

高 职 高 专 规 划 教 材

环境工程电工电子

郝 屏 主 编

张玉健 副主编

李留格 主 审



化学工业出版社

高 职 高 专 规 划 教 材

环境工程电工电子

郝 屏 主 编

张玉健 副主编

李留格 主 审



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教材分为电工基础篇、电子技术篇、技能实训篇三部分。电工基础篇包括：直流电路、正弦交流电路、电动机控制、环保机械电气控制、环保设备电气布置、安全用电；电子技术篇包括：常用电子元件、直流稳压电源、基本放大电路、集成放大电路、数字电路基础知识、组合逻辑电路、时序逻辑电路；技能实训篇包含电工技术中共十个实训题目。本教材重视实践能力的培养，考虑到知识的实用性，教材中加入了电工工具的介绍、常用测量仪表的使用、各种电子元器件的构造和性能等。与传统的电工电子教材相比，增加了环境污染治理专用机械设备的电气控制过程，使环境工程类专业的学生熟悉到电工电子技术在本专业中的应用。

本书为高职高专环境类专业的教材，也可供污水处理厂等相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程电工电子/郝屏主编. —北京：化学工业出版社，2013.1
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-15774-4

I. ①环… II. ①郝… III. ①环境工程-电工技术-
高等职业教育-教材 ②环境工程-电子技术-高等职业教育-教材 IV. ①X5②TM③TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 260376 号

责任编辑：王文峡

文字编辑：刘莉珺

责任校对：宋 夏

装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14¼ 字数 360 千字 2013 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：28.00 元

版权所有 违者必究

编审委员会

主任委员 周立雪

副主任委员 李倦生 王世娟 季剑波 刘建秋

委员 (按姓名笔画排序)

王世娟 王晓玲 王 雨 刘建秋 孙 蕾

李 庄 李倦生 李留格 吴国旭 张 雷

张 欣 张小广 张玉健 张慧俐 陈 忠

钟 飞 邹明亮 林桂炽 季剑波 周立雪

郝 屏 袁秋生 黄从国 龚 野 蒙桂娥

前言

《国务院关于大力发展职业教育的决定》中明确提出：“坚持以就业为导向，深化职业教育教学改革”。因此，以课程改革为核心的职业教育改革迫在眉睫，开发有特色、可行性强的教材成为当务之急。为了进一步适应新的职业教学改革，更加贴近教学的实际，满足学生的需求，我们组织了一批具有丰富教学经验的一线教师共同编写了这本供高职高专环境工程类专业使用的电工电子技术教材。

本书在编写过程中力图体现以下特色：

1. 本书根据“以就业为导向，以职业能力为本位，以学生为主体”的职业教育理念，从知识结构、体系、内容上均进行了有机的整合，力求体现“精炼”、“实用”，使之更加符合职业教育要求。

2. 基于高职高专环境工程类专业学生并不是为了从事专门的电工行业的特点，本书在编写过程中，以专业必需的基本概念和基本分析方法为主，舍去烦琐、不必要的理论叙述和推导，如戴维南定律、叠加原理、正弦量的矢量计算等，只给出了电路的基本分析方法，够用即可。重视实践能力的培养，考虑到知识的实用性，教材中加入了电工工具的介绍、常用测量仪表的使用、各种电子元器件的构造和性能等。

3. 本书分为电工基础篇、电子技术篇、技能实训篇三部分，内容系统性强，层次分明。教学过程中以第一部分电工基础篇为重点，根据实际课时安排，电子技术篇可作为选学内容。本书为了适用于高职高专环境工程类专业教学需要，增加了环境保护有关专用的机械设备的电气控制过程，如泵房的电气布置、电动阀门的控制、污水处理系统中的曝气池曝气过程的控制、构筑物的防雷措施等内容，使环保专业的学生了解到电工电子技术在本专业中的应用。

4. 本书尽可能多地采用插图，以求直观形象，从而给学生营造一个生动的认知环境。

5. 通过章前学习提示和章后小结，明确学习要点及知识点；技能训练使理论与实践完全统一，学以致用；书中大量的阅读材料，拓展视野，以适应不同类型教学要求。

本书由河南化工职业学院郝屏担任主编，徐州工业职业技术学院张玉健担任副主编，河南化工职业学院李留格担任主审。参与编写的有河南化工职业学院郝屏（编写第三、四章、技能实训篇）、徐州工业职业技术学院张玉健（编写第五、六章）、四川化工职业技术学院王雨（编写第一章）、长沙环境保护职业技术学院邹明亮（编写第二章）。全书由郝屏统稿。

本书在编写过程中，徐州工业职业技术学院的季剑波院长、河北工业职业学院的刘建秋主任、河南化工职业学院的张慧俐老师对编写思路提出了许多宝贵意见，并提供了有关教材和文献；同时也得到了化学工业出版社的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平，教材难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2012年8月

目 录

电工基础篇	1
第一章 直流电路	2
第一节 电路的组成与作用	2
一、电路的组成及作用	2
二、电路模型	3
小资料 生活中的电源	4
第二节 电路的基本物理量	5
一、电流	5
二、电压	7
三、电位、电动势	8
第三节 电阻	9
一、电阻元件	9
二、电阻的分类	10
三、电阻的识别	12
四、万用表	13
第四节 直流电路分析方法	14
一、欧姆定律	14
二、电路的三种工作状态	14
三、基尔霍夫定律	15
四、用支路电流法分析复杂直流电路	18
小资料 常用电工工具介绍 1	19
第五节 电阻的串联、并联连接及其应用	20
一、电阻的串联、并联及混联	20
二、电流表量程的扩大	23
三、电压表量程的扩大	24
四、电子自动平衡电桥	25
第六节 电功率	26
一、电功和电功率	26
二、功率表的安装及测量	26
三、电度表的安装及测量	28
小资料 常用电工工具介绍 2	30
本章小结	32
习题与思考题	32
第二章 交流电路	36
第一节 正弦交流电的基本概念	36
一、正弦交流电的周期、频率和角频率	36
二、正弦交流电的瞬时值、最大值和有效值	37
三、正弦交流电的相位、初相位和相位差	38
第二节 正弦交流电的表示方法	39
一、利用波形图表示正弦交流电	39
二、利用三角函数表示正弦交流电	39
三、利用相量图表示正弦交流电	39
小资料 示波器的使用	41
第三节 基本交流电路	46
一、电容	46
二、电感	48
三、纯电阻、电容、电感电路	50
四、日光灯电路	53
小资料 交流电路的实际器件	59
第四节 三相正弦交流电路	59
一、三相交流电源	60
二、三相交流负载	61
三、三相电功率	64
第五节 变压器	65
一、变压器的结构	66
二、变压器的工作原理	66
三、变压器的额定值	67
四、变压器好坏的判定	67
五、特殊变压器	68
小资料 变压器绕组的极性判别	70
小资料 常用磁性材料的分类及应用	70
本章小结	72
习题与思考题	72
第三章 交流电动机与其电气控制线路	73
第一节 三相异步电动机	73
一、三相异步电动机的结构	73
二、三相异步电动机的工作原理	75
三、三相异步电动机的调速方法及铭牌数据	78
四、三相异步电动机的简单测试	79
第二节 常用低压电器	79

一、开关及按钮	80	第六节 环保设备电气布置	110
二、交流接触器	82	一、泵房电气布置	110
三、中间继电器	83	二、污水处理构筑物电气布置	111
四、熔断器	84	小资料 变频器简介	113
五、热继电器	85	本章小结	114
六、低压断路器	86	习题与思考题	114
第三节 三相异步电动机的电气控制	87	第四章 供电与安全用电	117
一、三相异步电动机的启动	87	第一节 电能的产生、输送与分配	117
二、三相异步电动机的正反转控制	93	一、电能的产生	117
三、三相异步电动机的时间控制	95	二、电能的输送	117
四、三相异步电动机的行程控制	98	三、电能的分配	118
五、三相异步电动机的制动控制	100	第二节 防雷与接地	118
第四节 认识单相异步电动机	102	一、雷电的产生和防雷技术	118
一、电容分相式单相异步电动机	102	二、建筑物、构筑物防雷等级的划分	118
二、罩极式单相异步电动机	102	三、建筑物、构筑物的防雷	119
第五节 环保机械电气控制	103	四、电气设备的接地	120
一、电动阀门控制	103	第三节 触电急救常识	120
二、真空泵电动机控制	104	一、触电	120
三、离心式水泵电动机控制	105	二、触电的保护	121
四、沉淀池排泥机控制	106	三、触电急救	121
五、曝气鼓风机控制	107	本章小结	124
六、平流式隔油装置控制	109	习题与思考题	124
小资料 活性污泥法的基本工艺流程	110		
电子技术篇	125		
第五章 常用电子元件及其应用	126	习题与思考题	162
一、半导体的基本特性	126	第六章 数字电路基础知识	166
二、本征半导体	127	第一节 数字电路基础知识	166
三、杂质半导体	127	一、数字信号和数字电路	166
第一节 晶体二极管及其应用	127	二、逻辑代数和基本逻辑运算	167
一、认识晶体二极管	127	第二节 组合逻辑电路	171
二、特殊二极管	130	一、基本逻辑门电路	171
三、直流稳压电源电路	133	二、集成门电路	172
小资料 如何判断二极管极性及性能的好坏	140	三、组合逻辑电路的分析和设计	175
第二节 晶体三极管	141	小资料 数字集成电路检测方法	177
一、晶体三极管基础知识	141	四、典型 MSI 组合逻辑器件	177
二、基本放大电路	146	第三节 时序逻辑电路	183
三、静态工作点的调整对放大电路性能的影响	150	一、触发器	183
四、负反馈对放大电路性能的影响	152	二、典型时序逻辑电路	189
五、集成运算放大器	154	三、典型 MSI 时序逻辑器件	193
小资料 三极管的简易测试	160	小资料 数字电路如何读时序图	195
本章小结	162	本章小结	196
		习题与思考题	196

技能实训篇	199
技能实训一 日光灯的安装及功率因数的提高	200
技能实训二 三相交流电路的测试与安装	201
技能实训三 电工安装基础	203
技能实训四 电度表的安装与使用	205
技能实训五 小型变压器的测试	207
技能实训六 常用低压电器（交流接触器）的拆装	209
技能实训七 三相异步电动机的点动控制与自锁控制	210
技能实训八 三相异步电动机的正反转控制	213
技能实训九 沉淀池排泥机控制	215
技能实训十 曝气鼓风机控制	217
参考文献	220

电工基础篇

第一章 直流电路

知识目标

- 了解电路的基本组成及其作用。
- 了解电路模型的概念。
- 理解电流、电压、电位、电动势的定义。
- 掌握电流、电压参考方向的概念和关联参考方向的含义。
- 了解电阻的分类。
- 掌握电阻的符号、阻值读取方法。
- 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律、支路电流分析法。
- 了解电路的三种工作状态。
- 掌握求解串联、并联和混联电路等效电阻的方法。
- 掌握电功率和电能的计算方法。

能力目标

- 能利用电流表测直流电流。
- 能利用电压表测直流电压。
- 能识别电阻的阻值。
- 能利用万用表测量电阻值。
- 能正确应用欧姆定律、基尔霍夫定律求解简单电路。
- 能正确应用支路电流法求解较复杂电路。
- 能利用功率表测电功率。
- 能利用电能表测电能。

本章讲述电路的基本概念和定律，包括：电路的组成与作用，电路的基本物理量，电阻元件，直流电路分析方法（欧姆定律、基尔霍夫定律及支路电流法），电阻的串、并联连接及其应用；电功率的电功率概念及测量。

第一节 电路的组成与作用

一、电路的组成及作用

（一）电路的组成

电流的通路简称电路。它是为了某种需要，由各种电气设备和元件按照一定的连接方式形成的电流的通路。电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，但从电路的本质来说，它主要由电源、负载和中间环节三部分组成，如图 1-1。

1. 电源

电源是将其他形式的能量转换为电能的装置，它是电路中电能的提供者。例如，干电池

和蓄电池把化学能转换成电能；光电池把太阳能转换成电能；发电机把机械能转换成电能。这些能够把其他能量转换成电能的装置都是电源。

2. 负载

负载是把电能转换为其他形式能量的装置，它是电路中电能的使用者和消耗者。例如，电灯把电能转换为光能；电炉把电能转换为热能；电动机把电能转换为机械能。这些将电能转换为其他形式能量的装置都是负载。

3. 中间环节

中间环节是连接电源（或信号源）和负载的元件，用它们把电源（或信号源）与负载连接起来，起输送、分配电能或传递、处理信息的作用。它包括连接电路的导线、控制电路的开关以及保护电路的熔断器等。

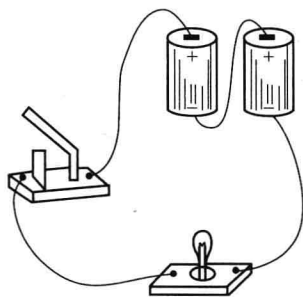


图 1-1 电路的组成

思考

请思考并回答生活中你所遇到的电源及负载都有哪些。

（二）电路的作用

电路具有两个主要功能。

1. 进行能量的转换、传输和分配

例如，电力系统中，发电厂把热能、水能或原子能转换成电能，再通过变压器、输电线路传输到各用户，各用户通过负载把电能又转换为光能、热能和机械能等。

2. 实现信号的传递和处理

通过电路可以把施加的信号（称为激励）转换成所需要的输出信号（称为响应）。例如，一台半导体收音机，其天线接收到的是一些很微弱的电信号，这些微弱的信号必须通过调谐环节选择到所需要的某个频率信号，再经过变频、检波、放大等环节，最后送到扬声器还原成原始信号（声音）。

二、电路模型

（一）理想元件

实际电路都是由一些按照需要起不同作用的实际电路元件所组成，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，因此，实际电路的结构按所实现的任务不同而多种多样。组成电路的元件也不尽相同，很难一一画出，为了方便研究电路的规律，需要将电路元件不重要的电学性质忽略不计，同时突出元件最本质的电学特性来代表实际元件的主要功能，这种经过抽象的、只有本质特性的元件叫做理想元件。例如电炉，其消耗电能的电磁特性可用理想电阻元件来表现。

（二）电路模型

在一定条件下，任何实际电气设备和元件都可以用理想元件代替，这样，任何实际电路都可以表示为理想元件的组合，用理想导线（电阻为零）将理想元件连接起来而形成的电路就称为电路模型。

思考

图 1-2 中的灯泡为什么会发光？

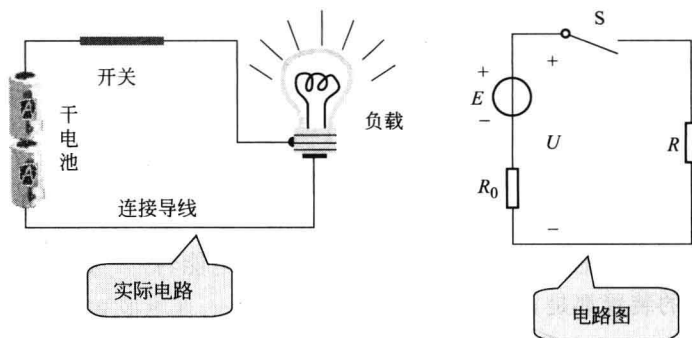


图 1-2 实际电路与电路图

电路图就是用统一规定的图形符号画出的电路模型。几种常用的标准图形符号见表 1-1。

表 1-1 常用理想元件及符号

名 称	符 号	名 称	符 号
电阻		电压表	
电池		接地	
灯泡		熔断器	
开关		电容	
电流表		电感	



小资料

生活中的电源

日常生活中可以见到各种各样的电源，给人们带来了很大的方便。但我们是否了解这些电源呢？下面进行简单的介绍。

(1) 干电池 也叫碳锌电池。最早以炭粉做正极、锌筒做负极，浓缩的氯化铵水溶液为电解液，用化学反应供应电能。近年来用得较多的是“碱性电池”，用氢氧化钾或氢氧化钠做电解质，容量比同体积的干电池大出一倍以上。常用在照相闪光灯等耗电量的用电器中。

(2) 蓄电池 铅酸蓄电池在生产和生活中发挥了重要作用。近年来的胶体电池属于铅酸蓄电池的一种，在硫酸中添加胶凝剂，使硫酸电解液变为胶态，可以防止酸液流失。

(3) 氧化银电池 是一种重量轻、容量大的电池，大量用在电子表、人造卫星等。常见的纽扣式氧化银电池，正极是氧化银，负极是锌，又叫锌银纽扣电池。

(4) 锂离子电池 锂离子电池的阳极采用能吸藏锂离子的碳极，放电时锂变成锂离子，脱离电池阳极，到达锂离子电池阴极，充电时正好相反。电解液一般是有机电解液，锂做电极大大增加了电池的容量。锂电池可以做成各种形状，广泛用在移动电话机、照相机等。

(5) 光电池 太阳能电池是一种将光能转化为电能的电池。硅光电池是一种典型的光电池，性能稳定，使用寿命长。已广泛用到计算器、收音机等方面，在人造卫星上常用硅光电池做电源。

(6) 燃料电池 燃料电池被称为继火电、水电、核电之后的第四种发电方式，应用前景十分广阔。燃料电池利用氢和氧的化学反应产生电能的技术，发电效率高，是一种理想的清洁能源。由于这些突出的优越性，被认为是 21 世纪的洁净、高效的发电技术之一。

(7) 镍氢电池 镍氢电池是以氢氧化镍作为正极, 储氢合金作为负极, 氢氧化钾溶液作为电解液。镍氢电池以其实惠、环保的优势得到使用者的青睐, 用途也从传统的小家电产品到新兴的 MP3 等产品中来。

(8) 镍镉电池 正极为氧化镍, 负极为金属镉, 电解液多为氢氧化钾、氢氧化钠碱性水溶液。是绿色环保、高性能、无污染电池。

(9) 原子电池 它是将原子核放射能直接转变为电能的装置。有的原子电池是利用放射线产生热量将其转化为电能; 也有的是利用射线作用于某些物质发光, 用硅光电池产生电能。

除上面介绍的这些电源外, 还有其他各种电源和不断出现的新电源。

第二节 电路的基本物理量

一、电流

(一) 电流

电荷的定向移动形成电流。电流的大小是用单位时间内通过某一导体横截面的电荷量来度量的, 称为电流强度, 简称电流, 用 i 表示。

设在极短的时间 dt 内通过导体横截面的微小电荷量为 dq , 则电流为

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

若电流的大小和方向随时间作周期性变化, 则这种电流称为交流电流。交流电流用小写字母 i 表示; 若电流的大小和方向都不随时间变化, 即 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$, 则这种电流称为恒定电流, 即直流电流。直流电流用大写字母 I 表示。设在时间 t 内通过导体横截面的电荷量为 q , 则电流 I 为

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

在国际单位制 (SI) 中, 电荷的单位是库仑 (C), 时间的单位是秒 (s), 电流的单位是安培 (A), 简称安。电流的单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA) 等, 它们的换算关系为

$$1\text{kA} = 10^3\text{A} \quad 1\text{mA} = 10^{-3}\text{A} \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$$

电流不但有大小, 而且有方向。习惯上, 把正电荷定向运动的方向规定为电流的实际方向。对于比较复杂的直流电路往往不能确定电流的实际方向; 对于交流电路, 因其电流方向随时间变化, 更难以判断。因此, 为便于分析, 引入了电流参考方向的概念。

电流的参考方向, 也称假定正方向, 可以任意选定, 参考方向一经选定就不再改变, 如果计算出来的电流值是正值, 就说明电流的实际方向与参考方向相同, 如图 1-3(a) 所示; 如果计算出来的电流值是负值, 就说明电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-3(b) 所示。

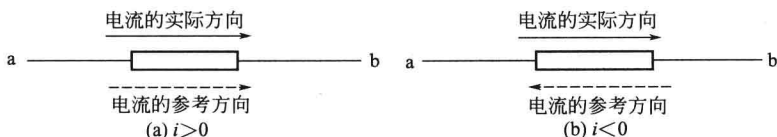


图 1-3 电流的参考方向与实际方向的关系

电流参考方向的两种表示形式如下。

(1) 用箭头表示 箭头的指向为电流的参考方向。

(2) 用双下标表示 如 i_{ab} 表示电流的参考方向为由 a 指向 b ，见图 1-4。

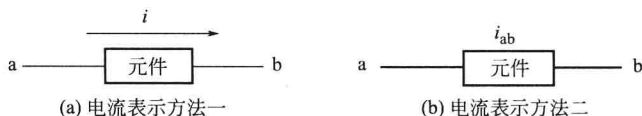


图 1-4 电流参考方向的两种表示法

一个复杂的电路在未求解之前，各处电流的实际方向是未知的，必须在选定的参考方向下列写方程，再依据所求出方程解的正负值判断电流的实际方向。

思考

电流可以比喻成水流来理解吗？二者有何相同之处？

(二) 电流表

电流的大小可用电流表（见图 1-5）直接测量。电流表按所测电流性质不同分为直流电流表、交流电流表和交直两用电流表。用电流表测量电流时，需将电流表串接在被测电路中，当被测电路的电流流过电流表线圈时，电流表指针发生偏转，通过指针偏转的角度可以反映被测电流的大小。电流表的使用应注意以下问题。

1. 正确选择电流表

测量直流电流时，要用直流电流表；测量交流电流时，要用交流电流表。

2. 正确选择量程

在测量之前应先估算被测电路的电流大小，根据估计选择合适的量程（一般选用使指针指在刻度尺 $1/2 \sim 2/3$ 位置的量程，测量结果准确度较高）。若被测电流的大小无法估计，则应用量程最大端钮预测，然后根据预测值选择合适的量程。

3. 电流表机械零位校正

将电流表按摆放要求放置好，在不通电的情况下，观察指针是否指零，若不指零，应调整机械零位校正旋钮，使指针指向零。

4. 正确连接

电路相应部分断开后，将电流表串接到被测电路中。对于直流电流表要保证电流的实际方向从“+”接线柱流入电流表，从“-”接线柱流出电流表，若不知电流方向可进行试触判断。对于交流电流表，无需注意电流表的极性。

5. 正确读数

读数时，要保证视线与电流表刻度面垂直，不能斜视，否则读数将不准确。

6. 整理仪表

测量完毕，要将电流表从电路中拆出，整理好并放回原处。

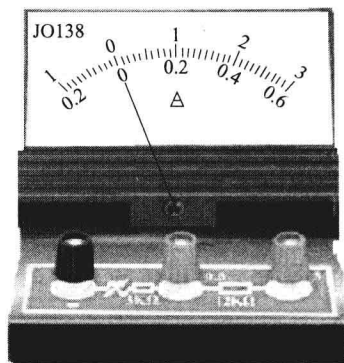


图 1-5 电流表

思考

如果被测电流超出电流表量程或电流表并接到电路上，会出现什么后果？

二、电压

(一) 电压

电荷在电路中运动, 必定受到力的作用, 也就是说力对电荷做了功。为了衡量其做功的能力, 引入“电压”这一物理量, 并定义: 电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点时所做的功称为 a 、 b 两点间的电压, 用 u_{ab} 表示。即

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

式中, dW_{ab} 表示电场力将 dq 的正电荷从 a 点移动到 b 点所做的功, 单位为焦耳 (J)。

大小和方向随时间做周期性变化的电压称为交流电压, 用小写字母 u 表示; 大小和方向都不随时间变化的电压称为直流电压, 用大写字母 U 表示。

直流时, 式(1-3) 应写为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

在国际单位制 (SI) 中, 电压单位为伏特, 简称伏 (V)。电压的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV) 等, 它们的换算关系为

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

电压也有方向, 习惯上将电压的实际方向规定为从高电位端指向低电位端, 即电位降的方向。与电流相类似, 在实际分析和计算中, 电压的实际方向也常常难以确定, 这时也要假定电压的参考方向。电路中两点间的电压可任意选定一个参考方向, 且规定当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正值, 如图 1-6(a) 所示; 相反时电压为负值, 如图 1-6(b) 所示。

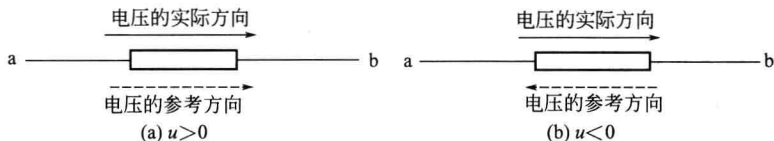


图 1-6 电压的参考方向与实际方向的关系

电压参考方向的三种表示形式 (图 1-7) 如下:

- ① 用正 (+)、负 (-) 极性表示, 电压的参考方向从正极性端指向负极性端;
- ② 用箭头表示;
- ③ 用双下标表示, 如 u_{ab} 表示 a 、 b 之间的电压的参考方向为由 a 指向 b 。



图 1-7 电压参考方向的三种表示法

(二) 关联参考方向

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立的规定, 但为了分析方便, 常使同一元件的电流参考方向与电压参考方向一致, 即电流从电压的正极性端流入该元件, 而从它的负极性端流出。这时, 该元件的电流参考方向与电压参考方向是一致的, 称为关联参考方向, 如图 1-8(a) 所示。如果选定电流参考方向与电压参考方向不一致, 称为非关联参考方向, 如图 1-8(b) 所示。



图 1-8 关联参考方向与非关联参考方向

思考

电流与电压的参考方向和实际方向之间的关系是什么？

(三) 电压表

电路中两点间的电压可用电压表（图 1-9）来测量。电压表按所测电压性质可分为直流电压表、交流电压表和交直两用电压表。用电压表测量电压，需将电压表并联接在被测电路中，当被测电压加在仪表的接线端上时，电流通过仪表内的线圈，其电流的大小与被测电压有关，并使仪表指针发生偏转，偏转的角度反映被测电压的大小。电压表的使用应注意以下问题。

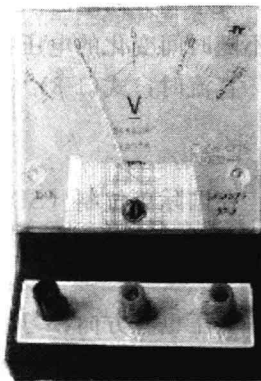


图 1-9 电压表

1. 正确选择电压表

测量直流电压时，要用直流电压表；测量交流电压时，要用交流电压表。

2. 正确选择量程

在测量之前先估算被测电压的大小，根据估计选择合适的量程（电压表的量程要大于被测电路的电压，否则会损坏电压表）。若被测电压的大小无法估计，则应用最大量程预测，然后根据预测值选择合适的量程。

3. 电压表机械零位校正

将电压表按说明书的摆放要求放置好，在不通电的情况下观察指针是否指零，若不指零，应调整机械零位校正旋钮，使指针指向零。

4. 正确连接

一定要将电压表并联接在被测电路两端。对于直流电压表，要保证“+”接线柱接高电位，“-”接线柱接低电位，若不知电位的高低可进行试触判断。对于交流电压表，使用时可以不分极性。

5. 正确读数

读数时，要保证视线与电压表刻度面垂直，不能斜视，否则读数将不准确。

6. 整理仪表

测量完毕，要将电压表从电路拆出，整理好并放回原处。

三、电位、电动势

(一) 电位

电场力将单位正电荷由 a 点移至参考点所做的功，称为 a 点的电位，用 V_a 表示。若电场力将单位正电荷 dq 从电场中的 a 点移至参考点 o 所做的功为 dW_{ao} ，则 a 点的电位为

$$V_a = \frac{dW_{ao}}{dq} \quad (1-5)$$

可见，a 点的电位就是 a 点到参考点 o 的电压， $V_a = U_{ao}$ 。参考点的电位规定为零，所以参考点也称为零电位点，即 $V_o = 0$ ，因此 $U_{ao} = V_a - V_o$ ，a 点的电位等于该点到参考点之

间的电位差。电位的单位也是伏 (V)。

电压与电位的关系为：a、b 两点间的电压等于这两点间的电位差，即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

原则上，参考点可以任意选取，但为了统一，工程上常选大地为参考点；机壳需要接地的设备，可以把机壳选作电位的参考点；有些电子设备，机壳不一定接地，但为了分析方便，可以把它们当中元件汇集的公共端或公共线选作参考点，也称为“地”，在电路图中，参考点用符号“⊥”表示。

在同一电路中，当参考点选定后，电路中各点的电位就确定了，若参考点改变，各点的电位值也随之改变，因此，在电路分析中不指定参考点而讨论电位是没有意义的，但应注意，电路中任意两点之间的电压不会因为参考点变化而变化。所以各点的电位高低是相对的，而两点间的电压值是绝对的。

思考

电压和电位的区别是什么？二者的关系如何表示？

(二) 电动势

在如图 1-10 所示电路中，正电荷在电场力作用下从高电位点 (a 极板) 经外电路向低电位点 (b 极板) 运动，为了在电路中保持连续的电流，就必须有一种非电场力将正电荷从低电位 (b 极板) 移动到高电位 (a 极板)。在电源内部，就存在着这种非电场力，称为电源力。

电源力将单位正电荷从负极经电源内部移到正极所做的功，称为电动势，用 $e(E)$ 表示。其单位与电压相同，用伏 (V) 表示。

设在电源内部电源力把单位正电荷 dq 从低电位移到高电位所做的功为 dW_{ba} ，则电源电动势为

$$e = \frac{dW_{ba}}{dq} \quad (1-7)$$

电动势也有方向，电动势的实际方向与正电荷在电源内部移动的方向一致，是从低电位点指向高电位点，即电位升的方向，所以电动势与电压的实际方向相反。

电动势同样可以选择参考方向。如果 e 和 u 的参考方向选择相反，如图 1-11(a) 所示，则 $e = u$ ；如果 e 和 u 的参考方向选择相同，如图 1-11(b) 所示，则有 $e = -u$ 。

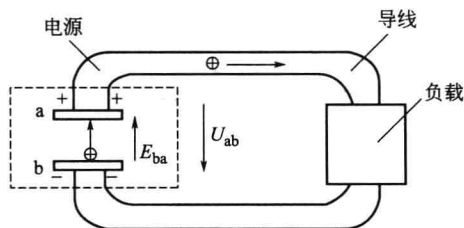


图 1-10 电动势

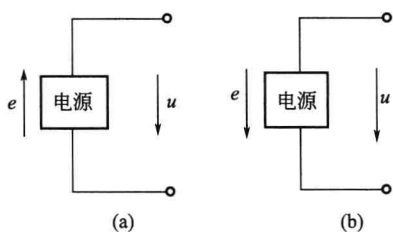


图 1-11 电动势和电压的参考方向

第三节 电阻

一、电阻元件

电流在导体中流动通常要受到阻碍，反映这种阻碍作用的物理量称为电阻。在电路图