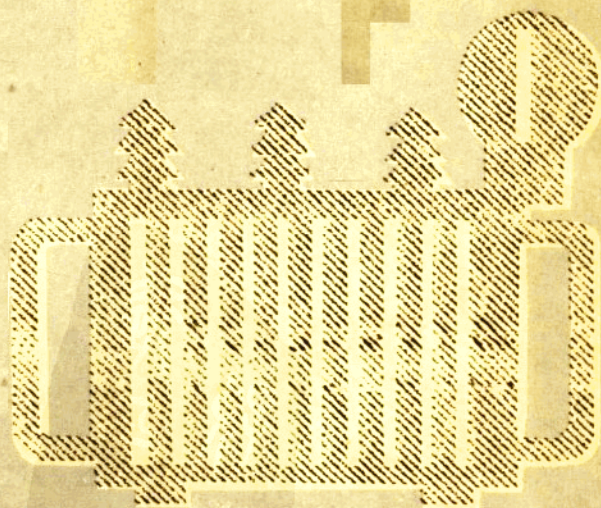


变压器专业工种 技术工人培训教材

第三分册



变压器专业工种技术工人培训教材编辑委员会

适用于变压器铁芯装配与检查工

北京变压器厂 王从宁 陈孝慈

沈阳变压器厂 赵卫赤

编

编委会主任：郭 斌

编委会副主任：王淑兰、熊洪满、扬师和

编 委：（以姓氏笔画为序）

马正昌、王玉华、王显文、王淑兰、朱宝来、
刘锦华、肖尔禄、扬师和、宗绪智、钟贵镒、
赵维君、徐振东、郭 斌、曹耀武、熊洪满、
魏光前。

主 编：曹耀武

副 主 编：朱宝来、王显文、马正昌

前 言

本教材是为适应变压器行业技术工人培训的迫切需要，根据国家机械委电器局制定的变压器行业《工人技术等级标准》，受全国变压器行业职工教育研究会委托，由沈阳变压器厂、西安变压器电炉厂、保定变压器厂、北京变压器厂和福州变压器厂等单位，有实践经验的工程技术人员联合编写的。它主要适用于变压器专业技术工种工人的培训和各变压器生产厂、变压器维修及运行部门的有关工程技术人员学习参考，也可做为技工学校变压器专业的参考材料。

本教材以中级工为主，初、高级工培训使用时，可结合本厂生产实际做必要的增减。考虑到教材在全国各变压器厂的通用性，教材内容以35~220千伏电力变压器为主，兼顾其它。新规定的初、中、高等级标准中有些内容虽超越了现时的工人实际水平或生产中尚未应用。但考虑到今后生产技术的发展，这部分内容也适当地纳入教材之中。全书共分十个分册：

第一分册：适用于变压器装配与检查工；

第二分册：适用于变压器绕线与检查工；

第三分册：适用于变压器铁芯装配与检查工；

第四分册：适用于变压器绝缘件制造与检查工；

第五分册：适用于产品试验工；

第六分册：适用于硅钢片冲剪与铁芯卷制成型处理工；

第七分册：适用于导线处理工；

第八分册：适用于变压器线圈压装处理工；

第九分册：适用于变压器处理工；

第十分册：适用于互感器装配与绕线工；

为便于组织技术工人培训，原则上一个工种编成一个分册。但考虑到变压器装配、变压器绕线、变压器铁芯装配和绝缘件制造四个工种的检查工，同这四个工种的等级标准内容很多是相同的。所以，合并在一起编写。两个工种合并后出现的共性和个性的不同要求，以共性为主，兼顾个性，确保教材完整性。

由于水平所限，教材中难免存在着局限性以及缺点、错误。恳请有关单位及学员在使用过程中，提出宝贵意见，以便在适当时机修改完善。

另外，由于各厂工艺条件不同，在制造方法上也不完全相同，本教材在讲述工艺方法时所提供的数据和有关规定，只供学员参考，不能代替各厂为现行技术文件。

在编写过程中，机械委电器工业职工教育研究会及沈阳、西安、保定各厂所在省、

市的上级领导机关给予我们的支持和指导，表示感谢，对沈阳变压器厂、西安变压器电炉厂和保定变压器厂在编印过程中做了大量工作的同志表示谢意。

变压器专业工种技术工人培训教材编辑委员会

一九八八年三月于沈阳

目 录

第一章 变压器铁芯发展概况	(1)
第一节 铁芯结构的发展.....	(1)
第二节 铁芯材料的发展.....	(2)
第三节 铁芯制造工艺及设备的发展.....	(3)
第二章 变压器铁芯结构	(3)
第一节 变压器铁芯的功能.....	(3)
第二节 铁芯的种类.....	(3)
第三节 铁芯的结构.....	(6)
第四节 铁芯的温升与散热.....	(12)
第三章 冷轧硅钢片与高导磁材料的性能	(15)
第一节 冷轧硅钢片的电磁性能.....	(15)
第二节 冷轧硅钢片的物理性能.....	(16)
第三节 冷轧硅钢片的机械性能.....	(18)
第四章 铁芯片退火涂漆	(19)
第一节 铁芯与铁芯片的退火.....	(19)
第二节 铁芯片的涂漆.....	(21)
第五章 铁芯的装配	(25)
第一节 铁芯片的预叠.....	(25)
第二节 铁芯装配的专用设配及装备.....	(25)
第三节 铁芯叠装的工艺过程.....	(26)
第四节 大型铁芯的装配工艺.....	(31)
第五节 铁芯叠装的质量问题.....	(35)
第六节 铁芯截面积、重量对铁芯性能的影响.....	(38)
第七节 铁芯填充系数和叠装系数的定义及一般计算方法.....	(39)
第八节 环氧玻璃粘带和 DpO 带绑扎铁芯工艺.....	(39)
第九节 铁芯刷漆粘接工艺.....	(40)
第六章 变压器铁芯质量检验	(42)
第一节 硅钢片的种类.....	(42)
第二节 铁芯片剪切的质量标准和检验方法.....	(43)
第七章 国外变压器铁芯发展概况	(47)
附：中级变压器铁芯装配工与检查工作教学大纲.....	(48)

第一章 变压器铁芯发展概况

变压器从发明到现在已有一百多年的历史。一百多年来铁芯结构、制造工艺及设配都有很大发展。

第一节 铁芯结构的发展

世界上第一台具有闭合磁路铁芯的单相变压器是一八八五年由匈牙利冈茨工厂提出和制造出来的。并于一八八七年在单相交流输电系统中得到正式采用。这种最初单相变压器铁芯如图1—1a)、b)所示,是用铁丝绕成平放的。图1—1a)为空心圆环型铁芯,它绕在线圈的外面,其空心部分为线圈;图1—1b为实心方型铁芯,这和一般的形式一样,它的外面绕制线圈。不久之后,变压器铁芯改由普通硅钢片制造,如图1—1c)所示。

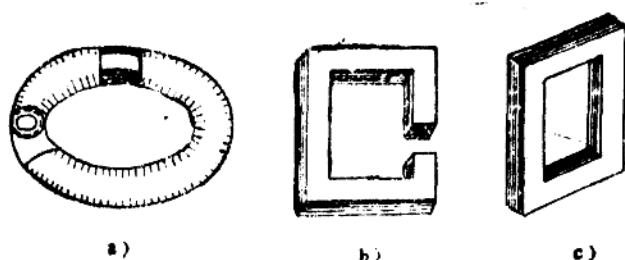


图1—1 早期的单相变压器铁芯

a) 空心铁丝绕制圆环型 b) 实型铁丝绕制方型 c) 实心钢片叠铁芯

当人们得知三相交流电优点很多,使用方便时,出现了三相变压器,三相铁芯如图1—2所示。开始的三相铁芯是由三个如图1—1c所示的单相铁芯组合而成。它们互成 120° 放置,形成辐射式铁芯(图1—2a)。但这样的铁芯在任何瞬间三相交流之和为零,因而可以简化为如图1—2b所示的三相棱型铁芯(Y型)。随后,为了使结构列实可行,则过渡到图1—2c所示的三相平面式铁芯。

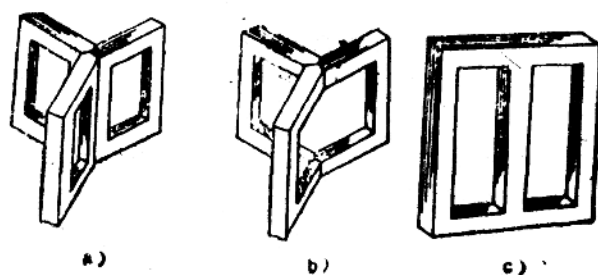


图1—2 三相变压器铁芯的过渡形式

a) 辐射式
b) 棱型
c) 平面式

三相平面式铁芯的中柱磁通经两边柱闭合，磁路较短，所需励磁电流比两边柱稍小些，其不平衡度并不妨碍变压器的运行，而对铁芯装配甚为方便，且紧凑结实，故一直延至今日，仍被广泛采用。

三相平面式铁芯虽然在变压器发展的早期就已形成，但近几十年来在具体结构上仍有相当大的变化。铁芯的接合面由整体对接改为分片搭接，提高了性能，增加了可靠性。铁芯片的接逢由直角改为斜角，以适应冷轧硅钢片的性能。铁芯由螺杆夹紧改为玻璃粘带或金属带扎紧，减少损耗，缩小了体积，从而发展成现代的搭接、全斜、绑扎的大型变压器铁芯，图1—3为我国制造的大型变压器铁芯。

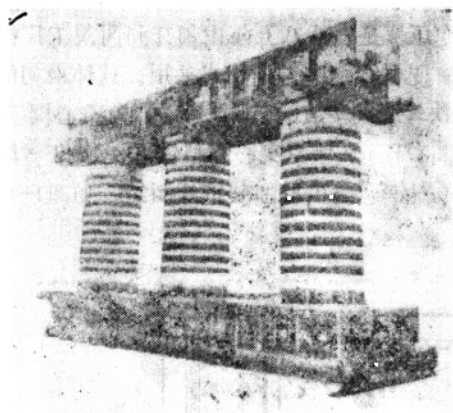


图1—3 现代大型变压器铁芯

随着变压器容量增大、电压增高，在铁芯结构上又发展了单相四柱和三相五柱铁芯。随着卷料硅钢片的出现，又出现了许多卷铁芯，其中还包括渐开线铁芯。

图1—3 现代大型变压器铁芯

第二节 铁芯材料的发展

在二十世纪前，变压器铁芯是用普通钢片制成的。本世纪初以来，出现了硅钢片并不断改善其性能，促使变压器更迅速地发展。硅钢片的发展大体可分为三个阶段：

在一九〇〇年英国人哈特菲尔德发现，若在铁芯中加入2.5%硅，则硅钢的软磁性能可明显提高。一九〇三年德国和美国开始生产硅钢片，一九〇五年美国有了硅钢片商品。一九〇六年美国也产生出含硅为3.25%的硅钢片，从此硅钢片就越来越多地被应用于电工产品上。后又经多次改进，硅钢片的铁损大为降低，其中以美国阿姆柯钢铁公司的产品为最好，它于一九二五年把铁损P_{15/50}(0.35)降低到3.1瓦/公斤。但以后直到一九五〇年，铁损降低无明显改进，P_{15/50}(0.35)仅降为2.28瓦/公斤。人们试验提高含硅量，但含硅量高达4.5%时，已极不利于机加工。这一时期是热轧硅钢片的发展阶段。

一九三四年美国人高斯经过多次冷轧退火，获得具有方向性的冷轧硅钢片，沿轧制方向导磁率进一步提高，损耗进一步降低，而且平整度好，为改进质量指出了方向。这种冷轧硅钢片尤其适用于制造变压器铁芯。美国阿姆柯公司于一九三五年生产了冷轧硅钢带，一九四二年已用于制造小型变压器卷铁芯上。一九五二年后大量用于各种变压器

上。这种冷轧硅钢片的单位铁损P15/50(厚0.35毫米),目前最好的已降低到1.0瓦/公斤,这是硅钢片发展的第二阶段。即冷轧硅钢片阶段。

一九六八年日本新日铁公司由于在硅钢片上采用了特殊的无机绝缘涂层(磷、硅酸镁层, S级),使取向冷轧硅钢片在高导磁场时沿轧制方向导磁率更高、铁损更低,且磁滞伸缩小。因此,这种新的晶粒取向硅钢片称为高导磁(Hi-B)硅钢片,其单位铁损P15/50(厚0.35毫米)降低到0.93瓦/公斤,约比最好的普通晶粒取向冷轧硅钢片降低10%;在常用磁通密度下磁导率增加了3.5倍,因而可使工作磁密选取到1.8特斯拉。现在这种高导磁冷轧硅钢片已广泛地用于变压器上。一九七五年以后世界上大型变压器多用高导磁硅钢片制造铁芯,进一步缩小了体积,减轻了重量。这就是硅钢片发展的第三阶段,即高导磁冷轧硅钢片阶段。

在八十年代一种新的可作为变压器铁芯用的高导磁材料状晶合金问世。

我国目前已能生产上述各种性能良好的硅钢片,包括高导磁冷轧硅钢片。

在铁芯绑扎材料上,对小容量变压器采用刷漆粘接,对于中、大型变压器采用无碱玻璃丝带浸环氧树脂或用DPO带绑扎芯柱,其固化后的拉断强度可超过3000公斤/厘米²。

第三节 铁芯制造工艺及设备的发展

因为硅钢片由热轧板料改为冷轧卷料,铁芯片的冲剪加工已不采用单台剪床、冲床,而改用纵向剪切和横向剪切生产线,大大提高了材料利用率和生产效率,改进了加工质量。

在大型铁芯叠装时已采用了液压叠装滚转台,改善了劳动条件,提高了生产效率和叠装质量。

环氧玻璃粘带绑扎芯柱可用机械操作,也可预先制造成型体再进行扎紧。

为了改善晶粒取向冷轧硅钢片的性能,消除加工后的影响,退火工艺已由箱式退火炉发展成连续式退火炉。

另外,由于硅钢片性能、铁芯结构的改进以及制造工艺水平的提高,国内外在中、大型变压器铁芯制造方面的发展趋向是:不压毛刺、不退火、不涂漆、不冲孔和不叠上铁轭。当然要做好这“五不”就必须在工艺方法、专用设备及工装模具方面采取许多措施才行。

思 考 题

1. 我们现在采用的三相变压器铁芯的结构型式是什么?
2. 硅钢片经过哪三个发展阶段?
3. 国内外在中、大型变压器铁芯制造方面的“五不”是什么?

第二章 变压器铁芯结构

第一节 变压器铁芯的功能

一、电磁方面的功能

变压器是利用电磁感应原理制成的静止电器，铁芯和线圈是变压器的两大部分。铁芯是变压器的磁路，线圈是变压器的电路。当原边绕组接入电压，铁芯产生磁通，使副边绕组产生感应电势。通过电磁感应的原理，变压器铁芯起到把原边输送进来的电能传到副边再输送出去的作用。

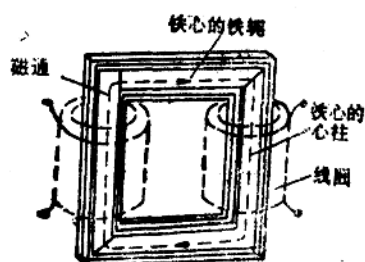


图2-1 变压器工作原理图

图2—1 变压器工作原理图

二、机械方面的功能

铁芯也是变压器的骨架，变压器的线圈套在铁芯柱上，引线、木件、开关等固定在铁芯夹件上，变压器内部所用组、部件也是靠铁芯固定和支撑。

第二节 铁芯的种类

变压器铁芯的结构型式决定于它的用途。导磁材料的质量以及制造工艺水平。铁芯的种类很多，现简单介绍如下：

一、壳式

壳式变压器铁芯的构造，具有分支的磁路系统，围绕在绕组的两面，好像是绕组的一个“外壳”所以称壳式。如图2—2

壳式变压器铁芯的特点是：铁芯包围线圈。通常壳式铁芯是水平放置的，铁芯截面为矩形，有旁轭。这种铁芯的铁芯片规格少，也不需任何冲孔和切口，芯柱截面积大、长度短，铁芯紧固方便，漏磁通有闭合回路，附加损耗小。但其矩形线圈制造困难，绝缘结构比较复杂，短路时线圈易变

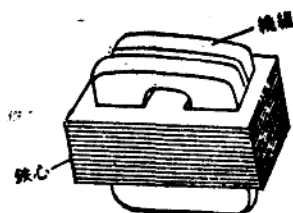


图2—2 壳式变压器铁芯

形，另外硅钢片用量相对多些。

这种铁芯有些制造厂采用，而我国只在几种小容量的单相变压器中采用。

二、芯式

通常芯式铁芯是垂直放置的，铁芯截面多为分级圆柱式，线圈已围芯柱，所以称芯式。如图2—3和2—4

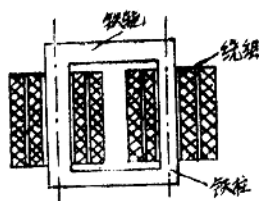


图2—3 单相芯式铁芯

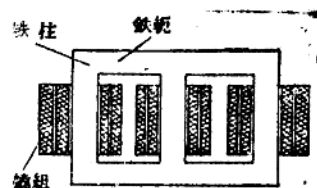


图2—4 三相芯式铁芯

芯式铁芯叠片规格较多，芯柱的绑扎和铁轭的夹紧要求较高。但圆形线圈制造方便，短路时稳定性好，硅钢片用量也相对减少。在我国，芯式变压器在实际应用上占优势，尤其三相芯式变压器用得最广。

三、辐射式

芯柱叠片排列成辐射状，旁轨沿芯柱圆周径向对装。这种结构可降低铁轭的高度，减少附加损耗，并可采用圆形的油箱，以减少变压器体积，但制造费时，它是一种特殊结构。如图2—5。



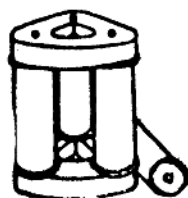
图2—5
辐射式铁芯

四、渐开线式

芯柱由叠片经成型机压成渐开线以后，再叠装成而空心圆柱体，铁轭用带料卷成三角形，铁轭截面为芯柱截面的 $1/\sqrt{3}$ 。芯柱外径与内径之比为4.5—6。能节省硅钢片，但结构不尽合理，因为对接式空载电流大。它是半卷半叠式铁芯。只适用于成批生产的容量中等的三相变压器。如图2—6。

图2—6

渐开线
式铁芯



五、铁芯

Y铁芯的优点是：磁路对称，三相平衡，结构紧凑，经济性好。如图2—7。但制造时费工。

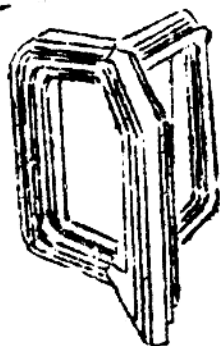


图2—7

六、环形卷铁结

用带料磁钢片连续卷成，不需叠装，磁通方向符合轧制方面，导磁性极佳，空载性能好，但线圈须用专用设备在其上直接绕制。它是卷铁芯中最简单的结构，适用于电流互感器、接触式调压器。另外，还有矩形的卷铁芯和多级的卷铁芯，多用于小容量的单相变压器。

七、双框式铁芯

1. 单相双框式铁芯

单相双框式是由截面相等的内框和外框构成，框间形成纵向油道、提高冷却效果。适用于特大容量单相变压器。如图2—9

2. 三相双框式铁芯

是由截面相等的一个外框和两个内框构成，但中间芯柱两端内外框有半数叠片连在一起，以满足磁通合理分布的要求，适用于特大型三相变压器。如图2—10

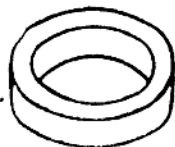


图2—8环形卷铁芯。

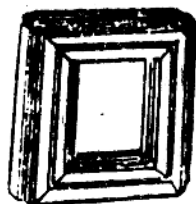


图2—9单相双框式

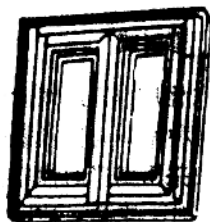


图2—10三相双框式

第三节 铁芯的结构

一、铁芯片的对接和搭接

1. 对接叠铁芯

示意图见图2—11，这种对接叠铁芯便于拆去转轭和套装线圈。但因磁阻较大，造成空载电流大。机械强度差，紧固结构复杂，所以变压器较少采用此结构，这种结构多用于电抗器上。

2. 搭接叠铁芯

搭接叠铁芯最好是1张铁芯片，但为了减少工时，在电力变压器中一般是每两片一叠。在搭接区磁通一部分通过接缝间隙，另一部分通过相邻铁芯片，减少了磁阻，空载电流比对接铁芯

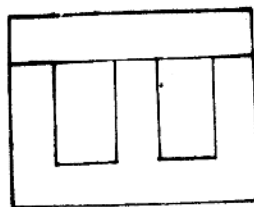


图2—11



图2—12

降低了。搭接铁芯的芯柱和铁轭相互有静摩擦力，夹紧件受力小，本身机械强度高，这对大型变压器铁芯是很重要的。硅钢片搭接处如图2—12所示

二、铁芯片的叠积图和接缝形式

叠铁芯时铁芯片的布置和排列方式称铁芯叠积图。铁芯的接缝形式主要是通过叠积图表示。

1. 边柱角接形式

(1) 直接缝

每叠铁芯片均为直接缝，搭接面积占角部面积的100%，电磁性能不好，但铁芯片的剪切简单，叠积方便。机械强度高。接缝形式如图2—13a

(2) 半直半斜接缝

斜、直接缝在各叠中交替出现。斜角为 45° ，搭接面积占角部，50%，空载性能比直接缝有明显改善，结构强度可靠，剪切、叠积方便，硅钢片利用率最高，但仍有一半是直接线影响性能的进一步提高，接缝形式如图2—13b

(3) 标准斜接缝（见图2—13c）

铁芯片全为 45° ，平行斜接缝，轭外侧有尖角伸出，（也可将尖角去掉），角部内侧有与尖角大小相同的空隙，局部提高了磁密和损耗。搭接面积较小，磁通拐角小，空载性能很好，但梯形片的剪切和去尖较麻烦。但剪刀的加工和维修简单。

(4) 台阶斜接缝（见图2—13d）

铁芯片是 45° 带台阶的斜接缝。它不存在标准接缝的三角形空隙，因而磁通分布均匀，但台阶局部磁通方向与轧制方向不一致。这种斜接缝不需去尖角，但要用成形剪刀剪切，精密度要求高，刀的加工和维修复杂。但比标准斜接缝有利于铁芯片的叠码，这种剪片的本身就起了定位使用。

以上是常用的边柱角接缝形式，每种形式各有优缺点。在利用冷轧取向硅钢片时，应根据生产批量和设备条件进行选择。总的趋向是对于中、小型变压器，在剪切线上大量生产时，采用标准斜接缝或台阶斜接缝的较多；对于特大型变压器的双框式铁芯，或旁轭式铁芯则采用直、斜混合接缝的较多。



图2—13a



图2—13b



图2—13c



图2—13d

2. 中柱角接缝形式

(1) 直接缝 (见图2—14a)

它与边柱角直接缝性质相同。

(2) 混合接缝 (见图2—14b)

中柱铁芯片可为梯形或平行四边形。

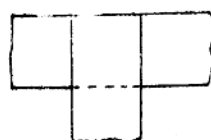
(3) 标准斜接缝和台阶斜接缝 (见图2—14c, 2—14d)

(4) 双框混合接缝 (见图2—14e)

双框铁芯的中柱内、外框间至少要有50%的磁路联系, 又由于内、外框磁通分布是不均匀的, 外框的磁密一般低于平均磁密10%左右, 因而外框采用混合接缝, 以减小外框的磁阻, 有利于磁通的均匀分布。

(5) 双、单斜接缝 (见图2—14f)

带旁轭铁芯的中柱常采用这种结构, 以形成半直半斜或全斜接缝。中柱及旁轭铁芯片的形状和尺寸全一样, 铁芯片种类明显减少。



a)

图2—14a



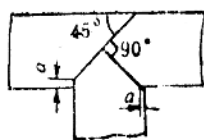
b)

图2—14b



c)

图2—14c



d)

图2—14d



e)

图2—14e



f)

图2—14f

3. 几种常见的单相和三相铁芯叠积图 (见图2—15)



a)



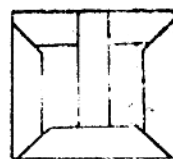
b)



c)



d)



e)

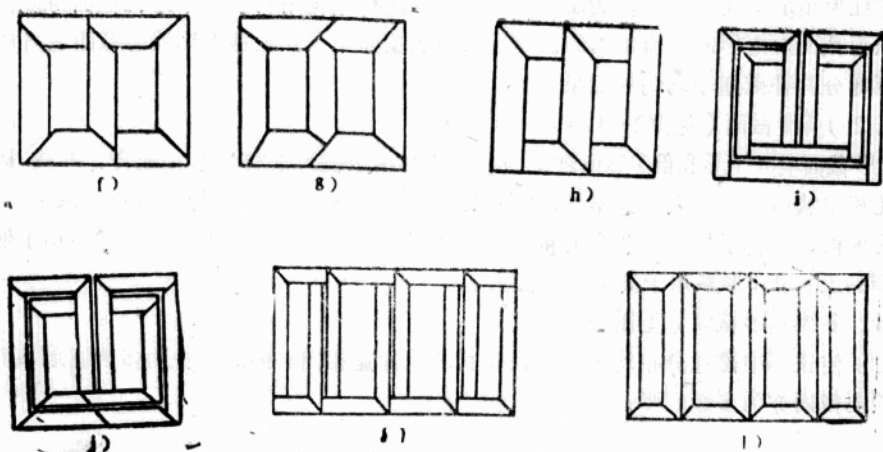


图2—15 常用的铁心叠积图

三、柱芯和铁芯的截面

变压器类铁芯的截面分为芯柱截面和铁轭截面。从结构上看，芯柱的截面形状的和线圈的形状是互相适应的。壳式变压器的线圈为矩形，铁芯芯柱截面也为矩形；芯式变压器线圈为圆筒形，芯柱截面也相应近于圆形。矩形截面很容易由相同宽度的硅钢片叠积或卷绕制成；而圆形的芯柱截面则一般由内接于圆的多级矩形组成。

1. 芯柱截面

(1) 矩形截面 (见图2—16a)

铁芯片种类少。剪切、叠积和装配都很简单，但由于矩形线圈制造困难，因而矩形截面铁芯在国内用得很少。如果解决了绕线工艺，矩形截面铁芯有一定的推广价值。

(2) 多级圆形截面 (见图2—16b)

这是最传统的用得最广泛的芯柱截面形状，为了使芯柱截面尽可能地接近圆形，以充分利用材料，增大填充系数，级数就要分得更多些。但级数太多就使铁芯制造的工作量增加，所以实际上芯柱所采用的级数不是任意增多的，而应根据经济效果而定。



图2—17b

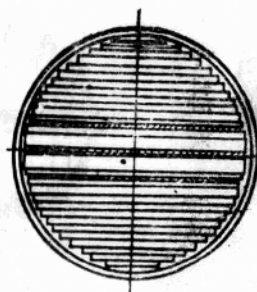


图2—16a

2. 铁轭截面

(1) 矩形截面 (见图2—17a)

芯柱为矩形截面时，铁轭截面一般为矩形。这种结构用得较少。芯柱截面为圆柱形，铁轭截面为矩形的仍有采用的。这是因为制造简单，铁轭截面比铁芯截面适当放大，可部分弥补磁通不均匀的后果。

(2) T形截面 (见图2—17b, 2—17c)

T形截面有正T形和倒T形两种。为使它们与多级圆形芯柱截面相配合，并减少空载损耗和空载电流的增大，通常铁轭面积比芯柱增大5—10%。这种二级铁轭减少了铁芯片的规格，改善了铁芯和器身的机械稳定性，降低了铁心的高度。倒T形多用于低电压的产品上；正T形多用于高电压产品上。

3. 多级圆形截面 (见图2—17d)

为了使铁芯中磁通分布均匀，及铁轭和芯柱片宽相同，因此芯柱为多级圆形截面时，铁轭截面亦为多级圆形。



图2—17a



图2—17b



图2—17c



图2—17d

四、铁芯的紧固结构

1. 芯柱夹紧结构 (见图2—18a)

它是在线圈内的硬纸筒 (或电木筒) 和芯柱间撑板楔紧芯柱。

采用夹紧螺杆夹紧芯柱的方法。它是通过铁芯片预先冲成的孔，穿上螺杆进行芯柱夹紧。采用这种夹紧方法，要特别注意绝缘，弄得不好会发生片间短路，造成事故。这种方法在逐渐被淘汰。

图2—18c是用环氧玻璃粘带绑扎的结构。这种方法取消了夹紧螺杆，减少了铁芯损耗，消除了穿芯螺杆、绝缘管损坏而产生的故障，是现在变压器最常用的方法。

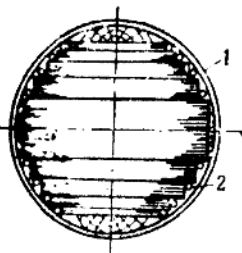


图2—18a

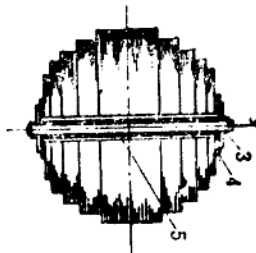


图2—18b

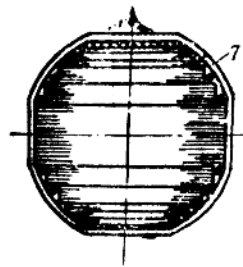


图2—18c

2. 铁轭夹紧结构

(1) 全部采用铁轭螺杆

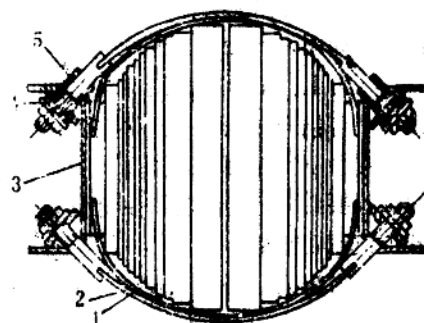
(2) 两边为方铁结构，中间为铁轭螺杆。

(3) 两边为方铁结构，中间为绑扎钢带或半干性粘带。

(4) 两边为铁轭螺杆，中间为绑扎钢带或半干性粘带。

当用冷轧硅钢片制造铁芯时，铁轭最好不冲孔，采用钢带或半干性粘带绑扎结构如图2—19

若用铁轭螺杆夹紧的方法则和用螺杆夹紧芯柱相似，见图2—20。但由于有夹件的存在，夹紧应力分布要均匀些。



铁轭的钢带绑扎结构

1—绝缘垫片 2—钢带 3—螺栓
4—绝缘垫 5—绝缘件

图2—19 铁轭钢带绑扎结构

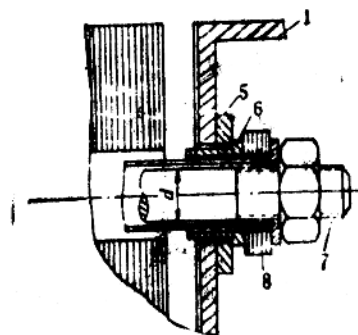


图2—20 铁轭螺杆夹紧结构

有些大型变压器铁芯，铁轭两端采用方铁夹紧。见图2—21

3. 拉板结构

对于中、大型铁芯现在通常采用拉板结构（见图2—22），拉板结构的优点是：取消了方铁，省去了冲缺口工序，使磁路分布均匀，并节省了工时。拉板上焊有定位板，通过螺栓与上、下夹件拧紧。两柱中间轭的部分仍采用半干性粘带拉紧，此种结构用的较多。

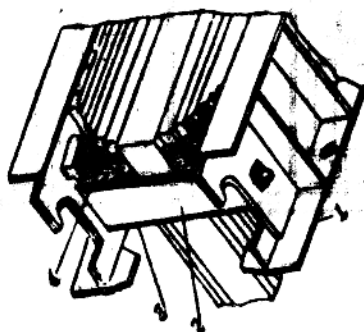


图2—21