

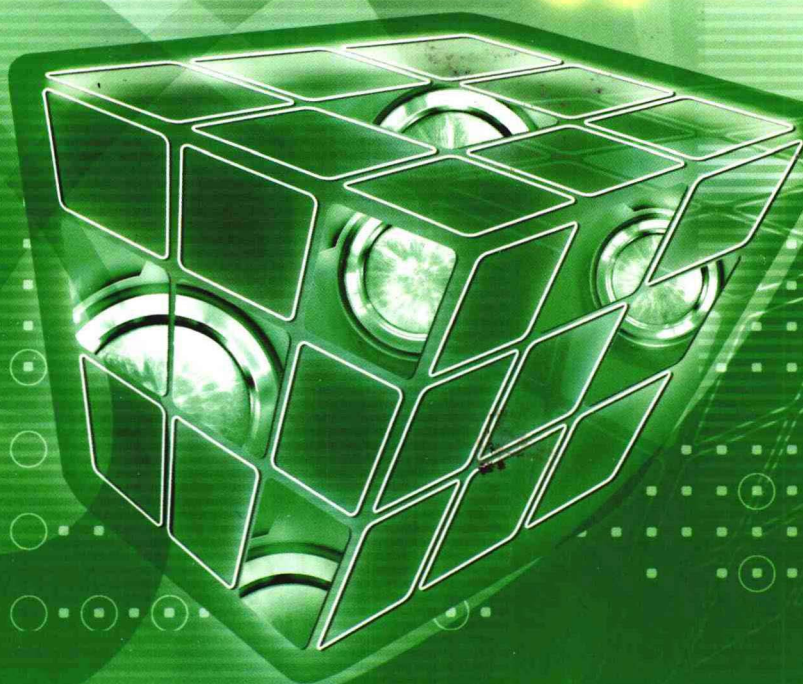


教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校数控技术应用专业教学用书

数控机床电气控制技术基础

◎ 赵俊生 主编

第2版



<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

技能型紧缺人才培养

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

数控机床电气控制技术基础 (第2版)

赵俊生 主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐教材,根据教育部《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》中主干课程《数控电气控制技术》的教学基本意见与要求,并参照有关行业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准而编写。

全书共分6章,包括电工技术基础常识,模拟电子技术常识,数字电子技术常识,数控机床常用电机的控制与调速简介,数控机床常见电气故障诊断与分析常识,PLC与接口技术。全书还安排了21个专业技能训练,4个操作性较强的综合技能训练。

本书既可作为中等职业学校数控专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

本书还配有电子教学参考资料包(包括电子教案、教学指南及习题答案),详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床电气控制技术基础 / 赵俊生主编. —2版. —北京:电子工业出版社, 2009.1

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

ISBN 978-7-121-07097-6

I. 数… II. 赵… 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(2008)第 104048 号

策划编辑:白楠

责任编辑:白楠

印刷:北京季蜂印刷有限公司

装订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:20 字数:512 千字

印次:2009 年 1 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:29.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前言



本书是 21 世纪中等职业学校数控技术应用专业技能型紧缺人才培训系列教材之一。全书根据教育部中等职业教育培养目标和对本课程的基本要求,结合全国中等职业技术教育数控专业紧缺人才研讨会精神编写而成,并经系列教材专家组编委会审定通过。

本课程面向制造业,旨在培养学生具有与本专业相适应的文化水平,使其掌握电气控制的基础知识、基本技能,了解数控加工设备的工作原理,熟悉基本结构,具有数控加工技术的基本知识,从而能在相关企业从事数控设备的操作与维护(以数控车床、数控铣床为主)及电气维修工作。

本书涵盖的课程有电工基础、电子线路(模电、数电、电力电子)、电工仪表与测量、电机与电气控制等,属于专业基础课。它包含了各课程的基本原理、实验和实践。通过本课程知识的学习,学生能够掌握电路、电气控制的有关基础常识;通过本课程的项目训练,学生可以达到初级电工所具备的基本知识和基本技能的水平,并在数控技术应用专业的调试、维修专门化方面打下一定的基础。本课程强调理论实践一体化,对原相关课程作了如下改革:

(1) 围绕相关技术在数控机床上的应用设置课程内容,去除无关的知识点,以够用为度;(2) 删除已有理论的验证和繁冗的计算;(3) 强调元件的认识、检测、输入/输出的技术,简化原理的阐述;(4) 在电机与电气控制技术中增加步进电动机、伺服电动机,以及变频等相关知识。同时,在全书中增加综合训练的内容,提高学生对电气控制技术的全面认识和动手能力。

本书由江苏省财经职业技术学院(原江苏省淮海工业贸易学校)高级讲师赵俊生担任主编。参加编写工作的人员分别是:广东东莞理工学校吴立群编写第 1 章,邵伯进编写第 2 章,江苏省盐城市第一职业高中树建凯编写第 3 章,赵俊生编写第 4 章,唐义锋编写第 5 章。在本书编写、审定的过程中,曾得到江苏省财经职业技术学院的领导及同志们的多方面帮助,在此一并致谢。

本书由葛金印老师、王猛老师和耿淬老师主审,并提出了许多宝贵意见和建议。编者对此表示衷心的感谢。本书经过教育部审批,列为教育部职业教育与成人教育司推荐教材。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免有欠妥之处,敬请读者指正。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案和习题答案(电子版)。请有此需要的教师登录华信教育资源网(<http://www.huaxin.edu.cn> 或 <http://www.hxedu.com.cn>)免费注册后再进行下载,有问题时请在网站留言板留言或与电子工业出版社联系(E-mail:hxedu@phei.com.cn)。

编者
2008 年 11 月



目 录



第 1 章 电工技术基础常识	(1)
1.1 直流电路基础常识	(1)
技能训练 1 电工测量及仪表	(15)
技能训练 2 电阻的测量	(22)
1.2 正弦交流电常识	(23)
1.2.1 正弦交流电的基本概念	(23)
1.2.2 正弦交流电的三要素	(25)
1.2.3 正弦交流电路	(27)
1.3 三相交流电路常识	(34)
1.3.1 三相交流电概述	(34)
1.3.2 三相负载的连接	(36)
1.4 安全用电	(37)
1.4.1 触电的原因和危害	(37)
1.4.2 触电的种类和形式	(38)
1.4.3 安全措施	(38)
1.4.4 触电的急救	(39)
1.5 电动机常识	(41)
1.5.1 直流电动机	(41)
1.5.2 三相异步电动机	(51)
1.5.3 单相异步电动机	(66)
1.5.4 伺服电机	(68)
1.5.5 步进电机	(69)
1.6 电工技术综合技能训练	(71)
1.6.1 示波器的认识与使用	(71)
1.6.2 电工元器件的认识与检测	(77)
1.6.3 日光灯、双控灯的安装	(80)
1.6.4 万用表的装配	(82)
习题 1	(85)
第 2 章 模拟电子技术常识	(88)
2.1 半导体二极管和三极管	(88)

2.1.1	半导体二极管	(88)
2.1.2	半导体三极管	(90)
2.1.3	整流电路	(93)
2.1.4	滤波电路	(96)
	技能训练 3 常用电子器件的识别与检测	(97)
2.2	基本放大电路	(99)
2.2.1	单级交流小信号放大电路	(99)
2.2.2	射极输出器	(103)
2.2.3	放大电路中的负反馈	(105)
2.2.4	互补对称功率放大电路	(108)
	技能训练 4 单管放大电路的静态测试	(111)
	技能训练 5 负反馈放大电路	(112)
2.3	集成放大器	(114)
2.3.1	集成运算放大器	(114)
2.3.2	集成功率放大器	(118)
	技能训练 6 集成运算放大器	(120)
	技能训练 7 集成功率放大器	(122)
2.4	电子技术综合技能训练 1	(123)
2.4.1	常用电子元器件的检测	(123)
2.4.2	实用直流稳压电源的安装与调试	(125)
	习题 2	(127)
第 3 章	数字电子技术常识	(130)
3.1	门电路和组合逻辑电路	(130)
3.1.1	分立单元门电路	(130)
3.1.2	TTL 门电路	(135)
3.1.3	加法器	(138)
3.1.4	编码器和译码器	(140)
	技能训练 8 门电路的逻辑功能测试	(145)
	技能训练 9 组合逻辑电路	(145)
3.2	时序逻辑电路	(146)
3.2.1	触发器	(146)
3.2.2	计数器	(150)
3.2.3	555 时基电路	(153)
	技能训练 10 触发器	(155)
	技能训练 11 计数器	(156)
	技能训练 12 555 集成定时器及其应用	(158)
3.3	D/A 和 A/D 转换器	(160)
3.3.1	D/A 转换器	(160)
3.3.2	A/D 转换器	(162)

技能训练 13 D/A 和 A/D 转换器	(164)
3.4 电力电子常识	(166)
3.4.1 晶闸管	(166)
3.4.2 单相可控整流电路	(168)
3.4.3 晶闸管触发电路	(169)
3.4.4 全控型电力电子器件	(173)
3.4.5 交流调压电路	(174)
3.4.6 交流变频电路	(175)
3.5 电子技术综合技能训练 2	(176)
3.5.1 家用调光台灯电路的安装与调试	(176)
3.5.2 LED 数字译码显示电路	(178)
3.5.3 计数器的组装与调试	(178)
习题 3	(185)
第 4 章 数控机床常用电机的控制与调速简介	(188)
4.1 常用低压电器	(188)
4.1.1 低压电器的基本知识	(188)
4.1.2 低压控制电器	(191)
4.1.3 低压保护电器	(201)
技能训练 14 常用低压电器的认识与拆装	(203)
4.2 三相笼型异步电动机控制电路与调速简介	(204)
4.2.1 三相笼型异步电动机电气控制电路基本知识	(204)
4.2.2 三相笼型异步电动机的启动控制电路	(208)
4.2.3 三相笼型异步电动机的制动控制电路	(215)
4.2.4 三相笼型异步电动机的转速控制电路	(220)
4.2.5 三相笼型异步电动机的其他基本控制电路	(221)
技能训练 15 三相笼型异步电动机直接启动控制线路接线训练	(223)
技能训练 16 三相笼型异步电动机“正—停—反”控制线路接线训练	(224)
4.3 数控机床常用电动机的控制与调速简介	(225)
4.3.1 步进电动机的控制	(225)
4.3.2 直流伺服电动机的控制与调速	(229)
4.3.3 交流伺服电动机的控制与调速	(231)
4.4 电气控制技术综合技能训练	(244)
习题 4	(247)
第 5 章 数控机床常见电气故障诊断与分析常识	(248)
5.1 数控机床常见电气故障诊断的基本常识	(248)
5.1.1 数控机床故障诊断的内容与故障分类	(248)
5.1.2 现代数控系统的自诊断技术	(249)
5.1.3 数控系统的故障诊断方法简介	(251)
5.2 控制电气常见故障与维修技术常识	(257)

5.3	伺服系统的故障特点及诊断分析方法简介	(259)
5.3.1	伺服系统概述	(259)
5.3.2	主轴伺服系统的故障及诊断	(259)
5.3.3	进给伺服系统的故障及诊断	(264)
5.4	电动机常见故障诊断与分析方法简介	(267)
5.4.1	三相异步电动机的常见故障与检修	(267)
5.4.2	交、直流伺服电动机及步进电动机的常见故障分析与维护	(267)
5.5	接口常见故障诊断与分析	(269)
5.6	数控系统的电气故障维修与保养技术常识	(269)
5.6.1	数控系统电气维修的基础	(269)
5.6.2	数控系统维修的过程	(270)
5.6.3	技术资料的种类	(270)
5.6.4	故障发生时应采取的处理方法	(271)
5.6.5	数控机床电气的日常维护	(272)
习题 5		(273)
第 6 章	PLC 与接口技术	(275)
6.1	PLC 概述	(275)
6.1.1	PLC 的特点和主要功能	(275)
6.1.2	PLC 的定义、结构和组成	(277)
6.1.3	PLC 的工作原理	(280)
6.2	PLC 的指令系统	(281)
6.2.1	PLC 常用的编程语言	(281)
6.2.2	FX 系列 PLC 中使用的各种元器件	(283)
6.2.3	FX 系列 PLC 的基本指令及编程方法	(286)
6.3	输入、输出及其通信接口	(293)
6.3.1	数控系统对输入、输出接口的要求	(293)
6.3.2	CNC 装置的人机接口	(294)
6.4	PLC 位置控制	(300)
6.4.1	适用点位控制的脉冲输出单元 F2-30GM	(300)
6.4.2	A 系列 PLC 位置控制功能模块 AD71、AD72	(301)
6.4.3	实现运动和顺序控制一体化的 A73CPU 模块	(302)
技能训练 17	PLC 认知	(302)
技能训练 18	PLC 定时器与计数器	(303)
技能训练 19	交通信号灯实验	(304)
技能训练 20	五相步进电机的模拟控制实验	(305)
技能训练 21	刀库自动换刀实验	(308)
习题 6		(308)
参考文献		(311)

第1章 电工技术基础常识

1.1 直流电路基础常识

数控机床上的各种电气设备，都是通过电流的作用来完成其相应功能的。为了电流的流通，需要构成电流的通路——电路。我们将大小和方向不随时间的改变而改变的电流和电压称为直流电。由直流电源供电的电路称为直流电路，直流电路是电路中最基本的一种形式。我们可以通过对电路的构成、电路中主要物理量的了解，运用欧姆定律、基尔霍夫定律，掌握对电路进行分析与计算的基本方法。

1. 电路和电路模型

(1) 电路

电流经过的路径，称为电路。最简单的电路，如图 1.1 所示。电路通常由 4 个主要部分组成，分别介绍如下。

① 电源：将其他形式的能量转化为电能，为电路提供电能的设备，如蓄电池、干电池、发电机等。

② 负载：将电能转化为其他形式能量的设备，是电路中的用电设备，如电灯是把电能转化为光能和热能的装置，电动机是把电能转化为机械能的设备。

③ 导线：连接电源和负载的导体，起着输送和分配电能的作用。最常用的导线有铜线和铝线。

④ 辅助装置：为了让电路按照人们的要求安全地运行，电路还需要一些辅助装置，如开关可以用来控制电路，使电路按照人们的需要来运行；熔断器可以保证电路安全地运行。

(2) 电路的作用

电路最基本的作用有以下两个方面。

① 供应、输送、分配和转换电能，如将电源提供的电能输送到用电设备供设备使用。

② 进行信息的测量、处理、传递、转换和存储，如电视机将接收到的电磁信号处理后，转换成声音和图像信号，分别通过喇叭和显示器播放出来。

(3) 电路模型

电路的表示方法多种多样，常用的有实物图、电路图、实物电路模型等。实物图是为了工程施工的方便，按设备的大小取一定的比例绘制而成，供工程施工使用的。为了方便对实际电路进行分析计算，说明电路的工作原理，我们给每种电路元件都规定了固定的符号，

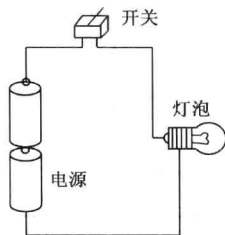


图 1.1 最简单的电路



突出元件的主要参数，将元件理想化，把一个实际电路理想化为电路模型。用规定符号绘制出来的电路图形称为电路图。常用的电路元件符号，参考表 1.1。

表 1.1 常用的电路元件符号

电路元件符号	名 称	电路元件符号	名 称
	直流电		电灯
	交流电		信号灯
	交、直流电		日光灯启辉器
	导线相交不相接		电流表
	导线连接		电压表
	电池		电阻
	电池组		电容器
	开关		电感线圈
	熔断器		变压器
	接地点		插头
	天线		日光灯
	单相三眼插座		单相两眼插座

图 1.1 属于实物图，用规定符号可以表示成电路图，如图 1.2 所示。其中，电源的电动势和内阻分别为 E 和 r_0 ；负载小灯泡为 R ；开关为 S ；它们之间用导线连接。由于导线的电阻很小，可以忽略不计，所以理想化为无电阻值的理想导线。

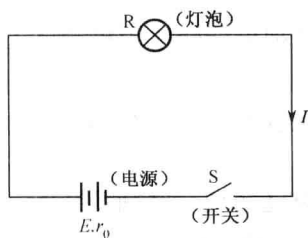


图 1.2 电路图

2. 电路中的主要物理量

(1) 电荷、电荷量

电荷：物质是由分子组成的，分子则由更小的微粒——原子组成，而原子又由带正电的原子核和带一定数量负电的电子组成。通常，原子核所带的正电荷，与其外面电子所带的负电荷总量相等。因而，自然界存在两种不同性质的电荷：正电荷和负电荷。

电荷量：表示带电物体所带电荷多少的物理量，简称电量，用符号 Q 或 q 表示，单位是库仑（C）。

(2) 电动势、电位、电压（电位差）

电动势：在电源内部，电源力把单位正电荷从电源的负极移动到正极所做的功，称为电动势。其定义表达式为



$$E = \frac{W}{q}$$

电动势的单位是伏特 (V)。电动势只存在于电源内部, 其方向是从电源负极指向正极。在它的作用下, 电源内部形成由负极到正极的电流。

电位: 为了描述电场中各点电能的性质和强弱程度, 我们引入电位这一新的物理量。试验电荷在电场中某一点的电位能与它所带电量的比值, 称为电场中该点的电位。其定义表达式为

$$V = \frac{W}{q}$$

式中 V ——该电荷在电场中某一点的电位 (V);

W ——该电荷在电场中某一点的电位能 (J);

q ——该电荷所带的电量 (C)。

通常, a 点的电位用 V_a 表示, b 点的电位用 V_b 表示, 电位的单位也是伏特 (V)。

分析电位时要注意, 电位是相对于某一参考点而言的。为了方便分析, 参考点也作为零电位点。参考点不同, 即使在电路中的同一点, 其电位值也不相同。如果一个电路只有一个参考点, 那么, 电路中各点的电位就只有一个数值。

电压 (电位差): 若电场中两点的电位相同, 则称这两点之间等电位。若这两点电位不同, 其电位的差值称为这两点之间的电位差, 也称为这两点之间的电压。电压用符号 U 表示, 单位是伏特 (V)。

若 a 点电位为 V_a , b 点电位为 V_b , 则两点之间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

根据 V_a 和 V_b 的大小, 可以有以下 3 种不同情况:

① $V_a > V_b$, 表示 a 点电位高于 b 点电位;

② $V_a < V_b$, 表示 a 点电位低于 b 点电位;

③ $V_a = V_b$, 表示 a 、 b 两点电位相等。

引入电位的概念后, 电压的方向可以定义为电位降低的方向。通常用箭头、双下标量 U_{ab} 或者参考极性 “+”、“-” 3 种方法表示电压的方向。

(3) 电流、电流强度

电流: 电荷做的有规则的定向流动称为电流。电流也是个矢量, 我们规定正电荷流动的方向为电流的方向。电流的方向通常用箭头来表示。

在分析电路时, 既要选择电流的参考方向, 又要选择电压的参考方向, 这两种参考方向原则上都可以任意假定。但是为了方便计算, 对于负载 (也称为外电路), 习惯上把这两者的参考方向选为一致, 并称为关联参考方向。

电流强度: 为了描述电流的大小, 我们引入电流强度这一物理量。电流强度是指单位时间内通过导体某一横截面的电量。电流强度简称电流, 其单位是安培 (A), 简称安, 表达式为

$$I = \frac{Q}{t}$$

式中 I ——电流强度 (A);

Q ——流过导体某一横截面的电量 (C);



t ——导体某一横截面流过电量为 Q 时所用的时间 (s)。

大小和方向不随时间的变化而变化的电流称为稳恒直流电流；大小和方向随时间的变化而变化的电流称为交流电流。

(4) 电功率

功率是指转换能量的速率。电功率是指转换电能的速率，即单位时间内把电能转换成其他形式能量的多少，用字母 P 表示。电功率为

$$P = \frac{W}{t} = UI$$

在国际单位制中，功率的基本单位是瓦，符号为 W；工程中常用千瓦 (kW) 作为单位。

3. 电阻、电容、电感元件

(1) 电阻元件

① 电阻。导体中的自由电子在做定向移动的过程中，电子之间不断地相互碰撞。并且，自由电子还要和组成导体的原子相碰撞，这样，就对自由电子的运动起到了阻碍作用，即表现为对电流的阻碍作用。导体对电流起阻碍作用的能力称为电阻。

电阻用 R 来表示，单位为欧姆 (Ω)，简称欧。在实际应用中，常觉得欧姆这个单位太小，经常会用千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 作为单位。它们之间的关系如下所示：

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 M\Omega = 10^6 \Omega$$

导体电阻的大小是由导体本身的性质决定的。实验证明，对于一段长直金属导体，在一定温度下，导体电阻 R 的大小与它的长度成正比，与它的横截面积成反比，还与导体金属材料的性质有关。这就是电阻定律，用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中 ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot m$)；

L ——导体的长度 (m)；

S ——导体的横截面积 (m^2)；

R ——导体的电阻 (Ω)。

必须指出，不同的材料因温度的变化而引起的电阻变化是不同的，同一导体在不同的温度下有不同的电阻，也就有不同的电阻率。表 1.2 列出的电阻率是 20°C 时的值。

温度每升高 1°C 时电阻所变化的数值与原来电阻值的比，称为电阻的温度系数，用字母 α 表示，单位为 $1/^\circ\text{C}$ ($^\circ\text{C}^{-1}$)。

表 1.2 常用材料的电阻率 (20°C 时) 和电阻温度系数

材料	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	电阻温度系数 ($^\circ\text{C}^{-1}$)	材料	电阻率 ($\Omega \cdot m$)	电阻温度系数 ($^\circ\text{C}^{-1}$)
银	1.6×10^{-8}	0.00361	铜	1.72×10^{-8}	0.0041
金	2.2×10^{-8}	0.00365	铝	2.9×10^{-8}	0.00423
钼	4.77×10^{-8}	0.00479	钨	5.3×10^{-8}	0.005
锌	5.9×10^{-8}	0.0039	镍	7.3×10^{-8}	0.00621
铁	9.78×10^{-8}	0.00625	锗	10.5×10^{-8}	0.00398
锡	11.4×10^{-8}	0.00438	铅	20.6×10^{-8}	0.0041



续表

材料	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	电阻温度系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	材料	电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)	电阻温度系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
汞	95.8×10^{-8}	0.0009	康铜	50×10^{-8}	0.00004
锰铜	40×10^{-8}	0.00002	镍铬	111×10^{-8}	0.00007
镍铬铁	110×10^{-8}	0.00012	碳	3.5×10^{-5}	-0.00005
陶瓷	$10^{12} \sim 10^{13}$		橡胶	$10^{13} \sim 10^{16}$	

同一种材料的导体,在不同的温度下,它们的电阻率也不同。当温度升高时,金属内部的分子热运动加剧,对电流起的阻碍作用加大,电阻率就大。温度对电阻率影响的表达式为

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

式中 ρ ——温度为 T 时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);

ρ_0 ——温度为 T_0 时的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$);

α ——导体的电阻温度系数 ($1/^{\circ}\text{C}$);

T ——导体的材料温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_0 ——参考温度 (常取 20°C)。

不同材料制作的导体,它们的温度系数也不同。

电阻器是利用导体材料具有电阻的特性制作而成的专用电子元件,人们习惯把电阻器简称为电阻。它和上述导体电阻在含义上有所不同。

常用的电阻器在形式上分为固定电阻、半可调电阻和可调电阻;在构造上又可分为线绕和非线绕(薄膜、碳质)电阻。电阻器在电路中常作为电路的负载,起着限制电流、降低电压或调节、分配电路电流、电压的作用。

在常用的电阻器上,除标明阻值外,还标明其额定功率。如果实际消耗功率大于额定功率,电阻器会因温度过高而烧毁。因此,选用电阻器时,不仅要正确选用其阻值,还要选取合适的功率。

实验证明,电阻的端电压与通过电阻的电流成正比,在二者参考方向关联的情况下可表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR$$

式中 R ——元件的电阻。在国际单位制中,电阻的基本单位是欧姆 (Ω)。

以上这一结论是由德国物理学家欧姆提出来的,称为欧姆定律。它表明,电流通过电阻时沿着电流的方向产生压降,其值为电流与电阻的乘积。

由式 $P=UI$ 和式 $U=IR$ 可知,在关联参考方向下,电阻元件吸收的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

由于 I^2 、 U^2 总为正值, R 为常数,因此 P 总大于零。这说明电阻元件总是在消耗能量,是一个耗能元件。

综上所述,电阻这一名词具有双重含义,既可以表示器件、元件,又可以表示元件的参数。



② 电阻的连接及其等效变换。

➤ 电阻连接的概念。

把电阻一个接一个地依次连接起来,就构成了串联电阻电路;把几个电阻并列地连接起来,就构成了并联电阻电路。

如果一个电路中,既有电阻串联,又有电阻并联,这个电路就称为混联电阻电路。

➤ 电阻串、并联的特点。

电阻串、并联的特点如表 1.3 所示。

表 1.3 电阻串、并联的特点

	电阻串联电路	电阻并联电路
电路图		
判断	电阻一个一个依次连接	几个电阻并列连接
电阻关系	总电阻等于各电阻之和, 即 $R=R_1+R_2+R_3$	总电阻的倒数等于各个电阻倒数之和, 即 $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$
电压关系	电路两端总电压等于各电阻分电压之和, 即 $U=U_1+U_2+U_3$ 电压分配 $R I=R_1 I+R_2 I+\cdots+R_n I$	电路两端总电压及各支路两端电压均相等, 即 $U=U_1=U_2=U_3$
电流关系	电路中各处的电流相等, 即 $I=I_1=I_2=I_3$	电路中总电流等于各支路电流之和, 即 $I=I_1+I_2+I_3$
功率关系	各个电阻上消耗的功率与它的阻值成正比, 即 $\frac{P_1}{R_1}=\frac{P_2}{R_2}=\cdots=\frac{P_n}{R_n}=I^2$	各个电阻上消耗的功率与它的阻值成反比, 即 $P_1 R_1=P_2 R_2=\cdots=P_n R_n=U^2$
特点	① 电路中各处的电流相等 ② 电路两端的总电压等于各部分电阻两端的电压之和 ③ 各个电阻两端的电压与它的阻值成正比, 可起分压作用	① 各支路两端的电压相等 ② 电路中总电流等于各支路的电流之和 ③ 通过各个电阻的电流与它的阻值成反比, 可起分流作用

➤ 电阻的混联及等效变换。

在实际的电子电路中,可以既有电阻的串联,又有电阻的并联,这种电路叫做电阻的混联电路。对于简单的混联电路,可以分别通过电阻串、并联的规律,一步一步加以等效简化,最终求出总电阻。

对电阻混联电路进行等效变换,通常采用两种方法:利用电流的流向画出等效电路图;②利用电路中各个等电位点画出等效电路图。

【例 1.1】 如图 1.3 所示的电路中,已知 $R_1=R_2=8\Omega$, $R_3=R_4=6\Omega$, $R_5=R_6=4\Omega$, $R_7=R_8=24\Omega$, $R_9=16\Omega$, 电路端电压 $U=224\text{V}$, 求流过电阻 R_9 的电流和 R_9 两端的电压是多少。

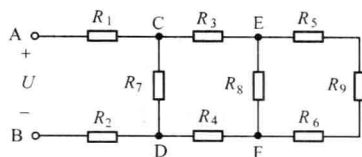


图 1.3 例 1.1 图

解：假设电流从A端流入，从B端流出。根据电流的流向，对电路进行整理，得出原电路的等效电路图如图 1.4 所示。

根据图 1.4 中电阻的串、并联关系，计算出电路总的等效电阻。可得总电阻值为

$$R = 28\Omega$$

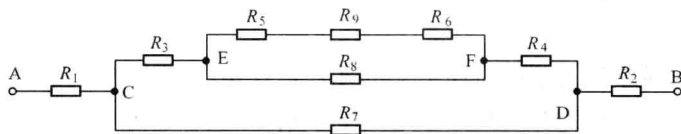


图 1.4 例 1.1 图的等效电路图

再计算电路的总电流 I

$$I = \frac{U}{R} = \frac{224}{28} = 8\text{A}$$

根据电阻并联的分流关系可算出，流过 R_9 的电流为

$$I_9 = 2\text{A}$$

R_9 两端的电压为

$$U_9 = I_9 R_9 = 2 \times 16 = 32\text{V}$$

➤ 封闭电路（全电路）欧姆定律。

在有源封闭电路中，不仅外电路有电阻，电源内部的内电路也有电阻 r ，内电路的电阻就叫做内电阻，简称内阻。

如图 1.5 所示，电源和它的内阻与外电路电阻的关系，相当于理想电源串联一个电阻后再与外电路电阻（负载）相连接。因此，电源电动势等于内阻上的压降 U_1 和负载上的压降 U_2 之和，即

$$E = U_1 + U_2$$

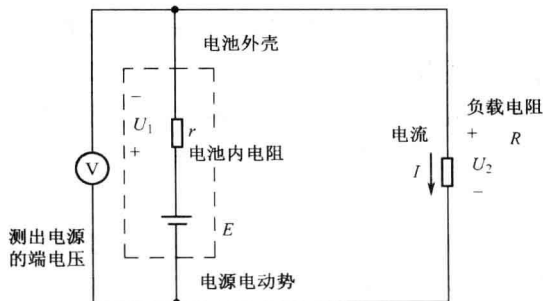


图 1.5 电源内阻与端电压



习惯上, 电源的端电压用 U 来表示, 电源内阻的压降用 Ir 来表示。因此, 上式可表示为

$$E = U + Ir$$

即

$$E = IR + Ir$$

所以

$$I = \frac{E}{R + r}$$

式中 I ——流过电路的电流 (A);

E ——电源电动势 (V);

R ——外电路电阻 (负载) (Ω);

r ——电源内阻 (Ω)。

这就是封闭电路 (也称为全电路) 的欧姆定律。

(2) 电容元件

① 电容器。电容器是储存电荷和电能的元件, 在电工和电子设备中被广泛应用。

任何两块接近的金属导体, 被不导电的绝缘物质 (如空气、纸质、云母、涤纶薄膜、陶瓷等) 在中间隔开, 就构成了电容器。这两块金属导体称为电容器的极板, 中间的绝缘物质称为介质。

给电容器的两极板接上直流电源, 两极板之间就有电压产生。对任何一个电容器来说, 两极板带的电荷量越多, 两极板之间的电压就越高。而且, 所带电荷量与两极板间的电压成正比。我们称这个比值为电容量, 简称电容, 其单位为法拉 (F), 简称法。它们之间的关系如下所示

$$C = \frac{Q}{U}$$

式中 C ——电容器的电容量 (F);

Q ——一个极板上所带的电荷 (C);

U ——两极板之间的电压 (V)。

由于法拉这个单位太大, 因此在对电路进行分析及实际应用时, 我们常使用微法 (μF) 和皮法 (pF) 这两个单位, 它们之间的关系为

$$1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$$

电容量是一个衡量电容器带电荷能力的物理量。对同一个电容器而言, 所带电荷量与两极板间的电压比值是一个恒量; 而对不同的电容器, 这个比值一般不相同。

常用的电容器根据结构的不同可分为固定电容器、半可变电容器和可变电容器。根据所使用的介质不同, 可分为纸质电容器、云母电容器、涤纶薄膜电容器、陶瓷电容器等。

在每个电容器上, 除标明电容量外, 还标有额定电压值。在使用时, 除注意正确选取电容量外, 还要注意选取合适的工作电压值。否则, 电压过高, 会使极板之间的绝缘介质被击穿而损坏。

② 电容器的连接。在实际应用中, 有时一个电容器不能满足使用的要求, 例如, 耐压够而电容量不合适, 或电容量够而耐压不合适。为此, 我们需要把几个电容器串联或并联起来使用。电容器串、并联的性质和作用如表 1.4 所列。