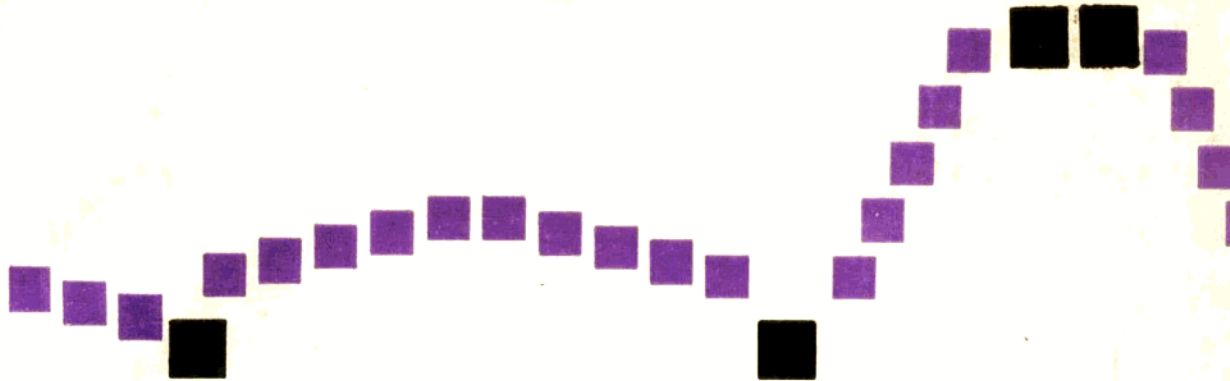
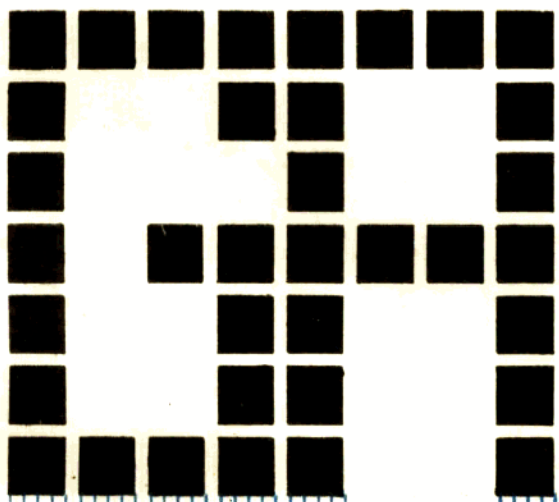


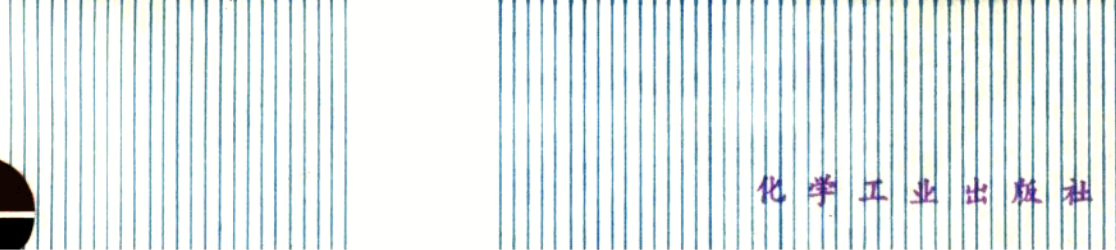


# 维修电工

苗继扬 主编



工人岗位技术培训读本



化学工业出版社

## 前 言

为了满足化工企业维修电工岗位培训的需要,根据化工部 1992 年新颁“化工维修电工标准”,按照“维修电工岗位培训规范”的要求,我们编写了这本教材。

本书以讲述维修电工实际技能为主。在解决对电气设备和装置操作技能的同时,又在理论上阐明为什么这样操作。编写突出了化工系统易燃、易爆和易腐蚀的特点,具有极强的实践性、可操作性。

全书分十章,其中原理部分占 25%,维修工艺部分占 65%,其它占 10%。其中第一、二、三、五章由吉林化学工业公司化肥厂顾文俊编写,第六、八章由王金权编写,第四、七章由陈伟编写,第九章由刘庆吉编写。参加编写的还有宫德福、牛琦、姜延国、孙振宇、刘清勋、盛振祥。由高级工程师苗继扬主编。高级讲师袁菊文对本书汇总及部分内容进行了审查,并协助主编做了不少工作。

由于水平有限,难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第一章 电工材料和电工仪表..... | 1  |
| 第一节 电工材料.....      | 1  |
| 一、绝缘材料 .....       | 1  |
| 二、导电材料 .....       | 5  |
| 第二节 电工仪表.....      | 8  |
| 一、常用电工仪表基本知识 ..... | 8  |
| 二、磁电系仪表.....       | 10 |
| 三、电磁系仪表.....       | 16 |
| 四、电动系仪表.....       | 18 |
| 五、感应系仪表.....       | 18 |
| 第二章 照明和低压电器 .....  | 20 |
| 第一节 照明 .....       | 20 |
| 一、照明选择的一般知识.....   | 20 |
| 二、照明配电系统.....      | 23 |
| 三、照明安装的有关规定.....   | 24 |
| 四、照明故障及检修.....     | 28 |
| 第二节 熔断器和刀开关 .....  | 30 |
| 一、熔断器.....         | 30 |
| 二、刀开关.....         | 35 |
| 第三节 空气自动开关 .....   | 36 |
| 一、结构和工作原理.....     | 36 |
| 二、类型与选择.....       | 38 |
| 三、维护与检修.....       | 40 |
| 第四节 接触器 .....      | 42 |
| 一、结构和工作原理.....     | 42 |
| 二、类型与选择.....       | 43 |
| 三、维护与检修.....       | 45 |
| 第五节 动力配电箱 .....    | 47 |
| 一、结构与用途.....       | 47 |
| 二、安装的一般规定.....     | 49 |
| 三、维护与检修.....       | 50 |
| 第六节 其它低压电器 .....   | 50 |
| 一、主令电器.....        | 50 |
| 二、继电器.....         | 52 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| <b>第三章 常用高压电器</b>  | 58  |
| 第一节 高压熔断器          | 58  |
| 一、户内高压熔断器          | 58  |
| 二、户外高压熔断器          | 59  |
| 三、使用选择             | 60  |
| 第二节 隔离开关和负荷开关      | 61  |
| 一、隔离开关             | 61  |
| 二、负荷开关             | 63  |
| 第三节 断路器            | 64  |
| 一、类型、用途及基本要求       | 64  |
| 二、少油断路器及操作机构       | 65  |
| 三、真空断路器            | 72  |
| 第四节 电抗器和避雷器        | 73  |
| 一、电抗器              | 73  |
| 二、避雷器              | 74  |
| <b>第四章 电力电缆</b>    | 77  |
| 第一节 电缆的规格和型号       | 77  |
| 一、结构与用途            | 77  |
| 二、规格与型号            | 78  |
| 第二节 电缆的敷设          | 79  |
| 一、直接埋地敷设           | 79  |
| 二、室内敷设             | 82  |
| 三、电缆的隧道敷设          | 82  |
| 第三节 电缆终端头制作工艺      | 83  |
| 一、干包电缆头工艺          | 83  |
| 二、室内环氧树脂电缆头工艺      | 88  |
| 三、热缩电缆头工艺          | 91  |
| 第四节 电缆中间接头制作工艺     | 92  |
| 一、环氧树脂中间接头制作工艺     | 92  |
| 二、塑料橡胶电缆中间接头制作工艺   | 95  |
| 第五节 电缆运行           | 97  |
| 一、电缆运行中温度的规定       | 97  |
| 二、电缆运行中的负荷电流       | 97  |
| 三、电缆和走向线路检查        | 99  |
| <b>第五章 变压器</b>     | 100 |
| 第一节 变压器的分类、结构和工作原理 | 100 |
| 一、分类               | 100 |
| 二、结构               | 100 |
| 三、工作原理             | 101 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第二节 变压器的极性、组别和技术参数 ..... | 102 |
| 一、极性 .....               | 102 |
| 二、组别 .....               | 103 |
| 三、技术参数 .....             | 105 |
| 第三节 变压器的并联运行 .....       | 106 |
| 第四节 变压器的维护与检修 .....      | 108 |
| 一、完好标准 .....             | 108 |
| 二、维护 .....               | 108 |
| 三、检修 .....               | 109 |
| 四、干燥 .....               | 112 |
| 第五节 仪用互感器 .....          | 114 |
| 一、电流互感器 .....            | 114 |
| 二、电压互感器 .....            | 116 |
| 第六节 变压器的保护 .....         | 119 |
| 一、瓦斯保护 .....             | 119 |
| 二、过电流保护 .....            | 120 |
| 三、电流速断保护 .....           | 121 |
| 四、纵联差动保护 .....           | 122 |
| 五、过负荷保护 .....            | 122 |
| 六、小型变压器的保护 .....         | 122 |
| 第七节 密闭电石炉变压器 .....       | 125 |
| 一、密闭电石炉变压器的结构特点 .....    | 125 |
| 二、密闭炉变压器的接线和控制保护原理 ..... | 126 |
| 三、电石炉变压器组运行检修规范 .....    | 126 |
| 第六章 三相异步电动机 .....        | 131 |
| 第一节 三相异步电动机的种类和结构 .....  | 131 |
| 一、三相异步电动机的种类 .....       | 131 |
| 二、三相异步电动机的结构 .....       | 132 |
| 第二节 三相异步电动机基本工作原理 .....  | 134 |
| 一、定子旋转磁场 .....           | 134 |
| 二、转子转动转矩的形成 .....        | 137 |
| 三、转子转速和转差率 .....         | 137 |
| 第三节 电动机三相绕组的基本知识 .....   | 138 |
| 一、极距 .....               | 138 |
| 二、节距 .....               | 138 |
| 三、每极每相槽数 .....           | 138 |
| 四、极相组 .....              | 139 |
| 五、电角度 .....              | 139 |
| 六、相带 .....               | 139 |
| 七、三相整数槽绕组 .....          | 139 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 八、电机绕组的接线图 .....               | 140 |
| 第四节 三相异步电动机运行特性 .....          | 140 |
| 一、能量转换和效率 .....                | 140 |
| 二、电磁转矩和转矩特性 .....              | 141 |
| 三、机械特性 .....                   | 142 |
| 第五节 三相异步电动机起动 .....            | 144 |
| 一、鼠笼式电动机的起动 .....              | 144 |
| 二、绕线式异步电动机的起动 .....            | 147 |
| 第六节 三相异步电动机的调速 .....           | 149 |
| 一、鼠笼式电动机的调速 .....              | 149 |
| 二、绕线式电动机的调速 .....              | 150 |
| 第七节 三相异步电动机的制动 .....           | 151 |
| 一、能耗制动 .....                   | 151 |
| 二、反接制动 .....                   | 152 |
| 三、发电制动 .....                   | 153 |
| 第八节 三相异步电动机常见故障的分析和处理 .....    | 153 |
| 一、机械故障 .....                   | 153 |
| 二、电气故障 .....                   | 154 |
| 三、电机腐蚀与处理 .....                | 157 |
| 第九节 防爆电动机 .....                | 158 |
| 一、防爆概述 .....                   | 158 |
| 二、防爆电动机的结构特点 .....             | 159 |
| 三、维护和修理 .....                  | 162 |
| <b>第七章 三相异步电动机的控制</b> .....    | 164 |
| 第一节 三相鼠笼型异步电动机控制线路 .....       | 164 |
| 一、简单的控制线路原理图 .....             | 164 |
| 二、带自锁控制线路原理图 .....             | 164 |
| 三、具有过载保护的 control 线路原理图 .....  | 165 |
| 四、连续与点动控制线路原理图 .....           | 166 |
| 第二节 三相异步电动机正反转控制线路 .....       | 166 |
| 一、接触器联锁正、反转控制线路原理图 .....       | 166 |
| 二、按钮联锁的正反转控制线路原理图 .....        | 167 |
| 三、按钮、接触器双重联锁的正、反转控制线路原理图 ..... | 168 |
| 第三节 位置控制和多地控制 .....            | 168 |
| 一、位置控制线路原理图 .....              | 168 |
| 二、多地控制线路原理图 .....              | 168 |
| 第四节 高压三相异步电动机典型控制和保护 .....     | 169 |
| 一、电动机的开车 .....                 | 169 |
| 二、电动机的停车 .....                 | 171 |
| 三、电动机的保护 .....                 | 171 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 四、其它元件的作用 .....                 | 172 |
| <b>第八章 同步电动机</b> .....          | 173 |
| 第一节 同步电动机的结构和工作原理 .....         | 173 |
| 一、同步电动机结构 .....                 | 173 |
| 二、同步电动机工作原理 .....               | 176 |
| 第二节 同步电动机运行特性 .....             | 178 |
| 一、功角特性 .....                    | 179 |
| 二、效率特性 .....                    | 179 |
| 三、功率因数和 V 形曲线 .....             | 179 |
| 第三节 同步电动机一般故障分析和处理 .....        | 180 |
| 一、电动机温升过高 .....                 | 180 |
| 二、电动机局部温升高,有火花和烧焦味 .....        | 180 |
| 三、带励磁起动和提前投入励磁 .....            | 181 |
| 第四节 可控硅励磁的同步电动机 .....           | 181 |
| 一、概述 .....                      | 181 |
| 二、同步电动机用 KGLF11 型装置 .....       | 181 |
| 三、励磁主回路的工作原理 .....              | 182 |
| 四、电压和电流的测量 .....                | 183 |
| 五、保护元件 .....                    | 184 |
| 第五节 可控硅励磁触发电路的工作原理和故障处理 .....   | 184 |
| 一、灭磁环节工作原理 .....                | 184 |
| 二、触发环节工作原理 .....                | 186 |
| 三、移相环节工作原理 .....                | 189 |
| 四、投励环节工作原理 .....                | 191 |
| 五、全压环节工作原理 .....                | 192 |
| 六、附加插件工作原理 .....                | 193 |
| 七、常见故障和处理方法 .....               | 194 |
| 第六节 1900kW 无刷励磁同步电动机 .....      | 195 |
| 一、主电路的操作 .....                  | 195 |
| 二、电流测量和电压测量回路 .....             | 195 |
| 三、控制回路的操作 .....                 | 196 |
| 四、操作、联锁和保护 .....                | 196 |
| 第七节 1900kW 无刷励磁同步电动机的励磁系统 ..... | 202 |
| 一、无刷励磁工作原理 .....                | 202 |
| 二、功率因数的闭环调节 .....               | 203 |
| 三、功率因数的开环调节 .....               | 208 |
| 第八节 6000kW 无刷励磁同步电动机 .....      | 208 |
| 一、主回路的操作 .....                  | 209 |
| 二、电流电压测量回路 .....                | 210 |
| 三、控制回路操作过程 .....                | 213 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 四、保护回路工作原理 .....               | 214 |
| 第九节 6000kW 无刷励磁同步电动机励磁系统 ..... | 217 |
| 一、同步电动机励磁系统构成 .....            | 217 |
| 二、励磁机的工作原理 .....               | 217 |
| 三、辅助励磁系统工作原理 .....             | 218 |
| 四、6000kW 同步机自动投励过程 .....       | 222 |
| 五、励磁保护 .....                   | 223 |
| <b>第九章 同步发电机</b> .....         | 225 |
| 第一节 发电机基本结构和工作原理 .....         | 225 |
| 一、发电机的基本结构 .....               | 225 |
| 二、发电机的基本原理 .....               | 227 |
| 三、发电机的并网操作 .....               | 230 |
| 第二节 发电机励磁电流的调节 .....           | 231 |
| 一、直流发电机——相复励磁系统调节 .....        | 232 |
| 二、可控硅励磁电流调节 .....              | 234 |
| 三、励磁电流的调节 .....                | 238 |
| <b>第十章 新电器及其它</b> .....        | 240 |
| 第一节 变频调速器 .....                | 240 |
| 一、基本结构 .....                   | 240 |
| 二、变频器的工作过程 .....               | 240 |
| 三、变频器的操作及运行 .....              | 241 |
| 四、变频器的维护 .....                 | 242 |
| 五、事故处理 .....                   | 242 |
| 第二节 交流不间断电源 .....              | 243 |
| 一、电气数据和基本结构 .....              | 243 |
| 二、基本工作过程 .....                 | 244 |
| 三、操作与运行 .....                  | 245 |
| 四、设备维护 .....                   | 246 |
| 五、故障处理 .....                   | 246 |
| 第三节 工频感应加热器 .....              | 246 |
| 一、感应加热原理和目的 .....              | 246 |
| 二、感应加热器的结构和特点 .....            | 248 |
| 三、运行和检修 .....                  | 249 |
| 第四节 补偿电容器 .....                | 250 |
| 一、电容器补偿电路原理和计算 .....           | 250 |
| 二、电容器的投入和切除 .....              | 252 |
| 三、电容器的保护 .....                 | 253 |
| 四、维护使用中的注意事项 .....             | 254 |
| 第五节 电容分相电动机 .....              | 255 |
| 一、结构 .....                     | 255 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 二、工作原理 .....                   | 255 |
| 第六节 单相串励电动机 .....              | 256 |
| 一、结构和作用 .....                  | 256 |
| 二、工作原理 .....                   | 257 |
| 三、维护和检修 .....                  | 257 |
| 第七节 电磁调速电动机 .....              | 258 |
| 一、结构和工作原理 .....                | 258 |
| 二、电磁调速电机控制原理 .....             | 259 |
| 三、维护和检修 .....                  | 259 |
| 四、一般故障原因及处理方法 .....            | 259 |
| 第八节 直流弧焊机 .....                | 261 |
| 一、基本结构 .....                   | 261 |
| 二、工作原理 .....                   | 261 |
| 三、维护和检修 .....                  | 262 |
| 第九节 GGAJ—01—200/72 型电收尘器 ..... | 263 |
| 一、电收尘器装置用途 .....               | 263 |
| 二、结构 .....                     | 263 |
| 三、工作原理 .....                   | 264 |
| 四、维护 .....                     | 265 |
| 五、常见故障及处理方法 .....              | 266 |
| 第十节 硫酸电收尘器 .....               | 266 |
| 一、电收尘器在硫酸生产中的应用 .....          | 266 |
| 二、电收尘器的结构 .....                | 266 |
| 三、电收尘器工作原理 .....               | 267 |
| 四、电收尘器的维护和检修 .....             | 267 |

# 第一章 电工材料和电工仪表

## 第一节 电工材料

### 一、绝缘材料

在绝缘材料中,由于原子核对周围电子束缚力很强,在一般条件下,不能产生大量的自由电子,因此不容易导电。绝缘材料被用来隔离带电导体或不同电位的导体,使电流按规定的路径流,而电气设备的寿命通常决定于绝缘材料的寿命。

#### (一)绝缘材料的分类

常用的绝缘材料品种繁多,但按其化学性质的不同可分为三大类。

##### 1. 无机绝缘材料

如云母、石棉、陶瓷、玻璃、大理石等。这类材料主要用作电炉衬垫、开关底座、绝缘瓷瓶等。

##### 2. 有机绝缘材料

如虫胶、树脂、橡胶、棉、麻、丝等。这类材料大多用来制做绝缘漆、电机和电器绕组的绝缘、导线及电缆的覆盖绝缘等。

##### 3. 混合绝缘材料

由以上两种材料制成的各种绝缘材料。一般用作比较复杂的电气设备绝缘。

#### (二)绝缘材料的性能

不同化学性质的绝缘材料具有不同的使用性能。使用绝缘材料时,应根据电气设备对绝缘性能的要求进行适当选用。其主要性能有以下几个。

##### 1. 介电性能

介电性能俗称绝缘性能。它包括电击穿强度(耐压强度)、介质损耗和绝缘电阻等。当对绝缘体施加的电压升高到某一数值时,将使绝缘体被击穿而失去绝缘作用。这个击穿电压叫耐压强度,通常用1mm厚的绝缘材料所能承受的电压伏特表示。当绝缘材料受潮、受热或超过其允许的工作电压时,可能会失去应有的绝缘能力,这种现象称为绝缘损坏。

##### 2. 耐热性能

绝缘材料在使用过程中,会发生化学变化和物理变化,使绝缘物发脆、出现裂纹,绝缘性能和机械强度下降,这种现象称为绝缘老化。引起绝缘老化的因素很多,但主要是热的因素。电气设备的寿命直接决定于它的绝缘的寿命。例如A级绝缘材料,当超过它的最高允许温度(8℃)时,它的绝缘寿命就会减少一半。所以,使用温度过高,会加速绝缘材料的老化过程。为此,对各类绝缘材料都规定了它们的最高允许使用温度,以延缓绝缘材料的老化过程,保证电器设备的使用寿命。

电工绝缘材料按其极限温度划分为七个耐热等级,见表1—1。按其应用或工艺特征又可划分为六大类,见表1—2。

表 1-1 绝缘材料的耐热等级和极限温度

| 耐热等级 | Y            | A                            | E                    | B                                  | F                                       | H                                   | C                                    |
|------|--------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 极限温度 | 90℃          | 105℃                         | 120℃                 | 130℃                               | 155℃                                    | 180℃                                | 180℃以上                               |
| 材 料  | 未经浸渍的棉纱、丝和纸等 | 经浸渍过的或浸在液体绝缘物(如绝缘油)中的棉纱、丝和纸等 | 合成有机膜(如聚酯薄膜、合成有机瓷漆等) | 用合适的树脂(如环氧树脂)粘合或浸渍、涂敷后的云母、玻璃纤维、石棉等 | 用合适的树脂(如F级绝缘用环氧树脂)粘合或浸渍、涂敷后的云母、玻璃纤维、石棉等 | 用合适的树脂(如硅有机树脂)粘合、浸渍或涂敷后的云母或玻璃纤维、石棉等 | 用合适的树脂(如聚酰亚胺树脂)粘合、浸渍或涂敷后的云母、玻璃纤维、石棉等 |

表 1-2 绝缘材料分类

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

## (三)常用绝缘材料

## 1. 绝缘漆

绝缘漆的种类较多,常用的有以下几种:

(1)浸渍漆 主要用来浸渍电机、电器线圈和绝缘零件,以填充间隙和微孔,提高电气和机械性能。常用的有1030醇酸浸渍漆、1032三氯氰胺醇酸浸渍漆。这两种都是烘干漆,漆膜平滑光泽,具有

较好的耐油性和耐电弧性。

(2)覆盖漆 有清漆和瓷漆两种,用来涂覆经浸渍处理过的线圈和绝缘零部件,作为绝缘保护层,以防大气、油类及其它腐蚀性物质的侵蚀和机械损伤。常用的覆盖漆有1320和1321醇酸灰瓷漆,1320是烘干漆,1321是凉干漆,它们的漆膜坚硬光滑,耐电弧性较好。

(3)硅钢片漆 这种漆用来涂覆硅钢片表面,以降低铁芯涡流损耗,增强防锈及耐腐蚀能力。常用的有1611油性硅钢片漆。它的附着力强、漆膜薄、坚硬、耐油、防潮。

## 2. 浸渍纤维制品

浸渍纤维制品常用的有以下三种:

(1)玻璃纤维漆布(带) 主要用作电机、电器的衬垫和线圈绝缘。常用的有2432醇酸玻璃漆布(带)。它的电气性能较好,并有耐油、耐潮和防雷性能,机械强度高。还可用于油浸变压器及热带型电工产品。

(2)玻璃纤维漆管 主要用作电机连接线和引出线的绝缘套管。常用的2730醇酸玻璃漆管。它具有良好的电气性能和机械强度,且耐油、耐潮性能好,但弹性较差。

(3)绑扎带 主要用于绑扎变压器铁芯及代替合金钢丝绑扎电机端部绕组。常用的B17玻璃纤维无纬胶带(即无纬玻璃丝带),在性能上较合金钢丝绑扎有更多的优点,已在电机工业中广泛应用。

## 3. 层压制品

常用的层压制品有3240层压玻璃纤维板、管、棒。这三种层压玻璃制品适合做电机、电器的绝缘构件。它具有良好的机械和电气性能,耐油、耐潮,加工方便,可在绝缘油中和潮湿环境

中使用。

#### 4. 压塑制品

常用压塑制品有 4013 酚醛木粉压塑料和 4330 酚醛玻璃纤维压塑料。它们具有良好的电气性能,防潮防霉,高机械强度,适于制作电机、电器的绝缘零件,并可用于热带型电工产品。

#### 5. 云母制品

常用的云母制品有以下几种:

(1)柔软云母板 这种云母板在常温下较柔软,可以弯曲,主要用于电机槽绝缘、匝间和相间绝缘。常用的有 5131 醇酸玻璃柔软云母板及 5131-1 醇酸玻璃柔软粉云母板。

(2)塑型云母板 这种云母板在常温下较硬,加热后可压制成各种形状的绝缘零件。主要用来制作直流电机换向器的 V 型环和其它绝缘零件。常用的有 5230 及 5235 醇酸塑型云母板。但后者含胶量少,可用于温升及转速较高的电机。

(3)云母带 它在常温时较柔软,适于做高压电机线圈及连接线的绝缘。常用的有 5434 醇酸玻璃丝云母带和 5434-1 环氧玻璃丝粉云母带。其中后者电气及机械性能优良,现已获得广泛应用,但必须在零度以下保存。

(4)换向器云母板 这种云母含胶量少,常温时较硬,主要用作电机换向器片间绝缘。常用的有 5535 虫胶换向器云母板和 5536-1 环氧换向器粉云母板。后者仅用于中小型电机。

(5)衬垫云母板 主要用作电机、电器的绝缘衬垫。常用的有 5730 醇酸衬垫云母板和 5737-1 环氧衬垫粉云母板。

#### 6. 薄膜和薄膜复合制品

(1)薄膜 电工用薄膜要求厚度薄、柔软、电气性能好及机械强度高。常用的有 6020 聚脂薄膜。它适于做电机的槽绝缘、匝间和相间绝缘,还可做其它电工产品的线圈绝缘。

(2)薄膜复合制品 它要求电气性能好,机械强度高。常用的有 6520 聚脂薄膜绝缘纸复合箔及 6530 聚脂薄膜玻璃丝漆布复合箔,适于做电机槽绝缘、匝间和相间绝缘以及其它电器线圈绝缘。后者耐潮性能好,可用于热带型产品。

#### 7. 绝缘油

最早的绝缘油是植物油,现在则是从石油中提炼出来的。它主要是由碳氢化合物组成。由于它具有可靠的绝缘强度和良好的流动散热、气化灭弧能力,被广泛用于变压器和开关设备。

(1)绝缘油的物理性质和电气强度:

粘度 油的粘度随温度升高而降低,一般在 20~50℃时变化较大,50~100℃时变化较小。绝缘油经过长期使用之后,随着油质的劣化,粘度也相应增加。

闪点 在常温下对绝缘油加热,当油发生闪火时的温度称为闪点。

绝缘油的闪点随设备的运行情况而变化。如油开关在多次故障分断之后,由于电弧作用使油受热分解,产生大量的游离碳和油烟,将会降低油的闪点。严重时,可使油开关在切断故障过程中引起爆炸事故。因此闪点是绝缘油中被严格控制的物理性能之一。

凝固点 绝缘凝固点的高低取决于它的精炼程度。如油中的石蜡含量多则易凝固,胶质多也影响凝固点。如 45 号绝缘油的凝固点为 -45℃;25 号绝缘油的凝固点为 -25℃。

电气绝缘强度 绝缘强度的高低取决于油中的杂质(空气、水分、纤维等)含量。由于这些杂质的存在,在电场的作用下它们开始聚集为漏电通道,最后构成击穿回路。事实上,当油中含有水分时,电气绝缘强度会大大降低。但当含水量超过 0.2% 时,绝缘强度几乎保持不变。这是因为只有一定比例的水分才能悬浮于油中,多余的则沉积于底部而不再影响油的绝缘强度。

当油中同时存在着水分和纤维时,对降低油的绝缘强度要比水分和纤维单独存在时的影响严重得多。因此,绝缘油的过滤处理是非常重要的。

(2) 绝缘油的试验项目和标准:

① 全部试验项目。对新油或运行中的油在认为有必要的情况下进行这项试验。见表 1—3。

表 1—3 绝缘油的试验项目和标准

| 试验项目           | 试 验 标 准                                                                                                                            |                |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                | 新 油                                                                                                                                | 运行中油           |
| 5℃时的外观         | 透明                                                                                                                                 | 透明             |
| 50℃时的粘度        | 不大于 $9.6 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$                                                                                      | ——             |
| 闪点             | 不低于 135℃                                                                                                                           | 与新油比较不低于 5℃    |
| 凝固点            | 户外用油开关:<br>气温不低于 -10℃ 地区<br>规定为 -25℃;<br>气温低于 -10℃ 地区<br>规定为 -45℃。<br>变压器用:气温不低于 -10℃ 地区<br>规定为 -10℃;<br>气温低于 -10℃ 地区<br>规定为 -25℃。 | 与新油相同          |
| 机械混合物          | 无                                                                                                                                  | 无              |
| 游离炭            | 无                                                                                                                                  | 无              |
| 灰分             | 不大于 0.005%                                                                                                                         | 不大于 0.01%      |
| 活性硫            | 无                                                                                                                                  | 无              |
| 酸价             | 不大于 0.03mgKOH/g                                                                                                                    | 不大于 0.1mgKOH/g |
| 钠试验的等级         | 不大于 2                                                                                                                              | ——             |
| 20℃/40℃时比重     | 不超过 0.895                                                                                                                          | ——             |
| 氧化安定性:         |                                                                                                                                    |                |
| (1) 氧化后沉淀物     | 不大于 0.05%                                                                                                                          | ——             |
| (2) 氧化后酸值      | 不大于 0.2mgKOH/g                                                                                                                     | ——             |
| 电气绝缘强度:        |                                                                                                                                    |                |
| (1) 用于 6kV 以下  | 不低于 25kV                                                                                                                           | 不低于 20kV       |
| (2) 用于 6~35kV  | 不低于 30kV                                                                                                                           | 不低于 25kV       |
| (3) 用于 35kV 以上 | 不低于 40kV                                                                                                                           | 不低于 35kV       |
| 水溶性酸碱          | 无                                                                                                                                  | 无              |
| 水分             | 无                                                                                                                                  | 无              |
| 介质损失角          | 70℃时不大于 0.5%                                                                                                                       | 70℃时不大于 2%     |

② 简化试验。主要用来检查油质老化情况。简化试验的项目有闪点、机械混合物、游离炭、酸价、酸碱反应、水分和电气击穿强度。

8. 其它绝缘材料

- (1) 绝缘纸和纸板 有电话纸、绝缘纸板和铜纸板等。
- (2) 玻璃纤维和合成纤维编织物 有玻璃丝布(带)和涤纶玻璃丝绳等。
- (3) 电工用热塑型塑料 有 ABS 塑料和聚酰胺(尼龙)101 等。
- (4) 电工橡胶 有天然橡胶和合成耐油橡胶。

(5) 绝缘包扎带 有黑胶布带和聚氯乙烯带等。

(6) 绝缘子 有支柱式绝缘子、套管式绝缘子、线路绝缘子、瓷管和瓷夹板等。

(7) 浇注绝缘 有树脂胶、沥青、硫磺和水泥等。

## 二、导电材料

在导电材料中,由于原子核对外层电子的束缚力很小,在外力的作用下电子能挣脱出来成为自由电子,因此很容易导电。导电材料被连接成电路,让电流在它里面流动。

### (一) 导电材料的电阻率及温度系数

不同的导电材料有不同的原子结构,它们对电流具有不同的阻力,导电性能一般用电阻率  $\rho$  来表示,即长 1m、截面为  $1\text{mm}^2$  导体的电阻值。

导电材料的电阻值不仅和材料性质和尺寸有关,而且还和温度有关。一般导电材料的电阻随温度的升高而增大。导体每增高  $1^\circ\text{C}$ , 它的电阻值增大的百分数叫做电阻的温度系数,用  $\alpha$  表示。表 1—4 中列出几种常用导电材料的电阻率和平均电阻温度系数。

表 1—4 常用导电材料的电阻率和电阻温度系数

| 用途   | 材料名称 | 电阻率 $\rho(20^\circ\text{C})$<br>( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ) | 平均电阻的温度系数 $\alpha$<br>( $0 \sim 100^\circ\text{C}$ )( $1/^\circ\text{C}$ ) |
|------|------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 导电材料 | 碳    | 10.0                                                                    | -0.0005                                                                    |
|      | 银    | 0.0165                                                                  | 0.0036                                                                     |
|      | 铜    | 0.0175                                                                  | 0.004                                                                      |
|      | 铝    | 0.0283                                                                  | 0.004                                                                      |
|      | 低碳钢  | 0.13                                                                    | 0.006                                                                      |
| 电阻材料 | 锰铜   | 0.42                                                                    | 0.000005                                                                   |
|      | 康铜   | 0.44                                                                    | 0.000005                                                                   |
|      | 镍铬铁  | 1.0                                                                     | 0.00013                                                                    |
|      | 铂铬铁  | 1.2                                                                     | 0.00008                                                                    |
|      | 铂    | 0.106                                                                   | 0.00389                                                                    |

注:①表中给出的是近似值。这些数值随着材料纯度和成分的不同而有所变化。

②表中碳的电阻温度系数前有负号,表示碳的电阻值随着温度升高而降低。

### (二) 电线电缆

电线电缆的品种繁多,现介绍维修电工常用的几种。

#### 1. 裸导线和裸体制品

(1) 圆单线 主要用作各种电线电缆的导电芯线。常用的圆单线有四种:①TY 型(T 表示铜;Y 表示硬的)硬圆铜线;②TR 型(R 表示软的)软圆铜线;③LY 型(L 表示铝)硬圆铝线;④LR 型软圆铝线。

(2) 型号 主要用作电机、电器、安装配电设备。常用的型线有三类:①TBY 型(B 表示偏形)硬偏铜线、TBR 型软偏铜线、LBY 硬偏铝线、LBR 软偏铝线;②TMY 型(M 表示母线)硬铜母线、TMR 型软铜母线、LMY 型硬铝母线、LMR 型软铝母线;③TDY 型(D 表示带状)硬铜带、TDY 型软铜带。

#### 2. 电气装备用电线电缆

导体线芯标准截面共有 32 种,详见表 1—5。

表 1—5 电气装备用电线电缆芯截面(mm<sup>2</sup>)

|       |      |      |      |     |     |     |      |
|-------|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| 0.012 | 0.03 | 0.06 | 0.12 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5  |
| 0.75  | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5 | 4   | 6   | 10   |
| 16    | 25   | 35   | 50   | 70  | 95  | 120 | 150  |
| 185   | 240  | 300  | 400  | 500 | 600 | 800 | 1000 |

(1)B 系列橡皮塑料电线 这种系列的电线结构简单,价格便宜,电气和机械性能好,广泛用作动力、照明及大中型电气设备的安装线。交流工作电压为 500V,直流为 1000V,常用的品种见表 1—6。

表 1—6 B 系列橡皮塑料电线常用品种

| 产 品 名 称   | 型 号               |       | 长期最高<br>允许温度<br>(°C) | 主 要 用 途                |
|-----------|-------------------|-------|----------------------|------------------------|
|           | 铜 芯               | 铝 芯   |                      |                        |
| 橡皮绝缘电线    | BX <sup>①</sup>   | BLX   | 65                   | 固定敷设于室内,也可作设备内部安装线     |
| 氯丁橡胶绝缘电线  | BXF <sup>②</sup>  | BXLF  | 65                   | 同 BX,但耐气候较好,适用于室外      |
| 橡皮绝缘软线    | BXR               |       | 65                   | 同 BX,但用于安装时要求柔软的情况     |
| 橡皮绝缘和护套电线 | BXHF <sup>③</sup> | BLXHF | 65                   | 同 BX,适用于较潮湿的场所和用作室外进户线 |
| 聚氯乙烯绝缘电线  | BV <sup>④</sup>   | BLV   | 65                   | 同 BX,但耐潮湿和耐气候较好        |
| 聚氯乙烯绝缘软电线 | BVR               |       | 65                   | 同 BV,用于安装时要求柔软的情况      |

①X 表示橡皮绝缘。

②XF 表示氯丁橡胶绝缘。

③HF 表示非燃性橡套。

④V 表示聚氯乙烯绝缘。

(2)R 系列橡皮塑料软线 这种系列软线的线芯由多根细铜线绞合而成,除具有 B 系列电线的特点外,还比较柔软,因此广泛用于家用电器、小型电气装备和仪器仪表,以及照明灯线等。常见的品种见表 1—7。

表 1—7 R 系列橡皮塑料软线常用品种

| 产 品 名 称      | 型 号                                        | 工作电压<br>(V)     | 长期最高<br>允许温度<br>(°C) | 主 要 用 途                                  |
|--------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------------------------|
| 聚氯乙烯绝缘软线     | RV<br>RVB <sup>①</sup><br>RVS <sup>②</sup> | AC250<br>DC500  | 65                   | 供各种移动电器、仪表及自动装置接线,也可作室内安装线,但环境温度不低于-15°C |
| 耐热聚氯乙烯绝缘软线   | RV-105                                     | AC250<br>DC500  | 105                  | 同 RV,用于 45°C 及以上的高温环境中                   |
| 聚氯乙烯绝缘和护套软电线 | RVV                                        | AC500<br>DC1000 | 65                   | 同 RV,用于潮湿和机械防护要求较高以及经常移动和弯曲的情况           |

①B 表示两芯平型。

②S 表示两芯绞型。

(3)Y 系列通用橡套电缆 本系列电缆用于一般场合下的电气设备、电动工具、仪表及日用仪器的移动电源线,所以又称移动电缆。按其承受机械外力的不同分轻型、中型和重型三种。常用的品种见表 1—8。

表 1—8 Y 系列橡套电缆常用品种

| 产品名称   | 型号               | 工作电压 (V) | 主要用途           |
|--------|------------------|----------|----------------|
| 轻型橡套电缆 | YQ <sup>①</sup>  | AC250    | 轻型移动设备和日用电器电源线 |
|        | YQW <sup>②</sup> |          | 同上,有耐气候和一定耐油性能 |
| 中型橡套电缆 | YZ <sup>③</sup>  | AC500    | 各种移动电器设备       |
|        | YZW              |          | 同上,有耐气候和一定耐油性能 |
| 重型橡套电缆 | YC <sup>④</sup>  | AC500    | 同 YZ,能承受较大的机械力 |
|        | YCW              |          | 同上,有耐气候和一定耐油性能 |

①Q 表示轻型。

②W 表示并列型。

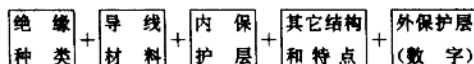
③Z 表示中型。

④C 表示重型。

## 3. 电力电缆

电力电缆主要用于传输和分配电能,它主要有缆芯、绝缘层和防护层三部分组成。

(1) 电缆型号结构示意图如下:



(2) 电缆型号字母及数字代表意义见表 1—9。

表 1—9 电力电缆字母及数字代表意义

| 类别、用途     | 导 体   | 绝 缘     | 内护层     | 特 征      | 外护层          |
|-----------|-------|---------|---------|----------|--------------|
| V: 塑料电缆   | T: 铜芯 | V: 聚氯乙烯 | H: 橡套   | CY: 充油   | O: 相应的裸外护层   |
| X: 橡皮电缆   | (省略)  | X: 橡皮   | HF: 非燃性 | D: 不滴流   | 1: 一级防腐      |
| YJ: 交联聚乙烯 | L: 铝芯 | XD: 丁基橡 | 橡套      | F: 分相护套  | 1: 麻被护层      |
| 电缆        |       | 皮       | L: 铝包   | P: 贫油、干绝 | 2: 二级防腐      |
| Z: 纸绝缘电缆  |       | Y: 聚乙烯  | Q: 铅包   | 缘        | 2: 铜带铠装麻被    |
| N: 农用电线   |       |         | V: 塑料护套 | P: 屏蔽    | 3: 单层细钢丝铠装麻被 |
|           |       |         |         | Z: 直流    | 5: 单层粗钢丝铠装麻被 |
|           |       |         |         |          | 9: 内装铠       |

## (三) 低压导线和电缆截面的选择

低压导线和电缆截面主要根据长期允许电流、电压损失和机械强度三个条件选择。

(1) 对于照明线路,一般可先按电压损失(由总进户线到最末一盏灯头)为 2.5% 来选择截面,然后按机械强度和长期允许电流进行校验。

(2) 对于动力线路,一般可按长期允许电流选择截面,然后再校验电压损失 5% 及机械强度。

一般来说,对长距离的输电线路,导线截面主要由电压损失决定,对 380V 电动机用绝缘铝线截面的估算见表 1—10;配电线路比较短时,主要由长期允许载流量决定;对小负荷的线路,仅考虑机械强度,绝缘导线线芯的最小允许截面见表 1—11,架空裸导线的最小允许截面见表 1—12。

表 1—10 380V 电动机用绝缘铝线截面估算表(mm<sup>2</sup>)

| 电动机额定功率(kW)<br>电动机与<br>变压器间距离(m) | 2.8 | 4.5 | 7  | 10 | 14 | 20  | 28  | 40 | 55  | 75  | 100 |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 50                               | 6   | 6   | 10 | 10 | 16 | 16  | 25  | 35 | 50  | 95  | 120 |
| 100                              | 6   | 10  | 10 | 16 | 16 | 25  | 35  | 50 | 70  | 95  | 120 |
| 200                              | 10  | 10  | 16 | 16 | 16 | 25  | 50  | 70 | 70  | 95  |     |
| 300                              | 10  | 16  | 16 | 16 | 16 | 25  | 70  | 70 | 70  | 120 |     |
| 500                              | 16  | 16  | 16 | 25 | 35 | 50  | 70  | 95 | 120 |     |     |
| 1000                             | 16  | 25  | 35 | 50 | 70 | 95  | 120 |    |     |     |     |
| 1500                             | 25  | 35  | 50 | 70 | 95 | 120 |     |    |     |     |     |

注：绝缘铜线截面可按铝线截面的 0.6 进行估算。

表 1—11 绝缘导线线芯最小允许截面(mm<sup>2</sup>)

| 导线种类及使用场所                |              | 线芯最小允许截面 |     |                  |
|--------------------------|--------------|----------|-----|------------------|
|                          |              | 铜芯软线     | 铜线  | 铝线               |
| 照明用灯头线                   | 民用建筑, 户内     | 0.4      | 0.5 | 2.5              |
|                          | 工业建筑, 户内     | 0.5      | 0.8 | 2.5              |
|                          | 户外           |          | 1.0 | 2.5              |
| 移动式用电设备                  | 生活用          | 0.2      |     |                  |
|                          | 生产用          | 1.0      |     |                  |
| 架设在绝缘支持件上的绝缘导线, 其支持点间距离为 | 2cm 以下       | 户内       | 1.0 | 2.5 <sup>①</sup> |
|                          |              | 户外       | 1.5 | 2.5              |
|                          | 6m 以下        |          | 2.5 | 4.0              |
|                          | 10m 以下       |          | 2.5 | 6.0              |
|                          | 25m 及以下(引下线) |          | 4.0 | 10               |
| 穿管敷设的绝缘导线                |              |          | 1.0 | 2.5 <sup>①</sup> |

①现在我国已能生产小于 2.5mm<sup>2</sup> 的 BBLX 和 BLV 型铝芯绝缘线, 因此可以根据具体情况, 采用小于 2.5mm<sup>2</sup> 的铝芯截面。

表 1—12 架空裸导线的最小允许截面(mm<sup>2</sup>)

| 导线种类   | 高压(6kV 以上) |      | 低压 |
|--------|------------|------|----|
|        | 居民区        | 非居民区 |    |
| 铝及铝合金线 | 35         | 25   | 16 |
| 铝芯铝线   | 25         | 16   | 16 |
| 铜 芯    | 16         | 16   | 6  |

## 第二节 电工仪表

### 一、常用电工仪表基本知识

#### (一) 仪表的准确度

仪表准确度分为七级, 它们的基本误差在标尺工作部分的所有百分度线上不应超过表