

教 育 部 规 划 教 材

中等职业学校电工专业(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

# 电动机检修技术



全国中等职业学校电工专业教材编写组 编

李佩禹 主编



高等教育出版社

教育部规划教材  
中等职业学校电工专业  
(含岗位培训 行业中级技术工人等级考核)

# 电动机检修技术

全国中等职业学校电工专业教材编写组 编  
李佩禹 主编

高等教育出版社

## 内 容 提 要

本书系教育部中等职业学校电工专业规划教材。全书从电动机检修基础知识入手,全面而又详细地介绍了三相异步电动机、单相异步电动机、串励电动机、直流电动机和变压器的结构、绕组、常见故障及具体检修工艺。

全书内容丰富,叙述简明扼要,深浅适度,注重维修工艺的介绍和学生操作技能的培养,具有较强的实用性。本书亦可作岗位培训,行业中级技术工人等级考核教学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电动机检修技术/李佩禹主编. —北京:高等教育出版社, 1999.5 (2006 重印)  
ISBN 7-04-007157-6

I. 电… II. 李… III. 电动机-检修 IV. TM307

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 01095 号

电动机检修技术

李佩禹 主编

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京地质印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 10.5  
字 数 240 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 1999 年 5 月第 1 版  
印 次 2006 年 2 月第 5 次印刷  
定 价 12.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 7157-00

# 前 言

本书是教育部中等职业学校电工专业规划教材。

全书从电动机检修基础知识入手，对电磁基本知识、测试仪器仪表与维修工具、维修中的常用材料进行了介绍；重点对三相异步电动机、单相异步电动机、串励电动机和直流电动机的原理与结构、电动机的绕组构成、绕组布线、嵌线、浸漆与烘焙等具体操作工艺，以及电动机的起动与调速、绕组拆换、绕组改绕与重绕、电动机的常见故障、修后测试等进行了详细叙述。同时对变压器的结构与原理、三相电力变压器、常用特种变压器、变压器的常见故障、变压器的修后试验进行了详细介绍。

为适应中等职业教育的教学特点，本书力求阐述简明，重点突出，注重修理工艺的介绍和学生操作技能的培养。在每章开头有学习提要，章末附有复习思考题，正文及附录中有较多实用的图表，由于这些特点，使本书既可用作教材，也适用于读者自学。

本教材的教学课时约 72 学时，共分六章，各章学时大致分配如下表所列，供参考。

学时分配表

| 章 次 | 学 时 | 章 次 | 学 时 |
|-----|-----|-----|-----|
| 第一章 | 8   | 第四章 | 6   |
| 第二章 | 30  | 第五章 | 6   |
| 第三章 | 14  | 第六章 | 8   |

本书由山东省家用电器行业协会李佩禹高级工程师编写。承北京电力学校杨学勤副教授主审，提出了许多详细、具体的意见，对此编者深表感谢。

由于编者水平有限，书中会有错漏和不当之处，恳请使用本书的师生和广大读者指正。

编者

1998 年 10 月于济南



# 目 录

|                                  |     |                                     |     |
|----------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| <b>第一章 电动机检修基础</b> .....         | 1   | <b>第二节 单相串励电动机的绕组</b> .....         | 103 |
| 第一节 电磁基础知识 .....                 | 1   | <b>第三节 单相串励电动机的调速与反转</b> .....      | 104 |
| 第二节 测试仪器仪表与维修工具 .....            | 5   | <b>第四节 单相串励电动机的常见故障</b> .....       | 106 |
| 第三节 维修中常用的材料 .....               | 11  | <b>第五节 单相串励电动机的绕组重绕</b> .....       | 110 |
| 第四节 电动机分类与电动机铭牌 .....            | 16  | 复习思考题 .....                         | 113 |
| 复习思考题 .....                      | 18  | <b>第五章 直流电动机</b> .....              | 114 |
| <b>第二章 三相异步电动机</b> .....         | 19  | 第一节 直流电动机的结构与原理 .....               | 114 |
| 第一节 三相异步电动机的原理与结构 .....          | 19  | <b>第二节 直流电动机的电枢绕组</b> .....         | 116 |
| <b>第二节 三相异步电动机的绕组</b> .....      | 22  | <b>第三节 直流电动机的起动、制动与调速</b> .....     | 120 |
| <b>第三节 三相异步电动机的起动与调速</b> .....   | 38  | <b>第四节 直流电动机的常见故障</b> .....         | 122 |
| <b>第四节 三相异步电动机的常见故障</b> .....    | 46  | <b>第五节 直流电动机的修后测试</b> .....         | 123 |
| <b>第五节 三相异步电动机的局部修理</b> .....    | 51  | <b>第六节 家用直流电动机检修</b> .....          | 125 |
| <b>第六节 三相异步电动机的绕组拆换</b> .....    | 60  | 复习思考题 .....                         | 126 |
| <b>第七节 三相异步电动机绕组的重绕与改绕</b> ..... | 69  | <b>第六章 变压器</b> .....                | 127 |
| <b>第八节 三相异步电动机的试验</b> .....      | 76  | 第一节 变压器的分类与结构 .....                 | 127 |
| 复习思考题 .....                      | 79  | <b>第二节 变压器的工作原理与运行特性</b> .....      | 131 |
| <b>第三章 单相异步电动机</b> .....         | 81  | <b>第三节 三相电力变压器</b> .....            | 134 |
| 第一节 单相异步电动机的原理与结构 .....          | 81  | <b>第四节 特种变压器</b> .....              | 137 |
| <b>第二节 单相异步电动机的绕组</b> .....      | 85  | <b>第五节 变压器常见故障分析</b> .....          | 142 |
| <b>第三节 单相异步电动机的调速与反转</b> .....   | 89  | <b>第六节 电力变压器的修后试验</b> .....         | 144 |
| <b>第四节 单相异步电动机的常见故障</b> .....    | 92  | <b>第七节 国产电力变压器简介</b> .....          | 146 |
| <b>第五节 单相异步电动机的重绕计算</b> .....    | 94  | 复习思考题 .....                         | 148 |
| <b>第六节 修后检查项目和试验方法</b> .....     | 98  | <b>附录一 常用漆包圆线规格</b> .....           | 149 |
| 复习思考题 .....                      | 99  | <b>附录二 部分系列异步电动机铁心和绕组技术数据</b> ..... | 151 |
| <b>第四章 单相串励电动机</b> .....         | 101 | 主要参考书目 .....                        | 161 |
| 第一节 单相串励电动机的结构原理 .....           | 101 |                                     |     |

# 第一章 电动机检修基础

本章介绍电磁基础知识、测试仪器仪表与维修工具、常用维修材料和电动机简介等内容。学完本章后应能掌握电磁定律和交流电的产生过程；会正确使用测试仪器仪表与维修工具；了解电动机修理时常用电工材料的性能、分类、牌号和规格，并能正确选用。此外，还应了解电动机的分类方法和电动机铭牌的内容，以便选用和维护。

## 第一节 电磁基础知识

永久磁铁、通电导体周围都有磁场存在，磁场可用磁力线、磁通和磁通密度进行描述。一般用磁力线进行定性分析，用磁通和磁通密度进行定量计算。

### 一、电磁定律

电磁定律是电动机的理论基础，主要包括安培环路定律、电磁感应定律和电磁力定律。

#### （一）安培环路定律

通电导体磁场的磁力线是围绕导体的同心圆，在通入电流大小一定的情况下，磁场中某点磁场的强弱由该点离导体的垂直距离决定，离导体越近、磁场越强；离导体越远，磁场越弱，如图 1-1 所示。



图 1-1 通电导体的磁场

磁场中某点（如 A 点）的磁通密度大小：

$$B = K \frac{I}{r} \quad (1-1)$$

式中  $B$ ——磁通密度；

$I$ ——导体中通入电流的大小；

$r$ ——磁场中某点与通电导体的垂直距离；

$K$ ——系数。

磁场的方向：用右手螺旋法则判断。右手握住导线，大拇指指向通入电流方向，其余四指所指方向为磁力线方向，也就是磁场的方向。

#### （二）电磁感应定律

在如图 1-2 所示的磁场中，当导体在垂直方向移动时，无电流产生；导体在其他方向移动时，会在电流表中有读数。此现象称为电磁感应现象。

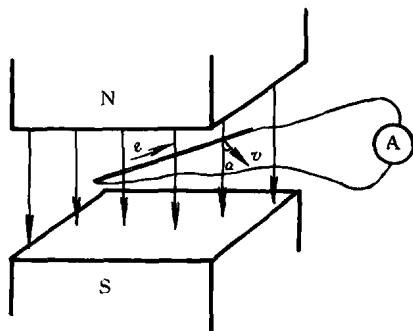


图 1-2 电磁感应

磁场中的导体只要切割磁力线必产生感应电动势，若电路闭合则有感应电流产生，这就是电磁感应定律。

感应电动势的大小：

$$e = BLv \sin \alpha \quad (1-2)$$

式中  $e$ ——感应电动势 (V);  
 $B$ ——磁通密度 (T);  
 $L$ ——导体有效长度 (m);  
 $v$ ——导体运动速度 (m/s);  
 $\alpha$ —— $B$  与  $v$  的夹角。

感应电动势的方向：用右手定则判断。伸开右手，让大拇指与其余四指垂直，然后放入磁场中，使磁力线穿过手心，大拇指指向导体运动方向，那么四指所指方向为感应电动势方向，参见图 1-2。

### (三) 电磁力定律

通电导体在磁场中受的力，称为电磁力。电磁力是电动机能够转动的原因。

如图 1-3 所示，电磁力的大小：

$$F = BIL \sin \alpha \quad (1-3)$$

式中  $F$ ——电磁力 (N);  
 $B$ ——磁通密度 (T);  
 $I$ ——通入电流 (A);  
 $L$ ——导体有效长度 (m);  
 $\alpha$ —— $B$  与  $I$  的夹角。

电磁力的方向：用左手定则判断。伸开左手，让大拇指与其余四指垂直，然后放入磁场中，使磁力线穿过手心，四指指向通入电流方向，那么大拇指所指方向为电磁力方向。

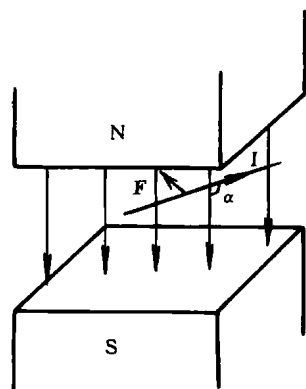


图 1-3 电磁力定律

## 二、正弦交流电

电流大小和方向不随时间变化的电流，称为直流电；电流的大小和方向随时间按正弦规律变化的称为正弦交流电。

### (一) 单相正弦交流电

如图 1-4 所示，转子线圈中通以直流电，就会在转子铁心中产生磁场，磁力线从 N 极经过气隙进入定子，再由定子进入 S 极。当转子旋转时，磁力线切割定子导体，根据电磁感应定律，于是在定子导体中便产生感应电动势。根据右手定则判断出：A 导体感应电动势方向流出纸面，以符号  $\odot$  表示；当转子转过  $180^\circ$  时，感应电动势便改变，以符号  $\otimes$  表示。原动机带动转子不断旋转时，便产生如图 1-5 所示的正弦波。

上图所示电动势瞬时值与时间的关系可由下面的公式来表示：

$$e = E_m \sin(\omega t + \phi_0) \quad (1-4)$$

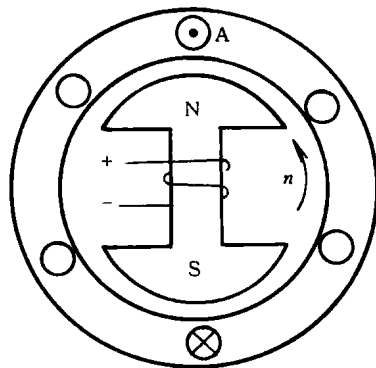


图 1-4 单相交流电的产生

式中,  $E_m$ 、 $\omega$ 、 $\psi_0$  分别为最大值、角频率和初相位, 通常称为交流电的三要素。

### 1. 变化的快慢

单相正弦交流电随时间作周期性变化, 变化的快慢可用周期、频率和角频率来描述。

(1) 周期  $T$  交流电变化一次所需的时间, 单位是秒 (s)。

(2) 频率  $f$  是指每秒钟交流电变化的次数, 单位是赫兹 (Hz)。国内电源频率均为 50Hz。

周期  $T$  和频率  $f$  的关系是:

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-5)$$

(3) 角频率  $\omega$  是指每秒变化的弧度数值。正弦交流电变化一个周期, 相当于正弦函数变化  $2\pi$  个弧度, 单位是弧度/秒 (rad/s)。

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1-6)$$

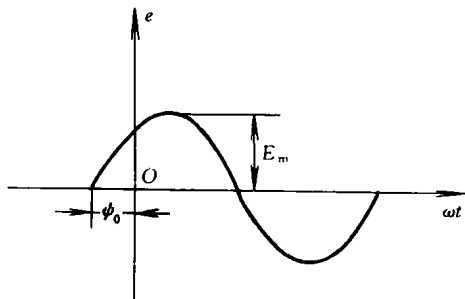


图 1-5 单相正弦交流电

### 2. 变化的起始值和相位

交流电在随时间变化过程中, 不同的时刻, 对应不同的角度, 从而得到不同的瞬时值, 所以正弦量中的  $(\omega t + \psi_0)$  决定了交流电瞬时值的变化进程。我们把  $(\omega t + \psi_0)$  称为正弦量的相位, 当  $t=0$  时刻, 正弦量的相位, 称为初相位  $\psi_0$ 。 $\psi_0$  的大小和正负与所选择的起点有关, 在图 1-6 所示的波形中, (a) 图  $\psi_0$  为零, (b) 图  $\psi_0$  为正值, (c) 图  $\psi_0$  为负值。

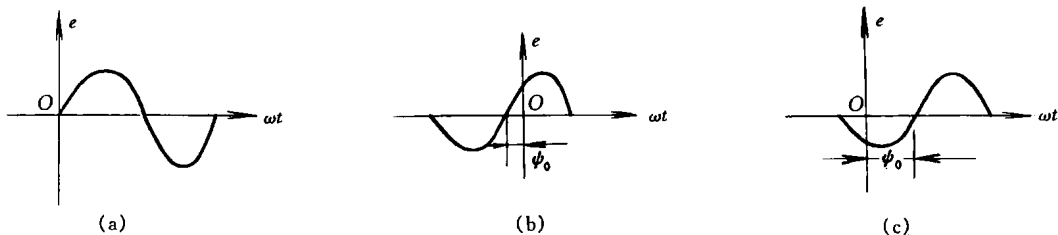


图 1-6 初相位示意

两个正弦交流电在任何瞬时相位之差称为相位差, 用  $\psi$  表示。对于同频率的交流电来说, 相位差实际上就是初相位之差。先达到正的最大值的正弦量比后达到正的最大值的正弦量, 从相位上说就是: 前者“超前”于后者, 或者说后者“滞后”于前者。

### 3. 交流电的大小

交流电的大小可用瞬时值、最大值和有效值来表示, 若没有说明均指有效值。

(1) 瞬时值 是指交流电在任一时刻的实际值, 其大小随时间的变化而变化, 一般用小写字母表示, 如  $e$ 、 $u$ 、 $i$  分别表示电动势、电压和电流的瞬时值。

(2) 最大值 是指交流电在变化过程中出现的最大瞬时值。在一个周期内出现二次, 一般用大写字母加脚标  $m$  表示, 如  $E_m$ 、 $U_m$ 、 $I_m$  分别表示电动势、电压和电流的最大值。



(3) 有效值 是指一个交流电流的热效应相当于某一数值的直流电流的热效应。这个直流数值叫做交流电的有效值。通常用大写字母表示,如  $E$ 、 $U$ 、 $I$  分别表示电动势、电压和电流的有效值。

正弦交流电的最大值和有效值的关系为:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (1-7)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (1-8)$$

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad (1-9)$$

通常,交流用电设备上标注的额定电压、额定电流都是指有效值,一般交流电压表、电流表测得的数值也是指有效值。

## (二) 三相正弦交流电

### 1. 产生过程

在电动机定子上对称嵌放互差  $120^\circ$  的三套绕组  $U_1-U_2$ 、 $V_1-V_2$ 、 $W_1-W_2$ ,这三套绕组线径、匝数、绕法相同。在转子线圈上通入直流电后形成磁场,在原动机的带动下,转子磁场切割定子导体,在各绕组中产生感应电动势,如图 1-7 所示。

若以水平 A 点为计时起点,此时初相位为零,第一相 (U 相) 感应电动势:

$$e_U = E_m \sin \omega t \quad (1-10)$$

V 相比 U 相绕组顺转动的方向后移  $120^\circ$ ,因此 V 相感应电动势:

$$e_U = E_m \sin(\omega t - 120^\circ) \quad (1-11)$$

同理, W 相比 V 相顺转动的方向后移  $120^\circ$ , W 相感应电动势:

$$e_W = E_m \sin(\omega t - 240^\circ) \quad (1-12)$$

因此三相正弦交流电的最大值、角频率相同,相位彼此相差  $120^\circ$ ,其波形如图 1-8 所示。

### 2. 星形接法

将三相电压源各绕组的末端  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  接在一起,形成一个节点,称为电源的中性点,用 N 表示。由三相电压源的首端  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  和中性点 N 分别引出四根线对外供电,这种供电方式称为三相四线制,如图 1-9 所示,这里三相电压源接成了星形 (Y)。由首端引出的三根输电线称为相线 (俗称火线),由中性点 N 引出的输电线称为中性线或零线 (俗称地线)。

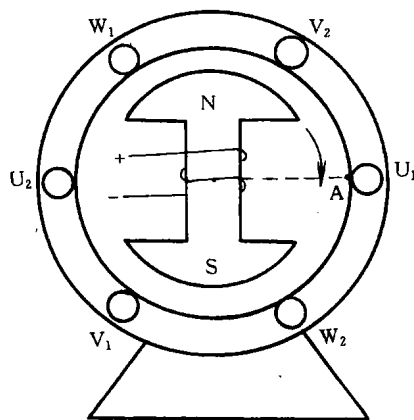


图 1-7 三相交流电的产生

每相绕组首末端之间的电压称为相电压,用  $U_p$  表示相电压有效值;两相线之间的电压称为线电压,用  $U_l$  表示线电压有效值,则在星形连接中有如下关系:

$$U_l = \sqrt{3} U_p \quad (1-13)$$

每相绕组中的电流称为相电流,用  $I_p$  表示相电流有效值;相线中的电流称为线电流,用  $I_l$  表示线电流有效值,则在负载对称的条件下:

$$I_l = I_p \quad (1-14)$$

### 3. 三角形接法

将一相绕组的末端与下一相绕组的首端依次串联,就得到了三相电源的三角形接法,如图 1-10 所示。

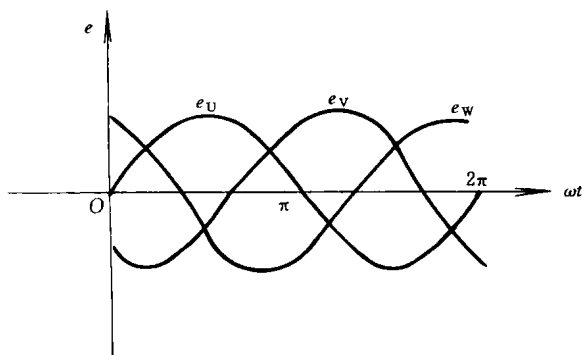


图 1-8 三相正弦交流电波形

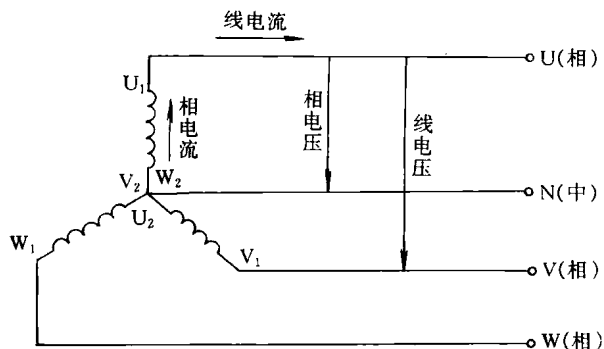


图 1-9 三相电源的星形接法

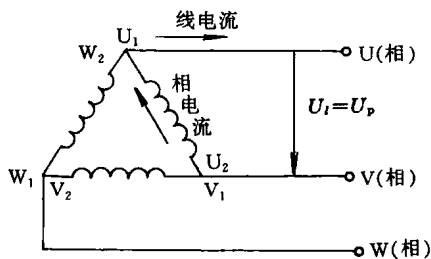


图 1-10 三相电源的三角形接法

在三角形接法中,从各连接点直接引出相线,因此有以下关系:

$$U_l = U_p \quad (1-15)$$

在三相负载对称的条件下,有以下关系:

$$I_l = \sqrt{3} I_p \quad (1-16)$$

## 第二节 测试仪器仪表与维修工具

在电动机修理中,需使用测试仪器仪表判断电动机的故障和检查其性能;电动机在拆卸和绕组嵌线过程中,要用到一些维修工具。下面分别进行介绍。

### 一、测试仪器仪表

在电动机修理过程中,常用的测试仪器仪表主要有万用表、兆欧表、钳形电流表、千分尺、电桥、短路探测器和 4 号粘度计等。

#### (一) 万用表

万用表是一种多用途和多量程的测试仪表,形式较多。在电动机修理中,一般用来测量交

流电压、直流电压、直流电流、直流电阻和检查电动机的一般故障。

下面以电动机修理中应用较多的 500-2 型万用表（如图 1-11）为例，说明正确使用方法。

(1) 将表放平或直立放于较平稳处，以保证测量数字的准确性。

(2) 根据测试需要，将转换开关旋钮放在相应位置上，并检查两表笔的插入位置是否正确。

(3) 测量交流电压时，将右转换开关置于“ $\sim V$ ”位置，根据所测电压值的大小，选择好左转换开关“ $V$ ”的量程，再将两表笔并联在被测电路两端，即可测出被测电路两端电压值。当不能预计被测电压值时，可将左转换开关置于较大量程上，然后根据所指示的电压大约数值，再选择适当量程。

(4) 测量直流电阻时，先将左转换开关置于“ $\Omega$ ”位置上，根据所测电阻值的大小，选择好右转换开关“ $\Omega$ ”挡的量程，并将两表笔短接，旋转调零钮，使指针指在欧姆刻度的“ $0\Omega$ ”位置上，然后将两表笔跨接在所测电阻或线圈的两端，测量其电阻值。

#### 注意事项：

①若在短接两表笔旋转调零钮时，发现指针不能达到“ $0\Omega$ ”位置，说明万用表内电池电压不足，应及时更换。

②为保证测量的准确性，在测量电动机绕组电阻时，应将导线两端的绝缘漆膜刮去，并不要用手接触两表笔金属部分和被测导线两端。

(5) 测量直流电压时，将右转换开关置于“ $\sim V$ ”位置，根据所测电压值的大小，选择好左转换开关“ $V$ ”的量程，再将两表笔并联在被测电路两端，即可测出被测电路两端电压值。测量中若发现指针反向偏转，交换两表笔位置即可。

(6) 测量直流电流时，先将左转换开关置于“ $A$ ”挡，根据所测电流的大小，选择好右转换开关“mA”或“ $\mu A$ ”的量程，将两表笔串在电路中，即可测出被测电路中直流电流的大小。

#### 注意事项：

①两表笔不得并联在电路中，否则会烧坏万用表。

②所选量程要比预计电流大几倍，以免因电路不正常引起电流过大损坏万用表。

(7) 500-2 型万用表有一交流电流端子，可用来测量 5A 以下的交流电流。测量时，左、右转换开关均置于“ $A$ ”挡，然后将万用表串入电路中进行测量。需要指出的是，普通万用表不能用来测量交流电流，一般情况下，用钳形电流表测量交流电流。

#### (二) 兆欧表

兆欧表是用来测量电动机绝缘强度的仪表。目前常用的有摇表式兆欧表和晶体管兆欧表两

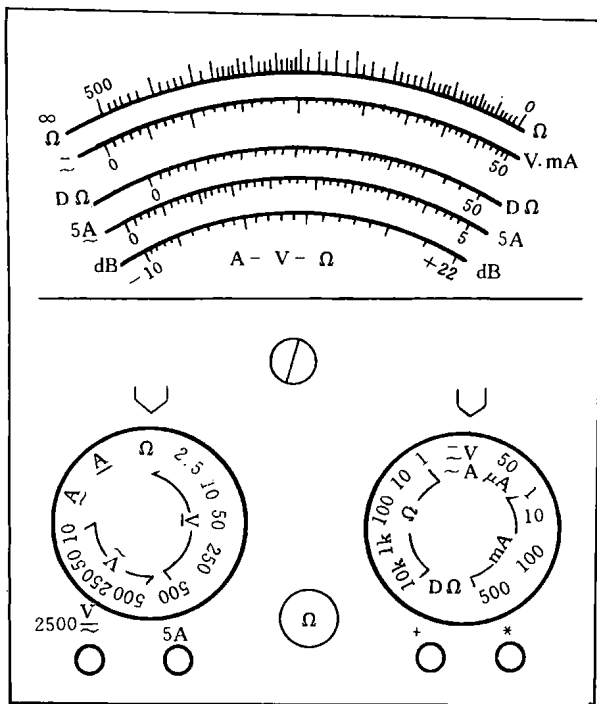


图 1-11 500-2 型万用表面板

种,在电动机修理中,一般采用前一种。常见的摇表有 250V、500V、1000V 等规格,在中、小型电动机修理中常用 500V 的,测量范围在  $0\sim 1000\text{M}\Omega$ 。

测量时,先将被测电动机的电源切断,并进行短路放电。然后将兆欧表(如图 1-12 所示)接线端的“L”端与绕组线端相连接,接地“ $\perp$ ”端与电动机外壳相连接,以 120r/min 转速均匀摇动手柄(切忌忽快忽慢,影响测量准确度),待指针稳定后,从表头读出的数值,即为电动机绕组对机壳的绝缘电阻值。

#### 注意事项:

①使用前,先检查兆欧表是否良好,方法是:将兆欧表两线端分开,摇动手柄,指针应在无穷大处;再将两线端短接一下,指针应指在零处。这说明兆欧表是良好的。

②摇动手柄时,不要时快、时慢,一般要求转速满足  $90 < n < 150$  (r/min) 且摇动均匀即可。

③测量电动机两相绕组间绝缘电阻时,兆欧表两线端应分别接在所测两相绕组的线端,方法同上。

④测量完毕,须待兆欧表停止转动和电动机绕组放电后方可拆下测量的连接线,以免触电和打坏兆欧表。

#### (三) 钳形电流表

钳形电流表又称卡表,是根据变压器的原理制成的,如图 1-13 所示,用于测量交流电流。测量时,先将转换开关置于略比预测电流大的量程上,然后用手握住胶木手柄,收拢四指,钳口打开,将被测导线放入铁心钳口后,松开四指,使铁心闭合,这时从表头中读出的数值,即为被测导线中的电流值。

#### 注意事项:

①为使读数准确,钳口铁心两表面应紧密闭合。如有杂声,将钳口重新开合一次;如铁心仍有杂声,需将钳口铁心两表面上的污垢擦净后,再进行测量。

②若所测导线电流很小,将导线在钳形铁心上绕几匝,从表头读出的数值除以所绕匝数,即为被测导线中的电流数值。

#### (四) 千分尺

在电动机修理中,外径千分尺主要用于测量漆包线的线径(带漆膜),其外形结构如图 1-14 所示。

#### 使用方法:

①使用前,擦净千分尺测量面,并转动棘轮使两测量面无间隙,校准零位,以确定测出的数值的准确性。

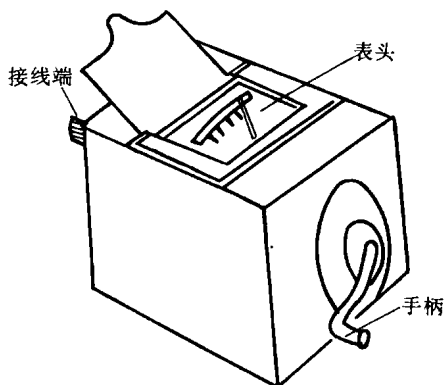


图 1-12 兆欧表外形

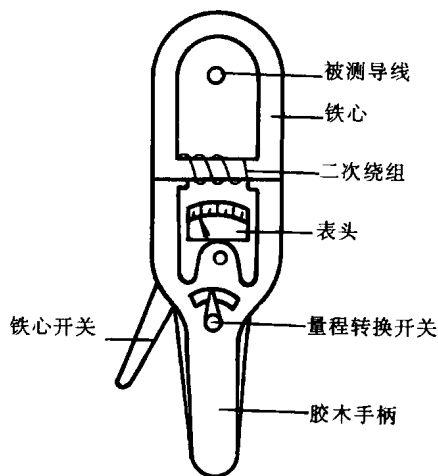


图 1-13 钳形电流表

②将所测漆包线放入两测量面间，一手拿弓形架和漆包线，另一手转动棘轮旋钮。当螺杆接近导线表面时，应轻轻转动棘轮，使其接触，然后再轻轻转动细调旋钮，当听到“咔咔”声音时，即可读数。

③读数时，先读出固定套管上的刻度，再读出活动套管上的刻度（分度值为 0.01mm），然后将两个读数相加，即为所测带漆膜漆包线的线径。从附录一中查得漆膜厚度，带漆膜线径减去漆膜厚度，即为导线裸线线径。

#### 注意事项：

①校准零位时，若零位失灵，应记下偏差值，待线径测出后扣除。

②测量线径时，若听到“咔咔”声音时，说明漆包线已与测量面紧密接触，若再用手转动旋钮，会将漆包线挤扁，影响测量的准确性。

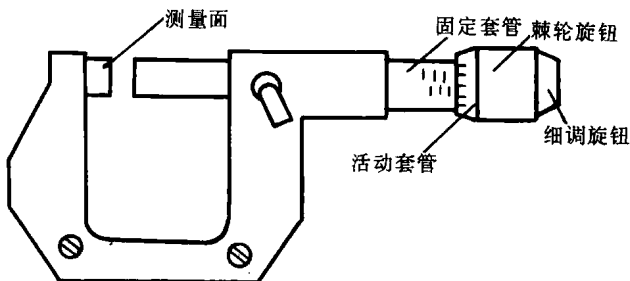


图 1-14 千分尺结构

#### （五）电桥

电桥是一种比较式的测量仪器，在电动机修理中主要用于精确测量绕组或线圈的电阻值。常用的有直流单臂电桥（测量范围  $1 \sim 10^7 \Omega$ ）和直流双臂电桥（测量范围  $10^{-6} \sim 11 \Omega$ ）。

1. 直流单臂电桥 本节以图 1-15 所示的 QJ-23 型直流单臂电桥为例，介绍直流单臂电桥使用方法。

（1）校正零位 打开检流计开关，待稳定后，将指针校到零位。

（2）线路连接 将被测电阻接到电桥面板上标有“ $R_x$ ”的两个端钮上。

（3）倍率选择 先用万用表估计被测电阻值，然后选择倍率，以减少测量时间，获得准确的测量结果。

（4）电桥平衡调节 先按下按钮 B 接通电源，再按下按钮 G 接通检流计。若这时检流计指针向“+”方向偏转，应增加比较臂电阻；反之，减少比较臂电阻。这样反复调节，直至检流计指针指向零位，说明电桥已达到平衡。在平衡调节过程中，不能将按钮 G 锁住，只能在每次调节时短时按下，观察平衡情况。当检流计偏转不大时，才可锁住按钮 G 进行调节。

（5）测量后操作 先松开按钮 G，再松开按钮 B。否则当被测电阻的自感较大时，易损坏检流计。

（6）被测电阻计算  $R_x = \text{倍率} \times \text{比较臂读数} (\Omega)$ 。

（7）使用完毕后处理 先将检流计上的开关锁住，并将检流计连接线放在“内接”位置上。

2. 直流双臂电桥 当电动机绕组电阻很小时，利用万用表和直流单臂电桥测量，对测量结果带来的误差较大。这时须采用直流双臂电桥进行测量。

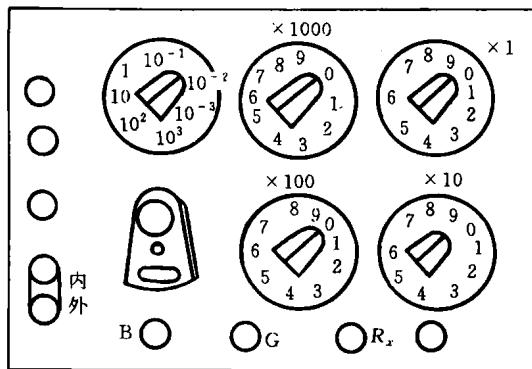


图 1-15 QJ-23 型直流单臂电桥面板

直流双臂电桥使用方法，与直流单臂电桥基本相同。不同处主要有：

(1) 直流双臂电桥在开始测量时，应将控制检流计灵敏度的旋钮放在最低位置上。在平衡调节过程中，若灵敏度不够，可逐步提高。

(2) 直流双臂电桥的 4 个接线端钮中， $C_1$ 、 $C_2$  为电流端钮； $P_1$ 、 $P_2$  为电位端钮。AB 之间为被测电阻，如图 1-16 所示。

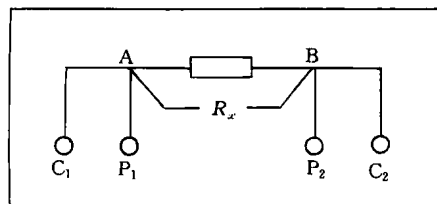


图 1-16 双臂电桥被测电阻接法

电桥所用连接线应尽量选择较粗的导线，并且导线接头与接线端钮应紧密接触。

### (六) 短路探测器

短路探测器又称开口变压器，如图 1-17 所示。主要用于检查电动机定子绕组的短路故障和转子绕组的断条故障。

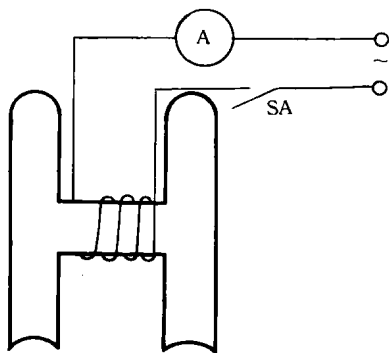


图 1-17 短路探测器

检查定子绕组短路的方法：将短路探测器的开口部分，放在被检查的定子铁心相邻齿上，短路探测器线圈两端接上单相交流电源，最好用低压电源（这时短路探测器和定子铁心构成一个磁回路，短路探测器线圈相当于变压器的一次线圈，而槽内线圈就相当于变压器的二次线圈）。若被检查槽内有短路存在，就会发现串在短路探测器线圈回路中的电流表读数突然变大。若无电流表，可用一废手锯条放在被检查线圈的另一边槽口上。若锯条被槽口吸引，发出“吱吱”声，说明槽内线圈中有短路故障。

#### 注意事项：

①电动机为三角形（ $\Delta$ ）接法时，要将 $\Delta$ 形拆开口。

②电动机为多路并联时，要拆开并联支路。

③电动机绕组为双层时，被测槽中有两个线圈，它们分别隔一个线圈节距，分布于左、右两边，这时应分别将铁片放在左、右相隔一个节距的槽口进行试验，以确定哪个线圈为短路线圈。

④使用时，应先将短路探测器放在铁心上，使磁路闭合后，再接通电源，以免烧毁短路探测器线圈。

### (七) 4 号粘度计

4 号粘度计又称福特杯，是测量绝缘漆粘度的计量器具，如图 1-18 所示。一般用黄铜或紫铜制成，有效容积为  $100\text{cm}^3$ 。

测量时，将粘度计摆正，先用手指堵住底部的孔，将温度为  $20^\circ\text{C}$  的绝缘漆试样倒入粘度计，倒装后松开手指，让漆从底部的孔中流出，当漆面下降到图中 A 面一样平时，按下秒表开始计时，直到杯内所有的漆流完，此时读得的秒数（时间数）即为绝缘漆在  $20^\circ\text{C}$  时的粘度。一般需要测量三次，取其平均值。

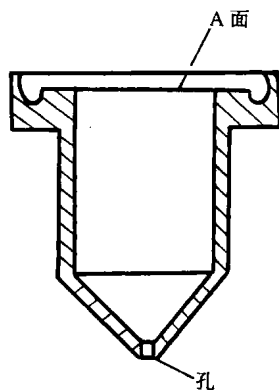


图 1-18 4 号粘度计



## 二、电动机维修工具

在电动机拆卸和维修过程中，常用的工具有普通工具和专用工具两大类。

### （一）普通工具

#### 1. 螺丝刀

螺丝刀是常用的维修工具，有小、中、大号平口和十字口等形式，用于拧紧或旋松电动机端盖、线盒上的螺钉等。

#### 2. 钳子

钳子由工具钢制成，用于切断导线或将绕组导线拧合，也可用于拆卸电动机上的紧固螺钉。

#### 3. 扳手

扳手主要用于拆装电动机上的六角螺钉等零件。

#### 4. 电烙铁

电烙铁用于焊接绕组导线的接点，常用的有 75W、150W、200W 等规格。

#### 5. 电工刀

电工刀用于削制电动机的竹楔、刮导线绝缘层等。

#### 6. 剪刀

剪刀主要用于裁剪电动机所用的绝缘材料，如槽绝缘等。

#### 7. 剥线钳

剥线钳用于剥除电动机引接线的橡皮或塑料绝缘。它的手柄是绝缘的，可以带电操作，工作电压不应大于 500V。

#### 8. 钢锯

钢锯用于锯开大、中型电动机的绕组端部，有时也用来锯轴承等。

### （二）专用工具

#### 1. 理线板

理线板又称滑线板，是嵌线时的专用工具。如图 1-19 所示。

一般用竹片或层压板制成，要求头部光滑，以免刮破导线的漆膜。嵌线时用它分开槽口的绝缘纸，把导线理入槽内，还可用来整理已嵌进槽里的漆包线。

#### 2. 压线钳

压线钳如图 1-20 所示，用于压紧槽内导线和把高于槽口的绝缘材料压倒并覆盖在线圈上部，以便打入槽楔。压线钳尺寸可根据电动机槽形尺寸，用金属材料制作。

#### 3. 榔头

榔头一般用木头或橡胶制作，主要用于电动机绕组嵌线后的端部整形。

#### 4. 绕线机

绕线机分电动绕线机和手摇绕线机两大类，在修理行业一般用手摇绕线机绕制线圈，如图 1-21 所示。绕线前，先将做好的绕线模装在绕线机上，调整好计数匝



图 1-19 理线板

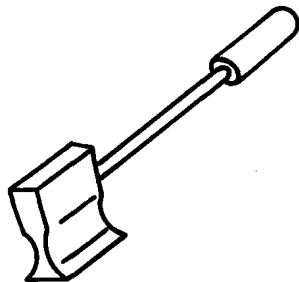


图 1-20 压线钳

数的零位。绕制线圈时，尽可能充分运用绕线模将一个极相组或相绕组的线圈连续绕完，以减少线圈之间的接头和接线的错误。绕线工艺请参见第二章第二节。

5. 拉具

拉具如图 1-22 所示，用于拆卸皮带轮、联轴节和滚动轴承。拆卸操作中，要将拉具摆正，在旋动螺杆时要保持两臂平衡，用力均匀、平稳。

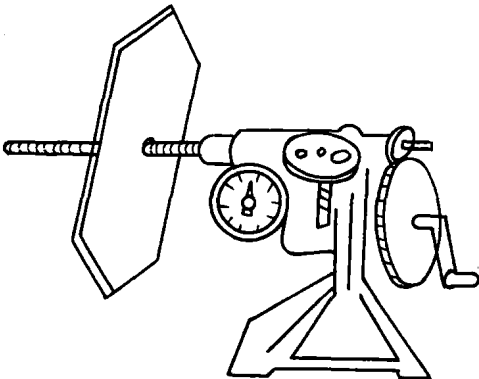


图 1-21 手摇绕线机

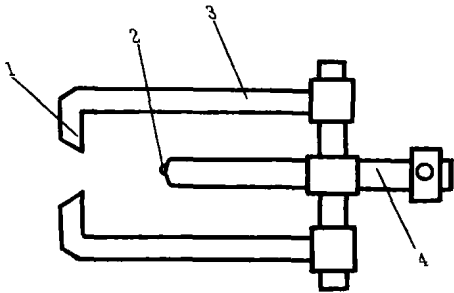


图 1-22 拉具

1——钩爪 2——钢珠  
3——拉杆 4——主螺杆

第三节 维修中常用的材料

电动机维修中常用的材料包括绝缘材料、导电材料两大类，其中导电材料包括漆包线、玻璃丝包线、引接线和电刷等。下面分别进行介绍。

一、绝缘材料

绝缘材料的合理选用，是决定电动机质量的重要因素。电动机用绝缘材料，应具有耐电压强度高，耐热性能好，吸湿性小，并具有耐酸、碱、油的性能和抗弯、抗剪、抗撕等强度指标。

(一) 绝缘材料的耐热等级

电动机用绝缘材料按耐热程度不同，可分为 Y、A、E、B、F、H、C 七个等级，其极限温度（使用过程中的最高温度）见表 1-1。

表 1-1 绝缘材料的耐热等级和极限温度

| 等级代号 | 耐热等级 | 极限温度/℃ | 等级代号 | 耐热等级 | 极限温度/℃ |
|------|------|--------|------|------|--------|
| 0    | Y    | 90     | 4    | F    | 155    |
| 1    | A    | 105    | 5    | H    | 180    |
| 2    | E    | 120    | 6    | C    | >180   |
| 3    | B    | 130    |      |      |        |

现在广泛应用的 Y 系列三相异步电动机采用 B 级绝缘；J<sub>2</sub>、JO<sub>2</sub> 系列三相异步电动机和单相异步电动机一般采用 E 级绝缘；串励电动机和直流电动机也大多采用 E 级绝缘。

(二) 绝缘材料的型号

绝缘材料按其材料性质和加工工艺不同，分为 6 大类，见表 1-2。

表 1-2 绝缘材料的分类

| 分类代号 | 分类名称    | 分类代号 | 分类名称        |
|------|---------|------|-------------|
| 1    | 漆、树脂和胶类 | 4    | 压塑料类        |
| 2    | 浸渍纤维制品类 | 5    | 云母制品类       |
| 3    | 层压制品类   | 6    | 薄膜、粘带和复合制品类 |

绝缘材料的统一型号由四位数字组成：

第一位数字即为表 1-2 所示的分类代号。

第二位数字表示同一类中的不同品种。如第一类绝缘材料中的浸渍漆用 0 表示，瓷漆用 3 表示，硅钢片漆用 6 表示；第二类绝缘材料中的漆布（漆绸）用 2、4 表示，半导体漆布用 6 表示，漆管用 7 表示；第三类绝缘材料中的层压纸板用 0 表示，层压玻璃布板用 2 表示，纸管用 5 表示，纸棒用 7 表示，玻璃布棒用 8 表示；第四类绝缘材料中的木粉填料压塑料用 0 表示，玻璃纤维压塑料用 3 表示；第五类绝缘材料中的柔软云母板用 1 表示，塑料云母板用 2 表示，云母带用 4 表示，换向云母板用 5 表示，衬垫云母板用 7 表示，云母箔用 8 表示；第六类绝缘材料中的薄膜用 0 表示，薄膜绝缘纸及薄膜玻璃漆布复合箔用 5 表示。

第三位数字即表 1-1 所示的等级代号。

第四位数字表示同一类产品中的顺序号，表示配方或性能上的差别。

云母制品的型号，除白云母制品外，在四位数字后面附一数字，1 表示粉云母制品，2 表示金云母制品。

### （三）电动机修理中常见绝缘材料

修理电动机时可能要用到的绝缘材料种类很多，选用时，除要搞清它们的名称、型号外，还要对各种绝缘材料的耐热等级、特性和用途有所了解。只有这样才能合理地选用绝缘材料，保证修理质量。

#### 1. 槽绝缘

E 级绝缘的电动机，一般用聚酯薄膜绝缘纸复合箔（6520，E 级）和聚酯薄膜玻璃漆布复合箔（6530，B 级）；B 级绝缘的电动机，一般用聚酯薄膜玻璃漆布复合箔（6530，B 级）和聚酯薄膜聚酯纤维复合箔（DMD，B 级）；F 级绝缘的电动机，一般用聚酯薄膜芳香族聚酰胺纤维纸复合箔（NMN，F 级）。

#### 2. 绕组层间绝缘、端部绝缘和衬垫绝缘

所用材料与槽绝缘相同。

#### 3. 电动机引接线、连接线绝缘

所用漆管主要有油性漆管（2710，A 级）、油性玻璃漆管（2714，E 级）、醇酸玻璃漆管（2730，B 级）、聚氯乙烯玻璃漆管（2731，B 级）、有机硅玻璃漆管（2750，H 级）等。

#### 4. 槽楔、垫条和接线板绝缘

E 级绝缘电动机用酚醛层压纸板（3020~3023，E 级）；B 级绝缘的电动机用酚醛层压玻璃布板（3230，B 级）；F、H 级绝缘的电动机用有机硅环氧层压玻璃布板（3250，H 级）；也可用经变压器油煎煮处理的竹楔。

#### 5. 线圈绝缘