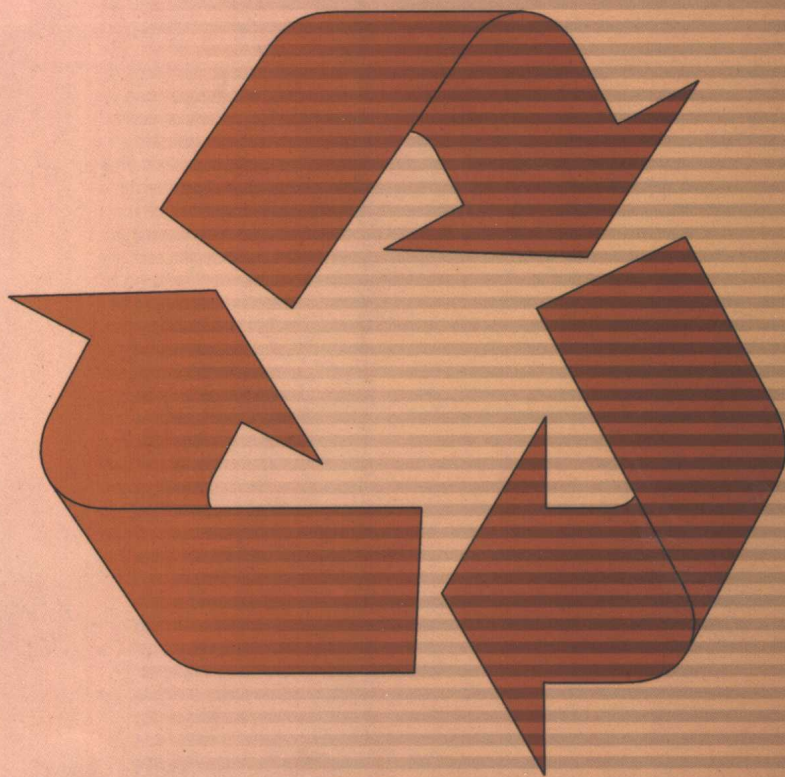


供用电工人技师培训教材

孙成宝 主编

送电线路

董恩普 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

供用电工人技师培训教材

孙成宝 主编

送 电 线 路

董恩普 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《供用电工人技师培训教材》是根据国家标准、电力行业标准、国家职业技能鉴定规范(电力行业)等标准规范中对职业技师(高级技师)人员的要求而编制的岗位技能培训、职业技能鉴定的成套教材,是严格紧扣和结合国家职业技师人员应具备的必备知识、技能要求和鉴定内容进行编写的,同时与《全国供用电工人技能培训教材(初、中、高)》相衔接的,强调以技能为核心,知识为技能服务、满足技能需要的原则,叙述技能要求时多采用范例说明的形式,宗旨在为全国供用电企业生产人员提供一套技师岗位技能培训和职业技能鉴定的教材。

本分册是《供用电工人技师培训教材》之一,共十二章,主要内容包括对送电线路工人、技师的知识要求和技能要求两大部分,具体内容编入了送电线路的施工、运行和检修三个方面的基础知识、专业知识、专业技能及相关技能。如制、绘图,机械力学基础,电气和力学基本计算知识,送电线路的测量、基础施工、杆塔及架线工程,线路运行检修及事故预防等方面。教材内还介绍了一部分施工、运行和检修的实例,以提高线路技师的组织能力和操作技能。为帮助技师学习,每章后还有思考题并另编有题解,以帮助加深理解教材内容。

本套教材是全国供用电企业生产技师人员岗位技能培训和职业技能鉴定的指定教材,本分册是送电线路技师人员培训教材,也可作为送电线路高级工、高级技师、技术人员和管理干部等参考教材。



图书在版编目(CIP)数据

送电线路/孙成宝主编;董恩普编. —北京:中国电力出版社, 2003.8

供用电工人技师培训教材

ISBN 7-5083-1616-9

I. 送… II. ①孙…②董… III. 输电线路-技术培训-教材 IV. TM726

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040103 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京密云红光印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 31.25 印张 766 千字

印数 0001—3000 册 定价 48.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)



《供用电工人技师培训教材》

前言

大力开展职工岗位技能培训和职业技能鉴定,提高供用电人员的岗位能力和生产技能,是当前电力企业教育培训的重点,也是提高劳动生产率和工作效率的重要手段。而岗位培训和技能考核的教材建设,是搞好培训、做好鉴定、提高素质、直接为生产人员服务的一项重要基础工作。

随着电力事业的发展,电力系统容量的增加,高压甚至超高压供电不断增多,新型供用电技术和设备不断涌现,对供用电人员提出更高要求。为了适应电力生产安全经济运行,提高供用电人员的技术素质和管理水平,由中国电力出版社组织、孙成宝主编的《供用电工人技师培训教材》,是供用电人员培训工作中的一件大事。

《供用电工人技师培训教材》具有的特点是:首先,本套教材的编写依据,是部颁《国家职业技能鉴定规范》、《电力工人技术等级标准》、《关于电力工人培训教材建设意见》以及有关电力生产岗位规范和新颁国家标准、电力行业标准。其二,严格与《全国供用电工人技能培训教材》(初级工、中级工、高级工)相衔接,内容两相呼应。其三,强调以技能为核心,知识为技能服务、满足技能需要的原则,叙述技能要求时多采用范例说明的形式,因此不仅适用于具有高中及以上文化程度的供用电工人高级工、技师或高级技师人员的培训,而且对现场工程技术人员也有参考价值。其四,本套教材编写、出版力量强,组织全国供电企业 30 多位专家和技术人员,他们有相当丰富的工作经验和专业理论水平。另外,作为全国首批认定的 15 家全国优秀出版社之一的中国电力出版社,领导亲自挂帅,组织 20 位编辑班子,精心策划,统一指导,精雕细刻,质量一流。

本套教材突出电力行业岗位培训和职业技能考核特点,针对性、适应性强,是全国供用电人员岗位技能培训和职业技能鉴定的理想教材。它的出版发行,必将对我国供用电人员培训与鉴定工作的有效开展和素质提高,产生积极的影响。

由于编写时间紧迫,编写人员水平有限,对本套教材疏误之处,恳请广大读者批评指正。

主 编

2003 年 5 月



《供用电工人技师培训教材》

编者的话

随着国民经济的高速发展和社会主义四个现代化进程的加快，我国的电力工业也有了迅猛发展，不但发电容量大大增加，而且电力系统和电力网建设也大大加强。为满足大容量、大电厂、大电网运行的安全性和可靠性，就必须有一支强大的有社会主义思想觉悟、有文化知识、有专业技术知识、有实际操作本领的电力工人队伍与之相适应。因此，加强电力工人的岗位培训是电力工业高速发展的一项重要工作，也是科教兴国的一件大事。

高压架空送电线路（简称架空送电线路）是电力系统的重要组成部分，它是传输电能的重要纽带，它直接影响着电力系统运行的安全性和可靠性，努力提高送电线路工人的文化素质、技术素质和操作本领尤其重要，特别是线路技师岗位上的工人，不但岗位级别高，而大都担任不同的职务，从班组长到工区领导，都是技术骨干，从施工、运行到检修都需要这些人去组织、去领导，甚至去亲自操作，因此提高技师岗位的专业知识和操作本领更为重要。随着劳动人事部《关于实行技师聘任制》实施，电力部门也需要积极的推行《技师聘任制》，从而更充分发挥工人技师在生产实践中的骨干作用。

为进一步提高技师的专业知识和操作本领，为使技师岗位有个统一标准，根据原电力部颁发的《电力生产人员培训制度》和原能源部颁发的《电力工人技术等级标准》送电线路技师岗位的技术等级标准有关技能部分（应会部分）的规定，按照《中华人民共和国职业技能鉴定规范》“送电线路技师鉴定内容”要求的规定，结合送电线路工的实际工作情况，特编写了《供用电工人技师培训教材》之“送电线路”一书，供送电线路工技师岗位培训之用，并为从事线路工作的高级工及有关技术人员参考。

本教材包括两大部分内容，共十二章。第一部分为知识要求，包括基础知识、专业知识及相关知识；第二部分是技能要求，包括基本技能、专门技能及相关技能。要求有的集中于专门章节，有的分布于有关章节，结合线路专业实际情况而编写。本教材概括了送电线路的施工、运行、检修三大部分，着重于对技师技能的要求并参考了有关资料的内容，对有些计算公式的推导过程给予了适当精简。在编写过程中，为达到操作工艺、规范要求及安全事项密切结合，将 DL/T 5092—1999《110～500kV 架空送电线路设计技术规程》、《110～500kV 架空送电线路施工及验收规范》、DL/T 741—2001《架空送电线路运行规程》、DL 5009.2—1994《电力建设安全工作规程》（架空电力线路部分）及 DL 5009.2—1994《电业安全工作规程》（电力线路部分）等规程结合各章节的内容分别编入，增加了各章节的完整性。

QAB56/57

由于编者实践经验及编写水平所限，不足之处恳请批评指正。

在编写过程中得到电力出版社的有关同志，沈阳电业局的孙成宝同志都给予了具体的帮助和指导，特别是聊城电业局和临清电业公司的有关同志给提供了相关资料，在这里表示衷心感谢。

编 者

2003 年 1 月



《供用电工人技师培训教材》

目 录

前言

编者的话

第一章 基础知识	1
第一节 识绘图基础知识	1
第二节 力学基础知识	19
第三节 架空送电线路设计有关问题	37
第四节 架空送电线路施工图	48
复习题	51
第二章 架空送电线路基本电气计算	52
第一节 架空送电线路基本参数	52
第二节 架空送电线路的电能损耗和电压降落	58
第三节 导线和避雷线截面的选择	62
第四节 架空送电线路的绝缘和空气间隙	67
第五节 架空送电线路的导线换位	72
复习题	74
第三章 架空送电线路的力学计算	75
第一节 气象条件的选择	75
第二节 导线的机械特性和比载	78
第三节 电线力学基本公式和各种档距计算	92
第四节 杆塔荷重计算	100
复习题	115
第四章 架空送电线路施工的全过程管理	116
第一节 施工全过程管理的概念	116

第二节	施工组织设计的编制	118
第三节	架空送电线路的施工工艺及“三大措施”计划	120
第四节	全面质量管理	123
第五节	施工质量检查	126
第六节	实行工程监理制, 确保施工质量达标	127
第七节	工程验收与移交	137
复习题		139
第五章	架空送电线路的测量	141
第一节	概论	141
第二节	线路测量用的主要器具和仪器	148
第三节	经纬仪的基本操作方法	149
第四节	红外测距仪简介	151
第五节	架空线路基本测量	156
第六节	架空送电线路施工的测量	163
复习题		172
第六章	架空送电线路的基础施工	173
第一节	线路基础概论	173
第二节	基础施工的校验计算	173
第三节	平整施工基面	178
第四节	基坑开挖与土石方工程	180
第五节	基础的操平找正	187
第六节	杆塔基础的混凝土工程	192
第七节	现浇混凝土基础施工	201
第八节	装配式预制基础施工	207
第九节	桩式基础施工	210
第十节	岩石基础施工	218
第十一节	嵌固式基础施工	220
复习题		222
第七章	杆塔的组装与起吊	224
第一节	起重工具和器械	224
第二节	杆塔工程施工的技术规定	248
第三节	杆塔组立以前的准备工作	251
第四节	混凝土电杆的地面组装	256
第五节	钢筋混凝土电杆的组立	261
第六节	铁塔的组装和起吊	278
第七节	外拉线抱杆分解组立铁塔	285

第八节 内拉线抱杆组立铁塔	292
第九节 倒落式人字抱杆整体立塔	300
第十节 倒装组立铁塔	302
第十一节 杆塔施工实例	306
第十二节 汽车吊立杆	311
第十三节 拉线及其安装	314
复习题	316
第八章 架空送电线路的架线工程	318
第一节 导、地线的展放	318
第二节 导线和避雷线的连接	349
第三节 紧线施工	363
第四节 附件的安装	381
复习题	387
第九章 接地工程	388
第一节 防雷接地的目的和要求	388
第二节 接地装置的施工与要求	389
第三节 接地电阻的测量	398
复习题	401
第十章 架空送电线路的运行管理	402
第一节 架空送电线路运行特点和运行任务	402
第二节 继电保护及安全自动装置在架空送电线路运行中的作用	403
第三节 架空送电线路的运行和维护	411
第四节 架空送电线路的巡视与检查	415
第五节 架空送电线路的维护与保护	418
第六节 架空送电线路的技术管理	421
第七节 触电及急救	427
复习题	432
第十一章 架空送电线路的检修	434
第一节 线路检修的目的和要求	434
第二节 检修工程的全过程管理	435
第三节 大修工程的三措计划	439
第四节 架空送电线路大修三措实例	442
第五节 架空送电线路的带电作业	445
复习题	450

第十二章	架空送电线路的季节性事故及其预防措施	451
第一节	概述	451
第二节	架空送电线路过电压和防雷	454
第三节	架空送电线路的防污工作	467
第四节	架空送电线路的防洪工作	473
第五节	架空送电线路的防风与防振	477
第六节	架空送电线路的防鸟害工作	481
第七节	架空送电线路防冰冻工作	482
第八节	架空送电线路的去树工作	485
复习题		486
参考文献		488



基础知识

随着电力系统的发展,发电厂高参数、大容量、大机组的投运,使送电线路也向着长距离、超高压、大容量的方向发展。建国初期我国送电电压为 35kV,东北电网为 154kV,1953 年我国第一条 220kV 送电线路(松李线)投运,把吉林水电站的水电送往辽宁,把当时一次网 154kV 升压为 220kV。此后,我国兴建了大量的 220、110、63kV 电压的铁塔、钢筋混凝土杆线路。1972 年配合刘家峡水电站的建设,第一条从刘家峡水电站到汉中变电所的全长 534km 的 330kV 超高压输电线路问世。1981 年又投运了第一条 500kV 送电线路(从平顶山姚孟电厂至湖北武汉凤凰山变电所,全长 595km)。接着于 1984 年又投运全部国产设备的第二条 500kV 超高压线路(东北董家—辽阳)。

在直流输电方面,从 1977 年第一条 31kV 直流输电工业性试验线路投运后,20 世纪 80 年代初开始了浙江舟山跨海直流输电工程建设,输送容量 5 万 kW 于 1987 年投运。我国第一条 ± 500 kV 直流输电,从湖北宜昌到上海奉贤县全长 1064km,于 1985 年动工到 1988 年初第一期工程投运,赶上了世界直流输电的水平。

我国架空送电线路的发展,已达到世界先进水平,现在正向着 750kV 或者更高一级的 1000kV 的目标发展。目前世界投入运行的最高电压等级的线路是原苏联的 750kV 线路。

由于我国能源政策正确贯彻和落实。目前我国已建成了大量的坑口电站和大型水利发电站,它们遍布于全国各地,因而高压和超高压送电线路迅速发展,通过送电线路的连接,使我国形成了几个大的电网,各网之间又紧密连接。为保证工农业生产和人民生活用电,提供了充足的电源,送电线路的作用愈来愈显得重要。从而对于送电线路的施工、运行和检修提出了更高的要求,不但要求线路工人、技师有牢固的基础理论知识,而且要求线路工人、技师有熟练的操作技能和运行水平,这就要求有关部门认真开展线路工人、技师的技能培训,使之适应电力事业发展的需要,确保电力线路的安全经济运行。

第一节 识绘图基础知识

一、制图的国标规定

(一) 图纸(图样)

所谓图纸(图样),就是用来表达设计意图、交流技术思想的重要工具,是工业生产的重要技术文件,也是工程界的技术语言。也就是工程技术上根据投影方法并遵照国家的规定绘制成的用于施工或产品制造等用途的图纸,叫做工程图样,简称图纸或图样。

(二) 图样的几个基本规定

1. 图纸幅面

为便于图样的绘制、使用和保管,图样应画在有一定格式和幅面的图纸上。按照 GB

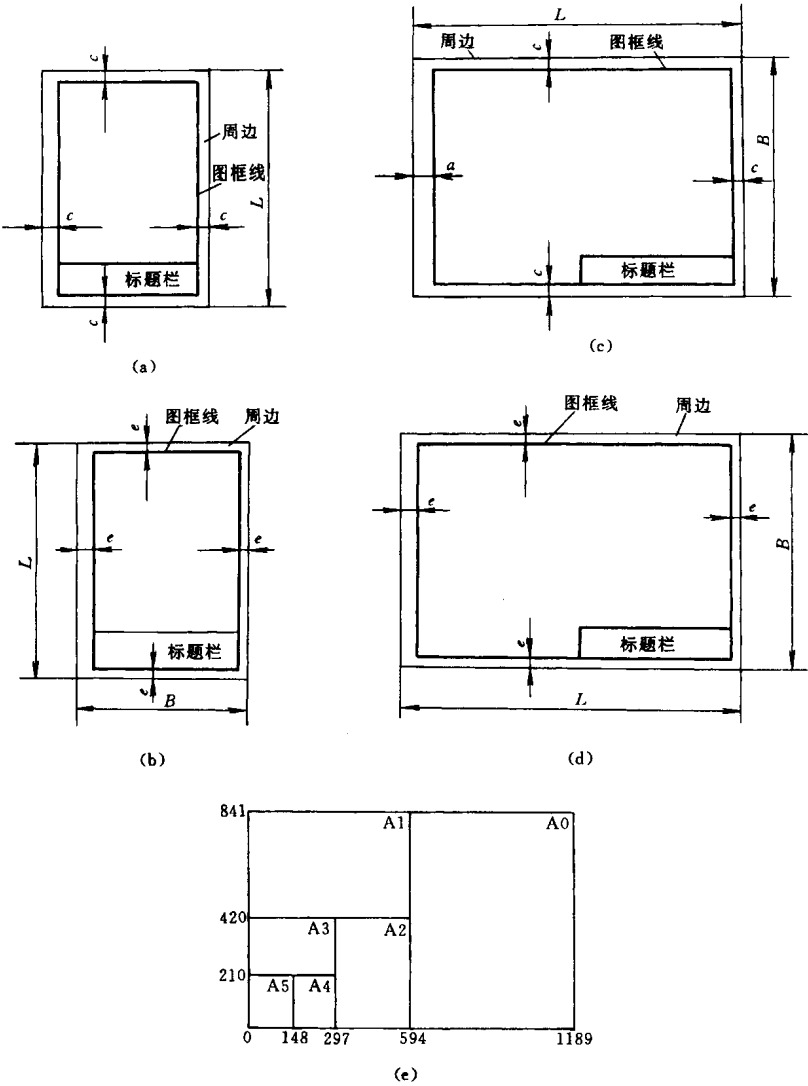


4457.1—1984、GB 4457.2—1984、GB 4457.3—1984、GB 4457.4—1984 的规定，图纸大小共有六种幅面，如表 1-1 所示。

表 1-1 图纸幅面的尺寸

幅面代号	A0	A1	A2	A3	A4	A5
$B \cdot L$	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297	148 × 210
a	25					
c	10			5		
e	20		10			

注：B、L、a、c、e 的含义如下：



绘制图样时，优先用表 1-1 中规定的幅面，必要时可沿长边加长。其 A0、A2、A4 幅面应按 A0 边长的 $\frac{1}{8}$ 的倍数增加；A1、A3 幅面的加长应按 A0 幅面短边的 $\frac{1}{4}$ 的倍数增加；A0、A1 的幅面也允许同时加长两边。

2. 图样的比例

图样中机件要素的线性尺寸与实际机件相应要素的线性尺寸之比，称为图形的比例。国家规定的绘制图形的标准比例如表 1-2 所示。

表 1-2 绘制图样的比例

与实物相同	1:1						
缩小的比例	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:4	1:5	1:10 ⁿ
	1:15 × 10 ⁿ	1:2 × 10 ⁿ	1:2.5 × 10 ⁿ	1:5 × 10 ⁿ			
放大的比例	2:1	2.5:1	4:1	5:1	(10 × n) :1		

注 n 为正整数。

这里特别说明以下几点：

- (1) 每张图样都要注出所画图形的比例。
- (2) 同一张图样上，若各图都采用相同比例时，在标题栏内的比例一栏内注明所用比例即可，如 1:1, 1:2, 5:1 等。
- (3) 同一张图样上，若个别图形（如局部放大图）选用的比例与标题栏所注比例不同时，对这个图形必须另行标注所用比例。
- (4) 图形不论放大或缩小，在标注尺寸时，应按机件的实际尺寸标注。同时还要注意带角度的图形，不论放大或缩小，均按原角度画出，因为平行、垂直（直角）以及角度等几何关系是不随所用比例而变化的。
- (5) 在绘制图形的直径或厚度小于 2mm 的孔或薄片以及较小的斜度和锥度时，可以将该部分不按比例而夸大画出。

- (6) 在表格图、空白图、草图中不必注比例。

3. 字体

图样上除了绘制机件的图形以外，还要用文字来填写标题栏及技术要求，用数字来标注尺寸等，所以文字和数字也是图样的重要组成部分。

按照国家标准规定，图样上和技术文件中所用汉字、数字、字母的字体和规格，要求书写时必须做到：字体端正，笔划清楚，排列整齐，间隔均匀。

- (1) 汉字。汉字规定用长仿宋体书写，并采用国家正式公布的简化汉字。一般仿宋体字 20、14、10、7、5、3.5 几种号数，字体的号数即为字体的高度（单位：mm），字体的宽度约等于高度的 $\frac{2}{3}$ 。

- (2) 数字和字母。图样上的数字和字母分直体和斜体两种。当与汉字混写时，宜用直体。斜体字字头向右倾斜与水平方向成 75°。

数字和字母有 20、14、10、7、5、3.5、2.5 七种号数，字的号数即为该字的高度（ H ）。字高（ H ）：字宽（ B ）= $\sqrt{2}:1$ ，即字宽约为字高的 $2/3$ 。

图样中的数字用阿拉伯数字；图样上的代号常用拉丁字母（汉语拼音字母），有大写、小写和直体、斜体之分。

4. 尺寸的标注方法

- (1) 基本规则。机械的实际大小应以图样上所标注的尺寸为依据，与图形大小及绘图的准确度无关。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。



在机械图样(包括技术要求和其他说明)中的直线尺寸规定以毫米为单位,不需再在尺寸数字后面标注计量单位的代号或名称,如果是其他单位如英寸、角度、弧长等,则必须注明。

(2) 尺寸界限、尺寸线、箭头、尺寸数字。

1) 尺寸界限——用来表示所注尺寸的范围。尺寸界限用细实线绘制,并应自图形的轮廓线、轴线或中心线处引出,尽量引画在图外并超出尺寸线末端约 2mm。有时也可借用轮廓线、轴线或中心线作为尺寸界线。尺寸界线一般应与所标注的线段垂直,即与尺寸线垂直。必要时允许倾斜,但两尺寸界线仍互相平行,如图 1-1、图 1-2 所示。图 1-2 也表示有圆角处的尺寸界限引出方法。

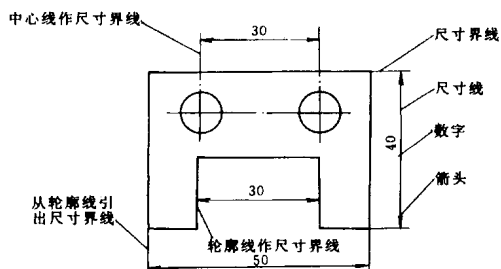


图 1-1 尺寸的组成部分

角度的尺寸线应沿径向引出,弧长及弧长的尺寸界线应平行于弦的垂直平分线,如图 1-3 所示。

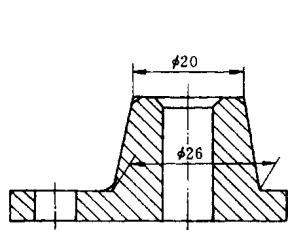


图 1-2 斜线引出的尺寸界线

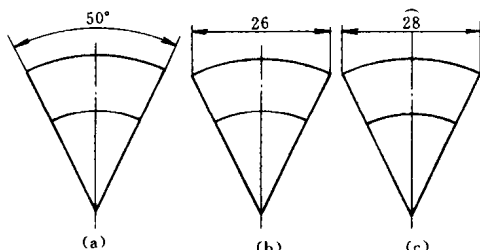


图 1-3 角度、弦长、弧长的尺寸界线和尺寸线
(a) 角度; (b) 弦长; (c) 弧长

- 2) 尺寸线——用来表示尺寸度量的方向。尺寸线用细实线绘在尺寸界限之间。
- 3) 箭头——用以表示尺寸的起止。
- 4) 尺寸数字——用以表示所注机件的实际尺寸。

表 1-3 为常用的尺寸注法示例。

表 1-3 常用的尺寸注法示例

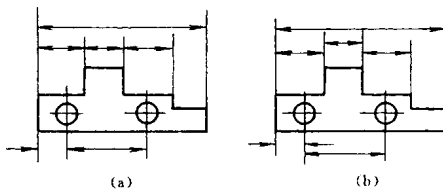
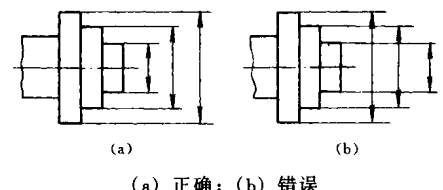
	图 例	说 明
直线尺寸的标注	 (a) 正确; (b) 错误	串列尺寸, 箭头对齐
	 (a) 正确; (b) 错误	并列尺寸, 小在内、大在外, 尺寸线间隔不小于 7~10mm

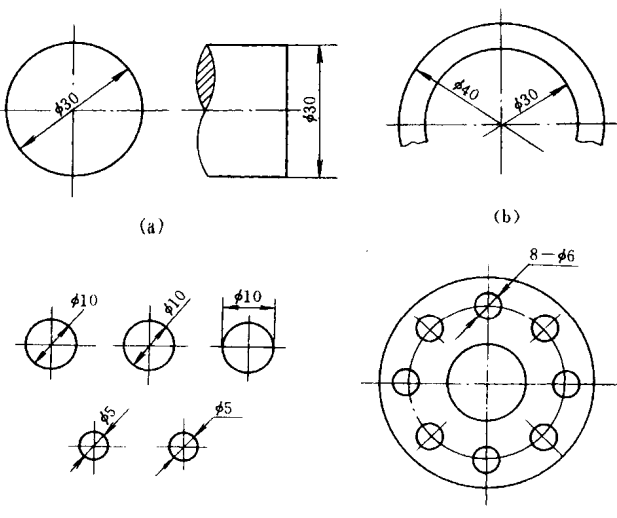
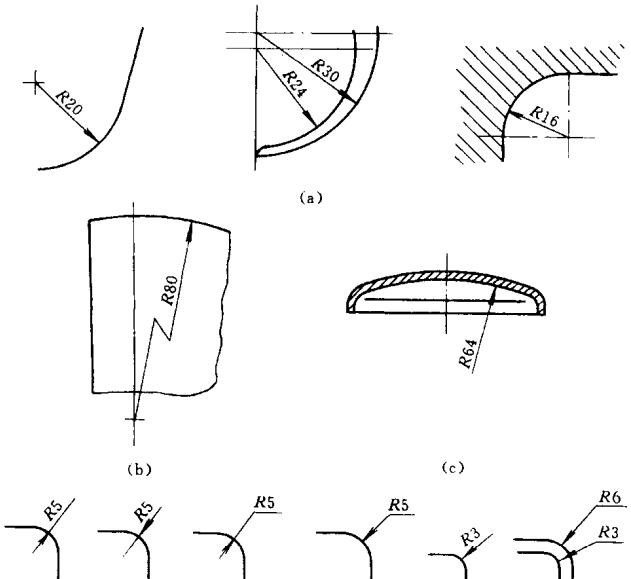
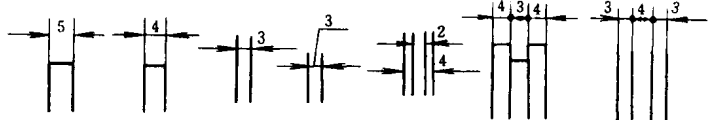
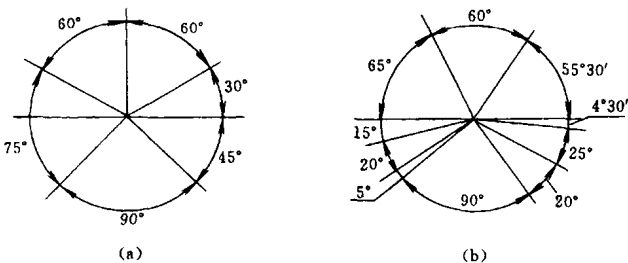
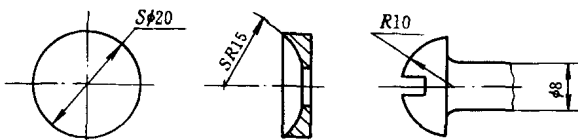
	图 例	说 明
圆的直径尺寸标注	 (a) 基本注法; (b) 不完整圆注法; (c) 小圆注法; (d) 圆周上均布小孔直径注法	在圆的直径尺寸数字之前, 应注出直径代号“ ϕ ”
圆弧尺寸注法	 (a) 半径尺寸一般注法: 单箭头的尺寸线, 通过圆心, 指向圆弧; (b) 用折线缩近, 示意地画出圆心位置; (c) 不画出圆心位置; (d) 地位不够或小圆弧尺寸的引出注法	在圆弧的半径尺寸数字之前, 应注出半径代号“ R ”
狭小部位直线尺寸注法	 狭小部位直线尺寸的标注, 可将箭头画在尺寸界线外侧, 尺寸数字优先写在右边箭头上方或引出标注; 或用圆点或斜线代替箭头	

	图 例	说 明
角 度		标注角度的数字, 一律水平填写在尺寸线的中断处, 见图 (a) 必要时可以写在尺寸线的上方或外面, 也可以引出标注, 见图 (b)
球 体		应在 ϕ 或 R 前加注符号“S” 不致引起误解时则可省略符号“S”

二、几何作图的基本知识

图样中的图形都是由直线、圆弧、圆等构成的各种几何图形的组合。为了确保绘图的质量, 提高绘图速度, 除了要正确使用绘图工具外, 还要熟练的掌握各种几何作图方法。只有这样, 才能运用计算机绘图, 这里还要懂得常见的几何作图方法。

(一) 任意等分线段

1. 试分法

如图 1-4 所示, 欲将线段 AB 分成 5 等份, 先将分规取约 AB 的 $\frac{1}{5}$ 长, 在线段上试分 5 下, 得 C 点。点 C 在 B 点之内, 说明第一次试分的每段长偏小。然后, 再将分规调大, 增大量为 BC 的 $\frac{1}{5}$, 再进行试分。这样, 反复几次使其逐步逼近, 即得 5 等份。

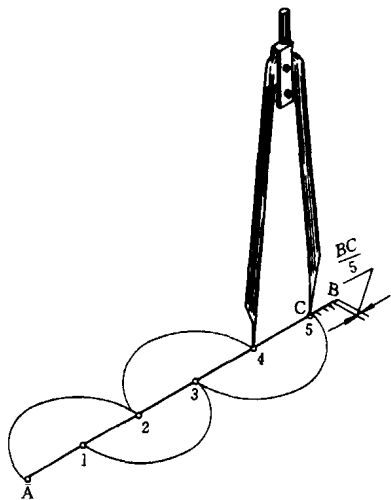


图 1-4 试分法等分线段

2. 平行线法

将 AB 线段任意等分 (如 5 等份) 具体作图方法如图 1-5 所示。

(二) 等分圆周和作正多边形

1. 四、八等分圆周

四等分圆周的画法如图 1-6 所示, 用丁字尺紧贴图板左边并通过圆心, 在圆周上得 1, 2 点, 如图 1-6 (a) 所示, 再将丁字尺下移至圆周之下, 用三角板紧靠丁字尺, 直角也通过圆心, 在圆周上得 3, 4 点, 则 1, 2, 3, 4 点将圆周四等分, 如图 1-6 (b) 所示。

八等分圆周的画法如图 1-7 所示, 在四等分的基础上, 用丁字尺与 45° 的三角板配合使用, 三角板斜边通过圆心, 与圆周交 5、6 点, 如图 1-7 (a) 所示。将三角板转 180°, 斜边通过圆心, 与圆周交 7、8 点, 则 1、2、

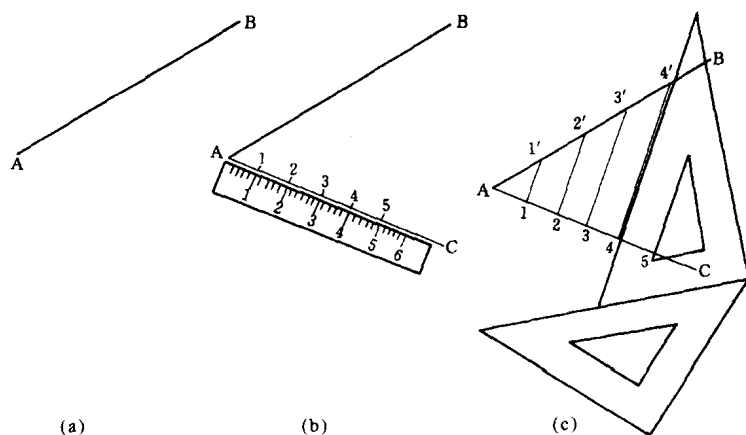


图 1-5 平行线法等分线段

(a) 已知线段；(b) 过 A 作任意直线 AC，用直尺在 AC 上取长度的 5 等分点 1、2、3、4、5；(c) 连 B5，过 1、2、3、4 点，作直线平行 B5 交 AB 于 1'、2'、3'、4' 点，即得 5 等份

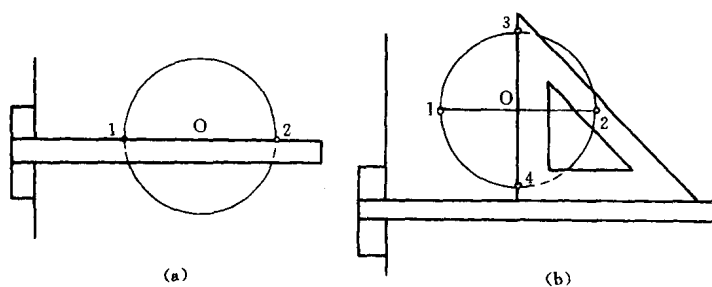


图 1-6 四等分圆周

(a) 步骤 1；(b) 步骤 2

…、7、8 点即为所求之八等分点，如图 1-7 (b) 所示。

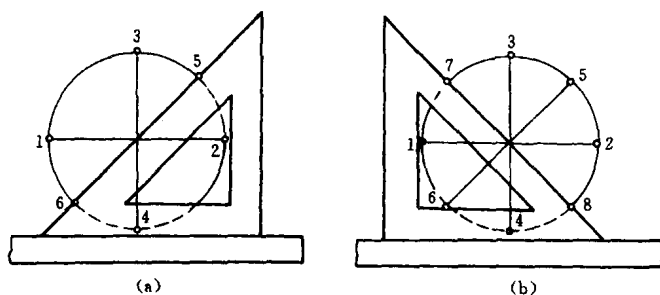


图 1-7 八等分圆周

(a) 步骤 1；(b) 步骤 2

2. 三、六等分圆周

三、六等分圆周又分为用圆规等分圆周和用三角板丁字尺等分圆周。

