

21 世纪高职高专通用教材

DIANGONG JISHU

电工技术

(任务驱动模式)

王卫兵 主编

苏州大学出版社





责任编辑 周建兰 封面设计 刘俊

ISBN 978-7-81137-279-3



定价: 21.00元

21 世纪高职高专通用教材

电 工 技 术

(任务驱动模式)

主编 王卫兵

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工技术:任务驱动模式/王卫兵主编. —苏州:苏州
大学出版社,2009.8
21世纪高职高专通用教材
ISBN 978-7-81137-279-3

I. 电… II. 王… III. 电工技术-高等学校:技术学校-
教材 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 130055 号

内容提要

本书是依据教育部最新制定的《高职高专教育电工技术基础课程教学基本要求》,同时结合“工学结合,校企合作”培养模式编写而成的。全书分为九个单元,共十九个课题,各课题都设计了“项目任务书”,并由此来驱动整个课题内容的学习。主要内容包括电路的基本概念和欧姆定律、直流电路分析、电容与电感元件、单相交流电路、三相交流电路、磁与电磁、变压器、三相异步电动机原理与控制、安全用电。

本书可作为高等职业专科学校机电类专业或其他非电类专业的电工技术教材,也可作为职业院校、中等专业学校电工技术教材,还可以作为机电行业的工程技术人员的参考书或培训教材。

电工技术

王卫兵 主编

责任编辑 周建兰

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市干将东路200号 邮编:215021)

江苏省新华书店经销

宜兴文化印刷厂印装

(地址:宜兴市南漕镇 邮编:214217)

开本 787×1092 1/16 印张 12.25 字数 308 千

2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

ISBN 978-7-81137-279-3 定价:21.00 元

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换
苏州大学出版社营销部 电话:0512-67258835
苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

《电工技术》编委会名单

主 编 王卫兵

副主编 蔡可健 王小强

编 委 王卫兵 蔡可健 王小强

张 政 张 颖 李 萌

前 言

当前,我国的职业教育掀起了新一轮课程改革浪潮,新理论、新观点层出不穷,但与之相应的配套教材非常匮乏。为了更好地满足职业教育改革的需要,我们组织编写了以任务驱动课程模式为依据的新教材。本教材主要特点有:

(1) 新颖性:采用“任务驱动课程模式”的全新理念。教材打破了以往按章节编排的思路,用项目任务来构建完整的教学组织形式,避开了“烫剩饭”式的低层次徘徊,有效地去激发学生的学习兴趣。

(2) 科学性:体现了“分层学习”的原则。教材编写从企业工作实际要求出发,正文理论知识以实用、够用为主,注重学生技能培养,并辅以“小知识”、“生活索引”、“小试身手”等插入知识点,来加深对正文的理解。

(3) 实用性:突出了实践教学环节。教材以实为本,联系实际,体现实用,避开高深理论推导,注重电路外部特性和连线技能,充分突出高职教育的“实用性”特点。

本书由王卫兵任主编,蔡可健、王小强任副主编,张政、张颖、李萌等参加了编写。全书共19个课题,各课题均有学习指南、任务书和优化训练,有利于学生巩固概念,掌握方法。

编写本教材时,我们查阅和参考了众多文献资料,从中得到了许多启发,在此向参考文献的作者致以诚挚的谢意。统稿过程中,有关学院的领导和教研室同事给予了很多支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,同时,任务驱动课程模式属于起步阶段,书中难免存在不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2009年5月

目 录

第一单元 电路的基本概念和欧姆定律	
课题一 电路的组成及基本物理量分析	(1)
课题二 欧姆定律的应用	(16)
第二单元 直流电路	
课题三 简单直流电路分析	(23)
课题四 复杂直流电路分析	(40)
第三单元 电容与电感元件	
课题五 电容元件及其储能分析	(60)
课题六 电感元件及其储能分析	(70)
第四单元 单相交流电路	
课题七 正弦交流电的基本物理量	(78)
课题八 正弦交流电的表示法及运算	(83)
课题九 单一参数正弦交流电路	(89)
课题十 电阻、电感和电容串、并联电路	(99)
第五单元 三相正弦交流电路	
课题十一 三相交流电源及负载星形联接分析	(110)
课题十二 三相对称负载三角形联接分析	(119)
第六单元 磁与电磁	
课题十三 磁现象和磁场	(125)
课题十四 电磁感应定律和磁路欧姆定则	(134)
第七单元 变压器	
课题十五 变压器的基本结构和原理	(142)
课题十六 三相变压器和特殊变压器	(151)
第八单元 三相异步电动机	
课题十七 三相异步电动机的结构和工作原理	(157)
课题十八 三相异步电动机的电力拖动	(165)
第九单元 安全用电	
课题十九 安全用电	(176)
参考答案	(184)
参考文献	(187)

第一单元 电路的基本概念和欧姆定律

课题一

电路的组成及基本物理量分析

一、学习指南

本课题从安装和测量最基本的直流电路入手,引出电路的概念、模型、状态及电路的主要物理量,同时引进了电流、电压、电位及其参考方向.通过安装接线、测量和思考分析几种形式,加强读者的动手技能和分析能力.

本课题中的基本概念和基本物理量是电工技术和电子技术的基础,对今后深入学习专业知识有着重要的意义.

二、学习目标

- 掌握电路的组成,学会判断电路的通路、短路和断路三种状态,理解电气设备额定值的意义.
- 了解电路图的概念,掌握常用的电工图形符号.
- 理解电流、电压、电位、电动势等物理量的概念,并熟悉它们的单位和字母符号.
- 掌握电阻定律的含义及应用,了解其计算公式.
- 理解电功和电功率的概念,并掌握其计算公式.
- 初步掌握用万用表测量电流、电压、电位等物理量的技能.
- 初步掌握安装和分析电路的基本方法.
- 初步建立用生活中的经验和方法解决实际问题的意识.

三、学习重点

电流、电压、电位、电动势及其参考方向和万用表的使用.

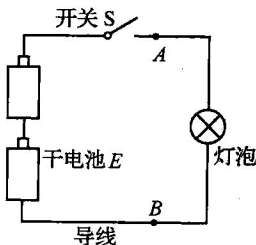
四、学习难点

电压和电位的区别和联系.

五、学习时数

6 学时.

六、任务书

项目	简单直流电路的安装和测量			时间	2 学时
工具材料	1.5V 电池两节,3V、0.15A 小灯泡一只,开关一只,导线若干,去除绝缘层的漆包线一根,万用表一只				
操作要求	1. 按图 1-1 所示电路,画出电路图并装接该照明电路。 2. 在下列情况下,用万用表测量电路中的电流和电源端电压、负载电压: ①开关 S 打开; ②开关 S 闭合; ③将小灯泡短路(用去除绝缘层的漆包线连接 A、B 两点)。				
测量记录	电路状态	电流 I/A	端电压 U/V	负载电压 U_L/V	
	开关 S 打开				
	开关 S 闭合				
	连接 A、B				
计算与思考	1. 归纳电路在三种状态下的特点。 2. 连接 A、B 后,为何不允许测电流 I 。 3. 在通路条件下,根据灯泡的额定功率 P ,计算电路中的电流 I ,并与实测值进行比较。 4. 请查出你使用的仪表的准确度等级,并估算你测量某一物理量时的绝对误差和相对误差。				
体会					
注意事项	1. 本项目任务是学习本门课程的第一次实验,因此要认真对待,以掌握良好的学习和操作方法,特别要明白:“知识链接”中的知识学习是为了有效地完成项目任务,项目任务的完成是为了更好地掌握知识和提高技能。 2. 归纳电路的特点,从测量数据中弄清电流的大小及电动势、端电压和负载电压的大小及关系。 3. 要掌握短路的特点,不妨在连接 A、B 后用手触摸一下连接导线和电池。 4. 建议 2~3 人一组进行实验。				

七、知识链接

1. 电路

电路是电流的流通过径,它是由电源、导线、开关和负载按一定方式连接而成的闭合通路.复杂的电路呈网状,又称网络.电路和网络这两个术语是通用的.

2. 电路的组成及作用

电路主要由电源、负载、导线和开关四部分组成.电路的组成方式不同,功能也就不同.

(1) 电源

电源是将其他形式的能量转换为电能,并为电路提供电能的设备.

常见电源及其能量转换:

- ① 干电池:化学能→电能.
- ② 发电机:机械能→电能.
- ③ 光电池:光能→电能.
- ④ 核反应堆:内能→电能.

温馨提示

废电池的危害

电池中的有害成分主要有汞、镉、镍、铅等重金属,此外还有酸、碱等电解质溶液.废电池进入环境后是危害我们生存的一大杀手!一粒小小的纽扣电池可污染 600m^3 水,相当于一个人一生的饮水量;一节一号电池烂在地里,能使 1m^2 的土地失去利用价值,并造成永久性公害.

(2) 负载

负载是将电能转换为其他形式能量的装置.

常见负载及其能量转换:

- ① 日光灯:电能→光能.
- ② 电风扇:电能→机械能.
- ③ 电饭锅:电能→热能.
- ④ 扬声器:电能→声能.

其实很多负载在消耗电能时,都同时存在几种能量的转换.

(3) 导线

导线主要是用来传导电流的,当然,也有用来发热、光,产生磁或化学效应的.

从导线材料的物理状态来分,导线可分为:

- ① 固体导电材料:它是最常用的导电材料,如铜、铝等.
- ② 液体导电材料:它主要指含有熔融的金属和酸、碱、盐的溶液.
- ③ 气体导电材料:气体中存在离子或自由电子时,也可作为导电材料.

从材料的性能和用途来分,常用的固体导电材料又可分为高导电材料和特殊用途的导电材料两大类.高导电材料主要是指以纯金属为主的一些材料,如铜、铝及其合金等.特殊用途

的导电材料则包括高电阻材料、电热材料、电碳制品等。

小试身手

水果电池

找一锌片、一铜片和含酸比较多的水果,如柠檬或西红柿(越酸越好,汁越多越好)等,将两个金属片平行插入水果中,用导线引出。用电流计或 1.5V 小灯泡检验,会有什么现象发生?

(4) 开关

根据其结构特点、极数、位数、用途等,常见开关可以分为以下几种:

① 按结构特点分类,可分为按钮开关、拨动开关、薄膜开关、水银开关、杠杆式开关、微动开关、行程开关等。

② 按极数、位数分类,可分为单极单位开关、双极双位开关、单极多位开关、多极单位开关和多极多位开关等。

③ 按用途分类,可分为电源开关、录放开关、波段开关、预选开关、限位开关、脚踏开关、转换开关、控制开关等。

另外,还有一些特殊开关,如遥控开关、声光控开关、遥感开关等。

3. 电路图

图 1-1 是一个简单的实际电路,它由干电池、开关、小灯泡和连接导线等组成。当开关闭合时,电路中有电流通过,小灯泡发光,干电池向电路提供电能。电路图就是用统一规定的图形符号画出的电路模型图,如图 1-2 所示。几种常见的标准图形符号如表 1-1 所示。

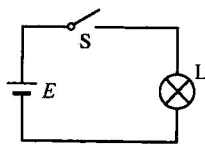


图 1-2 电路图

表 1-1 常见的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	开关		电阻		接机壳
	电池		电位器		接地
	发电机		电容器		端子
	线圈		电流表		连接导线
	话筒		电压表		不连接导线
	扬声器		二极管		熔断器
	电压源		电流源		灯泡
	直流		交流		交直流

4. 电路的状态

电路有三种工作状态,分别为有载工作状态、开路工作状态(空载)和短路工作状态。

(1) 有载工作状态

在图 1-2 中,当开关 S 闭合时,接通电源和负载(灯泡),电路各部分连接成闭合回路,电源向负载提供电能,负载消耗电能,这种状态就是电路的有载工作状态。负载电阻越小,电流越大。电流越大,电源两端电压越小。

(2) 开路工作状态(空载)

开关 S 断开,电源没有向负载供电,此时称电路处于开路(空载)状态。此时,外电路对电源来说,其负载电阻为 ∞ ,因此电路中的电流为零,电源两端电压(称开路电压)等于电源电动势 E ,电源不输出功率。

(3) 短路工作状态

当电源的两端或负载两端直接被一条导线连接或由于某种原因被连在一起时,则电路处于短路状态。此时,外电路对电源来说,电阻为零,在电流回路中仅有阻值很小的电源内阻 R_0 ,所以在电源电动势作用下产生很大的电流,称短路电流。

有时根据工作需要将电路的某一部分或某一元件的两端用导线连接起来,比如,为了测量电路电流而串入电流表,当不需要测量电流时,为了保护电流表,可用闭合开关的方法,将电流表“短路”,如图 1-3 所示。

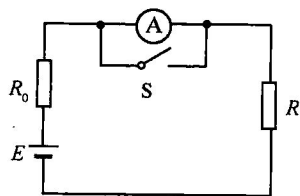


图 1-3 电流表短接

通常为了把这种人为安排的有用短路与事故短路区分开来,常将有用短路称为“短接”,如用万用表欧姆调零的时候,将红、黑两表笔短接。

5. 电路的基本物理量

(1) 电流及其参考方向

① 带电粒子(电子、离子等)的定向运动称为电流。电流的量值(大小)等于单位时间内穿过导体横截面的电荷量,用符号 i 表示,即

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中, Δq 为极短时间 Δt 内通过导体横截面的电荷量。

② 电流的方向:电流的实际方向为正电荷的运动方向(或负电荷运动反方向)。当电流的量值和方向都不随时间变化时, $\frac{dq}{dt}$ 为定值,这种电流称为直流电流,简称直流(DC)。直流电流常用英文大写字母 I 表示,公式(1-1)可写成

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

式中, I 为通过导体的电流,单位为安培(A); Q 为通过导体横截面的电荷量,单位为库(C); t 为通电时间,单位为秒(s)。

量值和方向随着时间做周期性变化的电流称为交流电流,常用英文小写字母 i 表示。

【例 1-1】某导体在 0.5s 内均匀通过的电荷量为 4C,求导体中有多大电流通过?

$$\text{解 } I = \frac{Q}{t} = \frac{4C}{0.5s} = 8A$$

小知识

单位换算小技巧

在国际单位前所加的 M(兆)、k(千)、m(毫)、 μ (微)、n(纳)、p(皮)分别表示 10^6 、 10^3 、 10^{-3} 、 10^{-6} 、 10^{-9} 、 10^{-12} 数量级。例如, $1\text{km} = 10^3\text{m}$, $1\text{kg} = 10^3\text{g}$, $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$, $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ 。

在分析复杂电路时,有时电路中电流的实际方向很难预先判断出来,有时电流的实际方向还会不断改变。因此,很难在电路中标明电流的实际方向。为此,在分析电路时,常先假设某一方向为电流的正方向,这一方向就称为电流的参考方向,并用箭头标注在电路图上,如图 1-4 所示。

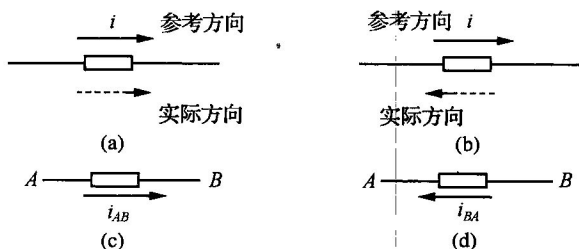


图 1-4 电流的参考方向

若电流的实际方向与参考方向一致,则电流为正值,如图 1-4(a) 所示。

若电流的实际方向与参考方向相反,则电流为负值,如图 1-4(b) 所示。

电流的参考方向除用箭头在电路上表示外,还可以用双下标表示,如对某一电流,用 i_{AB} 表示其参考方向为由 A 指向 B [图 1-4(c)],用 i_{BA} 表示其参考方向为由 B 指向 A [图 1-4(d)]。显然,两者相差一个负号,即

$$i_{AB} = -i_{BA}$$

③ 电流的测量:电流的大小可用电流表(安培表)直接测量,也可用电流天平、电桥、电位差计间接测量。

用万用表测量电流的步骤如下:

a. 估算电流大小,选择量程(应用欧姆定律,在课题二中学习),测量交流电流使用交流挡,测量直流电流使用直流挡。

b. 电路相应部分断开后,将万用表串接到被测电路中,若测直流电流,红表笔接在和电源正极相连的端点,黑表笔接在和电源负极相连的端点。

c. 读取测量出的电流值。

小知识

测量误差

由于仪表的结构、工艺等自身所固有的不完善,所以总会产生一定误差(基本误差)。同时,由于温度、频率、波形的变化超出其规定条件,工作位置不当或存在外电场和外磁场的影响等,也会造成一定的误差(附加误差)。误差的表达方法主要有:

① 绝对误差 Δ = 仪表指示值 A_x - 测量实际值 A_0 。

在测量同一对象时,可以用绝对误差来比较不同仪表的准确度, $|\Delta|$ 越小的仪表越准确。

仪表的准确度 $\pm k\% = \frac{\text{最大绝对误差 } \Delta_m}{\text{仪表量程 } A_m} \times 100\%$.

② 相对误差 $\gamma = \frac{\text{绝对误差 } \Delta}{\text{测量实际值 } A_0}$.

相对误差不仅常用来表示测量结果的准确度,而且便于在测量不同大小的被测对象时用来比较测量结果的准确度.

(2) 电压及其参考方向

① 电路中 A 、 B 两点间的电压就是单位正电荷在电场力的作用下由 A 点移动到 B 点所减少的电能,即

$$u_{AB} = \lim_{\Delta q \rightarrow 0} \frac{\Delta W_{AB}}{\Delta q} = \frac{dW_{AB}}{dq} \quad (1-3)$$

式中, Δq 为由 A 点移动到 B 点的电荷量, ΔW_{AB} 为移动过程中电荷所减少的电能.

在国际单位制中,电压的 SI 单位是伏[特],符号为 V. 常用电压的十进制倍数和分数单位有千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)等.

② 电压的实际方向是使正电荷电能减少的方向,当然也是电场力对正电荷做功的方向.

量值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. 量值和方向随着时间做周期性变化的交流电压用小写字母 u 表示.

③ 电压的参考方向.

与电流类似,在电路分析中也要规定电压的参考方向,通常有三种方式表示:

a. 采用正(+)、负(-)极性表示,称为参考极性,如图 1-5(a)所示. 这时正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向.

b. 采用实线箭头表示,如图 1-5(b)所示.

c. 采用双下标表示,如 u_{AB} 表示电压的参考方向由 A 指向 B .

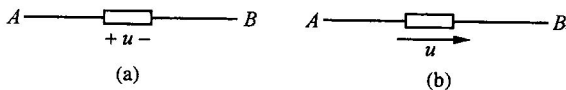


图 1-5 电压的参考方向

④ 电压的测量: 电路中两点间的电压可用电压表来测量.

测量电压步骤如下:

a. 估算电压大小,选择量程,测量交流电压使用交流挡,测量直流电压使用直流挡.

b. 若是直流电压表,还应注意表壳接线柱上的“+”、“-”记号应与被测两点的电位相一致,即“+”端接高电位(万用表的红表笔),“-”端接低电位(万用表的黑表笔).

c. 将万用表调零后并联在被测电路的两端,如图 1-6 所示.

d. 读取测量出的电压值.

⑤ 关联与非关联参考方向.

分析电路时,首先应该规定各电流、电压的参考方向,然后根据所规定参考方向列写电路方程. 不论电流、电压是直流还是交流,它们均是参考方向写出的. 参考方向可以任意规定,不会影响计算结果,因为参考方向相反时,解出的电流、电压值也要改变正、负号,最后得到的实际结果仍然相同.

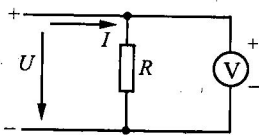


图 1-6 直流电压的测量

任一电路的电流参考方向和电压参考方向可以分别独立地规定. 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的参考方向是一致的, 称为关联参考方向, 如图 1-7 所示.

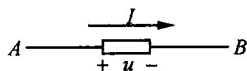


图 1-7 电流和电压的关联参考方向

(3) 电位

① 电位就是单位正电荷在电场中某点所具有的位能, 用符号 V 表示, 单位为伏[特](V). 电位只有大小, 没有方向, 因此是一个标量. 它是相对参考点而言的, 这个参考点称为零电位点.

如果参考点为 O 点, 则 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO}$$

如果已知 A 、 B 两点的电位各为 V_A 、 V_B , 则此两点间的电压为

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO} = U_{AO} + U_{OB} = V_A - V_B$$

参考点是可以任意选定的, 一经选定, 电路中其他各点的电位也就确定了, 参考点选择不同, 电路中同一点的电位会随之而变, 但任意两点的电位差是不变的.

在一个电路系统中只能选择一个参考点, 至于选择哪点为参考点, 要根据分析问题的方便而定. 在电路中常选择一条特定公共线作为参考点, 这条公共线常是很多元件的汇集处且与机壳相联, 因此, 在电路中参考点用接机壳的符号“ $\perp$ ”表示.

想一想

电位高低的判断

如果不是电场力而是外力使正电荷从 a 点移到 b 点, 即外力做正功, 电场力做负功, 这时, V_a 、 V_b 哪个高? U_{ab} 值为正还是为负?

如图 1-8 所示, 负电荷将在电场力作用下, 由 c 点移至 d 点时, V_c 、 V_d 哪个高? U_{cd} 值为正还是为负?

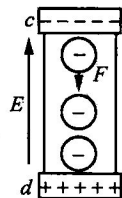


图 1-8 负电荷的移动

② 电压和电位的区别.

a. 电位随着参考点的改变而改变, 它是个相对值; 而电压与参考点的选择无关, 它是个绝对值.

b. 电位只有大小, 没有方向; 而电压既有大小, 又有方向.

【例 1-2】如图 1-9 所示, 求 C 、 A 两点间的电压 U_{CA} .

解 在图 1-9(a) 中可看出, $V_A = 0$, $V_B = 3V$, $V_C = 12V$, 则

$$U_{CA} = V_C - V_A = (12 - 0)V = 12V.$$

在图 1-9(b) 中可看出, $V_A = -3V$, $V_B = 0$, $V_C = 9V$, 则

$$U_{CA} = V_C - V_A = 9V - (-3V) = 12V.$$

由此可见, 两点间电压不会随电位的参考点的变化而变化.

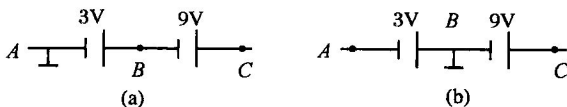


图 1-9 例 1-2 图

(4) 电动势

① 电动势是表征电源中外力(又称非静电力)做功的能力,它的大小等于外力克服电场力把单位正电荷从负极搬运到正极所做的功,它的实际方向规定为从电源的负极指向正极,也就是电位升高的方向. 电动势和电压的表示方法如图 1-10 所示.

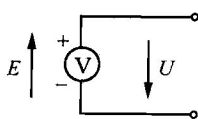


图 1-10 电动势和电压的表示方法

② 电动势的大小: 可视为开路时电源正负极之间的电位差.

③ 电动势的方向: 由电源负极指向正极.

④ 电动势的单位: 单位为伏[特], 用符号 V 表示.

生活索引

供水系统与电路

如图 1-11 所示的供水系统, 水自身总是由高处流向低处, 要维持不断的水流, 就要用水泵把水从低处抽到高处, 保证其水位差, 这样就形成了水的循环流动.

类比解析: 如图 1-12 所示, 正电荷总是从高电位向低电位移动, 要得到持续电流, 就要由电源的电动势把正电荷从电源的负电极拉到正电极, 以此形成闭合电路.

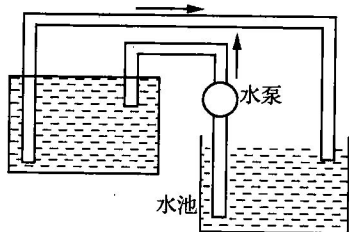


图 1-11 供水系统

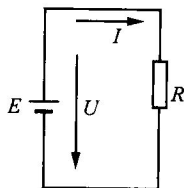


图 1-12 电路

(5) 电功率与电能

① 电功率.

a. 电功率定义. 电功率(简称功率)是表征电路元件中能量变换的速度, 其值等于单位时间(秒)内元件所发出或接收的电能, 用 P 表示, 即

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dWdq}{dq dt} = ui \quad (1-4)$$

在直流电路中, 功率可用下式计算:

$$P = UI \quad (1-5)$$

功率的单位用瓦(W), 常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW).

b. 电功率的计算. 众所周知, 电流通过电炉时将电能转换成热能. 如果电流通过一个电路元件时, 它将电能转换为其他形式的能量, 表明这个元件是吸收电能的. 在这种情况下, 功率用正值表示, 习惯上称该元件是吸收功率的. 当电池向小灯泡供电时, 电池内部的化学变化形成了电动势, 它将化学能转换成电能. 显然, 电流通过电池时, 电池是产生电能的, 在电路元件中, 如果有其他形式的能量转换为电能, 即电路元件可以向其外部提供电能, 这种情况下的功率用负值来表示, 并称该元件是发出功率的.

当 U 、 I 是关联参考方向, 可按式(1-5)计算元件的功率.

当 U 、 I 是非关联参考方向, 应按式(1-6)计算元件的功率:

$$P = -UI \quad (1-6)$$