

变压器文集

——吉林省电力系统变压器专业会议——

吉林省电力试验研究所

1 9 7 9

编 辑 说 明

受吉林省电力工业局的委托，吉林省电力试验研究所和省农电局在哲盟电力局的支持下，于一九七八年九月在通辽市召开了“吉林省电力系统变压器专业会议”。参加会议的有省内各电业局、发电厂、农电局、送变电公司、火电公司等单位的有关人员。东北电管局、东电技政局、黑龙江省电力试验研究所及辽宁省部分局厂、黑龙江省部分局厂派人参加了会议。沈阳变压器厂、哈尔滨电工学院、东北电力学院、长春电力学校等单位的同志应邀参加了会议，会上，学校老师并做了专题报告。会议充分交流了运行、推护、安装、试验等各方面的经验，并进一步落实了反事故措施，提出技术报告六十余篇，经过综合选其二十五篇，按照基础理论、事故分析、安装、检修、试验研究的次序，编纂成集以供参考。在编选过程中，对某些原稿的内容作了删补，个别文章做了较大幅度的改动，因时间所限，未经原作者过目，请予原谅。本文集由汪礼文、陈化钢、孙东明、袁致川同志主编，因时间仓促，水平有限，错误难免，殷切希望给予指正。

吉林省电力试验研究所 高压室

情报室

一九七九年九月

目 录

● 结 构、温 升、过 电 压 ●

- 1、大型电力变压器纵绝缘结构……………哈尔滨电工学院 路长柏(1)
- 2、大型电力变压器主绝缘结构……………东北电力学院 陈化钢(12)
- 3、大型电力变压器的冷却和温升限额……………东北电力学院 宋家骅(28)
- 4、变压器内部过电压简述……………吉林省电力试验研究所 汪礼文(47)

● 事 故 分 析 ●

- 5、吉林省电力系统主变压器事故分析……………吉林省电力试验研究所 孙东明(63)
- 6、变压器突然短路时的机械力分析……………吉林省电力试验研究所 孙东明(69)
- 7、大型电力变压器某些故障分析……………长春电业局 胡性寿(77)
- 8、大型电力变压器油枕内大量积水的原因分析……………吉林热电厂 廖华冲(86)
- 9、大型电力变压器风扇电机烧损的原因分析……………前廊热电厂 张世成(95)
- 10、大型电力变压器胶套事故分析……………前廊热电厂 张世成(100)
- 11、220KV主变压器一次过电压事故分析……………云峰发电厂(102)

● 安 装 检 修 ●

- 12、一台220KV变压器局部放电缺陷的查找和消除……………云峰发电厂(109)
- 13、安装变压器储油柜隔膜的几点体会……………吉林省送变电公司 万复民(115)
- 14、现场电力变压器真空注油方法……………吉林省送变电公司 王味橙(122)

15、大型电力变压器的几种干燥方法.....丰满发电厂 庄喜彬(126)

16、防止BM-60、MT-110型高压充油套管绝缘劣化的方法
.....二道江发电厂 陈仁生(134)

● 试 验 研 究 ●

17、热油引出法测量变压器线圈热点温度.....吉林热电厂高压班(136)

18、操作波试验发现绝缘缺陷的有效性.....吉林电业局 华永年(145)

19、自制小型变比电桥.....通化电业局 聂广淳(150)

20、检查变压器分接开关接触情况的一种方法.....吉林热电厂高压班(157)

21、高压充油套管热电领试验方法的改进.....吉林热电厂高压班(159)

22、用四倍频试验器检测变压器和电压互感器的匝间绝缘
.....通化电业局 郑志铿(161)

23、气相色谱法在变压器上的应用.....吉林省电力试验研究所 高名杰(167)

24、利用气敏半导体检测充油变压器内部故障的方法
.....中国科学院长春应用化学研究所 程英芳
.....吉林省电力试验研究所 袁训俭(182)

25、低压脉冲法检测变压器线圈变形.....长春电力学校 孟广成
.....吉林省电力试验研究所 袁致川(196)

大型电力变压器纵绝缘结构

哈尔滨电工学院 路长柏

电力变压器的内部绝缘,一般分为主绝缘和纵绝缘。

主绝缘是指变压器线圈间、线圈对地(铁芯、油箱)以及相间绝缘等。

纵绝缘,对高压大型变压器来说,是指同一线圈中不同点,如线圈的线匝间、线段间以及线圈和电容保护元件之间的绝缘等。

电力变压器运行的安全可靠,在很大程度上决定于其绝缘状况,即其绝缘结构设计和所选用的绝缘材料是否正确、合理,绝缘工艺是否满足要求以及运行维护的正确性。

一、电力变压器线圈中的梯度电压简述

电力变压器纵绝缘设计,通常是以冲击电压作用下,线圈中的梯度电压分布为依据的。

所谓梯度电压,即在冲击电压作用下、引起的电磁振荡过程中,变压器的线匝间、线段间以及线圈和电容保护元件之间出现的过电压,一般以冲击波的百分数表示。

梯度电压的数学表达式为

$$g = \frac{\partial U(X, t)}{\partial X} \Delta X \quad (1)$$

在 $U(X, t)$ 中的 X 表示轴向距离时, ΔX 也应是轴向距离增量。对于通常采用的饼式线圈, ΔX 即为相邻线饼的轴向距离。梯度电压的大小和波形与外加冲击电压的大小以及线圈结构有很大关系,而且和所要求考虑梯度的线饼位置:线匝首端、中部、分接区域以及中性点等有关。

当冲击电压值一定时,波首时间越小电压上升速度越大,引起的梯度电压越大。波长的影响一般不大。图1所示为一台27000/150变压器一相圆筒式线圈上测得的梯度电压与波首的关系。由此可见,波首越陡则相当于高频自由振荡分量多、梯变电压分布越不均匀。若标准波1.5 μ S波头有 $\pm 0.5\mu$ S偏差时,梯度电压可能偏差相对百分数 $\pm 30\%$ 。

变压器线圈自由振荡的主谐波周期 T ($T = 2\pi/\omega$) 对线圈具有很大影响。对纵绝缘来说, T 的作用与波首相反,当比值 τ_1/τ 增大时,纵绝缘所受的梯度电压下降(图2)。

梯度电压作用的时间是这样确定的,即作一高度为 $1/2$ 梯度峰值的水平线,它和梯度值左右上升和下降部分相交于 a, b , 则 a, b 间的时间间隔即为梯度作用时间。图3所示为某大型变压器线圈上某油道的全波梯度,其作用时间为 $t_b - t_a$ 。

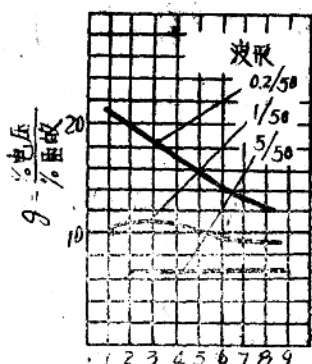


图1 变压器线圈上梯度电压
与外施波形的关系

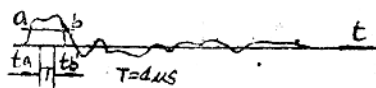


图3 梯度作用时间

梯度电压作用时间随着油道到线端距离的增加而增加，并与线圈结构型式有关。在一般情况下，纠结式线圈内梯度作用时间比连续式线圈内梯度作用时间大得多。

全部纠结式线圈的全波、截波的梯度电压要比连续式线圈时大大降低，特别是截波梯度降低得更多，以致截波梯度小于全波梯度，因此在不发生局部共振条件下，纠结式线圈的辐向油道尺寸主要由全波梯度决定。最大梯度出现在第三油道附近，全波最大梯度向外油道约为冲击波幅值的10%，向内油道约为15%左右，梯度作用时间小于20μs。

纠结连续式线圈的梯度电压在纠结部分比全部连续时小，而连续部分的梯度小于全部连续式的情况。连续部分梯度性质接近于全部连续式，即截波梯度大于全波梯度。全波梯度一般出现于连续部分的第三油道，其数值小于20%，当线圈中部出线时偏大一些。截波梯度在20%上下。

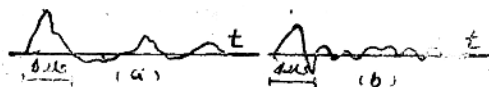


图4 SFP-120000/220变压器梯度波形
(a)一全波梯度； (b)一截波梯度

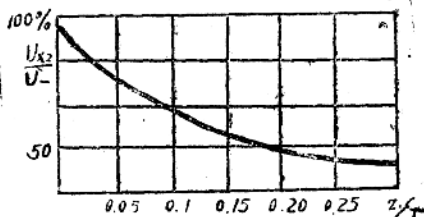


图2 不同 τ_1 作用下，线圈第一个辐向油道所受电压 U_{x1} 与直角波作用的比值

由于梯度电压是变压器纵绝缘设计的基础，对于确定大型变压器的线圈绝缘、线圈的辐向油道，分接开关结构具有决定性意义。多年来，高压绝缘的科学技术工作者都力求在理论上进行分析。

在(1)式中，其 $U(x,t)$ 可由振荡过程中线圈各点可能引起的最大电位

(中性点接地或中性点绝缘)的公式^{[1][6]}确定。由于谐波级次较低的基波其空间上的变化率较小,所以在时间很短,由相邻线饼间瞬时电位差决定的梯度电压时,作用不大。梯度主要由谐波级次高的空间谐波决定。图4所示为SFP—120000/220变压器上第三油道梯度波形,其全波、截波变化极快,作用时间很短,由尖脉冲和高频振荡组成的情况。

由于梯度电压主要由高频的空间波决定,所以若采用对 $U(x,t)$ 求导数的方法时,必将引起许多项收敛很慢的三角函数的计算,这将发生很大困难。

长时期以来认为,能较好说明梯度电压规律的,并能和实验结果基本相符合的,也是较早出现的一种理论是福里德 (E.C.Фрид) 理论^{[1][6]},这里不作详细介绍了。必须指出,由于福里德理论作了一些基本假定,如在分析中假定线圈是均匀的,因而对实际线圈结构为不均匀的情况下,则计算所得结果必然要产生误差。因而最终结论是应该通过冲击测量数据加以验证。

二、纠结式线圈的纵绝缘

在冲击电压作用下,沿变压器线圈轴向起始电压分布,与线圈结构形式有关。

我国各变压器制造厂生产的高压大型变压器普遍采用纠结式线圈 (220kV及以上) 或部分纠结式 (纠结连续式) 线圈 (60、110kV)。目的是为了改善沿线圈轴向起始电压分布。从而改善了梯度电压分布。

纠结式线圈是采用特殊的线圈绕制方法,使线圈的纵向电容增大,从而使分布系数

$\alpha (\alpha = \sqrt{C/K})$, 其中C为对地电容; K为纵向电容) 变小, 改善了起始电分布。

对于连续式双饼线段 (图5) 的纵向电容, 按静电能量原理^[4] 可得:

$$K_z = \frac{N-2}{N^2} C_n + \frac{2}{3} C_b \approx \frac{C_n}{N} + \frac{2}{3} C_b \quad (2)$$

式中: K_z ——双饼线段的等值电容;

C_n ——辐向相邻线匝间电容;

C_b ——相邻线饼间电容;

N ——双饼线段匝数。

对于纠结式线圈的双饼线段称为纠结单元 (图6), 其纵向电容^[4] 可表示为

$$K_z = \frac{C_n}{4} (N-4) + 1.2 C_b \quad (3)$$

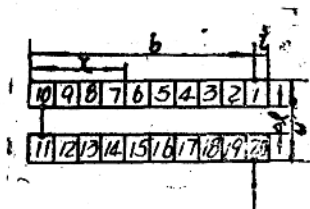


图5 普通连续式双饼线段

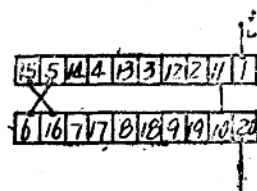


图6 纠结式双饼线段

对于两根以上导线并绕的纠结式线圈，其等值电容会相应增大，可用下式〔4〕近似计算：

$$K_z = \frac{C_n}{4} N + 1.2Cb \quad (4)$$

若纠结式分布在两个双饼线段上时，即双纠结绕法时(图7)，电压在两个双饼内为线性分布时计算其静电能量，则每一双饼的等值电容可由下式〔4〕计算，

$$K_z = C_n (N - 6) + 1.5Cb \quad (5)$$

比较(2)式与(3)、(4)、(5)式可以看出，纠结式双饼线段比连续式双饼线段的纵向等值电容增加了很多，从而 α 减小，起始电压分布均匀，并接近于直线(图8)，沿线圈轴向的梯度电压分布得到了改善。

纠结式线段纵向电容增大的根本原因是由于匝间电位差增大、从而大大加强了匝间储存的静电能量的结果。

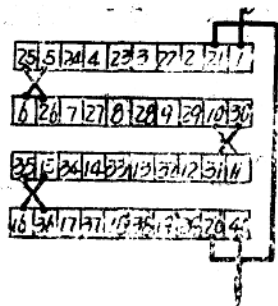


图7 在二个双饼线段上的纠结式绕法

对于纠结连续式线圈，其线圈全长(L)与纠结部分长度(L_v)之比，称为纠结比(V)，即 $V = L_v/L$ 。不同纠结比的高压线圈的起始电压分布表示于图9中，由此可见，当

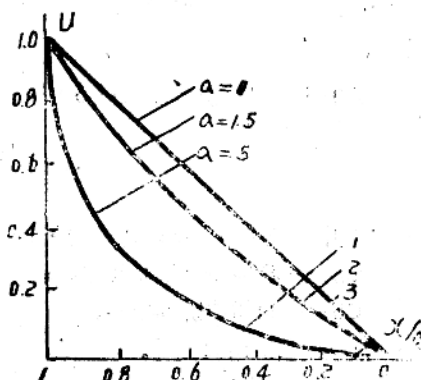


图8 在冲击电压作用下沿高压绕组的起始电压分布

1—连续式线圈； 2—纠结式线圈； 3—线性分布线圈

线圈采用纠结连续式时 ($0 < V < 1$)，在线圈首端的梯度电压要比连续式 ($V = 0$) 为小。

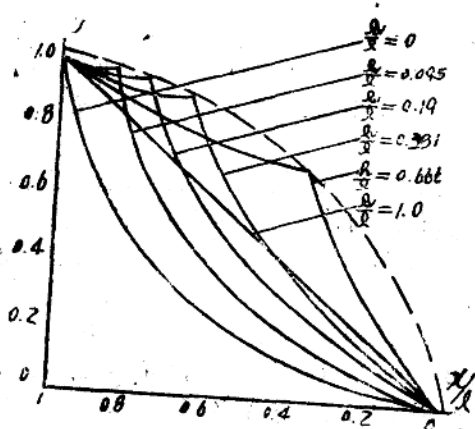


图9 不同纠结比时纠结连续式线圈上的起始电压分布

对于两个相邻线段上的导体之间的最高梯度电压，线圈中的连续部分：

$$U_{am} = U_m \frac{1}{N_a} 2 \left[\frac{\partial U}{\partial X} \right]_m \quad (7)$$

线圈中的纠结部分：

$$U_{am} = U_m \frac{1}{N_a} K_r \left[\frac{\partial U}{\partial X} \right]_m \quad (8)$$

式中： U_m —— 冲击电压幅值；

$$K_r = \left(\frac{2}{N} \right) \left(-2 + \frac{3N}{2} \right), \text{ 当 } N/2 \text{ 为偶数时；}$$

$$K_r = \left(\frac{2}{N} \right) \left(-1 + \frac{3N}{2} \right), \text{ 当 } N/2 \text{ 为奇数时；}$$

N —— 双拼线段内的匝数；

N_a —— 线圈内串联的线段数。

以上的 (7) 式与 (8) 式仅是考虑轴向电场强度计算线圈的线段之间的梯度电压。对于几何形状均匀分布的线圈，电场强度的矢量为轴向电场强度 (E_x) 与径向电场强度 (E_r) 之和，

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_r \quad (9)$$

电场强度按线性分布时， $\vec{E}$ 与 E_x 成正比，而实际上电场强度 $\vec{E}$ 是非线性分布

当纠结比在 $0 \leq V < 0.6$ 的区间内时。在线圈的连续部分中沿轴向的最大梯度电压可由下式求得：

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\partial U}{\partial X} \right]_m \\ &= U_m \frac{\sqrt{C_0/K_0}}{L} (1 - KV) \\ &\approx U_m \frac{\alpha}{L} (1 - KV) \end{aligned} \quad (6)$$

式中： C_0 —— 对地总电容，等于 nC_1 ；

K_0 —— 总纵向电容，等于 K_z/n

K —— 系数，与线圈布置有关，对于双同心布置的线圈，取 $K = 0.67$ 。

的,通过大量试验证明,纠结连续式线圈的最高轴向电场强度出现在辐向电场强度降低到最低值的区域(沿图9中虚线)。E沿线圈轴向改变了方向,使按线性考虑的经验数据不能用,为此要对不同结构的线圈进行冲击测量试验。

通过对纠结连续式线圈的最大电场强度E的测试,发现这种型式的线圈,如果纠结线段的位置安排适当,在相同绝缘尺寸条件下,能够比全纠结式绕组有更高的击穿强度。这就与只考虑轴向电场强度 E_x 的情况相反,因为在一定条件下,辐向电场强度 E_r 起了作用。

必须注意到,在冲击电压作用下,线圈线段间梯度电压较大,并且是非线性分布,通常靠近首端的几个线段的梯度电压最大,因而就有可能在冲击电压作用下,线段之间沿直撑条发生放电的可能性。所以改善线圈线段、特别是首端几个线段间梯度电压分布是很重要的。

纠结式线圈一个纠结单元,其单元内的油道称为向外油道;单元之间的油道称为向内油道。传统纠结式线圈均采用第一段最外第一匝进线(图10)。由此可见,此时向内油道内表面轴向电场间的梯度电压($14-8=11$),约为向外油道梯度电压($8-1=7$),的1.5倍左右。

若图10第一段最外第一匝进线改为第二匝进线(图11),则其向内油道表面轴向电场的梯度电压得到了明显的改善。

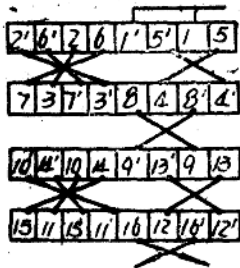


图10 传统双—双2根插花
纠结式线圈示意图

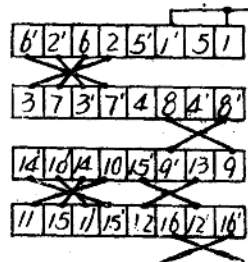


图11 改进后双—双2根插花
纠结式线圈示意图

近年来,变压器制造厂对220KV级电力变压器的冲击电压试验结果充分说明了上述情况,采用图10型全纠结式线圈有的发生了放电,而且放电部位都是从进线端的第一个向内油道内表面开始。因此,传统纠结式线圈的向内油道内表面是冲击电压试验时绝缘的薄弱点,降低纠结式线圈向内油道内表面的轴向电场强度,可以提高纠结式线圈承受冲击电压的绝缘强度。

还必须注意到,纠结式线圈由于匝间电位差增大,线圈绕制时匝间可能产生机械损伤,从而形成匝间绝缘的薄弱点,同时鉴于变压器运行中匝间绝缘事故率占绝缘事故率的比例很大,因此,目前变压器厂为了提高匝间绝缘强度,已经采取了增加匝间绝缘厚度,即将原来的匝间绝缘厚度提高一级:0.45/2提高到0.95/2;0.95/2提高到1.35/2;1.35/2提高到1.95/2等。

这样对于提高匝间绝缘强度是一项重要有益措施。

三、电力变压器线圈纵绝缘的选定

电力变压器绝缘结构中的薄弱环节是线圈的纵绝缘，尤其是线圈的匝间绝缘。变压器运行中发生的绝缘事故很大部分是由于线圈的匝间绝缘损坏造成的。

由上述可知，变压器线圈纵绝缘的结构尺寸主要决定于梯度电压，

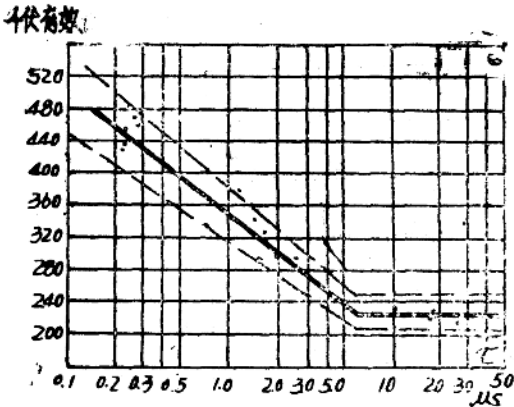


图12 绕组间绝缘的伏秒特性曲线，油道8.6毫米，油道间两边绝缘厚2毫米

但是首先必须注意到油间隙和固体复合绝缘的耐电强度与冲击电压作用的时间有关。

图12所示为线间绝缘两边共厚2毫米及油道为8.6毫米时的伏秒特性^[8]。由此可见，当冲击波作用小于5 μ s时，则冲击波作用时间越小，则绝缘的耐电强度越高。

在绝缘结构设计中，根据已知线圈各点的梯度电压以及所使用的绝缘材料的许用电场强度，结构型式和油道的大小（符合散热要求），就可以确定所需纵绝缘尺寸。我国生产的油浸式电力变压器的线圈都是采用纸包扁铝（铜）线绕制的，其绝缘是由0.08、0.12毫米电话纸包绕的。在高压变压器中采用纸作为线圈匝间绝缘，是因为纸的介电系数与油较为接近，从而使电场分布较为均匀。必须注意，不能按油间隙全部击穿来选择固体绝缘厚度。虽然在某些情况下油隙允许在试验电压下发生局部击穿，但在大多数情况下是不允许的。因为局部产生不可恢复的击穿痕迹可能导致固体介质的破坏和击穿。

变压器线圈匝间绝缘发生某些局部损坏，目前还很难通过试验发现，同时，匝间绝缘在线圈绕制时分散性很大，因此在匝间绝缘结构设计中通常采用较大的裕度。

必须注意到，作用于线圈匝间绝缘上的工频电压是和匝数成正比的，所以纠结式线饼上的电压要远较连续式为大，在冲击电压作用下匝间将出现更高的冲击电压，特别在纠结连续式线圈中的纠结过渡部分的匝绝缘选定时应采用较大裕度。

当采用多层电缆纸绝缘的铝线和铜线，以及线段之间具有密实固体绝缘情况下，其一分钟工频或1.5/40 μ s冲击电压作用下的最小击穿电压与绝缘厚度的关系如图13及图14^[8]所示。

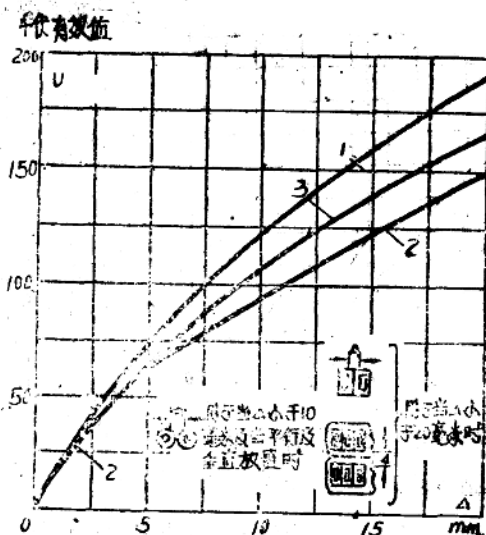


图13 工频电压下匝间绝缘及线段间密实固体绝缘的耐电强度
1—纸绝缘, $t=75^{\circ}\text{C}$; 2—纸绝缘 $t=25^{\circ}\text{C}$; 3—漆布绝缘 $t=75^{\circ}\text{C}$

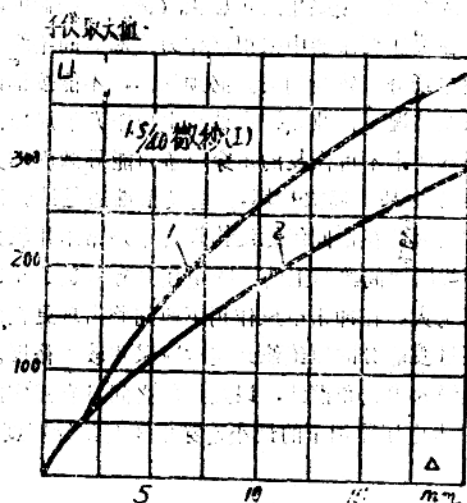


图14 匝间绝缘及线段间密实固体绝缘的冲击耐电强度。
1—绝缘纸 2—漆布绝缘

匝间绝缘尺寸，对于线圈的辐向尺寸有很大影响，从而在很大程度上影响变压器的技术经济指标。对于超高压巨型变压器在一定程度上起着决定性作用。

线圈线段间绝缘，通常由辐向油道（图15a、b）或纸圈（图15c）等组成。

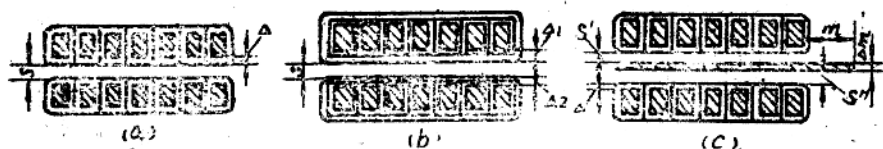


图15 线圈线匝之间与线段之间的绝缘

当相邻两线段绝缘的厚度相同（图15a）时，则绝缘厚度采用一段两边的绝缘厚度“ Δ ”，即线匝两边的绝缘厚度，如加强绝缘时，应加上全线段两边的加强绝缘。

如果相邻线段的固体绝缘厚度不同时（图15b），则耐电强度可按等值厚度来估计：

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + 2 \Delta_2}{3} \quad (10)$$

式中： Δ_1 ——较大绝缘厚度，

Δ_2 ——较小绝缘厚度。

如果线段间采用了厚度为 Δm 的纸圈（图15c）并突出于线段绝缘边缘为 m ，则其耐电强度可按等值油道 S 来估计：

$$S = S' + S'' + 0.3 (\Delta m + 2 m) \quad (11)$$

式中： S' ——纸圈上面的油道尺寸，

S'' ——纸圈下面的油道尺寸，

Δm ——纸圈厚度，

m ——纸圈突出长度，其极限不大于厚度的 6 倍。

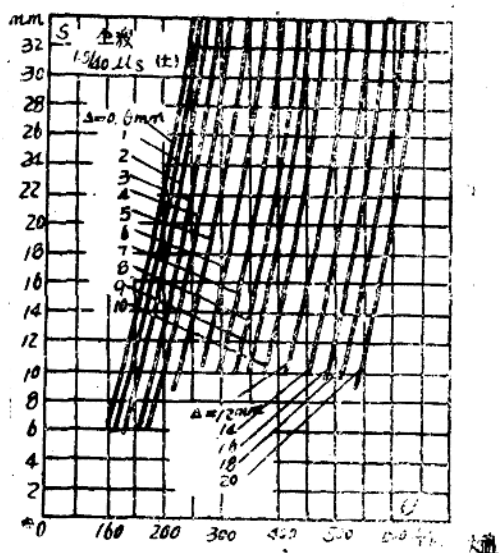


图16 1.5/40微秒全波(±)作用下线圈间绝缘耐电强度,
Δ—固体厚度; S—油道

图16表示在1.5/40 μ S冲击波作用下下线段间绝缘(各种不同绝缘厚度的固体绝缘及各种不同大小的油道)的耐电强度关系曲线[3]。

必须指出,虽然当已知沿绝缘元件的梯度电压分布,导电及接地部分的结构型式和固体及油绝缘的击穿场强的情况下,可能用计算方法求得最大场强部位,并根据试验数据,而近似地计算出纵绝缘的尺寸,但因为线圈纵绝缘的多样性,夹层绝缘击穿机理的复杂性,以及油的击穿电压与各种因素(杂质、水份、气泡和温度等)有很大关系,因而纵绝缘尺寸的选择是很困难的。目前主要是采用试验方法,通常是以降低的冲击波电压加于模型或实体变压器上,即采用冲击测量方法,以便为绝缘结构设计取得可靠数据。

四、结语束

综上所述,对电力变压器的纵绝缘,可以得出以下几点看法:

1、日前从变压厂来说,由于在产品或模型上进行了不少的冲击测量试验,因而对于匝间绝缘厚度、油道尺寸等都取得了许多经验,为高压大型变压器的纵绝缘设计提供了数据。

从变压器运行部门来说,几年来对高压变压器绝缘事故,特别是变压器线圈的匝间绝缘事故统计、分析工作,积累了可贵的经验。

2、为了降低纠结式线圈向内油道内表面的梯度电压,提高线段之间的绝缘强度,采用由第一段第二匝进线是一项重要措施。

3、为了提高线圈匝间绝缘的耐电强度,从而使绝缘具有较大的绝缘裕度,对于超高压大型变压器来说,提高匝间绝缘厚度是完全必要的。

必须指出,由于我国各变压器制造和科研单位,开展相应的试验研究工作,特别是关于绝缘基础理论研究工作还不够,因而还不能适应生产高电压等级(500KV及以上)和大容量变压器的需要,这是今后必须注意充实和加强的。

参考文献

- 1、哈尔滨电工学院：电气绝缘结构设计，1966年。
- 2、西安交通大学：绝缘结构设计和工艺，1975年。
- 3、〔苏〕西洛琴斯基：高压工程，第二卷，水利电力出版社，1958年。
- 4、哈尔滨电工学院绝缘教研室：电力变压器绝缘，北京电力试验研究所，1978年。
- 5、西安变压器电炉厂：变压器基础知识〔八〕
《变压器》，1973、No. 4。
- 6、陈鹤声：变压器冲击波作用下的过程，《变压器》，1973 No. 5。
- 7、高兴耀：纠结式线圈向内油道内表面轴向电场的改善，变压器。1978。No. 5。

大型电力变压器主绝缘结构

东北电力学院 陈化钢

一、概述

一、概述

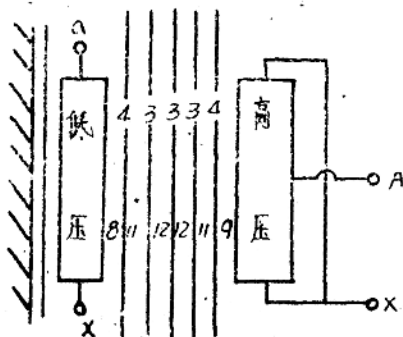
在现代大容量高电压的电力系统中，变压器绝缘仍为主要问题之一。

变压器绝缘可分为内绝缘和外绝缘。变压器的内绝缘又可分为主绝缘、纵绝缘和引线绝缘。

变压器的主绝缘是指某一绕组与接地部分间以及与其它绕组间的绝缘，它由变压器的一分钟工频耐压和冲击耐压所决定。主绝缘结构因电压等级和绕组型式不同而异，在油浸式电力变压器中，主绝缘以油屏障绝缘和油浸纸绝缘为最常用。35千伏以下变压器，一般采用硬纸和油间隙构成的油屏障结构，这里所说的硬纸是指含有酚醛漆等胶粘剂的板、片、筒和角环等作极间障者。这种硬纸和油的油屏障结构中，油间隙起主要绝缘作用，间隙距离和纸筒厚度都较大，然而两者相比，间隙距离常是纸筒厚度的若干倍。故通常称之为厚纸筒大间隙，其概念是建立在油间隙一旦被击穿，厚纸筒也能承受全部试验电压。对35千伏以上的变压器，常采用软纸和油所构成的绝缘层和油间隙结构型式，这里所说的软纸是指电缆纸、电话纸或绝缘纸板的板、片、筒和角环等作为绝缘或层极间障的结构。在主要由软纸和油组成的绝缘结构中，有时油间隙宽度不过是绝缘总厚度的30%左右，故通常称之为薄纸筒小油隙结构，其概念是建立在油间隙一旦发生击穿，纸筒就丧失绝缘能力，因此要求纸筒能耐受住试验电压是没有必要的。

目前，高压电力变压器高压绕组最常采用的结构，是油和纸组成的所谓薄纸筒小油隙结构，其示意图如图一所示。一般说来，纸板厚度小于4毫米，油道宽度小于15毫米，绕组附近油道宽度约为8~10毫米。而低压绕组则仍采用厚纸筒大间隙结构。

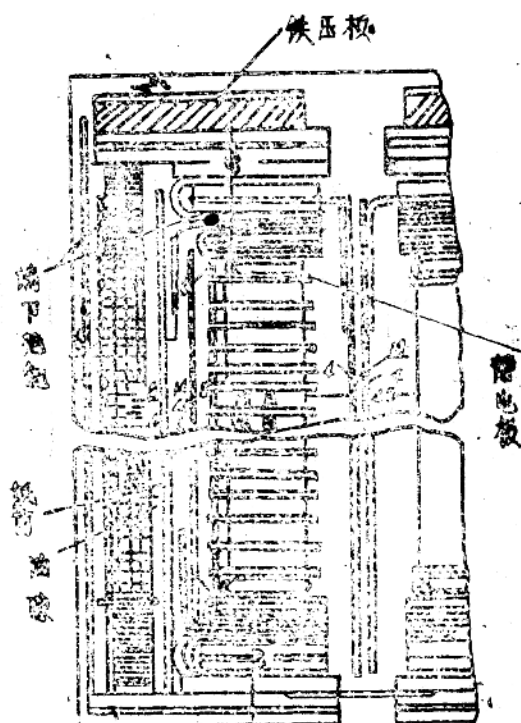
本文主要介绍60千伏和220千伏大型电力变压器高压绕组的主绝缘结构。



图一 薄纸筒小油隙结构示意图，

二、60千伏、110千伏、220千伏电力变压器的主绝缘结构

60千伏、110千伏、220千伏电力变压器的主绝缘结构如图二、三、四、五、六所示。



h_g 不小于 25 厘米

电压试验 电压 (kV)	C	δ
35 及以下	12	4
45	15	5
95	24	5

图二、60千伏级圈双电力变压器的主绝缘结构（全绝缘，
工频试验电压140千伏，全波冲击电压330千伏）