



21世纪高职高专规划教材

- 借鉴国外高职教材的先进教学模式，顺应现代职业教育制度的改革趋势
- 以能力为主、应用为本的职业导向的内容体系
- 基于岗位技能，面向操作过程的编写思路
- 应用类课程与国家职业认证挂钩

DIANGONG

JICHU

电工 基础

主 编 丁学恭 楼晓春
副主编 何丽莉 徐 意
参 编 陈 晨

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高职高专规划教材

电 工 基 础

主 编 丁学恭 楼晓春

副主编 何丽莉 徐 意

参 编 陈 晨

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分七章, 内容包括: 电路的基础知识、简单电阻电路的分析、直流电路分析、动态电路、正弦交流电路、耦合电路、三相电路等。书中各章附有丰富的思考题和习题, 便于学生练习、掌握和巩固所学知识。

本书可作为高职高专院校电类专业的教材, 也可作为相关工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

电工基础/丁学恭, 楼晓春主编. —北京: 北京理工大学出版社,
2007. 8

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1080 - 5

I. 电… II. ①丁…②楼… III. 电工学 - 高等学校 - 教材
IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 129269 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 17.5

字 数 / 347 千字

版 次 / 2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 26.00 元

责任校对 / 张 宏

责任印制 / 周瑞红

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本教材贯彻落实“全国职业教育工作会议”精神，以“必须、够用、实用、好用”为原则，克服理论课内容偏深、偏难的弊端，根据高等职业技术教育教学改革的目的和要求，针对高职高专生源的特点而编写。本教材的编写指导思想是：贯彻党的教育方针，依据《职业教育法》的规定和《国家职业标准》的要求，更新教学内容，突出技能培训，强化创新能力的培养，以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才，使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场的需要为目标。其宗旨是：促职业教育改革，助技能人才培养。

在教材的编写过程中，注意反映新知识、新技术、新工艺和新方法，体现科学性、实用性、代表性和先进性，正确处理了理论知识与技能的关系，注重培养学生的自学能力、分析能力、实践能力、综合应用能力和创新能力。书中各章附有丰富的思考题和习题，便于学生练习、掌握和巩固所学知识。教材的价值在于兼顾了学生学习理论知识与通过职业技能鉴定考试两种要求。

本教材共分为七章，基本内容包括：电路的基础知识、简单电阻电路的分析、直流电路分析、动态电路、正弦交流电路、耦合电路、三相电路。

本教材由丁学恭、楼晓春任主编，何丽莉、徐意任副主编。其中，第一章、第七章由丁学恭编写；第二章、第三章、第四章和第六章由楼晓春编写；第五章由何丽莉编写。实验部分由陈晨编写。全书由丁学恭和徐意统稿。

本教材在编写出版过程中，查阅和参考了众多文献资料，得到了许多教益和启发，同时得到了学校领导的重视和支持，参加教材编审的人员均为学校的教学骨干，保证了本教材的编写能够按计划有序地进行，并为编好教材提供了良好的技术保证，在此向参考文献的作者和学校一并表示衷心的感谢。

虽然在主观上力求谨慎从事，但限于时间和编者的学识、经验，疏漏之处，仍恐难免，恳请广大同行和读者不吝赐教，以便今后修改提高。

编 者

目 录

绪论	(1)
第一章 电路的基础知识	(3)
第一节 电路的基本认识	(3)
第二节 电路的基本物理量	(5)
第三节 电路元件	(14)
第四节 欧姆定律	(21)
第五节 基尔霍夫定律	(25)
习题 1	(30)
实验一 电路元件伏安特性测绘	(36)
实验二 基尔霍夫定律的验证	(39)
搜索与研究	(41)
第二章 简单电阻电路的分析	(43)
第一节 电阻的串、并联	(43)
第二节 万用电表的基本原理	(51)
第三节 电阻的星形与三角形连接的等效变换	(56)
第四节 电压源、电流源的连接及等效变换	(59)
习题 2	(66)
实验三 电源外特性的测试及等效变换	(69)
第三章 直流电路分析	(76)
第一节 支路电流法	(76)
第二节 网孔电流法	(80)
第三节 节点电压法	(84)
第四节 叠加定理	(89)
第五节 戴维南定理与诺顿定理	(93)
习题 3	(103)
实验四 叠加原理的验证	(107)

实验五 戴维南定理的验证.....	(110)
第四章 动态电路	(114)
第一节 电路产生动态过程的原因.....	(114)
第二节 电容元件	(115)
第三节 电感元件	(123)
第四节 换路定律	(127)
第五节 一阶电路的零输入响应.....	(131)
第六节 一阶电路的零状态响应.....	(137)
第七节 一阶电路的全响应.....	(141)
习题 4	(145)
实验六 RC 一阶电路的响应测试	(149)
第五章 正弦交流电路	(155)
第一节 正弦交流电的基本概念.....	(155)
第二节 正弦量的表示法.....	(161)
第三节 电路基本定律的相量形式.....	(164)
第四节 复阻抗与复导纳.....	(176)
第五节 正弦交流电路的相量分析法.....	(184)
第六节 正弦交流电路中的功率.....	(186)
第七节 谐振	(193)
习题 5	(198)
实验七 三表法测量电路等效参数.....	(205)
实验八 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	(207)
实验九 正弦稳态交流电路相量的研究.....	(210)
实验十 串联谐振电路的研究.....	(213)
第六章 耦合电路	(221)
第一节 耦合电感	(221)
第二节 有耦合电感的正弦电路.....	(227)
第三节 空心变压器	(233)
第四节 理想变压器	(237)
习题 6	(240)
探索与研究	(242)

第七章 三相电路.....	(245)
第一节 三相电压	(245)
第二节 三相电源的连接.....	(248)
第三节 三相负载的连接.....	(250)
第四节 三相电路的计算.....	(256)
第五节 三相电路的功率.....	(260)
习题 7	(262)
实验十一 三相交流电路电压、电流的测量.....	(265)
参考文献	(269)

绪 论

电能的开发与应用在生产技术上引起了划时代的革命。如今电能是人类社会的各个领域广泛应用，发挥着越来越重要的作用。现代工业、农业和国民经济的各个领域，逐渐以电力为主要的动力来源。工业上的各种生产机械，如机床、起重机、轧钢机等都是由电动机来拖动的；现代农业中，排灌、田间机械化作业、粮食和饲料加工也是依靠电力来完成；现代化的交通工具、现代化的科研设备和医疗设备等也与电能有着不可分割的联系；办公自动化、信息网络的实现等也都离不开电能。

一、电能的优点

在各种形式的能量中，电能之所以占有重要的地位，获得广泛的应用，主要是因为电能具有以下优点：

1. 电能生产方便

电能可以方便、容易地由水能（水利发电）、热能（火力发电）、原子能（原子能发电）、化学能（电池、蓄电池）及光能（光电池）等转换而来。

2. 电能便于输送和分配

电能可以利用输电线路方便地进行远距离输送和分配。输配电设备简单且输电的效率，从而解决了发电厂（电能的产生）和生产基地（用电单位）不在一处的矛盾。根据用电的需要，电能还可以方便地利用导线进行分配。

3. 电能便于转换

利用用电设备（如电动机、电炉、电灯等）可以方便地将电能转换成其他形式所需要的能（机械能、热能、光能等）。根据需要电能之间也可以进行转换，如利用整流装置可以将交流电转换成直流电，利用逆变装置可以将直流电转换成交流电。

4. 电能便于控制

电流是以光的速度进行传导的，利用电能控制的设备动作迅速而准确，且易于实现远距离控制和生产过程的自动化。

二、本课程的性质、任务和要求

1. 课程性质

《电工基础》是研究电路和电磁现象的基本规律及分析方法的一门基础课程，是进一步学

习电气自动化技术所必须掌握的理论基础课。

2. 任务和要求

电工基础是电气自动化专业一门主干技术基础课程。重点培养学生的电路建模和分析计算能力。主要内容是电路模型、电路的等效变换分析法、电路的普遍性分析法、正弦交流电路的分析、初步动态电路的时域分析、电磁铁和变压器的初步应用分析。

通过本课程的学习，要求学生掌握较系统的电工理论知识，培养一定的电工实验技能，并具有一定的分析、计算能力，为后续专业课程的学习打下坚实的基础。

具体要求是：

- (1) 掌握电路模型、直流电路与交流电路的基本概念、基本定律和基本分析计算方法。
- (2) 了解磁路与变压器的基本知识。
- (3) 初步掌握线性电路中过渡过程的基本概念和基本分析方法。
- (4) 正确使用基本电工仪器仪表，掌握电路中基本物理量的测量方法，能用实验的方法验证有关定律，培养学生的实验技能。

三、学习本课程应注意的问题

(1) 本课程是一门专业基础课，理论性比较强，以讲解基本概念和基本理论为主，学生应有理论联系实际意识，以便使所学的理论知识在专业课程、生产实践中得到应用。

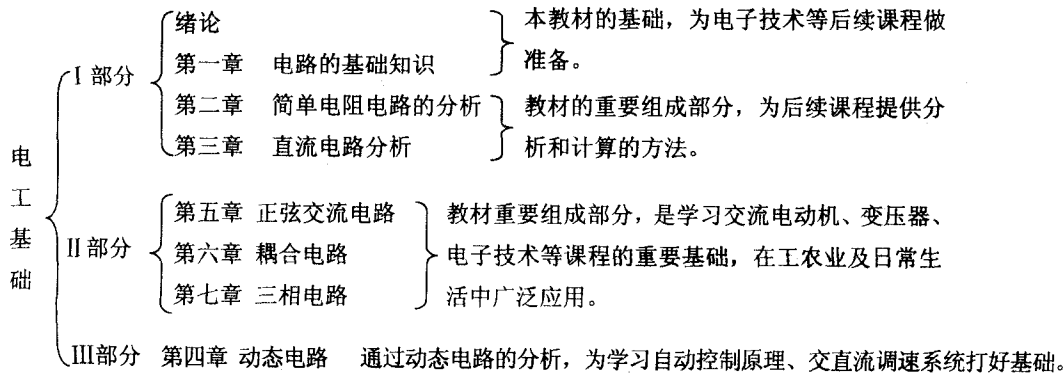
(2) 把握每个章节的知识要点，注意各个部分内容之间的联系和区别，学会归纳总结，不断提高自学能力和分析、解决问题的能力。

(3) 教材中设置了适量的课堂练习和习题，应按教学进程同步完成。

(4) 实验是本课程的一个重要环节，通过实验可以巩固所学理论，训练操作技能，培养实践能力和严谨的作风。

(5) 学习本课程时要注意与后续各专业课程的联系。

本课程与后续专业课程的联系为



第一章

电路的基础知识

第一节 电路的基本认识

随着现代科技的日益进步，电能在人类社会的各个领域得到了广泛的应用，并发挥着越来越重要的作用，人们的日常生活已经离不开电能。

试想想，没有电的世界是一个什么样的世界？

一、一个电路问题

水流流过的路径称为河床或渠道，电路是电流流过的路径。

列举一些实际电路如图 1-1 所示。为了明白电路理论包括哪些内容，以汽车照明电路为例，如图 1-1 (c) 所示，蓄电池（12.6 伏）、左前灯（5.25 欧）、右前灯（5.25 欧）、连接导线和汽车底盘构成了汽车照明电路。当合上开关时，电路中有电流通过，灯泡发光。我们说，蓄电池、灯泡、开关通过导线的连接就构成了一个电路。可以利用电路理论计算导线中的电流、电池输出的功率和流入每个前灯的能量。

蓄电池、小灯泡、导线、开关统称电路元器件。

二、电路的组成

图 1-1 所示的电路中，蓄电池为电路提供电能，称之为电源；灯泡将电能转化为光能，称之为负载，也称之为用电器；导线和开关起到传输电能和控制电能的作用，称之为电路的中间环节。

电路是由电源、负载、中间环节三个基本部分组成的。

1. 电源

电源为电路提供电能，电源内部进行从非电能到电能的转换。

常见的电源有干电池、蓄电池、发电机等，其中干电池是将化学能转换成电能，发电机是将机械能转换成电能。

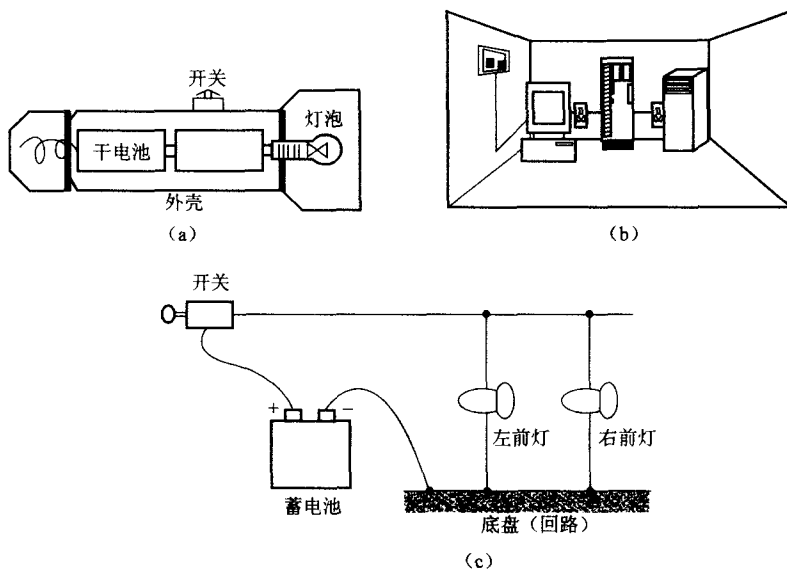


图 1-1 电路

(a) 手电筒; (b) 家电路; (c) 汽车照明电路

2. 负载（用电器）

负载（用电器）是将电能转换成其他形式能的装置。

常见的负载如灯泡、电炉、电动机等，其中灯泡是将电能转换成光能和热能，电动机是将电能转换成机械能。

试想想，如果我们的生活中没有用电器将会是什么样子？

3. 导线

提起导线，大家再熟悉不过了。导线是用来连接电路元件，起着传输、分配电能的作用。导线不一定是线的形状，手电筒筒壳内的金属片、印刷电路板上的铜膜等都是导线，常用的导线是铜导线、铝导线。

4. 开关

开关在电路中用来控制电路的接通或断开，以保证电路的正常工作。开关在我们日常生活中使用得非常普遍，你可以列举出身边各种各样的开关。

电路中简单的中间环节可以仅由连接导线和开关组成，但复杂的中间环节可以是一个庞大而复杂的控制系统。

三、电路模型

图 1-1 是用电器的实物图形来表示的电路，其优点是直观，但画起来很复杂，不便于分

析和研究。因此，为了便于电路的描述，总是把实际的电器抽象成为理想化的模型，用规定的图形符号来表示。

图 1-1 所示电路中的蓄电池用电压源 U_S (12.6 伏) 来代替，灯泡用电阻元件 R (5.25 欧) 来代替，导线、底盘用理想导线来代替，这样就构成与图 1-1 (c) 所示汽车照明电路相对应的电路模型，如图 1-2 所示。

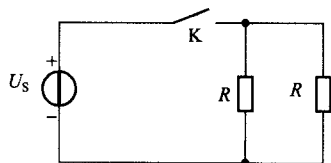
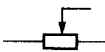
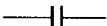


图 1-2 电路模型

部分常用理想电路元件的图形符号及文字符号如表 1-1 所示。

表 1-1 常用理想电路元件的文字符号与图形符号

元件名称	文字符号	图形符号	元件名称	文字符号	图形符号
电阻	R		电位器	R_p	
电感	L		电压源	U_S	
电容	C		电流源	I_S	

四、电路理论的实质

电路理论研究、分析的是什么问题呢？

解决一个实际工程问题通常要四个步骤：第一，证实问题的实际性；第二，问题建模；第三，分析模型；第四，将分析结果用于解决最初的物理问题。电路理论仅包括第三个步骤：用已知的电路定律对电路模型进行定量的分析计算。

电路理论产生了电气工程学的语言。

自测题

1. 试列举两种实际电路，指出电路的三个组成部分，并说明电路的功能。
2. 什么是电路模型？为什么电路中分析的是电路模型？

第二节 电路的基本物理量

在图 1-1 (c) 所示的汽车照明电路中，要分析灯泡为什么会发光、灯泡的亮度与哪些因素有关等问题时，都将涉及电路的基本物理量。

电路的基本物理量包括电流、电压、电功率等，我们学习电工基础的基本任务就是分析

和计算电路中的基本物理量。

一、电流

1. 电流的定义

电荷的定向运动形成电流，即

电荷定向移动→电流

表示电流强弱的物理量称为电流，用 $i(t)$ 表示，定义为单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 Δt 时间内通过横截面 S 的电荷量为 Δq ，则通过该截面的电流为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-1)$$

若电流的大小和方向都不随时间变化，则称为直流电流。用大写的字母 I 表示，并有

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

式中， Q 是在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制 (SI) 中，电流的单位是安培，简称安 (A)。对大电流以千安 (kA) 为单位，小电流以毫安 (mA) 或微安 (μA) 为单位，其关系为

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

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

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

2. 电流的参考方向

我们知道“水往低处流”，因此水流是有方向的，同样电流也有方向。我们规定电流的实际方向为正电荷运动的方向。但是，在电路分析中，电流的实际方向很难预先判断出来，而且有时实际的电流方向是不断变化的，因此很难在电路中标明电流的实际方向。如何解决这个问题呢？我们在电路中引入人为假定的电流方向，称之为电流的“参考方向”。

在图 1-3 中选定某一个方向为电流的参考方向（图中用实线表示）。把电流看作代数量，若电流的实际方向与电流的参考方向一致，则电流为正值 ($I > 0$)；若电流的实际方向与电流的参考方向相反，则电流为负值 ($I < 0$)。引入电流参考方向后，根据电流的正负，就可以确定电流的实际方向。

电流的参考方向是任意指定的，在电路中一般用箭头表示，也可以用双下标表示，如 i_{ab} 表示参考方向是由“a”指向“b”。

参考方向是电路中一个重要的概念，学习时应注意以下两点：

- (1) 电流的参考方向是人为任意设定的，但一经设定就不得改变；
- (2) 不标参考方向的电流没有任何意义。

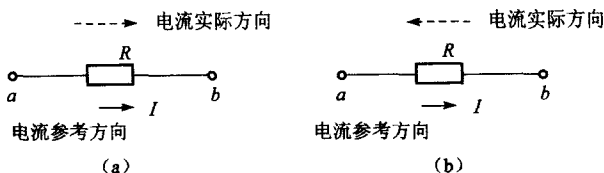


图 1-3 电流的参考方向与实际方向的关系

 (a) $I > 0$; (b) $I < 0$

小结:

(1) 电荷的定向运动形成电流。

(2) 在电路中表示电流时, 必须要同时知道参考方向和电流值, 电流值可为正, 也可为负。

 例 1-1 如图 1-4 所示, 已知 $I = -5 \text{ A}$, 若将参考方向改为 I' 的方向, 则 $I' = ?$

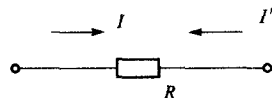
 解 因为 $I = -5 \text{ A}$, 表明电路中电流的实际方向与参考方向相反, 参考方向改为 I' 的方向时, 电流的实际方向与参考方向相同, 所以


图 1-4 例 1-1 图

$$I' = 5 \text{ A}$$

 思考题: 取 $I = 5 \text{ A}$, 重解该题。

例 1-2 如图 1-5 所示, 试说明电流的实际方向。

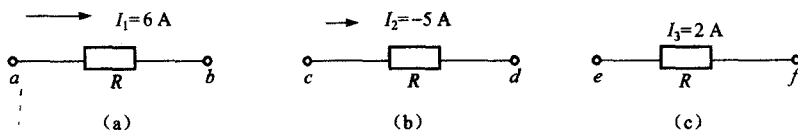


图 1-5 例 1-2 图

 解 图 (a) 中, $I_1 = 6 \text{ A} > 0$ 为正值, 说明电流的实际方向和参考方向相同, 即从 a 流到 b 。

 图 (b) 中, $I_2 = -5 \text{ A} < 0$ 为负值, 说明电流的实际方向和参考方向相反, 即从 d 流到 c 。

 图 (c) 中, 未设定电流的参考方向, 给出的 $I_3 = 2 \text{ A} > 0$ 无物理意义, 无法判断实际电流的方向。

思考题: 结合本例说明电流的参考方向与实际方向的相互关系。

例 1-3 某导体在 5 分钟内均匀通过 6 库仑的电荷量, 求导体中流过的电流。

$$\text{解} \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{6}{5 \times 60} = 0.02 \text{ A}$$

思考题: 试将该电流用毫安和千安来表示, 并说明用哪一个单位来表示更合理?

二、电压和电位

1. 电压

我们知道水从高处流向低处是因为两点间有水压差,如图1-6所示。同样在电路中使电荷做定向运动形成电流的条件是两点间具有电位差,称之为电压。

电压是衡量电场力移动电荷做功能力的物理量。我们规定:电场力把 Δq 正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 Δw_{ab} ,则 a 、 b 间的电压(用 u_{ab} 表示)为

$$u_{ab} = \frac{\Delta w_{ab}}{\Delta q} \quad (1-3)$$

大小和方向都不随时间变化的电压称为直流电压,用 U_{ab} 表示,即

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

在国际单位制(SI)中,电压的单位是伏特,简称伏(V)。对大电压以千伏(kV)为单位,小电压以毫伏(mV)或微伏(μV)为单位,其关系为

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

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

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

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,是电压降的方向。与电流一样,为方便电路分析,需选定一个电压参考方向。若电压的实际方向与电压的参考方向一致,则电压为正值($U > 0$);若电压的实际方向与电压的参考方向相反,则电压为负值($U < 0$)。在选定的电压参考方向下,根据电压值的正负,就可以确定电压的实际方向。

电压参考方向可用箭头来表示,如图1-7(a)所示;或用极性符号来表示,“+”表示高电位,“-”表示低电位,如图1-7(b)所示;也可用双下标表示, U_{ab} 表示“ a ”为高电位,“ b ”为低电位,如图1-7(c)所示。

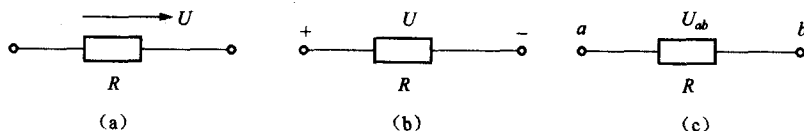


图 1-7 电压的参考方向

例 1-4 电阻 R 上的电压参考方向如图1-8所示,已知 $U_1 = 5 \text{ V}$, $U_2 = -3 \text{ V}$,试说明电压的实际方向。

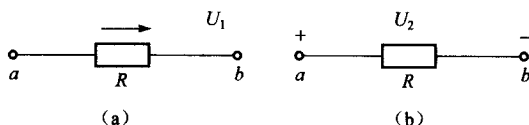


图 1-8 例 1-4 图

解 图 (a) 中, $U_1 = 5 \text{ V} > 0$ 为正值, 说明电压的实际方向和参考方向相同, 即从 a 指向 b ;

图 (b) 中, $U_2 = -3 \text{ V} < 0$ 为负值, 说明电压的实际方向和参考方向相反, 即从 b 指向 a 。

思考题: 结合本例说明电压的参考方向与实际方向的相互关系。

例 1-5 电荷量为 0.003 C 的正电荷, 在电场中从 a 点移到 b 点, 电场力所做的功为 0.06 J 。试求 $U_{ab} = ?$ 电荷量为 0.04 C 的正电荷从 a 点移到 b 点, 电场力所做的功是多少?

解

$$(1) U_{ab} = \frac{w_{ab}}{q} = \frac{0.06}{0.003} = 20 \text{ V}$$

$$(2) w_{ab} = q \times U_{ab} = 0.04 \times 20 = 0.8 \text{ J}$$

思考题: 如果将电荷量为 0.04 C 的正电荷从 b 点移到 a 点时, 电场力所做的功又是多少?

2. 关联参考方向和非关联参考方向

对一段电路或一个元件上的电压参考方向和电流参考方向可以独立地加以任意指定。当电流、电压的参考方向选得一致时, 则称之为关联参考方向, 如图 1-9 (a) 中的 I 和 U ; 反之称为非关联参考方向, 如图 1-9 (b) 中的 I 和 U 。

一般来说, 对负载采用关联参考方向, 对电源采用非关联参考方向。

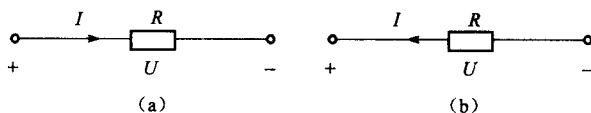


图 1-9 电压、电流的参考方向

(a) 关联参考方向; (b) 非关联参考方向

3. 电位

如图 1-10 所示, 测得距离海平面的海拔, 两点间的海拔差称为高度。同样, 可以将此方法运用到电路中。我们把电路中某点与参考点之间的电压差称为该点的电位。电路中 a 点的电位可表示为 V_a , 电位的单位和电压的单位一样, 用伏 (V) 表示。

电路中参考点 (也可称为基准点) 的电位为零, 通常用字母 “O” 或符号 “ $\perp$ ” 表示。参考点与电位的相互关系为:

(1) 电位参考点可以任意选择, 参考点的电位为零。

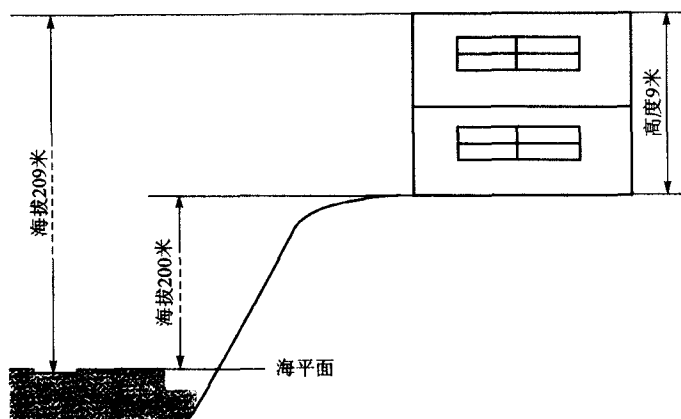


图 1-10 高度的测量

- (2) 电路中各点的电位为该点与参考点之间的电压差。
- (3) 参考点不同，电路中各点的电位也不同，但任意两点间的电位差（电压）不变。
- (4) 在研究同一电路时，只能选取一个电位参考点。

例 1-6 在图 1-11 所示电路中，已知 $U_{S1}=10\text{ V}$ ， $U_{S2}=4\text{ V}$ ，分别以 c 、 a 为参考点，求 a 、 b 、 c 各点的电位及 ab 两点之间的电压。

解 电路中各点的电位是指该点对参考点的电压降。比参考点高的电位为“+”，比参考点低的电位为“-”。

- (1) 以 c 点为参考点 ($U_c=0\text{ V}$)， a 、 b 、 c 点的电位为

$$U_c=0\text{ V}$$

$$U_a=U_{S1}=10\text{ V}$$

$$U_b=U_{S2}=4\text{ V}$$

$$U_{ab}=U_a-U_b=10-4=6\text{ V}$$

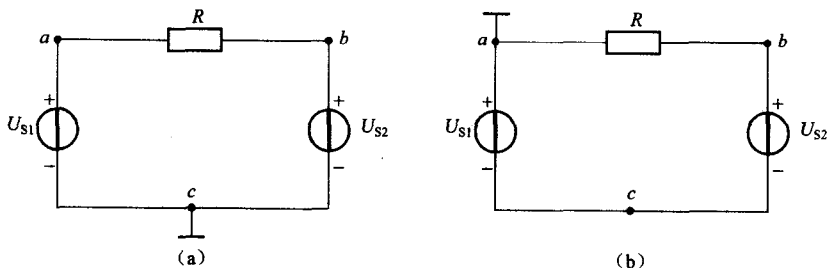


图 1-11 例 1-6 图

(a) $U_c=0\text{ V}$; (b) $U_a=0\text{ V}$