



面向21世纪高职高专电类系列规划教材

电气工程基础

北京希望电子出版社 总策划
沈忆宁 主 编
陈丽琴 主 审




科学出版社
www.sciencep.com



面向21世纪高职高专电类系列规划教材

电气工程基础

北京希望电子出版社 总策划
沈忆宁 主 编
陈丽琴 主 审

 科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书针对高等职业技术教育“非电”类专业学生的教学,以培养生产一线的高级技术应用人才为目标,主要介绍电能在生产技术领域的应用。内容包括:电路基础、电机与变压器、电力拖动及工业电子学等内容。

该书突出体现职教特色,加强实践教学环节。理论知识以“必需、够用”为度,适当降低理论分析难度,增加实际应用方面的内容,强调操作技能的培养,适合采用多媒体和现场教学。教学时数控制在80至100学时。

本书适合作为高职高专院校电类、非电类等相关专业的教材,也可作为有关专业技术人员的参考书。

需要本书或技术支持的读者,请与北京清河6号信箱(邮编:100085)发行部联系,电话:010-82702660 010-82702658 010-62978181转103,传真:010-82702698, E-mail: tbd@bhp.com.cn。

图书在版编目(CIP)数据

电气工程基础 / 沈忆宁主编. —北京: 科学出版社,
2006.9

(面向21世纪高职高专电类系列规划教材)

ISBN 7-03-018021-6

I. 电... II. 沈... III. 电气工程—高等学校: 技术
学校—教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第107210号

责任编辑: 刘振敏 / 责任校对: 娄 艳
责任印刷: 媛 明 / 封面设计: 刘孝琼

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>

北京市媛明印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2006年9月第一次印刷 印张: 17 5/8
印数: 1-3000册 字数: 403 000

定价: 28.00元

面向 21 世纪高职高专电类系列规划教材编委会

主任：沈复兴 北京师范大学信息科学学院院长

副主任：杜建根 河南工业职业技术学院副院长

刘小芹 湖北武汉职业技术学院副院长

刘南平 天津职业大学电子信息工程学院副院长

李晓明 江苏扬州工业职业技术学院副院长

唐汝元 湖南张家界航空职业技术学院副院长

陆卫民 中国科学出版集团北京希望电子出版社社长

委员：（按姓氏笔画为序）

及德增 尹立贤 申 勇 全卫强 刘 松 刘明伟
孙胜利 朱运利 朱国军 何 萍 余 华 宋嘉玉
张大彪 张惠明 李节阳 汪临伟 沈艳辉 肖伸平
唐春霞 黄新民 韩全立

秘 书：李节阳

总 序

一本好书，是人生前进的阶梯；一套好教材，就是教学成功的保证。为满足培养应用型人才的需要，我们成立了本编委会。在明确高职高专应用型人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系的框架下，我们组织编写了本套规划教材。

为了使本套教材能够达成目标，编委会做了大量的前期调研工作，在广泛了解各高职高专的教学现状、学生水平、培养目标的情况下，认真探讨了课程设置，研究了课程体系。为了编写出符合教学需求的好教材，我们除了聘请一批有关方面的知名专家、教授作为本套教材的主审和编委外，还组织了一批具备较高的学术水平、丰富的教学经验、较强的管理实践能力的学术带头人和骨干教师来承担具体编写工作，从而编写出特色鲜明、适用性强的教材，以真正满足目前高职高专应用型人才培养的需要。教材编写采用整体规划、分步实施、在实践中检验提高的方式，分期分批地启动编写计划。编写大纲以及教材编写方式的确定均经过编委会多次认真讨论，以确保该套教材的高质量和实用性。

本套规划教材的主要特点是：

(1) 以服务教学为最高宗旨，认真做好教学内容的取舍、教学方法的选取、教学成果的检验工作。本套教材在教学过程中的有益反馈，都将及时体现在后续版本。

(2) 充分考虑高职高专的人才培养目标，充分吸取已有教材的优点，并注意有所创新。在阐述好基本理论的基础上，突出务实；努力做到内容新颖，科学规范，结构严谨，理论联系实际。

(3) 教材中注意结合当前的具体问题做出分析，使学生能比较熟练地应用所学知识解决实际问题；从而努力做到既注重培养学生分析问题的能力，更注重培养学生解决问题的能力。

(4) 教材在内容编排上，力求由浅入深，循序渐进；举一反三，突出重点；语言简练，通俗易懂。采用模块化结构，兼顾不同层次的需求，在具体授课时可根据具体教学计划适当取舍内容。

(5) 大部分教材配有电子教案，从而更好地服务教学。

为编写本套教材，作者们付出了艰辛的劳动，编委会的各位专家进行了悉心的指导和认真的审定。从书中参考、借鉴了国内外同类的优秀教材和专著，在此一并表示感谢。

我们衷心希望更多的优秀教师参与到教材建设中来，真诚希望广大教师、学生与读者朋友在使用本丛书过程中提出宝贵意见和建议。

若有投稿或建议，请发电子邮件到 textbook@bhp.com.cn。谢谢！

面向 21 世纪高职高专电类系列规划教材编委会

前 言

本书是针对高等职业技术教育“非电”类各专业的学生编写而成。介绍了电能在生产技术领域中的应用，可适用于：机械制造、数控技术、热处理、铸造、模具、焊接、汽车制造与维修等工业生产上各“非电”专业的教学与实训。教学目标是使学生掌握电工技术和电子技术的基本知识、基本技能及其在相关专业的应用。初步了解相关专业的电气设备及其在工业生产上的应用。具有识读工业生产中各电气控制系统的能力和测试电器元件、排除线路故障的能力。

本教材的主要特点是：

1. 针对当前提倡的高职技术培养模式，以高中后两年制学生为主要培养对象，同时兼顾高中后三年制和初中后五年制学生，对电工和电子技术知识进行筛选，选取最基本的概念、技能及其在工业生产上应用的内容。作为“两年制”学生的必修内容，适当增加部分扩展知识作为三年制学生选修内容。

2. 以培养生产一线的高级技术应用人才为目标，体现职教特色，加强实践教学，各章节都加入一定的实验课内容、课后习题，也增加一定的实验、实践内容，并加入了一章介绍电工技能实训的内容。

3. 理论知识以“必需、够用”为度，从高职人才培养的目标出发，降低理论难度、理论分析的难度和定量计算，增加实际应用方面的内容，强调操作技能的培养。

4. 适当加入多媒体和现场教学，强调技能培养，强调实际应用，尽量让学生动手，提高学生的理解力，增强学生综合运用能力和实践动手能力。

该教材教学时数为 90 或 100 学时，可根据教学实际情况作适当调整，各章节学时分配见下表。

学时分配表

章	内 容	课 时	学 时 分 配		
			讲 课	实 验	现场教学
0	绪 论	1	1		
1	直 流 电 路	14	10	4	
2	电磁现象及应用	6	6 (4)		
3	正弦交流电路	16	12 (10)	4	
4	电机与变压器	7	3		4 (2)
5	电 力 拖 动	6			6
6	半导体器件的基本知识	6	4	2	

(续表)

章	内 容	课 时	学 时 分 配		
			讲 课	实 验	现场教学
8	晶体管放大电路	8	6	2	
9	数字电路基础	12	8	4	
10	基本数字部件	8	6	2	
第四篇	电工技能实训部分	8			8 (4)
总 计		100 (90)	62 (58)	20	18 (12)

本书由包头职业技术学院组织编写，沈忆宁主编，陈丽琴主审。参加编写的有沈忆宁（第4章），陈丽琴（第2、5章），王炳艳（第6、9、10章），马晓宇（第1、7章），杨静萍（第3、8章），李耀武（实验、实训）。

本书在编写过程中参考了许多有关教材（详见主要参考文献），在此谨向这些教材的编写者表示感谢。

由于编写水平有限，错误和不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪论.....	1
---------	---

第一篇 电工基础

第1章 直流电路.....	5
1.1 直流电路的基本概念.....	5
1.1.1 电路和电路图.....	5
1.1.2 电路的基本物理量.....	6
1.1.3 电路的三种状态.....	13
1.2 简单电路.....	15
1.2.1 欧姆定律.....	15
1.2.2 电阻的串联、并联和混联电路.....	18
1.3 复杂电路.....	22
1.3.1 电路的有关术语.....	23
1.3.2 基尔霍夫定律.....	23
1.3.3 支路电流法.....	24
习题.....	26
第2章 电磁现象及其应用.....	33
2.1 磁的基础知识.....	33
2.1.1 电流的磁场.....	33
2.1.2 磁场的基本物理量.....	34
2.1.3 铁磁材料.....	34
2.2 电磁铁.....	35
2.2.1 电磁铁的作用和分类.....	35
2.2.2 直流电磁铁的工作原理.....	35
2.3 电磁感应.....	36
2.3.1 直导体中的感应电动势.....	37
2.3.2 线圈中的感应电动势.....	38
2.3.3 自感.....	39
2.3.4 互感.....	40
习题.....	41
第3章 正弦交流电路.....	43
3.1 正弦交流电路的基本概念.....	43
3.1.1 交流电概述.....	43
3.1.2 正弦交流电的三要素.....	44
3.1.3 相位差.....	46

3.1.4 有效值.....	46
3.1.5 正弦交流电的相量表示法.....	47
3.2 单相交流电路.....	48
3.2.1 概述.....	48
3.2.2 纯电阻电路.....	49
3.2.3 纯电感电路.....	50
3.2.4 纯电容电路.....	53
3.2.5 电阻、电感和电容器串联电路.....	58
3.3 三相交流电路.....	63
3.3.1 三相交流电动势的产生.....	63
3.3.2 三相电源的星形连接(Y).....	64
3.3.3 三相负载的连接.....	66
3.4 安全用电.....	70
3.4.1 触电对人体的伤害.....	71
3.4.2 触电的原因和方式.....	71
3.4.3 安全措施.....	72
3.4.4 安全用电注意事项.....	73
3.4.5 触电的紧急救护.....	73
习题.....	74

第二篇 电力拖动

第4章 电机与变压器.....	81
4.1 变压器.....	81
4.1.1 变压器的基本构造.....	81
4.1.2 变压器变换电压的作用.....	82
4.1.3 变压器变换电流的作用.....	84
4.1.4 变压器变换阻抗的作用.....	84
4.2 直流电机.....	85
4.2.1 直流电机的基本原理.....	85
4.2.2 直流电机的构造.....	86
4.2.3 直流电机按励磁方式的分类及额定值.....	88
4.3 三相交流异步电动机.....	88
4.3.1 异步电动机的构造.....	89
4.3.2 旋转磁场.....	90

4.3.3	异步电动机的运转原理	92
4.3.4	三相异步电动机的起动	93
4.3.5	三相异步电动机的反转和制动	94
	习题	95
第5章	电力拖动	99
5.1	常用的低压电器	99
5.1.1	熔断器	99
5.1.2	刀开关	100
5.1.3	组合开关	101
5.1.4	按钮	101
5.1.5	自动开关	102
5.1.6	交流接触器	102
5.1.7	继电器	103
5.1.8	行程开关	106
5.2	鼠笼式异步电动机直接起动控制线路	107
5.3	鼠笼式异步电动机正反转控制线路	110
5.3.1	接触器联锁正反转控制线路	110
5.3.2	按钮和接触器双重联锁 正反转控制线路	111
5.4	鼠笼式异步电动机位置控制线路	111
5.5	鼠笼式异步电动机时间控制线路	113
5.5.1	定子绕组串电阻(或电抗器) 降压起动控制线路	113
5.5.2	星形—三角形降压起动控制线路	113
	习题	114

第三篇 工业电子学

第6章	半导体器件的基本知识	119
6.1	晶体二极管	119
6.1.1	半导体基础知识	119
6.1.2	晶体二极管的结构及类型	120
6.1.3	晶体二极管的伏安特性	121
6.1.4	晶体二极管的主要参数	121
6.1.5	晶体二极管的简易测试	122
6.1.6	硅稳压二极管和发光二极管	123
6.1.7	晶体二极管的型号命名	123
6.2	晶体三极管	124
6.2.1	晶体三极管的结构原理	124
6.2.2	晶体三极管三个电极间的电流	

	关系和电流放大作用	125
6.2.3	晶体三极管的特性曲线	126
6.2.4	晶体三极管的主要参数	128
6.2.5	晶体三极管的简易测试	129
	习题	131
第7章	整流与直流稳压电路	134
7.1	整流与滤波电路	134
7.1.1	单相半波整流电路	134
7.1.2	单相桥式全波整流电路	136
7.1.3	滤波电路	138
7.2	直流稳压电路	140
7.2.1	稳压管并联型稳压电路	140
7.2.2	晶体管串联型稳压电路	141
7.3	集成稳压器	143
	习题	145
第8章	晶体管放大电路	149
8.1	低频电压放大电路	149
8.1.1	概述	149
8.1.2	低频小信号电压放大器	150
8.2	多级放大器	155
8.2.1	级间耦合方式	155
8.2.2	阻容耦合多级放大器	156
8.3	集成运算放大器	158
8.3.1	运算放大器的组成	158
8.3.2	理想运放的特性	159
8.3.3	运算放大器的应用	160
	习题	164
第9章	数字电路基础	168
9.1	脉冲数字电路的基本概念及二进制数	168
9.1.1	脉冲的基本概念	168
9.1.2	数制与码制	169
9.1.3	脉冲电路与数字电路概念	171
9.2	晶体管开关电路	171
9.2.1	二极管开关电路	171
9.2.2	三极管开关电路	172
9.2.3	三极管开关电路应用举例	173
9.3	门电路	173
9.3.1	基本门电路	173
9.3.2	集成“与非”门	178

9.4 集成触发器.....	179
9.4.1 RS 触发器.....	179
9.4.2 JK 触发器.....	182
9.4.3 D 触发器.....	184
9.4.4 555 定时基本电路.....	185
习题.....	186
第 10 章 基本数字部件.....	190
10.1 计数器.....	190
10.1.1 二进制计数器.....	190
10.1.2 十进制计数器.....	191
10.2 寄存器.....	193
10.2.1 数码寄存器.....	193
10.2.2 移位寄存器.....	194
10.3 译码器.....	194
10.3.1 二进制译码器.....	194
10.3.2 二—十进制译码器.....	196
10.3.3 数字显示电路.....	196
习题.....	202

第四篇 实验实训

实验部分.....	207
实验 1 万用表测量技术.....	207
实验 2 验证基尔霍夫定律.....	208
实验 3 同名端的测定.....	210
实验 4 三相交流电路.....	211
实验 5 晶体三极管极性判别及特性测试.....	213
实验 6 单相整流和滤波电路.....	215
实验 7 单管电压放大器.....	218
实验 8 基本逻辑门电路.....	220
实验 9 触发器.....	221
实验 10 译码显示电路.....	225
电工技能实训部分.....	227

常用工具及仪表的使用.....	227
一、验电器、剥线钳、电烙铁等工具 的使用.....	227
二、功率表的使用.....	227
三、电能表（又称电度表）的使用.....	228
四、兆欧表的使用.....	229
五、万用表.....	230
六、技能实训：低压验电笔的使用， 三相异步电动机的绝缘测试.....	231
电工基本技能训练.....	232
一、电气识图训练.....	232
二、电子元件的识别与焊接.....	234
三、技能实训：电阻及电容的测试.....	236
电动机的安装维修与故障处理.....	236
一、三相鼠笼式异步电动机的拆装.....	237
二、技能实训：小型三相异步电动机 的拆装训练.....	241
常用生产机械电气控制线路的故障 分析与处理.....	242
一、通电检查法.....	242
二、断电检查法.....	243
三、车床常见故障分析与处理.....	244
四、铣床常见故障分析与处理.....	246
五、技能实训：车床电气控制线路的接线及 简单故障排除.....	249
附录 I 半导体器件的型号命名与主要 参数简介.....	251
附录 II 半导体集成电路的型号命名 与主要参数.....	258
附录 III 部分习题参考答案.....	263
参考文献.....	272

绪 论

一、电能的应用

电气工程基础是研究电能在生产技术领域中的应用的一门技术基础课程。电能的应用及其广泛，现代一切新的科学技术的发展，无不与电有着密切的关系。

电能的应用，在生产技术上曾引起了划时代的革命。在现代工业、农业及国民经济的其他各个部门中，逐渐以电力作为主要的动力来源。工业上的各种生产机械（如机床、起重机械、轧钢机、锻压和铸造设备、鼓风机、水泵等）主要使用电动机来驱动。在机械制造工艺上，如电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼金属、电蚀加工、超声波加工、电子束和离子束加工等，都是电能的应用。对生产过程中所涉及的一些物理量（如长度、速度、压力、温度、水位、流量等），都可用电的方法来测量和进行自动调节，以实现生产过程的自动化。在农业生产上广泛采用电力排灌设备，粮食和饲料的电力加工装置；在交通运输方面的电气机车、电车和轮船、飞机、汽车上的电气设备；在日常生活中的电灯、电话、电影、电视及各种家用电器等，所有这些都离不开电能。

在自动控制方面，电工技术的应用正在日益发展。例如，数控机床是由数字控制的自动加工机床。它把机床的各种动作和被加工零件的尺寸都用数码表示出来，通过计算机整理、变换，而后发出相应的指令去控制机床的动作，完成加工任务。数控机床是将计算机用于机械加工的典型事例，它大大提高了机械加工的精度、复杂程度和劳动生产率。机床的数控技术已成为现代机床技术水平和设计、制造能力的重要标志，是实现工业现代化的一种重要技术措施。

电能之所以得到广泛应用，是因为它具有无可比拟的优越性。电能的优越性主要表现在下列三个方面：

1. 易于转换 电能可以通过水能（水力发电）、热能（火力发电）、原子能（原子能发电）、化学能（电池）及光能（光电池）等转换而得。同时，也可以将电能转换为其他所需要的能量形态，如利用电动机将电能转换为机械能，利用电炉将电能转换为热能，利用电灯将电能转换为光能，利用扬声器将电能转换为声能。电能自己也可以转换。如利用整流器将交流电能转换为直流电能，利用振荡器将直流电能转换为交流电能。此外，工业生产中为了实现自动控制和调节，也可以利用各种传感器将非电信号（如温度、压力、流量等）的变化转换为电信号。

2. 易于输送 作为能量，高电压远距离输送电能时，损失小、效率高，并且容易分配到各个用电设备上去。作为电信号不但可在线路中迅速、稳定、准确地传输，且可用电磁波的形式在空间传播。

3. 控制和测量方便 对电能和电信号的有关量值可以准确而迅速地进行测量和控制。利用电信号还可以对电量以及各种非电量进行遥控和遥测（如对人造卫星的监测等）。这些都为自动化生产提供了有利条件。

二、学习本课程的目的和方法

电气工程基础是近年来电类技术基础课程综合化的一门学科，其内容包括电工基础、工业电子学、电力拖动三部分。

为适应高等职业教育，培养具有很强实践能力的应用型高级技术人才。电气工程基础着重培养学生解决现场电气技术问题的能力，并为学生学习后续专业课，提供所需的电气基础理论。

电气工程基础是一门理论性和实用性较强，与生产实际有密切联系的课程，因此在学习中应特别注意“出理入工”。所谓“出理入工”有两个含义：一是在学习中要特别注意物理电学与电气工程基础的联系与区别。电气工程基础中的某些内容是以物理电学为基础的，但又与其有本质的区别。物理电学研究电磁现象及其规律，而电气工程基础为电磁现象在生产实践中的应用服务。所以物理电学突出一个“理”字，而电气工程基础则要突出一个“工”字。另一个含义是电气工程基础，要解决工程实际问题，其学习方法应避免单纯的理论推导，要注重利用理论分析实际问题，注意培养提高自己分析问题、解决问题以及自学的能力。

第一篇 电工基础

第 1 章 直流电路

1.1 直流电路的基本概念

1.1.1 电路和电路图

1. 电路

电路是电流流过的路径。复杂电路呈网状，所以电路又称网络。

电路是由某些电器设备和元件按一定方式连接组成的。无论怎样简单或复杂的电路都可认为是由电源、负载和中间环节三部分构成的。电源是给电路提供电能的设备，是电路工作的能源或信号源，如各种发电机和电池；负载是用电设备，在电路中吸收电能或输出信号，如照明灯、电饭锅、洗衣机等各种电器及工厂的电动机；中间环节是指电源与负载之间的部分，且根据电路作用、需要而接不同的元件，通常由起着引导和控制或测量作用的器件构成，如一些简单电路的连线和开关，及一些复杂电路中信号的接收、传递和处理电路等。对电源来讲，负载和中间环节称作外电路，电源内部的电路称作内电路。

图 1.1 是最简单的照明电路，电源是干电池，负载是灯泡，中间环节由导线和开关构成。电源和用电器之间用两根导线连接构成回路的连接方式称双线制。在汽车上，为了节省导线和便于安装、维修，电源和用电器之间通常只用一根导线连接，另一根导线则由车体的金属部分代替而构成回路。这种连接方式称为单线制，如图 1.2 (a) 所示。采用单线制时，汽车电源（是蓄电池）的一端接到车体上，我们称它为接地，用符号“⊥”表示。按电源接地的极性可分为正接地和负接地。图 1.2 (b) 所示为负极接地的单线制电路图。由于负极接地时对无线电干扰较小，所以世界各国的汽车采用负极接地较多，我国亦是如此。

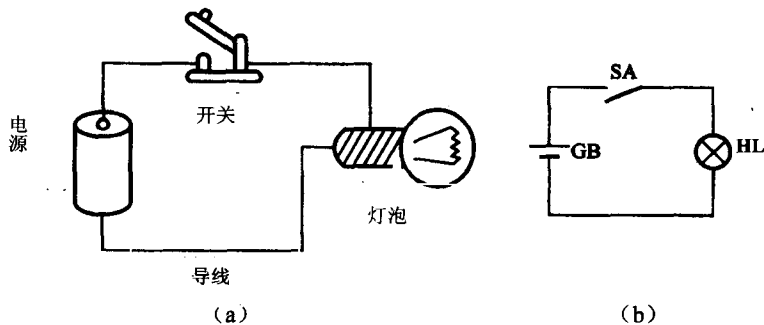


图 1.1 最简单的照明电路图

电路的作用可分为两种，一种是实现电能的传输和转换，各类电力系统都属于这一类作用；另一种是实现信号的传递处理，如电子技术中的放大器、整流电路等等。

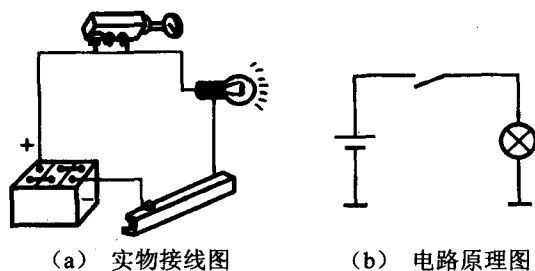


图 1.2 汽车照明电路的单线图

2. 电路图

为了便于对实际电路进行分析计算，忽略电路元器件的次要因素，将其理想化，并用规定的电气图形符号表示所画成的电路图称为电路原理图。实际中电气设备的安装和维修都是依据电路原理图进行的，很少使用实物接线图。电路原理图也简称为电路图。图 1.1 (b) 是图 1.1 (a) 的电路原理图。国家颁布了统一的图形符号来规范电路图。表 1.1 为电路图中常用的图形符号。

表 1.1 常用电工图形符号

图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称
	S或SA	开关		R	电阻			接机壳
	GB	电池		RP	电位器			接地
	G	发电机		C	电容			端子
	L	线圈		PA	电流表			连接导线 不连接导线
	L	铁心线圈		PV	电压表		FU	熔断器
	L	抽头线圈		V	二极管		HL	照明灯 指示灯

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

我们知道，电流是电荷的定向运动形成的。在金属导体中，实质上能定向移动的电荷是带负电的自由电子；在导电液体中（如蓄电池的电解液中），能定向移动的电荷分别是带正电的正离子和带负电的负离子。习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流方向。因此，自由电子和负离子移动的方向与电流方向相反。

根据电流的变化可将电流分为直流电流和交流电流。方向不随时间变化的电流称直流电流，其中大小、方向都不变的电流称恒定电流，简称直流 (DC:Dirrcet Current)，如不

特别说明，本书所说的直流电均指恒定电流，用字母“ I ”表示。大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流，用字母“ i ”表示。其中周期性变化的称周期交流电流，简称交流（AC: Alternating Current）。我国发电厂发出的交流电都是随时间按正弦规律变化的正弦交流电。如不特别说明，本书所指的交流电均指正弦交流电。图 1.3 中画出了几种电流的曲线。

不同用电器的电流大小是不一样的。电流大小也简称为电流，是指单位时间内通过导体横截面的电量。如果时间 t 秒内匀速流过导体横截面的电量为 Q ，则电流是恒定的，大小为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

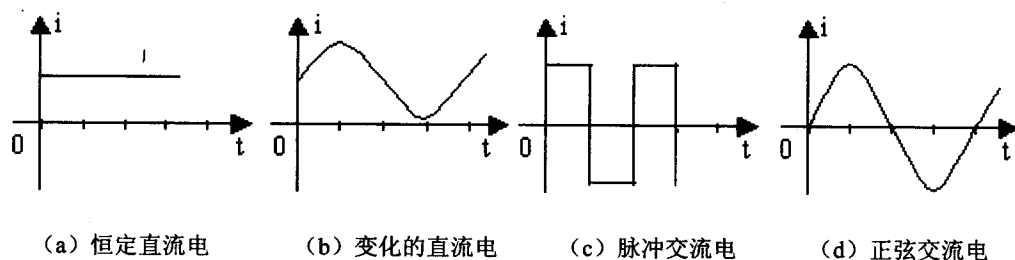


图 1.3 几种电流的曲线

若电流是不断变化的，我们可以求出某一时间段电流的平均值。如果在 Δt 时间内，通过导体横截面的电量变化了 Δq ，则在该段时间内电流大小的平均值为

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1.2)$$

当时间段 Δt 趋于零时，按公式 (1.2) 所求得的值便是某一时刻电流 i 的大小。

国际单位制 (SI) 中，电流的单位是安培，简称安，符号为“ A ”。通常使用的单位还有：兆安 (MA)，千安 (KA)，毫安 (mA)，微安 (μA) 等。

$$1 A = 10^3 mA = 10^6 \mu A \quad 1 MA = 10^3 KA = 10^6 A$$

电路较复杂时，电流的实际方向很难判定出来，为此，在分析与计算电路时，常常可事先任意选定某一方向作为电流的参考方向，也称为正方向。当实际方向与选择的参考方向一致时，参考方向下的电流值为正数。同理，如果求算出的电流值为正数则也说明实现选定的正方向（也称参考方向）和电流的实际的方向一致，如图 1.4 (a) 所示；当实际方向与参考方向相反时，参考方向下计算出的电流值为负数，如图 1.4 (b) 所示。分析电路时，图中所标的均为参考方向，用实线箭头“ \longrightarrow ”表示，或用双下标表示，如 i_{ab} 表示 a 到 b 的电流， i_{ba} 表示 b 到 a 的电流， $i_{ab} = -i_{ba}$ 。电流的实际方向可用虚线箭头“ $\cdots\cdots\longrightarrow$ ”表示，如图 1.4 所示。电流参考方向的选择原则上可任意选，但若已知实际方向，则参考方向的选择尽量与实际方向一致。