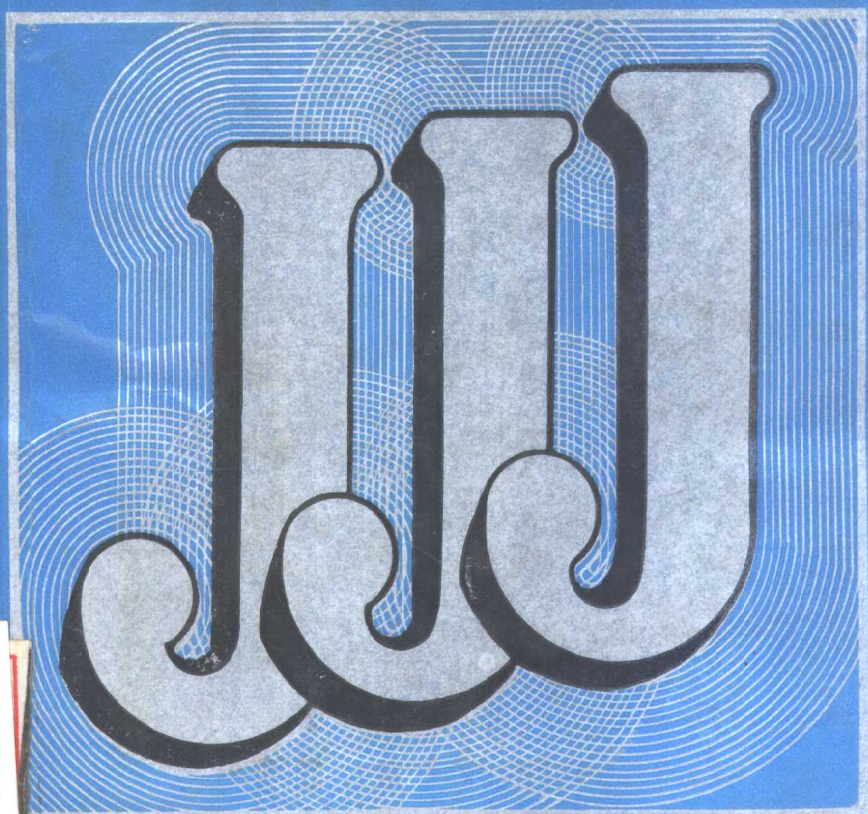


国家机械工业委员会统编

中级维修电工工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

中级维修电工工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书主要介绍交直流电机(含特种电机)、电力变压器和电焊机的结构、维护保养、故障排除等,重点叙述了修理工艺;本书还介绍了GB6988《电气制图》,GB4728《电气图用图形符号》和GB5049《电气技术中的项目代号》等最新国家标准。书中还对电力拖动自动控制的基础知识作了讲解。

本书由南京机床厂方锡祚、毕仙大,南京市金陵职业大学刘官恒、马忠一,南京电瓷总厂华毓桂,南京工艺装备厂陶定镇、南京第二机床厂葛恒宽编写。由南京第二机床厂范镇、张宏生,南京工艺装备厂陶定镇审稿。

中级维修电工工艺学

国家机械工业委员会统编

责任编辑:边萌 责任校对:宁秀娥
封面设计:林胜利 方芬 版式设计:张世琴
责任印制:张俊民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

北京市房山区印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张12⁵/₈·插页1·字数289千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001-59,000·定价:5.10元

ISBN 7-111-01133-3/TM·153

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划,培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材149种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以基本概念和原理为主,突出针对性和实用性,着重讲授基本知识,

注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志，工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 电力变压器的修理	1
第一节 中小型电力变压器的结构、联结与制造工艺	1
第二节 中小型电力变压器的修理	13
复习题	23
第二章 直流电机的修理	24
第一节 直流电机常见的故障及其排除方法	24
第二节 直流电机的修理工艺	32
第三节 直流电机的试验	57
第四节 直流测速发电机与伺服电机修理简介	64
第五节 交磁电机扩大机的维修与调整	68
复习题	77
第三章 电焊机的修理	79
第一节 交流弧焊机的结构及接线	79
第二节 直流弧焊机的结构及接线	87
第三节 电焊机的修理与维护保养	97
复习题	103
第四章 交流电机的修理	104
第一节 交流电机的绕组及其展开图	104
第二节 异步电动机的修理和试验	116
第三节 三相同步电机的修理	165
第四节 交流特种电机的修理和测试简述	172
复习题	181
第五章 电气控制设备及维修	183

第一节	电气图绘制标准的简介	183
第二节	三相异步电动机的自动控制电路	186
第三节	三相同步电动机的控制	210
第四节	直流电动机的控制	221
第五节	交磁电机扩大机的自动调速系统	242
第六节	20/5t桥式起重机的电气控制电路	269
第七节	X62W型万能升降台铣床的电气控制电路	290
第八节	T610型卧式镗床的电气控制电路	299
第九节	晶闸管一直流电动机调速装置	312
第十节	中频发电机组感应加热装置的控制	330
第十一节	同步电动机晶闸管励磁装置	343
复习题		374
附录 I	Y系列 (IP44) 小型三相笼型异步电动机主要技术数据	380
附录 II	电气设备常用图形符号	388
附录 III	电气技术中常用电器的文字符号	394

第一章 电力变压器的修理

第一节 中小型电力变压器的结构、 联结与制造工艺

变压器是一种利用电磁感应的原理，将某一数值的交流电压转变为频率相同的另一种或两种以上的交流电压的电器设备。

变压器的电磁感应由电路和磁路两部分来实现。这两部分是互相环链的，电流环链着磁通，磁通又环链着电流。电路分一次电路和二次电路。参与电磁感应的主磁通既交链着一次电路，也交链着二次电路。

由于变压器的型式、容量、电压和绕组数的不同，它们的外型和附件也不完全一样，但其主要部件大体上是相似的。使用最广泛的是电力变压器，而在电力变压器中，应用量最多的是容量在 $100\sim 8000\text{kVA}$ 之间，电压在 $0.4\sim 35\text{kV}$ 之间的中等容量的三相油浸式电力变压器。这类油浸式变压器，一般由器身、油箱、冷却装置、保护装置和引线部分组成。器身是变压器的最主要部分由铁芯、绕组、引线及分接开关等部分组成，而铁芯和绕组又是器身中的两个关键部分。本节主要从修理角度上介绍中小型三相油浸式电力变压器的铁芯、绕组的结构和制造工艺。

一、铁芯的结构和制造工艺

1. 铁芯的结构 铁芯是磁通的通道，它给磁通造成低磁阻的回路。为了减少铁芯的能量损耗，铁芯是用 $0.35\sim$

0.5mm厚的硅钢片冲剪成几种不同的尺寸，并在其两面涂以绝缘漆后，按一定规则叠装而成。

铁芯既是变压器的磁路，也是器身的骨架。它由铁芯柱、铁轭和夹紧装置组成。套装绕组的部分叫铁芯柱。连接铁芯柱形成闭合磁路的部分叫铁轭。夹紧装置用穿心螺杆把铁芯柱和铁轭紧固成坚实的整体，以支持和卡紧线圈，固定引线和分接开关。

变压器的铁芯有芯式和壳式两类，绕组包着铁芯的变压器叫芯式变压器，铁芯包着绕组的叫壳式变压器，图1-1a为单相芯式变压器，图1-1b为单相壳式变压器。

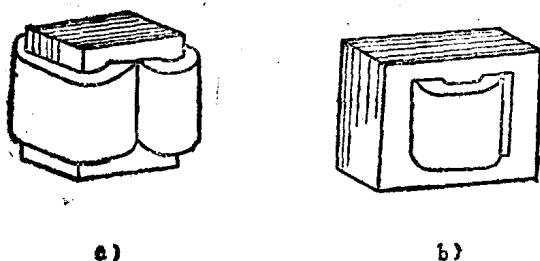


图1-1 单相芯式和壳式变压器

a) 单相芯式变压器 b) 单相壳式变压器

壳式铁芯多用于小型变压器，如收音机的电源变压器。电力变压器大多采用三相芯式铁芯。图1-2表示三相绕组在三相芯式铁芯上的安放情况，图1-3表示三相芯式铁芯叠装时叠片排列的图形，即叠积图。a为直角接缝，b为45°接缝。

为了防止变压器运行时因静电感应在铁芯及其他金属构件上产生电势，造成对地放电，除夹紧装置外，铁芯和其它金属构件要可靠地接地。但是铁芯上只允许有一点接地，如

果有两个及两个以上的接地点，则接地点之间可能形成闭合回路，产生环流，造成局部过热事故。

2. 铁芯的制造工艺 铁芯的制造过程主要有：硅钢片剪裁、冲孔、去毛刺、退火、涂漆、叠装、修整及铁芯性能试验等工序组成。变压器空载损耗中附加损耗的大小很大程度上决定于铁芯制造的工艺水平。

(1) 剪裁及冲孔 叠片的长和宽由铁芯的尺寸来决定。应考虑两片和三片一叠和接缝的交错，选择最少的叠片规格，并尽可能使片间接缝紧密。对采用磁性能没有方向性的普通热轧硅钢片的叠片，一般都裁成矩形；对采用导磁性能有方向性差异的冷轧硅钢片的叠片，为了减少由于磁通方向和硅钢片轧制方向不一致造成的影响，采用带斜接缝的叠片，其斜接角为 45° 。

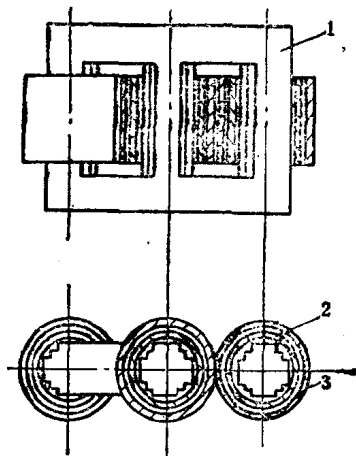


图1-2 三相芯式变压器绕组的安放情况

1—铁芯 2—低压绕组 3—高压绕组

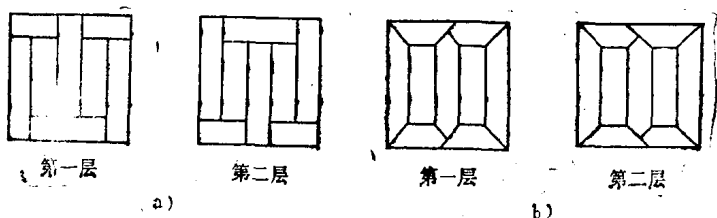


图1-3 三相芯式变压器铁芯的叠积图

a) 直角接缝 b) 45° 接缝

为了充分利用硅钢片材料，可采取以下措施。

- 1) 大小变压器混合套裁；
- 2) 充分利用原材料的正公差尺寸；
- 3) 灵活改变铁芯的接缝位置。

为保证铁芯的导磁性能，下料时应注意使铁芯磁通方向沿着硅钢片的轧制方向，先将整张材料按叠片的长度剪切，使毛料的宽度等于叠片的长度或略长一些，再剪切叠片的宽度。如果下料时已将长度裁准，按片宽剪切后，就完成了叠片的裁剪工作；如果长度有余量，仍须再进行长度的最后剪切。剪切时要注意使切口和长边垂直。

中小型变压器的铁芯叠片，多数是只有一个穿心螺杆孔在片的一端的矩形片。冲孔时是用纵向和横向两个挡板来确定孔的位置。根据经验，叠片的各种尺寸公差应保持在表1-1、1-2、1-3、1-4的范围内。

表1-1 变压器叠片的长度公差 (mm)

叠片长度 L	400及以下	401~1000	1001~1300	1301及以上
公差	+0 -0.4	+0 -0.5	+0 -0.8	+0 -1

表1-2 变压器叠片的宽度公差 (mm)

叠片宽度 B		250及以下		251~500		501及以上	
叠片长度 L		<1500	>1500	<1500	>1500	<1500	>1500
宽度公差	铁芯柱片	±0.2	±0.35	±0.35	±0.4	±0.4	±0.5
	铁轭片	-0.3	-0.35	-0.35	-0.4	-0.4	-0.5

表1-3 变压器叠片中的圆度公差 (mm)

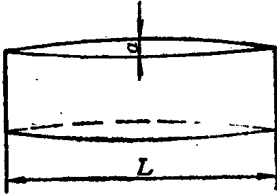
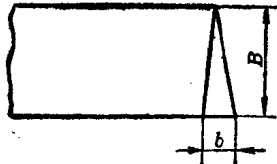
	L	<500	501~1000	1001~1500	1501~1800	>1800
	a	0.3	0.4	0.9	1.2	1.4

表1-4 变压器铁芯片的角度公差 (mm)

	B	<200	201~300	301~500	501~600	>600
	b	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-1.0

对于孔的位置公差，孔中心纵横两个方向的公差约在 $\pm 0.5 \sim \pm 0.7 \text{mm}$ 之间。

(2) 叠片的涂漆 为了降低铁芯中的涡流损耗，叠片间要互相绝缘，我国制造的变压器全部采用在叠片两面涂绝缘漆的方法。一般采用1611漆作为硅钢片的片间绝缘漆。这种漆的主要成分为干性植物油、松脂酸盐。绝缘等级为A级。其主要特点为：漆膜厚度均匀、坚硬、耐油，在高温 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 下能很快干燥。

对于一次涂漆，两面漆膜的总厚度为 $0.01 \sim 0.015 \text{mm}$ ，并要求涂层均匀。对于容量在 5000kVA 以下的变压器可只涂一次漆，而对于较大容量的，往往需涂两次甚至三次。

(3) 铁芯叠装 我国的三相电力变压器均采用芯式结构，下述铁芯装配工艺仅限于此种形式。

铁芯是由不同尺寸的叠片交错叠成。交错叠装具有磁力线分布均匀、铁芯的机械强度较高、可简化压紧装置等优点。

在800kVA以下的变压器中，因铁芯尺寸较小，铁芯柱部分不需要用穿心螺杆夹紧。对于1000kVA以上的变压器，因铁芯柱部分的直径及高度均较大，铁芯柱的叠片上必须冲孔，用穿心螺杆夹紧。螺杆与叠片之间必须绝缘。图1-4是穿心螺杆处的绝缘结构。

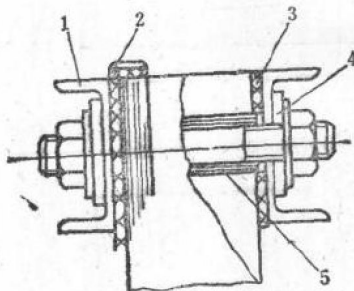


图1-4 铁芯柱穿心螺杆处的绝缘结构

- 1—钢夹件 2—接地片 3—绝缘垫圈
4—钢垫圈 5—绝缘套管

1000kVA以下的变压器铁芯的叠装是在普通装配平台上进行的。装配台的平面必须平整。先按尺寸要求放好带有绝缘垫板的夹件，然后在夹件间放置等高的木块或钢块，形成叠片的水平面。

为了保证叠片质量及提高工作速度，可采用定位棒，以圆孔定位。定位棒的直径比孔径小1~2mm，而比绝缘管的直径大1~2mm。

每叠完一级（所谓级，即图1~2中的铁芯宽度不等的台阶），要进行一次校正，测量每一级的厚度。宽度较小的级，其厚度采用负公差，而宽度大的级则采用正公差，这样可以保证在总厚度不变的情况下，铁芯的截面积有正公差。

每级铁芯除了控制厚度外，还要认真检查铁芯的各个对角线是否相等。

铁芯全部叠完，并检查校正后，在上侧安放夹件及绝缘垫块，用双头螺杆及螺母把铁轭夹紧，拉出定位棒，用带有

缘绝管的螺杆把铁芯夹紧。压紧的工序必须由中部向两边进行。最后把装配完毕的铁芯立起来，并装好下夹件下面的垫块。

变压器铁芯及其金属固定装置均需接地（见图1-4）。由于叠片间的电阻不大，只要一点接地即可认为整个铁芯接地。接地片多采用镀锡铜皮制作，使铜皮一端夹入铁芯叠片间，另一端用螺母拧紧在钢夹件上，而钢夹件借螺杆与接地油箱连通。

（4）铁芯修整 由于在不平的平面上进行叠装，或者由于铁芯起立时使铁芯柱发生弯曲，严重时破坏铁芯夹紧螺杆的绝缘管。

如果铁芯柱发生局部弹性弯曲，应将螺杆适当松开，用锤子垫着钢块进行整形，整形时要注意不可使叠片变形，如卷边等。对于接缝处间隙过大，或有重叠现象的叠片，也要适当松开螺杆，用锤子和扁铲等工具逐个打齐。最后拧紧螺杆后，用1000V的兆欧表检查绝缘是否良好。如果没有问题，才允许进行性能试验。

（5）铁芯性能试验 铁芯性能试验的主要内容是测试空载电流和空载损耗。其试验方法为：在铁芯柱上绕以绝缘线，加以适当的电压，使每匝电压达到设计值，测试出空载电流及空载损耗。对1000kVA以下的变压器，此项试验可在套装线圈之后进行，不必再绕以绝缘线。

试验后的铁芯，用冲头把夹紧螺杆与螺母三点铆牢，以防因铁芯振动而松动。

二、绕组的结构特点与制造工艺

1. 绕组的结构特点 绕组有同心式和交叠式两种，由绝缘铜线或铝线绕制而成。同心式绕组是将一、二次绕组绕在

同一铁芯柱上。为了便于绝缘，一般将低压绕组放在里面。同心式绕组结构简单，是最常用的一种形式。交叠式绕组的高低电压绕组是互相交错放置的，为了便于绝缘靠近上下铁轭的两端一般都放置低压绕组。这种绕组漏抗小，机械强度高，但高低电压绕组之间的绝缘比较复杂。一般用于低电压大电流的变压器上，如电炉变压器、电焊变压器等。

大多数电力变压器都采用同心式绕组。在中小型电力变压器中，常见的同心式绕组的线圈型式有圆筒式、多层分段式、连续式和螺旋式等。

圆筒式线圈是沿轴向依次逐层绕制的，其绕线规律与小型电源变压器的线圈相似。圆筒式线圈有单层、双层及多层三种。

单层和双层圆筒式线圈多用作低压绕组。双层线圈的层间留有垂直油道，层间油道是在绕制时放置绝缘垫条而构成的。当导线截面为 $50\sim 200\text{mm}^2$ 时，采用多根并绕。如果并绕导线是沿轴向排列，导线具有相同的展开长度，而且漏磁情况相似，则导线不需要换位。

导线逐匝绕制，形状像一只弹簧，为了垫平线圈端部线匝的螺旋形端面，将绝缘筒制成端圈，如图1-5所示。

对于高压绕组，因匝数较多、导线截面较细，可用单根导线绕制多层圆筒式线圈。多层圆筒式线圈一般都是绕在绝缘筒上，为了改

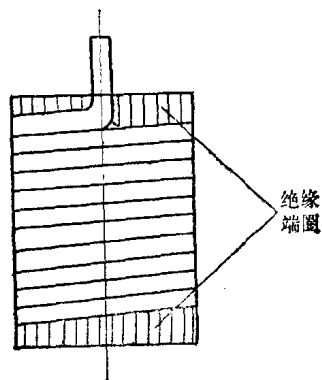


图1-5 绝缘端圈图

善线圈的散热条件，用垂直油道将线圈分成内外两部分，这样可以充分与油接触，使整个绕组冷却。

为了调压，常常在高压绕组上抽若干分接头。多层圆筒式线圈的分接头大多安排在外两层。分接头用抽头打圈的方法引出，不必剪断导线，如图1-7b所示。分接头从线圈上端引出，并压在外面一层线圈下面。

2. 线圈的制造工艺 线圈的绕制是在专用绕线机上进行的。根据绕线工作的特点，对绕线机的要求为：起动平稳，以保证逐渐地拉紧导线和等速地绕制；具有可靠的不倒转的制动装置，以防止绕好的部分因倒转而松开；要有足够的功率和调速范围。

(1) 用扁线绕制的低压圆筒式线圈。这种线圈一般绕在酚醛纸筒或粘合的纸筒上。起绕前，先将导线的端头按规定的长度和绕向弯成直角。如果是用多根导线，在弯角处的导线之间垫以电缆纸或绝缘胶布，再用斜纹布带包扎线圈始端。线圈的出线头放在绕线模端板槽中，如图1-6a所示。用斜纹布带绑扎在线匝上，然后开始绕第一线匝。绕线机主轴的转速控制在 $18 \sim 36 \text{ r/min}$ 范围内，并严格控制导线的张力。在绕制过程中，用斜纹布带交错地夹在导线上下以便压紧线匝。轴向线匝间要紧密，可用木楔打紧。当绕到第一层的最后一匝时，划出由第一层过渡到第二层的位置线，并在此放置端圈，端圈的绑扎如图1-6b所示。然后放置电缆纸作为层间绝缘，再绕下层线。当绕到距线圈终点4~5匝时，放置3~4处斜纹布带套圈，以便扎住这一层线的最后几匝。

绕完线圈的全部线匝后，标记出终端出线头的长度和弯形位置，并将导线剪断，弯出 90° 的出线头，包扎绝缘，然后紧固在绝缘端圈的开口中。

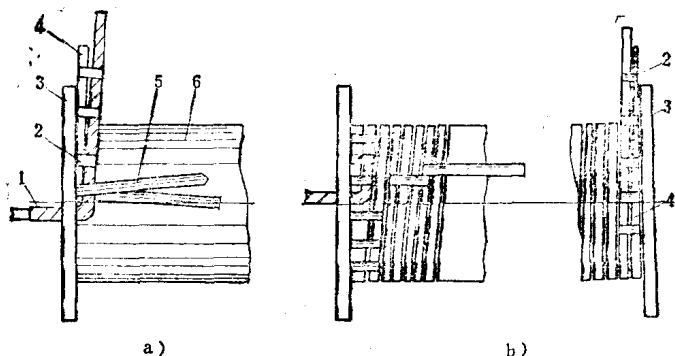


图1-6 用扁导线绕制的圆筒式线圈

a) 第一匝的排列 b) 跨到第二层前最后匝的排列

1—出头 2—绑带 3—端部挡板 4—端盖 5—扎紧的套筒 6—绕线模

完成以上工作后，在终端出头处或沿线圈全长半叠绕折边的电缆纸或斜纹布带，从绕线模上取下线圈；在线圈的四周取四处沿轴向用斜纹布带扎紧，进行匝数检查，然后送去干燥浸漆。

(2) 用圆导线绕制多层圆筒式高压线圈。这种线圈的匝数较多，导线较细，因此绕制时转速可高些，一般为 $100 \sim 160 \text{ r/min}$ 。首先弯头，包扎出线头绝缘，然后把出线头固定在绕线模上，线圈端部绝缘的位置和固定如图1-7a所示。绕制时，线匝要压住电话纸5，并靠近端部绝缘。以后的线匝要逐匝靠紧，使线圈的边匝压紧纸带，具有可靠的端部绝缘。

到第一层最后5~6匝时，靠近挡板放置另一端的绝缘，接着绕完第一层线圈。再在第一层升到第二层的过渡处用电话纸或电缆纸加包绝缘。