

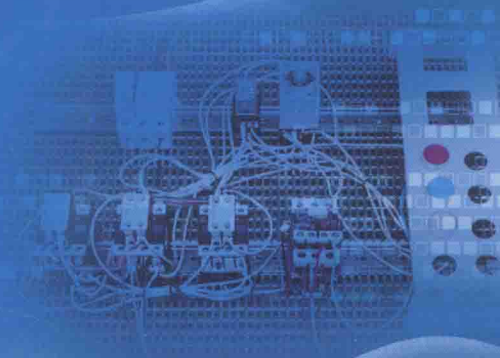


普通高等教育“十二五”创新型规划教材

维修电工

WEIXIU DIANGONG

主 编 刘建英 师菊香



 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

维修电工

主 编 刘建英 师菊香
副主编 张鹏举
参 编 赛恒吉雅 任晓丹
主 审 王晓蓉 兰 洋

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

内容简介

本书以“典型任务”为驱动,以服务于“教、学、做、练”一体化学习模式为指导思想,规划教材的格式和内容。本书将全部学习与实践内容划分为五个项目:直流照明电路分析、安装与测试;电桥电路学习与测试;室内照明电路设计与安装;三相供电电路规划与安装;基本电气控制电路安装。编写过程中,编者力求做到语言通畅,内容由浅到深,层次清晰,任务典型,案例新颖,重点突出,细节翔实。

本书既可作为高等院校电力系统自动化技术、电气自动化技术、生产过程自动化技术等专业学生的教材,也可作为电气工程师及电工技术人员的学习、参考资料和培训教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

维修电工/刘建英,师菊香主编. —北京:北京理工大学出版社,2014.8
ISBN 978-7-5640-8909-2

I. ①维… II. ①刘… ②师… III. ①电工-维修-教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第038359号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)
82562903 (教材售后服务热线)
68948351 (其他图书服务热线)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京富达印务有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/17

字 数/298千字

版 次/2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

定 价/56.00元

责任编辑/张慧峰

文案编辑/张慧峰

责任校对/孟祥敬

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前言

PREFACE

“维修电工”是一门实践性很强的公共学习领域课程。随着科学技术的飞速发展，维修电工技术已发展到相当成熟的阶段，但基础知识点仍是必不可少的。本书的编写遵循电力系统自动化技术专业岗位职业标准和人才培养标准，归纳总结出基于工作过程系统化的课程开发方法。

本书是编者在多年从事维修电工教学和科研的基础上编写的，融入了丰富的经验和成果。包含五个项目：项目一一直流照明电路的分析、安装与测试包含三个任务，详细介绍了简单电路的分析设计、电路元件的识别与检测以及电路各点电位的分析计算；项目二电桥电路的学习与测试包含两个任务，主要进行直流线性电阻性电路和电桥电路的分析；项目三室内照明电路设计与安装包含五个任务，从实用角度出发讲述交流电压表和电流表的使用、日光灯照明电路的设计安装与故障排除、各类元件和正弦交流电路的特性分析；项目四三相供电电路的规划与安装包含两个任务，介绍了三相交流电路的分析和三相负载的连接以及分析；项目五基本电气控制电路的安装包含四个任务，主要介绍各类控制电路的安装。

本书由刘建英、师菊香担任主编，负责总体规划和统筹全书；由张鹏举担任副主编。其中，项目一和项目五由师菊香编写，项目二由刘建英编写，项目三和项目四由张鹏举编写。

本书由王晓蓉和兰洋主审，参加编写工作的还有赛恒吉雅和任晓丹等老师，他们对本书的编写工作提出了许多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

在编写过程中，查阅和参考了大量文献资料，得到许多启发；同时也得到学校领导的重视和支持。在此，向参考文献的作者和学校表示衷心的感谢。

维修电工

编者本着认真负责、精益求精的态度，尽可能将错误率降得更低。由于编者水平有限，书中难免存在不当和谬误，恳请相关专家和读者批评指正。

编 者

CONTENTS

项目一	直流照明电路的分析、安装与测试	1
任务一	简单电路的分析设计	1
知识链接一	电路的组成和作用	1
知识链接二	电路的基本物理量	3
知识链接三	电路的三种状态和电气设备的 额定值	8
任务二	电路元件的识别与检测	14
知识链接	电阻、电容、电感等电路元器件 的特性	14
典型任务实施	——电阻、电容、电感电路元器件的 识别和检测	19
任务三	电路各点电位的分析计算	29
知识链接一	基尔霍夫定律	29
知识链接二	简单电阻电路的计算	34
典型任务实施	——分析复杂直流电路, 并进行实 验操作	45
典型任务实施	——电流表、电压表量程扩大改装 并校验	49

项目二 电桥电路的学习与测试 55

任务一 直流线性电阻性电路的分析计算 55

知识链接一 电压源和电流源的等效互换 55

知识链接二 支路电流分析法 62

知识链接三 戴维南定理及其等效变换 64

任务二 电桥电路的分析与测试 68

知识链接一 电桥的分类与作用 68

知识链接二 惠斯登电桥的结构、原理及应用 71

项目三 室内照明电路设计与安装 77

任务一 交流电压表、交流电流表的使用 77

知识链接一 电工测量的基本知识 77

典型任务实施——电路基本参数的测量 82

知识链接二 兆欧表、功率表和电度表的使用
方法 85

任务二 日光灯照明电路的设计与安装 94

知识链接 正弦交流电的特征及表示方法 94

任务三 日光灯照明电路的故障排除 101

知识链接一 照明电路的基本知识 101

知识链接二 配电板的制作 103

典型任务实施——1 只单联开关控制 1 盏白
炽灯电路的安装与故障
排除 107

典型任务实施——2 只单刀双掷开关控制 1
盏白炽灯电路的安装与故
障排除 109

典型任务实施——电感式镇流器日光灯电路的
安装、测试与故障排除 110

典型任务实施——家庭简单照明电路的安装与故障排除	113
任务四 电阻元件、电感元件及电容元件的特性分析	115
知识链接一 单一参数正弦交流电路	115
知识链接二 RLC 串联电路和 RLC 并联电路	122
任务五 正弦交流电路的分析	126
知识链接 电路谐振及其应用	126
 项目四 三相供电电路的规划与安装	137
任务一 三相交流电路的分析	137
知识链接 正弦交流电路的分析方法	137
任务二 三相负载的连接和分析	141
知识链接 三相电路的基本知识	141
 项目五 基本电气控制电路的安装	159
任务一 点动控制电路的安装	159
知识链接 常用低压电器的结构及工作原理	159
典型任务实施——CJT1-10 型交流接触器的拆装	173
任务二 自锁控制电路的安装	175
知识链接一 电气控制识图的基本知识	175
知识链接二 基本控制线路的装接步骤和工艺要求	179
知识链接三 三相异步电动机的启停控制	182
任务三 正反转控制电路的安装	186
知识链接一 电气控制系统的保护环节	186
知识链接二 三相异步电动机的正、反转控制	188
知识链接三 三相异步电动机的行程控制	192
知识链接四 三相异步电动机手动控制线路的装接	193
知识链接五 三相异步电动机点动控制线路的装接	199
知识链接六 三相异步电动机连续控制线路的装接	204

知识链接七	三相异步电动机点动与连续复合控制 线路的装接	209
知识链接八	三相异步电动机双重互锁正、反转 控制线路的装接	212
知识链接九	三相异步电动机自动往返行程控制 线路的装接	217
任务四	三相异步电动机其他典型控制电路的装接	221
知识链接一	降压启动方式及原理	221
知识链接二	顺序控制电路	230
知识链接三	多地控制电路	232
典型任务实施——三相异步电动机串电阻降压启动	控制电路装接	234
典型任务实施——三相异步电动机 Y - Δ 转换降	压启动控制电路装接	237
典型任务实施——顺序控制电路装接		241
典型任务实施——三相异步电动机多地控制电路	装接	245
知识链接三	制动控制电路	248
典型任务实施——制动控制电路装接		253

附录	常用低压电器的图形和文字符号	262
----	----------------------	-----

项目一

直流照明电路的分析、安装与测试

任务一 简单电路的分析设计

知识链接一 电路的组成和作用

一、实际电路及其作用

在日常的生产和生活中，各种各样的电路被广泛应用。电路都是由实际元器件按一定的方式连接的，从而可形成电流的通路。实际电路的种类很多，所以不同电路的形式和结构也各不相同，但简单电路一般都是由电源、负载、连接导线、控制和保护装置这四个部分按照一定方式连接起来的闭合回路。虽然实际应用中的电路是多种多样的，但就其功能来说可概括为两个方面：一方面是进行能量的传输、分配与转换，如电力系统中的输电电路等；另一方面是实现信息的传递与处理，如收音机和电视机电路等。如图 1-1 所示为日常生活中用的手电筒外形和实际电路，它也由电源、负载、连接导线、控制和保护装置这四部分组成。

1. 电源：干电池

电源是电路中电能的提供者，是将其他形式的能量转化为电能的装置。图 1-1 中的干电池可将化学能转化为电能。含有交流电源的电路叫作交流电路，含有直流电源的电路叫作直流电路，常见的直流电源有干电池、蓄电池和直流发电机等。

2. 负载：灯泡

负载，即用电装置，它可将电源供给的电能量转换为其他形式的能量。图 1-1 中的灯泡可将电能转换为光能和热能。

3. 控制和保护装置：开关

控制和保护装置可用来控制电路的通断，从而保证电路正常工作。

4. 连接导体或导线：金属外壳

连接导体或导线是连接电路，可输送和分配电能。

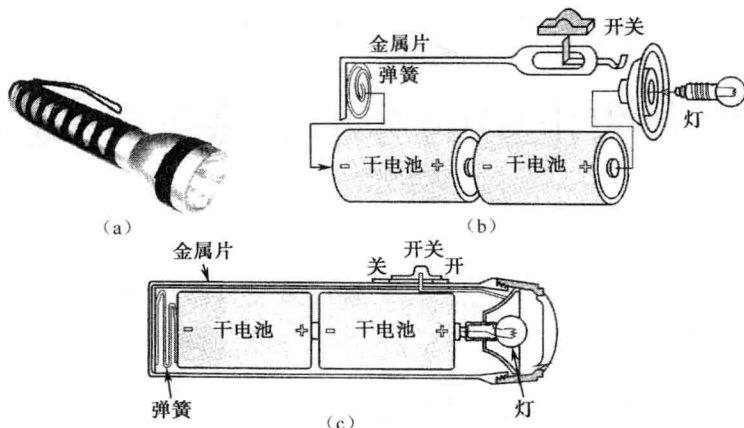


图 1-1 手电筒外形与实际电路

(a) 手电筒实物图；(b) 手电筒内部电路；(c) 手电筒结构

二、电路模型

图 1-1 所示的电路对于分析器件的接法和原理是很有用的，但要用它对电路进行定量分析和计算，则是非常困难的。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电路元件的组合来模拟了，这样的电路就称为电路模型。

建立电路模型的意义十分重大，因为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，所以建立电路模型可以使对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。

关于实际电路部件的模型概念还需要强调以下几点：

(1) 理想电路元件是具有某种确定电磁性能的元件，是一种理想的模型，在实际中是并不存在的，但它却在电路理论分析与研究中充当着重要角色。

(2) 不同的实际电路部件，只要具有相同的主要电磁性能，在一定条件下都可用同一模型来表示，如只表示消耗电能的理想电阻元件 R （电灯、电阻炉、电烙铁等），只表示存储磁场能量的理想电感元件 L （各种电感线圈），只表示存储电场能量的理想电容元件 C （各种类型的电容器）。这三种是最基

本的理想电路元件，它们可以代表种类繁多的各种负载。

(3) 同一个实际电路部件在不同的应用条件下，它的模型也可以有不同的形式。如实际电感器应用在低频电路中，可以用理想电感元件 L 来代替；应用在较高频率的电路中，可以用理想电感元件 L 与理想电阻元件 R 串联来代替；应用在更高频率的电路中，则可以用理想电感元件 L 与理想电阻元件 R 串联后，再与理想电容元件 C 并联来代替。

将实际电路中的各个部件用其模型符号来表示，这样画出的图称为实际电路的电路模型图，也称作电路原理图。如图 1-2 所示就是图 1-1 所示的手电筒实际电路的电路原理图。实际上，各种电气元件都可以用图形符号或文字符号来表示。常用电气元件符号见表 1-1。如何建立一个实际电路的模型是较复杂的问题，本书不再详细介绍，在这里本书主要分析研究已经建立的电路模型。

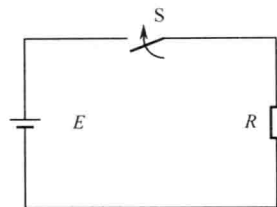


图 1-2 手电筒的电路原理图

表 1-1 常用电气元件符号

元件名称	符 号	元件名称	符 号
固定电阻		电容	
可调电阻		可调电容	
电池		无铁芯电感	
开关		有铁芯电感	
电流表		相连接的交叉导线	
电压表		不相连接的交叉导线	
电压源		接地	
电流源		保险丝	

知识链接二 电路的基本物理量

电路的基本物理量包括电流、电压、电位、电功率和电能等，它们的符号及单位如表 1-2 所示。

表 1-2 电路的基本物理量的符号及单位

物理量的名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电流	I	安(培)	A
电压	U	伏(特)	V
电位	ϕ	伏(特)	V
电功率	P	瓦(特)	W
电能	W	焦(耳)或度	J 或 kW·h

一、电流

在电场力的作用下,带电粒子有规则的定向运动就形成了电流。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向,表示电流强弱的量叫作电流强度,其在大小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 ,则通过该横截面的电流为:

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

在一般情况下,若电流是随时间而变的,则称为交流电流。但如果电流不随时间而变,即 $dq/dt = \text{常量}$ 时,则称这种电流为直流电流,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)可写成:

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

式中, Q 是在时间 t 内通过导体横截面的电荷量。

电流的单位是 A, $1\text{A} = \frac{1\text{C}}{1\text{s}} = \frac{1\text{库}}{1\text{秒}}$ 。除安培外,常用的电流单位还有 kA (千安)、mA (毫安) 和 μA (微安),它们之间的换算关系是:

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

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

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

对于简单的电路,电流实际方向可以根据电源极性很容易判断,所以可以直接标出。但在电路分析中,实际电路往往比较复杂,某一段电路中的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,引入了电流“参考方向”的概念。

在计算前首先任意选定某一个方向作为电流的参考方向,然后根据参考方向进行电路的相关计算。如计算出的电流为正值 ($I > 0$),则电流的参考方向与它的实际方向一致;如计算出的电流为负值 ($I < 0$),则电流的参考方向与它的实际方向相反,如图 1-3 所示。

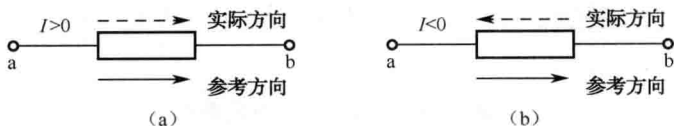


图 1-3 电流参考方向与它的实际方向间的关系

(a) 方向相同 ($I > 0$); (b) 方向相反 ($I < 0$)

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。

电流的参考方向是可以任意指定的,在电路中一般用箭头表示,也有用双下标来表示参考方向的,如 I_{ab} ,其参考方向是由 a 指向 b。

二、电压

如图 1-4 所示,电源的两个极板 a 和 b 上分别带有正、负电荷,所以这两个极板间就存在一个电场,其方向是由 a 指向 b 的。当用导线和负载将电源的正负极连接成为一个闭合电路时,正电荷在电场力的作用下由正极 a 经导线和负载流向负极 b (实际上是自由电子由负极经负载流向正极),从而形成电流。电压是衡量电场力做功的物理量,我们定义: a 点至 b 点间的电压 U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷由 a 点经外电路移到 b 点所做的功。

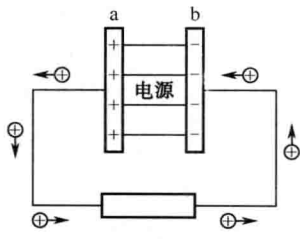


图 1-4 电场力对电荷做功

电压的单位为伏特,英文符号为 V,即 $1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$ 。在工程中还可用 kV (千伏)、mV (毫伏) 和 μV (微伏) 为计量单位,它们之间的换算关系是:

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

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

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

电压的实际方向定义为,正电荷在电场中受电场力作用(电场力做正功时)移动的方向。与电流一样,电压也有自己的参考方向,电压的参考方向也是可任意指定的。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,还可以用双下标来表示,如 U_{AB} 表示 A 和 B 之间电压的参考方向由 A 指向 B (见图 1-5)。同样,在指定的电压参考方向下计算出的电压值的正负,就可以反映出电压的实际方向。

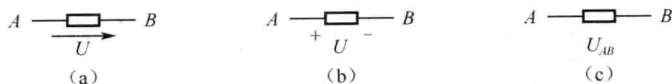


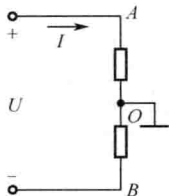
图 1-5 电压的参考方向表示

(a) 箭头表示法; (b) 极性表示法; (c) 双下标表示法

“参考方向”在电路分析中起着十分重要的作用。一段电路或一个元件上电压的参考方向和电流的参考方向是可以独立地加以任意指定的, 如果指定电流从电压“+”极性的一端流入, 并从标以“-”极性的另一端流出, 即电流的参考方向与电压的参考方向一致, 则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向。

三、电位

在电路中任选一点为参考点, 则某点到参考点的电压就叫作这一点 (相对于参考点) 的电位。参考点在电路中的电位设为零, 所以称为零电位点, 在电路图中用符号“ $\perp$ ”来表示, 如图 1-6 所示。电位用符号 ϕ 表示, A 点电位记作 ϕ_A 。



当选择 O 点为参考点时, 则

$$\phi_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

图 1-6 电位示意图

如果 A 点和 B 点的电位分别为 ϕ_A 与 ϕ_B , 则

$$U_{AB} = U_{AO} + U_{OB} = U_{AO} - U_{BO} = \phi_A - \phi_B \quad (1-4)$$

因此, 两点间的电压就是该两点的电位之差, 而电压的实际方向是由高电位点指向低电位点的, 所以有时也将电压称为电压降。

注意:

电路中各点的电位值是与参考点的选择有关的, 所以当所选的参考点变动时, 各点的电位值也将随之变动。因此, 参考点一经选定, 在电路分析和计算的过程中, 将不能随意更改。另外, 在电路中不指定参考点, 而谈论各点的电位值是没有意义的。习惯上认为参考点自身的电位为零, 即 $\phi_0 = 0$, 所以参考点也叫零电位点。

四、电能、电功率

当正电荷从电路电压的“+”极, 经元件移到电压的“-”极时, 是电场力对电荷做功的结果, 这时元件吸取能量。相反地, 当正电荷从电路电压的“-”极经元件移到电压“+”极时, 元件向外释放能量。

对于直流电能

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

式中, W ——电路所消耗的电能, 单位为焦耳 (J);

U ——电路两端的电压, 单位为伏特 (V);

I ——通过电路的电流, 单位为安培 (A);

t ——所用的时间, 单位为秒 (s)。

电能的一个常用单位是焦耳 (J), 但在实际应用中, 电能的另一个常用单位是千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$), 1 千瓦时就是常说的 1 度电。它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ 度} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ (J)} \quad (1-6)$$

电功率表征电路元件或一段电路中能量变换的速度, 其值等于单位时间 (秒) 内元件所发出或接受的电能。电功率的公式为:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-7)$$

式中, P 为电路吸收的功率, 单位为瓦特 (W)。 U , I , t 的单位分别为伏特 (V)、安培 (A)、秒 (s)。常用的电功率单位还有千瓦 (kW)、毫瓦 (mW), 它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W} = 10^6 \text{ mW}$$

当电压和电流为关联参考方向时, 电功率 (用 P 表示) 可用式 (1-7) 求得; 当电压和电流为非关联参考方向时, 电功率 P 则可由式 (1-8) 求得。

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

若计算得出 $P > 0$, 则表示该部分电路吸收或消耗功率; 若计算得出 $P < 0$, 则表示该部分电路发出或提供功率。

以上对功率的有关讨论同样适用于任何一段电路, 而不局限于某一个元件。

例 1-1 一空调器正常工作时的功率为 1 214 W, 设其每天工作 4 小时, 若每月按 30 天计算, 试问一个月该空调器耗电多少度? 若每度电电费为 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:

$$1 \text{ 214 W} = 1.214 \text{ kW}$$

则该空调器使用一个月耗电:

$$W = Pt = 1.214 \times 4 \times 30 = 145.68 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

所以使用该空调器一个月应缴电费

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

例 1-2 试求图 1-7 中元件的功率, 并说明是吸收功率还是发出功率。

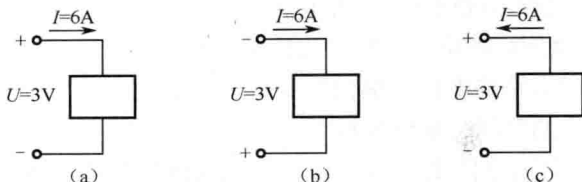


图 1-7 例 1-2 电路图

解：图 1-7 (a) 中，电压与电流为关联参考方向，则 $P = UI = 3 \times 6 = 18 \text{ (W)}$ ， $P > 0$ ，所以该元件吸收功率；

图 1-7 (b) 中，电压与电流为非关联参考方向，则 $P = -UI = -3 \times 6 = -18 \text{ (W)}$ ， $P < 0$ ，所以该元件发出功率；

图 1-7 (c) 中，电压与电流为非关联参考方向，则 $P = -UI = -3 \times 6 = -18 \text{ (W)}$ ， $P < 0$ ，所以该元件发出功率；

例 1-3 试求图 1-8 中各元件的功率。

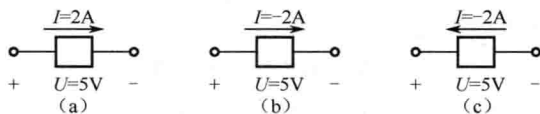


图 1-8 例 1-3 电路图

解：图 1-8 (a) 中，电压与电流为关联参考方向，则 $P = UI = 5 \times 2 = 10 \text{ (W)}$ ， $P > 0$ ，所以吸收功率。

图 1-8 (b) 中，电压与电流为关联参考方向，则 $P = UI = 5 \times (-2) = -10 \text{ (W)}$ ， $P < 0$ ，所以发出功率。

图 1-8 (c) 中，电压与电流为非关联参考方向，则 $P = -UI = -5 \times (-2) = 10 \text{ (W)}$ ， $P > 0$ ，所以吸收功率。

知识链接三 电路的三种状态和电气设备的额定值

一、电路的工作状态

灯泡是否发光显示了所处电路的工作状态，电炉是否发热也显示了电路的工作状态，还有一些电路没有明显的标志显示其状态，但是可以通过对电路有关电学量的测量分析来判断电路的工作状态。另外，我们还经常在很多用电器上看到诸如“警告”“WARNING”等标志，禁止电路处于某些状态，这又是什么原因呢？

如图 1-9 所示，当开关接通时，灯泡发光，表明电路处于导通状态；当开关断开或电线断裂、接头松脱时，灯泡不发光，表明电路处于断开状态。