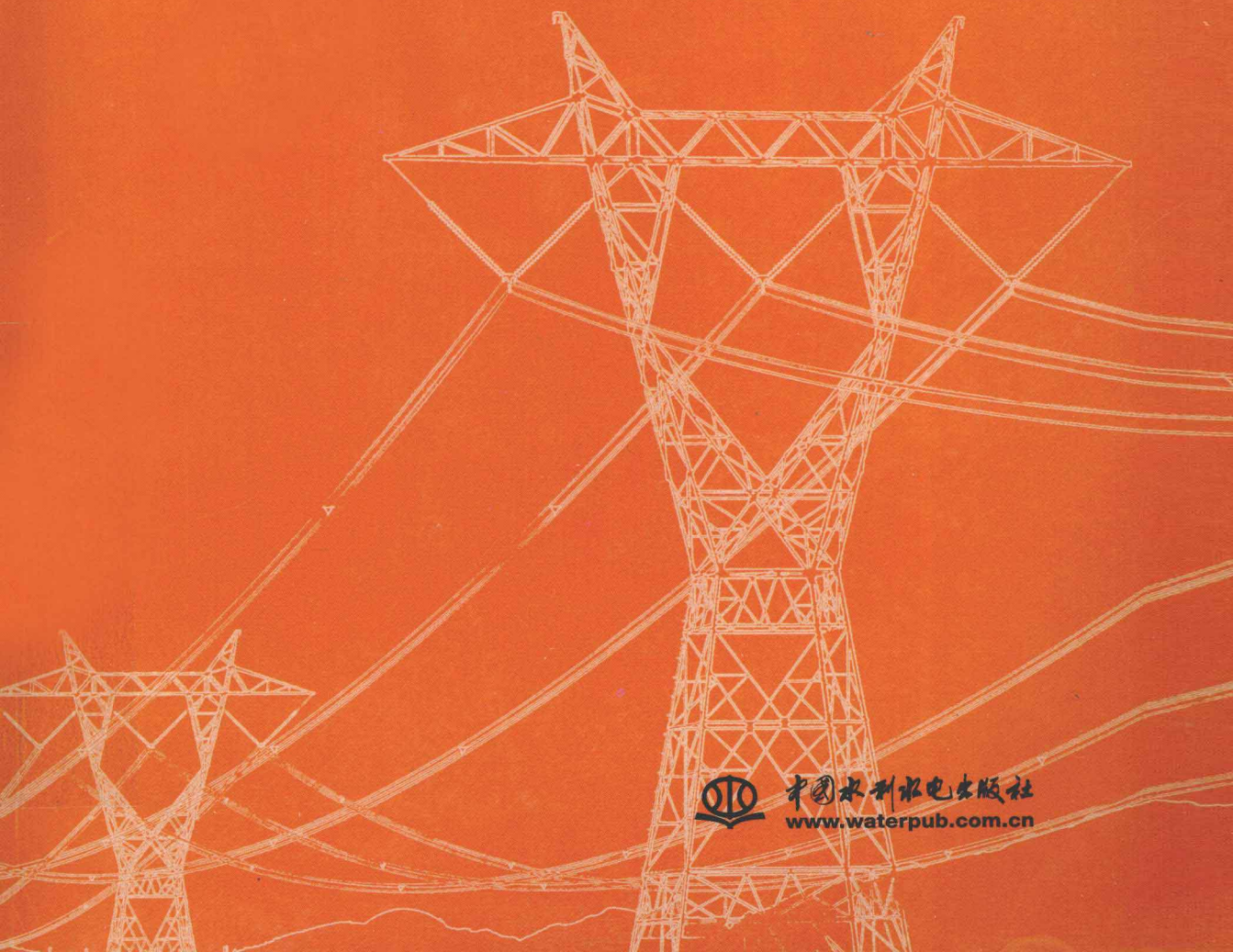




普通高等教育“十二五”规划教材

# 电 工 学

主 编 王贵锋 王瑞祥  
主 审 曹 洁



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)



普通高等教育“十二五”规划教材

# 电 工 学

主 编 王贵锋 王瑞祥  
主 审 曹 洁



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本教材是根据教育部电子电气基础课程教学指导委员会提出的“电工学教学基本要求”(草案)和培养高级工程技术应用型人才的定位编写的。本教材既注重基本理论,又力求突出工程上的实用性。全书共15章,内容包括:电路分析,电机及控制电路,模拟电子技术,数字电子技术,电力电子技术等五大部分,且各部分内容相互联系、相互渗透,有机结合、前后贯通。每章都有基本要求、重点、难点和概述,同时有大量的且有针对性的例题、习题,便于自学、易于教学。

本教材可作为独立院校本科非电类专业的教材,也可供相关大专院校选用。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工学 / 王贵锋, 王瑞祥主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2012. 2  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-5084-9487-6

I. ①电… II. ①王… ②王… III. ①电工学—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第024529号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 <b>电工学</b>
作 者	主编 王贵锋 王瑞祥 主审 曹洁
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 27.5印张 652千字
版 次	2012年2月第1版 2012年2月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	<b>52.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

“电工学”是高等工科院校非电类专业的一门技术基础课，具有很强的理论性和实践性。在信息时代的今天，电子技术已应用到各专业领域，我们必须以全新的教育理念、科学的教育方法全身心地投入，与时俱进，不断研究，才能培养出更多更好的高级工程技术应用型人才。

本教材是根据教育部电子电气基础课程教学指导委员会提出的“关于应用型人才培养方案”和“电工学教学基本要求”（草案），根据培养高级工程技术应用型人才的定位编写的。本教材在保证系统性的同时，注重理论联系实际，内容层次分明，叙述由浅入深，通俗易懂，概念清晰准确，符合学生的认知规律；每章都有本章的基本要求、重点、难点和概述，以此来概括该章的知识体系结构，同时有大量的且有针对性的例题、习题，便于自学、易于教学。本教材具有以下特色。

(1) 指导思想。按照培养面向 21 世纪高级工程技术应用型人才的要求，以电工、电子技术在日益发展的各个工程领域的应用为背景，精选内容，保证基础，加强应用，体现先进，建立科学的课程体系，编写适应独立学院教学的实用型教材。

(2) 内容选取。在选取电工学课程内容时，力求基础性、应用性和先进性的统一。从非电类专业应用的角度出发，考虑在电工、电子技术的诸多内容中，明确基本理论、基本知识和基本技能，增加了数字电路内容，介绍一些新技术、新器件，对某些传统的内容如电工技术和分立元件电路进行了精简或删除，有针对性地增加了系统的概念和应用系统的内容，如增加了传感器、非电量电测、工程应用典型实例、电力电子技术应用等，这些对帮助学生理解所学知识的综合应用和建立工程概念都是十分有效的。

(3) 教材体系。作为一种探索，我们在编写本教材时，保证核心课程模块完整性、科学性的情况下，对原有课程模块进行了重组，整合了教学内容，将电工技术和电子技术相互贯通，使元器件与电路结合、电路与实际结合、典型电路与应用系统结合，以加强电子技术应用为重点，形成新的教材内容体系，使学生感到学有所用，学有兴趣。

本教材共 15 章，内容涵盖了电路分析、电机及控制电路、模拟电子技术、数字电子技术和电力电子技术五大部分。这五个部分相互联系、相互渗透，有机结合、前后贯通。由于目前“电工学”课程的授课学时数较少，一般在 70~100 学时，在课程讲授时可以根据专业的需要、学时的多少和教学大纲的要求，对标注“\*”号的章节进行取舍。

本教材由王贵锋、王瑞祥任主编。其中，王贵锋编写了第 1 章、第 3 章、第 7 章和第 10 章，王瑞祥编写了第 2 章、第 8 章、第 15 章，胡亚维编写了第 4 章、第 5 章，席小卫编写了第 6 章及部分习题，吴敏编写了第 9 章及部分习题，柳莺编写了第 11 章，闫璞编写了第 12 章，陈智编写了第 13 章，杨世洲编写了第 14 章。全书由王贵锋统稿和定稿。

本教材由兰州理工大学曹洁教授担任主审，她详细地审阅了编写提纲和本教材全稿，提出了许多建设性、指导性意见，在此表示衷心的感谢。

本教材在编写过程中得到了兰州理工大学技术工程学院的大力支持，在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，加之时间仓促，难免有不妥和错误之处，殷切期望使用本书的广大师生和读者不吝赐教，多提宝贵意见，以便使本教材更加完善。

编 者

2011 年 12 月

## 前言

<b>第 1 章 电路的基本概念和基本定律</b> .....	1
1.1 电路的作用与组成部分.....	1
1.2 电路的基本物理量.....	3
1.3 电路元件.....	6
1.4 电路的基本定律.....	18
1.5 电路的工作状态.....	23
习题.....	25
<b>第 2 章 电路的分析方法</b> .....	29
2.1 等效电路分析.....	29
2.2 支路电流法.....	35
2.3 结点电压法.....	37
2.4 叠加定理.....	38
2.5 戴维南定理和诺顿定理.....	41
习题.....	45
<b>第 3 章 正弦交流电路</b> .....	49
3.1 正弦交流电的基本概念.....	49
3.2 正弦交流电的相量表示法.....	53
3.3 单一参数的交流电路.....	57
3.4 $R$ 、 $L$ 、 $C$ 串联、并联交流电路.....	64
3.5 正弦交流电路的分析.....	70
3.6 功率因数的提高.....	76
3.7 电路的谐振.....	78
3.8 三相电路.....	83
习题.....	93
<b>第 4 章 电路的暂态分析</b> .....	99
4.1 换路定则.....	100
4.2 $RC$ 电路的暂态分析.....	101
4.3 一阶电路的三要素法.....	107

4.4	微分电路与积分电路	110
* 4.5	RL 电路的暂态分析	112
	习题	116
<b>第 5 章</b>	<b>磁路与变压器</b>	<b>119</b>
5.1	磁路	119
5.2	交流铁芯线圈	126
5.3	变压器	129
	习题	138
<b>第 6 章</b>	<b>交流电动机</b>	<b>142</b>
6.1	三相异步电动机的构造	142
6.2	三相异步电动机的工作原理	146
6.3	三相异步电动机的电路分析	151
6.4	三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	153
6.5	三相异步电动机的启动、调速和制动	156
6.6	三相异步电动机的选择	163
	习题	166
<b>第 7 章</b>	<b>继电—接触器控制系统</b>	<b>170</b>
7.1	常用低压电器	170
7.2	三相笼型异步电动机直接启动的控制电路	178
7.3	三相笼型异步电动机正反转的控制电路	180
	习题	182
<b>第 8 章</b>	<b>可编程控制器</b>	<b>185</b>
8.1	PLC 的结构和工作方式	185
8.2	PLC 的程序编制	190
* 8.3	应用举例	200
	习题	204
<b>第 9 章</b>	<b>二极管及整流滤波电路</b>	<b>206</b>
9.1	半导体基础	206
9.2	PN 结及其单向导电性	209
9.3	二极管	209
9.4	整流电路	216
9.5	滤波电路	219
9.6	稳压管及稳压电路	221
	习题	224
<b>第 10 章</b>	<b>晶体管及基本放大电路</b>	<b>229</b>
10.1	双极型晶体管	229

10.2	基本放大电路 .....	234
10.3	分压式偏置放大电路 .....	244
10.4	射极输出器 .....	249
10.5	多级放大电路 .....	253
* 10.6	功率放大电路 .....	256
10.7	场效应晶体管及其放大电路 .....	259
	习题 .....	267
<b>第 11 章</b>	<b>集成运算放大电路 .....</b>	<b>276</b>
11.1	集成运放的概述 .....	277
11.2	放大电路中的反馈 .....	282
11.3	集成运放的线性运算 .....	293
11.4	集成运放在信号处理方面的应用 .....	300
11.5	集成运放在波形产生方面的应用 .....	305
11.6	使用集成运放应注意的几个问题 .....	307
* 11.7	集成功率放大器 .....	308
* 11.8	模拟集成电路应用实例 .....	310
	习题 .....	312
<b>第 12 章</b>	<b>门电路与组合逻辑电路 .....</b>	<b>320</b>
12.1	数字电路概述 .....	320
12.2	基本门电路及其组合 .....	323
12.3	逻辑代数 .....	332
12.4	组合逻辑电路的分析和设计 .....	337
12.5	常用组合逻辑电路 .....	341
* 12.6	组合逻辑电路应用实例 .....	353
	习题 .....	356
<b>第 13 章</b>	<b>触发器和时序逻辑电路 .....</b>	<b>363</b>
13.1	双稳态触发器 .....	363
13.2	时序逻辑电路的分析 .....	372
13.3	寄存器 .....	377
13.4	计数器 .....	381
13.5	555 定时器及其应用 .....	386
	习题 .....	392
<b>第 14 章</b>	<b>数字量和模拟量的转换 .....</b>	<b>398</b>
14.1	D/A 转换器 .....	399
14.2	A/D 转换器 .....	402
* 14.3	电子系统应用举例 .....	408



习题	412
<b>第 15 章 电力电子技术及应用</b>	<b>413</b>
15.1 常见电力电子器件	413
15.2 晶闸管可控整流电路	419
15.3 电力电子技术应用	424
习题	428
<b>参考文献</b>	<b>430</b>

# 第 1 章 电路的基本概念和基本定律

## 本章要求：

1. 了解电路的基本组成，传感器的作用，电路的三种工作状态。
2. 熟悉电路模型的概念，电路中的电流、电压、电位、功率等物理量的含义。
3. 掌握电路中电流、电压参考方向与实际方向的区别及联系，欧姆定律和基尔霍夫定律的应用。

## 本章难点：

1. 基尔霍夫定律在分析计算电路中的应用。
2. 电路中各点电位的计算。

电路是电工技术和电子技术的基础知识，只有掌握了这些基础知识，才能对电子电路、电机电路以及控制与测量电路进行分析与运算。

直流电路的有些内容已在物理课中学过，在此基础上，本章将综合性地讨论电路的基本概念和基本定律，以便对直流电路有比较完整而系统的认识。直流电路具有典型意义，它的基本理论和分析方法也适用于其他电路。因此，本章是学习本课程后续各章的基础。

## 1.1 电路的作用与组成部分

### 1.1.1 电路的作用

电路 (Circuit) 是电流的通路，它是为了某种需要由电工、电子元器件或设备按一定方式组合起来的。电路的结构和形式多种多样，但其基本作用可以概括为两大类型，通过实例说明如下。

#### 1. 电能的传输、分配和转换

电能的传输、分配和转换应用极为广泛，最典型的例子是供电系统，其电路示意图如图 1.1 (a) 所示。

发电机是电源，是供应电能的设备，它可以把热能、水能或核能转换为电能。电池是常用的电源。电灯、电动机、电炉等都是负载，是取用电能的设备，它们分别把电能转换为光能、机械能、热能等。变压器和输电线是中间环节，是连接电源和负载的部分，它起传输和分配电能的作用。实现电能的传输、分配与转换。



2. 信号的传递和处理

信号的传递和处理应用也相当广泛，常见的例子如有线广播系统，其电路示意图如图 1.1 (b) 所示。

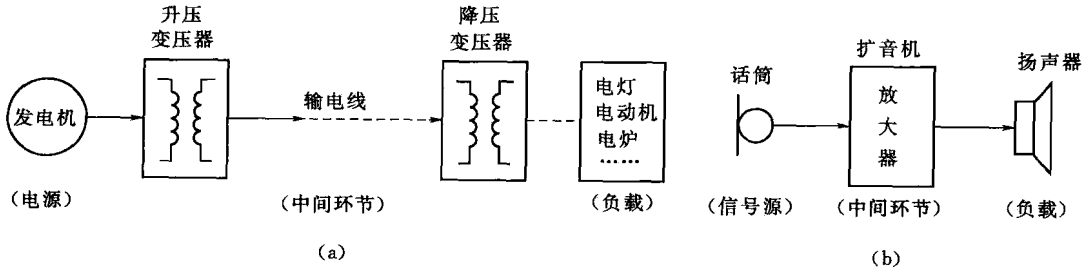


图 1.1 电路示意图  
(a) 供电系统；(b) 有线广播系统

话筒是输出信号的设备，称为信号源，它把语言或音乐（通常称为信息）转换为相应的电信号（电压和电流）。话筒相当于电源，但与上述的发电机、电池这种电源不同，信号源输出电信号的变化规律取决于所加的信息。扬声器是接收和转换信号的设备，是负载。放大器是中间环节，由于由话筒输出的电信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，因此要用放大器来放大。实现电能的传递和处理。

实际上，在许多电气设备中，既含有输送电能的电路，又含有传递电信号的电路，两种电路形成一个有机的整体。

1.1.2 电路的组成

无论电路的结构和作用如何，都可以看成是由电源（或信号源）、中间环节和负载三个部分组成。

实际电路都是由一些按需要起不同作用的实际电路元件或器件所组成，如发电机、变压器、电动机、电池、晶体管以及各种电阻器和电容器等，它们的电磁性质较为复杂。例如，电灯泡的灯丝是用钨丝绕制成螺旋状的，它不仅具有电阻的性质，还具有一定电感的性质；电感线圈不仅具有电感的性质，还有一定的电阻性质等。但是，在一定条件下，忽略某些次要因素时，如电灯泡的灯丝，它的电感性很弱，就可以把它理想化为电阻元件；当电感线圈的导线足够粗，且匝数也不多时，就可以把它看成仅有电感性质的理想元件。各种电路元件用规定的图形符号表示，因此一个实际电路就可以用理想元件组合表示，由一些理想电路元件组成的电路就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。例如，常用的手电筒实际电路元件有干电池、电珠、开关和筒体，电路模型如图 1.2 所示。本书分析的都是指电路模型，简称电路。

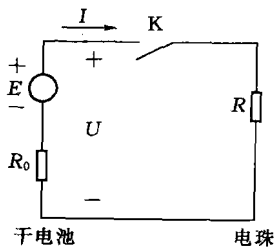


图 1.2 手电筒的电路模型

本书分析的都是指电路模型，简称电路。



## 1.2 电路的基本物理量

电路中有许多物理量，其中电源的电动势  $E$  和电路中的电流  $I$ 、电压  $U$  及电位  $V$  是电路的基本物理量。

### 1.2.1 电流

电流 (Current) 是由电荷的定向移动形成的。当金属导体处于电场中时，自由电子受到电场力的作用，逆着电场的方向作定向移动，形成了电流。

电流的大小是指单位时间内流过导体横截面的电荷量，即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

式中  $q$ ——电荷量；

$t$ ——时间；

$i$ ——电流，是电荷量对时间的变化率。

如果电流的大小和方向随时间作周期性变化且平均值为零，则称之为交流电流 (Alternating Current, 缩写为 AC)，用小写字母  $i$  表示。如果电流的大小和方向都不随时间变化，则称之为直流电流 (Direct Current, 缩写为 DC)，用大写字母  $I$  表示，式 (1.1) 可以改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.2)$$

电流的 SI 单位是安 [培] (Ampere 缩写为 A)，对于较小的电流，可以用毫安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ )，其换算关系为： $1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A}$ 。

习惯上，规定正电荷的移动方向为电流的实际方向。在外电路中，电流由正极流向负极；在内电路中，电流由负极流向正极。

在进行电路分析时，电流的方向有时事先难以确定，需要先设定一个方向，这个设定的方向称为参考方向。电流的方向用箭头或双下标表示，如图 1.3 (a) 所示，电流的方向用箭头或  $I_{ab}$  表示。根据参考方向进行计算，当计算出的电流值为正，则电流的实际方向与参考方向相同；电流值为负，则电流的实际方向与参考方向相反。

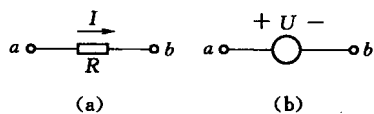


图 1.3 电压电流参考方向的表示法

### 1.2.2 电位、电压和电动势

#### 1. 电位

电位 (Potential) 在物理学中称为电势。电场力把单位正电荷从某一点移动到无穷远 (或大地) 时所作的功，就是电场中该点的电位；在数值上，电路中某点的电位等于正电荷在该点所具有的能量与电荷所带电荷量的比。电位是一个相对物理量，即某点电位的极性和大小是相对参考点而言的。参考点的电位称为参考电位，通常设参考电位为零，所以参考点又叫零电位点。

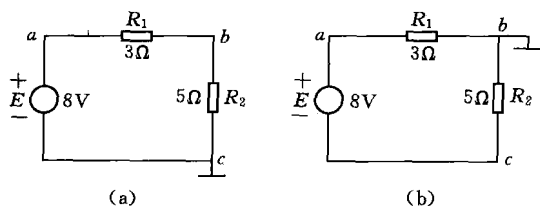


图 1.4 参考点与电位

在图 1.4 (a) 中, 如果选  $c$  点为参考点, 即  $V_c = 0\text{V}$ , 则  $V_a = E = 8\text{V}$ ,  $V_b = IR_2 = 1 \times 5 = 5\text{V}$ 。

在图 1.4 (b) 中, 如果选  $b$  点为参考点, 即  $V_b = 0\text{V}$ , 则  $V_a = IR_1 = 1 \times 3 = 3\text{V}$ ,  $V_c = -IR_2 = -1 \times 5 = -5\text{V}$ 。

由以上分析可见: 电路中任意一点的电位等于该点与参考点之间的电压; 参考点选得不同, 电路中各点相应的电位也不同。但参考点一经选定, 则电路中各点的电位就被确定。所以, 电路中任意点电位的高低是相对的。

## 2. 电压

电压 (Voltage) 是电场力在外电路把单位正电荷从一点移到另一点所做的功, 用  $U$  表示, 即

$$U = \frac{W}{q} \quad (1.3)$$

电压也可以用电位来表示, 电路中任意两点之间的电压就等于该两点之间的电位差 (Potential Difference)。

在图 1.4 (a) 中,  $U_{ab} = V_a - V_b = 8 - 5 = 3\text{V}$ 。

在图 1.4 (b) 中,  $U_{ab} = V_a - V_b = 3 - 0 = 3\text{V}$ 。

由此可见, 电路中两点间的电压值不会因选取不同的参考点而改变, 电压是一个绝对量。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 在电压的方向上电位逐渐降低。

在进行电路分析时, 既要为通过元件的电流设定参考方向, 也要为该元件两端的电压设定一个参考方向, 电压参考方向一般用“+”、“-”极性表示, 有时也可以采用双下标, 如图 1.3 (b) 所示,  $U_{ab}$  表示电压方向由  $a$  点指向  $b$  点。在设定参考方向后, 计算出的电压值为正, 则电压的实际方向与参考方向一致, 否则相反。

电流与电压的参考方向可以任意设定, 但在电路分析时往往把它们的方向设为一致, 称为关联参考方向, 如图 1.5 (a) 所示。若不一致, 则称为非关联参考方向, 如图 1.5 (b) 所示。

参考方向具有实际意义。例如, 在测量电流时, 已经设定了电流的参考方向是由红表笔经过电流表指向黑表笔, 在数字电流表中显示的正负值就是在此参考方向下的值。同理, 测量电压时已经确定了参考极性是红表笔为高电位端。

## 3. 电动势

电动势 (Electromotive Force) 是电源的非电场力 (如化学力、机械力等) 在电源内部把单位正电荷从负极移到正极所做的功, 用  $E$  表示。

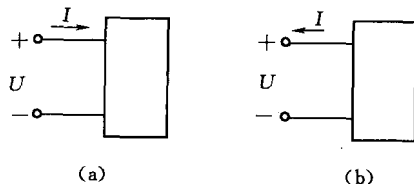


图 1.5 参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向



电动势的方向规定为从低电位点指向高电位点，即由负极指向正极。

电位、电压和电动势的 SI 单位均为伏 [特] (Voltage, 缩写为 V)，此外，还有毫伏 (mV)、微伏 ( $\mu\text{V}$ )，其换算关系为： $1\text{V}=10^3\text{mV}=10^6\mu\text{V}$ 。

### 1.2.3 电功率

电功率 (Power) 表示单位时间内电场力所做的功，即

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1.4)$$

电功率的 SI 单位为瓦 [特] (Watt, 缩写为 W)，此外，还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW)，其换算关系为： $1\text{kW}=1\times 10^3\text{W}=1\times 10^6\text{mW}$ 。

在实际电路中某元件是电源还是负载，可根据电压与电流的参考方向判断，也可根据电压与电流的实际方向判断。当元件上电压与电流的参考方向一致时，若功率大于零，则该元件为负载，吸收功率；若功率小于零，则该元件为电源，发出功率。当元件上电压与电流的参考方向相反时，若功率大于零，则该元件为电源；若功率小于零，则该元件为负载。若元件上电压与电流的实际方向一致，则该元件为负载；若元件上电压与电流的实际方向相反，则该元件为电源。

**【例 1.1】** 已知图 1.5 (a) 中， $U=10\text{V}$ ， $I=-2\text{A}$ ，求该元件吸收的功率，并判别它是电源还是负载。

**【解】** 因为电压与电流参考方向一致，则

$$P=UI=10\times(-2)=-20\text{ (W)}$$

所以该元件为电源，它吸收的功率为  $-20\text{W}$  (实际上发出功率  $20\text{W}$ )。

**【例 1.2】** 已知图 1.5 (b) 中，元件发出的功率是  $10\text{W}$ ，电压  $U=-5\text{V}$ ，求电流  $I$ 。

**【解】** 首先把元件当成负载对待，它吸收的功率为  $P=-10\text{W}$ ，因为  $U$ 、 $I$  是非关联参考方向， $P=-UI$ ，则

$$I = \frac{P}{-U} = \frac{-10}{-(-5)} = -2\text{ (A)}$$

各种电气设备的电压、电流和功率都有一个额定值。额定值 (Rated Value) 是在给定工作条件下正常运行而规定的允许值。电压、电流、功率的额定值用  $U_N$ 、 $I_N$ 、 $P_N$  表示。通常情况下电气设备不一定总是工作在额定状态，它有三种运行状态：当  $I=I_N$ ， $P=P_N$  时，为额定工作状态 (也称满载状态)，此时最经济、合理、安全可靠；当  $I>I_N$ ， $P>P_N$  时，为过载 (超载) 状态，此时设备易损坏；当  $I<I_N$ ， $P<P_N$  时，为欠载 (轻载) 状态，此时不经济。

**【例 1.3】** 有一个额定功率  $1\text{W}$ ，阻值为  $100\Omega$  的电阻器，它的额定电流是多少？在使用时通入  $500\text{mA}$  的电流，是否安全？

**【解】** 由于  $P_N=I_N^2R$ ，则

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{1}{100}} = 0.1\text{ (A)} = 100\text{ (mA)}$$

电阻器的额定电流为  $100\text{mA}$ ，若通入  $500\text{mA}$  电流，超出了额定值，不能安全使用。



## 1.3 电 路 元 件

在电路应用中有着各种类型的电路元件,进行电路分析前应很好地认识这些元件、了解这些元件的特性。常用的电路元件按其能量的表现划分为耗能元件、储能元件、供能元件和能量控制元件几大类。

### 1.3.1 耗能元件——电阻元件

电阻元件是一种对电流呈现阻力的元件,有阻碍电流流动的本性,电流要流过电阻就必然要消耗电能,它将电源传输给它的电能转换为热能散发掉,生活中常见的电阻类元件如灯泡、电炉、加热器等;电阻元件 (Resistance) 用  $R$  表示。

元件端电压与流经它的电流之间关系,称为伏—安特性 (Volt—Ampere Characteristic)。根据电阻元件的伏—安特性,可以将电阻元件分为两类,即线性电阻与非线性电阻。

如图 1.6 (a) 所示为线性电阻的图形符号及特性曲线。线性电阻的伏—安特性为一条直线,表示在电路中,线性电阻上的电压与电流成正比例关系,同时线性电阻的阻值是一个确定的数值,与电阻两端的电压及电阻中流过的电流的大小没有关系。

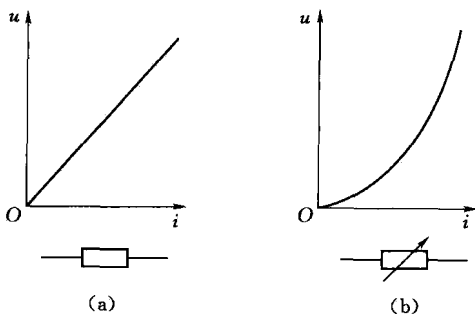


图 1.6 电阻的图形符号及特性曲线  
(a) 线性电阻; (b) 非线性电阻

如图 1.6 (b) 所示为非线性电阻的图形符号和伏—安特性曲线。非线性电阻的伏—安特性是一条曲线,这表示在电路中,非线性电阻中流过的电流随电阻两端电压的变化按曲线规律变化,即非线性电阻的阻值是一个未知数,其数值大小是由非线性电阻两端的电压与在此电压作用下流过非线性电阻中电流数值的大小来决定的,当非线性电阻两端的电压及流过非线性电阻中的电流发生变化时,非线性电阻的阻值随即发生变化。

式为

在电路中,电阻元件中消耗能量的表示

$$W = \int_0^t i u dt = \int_0^t i^2 R dt \quad (1.5)$$

电阻的 SI 单位是欧姆 (Ohm), 用  $\Omega$  表示, 此外, 还有千欧姆 ( $k\Omega$ ) 和兆欧姆 ( $M\Omega$ ), 其换算关系为:  $1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$ 。

电阻的倒数就是电导, 电导 (Conductance) 用  $G$  表示。

$$G = \frac{1}{R} \quad (1.6)$$

电导的 SI 单位是西门子 (Siemens), 用  $S$  表示。电导概念的引入使电路分析多了一种解题工具。



### 1.3.2 储能元件——动态元件

在实际的电路中，除应用以上提到的电路元件之外，还用到另一类元件，称之为动态元件 (Dynamic Element)。动态元件的  $u \sim i$  关系不能用简单的线性方程来描述，而要用  $u \sim i$  微分关系来表征。为什么要引入动态元件呢？

(1) 在实际的电路中有意接入了动态元件 (如电容器、电感器等)，使电路能够实现某一特定的功能。例如，电阻性电路不能完成滤波的作用，必须利用动态元件才能实现。

(2) 当电路中的信号变化较快时，一些实际的部件已不能再用电阻性模型来表示。例如，白炽灯在频率较高的场合就不能只用电阻元件来表示，而必须考虑到白炽灯的磁场和电场现象，在模型中就应当增加电感、电容等动态元件来表示。

下面介绍两种常用的动态元件——电容器和电感器。电容器和电感器的基本原理在物理课中已经学过，这里只作简单介绍。

#### 1. 电感元件

电流通过导线时，在它周围会产生磁场，如果把导线绕成线圈通入电流，在线圈内部和线圈周围也会产生磁场，其目的是增强线圈内部的磁场，称为电感器 (Inductor) 或电感线圈。

当电感线圈中有电流流过时，便产生磁通 (Flux)  $\varphi$ 。若磁通  $\varphi$  与  $N$  匝线圈相交链，则磁通链 (Flux Linkage) 或磁链  $\psi$  为

$$\psi = N\varphi \quad (1.7)$$

显然，磁链  $\psi$  是电流  $i$  的函数。线性电感的定义为：当元件周围的媒质为非铁磁物质 (如空气) 时，若磁链  $\psi$  与电流  $i$  成的关系由  $i \sim \psi$  平面内的一条直线确定，则称此电感为线性电感 (Inductance)，用符号  $L$  表示，即

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1.8)$$

电感的 SI 单位是亨 [利] (H)，此外，还有毫亨 (mH)、微亨 ( $\mu\text{H}$ )，其换算关系为： $1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$ 。

电感的符号、电压、电动势、电流参考方向和  $i \sim \psi$  曲线如图 1.7 所示。

图 1.7 (a) 所示电压与电流取关联参考方向，设自感电动势参考方向和电压降的方向一致，假定线圈绕向与自感电动势方向符合右手螺旋定则，则

$$e_L = -\frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt} \quad (1.9)$$

根据所设方向  $u = -e_L$ ，则

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1.10)$$

由式 (1.10) 可见，当电感中通入直流电流时  $\frac{di}{dt} = 0$ ，电感上电压为零，可视为短路。

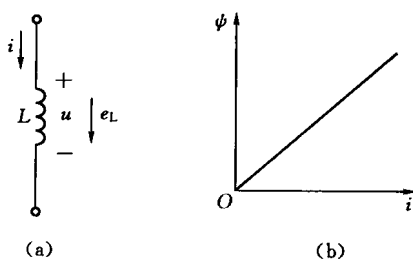


图 1.7 电感元件

(a) 电感的符号；(b) 线性电感的特性曲线





在电压与电流取关联参考方向时，电感吸收的功率为

$$P_L = ui = L \frac{di}{dt}$$

如果初始能量为零，则  $0 \sim t$  时间内所储存的能量为

$$W = \int_0^t p dt = \int_0^t Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1.11)$$

当电感中电流增大时，磁场能量增大，电能转换为磁场能，电感从电源取用能量；当电流减小时，磁场能量减小，磁场能转换为电能。可见，电感不消耗能量，只有能量的吞吐，是储能元件。

## 2. 电容元件

两个相互绝缘的导体就组成了电容器，简称电容 (Capacitor)。电容元件的符号及电路如图 1.8 所示，电容元件分为极性电容与无极性电容。大多数电容器是无极性电容，如云母电容、纸介与瓷介电容等，无极性电容的两根引线没有正、负极板之分，在电路连接时可以任意连接。电解电容器是极性电容，极性电容的两个极板有正、负极板之分，在电路连接时应将电解电容器的正极板连接到电路中的高电位端，如果极性电容器接线错误，将会损坏电容元件。

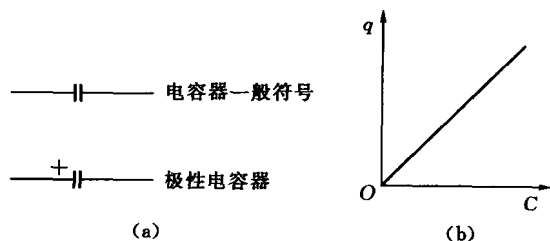


图 1.8 电容元件

(a) 电容的符号；(b) 线性电容的特性曲线

电容器在外电源作用下，两极板上储存了等量的异性电荷。电容两个极板上电压发生变化时，储存的电荷量发生变化，此时电路中就有电流产生。线性电容的定义为：如果一个电容端储存的电荷量  $q$  与其电压的关系由  $u \sim q$  平面内一条直线确定，则称此电容为线性电容。电容的符号和  $u \sim q$  曲线如图 1.8 所示。

定义电容元件的电容量为电容器极

板上储存的电荷量与极板两端电压的比值，即

$$C = \frac{q}{u} \quad (1.12)$$

与电感元件一样，电容元件的电容量也与电容器的结构和参数有关，电容器的电容量  $C$  正比于电容器的极板面积  $S$ ，正比于电容器极板间介质的介电系数  $\epsilon$ ，反比于两极板的间距  $d$ ，电容器电容量的结构式为

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (1.13)$$

电容的 SI 单位是法 [拉] (F)，但 F 单位较大，一般用微法 ( $\mu\text{F}$ )、皮法 (pF)，其换算关系为： $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

在采用电压与电流关联参考方向下，可以得到

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1.14)$$

说明流过电容元件的电流与其电压对时间的变化率成正比。如果电压恒定 (直流)