

全国煤炭高等职业教育电类规划教材·实训系列

电类专业技能教程

电机与拖动实训

主 编 庞元俊 王建国

煤炭工业出版社

全国煤炭高等职业教育电类规划教材·实训系列

电类专业技能教程

电机与拖动实训

总主编 梁南丁 赵青梅

本册主编 庞元俊 王建国

煤炭工业出版社

·北京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高等职业教育电类规划教材·实训系列之一,内容包括:基本知识、实验、电机及小型变压器的拆装实训、直流电机的常见故障及处理方法实训、三相异步电动机绕组的故障检修实训、电动机下线工艺实训、电机安装、使用与维护实训等。

本书可作为高职高专院校电类、机电类和其他非电类专业电机与拖动课程的实验、实训教材,也可作为成人专科及中专相关专业的教材,同时可供电机维修技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电类专业技能教程:电机与拖动实训/庞元俊,王建国主编. —北京:煤炭工业出版社,2006
全国煤炭高等职业教育电类规划教材·实训系列
ISBN 7-5020-2854-4

I.电... II.①庞...②王... III.①电机-高等学校:技术学校-教材②电力传动-高等学校:技术学校-教材 IV.TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 013501 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
网址:www.cciph.com.cn
北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 9
字数 214 千字 印数 1—4,000
2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷
社内编号 5641 定价 15.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

出版说明

高等职业教育教材建设是整个高职、高专人才培养工作中的重要组成部分。其任务是培养适应生产一线需要的德、智、体、美全面发展的高等技术应用型人才。随着高等职业教育的迅速发展,其教学模式、教学方法也在不断地改革,理论教学与实践教学的学时比例逐渐增加到 1:1,以突出学生实践技能的培养。因此,急需一批具有高职教育特色的与专业人才培养目标配套的实践性教材。为此,中国煤炭教育协会和中国矿业大学北京教材编审室于 2003 年 10 月在北京召开了全国煤炭高等职业教育教材工作会议,并从全国煤炭系统高职院校组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,建立了全国煤炭高等职业教育规划教材编写队伍,先后出版了具有煤炭行业特色的高职高专教材。电类规划教材·实训系列就是其中之一。电类规划教材编写委员会在编写理论教材的同时把实训教程作为教材建设的重点,计划用两年的时间,推出《电类基本技能教程》和《电类专业技能教程》共五分册实训系列教材。《电类基本技能教程》包括:电工实训、电子技术实训两册;《电类专业技能教程》包括:电气控制与 PLC 实训、电机与拖动实训、工矿企业供电实训等。

本套教材的内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法,具有一定的超前性、先进性。在编写指导思想、编写内容和编写方法上充分体现高等职业教育人才培养的特色,突出高等职业教育的特点,满足高职学生学习和就业的需要。教材的内容体系更加有利于学生的自主学习和思维能力的扩展;着力于培养和提高学生分析问题、解决问题的综合素质,使学生具有较强的创新能力,促进学生的个性发展。

本套教材由河南平顶山工业职业技术学院梁南丁和内蒙古科技大学高等职业技术学院赵青梅任总主编。

本套教材适用于各级各类高职、高专院校电类专业。衷心希望各用书院校从多方面提出修改建议,使本套教材更加完善、实用。

全国煤炭高等职业教育电类
规划教材编写委员会

前 言

本书是由中国煤炭教育协会和中国矿业大学北京教材编审室共同组织编写的,是全国煤炭高等职业教育电类规划教材实训系列之一。

本书在编写中坚持“学以致用”的原则,突出应用性和针对性,使学生在具有一定理论知识的基础上,又具有较强的解决实际工程问题的能力。

本书共分为七章,内容包括基本知识、实验和实训三部分。其中电机与拖动课程的实验项目八个,实训项目十六个。本书的参考学时为 90 学时,各校可根据教学计划进行适当调整或取舍。

本书由庞元俊、王建国任主编,董德明任副主编。参加编写的人员有:河南平顶山工业职业技术学院庞元俊(第一章、第五章),内蒙古科技大学高等职业技术学院王建国(第二章),河南平顶山工业职业技术学院董德明(第三章、第四章、第六章、第七章)。全书由庞元俊统稿,由河南平顶山工业职业技术学院仵自连教授主审。

由于编者水平有限,书中难免有不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编 者
2006 年 2 月

目 录

第一章 基本知识	(1)
第一节 电机维修常用工具	(1)
第二节 常用电工材料	(9)
思考题	(24)
第二章 实 验	(26)
第一节 直流电动机机械特性测试	(26)
第二节 直流电动机启动、调速和反转实验	(30)
第三节 变压器空载与短路试验	(34)
第四节 三相变压器连接组别的测定	(44)
第五节 异步电动机空载与堵转试验	(48)
第六节 三相异步电动机的启动和调速实验	(52)
第七节 自整角机特性实验	(56)
第八节 测速发电机特性测试	(59)
第三章 电机及小型变压器的拆装实训	(61)
第一节 电机修理前的整体检查	(61)
第二节 电机的正确拆装	(64)
第三节 小型变压器的拆装与维护	(68)
思考题	(73)
第四章 直流电机的常见故障及处理方法实训	(74)
第一节 直流电机常见故障的检修	(74)
第二节 直流励磁绕组的检修	(80)
思考题	(82)
第五章 三相异步电动机绕组的故障检修实训	(83)
第一节 定子绕组接地故障的检修	(83)
第二节 定子绕组短路故障的检修	(86)
第三节 定子绕组断路故障的检修	(89)
第四节 定子绕组接错故障的检修	(92)
第五节 转子绕组断路故障的检修	(96)
思考题	(99)
第六章 电动机下线工艺实训	(100)
第一节 三相异步电动机定子绕组重绕	(100)
第二节 绕线工艺	(110)
第三节 嵌线工艺	(113)
第四节 绕组连接	(123)

思考题	(126)
第七章 电机的安装、使用与维护实训	(128)
第一节 电机的安装与调整	(128)
第二节 电机的使用与维护	(133)
思考题	(135)
参考文献	(136)

第一章 基本知识

第一节 电机维修常用工具

一、测量工具

1. 游标卡尺

游标卡尺是一种应用较广的比较精密的量具,能直接测量工件的内外径、长度、宽度和深度等尺寸。

游标卡尺的构造如图 1-1 所示。它的主尺 1 和固定卡脚 3 制成一体,副尺 2 和活动卡脚 5 制成一体。它们依靠弹簧压片,使主尺和副尺相贴合,副尺能沿主尺滑动。

测量时,将两卡脚轻轻卡在工件上,通过主副尺刻度的相对位置,可直接读出工件尺寸数。需要副尺作微动调节时,可将螺钉 8 拧紧固定微动框,再松开紧固螺钉 4,转动螺母 9,通过螺杆 7 使副尺微动,从而量得所测尺寸。再把螺钉 4 紧固后即可读数,以免尺寸变动。

游标卡尺一般用膨胀系数较小的钢材制成,其两卡脚的端部都经过淬火处理,以增加其耐磨性。这种卡尺的测量范围有 0~125 mm,0~200 mm,0~300 mm,0~500 mm,300~800 mm 等。

1) 刻线原理

游标卡尺是利用主、副尺相配合进行读数的,其测量精度按游标卡尺能测量出的最小读数分为 $1/10$ mm(0.1)、 $1/20$ mm(0.05)和 $1/50$ mm(0.02)三种。

(1) 精度为 0.1 mm 的游标卡尺 主尺每一小格为 1 mm,一大格为 10 mm,取主尺上的 9 mm 长度在副尺上分成 10 等份,副尺上每格长度为 $9/10=0.9$ mm,主尺与副尺每小格的差为 $1-0.9=0.1$ mm(图 1-2)。

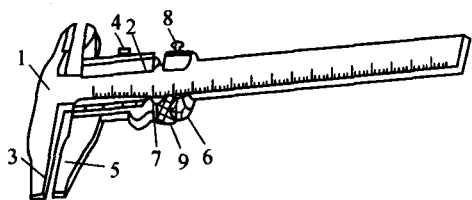


图 1-1 游标卡尺的构造

1—主尺;2—副尺;3—固定卡脚;4—紧固螺钉;
5—活动卡脚;6—微动装置;7—螺杆;8—螺钉;9—转动螺母



图 1-2 0.1 mm 游标卡尺的刻线原理

(2) 精度为 0.05 mm 的游标卡尺 主尺上的每一小格为 1 mm, 一大格为 10 mm。取主尺上 19 mm 的长度在副尺上分成 20 等份, 则副尺上每格的间距为 $19/20=0.95\text{mm}$, 主尺和副尺每格之差为 $1-0.95=0.05\text{mm}$ (图 1-3)。

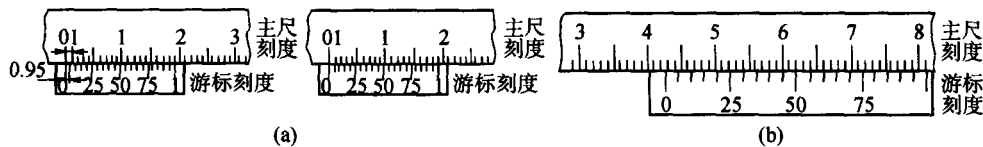


图 1-3 0.05 mm 游标卡尺刻线原理及读数例

当主尺和副尺的“0”线对齐时, 副尺的第一条线相差 0.05 mm, 第二条线相差 0.1 mm, 第三条线相差 0.15 mm, 依次类推至第 20 条线正好相差 1 mm。因此, 副尺每移动 0.05 mm, 它就有一条线和主尺的某一刻线对齐。测量时, 若副尺的第一条线与主尺的第一条线对齐时, 则两卡脚间的距离为 0.05 mm; 第二条线对齐时, 卡脚间距为 0.1 mm; 当第 n 条刻线对齐时, 则两卡脚间距为 $n \times 0.05\text{ mm}$, 如图 1-3(b)。这样, 可读出 1 mm 之间以 0.05 mm 为单位的全部小数。

(3) 精度为 0.02 mm 的游标卡尺 主尺每一小格为 1 mm, 一大格为 10 mm。把主尺上 49 mm 的长度在副尺上分成 50 等份, 则副尺上每格的间距为 $49/50=0.98\text{ mm}$ 。主尺和副尺每格之差为 $1-0.98=0.02\text{ mm}$ 。所以这种游标卡尺的精度为 0.02 mm, 如图 1-4(a) 所示。

2) 读数方法

如图 1-4(b) 中的 10.44 mm:

- (1) 查出副尺零线前主尺上毫米整数;
- (2) 查出副尺上第几条刻线与主尺上的刻线相对齐;
- (3) 把主尺上的整数值和副尺的小数值相加即可得出所测尺寸。

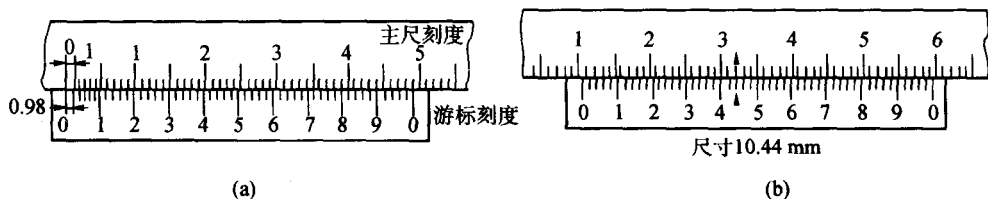


图 1-4 0.02 mm 游标卡尺刻线原理及读数例

3) 使用方法

使用前, 首先校对主尺和副尺的零线是否对齐, 用透光法检查量卡脚测量面贴合情况, 如透光不均, 说明卡脚量面磨损, 这样的卡尺不能继续使用。

用游标卡尺测量外径时, 左手拿住卡脚, 右手拿住主尺如图 1-5 所示, 先将卡脚开得比工件尺寸略大一点, 固定卡脚紧贴工件表面, 右手推动游标使活动卡脚与工件表面接触后可从尺上读出工件尺寸。

用游标卡尺测量内径和沟槽时, 应使两卡脚小于待测量的尺寸, 将卡脚插入孔或槽内, 轻轻拉开游标, 使其两卡脚紧贴工件表面后可从尺上读出工件尺寸, 如图 1-6 所示。

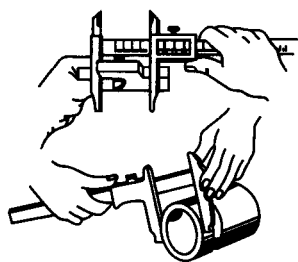


图 1-5 用游标卡尺测量外径

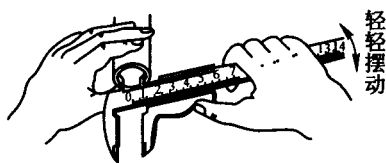


图 1-6 用游标卡尺测量内径

2. 外径千分尺(分厘卡)

外径千分尺是常用的精密量具之一。它使用灵活,操作方便,测量范围较广,精度比游标卡尺高,可达 0.01 mm ,能准确地测读尺寸。

千分尺(图 1-7)由弓架 1、固定测砧 2、固定套筒 5(带有刻度的主尺)、活动测轴 3(测轴的另一端是螺杆、其螺距为 0.5 mm)、活动套筒 6(锥面上有刻度的副尺)、制动销 4 和棘轮 7 等组成。活动套筒和活动测轴紧固成一体,活动套筒内装有螺距为 0.5 mm 的螺杆,通过螺母和固定套筒相配合。当螺杆旋转时,活动套筒沿固定套筒左右移动。在活动套筒锥面一周上刻有 50 等分小格,如图 1-8(a)所示。

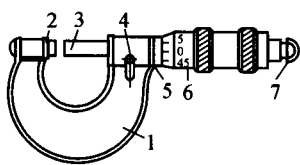


图 1-7 外径千分尺的构造

- 1—弓架;2—固定测砧;
- 3—活动测轴;
- 4—制动销;5—固定套筒;
- 6—活动套筒;7—棘轮

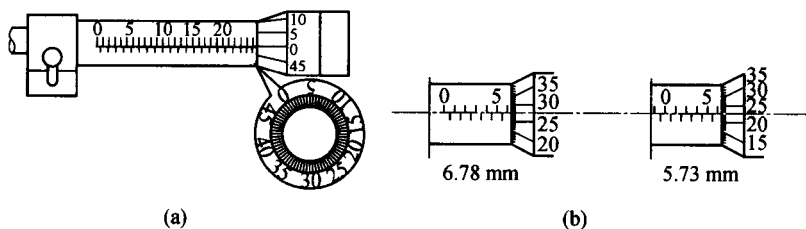


图 1-8 外径千分尺的刻线原理及读数实例

外径千分尺的测量范围有 $0 \sim 25\text{ mm}$ 、 $25\text{ mm} \sim 50\text{ mm}$ 、 $50\text{ mm} \sim 75\text{ mm}$ 、 $75\text{ mm} \sim 100\text{ mm}$ 、 $100\text{ mm} \sim 125\text{ mm}$ 等。

1) 千分尺的刻线原理

固定套筒上有一条轴向刻线(基准线),在轴向刻线的两侧都有刻度。两侧刻度各自的间距均为 1 mm ,且两侧刻度相错 0.5 mm ,即两侧相邻二刻线的距离为 0.5 mm ,恰与活动测轴螺杆的螺距相等。

当测砧和测轴两测量面接触时,活动套筒的圆锥端头边线与固定套筒上毫米刻度线的零线相重合,因活动套筒和测轴是紧固在一起的,活动套筒每转动一周,测轴和测砧两测量面的距离就前进或后退 0.5 mm 。活动套筒顺时针转动一周,其测距缩短 0.5 mm ,逆时针转动一周,其测距离开 0.5 mm 。如果图 1-8(a)所示活动套筒旋转 $1/50$ 周(1 小格),测砧和测轴两测量面的距离就变动 0.01 mm 。

2) 读数方法

先读出活动套筒边缘在固定套筒上尺寸毫米数,再看活动套筒在哪一条刻线和固定套筒上基准线重合(实际格数 $\times 0.01\text{ mm}$),然后将这两个数相加就是测量工件尺寸。如图 1-8(b)所示。

3) 使用方法

如图 1-9 所示,使用前,要先把试验棒置于固定测砧和测轴之间(0~25 mm 的不用试验棒),检查固定套筒和活动套筒的零线是否重合,活动套筒的轴向位置是否正确。如活动套筒端头边线将固定套筒的零线盖住或离线太远(即零线和基线不重合),必须调整。调整方法是松开螺母的小固定螺钉,再用专用扳手(仪器自带)扭动固定套筒进行调整,调到两线重合后,再拧紧小固定螺钉,即可使用。

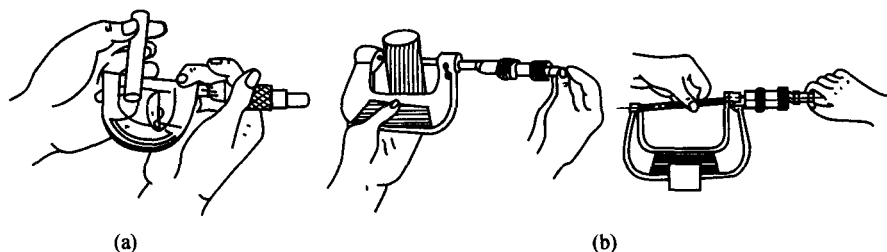


图 1-9 外径千分尺使用方法

测量时,千分尺要放正,只允许轻微地摆动千分尺或被测工件,以保证工件表面和测量面接触良好。

测量时,先转动活动套筒,等测量面接近工件表面时,再旋转测杆,至棘轮发出嗒嗒声为止。如果条件受限,不便查看尺寸,也可在关闭制动销后,取下千分尺读数。

3. 内径千分尺(内径分厘卡)

内径千分尺是用来测量内径尺寸的量具。

测量小孔径时,用普通内径千分尺。这种千分尺的刻线方向与外径千分尺相反,当活动套筒顺时针旋转时,活动套筒连同左面卡脚一起向左移动,测距越来越大,如图 1-10(a)所示。内径千分尺的读数如图 1-10(b)所示。

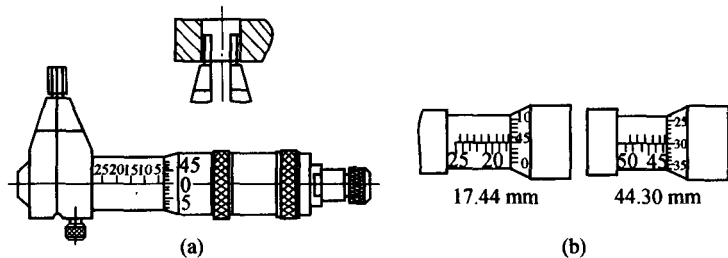


图 1-10 普通式内径千分尺及读数

4. 塞尺

塞尺是由不同厚度的薄钢片组成的测量工具(图 1-11),每片上都标有厚度数字,在设

备的安装和检修中,常用于测量接合面的间隙。

塞尺的长度规格有 50 mm、100 mm 和 200 mm 三种,其厚度是 0.03 mm~0.1 mm,中间每片间隔为 0.01 mm,如果厚度在 0.1 mm~1 mm 之间,每片间隔为 0.05 mm。

使用时,根据零件间隙大小先用较薄的试塞,逐步加厚或组合数片(一般不超过三片)重叠塞入间隙内,以钢片在间隙内既能活动,又使钢片两面稍有轻微的摩擦为宜。例如,测量时,用 0.06 mm 厚度的钢片塞入间隙,活动量较大,而用 0.09 mm 的钢片又塞不进去,则间隙就在 0.07~0.08 之间。所以塞尺也是一种极限尺。

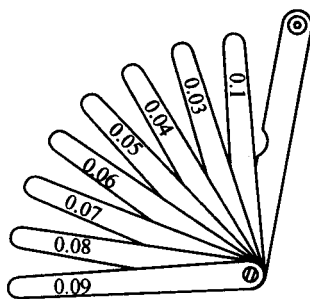


图 1-11 塞尺

由于塞尺很薄,使用时应细心,不允许硬插,以免弯曲或折断。塞尺容易生锈,用完后要马上擦干净,妥善保管好。

二、电桥的使用

电桥在电磁测量中应用广泛,其特点是灵敏而准确度高:电桥包括直流电桥和交流电桥两大类。

直流电桥是一种比较式的测量仪器,其灵敏度和准确度都很高。直流电桥分单臂电桥和双臂电桥两种。直流单臂电桥又称惠斯登电桥,直流单臂电桥适用于测量 $1\ \Omega \sim 1\ \text{M}\Omega$ 的中阻值电阻;直流双臂电桥适用于测量低阻值电阻($1\ \Omega$ 以下),如短导线电阻、大中型电机和变压器绕组的电阻等。直流电桥盘面如图 1-12 所示。

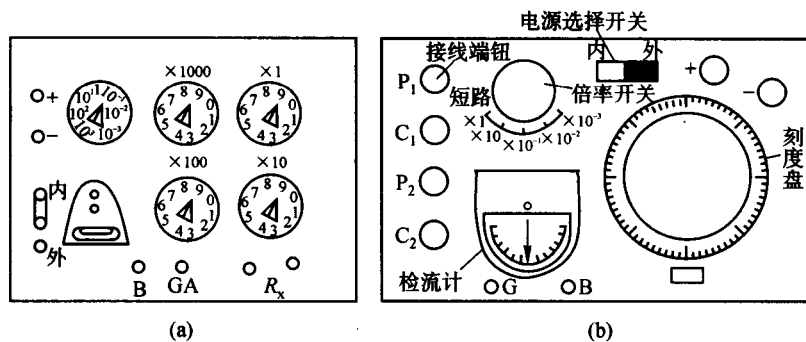


图 1-12 直流电桥

(a) QJ23 型单臂电桥; (b) QJ24 型双臂电桥

1. 直流单臂电桥

1) 使用步骤

(1) 将面板上的“外”接线柱短路,然后打开检流计锁扣,旋转机械调零旋钮,调整该旋钮使指针指在零位。

(2) 用万用表初测被测电阻:根据初测值选择适当的桥臂比率,然后将被测电阻接到电桥的“R”对应的两个接线柱上。

(3) 调节平衡时,先按住电源按钮 B,再按下检流计按钮 GA(如此时指针偏转太快,则

应及时松开该按钮,另选桥臂比率),同时调节比例臂电阻读数盘。如检流计指针偏向标度尺“+”端,应增大比例臂电阻;反之,则减小比例臂电阻值。调节使检流计指针指示零位。这时,桥臂比率乘以比例臂电阻,就是被测电阻的值。

(4) 若使用外接电源,其电压应按规定选择,过高会损坏桥臂电阻,太低则会降低灵敏度。若使用外接检流计,应将内附的检流计用短接片短接,将外接检流计接在“外接”端上。

(5) 测量结束后,应锁上检流计锁扣,以免受振而损坏。当检流计指零时,用比例臂阻值乘以比例臂的倍率,就是被测电阻 R 的阻值。

2) 注意事项

(1) 为了使测量尽量准确,在测量时选择的倍率宜使比例臂电阻的四个读数盘都有读数。

(2) 测量时,电桥必须放置平稳,被测电阻应单独测量,不能带电测试。读数值应该是在分别按下 B、GA 以后,指针平稳指零时的读数值。

(3) 测量完毕且松开 GA 和 B 之后,应将“内”接线柱短接,锁住检流计,防止其因振动受损。

(4) 由于接头处接触电阻和连接导线的电阻的影响,直流单臂电桥不宜测量阻值小于 $1\ \Omega$ 的电阻。

(5) 被测导体的电阻值因受温度变化的影响,因此在测量时,应当记录测量时的环境温度。

(6) 长期不用该电桥时,应该将电池从电桥中取出。

2. 直流双臂电桥

在使用双臂电桥时,除了遵守直流单臂电桥的使用步骤外,还应注意被测电阻应与电桥的电压端和电流端正确连接。若被测电阻没有专门接线,应设法使每端引出两根线,分别接电压端和电流端,而且引线应尽量短而粗,接头要牢靠。电压接头应比电流接头更靠近被测电阻,测量时操作要快。现以 QJ42 型直流双臂电桥为例,介绍双臂电桥的使用方法。

1) 电桥各旋钮名称与作用

(1) 接线端钮。电桥面板上的左边有四个供被测电阻接线的端钮, P_1 、 P_2 为电位端钮, C_1 、 C_2 为电流端钮。

(2) 外接电源端钮。在电桥面板右上方位置备有两个外接电源端钮,标有“+”和“-”。如果需要外接电源,应该按说明书规定选择直流电源,接在外接电源正负极相应的端钮上,以保证电桥有足够的工作电压,可提高电桥的灵敏度。

(3) 电源选择开关。电桥面板上方靠近边缘的地方设有电源选择开关,如果电桥用外接电源,就将选择开关拨向“外”;如果用内接电源,就将选择开关拨向“内”。内接电源采用干电池放在电桥背部的电池盒内,作为电桥的电源。

(4) 倍率开关。面板上方位置设有倍率开关,标有“短路”和 $\times 1$ 、 $\times 10^{-1}$ 、 $\times 10^{-2}$ 、 $\times 10^{-3}$ 、 $\times 10^{-4}$ 等不同数值。利用旋转倍率开关,选择不同的比例,可得到不同的电阻测量范围。

(5) 检流计。电桥的平衡是用检流计来指示的,它的结构与磁电式测量机构基本上相同,检流计标度尺的零点通常是在中央,指针可正向或负向偏转,并在检流计上有一个调零旋钮。未通电时,如果检流计的指针不在零点,可按指示方向旋转旋钮,将指针调到零

点上。

(6) B、G 按钮。B 为电源按钮, G 为检流计按钮。按下 B 按钮时, 表示接通电源; 按下 G 按钮时, 表示接通检流计。

(7) 刻度盘。刻度盘连接可变电阻转轴, 阻值在 $0.01 \sim 0.11$ 之间变化, 在面板上有相应的刻度, 测量时调节倍率和刻度盘至检流计指零为止。

2) 注意事项

(1) 电桥与被测电阻的连接有四根引线, 接线时要使电位接头靠近被测电阻, 电流接头和电位接头应正确连接。

(2) 双臂电桥工作时电流较大, 要求电源的容量大, 因此可使用外接电源。测量时操作要快, 测量结束后应立即关断电源。

(3) 被测电阻值就是当检流计指针平稳指零时, 比例值乘以刻度盘读数。

3. 交流电桥的使用

635 型阻抗电桥是一种典型的交流电桥, 它既可用于测量电阻、电感及电容等参数, 也可用于进行介质损耗角正切的测量。其盘面及旋钮、开关布置如图 1-13 所示, 其测试操作步骤如下:

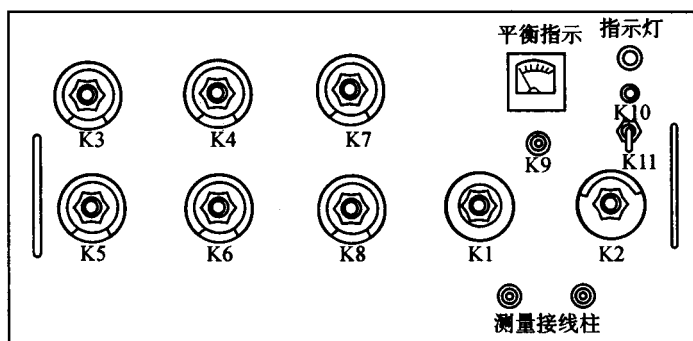


图 1-13 635 型阻抗电桥

K1—倍率选择旋钮; K2—测量选择旋钮(分为电阻、电感 Q_{10-100} 、电感 Q_{0-10} 、电容 D_{0-1} 四挡);

K3、K4、K7—可变电阻 R 的三个调节旋钮; K5、K6、K8—可变电阻 R 的三个调节旋钮(测电感或电容时使用);

K9—灵敏调节旋钮; K10—调零旋钮; K11—电源开关

(1) 根据电桥的要求接好电源, 电源电压波动幅度不大于 $\pm 10\%$ 。

(2) 开启电桥上电源开关 K11, 此时电源指示灯亮。然后把灵敏度旋钮 K9 向左转至最小位置, 调节零旋钮 K10 使平衡指示表针指向标度线以内。

(3) 再向右转动灵敏度旋钮 K9 至最大位置, 这时“平衡指示”指针应复位, 即指零位以上。

(4) 将 K3~K8 各旋钮都旋至零位。

(5) 测量电阻的步骤:

① 将被测电阻接到 635 型交流电桥的测量接线柱上。

② 把测量选择旋钮 K2 旋至电阻挡上。

③ 估计或用万用表初测被测电阻值, 将 K3、K4、K7 置适当的挡位上。

④ 调整灵敏度旋钮 K9,使平衡指针指在刻度的中间位置。

⑤ 依次调整 K3、K4、K7,使平衡指示指针最大限度向右偏转。此时,认为电桥已处平衡状态。

⑥ 将 K3、K4、K7 的读数相加,再乘以倍率就是被测电阻值。

⑦ 如果被测电阻比较大,K3、K4 都已旋至最大值,而平衡指示指针一直没有向右偏转,则应改变倍率,重新测量。

(6) 测量电感的步骤:

① 将被测电感接在测量接线柱上。

② 粗估电感值,并置 K2 于适当挡位上。

③ 调整 K1 倍率开关,选取合适倍率。

④ 根据估计值把 K3、K4、K7 调整至适当位置。

⑤ 同测量电阻一样,调整 K3、K4、K7 使电桥达到平衡。读取 K3、K4、K7 指示值并相加,再乘以 K1 指示的倍率,即为所测电感值。

⑥ 对于低 Q 值线圈,电桥不易达到平衡。这时,必须反复调整各有关旋钮,使电桥达到平衡,然后再读取数值,以减小测量误差。

(7) 测量电容的步骤:

① 将被测电容接在测量接线柱上。

② 将 K2 调到测量电容 D_{0-1} 挡位上。

③ 粗略估计被测电容的电容量,将 K1 置于适当位置。

④ 调整 K3、K4、K6、K7、K8,使电桥达到平衡。其操作方法与测量电阻、电感时相同。

⑤ 读取 K3、K4、K7 值并相加,就是被测电容器的电容量。

⑥ K6、K8 指示值相加即为被测电容器的介质损耗因数。

⑦ 如果 K3、K4 调到最大值而平衡指示的指针始终没有向右偏转,则应改变倍率选择开关 K1 的挡级,重新测量。

⑧ 测量结束,首先关断电桥面板上电源开关,然后将电源插头拔掉,将电桥妥善保管。

三、电机修理专用工具

1. 短路探测器

短路探测器是修理电机时检测绕组线圈短路的专用工具,其结构相当于一个开口变压器,它是由一个 H 型铁心和线圈两部分组成。

使用时将短路探测器放在定子铁心中所要检查的线圈边的槽口上,把短路探测器的线圈通入交流电,这时短路探测器与定子铁心构成一个磁回路,短路探测器其线圈相当于变压器的初级线圈,而被检查的槽内线圈相当于变压器的次级线圈。若被检查的线圈有短路,则串在短路探测器线圈回路里的电流表读数就大。若没有电流表也可用一条薄铁片放在被检查线圈的另一边槽口,如被检查线圈有短路,这线圈内就有感应电流流通,所以这条薄铁片被槽口的磁性吸引而发生振动,发出吱吱声。如图 1-14 所示。

将短路探测器沿定子内圆逐槽移动测试,找出短路线圈的位置。使用短路探测器要注意以下几点:

(1) 电机引出线端是三角形连接时,要将三角形拆为开口。

(2) 绕组是多路并联时,也要先拆开并联支路。

(3) 在双层绕组中,一个槽内嵌有不同线圈的两条边,要确定究竟是那一个线圈短路时,应分别将铁片放在左边相隔一个节距的槽口和右边相隔一个节距的槽口上进行试验,如图 1-15 所示。

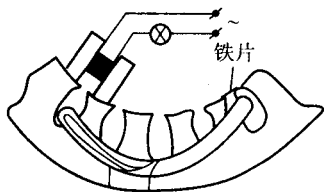


图 1-14 短路探测器检测单层绕组

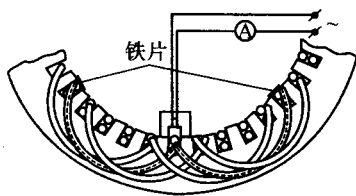


图 1-15 短路探测器检测双层绕组

(4) 短路探测器线圈接电源前必须先将其放在定子铁心上,使磁路闭合;否则,磁路不闭合,线圈中电流很大,时间稍长短路探测器线圈容易烧坏。

2. 划线板、压线板

压线板、划线板、剪刀、木锤是绕组下线的常用工具。

(1) 划线板 绕组漆包线下线时,由于槽口比较窄,在槽口处容易造成漆包线的交叉堆积,划线板作用是划顺漆包线,使其容易进入槽口。漆包线下进槽内后如果还有交叉重叠,会降低电机槽的利用率,也需要用划线板划顺漆包线。

划线板一般由操作者自己加工,材料为竹质、层压板等非金属材料,以保证划线时不划伤漆包线。其长度一般为 150 mm~200 mm,前段有一段薄刃,形状如图 1-16(a)所示。

(2) 压线板 电机绕组下线的时,当电机槽内的漆包线多到一定数量,由于漆包线的内应力作用,槽内的漆包线会很“虚”,需用压线板压实后方可继续下线。压线板的作用是压实电机槽内的漆包线束。

压线板一般是由黄铜或钢材加工制成,结构如图 1-6(b)所示。压线板由手柄、压脚两部分组成,其中压脚的下平面要求光洁无棱角,以防压线时损伤漆包线的漆膜。

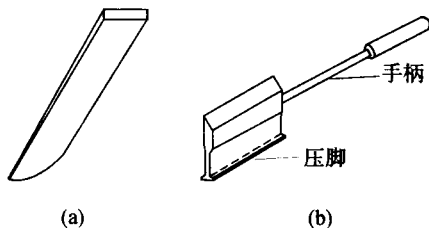


图 1-16 划线板和压线板

(a) 划线板; (b) 压线板

第二节 常用电工材料

电气设备的制造与维修都需要具有特殊性质的电工材料,而不同性质的材料又决定了它们的不同用途。电工材料按其功能分为导电材料、绝缘材料和磁性材料三大类。导电材料用于传导电流;绝缘材料是把电流约束在电路内,并将不同电位的导线隔离,不致于造成短路或泄漏,以保证电气设备和人身的安全;磁性材料用于导磁,是磁路的主要组成部分。

一、导电材料

(一) 金属导电材料

导电材料一般分为良导体材料和高电阻材料两大类。常用的良导体有铜、铝、钢、银、

钨、锡等金属。铜、铝、钢主要用来制作导线或母线；银主要用来制作接触器的触点，钨的熔点较高，常用于制造灯丝等；锡的熔点低，可作导线接头的焊料和熔丝等。

良导体还有铅、锌、铬、锰、镍等，这些材料因属于稀有金属，价格较贵，故很少采用。

高电阻材料有康铜、锰铜、镍铬和铁铬铝等金属，这些材料主要用来制造电阻器及热工仪表的电阻元件等。

对导电材料的要求是：电阻小，热膨胀系数小，抗拉强度大，熔点高，比重小，电阻温度系数小。常用的导电金属材料的物理性质如下。

1. 铜及铜合金

铜是最重要的导电金属，它具有电阻率低，导热性好，具有较好的可塑性和延展性。可进行各种机加工，并在常温下具有不易氧化的特点。

(1) 纯铜(又叫紫铜)目前工业上以 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、电阻率 $\rho=0.017\ 241$ ，并经过退火的铜为标准铜。铜的密度因物理状态不同而有所差别，平均值是 8.89 ，熔点为 $1\ 083\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。用作导电材料的铜是纯铜，其含铜量为 $99.90\%\sim 99.95\%$ 。纯铜又分硬铜和软铜两种。

① 硬铜：是将铜经过加工，使材料变硬而成。它的机械强度高，抗拉强度为 $40\times 9.8\text{ N/mm}^2$ ，并且拉断时伸长率很小，不超过 $1\%\sim 2\%$ ，常用作电机车架空线、架空线路的裸铜线、配电盘的母线等。

② 软铜：是将硬铜加热到 $330\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，然后缓慢冷却到常温，即可成为软铜。软铜的抗拉强度较低，约为 $20\times 9.8\text{ N/mm}^2$ ，拉断时伸长率为 $30\%\sim 40\%$ 。常用作电线、电缆的线芯。

铜用途广泛，工业用量很大，但铜的蕴藏量较少，价格较贵，为了节约用铜，尽可能以铝代铜。

(2) 青铜 青铜是含有少量的锡、铍、硅、镁、镉、铬、磷等元素的铜合金，青铜的特点是导电性能好，机械强度高，可以满足工艺上的要求。常用的青铜合金有：铍青铜、镉铜、镉青铜、铝青铜、磷青铜、黄铜等。镉铜合金多用于制造接触材料，如绕线式电动机的滑环。铍青铜制造重要弹簧、压紧触片等。

2. 铝及铝合金

铝用作导电材料仅次于铜。特点是：质轻其密度约为 2.7 g/cm^3 ，是铜的 $1/3$ ；其熔点为 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；电导率高，仅次于铜、银、金及铬。它延展性、可塑性好，但抗拉强度低。由于铝的表面在空气中极易氧化成铝薄膜，在接头处的氧化铝膜会增大接触电阻，使导电性能变坏，因此不能用普通的方法焊接。铝与铜或其他金属接触时，很容易形成原电池，在潮湿的空气中会产生电腐蚀现象，因此在输配电工程中一般的不允许铝、铜线直接相接(可用过渡接头)。

铝可分为硬铝和软铝。在电工中最常用的是铝镁合金，它的机械性能比铝好，抗拉强度近于硬铜，电阻近于铝。因此，它可以制作大跨度的多股绞合架空输电线和裸母线等。

3. 其他导电金属

(1) 银 是优良的导电材料，属于贵金属。它的导电性和导热率比其他所有金属都高，并有良好的延展性、塑性、机械加工性。在电气工程中多用银或银合金制造各种继电器、开关的触点，在精密的测量仪表中多以银作为连接导线，在无线电零件以及金属陶瓷管中，