



全国中等职业技术学校机械类通用教材

电 工 学

(第四版)



中国劳动社会保障出版社

电 工 学

(第四版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

4. 在桥式整流电路中, 如果有一只二极管反接, 电路可能会出现什么问题?

5. 三极管三个电极的电流哪个最大? 哪个最小? 哪两个相接近?

6. 测得某电路中几只三极管各级电压如

图 7-64 所示, 试判别它们分别工作在什么状态, 是放大、截止还是饱和?



图 7-64 所示, 试判别它们分别工作在什么状态, 是放大、截止还是饱和?

(北京: 机械工业出版社, 1995)

图 7-64

7. 三极管开关比普通机械触点开关有哪些优点?

8. 什么是放大? 什么是正反馈? 什么是负反馈?

9. 什么是开环? 什么是闭环? 什么是反馈?

10. 三极管和场效应管的主要区别是什么?

11. 三极管基极偏置电路的优点是什么?

12. 集成运算放大器不同输入端两个输入端, 它们的功能有什么

13. 整流电路和滤波电路分别起什么作用?

14. 在阻容耦合放大电路中, 耦合电容与负载连接?

15. 在晶闸管整流电路中, 晶闸管的导通角? 输出直流电压的大小

的控制角有什么关系?

16. 数字信号和模拟信号有什么区别? 试举出数字信号和模拟信号

17. 试举出 2~3 个生产和生活中常见的与逻辑和或逻辑关系的例子。

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工学/邵展图主编. —4版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2007

全国中等职业技术学校机械类通用教材

ISBN 978-7-5045-6136-7

I. 电… II. 邵… III. 电工学-专业学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 042541 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人: 张梦欣

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 13印张 305千字

2007年4月第4版 2007年4月第1次印刷

定价: 16.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

本书封面轧有我社社标和英文缩写的暗纹

否则即为盗版,请读者举报

举报电话: 010-64911344

前言

为了更好地适应全国中等职业技术学校机械类专业的教学要求，劳动和社会保障部教材办公室组织全国有关学校的职业教育研究人员、一线教师和行业专家，对中等职业技术学校机械类专业部分教材进行了修订。

这次教材修订工作的重点主要体现在以下几个方面：

第一，坚持以能力为本位，重视实践能力的培养，突出职业技术教育特色。根据机械类专业毕业生所从事职业的实际需要，合理确定学生应具备的能力结构与知识结构，对教材内容的深度、难度做了较大程度的调整。同时，进一步加强实践性教学内容，以满足企业对技能型人才的需求。

第二，根据科学技术发展，合理更新教材内容，尽可能多地在教材中充实新知识、新技术、新设备和新材料等方面的内容，力求使教材具有鲜明的时代特征。同时，在教材编写过程中，严格贯彻国家有关技术标准的要求。

第三，努力贯彻国家关于职业资格证书与学历证书并重、职业资格证书制度与国家就业制度相衔接的政策精神，力求使教材内容涵盖有关国家职业标准（中级）的知识和技能要求。

第四，在教材编写模式方面，尽可能使用图片、实物照片或表格形式将各个知识点生动地展示出来，力求给学生营造一个更加直观的认知环境。同时，针对相关知识点，设计了很多贴近生活的导入和互动性训练等，意在拓展学生思维和知识面，引导学生自主学习。

第五，强调教辅资源的开发，力求为教学工作的开展构建一个更加完善的辅助平台，为教师提供更多的方便。本套教材除配有习题册、教学参考书、教学挂图外，还重点开发了多媒体教学光盘、机械专业考试题组卷系统等。

本次修订的教材包括：《机械制图（第五版）》《工程力学（第四版）》《电工学（第四版）》《机械基础（第四版）》《机械制造工艺基础（第五版）》《金属材料与热处理（第五版）》《极限配合与技术测量基础（第三版）》《数控加工基础（第二版）》。

本次教材的修订工作得到了天津、河北、江苏、上海、山东、四川、陕西、广西、广东等省、自治区、直辖市劳动和社会保障厅（局）及有关学校的大力支持，在此我们表示诚挚的谢意。

《电工学（第四版）》的主要内容有：直流电路、磁场与电磁感应、单相交流电路、三相交流电路、变压器与三相异步电动机、工作机械的基本电气控制电路、常用电子元器件及应用电路等。

本书由邵展图、沈巧兰、殷红、陶晓军、孙正凤参加编写，邵展图主编；刘桂平审稿。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年5月

目 录

第一章 直流电路	(1)
§ 1—1 电路及基本物理量	(1)
实验与实训 1 练习使用测电笔和万用表	(6)
§ 1—2 电阻	(9)
§ 1—3 欧姆定律	(14)
§ 1—4 电功与电功率	(17)
§ 1—5 电阻的串联、并联和混联	(20)
实验与实训 2 直流电阻电路故障的检查	(25)
§ 1—6 基尔霍夫定律	(26)
习题一	(30)
第二章 磁场与电磁感应	(32)
§ 2—1 磁场	(32)
§ 2—2 磁场的主要物理量	(35)
§ 2—3 磁场对电流的作用	(38)
§ 2—4 电磁感应	(41)
§ 2—5 自感	(44)
§ 2—6 互感	(47)
习题二	(50)
第三章 单相交流电路	(53)
§ 3—1 交流电的基本概念	(53)
实验与实训 3 常用电子仪器的使用	(58)
§ 3—2 正弦交流电的相量图表示法	(60)
§ 3—3 纯电阻交流电路	(62)
§ 3—4 纯电感交流电路	(64)
§ 3—5 纯电容交流电路	(67)

§ 3—6 RLC 串联电路	(70)
实验与实训 4 用示波器观察正弦交流电	(73)
§ 3—7 提高功率因数的意义和方法	(75)
§ 3—8 常用照明电路	(77)
实验与实训 5 双控白炽灯的安装	(79)
实验与实训 6 荧光灯电路	(81)
实验与实训 7 单相交流电路	(82)
习题三	(83)
第四章 三相交流电路	(87)
§ 4—1 三相交流电	(87)
§ 4—2 三相负载的连接方式	(90)
实验与实训 8 三相交流负载的连接	(93)
§ 4—3 发电、输电和配电常识	(96)
§ 4—4 安全用电常识	(100)
习题四	(108)
第五章 变压器与三相异步电动机	(111)
§ 5—1 变压器	(111)
§ 5—2 三相异步电动机	(118)
习题五	(124)
第六章 工作机械的基本电气控制电路	(125)
§ 6—1 常用低压电器	(126)
§ 6—2 电气控制系统图中基本环节的识读	(141)
§ 6—3 三相异步电动机的直接起动控制电路	(143)
§ 6—4 三相异步电动机的正反转控制电路	(149)
§ 6—5 工作台的限位和自动往返控制电路	(153)
§ 6—6 三相异步电动机的制动控制电路	(154)
§ 6—7 控制电路常见故障及简易处理方法	(157)
§ 6—8 可编程控制器 (PLC) 简介	(159)
实验与实训 9 三相异步电动机的简单测试和直接起动控制	(162)
实验与实训 10 三相异步电动机的正反转控制	(164)

实验与实训 11 用 PLC 实现三相异步电动机的正反转控制	(166)
习题六	(168)
第七章 常用电子元器件及应用电路	(170)
§ 7—1 二极管	(170)
§ 7—2 三极管	(175)
§ 7—3 集成运算放大器	(180)
§ 7—4 直流稳压电源	(183)
§ 7—5 晶闸管	(186)
§ 7—6 数字集成电路	(190)
§ 7—7 555 时基电路	(196)
实验与实训 12 三端可调式集成稳压器的安装	(197)
习题七	(199)

第一章

直流电路

电流流通的路径称为**电路**。由直流电源供电的电路称为**直流电路**。在物理学中，已经介绍过直流电路部分知识，本章将作进一步的阐述，重点是要与实际应用结合起来。

§ 1—1

电路及基本物理量

电路的组成及作用

如图 1—1a 所示，通过开关用导线将干电池和小灯泡连接起来，就组成了一个最简单的电路。图 1—1b 是用电气符号描述电路的电路原理图。对电路的描述有时也可采用方框图，如图 1—2 所示。方框图主要用于说明一个复杂电路系统中各部分电路的功能及相互之间的关系，不描述细节。

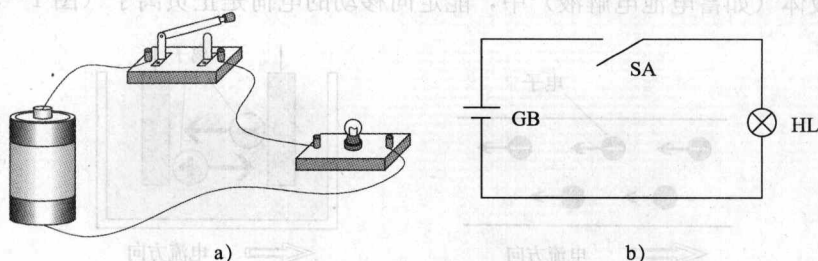


图 1—1 最简单的电路

a) 实物接线图 b) 电路原理图

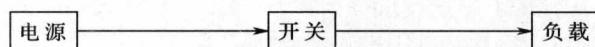


图 1—2 电路方框图

电路一般由以下四部分组成：

1. **电源** 为电路提供电能的设备，如干电池、蓄电池、发电机等。

2. **负载** 又称用电器,其作用是将电能转变为其他形式的能,如电灯、扬声器、电动机等。

3. **导线** 起连接电路和输送电能的作用。

4. **控制装置** 主要作用是控制电路的通断,如开关、继电器等。

有些电路中还装有保护装置,以保证电路的安全运行,如熔断器、热继电器等。

电路最基本的作用:一是进行电能的传输和转换,如照明电路、动力电路等。电能传输示意图如图 1—3 所示;二是进行信息的传输和处理,如测量电路、扩音机电路、计算机电路等。信息传输示意图如图 1—4 所示。

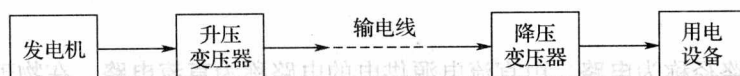


图 1—3 电能传输示意图

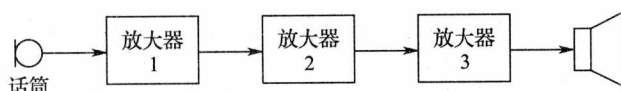


图 1—4 信息传输示意图

电路通常有三种状态:

通路 电路构成闭合回路,有电流流过。

开路 电路断开,电路中无电流通过。开路也称**断路**。

短路 短路是电源未经负载而直接由导体构成闭合回路。这时电源输出电流将比允许的通路工作电流大很多倍,电源会因短路而损耗大量的能量。一般不允许短路。

电流

1. 电流的形成

电荷的定向移动形成电流。在金属导体中,实质上能定向移动的电荷是带负电的自由电子;在导电液体(如蓄电池电解液)中,能定向移动的电荷是正负离子(图 1—5)。

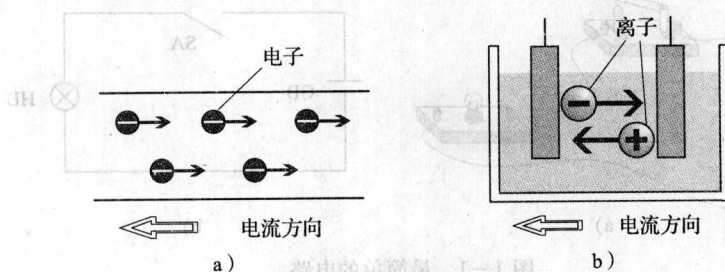


图 1—5 电流的形成

a) 金属中的电流 b) 电解液中的电流

2. 电流的大小

电流的大小是指单位时间内通过导体横截面的电荷,即

$$I = \frac{Q}{t}$$

如果在 1 秒 (s) 内通过导体横截面的电量为 1 库仑 (C), 则导体中的电流就是 1 安培

(A)。常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 (μA) 等。

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

电路中的电流大小可用电流表进行测量 (图 1—6)。测量时应注意以下几点:

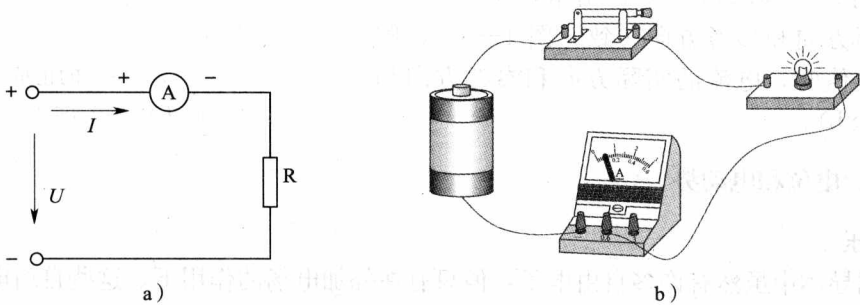


图 1—6 直流电流的测量

a) 原理图 b) 实物图

- (1) 对交、直流电流应分别使用交流电流表和直流电流表测量。
- (2) 电流表应串接到被测量的电路中。
- (3) 直流电流表表壳接线柱上标明的“+”“—”记号, 应和电路的极性相一致, 不能接错, 否则指针要反转, 既影响正常测量, 也容易损坏电流表。
- (4) 每个电流表都有一定的测量范围, 称为电流表的**量程**。一般被测电流的数值在电流表量程的一半以上, 读数较为准确。因此在测量之前应先估计被测电流大小, 以便选择适当量程的电流表。若无法估计, 可先用电流表的最大量程挡测量, 当指针偏转不到 $1/3$ 刻度时, 再改用较小挡去测量, 直到测得正确数值为止。

3. 电流的方向

习惯上把正电荷移动的方向规定为电流的方向, 因此, 自由电子和负离子移动的方向与电流方向相反。大小和方向都不随时间变化的电流称为**稳恒电流** (图 1—7a), 简称**直流**。大小和方向都随时间作相应变化的电流, 称为**交变电流** (图 1—7b), 简称**交流**。干电池、蓄电池提供的是直流电, 动力、照明电路一般用交流电。

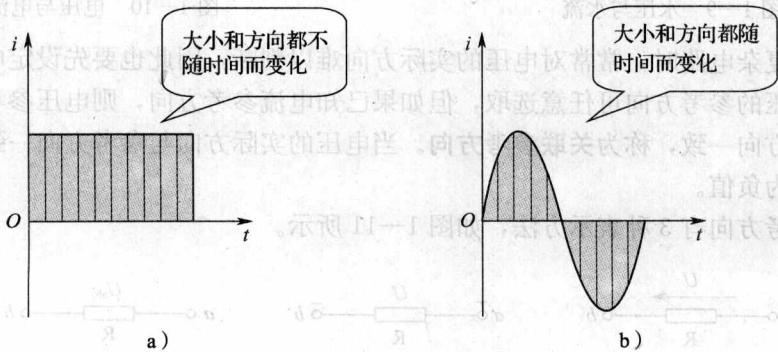


图 1—7 直流电和交流电

a) 直流电 b) 交流电

在分析和计算较为复杂的直流电路时，经常会遇到某一电流的实际方向难以确定的问题，这时可先任意假定电流的参考方向，然后根据电流的参考方向列方程求解。当解出电流为正值时，电流的实际方向和参考方向一致（图 1—8a）；解出电流为负值时，电流的实际方向和参考方向相反（图 1—8b）。

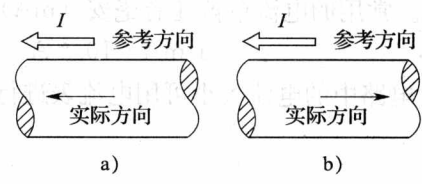


图 1—8 电流的正负
a) $I > 0$ b) $I < 0$

电压、电位和电动势

1. 电压

在金属导体中虽然有许多自由电子，但只有在外加电场的作用下，这些自由电子才能作有规则的定向移动而形成电流。电场力将单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功，称为 a 、 b 两点间的电压，用 U_{ab} 表示。电压的单位为伏特（V）。

电压与电流的关系和水压与水流的关系有相似之处。

在图 1—9 所示装置中，由于用水泵不断将水槽乙中的水抽送到水槽甲中（水泵对水做功），使 A 处比 B 处水位高，即 A 、 B 之间形成了水压，水管中的水便由 A 处向 B 处流动，从而推动水车旋转。

在图 1—10 所示电路中，电源的作用类似上述水泵，它使 E 、 G 两处维持一定的电压，因此，电路中便有正电荷由正极流向负极（实际上是负电荷由负极流向正极），从而使电灯发光。

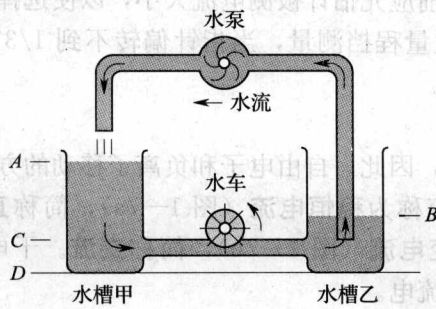


图 1—9 水压与水流

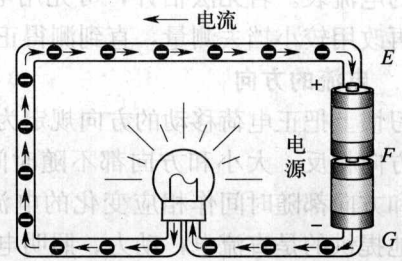


图 1—10 电压与电流

在计算较复杂电路时，常常对电压的实际方向难以判断，因此也要先设定电压的参考方向。原则上电压的参考方向可任意选取，但如果已知电流参考方向，则电压参考方向最好选择与电流参考方向一致，称为关联参考方向。当电压的实际方向与参考方向一致时，电压为正值；反之，为负值。

电压的参考方向有 3 种表示方法，如图 1—11 所示。

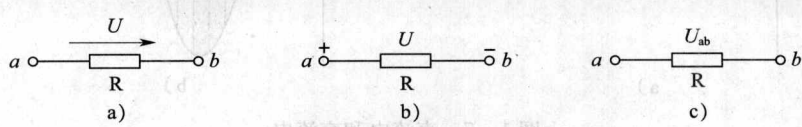


图 1—11 电压的参考方向

a) 箭头表示 b) 极性符号表示参考方向由正指向负 c) 双下标表示参考方向由 a 指向 b

2. 电位

如果在电路中选定一个**参考点**（即零电位点），则电路中某一点与参考点之间的电压即为该点的**电位**。电位的单位也是伏特（V）。电位通常用 V 或 φ 表示，为简便起见，本书仍用 U 表示电位，如 a 、 b 点的电位可分别记为 U_a 、 U_b 。

原则上电位的参考点可以任意选择，但为了便于分析计算，在电力电路中常以大地作为参考点，电路符号为“ $\perp$ ”；在电子电路中常以多条支路汇集的公共点或金属底板、机壳等作为参考点，电路符号为“ $\perp$ ”或“ $\perp$ ”。高于参考点的电位取正，低于参考点的电位取负。例如，在图 1—10 中，若以 G 为参考点，则 G 点的电位为 0 V ， F 点的电位为 1.5 V ；若以 E 为参考点，则 F 点的电位为 -1.5 V ， G 点的电位为 -3 V 。但不管参考点如何选择，每只电池正、负极之间的电位差都是 1.5 V ，这是不会改变的。这就像图 1—9 中，不管是选 C 为参考点，还是选 D 为参考点， A 、 B 之间的水位差是不会随参考点的改变而改变的。

电路中任意两点之间的电压就等于这两点之间的电位差，即 $U_{ab}=U_a-U_b$ ，故**电压又称电位差**。

3. 电动势

在图 1—9 中，水泵的作用是不不断地把水从乙水槽抽送到甲水槽，从而使 A 、 B 之间始终保持一定的水位差，这样水管中才能有持续的水流。在图 1—10 中，电源的作用和水泵相似，它通过电源不断地将正电荷从电源负极经电源内部移向正极，从而使电源的正、负极之间始终保持一定的电位差（电压），这样电路中才能有持续的电流。电源移动正电荷的能力用**电动势**表示，符号为 E ，单位为伏特（V）。

电源电动势在数值上等于电源没有接入电路时两极间的电压。电动势的方向规定为在电源内部由负极指向正极（图 1—12）。

对于一个电源来说，既有电动势，又有端电压。电动势只存在于电源内部；而**端电压**则是电源加在外电路两端的电压，其方向由正极指向负极。一般情况下，电源的端电压总是低于电源内部的电动势，只有当电源开路时，电源的端电压才与电源的电动势相等。

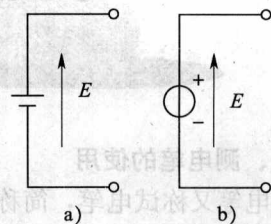


图 1—12 直流电动势的两种符号

4. 电压的测量

- (1) 对交、直流电压应分别采用交流电压表和直流电压表测量。
- (2) 电压表必须并联在被测电路的两端。
- (3) 直流电压表表壳接线柱上标明的“+”“—”记号，应和被测两点的电位相一致，即“+”端接高电位，“—”端接低电位，不能接错，否则指针要反转，并会损坏电压表（图 1—13）。
- (4) 合理选择电压表的量程，其方法和电流表相同。

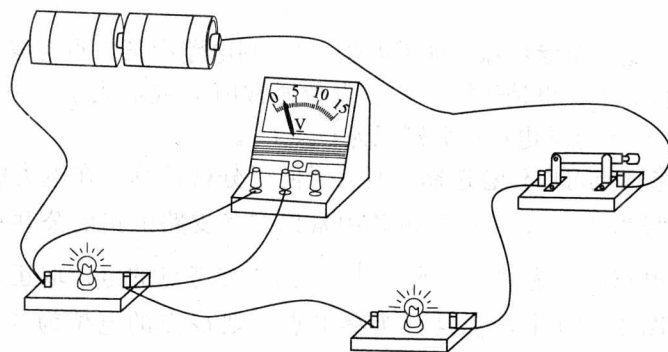


图 1—13 电压表的接法

要点提示

1. 电路中某点的电位与参考点的选择有关，但两点间的电位差与参考点的选择无关。
2. 电位差（电压）表征电场力做功的能力，电源电动势表征电源力做功的能力。

实验与实训 1

练习使用测电笔和万用表

一、测电笔的使用

测电笔又称试电笔，简称电笔（图 1—14），常用于检查低压导体和电气设备是否带电。测电笔的握法如图 1—15、1—16 所示。



图 1—14 测电笔的结构和样式

使用测电笔时注意以下几点：

1. 被测电压不得高于测电笔的标称电压值。
2. 使用测电笔前，首先要检查测电笔内有无安全电阻，然后试测某已知带电物体，看氖管能否正常发光，检查无误后方可使用。
3. 在光线明亮的场所使用测电笔时，应注意遮光，防止因光线太强看不清氖管是否发光而造成误判。
4. 多数测电笔前端金属体都制成一字旋具状，注意在它拧螺钉时用力不可过猛，以防损坏。

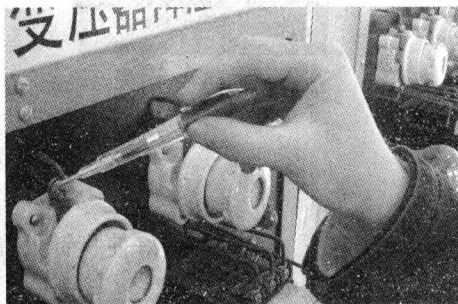
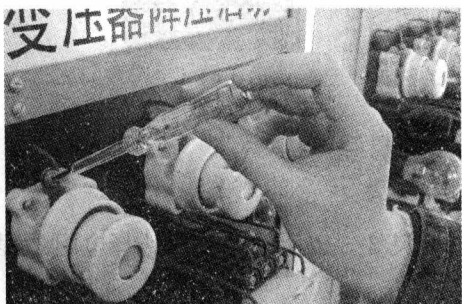


图 1—15 测电笔的正确握法

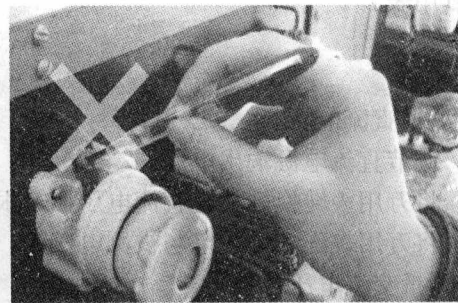
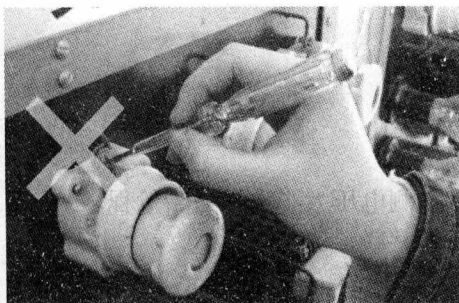


图 1—16 测电笔的错误握法

 当测电笔的金属笔尖已接触带电导体时，切不可用手或身体的其他部位再去接触笔尖！

二、练习使用万用表

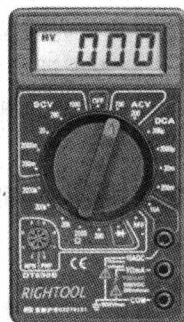
万用表是一种多用途、多量程的电工测量仪表。常用的万用表有模拟式和数字式两大类，如图 1—17 所示。数字式万用表读数直观，而模拟式万用表能方便快速地观察近似值或被测数值的变化情况。

使用万用表应注意以下几点：

1. 使用前必须仔细阅读使用说明书，了解转换开关的功能。
2. 对于模拟式电表，必须先调准指针的机械零点。
3. 使用万用表测量时，必须正确选择参数挡和量程挡，同时应注意两支测量表笔的正、负极性。



a)



b)

图 1—17 万用表

a) 模拟式 b) 数字式

选择电流或电压量程时，最好使指针处在刻度尺 2/3 以上的位置；选择电阻量程时，最好使指针处在标度尺的中间位置。

4. 在进行高电压测量时，必须注意人身和仪表的安全，严禁带电切换开关。

5. 测量结束后，应将转换开关置于空挡或交流电压最高挡，以防下次测量时由于疏忽而损坏万用表。

练习

1. 测量直流电压

(1) 调节直流电源输出电压。

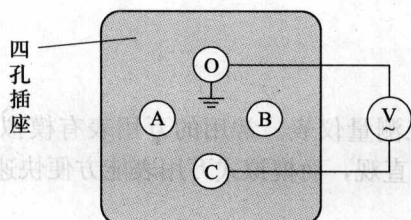
(2) 将万用表转换开关置直流电压挡，根据被测电压大小选择适当量程。

(3) 将万用表红、黑表笔与被测电压正、负端并联，读出电压值。

2. 测量交流电压

(1) 将万用表转换开关置 500 V 交流电压挡。

(2) 如图 1—18 所示，分别测量交流电压 U_{AO} 、 U_{AB} 、 U_{AC} 。



$U_{AO} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

$U_{AB} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

$U_{AC} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

图 1—18 测量交流电压

§ 1—2

电 阻

电阻与电阻率

当电流通过导体时，由于作定向移动的电荷会和导体内的带电粒子发生碰撞，所以导体在通过电流的同时也对电流起着阻碍作用，这种对电流的阻碍作用称为**电阻**。导体的电阻常用 R 表示。在各种电路中，经常要用到具有一定电阻值的元件—电阻器，电阻器也简称电阻。

电阻的单位为欧姆 (Ω)，比较大的单位还有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$)。它们之间的换算关系为

$$1 M\Omega = 10^3 k\Omega$$

$$1 k\Omega = 10^3 \Omega$$

导体的电阻是导体本身的一种性质，它的大小决定于导体的材料、长度和横截面积，可按下式计算

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

式中，比例常数 ρ 称为材料的**电阻率**，单位为欧姆米，简称欧米 ($\Omega \cdot m$)； l 、 s 的单位分别为 m 、 m^2 。

电阻率的大小反映了物体的导电能力。电阻率小、容易导电的物体称为**导体**；电阻率大，不容易导电的物体称为**绝缘体**；导电能力介于导体和绝缘体之间的物体称为**半导体**（图 1—19）。

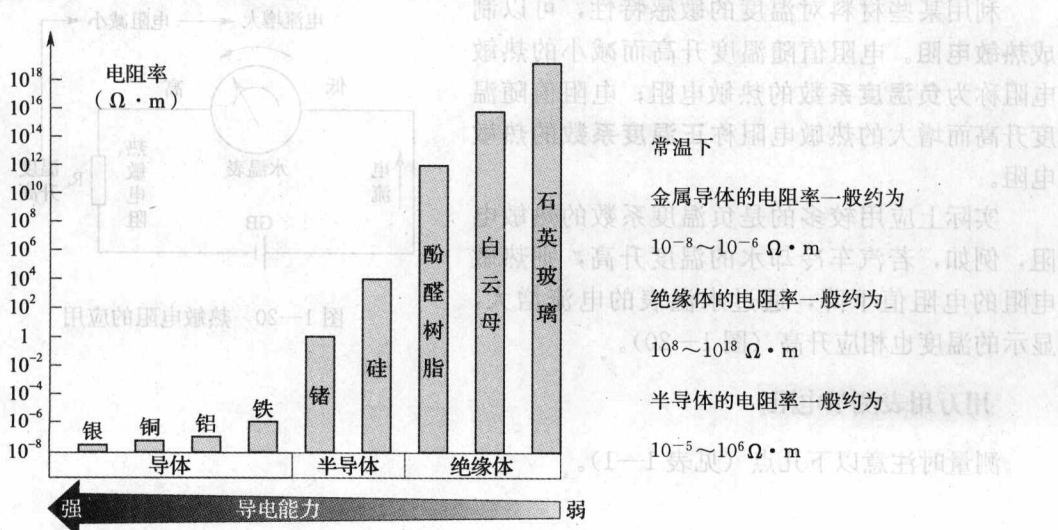


图 1—19 导体、半导体和绝缘体