



高职高专“十三五”规划教材

电工技术

• Diangong Jishu •

主 编 李锁牢



电子科技大学出版社



高职高专“十三五”规划教材

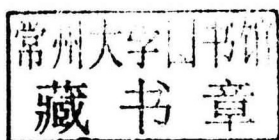
电工技术

• Diangong Jishu •

主 编 李锁牢

副主编 胡艳华 刘晓英 马晓燕

编 委 张 航



电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电工技术/李锁牢主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-5647-3686-6

I. ①电… II. ①李… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 125501 号

电 工 技 术

主 编 李锁牢

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 郭蜀燕 杨仪玮

责任编辑: 刘 愚

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: usetcp@uestcp.com.cn

发 行: 全国新华书店经销

印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司

成品尺寸: 185mm×260mm 印张 13 字数 300 千字

版 次: 2016 年 7 月第一版

印 次: 2016 年 7 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-3686-6

定 价: 32.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆本社发行部电话: (028)83202463 13911403936; 本社邮购电话: (028)83201495。

◆本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前言

本书参照教育部颁布的有关电工技术的教学文件、职业资格标准及行业职业技能鉴定标准,贯彻“以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位的职业教育办学指导思想,在不断总结高等职业教育教学改革经验的基础上,参考目前流行的国内外职业教育教材。结合编者多年的教学实践,充分吸取各校教学改革、教材建设等方面的经验编写而成。本书切合高等职业教育特点,理论知识以“必需”和“够用”为前提,注重基础,强化技能和实践环节,内容符合教育教学规律,力图做到各部分知识内容比例协调,难易适中,简练生动,图文并茂,体现电工方面的新技术、新材料和新标准。结构符合高等职业教育要求,选材上融入高等职业教育教学理念,体现以就业为导向,适应社会发展和技术进步的需要。

本书共分五章,分别为直流电路及应用、正弦交流电路及应用、磁路与变压器、异步电动机的认识与使用、异步电动机控制电路的分析与安装等。每章包括学习目标、主体内容、技能训练、知识窗、本章小结和习题 6 部分。教材后面附有习题答案,可供教师和学生参考。

本教材主要特点如下。

1. 为满足高职技术技能人才的培养目标,本书既体现基础性,又突出技能培养。
2. 采用理实一体的编写理念,理论知识和实践技能有机融合,做到理论主线清晰,理论应用于实践,实践强化理论。
3. 力求深入浅出,通俗易懂,教材简明清晰,生动直观,图文并茂,便于教师教和学生学。
4. 突出新技术、新标准和新工艺。

本书由咸阳职业技术学院李锁牢担任主编,负责全书大纲的拟定以及统稿工作。其中,第一章和第四章以及附录等由咸阳职业技术学院李锁牢编写,第二章由河南机电职业学院胡艳华编写,第三章由咸阳职业技术学院刘晓英编写,第五章由阿拉善职业技术学院马晓燕编写。

本书适合作为高等职业院校机电类、机械制造类、自动化类专业基础课教材,也可作为相关专业的成人教育及电工岗前培训用书。

本教材在编写理念、结构、内容、体例等方面进行了大胆探索。但由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在不足和欠妥之处,恳请各位同行和广大读者批评指正。另外,本书参考了多部优秀教材和文献资料,在此深表感谢!

联系电子邮箱:bianbaolilisuolao@163.com

编者

目 录

第一章 直流电路及应用 1

1.1 电路基本概念	(1)
1.2 简单直流电路分析	(12)
1.3 电压源、电流源及其等效变换	(18)
1.4 基尔霍夫定律与支路电流法	(21)
1.5 叠加定理	(25)
1.6 戴维南定理	(27)
技能训练	(29)
训练1 万用表的使用	(29)
训练2 基尔霍夫定律验证	(33)
知识窗	(35)
常用电路元件——电阻、电感和电容简介	(35)
第一章小结	(38)
第一章习题	(40)

第二章 正弦交流电路及应用 43

2.1 正弦交流电的基本概念	(43)
2.3 单一参数正弦交流电路	(50)
2.4 RLC 串联电路	(56)
2.5 功率因数的提高	(61)
2.6 三相交流电源	(63)
2.7 三相负载的联结	(67)
2.8 三相电路的功率	(74)
2.9 安全用电技术	(76)
技能训练	(80)
训练3 日光灯电路的安装与测试	(80)
训练4 简单照明电路的装接	(83)

训练 5 三相负载的联结方式与测量	(85)
知识窗	(88)
一、电工基本操作	(88)
二、常用电工工具及使用	(92)
三、常用电工仪表及使用	(93)
第二章小结	(98)
第二章习题	(101)

第三章 磁路与变压器 105

3.1 磁路及基本物理量	(105)
3.2 磁路定律及铁芯线圈	(107)
3.3 变压器的作用、分类与构造	(109)
3.4 变压器工作原理	(113)
知识窗	(116)
常用变压器介绍	(116)
第三章小结	(120)
第三章习题	(121)

第四章 异步电动机的认识与使用 122

4.1 三相交流异步电动机的认识	(122)
4.2 三相交流异步电动机的使用	(129)
4.3 单相异步电动机	(133)
技能训练	(135)
训练 6 三相异步电动机的拆卸与组装	(135)
知识窗	(138)
异步电动机的运行与维护	(138)
第四章小结	(141)
第四章习题	(142)

第五章 异步电动机控制电路的分析与安装 144

5.1 常用低压电器	(144)
5.2 三相异步电动机基本控制电路的分析	(164)
技能训练	(174)
训练 7 三相异步电动机单向控制电路安装	(174)
训练 8 三相异步电动机正反转控制电路安装	(176)
知识窗	(178)

一、电气原理图的绘制规则和识图方法	(178)
二、可编程控制器(PLC)及应用	(184)
第五章小结	(187)
第五章习题	(189)

附录 1 电工常用物理量文字符号说明	191
---------------------------------	------------

附录 2 常用低压电器图形符号和文字符号	193
-----------------------------------	------------

习题参考答案	195
---------------------	------------

参考文献	200
-------------------	------------

第一章

直流电路及应用

方向不随时间变化的电流称为直流电，在直流电作用下的电路称为直流电路。直流电路在电器设备中被广泛应用，其安装、测试与分析是电工职业岗位的一项重要技能。本章主要介绍电路的基本概念、基本元件、基本定律及直流电路的分析方法，为后面分析各种电工电子电路奠定必要的基础。



学习目标

知识目标

1. 了解电路的基本组成及各部分的作用，建立简单电路模型；
2. 理解电路的基本物理量意义，掌握其计算方法；
3. 了解电阻、电容、电感等电路元器件的外观、分类、特性；
4. 掌握欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加定律、戴维南定律等电路基本定律。

技能目标

1. 建立简单实际电路的电路模型，根据电路模型连接简单实际电路；
2. 会正确使用万用表，能对电路元件进行分类和简单测量；
3. 会分析复杂直流电路，具有一定的实验操作技能；
4. 会查阅有关技术资料 and 工具书。

1.1 电路基本概念

1.1.1 电路与电路模型

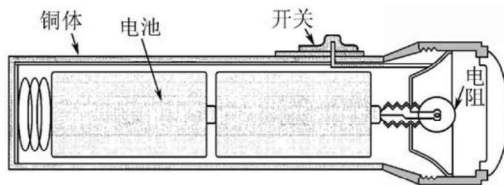


观察与思考

拆开手电筒，看一看它的内部结构。如图 1-1 所示是手电筒外形及内部结构剖面图。仔细观察、认真思考，你能说出手电筒电路由哪几部分组成以及各部分的作用吗？



(a) 手电筒外观



(b) 手电筒结构

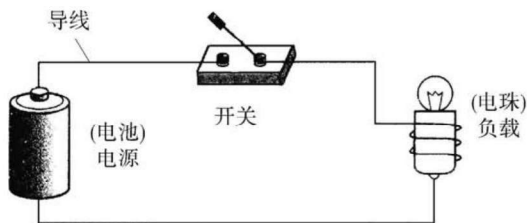
图 1-1 手电筒外观及结构

1. 电路的概念及功能

电路就是各种电路元件和设备按一定方式连接起来的整体，可以实现某种功能，是电流通过的路径。

想一想

图 1-2 (a) 所示的电路，按下开关时，电珠就会发光。电珠为何会发光？是因为有电流流过电珠，电流是通过哪些环节由电池流到电珠的？每个环节的作用是什么？电路由哪些环节构成？另外日常生活中的实际电路与此电路有什么共同之处？



(a) 电路实物图



(b) 电路图

图 1-2 电路的实物图与电路图

2. 电路的组成

实际电路一般由电源、负载和中间环节三部分组成。

(1) 电源（供能元件）：把其他形式的能转化为电能的装置（产生电能的装置）。如发电机、干电池、蓄电池等。

(2) 负载（耗能元件）：把电能转化其他形式能量的装置。如：电动机、灯泡、电风扇、电阻、电炉等。

(3) 中间环节：传递信号，传输、控制、分配电能的装置。如连接导线、控制和保护电路的元件（开关、按钮、熔断器、接触器、各种继电器等）。

3. 电路的作用

电路按其功能可分为两大类。第一类是能量的产生、传输、分配电路，其典型例子是电力系统的输电线路。第二类是信息的传递与处理电路。在这类电路中，传递的是各种信息，而不特别强调传输系统中的能量大小，信息的传递与处理电路的输出信号又称响应，它的能量只要能够满足负载设备的正常工作即可。这一类电路的中间环节由电子设备组成，较为复杂，主要起信号的处理、放大、传输和控制等作用。



应用案例

请指出图 1-3 和图 1-4 所示电路的组成和作用。

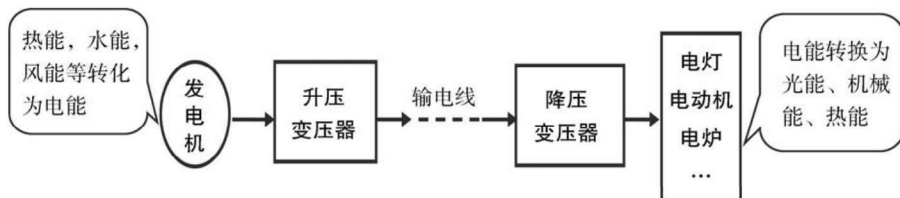


图 1-3 电力系统输电电路示意图

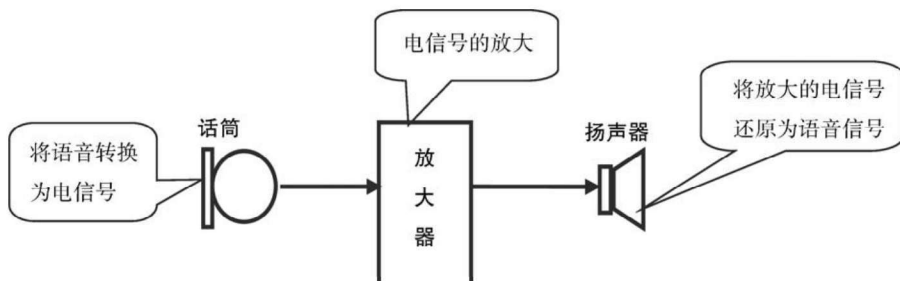


图 1-4 电子技术应用电路

4. 电路模型

图 1-1 所示电路结构在分析器件的接法和原理时非常有用，但要用它对电路进行定量分析和计算，则非常困难。因此通常用一些简单但却能够表征电路主要电磁性能的理想元件来代替实际部件。这样一个实际电路就可以由多个理想元件的组合来代替，这样的电路称为电路模型。

实际电气设备和器件的种类繁多，但理想电路元件只有有限的几种，分别是理想电源、理想电阻、理想电感、理想电容。因此建立电路模型可以使电路的分析大大简化。同时值得注意的是电路模型反映了电路的主要性能，而忽略了它的次要性能，因而电路模型只是实际电路的近似，二者不能等同。

将实际电路中各个部件用其模型符号来表示，这样画出的图称作实际电路的电路模型图，简称电路原理图。如图 1-5 所示就是图 1-1 实际电路对应的电路原理图。各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示，根据国标规定部分常用的电气元件符号如表 1-1 所示。

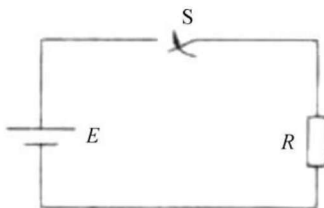
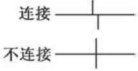
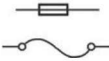


图 1-5 手电筒电路原理图

表 1-1 常用电气原件符号

名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号
发电机		D	导线			电容器		C
电池		E	接地 接机壳		GND	可变电容		C
开关		S	保险丝		Fu	空芯电感		L
电灯		EL	电阻		R	铁芯线圈		L
电铃			可变电阻		R	电流表		
蜂鸣器			电位器		Rp	电压表		

1.1.2 电路的基本物理量

在电路问题中需要分析和研究的物理量很多,但主要是电流、电压和电功率等,其中电流、电压是电路中的基本物理量。关于单位制,我国于1984年2月规定使用统一国际单位制(简称SI)。在国际单位制中,电磁学采用四个基本单位,即长度单位米(m),质量单位千克(kg),时间单位秒(s),电流单位安培(A)。

除了SI单位之外,根据实际情况,需要使用较大单位和较小单位时,在SI单位上加词头,例如大的长度单位用千米(km)表示,小的长度单位用毫米(mm)表示等等。常用的词头如表1-2。以后讨论电路物理量的单位时,均按SI单位制执行,若需要采用较小单位,可在SI单位前加上词头。

表 1-2 SI 常用词头

词头	代号		因数	词头	代号		因数
	中文	英文			中文	英文	
兆 (mega)	兆	M	10^6	厘 (centi)	厘	c	10^{-2}
千 (kilo)	千	k	10^3	毫 (milli)	毫	m	10^{-3}
百 (hecto)	百	h	10^2	微 (micro)	微	μ	10^{-6}
十 (deca)	十	Da	10^1	皮 (pico)	皮	p	10^{-12}

1. 电流

电荷或带电质点有规则地定向运动形成电流。我们知道,在金属导体中有大量的

带负电荷的自由电子,在常态下,这些自由电子在金属内部做无规则的热运动,不能形成电流。若给导体两端加上电源,即施加电场力,如图 1-6 所示,在电场力的作用下自由电子逆电场力方向运动而形成电流。

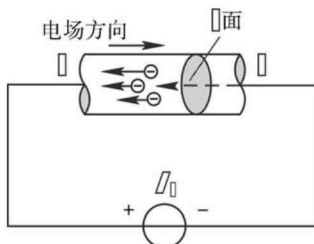


图 1-6 电流形成示意图

表示电流强弱的物理量称为电流强度,用字母 i 或 $i(t)$ 表示,单位是安培,简称安(A)。在电路分析和工程实际中常把电流强度简称为电流。

电流强度在数值上等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。设在 dt 时间内通过导体横截面的电荷为 dq ,则通过该截面的电流为

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

在一般情况下电流是随时间而变的,称为交流电流。如果电流不随时间而变,即 $dq/dt = \text{常量}$,则这种电流就称为直流电流,用大写字母 I 表示,它所通过的路径就是直流电路。在直流电路中,式(1-1)可写为

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

式中, Q 是在时间 t 内通过导体截面的电荷量。

电流的单位是 A(安培)。除安培外,常用的电流单位还有 kA(千安)、mA(毫安)和 μA (微安)。 $1\text{ kA} = 1000\text{ A}$, $1\text{ A} = 1000\text{ mA}$, $1\text{ mA} = 1000\text{ }\mu\text{A}$ 。

对于简单电路,电流实际方向根据电源极性很容易判断,可以直接标出,但在电路分析中,实际电路往往比较复杂,某一段电路中电流实际流动方向在分析计算前很难判断出来,因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因,需要引入电流“参考方向”的概念。

在计算前先任意选定某一个方向作为电流的参考方向,根据参考方向进行电路的相关计算,如计算结果电流为正值($I > 0$),则电流的参考方向与它的实际方向一致;如电流为负值($I < 0$),则电流的参考方向与它的实际方向相反,如图 1-7 所示。

因此,在指定的电流参考方向下,电流值的正和负,就可以反映出电流的实际方向。

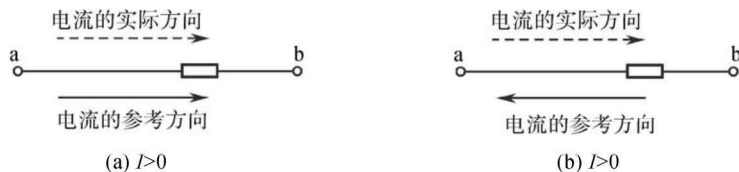


图 1-7 电流方向示意图

电流的参考方向是任意指定的，在电路中一般用箭头表示。也有用双下标表示的，如 I_{ab} ，其参考方向是由 a 指向 b。

大小和方向均不随时间变化的电流称为恒定电流，简称直流电流，如图 1-8 (a) 所示。大小随时间变化但方向不随时间变化的电流称为脉动直流电流，如图 1-8 (b) 所示。大小和方向都随时间变化，这样的电流称为交流电流，如图 1-8 (c) 所示。

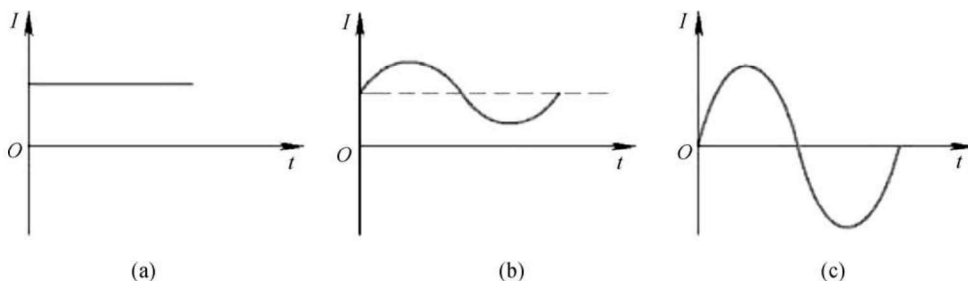


图 1-8 电流大小和方向随时间变化的关系

2. 电动势



对照类比

如图 1-9 所示，水池 A、B 的水面有一定的高度差，当打开阀门时，水在重力的作用下定向运动，从水池 A 运动到水池 B，此时水管中就有一个瞬时水流。但 A、B 之间的高度差很快消失，水流也随即停止。怎样才能使水管中有源源不断的水流呢？办法就是在 A、B 之间接入一台抽水机，将水池 B 中的水抽到水池 A 中，保证水池 A、B 的水面总有一定的高度差，从而使水管中有源源不断的水流。在电路中，相当于抽水机的就是电源。

以电池为例，如图 1-10 (a) 所示。电池内部的化学反应产生一种非静电力（也叫非静电力） $F_{\text{外}}$ ，这个力可以把正电荷从电池的负极板移至正极板，使正极板堆集大量的正电荷，负极板堆集大量的负电荷，它们之间形成了电场，储存有电能。形成电场后非静电力再移动正电荷时，就需要克服极板间的电场力 F 做功。非静电力做功的过程是能量转化的过程。电源这种做功的本领用电动势表示，即非静电力把正电荷从负极移到正极所做的功与该电荷电量的比值，称为电源的电动势。用公式表示为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

式中， W 为非静电力做的功，单位是焦耳 (J)； Q 是被移动的电荷的电量，单位是库仑 (C)； E 是电动势，单位是伏特 (V)。

电源电动势的大小仅决定于电源本身，与外接电路的负载无关，不同的电源其电动势也不尽相同。

在电源内部，正电荷是从负极板移至正极板，所以，规定电源电动势的方向是从电源的负极经内部指向正极，如图 1-10 (b) 所示。

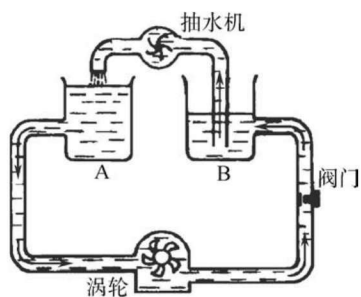
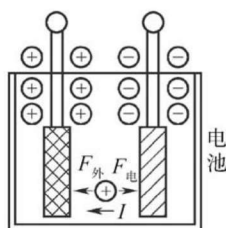
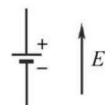


图 1-9 连续水流形成示意图



(a) 电池的结构



(b) 电动势的方向

图 1-10 连续电流形成示意图

3. 电压



对照类比

前面提到（如图 1-9 所示），保证水池 A、B 的水面总有一定的高度差（水位差），能使水管中有源源不断的水流。类似分析，若保证电路中总有一定的电位差，就能使电路中有源源不断的电流。

如图 1-11 所示，电源内部电路称为内电路，电源外部电路称为外电路。用导线将电源的两个极板分别与灯泡两端相接，则电源正极板的正电荷在电场力的作用下，从电源正极经过导线、灯泡（外电路）流向电源负极，形成了电流，同时使灯泡发光（完成电→光能量的转换），这说明电场力做了功。为了衡量电场力做功的能力，引入电压这个物理量。

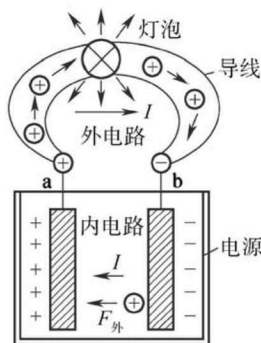


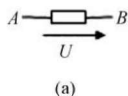
图 1-11 电源内外电路示意图

设正极板为 a、负极板为 b，则 a 与 b 两极板间的电压在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，可用下式表示

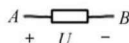
$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

在国际单位制（SI）中，电压的单位为伏特，简称伏（V）。

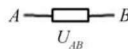
电压的实际方向定义为正电荷在电场中受电场力作用（电场力作正功时）移动的方向。与电流一样，电压也有自己的参考方向，如图 1-12 所示用实线箭头或双下标表示。电压的参考方向也是任意指定的。在电路中，电压的参考方向可以用一个箭头来表示，也可以用正（+）、负（-）极性来表示，正极指向负极的方向就是电压的参考方向；还可以用双下标表示，如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间的电压的参考方向由 A 指向 B（如图 1-12 所示）。同样，在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正和负，就可以反映出电压的实际方向。



(a)



(b)



(c)

图 1-12 电压的参考方向表示法

4. 电位

在电气设备的调试和检修中，经常要测量各点的电位，看其是否符合设计要求。

电位是衡量电路中各点所具有的电位能大小的物理量。电位在数值上被定义为电场力将单位正电荷从给定点移动到参考点（又称零电位点或接地点）所做的功。在电路分析中用小写字母 v 或 $v(t)$ 表示变化的电位，用大写字母 V 表示恒定电位。

电位具有相对性，电位的数值与参考点有关，参考点的电位一般取零，即 $V_0 = 0$ 。原则上零电位点是可以任意指定的，而在实际应用中，对于强电的电力电气线路，以大地为参考点，用符号“ $\perp$ ”表示；在弱电的电子电路中，以装置的外壳和底板为参考点，用符号“ $\perp$ ”表示。

任一确定的电路，无论参考点如何变化，任意两点间的电压数值均不变化。两点间的电压等于两点间的电位之差，即电压的数值与参考点无关。因此，电压也称电位差，因为电压与电位都是以电场力移动正电荷做功来定义的，所以，电位的单位与电压的单位相同，也为伏特（V）。



对照类比

如图 1-13 所示，电压、电位和电动势关系可以和水路进行类比分析理解。

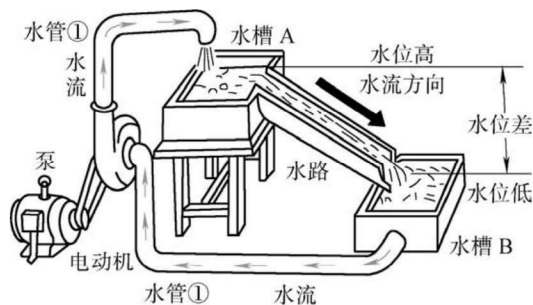


图 1-13 水路示意图



你知道吗

电池连接使用小常识

- (1) 新旧电池不可混用。因为新旧电池的性能指标已不相同。
- (2) 不同种类、不同生产厂家的电池不要混用。因为不同种类、不同生产厂家的电池的性能指标也不相同，混合使用达不到最佳效果。
- (3) 不能对电池焊接使用。因为焊接时产生的高温会损坏电池的内部结构。

5. 电能

(1) 电能：若导体两端电压为 U ，通过导体横截面积的电荷量为 Q ，电场力所做的功就是电路所消耗的电能

$$W = QU = UIt \quad (1-5)$$

(2) 电能的单位为焦耳 (J)。在实际应用中常以千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) (曾称度) 作为电能的单位。

1 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 在数值上等于功率为 1kW 的用电器工作 1h 所消耗的电能。

1 度 = $1 \text{kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{W} \times 3600 \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{W} \cdot \text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$

(3) 电能的测量使用电能表 (俗称电度表), 如图 1-14 所示。

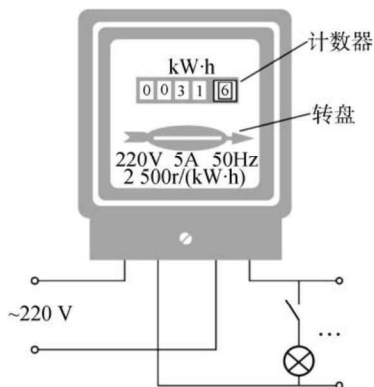


图 1-14 电度表及接线

例 1-1 一空调器正常工作时的功率为 1214W , 设其每天工作 4h , 若每月按 30 天计算, 试问一个月该空调器耗电多少度? 若每度电费 0.80 元, 那么使用该空调器一个月应缴电费多少元?

解: 空调器正常工作时的功率为

$$1214 \text{W} = 1.214 \text{kV} \cdot \text{A}$$

一个月该空调器耗电

$$W = Pt = 1.214 \times 4 \times 30 = 145.68 (\text{kWh})$$

使用该空调器一个月应缴电费

$$145.68 \times 0.80 \approx 116.54 (\text{元})$$

6. 电功率

(1) 电功率: 用电设备单位时间 (t) 里所消耗的电能 (W) 叫作电功率

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-6)$$

若是纯电阻电路, 则

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-7)$$

若在电源内部, 外力做功, 使正电荷由低电位移向高电位, 电流逆着电场方向流动, 将其他能量转换为电能, 其电功率为

$$P = EI \quad (1-8)$$

若 $P > 0$, 元件是耗能, 吸收能量 (负载), 若 $P < 0$, 元件是供能, 发出能量 (电源)。

通常用电设备上都标明它的电功率和电压 (称为额定功率和额定电压), 以便正确

使用。例如照明灯泡上就标有“PZ220—60”的字样，表明这只普通照明灯泡使用在220 V电压下，其电功率为60 W（其中的P和Z是“普”“照”汉语拼音的第一个字母）。

(2) 电功率是利用功率表进行测量的，其测量线路如图1-15所示。

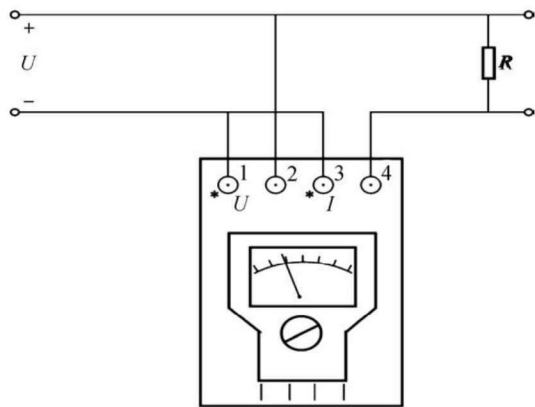


图 1-15 功率表测功率

功率表测电压的线圈（1、2）并联在电路上，测量电流的线圈（3、4）串联在电路上。

例 1-2 一台电炉的额定电压为220 V，额定电流为5 A，该电炉电功率为多大？

解： $P=UI=220\times 5=1\,100\text{ W}=1.1\text{ kW}$

1.1.3 电路的三种状态和电气设备的额定值

做一做

我们通过实验，来熟悉电路的几种工作状态。

按照图1-16所示连接好实物电路。注意开关S先置于开的位置，电流表的正极与电池的正极相接。

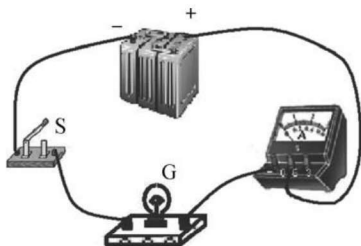


图 1-16 探究电路工作状态的实验电路