



高职高专“十一五”规划教材

WEIXIU DIANGONG SHIXUN  
**维修电工实训**

朱应煌 主编 汤皎平 主审



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 维修电工实训

朱应煌 主编

汤皎平 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书主要以维修电工中级工基本技能要求为依据,内容分为五篇:常用电工电子仪器仪表使用与维护;继电-接触式控制线路(系统)设计、安装与调试;电子线路安装与调试;常见电气线路故障检修以及电动机基本操作。

本书的特点是,融针对性及基础性与综合性于一体,重点突出维修电工操作技能训练基本内容、过程和要求,注重动手能力的培养,编写内容安排了相应的工艺基础知识及一些相关基本理论知识,注重知识与技能的有机结合,符合技能课教学特点,适应实践教学改革发展方向。

本书适用于高职、高专电工技术类相关专业维修电工中级工操作技能培训及电工电子实训教学,也可作为企事业单位职工、中职学生维修电工中级工操作技能鉴定考核前强化培训教材。

维修电工实训

朱应煌主编

化学工业出版社

#### 图书在版编目(CIP)数据

维修电工实训/朱应煌主编. —北京:化学工业出版社, 2008.5

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-02761-0

I. 维… II. 朱… III. 电工-维修-高等学校:技术学院-教材 IV. TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 063170 号

---

责任编辑:王金生 高 钰

装帧设计:韩 飞

责任校对:洪雅姝

---

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:北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数274千字 2008年7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:20.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书共 5 篇 16 章，内容包括：常用电工电子仪器仪表使用与维护；继电-接触式控制线路（系统）设计、安装与调试；电子线路安装与调试；常见电气线路故障检修以及电动机基本操作。

编写时，以项目基本知识点、技能点为切入点，力求结构合理、层次清晰，按项目类型和性质划分章节；以相关基本理论知识、工艺基础知识、操作技能训练具体内容和要求构建章节；操作技能训练内容的表述按课题工作内容、过程和要求相应展开，强调操作步骤与工艺要点，强调训练过程和要求与鉴定考核相一致，做到实际、具体，突出“指导”作用，不仅帮助学生（学员）提高对操作技能鉴定考核内容和要求的认识，更为其实际操作训练起到直接的指导作用，使学生（学员）通过较短时间的强化训练，达到鉴定考核要求。

编写中，力求突出高职实践教学特点，并努力把教学实践经验融入教材编写中来，以“简明、够用、针对、实用”为原则，正确处理理论知识、操作技能及素质的关系，将知识、技术、工艺、方法、素质有机结合。编写内容与教学实训相衔接，有代表性、针对性的练习，有综合性较强的项目，也有基础性的项目、课题，每个项目附有鉴定要素与考核要求、具体考核评分标准和鉴定考核模拟试卷等，符合技能培训教学特点与考核体系，适应实践教学改革要求，操作性强，教、学使用方便。

本书由浙江机电职业技术学院朱应煌主编，丁洪亮老师参加了电子技术中部分内容的编写工作，教研室其他教师以及兄弟院校同行提出了许多宝贵的意见，由汤皎平（高工）及金文兵（教授级高工）审稿，在此一并致谢。

由于编者水平有限，同时时间较为仓促，难免存在一些缺点和不足，敬请读者批评指正。

编者

2008 年 5 月

# 目 录

## 第1篇 常用电工电子仪器仪表使用与维护

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第1章 基本知识 .....           | 1  |
| 1.1 万用表 .....            | 1  |
| 1.2 兆欧表 .....            | 2  |
| 1.3 钳形电流表 .....          | 4  |
| 1.4 直流单臂电桥 .....         | 4  |
| 1.5 直流双臂电桥 .....         | 5  |
| 1.6 转速表 .....            | 5  |
| 1.7 接地电阻测量仪 .....        | 5  |
| 1.8 功率表 .....            | 6  |
| 1.9 直流电源 .....           | 10 |
| 1.10 信号发生器 .....         | 11 |
| 1.11 示波器 .....           | 13 |
| 1.12 仪器、仪表的一般维护保养 .....  | 17 |
| 第2章 操作技能训练 .....         | 18 |
| 课题一 直流单、双臂电桥的使用与维护 ..... | 18 |
| 课题二 功率表的选择、使用及维护 .....   | 21 |
| 课题三 接地电阻测量仪的使用与维护 .....  | 26 |
| 课题四 示波器的使用与维护 .....      | 27 |
| 其他训练课题 .....             | 28 |

## 第2篇 继电-接触式控制线路（系统）设计、安装与调试

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第3章 继电-接触式控制及常用低压电器基本知识 .....   | 29 |
| 3.1 低压开关 .....                  | 29 |
| 3.2 主令电器 .....                  | 32 |
| 3.3 熔断器 .....                   | 35 |
| 3.4 接触器 .....                   | 37 |
| 3.5 继电器 .....                   | 38 |
| 3.6 电磁铁 .....                   | 44 |
| 第4章 继电-接触式控制线路（系统）安装与调试工艺 ..... | 46 |
| 4.1 控制线路安装 .....                | 46 |
| 4.2 控制线路调试 .....                | 48 |
| 第5章 继电-接触式控制线路（系统）设计工艺 .....    | 51 |
| 5.1 电力拖动方案确定与拖动电动机选择 .....      | 51 |
| 5.2 继电-接触式控制系统设计的一般要求 .....     | 52 |

|            |                                                  |           |
|------------|--------------------------------------------------|-----------|
| 5.3        | 电气控制电路图的设计 .....                                 | 54        |
| 5.4        | 绘制与识读电气图的原则 .....                                | 55        |
| 5.5        | 控制电器的选择 .....                                    | 57        |
| <b>第6章</b> | <b>操作技能训练 .....</b>                              | <b>59</b> |
| 课题一        | 如图 6-1 所示电动机双重联锁正反转控制线路的安装与调试 .....              | 59        |
| 课题二        | 如图 6-3 所示三相异步电动机Y- $\Delta$ 降压启动控制线路的安装与调试 ..... | 61        |
| 课题三        | 如图 6-4 所示三相异步电动机双重联锁正反转启动能耗制动控制线路安装与调试 .....     | 62        |
| 课题四        | 如图 6-5 所示双速交流异步电动机自动变速控制线路的安装与调试 .....           | 64        |
| 课题五        | 如图 6-7 所示 M7120 型平面磨床电气控制线路的安装与调试 .....          | 65        |
| 课题六        | 继电-接触式控制线路的设计及安装、调试 (一) .....                    | 68        |
| 课题七        | 继电-接触式控制线路的设计及安装、调试 (二) .....                    | 70        |

### 第3篇 电子线路安装与调试

|            |                                   |           |
|------------|-----------------------------------|-----------|
| <b>第7章</b> | <b>电子线路安装与调试工艺 .....</b>          | <b>80</b> |
| 7.1        | 电子分立元件的插焊工艺 .....                 | 80        |
| 7.2        | 调试方法和步骤 .....                     | 81        |
| <b>第8章</b> | <b>操作技能训练 .....</b>               | <b>83</b> |
| 课题一        | 安装与调试如图 8-1 所示串联型可调直流稳压电源电路 ..... | 83        |
| 课题二        | 安装与调试如图 8-3 所示晶闸管调光电路 .....       | 86        |
| 课题三        | 安装与调试如图 8-7 所示分立元件多谐振荡电路 .....    | 89        |
| 课题四        | 安装与调试如图 8-8 所示功率放大电路 .....        | 91        |
| 课题五        | 安装与调试如图 8-9 所示晶闸管调压电路 .....       | 93        |
| 课题六        | 安装与调试如图 8-10 所示延时定时器电路 .....      | 94        |

### 第4篇 常见电气线路故障检修

|             |                                                  |            |
|-------------|--------------------------------------------------|------------|
| <b>第9章</b>  | <b>低压电器常见故障及维修工艺 .....</b>                       | <b>97</b>  |
| 9.1         | 零部件常见故障及维修 .....                                 | 97         |
| 9.2         | 常用电器的故障及维修 .....                                 | 99         |
| <b>第10章</b> | <b>机床电气控制线路故障检修工艺 .....</b>                      | <b>101</b> |
| 10.1        | 机床电气设备的维护和保养 .....                               | 101        |
| 10.2        | 机床电气设备的故障与维修 .....                               | 101        |
| <b>第11章</b> | <b>电子线路故障分析与排除工艺 .....</b>                       | <b>104</b> |
| 11.1        | 引起故障的原因 .....                                    | 104        |
| 11.2        | 检查和诊断的基本方法 .....                                 | 104        |
| <b>第12章</b> | <b>操作技能训练 .....</b>                              | <b>107</b> |
| 课题一         | 进行如图 6-4 所示三相异步电动机双重联锁正反转启动能耗制动控制电路故障检修 .....    | 107        |
| 课题二         | 进行如图 12-1 所示并励直流电动机电枢回路串电阻二级启动能耗制动控制电路故障检修 ..... | 108        |
| 课题三         | 进行如图 12-2 所示 Z3040 摇臂钻床电气控制线路故障检修 .....          | 109        |

|     |                                            |     |
|-----|--------------------------------------------|-----|
| 课题四 | 进行如图 6-7 所示 M7120 平面磨床电气控制线路故障检修 .....     | 113 |
| 课题五 | 进行如图 12-3 所示 XA6132 卧式万能铣床电气控制线路故障检修 ..... | 116 |
| 课题六 | 进行如图 12-4 所示 T68 卧式镗床电气控制线路故障检修 .....      | 122 |
| 课题七 | 进行 20/5t 桥式起重机电气控制线路故障检修 .....             | 126 |
| 课题八 | 进行如图 12-5 所示晶体管稳压电源电路故障检修 .....            | 129 |
| 课题九 | 进行如图 12-6 所示单相半控直流调速电路故障检修 .....           | 130 |
| 课题十 | 进行如图 12-7 所示步进电动机转速控制电路故障检修 .....          | 131 |

## 第 5 篇 电动机基本操作

|        |                               |     |
|--------|-------------------------------|-----|
| 第 13 章 | 电动机基本知识 .....                 | 134 |
| 13.1   | 笼式电动机的结构 .....                | 134 |
| 13.2   | 笼式电动机的铭牌 .....                | 135 |
| 第 14 章 | 三相异步电动机安装及调试工艺 .....          | 137 |
| 14.1   | 电动机的安装 .....                  | 137 |
| 14.2   | 电动机的接线 .....                  | 138 |
| 14.3   | 电动机安装接线后的检查和调试 .....          | 138 |
| 第 15 章 | 三相异步电动机拆装及一般试验工艺 .....        | 139 |
| 15.1   | 三相异步电动机的拆卸和装配 .....           | 139 |
| 15.2   | 三相异步电动机常见故障的判断、检修及一般试验 .....  | 140 |
| 第 16 章 | 电动机基本操作技能训练 .....             | 142 |
| 课题一    | 进行三相异步电动机基本检测 .....           | 142 |
| 课题二    | 进行三相异步电动机的拆装及一般调试 .....       | 143 |
| 课题三    | 进行三相异步电动机的安装及试验 .....         | 146 |
| 附录一    | 职业技能鉴定维修电工中级操作技能考核模拟试卷 .....  | 148 |
| 附录二    | 中级维修电工操作技能鉴定要素与考核要求（部分） ..... | 168 |
| 附录三    | 电工电子实训安全制度 .....              | 170 |
| 参考文献   | .....                         | 171 |

# 第 1 篇 常用电工电子仪器 仪表使用与维护

## 第 1 章 基本知识

### 1.1 万用表

#### 1.1.1 万用表基本应用

(1) 用途 万用表是一种可以测量多种电量的多量程便携式仪表。它可用来测量直流电压、直流电流、交流电压、直流电阻等。有的万用表还能测交流电流、电容、电感及晶体三极管的  $h_{FE}$  值等。

(2) 构成 万用表一般由测量机构（表头）、测量线路、功能及量程转换开关三个基本部分组成。

#### (3) 注意事项

① 应仔细检查转换开关位置，即功能和量程选择是否正确，若误用电流挡或电阻挡测量电压，会造成万用表的损坏。

② 万用表在测试时，不能旋转转换开关。需要旋转转换开关时，应先让表棒离开被测电路，以保证转换开关的接触性能。

③ 进行电阻的测量，测量前应首先进行欧姆调零（每次换挡后都应重新调零）。同时严禁在被测电阻带电的状态下进行电阻的测量。

④ 为提高测量精度，测量电阻时倍率的选择应使被测电阻接近该挡的欧姆中心值（使用电阻挡测电阻，仪表内阻等于欧姆中心值，欧姆中心值附近读数最准确）。电压、电流的量限选择，应使仪表指针得到较大的偏转。

⑤ 仪表每次用完后，将转换开关旋至空挡或交流电压最大挡。

另外，使用时，万用表应水平放置，不得受震动、受热和受潮。使用前注意检查是否需机械调零，是否需更换电池。如果万用表长期不用，应将电池取出。

#### 1.1.2 DT-830 型数字万用表使用方法

(1) 直流电压的测量 将量程开关有黑线的一端拨至“DCV”范围内的适当量程挡，黑笔插入“COM”插口（以下各种测量都相同），红笔插入“V· $\Omega$ ”插口，将电源开关拨至“ON”，表笔接触测量点以后，显示屏上便出现测量值。量程开关置于 $\times 200\text{m}$ 挡，显示值以“mV”为单位，其余四挡以“V”为单位。

(2) 交流电压的测量 将量程开关拨至“ACV”范围内适当量程挡，表笔接法同上，其测量方法与测直流电压相同。

(3) 直流电流的测量 将量程开关拨至“DCA”范围内的适当量程挡，当被测电流小

于 200mA 时,红表笔应插入“mA”插口,接通表内电源,把仪表串接入测量电路,即可显示读数。若量程开关置于 200m、20m/10A、2m 三挡时,显示值以“mA”为单位;置于 200 $\mu$  挡,显示值以“ $\mu$ A”为单位。当被测电流大于 200mA 时,量程开关只能置于 20m/10A 挡,红表笔应插入“10A”插口,显示值以“A”为单位。

(4) 交流电流的测量 将量程开关拨至“ACA”范围内适当量程挡,红表笔也按量程不同插入“mA”或“10A”插口,测量方法与测量直流电流相同。

(5) 电阻的测量 将量程开关拨至“ $\Omega$ ”范围内适当量程挡,红表笔插入“V· $\Omega$ ”插口。例如:量程开关置于 20M 或 2M 挡,显示值以“M $\Omega$ ”为单位。2K 挡显示值以“k $\Omega$ ”为单位。

(6) 线路通、断的检查 将量程开关拨至“ $\Rightarrow$ ”蜂鸣器端,红黑表笔分别插入“V· $\Omega$ ”和“COM”插口。若被测线路电阻低于“20 $\Omega$ ”,蜂鸣器发出叫声,说明线路接通。反之,表示线路不通或接触不良。

(7) 二极管的测量 将量程开关拨至二极管符号挡,红黑表笔分别插入“V· $\Omega$ ”和“COM”插口,将表笔尖接至二极管两端。红表笔接正极,黑表笔接负极,使万用表显示的是二极管的正向电压。若二极管内部短路或开路,显示值为 000 和 1。红表笔接负极,黑表笔接正极,为二极管反向电压的测量,若二极管是好的,显示屏左端出现“1”字;若损坏,显示值为 0。

(8) 晶体管  $h_{FE}$  的测量 将被测管子插入  $h_{FE}$  插口,根据被测晶体管类型选择“PNP”或“NPN”量程挡,接通表内电源,显示屏上测出管子的  $h_{FE}$  值。

#### (9) 使用注意事项与维护

① 测量前应校对量程开关位置及两表笔所接的插孔,无误后再进行测量。严禁在测量高电压或大电流时拨动开关,以防产生电弧烧毁开关触点。

② 对无法估计的待测量,应选择最高量程挡测量,然后根据显示结果选择合适的量程。

③ 严禁带电测电阻。用低挡(200 $\Omega$  挡)测电阻,可先将两表笔短接,测出表笔引线电阻,据此修正测量结果。用高阻挡测电阻时,应防止人体电阻并入待测电阻引起测量误差。

④ 数字万用表的频率特性较差,测交流电量的频率范围为 45~500Hz,且显示的是正弦波电量的有效值。因此,待测电量是其他波形的非正弦电量,或超过其频率范围,测量误差会增大。

⑤ 仪表保存时应特别注意环境条件,不放置在高温或潮湿的环境。

⑥ 仪表测量误差增大,常常是因为电源电压不足,测量时应注意欠压指示符号,若有此显示,应即时更换电池,每次测量结束都应关闭电源,以延长电池使用寿命。

⑦ 当测电流无显示时,应首先检查熔丝管是否接入插座、熔丝是否烧断。

## 1.2 兆欧表

兆欧表又称(绝缘)摇表,是一种专门用来测量电气设备、线路绝缘电阻的便携式仪表,在电气安装、检修和试验中应用十分广泛。

一般的兆欧表主要由手摇直流发电机、磁电系比率表以及测量电路等组成。手摇直流发电机的额定电压一般有 500V、1000V、2000V 和 2500V 等几种不同的规格。

1.2.1 兆欧表的选择

主要是选择它的电压及测量范围，其额定电压一定要与被测电气设备或线路的工作电压相适应。高压电气设备绝缘电阻要求高，须选用电压高的兆欧表进行测试；低压电气设备内部绝缘材料所能承受的电压不高，为保证设备安全，应选择电压低的兆欧表。不同额定电压的兆欧表的使用范围如表 1-1 所列。

表 1-1 不同额定电压的兆欧表的使用范围

| 测量对象           | 被测绝缘额定电压/V | 兆欧表的额定电压/V |
|----------------|------------|------------|
| 线圈绝缘电阻         | 500 以下     | 500        |
|                | 500 以上     | 1000       |
| 电力变压器、电机线圈绝缘电阻 | 500 以上     | 1000~2500  |
| 发电机电线圈绝缘电阻     | 380 以下     | 1000       |
| 电气设备绝缘         | 500 以下     | 500~1000   |
|                | 500 以上     | 2500       |
| 瓷瓶             |            | 2500~5000  |

测量范围也应与被测绝缘电阻的范围相吻合，并应不使测量范围过多地超出被测绝缘电阻的数值，以免产生较大的读数误差，如一般测量低压电器设备绝缘电阻时可选用 0~200MΩ 量程的表，一般测量高压电器设备或电缆绝缘电阻时可选用 0~2000MΩ 量程的表。

1.2.2 兆欧表测量使用方法

(1) 测量照明或电力线路对地的绝缘电阻 将兆欧表的接线柱 (E) 可靠接地，接线柱 (L) 接到被测线路上，线路接好后顺时针摇动兆欧表的发电机手柄，转速由慢渐快，而后手摇发电机要保持匀速，不可忽快忽慢，通常最适宜的速度是 120r/min。一般约 1min 后发电机稳定时，表针也稳定下来，这时表针指示的数值就是所测得的绝缘电阻值。

(2) 测量电机的绝缘电阻 将兆欧表的接线柱 (E) 接机壳，接线柱 (L) 接到电机绕组上，按上面步骤测量出绝缘电阻。

(3) 测量电缆的绝缘电阻 测量电缆的导电线芯与电缆外壳的绝缘电阻时，除将被测两端分别接 (E) 和 (L) 两接线柱外，还需将 (G) 接线柱接到电缆壳芯之间的绝缘层上。

(4) 兆欧表使用注意事项

① 测量设备的绝缘电阻时，必须先切断设备的电源。对含有较大电容的设备（如电容、变压器、电机及电缆线路），必须先进行放电。

② 测量前应对兆欧表做必要的检查，即进行开路和短路试验。

③ 兆欧表的引线应用多股软线，但不能用双绞线（应该用单根线分开单独连接）。

④ 测量前，被测线路和设备，必须断开电源，并进行放电。测量完毕对有大电容的设备也要进行放电。

⑤ 被测物表面应擦拭干净，不得有污物（包括漆等），以免造成测量数据的不准确。

⑥ 摇动手柄应由慢渐快，若发现指针指零，说明被测绝缘物可能发生了短路，应立即停止摇动手柄，以防损坏仪表。手摇发电机要保持匀速，不可忽快忽慢而使指针不停地摇摆。通常最适宜的速度是 120r/min。

⑦ 测量具有大电容的设备的绝缘电阻，读数后不能立即停止摇动手柄，否则可能烧坏兆欧表。应在读数后一方面降低手柄转速，一方面拆去接地端线头，在兆欧表停止转动和被

测物充分放电之前，不能用手触及被测试设备的导电部分。

⑧ 测量设备的绝缘电阻时，应记录测量时的温度、湿度及被测试物各有关情况，以便对测量结果进行正确的分析和判断。

1.3 钳形电流表

(1) 应用 使用电流表测量电流时，必须停电断开电路以后接入电流表才能进行测量。钳形电流表则是一种可不断开电路测量电流的仪表。互感器式钳形电流表由电流互感器和带整流装置的磁电系表头组成，如国产 MG4 型钳形电流表。有的钳形电流表的测量机构采用电磁系，如国产 MG20、MG21 型钳形电流表，可以交直流两用。

钳形电流表的准确度比较低，一般只有 2.5 级和 5.0 级，但在电力工程中特别是监测电路的运行状况时可以不需

表 1-2 几种常用的钳形电流表的主要技术数据

| 名 称      | 型号    | 准确度等级 | 测 量 范 围                                                              | 1 分钟内绝缘耐压/V |
|----------|-------|-------|----------------------------------------------------------------------|-------------|
| 交流钳形电流表  | MG4   | 2.5   | 电流:0~10~30~100~300~1000A<br>电压:0~150~300~600V                        | 2000        |
| 交直流钳形电流表 | MG20  | 5.0   | 0~200A,0~300A,0~400A,0~500A,0~600A                                   | 2000        |
|          | MG21  |       | 0~750A,0~1000A,0~1500A                                               |             |
| 交流钳形电流表  | MG24  | 2.5   | 电流:0~5~25~50~250A<br>电压:0~300~600V                                   | 2000        |
| 交流钳形电流表  | T-301 | 2.5   | 0~10~25~50~100~250A<br>0~10~25~100~300~600A<br>0~10~30~100~300~1000A | 2000        |
|          | T-302 |       | 电流:0~10~50~250~1000A<br>电压:0~300~600V                                |             |

(2) 测量使用方法 使用时，将量程开关转到合适的位置，用食指勾紧铁芯开关，打开铁芯，将被测导线放入到铁芯中央，然后松开铁芯开关，铁芯就自动闭合，被测导线的电流就在铁芯中产生交变磁力线，从而表上就感应出电流，可直接读数。使用时应注意：

- ① 被测线路电压不得超过钳形电流表所规定的使用电压，以防绝缘击穿，导致触电。
- ② 若不清楚被测电流大小，应先用最大量程测量，估出被测量，再用合适量程测量。
- ③ 测量过程中，不得转动量程开关。
- ④ 为提高测量值的准确度，被测导线应置于钳口中央。
- ⑤ 为使读数准确，钳口的结合面应保持良好的接触，保持钳口清洁。
- ⑥ 测量完毕一定要把仪表的量程开关置于最大量程位置上，以防下次使用时因疏忽大意未选择量程就进行测量而造成损坏仪表的意外事故。

1.4 直流单臂电桥

(1) 应用 直流单臂电桥又称惠斯登电桥，是根据电桥平衡原理工作的。它用于精确测

量中等电阻的阻值。

#### (2) 测量使用方法

- ① 使用前先将检流计锁扣打开，并调零。
- ② “ $R_x$ ”端钮与被测电阻的连接应采用较粗较短的导线，避免用线夹，保证接头接触良好。
- ③ 估计（粗测）被测电阻的大小，选择合适的桥臂比率。
- ④ 测量电感线圈的直流电阻时，应先按下电源按钮 SB1，再按下检流计按钮 SB2；测量完毕则应先断开检流计按钮，再断开电源。
- ⑤ 电桥线路接通后，如果检流计指针向“+”方向偏转，则应增加比较臂电阻，反之应减少比较臂电阻。
- ⑥ 发现电池电压不足时，应及时更换，否则会影响电桥的灵敏度。若电源电压超过规定值则有可能烧坏桥臂电阻。
- ⑦ 电桥使用完毕应切断电源，然后拆除被测电阻，再将检流计锁扣锁上。

### 1.5 直流双臂电桥

(1) 应用 直流双臂电桥又称凯尔文电桥，是在单臂电桥的基础上构成的，常用来测量  $1\Omega$  以下小电阻，它能消除连接导线电阻和接触电阻的影响，取得比较准确的测量结果。

(2) 测量使用方法 使用双臂电桥时，除遵守单臂电桥有关事项外，还应注意：

- ① 被测电阻的电流端钮应接电桥的 C1、C2；电位端钮应接电桥的 P1、P2。实际测量时要从被测电阻引出四根线，注意电位端钮总是接在一对电流端钮的内侧。
- ② 其工作电流较大，测量要迅速。

### 1.6 转速表

(1) 应用 电工维修中常需要测量电机及其拖动设备的转速，使用的是便携式转速表。离心式转速表是一种机械式仪表，它由机心、变速器、指示器构成。

(2) 注意事项

- ① 选择合适的转速量限和挡位。
- ② 转速表轴与被测旋转轴接触时应使轴心对准，动作要缓慢，并要使两轴保持在一条直线上。
- ③ 测量时指针偏转与被测转轴旋转方向无关，表轴与被测旋转轴不要顶得过紧，以不产生相对滑动为准。
- ④ 使用前应加润滑油（钟表油），可从外壳和调速盘上的油孔注入。

### 1.7 接地电阻测量仪

(1) 应用 接地电阻测量仪俗称“接地摇表”，是专用于直接测量接地电阻的指示仪表。目前我国生产的主要有：ZC-8 型、ZC29-1 型、ZC34-1 型等。ZC-8 型接地电阻测量仪主要由手摇交流发电机、电流互感器、滑线电阻以及检流计等构成。附件有：两根接地探测针、

三根导线（5m 的用于接地极 E、E'，20m 的用于电位探测针 P、P'，40m 的用于电流探测针 C、C'）。

(2) 使用方法

① 测量前先将仪表调零，然后接线。对三端钮式测量仪，将电位探针 P' 插在被测接地极 E' 和电流探针 C' 之间。三者成一直线且彼此相距 20m。再用导线将 E'、P'、C' 连接到仪表的相应端钮 E、P、C 上。

对四端钮式测量仪，则一般短接 C2、P2 后就相当于三端钮式测量仪的 E；P1、C1 相当于三端钮式测量仪的 P、C。当用四端钮 1~10~100Ω 规格的仪表测量小于 1Ω 的电阻时，应将 C2、P2 接线端钮的连接片打开，分别用导线连接到被测接地体上。

② 先将“倍率标度”置于最大的倍数，一面缓慢摇动发电机手柄，一面转动“测量标度盘”，使检流计指针处于中心线位置上。当检流计接近平衡时，加快摇动手柄，使发电机转速达到其额定转速（120r/min）以上，再转动“测量标度盘”使指针稳定地指在中心线位置。这时即可读取数值（所测接地电阻值为“测量标度盘”的读数乘以“倍率标度”盘的倍数）。

③ 如果“测量标度盘”的读数小于 1Ω，则应将倍率开关置于倍数较小的挡，并重新测量和读数。

④ 为了防止其他接地装置影响测量结果，测量时应将待测接地极与其他接地装置临时断开，测量完毕再将断开处牢固连接。

⑤ 在测量时，如果检流计的灵敏度过高，可把电位探针插得浅一些；如果检流计灵敏度不够，可沿电位探测针和电流探测针注水，使土壤湿润。当大地干扰信号较强时，可适当改变手摇发电机的转速，提高抗干扰能力，以获得平稳读数。

1.8 功率表

直流电功率的测量要反映被测负载电压和电流的乘积，即  $P=UI$  的关系；交流电功率的测量除要反映负载电压和电流的乘积外，还要反映负载的功率因数，即  $P=UI\cos\phi$  的关系。用电动系测量机构的动圈来反映负载两端的电压、定圈来反映流过负载的电流，构成测量电功率的仪表。

电动系功率表由电动系测量机构与附加电阻  $R_s$  构成，测量机构的固定线圈与负载串

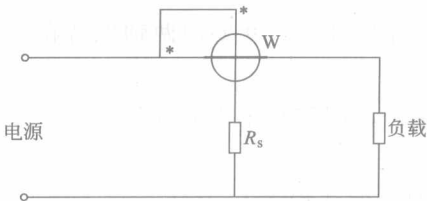


图 1-1 功率表接入电路中的电路符号

联，反映了流过负载的电流称为功率表的电流线圈，可动线圈串联附加电阻  $R_s$  后与负载并联，反映了负载两端的电压称为电压线圈。功率表接入电路中的电路符号如图 1-1 所示。

用功率表进行直流功率测量时，其指针偏转角  $\alpha=KIK'$   $U=K_p P$ ，即偏转角与被测负载的功率成正比；用功率表进行交流功率测量时，其指针偏转角  $\alpha=KIK'$   $U\cos\phi=K_p P$ ，即偏转角与被测交流负载有功功率成正比。因此，电动系功率表的标尺，可以直接按功率值大小进行均匀刻度。

1.8.1 功率表选用、接线与读数

(1) 选用 选择功率表时，除考虑它的型号和准确度外，还应注意它的量程。功率表的

量程应包括电流、电压和功率量程。功率表的电流量程是指仪表的额定电流值，电压量程是指仪表的额定电压值，而功率量程是指功率表满刻度偏转时的功率值，实际上它等于负载功率因数  $\cos\phi$  为 1 时，电流量程和电压量程两者的乘积。因此，当  $\cos\phi < 1$  时，功率表量程虽未达到仪表满刻度，但被测电流或电压值却可能超出仪表的电流或电压量程，结果将功率表损坏。所以，在选择或使用功率表时，除重视功率量程外，还应注意电流及电压量程。常用携带式单相功率表的技术数据如表 1-3 所列。

表 1-3 常用携带式单相功率表的技术数据

| 型号    | 准确度等级 | 电流量限范围/A                                         | 电压量限范围/V                                       | 接入方式 |
|-------|-------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|------|
| D19-W | 0.5   | 0~0.5~1<br>0~2.5~5<br>0~5~10                     | 0~150~300                                      | 直接   |
| D26-W | 0.5   | 0~0.5~1<br>0~1~2<br>0~2.5~5<br>0~5~10<br>0~10~20 | 0~75~150~300<br>0~150~250~500<br>0~150~300~600 | 直接   |
| D51-W | 0.5   | 0~2.5~5                                          | 0~75~150~300~600<br>0~48~120~240~480           | 直接   |

注意，低功率因数功率表则是按  $\cos\phi=0.1$  或  $0.2$  的较低额定功率因数来刻度的。

便携式功率表一般都做成多量程的仪表，功率量程的扩大是通过电流和电压量程的扩大来实现的。

(2) 接线 在功率表两个线圈对应于电流流进的端钮上，都注有称为发电机端的“\*”或“±”标志。功率表在接线时，应使电流和电压线圈带“\*”或“±”标志的端钮接到电源同极性的端子上，以保证两线圈的电流方向都从发电机端流入，这叫功率表接线的“发电机端守则”。

功率表按“发电机端守则”正确接线的方式有两种，一种称为电压线圈前接方式，另一种称为电压线圈后接方式。

(3) 读数 多量程的功率表它们的量程标尺只有一条，一般在功率表使用说明书上附有表格，标明功率表在不同电流和电压量程的分格常数，以供查用。

$P=C\alpha$  ( $P$  为被测功率值，W； $C$  为功率表分格常数，W/格； $\alpha$  为指针偏转格数，格)

且分格常数可按公式  $C=U_N I_N / a_m$  计算出。( $U_N$  为功率表电压量程； $I_N$  为功率表电流量程； $a_m$  为功率表标尺的满刻度格数)

安装式功率表通常为单量程仪表，其电压量程为 100V，电流量程为 5A，与指定变比的电压互感器及电流互感器配套使用。

1.8.2 功率表基本测量

(1) 测量单相负载的功率 功率表接在负载的相电压和相电流回路上。

(2) 测量三相负载的功率 在三相交流电路中，用单相功率表可以组成一表法、两表法或三表法来测量三相负载的有功功率。

① 一表法测三相对称负载的有功功率。三相对称负载，无论是在三相三线制还是三相四线制电路中，都可以用一只功率表来测量它的有功功率。功率表接在负载的相电压和相电

流上,测出一相的有功功率  $P_1$ ,则三相总有功功率  $P=3P_1$ 。

当星形负载的中点不能引出或三角形负载的一相不能拆开接线时,可采用人工中点法将功率表接入电路。应注意的是表外两个附加电阻  $R_N$  应等于功率表电压回路的总电阻,以保证人工中点 N 的电位为零。

接线方式如图 1-2 所示。

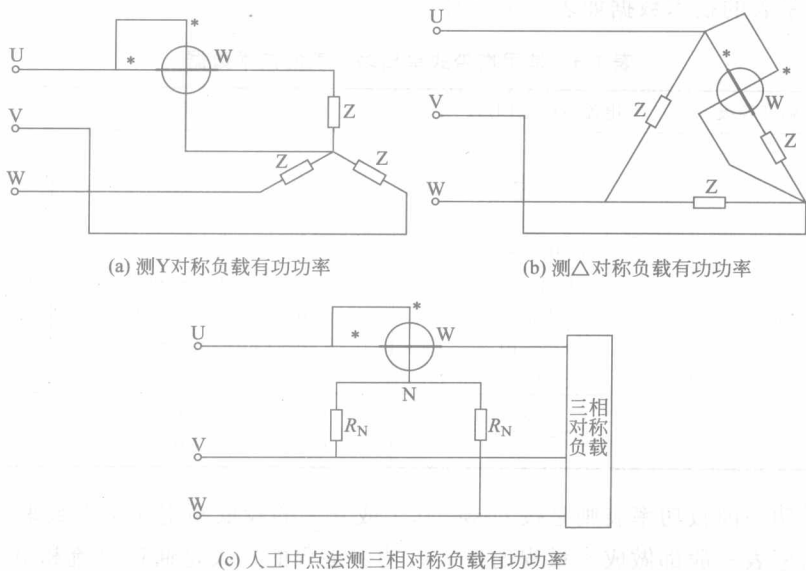


图 1-2 一表法测三相对称负载的有功功率接线图

② 用两表法测量三相负载的有功功率。三相三线制电路中,通常采用两表法来测量三相有功功率,三相负载的有功功率就等于两功率表读数之和,即  $P=P_1+P_2$ 。

接线方式如图 1-3 所示。

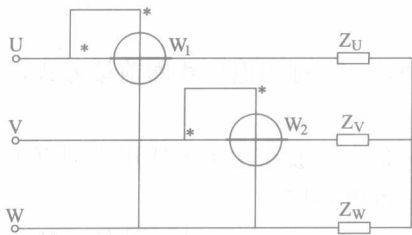


图 1-3 两表法测三相负载的有功功率接线图

只要是三相三线制,不论负载对称与否,其三相有功功率都可用两表法来测量三相总有功功率。而三相四线制不对称电路因为  $i_u+i_v+i_w \neq 0$ ,则不能用两表法进行测量。

• 读数。用两表法测三相功率时,每只表上的读数本身没有具体意义,所以,即使在三相电路完全对称的情况下,两只表上的读数也不一定相等,而且还随负载的功率因数变化而变化。对于  $\phi=0$  的纯电阻负载,两表读数相等,三相有功功率  $P=P_1+P_2$ ; 对于  $\phi=\pm 60^\circ$  的电感性、电容性负载,  $\cos\phi=0.5$ , 两表中有一只表的读数为零,三相有功功率  $P=P_1$  或  $P=P_2$ ; 对于  $\phi<-60^\circ$ 、 $\phi>60^\circ$  时的负载,  $\cos\phi<0.5$ , 两表中有一只表的读数为负值。为了取得读数,应将反转功率表的电流线圈反接,然后在它的读数前面加上负号,三相电路的总功率就等于两表读数之差,即  $P=P_1-P_2$ 。

• 接线。两表法的接线应遵循下述规则: 第一,两只功率表的电流线圈应串联在不同的两相线上,并将其发电机端接到电源侧,使通过电流线圈的电流为三相电路的线电流。第二,两只功率表电压线圈的发电机端应接到各自电流线圈所在的相上,而另一端共同接到没有电流线圈的第三相上,使加在电压回路的电压是电源线电压。

③ 三表法测三相四线制不对称负载的有功功率。三相四线制不对称负载的功率测量，用一表法和两表法均不适用。因此，通常采用三只单相功率表分别测出每相有功功率，然后把三表读数相加，就是三相负载的总有功功率， $P = P_1 + P_2 + P_3$ 。三只功率表应分别接在三个相的相电压和相电流回路上。

接线方式如图 1-4 所示。

④ 用三相功率表测量三相有功功率。应用较广的三相有功功率表，是利用两表法或三表法测量三相功率的原理，将两只或三只单相功率表的测量机构有机地组合为一体，构成一只三相有功功率表。

(3) 测量电路的无功功率 有功功率表不仅能用来测量电路的有功功率，通过改换它的连接方法也可以用来测量电路的无功功率。

① 用一表跨相法测量三相无功功率。用一只单相功率表，按一定的接线形式来测量三相对称负载的无功功率的方法，称为一表跨相法。功率表的电流线圈串接在三相电路任意一相中，发电机端接在电源侧，电压线圈跨接在其余两相，发电机端按相序接在两相中的超前一相上。

接线方式如图 1-5 所示。

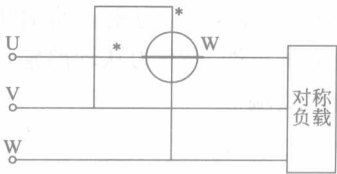


图 1-5 一表跨相法测三相对称负载无功功率接线图

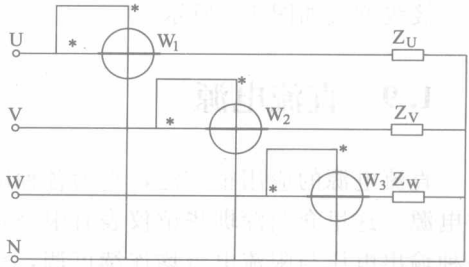


图 1-4 三表法测三相四线不对称负载的有功功率接线图

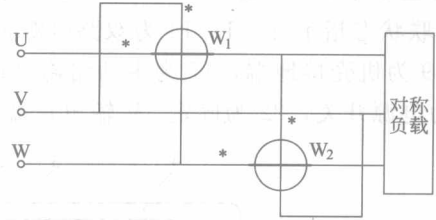


图 1-6 两表跨相法测三相对称负载无功功率接线图

$Q = \sqrt{3}P$ ，功率表读数  $P$  乘以  $\sqrt{3}$  倍即得到对称三相负载的三相无功功率。

② 用两表跨相法测量三相无功功率。用两只单相功率表，每表都按一表跨相法的接线原则来测量三相对称负载的无功功率的方法，称为两表跨相法。由于供电系统的电源电压不对称是难免的，采用两表跨相法测量三相对称负载的无功功率比一表跨相法的误差小，在实际中应用较多。在测量时每只功率表的读数  $P_1$  和  $P_2$  与一表跨相法一样，彼此相等 ( $P_1 = P_2$ )，将两表读数之和乘以  $\sqrt{3}/2$  倍即得到对称三相负载的三相无功功率， $Q = \sqrt{3}/2 (P_1 + P_2)$ ，亦即  $Q = \sqrt{3}P_1$  或  $Q = \sqrt{3}P_2$ 。

接线方式如图 1-6 所示。

此外，利用测量有功功率的两表法也可测量对称三相负载的三相无功功率，且  $Q = \sqrt{3} (P_1 - P_2)$ 。

③ 用三表跨相法测量三相无功功率。用三只单相功率表，每表都按一表跨相法的接线

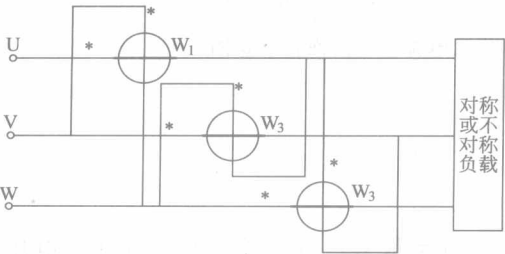


图 1-7 三表跨相法测三相负载无功功率接线图

原则来测量三相三线或三相四线制中的对称或不对称负载的三相无功功率的方法，称为三表跨相法。三只功率表读数之和乘以  $1/\sqrt{3}$  倍即得到三相负载的总无功功率， $Q=1/\sqrt{3}(P_1+P_2+P_3)$ 。

接线方式如图 1-7 所示。

## 1.9 直流电源

直流电源的应用很广泛，它为各种电子元器件、部件和电子电路的测量、检定和调试提供电源。这里介绍深圳华谊仪表有限公司生产的 HY3000-2 可调式直流稳压稳流电源，它是一种输出电压与限流电流均连续可调，且稳压与稳流自动转换的高稳定性多路直流电源，双 LED 显示，输入电压 220V AC $\pm$ 10%、50Hz $\pm$ 2Hz，输出电压 0~30V，输出电流 0~2A，保护为电流限制及短路保护。

### 1.9.1 面板介绍

整机前面板示意图如图 1-8 所示。其中各开关旋钮功能如下：1 为主动路输出电压或电流值指示，2 为主动路输出电压或电流值显示选择，3 为从动路输出电压或电流值显示选择，4 为从动路输出电压或电流值指示，5 为主动路输出电压调节，6 为主动路稳流输出电流调节，7 为从动路输出电压调节，8 为从动路稳流输出电流调节，9 为主动路稳压状态指示灯，10 为主动路稳流状态指示灯，11 为从动路稳压状态指示灯，12 为从动路稳流状态或双路电源并联状态指示灯，13/14 为双路电源独立、串联、并联控制开关，15 为主动路输出正端，16/19 为机壳接地端，17 为主动路输出负端，18 为从动路输出正端，20 为从动路输出负端，21 为电源开关，22 为固定 5V 输出正端，23 为固定 5V 输出负端。

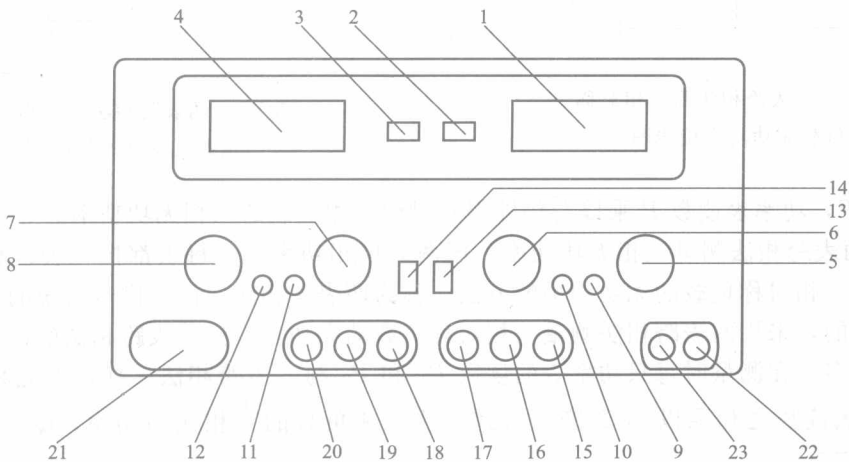


图 1-8 HY3000-2 可调式直流稳压稳流电源整机前面板示意图

### 1.9.2 使用方法

#### (1) 双路可调电源独立使用

① 将开关 13 和 14 均置于弹起位置。

② 作为稳压源使用时，先将旋钮 6 与 8 顺时针调至最大，将开关 2 和 3 选择至电压显示位置，开机后，分别调节 5 与 7，使主、从动路的输出电压至需求值。