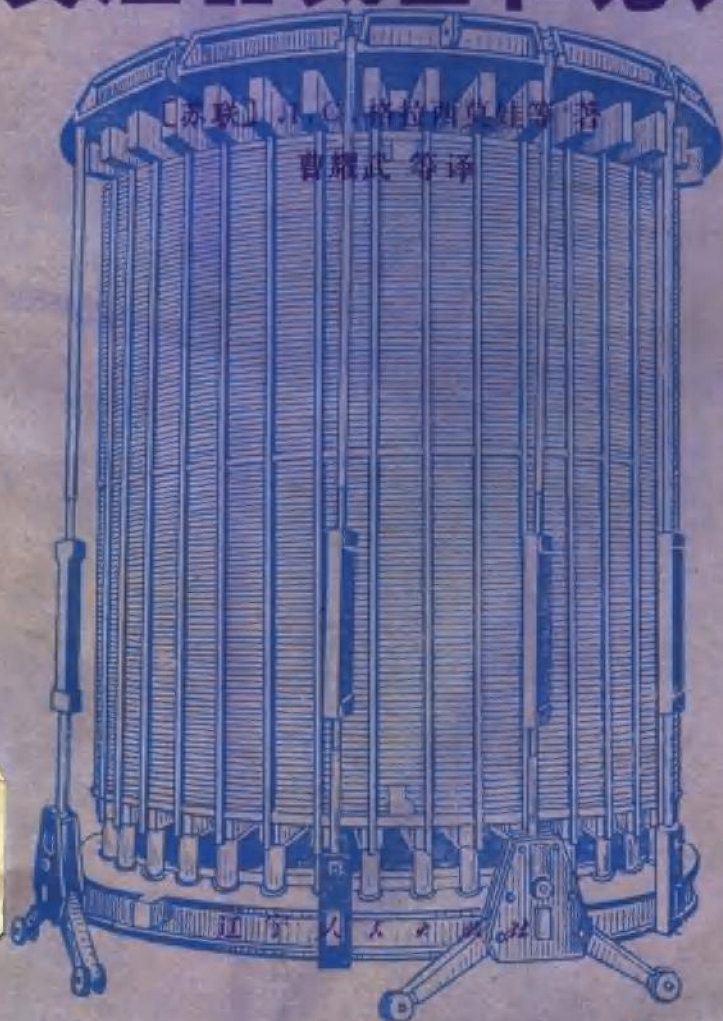


变压器线圈和绝缘

【苏联】Л. С. 格拉西莫娃等 著

曹耀武 等译



人民教育出版社

出 版 说 明

《变压器线圈和绝缘》一书，是苏联动力工业出版社1979年出版的变压器丛书第35集的译本。

本书前几章介绍工艺人员必须掌握的产品设计知识，制造变压器所用的主要材料；从第五章起介绍各种型式线圈的绕制方法、工艺处理和所采用的现代化工装设备，各种绝缘件的制造方法和所使用的设备，绝缘纸板的密化和加工；最后，简单地介绍变压器质量控制的体系和方法。本书特别着重地介绍了线圈和绝缘件的制造工艺过程。

本书的特点是叙述详细，并配有大量直观图表，有的地方给出了很适用的计算公式。书内所介绍的关键设备和制造工艺，代表了苏联目前的生产水平。

本书读者对象是企业中的工程技术人员、工段长和熟练工人。对高等工业院校和中等专业学校电机专业的师生以及运行部门的维护人员也有一定的参考价值。

本书各章的译校人员是：第一至三、八章范思纯译刘裕华校，第四章范思纯译，第五章曹耀武译，第六章韩忠民译，第七章刘裕华译，第九、十章吕让沅译曹耀武校。范思纯担任全书归口校对工作。

前 言

本书力求全面地介绍各种类型电力变压器线圈和绝缘件的生产工艺过程和机械化。对所采用的工装设备，着重用图例说明。

由于本书篇幅所限，对基本生产工序和组件结构只作了简单的介绍，而对于一些理论问题则着重作了说明，以便更好地理解制造变压器的工艺过程，分析、推广所积累的经验。

本书所总结的基本经验，主要来源于扎波罗什变压器厂、莫斯科电工厂、明斯克电工厂、托利亚季电工厂、亚美尼亚电工厂、乌拉尔重型电机厂等国内主要变压器制造厂和一些外国公司。同时还参阅了国内外一些技术文献。

各章编写人是：第一、二、三、五、七、十章——Л.С.格拉西莫娃，第四章——Л.С.格拉西莫娃、Г.И.普谢尼奇内和И.А.杰涅加，第六章——Г.И.普谢尼奇内和Я.З.契契柳卡，第八章——И.А.杰涅加、Г.И.普谢尼奇内和Я.З.契契柳卡，第九章——И.А.杰涅加。

作者对“扎波罗什变压器”联合制造公司、莫斯科电工厂和明斯克电工厂工作人员热心的帮助和提供一些技术资料表示感谢。作者对所有为本书编写给予帮助的同志表示感谢。作者对校订本书手稿的П.Г.布尔曼表示衷心感谢。对本书的所有意见和要求，请寄至：113114，莫斯科，М-114，Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия».

作 者

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 电力变压器的线圈	5
1—1 概述	5
1—2 线圈的结构特点	6
1—3 线圈的型式及其特点和使用范围	8
圆筒式线圈	8
分段圆筒式线圈	12
箔(带)式线圈	13
分段饼式线圈	14
连续式线圈	15
纠结式线圈	20
螺旋式线圈	23
第二章 电力变压器的绝缘	27
2—1 变压器的绝缘	27
2—2 电力变压器的绝缘结构	31
2—3 基本绝缘件及其用途	39
第三章 制造线圈和绝缘件所用的材料以及 对这些材料的要求	45
3—1 概述	45
3—2 导体材料	45
3—3 电气绝缘材料和辅助材料	50

第四章	变压器线圈和绝缘的生产	60
4—1	电力变压器线圈和绝缘制造工艺的特点	60
4—2	稳定线圈绝缘尺寸的方法	64
4—3	对线圈制造工艺的技术要求	68
4—4	制造线圈和绝缘的工艺过程	73
4—5	制造 I~VIII 类电力变压器线圈和绝缘的 生产组织和工段布置	73
第五章	变压器线圈的绕制工艺	79
5—1	概述	79
5—2	各种型式线圈的绕制方法	84
1.	圆筒式线圈的绕制	84
2.	箔式线圈的绕制	90
3.	饼式线圈的绕制	93
4.	连续式线圈的绕制	99
5.	纠结式线圈的绕制	123
6.	螺旋式线圈的绕制	128
7.	线圈的装配	143
5—3	线圈中导线的连接	145
1.	钎焊	146
2.	热焊	149
3.	冷焊	150
4.	超声波焊	151
第六章	变压器线圈绕制的机械化	153
6—1	专用设备和装置	153
1.	卧式绕线机	154

2.	立式绕线机	161
3.	箔式线圈绕线机	165
4.	绕线机的专用装置	169
	程序计数装置	169
	张紧装置	172
	线圈轴向补压装置	175
	焊接时铣切导线装置	177
	线饼和电容环的绝缘包扎机	179
	调整绕线模的装置	180
	导线线盘架	182
6—2	绕制线圈用的绕线模	184
6—3	绕制线圈时采用的装置和工具	192
第七章	线圈的工艺加工	202
7—1	概述	202
7—2	线圈的夹紧、压缩和修整	204
7—3	线圈的干燥、浸漆和烘焙	211
7—4	工艺过程的机械化	218
1.	线圈夹紧、修整和压缩的工装设备	218
2.	线圈干燥的工装设备	226
3.	起吊、运输工作用的工艺装备	230
第八章	纸板绝缘件的生产工艺	233
8—1	绝缘纸板的机械加工	233
	绝缘纸板的剪切	233
	纸板绝缘件的冲切	236
	绝缘纸板的压缩	236
	绝缘纸板的弯折	242

钻孔、铣切、磨削	245
纸板绝缘件的粘合	245
8—2 纸板绝缘件的制造工艺	248
绝缘纸板的剪切	249
油道垫块的制作	251
撑条以及平衡绝缘和铁轭绝缘垫块的制作	252
带油道垫块撑条的装配	253
端圈的制造	254
铁轭绝缘、平衡绝缘以及铁轭与铁轭夹件 之间绝缘（“桥”）的制造	257
装配式角环（“软角环”）的制作	259
“硬角环”的制作	262
几种异形绝缘件的制作	279
8—3 由层压板、木材、粉末压制材料等 制作的绝缘零件的生产	281
第九章 绝缘件生产的机械化	284
9—1 设备和装置	284
9—2 绝缘件生产的工艺装备	296
9—3 绝缘件生产的综合机械化	298
第十章 线圈和绝缘件质量的控制	316
10—1 产品质量控制系统	316
10—2 材料和绝缘件的检查	321
10—3 线圈的质量检查和试验	323
参考文献	328

绪 论

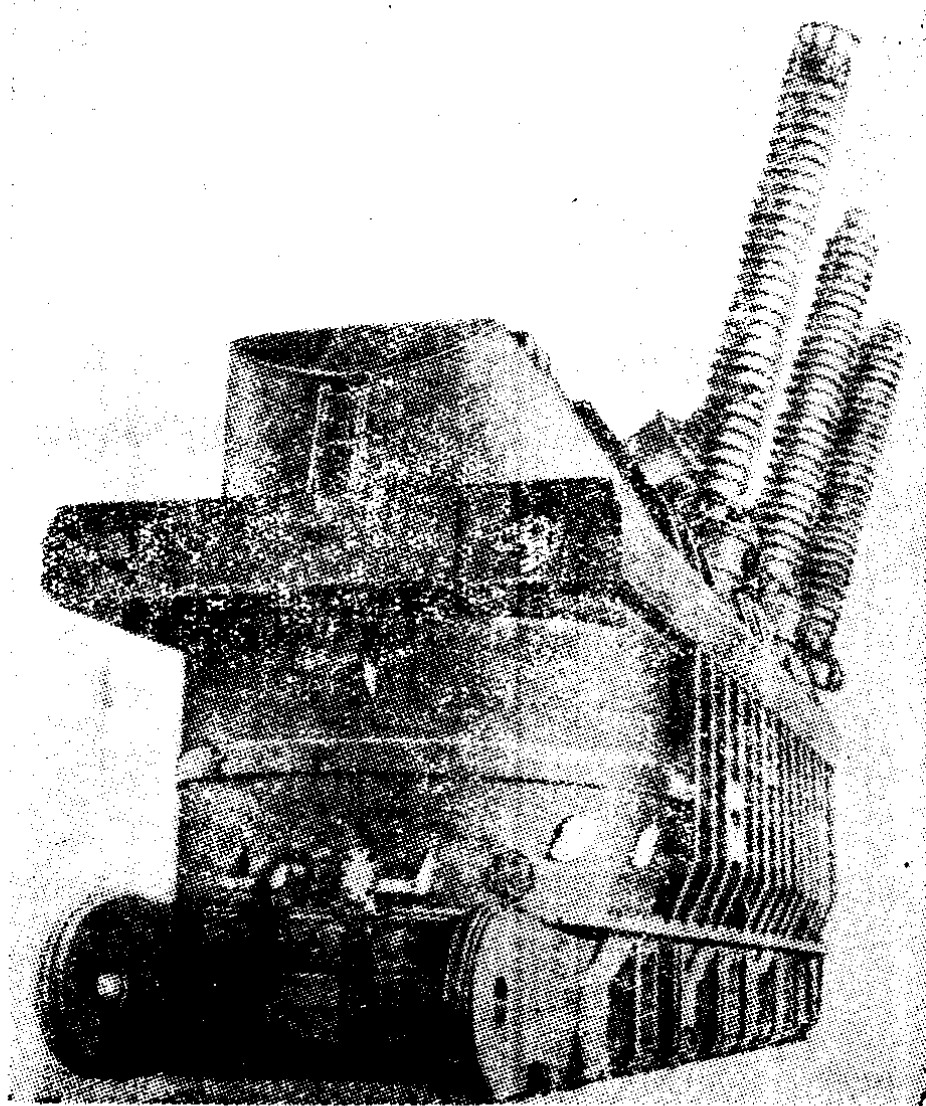
本书是在 Л.С. 格拉西莫娃和 А.И. 马伊奥列茨《油浸式电力变压器线圈和绝缘》一书发行十年后出版的。该书综合地介绍了与电力变压器线圈和绝缘件制造有关的工艺和管理的所有问题。在这十年中，苏联变压器制造业发生了很大的变化。在各种容量电力变压器总产量大幅度增加的同时，变压器的容量等级和电压等级都有明显的发展。

现在，变压器单台容量已达到1000兆伏安，电压已达到1140千伏（见图绪—1和图绪—2）。在第十个五年计划（1976~1980）期间，计划制造出1250兆伏安 330 千伏的变压器，以及试制和生产2000兆伏安1150/500千伏的自耦变压器组。

在1976~1980年期间，苏联计划安装机组七千万千瓦，这样就需要至少制造八亿千伏安的电力变压器。

变压器产量这样高速度的发展，只有把现有的和正在建设的变压器制造厂，用高水平技术装备武装起来才有可能。

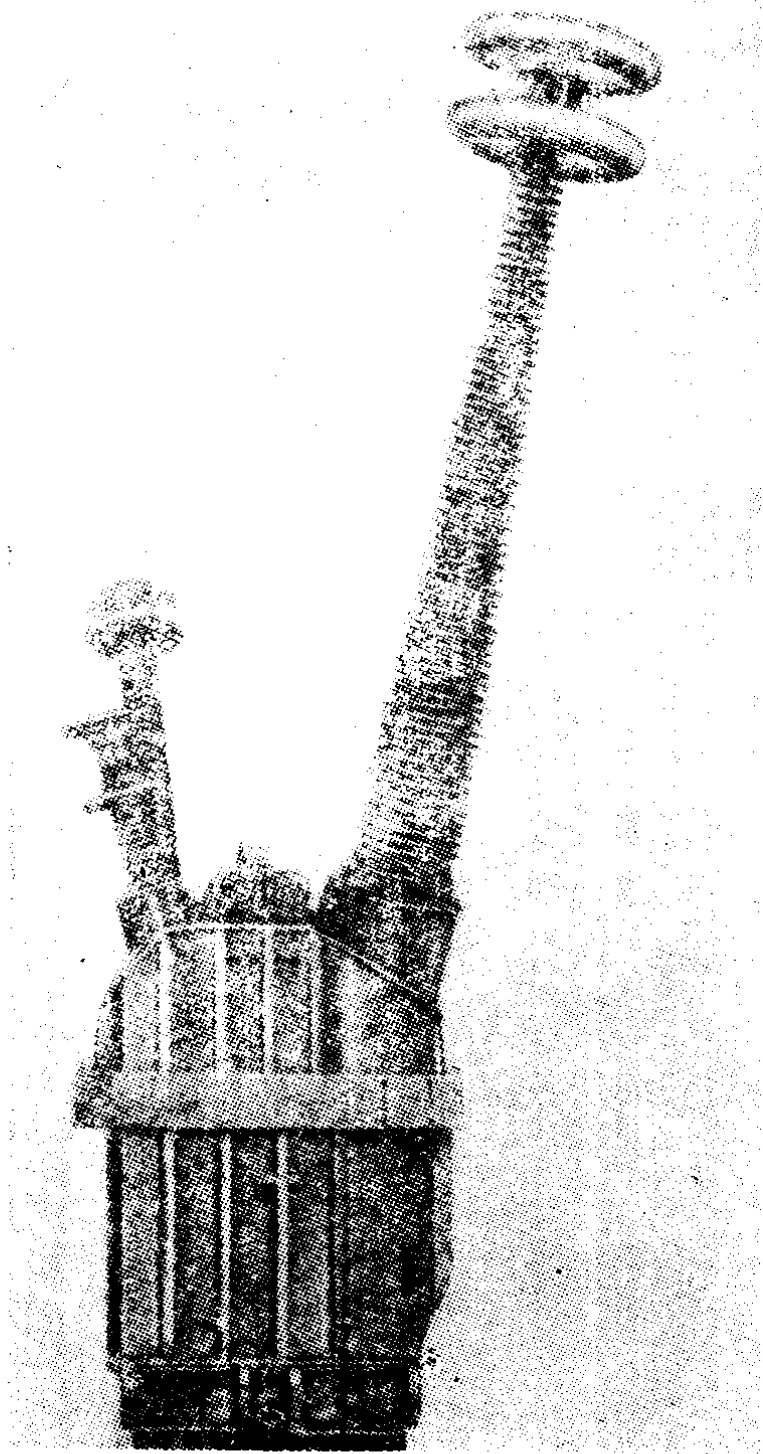
保证变电设备的高度可靠性，就需要全面地改进产品的设计和结构，以及推广新的制造工艺和生产管理。在动力工程发展的现阶段中，变压器行业的进步，首先就需要完善变压器制造工艺。这样，首先必须研究与制造变压器线圈和绝缘结构有关的理论和实际问题，因为变压器运行中的可靠性与这些问题有着密切的关系。线圈和绝缘件的制造在变压器生产中是一项最复杂、最重要的工作。



图绪一： 1000兆伏安330千伏三相变压器

线圈和绝缘的结构有一系列的特性，这些特性与下列问题有关：当线路短路时，线圈产生极大的机械力；需要散出大量的热；在最小允许绝缘尺寸的条件下，增加绝缘电气强度；使用大量的并联导线、专用导线和铝（铜）箔、各种屏蔽、电容环、角环和异形纸圈等。线圈结构的这些特性，与其制造的工艺过程紧密相关。制造工艺要保证在制造过程中和变压器运行期间，线圈规定尺寸不变。

象变压器可靠性、运行寿命和提高效率等重大问题，基



图绪—2 210兆伏安 $\frac{1140}{\sqrt{3}}$ / $\frac{500}{\sqrt{3}}$ / 35千伏单相自耦变压器

本上取决于工艺过程的质量。绝缘件受潮、变压器里落进灰尘和脏物能显著地降低绝缘使用寿命，甚至造成变压器停止

运行的故障。

线圈制造工艺具有本身独有的特点，与变压器其他组部件的制造有着极大的区别〔24〕。线圈和绝缘件是最重要的，也是在制造过程中很难控制的部件，并且所用的材料对其质量和性能有极大的影响。

对线圈的要求是：要具有高的电气和机械强度，耐热，防潮，便于制造等。随着变压器的电压和容量的升高，这些要求趋于更加严格。

绕制线圈需要大量的材料和费用，而且劳动量是很大的。在变压器成本中，所有材料费用占80%，其中线圈和绝缘件的材料费用占总材料费用的50~60%。制造线圈和绝缘件的劳动量为制造变压器总劳动量的40~65%，而且随着电压的升高，所占的百分比还会继续增加。与制造变压器其他部件的劳动量比较起来，制造线圈和绝缘件的劳动量在近十年来相应地增加了50%，这说明线圈和绝缘件的结构更加复杂了。因此，广泛推行线圈和绝缘件制造综合机械化问题，是目前十分迫切的任务。

第一章 电力变压器的线圈

1—1 概 述

线圈是变压器的基本部件，用它可以改变电压，即得到两种或几种不同的电压。线圈与铁心一起构成变压器器身。变压器线圈是由导线绕成的，也就是导线直接与各种绝缘件组合成一个整体。这些绝缘件的作用是构成变压器绝缘和冷却油道，并将导线固定在由计算和结构所决定的位置上（防止在电磁力的作用下偏移）。线圈结构包括出线端、调压分接头、电容环和电容屏蔽。

不同容量和电压的变压器线圈，其绕制型式、匝数、导线截面、并联导线根数、绕向、线圈连接图以及绝缘结构亦不相同。

根据变压器的用途、型式、容量和电压，可以做成不同结构的线圈〔3~8〕。按照线圈在心柱上的相互位置，可以分为：1. 同心式线圈——一个线圈放在另一个线圈的里边（图1—1a）；2. 交错式线圈——高低压线圈的线饼沿心柱高度交错布置（图1—1b）。

苏联心式结构的电力变压器采用圆形截面的同心式线圈。圆形截面的线圈，在伸张力和压缩力的作用下很稳定，在给定铁心有效截面条件下导线长度最小，运行可靠，而且制造简单。壳式结构的变压器常常采用矩形截面的交错式线圈。

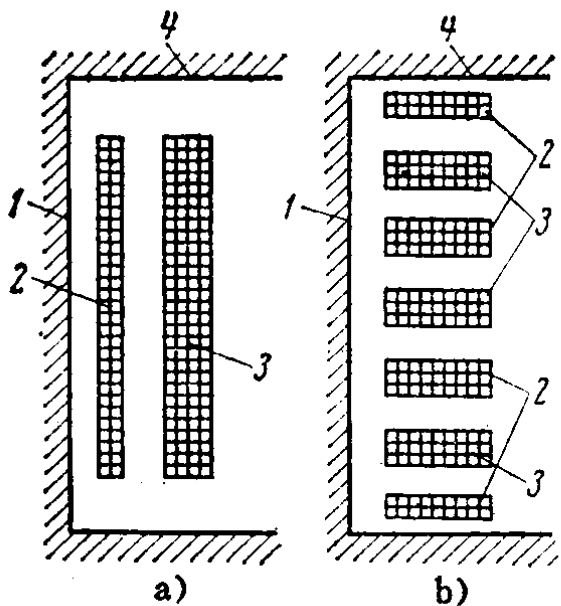


图1—1 高低压线圈在心柱上的布置

a—同心式线圈；b—交错式线圈。

1—心柱；2—低压线圈；

3—高压线圈；4—铁轭。

除极特殊情况以外，苏联变压器制造厂对一般用途的电力变压器都采用心式铁心和同心式线圈。所以本书下面所介绍的线圈和绝缘件的制造，都是属于这种结构的。

同心式线圈呈圆筒形。

高压、中压、低压线圈的高度大致相同。高压线圈一般布置在外面，低压线圈直接套在心柱上，而中压线圈根据变压器的用途，布置在第一和第二线圈之间*。

1—2 线圈的结构特点

线匝是变压器线圈的基本单元。由于额定负荷电流不同，线匝可以是一根导线，也可以是一组并联导线。线圈的匝数是根据电压计算的。绕在纸筒表面上的一排线匝叫作层，一层的匝数可以从一个到几十个，甚至上百个。另一种情况是，由线圈的若干线匝组成线段。线圈由一个线段或若干彼此相连的线段组成。

在线圈的匝间、层间或段间，以及该线圈与相邻线圈和

* 我国变压器线圈的布置是：对于升压变压器，高压线圈一般布置在最外面，中压线圈靠近心柱布置，而低压线圈布置在高中压线圈之间；对于降压变压器，高压线圈一般布置在最外面，低压线圈靠近心柱布置，而中压线圈布置在高低压线圈之间。——译者注

变压器其他部分之间都有电气绝缘，以便保证线圈在工作电压下和可能的过电压下不被击穿。

为了正常冷却线圈，在线圈和变压器其他部分之间，以及层间、段间或某些匝间设有油道。冷却油道同时可以保证线圈的可靠绝缘，有时为了加强绝缘，还要采用角环、绝缘纸筒、隔板等专用的绝缘件。

所有型式的线圈，其轴向和辐向的尺寸是最基本的尺寸。按简单圆筒形绕制的方向，象螺丝的螺纹旋转那样，分为右绕向线圈和左绕向线圈(见图1—2 a)。多层圆筒式线圈的绕向，根据最里层线匝的绕向来决定(见图 1—2b)。对于双饼式线段的线圈，如果从上饼外端面的出头去看，导线按顺时针缠绕的线圈是右绕向，按逆时针缠绕的线圈是左绕向(见图1—2c)。连续式线圈的绕向也可以用此法判断。变压器线圈多数采用左绕向，因为这种绕向便于操作。单饼式线段翻转180°时，绕向随之改变。

参考文献3~8详细地介绍了电力变压器线圈的计算和结

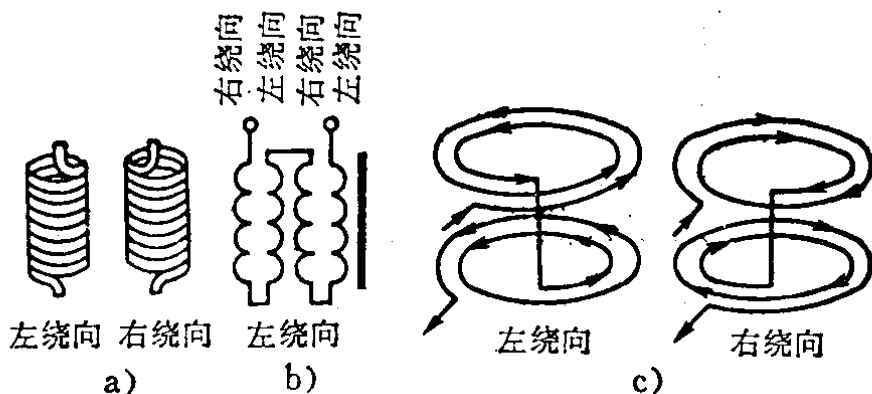


图1—2 线圈绕向的判断

a—简单圆筒式(一层的)线圈；b—多层圆筒式线圈；

c—饼式或连续式线圈的双饼式线段。

构。

对变压器线圈的基本要求，可以分为使用方面的和生产方面的两大部分。

线圈要有足够的电气强度、机械强度以及耐热性能，这是使用方面的基本要求。线圈绝缘应能无损伤地承受住工作电压，以及在电网中可能发生的操作过电压和大气过电压。线圈的机械强度应保证线圈在短路电流和其他机械力的作用下不受损伤。在变压器整个运行期间，线圈的几何尺寸和形状应保持不变。

制造线圈时，花费最少的工时和消耗最少的材料，这是生产方面的基本要求。

1—3 线圈的型式及其特点和使用范围

根据结构和工艺的特点，线圈分为下列基本型式：

圆筒式线圈；

饼式线圈；

连续式线圈；

纠结式线圈；

螺旋式线圈。

根据匝数、尺寸、截面形状、并联导线根数、冷却方式、变压器容量和其他有关因素，来选择线圈的型式。选择线圈型式时，一定要考虑到对线圈的要求和制造工艺的可能性。

圆筒式线圈 单层、双层和多层圆筒式线圈是用圆导线和扁导线绕成的（见图1—3）。线圈的层是由按轴向紧密排列的线匝组成的。线匝通常是由按轴向排列的一根或几根并

联导线组成的。层间连接是通过过渡线（不用焊接）实现的。

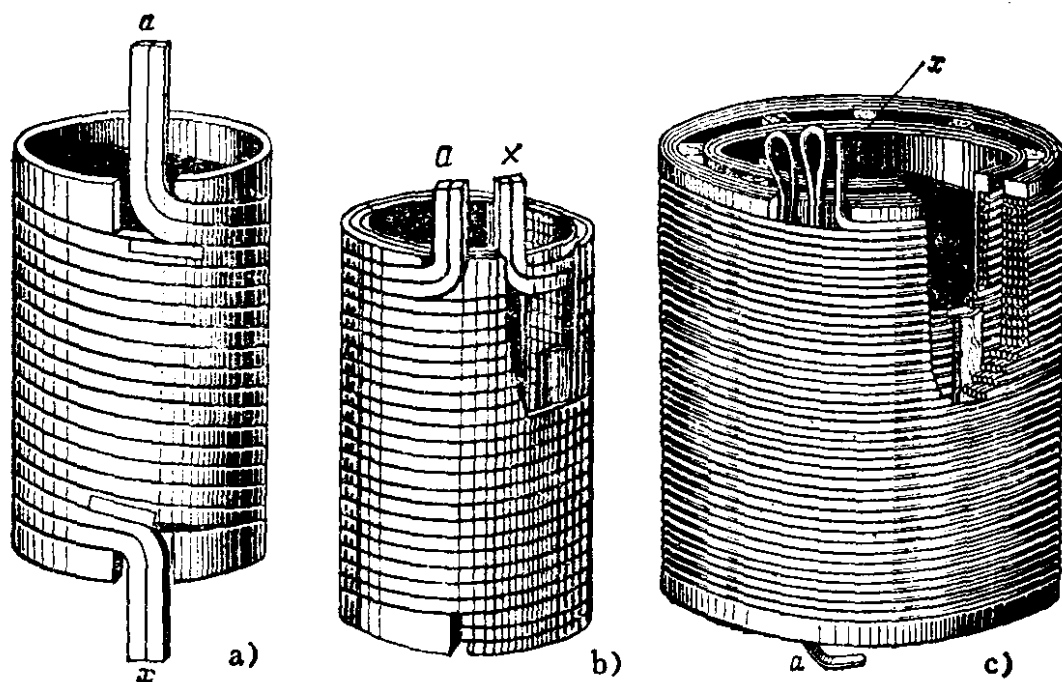


图1—3 圆筒式线圈

a—单层的；b—双层的；c—多层的。

为了填平端部线匝的螺旋表面，用斜纹布带将绝缘纸板条或酚醛楔形端圈固定在端部线匝上，以便保护端部线匝免受机械损伤，并构成线圈端部支撑表面。

扁导线线圈可由一根或几根并联导线立放或平放绕成。扁导线圆筒式线圈可以做成单层的，也可以做成双层的。

单层圆筒式线圈（见图1—3a）是最简单的。其线匝是由一根或几根并联扁导线构成的。线圈的始末端布置在相对的两个端面上。

双层圆筒式线圈（见图1—3b）是用扁导线绕制的，它由分布在两层的线匝构成，从一层过渡到另一层的过渡线一般在线圈的下部。除特定的情况以外，线圈的始末端布置在线圈的下部。

圈的一端，这样绕制比较简单，引出线固定牢固。为了改善冷却条件，线圈层间设有由沿圆周均匀分布的山毛榉木撑条或绝缘纸板撑条构成的轴向油道。

为了填平线圈的端部，每一层上都要放上开口的楔形端圈。为了加强线圈的机械强度，在端部线匝和楔形端圈上缠绕斜纹布带或折边的电缆纸条。

单层和双层圆筒式线圈一般适用于电压 525 伏以下、容量 630 千伏安以下变压器的低压线圈。

多层圆筒式线圈（见图 1—3c）一般是用圆导线绕制的。层中每个线匝都是沿线圈轴向一匝挨一匝布置的，从一层到另一层的过渡线在线圈的两端。层间铺上电缆纸。为了增加冷却表面，与扁导线线圈一样，用撑条或瓦楞纸板构成轴向油道。

为了防止每层边匝机械损伤，在边匝上放上端绝缘。端绝缘是用厚 2 毫米以下的绝缘纸板条，上边贴上比较宽的电话纸带做成的。当绕每层线时，用边上几匝的线匝将端绝缘固定住，使纸板条起支撑线圈端部的作用。

电压 3 ~ 35 千伏容量 250 ~ 400 千伏安的油浸式变压器和一些电压级次较高的变压器（如 TMH—2500/150），其高压线圈采用圆导线绕制的圆筒式线圈（低压线圈很少用）。这种线圈可以象图 5—3 所示那样用导线打圈的方法引出分接头。

在有载调压变压器中，双层或多层圆筒式线圈用作调压线圈（做成单独的线圈）。这样，带粗细调压层的双层式调压线圈，就得到了广泛的采用。这种线圈一般用扁导线直接立绕或平绕在酚醛纸筒上。根据线圈的容量，电流和调压级数的不同，细调线圈可以做成多级的——每一级单独形成一个支路。一个粗调级的匝数，通常等于所有细调级的总匝数。圆筒