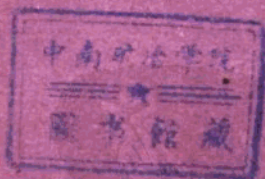


333971

变 压 器

电机专业



上海机械学院

1978.5.

目 录

第一章 概 论

§ 1—1 变压器的基本功能、用途及分类·····	(1)
§ 1—2 变压器主要部件的结构·····	(4)
§ 1—3 变压器的额定值与铭牌标志·····	(13)
§ 1—4 我国变压器制造工业发展简况·····	(15)
习题·····	(16)

第二章 磁 路

§ 2—1 磁场的基本物理量及其规律·····	(18)
§ 2—2 铁磁物质的磁性能·····	(21)
§ 2—3 磁路定律与直流磁路的计算·····	(25)
§ 2—4 电磁感应定律·····	(29)
§ 2—5 交流磁路的特点·····	(31)
§ 2—6 交流磁路中铁磁物质的磁饱和、磁滞、涡流对电流波形的影响·····	(35)
§ 2—7 交流磁路的计算 交流铁心线圈的等值电路·····	(38)
§ 2—8 结语·····	(41)
习题·····	(42)

第三章 单相变压器的运行分析

§ 3—1 变压器的空载运行·····	(46)
§ 3—2 变压器的负载运行·····	(55)
§ 3—3 变压器的参数测定·····	(67)
§ 3—4 变压器的运行性能·····	(70)
§ 3—5 结语·····	(76)
习题·····	(77)

第四章 三相变压器

§ 4—1 三相变压器的磁路系统·····	(80)
§ 4—2 三相变压器的绕组联接组·····	(83)

§ 4—3 三相变压器空载运行时的电势波形.....	(90)
§ 4—4 三相变压器对称运行时的运行性能.....	(94)
§ 4—5 三相变压器的并联运行.....	(96)
§ 4—6 结语	(101)
习题	(102)

第五章 特殊变压器

§ 5—1 自耦变压器	(104)
§ 5—2 仪用互感器	(107)
§ 5—3 电焊变压器	(109)
§ 5—4 其它特殊变压器简介	(110)
习题	(111)
附录一 变压器的检查和维护	(112)
附录二 标么制	(117)

第一章 概 论

§ 1—1 变压器的基本功能、用途及分类

一、变压器的基本功能

为了解铁心变压器(以下简称变压器)的基本功能,先对容量为2千伏安,原、副边额定电压为220/110伏的单相变压器进行一个实验,其接线如图1—1所示。

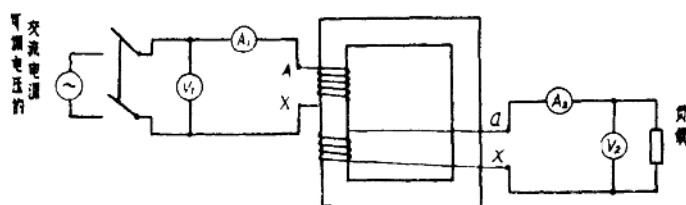


图1—1 变压器的基本功能实验接线图

在图1—1中,用两个线圈绕在一个公共铁心上来表示单相变压器,这是一种示意的表示法,今后经常采用。接到电源的线圈叫做原绕组(亦称初级绕组),接到负载的线圈叫做副绕组(亦称次级绕组)。在进行实验时,先把变压器的原绕组接到单相、50赫、可调电压的交流电源上,把一个电阻负载接到变压器的副绕组,并在原边接上电压表 V_1 和电流表 A_1 ,副边接上电压表 V_2 和电流表 A_2 。实验是从交流电源电压为零开始,逐步升高,一直到达变压器原边的额定电压(220伏)。现在把实验结果记录在下面的表1—1中。

表1—1 单相变压器试验记录

原边电压 U_1 (伏)	副边电压 U_2 (伏)	原边电流 I_1 (安)	副边电流 I_2 (安)
60	30	2.45	4.7
110	54	4.5	8.9
150	73.5	6.35	12.4
180	88	7.5	14.8
220	108	9.4	18.4

由上述实验可见:

(1) 当原边电压 U_1 在变化时, 副边电压 U_2 也跟着变化, 并且原、副边的电压之比始终接近一常值, 即 $U_1/U_2 \approx 2$;

(2) 当原边电流 I_1 在变化时, 副边电流 I_2 也跟着变化, 并且原、副边的电流之比也始终接近一常值, 即 $I_1/I_2 \approx \frac{1}{2}$;

(3) 当电源电压 U_1 在变化时, 从原边看进去的等效输入阻抗 $Z_{dx} = U_1/I_1$ 与负载阻抗 $Z_{fx} = U_2/I_2$ 之比也始终接近一常值, 即: $\frac{Z_{dx}}{Z_{fx}} = \frac{U_1/I_1}{U_2/I_2} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} \approx 2^2 = 4$;

通常, 我们把变压器原绕组的匝数 N_1 对副绕组的匝数 N_2 之比, 即 N_1/N_2 , 称为变压器的匝数比 K , 在 § 3-1 将指出, 它就是变压器的变比。对于上述单相变压器, 电压 U_1 与 U_2 的比值所接近的一个常值 2, 就是该变压器的变比 K 。因此, $\frac{U_1}{U_2} \approx K$, $I_1/I_2 \approx \frac{1}{K}$,

$Z_{dx}/Z_{fx} \approx K^2$ 。

以上试验和分析表明变压器作为一种应用电磁感应原理的静止的电器装置, 能够把一种电压的交流电能转变为频率相同的另一种电压的交流电能, 还具有改变阻抗的性能。

二、变压器的用途

由于变压器有变电压、变电流和变阻抗的功能, 因此它的用途极为广泛, 主要的概括如下:

1. 用于电力系统中

我们知道, 要将大功率的电能输送到很远的地方去, 采用较低的电压(相应电流就很大)来传输是不可能的。这是由于: 用低电压传输如果不将输电线的截面加大, 则一方面, 大的电流将在输电线上引起很大的功率损耗; 另一方面, 大的电流还将在线路上引起很大的电压降致使受电端电压太低。而如果把输电线的截面加大以降低线路损耗和压降, 输电线建设费用将很大。例如, 当采用一般发电机发出的 6000—10000 伏电压时, 经济合理的输送功率约为 2000—3000 千瓦, 输送距离约为 15 公里左右, 不能满足需要, 但电机电压从制造和运行考虑最高仅 10~20 千伏。为此, 需要依靠变压器把发电机的端电压升高(相应电流也就减小)。一般来说, 电压越高, 则可输送功率越大, 输送的距离也能越远。例如, 当采用 110 千伏的电压时就可以把 5 万千瓦的功率输送到 50—150 公里的地方, 当采用 220 千伏的超高电压时, 就可以将 10 万—20 万千瓦的功率输送到 200—300 公里的地方。随着输电距离、输送容量的增大, 对变压器的要求也就越来越高。

当电能输送到用电区时, 又必须用降压变压器把输电线上的高电压降低到配电系统的电压, 然后再经过一系列配电变压器将电压降低到用电电压, 以供使用(大型动力用户采用 3000, 6000 或 10000 伏电压, 小型动力与照明用户采用 380, 220 伏电压)。图 1—2 是电力变压器在电能传输和分配中地位的示意图。

通常, 在一个输电网中, 变压器的安装总容量约为发电机容量的 6—8 倍。由此可见, 变压器在电力系统中的作用是十分重要的。

2. 用于电工测量中

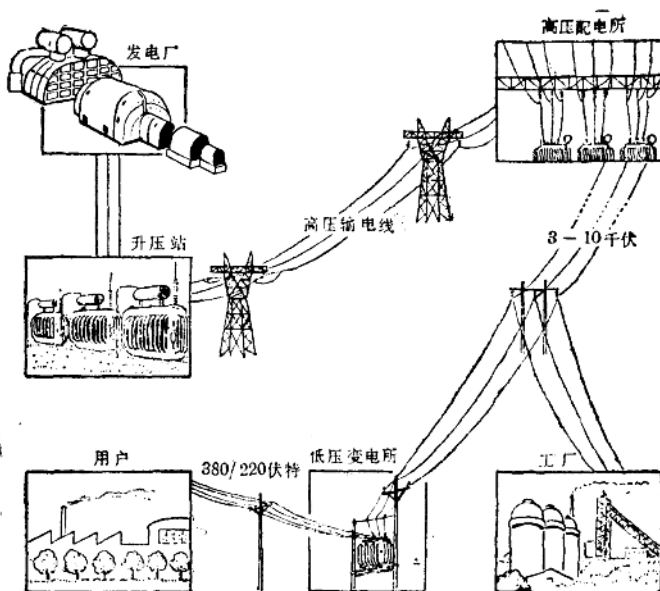


图1—2 电力变压器在电力系统中的作用

用于电工测量中的变压器称为仪用互感器。用来变换电压以适应电压表量程的互感器，称为电压互感器；用来变换电流以适应电流量程的互感器，称为电流互感器。有了电压互感器和电流互感器，可以方便地借助于一般的电压表和电流表，来实现高电压和大电流的测量。具体内容见 §5—2。

3. 用于电子线路中

大家知道，在电子管收音机中要用到电源变压器，它可以供给多种电压，以适应电子管的需要。在半导体收音机中，经常可以见到比火柴盒还要小的输入输出变压器，它的作用是变换负载阻抗。在电子线路中所采用的各种类型变压器不少，这些内容将在电子技术课程中分析讨论。

除此之外，变压器在其它工业方面的应用也是十分广泛的，例如：冶炼用的低压大电流电炉变压器；焊接用的电焊变压器；供给电车、炼铝、电解等用的整流变压器（变压器输出的交流电经硅整流或水银整流器整流成直流电供给负载），专供试验用的高压试验变压器等。

三、变压器的分类

变压器的种类很多，可以有不同的分类方法：

1. 按用途分：有电力变压器（用于输电和配电系统）、自耦变压器（用于输电系统，及在小范围内调整电压）、调压变压器（调节电网中的电压波动用）、电流互感器和电压互感器（测量用）和其它特殊用途的变压器：如电炉变压器、整流变压器、矿用变压器、医疗设备用的变压器及试验用的高压变压器、自动控制系统的小功率变压器等。

2. 按相数分：有单相变压器、三相变压器和多相变压器（如整流用六相变压器）等。

3. 按电压变换的高低分：有升压变压器(初级是低压，次级是高压)和降压变压器(初级是高压，次级是低压)。

4. 按铁心结构分：可分为心式变压器及壳式变压器。

5. 按绕组的数目分：有双绕组变压器、三绕组变压器和多绕组变压器等。双绕组变压器是目前应用最广泛的一种。

6. 按冷却条件分：

(1) 油浸变压器——现在生产的绝大多数电力变压器都属于这一类，变压器的铁心与线圈完全浸在变压器油里，这种变压器又分为：1)油浸自冷变压器；2)油浸风冷变压器，这种变压器在散热器上装风扇吹冷；3)油浸强迫油循环变压器，利用专用设备，强迫变压器油加速循环流动以提高散热能力；

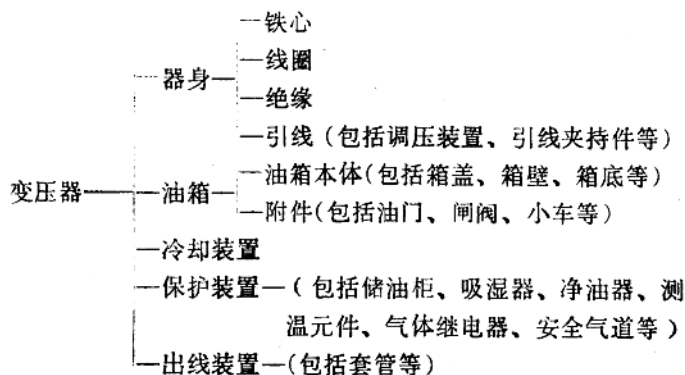
(2) 干式变压器——这种变压器没有变压器油，铁心及线圈用空气直接冷却；

(3) 充气式变压器——变压器器身放在密封的铁箱内，箱内充以绝缘性能好、传热快、化学性能稳定的气体来代替变压器油，箱内的气体通过热交换器来冷却。

§ 1—2 变压器主要部件的结构

构成变压器的基本部分是具有高导磁性能的铁心磁路和装置在这个铁心上的原、副边绕组。由于变压器的绕组和铁心均有一定的功率损耗，并以热能的形式散发出来，这就引出了变压器的冷却问题。由于很多变压器是在高电压的条件下运行，因此，还必须采取相应的绝缘措施。此外，变压器各部件还有受力和支撑问题，需要有相应的结构来保证。

变压器的主要结构如下：



现将其主要结构分述如下：

一、铁心

变压器的铁心有两种基本结构形式：心式和壳式。通常我们把套着绕组的铁心部分称为铁心柱，联接铁心柱之间的铁心称为铁轭。图1—3是单相及三相心式变压器的铁心，这种铁心结构的特点是：铁轭靠着绕组的顶面和底面，不包围绕组的侧面。图1—4是单相及三相壳式变压器铁心，这种铁心结构的特点是：铁轭不仅包围绕组的顶面和底面，而且还包围绕组

的侧面，三相壳式变压器可以看作是三个并排在一起的单相壳式变压器。

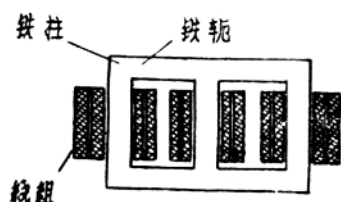
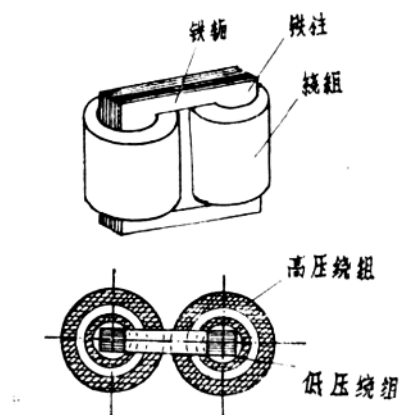


图1—3 单相及三相心式变压器

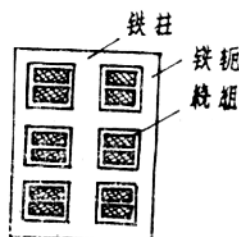
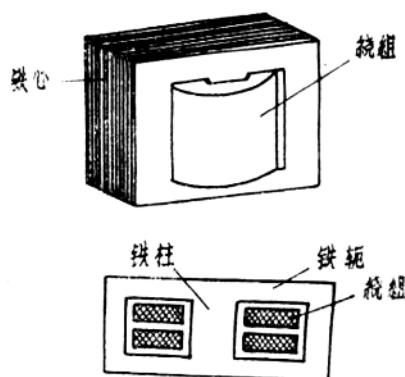


图1—4 单相及三相壳式变压器

在我国，心式变压器在实际应用上占优势，只有一些小容量的单相变压器采用壳式的结构，如收音机用的变压器等。

变压器铁心内的磁通是交变的，为了减少交变磁通在铁心中所产生的损耗，变压器的铁心一般采用含硅约3—4%，厚为0.35毫米或0.5毫米的硅钢片，先剪切成需要的尺寸，然后两面涂漆叠装成形。铁心有两种装配方法，即交叠式和对装式。图1—5为交叠装配法。单相心式变压器的铁心按图1—5(a)(b)所示两种排法交替叠装起来，当硅钢片叠到一定的尺寸后，用螺杆和夹件将铁心夹紧成一坚固的整体。图1—5(a)(b)是三相变压器的交叠装配法，每层用六片，互相间隔错开叠装起来。为了减少装配工时，一般把两、三片钢片叠在一起作一层。这样装配的好处是：(1) 各层磁路的接缝不在同一地方，因而气隙小，损耗小；(2) 可使夹紧结构大为简化。缺点是装配工艺比较复杂。

采用对接式装配法时，铁柱和铁轭是分别组合与夹紧的，在装配时再对拢(见图1—6)，然后再用专门的夹件夹紧。铁柱和铁轭的接触表面要平整，以减少空气隙，接触表面还要敷设一层薄而坚韧的耐热材料，以防止铁柱和铁轭之间的涡流。渐开线变压器就采用这种装配法。这种装配法的主要优点是装配简单，费工较少，修理时拆卸方便。但是，由于接缝处气隙较大(影响空载电流增大)，夹紧、固定装置也较复杂，所以目前这种方式应用的并不广泛。

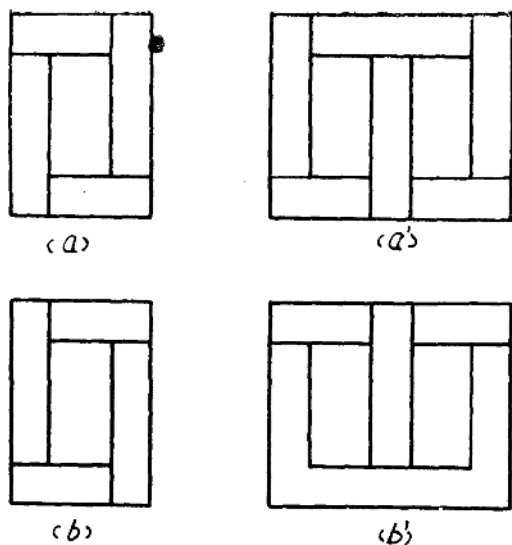
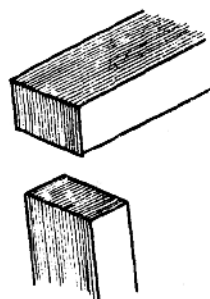


图1—5 变压器交叠装配法

图1—6 铁柱与铁轭对接装配法



为了提高变压器性能、减少损耗、减轻重量、缩小体积、目前已大量采用优质的冷轧硅钢片做铁心。冷轧硅钢片的方向性较强，即顺辗压方向导磁性能好，铁损耗也小；而垂直于辗压方向的导磁性能差，铁损耗也显著增加。如仍采用上述直角切片进行叠装，则磁通由铁心柱到铁轭的拐弯处，就要引起铁损耗增加和导磁性能降低。因此常采用 45° 斜切片来叠装，如图1—7 a所示，硅钢片的接缝有几处是 45° 角而不是直角，以适应冷轧硅钢片方向性强的特点。这种剪裁方法叫半斜接法，其主要优点是：（1）形式简单；（2）硅钢片利用率高，可达98—100%；（3）装配容易且牢固。目前，我国大容量变压器，如220千伏120000千伏安电力变压器的硅钢片就是这样剪裁的。冷轧硅钢片铁心也有采用如图1—7 b全斜接法的，比半斜接法更能发挥冷轧硅钢片的特点，但硅钢片利用率略低，在推广应用中还须解决专用工艺装备问题。

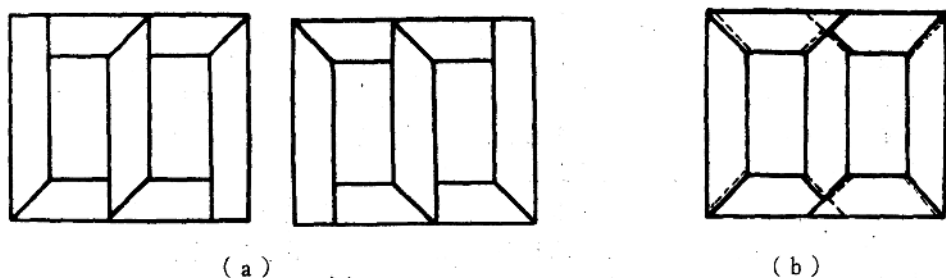


图1—7 用冷轧硅钢片时的斜切迭装法

叠装好的铁心借助槽钢和螺杆固定，为了防止磁通通过槽钢或螺杆而产生损耗和发生局

部过热，在硅钢片和槽钢或穿心螺杆之间要分别用绝缘纸板隔开。

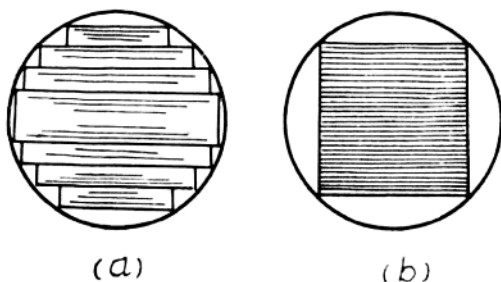


图1—8 铁柱截面

铁轭截面有方形的，也有阶梯形的，见图1—9。当铁柱为阶梯形时，铁轭也应采用阶梯形截面，这样磁通在铁轭中的分布才能比较均匀。为了减少空载电流和铁心损耗，铁轭的截面一般比铁柱截面放大5—10%。

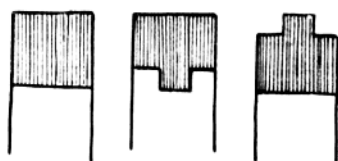


图1—9 铁轭截面

在较大容量变压器中，铁柱和铁轭的尺寸都很大，为了保证铁心内部能可靠地冷却，在叠片间留有与叠片平行的油道1~3条，见图1—10。对于巨型变压器还留有与迭片垂直的油道以提高散热效果，这样铁心结构就较为复杂。



图1—10 有油道铁柱截面

下面将简要介绍这种变压器的铁心结构。

渐开线铁心变压器的心柱是由专门的成形机把硅钢片滚压成渐开线型叠片，然后拼装成圆柱状，铁心截面见图1—11，三相铁心柱布置成等边三角形。渐开线铁心变压器的铁轭是由带状硅钢片卷制成等边三角形见图1—12，钢带的宽度正好是铁轭的高度。铁柱和铁轭采用对接式装配，依靠穿心螺杆夹在一起。

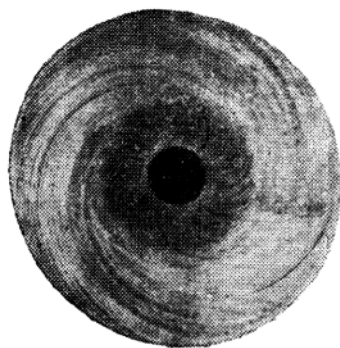


图1—11 渐开线铁心截面

渐开线铁心变压器的主要优点：
 ① 节省材料：在这种结构的铁

铁心柱的截面为配合圆形绕组，一般是阶梯形的，见图1—8 a，随着容量的增大，为了充分利用空间，阶梯的级数也随之增多。中等容量变压器的铁柱一般为七级到九级；而一些巨型变压器的铁柱，它的级数可以多达十级以上。只有很小容量的变压器才采用长方形或正方形截面。如图1—8 b所示。

轭内磁通仅为铁柱内的磁通的0.577，见§4—1。所以渐开线铁心变压器的铁轭截面可较一般结构的铁轭截面小，这样就能节省铁心材料。同时由于铁柱呈等边三角形布置，变压器油箱也相应地为三角形，可以节省钢材和变压器油。另外，铁心柱截面为圆形，它和线圈的空间利用较好。(2)提高劳动生产率，有利于机械化生产：由于它的铁柱与铁轭都只有一种硅钢片尺寸（一般结构的变压器的硅钢片宽度约有5~11种规格），因而易于实现机械化流水线生产，与一般结构相比较，劳动生产率可以提高好几倍。

(3)结构简单，便于标准化、通用化、系列化。

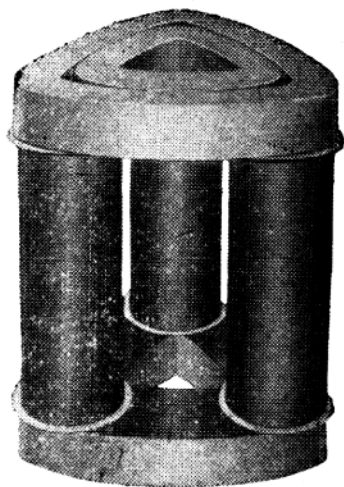


图1—12 渐开线铁心

渐开线铁心变压器的主要缺点是：由于铁轭与铁柱采用对接式装配，因而空载电流较大，铁心材料要求用冷轧硅钢片。

目前，我国许多变压器制造厂在中小型电力变压器方面正在逐步推广采用渐开线铁心结构。

二、绕组

变压器的绕组一般都是圆形，因为这种形状的绕组在电磁力的作用下有较好的机械性能，不易变形，同时也便于绕制。变压器绕组一般是用涂漆或电缆纸绝缘的圆形或矩形截面的导线绕制而成的。根据高压绕组与低压绕组的相对位置，绕组可分为同心式与交迭式两种类型。

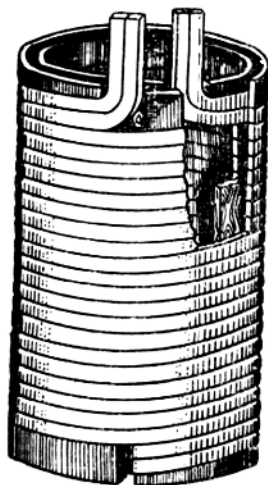


图1—13 圆筒式线圈

1. 同心式绕组 特点是低压绕组与高压绕组分成内外层同心地套在同一铁心柱上，通常是低压绕组套在里面，高压绕组套在外面。高压绕组与低压绕组之间，低压绕组和铁心柱之间用绝缘纸筒隔开，并须按绕组额定电压等级有一定的绝缘间隙。低压绕组经常放在里面是因为低压绕组和铁心之间所需的绝缘间隙可以小一些，这样可以缩小绕组尺寸，节省绝缘材料和导线。同心式绕组根据绕法又可分为圆筒式、连续式、纠结式、螺旋式和铝箔式等。

圆筒式线圈：用于容量不大的变压器中。作低压绕组时采用单层或双层圆筒式绕组，如图1—13所示，用作高压绕组时采用多层圆筒式。

连续式线圈：主要用于容量较大的高压绕组，也用于电压较高的低压绕组。它是由许多线盘(又叫线饼、线段)组成，整个线圈用一根或几根导线并联连续绕制，若一个线盘导线从里面绕到外面，则相邻线盘就从外面绕到里面，盘间用绝缘垫块隔开，为了保持各并联导线的有效阻抗相等，以达到电流均匀分配，所以从一线盘绕向另一线盘时，并联导线必须进行换位。这种线圈机械强度高，冷却条件好，应用很广。

纠结式线圈：外形与连续式线圈相似，由于采用特殊绕法，改变线匝的排列顺序，使线圈匝间电容增大，在冲击过电压的作用下，线圈起始数匝的电压分布比较均匀，这就起到保护变压器的作用。目前在110千伏以上的线圈已普遍采用纠结式。

螺旋式线圈：大容量低电压绕组匝数很少，导线截面较大，因此要用很多根导线并联起来绕制，匝与匝之间用绝缘垫块隔开，象螺纹一样连续绕下去，故称螺旋式，如图1-15所示。若电流过大，并联根数超过10根时，可分为两列绕制，称为双列螺旋式。为了使并联导线中的电流趋于均匀分配，绕制应对并联导线进行换位。

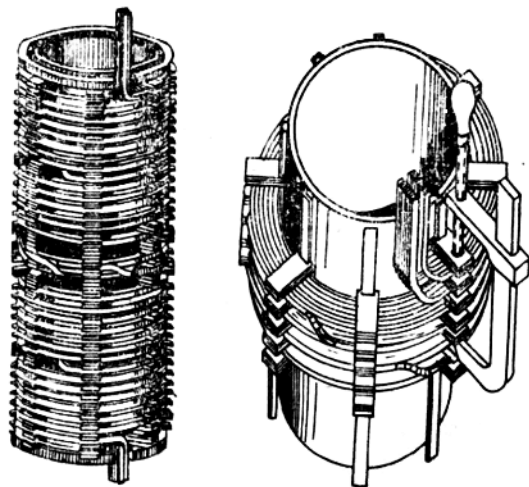


图1-15 螺旋式线圈

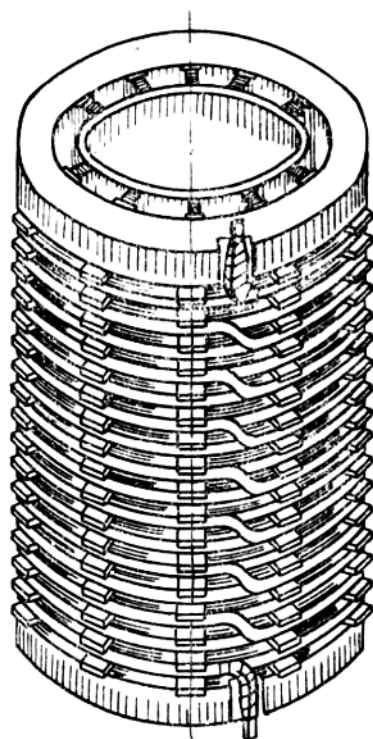


图1-14 连续式线圈

铝箔式线圈：常用于容量不大的低压绕组，由于匝数较少，采用铝箔，衬以绝缘，卷成圆筒形即成。

2. 交迭式绕组 特点是高、低压绕组在同一铁心柱上分上下互相交叠放置，如图1-16所示。为了便于绝缘，靠近上下铁轭的绕组最好是低压绕组。交迭式绕组具有机械强度高、引线方便、漏抗大等特点。低电压大电流的变压器如较大容量的电炉变压器、电焊机变压器均采用这种绕组。

绕组一般用铜线绕制。为了多快好省地发展我国电力工业，要贯彻工电产品“以铝为基础”的技术政策。铝线和铜线比较，有它的优点，如原料来源丰富，重量轻，价格便宜等；但也有它的缺点，如不易焊接，机械性能差，电阻系数大等。我国工人阶级在毛泽东思想指引下，破除迷信，解放思想，敢想、敢干，找到了克服其缺点的各种办法，使我国铝线变压器有了很大的发展。当前，中、小型电力变压器已大量采用铝线，预期在不久的将来，铝线将在变压器中得到更广泛的应用。

三、油箱

油箱就是油浸式变压器的外壳，是用钢板做成的。油箱一方面是放置器身和存放变压器油，另一方面还有散热作用。油箱的构造，在很大程度上由冷却方式决定。油浸自冷式变压器是靠油受热后自然循环的作用把热量传给油箱表面然后散逸到空气中去。为增加油箱的冷却面积，除小容量变压器以外都采用管式油箱。管式油箱过去是采用许多直径4~5厘米的圆管焊接在油箱壁上而与箱内上下相通。变压器油受热膨胀上升，经油管散热冷却后下降进入油箱内。近来圆管基本改为扁管，既增加了散热面积，又减少了用油量。随着变压器容量的增加，当管式油箱用自冷方式已不能解决散热问题时，就在管形散热器中间加装风扇，当油温上升到一定数值时，即自动开启风扇，以增加散热能力。这种变压器称为油浸风冷变压器。对于大容量变压器，发热问题更为严重，这时多数采用强迫循环的油冷却方式，即利用油泵把变压器内的热油排到箱外的专用油冷却器，在对油冷却器表面利用吹风或循环水进行强制冷却后，再将油送回油箱。前者称为强迫油循环风冷式，后者称为强迫油循环水冷式。这种方法可以大大提高变压器单位体积的容量。近年来，我国在一些巨型变压器的制造上配合强迫油循环冷却，还推广采用了“导向冷却”新技术，即利用油泵将冷却后的油直接送入油箱内的“导向油路”，并沿着它直接进入绕组的油道对绕组进行直接冷却，这样就大大提高了冷却效果。

四、变压器油

为了加强绝缘和冷却，一般电力变压器的绕组和铁心均浸在变压器油中。只有在一些特殊场所，例如要求防火、防爆的矿井等地方，才采用无油的干式变压器。

变压器油有两个作用：（1）绝缘：由于它的绝缘性能好，可加强变压器绕组的相与相、相与地之间的绝缘；（2）散热：通过油在受热后的对流作用或用强迫循环的方法，使变压器油把铁心和绕组中散发出来的热量传给箱壁或冷却器，以降低变压器的温升。

变压器油是从石油中分馏出来的矿物油。选用时应注意它的主要性能，如介电强度、粘度、凝固点和酸度等是否符合国家标准。但变压器油在使用过程中由于吸收潮气，以及在较高温度下和空气接触引起氧化，使油老化产生悬浮物并提高酸度。悬浮物将堵塞油道阻碍传热，酸度将影响绝缘材料，水分将降低绝缘强度。这些都影响运行安全，所以使用时应将油箱盖紧闭密封，不使变压器油与外界空气接触。此外还要定期对油作耐压试验，并进行必要的净化处理。

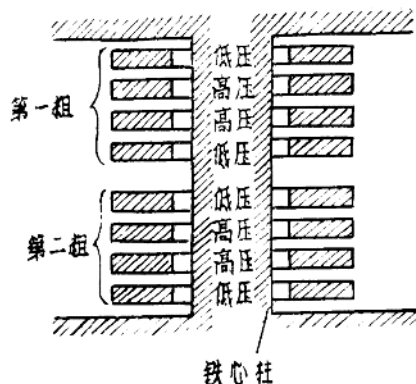


图1—16 交叠式绕组

五、储油柜(油枕、油膨胀器)

变压器在运行时,它的温度随着气温和负载而变化,油的体积就随着油温变化而膨胀或收缩,油面的高度也随之而升降。因此,油面上的空气不断地与箱外空气交换,空气中的潮气有可能在箱内凝结成水而进入油内。为了使变压器油能较长久地保持在良好状态,通常在变压器油箱上面的旁侧装有一圆筒形的储油柜。储油柜的作用是:(1)凝结的水滴不会直接进入主油箱内。(2)由于储油柜的油面比油箱的油面要小得多,因此油和空气的接触面大大减小,受潮和氧化机会也因之减少。(3)储油柜内油的温度也较主油箱的温度低得多,因此油老化的过程可以大大减缓,油内产生的悬浮物,也将沉积在储油柜的底部很少进入主油箱。

对于更大容量的变压器,由于油枕本身较大,油与空气接触面也大,为了防止空气对油的影响,因此在油枕上部,还装设一个呼吸器,呼吸器是一弯曲的管子,一端和油枕上部相通,另一端朝下开口和外界空气相通。为了防止大气中的水分、杂质进入油枕,在呼吸器的下端装有能够吸收水分和杂质的材料(较多采用硅胶)。当油受热膨胀后,油枕的油面上升,把上半部的空气通过呼吸器排到外面大气中去,当温度下降后,油面也随着下降,外面空气通过呼吸器的管子又进入油枕。为防止漏油和漏气,变压器的箱盖和油箱之间用耐油的橡皮密封。

六、安全气道(防爆管)

安全气道的作用是:当变压器发生故障时,油内的压力升高,油和气体就冲破安全气道上端的一块薄膜(用普通玻璃、塑料、或金属做成)向外喷出:以防油箱爆炸。见图1—17。为防止因负载变化和油温变化在安全气道上部空间产生剩余压力(有时也会压破薄膜),因此在安全气道上部和储油柜上部用一根很细的管子连通,使在正常情况下安全气道上部的空气压力与外面大气压力相等。

七、气体继电器

气体继电器主要由浮筒、档板和舌簧开关组成,见图1—18。当变压器在正常运行时,继电器内充满了油,档板处于垂直位置,是不动作的。当变压器内部发生轻微故障有气体分解时,则气体上升至容器顶部,油面下降,浮筒1随之下降,触及档板,带动舌簧继电器使触点闭合,而发出讯号。当变压器发生严重故障,急剧地产生气体时,则强烈的气体冲击浮筒2和档板带动另一只舌簧继电器的触点闭合而使油开关动作,切断变压器的电源。由此可见,气体继电器的作用是:(1)当有轻微损坏时发出讯号;(2)在有严重损坏时,则可迅速地自动切断线路,以免事故进一步扩大。

八、绝缘瓷套管

因为变压器的油箱是接地的,所以变压器的绕组与电网或负载的联接线,在穿过油箱的箱盖或箱壁时,必须采用瓷套管绝缘。套管的大小和形状根据电压的高低而定,通常分为瓷制实心式、瓷制充气式、瓷制充油式和电容式充油瓷套管等类型,对于500伏~10千伏较低

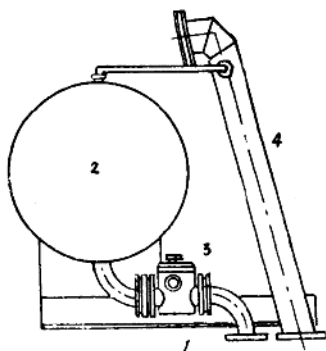


图1—17 储油柜

- | | |
|---------|--------|
| 1.主油箱 | 2.储油柜 |
| 3.气体继电器 | 4.安全气道 |

的电压等级，常采用瓷制实心式套管，这种套管的构造简单，但绝缘强度较低。35千伏电压等级可采用瓷制充气式或瓷制充油式套管，见图 1—19。110千伏~220 千伏电压等级则采用内部附有串联电容器的充油套管，因为串联电容后，可使管内的电场趋于均匀分布，从而提高了套管的绝缘强度。

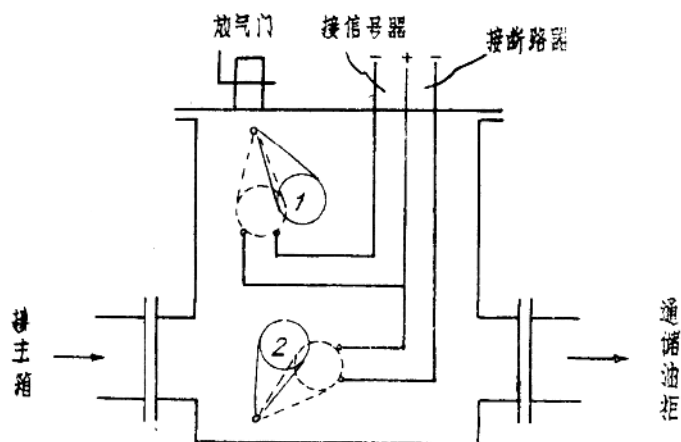


图1—18 气体继电器原理图

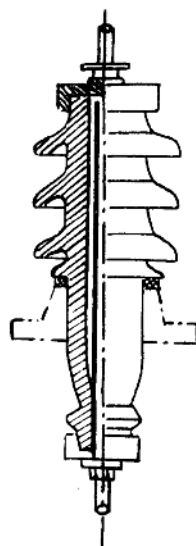


图1—19 充油式绝缘套管

九、调压装置

在电力系统中，往往需要调节变压器的输出电压，这就要通过改变绕组的匝数来调节。实现这种调节的部件称为无激磁调压装置，这是由于在调节时，必须在切断电源后进行。在较小容量的变压器中，分接头的位置设在星形联接的中点处（见图 1—20 a）。在较大容量的变压器中，分接头的位置设在绕组的中部（见图 1—20 b）。在大容量的变压器中，每相有一个分接开关，分接头位置设在绕组的中部（见图 1—20 c）。变压器的分接头一般都抽在高压绕组上。这一方面是由于高压绕组电流小，分接开关体积可以做得小些，另一方面，高压绕组一般都在外层，因而引线较为方便。对降压变压器来说，这样抽头还能保证铁心中的磁通维持不变。通常分接头接在 $\pm 5\%$ 和 $\pm 2.5\%$ 额定电压的地方，对于一般配电变压器，则只有 $\pm 5\%$ 和额定电压三个抽头。

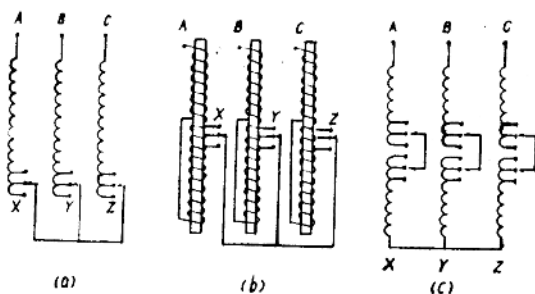


图1—20 变压器的分接头装置

此外, 也有采用有载调压装置的, 它可以在变压器负载情况下进行调压, 操作比较方便。这种装置有逐步代替无激磁调压装置的趋势。

§ 1—3 变压器的额定值和铭牌标志

变压器制造厂根据变压器的设计和试验数据所规定的运行情况称为变压器的额定运行情况。对应于变压器额定运行情况的各种物理量称为变压器的额定值。通常这些额定值均标在变压器的铭牌上。主要有:

一、型号

变压器产品的文字型号, 根据电力变压器技术标准GB1094—71规定, 按表1—2的顺序排列。

表1—2 变压器产品型号表

序 号	分 类	类 别	代 表 符 号
1	相 数	单 相 三 相	D S
2	线圈外冷却介质	矿 物 油 不 燃 性 油 空 气 成 型 固 体 气 体	— B K C Q
3	箱壳外冷却介质	空气自冷 风 水	— F W
4	循 环 方 式	自然循环 强迫循环 强迫导向 导体内冷 蒸发冷却	— P D N H
5	线 圈 数	双 圈 三 圈 自耦(双圈和三圈)	— S O
6	调 压 方 式	无激磁调压 有载调压	— Z

例如: SFPSZ — 63000/110, 表示三相强迫油循环风冷式, 三线圈, 有载调压, 63000千

伏安, 110 千伏电力变压器。SWPO—125000/220表示三相强迫油循环水冷, 三线圈自耦, 125000 千伏安, 220 千伏电力变压器。

二、额定容量

指变压器额定视在功率, 以伏安、千伏安或兆伏安表示。通常把原绕组和副绕组设计为相等容量。为了生产和使用的方便, 对电力变压器的额定容量也规定了一系列标准等级, 根据我国电力变压器的技术标准GB1094—71的规定, 三相变压器标准的容量等级如下(单位千伏安):

10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000, 31500, 40000, 50000, 63000, 80000, 100000, 125000。

三、额定电压

原绕组额定电压是指电网(电源)加到原边的额定电压; 而副绕组的额定电压是指原边加上额定电压后, 变压器处于空载状态时的副边电压。我国电力网目前采用的标准电压等级如下(单位为千伏):

0.22, 0.38, 3, 6, 10, (15), (20), 35, (60), 110, (154), 220, 330。

上列数字是电网受电端的电压, 而电源端的电压将比这些数值略高。因此变压器的额定电压值可能比上列数字高 5% 或 10%。

四、额定电流

额定电流是变压器的满载电流值, 在三相制中指线电流, 单位用安培表示, 可以根据变压器额定容量 S_n 和原边和副边额定电压 U_{1n} 、 U_{2n} 算得。

对单相变压器:

$$I_{1n} = \frac{S_n 10^3}{U_{1n}} \text{ 安} \quad I_{2n} = \frac{S_n 10^3}{U_{2n}} \text{ 安}$$

对三相变压器:

$$I_{1n} = \frac{S_n 10^3}{\sqrt{3} U_{1n}} \text{ 安} \quad I_{2n} = \frac{S_n 10^3}{\sqrt{3} U_{2n}} \text{ 安}$$

五、阻抗电压(短路电压)

阻抗电压通常是指当副边线圈短路、原边线圈处于额定分接位置时, 原边施加一个额定频率的电压, 使电流到达额定值时的原边的电压值, 一般用额定电压的百分数表示。

六、温升

是指变压器在额定运行情况时允许超出周围环境的温度值, 它取决于变压器所用的绝缘材料等级。温升包括线圈温升、油面温升、铁心温升等。

七、额定频率

我国规定标准工业频率为 50 赫。

此外, 铭牌上还给出:

八、相数;

九、接线图与联接组;

十、使用条件;