

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

电机修理工工艺学

(中级本)

科学普及出版社

本书介绍变压器、直流电机、异步电机、同步电机及常用特种电机的工作原理、基本结构、主要特性、故障分析及修理特点，其中重点介绍各种电机的修理和制造工艺，以及修理后的主要试验项目和方法。书中还介绍了常用电工仪表和工具的基本原理、结构、使用方法，常用电工材料的型号、特性和用途等有关内容，便于读者在修理电机时能够正确地使用和选用。本书不仅可作为电机修理工技术培训的中级教材，亦可供有关技术人员和工人学习与参考。

本书由冈大毅、陶来顺、刘官臣、俞维德同志编写。由林昌钊、张湛武、高锦章同志审校。

中华人民共和国机械工业部统编

机械工人技术培训教材

电机修理工工艺学

(中级本)

责任编辑：李宝荣

封面设计：范惠民

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

89920部队印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：27¹/₈ 字数：651千字

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数：1—76,600册 定价：3.90元

统一书号：15051·1119 本社书号：0889



对广大工人进行比较系统的技术培训教育，是智力开发方面的一件大事，是一项战略性的任务。有计划地展开这项工作，教材是关键。有了教材才能统一培训目标，统一教学内容，才能逐步建立起比较正规的工人技术教育制度。

教材既是关键，编写教材就是一件功德无量的事。在教材行将出版之际，谨向为编写这套教材付出辛勤劳动的同志们致以敬意！

机械工业部第一副部长 杨 铨

一九八二年五月

前 言

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，对工人特别是青壮年工人进行系统的技术理论培训，以适应四化建设的需要，现确定按初级、中级、高级三个培训阶段，逐步地建立工人培训体系，使工人培训走向制度化。正规化的轨道，以期进一步改善和提高机械工人队伍的素质。为此，我们组织了四川省、江苏省、上海市机械厅(局)和第一汽车厂、太原重型机器厂、沈阳鼓风机厂、湘潭电机厂，编写了三十个通用工种的初级、中级的工人技术培训教学计划、教学大纲及其教材，作为这些工种工人技术理论培训的统一教学内容。

编写教学计划、教学大纲及其教材的依据，是原一机部颁发的《工人技术等级标准》和当前机械工人队伍的构成、文化状况及培训的重点。初级技术理论以二、三级工“应知”部分为依据，是建立在初中文化基础上的。它的任务是为在职的初级工人提供必备的基础技术知识，指导他们正确地使用设备、工夹具、量具，按图纸和工艺要求进行正常生产。中级以四、五、六级工“应知”部分为依据，并开设相应的高中文化课，在学完了初级技术理论并具有一定实践经验的工人中进行。它的任务是加强基础理论教学，使学员在设备、工夹具、量具、结构原理、工艺理论、解决实际问题 and 从事技术革新的能力上有所提高(高级以七、八级工“应知”部分为依据，这次未编)。编写的教材计有：车工、铣工、刨工、磨工、齿轮工、镗工、钳工、工具钳工、修理钳工、造型工、化铁工、热处理工、锻工、模锻工、木模工、内外线电工、维修电工、电机修理工、电焊工、气焊工、起重工、煤气工、工业化学分析工、热工仪表工、锅炉工、电镀工、油漆工、冲压工、天车工、铆工等工艺学教材和热加工的六门基础理论教材：数学、化学、金属材料及其加工工艺、机械制图、机械基础、电工基础。

在编写过程中，注意了工人培训的特点，坚持了“少而精”的原则。既要理论联系生产实际，学以致用，又要有理论的高度和深度；既要少而精，又要注意知识的科学性、系统性、完整性；既要短期速成，又要循序渐进。在教学计划中对每个工种的培养目标，各门课程的授课目的，都提出了明确的要求，贯彻了以技术培训为主的原则。文化课和技术基础课的安排，从专业需要出发，适当地考虑到今后发展和提高的要求，相近工种的基础课尽量统一。

这套教材的出版，得到了有关省、市机械厅(局)、企业、学校、研究单位和科学普及出版社的大力支持，在此特致以衷心的感谢。

编写在职工人培训的统一教材，是建国三十年来第一次。由于时间仓促，加上编写经验不足，教材中还难免存在缺点和错误，我们恳切地希望同志们试行中提出批评和指正，以便进一步修改、完善。

机械工业部工人技术培训教材编审领导小组

一九八二年五月

目 录

绪论	1
第一章 常用电工仪表和工具	2
第一节 电桥	2
第二节 瓦特表	6
第三节 喷枪	10
第二章 常用电工材料	11
第一节 绝缘材料	11
第二节 导电材料	15
第三节 磁性材料	22
第三章 变压器	24
第一节 变压器的分类及基本结构	24
第二节 变压器的工作原理与运行特性	36
第三节 三相变压器	43
第四节 特种变压器	49
第五节 国产电力变压器简介	58
第六节 中小型电力变压器制造工艺	59
第七节 变压器常见的故障及排除方法	73
第八节 变压器的大修理	76
第九节 电力变压器的试验	77
第四章 直流电机	90
第一节 直流电机的基本原理及结构	90
第二节 直流电机的电枢绕组	99
第三节 直流电机的磁场	106
第四节 直流电机的换向	110
第五节 直流发电机	113
第六节 直流电动机	120
第七节 国产直流电机简介	129
第八节 直流电机的制造工艺特点	131
第九节 直流电机常见的故障及排除方法	139
第十节 直流电机的修理	146
第十一节 直流电机的试验	155
第十二节 直流电焊机	163
第五章 交流电机的一般问题	171
第一节 交流电机的分类	171
第二节 交流电机的绕组	171
第三节 三相交流电机的旋转磁场	187

第四节	交流电机定子线圈的制造工艺	192
第五节	定子铁心的结构与制造工艺	208
第六节	电机的温升和冷却方式	217
第六章	异步电动机	224
第一节	异步电动机的基本原理及结构	224
第二节	异步电动机的起动方法和设备	234
第三节	异步电动机的调速	243
第四节	单相鼠笼型异步电动机	249
第五节	国产异步电动机简介	262
第六节	异步电动机转子的制造工艺	265
第七节	异步电动机常见的故障及排除方法	277
第八节	异步电动机的局部修理	278
第九节	异步电动机定子绕组的拆换	288
第十节	异步电动机的试验	298
第七章	同步电机	304
第一节	同步电机的分类及基本结构	304
第二节	同步发电机的基本原理及运行特性	307
第三节	同步电动机的基本原理及运行特性	317
第四节	同步电机的励磁系统	323
第五节	国产同步电机简介	326
第六节	同步电机转子的制造工艺	328
第七节	同步电机常见的故障及排除方法	336
第八节	同步电机的局部修理	345
第九节	同步电机的试验	351
第八章	特种电机简介	360
第一节	防爆电机	360
第二节	电磁调速异步电动机	365
第三节	三相换向器变速异步电动机	367
第四节	交磁旋转放大机	370
第五节	测速发电机	374
第六节	伺服电动机	376
附录		379
一、	常用绝缘材料的品种、特性及用途	379
二、	常用漆包线的品种、规格、特性及主要用途	384
三、	常用绕包线的品种、规格、特性及主要用途	386
四、	常用电力变压器的主要技术数据	388
五、	常用的成形线圈的绝缘规范	414
六、	JO ₂ 系列三相鼠笼型异步电动机主要技术数据	418
七、	Y系列(IP44)小型三相鼠笼型异步电动机主要技术数据	421
八、	异步电动机新老产品代号对照表	426
九、	电机外壳的防护等级	428

绪 论

随着四化建设的不断发展,国民经济各部门对各种电机的需要量日益增长,目前,电动机已成为我国主要的动力机械,其中尤以异步电动机的使用最为广泛,需要量最大。据统计,目前国内90%左右的电力拖动机械是异步电动机,在电网的总负荷中,异步电动机的用电量占60%以上。因此,保证各种电机的安全可靠运行,以及进一步提高电机的修理质量,不仅是电机本身的问题,而且影响到整台设备,甚至影响到整个生产的流程。另一方面,随着科学技术的发展,各使用单位对电机的性能和结构提出许多特殊的要求,因此,各种派生和专用产品不断出现。此外,随着新工艺和新材料的采用,电机本身也在不断创新,因此对电机修理工的要求也不断提高。电机修理工除了要掌握一般的维护知识,使各种电机经常处于良好的运行状态,掌握分析与判断故障原因并迅速排除故障和进行修复的能力外,还要了解电机修理时常用的电工仪表、工具和设备的结构、原理并掌握其正确使用和保养的方法;了解电机修理时常用电工材料的性能、分类、牌号、规格,并能正确选用;较系统地掌握各种电机的基础理论知识,了解它们的基本结构、制造工艺及各种电动机的起动方式和起动设备,并掌握电机修复后的主要试验项目及试验方法;了解几种常用特种电机的用途、种类、结构特点、工作原理、接线方法,并掌握它们的修理特点及故障的检查方法。这些知识都是中级电机修理工必须具备的专业理论基础。

电机修理是一个比较复杂的工种,它的特点是工艺复杂、牵涉到的工种多、知识面广。另外,电机的品种复杂,规格繁多,功率、电压、转速等变化范围很广,安装方法、冷却方式、防护形式等又是多种多样的,各厂的修理工艺又各有其特点。因此,在学习《电机修理工工艺学》时,除了要系统地、完整地掌握教材中的专业理论知识外,还要坚持理论联系实际,提倡“边干边学”,要将学到的理论知识,用以指导生产实践,同时要不断总结经验,使实践经验逐步理论化。

本书是在《电机修理工工艺学》(初级本)的基础上编写的。有些内容在初级本中已经讲过,中级本尽量不再重复;为了照顾全书的完整性和系统性而必须重复的,则根据“螺旋形上升”的原则,并在教学计划和教学大纲规定的范围内,力求深、广。因此,建议读者在学完初级本后,再学习中级本,以期获得较好的学习效果。

第一章 常用电工仪表和工具

第一节 电 桥

电桥是一种比较式的测量仪器。它不是直接用指针指示被测量的大小，而是用比较的方法进行测量的。测量时，是将被测量与已知的标准量进行比较而确定被测量的大小。其实在日常生活中，用尺子去测量长度，就是一种比较式的测量方法。如果尺子的刻度很精确，那么测量的结果就很准确。但尺子的刻度不容易做得很精确，所以工业上就出现了精确度很高的块规以此作为标准，从而代替了尺子。电桥就是拿参数做得很准确的元件（电阻、电容、电感等）做标准，再用比较的方法去测量电阻、电容、电感等参数。

在这一节里，只介绍用来测量电阻的直流单臂电桥和直流双臂电桥的工作原理和结构及其使用和保养。

一、直 流 单 臂 电 桥

直流单臂电桥又称惠斯登电桥，它由 R_1 、 R_2 、 R 三个标准电阻和被测电阻 R_x 组成，

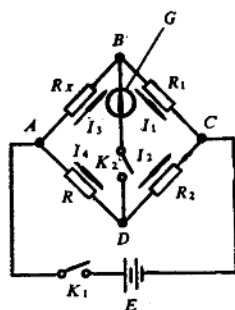


图 1-1 直流单臂电桥原理图

如图1-1所示的一个四边形电路。在电桥的 A 、 C 两点间接入直流电源 E （一般用干电池）和开关 K_1 ，在 B 、 D 两点间接入一只指零仪表（一般用检流计 G ）和开关 K_2 。测量电阻时，先闭合开关 K_1 ，接通电源，再闭合开关 K_2 ，接通检流计。这时，检流计的指针可能向左或向右偏转；然后，调整电阻 R_1 、 R_2 和 R ，使检流计的指针停在中间零点上。这时说明 B 、 D 两点的电位相等，没有电流通过检流计，电桥已达到平衡状态。在这种情况下，由 A 点到 B 点的电压降和由 A 点到 D 点的电压降相等，由 B 点到 C 点的电压降和由 D 点到 C 点的电压降相等，即

$$I_3 R_x = I_4 R$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

$$\frac{I_3 R_x}{I_1 R_1} = \frac{I_4 R}{I_2 R_2}$$

则

因为电桥平衡时， B 、 D 两点之间没有电流通过，所以

$$I_3 = I_1$$

$$I_4 = I_2$$

故可得到

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R}{R_2}$$

即

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R$$

由此可知, 当电桥平衡时, 只要知道 R 的数值以及 R_1 与 R_2 的比值, 即可算出被测电阻 R_x 的数值。由于测得的电阻值与电流、电压无关, 只与电阻 R_1 、 R_2 、 R 的数值有关, 这就排除了电流、电压的精确度对被测值的影响; 而且电阻 R_1 、 R_2 、 R 可以采用精确度很高的标准电阻, 再采用灵敏度很高的检流计, 这样, 就能保证电桥具有更为确切的平衡条件。因此, 用电桥测量电阻可以获得非常准确的测量结果。

电桥中的电阻 R 称为比较臂, R_1 、 R_2 称为比率臂, $\frac{R_1}{R_2}$ 称为比率臂的倍率。在实际应用中, 比率臂的倍率是一定的。例如QJ-23型直流单臂电桥的比率臂倍率分成 10^{-3} 、 10^{-2} 、 10^{-1} 、1、10、 10^2 和 10^3 七档, 在它的面板上有一个转换开关可以调节, 见图1-2。有些电桥是用插塞来调节的。QJ-23型电桥的比较臂电阻做成四档可调的形式, 四档都由九个完全相同的电阻组成, 四档的每一个电阻分别为1欧、10欧、100欧和1000欧, 在面板上有四个相对应的转换开关。图1-3是QJ-23型直流单臂电桥的原理电路图。直流单臂电桥主要用来测量 $1 \sim 10^7$ 欧的电阻。

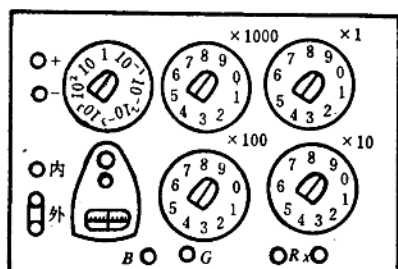


图 1-2 QJ-23型直流单臂电桥面板示意图

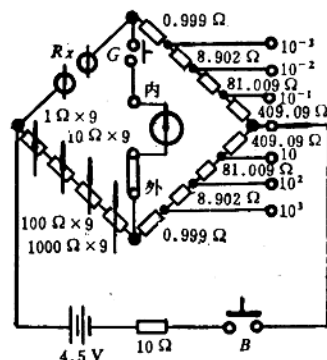


图 1-3 QJ-23型直流单臂电桥原理电路图

下面以QJ-23型直流单臂电桥为例, 介绍单臂电桥正确的使用步骤和注意事项。

1. **校正零位** 先将检流计开关打开, 待稳定后, 将指针校正到零位。

2. **连接线路** 将被测电阻接到电桥面板上标有“ R_x ”的两个端钮上。接线时, 应尽量用短而粗的导线, 以减少接线电阻。最好不要用导线夹去夹住被测电阻, 因为导线夹一旦被碰掉, 检流计就有可能受冲击而损坏。

3. **选择适当的比率臂倍率** 对被测电阻应该预先有个估计值, 必要时可先用万用表预测一次。然后根据估计值选择适当的倍率, 以减少测量误差, 获得准确的测量结果。

4. **作电桥的平衡调节** 测量时, 首先接通电源, 然后接通检流计。在QJ-23型电桥中, 按下按钮B即接通电源, 按下按钮G即接通检流计。如果这时检流计指针沿正方向(表盘上标有“+”号的方向)偏转, 就应增加比较臂电阻(先调大电阻, 后调小电阻); 如果检流计指针反向偏转, 则应减小比较臂电阻。这样反复调节, 直到检流计指针指零为止, 这时说明电桥已达到平衡状态。调节过程中, 在电桥尚未接近平衡状态时, 通过检流计的电流可能很大, 此时不能将按钮G锁住, 只能在每次调节时短时按下按钮, 观察平衡情况;

当检流计偏转不大时，便可以锁住按钮G进行反复调节。

5. 测量完毕后的操作步骤 测量完毕后应先松开按钮G，即先断开检流计支路，然后松开按钮B，断开电源。当被测电阻的自感系数较大时，操作步骤更应遵守上述原则，以防电源突然断开时，被测电阻内产生较大的自感电势而损坏检流计。

6. 读取读数并计算被测电阻值 被测电阻的数值 R_x 按下式计算

$$R_x = \text{倍率} \times \text{比较臂的读数 (欧)}$$

7. 使用完毕后的处理 使用完毕后，应将检流计上的开关锁住，并将检流计连接线放在“内接”位置，使检流计短路。

二、直流双臂电桥

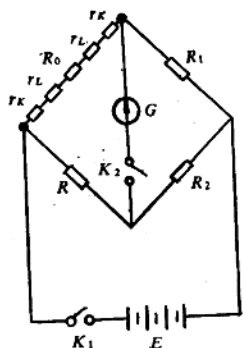


图 1-4 R_x 桥臂中的附加电阻

前面已经讲过，直流单臂电桥只能用来测量 $1 \sim 10^7$ 欧的中等数值的电阻，不宜用来测量电阻值很小的电阻。因为电桥的各桥臂中，除了接入的标准电阻和被测电阻外，实际上还存在着连接导线的电阻（称为接线电阻）和接线端钮的接触电阻。以被测电阻 R_x 桥臂为例，除了被测电阻本身的电阻 R_0 外，在其两侧各有接线电阻 r_L 和接触电阻 r_K 存在，如图1-4所示。相当于在 R_x 桥臂中增加一个附加电阻 R_c ($R_c = 2r_L + 2r_K$)，即

$$R_x = R_0 + R_c$$

在电桥平衡后，算出的被测电阻 R_x 中，将包括 R_c 的数值，而且 R_c 的数值是不稳定的，又是无法控制的，显然，它会给测量结果带来误差。

当被测电阻的数值较大时，附加电阻 R_c 的数值相对来说就比较小，因此对测量结果影响不大，可以忽略不计。但当被测电阻的数值较小时，附加电阻 R_c 的数值，对测量结果将会有较大的影响，往往会造成较大的测量误差。例如当 $R_c = 0.001$ 欧时，如果 $R_0 = 1$ 欧，则

$$R_x = 1 + 0.001 = 1.001 \text{ (欧)}$$

这时，测量的相对误差为

$$\frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% = \frac{1.001 - 1}{1} \times 100\% = 0.1\%$$

若 $R_0 = 0.01$ 欧，则

$$R_x = 0.01 + 0.001 = 0.011 \text{ (欧)}$$

这时，测量的相对误差达

$$\frac{R_x - R_0}{R_0} \times 100\% = \frac{0.011 - 0.01}{0.01} \times 100\% = 10\%$$

如果附加电阻的数值比0.001欧还要大，被测电阻再小一些，那么测量误差就更大了。

电机和变压器绕组的电阻值一般都在 $1 \sim 0.00001$ 欧之间，因此测量它们的电阻时，附加电阻的数值肯定会给测量结果带来不允许的误差。因此，必须采用直流双臂电桥进行测量。

直流双臂电桥又称凯尔文电桥，它可以测量 $10^{-6} \sim 11$ 欧的电阻，图1-5是它的原理图。 R_s 是标准电阻，作为比较臂， R_x 是被测电阻。它们在接入电桥电路时，都采用四端钮结构，即电阻的每一端有两个接线端钮，其中一个叫电流端钮（图1-5中的 C_{s1} 、 C_{s2} 、 C_{x1} 、 C_{x2} ）；另一个叫电位端钮（ P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{x1} 、 P_{x2} ）。电阻 R_s 和 R_x 用一根电阻为 r 的粗导线连接起来，并和电源组成闭合回路。在它们电位端钮上分别与桥臂电阻 R_2 、 R_2' 、 R_3 、 R_3' 连接，其的电阻值都不低于10欧。

当电桥平衡时，检流计中的电流 $I_g = 0$ ，c、d两点电位相等，于是电路可以简化成图1-6。根据基尔霍夫第二定律，对acdea回路可写出

$$I_1 R_2 = I_3 R_s + I_2 R_2'$$

对于cbfdc回路可写出

$$I_1 R_3 = I_2 R_3' + I_3 R_x$$

根据基尔霍夫第一定律，从节点e看，通过粗导线 r 的电流显然是 $I_3 - I_2$ ，于是edfe回路可写出

$$(I_3 - I_2)r = I_2(R_2' + R_3')$$

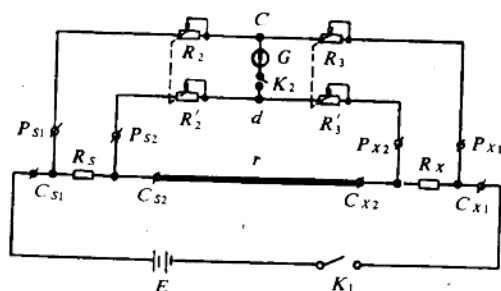


图 1-5 直流双臂电桥原理图

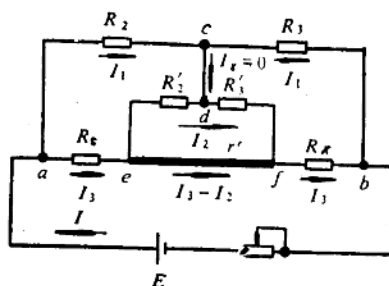


图 1-6 直流双臂电桥平衡时的等值电路

把这三个方程式联立求解，就可以得到

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_s + \frac{R_2' r}{R_2' + R_3' + r} \left(\frac{R_3}{R_2} - \frac{R_3'}{R_2'} \right)$$

在制造电桥时，使得电桥在调节平衡的过程中总是保持 $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_3'}{R_2'}$ ，于是 R_x 公式中包含 r 的那一项（叫做误差项）总是等于零，这样

$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_s$$

为了保证电桥在调节平衡的过程中保持 $\frac{R_3}{R_2}$ 与 $\frac{R_3'}{R_2'}$ 恒等，通常采用两个机械联动的转换开关。同时调节 R_2 和 R_2' 、 R_3 和 R_3' ，使 R_2 与 R_2' 、 R_3 与 R_3' 总是保持相等。

为什么双臂电桥测量小电阻时的准确度比单臂电桥高呢？原因有以下几个。

(1) 从图1-5可以看出，被测电阻 R_x 和标准电阻 R_s 之间的接线电阻以及端钮 C_{s2} 和 C_{x2} 的接触电阻，都包括在电阻 r 的支路内（可看作是 r 的一部分）。因此，只要保证 $\frac{R_3}{R_2} =$

$\frac{R_3'}{R_2'}$ ，那么，不管 r 的阻值有多大，误差项总是等于零。因此，被测电阻的数值与 r 的大小无关。这就排除了这部分附加电阻对测量结果的影响。

(2) R_x 和 R_s 与电源连接的接线电阻，以及 C_{x1} 、 C_{s1} 两个端钮的接触电阻，只对总的工作电流 I 有影响，对电桥的平衡毫无影响。因此，这部分附加电阻对测量结果的影响也排除了。

(3) 电位端钮 P_{s1} 、 P_{s2} 、 P_{x1} 、 P_{x2} 的接触电阻以及接线电阻都分别包括在相应的桥臂支路内。由于桥臂电阻 R_2 、 R_2' 、 R_3 、 R_3' 的电阻值都是10欧以上，比附加电阻值高得多，这样就减小了这部分附加电阻对测量结果的影响。

但是，由于工艺和测量准确度等因素，机械联动装置很难使 R_2 与 R_2' 、 R_3 与 R_3' 绝对相等，而且接线电阻和接触电阻往往是不稳定的，所以不可能真正做到 $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_3'}{R_2'}$ ，因此，误差项不是绝对等于零。为了减小误差项的影响，应尽量减小 r 的数值，使 $r \approx 0$ 。这样，误差项也近似等于零，使其小到可以忽略的程度。所以，双臂电桥中的 r 都采用截面积足够大的紫铜条或使用很粗的导线。

直流双臂电桥的使用方法和注意事项，与前面讲过的直流单臂电桥基本一样，所不同的主要有以下两点。

(1) 直流双臂电桥的面板上，有一只控制检流计灵敏度的旋钮。开始测量时，应将其放在灵敏度最低的位置上。在作电桥平衡调节过程中，如灵敏度不够，可逐渐提高。一般移动滑线盘4小格，检流计指针偏离零位1格，就能满足测量要求。改变灵敏度时，会引起检流计指针偏离零位，应随时校正。

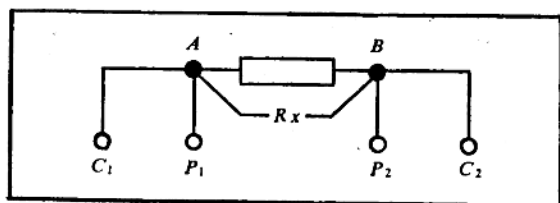


图 1-7 被测电阻接线方法

(2) 直流双臂电桥的接线端钮有四个， C_1 、 C_2 为电流端钮， P_1 、 P_2 为电位端钮。被测电阻应按图1-7所示的方法，接到四个接线端钮上， AB 之间为被测电阻。所用的连接线应选择较粗的导线，接线端钮与导线接头应紧密接触。

第二节 瓦 特 表

一、瓦特表量程的选择

选择瓦特表的量程，实际上是选择瓦特表的电流量程和电压量程，务必使电流量程能通过负载电流，电压量程能承受负载电压，不能只从功率角度考虑。

【例】有一感性负载，功率约800瓦，额定电压220伏，功率因数0.8，需用瓦特表测量它实际消耗的功率，应怎样选择瓦特表的量程？

【解】因负载电压为220伏，故所选瓦特表的电压量程应为250伏或300伏。

负载电流可按式算出

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos\phi} = \frac{800}{220 \times 0.8} \approx 4.54 \text{ (安)}$$

故电流量程可选 5 安。

在上例中，如果选量程为 300 伏、5 安的瓦特表，它的功率量程为 1500 瓦，可以满足测量要求。如果选用量程为 150 伏、10 安的瓦特表，其功率量程虽然也是 1500 瓦，负载功率并没有超过，但负载电压超过了瓦特表的电压量程，所以不能使用。因此，在测量功率前，一般先把电压和电流测出，这样在选择瓦特表时可以心中有数。

二、瓦特表的正确接线

瓦特表一般都为电动系仪表。电动系仪表有两个线圈——固定线圈和活动线圈。固定线圈匝数少，导线粗，在测量功率时，把它与被测电路串联，让负载电流通过它，因此又称它为电流线圈。活动线圈匝数多、导线细，与附加电阻 R 串联后和被测电路并联，这时接到活动线圈支路两端的电压即负载电压，因此又称它为电压线圈，见图 1-8。瓦特表在电路中的表示符号，如图 1-9 所示。

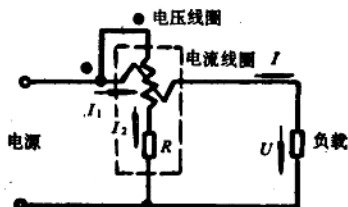


图 1-8 瓦特表的接线图

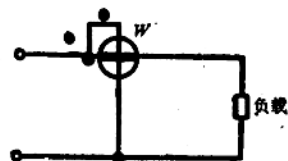


图 1-9 瓦特表的符号

电动系仪表转动部分的偏转方向，是由通入电流线圈和电压线圈的电流方向来决定的，如改变其中一个线圈的电流方向，指针就将反转。为了使瓦特表在电路中不致接错，通常在电流线圈和电压线圈的一个端钮上标有“●”符号，叫做电源端钮，然后按以下规则进行接线：（1）电流线圈的电源端钮必须和电源连接，另一端钮与负载连接；（2）电压线圈的电源端钮可与电流线圈的任一端钮连接，另一端钮则跨接到被测电路的另一端（见图 1-10）。这个规则叫做瓦特表的电源端钮接线规则。如果不按这个规则接线，指针就会反转。

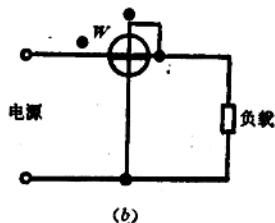
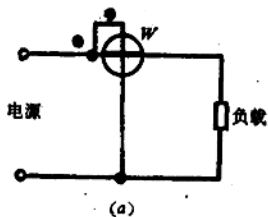


图 1-10 瓦特表的接线方法
(a) 接线方法之一，(b) 接线方法之二

图1-10(a)所示的接线方法,适用于负载电阻远大于电流线圈电阻的情况。此时,电压线圈所测的电压为负载与电流线圈电压降之和,瓦特表的读数为负载与电流线圈所消耗的功率之和。由于负载电阻远大于电流线圈的电阻,故所测的电压近似等于负载电压,因此瓦特表的读数比较准确。

图1-10(b)所示的接线方法,适用于负载电阻远小于电压线圈电阻的情况。此时,电流线圈所测的电流为负载与电压线圈支路电流之和,瓦特表的读数为负载与电压线圈所消耗的功率之和。由于电压线圈的电阻远大于负载电阻,故所测的电流近似等于负载电流,从而获得误差较小的测量结果。

在实际工作中,如果被测的功率较大,不需要考虑瓦特表功率消耗对测量结果的影响时,则上述两种接线方法可以任意选择。

在使用时,如果瓦特表的接线正确,而指针却反转,这说明实际上功率输送的方向与预计的相反。这时,应将电流线圈反接(即对换电流线圈上两个端钮的接线),以便得到正的读数。有些瓦特表上装有转换开关,当发现指针反转时,转动转换开关即能使电流线圈的电流反向,使指针正向偏转。

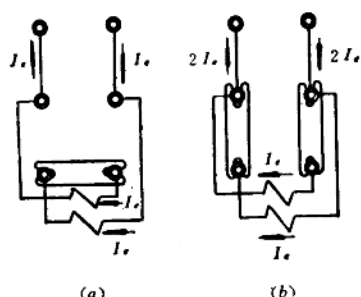


图 1-11 用连接片变换瓦特表的电流量程

(a) 两个线圈串联,电流量程为 I_n ;

(b) 两个线圈并联,电流量程为 $2I_n$ 。

瓦特表通常都是多量程的,一般具有两种电流量程,两种或三种电压量程。

在电动系瓦特表的测量机构中,电流线圈是由两个完全相同的线圈构成,使两个线圈串联或并联,就可以使瓦特表具有两种电流量程。图1-11是利用金属连接片来变换电流量程的。假定瓦特表电流线圈允许通过的电流为 I_n ,当两个线圈串联使用时,见图1-11(a),电流量程为 I_n ;当它们并联使用时,见图1-11(b),电流量程就扩大到 $2I_n$ 。

瓦特表电压量程的改变和伏特表变换量程一样,是由电压线圈串联不同阻值的附加电阻来实现的。但附加电阻一定要接在非●号端,否则,在电流线圈与电压线圈之间,将有较高的电压,不但会引起较大的测量误差,甚至还会使线圈之间的绝缘破坏。

一般比较新型的瓦特表,在其面板上均设有转换开关,供变换电流量程和电压量程之用。

三、各种电路功率的测量

前面介绍的瓦特表只有一个电压线圈和一组(两个)电流线圈,这种瓦特表称为单元件瓦特表。用一只单元件瓦特表并遵循上述接线规则,即可测量直流或单相交流电路的功率。这里着重介绍各种三相交流电路功率的测量。

(一) 三相平衡负载电路功率的测量

在三相负载平衡的交流电路中,由于各相负载消耗的功率相等,所以只要用一只单元件瓦特表,按图1-12所示的方法接线,电流线圈通过一相电流,电压线圈支路承受同一相

的相电压，瓦特表的读数就是这一相负载的功率，将这个读数乘以 3，就可得三相负载的总功率。

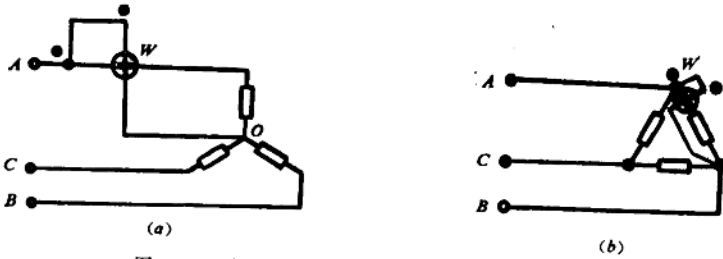


图 1-12 用一只单元件瓦特表测量三相平衡负载的功率
(a) 星形接法；(b) 三角形接法

(二) 三相四线制电路功率的测量

在三相负载不平衡的三相四线制交流电路中，则应采用图1-13所示的三个单元件瓦特表法测量三相负载的总功率。这时每只瓦特表分别测出各自那一相的功率，把三只瓦特表的读数加起来，即为三相负载的总功率。也可以用一只三相三元件瓦特表直接测量。三相三元件瓦特表具有三个独立的测量元件（即三个电压线圈和三组电流线圈），它们装在同一支架上，每一个测量元件相当于一只单元件瓦特表，三个测量元件的活动线圈固定在同一轴上。它的读数即为三相负载的总功率。

(三) 三相三线制电路功率的测量

在三相三线制电路中，不论三相负载是否平衡，一般都采用两只单元件瓦特表测量三相负载的总功率。这种测量方法简称两表法，如图1-14所示。用两表法测量时，每只瓦特表的读数并不说明什么问题，但把两只瓦特表的读数用代数法相加，即为三相负载的总功率。

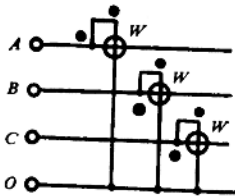


图 1-13 用三只单元件瓦特表测量三相四线制电路中不平衡负载的功率

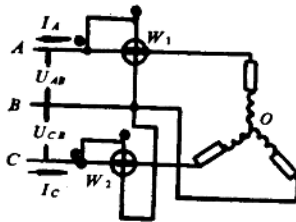


图 1-14 用两只单元件瓦特表测量三相三线制电路的功率

用两表法测量时的接线规则如下：两只瓦特表的电流线圈分别串入任意两相的线路中（电源端钮必须和电源连接），电压线圈支路的电源端钮分别与各自的电流线圈的任一端钮连接，另一端钮同时接到没有接瓦特表电流线圈的那一相。

用两表法测量三相三线制电路功率时，即使接线正确，但由于三相负载的功率因数不同，因此两只瓦特表的读数，可能都是正的，也可能其中一只为负数，这时应把出现负数的瓦特表的电流线圈端钮反接，使指针正向偏转，但应记住读数是负值。然后将两只瓦特表的读数按代数法相加，即为三相负载的总功率。

用两表法测量三相三线制电路的功率是不太方便的，最好用三相两元件瓦特表直接测量。三相两元件瓦特表具有两个独立的测量元件（即两个电压线圈和两组电流线圈），它们装在同一个支架上，每一个测量元件相当于一只单元件瓦特表，两个测量元件的活动线圈固定在同一轴上。这种瓦特表共有七个接线端钮，其中四个是电流端钮，三个是电压端钮，接入电路的方法与两表法一样，它的读数即为三相负载的总功率。

第三节 喷 枪

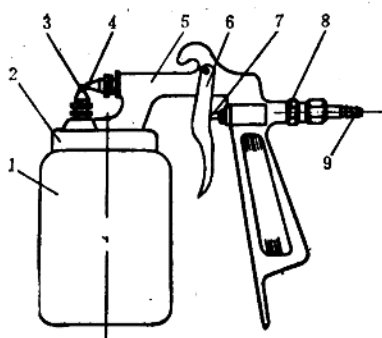


图 1-15 PQ-1型喷枪
1—漆壶；2—漆壶盖；3—漆喷嘴；4—气
喷嘴；5—枪体；6—扳机；7—阀杆；
8—空接螺栓；9—气管接头

喷枪又称喷漆枪或喷漆壶，是用来对电机外壳、绕组端部及铁心表面喷涂表面漆或绝缘漆的工具。图1-15为常用的PQ-1型喷枪的结构图。使用时的气压为4~5公斤力/平方厘米。

喷枪在使用过程中的常见故障及其排除方法如下。

1. 漏气 漏气的主要原因是气管内部接触不良，压缩空气从阀杆漏出。排除的方法是将空接螺栓拆开，将气管内部（包括滚珠或顶针）清洗干净，也可将喷枪浸在溶剂内清洗，并更换垫圈。

2. 不出漆雾 其原因是漆喷嘴堵塞或弹簧压力不够。排除的方法是将漆壶盖旋下，用压缩空气将堵塞漆喷嘴的漆皮吹掉，也可用细铁丝将漆喷嘴内的漆皮清除掉。若弹簧压力不够，则需更换弹簧。

3. 漆雾不正常 其原因是漆壶盖上的回气小孔堵塞或气喷嘴与漆喷嘴没有对准或两者之间的距离不合适。排除的方法是将漆壶盖旋下，用压缩空气将回气孔吹通，也可用细铁丝将回气孔穿通。若气喷嘴与漆喷嘴之间的相对位置不正确，则需加以调整。

喷枪使用完毕后，应及时用溶剂将其清洗干净。

第二章 常用电工材料

第一节 绝缘材料

一、概 述

绝缘材料又称电介质。它在直流电压作用下,只有极微小的电流通过,其电阻率(亦称电阻系数)大于 10^9 欧姆·厘米。

绝缘材料的主要作用是隔离带电的或不同电位的导体,使电流能按指定的方向流动。但在某些场合下,绝缘材料往往还起机械支撑、保护导体及防晕、灭弧等作用。

绝缘材料在电机制造和修理中占有重要地位。一方面是绝缘材料的价格较贵,另一方面绝缘材料大部分是有机材料,其耐热性、机械强度和寿命比导体、铁心等低得多,因此,绝缘材料的好坏直接影响电机修理的质量和成本。

各种绝缘材料都具有不同的特性,在修理电机时必须合理地选用。选用时,必须对各种绝缘材料的性能有一些基本了解。绝缘材料的性能主要指电气性能、物理化学性能和机械性能三个方面,简单介绍如下。

1. 击穿强度 击穿强度是指绝缘被“击穿”而丧失绝缘能力时的电场强度,单位为千伏/毫米。击穿强度是考核绝缘材料电气性能的一项重要指标。相应于击穿时所加的电压,称为击穿电压。

影响绝缘材料击穿强度的因素很多,除了绝缘材料本身的成分和结构外,温度、水分、电压作用的时间、电场的均匀性、交流电压的频率等都会影响绝缘材料的击穿强度。其中温度和水分的影响最大,温度越高,击穿强度越低;水分越多,击穿强度也越低。

2. 绝缘电阻 绝缘材料的导电能力很低,电阻率很高。但不存在绝对不导电的物体,在一定电压 U 的作用下,总有一些微小电流流过,通常把这种电流称为泄漏电流 I 。这时绝缘电阻为

$$R_L = \frac{U}{I}$$

由于绝缘电阻的数值一般都很大,因此采用兆欧($M\Omega$)作单位,1兆欧 = 1000000欧。

泄漏电流 I 由两部分组成,一部分流经绝缘材料内部(I_v),另一部分沿着绝缘材料表面流动(I_s),因此

$$\begin{aligned} I &= I_v + I_s \\ &= \frac{U}{R_v} + \frac{U}{R_s} \end{aligned}$$

式中 R_v ——体积电阻, $R_v = \frac{U}{I_v}$;