



中等职业教育通用教材

DIQIANGONGXUE



主编 ◆ 刘书卫

电 工 学



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)



中等职业教育通用教材

电 工 学

刘书卫 主编

西南交通大学出版社

• 成 都 •

.....
图书在版编目 (C I P) 数据

电工学 / 刘书卫主编. — 成都: 西南交通大学出版社,
2006.8

中等职业教育通用教材
ISBN 7-81104-294-0

I. 电... II. 刘... III. 电工学—专业学校—教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 050209 号
.....

中等职业教育通用教材

电 工 学

刘书卫 主编

*

责任编辑 万 方 赖颖昕

责任校对 王 蕾

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

重庆市鹏程印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 10.625

字数: 262 千字 印数: 1—10 000 册

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-294-0

定价: 16.00 元

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

进入 21 世纪以来,为了贯彻落实中共中央、国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》和国务院《关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,适应新世纪社会主义市场经济和职业教育快速发展的需要,培养大批具有综合素质的建设小康社会的技能型人才,在上级领导的热情关心和全力支持下,我们结合社会主义市场经济发展和西部大开发及劳动力市场的现状,以及中等职业学校专业技能基础课教学的实际情况,编写了这本中等职业教育通用教材《电工学》。本教材以马克思主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导方针,以国家颁发的《职业技能等级标准》和有关的最新标准为依据,结合中等职业学校学生的知识基础和年龄特点等实际情况,并根据中职学校的培养目标和非电专业对电工知识的要求来组织内容,贯彻理论教学为专业技能实践服务的原则,突出技能培训,形成以应用知识为主要内容的新格局,避免了冗长的理论分析和复杂计算,力求概念清楚、内容简明、文字流畅、图文并茂,坚持理论联系实际、突出操作技能训练。因此,本教材的内容具有一定的科学性、专业性、针对性、实践性、时代性和实用性等特点,既可以作为中等职业学校非电专业的通用教材,也可以供企业职工相关专业的在职培训使用;在教材内容上注意了包容性,既能满足三年学制的要求,又能适应较短学制教学的需要。

在编写本教材的同时,为了便于教师教学安排与因材施教、利于学生复习巩固,也编写了与其相配套的《电工学(教学大纲)》、《电工学(习题册)》、《电工学(教学参考)》,以供各校师生在具体的教学实践中参考。

本教材由刘书卫主编与统稿、何月平主审。

参加本教材的编写人员是:刘书卫(绪论),郭德福(第一章、第二章),袁秀彬(第三章),何月平(第四章、第五章),李佐伦(第六章、第七章)。

这本《电工学》教材的成型经过了几年的努力,由于职业教育形势发展的需要,本着与时俱进的精神,在这次正式出版之际,我们在广泛听取意见的基础上,将教材中的有关内容进行了必要的修改与调整。

这次修改与调整由原主编、主审、参编人员承担。

在本教材的编写、修改调整和正式出版的过程中,得到了重庆市劳动和社会保障局、重庆市技能人才开发协会有关领导同志的具体指导和各中高等职业院校的领导、老师的热情关心,得到了承担本书编写任务的同志所在学校领导和老师的大力支持,也听取了社会各界许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,缺点和错误在所难免,恳切期盼各校广大师生在使用教材中继续提出批评和改进意见。

编 者

2006 年 7 月

目 录

绪 论	1
第一章 直流电路	3
1.1 电的基本知识	3
1.2 电路的组成和作用	7
1.3 电路中的主要物理量	9
1.4 电阻及欧姆定律	11
1.5 电功、电功率和电流的热效应	15
1.6 电阻的串联、并联和混联	18
1.7 基尔霍夫定律	21
小 结	26
实验一 基尔霍夫定律的验证	28
第二章 电 磁	30
2.1 电流的磁场	30
2.2 磁场的主要物理量	33
2.3 磁场对载流导体的作用	34
2.4 磁路与磁路的欧姆定律	38
2.5 铁磁材料的磁性能和用途	39
2.6 电磁感应	44
2.7 自感、互感、涡流	49
小 结	54
实验二 电磁感应	55
第三章 交流电路	57
3.1 概 述	57
3.2 正弦交流电的三要素	58
3.3 正弦交流电的三种表示方法	61
3.4 纯电阻电路	63
3.5 纯电感电路	65
3.6 纯电容电路	67
3.7 电阻、电感串联电路	70
3.8 提高功率因数的意义和方法	72
3.9 电阻、电感、电容串联电路	74

3.10 三相交流电路	76
小 结	82
实验三 电阻、电感串联电路	83
实验四 功率因数的提高	84
实验五 三相交流电路	85
第四章 变压器与交流电动机	87
4.1 变压器的结构和原理	87
4.2 几种常见的变压器	91
4.3 变压器的铭牌	95
4.4 三相异步电动机的结构和原理	97
4.5 三相异步电动机的运行特性	102
4.6 三相异步电动机的使用	104
4.7 单相异步电动机	109
小 结	111
第五章 低压电器和基本控制线路	112
5.1 常用低压电器	112
5.2 笼式电动机直接启动控制线路	122
5.3 笼式电动机减压启动控制线路	130
5.4 笼式电动机制动控制线路	131
5.5 可编程序控制器简介	134
小 结	135
实验六 点动、单向正转控制线路	136
实验七 正反转控制线路	137
第六章 供电与安全用电	139
6.1 发电、输电和配电概况	139
6.2 常用电气照明线路	141
6.3 安全用电常识	143
小 结	149
第七章 电子技术基础	151
7.1 半导体的基本知识	151
7.2 晶体二极管整流滤波电路	153
7.3 晶体三极管	156
7.4 晶闸管及其应用	159
7.5 集成电路简介	161
小 结	162

绪 论

一、电能的应用及电气化的重要性

在各种形式的能量中,电能占有重要的地位。随着科学技术的不断发展,电能广泛应用于各个领域。在工业生产中,各种生产机械(如机床、起重机、水泵等)都是由电力来驱动的;在农业生产中,电力排灌设备、粮食和饲料加工设备也是以电力作为主要动力的;在国防上,电力被广泛地应用于导弹、雷达系统。日常生活中的电灯、电话、电视机、空调、洗衣机等也都依赖电能才能工作。当前,电子计算机的应用已经深入到社会生活的各个领域,人们在网络上从事电子商务、收发电子邮件、浏览各种信息以及玩网络游戏、视频聊天等,这些都离不开电能的使用。所以电能在国家经济建设和人民物质、文化生活中占着极其重要的地位。电能的应用对我国四个现代化的实现起着巨大的作用。可以说,电气化程度已经成为衡量一个国家是否先进的重要标志。

解放前,我国的电力工业十分落后,电子工业处于空白。解放后,我国工农业生产发展迅速。特别是改革开放以来,我国电力工业随着国民经济发展而突飞猛进。2004年底我国的发电装机容量已达4.4亿千瓦,超过了英国、德国、法国的总和。至2005年底,全国电力装机容量突破5亿千瓦,预计2010年将达到6.9亿千瓦。我国人均用电从1996年的687度,增长到2004年的1680度,增幅达2.4倍。2005年9月26日,我国目前最高电压等级的输变电工程——750千伏输变电示范工程投入运行,包括140公里长的750千伏输电线路和两座750千伏变电站。我国第一个百万伏特高压示范电力工程(从山西晋城至湖北荆州)正在紧张、有序地建设中。

二、电能的优越性

电能之所以有如此巨大的作用和如此广泛的应用,是因为电能本身有明显的优越性。

1. 转换容易

电能是二次能源,它可以很方便地由其他形式的能(例如水能、热能、光能、化学能、原子能等)转换而来,这些转换器包括发电机、光电池、干电池、核电站等。而电能也可以较方便地转换成其他形式的能量,例如电动机将电能转换成机械能;电灯将电能转换成光能;电炉将电能转换成热能等。而且在这些转换中能量的损耗很小。

2. 输送经济

一般发电厂均建立在燃料资源或水力资源比较丰富的地方,而用电单位分散在各地。电能可以远距离输送,并且设备简单,能量损耗小,因此效率高。同时电能的分配也极为方便。

3. 控制便利

电能用于控制时,迅速而且准确,便于实现远距离控制和生产过程自动化。

三、本课程的性质和目的

电工学是研究电磁现象及其基本规律在工程技术中应用的一门科学,是一门重要的技术基础课。通过本课程的学习,可掌握必要的电工基础知识和基本技能,获得正确使用、维护电气设备以及安全用电的基本知识;了解常用的低压电器的功能与用途;看懂一般的简单的控制线路图;懂得一些电子技术常识,初步具有一定的学习电工新知识、认识电工新器件的能力。同时通过实验,掌握一定的实验技能,从而为今后的工作和进一步的学习打下基础。

四、学习方法和注意事项

本课程涉及的知识面较广,其中包括电路的基本知识、电机与电器、电力拖动系统、输配电系统、电子技术基础及安全用电等诸多方面。既有系统的理论,又有具体的实际应用,在学习过程中应注意:

- (1) 理解各物理量的意义,熟记它们的符号和单位。
- (2) 熟悉各基本定律内容,掌握有关量间的相互关系。
- (3) 弄清公式中各符号的意义和单位,注意公式的使用条件。
- (4) 熟记安全用电常识。

(5) 要充分重视实验和在实际工作中对电气设备的正确使用,理论联系实际,以巩固和加深对所学知识的理解,培养独立工作能力。

第一章 直流电路

本章介绍有关电的一些基本概念、电路的构成及其主要物理量，进而研究电的基本规律和各物理量间的相互关系。

1.1 电的基本知识

谈到电，大家并不陌生，电灯照明、看电视、打电话、用电脑……，都离不开电。在工业、农业、交通运输、国防和科技领域中都广泛使用着电能。因此，掌握电的基本知识，学会必要的用电操作技能，对我们每一个人都是十分重要的。

1.1.1 电场和电场强度

我们知道，物质都由分子组成，而分子是由原子组成的。每个原子又是由一个带正电的原子核及一定数量带负电的电子所组成，这些电子沿着不同的轨道绕原子核高速旋转。整个原子结构与太阳系的行星绕太阳旋转很相似。氢原子和铜原子的结构如图 1.1 所示。

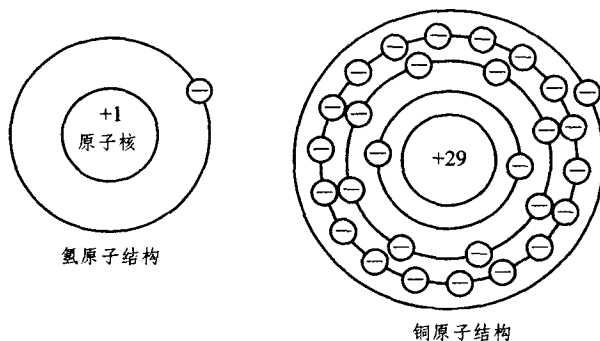


图 1.1 原子结构示意图

绕核旋转的电子为什么不脱离原子核呢？原因是原子核与电子间存在着一种特殊的吸引力。这种吸引力是因为原子核与电子分别带有不同性质的电荷引起的。同种电荷互相排斥，异种电荷互相吸引，这是电荷间相互作用的基本规律。

1. 电 场

原子核带正电，绕核旋转的电子带负电，两个电荷并没有接触，为什么会有力的作用呢？人们经过研究发现：在电荷周围的空間里，总是存在着一种叫做电场的特殊物质，其他电荷

在电场中就会受到电场的作用力。电场对电荷的作用力叫电场力。电荷之间的相互作用力实际上是通过电场来传递的。

我们虽然不能直接看到或触摸到电荷周围的电场这种特殊物质，但可以探测到电场的存在：如果在电场里放置电荷，电荷就会受到电场力的作用。

静止电荷周围的电场称为静电场。

2. 电场强度

在电场中，不同地方的电场方向和强弱是不相同的。图 1.2 是试验电荷在电场中的受力情况。图中箭头表示受力方向，长度表示受力大小。同一个试验电荷在电场中某点受到的力越大，表明那里的电场越强。实验证明：靠近带电体的地方电场强，离带电体越远电场越弱。带电体所带电荷越多，它周围的电场也越强。

由于电场中某点的电场力 F 与试验电荷的电量 q 成正比， F 与 q 的比值是一个常数。我们把这个比值叫做该点的电场强度，用符号 E 表示，即

$$E = \frac{F}{q} \quad (1.1)$$

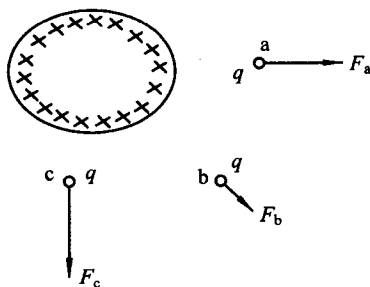


图 1.2 试验电荷在电场中受力

也就是说，电场中某点的电场强度，其数值等于单位正电荷在该点所受电场力的大小；电场强度的方向，就是正电荷在该点的受力方向。

1.1.2 电位和电压

1. 电 位

电位是衡量单位正电荷在电场中某点所具有的电位能大小的物理量。

电荷在静电场中，由于受到电场力的作用要发生运动，这是电场力在对电荷做功。下面以图 1.3 所示的均匀电场为例，讨论电场力做功的情况。

一个试验正电荷 q 放在均匀电场中的 a 点。若要将 q 从 a 点移到 b 点，根据同性电荷相斥的原理，就必须施加外力来克服电场的排斥力，这时是外力对正电荷 q 做功，使 q 的电位能增加。如果电场力将正电荷 q 从 a 点移到 c 点，则是电场力对正电荷 q 做功，电位能减小。如果把电荷的电量 q 增加一倍，显然外力或电场力所做的功 A 也要相应地增加一倍。这表明对电场中的某点来说， A/q 是一个常数。因此，我们得到电位这个物理量的定义是：单位正电荷在电场中某点所具有的电位能称为该点的电位，用字母 φ 表示，即

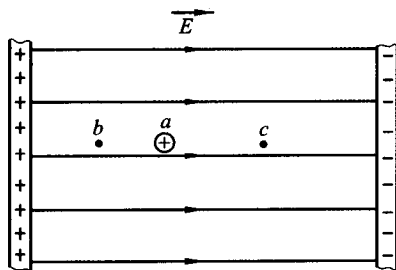


图 1.3 电场中的电荷

$$\varphi = \frac{A}{q} \quad (1.2)$$

式中 A —— 功 (电场能), 单位为 J (焦耳)

q —— 电荷的电量, 单位为 C (库伦)

φ —— 电位, 单位为 V (伏特)

为了比较电场中不同点电位值的大小, 需要指定一个参考点, 通常令参考点的电位为零 (即 $\varphi_0 = 0$), 把各个不同点的电位与参考点作比较, 就可以确定各个不同点的电位值。

应当特别指出的是: 参考点不同, 电路 (电场) 中各点的电位有不同的数值, 只有在确定了参考点之后, 各点的电位才会有确定的数值。

2. 电 压

电压是衡量电场力做功能力大小的物理量, 数值上等于电场力移动单位正电荷所做的功, 用字母 U 表示。在图 1.3 所示的均匀电场中, 如果电场力把正电荷 q 由 a 点移到 c 点时, 所做的功为 A_{ac} , 则 a、c 两点间的电压 U_{ac} 就是

$$U_{ac} = \frac{A_{ac}}{q} \quad (1.3)$$

在讨论分析电路问题时, 有时需要知道某两点之间的电位关系, 这就要用到电位差的概念。如果电场中 a 点电位为 φ_a , c 点电位为 φ_c , 则电场力把正电荷 q 由 a 点移到参考点所做的功为

$$A_a = q\varphi_a$$

电场力把正电荷 q 由 c 点移到参考点所做的功为

$$A_c = q\varphi_c$$

显然, 电场力把正电荷 q 由 a 点移到 c 点所做的功就是

$$\begin{aligned} A_{ac} &= A_a - A_c = q(\varphi_a - \varphi_c) \\ \frac{A_{ac}}{q} &= U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c \end{aligned} \quad (1.4)$$

所以, 电压就是电场或电路中两点之间的电位差。

在图 1.3 所示的电场中, 如果选择 c 点为参考点 (即 $\varphi_c = 0$), 则 a、c 两点的电压为

$$U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = \varphi_a - 0 = \varphi_a$$

因此, 又可以说某点电位就是电场中该点与参考点之间的电压。

电压的单位是 V (伏特), 常用单位还有 kV (千伏)、mV (毫伏)、 μ V (微伏)。它们之间的换算关系是:

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

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

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

正如两个盛水容器有水位差时水才能流动一样, 导体两端加有电压 (有电位差) 是导体内产生电流的必要条件。

电压不仅有大小, 而且有方向。电压的方向使用双下标表示, 从第一个下标指向第二个下标。如 U_{ab} 表示电压方向是从 a 点指向 b 点。

电压数值的大小可通过电压表来测量。使用电压表时要注意“+”接电路高电位，“-”接电路低电位，并要将电压表并接在电路的两端。

1.1.3 导体、绝缘体和半导体

1. 导 体

所谓导体，就是比较容易传导电流的物体。常见的导体是金属，如铜、铝、银等。金属为什么能够很好地传导电流呢？这是因为在金属原子中，最外层的电子与原子核的结合比较松散，容易摆脱原子核的束缚，在组成金属的各原子间自由运动，这样的电子称为自由电子。在平常情况下，金属中大量的自由电子只作无规则的热运动；当接上电源并且形成闭合通路时，金属导体中的自由电子就会在电场的作用下作有规则的定向运动，形成电流。

电气工程中常用的电线和电缆大都是用铜、铝及其合金制作的。铜材和铝材不仅能够很好地传导电流，而且耐腐蚀、易加工、有一定的抗拉强度。

所有的金属，包括水银和金属的合金都是导体。除此以外，大地、人体、石墨以及酸、碱、盐溶液也都是导体。

2. 绝缘体

所谓绝缘体，就是几乎不能够导电的物体，工程技术上用来隔离具有不同电位的带电体。绝缘体内部的原子，其最外层电子与原子核的结合比较紧密，电子不容易挣脱原子核对它的束缚而成为自由电子，因此不能够传导电流。这类物质有陶瓷、橡胶、油漆、玻璃、云母、干燥的木材等。

应该指出，好的绝缘体并非绝对不导电。如果在绝缘体的两端加上一定的电压，绝缘体中就会有有一个微小的电流流过（数微安或数十微安），这种微小电流叫做泄漏电流。绝缘体越潮湿、越不清洁或者承受的电压越高，则通过绝缘体或其表面的泄漏电流就越大。

此外，绝缘体的绝缘性能并不是永久不变的。如果因为外部灰尘和水分的侵入，或者长期经受高温，都会使绝缘体变质，使其绝缘性能变差，这叫做绝缘老化。在绝缘老化的绝缘体上加上过高的电压，就会使绝缘体失去绝缘性能，大量的电流通过绝缘体，这种现象叫做绝缘击穿。电气设备和电工工具是不允许发生绝缘击穿的，为此制造厂家都对它们规定了一定的允许使用电压，在实际使用中所加电压不能超过它，否则就可能使电气设备或工具的绝缘击穿，发生设备损坏或人身伤亡事故。

3. 半导体

导电性能介于导体和绝缘体之间的物体叫做半导体。有关半导体的内容见第7章。

复习与思考

1. 什么叫电场？什么叫电场强度？
2. 什么叫电位？什么叫电压？电压和电位之间有什么联系和区别？
3. 什么叫“绝缘击穿”？绝缘击穿是由哪些原因造成的？

1.2 电路的组成和作用

1.2.1 电路的组成

电路就是电流流经的路径。电路由电源、负载和中间环节这三个基本部分组成。图 1.4 便是一个完整的电路。

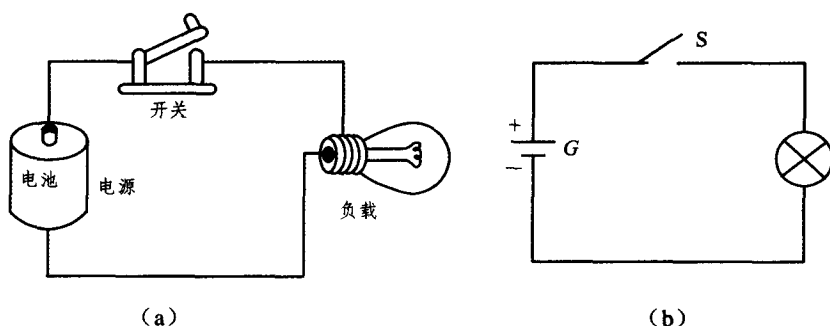


图 1.4 电路图

1. 电 源

电源是提供电能的设备，它将其他形式的能量转换成电能，如发电机将机械能转换成电能，干电池将化学能转换成电能等。

2. 负 载

负载是各种用电设备的总称，其作用是将电能转换成其他形式的能量。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。

3. 中间环节

中间环节包括连接导线，控制设备和保护及测量装置等。如各种开关、熔断器和测量仪器等。中间环节把电源和负载连接起来，构成通路，并且起控制、监视和保证安全用电的作用。

电路通常有三种状态：

(1) 通路：通路又称闭合电路，这时电路中有工作电流。

(2) 开路：指电路中某处断开，又称断路。此时电路中无电流。

(3) 短路：指电路或其中一部分被短接。如负载或电源两端被导线连接在一起就叫短路。此时电源提供的电流比正常电流要大许多倍，因此一般不允许短路。

1.2.2 电路的作用

电路的基本作用是进行电能与其他形式能量的转换，可归纳为两大方面：

1. 电能的传输、分配和转换

电流在电路中通过的过程，就是电能传输、分配以及转换成其他形式能量的过程。如发

电机把自然界中的热能、水的位能、原子能等转换成电能，通过变压器、输配电线路送到各用户，用户又把电能转换成热能、光能、机械能等。

2. 信息传递和处理

通过电路将输入的电信号进行传递、转换或加工处理，使之成为能满足一定要求的输出信号。如收音机或电视机把收到的微弱信号经过调谐电路，从多种不同频率的信号中挑选出所需要的信号进行放大处理，然后输出；自动控制系统中将信号进行比较、放大，推动执行机构去调节控制对象等。

1.2.3 电路图

电路可以用电路图来表示。图 1.5 是手电筒的电路图。其中图 a 是实物电路图，画起来很麻烦；图 b 是电路原理图。在绘制原理图时，每种元件都用国家标准规定的图形和文字符号来表示，不考虑元件的真实形状和具体位置，只突出表示电路中各元件的电的联系。工程技术上广泛采用原理图。根据电路原理图可以很方便地了解电路的连接方式和各元件的作用，便于分析和研究问题以及进行施工安装、维护检修和调整工作。

部分常用电工图形符号见表 1.1。

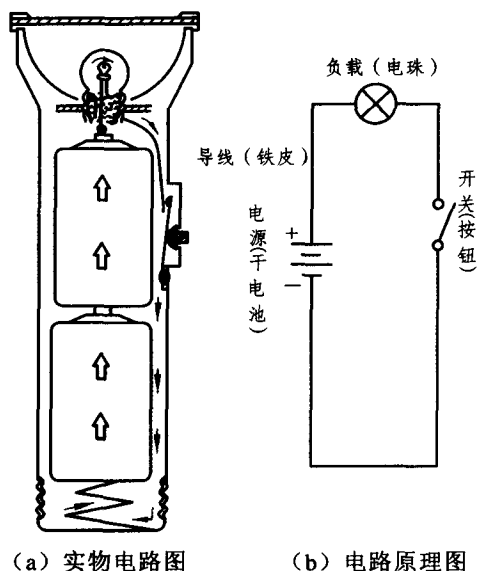


图 1.5 手电筒的电路

表 1.1 部分电工图形符号

	开关		电阻器		接地
	电池		电位器		端子
	直流电动机		电容器		联接导线 不联接导线
	线圈		电流表		熔断器
	铁心线圈		电压表		灯
	抽头线圈		二极管		

复习与思考

1. 电路由哪几部分组成？各部分的功能怎样？
2. 电路有哪三种状态？各有何特点？
3. 接地和接机壳符号有何不同？

1.3 电路中的主要物理量

1.3.1 电 流

电荷作有规则的定向运动叫做电流。如金属导体内的自由电子或电解液内的带电离子，受到一定方向的电场力作用就会向一定方向运动而形成电流。在闭合回路中电流的产生必须具备两个条件：一是要有可以移动的自由电荷，二是导体内要维持一个电场。

衡量电流大小的物理量叫电流强度。其定义是单位时间内通过导体横截面的电量，用字母 I 表示。若时间 t 秒内通过导体横截面的电量是 Q 库仑，则电流强度为

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.5)$$

电流强度的单位是“安培”，用字母 A 表示。若在 1 秒内通过导体横截面的电量为 1 库仑，则电流强度就是 1 A。常用的单位还有 mA（毫安）、 μ A（微安），电工工程中常用 kA（千安）。它们间的换算关系为：

$$\begin{aligned} 1 \text{ mA} &= 10^{-3} \text{ A} \\ 1 \mu\text{A} &= 10^{-3} \text{ mA} = 10^{-6} \text{ A} \\ 1 \text{ kA} &= 10^3 \text{ A} \end{aligned}$$

电流强度通常简称电流。电流的方向规定为正电荷运动的方向，与电子运动的方向相反。

1.3.2 电 压

电压是衡量电场力作功能力大小的物理量，是电场或电路中两点之间的电位差。电压这个物理量已在 1.1.2 节中作过详细讨论。

1.3.3 电动势

在图 1.6 所示的电路中，正电荷在电场力作用下，从电源的正极经过负载 R 向电源的负极移动。如果电路中只有电场力对电荷的作用，则电荷移动的结果势必改变电荷的分布。电源正极因正电荷减少而使电位逐渐降低，负极则因正电荷的不断增多而使电位上升，最后正、负极之间的电位差为零，电流终止。为了维持电路中的电流，就必须有一种外力，不断地把正电荷从电源内部的低电位处移送到高电位处，以维持电源两极间的电位差。电源内部所存在的这种力叫做电源力。

既然电位差的产生是电源力移动电荷的结果，因而电源力对电荷做了功。电源力将单位

正电荷从电源的负极经电源内部移动到正极所做的功,叫做电源的电动势,用字母 E 表示。如果被移动的电荷量用 q 表示,电源力把 q 从 b 端移送到 a 端所做的功是 A_{ba} , 则有

$$E = \frac{A_{ba}}{q} \quad (1.6)$$

式中,功的单位为焦耳(J),电量的单位为库仑(C),则电动势的单位是伏特(V)。

电动势和电压是两个不同的物理概念。电动势反映电源力移动电荷做功的本领,而电压反映电场力移动电荷做功的本领。电源虽然既有电动势又有电压,但电动势只存在于电源内部。电动势的方向是电源内部电位升高的方向,即由负极指向正极,而电源两端的电压方向规定为在电源外部由正极指向负极。图 1.7 所示为电源电动势与电压的方向。

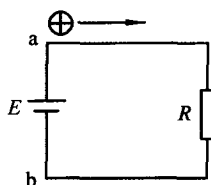


图 1.6 电动势的概念

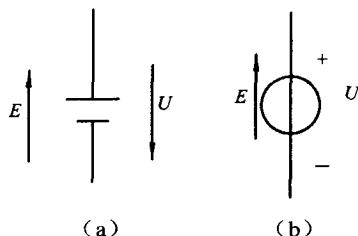


图 1.7 电源的电动势与电压方向

*1.3.4 参考方向

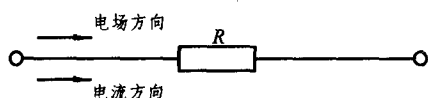
电路中的电压、电流、电动势都是既有大小,又有方向的物理量。前面已经讨论过这些物理量的方向,但在实际电路中,它们的方向往往无法预先知道。如图 1.8 所示的一段电路,在不同方向电场的作用下,流过这段电路的电流可能有两种方向。

在简单电路中,根据电场的方向可以确定电流的方向。而在复杂电路中,电流的实际方向往往无法预先知道。特别是在交流电路中,电压、电流、电动势的方向是随着时间反复变化的,很难用一个固定箭头表示出它们的实际方向。为了解决这个问题,我们引入参考方向的概念。

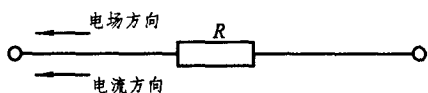
所谓参考方向,就是在分析计算电路时,在物理量的两种可能方向中,预先假定某一方向作为其参考方向,在电路图中用箭头表示出来,也可在物理量符号的右下角用双下标表示,如 U_{ab} 、 I_{ab} 等。并且规定:物理量的实际方向与参考方向一致时,该物理量为正值;实际方向与参考方向相反时,则为负值。这样,就可以根据电压、电流、电动势数值的正负,结合参考方向,确定出它们的实际方向。如在图 1.9(a) 所示的一段电路中,假定电流的方向是 I_{ab} ,即参考方向从 a 到 b ,根据这个参考方向计算出电流 $I = 2\text{ A}$,数值为正表示电流的实际方向与参考方向一致。同是这段电路,如果选择 I_{ba} 为参考方向,如图 1.9(b) 所示,则算出电流 $I = -2\text{ A}$,其数值为负,说明电流的实际方向与参考方向相反,因此断定电流的实际方向是从 a 到 b 。

由此可见,电流的实际方向是客观存在的、确定的,而参考方向只是我们在计算电路时用来确定其实际方向的一种方法和手段。在实际使用参考方向时应当注意以下几点:

(1) 参考方向可以任意假定,但应尽可能与实际方向一致,尽量避免计算中出现负号;在同一段电路中,电压和电流的参考方向也应尽量选择得相同。

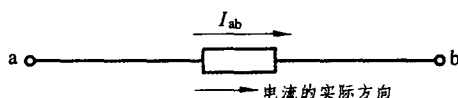


(a)

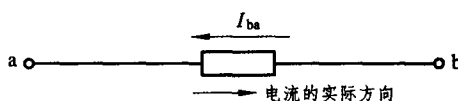


(b)

图 1.8 电流的两种方向



(a)



(b)

图 1.9 参考方向与实际方向

(2) 对于同一电路，参考方向一旦确定，在整个计算过程中不允许改变。

(3) 电路中电压、电流的实际方向是客观存在的，不受参考方向选择的影响；但选定了参考方向后，电压、电流就是一个代数量。

(4) 参考方向与代数量结合，就可以确定物理量的实际方向。计算所得数值为正，实际方向就与参考方向一致；所得数值为负，实际方向就与参考方向相反。

复习与思考

1. 电流方向与电压方向有何关系？
2. 什么叫电动势？电源端电压与电动势有何异同？

1.4 电阻及欧姆定律

1.4.1 电 阻

水在水管里流动，会受到管壁和其他障碍物对它的阻力。电荷在导体里移动也会受到阻力，这种阻力就形成电阻。所以电阻是反映导体对电流起阻碍作用大小的一个物理量。

电阻用符号 R (或 r) 表示，它的单位是欧姆 (Ω)。当导体两端的电压是 1 伏，导体内通过的电流是 1 安时，这段导体的电阻就是 1 欧姆。电阻常用的单位还有千欧 ($k\Omega$) 和兆欧 ($M\Omega$)，它们之间的换算关系是

$$1\text{ k}\Omega = 10^3\text{ }\Omega, \quad 1\text{ M}\Omega = 10^3\text{ k}\Omega = 10^6\text{ }\Omega$$

实验证明，在一定温度下，导体的电阻与其长度成正比，与导体的横截面积成反比，并与材料的性质有关。对于长度为 L ，横截面积为 S 的导体，其电阻为

$$R = \rho \frac{L}{S} (\Omega) \quad (1.7)$$

式中，导体长度 L 的单位是 m，横截面积 S 的单位是 m^2 ，导体的电阻率 ρ 的单位是 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

电阻率 ρ 是与材料性质有关的物理量。在一定温度下， ρ 是一个常数。表 1.2 列出了不同