



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电工技术

(机制类)

戴一平 主编



机械工业出版社

中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电 工 技 术

(机 制 类)

主 编	戴一平	
参 编	俞秀金	徐通泉
	劳顺康	刘同文
责任主审	刘蕴陶	
审 稿	温照方	王鸿明



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据教育部颁发的中等职业学校《电工技术教学大纲》(机械类及非电类相关专业)编写的,学时数为50~70。

全书分为两大部分:理论性教学部分和实践性教学部分。理论性教学部分共八章,讲述直流电路、单相交流电路、三相交流电路、变压器、电工仪表及测量、电动机、电动机控制和供用电常识;实践性教学部分包括六个基本实验和八个选做实验。书中带“*”部分可根据学时和实际需要选用。

本书是面向21世纪中等职业教育国家规划教材,可供中专、职高、技校等中等职业学校非电类相关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术:机械类/戴一平主编.——北京:机械工业出版社,2001.7
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7-111-08323-7

I. 电... II. 戴... III. 电工技术-专业学校-教材 IV. TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第029824号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:贡克勤 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年6月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.25印张·275千字

0 001—6 000册

定价:11.30元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲编写而成的，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定通过。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均做了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 5 月

前 言

本书是根据教育部颁发的中等职业学校《电工技术教学大纲》(机械类及非电类相关专业)的要求编写的,是面向 21 世纪中等职业教育国家规划教材,可供中专、职高、技校机制类及非电类相关专业使用,学时数为 50~70。

按照教学大纲的基本要求,本书坚持能力本位,既注重基础理论教学,又突出实践技能的培养。本书精选教学内容,合理编排教材结构,覆盖面广,语言流畅,概念清楚,便于学习。书中带 * 号部分是选用模块,可根据不同专业,不同学时的需要加以选用。

本书由浙江机电职业技术学院电气工程系组织编写,戴一平任主编(编写第一、二、三章),并对全书进行修改定稿;刘同文编写第四、八章;徐通泉编写第五章和全部实验;劳顺康编写第六章;俞秀金编写第七章。

本书由浙江电力职工大学郑兴华副教授主审,浙江机电职业技术学院钱人俪副教授、胡幸鸣副教授,诸暨实验职业中学冯永松讲师,新昌职教中心钱向东讲师仔细地阅读了原稿,并提出了许多建设性的建议和修改意见,浙江机电职业技术学院陈红春老师计算校验了电路部分的全部习题。

在编写中,浙江机电职业技术学院院系两级领导和教研室同仁对于教材的编写给予了大力支持和热心帮助。对此,编者表示衷心的感谢。

在编写中,编者查阅和参考了多种书籍,从中得到许多教益和启示,在此向各位作者致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,时间比较仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请使用本书的师生和广大读者给予批评指正,以便修正改进。

编者

2001 年 3 月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

理 论 篇

第一章 直流电路	5	第二节 电流和电压的测量	70
第一节 电路的组成及基本物理量	5	第三节 电阻和单相交流电能的测量	75
第二节 电阻	7	第四节 万用表	77
第三节 欧姆定律及应用	11	本章小结	82
第四节 基尔霍夫定律	14	习题	82
* 第五节 电压源和电流源	16	第六章 电动机	84
* 第六节 戴维南定理和叠加原理	20	第一节 三相异步电动机的结构	84
本章小结	22	第二节 三相异步电动机的工作原理	86
习题	22	第三节 三相异步电动机的工作特性	90
第二章 单相正弦交流电路	25	第四节 三相异步电动机的使用与维护	93
第一节 单相正弦交流电路的基本概念	25	第五节 单相异步电动机	96
第二节 电容和电感	29	* 第六节 直流电动机的结构及工作原理	98
第三节 单一参数的正弦交流电路	32	* 第七节 直流电动机的运行	102
第四节 电阻和电感串联电路	37	* 第八节 常用特殊电机	105
第五节 提高功率因数的意义及方法	40	本章小结	108
* 第六节 谐振电路	42	习题	108
本章小结	44	第七章 电动机的控制	110
习题	45	第一节 控制电器和保护电器	110
第三章 三相正弦交流电路	47	第二节 异步电动机的全压起动	117
第一节 三相对称电动势	47	第三节 三相异步电动机的减压起动	121
第二节 三相对称负载	49	第四节 三相异步电动机的调速和制	
本章小结	52	动	124
习题	53	* 第五节 常用生产机械控制电路	127
第四章 变压器	54	本章小结	131
第一节 磁场与磁路	54	习题	132
第二节 变压器基础知识	57	第八章 供电及用电常识	133
第三节 单相变压器的工作原理	59	第一节 电能的产生、输送与分配	133
* 第四节 自耦变压器和三相变压器	62	第二节 常用照明设备及线路	136
本章小结	65	第三节 电能转换及应用	140
习题	65	第四节 安全用电、节约用电	143
第五章 电工仪表及测量	67	本章小结	147
第一节 电工测量的基本常识	67	习题	147

实 践 篇

实验一	基尔霍夫定律与电位的测量	151	*实验八	三相异步电动机的简单测试	
实验二	三相负载的联结	152	方法	163	
实验三	万用表的原理电路实验	154	*实验九	三相异步电动机的星形-三	
实验四	三相异步电动机的全压起动控		角形减压起动	165	
	制电路	157	*实验十	常用单相交流电源板制作	167
实验五	单相异步电动机的控制电路	159	*实验十一	C620-1 型车床控制电路的	
实验六	荧光灯电路的安装与提高功率		模拟安装实验	168	
	因数	160	*实验十二	单缸洗衣机模拟控制电路	169
*实验七	单相变压器及自耦变压器的		*实验十三	特殊电动机的应用	170
	使用	161	参考文献	172	

绪 论

电气化、自动化、网络化是衡量一个国家经济实力和文明程度的重要标志。电能作为一种能源,已被广泛应用于工农业生产、交通运输、国防建设和日常生活中。与其它能源相比,电能具有转换方便高效、传输简单经济、控制和检测简便灵活、对环境污染少等优点,在国民经济中起着举足轻重的作用。

电工技术是研究电磁特性基本规律及其应用的一门学科。在计算机、自动控制、数控加工、现代医学、环境保护、宇宙航行、遥感遥测等现代技术中,先进的技术设备和电工技术都有着密切的联系。一些较为落后的行业,也由于引入了电工技术、电子技术、计算机技术,已从夕阳产业转变成了朝阳产业,焕发了青春,取得了可喜的经济效益。

由于电工技术和各行各业有着不可分割的联系,所以非电专业的学生不仅要掌握好本专业的知识,而且还要学习掌握电工技术,把电工技术应用到本专业中去,让其发挥巨大的作用,使自己成为一个既懂本专业知识、又懂电工技术的全面发展的技术人才。

电工技术的内容广泛,理论性、系统性强,而非电专业学生接触电类课程的时间又较少,因此,本教材在编写中侧重于有关内容的基本概念、基本分析方法的建立和基本实践技能的培养。本书对一些繁琐的理论推导和复杂的数学计算都进行了简化,使所述内容通俗易懂。

在学习中应注意以下几点:

1. 树立热爱科学、实事求是、理论联系实际的优良学风,既要注重理论学习,又要培养自己的实践技能。

2. 要扎扎实实地掌握各定律的内容及适用范围,切实理解各物理量的意义、符号和单位;要熟记主要元器件、设备和基本控制电路的基本特性。

3. 要充分重视实验,用理论指导实践,用实践验证理论,巩固所学知识。

希望各位学员通过本课程的学习,能掌握电工技术的基本知识和基本技能,为后继课程的学习打下坚实的基础。

理 论 篇

第一章 直 流 电 路

方向不随时间变化的电流称为直流电，在直流电作用下的电路称为直流电路。本章主要介绍直流电路的基本知识，主要内容包括：电路的组成及基本物理量；电能和电功率；电阻及其联结方式；电路分析的基本定律——欧姆定律、基尔霍夫定律；电路的基本分析方法——支路电流法，同时也简要介绍了电源的特性及等效变换、戴维南定理、叠加原理。

第一节 电路的组成及基本物理量

一、电路

电路是各种电器元器件通过一定的联结方式构成的总体，是电流流过的路径。最简单的电路如图 1-1a 所示，它由电源、中间环节和负载组成。为了绘图方便和标准化，国家规定了各种电器元器件的图形符号，用图形符号画成的图称为电路图，上述简单电路的电路图如图 1-1b 所示。

电路中各部分的功能如下：

1. 电源 是一种把其它形式的能量转换为电能的装置。如干电池将化学能转换为电能，发电机将机械能转换为电能等。

2. 中间环节 是传输、控制、分配电能的装置。如导线将电能从电源输送到负载，开关控制电路的通断等。

3. 负载 是将电能转换成其它形式能量的装置。如电灯将电能转换成光能，电炉将电能转换成热能，电动机将电能转换成机械能等。

二、电路的基本物理量

1. 电流 在物质内部有正、负两种不同的电荷，电荷在电场力的作用下定向运动形成电流。电流用 I 表示，其大小为单位时间内通过导体横截面的电荷量，即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-1)$$

式中， I 为电流 (A)； Q 为电荷量 (C)； t 为时间 (s)。

电流的单位为安培，简称安 (A)。实用单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$$

$$1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

我们规定正电荷运动的方向为电流的方向，在电路图中可用带箭头的实线表示。在金属

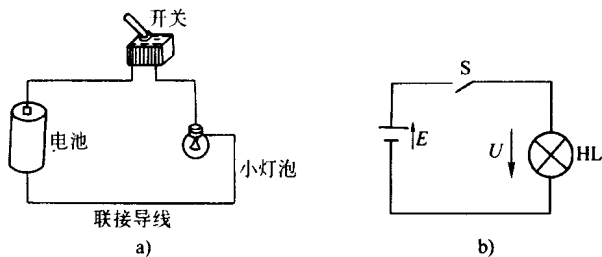


图 1-1 最简单的电路

a) 实物图 b) 电路图

导体中,自由电子(负电荷)在电场的作用下,定向运行形成电流,其运动方向恰好和电流的方向相反,如图 1-2 所示。

2. 电压 又称为电位差,是衡量电场力做功大小的物理量,用 U 表示,其大小为电场力将电荷从 a 点移到 b 点所做的功 W_{ab} 和电荷量 Q 的比值:

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q}$$

(1-2)

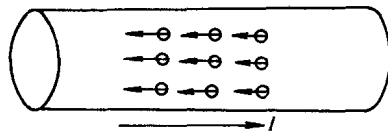


图 1-2 电子运动方向和电流方向

式中, U_{ab} 为 a 、 b 两点间的电压 (V)。

电压的单位为伏特,简称伏 (V)。实用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μ V)。

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$$

$$1\mu\text{V} = 10^{-6}\text{V}$$

电压的方向是电压降的方向,由正极指向负极。当电流流过负载时,电流流入端是电压的正端,电流流出端是电压的负端。也就是说,在负载上电压的实际方向和电流的方向一致。电压的方向用箭头在图上表示,由起点指向终点,如图 1-1b 所示,或用双下标表示,前一个下标代表起点,后一个下标代表终点。电压的方向也可在起点标以正号,终点标负号表示。

在计算中,经常遇到电流和电压的实际方向不能确定的情况,可先假设一个电压或电流的参考方向,再进行计算。若计算的结果为正值,表示实际方向和参考方向一致,反之则表示其实际方向和参考方向相反。

3. 电位 电路中某点相对于参考点的电压称为该点的电位,用 V 表示。如 V_a 表示 a 点的电位。电位的单位也为伏特。

参考点的电位规定为零电位。通常选用大地为参考点,用符号 “ $\perp$ ” 表示;在电子仪器中常把金属机壳或电路的公共接点作为参考点,用符号 “ $\perp$ ” 表示。有时为了计算方便,也可以设定某一点为参考点。

在图 1-1b 中,当开关闭合时,电流从电源的正极出发,通过负载流到电源负极,在电源内部再从负极回到正极,形成闭合回路。在负载上,顺着电流的方向,电位下降;在电源内部,顺着电流的方向,电位上升。

电路中 a 、 b 两点间的电位之差,称为该两点的电位差 (电压),即

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

(1-3)

需要注意的是,当参考点改变时,各点的电位也随之改变,但任意两点间的电位差不变,即电压的大小和参考点的位置无关。

例 1-1 已知 $V_a = 10\text{V}$, $V_b = 20\text{V}$, 求 U_{ab} 、 U_{ba} 各为多少伏?

解 根据式 (1-2),可直接求得

$$U_{ab} = V_a - V_b = 10\text{V} - 20\text{V} = -10\text{V}$$

$$U_{ba} = V_b - V_a = 20\text{V} - 10\text{V} = 10\text{V}$$

从以上计算也可看出 $U_{ab} = -U_{ba}$

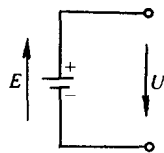


图 1-3 电动势和电压的方向

4. 电动势 电动势是衡量电源将非电能转换为电能本领的物理量,用 E 表示,其单位为伏特 (V)。电动势的方向规定为在电源内部从负极指向正极,在电路中也用带箭头的细实线表示电动势的方向。对于一个电源来

说, 在外部不接负载时, 电源两端电压的大小等于电源电动势的大小, 但方向相反, 如图 1-3 所示。

三、电能和电功率

1. 电能 当电流流过负载时, 电流要做功, 将电能转化为光能、热能、机械能等其它形式的能量。电流所做的功是电能转化成其它形式能量的量度, 用 W 表示。根据式 (1-1)、式 (1-2), 电流所做的功可表示为

$$W = UQ = UI t \quad (1-4)$$

功和能的单位都是焦耳, 简称焦 (J)。

2. 电功率 电流在单位时间内所做的功称为电功率, 用 P 表示:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-5)$$

功率的单位是瓦特, 简称瓦 (W)。实用单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)。

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

在日常生活中, 常用千瓦 (kW) 作为功率的单位, 用小时 (h) 作为时间的单位, 因此, 常用千瓦小时 (kW · h) 作为电能的单位, 千瓦小时俗称为度。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

例 1-2 100W 的电灯, 平均每天使用 4h, 一个月 (按 30 天计) 用电多少度?

解 $100 \text{ W} = 0.1 \text{ kW}$

$$4 \times 30 \text{ h} = 120 \text{ h}$$

$$W = Pt = 0.1 \times 120 \text{ kW} \cdot \text{h} = 12 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

练习与思考

1. 为什么当电位的参考点变化时, 各点的电位要变化, 而任意两点间的电压不变?
2. 电流、电压的实际方向是怎样规定的? 当电流、电压的实际方向不知道时, 应该怎么办?
3. 如图 1-4 所示, 以 c 点为参考零点, 求 a 、 b 、 d 各点的电位及电压 U_{ab} 、 U_{bd} 。如果以 a 点为参考点, 各点的电位会怎样变化? 重求电压 U_{ab} 、 U_{bd} 。

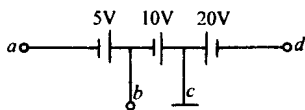


图 1-4 练习与思考 3 图

第二节 电 阻

一、导体的电阻

当电流在导体中流过时, 定向运动的自由电子与导体内的原子核发生碰撞而受到阻碍, 将电能转化为热能或其它不可逆形式的能量。这种导体对电流的阻碍能力称为电阻, 用 R 表示。电阻的单位是欧姆 (Ω), 简称欧, 实用单位还有千欧 (k Ω)、兆欧 (M Ω)。

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1\text{M}\Omega=10^6\Omega$$

导体的电阻是客观存在的。实验表明，金属导体的电阻与导体的长度成正比，与导体的横截面积成反比，还与材料的导电性能有关，即

$$R=\rho \frac{L}{S} \quad (1-6)$$

式中， R 为导体的电阻 (Ω)； L 为导体的长度 (m)； S 为导体的横截面积 (m^2)； ρ 为导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{m}$)。

电阻率 ρ 是反映材料导电性能的参数，不同的金属材料有不同的电阻率。部分金属导体的电阻率见表 1-1。

表 1-1 部分金属导体在 20°C 时的电阻率

材 料	电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)	材 料	电阻率/ ($\Omega \cdot \text{m}$)
银	1.6×10^{-8}	康铜	5.0×10^{-7}
铜	1.7×10^{-8}	锰铜	4.4×10^{-7}
铝	2.8×10^{-8}	镍铬铁合金	1.1×10^{-6}
钨	5.8×10^{-8}	铝铬铁合金	1.3×10^{-6}
铁	1.0×10^{-7}		

从表 1-1 中看出，铜、铝的电阻率很小，常用来制造导线；银的电阻率最小，但价格昂贵，仅使用在对导体有较高要求的特殊场合；镍铬铁合金的电阻率很大，但耐高温，可用来制造电炉的电热丝。

例 1-3 铜的电阻率在 20°C 时为 $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ ，求长度为 100m，横截面积为 2.5mm^2 铜导线的电阻。

解

$$R=\rho \frac{L}{S}=1.7 \times 10^{-8} \times \frac{100}{2.5 \times 10^{-6}} \Omega=0.68 \Omega$$

实验还表明，导体的电阻和温度有关。通常金属导体的电阻随温度升高而增加。如白炽灯中的钨丝，在常温时只有几十欧姆，当有电流流过时，在钨丝上产生大量的热，使温度上升，其电阻也上升到几千欧姆。有些导体材料在温度下降到某一低温时，其电阻会突然消失，这种材料称为超导体。在超导状态时，导体的电阻值为零，没有电能的损失，电流一旦被激发，就不需要外加电源，能一直持续下去，是一种理想的导电材料。

二、电阻器

在电工、电子技术中广泛使用各种电阻器，简称电阻。电阻器是用各种不同电阻率的材料制成的。电阻器按结构不同，可分为固定电阻器和可变电阻器（电位器）；按导电材料不同，可分为碳膜、金属膜、金属氧化膜、绕线和有机合成电阻器等，常用电阻器的外形如图 1-5 所示。

电阻器的主要参数有：

- (1) 标称电阻 工厂生产的系列电阻器的电阻值，用色环法或数值法标于电阻器的表面。
- (2) 允许偏差 标称阻值允许的偏差。I 级为 $\pm 5\%$ ，II 级为 $\pm 10\%$ ，III 级为 $\pm 20\%$ 。
- (3) 额定功率 电阻器允许长期工作时的功率。

用色环法表示时，色环分成两部分，左侧几环是阻值色环，最右侧一环是偏差色环。用

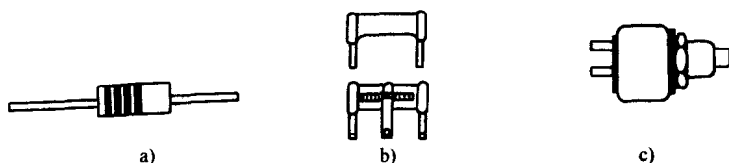


图 1-5 常用电阻器的外形

a) 碳膜或金属膜电阻器 b) 绕线式电阻器 c) 电位器

色环法表示阻值时，左侧阻值色环自左向右排列，前几环表示数值，最后一环表示乘以十的几次方，用黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白分别表示 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。如有一个电阻器，其色环自左向右分别为棕黑黄，则该电阻器的阻值为 $10 \times 10^4 \Omega$ ，即 $100k\Omega$ 。用色环法表示偏差时，偏差色环置于电阻器的最右端，金色表示 I 级，银色表示 II 级，无色表示 III 级。

任何电器元件或设备都有一个额定值，如额定电压、额定电流、额定功率等。当工作电压、电流超过额定值时，电器元件或设备的绝缘材料将有可能被击穿，或因温度过高而烧毁。如一个标称阻值为 $2k\Omega$ ，额定功率为 $1/8W$ 的碳膜电阻，其额定电流不能大于 $7.9mA$ 。

三、电阻的联结

(一) 电阻的串联

两个或两个以上电阻依次相联，中间无分支电路，使电流只有一条通路，这种联结方式称为串联，如图 1-6 所示。串联电路有以下特点：

1) 流过每个电阻的电流均为同一电流，都等于 I 。

2) 总电压等于各电阻上的电压之和，即

$$U = U_1 + U_2 + \cdots + U_n \quad (1-7)$$

3) 电阻串联时的总电阻可用一个等效电阻 R 来代替，其阻值等于各电阻之和，即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-8)$$

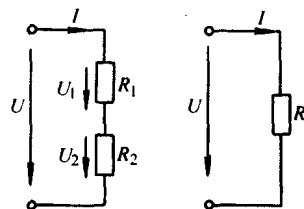


图 1-6 电阻的串联

(二) 电阻的并联

两个或两个以上的电阻依次并接在一起，使每个电阻承受相同的电压，这种联结方式称为并联，如图 1-7 所示。并联电路有以下特点：

1) 各电阻两端的电压相等，都等于 U 。

2) 总电流 I 等于各电阻上电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-9)$$

3) 电阻并联的总电阻也可用一个等效电阻 R 来代替，其阻值的倒数等于各电阻倒数之和，即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-10)$$

当两个电阻并联时，式 (1-10) 也可写成 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ 。

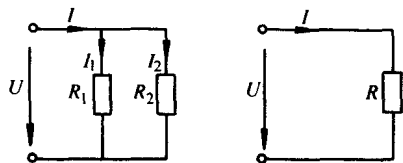


图 1-7 电阻的并联

(三) 电阻的混联

电路中电阻既有串联又有并联的电路，称为电阻的混联电路，如图 1-8 所示。在分析混联电路时，必须分清哪些电阻串联，哪些电阻并联；计算其等效电阻时，要分清是先串联，还

是先并联，前后次序不能搞错。

在图 1-8a 中，计算电路中的等效电阻 R_{AB} 时，应先将 R_2 和 R_3 串联再和 R_1 并联，即

$$R_{AB} = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 + (R_2 + R_3)}$$

而在图 1-8b 中，电路中的等效电阻 R_{AB} 等于先将 R_2 和 R_3 并联再和 R_1 串联的值，即

$$R_{AB} = \frac{(R_2 R_3)}{R_2 + R_3} + R_1$$

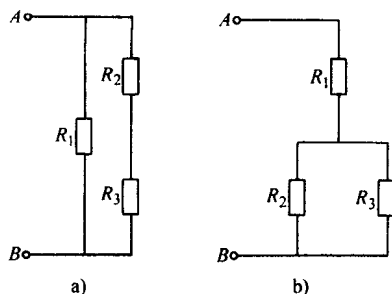


图 1-8 电阻的混联

a) 先串联再并联 b) 先并联再串联

对于较复杂的电路图，初学者可根据电阻串并联的定义，将原图按化简过程，依次画出等效图，然后按化简过程逐步进行计算。

例 1-4 如图 1-9 所示电路， $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 3\Omega$ ，求 XY 间的等效电阻 R_{XY} 。

解 根据电阻串并联定义，将原图依次化简，画出等效图，如图 1-10 所示，按简化过程计算如下：

$$R_A = R_4 + R_3 = 3\Omega + 3\Omega = 6\Omega$$

$$R_B = \frac{R_5 R_A}{R_5 + R_A} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} \Omega = 2\Omega$$

$$R_C = R_2 + R_B = 3\Omega + 2\Omega = 5\Omega$$

$$R_{XY} = \frac{R_1 R_C}{R_1 + R_C} = \frac{3 \times 5}{3 + 5} \Omega = \frac{15}{8} \Omega$$

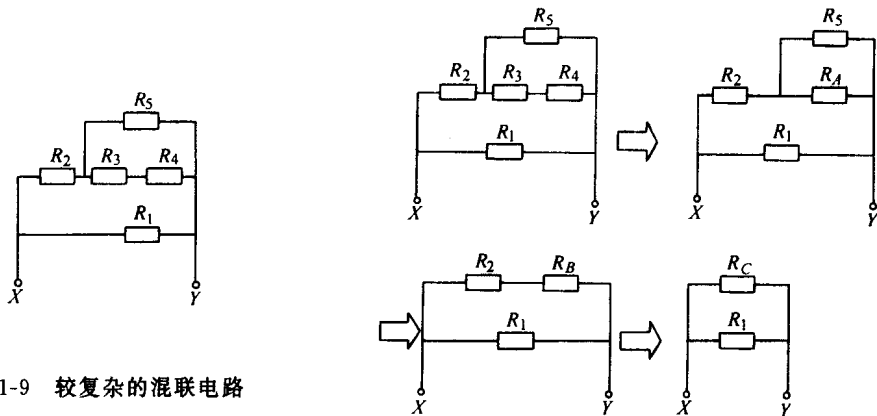


图 1-9 较复杂的混联电路

图 1-10 等效电路的简化过程

四、电流流过导体时的热效应

在上节中，我们曾讲过，电流流过负载时要做功。当电流通过导体时，将电能转换为热能，使导体发热的现象叫电流的热效应。其产生的热量，与电流的二次方、导体的电阻及通电时间成正比，即

$$Q = I^2 R t \quad (1-11)$$

式中， Q 为热量 (J)； I 为电流强度 (A)； R 为导体的电阻 (Ω)； t 为通电时间 (s)。

例 1-5 一只额定功率为 1000W，额定电压为 220V 的电炉，工作 1h，求电炉正常工作时