

● 专用于国家职业技能鉴定



国家职业资格培训教程

# 绕组制造工

(初级技能 中级技能 高级技能)

● 机械工业职业技能鉴定指导中心组织编写

● 依据劳动和社会保障部颁布的《国家职业标准》要求编写

- 初级技能
- 中级技能
- 高级技能



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国家职业资格培训教程

# 绕组制造工

(初级技能 中级技能 高级技能)

机械工业职业技能鉴定指导中心组织编写



机械工业出版社

本书是依据《国家职业标准》绕组制造工的知识要求和技能要求，按照岗位培训需要的原则编写的。本书共分为三部分：初级技能、中级技能和高级技能，每部分均包括绕组制造前的工艺准备、加工制造、质量控制等内容。

本书主要作为企业培训部门、职业技能鉴定机构的教材，也可作为技校、技师学院、高职、各种短训班的教学用书。

### 图书在版编目（CIP）数据

绕组制造工：初级技能 中级技能 高级技能/机械工业职业技能鉴定  
指导中心组织编写. —北京：机械工业出版社，2011.3

国家职业资格培训教程

ISBN 978-7-111-33787-4

I. ①绕… II. ①机… III. ①绕组—职业教育—教材 IV. ①TM55

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 043826 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：荆宏智 王晓洁 责任编辑：王晓洁 版式设计：霍永明

责任校对：申春香 封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2011 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 19 印张 · 2 插页 · 470 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-33787-4

定价：48.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 变压器行业特有工种国家职业资格培训教程 编审委员会名单

主任 李 玲

副主任 张金琢 郝晓琪 史仲光 徐 彤

委 员 张振玉 杨宝林 马凤江 宓传龙 王秋彦

江蕊娥 王承志 荆宏智 王 勉 顾选能

孙福泉 孙瑞田 刘克昌 王文娣 薛晚道

邵晓静 李凤娥 张 博 陈新华 张新梅

杨清华 刘 铎 冷小敏 李 强 朱 强

唐梦明

## 《绕组制造工（初级技能 中级技能 高级技能）》 编审人员

主 编 宓传龙

参 编 陈新华 张新梅

# 前 言

为推动变压器行业职业培训和职业技能鉴定工作的开展，大力推行国家职业资格证书制度，机械工业职业技能鉴定指导中心在组织完成了《变压器、互感器装配工》、《铁心叠装工》、《绕组制造工》、《绝缘制品件装配工》、《变压器试验工》等特有工种国家职业标准编写工作的基础上，又组织变压器行业骨干企业及有关专家编写了这5个职业的国家职业资格培训教程。

本套教程是以“以职业活动为导向，以职业技能为核心”为指导思想，突出了职业培训特色，以操作者能够“看得懂、学得会、用得着”为基本原则，力求通俗易懂、理论联系实际，体现了实用性和可操作性。在结构上，教程针对变压器行业5个特有职业的职业活动领域，分为初级、中级、高级、技师、高级技师5个级别，按照模块化的方式进行编写。其中，《变压器基础知识》覆盖了《变压器、互感器装配工》、《铁心叠装工》、《绝缘制品件装配工》、《变压器试验工》4个国家职业标准中的基本要求；《绕组制造工（基础知识）》覆盖了《绕组制造工》国家职业标准中的基本要求；各职业技能部分的章对应于该职业标准中的“职业功能”，节对应于标准中的“工作内容”，节中阐述的内容对应于标准中的“技能要求”和“相关知识”。本套教程重点介绍了变压器、互感器生产的制造方法、操作技巧、工艺难题的排除及预防措施以及相关设备、工具、量具的使用、维护保养方法；同时，还介绍了一些国内外变压器、互感器制造技术的新动态。本套教程可供变压器、互感器、电抗器及相关专业工种的从业人员参加等级培训、技能鉴定使用，也可作为有关技术人员自学参考用书。

本套教程的编写工作得到了变压器行业骨干企业的全力支持。其中，保定天威集团有限公司承担了《变压器基础知识》、《变压器装配工》、《互感器装配工》、《铁心叠装工》、《绝缘制品件装配工》、《变压器试验工》等教程的编写工作；西安西电变压器有限责任公司承担了《绕组制造工》的编写工作；许继集团有限公司承担了《变压器装配工》中有关干式变压器部分内容的编写工作，在此一并表示感谢！

由于时间仓促，不足之处在所难免，欢迎广大读者和专家提出宝贵意见和建议。

机械工业职业技能鉴定指导中心

# 目 录

## 前言

## 第一部分 初级技能

|                       |    |                       |     |
|-----------------------|----|-----------------------|-----|
| 第一章 工艺准备 .....        | 1  | 二、吊装绕线模 .....         | 30  |
| 第一节 识读工艺文件及图样 .....   | 1  | 三、选用放线架 .....         | 30  |
| 一、绕组的识读 .....         | 1  | 四、调整张紧和分线架装置 .....    | 32  |
| 二、举例说明 .....          | 1  | 五、安装绝缘件 .....         | 33  |
| 第二节 导线选择 .....        | 2  | 六、导线焊接 .....          | 35  |
| 一、导线的规格、型号、名称及外观      |    | 七、层式绕组的绕制 .....       | 42  |
| 要求 .....              | 3  | 八、饼式绕组的绕制 .....       | 51  |
| 二、导线的下料、校直、焊接、砂光、     |    | 九、其他形式绕组的绕制 .....     | 73  |
| 去毛等过程的操作方法 .....      | 4  | 第二节 绕组的压装、组装及处理 ..... | 81  |
| 第三节 配置绝缘材料及绝缘件 .....  | 7  | 一、绕组压装 .....          | 81  |
| 一、常用绝缘材料的种类及规格 .....  | 7  | 二、绕组组装 .....          | 87  |
| 二、常用绝缘件及其用途 .....     | 12 | 三、绕组干燥处理 .....        | 91  |
| 三、常用绝缘件的防护和保管方法 ..... | 17 | 四、绕组浸漆处理 .....        | 95  |
| 第四节 选取辅助材料 .....      | 18 | 第三章 质量控制 .....        | 103 |
| 一、绑扎用辅助材料 .....       | 19 | 第一节 检测 .....          | 103 |
| 二、绝缘纸带类辅助材料 .....     | 19 | 一、检测导线的规格、根数、绝缘       |     |
| 三、引线焊接用辅助材料 .....     | 19 | 厚度 .....              | 103 |
| 四、绝缘胶粘剂 .....         | 19 | 二、检测绕组的绕向、层数、段数、      |     |
| 第五节 设备起动前的检查 .....    | 20 | 匝数 .....              | 104 |
| 一、主要设备正常运行的判断 .....   | 20 | 三、检测并调整绕组的压装高度 .....  | 105 |
| 二、辅助设备起动前的检查 .....    | 21 | 第二节 修复不良品 .....       | 105 |
| 三、仪器仪表使用前的检查 .....    | 22 | 一、按工艺要求对绕组的绝缘损伤，      |     |
| 第二章 加工制造 .....        | 26 | 垫块不齐进行修理 .....        | 106 |
| 第一节 绕组绕制 .....        | 26 | 二、绕组轴向尺寸偏差的修复 .....   | 106 |
| 一、装配调整绕线模 .....       | 26 |                       |     |

## 第二部分 中级技能

|                          |     |                        |     |
|--------------------------|-----|------------------------|-----|
| 第四章 工艺准备 .....           | 107 | 一、线规的测量及其截面积的计算 .....  | 121 |
| 第一节 识读工艺文件及图样 .....      | 107 | 二、绕组尺寸的计算及其裕度范围 .....  | 123 |
| 一、绕组制造中的相关技术 .....       | 107 | 第三节 配置绝缘材料及绝缘件 .....   | 124 |
| 二、识读 220kV 及以下绕组图样 ..... | 120 | 一、绕组用绝缘材料的合理选用 .....   | 124 |
| 三、识读相关工艺文件 .....         | 121 | 二、绕组通用绝缘件的外观质量鉴别 ..... | 134 |
| 第二节 导线选择 .....           | 121 | 第四节 选取辅助材料 .....       | 135 |

|                             |     |                                      |     |
|-----------------------------|-----|--------------------------------------|-----|
| 一、绕组用纸带、粘带的材质及质量 .....      | 135 | 一、绕组压装 .....                         | 180 |
| 二、绕组用绝缘胶粘剂的种类及用途 .....      | 137 | 二、绕组组装 .....                         | 185 |
| 第五节 设备的检查与保养 .....          | 138 | 三、绕组干燥处理 .....                       | 192 |
| 一、绕线机及其辅助设备的检查与<br>保养 ..... | 138 | 四、绕组浸漆处理 .....                       | 202 |
| 二、绕组压紧机及组装架的检查与<br>保养 ..... | 139 | <b>第六章 质量控制</b> .....                | 206 |
| 三、干燥设备的检查与保养 .....          | 139 | 第一节 检测 .....                         | 206 |
| <b>第五章 加工制造</b> .....       | 140 | 一、绕组检验指导书的编制 .....                   | 206 |
| 第一节 绕组绕制 .....              | 140 | 二、绕组匝间、层间、段间绝缘厚度和<br>绕组直流电阻的测量 ..... | 208 |
| 一、装配并调整绕线模 .....            | 140 | 三、绕组引出头、绝缘撑条、垫块等位置<br>的测量 .....      | 211 |
| 二、吊装绕线模 .....               | 142 | 四、绕组分接头编号、换位及其分布的<br>测量 .....        | 211 |
| 三、选用放线架 .....               | 143 | 五、绕组高度、内外径、油道宽度等的<br>测量 .....        | 212 |
| 四、调整张紧和分线架装置 .....          | 144 | 第二节 修复不良品 .....                      | 212 |
| 五、安装绝缘件 .....               | 147 | 一、绕组的质量分等标准 .....                    | 212 |
| 六、导线焊接 .....                | 150 | 二、修复绕组常见质量缺陷 .....                   | 214 |
| 七、层式绕组的绕制 .....             | 154 |                                      |     |
| 八、饼式绕组的绕制 .....             | 160 |                                      |     |
| 第二节 绕组的压装、组装及处理 ..          | 179 |                                      |     |
|                             |     | <b>第三部分 高级技能</b>                     |     |
| <b>第七章 工艺准备</b> .....       | 217 | 五、饼式绕组的绕制 .....                      | 255 |
| 第一节 导线选择 .....              | 217 | 六、其他形式绕组的绕制 .....                    | 261 |
| 一、种类和用途 .....               | 217 | 第二节 绕组的压装、组装及处理 ..                   | 265 |
| 二、导线的选用原则 .....             | 219 | 一、绕组压装 .....                         | 265 |
| 三、导线的质量检验 .....             | 219 | 二、绕组组装 .....                         | 271 |
| 第二节 配置绝缘材料及绝缘件 .....        | 222 | 三、绕组干燥处理 .....                       | 280 |
| 一、被弯折导线的绝缘 .....            | 222 | <b>第九章 质量控制</b> .....                | 289 |
| 二、绕组线段的匝间衬垫 .....           | 223 | 第一节 检测 .....                         | 289 |
| 三、绕组段间纸圈的放置 .....           | 224 | 一、多根导线并绕绕组线间短路的<br>检查 .....          | 289 |
| 四、绕组层间绝缘的放置 .....           | 225 | 二、多根导线并绕短路点的确定方法 .....               | 289 |
| 五、绕组线段(饼)小角环的放置 .....       | 225 | 三、半短路点的确定方法 .....                    | 289 |
| 第三节 设备起动前的检查 .....          | 225 | 四、纠结式绕组短路点的确定方法 .....                | 290 |
| 一、绕线机 .....                 | 225 | 五、在浸漆浇注、干燥处理中出现的<br>质量问题 .....       | 290 |
| 二、绕组压紧机 .....               | 237 | 第二节 处理质量问题 .....                     | 291 |
| 三、干燥处理设备 .....              | 237 | 一、绕组短路点的排除方法 .....                   | 291 |
| 四、设备的液压传动和气压传动 .....        | 238 | 二、多匝与少匝的分析及排除方法 .....                | 292 |
| <b>第八章 加工制造</b> .....       | 243 | 三、“S”弯偏位的修复 .....                    | 293 |
| 第一节 绕组绕制 .....              | 243 | 四、油道堵塞的处理 .....                      | 294 |
| 一、选用放线架 .....               | 243 | 五、绕组干燥过程中的问题与处理 .....                | 294 |
| 二、安装绝缘件 .....               | 246 | <b>参考文献</b> .....                    | 296 |
| 三、导线焊接 .....                | 247 |                                      |     |
| 四、层式绕组的绕制 .....             | 251 |                                      |     |

# 第一部分 初级技能

## 第一章 工艺准备

绕组绕制前的工艺准备工作包括：学习图样和技术条件、准备导线和绝缘件、进行设备起动前的检查等。对操作者而言，认真做好工艺准备工作尤为重要，这是做好绕组制造和压装处理工作的保证。

### 第一节 识读工艺文件及图样

图样、技术条件是产品进行操作的重要依据。绕制绕组时，这些资料必须齐备，操作者只有对图样和技术条件的各项内容有了透彻的了解，全面掌握产品的结构特点、技术数据和技术要求后，才能更好地把握住操作的关键环节，从而制造出高质量的产品来。

识读图样的内容包括：识读技术说明、识读图面、识读材料。

#### 一、绕组的识读

在绕组图样中，其左上角即技术数据表，技术数据表中有额定电压、相电流、相数、容量、绕制形式、每只绕组的段号、匝数、导线尺寸、质量（一般横线上面表示裸导线尺寸、质量，下面表示导线包匝绝缘后的尺寸、质量），轴向尺寸是指绕组的外径和内径之差的 $1/2$ 。导线长度是4个数字相乘的式子，依次表示绕组的相数（1表示1相，3表示3相）、出头位置（1表示端部出头，2表示中部出头）、绕制根数、单根导线长度。

技术说明位于右上角位置；右下角分述绕组在绕制过程中所需要的所有材料和零部件，也就是我们所说明的材料明细表；它的下面注明绕组的图号 $\times \cdot \times \times \cdot \times \times \times$ ，名称：线圈，这叫标题栏；其余部分通称为图面，是我们学习图样的主要部分，它包括绕组数据图、油道放置示意图、绕组出头位置图（即绕组俯视图，面向高压侧）、绕组展开示意图（也叫做“S”弯展开图）、绕组端部示意图、挡油板放置示意图及绕组外撑条绑扎示意图等。

#### 二、举例说明

开始绕制前，必须看清图样上的各项要求，认真看清绕组图后，方可进行绕制工作。下面以一张饼式绕组绘制图（见书后见插页图1-1）进一步说明。

##### （一）识读技术数据表

仔细阅读位于图样左上角的技术数据表，不难看出：这是一个线规为 $\frac{a \times b}{A \times B}$ （ZB- $\delta$ ）单根的普通扁铜线，绕组绕向为左正的连续式绕组。导线质量是 $\frac{6503}{6600}$ （6503表示导线未包匝



绝缘纸前的裸导线质量；6600 表示导线包纸后质量)。3×1×1×657 表示绕组是三相绕组、绕组出头方式为端部出头、单根导线、单根导线长度为 657m。

由图 1-1（见书后插页）中的技术数据可见，三相绕组的出头名称分别为（A、B、C、A6、B6、C6），材料是原线（即绕线用的普通扁铜线）线规为  $\frac{a \times b}{A \times B}$  的普通扁铜线，出头长度均为 850mm，它的绝缘包扎方法为：外包绝缘皱纹纸，每边 6mm，再包白布带半叠一层。

另外，在技术数据中，还可查阅到这台变压器产品的额定电压值为 20000V，额定相电流值为 877.2A 及额定容量值为 50000kV·A 等。

## （二）识读图面

图面中的内容非常全面，也非常重要。

### 1. 油道放置示意图（正视图）

从油道放置示意图可知，绕组绕制时线饼间所需放置油道垫块的厚度除上、下两端与端绝缘序 2 间的垫块厚度为 6mm，其余均为 3.5mm；线饼的段数为 62 个（即绕制 62 个线饼）。

图中标注的“1000（压缩后尺寸）”、“1160（压缩后尺寸）”分别表示绕组在进行压装（冷压）→干燥处理→压装（热压）后，符合产品要求的绕组的总高度为 1160mm，其中包括了上、下端绝缘件的厚度尺寸，单纯 62 个线饼段和其包括的油道的高度尺寸为 1000mm，即绕组轴向高度尺寸为 1160mm，绕组电抗高度为 1000mm。

### 2. 绕组出头位置图（俯视图）

实际上，它所表示的就是绕组立放时，从上向下看，绕组支撑条的内径尺寸为  $\phi 881\text{mm}$  的俯视图。从中可以知道：我们通常确定绕线模的外径尺寸，就是以绕组支撑条内径尺寸为准。如果该绕组需要放置内、外挡油板时，其绕线模的外径尺寸应该是：绕组支撑条内径 - 4mm。针对这台产品，绕线模的外径尺寸应该就等于  $\phi 877\text{mm}$ （即  $881\text{mm} - 4\text{mm} = 877\text{mm}$ ）。

同时，从绕组出头位置图可以知道绕组的出头位置、内外径尺寸、绕组的挡数（即油隙撑条根数）、绕组外锁口撑条的外限尺寸等。如图 1-1 所示，绕组的绕饼内径为  $\phi 905\text{mm}$ ；线饼外径为  $\phi 1129\text{mm}$ ；出头位置在第 19~20 档之间；撑条共 20 档，即撑条根数沿绕线模圆周均匀放置 20 根；绕组外撑条的外径尺寸是  $\phi 1149\text{mm}$ 。

## 第二节 导线选择

绕组是变压器的重要部件，是变压器输入输出电能的电气回路。而绕组是由表面覆盖绝缘层的铜铝导体构成的导线绕制而成。导线是构成变压器电气回路的“动脉”，因而导线质量的好坏直接影响到产品的质量。

变压器绕组导线按导体材料不同，可分为铜、铝两种；按导体形状不同，可分为圆铜、圆铝线和扁铜、铝线；按其绝缘材料不同，可分为纸包线、漆包线、丝包线等；按导体组合方式不同，又可分为单根导线、组合导线、换位导线等。设计人员应根据产品技术条件确定导线绝缘的耐热等级，选择适宜的导线。

## 一、导线的规格、型号、名称及外观要求

### 1. 绕组常用导线的型号、名称及用途（见表 1-1）

表 1-1 绕组常用导线的型号、名称及用途

| 种类    | 型号       | 名称           | 工作条件/℃ | 用途           |
|-------|----------|--------------|--------|--------------|
| 纸包绕组线 | Z        | 纸包圆铜线        | 105    | 油浸式变压器、互感器绕组 |
|       | ZL       | 纸包圆铝线        | 105    |              |
|       | ZB       | 纸包扁铜线        | 105    |              |
|       | ZLB      | 纸包扁铝线        | 105    |              |
| 漆包线   | QQ—2     | 高强度缩醛漆包圆铜    | 125    | 油浸式变压器、互感器绕组 |
|       | QQB      | 高强度缩醛漆包扁铜线   | 125    |              |
|       | QQLB     | 高强度缩醛漆包扁铝线   | 125    |              |
| 玻璃丝包线 | SQ       | 单丝(包油性)漆包圆铜线 | 125    | 电流、电压互感器     |
|       | SBEC     | 双玻璃丝包圆铜线     | 150    | 干式变压器绕组(B级)用 |
|       | SBELC    | 双玻璃丝包圆铝线     | 150    |              |
|       | SBECB    | 双玻璃丝包扁铜线     | 150    |              |
|       | SBELCB   | 双玻璃丝包扁铝线     | 150    |              |
|       | QZSBECB  | 双玻璃丝聚脂漆包扁铜线  | 150    |              |
|       | QZSBELCB | 双玻璃丝聚脂漆包扁铝线  | 150    |              |

### 2. 裸导线的规格

变压器导线规格选择于国家标准。各变压器制造厂应根据自己的设备能力、产品规范和工人操作能力制订本工厂的导线适用标准，避免因导线规格繁多而造成生产和管理不利，以及成本增加现象。

- 1) 圆铜、铝线的规格见表 1-2。
- 2) 扁铜、铝线的规格见表 1-3。

表 1-2 圆铜、铝线的规格

| 标称    | 铜、铝导体直径/mm |       | 标称截面积/mm <sup>2</sup> |
|-------|------------|-------|-----------------------|
|       | 最小         | 最大    |                       |
| 1.000 | 0.990      | 1.010 | 0.7854                |
| 1.060 | 1.049      | 1.071 | 0.8825                |
| 1.120 | 1.109      | 1.131 | 0.9852                |
| 1.180 | 1.168      | 1.192 | 1.094                 |
| 1.250 | 1.237      | 1.263 | 1.227                 |
| 1.320 | 1.307      | 1.333 | 1.327                 |
| 1.400 | 1.386      | 1.414 | 1.530                 |
| 1.500 | 1.485      | 1.515 | 1.767                 |
| 1.600 | 1.584      | 1.616 | 2.011                 |
| 1.700 | 1.683      | 1.717 | 2.270                 |

(续)

| 标称    | 铜、铝导体直径/mm |       | 标称截面积/mm <sup>2</sup> |
|-------|------------|-------|-----------------------|
|       | 最小         | 最大    |                       |
| 1.800 | 1.782      | 1.818 | 2.545                 |
| 1.900 | 1.881      | 1.919 | 2.835                 |
| 2.000 | 1.980      | 2.020 | 3.142                 |
| 2.120 | 2.099      | 2.141 | 3.530                 |
| 2.240 | 2.218      | 2.262 | 3.941                 |
| 2.360 | 2.336      | 2.384 | 4.374                 |
| 2.500 | 2.475      | 2.525 | 4.909                 |
| 2.650 | 2.623      | 2.677 | 5.516                 |
| 2.800 | 2.772      | 2.828 | 6.158                 |
| 3.000 | 2.970      | 3.030 | 7.069                 |
| 3.150 | 3.118      | 3.182 | 7.793                 |
| 3.350 | 3.316      | 3.384 | 8.814                 |
| 3.550 | 3.514      | 3.586 | 9.898                 |
| 3.750 | 3.712      | 3.788 | 11.04                 |
| 4.000 | 3.960      | 4.040 | 12.57                 |
| 4.250 | 4.207      | 4.293 | 14.19                 |
| 4.500 | 4.455      | 4.545 | 15.90                 |
| 4.750 | 4.702      | 4.798 | 17.72                 |
| 5.000 | 4.950      | 5.050 | 19.64                 |

### 3. 导线的外观及其他要求

- 1) 铜、铝导线表面应光洁，不应有毛刺、裂纹、截面积缩小、起皮及夹杂物等影响质量的缺陷存在。
- 2) 铜、铝线应绕在线盘上，并加热防潮材料绕包保护。在正常装卸、运输和保管中，应避免损伤导线。
- 3) 导线成品由制造厂检查合格后方可出厂，每盘导线上均应附上检验合格证。
- 4) 导线入库和领用必须严格执行厂内原材料进厂检验制度，检验合格后方能投产使用。

## 二、导线的下料、校直、焊接、砂光、去毛等过程的操作方法

电磁线制造厂家生产出厂的裸导线，过去都是成卷成捆的包装运输，现在已实行用线盘包装运输。因此导线的排列和平直度是很差的，除了圆导线以外，扁导线是不能直接包纸的。变压器制造厂为了保证变压器的质量和信誉，工艺上规定：进厂的裸导线，在包纸前必须进行外检、校平拉直，并根据绕组图样上的导线长度和技术要求，进行重新下料分盘。导线的校平拉直、表面毛刺砂光处理、分盘等是通过拉线机、校直台、长度计数器及放线转盘同时进行的，见图 1-2。

### 1. 导线下料长度的确定

仔细审阅绕组图样，确定绕组相数及每相绕组最低分盘数量、导线重量、长度。在满足绕组绕制根数及所需长度的前提下，不得任意剪断导线，力求所分的盘数以最少为易，尽可能地减少绕组绕制时的接头焊接，保证质量，节省原材料。



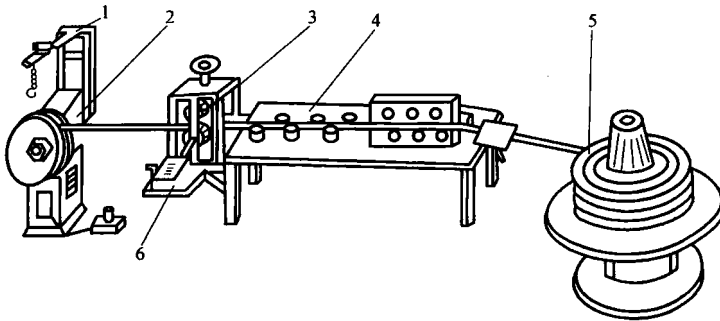


图 1-2 导线拉直设备

1—吊臂葫芦 2—拉线机 3—压紧轮 4—校直台 5—放线转盘 6—长度计数器

## 2. 导线的校平拉直、表面砂光、去毛处理

导线的校平拉直是通过校直台来完成的。如图 1-3 所示，导线通过宽度方向和厚度方向各有三对可调滚轮在宽度和厚度方向压紧导线实现校平拉直。压紧滚轮和校直的间隙均可按导线线规尺寸进行调整，调整校直轮时要仔细，它是导线校直、校平的关键。在导线同一侧的校直轮要保持在一排并成直线，左右和上下两排之间要保持平行。校直轮不得有松动、移位现象，校直轮和导线之间不可调得过紧，以免拉细导线，尤其是对小规格铝线更应注意。

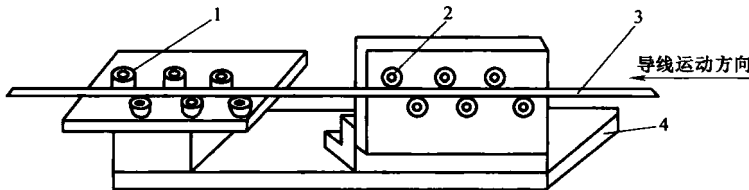


图 1-3 导线校直台

1—校直轮 2—校平轮 3—导线 4—固定板

导线在拉直、校平过程中，如果其表面明显出现有尖角、毛刺、夹杂质、凹坑以及搬运过程中的磕碰损伤等质量问题时，就必须用锉刀、砂纸等进行修整，修整后导线表面不允许有划痕、斑痕、毛刺、起皮等不良现象。

## 3. 导线的焊接

在拉线过程中，当遇到下列所述情况时，导线必须采用焊接工艺：

1) 导线在拉线过程中，发现导线原有接头时，必须用大剪钳将焊接部分剪掉并重新焊接。

2) 导线表面出现深度超过导线线规允许公差加倍的空洞、斑痕、裂纹、凹坑等缺陷时，必须将问题部分剪掉，然后予以焊接修正。

导线焊接时所用的设备及焊接方式，与导线的线规有直接关系。具体焊接方法见第二章中有关导线焊接的内容。

### 第三节 配置绝缘材料及绝缘件

#### 一、常用绝缘材料的种类及规格

绕组常用的绝缘材料主要有固体绝缘材料，包括电工绝缘纸板、电缆纸和电话纸等几种绝缘包扎用材料，还有层压木板、绝缘层压制品及各种纤维带制品等。

##### (一) 绝缘纸板

绝缘纸板是由纯硫酸盐木浆经抄纸、热压等过程制造成的，它只用纯纤维而不加任何添加剂，可以彻底干燥、去气和浸油。可用于绕组的垫块，撑条，主绝缘中的隔板、纸筒、油隙撑条、引线支架、铁轭绝缘、端绝缘、绕组压板等。其厚度有 0.5mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm、3.0mm、4.0mm、5.0mm、6.0mm、8.0mm 及 10.0mm 等。变压器常用绝缘纸板的厚度为 1.0mm、1.5mm、2.0mm、3.0mm、4.0mm、5.0mm、6.0mm。

##### 1. 绝缘纸板的分类

绝缘纸板按密度分为低密度板、中密度板、高密度板；按纸板成型工艺分为热压型纸板和压光型纸板。

(1) 低密度板 密度  $0.75 \sim 0.9 \text{g/cm}^3$ ，强度较低，用于弯折件或经润湿以后制作拉伸件，如成形角环、环状件、软纸筒等。低密度板吸油率高，成型性好，但力学性能差。

(2) 中密度板 密度  $0.95 \sim 1.15 \text{g/cm}^3$ ，用于绝缘纸筒、撑条、垫块等（即一般零件及层压制品）。

(3) 高密度板 密度  $1.15 \sim 1.3 \text{g/cm}^3$ ，供制造机械强度较高，不弯折的零件，如绝缘压板、端绝缘、垫块、撑条等。

##### 2. 变压器用绝缘纸板

适用于油浸式变压器。

(1) T4 特硬纸板 紧度大，吸油率低，可成型性极差，力学性能好。用于制作大型变压器绝缘压板、端绝缘、垫块、撑条及层压件等力学性能要求很高的绝缘件。

(2) T1 硬纸板 紧度较大，吸油率较低，可成型性差，力学性能较好。用于制作硬纸筒、垫块、油隙撑条及绝缘压板等电气性能、力学性能要求较高的绝缘件。

(3) T3 软纸板 紧度小，吸油率高，可成型性好，力学性能较差。用于制作软纸筒、层压板和层压垫块、弯折成形件等电气性能要求高，而力学性能要求不高的绝缘件。

##### (二) 绝缘包扎用材料

常用于变压器绕组的层间绝缘、匝间绝缘、引出头绝缘、静电板等的绝缘纸有电话纸、电缆纸、绝缘皱纹纸、丹尼森纸、金属化皱纹纸等。下面分别说明它们的规格及用途。

##### 1. 电话纸

电话纸是用硫酸盐纸浆制造成的。其牌号为 DH—30、DH—40、DH—50，厚度分别为 0.03mm、0.04mm、0.05mm，宽度为 400~600mm，它的机械强度较差，一般用作导线的匝绝缘、层绝缘或导体的覆盖绝缘，另外，电话纸也可以作为云母箔的补强材料，用于电机绝缘。

例如牌号为 DH—50 的电话纸，宽度为 350mm、400mm、450mm、500mm、600mm，厚

度为  $0.05\text{mm} \pm 0.004\text{mm}$ ，其技术指标见表 1-4。

表 1-4 DH—50 电话纸的技术指标

| 指标名称                    | DH—50            | 指标名称                   | DH—50            |
|-------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| 厚度/mm                   | $0.05 \pm 0.004$ | 伸长率 { 纵向 (%)<br>横向 (%) | $\geq 2.0$       |
| 紧度/(g/cm <sup>3</sup> ) | $\leq 0.82$      |                        | $\geq 4.0$       |
| 抗张力 { 纵向 /N<br>横向       | $\geq 54$        | 水分 (%)                 | $\leq 7 \pm 0.5$ |
|                         | $\geq 24$        |                        |                  |

## 2. 电缆纸

电缆纸是用自然颜色的硫酸盐纸浆制造成的。牌号为 DL08、DL12、DL17，其厚度分别为 0.08mm、0.12mm、0.17mm，均成卷供应，宽度为 450 ~ 700mm。电缆纸经变压器油浸渍后，其机械强度和电气强度均会有明显的提高，如在空气中其电气强度为  $(6 \sim 9) \times 10^3\text{kV/m}$ ，干燥浸渍变压器油后其电气强度则达  $(70 \sim 90) \times 10^3\text{kV/m}$ 。电缆纸在变压器的运行中有足够的热稳定性，它在变压器中可作缠绕绝缘和层间绝缘。电缆纸包括高压电缆纸、低压电缆纸。

(1) 高压电缆纸 适用于 110 ~ 330kV 高压电力电缆及互感器绝缘用纸，一般互感器常用而变压器少用。匝间绝缘纸 BZZ—075 也是高压电缆纸的一种，只不过性能更好一些，用于 500kV 的变压器、电抗器的匝间绝缘。高压电缆纸为卷筒纸，卷筒直径为 550 ~ 650mm，卷筒宽度为  $625\text{mm} \pm 5\text{mm}$ 。高压电缆纸的技术指标见表 1-5；500kV 匝间绝缘纸的技术指标见表 1-6。

表 1-5 高压电缆纸的技术指标

| 指标名称                    | 指 标               |                   |                  |
|-------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
|                         | BZZ—075           | BZZ—125           | BZZ—175          |
| 厚度/mm                   | $0.075 \pm 0.005$ | $0.125 \pm 0.007$ | $0.175 \pm 0.01$ |
| 紧度/(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.85              | 0.85              | 0.85             |
| 工频击穿电压/(V/层)            | $\geq 600$        | $\geq 950$        | $\geq 1200$      |
| 90℃时 $\tan\delta$ (%)   | 0.23              | 0.23              | 0.23             |
| 抗张力 { 纵向 /N<br>横向       | 88                | 137               | 177              |
|                         | 39                | 64                | 88               |
| 水分 (%)                  | 6 ~ 9             | 6 ~ 9             | 6 ~ 9            |

表 1-6 500kV 匝间绝缘纸的技术指标

| 序号 | 参 数                     | 规定参数值             |                   |
|----|-------------------------|-------------------|-------------------|
|    |                         | BZZ—075           | BZZ—125           |
| 1  | 纤维配比(%) (本色硫酸盐木浆)       | 100               | 100               |
| 2  | 厚度/mm                   | $0.075 \pm 0.005$ | $0.125 \pm 0.007$ |
| 3  | 密度/(g/cm <sup>3</sup> ) | $0.95 \pm 0.05$   | $0.95 \pm 0.05$   |
| 4  | 透气度/(mL/min)            | $\leq 5$          | $\leq 15$         |
| 5  | 抗张强度/MPa                | 纵向                | $\geq 83$         |
|    |                         | 横向                | $\geq 37$         |
|    |                         |                   | $\geq 137$        |
|    |                         |                   | $\geq 64$         |

(续)

| 序号 | 参 数                |          | 规定参数值                |                      |
|----|--------------------|----------|----------------------|----------------------|
|    |                    |          | BZZ—075              | BZZ—125              |
| 6  | 伸长率(%)             | 纵向<br>横向 | ≥2.0<br>≥6.0         | ≥2.3<br>≥7.0         |
| 7  | 耐折度纵横平均值/次         |          | ≥1500                | ≥1500                |
| 8  | 热老化稳定性/次           |          | ≥1200                | ≥1200                |
| 9  | 水分(%)              |          | 6.5~8.0              | 6.5~8.0              |
| 10 | 水抽出液 pH 值          |          | 6.5~8.0              | 6.5~8.0              |
| 11 | 水抽出液电导率(25℃)/(S/m) |          | ≤2×10 <sup>-3</sup>  | ≤2×10 <sup>-3</sup>  |
| 12 | 灰分(%)              |          | ≤0.25                | ≤0.25                |
| 13 | 铁离子含量              |          | ≤50×10 <sup>-6</sup> | ≤50×10 <sup>-6</sup> |
| 14 | 氟离子含量              |          | ≤40×10 <sup>-6</sup> | ≤40×10 <sup>-6</sup> |
| 15 | 钠离子含量              |          | ≤15×10 <sup>-6</sup> | ≤15×10 <sup>-6</sup> |
| 16 | 干纸介损(100℃)tanδ     |          | ≤0.0023              | ≤0.0023              |

(2) 低压电缆纸 用于 35kV 及以下的电力电缆或其他电容绝缘用纸。产品分 DLZ—U、DLZ—A、DLZ—B 三级，厚度分别为 80μm、130μm、170μm 三种。此电缆纸为卷筒纸，卷筒宽度 625mm±5mm，卷筒直径为 650~700mm。其技术指标见表 1-7。

表 1-7 低压电缆纸的技术指标

| 指标名称                            | 指 标             |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
|---------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                                 | DLZ—U           |                |                | DLZ—A          |                |                | DLZ—B          |                |                |                |
| 厚度/μm                           | 80±5.0          | 130±7.0        | 170±8.0        | 80±5.0         | 130±7.0        | 170±8.0        | 80±6.0         | 130±8.0        | 170±10.0       |                |
| 紧度/(g/cm <sup>3</sup> )         | 0.85±0.05       |                |                | 0.85±0.07      |                |                | 0.85±0.10      |                |                |                |
| 抗拉强度<br>/(kN/m)<br>(kgf/15mm) ≥ | 纵               | 5.90<br>(9.00) | 10.5<br>(16.0) | 13.0<br>(20.0) | 5.90<br>(9.00) | 10.5<br>(16.0) | 13.0<br>(20.0) | 4.90<br>(7.50) | 9.50<br>(14.5) | 11.8<br>(18.0) |
|                                 | 横               | 2.90<br>(4.50) | 4.90<br>(7.50) | 6.50<br>(10.0) | 2.90<br>(4.50) | 4.90<br>(7.50) | 6.50<br>(10.0) | 2.60<br>(4.00) | 4.20<br>(6.50) | 5.90<br>(9.00) |
| 伸长率(%)                          | 纵               | 2.0            | 2.2            |                | 2.0            | 2.2            |                | 1.9            | 2.0            |                |
|                                 | 横               | 6.0            | 6.5            |                | 6.0            | 6.5            |                | 5.7            | 6.0            |                |
| 撕裂度(横向)/mN(gf) ≥                | 540<br>(55.0)   | 1080<br>(110)  | 1470<br>(150)  | 540<br>(55.0)  | 1080<br>(110)  | 1470<br>(150)  | 540<br>(55.0)  | 1080<br>(110)  | 1470<br>(150)  |                |
| 耐折度(纵横平均)/次 ≥                   | 1000            | 2000           |                | 1000           | 2000           |                | 1000           | 2000           |                |                |
| 工频击穿电压/(V/层) ≥                  | 600             | 950            | 1200           | 600            | 950            | 1200           | 600            | 950            | 1200           |                |
| 干纸介质损耗<br>(tanδ)(100℃)(%) ≤     | 0.70            |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| 电导率/(mS/m) ≤                    | 10              |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| 水抽出液 pH 值                       | 6.0~8.0         |                |                | 6.5~8.5        |                |                | 6.5~8.5        |                |                |                |
| 透气度/μm(Pa·s)<br>(mL/min) ≤      | 0.510<br>(30.0) |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| 灰分(%) ≤                         | 1.00            |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| 交货水分(%)                         | 6.0~9.0         |                |                |                |                |                |                |                |                |                |



### 3. 绝缘皱纹纸

绝缘皱纹纸是由电工用绝缘纸经起皱加工而制成的。沿其横向有皱纹，拉伸时皱纹被拉开。根据其伸长率、机械强度的不同，可以分为常规皱纹纸、高密度绝缘皱纹纸。

(1) 常规皱纹纸 该皱纹纸的厚度一般为 0.05 ~ 0.12mm，其伸长率可制成 15% ~ 20%。目前大型变压器使用最多的绝缘皱纹纸中，一种是由国内生产伸长率为 50%，另一种就是国外进口，伸长率为 100% 的皱纹纸。通常情况下，我们把国产皱纹纸称为普通皱纹纸，进口皱纹纸称为 100% 皱纹纸。常用于油浸式变压器的绕组包绝缘，如绕组出头的包扎、引线及静电屏蔽装置的绝缘包扎。

绝缘皱纹纸的起皱度为

$$\text{起皱度} = \frac{\text{沿皱折方向拉伸的最大长度} - \text{皱纹纸原长度}}{\text{皱纹纸原长度}} \times 100\%$$

常规绝缘皱纹纸的技术指标见表 1-8。

(2) 高密度绝缘皱纹纸 这种皱纹纸比一般皱纹纸的电气强度高 100% ~ 150%，机械强度高 50%。由于电气强度高，耐油性能好，弹性好和便于拉伸，可代替漆、布带用作引线以及导线连接和弯曲部位的绝缘。

表 1-8 常规绝缘皱纹纸的技术指标

| 指标名称                     |    | 指标          |             |
|--------------------------|----|-------------|-------------|
|                          |    | JW50/50     | JW50/75     |
| 厚度/mm                    |    | 0.35 ± 0.05 | 0.38 ± 0.08 |
| 水分(%)                    |    | 不大于 8       | 不大于 8       |
| pH 值                     |    | 6.5 ~ 8     | 6.5 ~ 8     |
| 不污染变压器油                  |    | 不           | 不           |
| 抗拉强度/MPa                 | 纵向 | 39.2        | 39.2        |
|                          | 横向 | 29.4        | 29.4        |
| 起皱度(%)                   |    | 50 ~ 60     | 50 ~ 60     |
| 起皱后拉伸平整，一层厚度浸油后工频击穿电压/kV |    | ≥ 2.4       | ≥ 3.6       |

(3) 丹尼森纸 它是一种国外进口的新型纤维固体绝缘材料。起皱范围为 15%、20%、30%、50%、100%、200%、300%，底纸材料为低密度纸或高密度纸。低密纸具有双方向伸长率，底纸厚度为 0.1mm，起皱后厚度为 0.45mm，长度方向伸长率为 50%，宽度方向为 20%。高密纸单方向伸长率为 20%，厚度为 0.075 ~ 0.125mm，底纸为两种不同的颜色（每层颜色不同，防止“跑层”）。

美国丹尼森（Dennison）公司生产的皱纹纸的技术指标见表 1-9。

表 1-9 美国丹尼森（Dennison）公司生产的皱纹纸的技术指标

| 型号                                |    | 12HCC         | 22HCC         | 35HCC         | 510  | 55HC          | 510H | 510HC         |
|-----------------------------------|----|---------------|---------------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| 厚度/mm                             |    | 0.048 ~ 0.058 | 0.074 ~ 0.086 | 0.152 ~ 0.203 | 0.53 | 0.254 ~ 0.305 | 0.74 | 0.305 ~ 0.381 |
| 抗拉强度<br>最大标称/N · cm <sup>-1</sup> | 纵向 | 35            | 52.5          | 13.5          | 35   | 84            | 84   | 84            |
|                                   | 横向 | 47            | 87.5          | 66.5          | 43.5 | 105           | 96.5 | 96.5          |
| 伸长率(%)                            |    | 15            | 15            | 50            | 100  | 50            | 100  | 100           |