

高等院校电子信息类专业规划教材

电工技术基础

DIANGONG JISHU JICHU

主 编 吴 拓

副主编 易亚军 宋宗峰



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等院校电子信息类专业规划教材

电工技术基础

主 编 吴 拓

副主编 易亚军 宋宗峰

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书为适应应用型本科教育的人才培养目标而编写的。主要内容有：直流电路的基本概念、直流电路的分析与计算、动态电路的分析、正弦交流电及正弦交流电路、耦合电路和变压器、三相交流电路、电机、常用低压电器及其应用，书中配有一定量的思考题与习题并附有部分习题答案。内容简明扼要、深入浅出，重点突出、实用性强，以能力培养为重点，理论分析与应用实例相配合，以提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书可作为高等院校电子信息类、机电类、自动化类、计算机类以及机电一体化类等专业的专业基础课教材，也可供其他从事电子技术工作的工程技术人员参考。

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

电工技术基础 / 吴拓主编. —北京：电子工业出版社，2016.8

ISBN 978-7-121-29025-1

I. ①电… II. ①吴… III. ①电工技术—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 128739 号

策划编辑：朱怀永

责任编辑：郝黎明

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

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：787×1 092 1/16 印张：13.5 字数：367 千字

版 次：2016 年 8 月第 1 版

印 次：2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价：31.00 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）88254888，88258888。

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

本书咨询联系方式：（010）88254608。

前 言

众所周知, 电工技术谱写了人类的辉煌历史。作为一门成熟的技术, 电工技术对人类文明的进步做出了突出的贡献, 至今人类生产力的进步仍在很大程度上依赖于电工技术的进步, 国民经济、科学技术、社会生活各个领域都离不开电工技术。电工技术的地位和学习电工技术的重要性是不言而喻的。

《电工技术基础》是电子信息类、机电类、自动化类、计算机类等专业的专业基础课程, 也是实践性很强的技术基础课程, 是工科学生不可或缺的基础知识和基本技能。随着社会对应用型人才的需求, 该课程对于培养学生的专业技能和创新能力也凸显出更为重要的作用。

本教材的编写是为了适应机电产业发展的需要, 培养应用型本科专业技术人才而编写的。本书具有以下特点:

1. 培养具有较强职业能力的应用型人才的目标明确

遵循教育部对“机电类技术基础课程”的基本要求, 本着“宽口径、厚基础、重实践, 够用为度”的原则, 本教材围绕“培养有一定理论基础, 有较强实操能力, 有足够创新意识的应用型人才”这一目标, 整合和优化教学内容。

2. 实施以能力培养为重点的“教-学-做”一体化教学模式

为了达到理论联系实际、增强实践教学环节的目的, 本教材实施“教-学-做”一体化教学模式, 按照四大模块即清晰的教学导航、系统的理论知识、足够的实操训练、必要的应用示例来编写, 知识目标和能力目标明确、重点和难点突出, 以期达到以能力培养为重点的最佳效果。

3. 加强实操训练以满足岗位就业对专业技能的需要

为了满足许多岗位对就业人员的电工技术与技能提出的新要求, 本教材精心编录了 14 个电工技术实操训练项目以及常用低压电器的应用线路设计, 期望通过实操训练项目调动和激发学生自主获取相关知识和技能的积极性、主动性。

4. 内容新、精、齐, 理论分析与应用实例相配合

编者力求出精品、力求创新, 力求内容系统、科学、全面, 吸收科技最新成果, 对重点内容尤其是与生产实际联系紧密的内容进行细致的推理解析, 理论分析与应用实例相配合, 以期提高学生分析问题和解决问题的能力。

本教材的主要内容有: 直流电路的基本概念、直流电路的分析与计算、动态电路的分析、正弦交流电及正弦交流电路、耦合电路和变压器、三相交流电路、电机、常用低压电器及其应用, 书中配有一定量的思考题与习题并附有部分习题答案。内容简明扼要, 深入浅出, 思路清晰, 重点突出, 实用性强。

本书由吴拓教授任主编，易亚军、宋宗峰任副主编；第 1、3 章由刘伟慈编写，第 2、6 章由易亚军编写，第 4、5 章由宋宗峰编写，第 7、8 章由吴拓编写，各章的实操训练由杨博编写；全书由吴拓教授进行统稿和定稿。

本书的编写得到了各界同仁的大力支持，在此谨致深深的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者不吝指正。

编 者

2016 年 3 月于广州

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和行政责任，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

目 录

第 1 章 直流电路的基本概念	1
1.1 电路的概念与模型	1
1.1.1 电路的概念与组成	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电流与电压	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压	5
1.3 电源	6
1.3.1 电压源	6
1.3.2 电流源	7
1.3.3 受控源	8
1.4 电阻与电导	9
1.4.1 电阻元件的定义	9
1.4.2 线性电阻元件	9
1.4.3 电导	10
1.5 电功率与电功	11
1.5.1 电功率	11
1.5.2 电功	12
1.6 电源有载工作、开路与短路	12
1.6.1 电源有载工作	12
1.6.2 电源开路	13
1.6.3 电源短路	14
1.7 电气设备的额定值	14
1.8 实操训练	15
实操训练一：测量直流电压与电流	15
实操训练二：电阻器的识别与检测	18
思考与练习题	20
第 2 章 直流电路的分析与计算	21
2.1 电阻的串联、并联与混联电路	21
2.1.1 电阻的串联	21
2.1.2 电阻的并联	22
2.1.3 电阻的混联电路	23
2.2 基尔霍夫定律	24
2.2.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	25

2.2.2	基尔霍夫电压定律 (KVL)	25
2.3	Y- Δ 形网络的等效变换	26
2.4	电路中各电位的分析与计算	28
2.4.1	电路中各点的电位	28
2.4.2	电路中各点电位的计算	28
2.5	支路电流法	29
2.6	电源的等效变换	30
2.6.1	两种实际电源的等效变换	30
2.6.2	几种含源支路的等效变换	30
2.6.3	受控源的等效变换	32
2.7	网孔电流法	32
2.8	节点电压法	35
2.9	叠加定理	37
2.10	戴维南定理与诺顿定理	38
2.10.1	戴维南定理	38
2.10.2	诺顿定理	39
2.11	负载获得最大功率的条件	40
2.12	含受控源电路的分析方法	41
2.13	实操训练	43
	实操训练三: 基尔霍夫定律的验证	43
	实操训练四: 叠加原理的验证	45
	实操训练五: 有源二端网络等效参数的测定	47
	思考与练习题	49
第3章	动态电路的分析	52
3.1	电容元件	53
3.1.1	电容的概念	53
3.1.2	电容元件的伏安特性	53
3.1.3	电容元件的储能	54
3.1.4	电容元件的连接	54
3.2	电感元件	55
3.2.1	电感的概念	55
3.2.2	电感元件的伏安特性	55
3.2.3	电感元件的储能	56
3.2.4	电感元件的连接	56
3.3	换路定律与电压和电流初始值的确定	57
3.3.1	换路	57
3.3.2	换路定律	57
3.3.3	初始值及其计算	58
3.4	RC 电路的响应	59

3.4.1	RC 电路的零输入响应	59
3.4.2	RC 电路的零状态响应	61
3.4.3	RC 电路的全响应	63
3.5	RL 电路的响应	63
3.5.1	RL 电路的零输入响应	63
3.5.2	RL 电路的零状态响应	65
3.5.3	RL 电路的全响应	66
3.6	一阶线性电路动态分析的三要素法	67
3.7	实操训练	69
	实操训练六: 一阶 RC 电路暂态响应的测量	69
	实操训练七: 一阶 RC 电路方波响应的测量	71
	思考与练习题	73
第 4 章	正弦交流电及正弦交流电路	76
4.1	正弦交流电	76
4.1.1	周期交流电的概念与产生	76
4.1.2	正弦交流电三要素	77
4.1.3	正弦交流电的有效值和平均值	78
4.1.4	正弦交流量的相量表示法	80
4.2	正弦交流电路的分析与计算	83
4.2.1	纯电阻的交流电路	83
4.2.2	纯电感的交流电路	84
4.2.3	纯电容的交流电路	86
4.2.4	电路基本定律的相量表示法	88
4.2.5	相量法分析 RLC 串联电路	90
4.2.6	复阻抗的串、并联电路	92
4.2.7	复杂交流电路	96
4.2.8	功率因数的提高	99
4.3	谐振电路	100
4.3.1	谐振的概念	100
4.3.2	串联谐振	100
4.3.3	并联谐振	103
4.4	实操训练	104
	实操训练八: 日光灯电路的接线及功率因数提高的方法	104
	实操训练九: RLC 串联谐振电路的测量	106
	思考与练习题	108
第 5 章	耦合电路和变压器	112
5.1	互感与互感电压	112
5.1.1	互感现象	112
5.1.2	互感系数与耦合系数	113

5.1.3	互感电压	114
5.1.4	互感线圈的同名端	114
5.2	互感线圈的连接	115
5.2.1	互感线圈的串联	115
5.2.2	互感线圈的并联	116
5.3	理想变压器	117
5.3.1	理想变压器的条件	117
5.3.2	理想变压器的变换关系	117
5.4	实操训练	120
	实操训练十: 单相变压器的测试	120
	思考与练习题	124
第 6 章	三相交流电路	126
6.1	三相交流电的基本概念	126
6.1.1	三相电源的产生	126
6.1.2	三相电源的连接	127
6.2	三相负载	128
6.2.1	三相负载的星形连接	128
6.2.2	三相负载的三角形连接	130
6.3	三相电路的功率	131
6.4	实操训练	132
	实操训练十一: 三相负载连接及三相电路功率的测量	132
	思考题与习题	135
第 7 章	电动机	137
7.1	直流电动机	137
7.1.1	直流电动机的结构及其工作原理	137
7.1.2	直流电动机的速度控制	141
7.2	交流电动机	145
7.2.1	三相异步电动机的结构及其工作原理	145
7.2.2	三相异步电动机的调速方案	150
7.2.3	同步电动机	150
7.3	控制电动机	157
7.3.1	伺服电动机	158
7.3.2	测速发电机	160
7.3.3	直线电动机	162
7.3.4	步进电动机	164
	思考题与习题	168
第 8 章	常用低压电器及其应用	169
8.1	低压电器的基本概念	169

8.2	开关电器	170
8.2.1	刀开关	170
8.2.2	组合开关	171
8.2.3	倒顺开关	171
8.3	主令电器	172
8.3.1	控制按钮	172
8.3.2	行程控制开关	173
8.3.3	接近开关	175
8.3.4	万能转换开关	175
8.4	保护电器	176
8.4.1	熔断器	176
8.4.2	自动空气断路器	177
8.4.3	热继电器	178
8.5	自动控制电器	179
8.5.1	交流接触器	179
8.5.2	继电器	181
8.6	电磁铁和电磁离合器	187
8.6.1	电磁铁	187
8.6.2	电磁离合器	188
8.7	低压电器的应用	189
8.7.1	三相异步电动机的启动控制	189
8.7.2	三相异步电动机的运行控制	194
8.7.3	三相异步电动机的制动控制	198
	思考题与习题	200
	附录 部分思考题与习题参考答案	201
	参考文献	205

第1章 直流电路的基本概念

教学导航

知识目标

1. 了解电路、电路模型、电流、电压、电源、电功和电功率的概念。
2. 理解和掌握电阻和电导的特性；掌握电源有载工作、开路与短路的特性。
3. 熟悉电气设备的额定值。

能力目标

1. 通过学习电路及电路模型，具备初步的电路图识别能力和按照电路原理接线的能力。
2. 通过学习电流及电压，具备正确使用直流电流表、电压表及万用表进行直流电压、电流测量的能力。
3. 通过学习电阻和电导，具备识别及测试电阻元件能力。
4. 通过学习电源，具备识别不同电源及不同工作状态的能力。
5. 通过学习电气设备的额定值，具备识别电气设备的额定值能力。

学习重点

1. 电阻和电导的特性。
2. 电源有载工作、开路与短路的特性。

学习难点

本章学习难点在于电源有载工作、开路与短路的特性。

随着科学技术的飞速发展，电能的使用越来越广泛，现代电工电子设备种类日益繁多，规模和结构更是日新月异，但无论怎样设计和制造，几乎都是由各种基本电路组成的。所以，学习直流电路的基础知识，是学习电工学的重要内容，也是进一步学习电机、电器和电子技术的基础。

1.1 电路的概念与模型

1.1.1 电路的概念与组成

1. 电路的概念

简单地讲，电路是电流通过的路径。实际电路是指用导线把某些电路实体部件（如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等）按一定方式连接起来。不同电路实体部件按一定方式进行组合成的电流通路，能实现某一特定功能。例如，手电筒电

路、单个照明灯电路是实际应用中的较为简单的电路，而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路，电视机电路是较为复杂的电路。

2. 电路的组成

不管简单还是复杂的电路，一个完整的电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。

电源是给电路提供能源的装置，其作用是把其他形式的能量，如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中，电源是激励，是激发和产生电流的因素。负载是电路中的耗能装置，其作用是将电源提供的电能转换为其他形式的能（如机械能、热能、光能等）。通常在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉、扬声器等用电设备，都是电路中的负载。连接电源和负载的部分统称为中间环节，如导线、开关、变压器等。其作用是将电源和负载连接起来形成闭合回路，并对整个电路实行控制、保护和测量。最简单的中间环节即开关和连接导线；一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置。复杂的中间环节可以由许多电路元件组成的网络系统。下面介绍两个经典电路组成。

(1) 简单的照明电路组成

图 1-1 所示的手电筒照明电路中，电池作电源，电灯泡作负载，导线和开关作为中间环节将电灯泡和电池连接起来。

(2) 复杂的电力系统电路组成

图 1-2 所示的电力系统电路中，发电机作为电源供应电能，升压变压器、输电线及降压变压器是中间环节进行传输和分配电能，电灯、电动机、电炉等作为负载取用电能。

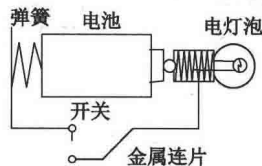


图 1-1 手电筒照明实际电路组成

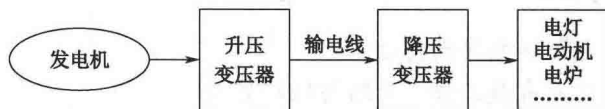


图 1-2 电力系统电路组成

3. 电路的功能

实现的目的不同，电路的类型也不同，其作用也各不相同，但是电路的基本功能可以分为以下两大类。

(1) 完成能量的传输、分配和转换

在图 1-1 中，电池通过导线将电能传递给电灯泡，电灯泡将电能转化为光能和热能。而在图 1-2 中，发电机通过升压变压器、输电线及降压变压器是实现电能的传输和分配，电灯、电动机、电炉等将电能转化为光能、机械能和热能。

(2) 实现信号的传递、变换、储存和处理

图 1-3 是一个扩音机的工作过程。话筒将声音的振动信号转换为电信号即相应的电压和电流，经过放大处理后，通过电路传递给扬声器，再由扬声器还原为声音。

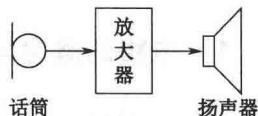


图 1-3 扩音机电路

1.1.2 电路模型

由于组成实际电路的元件不仅种类繁多，而且电磁过程也是相当复杂，难以进行有效的

分析计算。在电路理论中,为了便于实际电路的分析和计算,通常在工程实际允许的条件下对实际电路进行模型化处理,即抓住足以反映其主要电磁特性而忽略其次要性质,把它理想化,用一个代表其主要电磁特性的模型来表征实际的电路元件,称为“模型法”。

例如,电阻器、电灯泡、电炉等,这些电气设备接受电能并将电能转换成光能或热能,光能和热能显然不可能再回到电路中,因此把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电特性,当然还有其他一些电磁特性,但在研究和分析问题时,即使忽略其他这些电磁特性,也不会影响整个电路的分析和计算。因此,就可以用一个只具有耗能电特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称电路元件。每一种电路元件体现某种基本现象,具有某种确定的电磁性质和精确的数学定义。常用的有表示将电能转换为热能的电阻元件、表示电场性质的电容元件、表示磁场性质的电感元件及电压源元件和电流源元件等。几种常用理想电路元件的名称及其图形符号如图1-4所示。

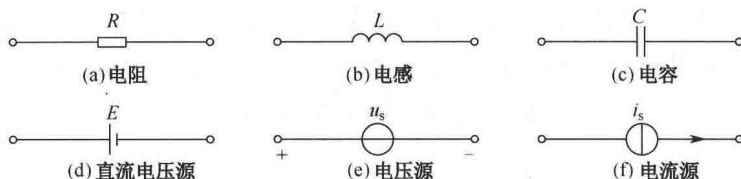


图1-4 理想电路元件的符号

把由理想电路元件相互连接组成的电路称为电路模型。如图1-1所示,电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用其电动势 E 和内阻 R_0 的串联表示;电灯泡除了具有消耗电能的性质(电阻性)外,通电时还会产生磁场,具有电感性。但电感微弱,可忽略不计,于是可认为灯是一电阻元件,用 R 表示。图1-5是图1-1的电路模型。

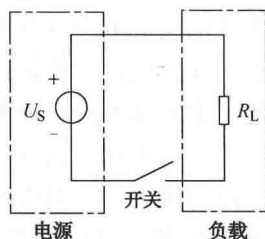


图1-5 手电筒电路的的电路模型

1.2 电流与电压

电路中无论是电能的传输和转换,还是信号的传递和处理,都要通过电流、电压的变化来实现,因此,在分析与计算电路之前,弄清电流与电压及其参考方向,是十分重要的。

1.2.1 电流

1. 电流概念

电荷的定向移动形成电流。在外电场的作用下,正电荷将沿着电场方向运动,而负电荷将逆着电场方向运动(金属导体内是自由电子在电场力的作用下定向移动形成电流),习惯上规定:正电荷运动的方向为电流的正方向。要使电路中有电流产生,一是电路中有电源;二是电路必须闭合的。

电流的大小用电流强度来衡量, 电流强度简称电流。其定义为: 单位时间内通过导体横截面的电荷量, 用小写 i 表示, 即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中, dq 表示在 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

电流有交流和直流之分, 大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流, 简称交流 (AC)。通常所说的交流电多指正弦交流电, 它是随时间按正弦规律变化的。

大小和方向都不随时间变化的电流称为稳恒电流或者直流电流, 简称直流 (DC), 常用大写英文字母 I 表示, 即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中, Q 为在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际制单位中, 电流的单位为安培, 简称安 (A)。如果在 1s (秒) 内通过导体横截面的电荷量为 1C (库仑), 则电流为 1A (安培), 即 $1A=1C/s$ 。实际应用中, 大电流用 kA (千安培) 表示, 小电流用 mA (毫安培) 表示或者用 μA (微安培) 表示。它们的换算关系是

$$1kA=10^3A=10^6mA=10^9\mu A$$

2. 电流的参考方向

简单电路中, 电流从电源正极流出, 经过负载, 回到电源负极; 但在分析和计算复杂电路时, 电流的实际方向往往难以判断, 而列方程、进行定量计算时需要电流有一个约定的方向; 对于交流电流, 电流的方向随时间改变, 无法用一个固定的方向表示。为了分析和计算的方便, 引入电流的“参考方向”概念

电流的参考方向是指在计算复杂电路时预先假定的电流方向, 仅仅是计算电流值和确定其实际方向的依据, 故电流的参考方向不一定是电路的实际方向。

电流的参考方向可以任意设定, 通常用一个实线箭头表示某电流的假定正方向, 就称为该电流的参考方向; 而电流的实际方向常用虚线箭头表示。确定电流的参考方向后, 代数值的电流表征电流的大小和方向, 代数值的绝对值表示电流的大小, 而正负判断电流的实际方向。当电流的数值为正值时 (即 $i>0$), 则说明电流的实际方向与参考方向一致, 如图 1-6(a)所示; 当电流的数值就为负值时 (即 $i<0$), 则表示电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-6(b)所示。需要注意的是, 离开电流的参考方向来讨论电流的正负没有任何意义, 如图 1-6(c)所示。

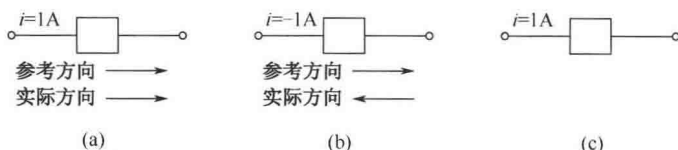


图 1-6 电流及其参考方向

电流的大小可以用电流表来测量。用直流电流表测量直流电路时, 要将电流表串入被测电流中并要保证电流从电流表的正接线柱流入, 负接线柱流出。

【例 1-1】 电流参考方向如图 1-7 示。已知：(1) $q=2t$ A；(2) $q=100\sin\omega t$ A，求 i 并指出其实际方向。

【解】 (1) $i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(2t)}{dt} = 2\text{A} > 0$ ，实际方向和参考方向相同， $a \rightarrow b$ 。

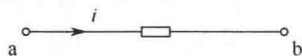


图 1-7 例 1-1 电路图

$$(2) i = \frac{dq}{dt} = 100\cos\omega t \text{ A}$$

当 $i > 0$ 时， $2k\pi \sim 2k\pi + \frac{\pi}{2}$ ， $2k\pi + \frac{3\pi}{2} \sim 2k\pi$ ($k=0,1,2,\dots$)，实际方向和参考方向相同， $a \rightarrow b$ 。

当 $i < 0$ 时， $2k\pi + \frac{\pi}{2} \sim 2k\pi + \frac{3\pi}{2}$ ($k=0,1,2,\dots$)，实际方向和参考方向相反， $b \rightarrow a$ 。

1.2.2 电压

1. 电压

一般来说，导体中电荷的移动是杂乱无章的，不能形成电流。要使导体中的电荷定向运动形成电流，必须有电场力的作用。如图 1-8 所示的闭合电路，在电场力的作用下，正电荷要从电源正极 a 经过导线和负载流向负极 b (实际上是带负电的电子由负极 b 经负载流向正极 a)，形成电流，而电场力就对电荷做了功。

电场力把单位正电荷从 a 点经外电路 (电源以外的电路) 移到 b 点所做的功，叫做 a 、 b 两点之间的电压，记作 U_{ab} 。因此，电压是衡量电场力做功本领大小的物理量。

若电场力将正电荷 dq 从 a 点经外电路移到 b 点所做的功是 dW ，则 a 、 b 两点间的电压为：

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-3)$$

式中， dW 的单位是焦耳 (J)， dq 的单位是库仑 (C)。

电压的实际方向规定为正电荷在电场作用下移动的方向。电压的方向为从高电位指向低电位，在电路图中可用箭头来表示。

大小和方向都不随时间变化的电压称为恒定电压或直流电压，直流电压常用大写字母 U 表示，如 a 、 b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

式中， W 为电场力把正电荷 q 从 a 点移动到 b 点所做的功。

在国际制单位中，电压的单位为伏特，简称伏 (V)。实际应用中，大电压用千伏 (kV) 表示，小电压用毫伏 (mV) 表示或者用微伏 (μV) 表示。它们的换算关系是：

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} = 10^6\text{mV} = 10^9\mu\text{V}$$

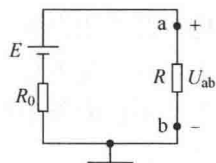


图 1-8 定义电压示意图

2. 电压的参考方向

与电流相似, 为了分析和计算的方便, 在分析计算电路之前必须对电压标以极性(正号“+”、负号“-”), 或标以方向(箭头), 这种标法是假定的参考方向, 如图 1-9 所示。如果采用双下标标记时, 电压的参考方向意味着从前一个下标指向后一个下标, 图 1-9 元件两端电压记作 u_{ab} ; 若电压参考方向选 b 点指向 a 点, 则应写成 u_{ba} , 两者仅差一个负号, 即 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。



图 1-9 电压参考方向的表示方法

分析求解电路时, 先按选定的电压参考方向进行分析、计算, 再由计算结果中电压值的正负来判断电压的实际方向与任意选定的电压参考方向是否一致; 即电压值为正, 则实际方向与参考方向相同, 电压值为负, 则实际方向与参考方向相反。

在直流电路中, 测量电压时用直流电压表并连接入电路, 电压表的“+”接线柱接高电位点或者电流流入端。“-”接线柱接低电位点或电流流出端。

1.3 电 源

电源是在电路中提供电能或电信号的元件, 常称为有源元件, 如发电机、电池和集成运算放大器等。电源中, 能够独立地向外电路提供电能的电源, 称为独立电源, 包括电压源和电流源; 不能向外电路提供电能的电源称为非独立电源, 又称为受控源。

1.3.1 电压源

电压源有理想电压源和实际电压源之分。理想电压源又称为恒压源, 是实际电源的一种理想化模型。它的端钮电压总能保持某一恒定值或时间函数值, 而与通过它们的电流无关, 也称为恒压源。图 1-10(a)为理想电压源的一般电路符号, 图 1-10(b)是理想电池符号, 专指理想直流电压源。

在时间 t 时, 理想电压源在 $u-i$ 平面的伏安特性是一条与 i 轴平行的直线, 与 u 轴的交点为 u_s , 其伏安特性可写为:

$$u = u_s(t) \quad (1-5)$$

理想电压源的电流是任意的, 与电压源的负载(外电路)状态有关。图 1-10(c)为理想电压源的伏安特性曲线。

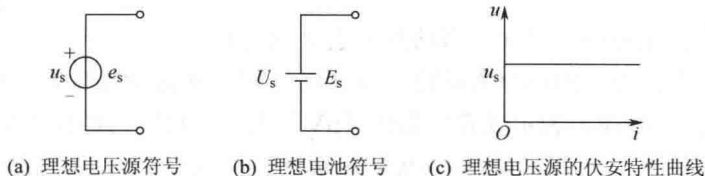


图 1-10 理想电压源