



高职高专“十一五”规划教材

电工与电子技术

陈湘 等编著

DIANGONG
YU
DIANZI JISHU



化学工业出版社



高职高专“十一五”规划教材

电工与电子技术

陈湘等编著

DIANGONG
YU
DIANZI JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》精神和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》要求编写,内容包括直流电路、正弦交流电路、变压器、电动机、电动机的基本控制电路、二极管与简单直流电源、三极管与基本放大电路、数字电路、安全用电与节约用电九个模块,每个模块都有明确的知识目标、技能目标、应用目标及讨论、练习环节。

本书可作为高职高专机电类相关专业电工与电子技术课程的教学用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术/陈湘等编著. —北京:化学工业出版社, 2009.5

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-05305-3

I. 电… II. 陈… III. ①电工技术-高等学校:技术学院-教材②电子技术-高等学校:技术学院-教材 IV. TM
TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 055697 号

责任编辑:旷英姿 王听讲

文字编辑:王 洋

责任校对:郑 捷

装帧设计:史利平

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12½ 字数326千字 2009年4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: 23.00 元

版权所有 违者必究

前 言

电工与电子技术是高职高专机电类相关专业的一门专业基础课程。本教材根据教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》精神和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》要求编写,是湖南省“十一五”规划课题“基于职业岗位工作流程的高职院校实践类教材改革与创新研究”(课题编号:XJK08CZC055)的研究成果之一。

这本《电工与电子技术》教材在理论体系、教材内容和表达方式等方面做了大胆的改革,“夯实基本理论,着重能力培养,突出高职特色”是本教材编写的基本思想,具体特色如下。

1. 通过分析相关职业岗位能力要求确定模块。
2. 以具体任务驱动的方式组织内容。
3. 每一个教学任务都有明确的知识目标、技能目标和应用目标,设计了相应的讨论、思考、操作、练习等环节,以巩固或检验所学知识。
4. 通过大量图片、实物照片,生动、形象地表达教学内容。
5. 吸收最新知识、技术、设备、方法,使教材具有鲜明的时代特征。

本书的编写贯彻理论实践一体化的思想,以“应用”为主线,通过“应用”引出相关知识,通过“应用”训练学生的技能,通过“应用”检验学生的学习效果。如果条件许可,课程教学安排在实验室或实训室进行效果会更好。

本书由湖南铁路科技职业技术学院陈湘、常州工程职业技术学院赵明和湖南化工职业技术学院欧阳广编著。具体编写分工是:赵明编写模块七和模块八,欧阳广编写模块九,其余模块由陈湘编写并统稿。

由于水平有限,编写时间仓促,加上教材的很多内容都是一种新的尝试,书中的不足在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者
2009年2月

目 录

模块一 直流电路	1
任务一 认识直流电路	1
1. 电路的作用	1
2. 电路的组成	2
任务二 熟悉直流电源	3
1. 直流电源的应用	3
2. 直流电源的类型	4
3. 直流电源的测量及特性的测定	4
任务三 熟悉直流电路中的负载	5
1. 负载的类型及作用	6
2. 电阻负载的特点	6
3. 通过测量电阻检查电路故障	7
任务四 连接电路	10
1. 串联电路	10
2. 并联电路	11
任务五 熟悉直流电路的基本定律	14
1. 参考方向	14
2. 直流电路的定律	16
任务六 计算电流	18
1. 计算简单电路的电流	18
2. 计算复杂电路的电流	19
任务七 计算、测量电功率和电能	23
1. 计算电功率和电能	24
2. 测量电功率和电能	24
模块二 正弦交流电路	27
任务一 认识交流电	27
1. 交流电路	27
2. 表示交流电的物理量	27
3. 正弦交流量的相量表示法	29
任务二 熟悉交流电路中的电源	30
1. 三相电源	31
2. 单相正弦交流电源	32
任务三 了解交流电路中的负载	32
1. 电阻元件	33
2. 电感元件	33
3. 电容元件	35
任务四 分析、计算单相正弦交流电路	38

1. 分析、计算串联电路	38
2. 分析、计算并联电路	42
任务五 计算电功率	44
1. 瞬时功率	44
2. 有功功率	44
3. 无功功率	45
4. 视在功率	45
5. 功率因数及其意义	45
任务六 了解实用正弦交流电路	47
1. 室内电气照明电路	47
2. 日光灯电路	48
3. 电热毯电路	48
4. 电饭煲电路	49
任务七 计算三相正弦交流电路	50
1. 计算对称三相正弦交流电路	50
2. 计算不对称三相正弦交流电路	53
3. 计算、测量三相电功率	54
模块三 变压器	58
任务一 了解变压器	58
1. 变压器的应用	58
2. 变压器的基本结构	58
任务二 熟悉变压器	61
1. 变压器的基本工作原理	61
2. 变压器的运行特性	63
任务三 应用变压器	64
1. 电力变压器	65
2. 小功率电源变压器	65
3. 多绕组变压器	65
4. 互感器	66
5. 自耦变压器	68
任务四 检测变压器	69
1. 变压器使用前的检测	70
2. 小型变压器的简单故障检测	71
模块四 电动机	73
任务一 认识三相异步电动机	73
1. 三相异步电动机的应用	73
2. 三相异步电动机的结构	74
任务二 掌握三相异步电动机的工作原理	76
1. 旋转磁场	76
2. 三相异步电动机的旋转原理	77
任务三 了解三相异步电动机的工作特性	79
1. 转速特性	79
2. 转矩特性	79
3. 定子电流特性	80

4. 功率因数特性	81
5. 效率特性	81
任务四 了解单相异步电动机	82
1. 单相异步电动机的用途	82
2. 单相异步电动机的结构	82
3. 单相异步电动机的工作原理	83
4. 单相异步电动机的维护	84
任务五 了解直流电动机	85
1. 直流电动机的应用	85
2. 直流电动机的结构	88
3. 直流电动机的工作原理	89
4. 直流电动机的励磁方式	89
5. 直流电动机的电压方程及调速	91
任务六 了解特殊电动机	91
1. 同步电动机	92
2. 直线电动机	93
3. 伺服电动机	95
4. 步进电动机	98
模块五 电动机的基本控制电路	98
任务一 熟悉常用电气控制设备	98
1. 开关	100
2. 按钮	100
3. 接触器	101
4. 熔断器	103
5. 热继电器	103
任务二 掌握三相异步电动机的启动及控制电路	104
1. 直接启动及控制电路	105
2. Y- Δ (星-三角) 降压启动及控制电路	107
任务三 掌握三相异步电动机的反转及控制电路	107
1. 三相异步电动机反转的方法	107
2. 三相异步电动机的正反转控制电路	109
任务四 掌握三相异步电动机的调速及其控制	109
1. 三相异步电动机调速的方法及特点	110
2. 三相异步电动机的调速控制电路	113
任务五 掌握三相异步电动机的制动及控制电路	113
1. 反接制动	114
2. 能耗制动	116
任务六 了解车床及其控制电路	116
1. 车床结构及其控制要求	117
2. C650 卧式车床的控制电路分析	120
模块六 二极管与简单直流电源	120
任务一 熟悉二极管	120
1. 认识二极管	121
2. 了解二极管	121

3. 测试二极管	122
任务二 应用二极管	124
1. 整流二极管与整流电路	124
2. 稳压二极管与稳压电路	125
3. 发光二极管及应用	125
4. 光电二极管及应用	126
任务三 掌握简单直流电源	127
1. 简单直流电源的基本结构	127
2. 简单直流电源的工作原理	127
模块七 三极管与基本放大电路	133
任务一 熟悉三极管	133
1. 认识三极管	133
2. 了解三极管	134
3. 测试三极管	137
任务二 熟悉单管共射基本放大电路	139
1. 了解基本放大电路	139
2. 分析基本放大电路	140
3. 计算基本放大电路	141
任务三 了解功率放大器	145
1. 基本功率放大器	145
2. 集成功率放大器	148
任务四 了解集成运算放大器	150
1. 认识集成运算放大器	150
2. 应用集成运算放大器	152
模块八 数字电路	155
任务一 认识数字电路	155
1. 数字电路应用实例	155
2. 数字电路的特点与发展方向	156
3. 数字信号与数字电路	156
任务二 熟悉基本门电路	158
1. “与”逻辑与“与”门	158
2. “或”逻辑与“或”门	159
3. “非”逻辑与“非”门	160
4. 复合逻辑门	160
任务三 熟悉组合逻辑电路	162
1. 认识组合逻辑电路	162
2. 分析组合逻辑电路	162
任务四 应用组合逻辑电路	164
1. 译码器	164
2. 编码器	166
3. 加法器	166
任务五 了解时序逻辑电路	167
1. 认识时序逻辑电路	168
2. 分析时序逻辑电路	168

任务六 应用时序逻辑电路	170
1. 计数器	170
2. 寄存器	172
任务七 了解 555 定时器	174
1. 认识 555 定时器	174
2. 应用 555 定时器	175
模块九 安全用电与节约用电	179
任务一 熟悉安全用电常识	179
1. 人体触电类型	179
2. 常见触电原因	180
3. 安全用电常识和急救知识	181
任务二 熟悉防止触电的保护措施	182
1. 保护接地	182
2. 保护接零	182
3. 漏电保护设备	183
任务三 熟悉节约用电常识	184
1. 节约用电的途径	184
2. 节约用电新技术	185
参考文献	190

模块一 直流电路

任务一 认识直流电路

知识目标

- ★了解直流电路的基本组成，清楚各元件在电路中的作用。
- ★了解电路模型及其意义。

技能目标

- ★画出简单直流电路的电路模型。

应用目标

- ★熟悉日常生活中常见直流电路的作用与组成。

实际应用中，有很多电器和设备使用直流电源，它们的电路都可以看作直流电路。

电筒是一种经济、实用的照明设备，其电路结构简单，是非常典型的直流电路。传统电筒的发光元件是小电珠，目前使用较多的发光元件是 LED 发光二极管，如图 1-1(a) 所示。

移动电话是现代人最重要的通讯设备，一般由电池供电，其内部的供电电路就是直流电路，如图 1-1(b) 所示。

以车载蓄电池提供动力能源，以电动机作为原动机的电动自行车，具有环保和低能耗的特点，其供电电路也是直流电路，如图 1-1(c) 所示。

1. 电路的作用

电路的基本作用主要有两类，一类是进行电能的传输、分配和转换；另一类是实现电信



图 1-1 认识直流电路

号的传输和处理。

(1) 进行电能的传输、分配和转换

电能的传输、分配和转换过程如图 1-2 所示。发电厂的发电机组将其他形式的能量（包括风能、热能、水的势能、原子能等）转换成电能，通过变压器升压，由高压输电线路输送给地区或单位的变电、配电装置，然后送到各企业、单位和千家万户，用电设备又把电能转换成机械能、光能、热能等，为生产、生活服务。

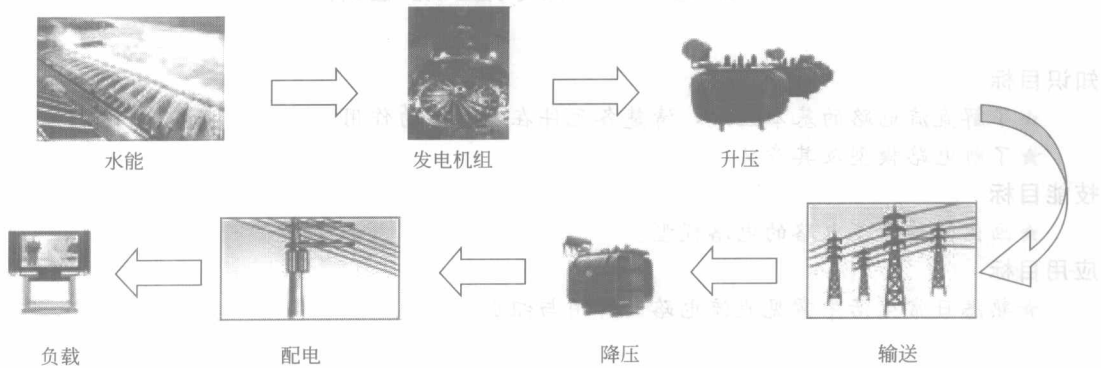


图 1-2 电能的传输、分配、和转换过程

(2) 实现电信号的传输和处理

声音、图像、温度、压力等各种非电信号可以通过设备、装置转换成电信号，然后进行传输和处理。扩音机、电视机就是电信号传输和处理的典型应用，电视机的电路框图如图 1-3 所示。话筒将声波信号转换为语音电信号，经放大并滤除干扰信号后传递给扬声器，还原出声音。电视接收天线接收载有声音、图像信息的电磁波，通过电路对输入的电磁波信号进行变换和处理，形成相应的电信号，送到扬声器和显像管，还原出声音、图像。

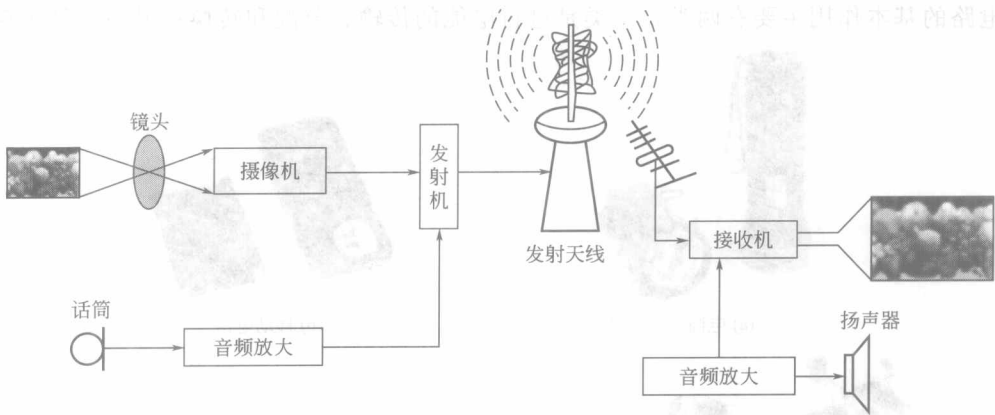


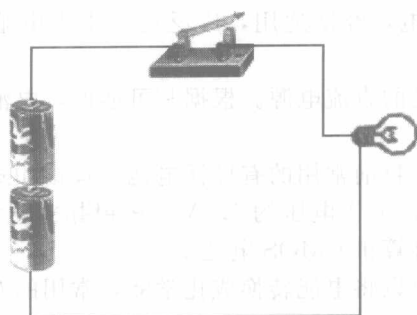
图 1-3 电视机的电路框图

2. 电路的组成

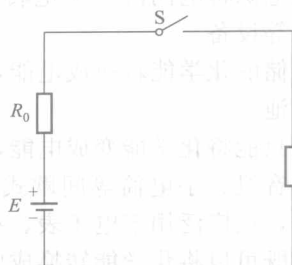
一个完整的电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。

图 1-4(a) 示出的为手电筒实际电路，它由电池、灯泡、连接导体和开关组成。其中电池是电源，为整个电路提供电能；灯泡是负载，消耗电能，发光；开关和连接导体是中间环节，控制电路的闭合和断开。

为了便于对实际电路进行分析，将实际电路元件理想化或模型化，用理想电路元件表示的电路称为电路模型。



(a) 实际电路



(b) 电路模型

图 1-4 手电筒电路

理想电路元件（简称元件）主要有：只表示消耗电能的电阻元件（简称电阻）、只表示存储电能的电容元件（简称电容）、只表示存储磁能的电感元件（简称电感）、电压源元件、电流源元件、连接导体等。

有些简单的实际电路元件可用一种理想电路元件表示，如：白炽灯、电炉等耗能元件可以用一个电阻表示；有些复杂的实际电路元件需用几种理想电路元件表示，如：电动机和变压器的线圈可用电阻和电感的串联组合表示；有些元件或设备在不同的情况下，其电路模型也会不同，如：干电池在理想情况下可以用电压源表示，但在实际应用中，通常用电压源和电阻的串联电路模型表示。

图 1-4(b) 示出的为手电筒电路的电路模型，其中灯泡为理想电阻元件 R ，干电池（忽略其内阻）为理想电压源 U_S ，导线和开关认为是无电阻的理想导体。

议一议

- ◆ 手电筒的电珠为什么能够发光？要使手电筒的电珠发光，需要哪些条件？
- ◆ 实际应用中的电路千差万别，其基本组成却有一些相似的地方，请举例说明。

想一想

- ◆ 什么是电路模型？它有什么意义？

练一练

- ◆ 画出电池、直流发电机、白炽灯、日光灯、电炉、电动机、开关的电路模型。

任务二 熟悉直流电源

知识目标

- ★ 了解常见直流电源的应用特点。
- ★ 了解电源外特性及其意义。

技能目标

- ★ 通过万用表测量直流电源的电压，判断直流电源性能的好坏。

应用目标

- ★ 日常生活中，合理选择并正确使用直流电源。

1. 直流电源的应用

直流发电机将机械能转换成电能，产生直流电源，满足直流电动机、电解、电镀、电冶炼、充电等设备或生产过程的需要，具有使用方便、运行可靠的特点。

直流稳压电源将电网的交流电转换成直流电，经济适用，广泛用于手提电脑、移动电话、实验装置等设备。

电池将存储的化学能转换成电能，是最常见的直流电源。根据其可逆性，电池分为一次电池和二次电池。

一次电池只能将化学能变成电能，不可逆，目前常用的有锌锰电池、锌银扣式电池。锌锰电池用于收音机、手电筒等间歇式放电场合，工作电压约 1.5V；锌银扣式电池体积小，放电电压平稳，被广泛用于电子表、石英钟、计算机 CMOS 电池中。

二次电池既可以将化学能转换成电能，也可以将电能转换成化学能，常用的有铅酸蓄电池、氢镍电池。铅酸蓄电池单体工作电压为 2V，可多个串联使用，以提高供电电压，常用于报警系统、应急照明系统等场合；氢镍电池使用寿命长，可达 10 年，但成本较高，手提电脑的电池一般属于这种类型。

锂电池作为一种新型电池，既可做成一次电池，也可制成二次电池，性能非常优异。单个锂电池的电压一般为 3.7V，价格较高，基本上“专款专用”，特别适于用作心脏起搏器电源，也可作为高性能的手机电池、手提电脑电池。

2. 直流电源的类型

电源是将其他形式的能量转换为电能的元件或装置，常用的电源一般为电压源。直流电源指大小和方向都不随时间改变的电源。直流电源主要有三种类型：直流发电机、直流稳压电源和电池，如图 1-5 所示。



图 1-5 常用的直流电源

3. 直流电源的测量及特性的测定

直流电源的电压可以通过直流电压表或万用表的直流电压挡位测量，如图 1-6 所示。

测量时，首先估计一下被测电压的大小，然后将转换开关拨至适当的“V”量程，将正表笔接被测电压“+”端，负表笔接被测电压“-”端。然后根据量程和指针位置，读出被测电压的大小，即为电源的电动势 E ，如用“V100”挡测量，满刻度时表示被测电压为 100V，可以直接读“0~100”的指示数值。当指针指向“0~100”中间的“60”的位置时，表示被测电压为 60V。

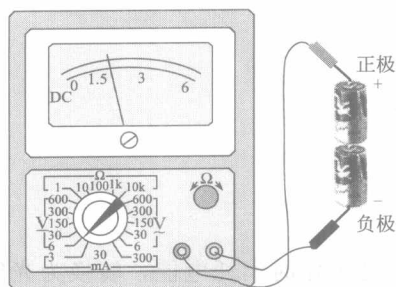


图 1-6 直流电源电压的测量

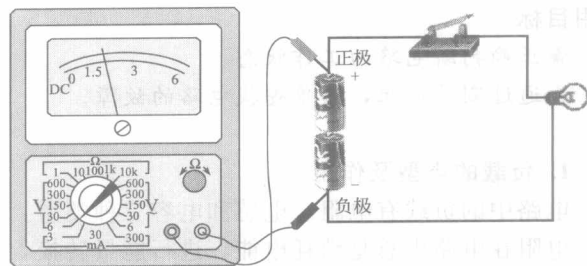


图 1-7 端电压的测量

将电源与负载进行连接，闭合开关，再一次测量电源两端的电压，其大小为 U ，电路如图 1-7 所示。

比较电动势 E 和端电压 U 的大小，会发现 $U < E$ ，即电源的端电压值小于其电动势的值。这是由于电源的内部有一定的电阻，电源使用时内电阻中有电流通过，将消耗一定的电能，因此，实际输出的端电压就减小了。

更换电路中的白炽灯，使负载消耗的功率变化，电路中电流的大小将改变，测得电源的端电压也将发生变化。端电压 U 随电路中电流 I 变化的规律称为电源的外特性，如图 1-8 所示。

电源实际输出电压 $U = E - R_0 I$ ，内阻 R_0 越小，外特性越平坦，电源的质量也越好。

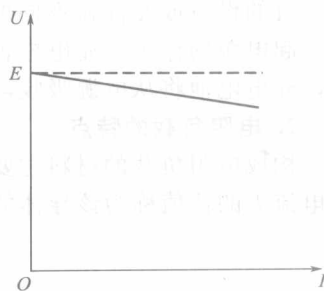


图 1-8 电源的外特性曲线

做一做

- ◆ 观察生活中的直流电源，说出它们的名称及应用特点。
- ◆ 用万用表或电压表测量普通干电池、充电电池、铅酸蓄电池、锂电池的电压大小。
- ◆ 查阅资料，了解锌锰电池、锌银扣式电池、铅酸蓄电池、氢镍电池、锂电池的使用注意事项。

想一想

- ◆ 新买来一节普通 5 号干电池，用万用表测量两端的电压为 1.6V，但接在电路中再进行测量，两端电压只有 1.5V，这是什么原因呢？

练一练

- ◆ 某电池未接负载时，测得其电压值为 1.5V，接上一个 5Ω 的小灯泡后，测得电流为 250mA，计算该电池的电动势 E 和内电阻 R_0 。
- ◆ 一个 4.2V 的电池，内电阻 $R_0 = 0.2\Omega$ ，接在 $I = 1.5A$ 的电路中，计算该电池工作时两端的电压。

任务三 熟悉直流电路中的负载

知识目标

- ★ 了解电路中负载的类型及特点。
- ★ 熟悉直导线电阻的计算。
- ★ 熟悉电路的三种状态与特点。

技能目标

- ★ 熟练使用万用表测量电阻。

★正确应用伏安法精确测量电阻。

应用目标

★正确判断电路的工作状态。

★通过测量电阻，简单查找电路的故障。

1. 负载的类型及作用

电路中的负载有电阻、电感和电容三种类型。

电阻在电路中总是消耗电能，进行能量转换，如白炽灯工作时消耗电能，转换为光能；电炉消耗电能，转换为热能。

电感和电容不消耗电能，它们在电路中吸收电能，转换成其他形式的能量储存起来。电感吸收电能，以磁场能量的形式储存；电容吸收电能，以电场能量的形式储存。

直流电路中的负载主要是电阻，电感在直流电路中相当于短路，电容在直流电路中相当于开路。

有的设备或元件在不同的工作场合起着不同的作用，如手机的充电电池，在手机工作时，起电源的作用，充电电池向电路提供电能；但充电电池和充电器连接时，起负载的作用，充电电池将从电源吸收电能，转换成化学能储存起来。

2. 电阻负载的特点

构成电阻负载的材料主要是导体，而且大多是金属导体。导体的端电压 U 和流过该导体电流 I 的比值称为该导体的电阻。

$$R = \frac{U}{I} \quad (1-1)$$

对于直导线，其电阻值 R （单位为 Ω ）与其长度 l （单位为 m ）成正比，与其横截面积 S （单位为 mm^2 ）成反比，并与导体材料的电阻率 ρ 有关系，即

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

在常用的导电材料中，银、铜、铝的电阻率比较小，对电流的阻碍作用也小，用于制作导线和各种导电元件，也可用于绕制电机、变压器、电器的线圈。银由于价格较贵，只有在有特殊要求的场合使用，如制作半导体器件的引线、电器的触点等。

镍铬合金和铁铬合金的电阻率较高，具有长期承受高温的能力，常用于制造各种电热元件，如电炉、电熨斗、电热水器等设备的发热电阻丝。

实际上，导体的电阻除与材料的性质、几何尺寸有关以外，还与温度有关。设 R_2 、 R_1 分别为 t_2 、 t_1 温度下的导体电阻值， α 为温度系数，有

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-3)$$

常用的导体中，康铜和锰铜的温度系数小，其电阻值基本不随温度变化，常用于制作标准电阻、滑线变阻器等。

金属铂和铜具有较大的温度系数，性能稳定，常用于制作电阻温度计，测量电动机、变压器内部温度的变化。

另外，还有一些用半导体材料制成的特殊电阻，如热敏电阻、压敏电阻和光敏电阻等，它们的电阻值对温度、压力和光照的变化特别敏感，被广泛应用于工程技术领域。

表 1-1 示出的是八种常用导电材料的电阻率和温度系数。

【例 1-1】 用漆包铜线绕制的线圈，直径 12mm，共绕 2000 匝，漆包铜线直径 0.16mm，求此线圈的电阻。

解 $l = \pi d = 3.14 \times 12 \times 10^{-3} \times 2000 \approx 75 \text{ (m)}$

表 1-1 八种常用导电材料的电阻率和温度系数

材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ $/(\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})$	电阻温度系数 α $(0 \sim 10^{\circ}\text{C})/^{\circ}\text{C}^{-1}$	材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ $/(\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1})$	电阻温度系数 α $(0 \sim 10^{\circ}\text{C})/^{\circ}\text{C}^{-1}$
银	0.0165	0.0036	铜	0.0169	0.00393
铝	0.0288	0.004	铂	0.106	0.00398
钨	0.055	0.005	康铜	0.44	0.000005
镍铬铁合金	1.12	0.00013	碳	10	-0.00005

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times \left(\frac{0.16}{2}\right)^2 \approx 0.02 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0.0169 \times \frac{75}{0.02} = 63.375 \text{ (}\Omega\text{)}$$

【例 1-2】电动机在制造完毕或修复后需要进行温升试验。现有一台 2.5kW 的直流电动机，电枢绕组用铜线绕制，温度 20°C 时测得电阻值为 0.4Ω ，运行一段时间后，测得电阻值为 0.5Ω ，试计算此时电动机绕组的温度。

解 已知 $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ， $R_1 = 0.4\Omega$ ， $R_2 = 0.5\Omega$ ，铜的电阻温度系数为 $\alpha = 0.00393^{\circ}\text{C}^{-1}$ ，则： $t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \frac{0.5 - 0.4}{0.00393 \times 0.4} + 20 \approx 83.6 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$

【例 1-3】某直流电路长 200m，当通过 20A 的电流时，要求线路上引起的电压降不超过 30V，若输电线为铜导线，试计算导线直径最小值。

解 输电线电阻
$$R = \frac{U}{I} = \frac{30}{20} = 1.5 \text{ (}\Omega\text{)}$$

由
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

得
$$S = \rho \frac{l}{R} = 1.69 \times 10^{-8} \times \frac{200}{1.5} = 2.25 \times 10^{-6} = 2.25 \text{ (mm}^2\text{)}$$

又
$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

所以
$$d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.25}{3.14}} = 1.69 \text{ (mm)}$$

根据计算结果，再查阅有关电工手册上导线的规格，可选出合适导线。

3. 通过测量电阻检查电路故障

(1) 测量电阻

测量电阻必须在电路不带电的情况下进行。常用的测量仪表有欧姆表、兆欧表和万用表。兆欧表通常用于测量设备的绝缘电阻；精确测量电阻可用电阻电桥，也可根据欧姆定律，通过测量电阻上的电压和电流来间接测量（称伏安法测电阻）。工程中常用万用表测量电路或元件的电阻值，以此判断电路的工作状态和电路元件的好坏，指针式万用表测量电阻的方法如图 1-9 所示。

① 将万用表的旋转开关调到电阻位置，选择适当的倍率。面板上“ $R \times 1\Omega$ 、 $R \times 10\Omega$ 、 $R \times 100\Omega$ 、 $R \times 1k\Omega$ 、 $R \times 10k\Omega$ ”的符号表示倍率。将两只表笔搭在一起，调整“ Ω ”调零旋钮，使指针指到 0。

② 将两根表笔分别接触被测电阻（或电路）两端。

③ 将读取的数值乘以倍率，即为被测电阻的

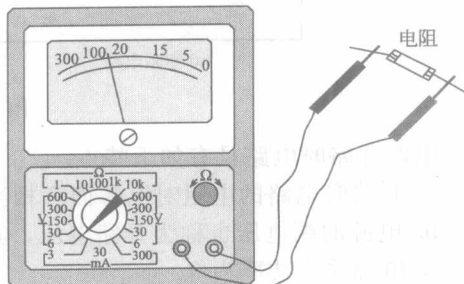


图 1-9 电阻的测量

阻值。测量时应选择适当的欧姆挡，使指针在刻度线的中部或右部。每次换挡需重新调零，以保证测量准确性。

(2) 电路的工作状态

电路的工作状态有三种类型：有载运行状态、开路状态和短路状态。

① 有载运行状态 如图 1-10(a) 所示，开关 S 合上，电路中电源与负载接通，构成闭合回路，此时负载中有电流通过，这种状态称为有载运行状态。

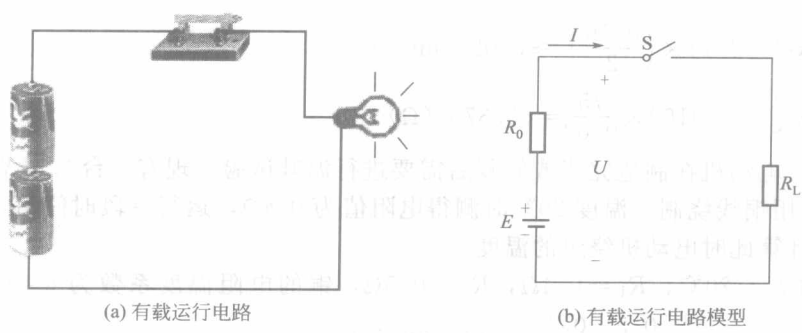


图 1-10 有载运行状态

电路处于有载运行状态时具有如下特点。

- a. 电路中有电流通过，电流的大小与电源电压和电路中的电阻有关。
- b. 电源的端电压等于负载的端电压。
- c. 电源输出电功率、负载消耗电功率转换为其他形式的能量。

根据负载的大小的不同，电路的有载运行状态又分为满载、轻载、过载三种情况。电源输出功率为额定输出功率时称为满载；电源输出功率小于额定输出功率时称为轻载；电源输出功率大于额定输出功率时称为过载。过载会使电气设备使用寿命大大缩短，严重时损坏设备，实际应用时应尽量避免。

② 开路状态 如图 1-11 所示电路中，开关 S 断开，电源和负载没有形成闭合回路，电源处于开路（空载）状态。

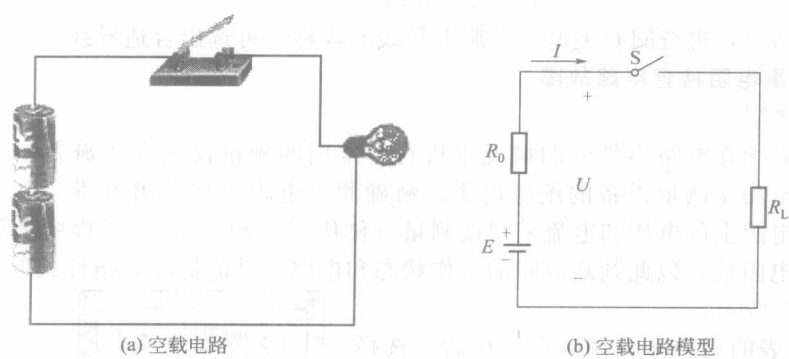


图 1-11 开路状态

电源开路时电路具有如下特点。

- a. 开路时电路的电阻对电源而言相当于无穷大，电路中电流为 0。
- b. 电源的端电压也称为开路电压，其大小等于电源的电动势。
- c. 电源输出功率为 0。

③ 短路状态 如图 1-12 所示，电源不经过负载而直接由导线构成回路，称电路处于短