



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校数控技术应用专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控机床控制技术基础 ——电气控制基本常识

吴文龙 王 猛 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校数控技术应用专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控机床控制技术基础

——电气控制基本常识

吴文龙 王 猛 主编
刘蕴陶 葛金印 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业学校技能型紧缺人才培养培训系列教材。

本书是教育部推荐的数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一,是根据《中等职业学校数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》中核心教学与训练项目的基本要求,并参照相关的国家职业标准和行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的。

本书内容有:直流电路、正弦交流电路、变压器与交流异步电动机、电气控制基础、模拟电子技术基础、数字电子技术基础、数控机床的控制系统概述、PLC 及其应用基础、位置检测及控制基础、进给驱动及控制技术基础、主轴驱动及控制技术基础。

本书可作为中等职业学校数控技术应用专业及相关专业的教学用书,也可作为有关行业的岗位培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床控制技术基础 —— 电气控制基本常识 /

吴文龙 王猛主编. —北京:高等教育出版社,2004.9(2005 重印)

ISBN 7-04-015650-4

I. 数… II. ①吴… ②王… III. 数控机床-电气
控制-专业学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 075972 号

策划编辑 李新宇 责任编辑 王莉莉 封面设计 于涛 责任绘图 朱静
版式设计 张岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京地质印刷厂

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16
印 张 21
字 数 510 000

版 次 2004 年 9 月第 1 版
印 次 2005 年 12 月第 5 次印刷
定 价 26.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 15650-A0

出 版 说 明

2003年12月教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合印发了《教育部等六部门关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》。为了配合该项工程的实施,高等教育出版社开发编写了数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材。该系列教材已纳入教育部职业教育与成人教育司发布实施的《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定,作为教育部推荐教材出版。

高等教育出版社出版的教育部推荐数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材(以下简称推荐系列教材),是根据教育部办公厅、国防科工委办公厅、中国机械工业联合会最新颁布的《中等职业学校数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。推荐系列教材力图体现:以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者;职业教育以企业需求为基本依据,办成以就业为导向的教育,既增强针对性,又兼顾适应性;课程设置和教学内容适应企业技术发展,突出数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,具有一定的先进性和前瞻性;教学组织以学生为主体,提供选择和创新的空間,构建开放的课程体系,适应学生个性化发展的需要。推荐系列教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新尝试。主要特色有:

1. 以就业为导向,定位准确,全程设计,整体优化。
2. 借鉴国内外职业教育先进教学模式,突出项目教学,顺应现代职业教育教学制度的改革趋势,适应学分制。
3. 理论基础知识教材,以职业技能所依托的理论知识为主线,综合了多门传统的专业基础课程的理论知识。知识点以必需、够用为度。
4. 理论实践一体化教材,缩短了理论与实践教学之间的距离,内在联系有效,衔接与呼应合理,强化了知识性和实践性的统一。
5. 操作训练和实训指导教材,参照国家职业资格认证标准,成系列按课题展开,考评标准具体明确,直观、实用,可操作性强。

推荐系列教材既注重了内在的相互衔接,又强化了相互支持,并将根据教学需求不断完善和提高。

查阅推荐系列教材的相关信息,请登录高等教育出版社“中等职业教育教学资源网”(网址:<http://sv.hep.com.cn>)。

高等教育出版社

2004年12月

前 言

本书根据 2003 年 12 月教育部办公厅、国防科工委办公厅和中国机械工业联合会颁发的《中等职业学校数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》的核心课程与训练项目《数控机床控制技术基础——电气控制基本常识》的教学大纲编写,同时参考了相关行业的职业技能鉴定规范及初级技术工人等级考核标准。该大纲借鉴了国外先进职业教育的理念、模式和方法,结合我国数控技术应用专业领域技能型紧缺人才需求的实际情况,大刀阔斧地对专业课程结构、体系、内容和教学方法进行了改革,将电工技术、电子技术、电工仪表、电机与电气控制和数控技术等学科有机综合。本书是中等职业学校技能型紧缺人才培养培训系列数控技术应用专业教材。

本书坚持以就业为导向,以能力为本位,突出职业技能教育,注意与职业技能鉴定的内容和要求相接轨,与企业实践密切联系,理论知识与技能训练内容相统一。本书打破了原来各学科体系的框架,体现了课程的综合化和模块化。在内容的选择和处理上,以“必需、够用”为度,突出了针对性和适应性,力求浅显易懂、少而精、理论联系实际和学以致用。本书采用了案例性教学的内容,并将原来传统学科教学的长处与案例性教学相结合,将专业特点和职业特点相结合。同时,本书结合数控技术的发展,增加新技术、新知识的介绍,为学生的终身学习打下良好的基础。

本书在教学过程中建议采用理论实践(实验)一体化教学法或案例教学法,并根据数控机床的实际应用,优化教学过程。书中打*号的部分是选学内容,可供学生自学。

本书教学学时为 132 学时,学时方案建议如下表,供参考。

序号	课程内容	学时数
1	直流电路	16
2	正弦交流电路	14
3	变压器与交流异步电动机	8
4	电气控制基础	18
5	模拟电子技术基础	18
6	数字电子技术基础	14
7	数控机床的控制系统概述	4
8	PLC 及其应用基础	6
9	位置检测及控制基础	6
10	进给驱动及控制技术基础	12
11	主轴驱动及控制技术基础	12
	机 动	4
	合 计	132

2 ■ 前 言

本书由常州刘国钧职教中心吴文龙、王猛主编,石家庄职教中心王维刚和常州刘国钧职教中心耿淬参编。其中,王猛编写第1、7、9、10、11章;王维刚编写第2章;耿淬编写第3章;吴文龙编写第4、5、6章;王猛、耿淬合编第8章。

教育部聘请北京理工大学刘蕴陶和无锡机电高等职业技术学校葛金印审阅了此书,提出许多宝贵的修改意见,在此表示衷心地感谢。

由于编者学识和水平有限,错漏之处在所难免,敬请批评指正。

编者

2005年5月

目 录

第1章 直流电路	1
1.1 电路及其基本物理量	1
1.2 电路中的基本元件	8
1.3 常用电工仪表及其使用	28
1.4 复杂直流电路	42
思考与练习	48
第2章 正弦交流电路	53
2.1 交流电的基本概念	53
2.2 单相交流电路	60
2.3 示波器及其使用	74
2.4 三相交流电路	77
思考与练习	81
第3章 变压器与交流异步电动机	84
3.1 磁路与变压器	84
3.2 三相异步电动机	96
3.3 单相异步电动机	105
思考与练习	107
第4章 电气控制基础	109
4.1 常用低压电器	109
4.2 三相异步电动机的直接启动电路	120
4.3 三相笼型异步电动机降压启动控制电路	128
4.4 三相笼型异步电动机制动控制电路	131
4.5 常用机床电气控制电路	134
4.6 企业供电与安全用电	142
思考与练习	145
第5章 模拟电子技术基础	149
5.1 半导体器件	149
5.2 基本放大电路	159
5.3 集成运算放大器	172
5.4 直流稳压电源	181
5.5 晶闸管及其可控整流电路	189
思考与练习	195
第6章 数字电子技术基础	199
6.1 概述	199
6.2 门电路和组合逻辑电路	201
6.3 触发器和时序逻辑电路	214
6.4 D/A 与 A/D 转换器	227
思考与练习	231
第7章 数控机床的控制系统概述	234
7.1 数控机床的控制系统	234
7.2 数控机床的控制方式及其接口技术常识	237
思考与练习	240
第8章 PLC 及其应用基础	241
8.1 PLC 概述	241
8.2 PLC 在数控机床控制中的应用	246
* 8.3 PLC 编程基础	249
思考与练习	255
第9章 位置检测及控制基础	257
9.1 常用位置检测装置及其应用	257
9.2 数控机床的位置控制基础	268
思考与练习	272
第10章 进给驱动及控制技术基础	274
10.1 概述	274
10.2 步进电动机及其驱动控制	277
10.3 直流伺服电动机及其进给驱动控制	287
10.4 交流伺服电动机及其调速	

控制	295	控制	311
思考与练习	302	11.4 主轴准停控制技术常识	318
第 11 章 主轴驱动及控制技术		思考与练习	321
基础	304	附录 1	322
11.1 概述	304	附录 2	324
11.2 直流主轴电动机及其驱动		参考文献	325
控制	306		
11.3 交流主轴伺服电动机及其调速			

第 1 章

直流电路

本章将学到：

1. 电路由哪几部分组成,电路的基本物理量有哪些,它们的含义是什么?
2. 直流电路中常见的元件有哪些,它们各有什么作用,如何正确识别和选用?
3. 常用的电工仪表有哪些,它们的工作过程怎样,如何正确选用?
4. 电阻定律、欧姆定律、基尔霍夫定律的含义是什么,它们在电路分析时有何作用?

1.1 电路及其基本物理量

在各种形式的能量中,电能占有重要的地位。由于电具有转换容易、传输简单、控制方便的优点,故在现代工业、农业、国防、科技以及日常生活中得到广泛应用。可以说电气化的程度已成为一个国家现代化的重要标志之一,那么什么是电路?电路由哪几部分组成呢?

1.1.1 电路及电路图

1. 电路

电路是指电流流过的路径,它是为了某种需要,由各种电气设备和元件按照一定的连接方式构成的电流通路。手电筒是人们日常生活中常用的照明器件,通过观察可以知道,它是由干电池、白炽灯、开关经导线连接而成的一个简单实际电路,如图 1.1(a)所示。当合上开关,电路中有电流通过,白炽灯就变亮。

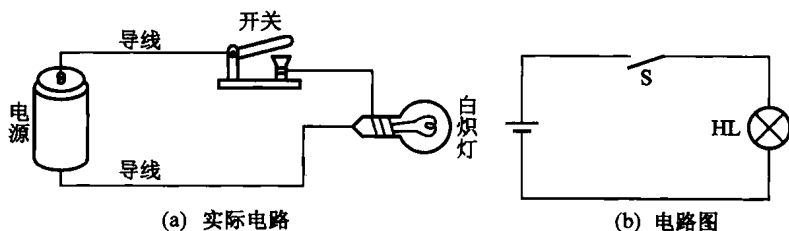


图 1.1 手电筒电路

由于实际的需求不同,电路的形成多种多样,如通信电路、机床电路、仪表电路、电子电路等,但它们通常都是由电源、负载和中间环节等基本部分组成。

电源是电路中产生电能的装置。它的作用是把其他形式的能量转变成电能,如干电池(将化学能转变成电能)、发电机(将机械能转变成电能)等。

负载是电路中消耗电能的装置。它的作用是将电能转换成其他形式能量,如白炽灯(将电能转变成光能)、电动机(将电能转变成机械能)等。

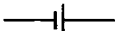
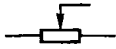
中间环节是连接电源和负载的部分。它的作用是传输和分配电能,如导线(传输电能)、开关(控制电路的接通和断开)等。

2. 电路图

图 1.1(a)所示的实际电路图,直观地表示了电路中各实际元件的实物图形,在分析元件的接法和原理时很有用。但是,由于实际元件的种类很多、形态各异,物理现象复杂,若要将所有的实际元件均一一画出,不仅会使电路结构复杂,更不便进行电路的定量分析和计算。为此,通常要将电路中的各种实际元件用一些简单却又能够表征其主要电磁性能的理想元件来替代,而对其实际结构、材料、形状等次要特性不予考虑。这种由理想元件构成,用规定图形、符号表示的电路称为电路模型,简称电路图。图 1.1(b)所示即为图 1.1(a)的电路图。

在一定条件下,任何实际元件均可由理想元件来表示,故每一个实际电路都有其对应的电路图(电路模型)。电路图中常用的部分图形符号,见表 1.1。

表 1.1 部分电工图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻器		接机壳
	电池		电位器		接地
	端子		灯		连接导线 不连接导线

电路的功能繁多,但从总体来说,主要有两个方面:其一是进行能量的传输、分配和转换,如上述所示手电筒电路,这类电路广泛应用于电力工程中;其二是进行信息的传递、处理和运算,如常见的扩音机电路,图 1.2 所示为扩音机信号放大电路框图。图中信号源相当于电源,它将其其他形式的信号(如声、光、温度等信号)转换为电信号。中间环节由信号放大器组成,而扬声器则是负载,这类电路主要应用在电子线路中。



图 1.2 扩音机信号放大电路框图

3. 电路的工作状态

电路的工作状态有如下几种:

(1) 通路

指电源和负载连成的闭合电路,简称闭路,图 1.3 所示电路中,当单刀双掷开关(如图 1.4 所示)扳到位置 2 时,电源与负载 R 接通,此时电路中有电流通过。

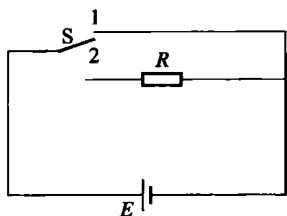


图 1.3 电路的工作状态

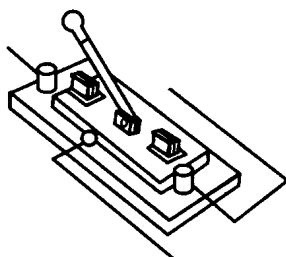


图 1.4 单刀双掷开关

(2) 断路

指电源与负载未接成闭合回路,也称为开路。如图 1.3 所示,当单刀双掷开关处于中间位置时,电路断开,此时电路中无电流。注意在实际电路中电气设备之间、电气设备与导线连接时的接触不良也会使电路处于断路状态。

(3) 短路

指电源未经负载而直接由导线构成闭合电路。如图 1.3 所示,若将单刀双掷开关扳向位置 1,此时电源两端直接由导线相连,此时电路中流过的电流很大,极易烧坏电源和导线而造成事故,故在电力工程中要严防电路发生短路。但有时在调试电子设备的过程中,故意将电路的某一部分短路,这是为了使与调试无关的部分无电流通过而采取的一种方法。

1.1.2 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压、电位、电功、电功率等,这些知识在物理中已经学过,因此在这里作简单的介绍。

1. 电流

电荷在电路中有规则的定向移动形成电流。在金属导体中电流是自由电子在电场力作用下逆电场方向运动形成的。在电离了的气体或液体中,电流是正、负离子在电场力的作用下分别向两个相反方向运动形成的。

(1) 电流的大小

电流的大小取决于单位时间内通过导体横截面的电荷量多少,以字母 I 来表示。

若在 t 秒内通过导体横截面的电荷量为 q ,则电流 I 可表示为

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

式中, I ——电流,单位是安[培],符号为 A;

q ——电荷量,单位是库[仑],符号为 C;

t ——时间,单位是秒,符号为 s。

由上式可知,若在 1 s 内通过导体横截面的电荷量是 1 C,则导体中的电流即为 1 A。电流的单位除安[培]外,还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A),它们之间换算关系为: $1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$, $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ 。

(2) 电流的方向

正、负两种电荷的运动都能形成电流,在分析和计算电路时,常常要知道电流的方向。习惯

上规定正电荷的运动方向为电流的方向。图 1.5 所示的导体 ab , 当负电荷由 b 通过截面 A 向 a 移动时, 可以方便地判断出电流的实际方向是 a 到 b 。

但当电路比较复杂时, 某段电路中的电流实际方向往往难以判断, 此时可先任意选择一个方向作为电流的参考方向 (不一定是电流的实际方向), 然后以此假定的方向为依据进行计算, 当计算出的电流为正值时, 说明电流的实际方向与参考方向一致, 如图 1.6(a) 所示; 当计算出的电流为负值时, 则说明电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1.6(b) 所示。在分析电路时, 电路图中标出的电流方向一般都指参考方向。

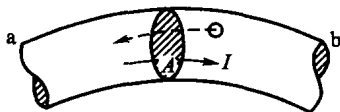


图 1.5 导体中电流的方向

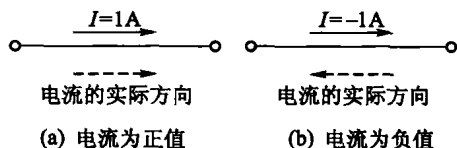


图 1.6 电路中的电流方向

(3) 电流的分类

在生产和生活中, 常把电流分为直流和交流两大类。凡大小和方向都不随时间变化的电流称为直流, 用大写字母 I 表示, 如图 1.7(a) 所示; 凡大小和方向都随时间变化的电流称为交流, 如图 1.7(b) 所示。由于交流电的大小是随时间变化的, 故常用小写字母 i 或 $i(t)$ 表示其瞬时值 (交流电详见第 2 章)。

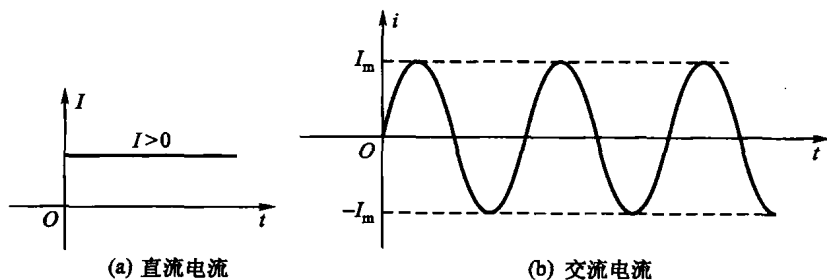


图 1.7 电流的分类

本章只讨论直流电路, 所介绍的物理量若不作说明都是指直流。

2. 电压

导体中存在着大量的自由电荷, 而通常情况下这些电荷的运动是杂乱无章的, 从宏观上看, 没有电荷的定向运动。只有当导体两端保持一定电压, 使导体内存在电场, 才能通过电场力的作用, 不断推动自由电荷做定向运动, 形成电流。故电压是衡量电场力移动电荷做功能力的物理量。

(1) 电压的大小

电压又称电位差, 即电路中两点 a 、 b 之间的电位差, 以字母 U_{ab} 来表示。电压的大小等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 如图 1.8 所示。可表示为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1.2)$$

式中, U_{ab} ——电压,单位是伏[特],符号为 V;

W ——功,单位是焦[耳],符号为 J;

q ——电荷量,单位是库[仑],符号为 C。

由上式可知,若电场力将 1 C 的电荷从 a 点移到 b 点,所做的功是 1 J,则 ab 两点间的电压为 1 V。电压的单位除伏[特]外,还有毫伏(mV)、微伏(μ V)、千伏(kV)等,它们之间的换算关系为: $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$, $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$, $1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$ 。

(2) 电压的方向

电压不但有大小,而且有方向。电压的实际方向由高电位指向低电位的方向。图 1.8 中,负载 R_L 两端(a、b 两点),a 点为高电位,用“+”号表示;b 点为低电位,用“-”号表示,电压的实际方向由“+”指向“-”。

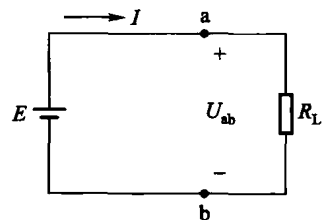


图 1.8 电压

同电流一样,电路中任意两点间电压的实际方向往往很难预知,为了分析电路方便,通常在一段电路中事先任意假定一个电压方向作为参考电压方向,然后再根据计算出的电压数值的正、负来判定电压的实际方向。若计算结果为正,则说明实际方向和参考方向相同;反之,则说明实际方向和参考方向相反。在分析电路时,电路图上标出的电压方向一般都是参考方向。

电路中电压的参考方向有三种表示法,如图 1.9 所示。第一种表示方法是用箭头表示。箭头表示由假定的高电位指向低电位,如图 1.9(a)所示;第二种表示方法是用“+”、“-”极性表示。“+”表示假定高电位点,“-”表示假定低电位点,如图 1.9(b)所示;第三种表示方法是用双下标字母表示,如图 1.9(c)所示, U_{ab} 中,前一个下标字母表示假定的高电位点,后一个字母表示假定的低电位点。

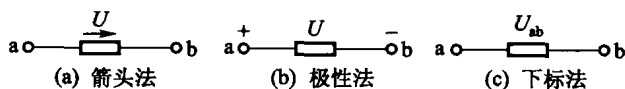


图 1.9 电压的参考方向

(3) 电压的分类

常用的电压可以分成直流电压和交流电压两大类。

若电压的大小和方向不随时间变化,则称为直流电压,用大写字母 U 表示,如图 1.10(a)所示。若电压的大小和方向都随时间变化,则称为交流电压,如图 1.10(b)所示为正弦交流电压。由于交流电压的大小随时间而变化,故常用小写字母 u 或 $u(t)$ 表示其瞬时值。

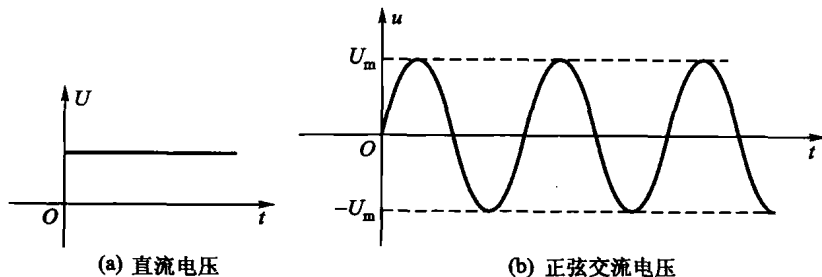


图 1.10 电压的分类

3. 电位

由于电压是对电路中某两点而言的,在分析较复杂的电路(特别是电子电路)时,要一一说明电路中每两点间的电压往往很繁琐,这时利用电位的概念进行分析就显得十分方便。

电路中某点的电位是针对某点的参考点而言的,为了确定电路中某点的电位,必须在电路中事先选定某一点作为“参考点”,并规定该参考点的电位等于零,故该参考点又称为零电位点,在电路图中用符号“ $\perp$ ”表示。电力工程上常常选大地作为参考点,即认为大地电位为零,因此凡是外壳接大地的电气设备,其外壳都是零电位;而在电子线路中,则选一条特定的公共线作为零电位点(参考点)。

当参考点确定后,电路上其他各点便有了确定的电位。电路中某一点的电位,等于该点至参考点之间的电压,用字母 V 加下标表示(例如, V_a 表示 a 点的电位),单位也是伏[特](V)。

引入电位的概念后,电路中任意两点之间的电压可以表达为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1.3)$$

例 1.1 在图 1.11(a)和(b)中,已知 $U_{ac} = 3\text{ V}$, $U_{bc} = 2\text{ V}$,分别计算电路各点电位及 ab 间的电压。

解 (1) 对图 1.11(a),因为选择 c 点为参考点,即 c 点电位为 0,因此

$$V_c = 0\text{ V}$$

$$V_b = U_{bc} = 2\text{ V}$$

$$V_a = U_{ac} = 3\text{ V}$$

ab 间的电压 U_{ab} 由式(1.3)可得

$$U_{ab} = V_a - V_b = (3 - 2)\text{ V} = 1\text{ V}$$

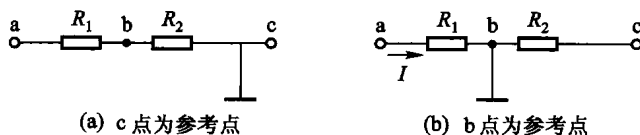


图 1.11 例 1.1 图

(2) 对图 1.11(b),因为选择 b 点为参考点,即 b 点电位为 0,因此

$$V_b = 0\text{ V}$$

因为 $U_{bc} = V_b - V_c$,所以 c 点电位为

$$V_c = V_b - U_{bc} = (0 - 2)\text{ V} = -2\text{ V}$$

因为 $U_{ac} = V_a - V_c$,所以 a 点电位为

$$V_a = U_{ac} + V_c = (3 - 2)\text{ V} = 1\text{ V}$$

ab 间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b = (1 - 0)\text{ V} = 1\text{ V}$$

从上例中可以看出,电路中各点的电位随参考点选择的不同而发生变化(即与参考点有关),但电路中任意两点之间的电压不随参考点的不同而改变(即与参考点无关)。

4. 电功与电功率

电流通过电炉的电热盘时,电炉会发热,将电能转换成热能;电流通过电风扇的电动机时,电动机便旋转起来,带动电风扇转动,送出阵阵凉风,将电能转换成机械能。这说明电流通过不同

的负载时,负载就可将电能转换成其他形式的能量,以满足人们不同的需要。

(1) 电功

电路中有电流就必然进行着能量的交换,把电能转换成其他形式的能,称为电流做功,简称电功,用大写字母 W 表示。

若某一负载两端 a、b 之间的电压为 U ,流过负载的电流为 I ,如图 1.12 所示。经过 t 秒后,电功 W 可表示为

$$W = UI t \quad (1.4)$$

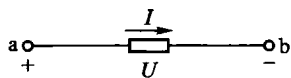


图 1.12 负载的电功

式中, W ——电功,单位是焦[耳],符号为 J;

U ——电压,单位是伏[特],符号为 V;

I ——电流,单位是安[培],符号为 A;

t ——时间,单位是秒,符号为 s。

在实际工作中,电功的单位为 $\text{kW} \cdot \text{h}$,俗称“度”。它与焦耳(J)的关系式为: $1\text{kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$ 。

(2) 电功率

电功表示电场力做功的多少,但不能表示做功的快慢,把单位时间电流所做的功称为电功率,用来衡量电路转换能量的速度。电功率简称功率,用大写字母 P 来表示,其表达式为

$$P = \frac{W}{t} \quad (1.5)$$

式中, P ——功率,单位是瓦[特],符号为 W;

W ——电功,单位是焦[耳],符号为 J;

t ——时间,单位是秒,符号为 s。

根据式(1.4),电功率的表达式还有

$$P = UI \quad (1.6)$$

由上式可知,一段电路上的电功率,跟这段电路两端的电压和电路中的电流成正比。

电功率的单位除瓦(W)外,常用的还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),它们之间的换算关系为: $1\text{kW} = 10^3 \text{W}$, $1\text{mW} = 10^{-3} \text{W}$ 。

例 1.2 有一个功率为 60 W 的白炽灯,每天使用的照明时间为 4 h(小时)。如果平均每月按 30 天计算,那么每月消耗的电能是多少?若每度电的电费为 0.52 元,则每月要交纳多少电费?

解 因为 $P = \frac{W}{t}$,所以每月消耗的电能

$$W = Pt = 60 \times 4 \times 3600 \times 30 \text{ J} \approx 2.6 \times 10^7 \text{ J} = 7.2 \text{ kW} \cdot \text{h} = 7.2 \text{ 度}$$

每月应交纳的电费为

$$\text{电费} = 0.52 \times 7.2 \text{ 元} = 3.744 \text{ 元}$$

(3) 焦耳定律

电流通过导体时使导体发热的现象称为电流的热效应。在日常生活中很多的用电设备都是根据电流的热效应制成的,如白炽灯、电烙铁等。

英国科学家焦耳和俄国科学家楞次分别研究了电流的热效应后,各自提出了相同的实验定

律:电流流过导体产生的热量与电流的平方、导体的电阻及通电时间成正比。为了纪念这两位科学家,就把这个实验定律称为焦耳-楞次定律。其表达式为

$$Q = RI^2t \quad (1.7)$$

式中, Q ——热量,单位是焦[耳],符号为 J;

I ——电流,单位是安[培],符号为 A;

R ——电阻,单位是欧[姆],符号为 Ω ;

t ——时间,单位是秒,符号为 s。

电流的热效应也就是电能转换成热能的效应,它给人们带来了很大方便,但电流的热效应也有不利的一面,如电流的热效应会使电路中不需要发热的地方(如导线)也发热,不但消耗能量,而且会使电气设备的温度升高,加速绝缘材料的老化,甚至烧坏设备,所以必须注意。

5. 负载的额定值

为了保证电气设备和电气元件能长期安全地正常工作,合理利用能源,避免温度过高而烧坏设备,任何电气产品都规定了一个最高的工作温度,而工作温度取决于发热量,发热量又取决于电流、电压或功率。故制造厂生产的各种电气设备都规定了电压、电流或功率的额定值。

电气设备或元件所允许施加的最大电压称为额定电压,用 U_N 表示;允许通过的最大电流称为额定电流,用 I_N 表示;在额定电压和额定电流下消耗的功率称为额定功率,用 P_N 表示。这些额定值通常用一块小金属牌(称为铭牌)固定在设备的明显位置,因此有时额定值又可以称为铭牌数据,如常见的白炽灯上标注 220 V 40 W、电烙铁上标注的 220 V 45 W 等。额定值是制造厂对电气设备运行在最可靠、最经济状态下的使用规定。实际使用时,电压、电流和功率的实际值不一定等于它们的额定值,例如电源额定电压为 220 V,但受到外界的影响,电源电压经常波动,稍低于或高于 220 V,这样,额定值为 220 V 40 W 的白炽灯上所加的实际电压不是 220 V,实际功率也就不是 40 W 了。

电气设备或元件在额定功率下的工作状态称为满载;低于额定功率的工作状态称为轻载;高于额定功率的工作状态称为过载或超载。轻载时,电气设备不能得到充分利用或根本无法正常工作,过载时,电气设备的使用寿命会降低甚至被烧坏。因此,各种电气设备应尽量在满载状态下运行,并在电路中安装保护装置(如熔断器),保证各元件在突然发生过载时不被损坏。

例 1.3 一个 220 V 100 W 的白炽灯正常发光时,通过的电流是多少?

解 $U_N = 220 \text{ V}, P_N = 100 \text{ W}$

因为 $P_N = U_N I_N$, 所以白炽灯正常发光时的额定电流 I_N 为

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{100}{220} \text{ A} \approx 0.455 \text{ A}$$

1.2 电路中的基本元件

电路中的基本元件有电阻、电源、电容、电感^①等,它们是构成电路的基本单元,它们的基本特性是电路分析的基础。本节主要分析电阻、电源、电容元件的基本特性。

^① 关于“电感”的介绍见 2.2.2 节。

1.2.1 电阻元件

电阻元件是耗能的理想元件,如白炽灯、电热炉等。用来描述电阻元件特性的基本参数称为电阻。

1. 电阻

当电流通过金属导体时,做定向移动的自由电子会与金属中的带电粒子发生碰撞,这种碰撞会阻碍自由电子的定向移动。表示这种阻碍作用的物理量称为电阻,用大写字母 R 表示,单位为欧[姆],符号为 Ω 。电阻的常用符号如图 1.13 所示。

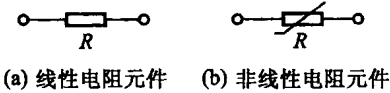


图 1.13 电阻的常用符号

当导体两端的电压是 1 V,导体内通过的电流是 1 A 时,这段导体的电阻就是 1 Ω 。常用的电阻单位还有 $k\Omega$ 和 $M\Omega$,它们之间的换算关系是:1 $k\Omega = 10^3 \Omega$,1 $M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$ 。

导体的电阻是由它本身的物理条件决定的。不同的导体对电流的阻碍作用不同。实验证明,在一定温度下,截面均匀的导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的截面积成反比,还与导体的材料有关,即

$$R = \rho \frac{l}{A} \tag{1.8}$$

- 式中, R ——电阻,单位是欧[姆],符号为 Ω ;
 l ——导体的长度,单位是米,符号为 m;
 A ——导体的截面积,单位是平方米,符号为 m^2 ;
 ρ ——导体的电阻率,单位是欧米,符号为 $\Omega \cdot m$ 。

上式称为电阻定律,式中的电阻率 ρ 是与材料性质有关的物理量,也称为电阻系数。它通常是指在 20℃ 时,长 1 m、截面积为 1 m^2 的某种材料的电阻值。同一种材料,在一定温度下,电阻率为常数。表 1.2 列出了几种常用材料的电阻率及其用途。

表 1.2 几种常用材料的电阻率及电阻温度系数(20℃)

材料名称	电阻率 $\rho/(\Omega \cdot m)$	电阻温度系数 $\alpha/(1/^\circ C)$	用途
铜	1.7×10^{-8}	4.1×10^{-3}	导线
铝	2.8×10^{-8}	4.2×10^{-3}	
钨	5.5×10^{-8}	4.4×10^{-3}	灯丝
铂	1.05×10^{-7}	4.0×10^{-3}	热电偶或电阻温度计
锰铜、康铜	$(4.2 \sim 5.2) \times 10^{-7}$	$(0.5 \sim 0.6) \times 10^{-5}$	标准电阻
镍铬丝	$(1.0 \sim 1.2) \times 10^{-6}$	15×10^{-5}	电炉丝
碳	3.5×10^{-5}	-0.5×10^{-5}	电刷
纯锗	0.60		半导体材料
纯硅	2 300		
电木、塑料	$10^{10} \sim 10^{14}$		绝缘体材料
橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$		