

绪 论

在现代学术研究和应用领域,必须具有良好的形象思维与图形表达能力。工程图学在培养空间想象力、进行科技交流和工业生产中发挥着重要作用。

一、本学科的研究对象

在现代科学技术飞速发展的时代,人们常在分析、研究事物的客观规律,以及构思、设计和图解空间几何问题的过程中,广泛地应用投影的基本理论与方法。在工程技术活动中,通常按照一定的方法、规律和技术规定,在图纸上正确地表示出机器、建筑、设备、零件、仪表及物体的结构、形状、大小、材料、规格和性能等内容,这种图纸资料就称为工程图样,它是工程技术人员用来设计、表达和交流技术思想的工具。因此,图样成为当今信息社会的重要载体,工程图样常被称为工程界的技术语言。

在机械工程上常用的图样有零件图、装配图、展开图和焊接图。在石油化工工程中,常用的图样有管路安装图、工艺流程图和化工设备图。在房屋建筑工程中,常有建筑施工图、结构施工图和设备施工图等。在进行机器设备的设计和改进时,要通过图样来表达设计思想和要求;在制造机器过程中的加工、检验、装配等各个环节,都要以图样作为依据;在使用机器时,也要通过图样来帮助了解机器的结构和性能。因此,工程图样是设计、制造、使用机器过程中的一种重要的工程技术文件。

随着计算机图形学的普及和发展,图形处理和绘制手段发生了大的变革,工程界已逐步利用计算机来绘制工程图样,从而大大地提高了绘图的质量与速度。了解计算机绘图的基本知识,掌握计算机绘图的基本技能,也是工程制图的一个重要组成部分。

本课程主要是研究投影的基本理论与方法,完成由“物到图”和由“图到物”的转换过程,即研究空间与平面间物体的相互转换规律。工程制图是根据投影规律和技术规定来绘制和阅读工程图样的一门学科,是解决工程技术问题的一种重要工具,每一个工程技术人员都必须学习和掌握这门科学技术。

二、学习本课程的目的

工程制图是高等工科院校中一门既有系统理论,又有较强实践的重要技术基础课程。本课程的主要内容包括:制图基础和工程图样两大部分。

制图基础部分主要学习正投影法的形成和规律,表达空间线面关系和几何体形状的原理和方法,培养空间想象和分析能力。这部分的重点是掌握各视图间的对应规律和机件的表达方法,提高空间构形创新能力和绘图技能。

工程图样部分要求掌握机械零部件的表达特点和内容,熟悉制造工艺与技术要求,了解不同专业图样的绘制方法和有关规定,熟练掌握阅读机械工程装配图和零件图的基本技能,以及阅读其他专业图样的方法和步骤。

通过这门基础技术课程的学习,目的是掌握现代科学技术知识和手段,培养既有绘制和阅读工程图样的能力,又具有较强空间形象思维能力的创新型人才。

学习本课程的主要目的和任务是:

- 1) 研究工程图学中正投影的基本理论与方法。
- 2) 学习工程制图技术的相关标准和基本知识。
- 3) 掌握绘制和阅读工程专业图样的基本技能。
- 4) 培养空间分析和解决工程问题的综合能力。

随着学习和实践经验的积累,逐步地达到学习目的,为后续课程的学习和研究解决工程技术问题打下坚实的基础,以适应现代化建设的需要。

三、本课程的学习方法

由于工程制图是研究空间三维形体与平面图形之间的对应关系,因此,为顺利地完课程的学习任务,必须要有适合工程制图课程特点的学习方法:

- 1) 必须要抓住空间思维与形象思维的学科特点。

利用投影原理反复进行空间与平面间相互转换过程的想象和理解。分析空间形体与平面图形间的对应关系和规律,通过空间分析和形象思维活动,达到形体的空间与平面间的对立和统一。

- 2) 利用投影的基本理论与方法,进行由物到图再由图到物的对应练习。

通过物体的表达和阅读的反复实践,以掌握制图与读图的基本技能和提高空间想象能力。因此,在学习过程中必须坚持多画、多读和多想的综合训练。

- 3) 在学习本课程的过程中,必须抓住表达与阅读中的内容特点。

对学习的每部分内容要善于归纳投影规律、表达特点和作图方法,以加深对所学内容的理解。这样既便于熟练掌握理论知识和实际运用,又能较快地提高工程制图的学习效率。

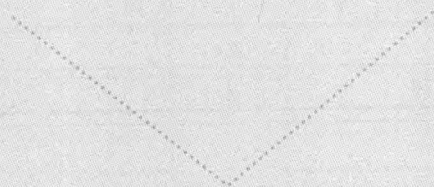
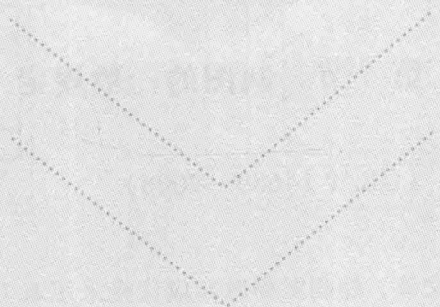
- 4) 学习中必须培养耐心细致的工作作风,树立严肃认真的工作态度。

坚持理论联系实际学风,养成刻苦自学的良好习惯。注意熟悉制图国家标准和有关技术规定,逐步提高绘制和阅读工程图样的能力,提高构思与创新能力。

第一篇



制图基础



Part 01

第一章

制图的基本知识

国家标准《技术制图》和《机械制图》是根据生产实践总结的规律，并参考国际标准化组织 ISO 制定的国际标准而制定的，起着统一图样画法、提高生产率、便于技术交流的作用。机械制图标准与其他标准一样，为了满足生产技术发展的需要，进行过多次修改和补充。

国家标准简称国标，代号为“GB”。它包括强制性国标“GB”、推荐性国标“GB/T”、指导性国标“GB/Z”。代号后的数字为标准号，由顺序号和发布的年代号组成。例如“图线”的标准号为 GB/T 4457.4—2002。

第一节 制图的一般规定

一、图纸幅面和格式（GB/T 14689—2008）

1. 图纸幅面

为了便于图样的管理与交流，绘制图样时，应优先采用表 1-1 和图 1-1、图 1-2 中规定的基本幅面。图幅代号为 A0、A1、A2、A3、A4 五种，必要时可按有关规定加大幅面。

表 1-1 图纸幅面 (单位: mm)

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

2. 图框格式

在图纸上必须用粗实线画出图框线。其格式分为不留装订边和留装订边两种。不留装订边的图框格式如图 1-1 所示，留装订边的图框格式如图 1-2 所示。

需要注意的是，同一产品的图样只能采用同一种格式。当图纸选用留装订边格式时，一般应采用 A3 幅面横装或 A4 幅面竖装。

3. 标题栏

按《技术制图》标准规定，在每张图纸的右下角要画出标题栏，其位置配置与看图方向一致。标题栏的格式和尺寸由 GB/T 10609.1—2008 规定，装配图中的明细栏由 GB/T

10609.2—2009 规定。

在制图课程学习期间，可采用简化的标题栏格式，如图 1-3 所示。

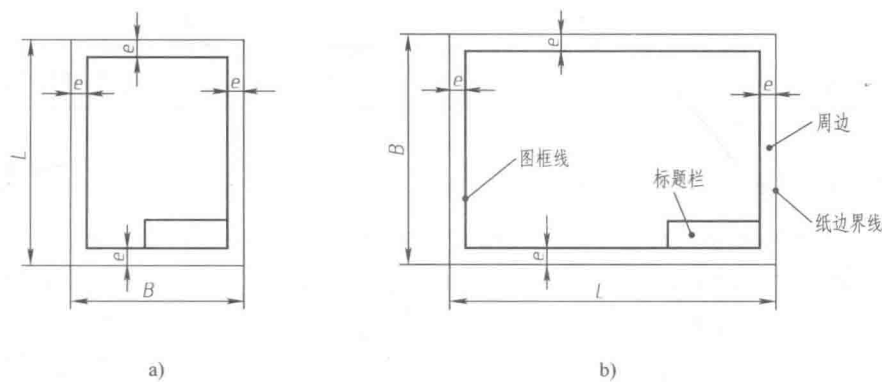


图 1-1 图框格式（一）

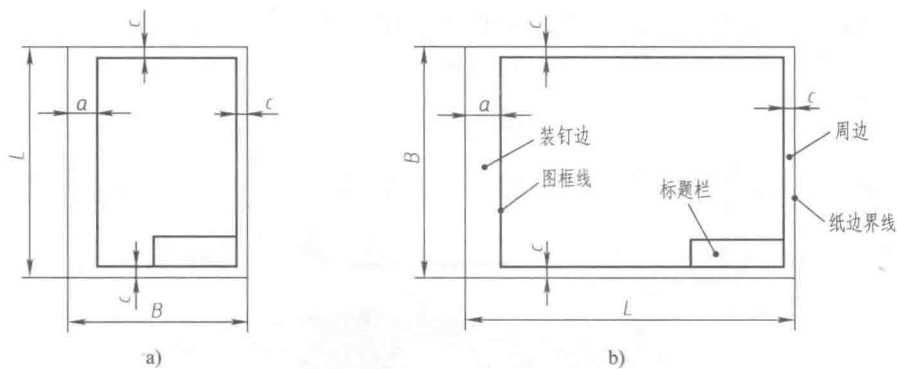


图 1-2 图框格式（二）

					12		35		
(4.0)	8	(图名)			比例		(图号)		
	8				数量				
	8	制图	(日期)	质量		材料			
	8	描图	(日期)	(单位)					
	8	审核	(日期)						
40			65						
130									

表 1-2 绘图的比例

原值比例	1:1					
缩小比例	1:2	1:3	1:5	1:1×10 ⁿ	1:2×10 ⁿ	1:5×10 ⁿ
放大比例	2:1	5:1	1×10 ⁿ :1	2×10 ⁿ :1	5×10 ⁿ :1	

注: n 为正整数。

三、字体 (GB/T 14691—1993)

在图样中书写文字或数值时, 必须按国标规定书写, 一般遵循以下要求:

- 1) 汉字的书写应该做到: 字体工整、笔画清楚、间隔均匀、排列整齐、符合规定。
- 2) 汉字采用长仿宋体字及国家正式公布的简化字, 字高 h 不应小于 3.5mm, 字宽一般为 $h/\sqrt{2}$ 。

简化字的号数即字体高度, 其公称尺寸系列为: 1.8mm、2.5mm、3.5mm、5mm、7mm、10mm、14mm、20mm。

3) 工程图样中的字母和数值可写成斜体和直体。斜体字字头向右倾斜, 与水平基准线成 75°。汉字、数字和字母的书写示例如图 1-4 所示。

横平竖直 注意起落 结构均匀 填满方格
字体工整 笔画清楚 间隔均匀 排列整齐
制图审核描图比例材料重量 石油化工机械钻井开发炼制

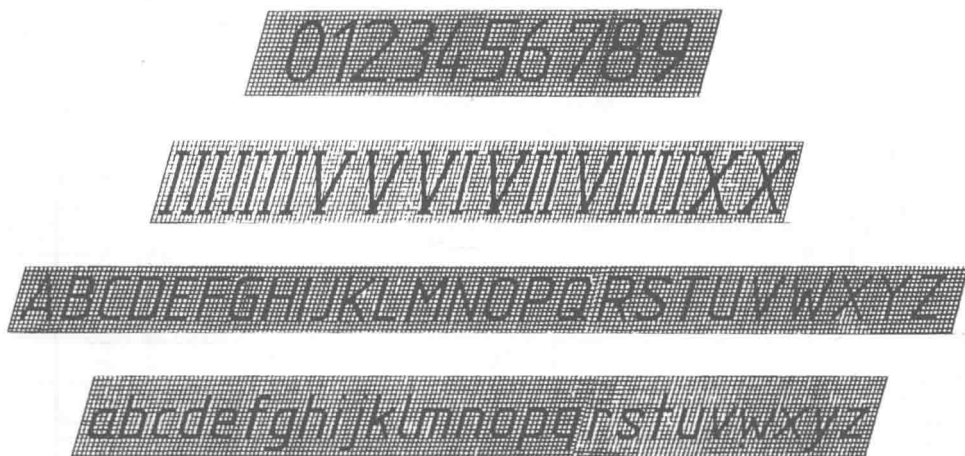


图 1-4 汉字、数字和字母的书写示例

四、图线 (GB/T 4457.4—2002)

1. 基本线型与应用

在绘制工程图样时, 应根据需要采用表 1-3 中所规定的基本线型。

图线的宽度 d 应根据图形的大小和复杂程度, 在下列数系中选择: 0.18mm, 0.25mm, 0.35mm, 0.5mm, 0.7mm, 1mm, 1.4mm, 2mm。该数系的公比为 $1:\sqrt{2}$ 。

表 1-3 基本线型及应用

图线名称	图线型式	线宽	图线应用举例
粗实线		d	可见轮廓线 相贯线
细虚线		$d/2$	不可见轮廓线
细实线			尺寸线及尺寸界线 剖面线 重合断面的轮廓线 指引线与过渡线 螺纹的牙底线及齿轮的齿根线
波浪线			断裂处的边界线 视图和剖视的分界线
双折线			断裂处的边界线
细点画线			轴线 对称中心线
细双点画线			相邻辅助零件的轮廓线 极限位置的轮廓线 轨迹线
粗点画线		d	限定范围表示线

在机械图样上，图线一般只有两种宽度：粗线和细线，其宽度之比为 2 : 1。在通常情况下，粗线的宽度应按图的大小和复杂程度在 0.5~1mm 之间选择。

图线的应用举例如图 1-5 所示。

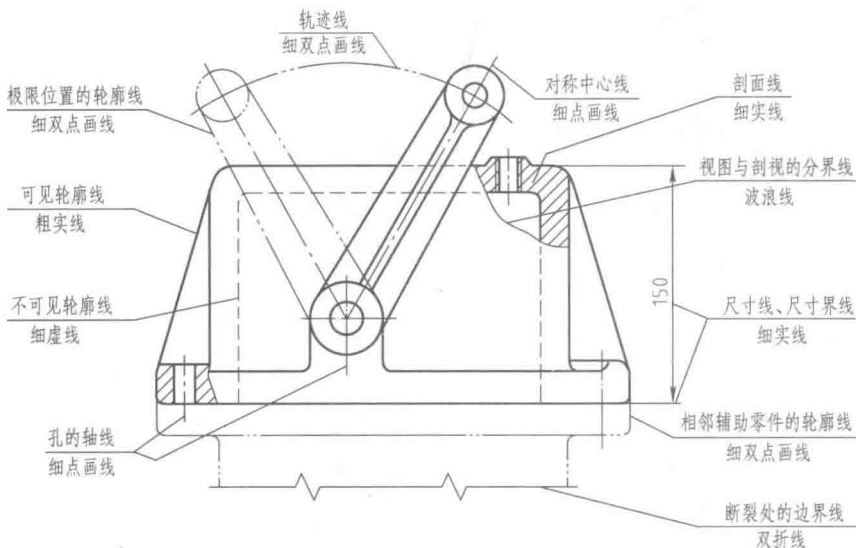


图 1-5 图线的应用举例

2. 图线的画法

采用基本图线绘图时, 需要注意以下几点:

1) 在同一图样中, 同类图线的宽度应基本一致, 线段长度和间隔应大致相等。

2) 点画线和双点画线的首末两端应是长画; 彼此相交时, 其交点应在长画处。

3) 绘制轴线或对称中心线时, 点画线的两端应超出图形轮廓线 2~5mm。

4) 绘图时当细虚线位于粗实线的延长线上, 两种线段之间应留有间隙。

图线的画法举例如图 1-6 所示。

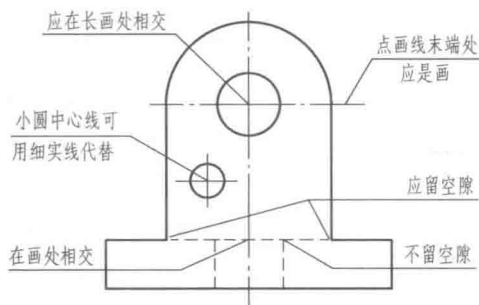


图 1-6 图线的画法举例

五、尺寸标注 (GB/T 4458.4—2003)

在图样中, 图形只能表达机件的结构形状, 而机件的大小则由标注的尺寸确定。标注尺寸是一项极为重要的工作, 必须认真细致, 一丝不苟, 并要严格遵守国标中对尺寸标注的一系列规定。

1. 基本规则

1) 机件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准确度无关。

2) 图样中 (包括技术要求和其他说明) 的尺寸, 以毫米为单位时, 不需注写单位符号 (或名称); 若采用其他单位, 则需注明相应的单位符号。

3) 机件的每一个尺寸, 一般只标注一次, 并应标注在反映该结构最清晰的图形上。

4) 图样中标注的尺寸, 为机件最后完工时所要求的尺寸数值, 否则应加以说明。

2. 尺寸组成及注法

如图 1-7 所示, 一个完整的尺寸应包括尺寸界线、尺寸线、尺寸数字、尺寸终端及符号等。

(1) 尺寸界线

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

尺寸界线应与尺寸线垂直, 并超出尺寸线终端 2~3mm。必要时也允许尺寸界线与尺寸线倾斜。

(2) 尺寸线

尺寸线用细实线绘制。尺寸线必须单独画出, 不能用图上任何其他图线代替, 也不能与图线重合或在延长线上。尺寸线与轮廓线或两尺寸线的间隔不小于 7mm。

标注线性尺寸时, 尺寸线必须与所标注的线段平行。互相平行的尺寸线间隔要均匀, 间隔一般为 6~8mm。

当标注圆或圆弧的直径或半径尺寸时, 尺寸线一般应通过圆心或延长线通过圆心。

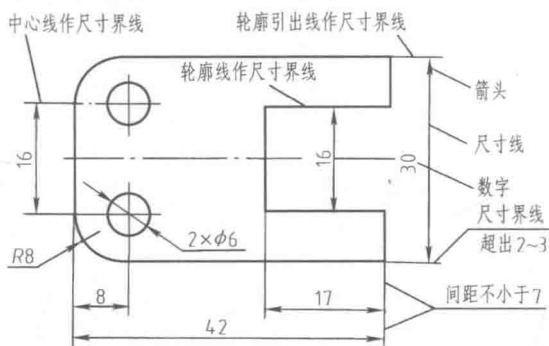


图 1-7 尺寸的组成

(3) 尺寸线终端

尺寸线终端有两种形式，箭头或斜线，如图 1-8 所示。箭头适用于各种类型的图形。箭头的长度应为 3~5mm，宽度与粗实线相同。箭头的尖端要与尺寸界线接触，不得超出也不得分开。

当尺寸终端采用斜线形式时，尺寸线与尺寸界线必须相互垂直。细斜线的方向和画法如图 1-8b 所示。

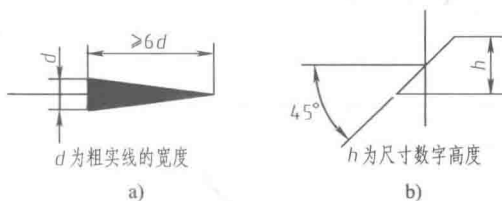


图 1-8 尺寸终端的画法

a) 箭头 b) 斜线

应注意：同一图样中只能采用一种尺寸终端形式。机械图中一般采用箭头的形式。

(4) 尺寸数字

线性尺寸的数字一般写在尺寸线的上方或尺寸线的中断处，但同一图样上最好保持一致。当位置不够时可引出标注。

尺寸数字方向应朝上朝左书写，尽量避免在图 1-9a 所示的 30° 范围内标注，当无法避免时，可按图 1-9b 的形式标注。尺寸数字不可被任何图线所通过，否则，必须将该图线断开，如图 1-10 所示。

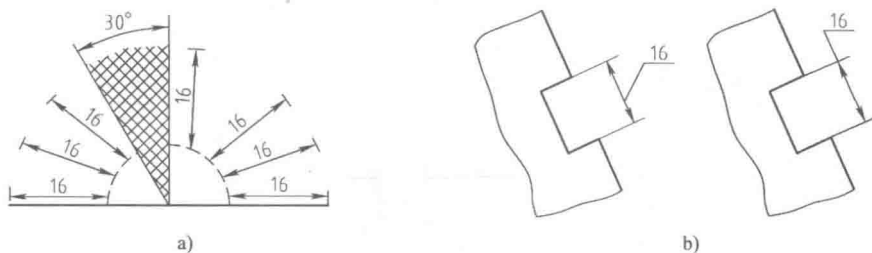


图 1-9 尺寸数字的注写

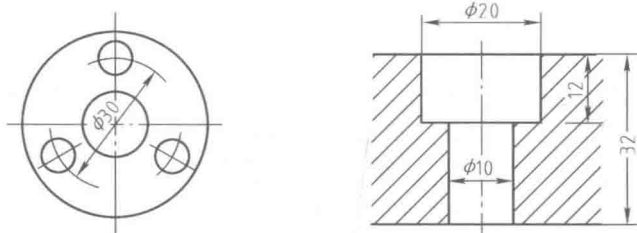


图 1-10 尺寸数字不能与图线相交

(5) 符号

在工程图样中，常用不同的符号来区分不同类型的尺寸。部分尺寸符号的意义见表 1-4。

表 1-4 部分尺寸符号的意义

符 号	意 义	举 例	符 号	意 义	举 例
ϕ	直径	$\phi 20$	$\times$	参数分隔符	$3 \times \phi 12$
R	半径	$R10$	$\pm$	正负偏差	± 0.18
S	球面	$SR10$	$\square$	正方形	$\square 15$
M	螺纹	$M16$	$\sqcup$	沉孔或锪平	$\sqcup \phi 26$
t	薄板件厚度	$t2$	∇	埋头孔	$\nabla \phi 13 \times 90^\circ$
C	45°倒角	$C1.5$	$\Downarrow$	深度	$\Downarrow 5$

3. 尺寸标注举例

在表 1-5 中, 列出了国家标准所规定的尺寸注法。

表 1-5 尺寸标注示例

标注内容	图 例	说 明
角度		1. 标注角度的尺寸界线应从圆心沿径向引出 2. 标注角度时尺寸线应画成圆弧, 其圆心是该角的顶点 3. 角度的数字应一律水平书写, 并按左图的形式标注
圆		1. 直径尺寸应在尺寸数字前加符号“φ” 2. 尺寸线应通过圆心 3. 整圆或大于半圆注直径
圆弧		1. 半径尺寸数字前应加注符号“R” 2. 半径尺寸必须注在投影为圆弧的图形上 3. 半圆或小于半圆的圆弧标注半径尺寸
大圆弧		当圆弧过大无法在图纸上标出圆心时, 可按左图所示标注
球面		标注球面直径或半径时, 应在“φ”或“R”前加注符号“S”。对标准件、轴及手柄的前端, 在不致引起误解的情况下, 可省略“S”
光滑过渡处的尺寸		在光滑过渡处标注尺寸时, 必须用细实线将轮廓线延长, 从它们的交点处引出尺寸界线
板状零件		标注板状零件厚度时, 可在尺寸数字前加注符号“t”

(续)

标注内容	图 例	说 明
狭小部位		在没有足够位置画箭头或注写尺寸数字时,可按左图的形式注写
正方形结构		标注断面为正方形结构的尺寸时,可在正方形边长数字前加注符号“□”或用 14×14 代替
对称机件		当对称机件的图形只画出一半或略大于一半时,尺寸线应超过对称中心线或断裂处的边界线,并在尺寸线一端画出箭头
倒角及槽的标注		1. 轴或孔上的 45°倒角,可按图 a 所示标注;非 45°倒角可按图 b 所示标注 2. 槽的尺寸可按图 c 或图 d 所示标注 图 c 所注的是“槽宽×直径” 图 d 所注的是“槽宽×槽深”

第二节 几何图形的作法

立体的轮廓形状一般都是由不同的几何图形所构成的。熟练地掌握几何作图的方法,将会提高绘图的速度和质量。几何作图的内容较多,在此仅介绍常用的正多边形、椭圆的画法,斜度和锥度以及圆弧连接的作图方法。

一、正多边形的画法

1. 正六边形

若已知 AB 或 CD 不同的已知条件, 其正六边形的作图方法如图 1-11 所示。

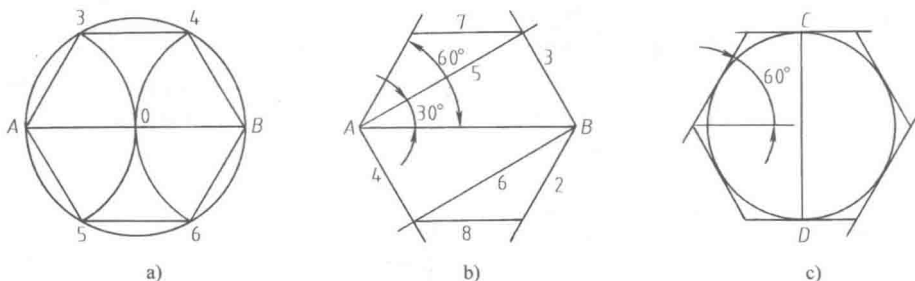


图 1-11 正六边形的作图

a) 用圆规作图 b) 用三角板作图 c) 用三角板及圆规作图

2. 正五边形

已知外接圆直径 AB 作正五边形, 其作图方法如图 1-12 所示。

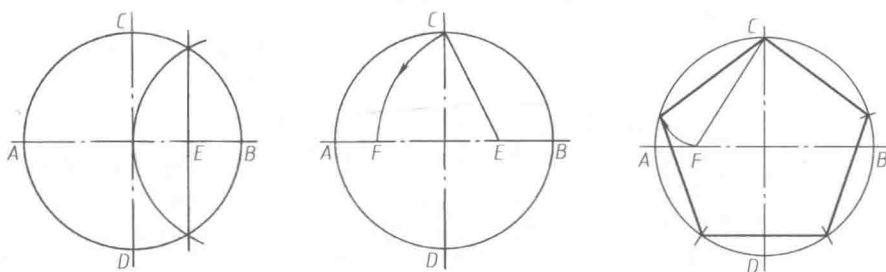


图 1-12 正五边形的作图

3. 正 n 边形

已知外接圆直径 AB 作正 n 边形的方法, 如图 1-13 所示。

二、椭圆的画法

椭圆有各种不同的画法, 在此仅介绍已知长、短轴, 完成椭圆的精确画法和近似画法。其具体的作图方法见表 1-6。

三、斜度和锥度

1. 斜度

斜度是指一直线对另一直线或一平面对另一平面的倾斜程度。表示斜度的符号和标注方法参看 GB/T 4458.4—2003 中 5.8 项的表 1。

斜度的大小可用两直线或两平面夹角的正切表示, 即斜度 $= \tan \alpha = H/L$, 并常以 $1:n$ 的比例形式标注。其作图步骤、斜度符号及标注形式如图 1-14 所示。标注时要注意符号的斜线方向应与斜度方向相一致。

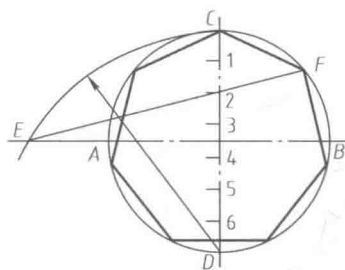
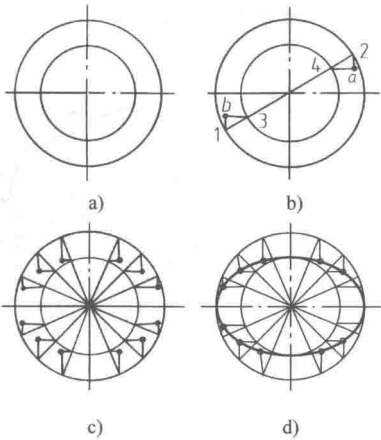
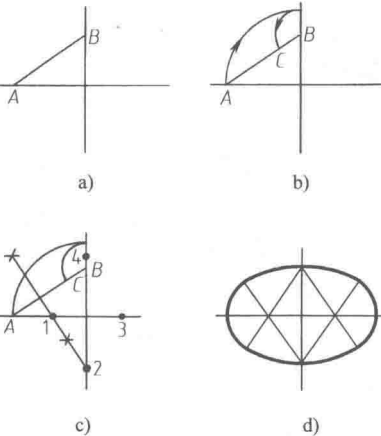


图 1-13 正 n 边形的作图

表 1-6 椭圆的画法

精确画法(已知长、短轴)	画图步骤
 a) b) c) d)	a) 以椭圆中心为圆心, 分别以长轴、短轴长度为直径, 作两个同心圆 b) 作一任意直径, 交大圆于 1、2 两点, 交小圆于 3、4 两点, 分别过 1、2 引垂线, 过 3、4 引水平线, 它们的交点 a、b 即为椭圆上的点 c) 按步骤 b) 的方法重复作图, 求出椭圆上一系列的点 d) 光滑连接各点
近似画法(已知长、短轴)	画图步骤
 a) b) c) d)	a) 连接长半轴端点 A 和短半轴端点 B b) 在 BA 上取 $BC = (\text{长轴} - \text{短轴}) / 2$ c) 作 AC 的中垂线, 交长半轴于点 1, 短半轴于点 2, 取点 1、2 的对称点 3、4 (对中心对称) d) 分别以点 1、3 为圆心, $A1$ 为半径作圆弧, 起、止于中垂线, 再以点 2、4 为圆心, $B2$ 为半径作圆弧, 起、止于中垂线, 用四段圆弧近似地代替椭圆圆弧

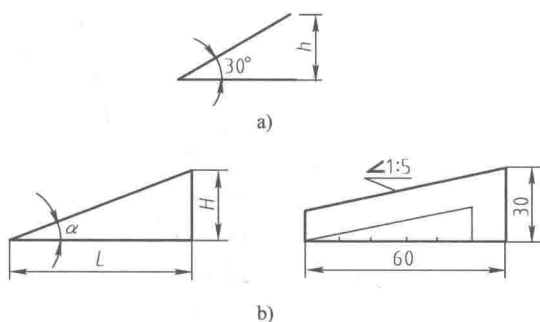


图 1-14 斜度

a) 斜度符号 b) 斜度作图

2. 锥度

锥度是指正圆锥的底圆直径与圆锥高度之比。其符号和标注方法参看 GB/T 15754—1995 中的 4.3 项。锥度的大小可用圆锥素线与轴线夹角的正切的两倍表示, 即 $\text{锥度} = 2\tan\alpha = D/L$, 在图样中常以 $1:n$ 的比例形式标注。其作图步骤、锥度符号及标注形式如图 1-15 所示。标注时要注意符号斜线的方向应与锥度方向相一致。

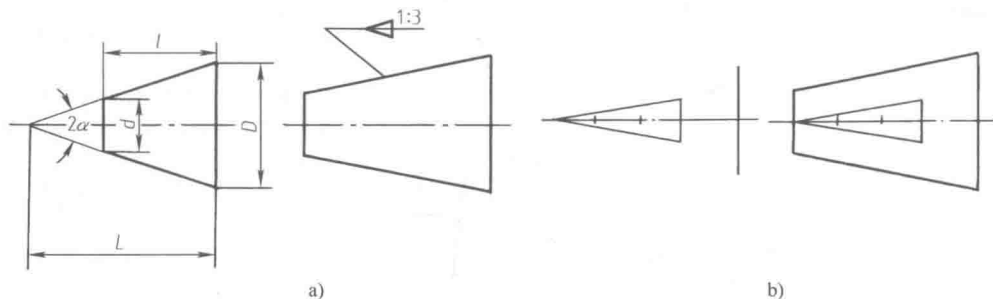


图 1-15 锥度
a) 锥度符号 b) 锥度作图

四、圆弧连接

在绘制机件图形时常会遇到圆弧与直线、圆弧与圆弧光滑过渡的情况。这种光滑过渡就是平面几何中的相切, 也就是用圆弧把两已知线段光滑地连接起来——即相切。这在制图中被称为圆弧连接, 其圆弧为连接弧, 切点为连接点。

圆弧连接的关键是: 在已知连接弧半径和连接线段时, 求出连接弧的圆心和连接点。

1. 圆弧连接的作图原理

1) 已知与直线相切的圆弧半径为 R , 其圆心轨迹是一条距已知直线为 R 且与已知直线平行的直线。如从选定的圆心向已知直线作垂线, 其垂足就是切点, 如图 1-16a 所示。

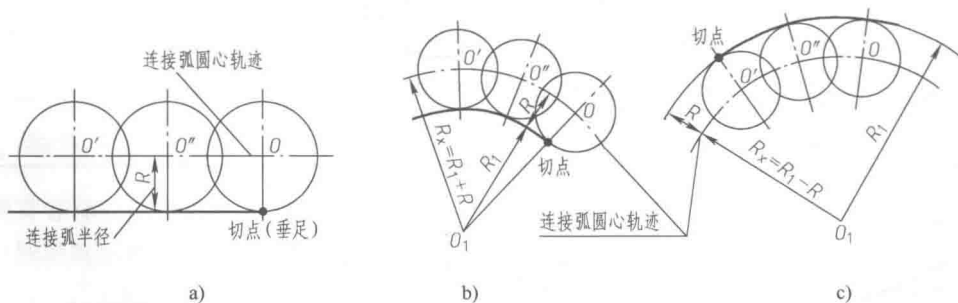


图 1-16 圆弧连接的作图原理

2) 已知圆弧的圆心为 O_1 、半径为 R_1 , 与其相切的圆弧半径为 R , 圆心轨迹为已知弧的同心圆。该圆半径 R_x 要根据相切情形而定: 当两圆外切时, $R_x = R_1 + R$, 如图 1-16b 所示; 当两圆内切时, $R_x = R_1 - R$, 如图 1-16c 所示。两圆弧的切点在连心线的延长线与已知圆弧的交点处。

2. 圆弧连接作图举例

在表 1-7 中, 列举了四种圆弧连接的作图方法和步骤。

表 1-7 圆弧连接作图举例

连接要求	作图方法和步骤		
	求圆心 O	求切点 K_1, K_2	画连接圆弧
连接相交两直线			
连接一直线和一圆弧			
外接两圆弧			
内接两圆弧			

第三节 徒手绘图的技法

徒手绘图就是不用尺规，仅采用铅笔和纸等工具，依靠目测的尺寸比例绘制图样。徒手绘制的图样称为草图。要快速准确地徒手绘图，除多练习之外，还需要掌握一些徒手绘图的基本方法。

一、徒手绘图的目的

对于工程技术人员来说，除了会用仪器画图、计算机绘图以外，还必须具备徒手绘制草图的能力。绘制草图通常适用于以下场合：

- 1) 设计新的设备时，常需用草图勾画出设计方案，以表达设计人员的构思。
- 2) 修配或仿制机器时，需在现场徒手测绘出草图，再依据草图绘制正规图。
- 3) 参观或技术交流时，也需要随时徒手画出草图，以便于思想交流和讨论。

二、绘图的基本要领

最初徒手绘图时，一般用较软的 HB 或 2B 型铅笔，铅芯磨成圆锥形，并最好在方格纸

上进行,利用格线来控制图线的平直和图形的大小。经过一定的训练后,便可在空白图纸上画出质量较好的图样。

徒手绘图时的握笔姿势如图 1-17 所示,有如下基本动作要领:

- 1) 握铅笔勿离笔尖太近,小手指及手腕不宜紧贴纸面,运笔力求轻松自然。
- 2) 画短线时用手腕运动,画长线时手臂沿画线方向移动,图纸可适当斜放。

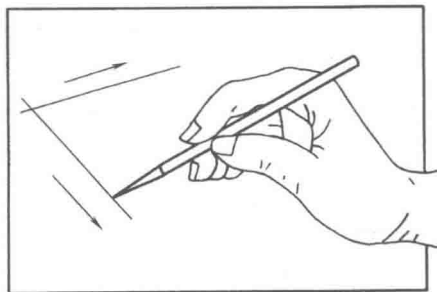


图 1-17 握笔姿势

三、绘图的基本技法

在进行徒手绘图时,应多练习直线、角度、圆、圆弧、椭圆等的画法,因为机件的各种图形大都是由这些基本图线所组成的。

1. 直线的画法

在画直线时,眼睛要注意线段的终点,使手腕沿线段方向轻轻移动,以保证直线画得平直,方向准确。徒手画直线、斜线的方法如图 1-18 所示。



图 1-18 徒手画直线、斜线的方法

对于具有 30° 、 45° 、 60° 等特殊角度的斜线,如图 1-19 所示,可按直角边的近似比例定出端点后,连成直线。

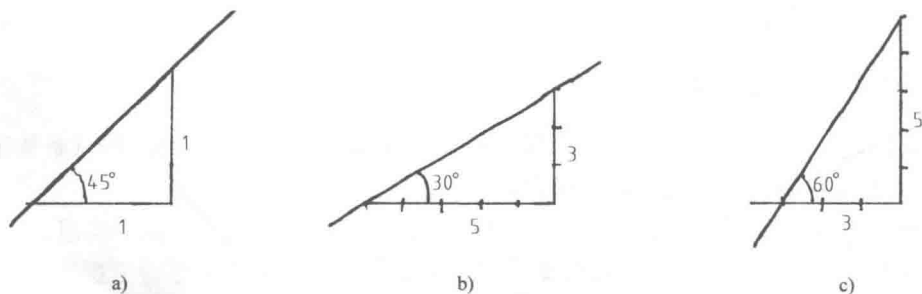


图 1-19 徒手画特殊角度斜线的方法

2. 圆的画法

在画小圆时,可按半径先在中心线上截取四点,然后分四段逐步连接成圆。而画大圆

时,除在中心线上截出四点外,还可通过圆心画两条与水平线成 45° 的射线,再取四点,分八段画出,如图1-20所示。

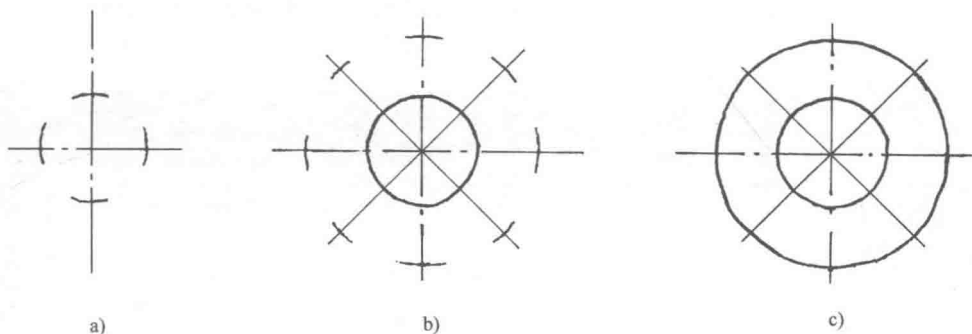


图 1-20 徒手画圆的方法

3. 椭圆的画法

徒手画椭圆的方法如图1-21所示,首先确定长短轴并作出矩形,然后画出椭圆。

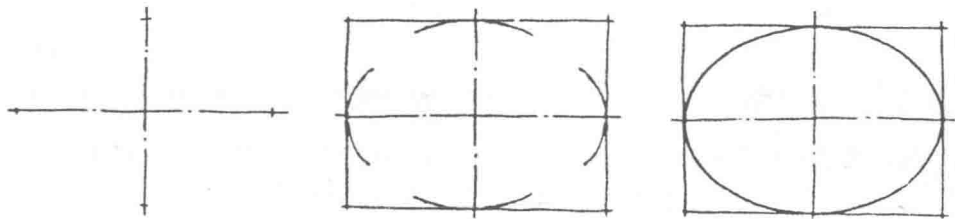


图 1-21 徒手画椭圆的方法

徒手画草图的步骤基本上与用仪器绘图相同。但草图的标题栏中不能填写比例,绘图时也不应固定图纸。完成的草图图形必须基本上保持物体各部分的比例关系,各种线型粗细分明,字体工整,图面整洁。

第四节 AutoCAD 绘图技术

计算机绘图是在计算机图形系统平台上完成产品设计中的制图过程。传统的产品设计结果通常表现为某种图样,图样作为设计思想的体现需要设计人员一笔一划手工绘制;即使产品改型设计中的少量修改,通常也需重新绘制图样。因此,相对于设计过程中的创新性思维,传统的制图工作是一项单调、低效的劳动。计算机绘图的优点是便于修改、设计结果易于交换及与现代制造技术相匹配。随着计算机设备性价比的大幅度提高、计算机图形处理技术的完善,计算机绘图已经成为常用的制图手段。

AutoCAD 是美国 Autodesk 公司推出的通用二维绘图、三维造型软件系统,是目前国内计算机中应用最广泛的绘图软件。本节对 AutoCAD 2014 中文版的二维绘图功能做较详细的介绍。

一、AutoCAD 绘图与编辑

图1-22是AutoCAD 2014中文版主界面。屏幕被分成绘图区、下拉菜单区、图标按钮