书为“21 世纪应用型本科‘十二五’规划教材——汽车类”之一，也是省级精品资源共享课程的规划建设教材。

全书内容主要包括：绪论，制图的基本知识和技能，点、直线及平面的投影，立体的投影，组合体的视图，轴测图，机件的常用表达方法，标准件和常用件，零件图，装配图，其他工程图样，计算机辅助绘图和附录。全书采用迄今为止的最新国家标准。

本书配有与之配套的《机械制图习题集》，并与本书同时出版，以供读者选用。

本书及其习题集可作为高等院校机械类、近机类各专业制图课程的教材，也可作为高职高专院校相应专业的制图课程教学用书，并可作为工程技术人员的参考书。

---

### 图书在版编目（C I P）数据

机械制图 / 张鄂主编. —成都：西南交通大学出版社，2014.8

21 世纪应用型本科“十二五”规划教材. 汽车类  
ISBN 978-7-5643-3427-7

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制图—高等学校—教材 IV. ①TH126

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2014）第 198120 号

---

### 21 世纪应用型本科“十二五”规划教材——汽车类 机械制图

主 编 张 鄂

\*

责任编辑 金雪岩

封面设计 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

四川省成都市金牛区交大路 146 号 邮政编码：610031

发行部电话：028-87600564

<http://www.xnjdcbs.com>

四川五洲彩印有限责任公司印刷

\*

成品尺寸：185 mm × 260 mm 印张：21.5

字数：537 千字

2014 年 8 月第 1 版 2014 年 8 月第 1 次印刷

**ISBN 978-7-5643-3427-7**

定价：39.80 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

# 前 言

“机械制图”是高等院校工科各专业的一门重要的专业基础课，在生产实践中充当着机械工程与产品信息的载体，在工程界起着表达、交流设计思想的语言作用。随着我国高等教育教学改革不断深化，高等院校工程图学教育在课程体系、教学内容、教学手段和方法等方面都发生了深刻的变化。本书是根据创新应用型人才培养目标，以及教育部工程图学教学指导委员会最新修订的“普通高等院校工程图学课程教学基本要求”，总结了作者多年的教学经验和改革实践编写而成的。本书为 21 世纪应用型本科“十二五”规划教材（汽车类），也是省级精品资源共享课程的规划建设教材。

本书的编写有如下特点：

（1）重视基础理论。本书以点、线、面、体的投影理论为基础，在此基础上适当补充了换面法构形设计内容，经过立体-平面-立体的思维过程，加强了投影理论、构形设计、表达方法、绘图能力、制图规范五大基础内容的教学，立足于培养学生形象思维能力、空间想象力和表达创新设计思想的能力。

（2）注重实用性。本书在编写中按照培养本科应用型人才的特点，精选教学内容，注重科学性、时代性、实用性和工程实践相结合，将能够说明投影基本原理和投影制图的丰富的实际应用案例纳入教学内容。

（3）重视手工绘图。尽管计算机绘图给人们带来极大的方便，而且随着计算机绘图的发展，尺规绘图的应用越来越少。但是作为工程师的基本技能训练需要，而且在日常的设计及科技思想交流时，用手工绘图比较方便，故本书介绍了徒手绘图方法，重视手工绘图。

（4）培养跟踪现代机械设计绘图学科前沿的意识。本书介绍了现代机械工程设计绘图主流软件，让学生了解计算机绘图的现状和发展，适度打开科学前沿窗口，激励学生对本课程的学习兴趣。同时专门编写了“计算机辅助绘图”一章，以国际著名绘图软件 AutoCAD 为基础，培养学生的计算机绘图能力。

（5）遵循国家标准，科学规范。本书所涉及的国家标准全部采用最新的国家标准。

本书除绪论、附录外，共 11 章，并且有与之配套的《机械制图习题集》。

本书由西安交通大学、西安外事学院张鄂教授任主编，西昌学院陈建明任副主编。参加编写工作的有：张鄂（绪论，第1、10章，附录）、李曼（第2、3章）、孟会玲（第4、6、9章）、陈建明（第5、7章）、高丽娜（第8章）、张改莲（第11章）。

本书承蒙西安交通大学郑镁教授、西安理工大学邓述慈教授、陕西理工学院石德生教授和西安思源学院白玲高级工程师审阅，编者在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了西南交通大学出版社相关工作人员的大力支持和帮助，在此一并深致谢意。

由于编者水平有限，对于在编写过程中可能出现的错漏之处，恳请读者批评指正。

**编 者**

2014年4月

## 目 录

0 绪 论 .....	1
0.1 本课程的研究对象 .....	1
0.2 本课程的学习任务和内容 .....	1
0.3 本课程的学习方法及注意事项 .....	2
0.4 我国工程图学的发展概况 .....	3
第 1 章 制图的基本知识和技能 .....	4
1.1 国家标准关于制图的规定 .....	4
1.2 手工绘图工具及使用方法 .....	16
1.3 计算机绘图技术 .....	26
1.4 平面图形的尺寸分析及绘图步骤 .....	31
第 2 章 点、直线和平面的投影 .....	35
2.1 投影法和物体的三视图 .....	35
2.2 点的投影 .....	39
2.3 直线的投影 .....	44
2.4 平面的投影 .....	53
2.5 换面法 .....	60
第 3 章 立体的投影 .....	69
3.1 基本体的投影及其表面上的点和线 .....	69
3.2 立体表面的交线 .....	77
第 4 章 组合体的视图 .....	92
4.1 组合体的组合方式、表面邻接关系 .....	92
4.2 组合体的分析方法 .....	94
4.3 组合体三视图的画法 .....	96
4.4 组合体的尺寸标注 .....	99
4.5 读组合体视图 .....	104
第 5 章 轴测图 .....	112
5.1 轴测图的基本知识 .....	112
5.2 正等轴测图的画法 .....	113
5.3 斜二等轴测图的画法 .....	120
5.4 轴测剖视图的画法 .....	123
第 6 章 机件的常用表达方法 .....	125

6.1 视图 .....	125
6.2 剖视图 .....	130
6.3 断面图 .....	143
6.4 规定画法和简化画法 .....	147
6.5 机件的表达方法综合举例 .....	152
第7章 标准件和常用件 .....	154
7.1 螺纹及螺纹紧固件 .....	154
7.2 螺纹紧固件及其连接的画法 .....	163
7.3 键、销连接 .....	170
7.4 齿 轮 .....	177
7.5 滚动轴承 .....	184
7.6 弹 簧 .....	187
第8章 零件图 .....	191
8.1 零件图的作用 .....	191
8.2 零件的视图选择 .....	192
8.3 零件上的常见工艺结构 .....	197
8.4 零件图的尺寸标注 .....	200
8.5 零件图的技术要求 .....	204
8.6 读零件图 .....	213
第9章 装配图 .....	218
9.1 装配图的作用和内容 .....	218
9.2 装配图的表达方法 .....	221
9.3 装配图的尺寸标注和技术要求 .....	223
9.4 装配图的零、部件编号与明细栏 .....	224
9.5 装配结构合理性 .....	226
9.6 画装配图的方法和步骤 .....	229
9.7 读装配图和拆画零件图 .....	236
第10章 其他工程图样 .....	240
10.1 表面展开图 .....	240
10.2 焊接图 .....	247
第11章 计算机辅助绘图 .....	253
11.1 AutoCAD 绘图基础 .....	253
11.2 图层设置和管理 .....	259
11.3 常用二维基本绘图命令 .....	264
11.4 绘图辅助工具 .....	273
11.5 二维图形编辑 .....	277
11.6 尺寸标注 .....	290
11.7 图块及其属性应用 .....	300
附 录 .....	305

---

附录 A 螺纹 .....	305
附录 B 常用标准件 .....	308
附录 C 常用零件工艺结构要素 .....	323
附录 D 极限与配合 .....	324
附录 E 常用材料及热处理名词解释 .....	331
参考文献 .....	336





# 第 1 章 制图的基本知识和技能

机械图样是设计和制造机械的重要技术文件，是交流技术思想的一种工程语言。因此，在设计 and 绘制机械图样时，必须严格遵守国家标准《技术制图》、《机械制图》和有关的技术标准。

为方便各工业部门进行生产、管理和交流，我国对技术图样的图纸幅面、格式、比例、字体、图线和尺寸标注等方面做了统一规定，制图国家标准是绘制和阅读技术图样的准则和依据。本章主要介绍由国家质量技术监督局最新颁布的《技术图纸》、《机械制图》国家标准中的有关规定，同时介绍绘图工具的使用、几何作图和平面图形的绘图方法等有关的制图基本知识。

国家标准简称国标，代号为“GB”，斜线后的字母为标准类型，分强制标准和推荐标准，其中“T”为推荐标准，其后的数字为标准顺序号和发布的年份，例如“图纸幅面和格式”的标准编号为 GB/T 14689—2008。

图样在国际上也有统一的标准，即 ISO 标准（International Standardization Organization 的缩写），这个标准是由国际标准化组织（ISO）制定的。我国 1978 年参加国际标准化组织后，为了加强与世界各国的技术交流，国家标准的许多内容已经与 ISO 标准相同了。

## 1.1 国家标准关于制图的规定

### 1.1.1 图纸幅面和格式、标题栏

#### 1. 图纸幅面和格式（GB/T 14689—2008）

图纸幅面是指图纸宽度与长度组成的图面。绘制技术图样时，应采用表 1-1 中规定的图纸基本幅面尺寸。基本幅面代号有 A0、A1、A2、A3、A4 五种。必要时，可以按规定（GB/T 14689—2008）加长图纸的幅面，幅面的尺寸由基本幅面的短边成整数倍增加后得出，如图 1-1 所示。图中粗实线幅面为第一选择，细实线幅面为第二选择，虚线幅面为第三选择。

表 1-1 图纸幅面及图框格式尺寸（单位：mm）

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4
$B \times L$	841 × 1 189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297
$e$	20		10		
$c$	10			5	
$a$	25				

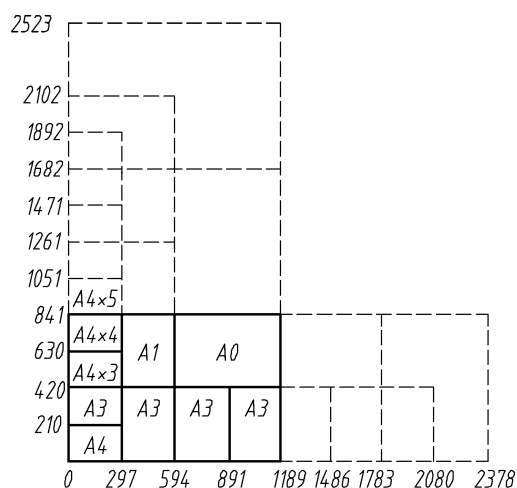


图 1-1 基本幅面及加长幅面的尺寸

## 2. 图框格式

图纸上限定绘图区域的线框称为图框。图纸可以横放，也可以竖放。图框在图纸上必须用粗实线画出，图样绘制在图框内部。其格式分为不留装订边和留装订边两种，如图 1-2 所示。同一产品的图样只能采用一种格式。

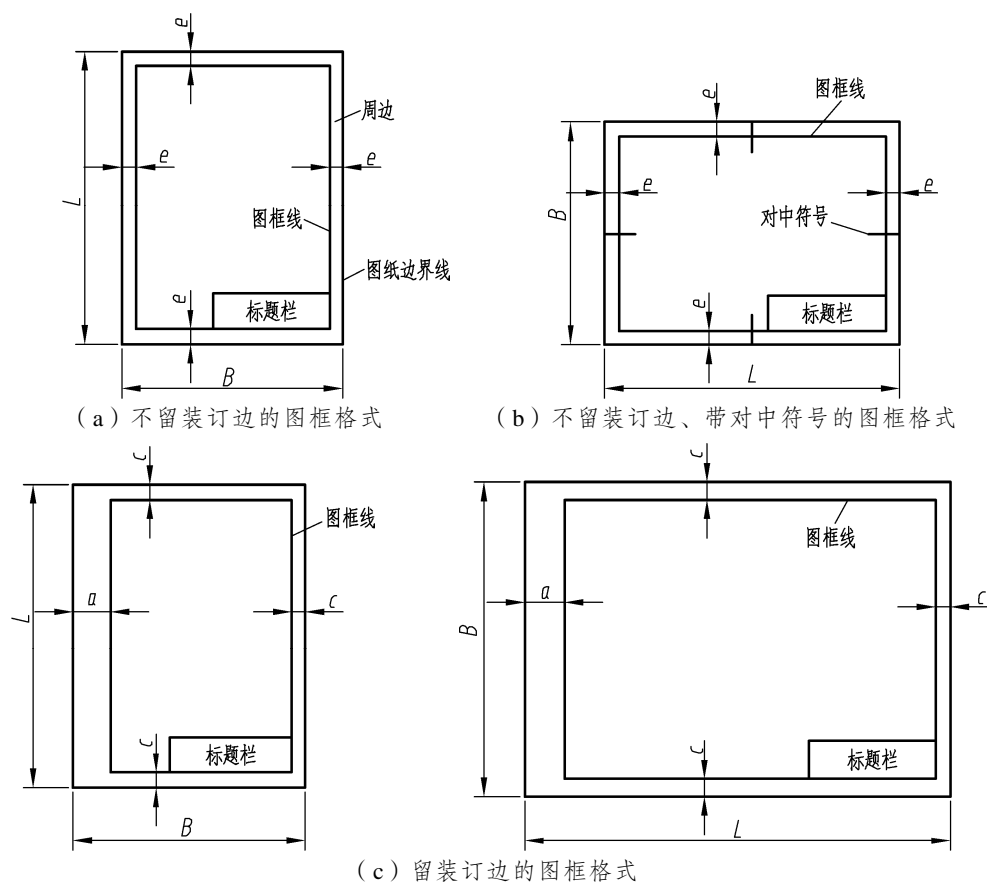


图 1-2 图框格式及标题栏方位

### 3. 标题栏 ( GB/T 10609.1—2008 )

标题栏是由名称及代号区、签字区、更改区和其他区组成的栏目。标题栏位于图纸的右下角，其格式和尺寸由 GB/T 10609.1—2008 规定，图 1-3 是该标准提供的标题栏格式。

每张图样中均应有标题栏。它的配置位置及栏中的字体 ( 签字除外 )、线型等均应符合有关国家标准规定。标题栏内容填写可参考相关标准规定和企业相关的技术文件。

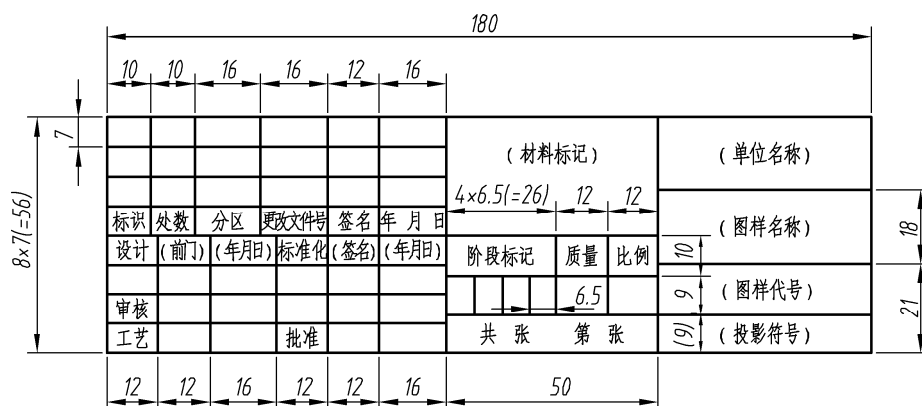


图 1-3 国家标准规定的标题栏格式

教学中可使用简化标题栏，如图 1-4 所示。学生完成图样绘制后应在制图项目后签上自己的名字及完成日期。

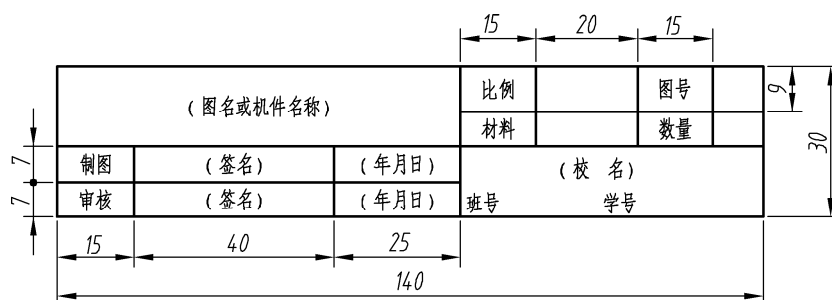


图 1-4 教学中采用的简化标题栏

### 1.1.2 比例 (GB/T 14690.1—2008)

比例是图中图形与其实物相应要素的线性尺寸之比。

绘制技术图样时，应尽可能按机件的实际大小采用 1 : 1 的比例画出。如需要放大或缩小比例绘制图样，应从表 1-2 规定的系列中选取适当的比例。表 1-2 中，比值为 1 的比例，即 1 : 1，称为原值比例；比值大于 1 的比例，如 2 : 1 等，称为放大比例；比值小于 1 的比例，如 1 : 2，称为缩小比例。

表 1-2 绘图比例系列

种类	优先选用比例	允许选用比例
原值比例	1 : 1	
放大比例	5 : 1    2 : 1 5 × 10 <sup>n</sup> : 1    2 × 10 <sup>n</sup> : 1    1 × 10 <sup>n</sup> : 1	4 : 1    2.5 : 1 4 × 10 <sup>n</sup> : 1    2.5 × 10 <sup>n</sup> : 1
缩小比例	1 : 2    1 : 5    1 : 10 1 : 2 × 10 <sup>n</sup> 1 : 5 × 10 <sup>n</sup> 1 : 1 × 10 <sup>n</sup>	1 : 1.5    1 : 2.5    1 : 3    1 : 4    1 : 6 1 : 1.5 × 10 <sup>n</sup> 1 : 2.5 × 10 <sup>n</sup> 1 : 3 × 10 <sup>n</sup> 1 : 4 × 10 <sup>n</sup> 1 : 6 × 10 <sup>n</sup>

### 1.1.3 字体 (GB/T 14691—1993)

字体包括汉字、数字和字母。国家标准 (GB/T 14691—1993) 对字体的正确书写作了规定。字体的书写要做到：字体工整、笔画清楚、排列整齐、间隔均匀。

图样中书写的字体应采用国标规定号数。字体的号数及字体高度 (用  $h$  表示) 为：1.8、2.5、3.5、5、7、10、14、20，单位为 mm。若书写更大的字，字体高度按  $\sqrt{2}$  的比率递增。

#### 1. 汉字

图样上的汉字应写成长仿宋体，并采用国家正式公布的简化字，汉字高度不小于 3.5 mm，字宽一般为  $h/\sqrt{2}$ 。长仿宋体的书写要领是：横平竖直，起落有锋，结构均匀，填满方格。图 1-5 是长仿宋体汉字示例。

10 号字：

字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐

7 号字：

横平竖直 排列匀称 注意起落 填满方格

5 号字：

机械制图 技术制图 电子 冶金 化工 建筑 学院 班级

图 1-5 长仿宋体汉字书写示例

#### 2. 字母和数字

字母和数字分 A 型和 B 型。A 型字体的笔画宽度 ( $d$ ) 为字高 ( $h$ ) 的 1/14；B 型字体的笔画宽度为字高的 1/10。同一图样只允许一种字体。

字母和数字可写成斜体或直体。斜体字字头向右倾斜，与水平基准线成 75°角，如图 1-6 所示。



图 1-6 字母和数字书写示例


### 1. 1. 4 图线 (GB/T 17450—1998 和 GB/T 4457. 4—2002)

机械图样是用不同形式的图线画成的，为了统一、便于看图和绘图，绘制图样时应采用 GB/T 17450—1998 标准中规定的图线。


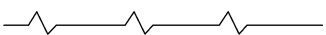

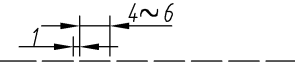

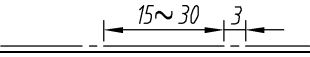

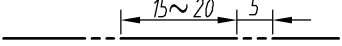
#### 1. 图线线型及应用

国标 GB/T 17450—1998《技术制图 图线》规定了绘制各种技术图样的基本线型。在实际应用时，各专业（如机械、电气、土木工程等）要根据该标准制定相应的图线标准。国标 GB/T 4457.4—2002《机械制图 图样画法 图线》中规定的 9 种图线（见表 1-3）符合 GB/T 17450—1998 的规定，是机械制图使用的图线标准。各种图线的名称、型式、图线宽度及其应用见表 1-3。图 1-7 为线型应用举例。

表 1-3 机械制图使用的图线

代码 No.	线 型	一般应用
01.1	细实线 	过渡线；尺寸线；尺寸界线；指引线和基准线；剖面线；重合断面的轮廓线；短中心线；螺纹的牙底线；尺寸线的起止线；表示平面的对角线；零件形成前的弯折线；范围线及分界线；重复要素表示线，例如齿轮的齿根线；锥形结构的基面位置线；叠片结构位置线，例如变压器叠钢片；辅助线；不连续的同一表面的连线；成规律分布的相同要素的连线；投射线；网格线

续表 1-3

代码 No.	线 型	一般应用
01.1	波浪线 	断裂处的边界线；视图和剖视图的分界线
	双折线 	断裂处的边界线；视图和剖视图的分界线
01.2	粗实线 	可见棱边线；可见轮廓线；相贯线；螺纹的牙顶线；螺纹长度终止线；齿顶圆（线）；表格图、流程图中的主要表示线；系统结构线（金属结构工程）；模样分型线；剖切符号用线
02.1	细虚线 	不可见棱边线
02.2	粗虚线 	允许表面处理的表示线
04.1	细点画线 	轴线；对称中心线；分度圆（线）；孔系分布的中心线；剖切线
04.2	粗点画线 	限定范围表示线
05.1	细双点画线 	相邻辅助零件的轮廓线；可动零件的极限位置的轮廓线；重心线；成形前轮廓线；剖切面前的结构轮廓线；轨迹线；特定区域线；延伸公差带表示线；工艺用结构的轮廓线；中断线

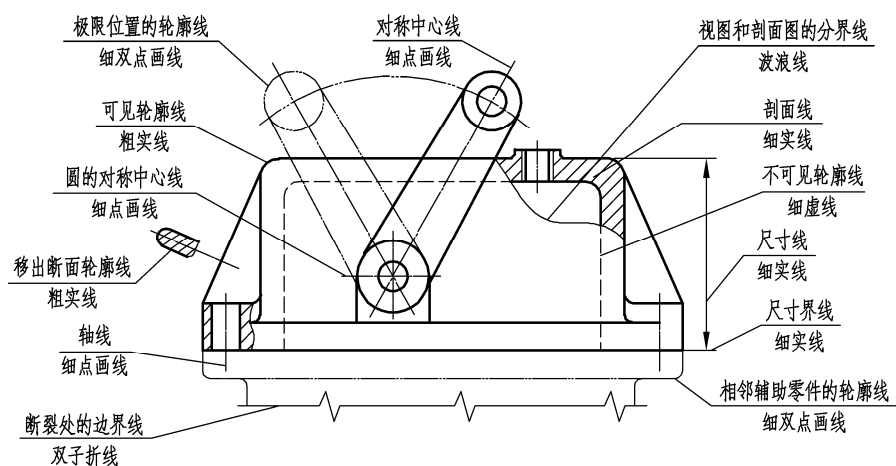


图 1-7 线型应用举例

## 2. 图线的宽度

根据国家标准 GB/T4457.4—2002《机械制图 图样画法 图线》规定，机械图样中只采用粗、细两种线宽，其比例为 2 : 1。图线宽度和图线组别如表 1-4 所示。

表 1-4 图线宽度和组别 (单位: mm)

图线组别	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
粗线宽度	0.25	0.35	0.5	0.7	1	1.4	2
	对应的线型代码: 01.2						
细线宽度	0.13	0.18	0.25	0.35	0.5	0.7	1
	对应的线型代码: 01.1; 02.1; 04.1; 05.1						

绘图时，优先采用图线的组别为 0.5 mm 和 0.7 mm。

图样中各类线素（如点、间隔、画等）的长度应符合国家标准规定，如表 1-5 所示。

表 1-5 线素长度

线素	长度	线素	长度
点	$\leq 0.5d$	画	$12d$
短间隔	$3d$	长画	$12d$

注:  $d$  为图线的宽度。

## 3. 画图时的注意事项

(1) 同一图样中，同类图线的宽度应该保持一致。

(2) 虚线、点画线、双点画线等线素的线段长度间隔应大致相等，并符合国家标准规定（见表 1-5）。

(3) 对称中心线或轴线，应超出轮廓线外 2 ~ 5 mm；图线相交应为画与画相交，不应该为点或间隔。在较小的圆上（直径小于 12 mm）绘制细点画线或双画划线时，可用细实线代替；

(4) 细点画线及细双点画线的首末两端应是长画，而不应是点。

(5) 当虚线是粗实线的延长线时，在连接处应留出空隙。虚线圆弧与实线相切时，虚线与圆弧间应留出空隙。

图线的画法举例如图 1-8 所示。

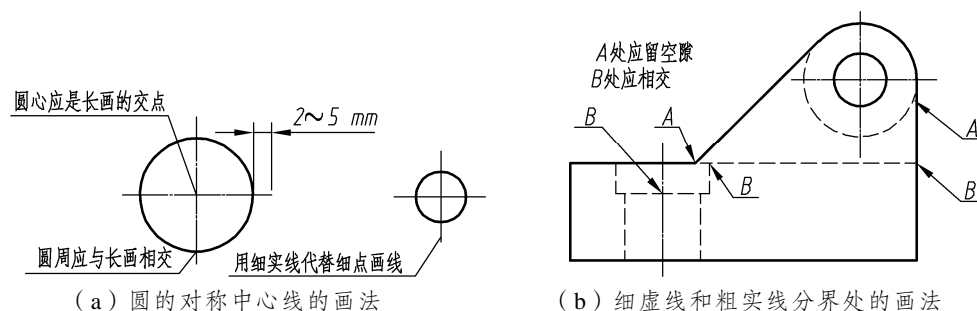


图 1-8 图线画法举例

### 1.1.5 尺寸注法 (GB/T 4458.4—2003、GB/T 16675.2—1996)

在机械图样中,图形仅表达了机件的结构形状,而大小则必须由尺寸来确定。在图样上标注尺寸时,应严格遵守国家标准有关尺寸标注的规定,做到正确、完整、清晰、合理。

#### 1. 尺寸标注的基本规则

- (1) 图样中所标注的尺寸为机件的真实尺寸,与绘图比例和绘图的准确度无关。
- (2) 图样中的尺寸以毫米为单位;如采用其他单位时,必须注明相应的单位名称。
- (3) 图样中的尺寸为该图样所示机件的最后完工尺寸,否则应加以说明。
- (4) 机件的每一尺寸只标注一次,并应标注在最能清晰地反映结构特征的视图上。

#### 2. 尺寸的组成

机械图样上一个完整的尺寸标注由尺寸界线、尺寸线、尺寸数字和表示尺寸终端的箭头或斜线组成,如图 1-9 所示。

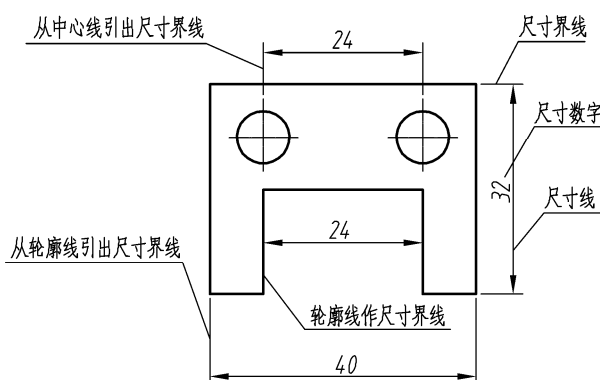


图 1-9 尺寸的组成

(1) 尺寸界线。尺寸界线用细实线绘制,用以表示所注的尺寸范围。尺寸界线一般由图形的轮廓线、轴线或对称中心线处引出,也可利用这些线代替,并超出尺寸线 3 mm 左右。尺寸界线一般应与尺寸线垂直,必要时允许倾斜。在光滑过渡处标注尺寸时,应用细实线将轮廓线延长,从交点处引出尺寸界线,如图 1-10 所示。

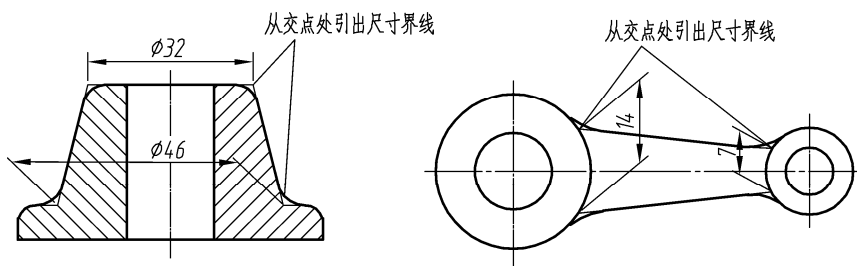


图 1-10 光滑过渡处尺寸界线的画法

(2) 尺寸线。尺寸线用细实线绘制在尺寸界线之间,表示尺寸度量的方向。

尺寸线必须单独绘制,不能用其他图线代替,也不得与其他图线重合或画在其他图线的延长线上。标注线性尺寸时,尺寸线必须与所标注的线段平行,如图 1-9 所示。



(3) 尺寸线终端。尺寸线的终端有两种形式：箭头和斜线，如图 1-11 所示。机械图样的尺寸线终端一般用箭头，空间狭小时也可用  $45^\circ$  斜线，同一图样应采用一种尺寸线终端形式。斜线用细实线绘制，其高度应与尺寸数字的高度相等。

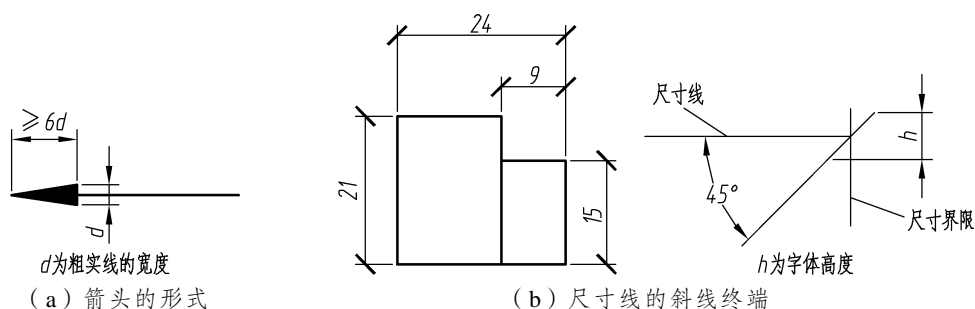


图 1-11 尺寸线终端

(4) 尺寸数字。尺寸数字表示所注机件尺寸的实际大小。

尺寸数字一般注写在尺寸线的上方，也可注写在尺寸线的中断处。尺寸数字的书写方法有两种：

① 如图 1-12 所示，水平方向的尺寸数字字头朝上；垂直方向的尺寸数字，字头朝左；倾斜方向的尺寸数字其字头保持朝上的趋势。但在  $30^\circ$  范围内应尽量避免标注尺寸，当无法避免时，可参考图 1-12 (b) 的形式标注。在注写尺寸数字时，数字不可被任何图线通过，当不可避免时，必须把图线断开，如图 1-12 (c) 所示。

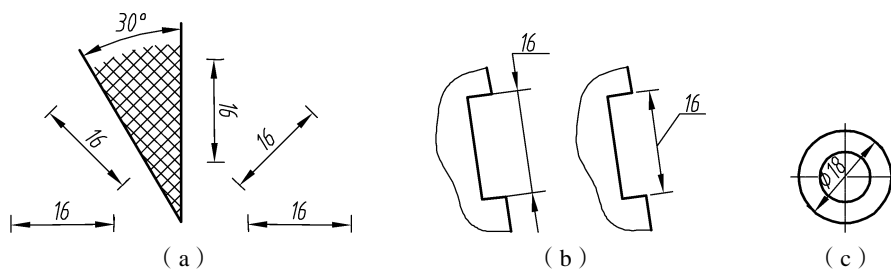


图 1-12 尺寸数字的方向

② 如图 1-13 所示，对于非水平方向的尺寸，其数字可水平地注写在尺寸线的中断处。尺寸数字的注写一般采用第一种方法，且注意在同一张图样中，尽可能采用同一种方法。

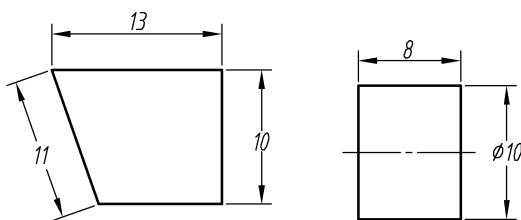


图 1-13 线性尺寸数字的注写方法

### 3. 常用的尺寸标注方法

标注尺寸时，应尽可能使用符号和缩写词。尺寸符号及缩写词见表 1-6。

表 1-6 尺寸符号及缩写词 (GB/T 4458.4—2003)

含 义	符号或缩写词	含 义	符号或缩写词
直径	$\phi$	正方形	$\square$
半径	$R$	深度	$\downarrow$
球直径	$S\phi$	沉孔或铤平	$\sqcup$
球半径	$SR$	埋头孔	$\sphericalangle$
厚度	$t$	弧长	$\frown$
均布	$EQS$	斜度	$\angle$
45°倒角	$C$	锥度	$\nabla$

## (1) 线性尺寸的标注

标注线性尺寸时, 尺寸线必须与所标注的线段平行。非水平方向的尺寸常用图 1-14 (a) 所示的标注方法, 也可以水平地注写在尺寸线的中断处, 如图 1-14 (b) 所示。必要时尺寸界线与尺寸线允许倾斜, 如图 1-14 (c) 所示。

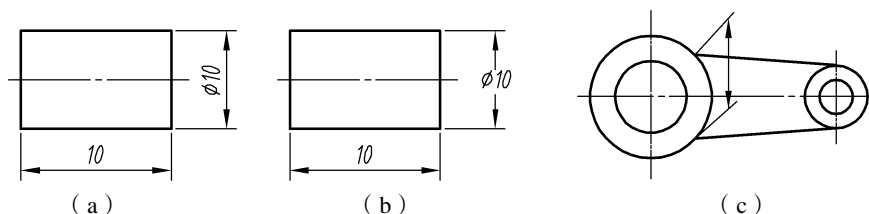


图 1-14 线性尺寸的注法

## (2) 直径和半径尺寸的标注

标注圆的直径和圆弧半径时, 应在尺寸数字前加注符号“ $\phi$ ”或“ $R$ ”; 圆的直径和圆弧半径的尺寸线的终端应画成箭头; 当圆的直径一端无法画出箭头时, 尺寸线应超过圆心一段; 圆弧半径的尺寸线一般过圆心, 如图 1-15 (a) 所示。

当圆弧半径过大或在图纸范围内无法标出其圆心位置时, 可按图 1-15 (b) 标注。

标注球面的直径或半径时, 应在符号“ $\phi$ ”或“ $R$ ”前再加注符号“ $S$ ”, 如图 1-15 (c) 所示。对于螺钉冒顶的头部、轴和手柄的端部等, 在不致引起误解的情况下, 可省略符号“ $S$ ”。

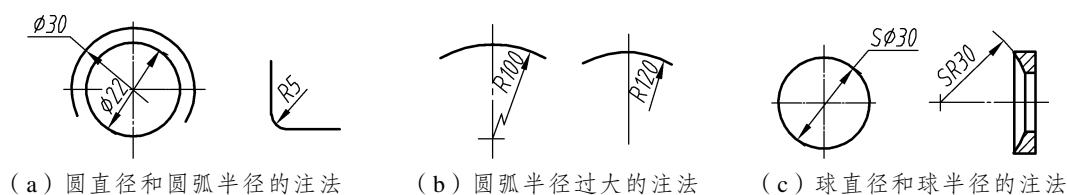


图 1-15 直径和半径尺寸的标注

## (3) 角度和弧长的注法

角度的尺寸线为圆弧, 角度的数字一律水平书写; 一般注写在尺寸线的中断处, 如图 1-16 (a) 所示, 必要时也可按图 1-16 (b) 形式注写; 弦长的尺寸界线平行于对应弧长的垂直平分线, 如图 1-16 (c) 所示。

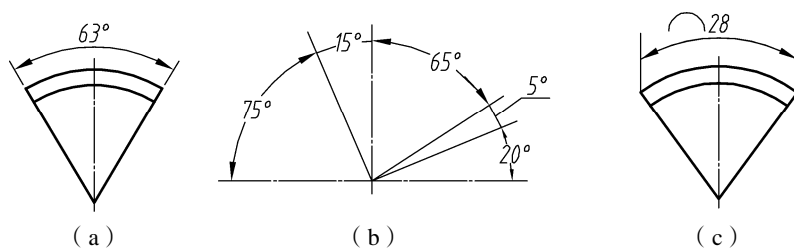


图 1-16 角度和弧长的注法

## (4) 对称图形的注法

当对称机件的图形只画出一半或略大于一半时, 尺寸线应略超过对称中心线或断裂处的边界线, 此时仅在尺寸线的一端画处箭头, 如图 1-17 所示。

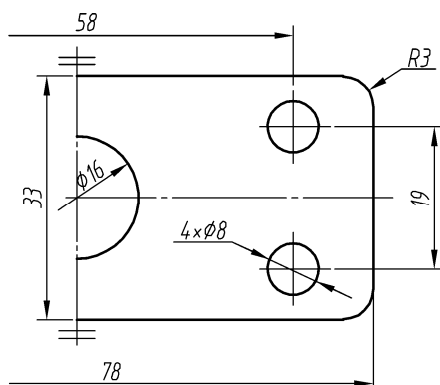


图 1-17 对称图形的注法

## (5) 小尺寸的注法

在较小图形中, 若没有足够的位置画尺寸箭头或注写尺寸数字时, 箭头可外移, 也可用圆点或斜线代替, 尺寸数字可写在尺寸界线外或引出标注, 如图 1-18 所示。

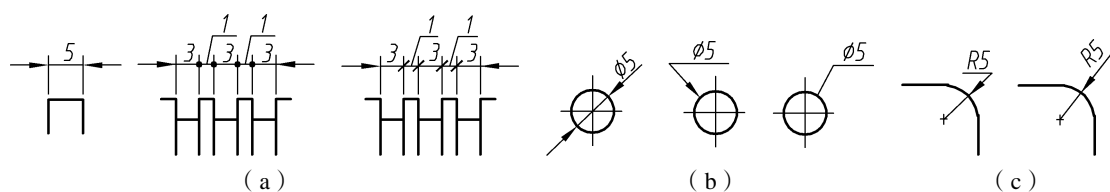
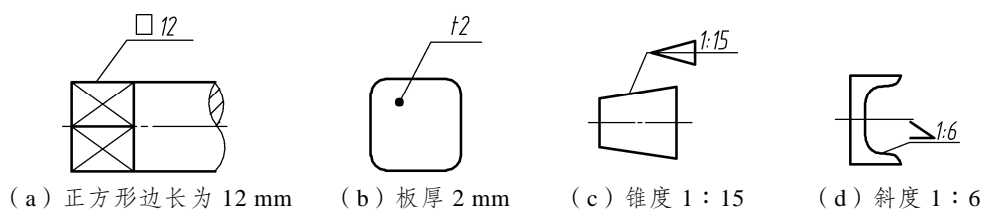


图 1-18 小尺寸的注法

## (6) 尺寸数字前的符号注法

在机械图样中加注一些符号, 可以简化表达一些常见的结构, 如图 1-19 所示。

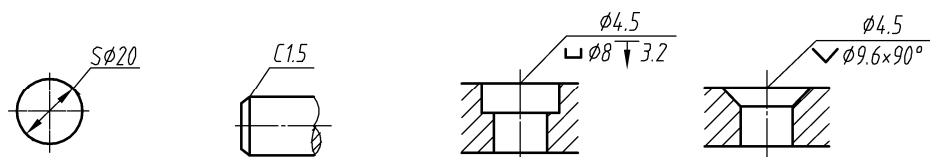


(a) 正方形边长为 12 mm

(b) 板厚 2 mm

(c) 锥度 1 : 15

(d) 斜度 1 : 6



(e) 圆球直径 20 mm (f) 倒角  $1.5 \times 45^\circ$  (g) 深孔  $\phi 8$  mm, 深 3.2 mm (h) 埋头孔  $\phi 9.6 \times 90^\circ$

图 1-19 尺寸数字前的符号

### (7) 图线通过尺寸线时的处理

尺寸数字不可被任何图线通过，当尺寸数字无法避开时，图线应断开，如图 1-20 所示。

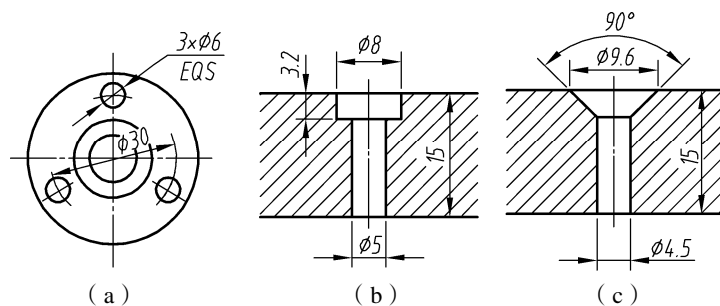


图 1-20 尺寸数字不被任何图线通过的注法

### (8) 简化标注 (GB/T 16675.2—1996)

① 标注尺寸时，可采用带箭头或不带箭头的指引线，如图 1-21 所示。

② 从同一基准出发的线性尺寸和角度尺寸，可按简化形式标注，如图 1-22 所示。

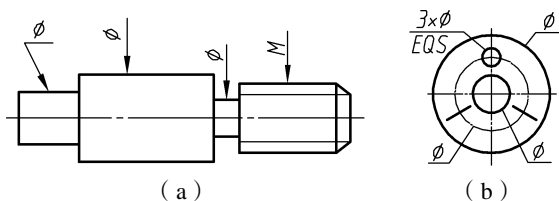


图 1-21 带箭头或不带箭头的指引线的注法

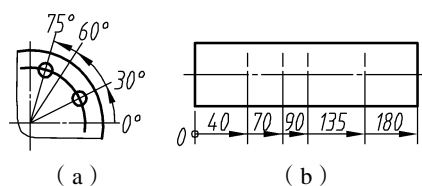


图 1-22 同一基准尺寸的简化注法

③ 一组同心圆弧或圆心位于同一条直线上的多个不同心圆弧的尺寸，可用共用的尺寸线和箭头依次表示，如图 1-23 (a)、图 1-23 (b) 所示。一组同心圆或尺寸较多的阶梯孔的尺寸，也可用共同的尺寸线和箭头依次表示，如图 1-23 (c)、图 1-23 (d) 所示。

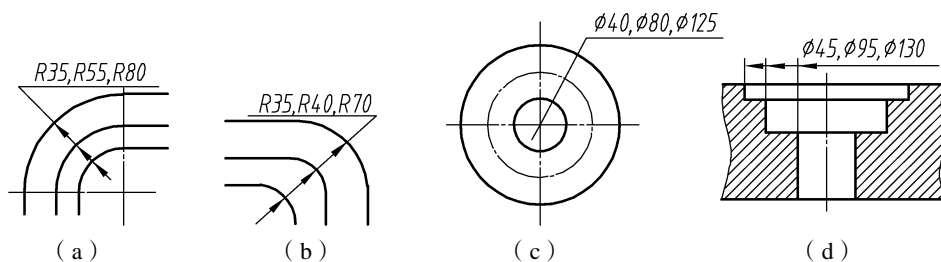


图 1-23 共用尺寸线和箭头的简化注法

#### 4. 标注举例

标注尺寸要认真细致，严格遵守国家标准，做到正确、完整、清晰。图 1-24 说明了初学标注尺寸时常犯的错误，应避免。

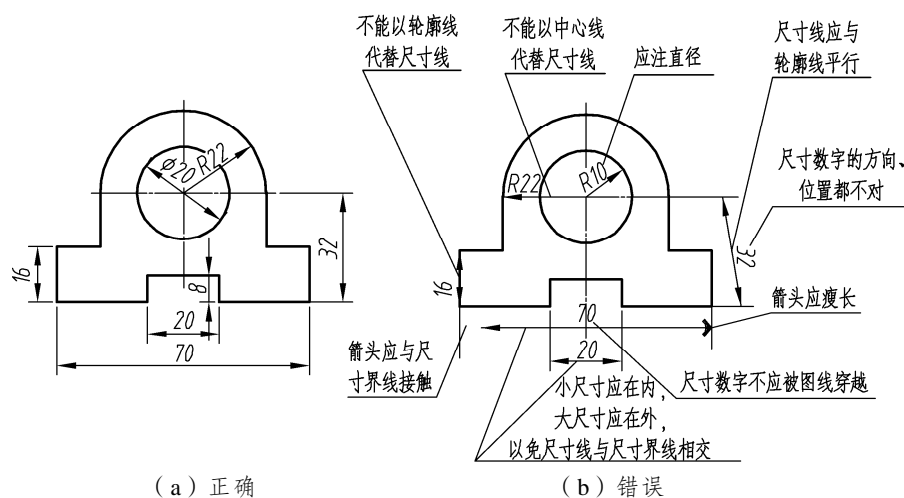


图 1-24 尺寸标注举例

## 1.2 手工绘图工具及使用方法

要保证绘图质量，提高绘图效率，必须正确使用各种绘图工具和仪器。下面介绍常用绘图工具及其用法。

常用的手工绘图工具及仪器有图板、丁字尺、三角板、圆规、分规、曲线板、比例尺、铅笔等。

### 1.2.1 绘图工具

#### 1. 图板

图板用来摆放图纸，图纸一般用透明胶带纸固定在图板上，如图 1-25 所示。图板板面必须平整，无裂纹，工作边（左侧边）为导边，应平直，使用时应注意保护。

#### 2. 丁字尺

丁字尺由尺头和尺身两部分组成，尺头工作边称为导边。丁字尺与图板配合使用，用于画水平线。使用时，用左手扶尺头，使其导边与图板导边靠紧，上下移动丁字尺至画线位置，

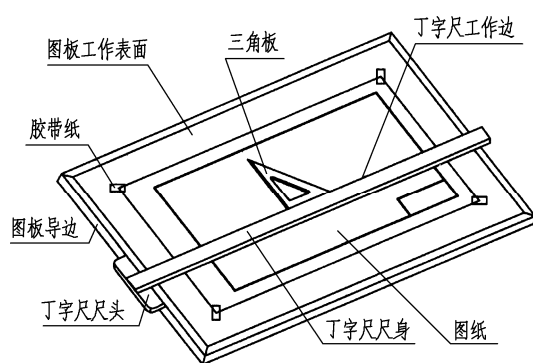


图 1-25 图板、丁字尺、三角板及其图纸固定方法

按住尺身，沿尺身工作边从左向右画出水平线。用铅笔沿尺边画线时，笔杆应稍向外倾斜，笔尖应贴靠尺边，如图 1-26 所示。

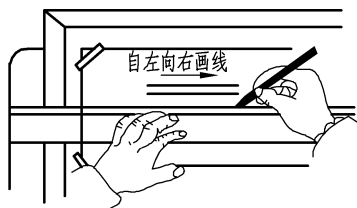


图 1-26 用丁字尺画水平线

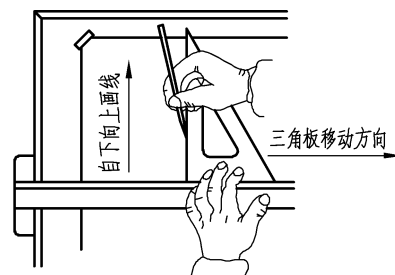


图 1-27 用丁字尺和三角板画垂直线

### 3. 三角板

三角板由  $45^\circ$  和  $60^\circ$  ( $30^\circ$ ) 的直角三角形板组成。利用三角板的直角边与丁字尺配合，可画出水平线的垂直线，如图 1-27 所示。三角板与丁字尺配合还可以画出与水平线成  $15^\circ$  整倍数的角度或倾斜线，如图 1-28 所示。

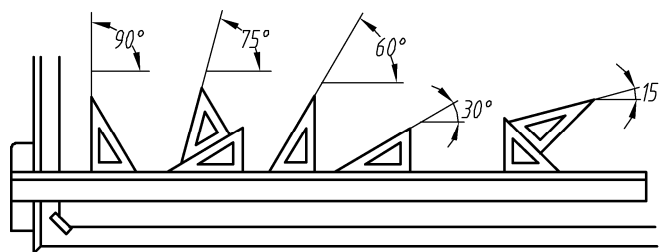


图 1-28 画与水平线成  $15^\circ$  整倍数角度的线段

此外，利用一副三角板还可以画出任意已知直线的平行线或垂直线，如图 1-29 所示。

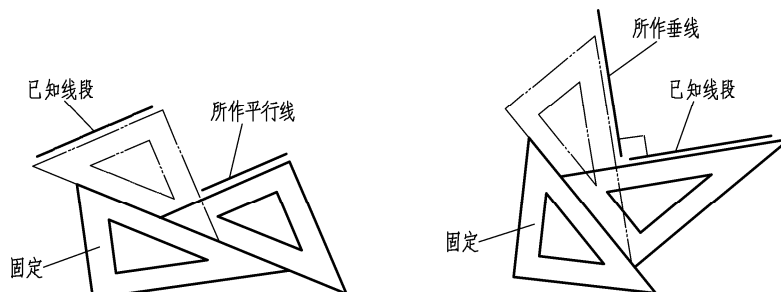


图 1-29 画任意已知直线的平行线或垂直线

### 4. 曲线板

曲线板是用来绘制非圆曲线的工具，其轮廓线由多段不同曲率半径的曲线组成（见图 1-30）。作图时，先徒手用铅笔轻轻地把曲线上一系列的点顺次地连接成一条光滑曲线，然后选择曲线板上曲率合适的部分与徒手连接的曲线贴合，并将曲线加深。每次连接应至少通过曲线上三个点，并注意每画一段线，都要比曲线板边与曲线贴合的部分稍短一些，这样才能使所画的曲线光滑地过渡。



图 1-30 曲线板

### 5. 圆规与分规

圆规可以画圆或圆弧。画圆时，应用力均匀，匀速前进，并使圆规稍向前进的方向倾斜，如图 1-31 (a) 所示。画大圆时，大圆规的针脚和铅笔芯均应保持与纸面垂直，如图 1-31 (b) 所示。画大直径圆时，需接加长杆，如图 1-31 (c) 所示。画小圆时，圆规两脚应向内弯取或用弹簧圆规，如图 1-31 (d) 所示。

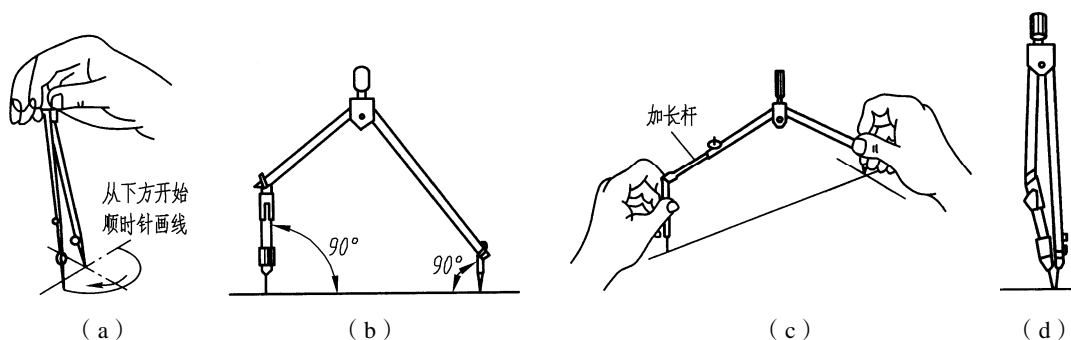


图 1-31 圆规的使用

分规是用来量取线段和等分线段的工具，常用的有大分规和弹簧分规两种。使用分规时，应使两针尖伸出一样齐，这样作图才能准确。具体使用方法如图 1-32 所示。

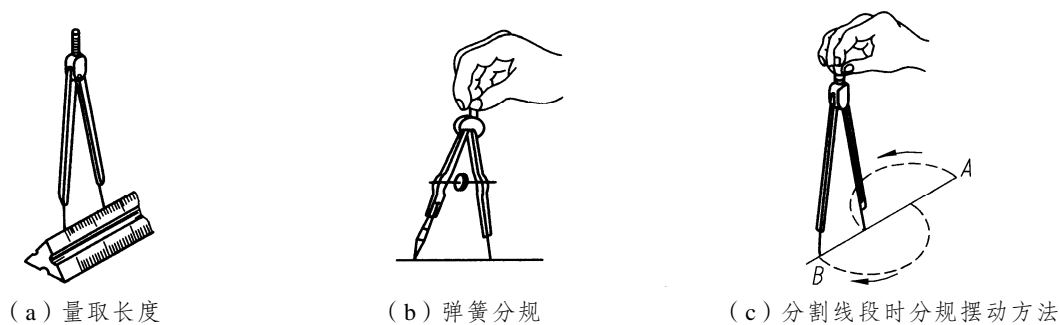


图 1-32 分规的用法

### 6. 铅笔

铅笔是重要的绘图工具。根据铅芯的软硬程度，铅笔分为：B、2B、HB、H、2H 等型号。绘图时，建议：B 或 2B 用于画粗实线；HB 用于写字、加深尺寸等；H 或 2H 用于打底稿。削铅笔时，加深粗实线用的铅芯磨成矩形，其余的磨成圆锥形，如图 1-33 所示。

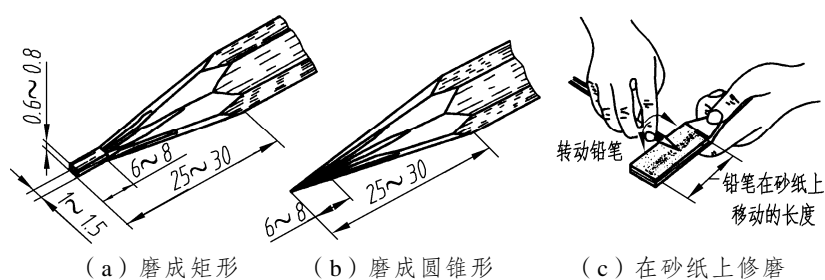


图 1-33 铅笔的削法

## 1.2.2 几何作图

在绘制机械图样时，常会遇到等分线段、等分圆周、作正多边形、作斜度和锥度、圆弧连接以及绘制非圆曲线等几何作图问题，熟练掌握这些基本几何作图方法，能够提高绘图速度和保证作图的准确性。

### 1. 等分直线段

如图 1-34 所示，以五等分线段  $AB$  为例，求其等分点方法如下：

(1) 过点  $A$  任意作一直线  $AC$ ，用分规以任意长度为单位长度，在  $AC$  上量得 1、2、3、4、5 各个等分点；

(2) 连接 5、 $B$  两点，过 1、2、3、4 点分别作  $5B$  的平行线，与  $AB$  交于  $1'$ 、 $2'$ 、 $3'$ 、 $4'$ ，即得各等分点。

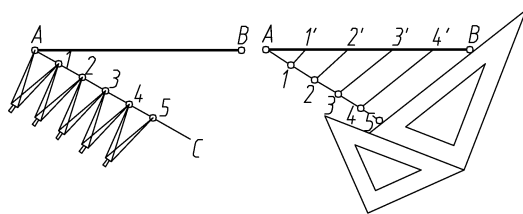


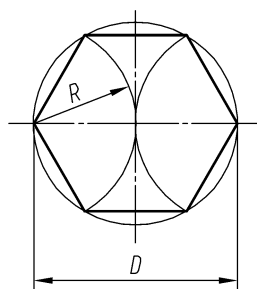
图 1-34 等分线段

### 2. 等分圆周、作正多边形

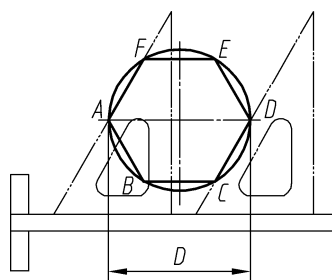
正多边形一般采用等分其外接圆，连接等分点的方法作图。

#### (1) 六等分圆周，作正六边形

方法一：利用外接圆直径  $D$ ，用圆的半径六等分圆周，然后将等分点依次连线，画正六边形，如图 1-35 (a) 所示。



(a) 用圆规画正六边形



(b) 用丁字尺和三角板画正六边形

图 1-35 六等分圆周和作正六边形



方法二：如图 1-35 (b) 所示，用  $30^\circ \sim 60^\circ$  三角板与丁字尺（或  $45^\circ$  三角板的一边）相配合，可得圆内接正六边形。

### (2) 五等分圆周，作正五边形

如图 1-36 所示，作图方法如下：

- ① 以半径  $OM$  的中点  $O_1$  为圆心， $O_1A$  为半径画弧，交  $ON$  于点  $O_2$ ；
- ② 以  $O_2A$  为弦长，自点  $A$  起依次在圆周上截取，得等分点  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ ；
- ③ 连接各点即得正五边形。

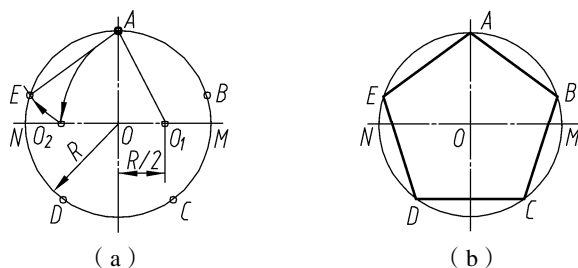


图 1-36 五等分圆周和作正五边形

### (3) 任意等分圆周及作内接圆正多边形

如图 1-37 所示，作图方法（以画正七边形为例）如下：

- ① 将直径  $AK$  分成与所求正多边形边数相同的等分（图中正多边形边数  $n=7$ ）；
- ② 以  $K$  为圆心， $AK$  为半径画弧，与直径  $PQ$  的延长线相交于  $M$ 、 $N$  两点；
- ③ 自点  $M$  和  $N$  引系列直线与  $AK$  上奇数点（或偶数点）相连，延长交圆周于  $B$ 、 $C$ 、 $D$ 、 $E$ ……，即为圆周的等分点；
- ④ 依次连接各点，即得圆内接正多边形。

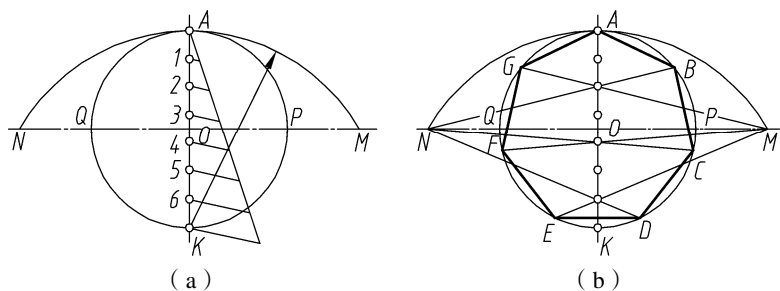


图 1-37 七等分圆周和做正七边形

## 3. 斜度和锥度

### (1) 斜度

斜度是指一直线（或平面）相对另一直线（或平面）的倾斜程度，其大小用两直线（或两平面）间夹角的正切值  $\tan\alpha$  来表示。在图中标注时，一般将此值转化为  $1:n$  的形式，即：斜度  $= \tan\alpha = H/L = 1:n$ ，如图 1-38 (a)、(b) 所示。斜度符号的画法如图 1-38 (c) 所示，图中  $h$  为尺寸数字的高度，符号的线宽为  $h/10$ 。

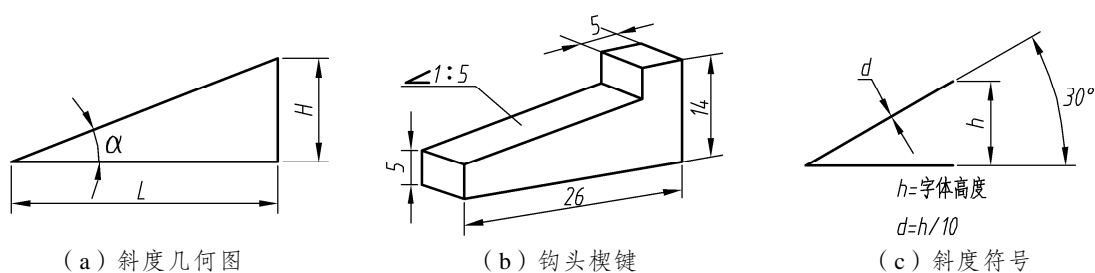


图 1-38 斜度及斜度符号

标注斜度时，斜度符号“ $\angle$ ”的方向应与倾斜方向一致，如图 1-39 (a) 所示。

图 1-39 (b) 所示为斜度 1:6 的作图方法如下：

- ① 在对称线上取  $AM = 1$  个单位长；
- ② 在  $AB$  线上取  $AN = 6$  个单位长；
- ③ 连接  $MN$ ，其斜度即为 1:6；
- ④ 过点  $K$  作  $CD \parallel MN$ ， $CD$  即为所求。

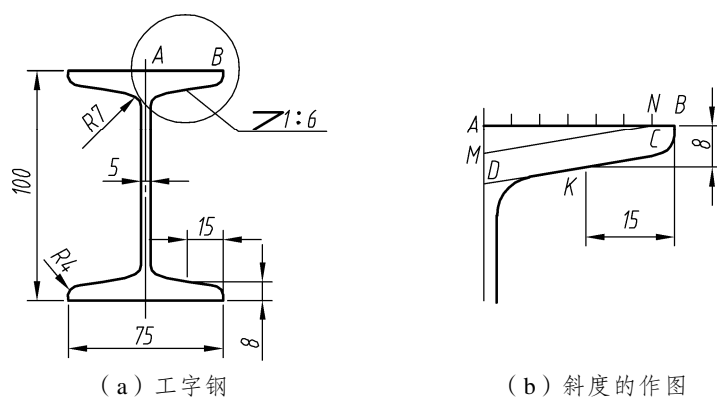


图 1-39 斜度的标注与作图方法

## (2) 锥度

锥度是指正圆锥体的底面直径与高度之比。如是锥台，则为上下两底面圆直径差与锥台高度之比，即：锥度  $= 2 \tan(\alpha/2) = D/L = (D-d)/l$ 。锥度及锥度符号的画法如图 1-40 所示，图中  $h$  为尺寸数字的高度，符号的线宽为  $h/10$ 。

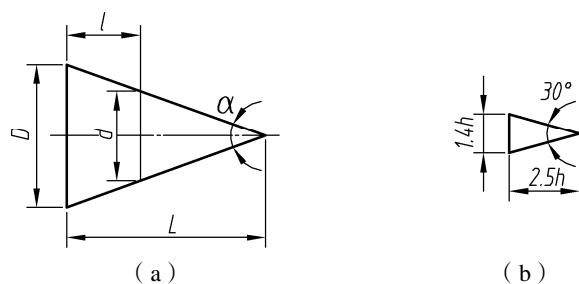


图 1-40 锥度及锥度符号

锥度在图样中也是以 1:n 的形式标注。标注时，要在前面加注符号“ $\triangleright$ ”，并且符号所示的方向应与锥度方向一致，必要时可在比值后面加注角度，如图 1-41 (a) 所示。

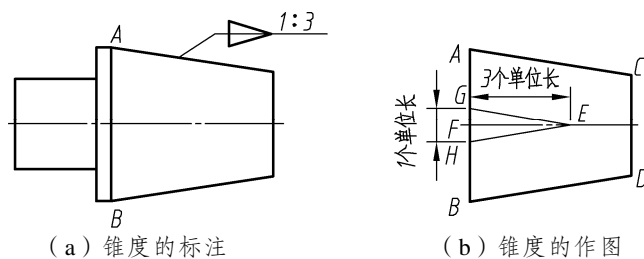


图 1-41 锥度的标注与作图方法

现以图 1-41 (b) 为例, 说明锥度 1 : 3 的作图步骤如下:

- ① 以直线  $AB$  的中点  $F$  为对称点, 取  $GH = 1$  个单位长;
- ② 在轴线上取  $EF = 3$  个单位长;
- ③ 连接  $GE$ 、 $HE$ , 两直线的锥度即为 1 : 3;
- ④ 过  $A$ 、 $B$  作  $AC \parallel GE$ 、 $BD \parallel HE$ ,  $AC$ 、 $BD$  即为所求。

#### 4. 圆弧连接

在绘制机件的图形时, 经常会遇到圆弧连接。圆弧连接实际上就是用已知半径的圆弧去光滑地连接两已知线段 (直线或圆弧)。其中起连接作用的圆弧称为连接圆弧。这种光滑连接在几何中即为相切, 切点就是连接点。作图时, 画连接圆弧的关键是找到连接圆弧的圆心和切点。下面介绍绘制圆弧连接的三种常用作图方法。

##### (1) 用连接圆弧连接两已知直线

如图 1-42 所示, 作图方法如下:

- ① 求连接圆弧的圆心。分别作与已知两直线相距为  $R$  的平行线, 交点  $O$  即为连接圆弧的圆心。
  - ② 求连接圆弧的切点。从点  $O$  分别向已知直线作垂线, 垂足  $M$ 、 $N$  即为切点。
  - ③ 作连接圆弧。以  $O$  为圆心,  $R$  为半径, 在两切点  $M$ 、 $N$  之间画连接圆弧, 即为所求。
- 图 1-42 所示为连接图例。

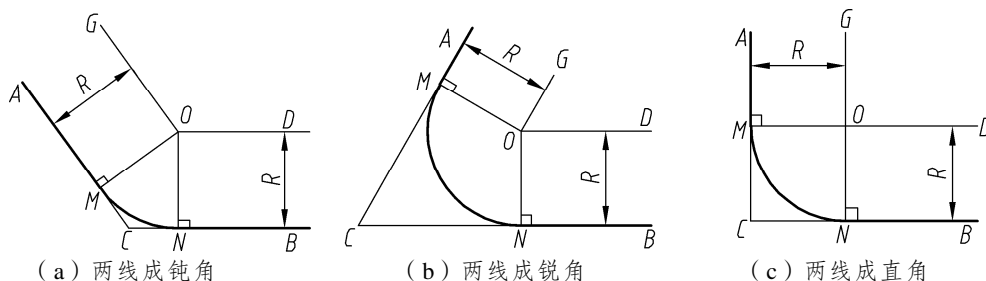


图 1-42 圆弧连接两直线

##### (2) 用连接圆弧连接已知直线和圆弧

如图 1-43 所示, 作图方法如下:

- ① 求连接圆弧的圆心。作与已知直线相距为  $R$  的平行线。由于圆弧与圆弧相切有外切、内切之分, 当连接圆弧与已知圆弧外切时, 如图 1-43 (a) 所示, 则以已知圆弧的圆心  $O_1$  为圆心、以已知圆弧半径与连接圆弧半径之和 ( $R_1 + R$ ) 为半径画弧; 当连接圆弧与已知圆弧内切时, 如图 1-43 (c) 所示, 则以已知圆弧的圆心  $O_1$  为圆心、以已知圆弧半径与连接圆弧半径之差 ( $R_1 - R$ ) 为半径画弧。交点  $O$  即为连接圆弧的圆心。

② 求连接圆弧的切点。从点  $O$  向已知直线作垂线，垂足  $A$  即为切点。连接已知圆弧圆心  $O_1$  和点  $O$ ，与已知圆弧交于点  $B$ ，即为另一切点。

③ 作连接圆弧。以  $O$  为圆心， $R$  为半径，画出连接圆弧。

图 1-43 (b)、(d) 所示为连接的图例。

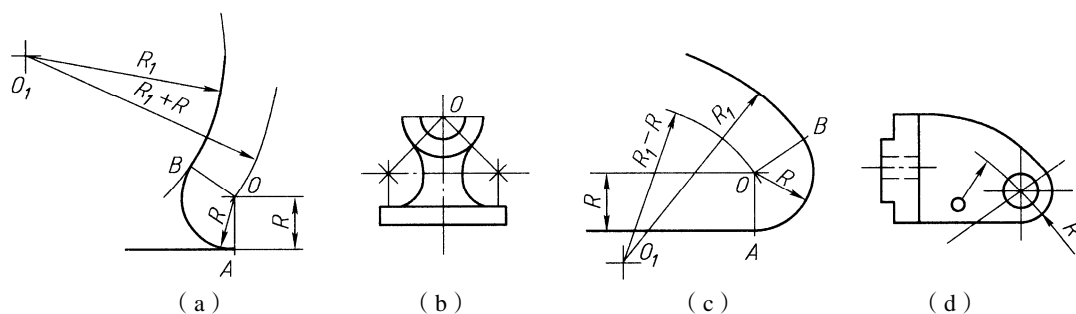


图 1-43 圆弧连接一直线和一圆弧

(3) 用连接圆弧连接两已知圆弧

用连接圆弧连接两已知圆弧可分两种情况，即外切和内切。外切时找圆心的半径为  $(R_{\text{外}} + R)$ ，内切时找圆心的半径为  $(R_{\text{内}} - R)$ 。

① 用  $R_3$  圆弧外切两已知圆弧 ( $R_1$ 、 $R_2$ ) 的作图方法

分别以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心， $(R_1 + R_3)$  和  $(R_2 + R_3)$  为半径画圆弧得交点  $O_3$ ，即为连接圆弧的圆心；连接  $O_1O_3$ 、 $O_2O_3$ ，与已知圆弧分别交于点  $K_1$ 、 $K_2$ ，即为切点，如图 1-44 (a) 所示。以  $O_3$  为圆心， $R_3$  为半径在两切点  $K_1$ 、 $K_2$  之间作圆弧，即为所求，如图 1-44 (b) 所示。

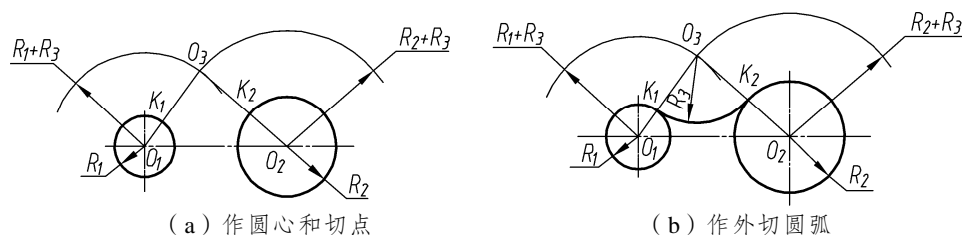


图 1-44 作外切连接圆弧

② 用  $R_4$  圆弧内切两已知圆弧 ( $R_1$ 、 $R_2$ ) 的作图方法

分别以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心， $(R_4 - R_1)$  和  $(R_4 - R_2)$  为半径画圆弧得交点  $O_4$ ，即为连接圆弧的圆心；连接  $O_1O_4$ 、 $O_2O_4$  与已知圆弧分别交于点  $K_1$ 、 $K_2$ ，即为切点，如图 1-45 (a) 所示。以  $O_4$  为圆心， $R_4$  为半径在两切点  $K_1$ 、 $K_2$  之间作圆弧，即为所求，如图 1-45 (b) 所示。

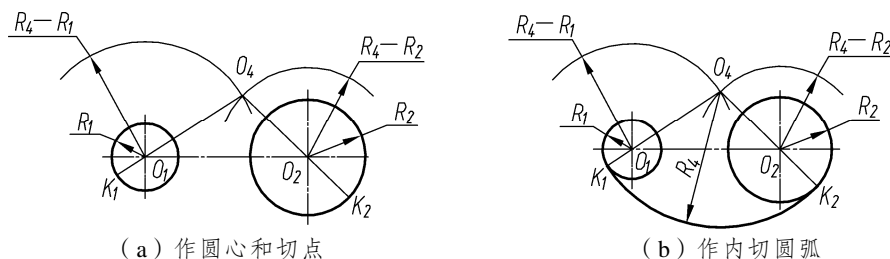


图 1-45 作内切连接圆弧

### 5. 椭圆近似的画法

工程中常用的曲线有椭圆、圆的渐开线和阿基米德螺线等。已知长轴  $AB$ 、短轴  $CD$ ，常用的两种画椭圆的方法如图 1-46 所示。图 1-46 (a) 为四心法（近似画法），图 1-46 (b) 为同心圆法（准确画法）。

#### (1) 四心近似法作图步骤

- ① 连接  $A$ 、 $C$ ，以  $O$  为圆心、 $OA$  为半径画圆弧与  $CD$  延长线交于点  $E$ ；以  $C$  为圆心、 $CE$  为半径画圆弧与  $AC$  交于点  $F$ 。
- ② 作  $AF$  的垂直平分线与长、短轴分别交于点  $1$ 、 $2$ ，再作对称点  $3$ 、 $4$ ；点  $1$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $4$  即为四个圆心。
- ③ 分别作圆心连线  $41$ 、 $43$ 、 $21$ 、 $23$  并延长。
- ④ 分别以  $1$ 、 $3$  为圆心， $1A$  或  $3B$  为半径，画小圆弧  $K_1AK$  和  $NBN_1$ ；分别以  $2$ 、 $4$  为圆心， $2C$  或  $4D$  为半径，画大圆弧  $KCN$  和  $N_1DK_1$ ，即完成近似椭圆的作图。

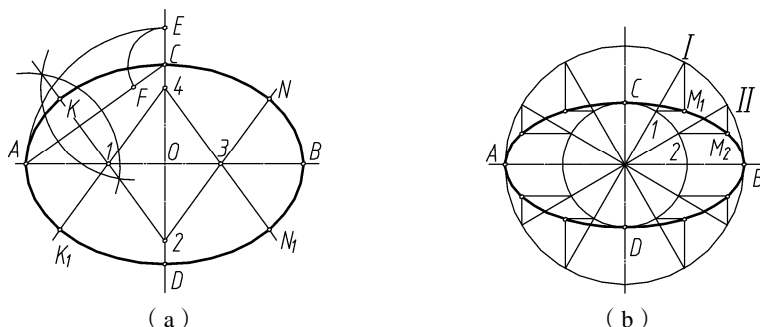


图 1-46 椭圆作图法

#### (2) 同心圆法作图步骤

分别以  $AB$  和  $CD$  为直径作两个同心圆，过中心  $O$  作一系列放射线与两圆相交，过大圆上各交点  $I$ 、 $II$ 、……引垂线，过小圆上各交点  $1$ 、 $2$ 、……作水平线，与相应的垂线交于  $M_1$ 、 $M_2$ ……各点，光滑连接以上各点，即完成椭圆的作图。

## 1.2.3 徒手绘图

作为工程技术人员，还应具备一定的徒手绘图能力。徒手绘图是指不借助绘图仪器、工具，用目测比例徒手绘制图样，这样的图又叫草图。绘制草图在机器测绘、讨论设计方案和技术交流中应用广泛，是一项重要的基本技能。

草图同样要求做到内容完整、图形正确、图线清晰、比例匀称、字体工整、尺寸准确，同时绘图速度要快。

初学徒手绘图时，最好在方格纸上进行，以便控制图线的平直和图形的大小。经过一定的训练后，最后能在空白图纸上画出比例匀称、图面工整的草图。

下面介绍直线、圆、圆角、角度、椭圆等图形元素的徒手绘制方法。

### 1. 画直线

徒手绘制直线时，手指应握在离笔尖约 35 mm 处，水平线应自左向右、垂直线应从上向

下画出，小手指轻压纸面，眼睛看着画线的终点，手腕轻轻靠着纸面随线移动，不要转动。

画斜线时，用眼睛估计斜线的倾斜度，根据线段的长度定出两点，用笔方法同上。当绘制较长斜线时，为了运笔方便，可将图纸旋转一定角度，把斜线当作水平线或垂直线来画，如图 1-47 所示。

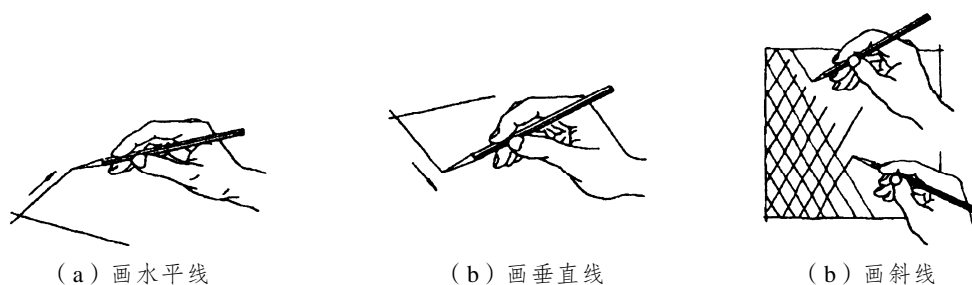


图 1-47 徒手画直线

## 2. 画圆及圆弧

画圆时，应先画两条互相垂直的中心线，定出圆心位置，再根据半径用目测在中心线上定出四个端点，然后圆滑连接成圆形，如图 1-48 (a) 所示。当圆的直径较大时，可以通过圆心再增加两条  $45^\circ$  斜线，在斜线上找出四个半径的端点，然后依次圆滑连接这些端点即成圆形，如图 1-48 (b) 所示。

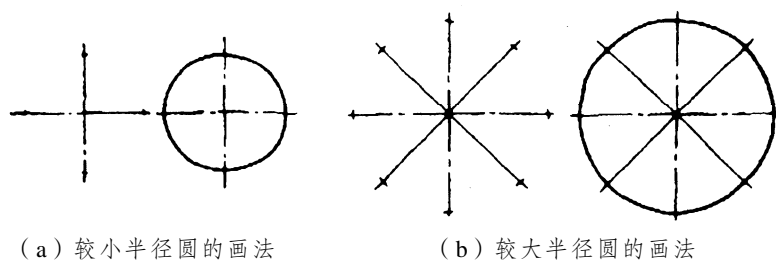


图 1-48 徒手画圆

画圆弧时，先用目测在分角线上选取圆心位置，使它与角的两边的距离等于圆角的半径。过圆心向两边引垂线定出圆弧的起点和终点，并在分角线上也定出圆弧上的一点，然后徒手把这三点圆滑连接起来，即画出圆弧，如图 1-49 所示。

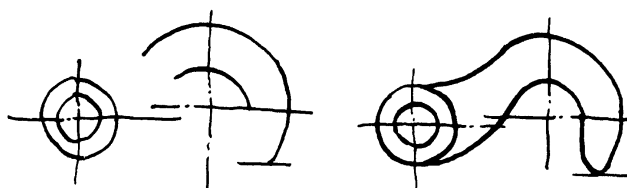


图 1-49 徒手画圆弧

## 3. 画特殊角度

在绘制一些常用特殊角度如  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$  等角度的斜线时，可根据其近似正切值  $3/5$ 、 $1$ 、 $5/3$  作为直角三角形的斜边来画出，如图 1-50 所示。

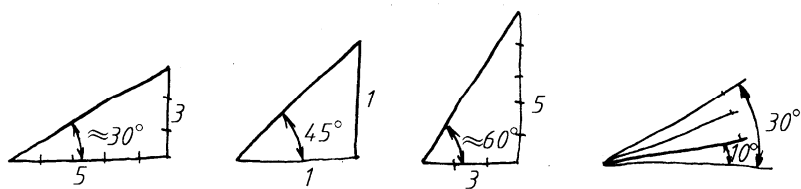


图 1-50 徒手画特殊角度的斜线

#### 4. 画椭圆

徒手绘制椭圆时，先定出椭圆的长短轴，目测定出四个点的位置，再过这四个点作矩形，然后作椭圆与该矩形相切，如图 1-51 所示。也可利用外接平行四边形画椭圆，如图 1-52 所示。

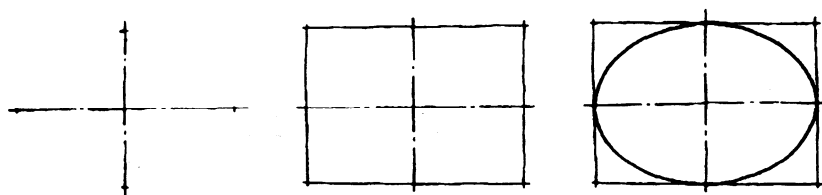


图 1-51 利用矩形徒手画椭圆

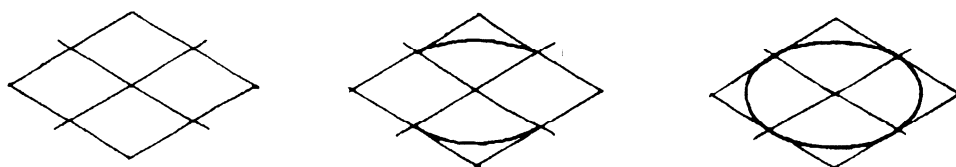


图 1-52 利用外接平行四边形徒手画椭圆

### 1.3 计算机绘图技术

长期以来，人们一直以尺规为工具进行手工绘图，其效率低、精度差、劳动量大。自 20 世纪 70 年代开始，随着计算机技术的发展与应用，出现了计算机绘图（CG，Computer Graphics）。计算机绘图具有出图速度快、作图精度高等特点，而且便于管理、检索和修改。计算机绘图是利用计算机及其外围设备绘制各种图样的技术，它使人们逐渐摆脱了繁重的手工绘图，它与 CAD（Computer Aided Design，计算机辅助设计）及 CAM（Computer Aided Manufacturing，计算机辅助制造）的结合，已使无纸化生产成为可能。每个工程技术人员都应该掌握计算机绘图的基本方法，才能适应时代的要求。

计算机绘图的基本过程为：应用输入设备进行图形输入；计算机主机进行图形处理；输出设备进行图形显示和图形输出。计算机绘图除作图精度高，出图速度快外，它还可以结合设计计算工作，实现“设计—绘图”自动化。详见第 11 章计算机辅助绘图。

### 1.3.1 计算机绘图系统的组成

计算机绘图需要计算机绘图系统的支持，目前的微型计算机均支持计算机绘图。所谓计算机绘图系统是指能用计算机和外部设备输入数据和图形信息、运用运算并在计算机屏幕或其他外部设备上图形输出的一整套设备及其应用软件。即计算机绘图系统主要由硬件系统和软件系统两部分组成。在计算机绘图系统中，硬件系统主要包括计算机及其必要的外部设备、图形输入和输出设备等；软件系统是能使计算机进行编辑、编译、计算和实现图形输出的信息加工处理系统。一个完整的计算机绘图系统组成如图 1-53 所示。

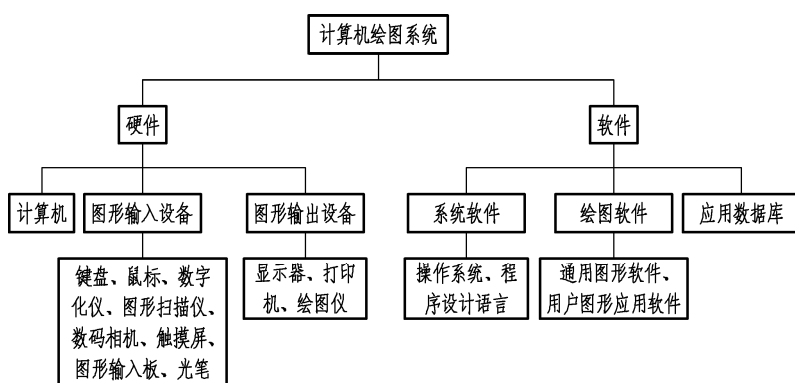


图 1-53 计算机绘图系统组成

目前，计算机绘图系统具备的基本功能主要如下：

- (1) 图形输入功能。把各种图形数据和图形处理命令输入到计算机中。
- (2) 图形存储功能。存放图形数据，数据能够随时检索和调用。
- (3) 图形计算功能。对图形数据进行分析计算，进行各种几何变换和特殊处理，如曲线、曲面的生成，图形剪裁，三维立体的消隐和渲染着色等。
- (4) 图形输出功能。输出图形和计算结果。
- (5) 人机交互功能。进行人一机对话，实现绘图过程中的实时人工干预。

#### 1. 硬件系统

计算机绘图系统的硬件系统包括计算机主机和图形输入、输出设备，如图 1-54 所示。



图 1-54 计算机绘图系统硬件基本配置

#### (1) 计算机

计算机通常有以下四种不同类型：



① 主机系统。这种系统一般以大型机为主机,集中配备某些公用的外部设备,如绘图机、打印机、磁带机等,同时可外接许多用户工作站及字符终端。

② 小型机系统。这种系统与主机系统在形式上非常相似,只不过用小型机或超小型机代替主机,用户工作站的数量较少,一般为4~6个。

③ 微机系统。一般由一台微机配备一个图形显示器及若干图形输入、输出设备,即构成一个微机绘图系统。目前,更多的用户采用网络技术将多台及公共外设连在一起,实现网内资源共享。

④ 工作站系统。

## (2) 图形输入设备

图形输入设备将各种信息转换成电信号,传给计算机。常见的图形输入设备包括键盘、鼠标、光笔、图形扫描仪、数字化仪等。

键盘是最常见、最基本的输入设备,具有输入字符和数据等功能。

鼠标作为指点设备,应用十分广泛,绘图系统一般推荐使用中键是滚轮的三键鼠标,因为中键往往被系统赋予特殊的控制功能。

光笔的外壳像支笔,它是一种检测光的装置,是实现人与计算机、图形显示器之间联系的一种有效工具。光笔的主要功能是指点与跟踪。指点就是在屏幕上有图形时,选取图形上的某一点作为参考点,对图形进行处理。跟踪就是用光笔拖动光标在显示屏幕上任意移动,从而在屏幕上直接输入图形。

图形扫描仪可以把图形或图像以像素点为单位输入到计算机中。通常把扫描得到的像素图用专门的软件处理得到矢量图,这个过程称为矢量化处理。这种输入方法可将原有纸质图样数字化,而且效率比较高。对于用计算机做的全新设计,这种方法就没用了。

数字化仪是一种图形数据采集装置,如图1-55所示。它由固定图纸的平板、检测器和电子处理器三部分组成。工作时,将十字游标对准图纸上的某一点,按下按钮,则可输入该点的坐标。连续移动游标,可将游标移动轨迹上的一连串点的坐标输入。因此,它可以把图形转换成坐标数据的形式存储,也可以重新在图形显示器或绘图仪上复制成图。

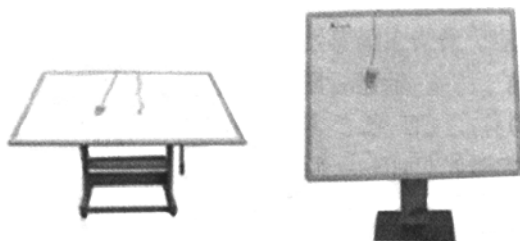


图 1-55 数字化仪

## (3) 图形输出设备

常用的图形输出设备一般可以分为两大类。一类是用于交互式作用的图形显示设备,另一类是在纸上或其他介质上输出可以永久保存图形的绘图设备。常用的图形输出设备有以下几种。

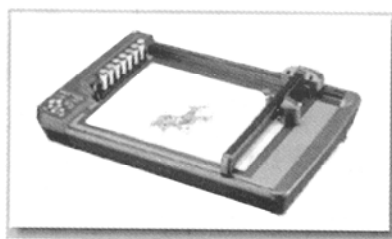
① 图形显示器。显示器是人机交互的重要设备之一,它能让设计者观察到设计结果,以便在必要时对设计进行相应的调整、修改等。显示器常用有 CRT (Cathode Ray Tube, 阴极射线管) 显示器和 LCD 显示器 (Liquid Crystal Display, 液晶显示器)。

② 打印机。打印机是一种常用的图形硬拷贝设备，它的种类繁多，一般分为撞击式与非撞击式两种。撞击式如针式打印机；非撞击式如喷墨打印机、激光打印机等，可以实现高速度、高质量低噪声的打印输出。

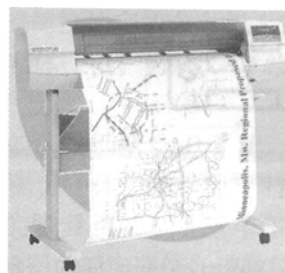
③ 绘图仪。绘图仪按工作原理可分为笔式绘图仪和非笔式绘图仪，按结构可分为平板（台）式绘图仪和滚筒式绘图仪。

笔式绘图仪以墨水笔作为绘图工具，计算机通过程序指令控制笔和纸的相对运动，同时对图形的颜色、图形中的线型以及绘图过程中抬笔、落笔动作加以控制，由此输出屏幕显示的图形或存储器中的图形。非笔式绘图仪的作图工具不是笔，有静电绘图仪、喷墨绘图仪、热敏绘图仪等几种类型。

笔式平板（台）式绘图仪如图 1-56（a）所示；喷墨滚筒绘图仪如图 1-56（b）所示。



（a）笔式平板绘图仪



（b）喷墨滚筒式绘图仪

图 1-56 绘图仪

## 2. 软件系统

计算机及相应的图形输入、输出设备提供了实现计算机绘图的硬件部分必要条件，但能否实现计算机绘图以及能在多大程度上方便、准确、快速地画出各种图形，还需要配置适合硬件系统的绘图软件以及提高绘图软件的完善程度。目前使用的多数为交互式图形软件。

绘图软件系统通常可分为三部分：系统应用程序、数据库和图形系统。

系统应用程序将信息存入数据库或从数据库中提取信息，向图形系统传送图形命令，说明物体的几何特征，并要求图形系统读取输入设备的值，将一系列画图子程序转换为图形并显示在终端上；而数据库则用以保存被显示物体的信息；图形系统能提供对图形的数据描述，包括物体的几何坐标数据、物体的属性以及物体各部分连接关系的坐标数据，并为用户提供交互绘图的环境。

交互式图形软件一般具有良好的用户界面，通常以菜单和工具栏图标的方式为用户提供二维或三维图形的绘制、编辑和打印等功能。一些功能较完备的交互式图形软件还提供自动标注尺寸、标准件调用、参数化绘图等功能。

目前，常用的交互式绘图软件有 AutoCAD、SolidWorks、Pro/Engineer、Unigraphics（UG）、I-DEAS、CATIA、SolidEdge、MDT、CAXA、PICAD 等。

### 1.3.2 计算机绘图常用绘图软件简介

下面简要介绍在现代计算机辅助设计 CAD（Computer Aided Design）中，常用的几种主要绘图软件及其功能。

## 1. AutoCAD

AutoCAD 是美国 AutoDesk 公司为微机开发的二维、三维工程绘图软件。AutoCAD 作为当今最流行的二维绘图软件，具有强大的二维绘图功能，如绘图、编辑、剖面线、图形绘制、尺寸标注以及二次开发等功能，同时还有部分三维功能。AutoCAD 还提供有 AutoLISP、ARX、VBA 等作为二次开发的工具。

详细的 AutoCAD 的有关绘图功能及其使用方法，详见第 11 章。

## 2. SolidWorks

SolidWorks 是美国 SolidWorks 公司于 1995 年研制开发的一套基于 Windows 平台的全参数化特征造型软件，它可以十分方便地实现复杂的三维零件实体造型、复杂装配和生成工程图。图形界面友好，用户上手快。该软件采用自顶向下基于特征的实体建模设计方法，可动态模拟装配过程，自动生成装配明细表、装配爆炸图、动态装配仿真、干涉检查、装配形态控制，其先进的特征树结构使操作更加简便和直观。该软件提供了完整的、免费的开发工具（API），用户可以用微软的 Visual Basic、Visual C++或其他支持 OLE 的编程语言建立自己的应用方案。通过数据转换接口，SolidWorks 可以很容易地将不同的机械 CAD 软件集成到同一个设计环境中。

## 3. Pro/Engineer

Pro/Engineer 系统是美国参数技术公司（PTC）的产品。Pro/Engineer 采用技术指标化设计、基于特征的实体模型化系统，工程设计人员采用具有智能特性的基于特征的功能去生成模型，如腔、壳、倒角及圆角，可以随意勾划草图，轻易改变模型。Pro/Engineer 系统用户界面简洁，概念清晰，符合工程技术人员的设计思想与习惯。整个系统建立在统一的数据库上，具有完整而统一的模型。

## 4. Unigraphics (UG)

Unigraphics (UG) 是 Unigraphics Solutions 公司开发出的一款功能强大的 CAD/CAM 软件，针对于整个产品开发的全过程，从产品的概念设计直到产品建模、分析和制造过程，它提供给用户一个灵活的复合建模模块，具有独特的知识驱动自动化（KDA）的功能，使产品和过程的知识能够集成在一个系统里。

## 5. I-DEAS

I-DEAS 是美国 SDRC 公司开发的 CAD/CAM 软件。I-DEAS 可以进行核心实体造型及设计、数字化验证（CAE）、数字化制造（CAM）、二维绘图及三维产品标注。I-DEASCAMAND 可以方便地仿真刀具及机床的运动，可以从简单的 2 轴、2.5 轴加工到以 7 轴 5 联动方式来加工极为复杂的工件表面，并可以对数控加工过程进行自动控制和优化。

## 6. CATIA

CATIA 是由法国著名飞机制造公司 Dassault 开发并由 IBM 公司负责销售的 CAD/CAM/CAE/PDM 应用系统。该系统采用了先进的混合建模技术，在整个产品生命周期内具有方便的修改能力，所有模块具有全相关性，具有并行工程的设计环境，支持从概念设计到产品实行的全过程。它也是世界上第一个实现产品数字化样机开发（DMU）的软件。

## 7. SolidEdge

SolidEdge 是 EDS 公司开发的中档 CAD 系统。SolidEdge 为机械设计量身定制，它利用相邻零件的几何信息，使新零件的设计可在装配造型内完成；模塑加强模块直接支持复杂塑料零件的造型设计；钣金模块使用户可以快速简捷地完成各种钣金零件的设计；利用二维几何图形作为实体造型的特征草图，实现三维实体造型，为从 CAD 绘图升至三维实体造型设计提供了简单、快速的方法。

## 8. MDT

MDT 是 AutoDesk 公司在 PC 平台上开发的三维机械 CAD 系统。它以三维设计为基础，集设计、分析、制造以及文档管理等多种功能为一体。MDT 基于特征的参数化实体造型和基于 NURBSde1 的曲面造型，可以比较方便地完成几百甚至上千个零件的大型装配，提供相关联的绘图和草图功能，提供完整的模型和绘图的双向联接。该软件与 AutoCAD 完全融为一体，用户可以方便地实现三维向二维的转换。MDT 为 AutoCAD 用户向三维升级提供了一个较好的选择。

## 9. CAXA

CAXA 是我国北京航空航天大学海尔软件有限公司面向我国工业界自主开发的中文界面、三维复杂形面 CAD/CAM 软件，是我国制造业信息化 CAD/CAM/PLM 领域自主知识产权软件的优秀代表。CAXA 包括 CAXA 电子图版 V52D、CAXA 三维电子图版 V53D 等设计绘图软件。CAXA 实体设计是国家“十五”重点支持的“三维 CAD 系统”项目的重要成果。CAXA 实体设计专注于产品创新工程，为用户提供三维创新设计的 CAD 平台，支持概念设计、总体设计、详细设计、工程设计、分析仿真、数控加工的应用需求，已成为企业加快产品上市与更新速度、赢取国际化市场先机的核心工具。

## 10. PICAD

PICAD 是北京凯思博宏计算机应用工程有限公司开发的具有自主知识产权的 CAD 软件。该软件具有智能化、参数化和较强的开放性，对特征点和特征坐标可自动捕捉及动态导航，系统提供局部图形参数化、参数化图素拼装及可扩充的参数图符库；提供交互环境下的开放的二次开发工具，智能标注系统可自动选择标注方式；该软件首先推出了全新的“所绘即所得”自动参数化技术，并具有可回溯的、安全的历史记录管理器，是真正的面向对象和面向特征的 CAD 系统。

计算机绘图在 CAD/CAM 领域中占有极其重要的位置。据不完全统计，在设计制造整个系统中，计算机绘图工作量约占 53%，辅助设计占 30%，分析占 7%，辅助制造占 10%。随着时代的发展和科学技术的不断进步，计算机硬件质量和功能在不断地提高，软件研究飞速发展，特别是微机芯片集成度大幅度增加，计算机绘图已进入高技术应用阶段。

# 1.4 平面图形的尺寸分析及绘图步骤

平面图形都是由若干直线段和曲线段连接而成的，有些线段可根据给定的尺寸关系直接画出，而有些线段则要根据两线段的几何条件作图。要想正确而又迅速地画好平面图形，首

先必须对图形中的尺寸进行分析。通过分析,可以了解平面图形中各种线段的形状、大小、位置,以便确定正确的绘图顺序,准确迅速地绘图。

### 1.4.1 平面图形的尺寸分析

平面图形的尺寸分析就是分析平面图形中所有尺寸的作用以及图形与尺寸之间的关系,确定尺寸的基准及尺寸的类型,明确尺寸的作用。在标注和分析尺寸时,必须确定基准。尺寸基准就是标注尺寸的起点。平面图形中的尺寸按其作用分为定形尺寸和定位尺寸两类。

#### 1. 尺寸基准

在图形上标注尺寸时,应首先确定标注的起始点,即尺寸基准。在平面图形中,有水平和垂直两个方向上的基准。基准一般采用图形的对称线、圆的中心线、重要的轮廓线等。图 1-57 的水平方向和垂直方向的尺寸基准分别为  $\phi 27$  mm 圆的垂直中心线和水平中心线。

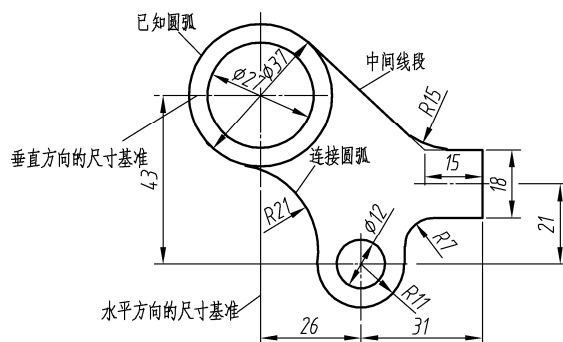


图 1-57 平面图形的尺寸和线段分析

#### 2. 定形尺寸

确定平面图形中各几何元素(各种线段)形状和大小的尺寸称为定形尺寸,如图 1-57 中的  $\phi 27$  mm、 $\phi 37$  mm、 $\phi 12$  mm、 $R21$  mm、 $R11$  mm、 $18$  mm 等。

#### 3. 定位尺寸

确定图形中各几何元素(各个线段或线框)间相对位置的尺寸称为定位尺寸,如图 1-57 中的  $43$  mm、 $26$  mm、 $31$  mm、 $21$  mm 等。

需要指出的是,有的尺寸既可以是定形尺寸,又可以是定位尺寸。如图 1-57 中的  $18$  mm,它既可确定所注直线段的长度(属于定形尺寸),又是图中斜线段右下端点垂直方向的定位尺寸。

标注平面图形的尺寸,必须满足如下要求:

- ① 正确,即尺寸标注要按国标规定进行,不能写错;
- ② 完整,即尺寸必须注写齐全,不重复,不遗漏;
- ③ 清晰,即尺寸标注要清楚,布局要整齐、美观,便于阅读。

### 1.4.2 平面图形的线段分析

根据图形中给出的各线段的定形尺寸和定位尺寸是否齐全,将线段分为已知线段、中间线段和连接线段三种。

### 1. 已知线段

定形尺寸、定位尺寸齐全，可以直接画出的线段称为已知线段。如图 1-57 中的  $\phi 37\text{ mm}$ 、 $\phi 27\text{ mm}$ 、 $R11\text{ mm}$ 、 $\phi 12\text{ mm}$ 、 $18\text{ mm}$ 、 $15\text{ mm}$  等。

对于直线段，已知直线的两个端点的定位尺寸，或已知直线的一个端点的定位尺寸及直线的方向，则该直线是一条已知线段。对于圆（弧），已知其半径尺寸及圆心的水平和垂直两个方向的定位尺寸，则该圆（弧）是一条已知线段。

### 2. 中间线段（弧）

有定形尺寸和定位尺寸但定位尺寸不全的线段称为中间线段。它是介于已知线段和连接线段之间的线段。画图时亦须根据与其相邻的已知线段的相切关系画出。如图 1-57 中的斜线段。

对于直线段，仅已知其一个端点的定位尺寸，另一个端点或直线的方向要根据连接关系确定，则该直线是一条中间线段。对于圆弧，通常是圆弧半径已知且仅有一个方向的圆心定位尺寸，则该圆弧是一条中间线段。

### 3. 连接线段

只有定形尺寸而无定位尺寸的线段称为连接线段。这种线段须根据与其相邻的两条线段的相切关系，用几何作图的方法画出。如图 1-57 中的  $R21\text{ mm}$ 、 $R7\text{ mm}$ 、 $R15\text{ mm}$  等。

## 1.4.3 平面图形的绘图步骤

### 1. 尺规绘图的基本过程

（1）准备工作。绘图前应准备好必要的绘图工具、仪器和用品，整理好工作地点。熟悉和了解所画图形的内容，按图样大小和比例选择适当的图幅，并将图纸固定在图板的适当位置（以丁字尺和三角板移动比较方便为准）。

（2）合理布局。先按照国家标准规定，在图纸上用细实线画出选定的图幅及图框周边和标题栏，再合理布置图形。图形的布局应均匀美观，应根据图形的长、宽尺寸，画出各图形的基准线、轴线等。

（3）画底稿。用较硬的 H 或 2H 铅笔准确地、很轻地画出底稿。先画出主要轮廓线或中心线，再画细节。画底稿图线应“细、轻、准”。画好底稿后应仔细校核，改正错误，接着画出尺寸界线和尺寸线，最后再擦去多余图线，清洁图面。

（4）加深和标注尺寸。对图形进行加深时，应按线型选择铅笔，要保持铅笔端的粗细一致，用力要均匀。加深时，先粗线后细线（虚线、点画线和细实线等）；先曲线后直线；先水平线后垂直线；从上到下，从左到右，最后画倾斜线。另外，图框及标题栏也要加深。

标注尺寸、书写其他文字、符号和填写标题栏。

（5）检查、完成全图。对图面进行全面检查，图线要求：线型正确，粗细分明，均匀光滑，深浅一致。图面要求：布图适中，整洁美观，字体、数字符合国家标准规定。通过校对，修饰、清洁图面，完成全图。

### 2. 平面图形的绘图步骤

根据上述对平面图形的分析，下面以图 1-58 所示手柄的平面图为例，说明一般平面图形的绘图步骤。

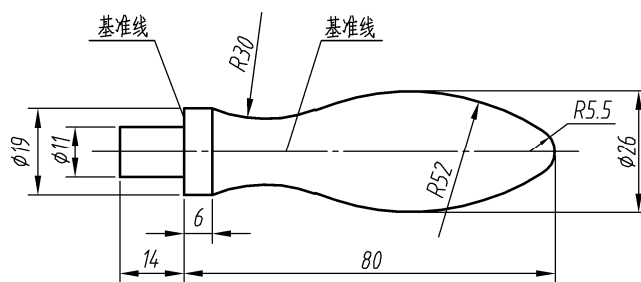


图 1-58 手柄平面图

- ① 画出图形的基准线、定位线。
- ② 画已知线段：半径为  $R5.5$  的圆弧等，如图 1-59 (a) 所示。
- ③ 画中间线段：先画相距为  $\phi 26$  mm 的范围线，并作与范围线相距为 52 mm 的平行线；以  $O$  为圆心、以  $R(52-5.5)$  为半径画圆弧与刚作的平行线相交于  $O_1$  点，交点  $O_1$  即为  $R52$  圆弧的圆心；以  $O_1$  为圆心，画半径为  $R52$  的圆弧，同时画出对称圆弧。两对称圆弧与相距为 26 的范围线相切，并与  $R5.5$  的圆弧内切，如图 1-59 (b) 所示。
- ④ 画连接线段：分别以  $O_1$ 、 $O_2$  为圆心、以  $R(52+30)$ 、 $R30$  为半径画圆弧相交于  $O_3$  点；以  $O_3$  为圆心、以  $R30$  为半径画圆弧，该圆弧与  $R52$  的圆弧外切，同时画出对称圆弧，如图 1-59 (c) 所示。
- ⑤ 检查全图，擦去多余的作图线，按线型要求加深图线，如图 1-59 (d) 所示。
- ⑥ 标注尺寸，完成全图，如图 1-58 所示。

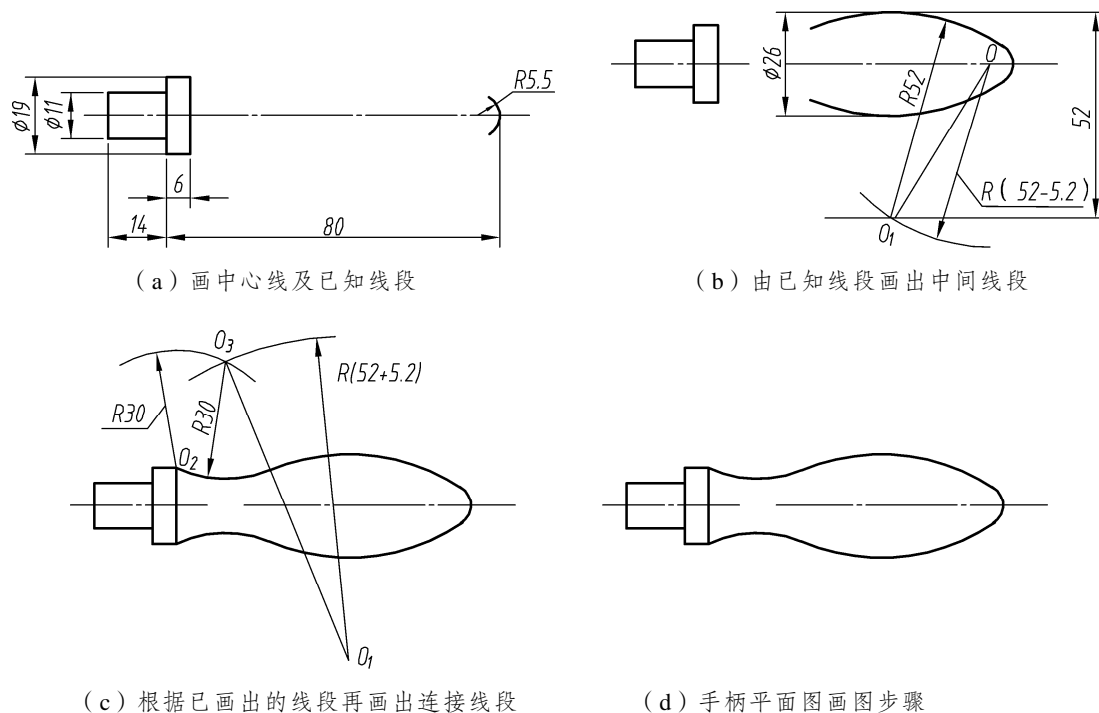


图 1-59 手柄平面图画图步骤