

职业技能教程



# 电工

## 技能与实训

全国中等职业技术学校规划教材

依据劳动和社会保障部

制定的《国家职业标准》要求编写

国家职业资格培训教材研究组 编写



珠海出版社

职业技能教程

TU-43  
4



# 电 工

## 技能与实训

全国中等职业技术学校规划教材

依据劳动和社会保障部  
藏 书 章

制定的《国家职业标准》要求编写

国家职业资格培训教材研究组 编写



珠海出版社

## 内容简介

在市场经济的今天,无论是在哪一种工作岗位上,单位与人才的关系都是聘用与被聘用的关系。任何一个人只要胜任工作就被聘用,不胜任工作就被解雇,竞争是极为激烈的。因此,不断地更新知识、更新技术,以适应新的要求,已成为每个人内在的迫切需要。

本书作为培养初级电工的技能型人才实训教材,力求以最小的篇幅、最精炼的语言,由浅入深地讲述初级电工应掌握的工艺理论与操作技能。主要内容包括:电工仪表、电工工具、登高工具和防护用具概述,电工基础常识,识图基本知识,导线、线管和电工材料知识,室内线路、架空线路和电缆线路,常用低压与高压电器以及照明电路,交流电动机的基本知识,变配电所的基本知识,晶体管电路,并配备了相应的操作实例。读者可以参照实例熟悉相应的操作工艺及方法,从而提高自己的操作技能。

本书图文并茂,形象直观,文字叙述简明扼要。既可作为全国中等职业技术学校通用教材,又可供各类学校、培训班、企业培训部门、职业鉴定机构作为教材使用,同时也可作为农村进城务工人员、就业与再就业人员、在职人员的自学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

职业技能教程 / 李军等 编著. — 珠海:珠海出版社, 2006.7

ISBN 7-80689-601-5

I. 职... II. 李... III. 职业教育 - 教材 IV. G71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 078830 号

作 者 国家职业资格培训教材研究组 李军 黄锦波 薛兵等执笔

责任编辑 孙建开

封面设计 颜国森

出版发行 珠海出版社

社 址 珠海银桦路 566 号报业大厦三层

电 话 2639330 邮政编码 519000

---

印 刷 北京楠萍印刷有限公司

开 本 787 × 1092mm 1/16

印 张 142.5 字数 3000 千字

版 次 2006 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-80689-601-5/G·401

定 价 173.80 元(全 10 册)

---

版权所有·翻印必究

# 领你入门——帮你取证踏上理想之岗 教你技能——祝你成功步入人才殿堂

## 序 言

你相信一名钳工、车工、铣工、焊工或管工等工种的身价也有可能超过硕士吗？今天，这已然成为一个现实！传统的观念使人们把是否具有高学历作为衡量人才的标准，而对于一名企业家而言——需要即人才。一个人学历再高，若企业不需要或不在企业的重要岗位上，对企业又有什么用呢？而一个熟练工人，即使没有大学文凭，但他对自己所干的工种了如指掌，又是企业十分需要的，为什么不能给予他高薪？

步入 21 世纪，Made in China 在世界上所占的比重越来越大，中国正逐渐成为“世界制造业中心”。就国内目前的人才需求而言，就业的结构性矛盾仍然突出，制造业的主力军——技师和高级技师的岗位大量空缺。车工、钳工、铣工、焊工、管工等工种在机械、五金、铸造业等领域均有良好的就业前景。

俗话说，一招鲜，吃遍天。学会一门技术，掌握一项专长，无论对于应聘打工还是开厂办店，都是必须具备的职业技能。无论你是刚刚进城，还是已经下岗，都不必担忧！只要愿意学习，相信自己，那么，天生我才必有用！

基于此，我们就城市中的热门职业，针对农村进城务工人员、就业与再就业人员、在职人员，组织了近百名专家、工程技术人员、技师、高级技师，依据劳动和社会保障部最新制定的《国家职业标准要求》，编写了配套的《职业技能教程》（初级），为技能培训提供了一把开启就业之门的金钥匙，搭建了一座高技能人才培养的阶梯。

本套教材作为全国中等职业技术学校规划教材，以学生就业为导向，以企业用人标准为依据，在专业知识的编排上，紧密联系培养目标的特征，坚持够用、实用的原则，摒弃“繁难编旧”的理论知识，以技能为主线，重在教会学员掌握必需的专业知识和技能。

书中的主要内容合理衔接、步步提升，为培养高技能人才搭建了科学的阶梯型培训架构；并配有相应的培训要点、复习思考题、试题与答案，以及便于自检自测的理论和技能模拟试卷，做到了理论与实践一体化，既方便企业培训、鉴定，又便于学员自学。

此外，为便于培训、鉴定、考工部门在有限的时间内把最需要的知识和技能传授给学员，同时也便于学员抓住重点，提高学习效率，我们对需要掌握的重点、难点、考点和知识鉴定点配上了旁白提示。

丛书的主要特点如下:

**编排科学:**理论与技能并重,讲解与实践同步,题库与答案配套;

**绝对权威:**由近百名专家、工程技术人员、技师、高级技师参与编写;

**实用面广:**可作为各类学校、培训班、企业培训部门、职业鉴定机构的教材;

**针对性强:**农村进城务工人员、就业与再就业人员、在职人员均可使用。

本套教材图文并茂、形象直观、文字叙述简明扼要、通俗易懂,并力求突出一个“新”字,努力做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”,可供初中以上文化水平的车工、一般机械加工技术人员阅读参考,同时,既可作为全国中等职业技术学校通用教材,也可作为再就业和农民工培训机构、职业高中、各种短训班的专业课教材。

**国家职业资格培训教材研究组**

**2006年8月**

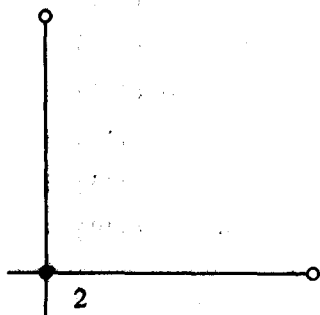


# 目 录

|            |                                    |              |
|------------|------------------------------------|--------------|
| <b>第一章</b> | <b>电工仪表、电工工具、登高工具和防护用具概况 .....</b> | <b>(1)</b>   |
| 第一节        | 常用电工测量仪表的名称、规格以及使用和维护 .....        | (1)          |
| 第二节        | 常用电工工具的名称、规格以及使用和维护 .....          | (17)         |
| 第三节        | 安装及登高工具的名称、规格以及使用和维护 .....         | (23)         |
| 第四节        | 防护用具的名称、规格以及使用和维护 .....            | (29)         |
| 第五节        | 内外线电工上岗必备知识 .....                  | (33)         |
|            | 思考与练习 .....                        | (37)         |
| <b>第二章</b> | <b>电工基础常识 .....</b>                | <b>(38)</b>  |
| 第一节        | 直流电路常识 .....                       | (38)         |
| 第二节        | 磁与电磁常识 .....                       | (44)         |
| 第三节        | 正弦交流电路常识 .....                     | (51)         |
|            | 思考与练习 .....                        | (57)         |
| <b>第三章</b> | <b>识图基本知识 .....</b>                | <b>(58)</b>  |
| 第一节        | 图形符号与术语 .....                      | (58)         |
| 第二节        | 电气图形符号及文字符号 .....                  | (69)         |
| 第三节        | 施工图纸说明书及设计图纸的规定 .....              | (71)         |
| 第四节        | 施工图 .....                          | (75)         |
| 第五节        | 二次回路文字标号 .....                     | (86)         |
|            | 思考与练习 .....                        | (87)         |
| <b>第四章</b> | <b>导线、线管和电工材料知识 .....</b>          | <b>(88)</b>  |
| 第一节        | 常用导线概况 .....                       | (88)         |
| 第二节        | 常用电工材料概况 .....                     | (93)         |
| 第三节        | 导线截面的选择和计算方法 .....                 | (97)         |
| 第四节        | 常用线管布线的基本知识 .....                  | (106)        |
|            | 思考与练习 .....                        | (110)        |
| <b>第五章</b> | <b>室内线路、架空线路和电缆线路 .....</b>        | <b>(111)</b> |
| 第一节        | 室内布线的基本知识 .....                    | (111)        |
| 第二节        | 高、低压架空线路的基本知识 .....                | (115)        |
| 第三节        | 电缆线路的基本知识 .....                    | (119)        |



|                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| 第四节 1KV 及以下电缆终端头和中间接头应注意的问题 ..... | (129)        |
| 思考与练习 .....                       | (132)        |
| <b>第六章 常用低压与高压电器以及照明电路 .....</b>  | <b>(133)</b> |
| 第一节 常用低压电器 .....                  | (133)        |
| 第二节 常用高压设备 .....                  | (150)        |
| 第三节 照明灯具类型及安装 .....               | (159)        |
| 思考与练习 .....                       | (165)        |
| <b>第七章 交流电动机的基本知识 .....</b>       | <b>(166)</b> |
| 第一节 交流异步电动机概述 .....               | (166)        |
| 第二节 交流异步电动机的运行维护和安装检修 .....       | (171)        |
| 思考与练习 .....                       | (187)        |
| <b>第八章 变配电所的基本知识 .....</b>        | <b>(188)</b> |
| 第一节 变压器的用途与工作原理 .....             | (188)        |
| 第二节 输配电及安全用电概述 .....              | (191)        |
| 第三节 变配电所的安全运行与维护及安全操作 .....       | (196)        |
| 第四节 触电急救和现场救护概述 .....             | (204)        |
| 思考与练习 .....                       | (209)        |
| <b>第九章 晶体管电路 .....</b>            | <b>(210)</b> |
| 第一节 常用半导体器件 .....                 | (210)        |
| 第二节 晶体管极性判别及参数测试 .....            | (215)        |
| 第三节 晶体管电路应用 .....                 | (219)        |
| 思考与练习 .....                       | (221)        |
| <b>综合测试题 .....</b>                | <b>(222)</b> |
| <b>电工国家职业标准(初级) .....</b>         | <b>(232)</b> |





# 第一章 电工仪表、电工工具、登高工具和防护用具概况

## 第一节 常用电工测量仪表的名称、规格以及使用和维护

内外线电工在工作时常常需要知道某些数据,而这些数据通常是用测量仪表来测量的。测量仪表在生产中有着非常重要的作用,本节我们要向读者介绍的就是电工测量仪表的一些知识。

常用电工测量仪表有指示仪表和数字仪表两大类。我们主要向读者介绍指示仪表。指示仪表是直接将测量转换为仪表的偏转角位移,并通过指示器在仪表分度尺上指示出被测量的数值,因此可以直接地读取被测量的大小。指示仪表具有结构简单、稳定可靠、成本低、使用维修方便等一系列优点,在工矿企业中被广泛使用。指示仪表不仅能直接测量电磁量,而且还可以与各种传感器相配合进行非电量(如温度、压力、流量等)的测量。

### 一、指示仪表的分类与选择

#### 1. 指示仪表的分类

(1)按仪表的结构形式和工作原理,分有磁电系、电磁系、电动系、感应系、整流系、热电系和电子系等。

磁电系仪表由于灵敏度高和准确度高,广泛用于直流电路中的电流和电压的测量,制作直流标准表。电磁系仪表的结构简单、过载能力强、稳定性好、成本较低,适用于交、直流两用表,广泛用于交流电路中的电流和电压的测量。电动系仪表除了可以做成交、直流两用表及准确度较高的电流表、电压表外,还可以做成功率表、频率表和相位表。感应系仪表广泛应用于交流功率表。静电系仪表可以直接测量几千伏甚至更高的电压,广泛用于高电压测量,亦可测量很低的电压,并能交、直流两用,主要缺点是准确度较低,灵敏度低,读数与外电场有关,分度尺不均匀等。

(2)按仪表工作电流的种类,分为交流仪表、直流仪表和交直流两用仪表。

(3)按仪表的准确度等级,将测量仪表分为0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0七级,各等级准确度反映仪表在规定条件下使用时的基本误差范围,如0.1级表示基本误差为 $\pm 0.1\%$ ,5.0级表示基本误差为 $\pm 0.5\%$ 。一般0.1级和0.2级的仪表用作标准仪表,0.5级至1.5级的仪表用于实验室测量,1.5级至5.0级的仪表用于工程测量。由于仪表制造工业的不断发展,目前已出现准确度为0.05级的指示仪表。

(4)按仪表对电场或外界磁场的防御能力,分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四级。Ⅰ级仪表在外磁场或外电场的影响下,允许其指示值改变 $\pm 0.5\%$ ;Ⅱ级仪表允许改变 $\pm 1\%$ ;Ⅲ级仪表允许改变 $\pm 2.5\%$ ;Ⅳ级仪表允许改变 $\pm 5\%$ 。



(5)按仪表使用方式,将测量仪表分为安装式和可便携式。安装式仪表又称为开关板式仪表,通常固定安装在某一电气装置的面板上或开关柜上,一般其误差较大,价格较低,但过载能力较强。可便携式仪表通常制成可携带形式,一般在实验室使用或室外携带使用,这种仪表一般误差较小,准确度较高,造价较高。

(6)按仪表使用条件分为 A、A<sub>1</sub>、B、B<sub>1</sub>、C 五组,各组的工作条件和最恶劣条件见表 1-1-1。

表 1-1-1 仪表使用条件分类组别

| 分类组别      |                | A 组           | A <sub>1</sub> 组 | B 组           | B <sub>1</sub> 组 | C 组           |
|-----------|----------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| 环境条件参数    |                |               |                  |               |                  |               |
| 工作条件      | 温度             | 0 ~ +40℃      |                  | -20 ~ +50℃    |                  | -40 ~ +60℃    |
|           | 相对湿度<br>(当时温度) | 95%<br>(+25℃) | 85%<br>(+25℃)    | 95%<br>(+25℃) | 85%<br>(+25℃)    | 95%<br>(+35℃) |
|           | 霉菌、昆虫          | 有             | 没有               | 有             | 没有               | 有             |
|           | 盐雾             | 没有            | 没有               |               | 没有               |               |
|           | 凝露             | 有             | 没有               | 有             | 没有               | 有             |
|           | 尘砂             | 有(轻微)         | 有(轻微)            | 有(轻微)         | 有(轻微)            | 有             |
| 最恶劣<br>条件 | 温度             | -40 ~ +60℃    |                  | -40 ~ +60℃    |                  | -50 ~ +60℃    |
|           | 相对湿度<br>(当时温度) | 95%<br>(+35℃) | 95%<br>(+30℃)    | 95%<br>(+35℃) | 95%<br>(+30℃)    | 95%<br>(+60℃) |
|           | 霉菌、昆虫          | 有             | 没有               | 有             | 没有               | 有             |
|           | 盐雾             | 有(在海运包装条件下)   |                  |               |                  | 有             |
|           | 凝露             | 有             | 没有               | 有             | 没有               | 有             |
|           | 尘砂             | 有(在包装条件下)     |                  |               |                  | 有             |

为了某些仪表能在特殊场所工作,又将仪表按外壳的防护性能分为普通式、防尘式、防溅式、防水式、水密式、气密式、隔爆式七种。其中普通式外壳能保护仪表和附件的测量机构或工作部分不受脏物与昆虫等的侵害及机械损伤;防尘式外壳能防止灰尘进入外壳内部;防溅式外壳能防止雨水溅入外壳内部;隔爆式外壳能防止仪表内部发生的爆炸扩展到壳外的空间去。

按耐受机械力作用的性能分为普通的和能耐受机械力作用的(包括防颤震的、耐颤震的、耐振动的和抗冲击的四组)两种。

## 2. 指示仪表的选择

选择仪表是在保证测量准确度的前提下,合理选择测量方法和测量线路。

(1)根据被测量是直流或交流来选用直流仪表或是交流仪表。交流仪表还分有是正弦波或非正弦波,若是正弦波电流(电压),只需测出其有效值就可换算出其他数值,可以选用任一种电流表(电压表)进行测量。如果是非正弦波电流(电压),应先分清是测量有效值、



平均值、瞬时值或是最大值。其中有效值可选用电动系或电磁系电流表(电压表)进行测量;平均值选用整流系仪表测量;瞬时值选用示波器观察或用照相方法从示波器上摄下波形,然后用图形分析法求出各点的瞬时值和最大值。测量最大值还可选用峰值表。

在测量交流电时,还应考虑被测量的频率,一般电磁系、电动系和感应系仪表应用频率范围较窄,除特殊设计的电动系仪表可用于中频,整流系万用表应用频率多在 45 ~ 1000Hz 范围内,如 MF10 型可达 5000Hz。若对被测量的频率要求更高,可选用静电系或电子系仪表。

(2) 根据实际要求来选择仪表的准确度等级。按实际要求,并保证测量结果的误差在容许范围内,来选用适当的准确度仪表。用准确度较低的仪表能满足测量要求时,一般就不要选用高准确度的仪表,因为仪表的准确度越高,价格越贵,维修越难。

通常作为精密测量或标准表用的仪表,使用准确度为 0.1 ~ 0.2 级的仪表;实验室测量用 0.5 ~ 1.5 级的仪表;工矿企业生产使用 1.0 ~ 5.0 级的仪表。

(3) 根据被测量的大小,选用相应量程的仪表,以充分利用仪表的准确度。如果选用量程比被测量数值大得多的仪表去测量较小量时,其测量误差将会很大,现以下列例题来说明。

**例 1-1-1** 测量 20V 的直流电压,如果选用准确度为 1.5 级、量程为 30V 的电压表,其测量结果的最大绝对误差为多少?

**解** 最大绝对误差为

$$\Delta m = \pm K\% \times A_m = \pm 1.5\% \times 30V = \pm 0.45V$$

测量 20V 电压时的相对误差

$$r = \frac{\pm 0.45}{20} = \pm 0.0225 = \pm 2.3\%$$

这种测量误差在一般情况下是容许的。

**例 1-1-2** 在上题中,如果选用准确度为 0.5 级、量程为 150V 的电压表,测量结果的最大绝对误差为多少?

**解** 最大绝对误差为

$$\Delta m = \pm K\% \times A_m = \pm 0.5\% \times 150V = \pm 0.75V$$

测量 20V 电压时的相对误差

$$r = \frac{\pm 0.75}{20} = \pm 0.0375 = \pm 3.8\%$$

用量程 150V 的 0.5 级电压表测量,其测量误差比用量程为 30V 的 1.5 级电压表大,这说明测量结果的准确程度,除与仪表准确度有关外,还与仪表的量程有关。

**例 1-1-3** 同上题,测量 5V 的电压,如果选用准确度为 0.5 级、量程为 150V 的电压表,其测量结果的相对误差为多少?

**解** 相对误差为

$$r = \frac{\pm 0.75}{5} = \pm 15\%$$

测量的结果,其相对误差更大,因此,在根据被测量的大小选择仪表适当量程的同时,一般应使被测量的大小,为仪表测量上限的 1/2 ~ 2/3 以上。

使用灵敏度较高的仪表时,要注意被测量的大小不能超过仪表的量程。因为灵敏度较



高的仪表,其量程一般比较小,如果被测量超过仪表量程太多时,可能会使仪表零件烧坏或变形等,所以在测量时必须严格照所用仪表容许通过的电压、电流和功率值来选用。

(4)根据测量线路和测量对象的阻抗大小来选择仪表类型。通常在选择仪表类型时,除要考虑被测量的性质外,还要注意测量线路和被测量对象阻抗的大小及其对测量结果的准确度影响,现以下例来说明。

例 1-1-4 如图 1-1-1 所示线路,已知电源电压为 180V,电阻  $R = R_0 = 2000\Omega$ ,当需要测量电阻  $R$  两端的电压时,应选择什么类型的电压表?

解 在电压表未接上之前,电阻  $R$  上的电压为 90V。

如果选用电动系电压表,其内阻  $r_v = 2000\Omega$ ,量程为 100V,并联接到电阻  $R$  两端去测量电压,相当于在尺两端并

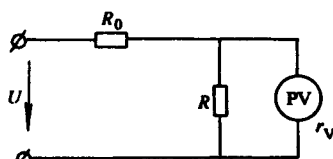


图 1-1-1 电压表内阻的影响

联一个电阻  $r_v$ ,两者的等值电阻为  $\frac{Rr_v}{R+r_v} = 1000\Omega$ ,在电压表

并联上后,电阻  $R$  两端的电压为  $U/3 = 60V$ ,这与原有电路中两端的实际电压 90V 相差很大。

如果改选用电阻为  $200k\Omega$ 、量程为 100V 的整流系电压表进行测量,这时电阻  $R$  两端的电压为 89.55V,与原来的 90V 仅相差 0.45V,相对误差只有原来 90V 的 0.5%。

由此可看出电压表内阻越大越好,一般当电压表内阻  $r_v \geq 100R$  时( $R$  为与电压表并联的被测对象的总电阻),就可以忽略电压表内阻的影响。

电压表内阻的大小,决定了仪表测量机构(表头)灵敏度的高低。一般磁电系仪表灵敏度最高可达  $100k\Omega/V$ ,整流系仪表一般可达  $2000\Omega/V \sim 20k\Omega/V$  左右,电子系电压表可达几兆欧每伏。

从仪表本身消耗来看,测量机构灵敏度越高,消耗功率越少。因为当测量同一电压时,电压表的内阻  $r_v$  越大,电压表消耗的功率  $P_v = \frac{U^2}{r_v}$  越小。

电流表在测量时是串联接入被测电路,如图 1-1-2 所示,对其分析与电压表相似。为使电流表接入电路不过多影响原电路的工作情况,要求电流表的内阻越小越好。一般当电流表内阻

$r_A \leq \frac{R}{100}$  ( $R$  为与电流表串联的总电阻)时,就可以忽略电流表内阻

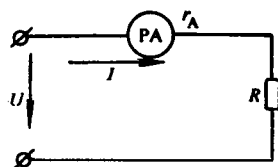


图 1-1-2 电流表的接法

的影响。因为当测量同一电流时,电流表内阻  $r_A$  越小,电流表消耗的功率  $P_A = I^2 r_A$  也越小。

(5)根据仪表使用场所和工作条件进行选择。仪表是在实验室使用,还是安装在开关柜上,受外界磁场影响有多大,测量过程中是否会有过载情况等等,应根据这些方面的情况综合考虑选择哪一种形式的仪表。另外,还要考虑仪表的特殊使用条件(如是否耐盐雾影响等),在订货时向制造厂提出。总之,在仪表选择中,不要盲目追求仪表某一个指标(准确度高或灵敏度高),要从实用出发,要有经济观点,凡是用一般设备能达到测量要求的,就不要用精密设备来测量。例如修理收音机时,由于电路工作频率较高,负载电阻较大,所以可以选用频率范围比较宽、内阻高的整流系万用表。在这种情况下,虽然万用表一般准确度较低,但其测量结果可以满足需要,对准确度来说它不是首要考虑的因素。



## 二、电压表知识

电压表分为直流电压表和交流电压表两种。

### 1. 直流电压表

直流电压表由磁电式仪表的表头串联一个倍压器(高阻值电阻)构成。用于测量直流电压。为磁电系。使用前先选择好电压表的量程,接线时将电压表并联在被测电压的两端,按电压表端钮上的“+”“-”极性标记进行接线。

如果选择不同数值的附加电阻和电压表串联,就可以制成不同量程的电压表。实践证明,若将磁电系电压表量程扩大  $m$  倍,需串联的附加电阻  $R_{\text{fj}}$  的值为电压表电阻  $R_0$  的  $(m-1)$  倍。用公式表示为

$$R_{\text{fj}} = (m-1)R_0$$

**例 1-1-5** 一个磁电系电压表内阻  $R_0 = 200\Omega$ , 满标度偏转电流  $I_0 = 500\mu\text{A}$ 。要制成 50V 量程的电压表,问应串联附加电阻  $R_{\text{fj}}$  为多少欧。

**解** 已知电压表满标度偏转时两端电压  $U_0$ 。

$$U_0 = I_0 R_0 = 500 \times 10^{-6} \times 200\text{V} = 0.1\text{V}$$

扩大量程  $m$  倍

$$m = 50/0.1 = 500$$

故

$$R_{\text{fj}} = (m-1)R_0 = (500-1) \times 200\Omega = 99800\Omega = 99.8\text{k}\Omega$$

要使电压表能够测量 50V 的电压,必须串联一个  $99.8\text{k}\Omega$  的附加电阻。

如果按要求串联几个不同阻值的附加电阻,则可以制成多量程的电压表,其内部接线如图 1-1-3 所示。

附加电阻有外附(独立部件)和内附(装在各仪表内部)两种。外附的附加电阻有专用和定值两种。根据国标规定,附加电阻器的额定电流规定有: 0.05mA、0.1mA、0.2mA、0.5mA、1.0mA、5.0mA、7.5mA、15mA、30mA 和 60mA。

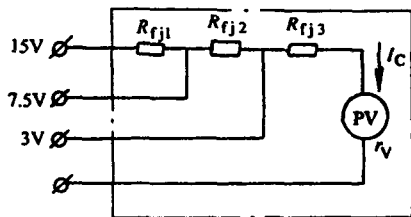


图 1-1-3 多量程电压表测量线路

附加电阻除可扩大电压量程外,还保证有足够的温度补偿作用,使电压表的温度附加误差降低到允许的数值范围内。

### 2. 交流电压表

交流电压表由电磁式仪表构成。为电磁系。准确度可达 0.1~0.5 级,电压测量范围通常为 1~1000V,使用频率可达 1000Hz 左右。

电磁系电压表中的固定线圈是用绝缘导线绕制而成,与磁电系电压表一样,线圈串联附加电阻。电磁系电压表的附加电阻不能太大,通常其内阻约几十欧每伏,与磁电系电压表的内阻相比要小得多,这是因为要保证足够安匝来建立工作所必需的空间磁场。

交直流电压表常采用电动系类型。电动系电压表中定圈和动圈与附加电阻是相互串联的,如图 1-1-4a 所示。如果串联不同数值的附加电阻,就得到多量程的电压表。

电动系电压表能适应较宽频率范围的测量,一般采用在附加电阻的一部分上并联一个电容器,来补偿由于频率变化所造成的误差,其准确度高,适用于实验室作交直流两用仪表



或作交流标准表用,还可以在非正弦交流电路中使用。

在测量高电压时,一般采用电压互感器来扩大量程,如图 1-1-4b 所示。使用电压互感器时必须注意,电压互感器的一次和二次绕组都应接熔断器,二次绕组在测量和运行中不允许短路,二次绕组的一端和外壳(铁心)要可靠接地。接线时应在电路断电情况下进行,不允许误把电压表串联在被测电路中使用。

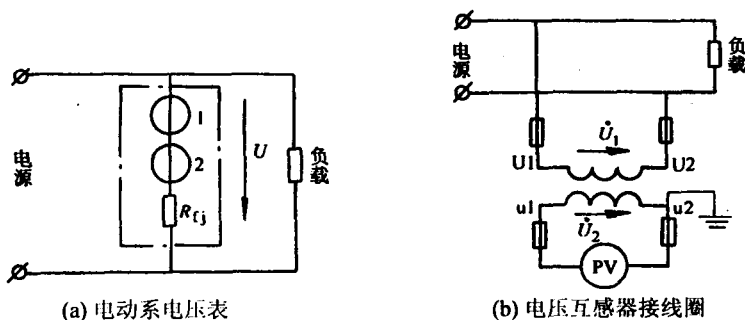


图 1-1-4

### 三、电流表知识

电流表通常是指测较大电流的安培表,分为直流电流表和交流电流表两种。

#### 1. 直流电流表

直流电流表常采用磁电系仪表表头,使用时必须和负载串联。电流从电流表的“+”极性端流入,“-”极性端流出。

由于磁电系电流表只能容许通过几十微安至几十毫安的电流,如果要测量较大电流,常采用分流器来扩大量程。如图 1-1-5a 所示。图中  $r_A$  为电流表内阻,将电流表量程扩大几倍,所需并联的分流电阻为  $R_n$ ,用公式表示为

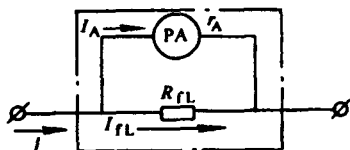
$$R_n = \frac{r_A}{n-1}$$

例 1-1-6 有一磁电系电流表的满标度偏转电流  $I_c = 400 \mu A$ , 表内阻  $r_A = 200 \Omega$ , 现要把它扩大成量程为 1A 的电流表, 问应并联多大的分流电阻。

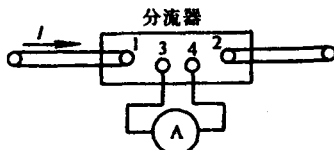
解 (1) 确定扩大电流量程的倍数  $n$

$$1A = 1000000 \mu A$$

$$n = 1000000 / 400 = 2500$$



(a) 电流表的分流图



(b) 外附分流器的接法

图 1-1-5

(2) 求分流电阻值

$$R_n = \frac{200}{2500-1} \Omega \approx 0.08 \Omega$$



要把这个磁电系电流表改为 1A 的电流表,必须并联一个  $0.08\Omega$  的分流电阻。

通常采用不同电阻值的分流电阻,制成多量程的电流表,一般对电路中的每个量程,在仪表外壳上都有一个对应的接线柱。由于没有转换开关,接触电阻不会影响仪表的误差,也不会使电流表过载。

当被测电流很大时,分流电阻发热很严重,以致影响电流表的正常工作,将分流电阻做成外附分流器,如图 1-1-5b 所示。外附分流器有一对粗的电流端钮(1、2)串联接入被测电流的电路中,有一对细电位端钮(3、4)和电流表相联,分流器上一般不标明电阻值,而标注额定电流和额定电压值,根据国标规定,定值分流器电位端钮间的额定电压,在额定电流下规定为 30mV、45mV、75mV、100mV、150mV 和 300mV。当电流量程与电流表内阻  $r_A$  的乘积等于这个额定电压时,和分流器联接后,它的电流量程就等于分流器的额定电流。

例如有一只 100A 磁电系直流电流表,表头是 100A 满标度,注明需配 100A、75mV 的分流器,就是说这个表当配用 100A、75mV 的分流器时,其量程是 100A。如果将它配上 300A、75mV 的分流器,则它的量程应为 300A。这时电流表指示的数值应乘 3,才是所测的实际电流值。

直流电流表接线时,应在电路断电下进行。不允许将直流电流表使用在交流电路上。

## 2. 交流电流表

交流电流表常由电磁式仪表表头构成。为电磁系。由于电磁系电流表的可动部分是铁心,故测量时只需将固定线圈直接串联在被测电路中,其准确度可达 0.1~0.5 级,电流测量范围通常为  $10^{-3} \sim 100A$ ,使用频率可达 1000Hz 左右。

要制成不同量程的电流表,只要改变固定线圈匝数和线路。通常高量程的电磁系电流表只适宜制成 200A 左右,如果需要更大电流时,可以通过与电流互感器配合使用来扩大量程。使用电流互感器时必须注意,电流互感器的二次绕组一端要与铁心(外壳)可靠接地,二次回路绝对不允许开路,也不能加装熔断器,安装接线时要注意一次和二次侧极性不能接错,准确度等级须符合使用要求,对高压电流互感器的测量级必须联接电流表,不允许把电流表接在保护级的绕组上去。

便携式电流表,一般制成多量程,通常采用将固定绕组分段,利用两个或几个绕组的串、并联来改变电流的量程。图 1-1-6 是双量程电流表改变量程的示意图,其固定绕组由 W1 和 W2 两个匝数相等、导线截面一样的绕组组成,当用金属片 L 将 A、D 两个端钮联接时,两个绕组串联电流量程为  $I_m$  (如图 1-1-6a)。当用两个金属片 L 分别联接 A、B 和 C、D 端钮时(如图 1-1-6b),这时绕组 W1 和 W2 变换为并联,每个绕组中通过的电流均为  $I_m$ ,进入电流表的总电流为  $2I_m$ ,这时仪表量程扩大一倍。这种仪表可以共用同一标度尺,在电磁系交流电流表中也可以用插塞换或转换开关来改变电流量程。

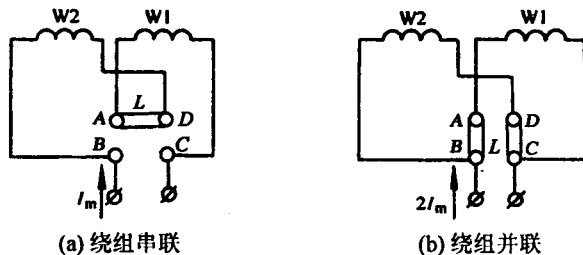


图 1-1-6 双量程电流表改变量程示意图



交直流两用电流表,常采用电动系类型。电动系电流表是用固定绕组来产生磁场,因此可以通过直流电和交流电,而且准确度可达0.1~0.05级,适合实验室使用或作交流标准表用,还可以作非正弦交流电路使用。

电动系电流表是由定圈1和动圈2直接串联起来接入电路中,如图1-1-7所示。由于被测电流要通过游丝和动圈,因此只能用来测量0.5A以下的电流,如果要测量较大的电流,通常是将动圈和定圈并联,或用分流电阻将动圈分流,常制成两个量程的规格。

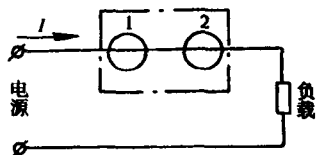


图1-1-7 电动系电流表

1—定圈 2—动圈

电动系电流表的内部线路,常采用接入电阻的方法来进行温度补偿,另外为了使电流表可以工作在较宽的频率范围,接入电抗元件X与动圈匹配,以实现频率补偿,还可采用电容C作为补偿动圈电感引起的频率误差。

#### 四、钳形电流表知识

钳形电流表又称卡表。其优点是不断开电路,在被测电路照常运行的情况下,就能方便的测量电路电流而不影响电路正常运行。常用的有交流钳形电流表和交直流两用钳形电流表两种。新型钳形电流表采用数字液晶显示。常用钳型表的结构如图1-1-8所示。一般交流钳形电流表量程为0~600A,最大可到1000A并兼有测量0~300~600V的电压量程。

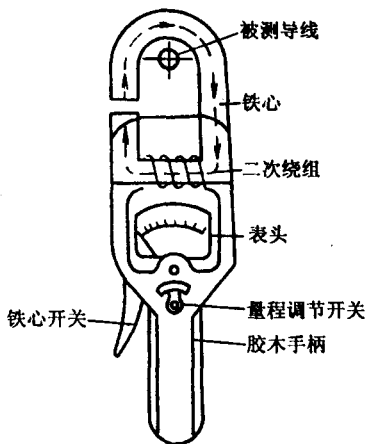


图1-1-8 钳型表

使用时,仪表的电压等级应与所测线路或设备的电压等级相符合,设置量程挡应大于等于被测电流值,测量前应先估计被测电流或电压的大小,或是先用较大量程,然后再视被测电流、电压的大小变换量程,切换量程必须先将钳口

打开,无电时进行,不允许带电切换量程,测量时被测载流导线应放在钳口中央,钳口接口应紧闭,如有杂声可将钳口重新开、合一次,若声音依然存在,应检查钳口接合面是否有污垢存在,若有可用砂纸、细布或汽油擦洗干净。

在使用钳形电流表时候,要与带电部位保持足够距离,380V及以下的线路和设备应保持0.3m以上的距离,操作人员要穿戴整齐,戴好绝缘手套,测量时要有人监护。不允许用钳形电流表在绝缘不良或无绝缘的裸露电线上测量,不准套在三相刀开关或熔断器内测量使用。

测量后,应把调整量程的切换开关放在最大电流量程的位置上,防止下次使用时疏忽未经选择量程就进行测量而把仪表损坏。

#### 五、万用表知识

万用表又称繁用表或多用表。一般的万用表可以用来测量直流电压、直流电流、交流电压、交流电流、电阻和音频电平电容、电感及晶体管的某些参数等。此外,晶体管万用表有着更高的灵敏度;数字万用表除可以测量电流、电压、电阻外,还能测量频率、周期、时间间隔、晶体管参数和温度等。目前已出现有带微处理器的智能数字万用表,它具有程控操作、自动



校准、自检故障、数据变换和处理等一系列功能,并得到越来越广泛的应用。由于普通万用表目前还在广泛使用,因此仍着重介绍普通万用表的使用方法。

### 1. 选择接线柱或插孔

在用万用表进行测量前,先检查测试棒的联接位置。红色测试棒的联接线接红色端钮或插入标有“+”的插孔内,黑色测试棒的联接线接黑色端钮或插入标有“-”的插孔内,测量直流电压时,仪表并联接入,测量直流电流时,仪表串联接入。在测直流时,红色测试棒接被测部分的正极,黑色测试棒接被测部分的负极。如果不知道被测部分的正负极性,可以先将转换开关置于直流电压最大量程挡上,然后将一测试棒接于被测部分的任何一极上,再将另一测试棒在另一极上轻轻地一触,立即拿开,观察指针的偏向。如果指针往正方向偏转,则红色测试棒接触的为“+”极,另一极为“-”极;如果指针往反方向偏转,则红色测试棒接触的为“-”极,另一极为“+”极。

### 2. 选择种类和量程

根据要测量对象,在使用前将种类选择转换开关旋至对应被测量所需的种类。对面板上有两个旋钮的万用表,有一个是种类选择旋钮,另一个是量程变换旋钮。使用时,应先将种类选择旋钮旋到对应被测量所需的种类,例如需要测量交流电压,应将转换开关旋至有“V”的区间,然后再将量程变换旋钮旋至相应的种类和适当的量程。

在进行种类旋钮选择时,要认真仔细核对。例如测量电压时,如果误把旋钮选为测量电阻,进行测量时可能把表头损坏甚至烧毁。

量程选择要根据被测量的大致范围,把转换开关旋到该种类区间的适当量程上,例如测量 380V 交流电压,就应选用“V”区间的 500V 量程挡。

在测量电压或电流时,最好使指针指示在满标度的  $1/2$  或  $2/3$  以上,这样测量结果较准确。如果被测量的范围预先不知道,在测量时应将转换开关旋至该区间的最大量程挡进行测试,若读数太小,再逐步减小量程。

在电子电路中测量电压时,应选择高电压量程挡测量,因为如果用低电压量程挡测量时,仪表内阻带来的影响会较大。

### 3. 测量的读数要正确

万用表的标度盘上有很多条标度尺供测量各种不同的被测对象时使用,测量时要在相应的标度尺上去读数,例如测量直流时应用标有“DC”或“-”的标度尺去读数。标有“ $\Omega$ ”的标度尺是测量电阻用的。

### 4. 正确使用欧姆挡来测量电阻。

(1)在测量电阻之前,应先旋动调零旋钮调零,以保证测量准确(即先将两只测试棒碰在一起,旋动“调零”旋钮,使指针指在“ $\Omega$ ”标度尺的零位上)。在每换一次欧姆挡测量电阻前,都要调零,如果旋动调零旋钮,指针无法达到零位,这说明仪表干电池电压太低,需要更换新电池。

(2)测量电阻时,要选择好适当的倍率挡,使指针的指示愈接近中心点,读数愈为准确。例如测量一只  $100\Omega$  左右的电阻,如果选用“ $R \times 1\Omega$ ”挡来测量,由于指针靠近高阻值的一端分度尺的分格很密,在读数时只要差一点点阻值就会差很多,因此应选用“ $R \times 10\Omega$ ”挡来测量比较合适。

(3)进行电阻测量时必须先断开被测电路的电源。不准带电进行测量。带电测量不仅



其测量的结果无效,还可能烧坏表头。

不准用欧姆挡去直接测量微安表、检流计、标准电池等类的仪表、仪器。

在使用欧姆挡测量的间歇中,不要让两根测试棒相碰(短接),以免浪费仪表内干电池的电能。

(4)被测对象不能有并联支路。如果被测对象有并联支路存在,测得的电阻值将不是被测电阻的真实阻值,而是某一等效电阻值。例如用欧姆挡去测量图 1-1-9 中的  $R_x$  时,若直接把表的测试棒触在  $R_x$  的两端,如图中 A、B 两点,这时表的读数不是  $R_x$  值的大小,而是  $R_1$  和  $R_2$  串联后再与  $R_x$  并联的等效电阻值。所以,在测量电路中的某一电阻值时,如果不能肯定是否有其他并联支路存在,应将被测电阻的一端焊下来后,再进行测量。

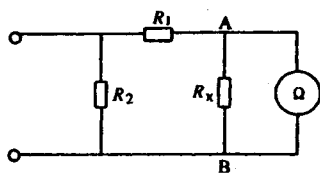


图 1-1-9 被测电阻有并联支路的情况

(5)测量晶体管参数(如反向漏电流和判断管子的放大倍数等)时,要用低压高倍率挡( $R \times 100\Omega$ ,或 $R \times 1k\Omega$ ),因为晶体管所能承受的电压较低且容许通过的电流较小,选择表的电池电压低的高倍率挡进行测量不会损坏管子。一般欧姆挡的高倍率是高压(约十几伏到几十伏),而低倍率挡的电流较大,如 $R \times 1\Omega$ 挡的电流可达 $100\text{mA}$ 左右, $R \times 10\Omega$ 挡的电流也可达 $10\text{mA}$ 左右,所以,这些挡都不能用来测量晶体管参数。

(6)用电阻挡测量判别仪表的正负接线端或整流元件的正、反方向时,要注意万用表的“+”接线柱(或插孔)是接表内干电池的负极,电流是从“-”接线柱流出经外接元件然后回到“+”接线柱。否则容易发生错误。

测量直流电压叠加交流信号时,应考虑仪表转换开关的最高耐压值,如果交流信号是矩形波或脉冲波,则会因电压幅度太大,使转换开关印制板片间绝缘击穿。

(7)使用万用表测量时,注意手不要接触测试棒的金属部分,以保证人身安全和测量的准确度。在测试较高电压(如 $200\text{V}$ )和较大电流(如 $0.5\text{A}$ 直流电流)时,不能带电转动开关旋钮。带电转换开关,会在开关触头上产生电弧,严重的会使开关烧毁。因为高压、大电流功率较大。如按上例计算,其功率为 $P = UI = 200 \times 0.5\text{W} = 100\text{W}$ ,这样大的功率,万用表的开关是承受不了的。

(8)每次万用表测量后,应将转换开关旋至交流最高电压挡。防止在下次测量时,忘看转换开关的位置,就用表去测量电压,很容易把万用表烧坏。另一方面还可以防止转换开关放在欧姆挡时,经常发生测试棒短路的弊病。

## 六、绝缘电阻表介绍

绝缘电阻表又称兆欧表,是一种专门用来测定电机、电气设备及线路绝缘电阻的便携式仪表。有手摇发电机式和晶体管式两种。由于手摇直流发电机和磁电系比率表组成的绝缘电阻表现在还在广泛使用,我们选常用磁电系发电机式绝缘电阻表进行介绍。

磁电系绝缘电阻表俗称摇表,按发出电压的高低分为 $250\text{V}$ 、 $500\text{V}$ 、 $1000\text{V}$ 、 $2500\text{V}$ 等多种。 $5000\text{V}$ 绝缘电阻表一般采用晶体管式。按绝缘电阻的测量范围划分有 $100\text{M}\Omega$ 、 $500\text{M}\Omega$ 、 $1000\text{M}\Omega$ 、 $2000\text{M}\Omega$ 、 $3000\text{M}\Omega$ 、 $10000\text{M}\Omega$ 等多种。