

● 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 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 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 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 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 测量 .....	211
三、选用放线架 .....	143	五、绕组高度、内外径、油道宽度等的 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 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 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。

表 1-3 扁铜、铝线的规格

a	0.5mm										0.65mm										0.8mm										1.0mm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
	0.80*	0.85	0.90*	0.95	1.00*	1.06	1.12*	1.18	1.23*	1.32	1.40*	1.50	1.60*	1.70	1.80*	1.90	2.00*	2.12	2.24*	2.36	2.50*	2.65	2.80*	3.00	3.15*	3.35	3.55*	3.75	4.00*	4.25	4.50*	4.75	5.00*	5.30	5.50	6.00	6.30*	6.70	7.10*																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
b	1.463	1.624	1.785	1.946	2.107	2.268	2.429	2.590	2.751	2.912	3.073	3.234	3.395	3.556	3.717	3.878	4.039	4.200	4.361	4.522	4.683	4.844	5.005	5.166	5.327	5.488	5.649	5.810	5.971	6.132	6.293	6.454	6.615	6.776	6.937	7.098	7.259	7.420	7.581	7.742	7.903	8.064	8.225	8.386	8.547	8.708	8.869	9.030	9.191	9.352	9.513	9.674	9.835	9.996	10.157	10.318	10.479	10.640	10.801	10.962	11.123	11.284	11.445	11.606	11.767	11.928	12.089	12.250	12.411	12.572	12.733	12.894	13.055	13.216	13.377	13.538	13.699	13.860	14.021	14.182	14.343	14.504	14.665	14.826	14.987	15.148	15.309	15.470	15.631	15.792	15.953	16.114	16.275	16.436	16.597	16.758	16.919	17.080	17.241	17.402	17.563	17.724	17.885	18.046	18.207	18.368	18.529	18.690	18.851	19.012	19.173	19.334	19.495	19.656	19.817	19.978	20.139	20.300	20.461	20.622	20.783	20.944	21.105	21.266	21.427	21.588	21.749	21.910	22.071	22.232	22.393	22.554	22.715	22.876	23.037	23.198	23.359	23.520	23.681	23.842	24.003	24.164	24.325	24.486	24.647	24.808	24.969	25.130	25.291	25.452	25.613	25.774	25.935	26.096	26.257	26.418	26.579	26.740	26.901	27.062	27.223	27.384	27.545	27.706	27.867	28.028	28.189	28.350	28.511	28.672	28.833	28.994	29.155	29.316	29.477	29.638	29.799	29.960	30.121	30.282	30.443	30.604	30.765	30.926	31.087	31.248	31.409	31.570	31.731	31.892	32.053	32.214	32.375	32.536	32.697	32.858	33.019	33.180	33.341	33.502	33.663	33.824	33.985	34.146	34.307	34.468	34.629	34.790	34.951	35.112	35.273	35.434	35.595	35.756	35.917	36.078	36.239	36.400	36.561	36.722	36.883	37.044	37.205	37.366	37.527	37.688	37.849	38.010	38.171	38.332	38.493	38.654	38.815	38.976	39.137	39.298	39.459	39.620	39.781	39.942	40.103	40.264	40.425	40.586	40.747	40.908	41.069	41.230	41.391	41.552	41.713	41.874	42.035	42.196	42.357	42.518	42.679	42.840	43.001	43.162	43.323	43.484	43.645	43.806	43.967	44.128	44.289	44.450	44.611	44.772	44.933	45.094	45.255	45.416	45.577	45.738	45.899	46.060	46.221	46.382	46.543	46.704	46.865	47.026	47.187	47.348	47.509	47.670	47.831	47.992	48.153	48.314	48.475	48.636	48.797	48.958	49.119	49.280	49.441	49.602	49.763	49.924	50.085	50.246	50.407	50.568	50.729	50.890	51.051	51.212	51.373	51.534	51.695	51.856	52.017	52.178	52.339	52.500	52.661	52.822	52.983	53.144	53.305	53.466	53.627	53.788	53.949	54.110	54.271	54.432	54.593	54.754	54.915	55.076	55.237	55.398	55.559	55.720	55.881	56.042	56.203	56.364	56.525	56.686	56.847	57.008	57.169	57.330	57.491	57.652	57.813	57.974	58.135	58.296	58.457	58.618	58.779	58.940	59.101	59.262	59.423	59.584	59.745	59.906	60.067	60.228	60.389	60.550	60.711	60.872	61.033	61.194	61.355	61.516	61.677	61.838	62.000	62.161	62.322	62.483	62.644	62.805	62.966	63.127	63.288	63.449	63.610	63.771	63.932	64.093	64.254	64.415	64.576	64.737	64.898	65.059	65.220	65.381	65.542	65.703	65.864	66.025	66.186	66.347	66.508	66.669	66.830	66.991	67.152	67.313	67.474	67.635	67.796	67.957	68.118	68.279	68.440	68.601	68.762	68.923	69.084	69.245	69.406	69.567	69.728	69.889	70.050	70.211	70.372	70.533	70.694	70.855	71.016	71.177	71.338	71.499	71.660	71.821	71.982	72.143	72.304	72.465	72.626	72.787	72.948	73.109	73.270	73.431	73.592	73.753	73.914	74.075	74.236	74.397	74.558	74.719	74.880	75.041	75.202	75.363	75.524	75.685	75.846	76.007	76.168	76.329	76.490	76.651	76.812	76.973	77.134	77.295	77.456	77.617	77.778	77.939	78.100	78.261	78.422	78.583	78.744	78.905	79.066	79.227	79.388	79.549	79.710	79.871	80.032	80.193	80.354	80.515	80.676	80.837	81.000	81.161	81.322	81.483	81.644	81.805	81.966	82.127	82.288	82.449	82.610	82.771	82.932	83.093	83.254	83.415	83.576	83.737	83.898	84.059	84.220	84.381	84.542	84.703	84.864	85.025	85.186	85.347	85.508	85.669	85.830	85.991	86.152	86.313	86.474	86.635	86.796	86.957	87.118	87.279	87.440	87.601	87.762	87.923	88.084	88.245	88.406	88.567	88.728	88.889	89.050	89.211	89.372	89.533	89.694	89.855	90.016	90.177	90.338	90.499	90.660	90.821	90.982	91.143	91.304	91.465	91.626	91.787	91.948	92.109	92.270	92.431	92.592	92.753	92.914	93.075	93.236	93.397	93.558	93.719	93.880	94.041	94.202	94.363	94.524	94.685	94.846	95.007	95.168	95.329	95.490	95.651	95.812	95.973	96.134	96.295	96.456	96.617	96.778	96.939	97.100	97.261	97.422	97.583	97.744	97.905	98.066	98.227	98.388	98.549	98.710	98.871	99.032	99.193	99.354	99.515	99.676	99.837	100.000	100.161	100.322	100.483	100.644	100.805	100.966	101.127	101.288	101.449	101.610	101.771	101.932	102.093	102.254	102.415	102.576	102.737	102.898	103.059	103.220	103.381	103.542	103.703	103.864	104.025	104.186	104.347	104.508	104.669	104.830	104.991	105.152	105.313	105.474	105.635	105.796	105.957	106.118	106.279	106.440	106.601	106.762	106.923	107.084	107.245	107.406	107.567	107.728	107.889	108.050	108.211	108.372	108.533	108.694	108.855	109.016	109.177	109.338	109.499	109.660	109.821	109.982	110.143	110.304	110.465	110.626	110.787	110.948	111.109	111.270	111.431	111.592	111.753	111.914	112.075	112.236	112.397	112.558	112.719	112.880	113.041	113.202	113.363	113.524	113.685	113.846	114.007	114.168	114.329	114.490	114.651	114.812	114.973	115.134	115.295	115.456	115.617	115.778	115.939	116.100	116.261	116.422	116.583	116.744	116.905	117.066	117.227	117.388	117.549	117.710	117.871	118.032	118.193	118.354	118.515	118.676	118.837	119.000	119.161	119.322	119.483	119.644	119.805	119.966	120.127	120.288	120.449	120.610	120.771	120.932	121.093	121.254	121.415	121.576	121.737	121.898	122.059	122.220	122.381	122.542	122.703	122.864	123.025	123.186	123.347	123.508	123.669	123.830	123.991	124.152	124.313	124.474	124.635	124.796	124.957	125.118	125.279	125.440	125.601	125.762	125.923	126.084	126.245	126.406	126.567	126.728	126.889	127.050	127.211	127.372	127.533	127.694	127.855	128.016	128.177	128.338	128.499	128.660	128.821	128.982	129.143	129.304	129.465	129.626	129.787	129.948	130.109	130.270	130.431	130.592	130.753	130.914	131.075	131.236	131.397	131.558	131.719	131.880	132.041	132.202	132.363	132.524	132.685	132.846	133.007	133.168	133.329	133.490	133.651	133.812	133.973	134.134	134.295	134.456	134.617	134.778	134.939	135.100	135.261	135.422	135.583	135.744	135.905	136.066	136.227	136.388	136.549	136.710	136.871	137.032	137.193	137.354	137.515	137.676	137.837	138.000	138.161	138.322	138.483	138.644	138.805	138.966	139.127	139.288	139.449	139.610	139.771	139.932	140.093	140.254	140.415	140.576	140.737	140.898	141.059	141.220	141.381	141.542	141.703	141.864	142.025	142.186	142.347	142.508	142.669	142.830	142.991	143.152	143.313	143.474	143.635	143.796	143.957	144.118	144.279	144.440	144.601	144.762	144.923	145.084	145.245	145.406	145.567	145.728	145.889	146.050	146.211	146.372	146.533	146.694	146.855	147.016	147.177	147.338	147.499	147.660	147.821	147.982	148.143	148.304	148.465	148.626	148.787	148.948	149.109	149.270	149.431	149.592	149.753	149.914	150.075	150.236	150.397	150.558	150.719	150.880	151.041	151.202	151.363	151.524	151.685	151.846	152.007	152.168	152.329	152.490	152.651	152.812	152.973	153.134	153.295	153.456	153.617	153.778	153.939	154.100	154.261	154.422	154.583	154.744	154.905	155.066	155.227	155.388	155.549	155.710	155.871	156.032	156.193	156.354	156.515	156.676	156.837	157.000	157.161	157.322	157.483	157.644	157.805	157.966	158.127	158.288	158.449	158.610	158.771	158.932	159.093	159.254	159.415	159.576	159.737	159.898	160.059	160.220	160.381	160.542	160.703	160.864	161.025	161.186	161.347	161.508	161.669	161.830	161.991	162.152	162.313	162.474	162.635	162.796	162.957	163.118	163.279	163.440	163.601	163.762	163.923	164.084	164.245	164.406	164.567	164.728	164.889	165.050	165.211	165.372	165.533	165.694	165.855	166.016	166.177	166.338	166.499	166.660	166.821	166.982	167.143	167.304	167.465	167.626	167.787	167.948	168.109	168.270	168.431	168.592	168.

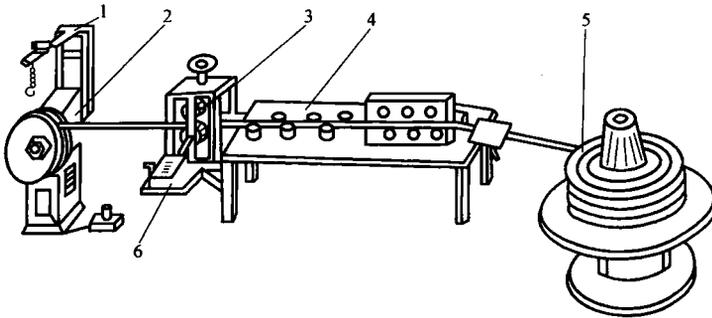


图 1-2 导线拉直设备

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。

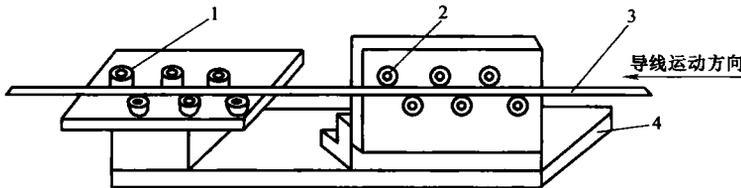


图 1-3 导线校直台

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 (%) 横向 (%)	$\geq 2.0$
紧度/(g/cm <sup>3</sup> )	$\leq 0.82$		$\geq 4.0$
抗张力 { 纵向 /N 横向 /N	$\geq 54$	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 横向 /N	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 横向	≥2.0 ≥6.0	≥2.3 ≥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 /(kN/m) (kgf/15mm) ≥	纵	5.90 (9.00)	10.5 (16.0)	13.0 (20.0)	5.90 (9.00)	10.5 (16.0)	13.0 (20.0)	4.90 (7.50)	9.50 (14.5)	11.8 (18.0)
	横	2.90 (4.50)	4.90 (7.50)	6.50 (10.0)	2.90 (4.50)	4.90 (7.50)	6.50 (10.0)	2.60 (4.00)	4.20 (6.50)	5.90 (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 (55.0)	1080 (110)	1470 (150)	540 (55.0)	1080 (110)	1470 (150)	540 (55.0)	1080 (110)	1470 (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 (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) (mL/min) ≤	0.510 (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 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