

技术报导

JISHU

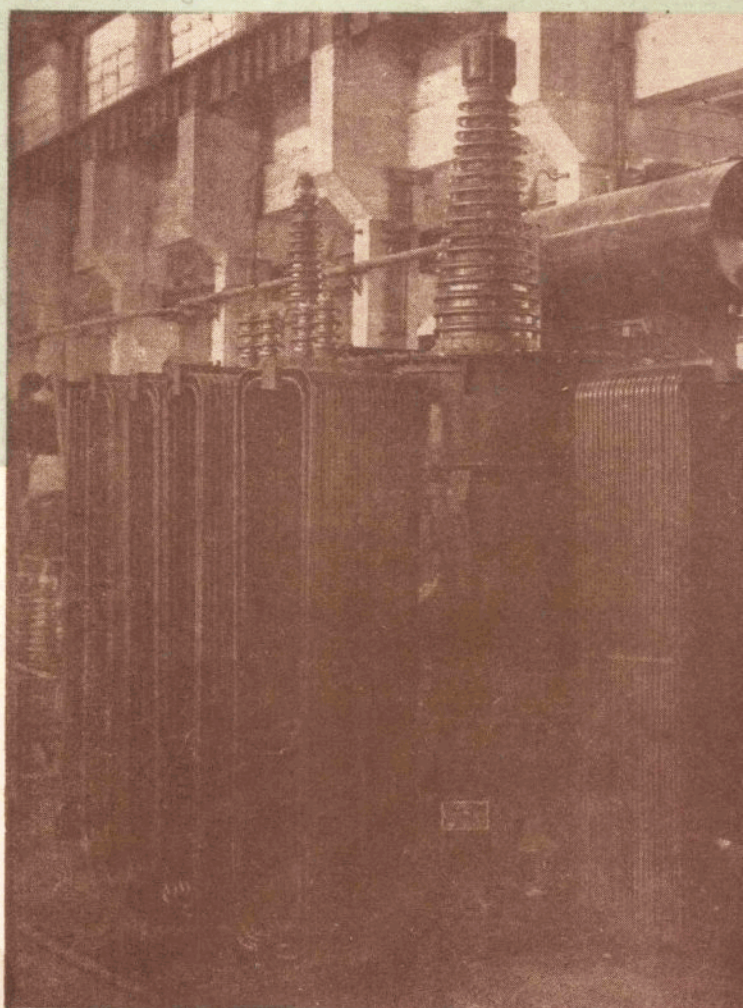
BAODAO

图书馆

DFL—40000/220

大型超高压电力

变压器



1958

5

沈阳变压器厂

目 录

专 论

1. 瑞典 ASEA 变压器車間參觀所見.....周茂培 (1)
2. 絕緣电木筒制造工艺.....王凤恩 (2)
3. 水冷变压器設計 (續完).....鵬新民 (6)

試驗 研究

4. 110 仟伏級电力变压器主絕緣的試驗研究..... (12)

技术 綜 述

5. 电纜电容絕緣电流互感器.....齐潤堂、陈中杰 (19)
6. 农村用成套变电站的介紹.....崔玉波、黄杏堂 (21)

技术 革新

7. KSG 自动焊接机构.....赵树人整理 (23)
8. 螺杆自动点焊.....赵树人整理 (25)
9. 快速炼鋼法——記时曲綫.....赵树人整理 (26)

新产品介紹

10. 我国第一台 SFSL—60000 仟伏安 110 仟伏巨型变压器試制成功..... (26)
11. 我国第一台 DFL—40000/220 型特高压巨型变压器試制成功..... (27)
12. LCLWD—220 仟伏新型电纜电容式电流互感器..... (28)
13. 世界先进水平的干式成套变电站試制成功..... (29)
14. 又一台具有世界水平的 SYXZ—I—60/220—2、13、5 有載分接开关試制成功..... (30)
15. 我国第一只 220 仟伏电容式出綫套管試制成功..... (32)
16. 世界水平的 ATT 电桥試制成功..... (32)
17. 1800 仟伏冲击电压发生器 25 仟安冲击电流发生器試制成功..... (33)
18. LXC—12 型另相序电流互感器..... (35)
19. 供高压設備用 MB□—220 型套管..... (35)
20. 供高压設備保护用 LTD—220 型电流互感器..... (36)

譯 文 摘 要

21. 冷固不飽和聚脂澆注絕緣..... (36)
22. 戶內用塑料絕緣互感器..... (39)

編 者

出 版 沈 变 技 术 报 导 組

发 行

印 刷

地 址 新 华 印 刷 厂
沈阳市鉄西区北二路二段八号

瑞典 ASEA 变压器車間參觀所見

总設計師 周 茂 培

我此次在瑞典斯德哥尔摩参加国际电工會議期間，曾有机会随同我国赴瑞挪考察团訪問了瑞典 ASEA 电气公司，并參觀了他們的一些工厂。我們在六月二十六日參觀了变压器車間。由于時間安排得很紧，整个变压器部分仅安排了两小时。因此所見所聞帶有很大的局限性，參觀也是极不全面的。

瑞典 ASEA 电气公司的变压器生产部分是該公司罗特維伽(Ludvika)工厂的一个組成部分。年产变压器約三百萬千伏安。自 1936 年起瑞典所建成的 220 千伏輸电綫路及 1952 年起所建成 380 千伏輸电綫路的变压器設備均由該厂生产供应。据估計該两种电压級次的变压器总生产量已达一千余萬千伏安。由于瑞典首先采用 380 千伏級輸电系統，因此 380 千伏級的变压器問世，也引起了世界各国的重視。茲將參觀中的一些有关的变压器結構方面的問題写在下面。

ASEA 变压器車間主厂房有 110 吨吊車兩台，有效吊重約为 180 吨。由于大型变压器的結構及单台容量和运输問題关系最大，瑞典鐵路运输的最大載重量为 240 吨，有效載重約为 180 吨。自軌面至頂点的最大允許高度为 4,800 公厘。因此該厂主要的大型变压器鉄心結構以采用单相五柱式者居多，最大的单台容量不超过 200 兆伏安。約有 80% 的鉄心采用方向性的冷轧矽鋼片。此等冷轧矽鋼片几乎均自美英两国进口。自美国进口者为美国軋鋼公司 (ARMCO) 所供应，矽鋼片成卷寬度为 800 或 1000 公厘，表面有絕緣层。标称損耗数字如下：

千 高 斯	每公斤損耗 (瓦)
10	0.49
15	1.12

英国矽鋼片質量較差，損耗数字約較上表高 10% 至 20%。該厂对于較重要的大型变压器，在原有的鋼片絕緣层上再上一层漆。并采用斜接縫，以降低損耗。由于瑞典不能自制矽鋼片，因此对矽鋼片的有效利用方面也頗为注意。我們在車間參觀时，曾注視一台三相 165 兆伏安 147/12.5 千伏的变压器鉄心，其鉄心柱分級竟达 22 級。由于分級較多，鉄心柱的夾緊螺杆仅采用一排。这样也就相应的降低了鉄心損耗。

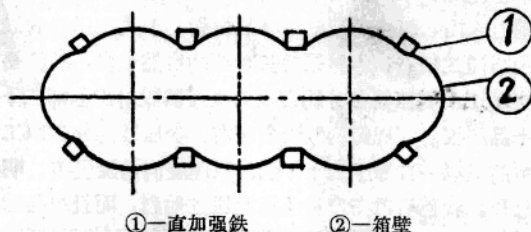
ASEA 工厂生产的变压器全部为內鉄心式，并广泛采用吾人熟知的連續式餅式和螺旋式綫卷。該厂所生产的大型 380 千伏变压器的綫卷也不例外。在欧洲各国制造工厂所广泛采用的多层式綫卷則被認為缺乏足够的机械强度而不被采用。該厂以前所生产过的 380 千伏高压綫卷不帶有任何分接头，調整电压时則借助于另一調压变压器。調压变压器的綫卷一方联接于主变压器的第三綫卷上，并以另一具有帶負荷分头的綫卷作为主变压器高压綫卷的接地点。遇有主变压器的中压綫卷需用相位調整时，也可以采用单独的調相变压器。

近年来由于帶負荷調整开关在电压級次上及容量上有所提高，便有可能在大型自耦变压器上直接裝置調压綫卷。但是特大容量与特高电压的变压器由于运输条件的限制，还是不便將帶負荷調整开关直接按裝于主变压器油箱內。

关于該厂 380 千伏級綫卷絕緣結構的实地觀察，曾預定為我們參觀的重要內容。但在參觀时，并无这种变压器在裝配；且當我們詢問时，該厂引导參觀人員不願作正面回答。該厂既在大型电力变压器上采用通常的連續式或餅式綫卷，似乎必然采用部分补偿电容裝置。但是該厂負責工程師介紹时，仅說在綫餅間安置靜電板。并說补偿电容圈虽可减少段間的电位梯度，但是必然增加电容圈在相邻綫餅間的电位梯度，因此高电位并非消灭，而仅作轉移而已。這個問題我們也該研究。

該厂变压器的油箱及散熱裝置值得注意的几点：

1) 大型变压器的油箱截面往往做成結合鉄心和綫卷的形状，以达到省油的目的。如下图。



絕緣电木筒制造工艺

东北工学院电力系教授 王凤恩
沈阳变压器厂工程师

第一部分：原材料及工模具的准备

在胶木筒的卷繞前，其材料的鉴别与选择是非常重要的，它是决定电木筒質量好与坏的主要关键，通过这样一个手續决定胶木筒卷繞时的温度与速度。如果鉴别和选择不当，则会使卷繞的电木筒烘焙后而起层、起泡或起折楞。

我們現在使用的胶紙厚度是0.07公厘，含胶量一般都在29~33%范围，揮发量7%以下，可溶性树脂应占90%以上。

选择方法：

是以化驗的結果作依据，但由于化驗的过程較為繁雜，有些不便，非有特殊要求者，一般都不做这项試驗。

目前的选料是根据自己的經驗，按物理現象，以目力来观察胶紙的表面漆膜浸涂的程度，来調整卷繞的温度。

我們常用的方法有两种：

(1) 观察法：

是以目力观察胶紙表面，无空白并隱約有較均匀的树脂颗粒。以手捏之无清脆的响声，则为合乎要求。

(2) 加热法：

此种方法是与前方法并用的。即：胶紙撕成50~70公厘的小窄条，叠起貼靠热滾約三秒鐘左右，取下后用

2) 中型以下变压器采用皺折式油箱，較大型者采用排管式，并于管外直繞冷却翅。排管外徑为2吋管壁厚1.5公厘，冷却翅寬25公厘，厚1.2公厘，如此则构成外徑为100公厘的冷却管。冷却翅緊繞于排管上，仅在起点与終点处和冷却管相焊接。这种結構是用来提高排管单位面积的散热效能而不增加材料消耗量。更大型者则采用排管吹风式，于排管外层装置擋风屏，以与箱壁間构成风道，风向则与冷却翅方向平行，采用排管吹风式者以橢圓形油箱居多。在运输条件受限制时，每个排管均装有油道活門；以作拆卸之用。排管的間隔距离为150至200公厘。

3) 大型变压器采用强迫油循环吹风冷却者非常普遍。冷却风叶有五种不同的直径即，500, 700, 900, 1200与1400公厘。其中1200公厘的散热能力为110千瓦，1400公厘的散热能力为135千瓦。1200公厘的风叶轉速为550轉/分，每分鐘風量为400立方公尺，油流量为每分鐘1200立升，由5.9千瓦油浸式油泵电动机驅动使油流直接經過二个串联的热交换器。

ASEA 其他变压器类产品也有几个特点，需要一提。如限流电抗器不用混凝土柱，而用塑料槽盒堆砌，电纜不包絕緣。干式变压器仍用“B”級絕緣，綫段間采用瓷垫块，但端部则采用塑料垫块。綫卷紙筒目前仍采用石棉电木筒，将来可能改用环氧树脂。干式变压器的最大容量为2000千伏安。小型变压器仍广泛采用木夹件及綫段圓綫式綫卷，木材系經长时期的自然干燥，并經热油浸漬处理，質量还算均一。

ASEA 变压器部分約有电力变压器設計工程师二十余名，特型变压器設計工程师十余名，估計从事变压器类产品的設計工程师約四十名左右。变压器部分的职工总数不足千人，在資本主义各国中已算是个大厂了。我国目前正以一日等于二十年的建設速度向前发展着。明年变压器的生产量将大大超过欧洲資本主义各国生产量的总和。我們不但在产量上远远超过他們，而且在品种上也将大大領先。超过英国赶上美国已为期不远了。

双手使之合拢，瞬间施以压力，即时将两页揭开。如呈3~4公厘，透明的丝状之粘液，即可按着第二部分之方法处理之。

这样的方法虽然没太大问题，但是缺乏科学上的依据，因此我们还在研究，采用捷克对胶纸的选择方法。

捷克选料的方法：

捷克选料的方法是以 $\phi 112.8\text{mm}$ 的胶纸圆片四层，在 $150^{\circ}\text{C}\sim 175^{\circ}\text{C}$ 的热板上用30\$的压床加压五分钟。如在边缘处胶被压出2~3mm时，则为合乎胶木管卷制需要的粘度的技术要求。如图1所示，这是根据卷管的实际情况所得到的经验。

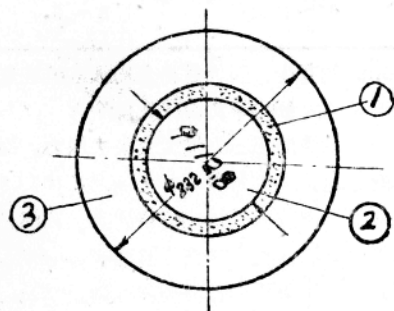


图 1

①被挤出的胶(2~3mm);
②胶纸薄片; ③热板。

胶木筒卷绕前工模具的准备、维护工作

(1) 建立工地服务制度，设调整和准备工人、根据班计划，准备与清理当天当班所需的管芯子和消耗材料工具等。这样不但使卷管工人不间断的工作，发挥机床的效能，也是提高生产率的有效方法。

(2) 关于管芯的维护方法：

除作定期的检查与测定外，并在使用前，应使其表面清洁光滑无油泥、污物、锈斑等杂质附着其表面。

(3) 测定方法与要求：

我们是按着模芯的长度而定，每公尺其弯曲度不超过0.15公厘。锥度每公尺为0.1~0.15公厘，测量方法是以塞尺在0.04误差的平板上进行为宜。

如果超出一定限度需进行磨光修整。否则由于管芯用久的变形和轻微的磨损，而影响到胶木筒卷绕时的直线压力不均。加上纸张纵向施加的拉力，而使得胶木筒表面凸起皱纹。

(4) 管芯的种类和放置方法。

我们目前使用的铸铁的管芯子其结构还不够理想。根据机床的结构要求其中心是穿一 $\phi 60$ 的通心轴杠，操作起来很是笨重。不但管芯中心孔磨损很大，对机床轴承磨损更为严重。按着苏联的先进经验在 $\phi 150$ 以上的管芯，采用钢板弯制。至于 $\phi 70\sim 150$ 则应采用对缝厚皮钢管为原料。当然 $\phi 70$ 以下的都应采用对缝钢管。

为减少管芯的数量，我们还学习了捷克的先进经验。将一些闲置的备用管芯子，卷上一定的厚度胶纸，经烘焙后其表面涂以蓖麻子油，来代替所需用的管芯子规格。此外我们正在研究可调节式的管芯子来代替更多的规格。节约钢材。

第二部分：胶木筒卷绕工艺

胶木筒卷绕工序

胶木筒卷绕工序，其技术性的要求是很高的。因为材料表面酚醛树脂遇热则起化学变化。因此在该工序上的许多重要工艺，需要熟练精确的掌握。并作适当的调节。可使卷绕烘焙后的胶木筒有着良好的电气性能和机械性能，因此卷绕胶木筒时，则需要有如下的工艺要求。

(一) 机床转速与热滚温度调节。

胶木筒卷绕时，胶纸的含胶量、挥发量与温度以及胶纸的进程必须协调。如果配合不当往往由于挥发物质没有从胶木筒低层内排出，经烘焙则气体聚集一处而膨胀，造成胶木筒局部起泡或起楞，或是由于胶体受热温度过高而老化，则使其失去了层与层之粘着力而起层。

正确调整可按下表规定进行，

胶木筒卷制的温度、速度配合范围

含 胶 量	挥 发 物	予热板表面温度	加热滚表面温度	进 料 米/分
32±2%	3~5%	100~110°C	160~170°C	3~6
29~34%	5~7%	110~120°C	165~175°C	3~6
28~33%	3~5%	100~110°C	155~165°C	3~6
28~33%	5~7%	100~115°C	160~170°C	3~6
30~35%	5~7%	115~125°C	165~180°C	3~6

根据上表之規定，热滚与胶紙的接触面，一般应保持 100~150mm 的宽度，因为材料表面涂着的酚醛树脂，受热游动，致使胶紙軟化，可达到紙层間压合巩固的目的，与此同时则大量的挥发物質被排除。

除此，当热滚附着胶垢，应維持平整而无凹陷和凸起面，否则会使胶木筒局部压力过大或失去压力。而使胶木筒无论是紙层間和表面，都有凹凸不平現象，渦茫气体，經烘焙而起泡。

胶木筒的衬紙及第一层的卷繞

(1) 衬紙方法:

胶木筒与管芯間之衬紙，大致可分为五种形式:

- (i) 用0.12或0.07电纜紙，在其端边涂黄干油，帶入热滚与管芯的縫間，并卷在管芯上。
- (ii) 將上胶絕緣紙之端边，涂以黄干油，而后將其平鋪于管芯上，而卷繞之。
- (iii) $\phi 70$ 以下工作用50~60公厘寬胶紙帶，將端角涂黄干油，卷繞之。
- (iv) 管芯表面涂蓖麻油，不垫紙直接將胶紙卷入之。
- (v) 用双面胶紙衬底 2~3 层，后再卷繞单面胶紙。

以上五种方法，其中(ii) (iii) (v) 是我們常用的方法。可使衬紙平整不起折，尤其(iii) (v) 两种方式可使胶木筒內壁光洁无皺折，而便于下工序的清理工作。

(2) 第一层卷繞:

續紙时其端边应成圓弧形，以防止折皺，否則由于續紙的角度不正，而使胶紙不能緊貼管芯，在其端头則出現渦兜，为了挽救这类問題，用小刀沿端头之上斜方向割成斜口。主要的要保持胶紙必須緊密的貼靠于管芯之上，否則会造成胶木筒內壁出現很多皺折。

胶木筒卷繞中发生問題的防止及其注意事項

(1) 卷繞中紙层間粘合的檢查及折楞的处理。

胶木筒在卷繞中除严防油污及夹杂物帶入紙层外，对其层間的粘着也要經常的檢查。以防止胶合不牢或由于热滚温度下降而在其紙层殘留挥发气体。檢查方法用小刀，將卷繞的上胶紙割一尖角揭下，以目力观察表面。如呈有微細的白色粉末，則証明粘合良好。如无粘着痕迹这說明含胶量低。由于承受强度較高，早已固化。因此粘合不牢，处理方法应按前表之規定根据胶量来調节温度。

有的由于胶紙的胶量不均，而在胶量較多的部分，沿筒壁圓周則出現折楞。这时应在折楞处附加一条胶紙，来增加該处的压强。避免折楞的延續。

(2) 卷繞中胶紙縱向拉力:

縱向拉力是胶木筒卷繞的关键工序，对紙层的粘合密实和挥发气体排除与否起着决定性作用。因此胶紙幅表及縱向均須得到均匀的拉力。使能达到上述目的。否則会促成胶木筒紙层粘合松弛。对其拉力的控制一般都是通过杀車的装置，来做适当的調节。

(3) 电木筒卷繞中的直綫压力。

直綫压力与縱向拉力，有着密切关系(成比例)，它也促使紙层密实粘合，并能使胶液均匀的分布在紙层

間，胶木筒的直綫压力一般都在1~1.5公斤/公厘²。但应使筒长与压力两者的中心点相重合，才能使电木筒得到均衡压力。若要偏左或偏右都会造成电木筒之一端紙层松軟。

第三部分：胶木筒烘焙及脫模的技术要求

(一) 胶木筒卷繞后烘焙时的放置。

胶木筒烘焙时装置方法是大直径放置底层。每根間隔应維持5~10公厘。以使其揮发气体得到充分的排除。距离蒸汽排管应在 300 公厘以上。以防局部过热，驟然縮合，而达不到排除其揮发气体的目的。

(二) 烘焙温度及時間。

壁厚 mm	時間 (小时)	
2 ~ 3	7	温度 130°C ~ 135°C
4 ~ 6	10	
7 ~ 9	13	
10 ~ 12	16	

其中包括两小时預热時間，在預热温度是逐漸上升的。以此类推漸次增加烘焙時間。

根据上述規定固然很好，但由于烘爐的限制。我們將壁厚 2 ~ 6 mm 統一按10小时的烘焙時間。7 mm 以上采取脫出管芯后再烘的方法。以适应設備条件及生产的需要。今后我們准备采取苏联的先进技术，用高频加热法，来烘焙胶木筒。这样不但可以大大縮短烘焙時間。同时还可减少大批管芯。

(三) 脫模：

脫模的方法有两种，根据机器的結構而有所不同，一般直径 $\phi 400$ 以下者多采用工件移动，模不动。 $\phi 400$ 以上者工件不动，而模被拖动。这是根据芯子表面与胶木筒的摩擦力的大小而定。

脫法：前者是用擋圈套在管芯及靠着电木筒的端头，用15吨脫管机推动擋圈，使工件与管芯脫离。后者是擋圈固定，用 7.5吨脫管机使管芯由擋圈内里拖出与胶木筒脫离。这两种机床結構虽异，其作用相同。但是效率低，因为我們所用的擋圈是固定式的。因此每当电木筒規格改变，則擋圈亦得随之改变。这就增加操作人的体力劳动。目前我們正在研究改用可調节式的擋圈，以減輕工人的体力劳动和提高工作效率。

(四) 胶木筒的毛头加工及其表面清理：

(1) 毛头加工：

胶木筒毛头加工是在专用鋸床上进行的，其結構如图二所示。

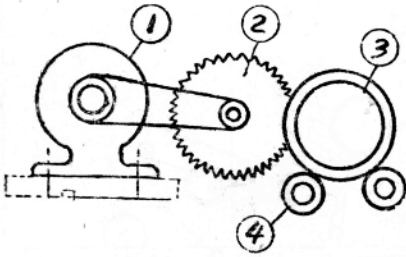


图 2

①电机；②元鋸片；③电木筒；④导轆。

漆膜的厚度以0.92~0.95的比重来控制的。在浸漆前須將漆內气泡进行破裂的处理工作，以防其附在胶木筒的表面上，影响光滑程度。

工件浸漆滴干在室温下，要保持 30~50 分鐘之后进行漆膜烘焙。在 80°C 时經過 2 小时烘焙后，再将温度漸次上升到 135°C，待 1 小时后使漆膜老化，然后进行表面光滑处理，再以同一方法，进行第二遍浸漆。

但在烘焙过程中，其温度应严加控制，以防由于温度波动，而造成漆膜起泡。

現在介紹一下，以虫胶碾压粉末通过震动篩子，分撒在絕緣紙上卷制电木筒的方法。

(五) 表面浸漆：

水冷变压器的設計(續完)

——張新民——

四 水冷式变压器計算程序

(一) 綫圈对油温升計算

根据 ТИ 512 其計算可分为下列各步驟:

1. 按一般計算綫圈表面热負荷的方法計算 q_0 。

$$q'_0 = \frac{21.4 I w \delta k}{p} \left(1 + \frac{P_B \%}{100} \right) \dots\dots\dots (24)$$

其中 I ——綫圈中之电流 (A)

w ——綫段中之匝数

虫胶是一种热硬性物質, 产在我国南方云南一带, 特别是东南亚热带国家較多。它是一种特殊昆虫分泌在树枝上的树脂, 經加工除去杂质, 成淡黄色或黄褐色較脆的小薄片, 易溶于醇, 它具有极大的胶粘性, 但在通常状况下不粘。在 $50 \sim 60^\circ\text{C}$ 时变为柔軟; 温度再高则由軟化而溶化。当繼續加热时凝結而轉为 C 期。温度越高則其凝結过程, 所需的时间越短。

簡要制造过程:

将虫胶片用特殊的碾压机, 将其碾压成粉末后, 通过 #100 目/ Cm^2 震动篩子过滤在絕緣紙的幅表上, 再經过热滾, 按着需要的厚度卷繞于管芯上若干层。然后进行烘焙, 老化、脫模、加工、浸漆等, 加工处理后, 即得与前述同样的絕緣胶紙筒。

图三表示虫胶碾压机, 将虫胶装在盛胶的漏斗里, 机器开动后, 由于本身的震动, 而使胶片自动落入四个碾滾之間, 在彈簧的压力下, 虫胶片即被碾压成粉末。这些粉末再經過震动篩子直接撒在絕緣紙上进行卷制电木筒。

图四是利用虫胶卷制电木筒的示意装置, 其中 1 是震动篩子, 它是受偏心輪的冲击力而震动的, 經震动下来的粉末, 洒布在电綫絕緣紙幅面上, 紙的速度以 $5 \sim 7$ 米/分, 通过 $180 \sim 200^\circ\text{C}$ 的預热板, 使虫胶粉接近熔化状态, 又經過 $190 \sim 200^\circ\text{C}$ 的加热輥, 再熔而卷繞于管芯上。

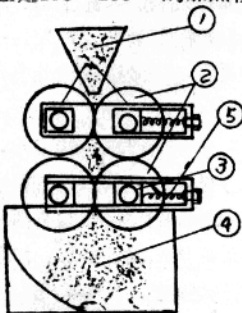


图 3

1. 盛胶漏斗;
2. 碾压滾;
3. 軸承;
4. 虫胶粉末;
5. 压紧彈簧。

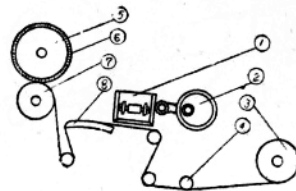


图 4

1. 震动篩子;
2. 偏心軸;
3. 0.12或0.07电綫紙;
4. 导輥;
5. 管芯子;
6. 胶紙筒(工件)
7. 加热滾;
8. 預热板。

用虫胶卷制絕緣胶紙筒, 有許多优点, 因为它熔化后, 流动性很大胶黏力亦极强, 且在 200°C 加热輥的高温情况下也不老化。因此对胶木紙筒的卷繞工序的温度控制頗为便当, 其次由于虫胶受热流动性大, 胶粘力强, 也避免了胶木紙筒的起层、起泡、起折的缺点。

δ ——电流密度 安/公厘²

k ——綫段表面蔽蓋系数

P_B ——附加渦流損耗百分数

P ——綫段截面之周长 (公厘)

2. q'_0 之綫段絕緣厚度校正系数

$$\alpha_{u30} = 1 + 0.364(u - 0.5) \dots\dots\dots (25)$$

u ——綫匝絕緣十綫段附加絕緣 (两面厚度) (公厘)

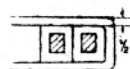


圖 15

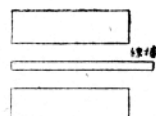


圖 16

3. q'_0 之油道寬度校正数值 β 。此校正系数与油道寬度及綫段幅向厚度有关

A) 油道結構如图16时用表 (二)

表 (二)

*油道寬度 (公厘)	綫段幅向尺寸 (公厘)				
	60~80	81~105	106~130	131~155	155~185
6	400	500	550	650	750
8	120	240	300	390	470
10	—20	100	150	260	330
12	—90	30	80	190	250
14	—170	—50	0	130	190
16	—230	—120	—60	60	120

* 此綫段結構，一个油道被紙圈分成两个油道，此处油道寬度系取此两油道中較大的一个。

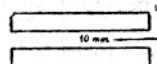


圖 17

B) 螺旋式綫圈結構如图17时用表 (三)

表 (三) 螺旋式綫圈单油道校正系数

*油道寬度 (公厘)	綫圈幅向尺寸 (公厘)				
	20以下	21~30	31~40	41~60	61~80
5	300	370	420	470	520
6	150	220	280	330	380
8	60	120	150	240	300
10	—60	0	60	120	180

* 此油道之寬度不能用圖紙上的油道寬度，而需用比圖紙上之值小一級的数值，例如上图油道寬度为 10MM，查校正系数时应取油道为 8 公厘时之数值，此种取法系由經驗得来。

4. 已知 q'_0 , α_{u30} , β 。

$$\text{則綫圈之热負荷 } q_0 = q'_0 \cdot \alpha_{u30} + \beta \text{ 瓦/米}^2 \dots\dots\dots (26)$$

根据此 q_0 再按图 18 之曲綫查出綫圈对油之平均温升。

(二) 水冷却器中热量轉換的計算

令 T_1 ——油进入冷却器时之温度 °C

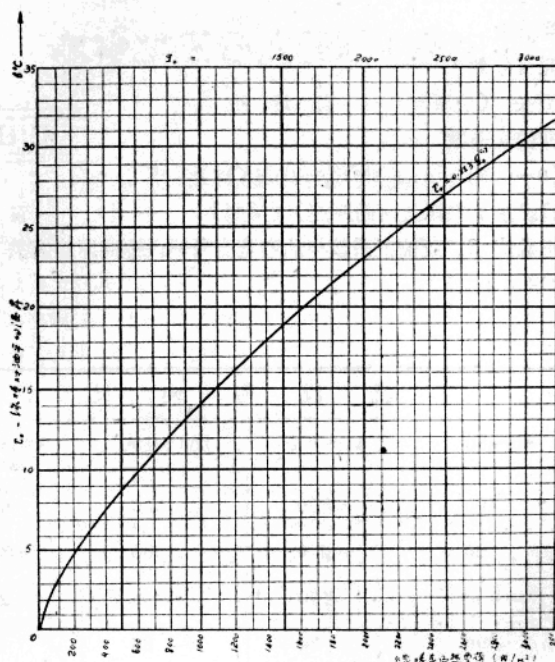


图18 用扁线绕的饼式或螺旋式线圈其线圈对平均油温的平均温升曲线。

T_2 ——油流出冷却器时的温度 $^{\circ}\text{C}$

T_3 ——水进入冷却器时的温度 $^{\circ}\text{C}$

T_4 ——水流出冷却器时的温度 $^{\circ}\text{C}$

Q_1 ——冷却器中之油流量 公升/分

Q_2 ——冷却器中之水流量 公升/分

C_1 ——油之比热在 $T_M=70^{\circ}\text{C}$ 时 $C_1=0.46$ 千卡/ $^{\circ}\text{C}$ 公斤

γ_1 ——油之比重在 $T_M=70^{\circ}\text{C}$ 时 $\gamma_1=0.831$ 克/ CM^3

ϕ_0 ——冷却器之散热面

冷却器型号: Mn-21 $\phi_0=21 \text{ M}^2$

Mn-37 $\phi_0=37 \text{ M}^2$

Mn-65 $\phi_0=65 \text{ M}^2$

Y_m ——油水温度差之对数平均值 $^{\circ}\text{C}$

W ——变压器之总耗 (仟瓦)

计算时先选定 $T_3=25^{\circ}\text{C}$ 再选择 Q_1, Q_2 使保证变压器线圈之温度不超过 95°C T_1 不超过 60°C , 而 Q_1, Q_2 又不能过大, 以免浪费油泵水泵的电力。

变压器需要散出之热量为 W (仟瓦) 由公式 (1)

$$860W = 60Q_1C_1\gamma_1(T_1 - T_2) = 60Q_1C_1\gamma_1\Delta T_m$$

$$\text{或 } \Delta T_m = \frac{860W}{60Q_1C_1\gamma_1} \dots \dots \dots (27)$$

变压器散出之热量假定全部为水所吸收, 则由公式 (2)

$$860W = 60Q_2(T_4 - T_3) = 60Q_2\Delta T_B$$

$$\text{或 } \Delta T_B = \frac{860W}{60Q_2} \dots \dots \dots (28)$$

一般 ΔT_B 約取 $10-15^\circ\text{C}$

由式 (3) $860\text{W} = K\phi_0(T_M - T_B) = K\phi_0 Y_m$

$$\therefore Y_m = \frac{860\text{W}}{K\phi_0} \dots\dots\dots (29)$$

此外 K 之值按照选定之 Q_1 Q_2 由曲线查出,

因为苏联所用的 $Mn-21$ $Mn-37$ $Mn-65$ 均为反向流动

$$\text{由式 (22)} \quad Y_m = \frac{(T_1 - T_4) - (T_2 - T_3)}{2.3 \lg \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3}}$$

$$\text{令 } A = \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3} - (30) \Delta T_M = T_1 - T_4 \quad \Delta T_B = T_2 - T_3$$

$$Y_m = \frac{\Delta T_M - \Delta T_B}{2.3 \lg A} \dots\dots\dots (31)$$

$$\lg A = \frac{\Delta T_M - \Delta T_B}{2.3 Y_m} \dots\dots\dots (32)$$

$$\therefore A = \frac{T_1 - T_4}{T_2 - T_3} = 10^{\frac{\Delta T_M - \Delta T_B}{2.3 Y_m}} \dots\dots\dots (33)$$

由前面 (27) (28) (29) 求出 ΔT_M , ΔT_B , Y_m 后即可由式 (33) 中求出 A , 再进一步由 (30)

$$A - 1 = \frac{T_1 - T_4 - T_2 + T_3}{T_2 - T_3} = \frac{T_1 - T_2 - (T_4 - T_3)}{T_2 - T_3} = \frac{\Delta T_M - \Delta T_B}{T_2 - T_3}$$

$$\therefore T_2 = T_3 + \frac{\Delta T_M - \Delta T_B}{A - 1} \dots\dots\dots (34)$$

$$\text{而 } T_1 = T_2 + \Delta T_M \dots\dots\dots (35)$$

$$T_4 = T_3 + \Delta T_B \dots\dots\dots (36)$$

$$\text{油的平均温度为 } T_{MCP} = T_2 + \frac{\Delta T_M}{2} \dots\dots\dots (37)$$

所以上列计算结果要保持线圈温度即 T_{MCP} 与线圈对油平均温升之和不超过 95°C , 如已超过 95°C 则应变更 Q_1 Q_2 或水冷器之型号及数量, 重新计算, 以保持 $T_{02} < 95^\circ\text{C}$ 。

莫斯科变压器的实际计算中, 为了保证安全计算冷却器时尚考虑了下列两点:

1) W 之值取变压器总耗之计算值加 15%。

2) 考虑到检修水冷器时, 可能要使变压器在去掉一个冷却器的情况下仍能安全运行, 即计算时要加上一个冷却器再加上计算, 而 T_{02} 仍需小于 95°C , 这样做实际上等于给变压器储备了一个备用的冷却器。计算实例见 TP-1253 10-11 页 (ОЦГ-123500/400)

(三) 水冷却系统各部液体阻抗计算及油泵选择

油泵的特性如图 19, 当这油量增加时, 其压力头是下降的, 因此在选择油泵时应先算出整个油管系统中在某一油流量下各处之总压力头消耗量 (或称液体阻抗)。再按油泵特性曲线看, 所用油泵在此送油量时其压力头能否达到此数值。

下面分别叙述管路各部与压力头损耗的计算方法:

1) 水冷本身压力头损耗计算:

水冷器结构比较复杂, 液体的流动方向复杂, 其液体阻抗 (Гидравлическое сопротивление) 计算也很复杂, 现仅根据 ЛМЗ 工厂的资料略谈 $Mn-65$ 的计算方法。

$Mn-65$ 油在管外流动而水在管内流动, 油为交向流动 (因为管外有横隔板), 水冷器对油的液体阻抗 H 可

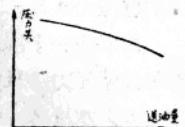


图 19

用下式計算

$$H = Z (\epsilon_0 + m\epsilon) \frac{c^2}{2g} \gamma \quad \text{公斤/米}^2 \quad (38)$$

其中: Z ——橫隔板数目

m ——油橫向流动时繞过管子的数目

c ——油的速度 米/秒

γ ——油的重量 公斤/米³

ϵ_0 ——交向流动轉灣处阻抗系数 $\epsilon_0 = 3$

ϵ ——橫向流动之阻抗系数

根据这个公式 ЛМЗ 算得 Мн-65 在油流量为 100 米³/小时 时 $H = 0.4$ 公斤/CM²

当油流量为其他数值时 H 与油流量的平方成正比, 即 $H = K_1 Q_1^2$ (39)

2) 算各外联接用油管之总液体阻抗:

令: d ——管子内徑 粘度系数 $r = 0.1$ 公分²/秒 = 10^{-5} 米²/秒

L ——管子总长

W ——管子橫截面

Q_1 ——油流量

由一般流体力学公式:

$$\text{流速 } v = \frac{Q_1}{W} \quad (40)$$

$$\text{雷诺系数 (Число Рейнольдса) } R_e = \frac{Vd}{W} \quad (41)$$

$$\lambda = \frac{0.3164}{\sqrt[4]{R_e}} \quad (42)$$

管中之液体阻抗

$$H_2 = \gamma \frac{\lambda L}{2 \cdot 2g \cdot W^2} Q_1^2 = K_2 Q_1^2 \quad (43)$$

3) 各种管接头等附件之局部液体阻抗 (Местные потери) 計算

冷却系統中附件很多, 其液体阻抗系数 ρ 均可由流体力学之参考书中查出。

例如查得: 三分头接管之 $\rho = 2$

$\phi 150$ 油門之 $\rho = 0.1$ 等等

此等附件之总液体阻抗系数为 $\Sigma \rho$

$$\text{则总液体阻抗 } H_3 = \Sigma \rho \cdot \frac{\gamma}{2gW} Q_1^2 = K_3 Q_1^2 \quad (44)$$

4) 整个冷却系統之总压力头損耗为:

$$H_0 = H_1 + H_2 + H_3 = (K_1 + K_2 + K_3) Q_1^2 \quad (45)$$

有了此公式后可以算出之系統在不同 Q_1 时之 H 值, 而不同之 Q_1 可以采用不同数目的冷却器求得。

将此 H 对 Q_1^2 的曲线与油泵之特性曲线划出, 再看看 Q_1 油流量时油泵的压力头是否大于此冷却系統所需要的总压力头 H 。

图 20 中一个冷却器时, 油泵压力头 H_H 大于 H_0 这样是可以的, 两个冷却器时油泵压力头 H_H 小于 H_0 这就不行了。这一点是选择油泵的重要根据。

5) 水冷却中, 油水两个系統中压力差的計算。

为了保証冷却水不渗透到油中去, 在設計水冷却系統时, 应保持水冷却器中的油压比水压大 0.7~1.5 个大气压。

假定变压器装在水坝上, 而冷却器为了节省水泵装在水坝下面, 那么应用下列的方法校正水冷却器中油水的压力差: 在图 21 中

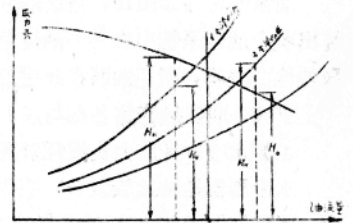


图 20

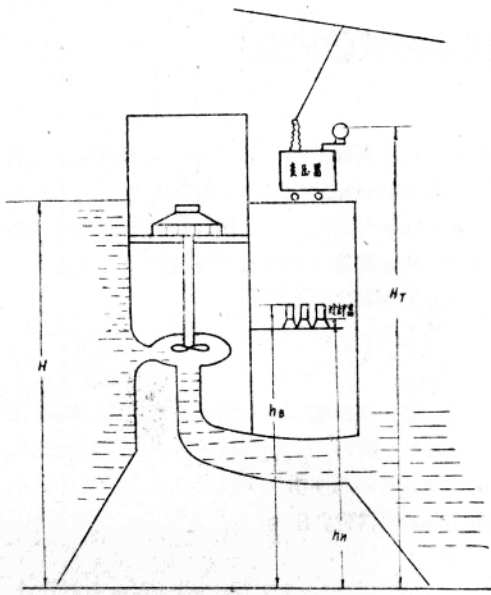


图 21

∴ 水冷却器最高点的总油压

$$H_{DB} = (H_T - h_B) \gamma_1 + H_{KB} \dots \dots \dots (50)$$

水冷却器最低点的总油压

$$H_{DH} = (H_T - h_H) \gamma_1 + H_{KH} \dots \dots \dots (51)$$

计算结果应使

$$\left. \begin{aligned} H_{DB} - H_{BB} &= 0.7 - 1.5 \text{ 大气压} \\ H_{DH} - H_{BH} &= 0.7 - 1.5 \text{ " } \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (52)$$

唯计算时亦应考虑到一个冷却器取下修理其他冷却器中水流量增加时之情况

(四) 马达选择

油泵马达功率可按下列计算:

$$\text{油泵马达功率 } P = \frac{Q_1 \gamma_1 H}{\alpha \cdot \eta} \dots \dots \dots (53)$$

其中: Q_1 ——油流量

γ_1 ——油比重

H ——当油流量为 Q_1 时所需之油压力头

η ——效率约取 0.8

α ——安全系数约取 0.9

一般來說不必按各种使用情况之 Q_1 再去選擇馬达, 只需將某一種冷却系統, 按其使用几个什么型号之冷却器选定一种固定型号的馬达即可。

令 H ——水坝上之水位高度 (均由水坝下之水平面算起)

H_T ——变压器最高点之高度

h_B ——水冷却器最高点之高度

h_H ——水冷却器最低点之高度

那么水冷却器中最高点的水压为 $H_{B.B} = H - h_B \dots (46)$

水冷却器最低点的水压为 $H_{B.H} = H - h_H \dots \dots \dots (47)$

而水冷却器中之油压应等于水位高度与油泵产生之压力点之和。

水冷却器之最高点油位压力

$$H'_{D.B} = (H_T - h_B) \gamma, \dots \dots \dots (48)$$

水冷却器之最低点油位压力

$$H'_{D.H} = (H_T - h_H) \gamma, \dots \dots \dots (49)$$

γ ——油之比重

水冷却器中最高点和最低点处, 由于油泵所产生之压力等于油泵之压力头减去至该处为止, 油管路系统消耗去之压力头, 此种压力头之计算已如前述, 此种压力头我們叫它做动压力头, 分别以 $H_{K.B}$ H_{KH} 表之。

110 仟伏級電力變壓器主絕緣的試驗研究

一、概 述

110 仟伏級電力變壓器在我廠生產量較大，但舊有變壓器的外形和重量都是不太理想的，為了適應新的國家標準和符合本國的具體情況，對此級次變壓器的主絕緣進行了一系列的試驗研究工作，目的是為了：①對原有主絕緣距離進行校對，並了解其絕緣裕度；②為配合我廠四類變壓器改型設計，決定出與新的絕緣水平相適應的絕緣距離；③進一步對變壓器試驗研究取得經驗。這些試驗的成功，將給我廠四類變壓器改型設計提供可靠的理論和實際的依據，如按新的絕緣距離進行改型設計，會節省大量的原材料。

二、工頻試驗電壓及絕緣裕度的確定

變壓器內部絕緣的工頻試驗電壓，通常是以一分鐘耐壓為標準，這一電壓的大小是由操作過電壓來決定的，也考慮了大氣過電壓的作用。根據蘇聯實際的運行經驗及試驗結果，認為 110 仟伏級中性點直接接地的電力系統中，操作過電壓為最大相電壓的 3 倍多，其作用時間為 0.1 秒。考慮到作用於變壓器絕緣上的操作過電壓的衝擊系數——1.35，累積系數——0.9，則與操作過電壓等效的工頻試驗電壓為：

$$\frac{3U_{H\delta}}{1.35 \cdot 0.9} \approx 1.57 U_H$$

亦即等於 173 仟伏※

大氣過電壓是由避雷器特性來決定的。在 110 仟伏直接接地的電力系統中，變壓器的截波試驗電壓為 550 仟伏※※，其中衝擊系數以 2.2 來計算，則大氣過電壓等效的工頻試驗電壓為：

$$\frac{550}{2.2 \cdot \sqrt{2}} = 177 \text{ 仟伏}※$$

根據蘇聯新的國家標準規定，對於 110 仟伏直接接地系統中的變壓器，其工頻一分鐘試驗電壓為 200 仟伏※。目前我國亦擬採用此值。很明顯這裡已經有 10% 以上的裕度。

變壓器內部絕緣的平均击穿電壓以下式計算：

$$U_{np} = U_{cn} \cdot 1.15 \cdot 1.1 \text{ (仟伏}※\text{)}$$

式中：\$U_{cn}\$——一分鐘試驗電壓；

1.15——為計及試驗電壓與最小衝擊電壓的系數；

1.1 為計算最小衝擊電壓與平均衝擊電壓為 225 仟伏※，亦變壓器主絕緣的絕緣裕度為 1.27。

以 1.27 的絕緣裕度，參照新的絕緣標準來確定新的絕緣距離。

三、試驗項目及其結果分析

1. 套管與儲油櫃之間空氣絕緣的試驗

試驗時儲油櫃是以一個 \$\phi 900 \times 1600\$ 的金屬半圓體代替，將其接地。為了避免當間隙距離過大時，因套管本身閃絡，而不能得到準確的試驗結果，故採用 154 仟伏的套管來做試驗，其上部法蘭大小與 110 仟伏相同，這樣不致影響結果。套管與工頻高壓試驗變壓器相聯，如圖一所示。

套管與儲油櫃之間的空氣間隙取以下幾個距離：600、650、700、750、800、850、900 及 960 公厘。對每一距離均進行了放電和一分鐘耐壓試驗，其兩者試驗均進行 3~4 次取其均值，其試驗結果如下。

標準狀態下的放電電壓值用下式計算：

$$U_{Pn} = \frac{[1 + R(11 + r)]}{\delta} U_P \text{ 仟伏}※$$

式中：\$U_P\$——實際的試驗結果值；

\$R\$——校正系數 (\$R=1.2\%\$)；

\$\gamma\$——空氣的絕對濕度；

\$\delta\$——空氣的絕對密度。

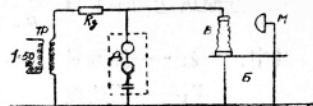


圖 1

圖中：Tp——工頻高壓試驗變壓器；
Rz——阻尼電阻（約 1 兆歐）；
D——峰值電壓測量裝置；
B——154 仟伏套管；
B——油箱；
M——儲油櫃模型；

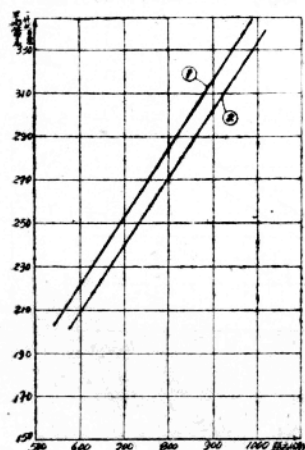


图 2
曲线①套管对儲油柜；
曲线②針尖对平板；
平均放电电压比較曲线

为了进行比较，还用垂直放置的針尖对平板电极作了試驗，两者結果繪成曲线，如图二。

表 1

距 离 (公厘)	960	900	850	800	750	700	650	600
一分鐘耐住电压 (仟伏) ※	300	300	275	275	250	225	225	200

表 1 和曲线的数值已經考虑了周圍大气状态的影响，将实际的試驗之值已折算到标准状态之下值；除考虑室温及气压影响外，还考虑了湿度的影响。从上表和曲线中可以看出具有較大的裕度。如仍以試驗电压为 230 仟伏※来计算，其絕緣裕度为 1.43。

对于新的一分鐘試驗电压 (200 仟伏※)，套管与儲油柜之間的距离可取 800 公厘，其一分鐘耐住电压为 275 仟伏※，平均放电电压为 285 仟伏※，裕度为 1.42。

用实际的套管及儲油柜模型所得的結果，高于用截面为 12×12 公厘² 的針尖对平板的結果，两者之偏差要从电場的观点来看，当距离愈大时，会减小的，而且是可靠的。

II. 套管与套管之間空气絕緣的試驗

試驗按图一，只把儲油柜和 154 仟伏套管同换成 110 仟伏級的套管。試驗結果如表 2 及图 3 曲线所示。

表 2

距 离 (公 厘)	900	850	800	750	700	650
一分鐘耐住电压 (仟伏) ※	325	300	300	275	250	250

上表和曲线图 3 中的数值，同样也考虑了周圍环境的空气温度、压力及湿度的影响。

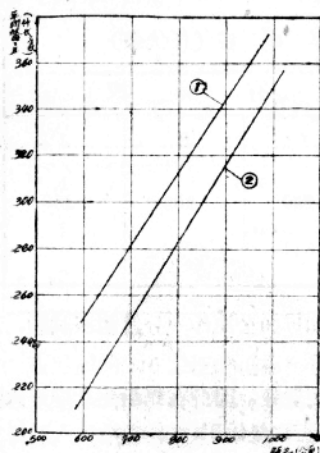


图 3
图中曲线①为套管与套管；
曲线②針尖对針尖电极；
平均放电电压比較曲线。

套管与套管之間距离为 900 公厘时，其平均放电电压为 345 仟伏※，一分鐘耐住电压为 325 仟伏※。以試驗电压为 230 仟伏※为准，其裕度为 1.5。

与新的絕緣水平相适应的，套管之間的距离可取 750 公厘。其一分鐘耐住电压为 275 仟伏※，平均放电电压为 290 仟伏※，以試驗电压为 200 仟伏※来计算，其裕度为 1.45。根据实物和針尖电极的試驗結果証明，也可以用简单的針尖电极来代替套管。

III. 高压綫卷与油箱壁之間的絕緣試驗

試驗采用的是 7500 仟伏安的一个高压綫卷，电压为 110 仟伏級，其高度为 1100 公厘，加强絕緣綫段的外徑为 910 公厘，內徑为 720 公厘 (包括每边 5 公厘厚紙在內)。正常綫段处的最大外徑为 920 公厘，內徑为 710 公厘。C₃ 綫段外之屏蔽綫匝外緣离 C₄ 綫段之外徑为 30 公厘，即是正常运用的变压器高压綫卷。

試驗时将高压綫卷浸在温度为 30°C~32°C，其耐压在 31.4~36.8 仟伏/2.5 公厘的变压器油中，引綫与工頻試驗变压器相联，油箱接地如图 4 所示：

試驗中采用以 C₄ 綫段处之屏蔽綫匝与油箱之距离取 90, 125, 155,

185, 205 公厘, 採用一分鐘耐压, 以每級 25 仟伏逐級上升, 直到击穿为止。在每調一新距离时停 20 分鐘再行試驗。其試驗結果如图五曲綫。

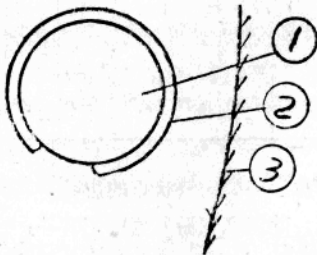


图 4
图中①高压綫卷;②屏蔽綫匝;③油箱壁。
被試物的放置

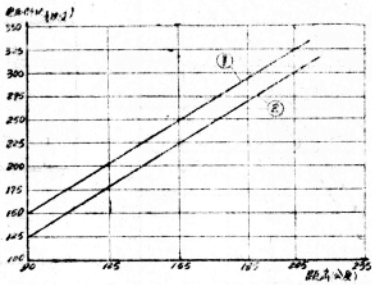


图 5
图中曲綫①击穿电压; 曲綫②一分鐘耐住电压。
一分鐘耐住电压及击穿电压曲綫

目前与一分鐘試驗电压为 230 仟伏相对应的絕緣距离 (油箱到高压綫卷) 为 200 公厘, 从图五看到, 其击穿电压与一分鐘耐住电压分别为 315 及 290 仟伏※。其絕緣裕度約为 1.37。在試驗过程中和結果表明, 击穿絕緣大部分是发生在 C₄ 綫段的屏蔽綫匝处, 只有极少数在 C₃ 的屏蔽綫匝处。因此高压綫卷与油箱壁之間的絕緣距离应该由 C₄ 綫段的屏蔽綫匝外緣算起, 而不是以 A 綫段或正常綫段为准。

从試驗結果得知, 与新的絕緣水平 (200 仟伏※) 相适应的新的絕緣距离拟采用 155 公厘。其一分鐘耐住电压为 225 仟伏※, 击穿电压为 250 仟伏※, 絕緣裕度为 1.25。

IV. 高压綫卷之間絕緣的試驗

試驗用与上述相同的一个綫卷和另配一个用較小的綫卷来代替, 其外徑为 620 公厘, 高为 110 公厘。将两綫卷放入上述之变压器油中, 在两者之間放厚 22 公厘的隔板, 每端比綫段高出 200 公厘, 隔板由 2 公厘厚板和中間放入垫块而組成的, 其寬为 800 公厘, 經過 10~50 小时的浸油处理。

試驗时利用支架将两个綫卷吊着, 大的綫卷与工頻高压試驗变压器相联, 小的接地。試驗时仍以上述方法进行。試驗結果列于表 3。

表 3

距 离 (公 厘)	一分鐘耐住电压 (仟伏※)				击 穿 电 压 (仟伏※)			
	无隔板	有 隔 板			无隔板	有 隔 板		
		1	2	3		1	2	3
60	—	230	235	250	144	250	255	280
70	150	290			170	314		

从上表可以看出, 以試驗电压为 230 仟伏※来计算, 絕緣裕度为 1.37。如以 60 公厘作一分鐘耐压試驗, 以 200 仟伏※計算, 絕緣裕度为 1.25~1.4。

这次試驗相間隔板采用对接的, 試驗中証明, 击穿的部位沒有一次是在接縫处。因此在以后生产中, 大張紙板不足时可以用小張紙板来代替之, 只若接縫处离开 A 綫段 200 公厘以上即可大量采用。

V. 高低压綫卷之間絕緣的試驗

試驗用高压綫卷与前述相同, 低压綫卷为螺旋式与高压綫卷同高度, 外徑为 610 公厘。

为使高低压綫卷之間发生击穿, 其两端絕緣特別加强。試驗用的絕緣材料按产品工艺規程进行处理, 把高压綫卷内层紙筒繞于紙压綫卷的外圈, 内层紙筒为 $\phi 630/636 \times 1250$, 外层紙筒为 $\phi 666/672 \times 115$ 。并在低压

綫和內层紙筒及內外层紙筒之間的上下兩端，裝有絕緣角環其厚度為 5 公厘。裝好后放于溫度為 $28^{\circ}\sim 29.5^{\circ}\text{C}$ 耐壓為 $30\sim 32$ 仟伏/2.5 公厘的油中。紙板本身耐壓：厚 1.5 公厘，平均击穿電壓為 52 仟伏※。試驗是采用外施高壓，電壓是逐級上升的，每級作用一分鐘，每兩級之間停 5~10 分鐘。高低壓綫卷之間采用 50 公厘的，試驗結果是：一分鐘耐住電壓為 225 仟伏※，击穿電壓為 250 仟伏※，其絕緣击穿位于綫卷下端部約 100 公厘外，內外兩层紙筒均被击穿。這個結果表明，可以認為絕緣距離為 50 公厘，其絕緣裕度為 1.25。這是指正常綫段而言的。

Ⅵ. 高壓綫卷與鉄軛壓板之間絕緣的試驗

試驗是采用模仿高壓綫卷的加強綫段的模型和壓板的模型來試驗的，當做距壓板 110 公厘的絕緣試驗時，是用方形截面的電極；在做距壓板 90 公厘絕緣試驗時，是用橢圓形截面的電極。兩者模擬的絕緣結構分別用圖六和圖七表示：



圖 6 距壓板為 110 公厘時的絕緣結構

- 圖中 1. 鉄軛絕緣，厚 32 公厘；
2. 絕緣紙圈，厚 5 公厘；
3. 高壓端圈，厚 20 公厘；
4. 絕緣角環，厚 10 公厘；
5. 相間隔板，厚 22 公厘；
6. 絕緣角環，厚 10 公厘；
7. 絕緣套圈，厚 14 公厘。



圖 7 距壓板為 90 公厘時的絕緣結構

- 圖中 1. 鉄軛絕緣，厚 32 公厘；
2. 絕緣紙圈，厚 6 公厘；
3. 相間隔板，厚 22 公厘；
4. 絕緣角環，厚 8 公厘；
5. 絕緣套圈，厚 22 公厘。

所有絕緣件均經過按工藝規程進行了全面的加工處理；按實際結構裝成，把壓板直接接地，高壓綫卷與工頻高壓試驗變壓器相聯，進行試驗。絕緣厚為 110 公厘和 90 公厘試驗結果如表 4。

表 4

序 号	距 离 （公厘）	一分鐘耐住電壓	放 电 電 壓	备 注
1	110	250 仟伏 ※	300 仟伏 ※	275 仟伏未做
2	90	250 仟伏 ※	275 仟伏 ※	从 250 仟伏起有輕微
3	90	250 仟伏 ※	275 仟伏 ※	斷續放電声

在对旧的 110 公厘的絕緣距離進行試驗時，由于采用方形電極，電場不均勻，因而所得結果偏低。根據試驗放電電壓為 300 仟伏※來計算，其絕緣裕度為 1.3。从上表中可以看，拟采用新的絕緣距離，以新的電壓標準來計算，其絕緣裕度為 1.37。在試驗過程中發現，多數是沿面放電而燒傷，击穿現象不多。

Ⅶ. 高壓引綫沿木件絕緣的試驗

變壓器的引綫都是通過木夾件固定的。由于它处在油箱或夾件等接地角鉄和器身之間，因此引綫之間和引綫與接地角鉄之間的絕緣距離須進行試驗確定新的絕緣距離。這兩項試驗完全采與實際產品相同的模擬模型進行的，各部件完全按工藝規程進行處理，合乎產品的實際要求。把模型放于變壓器油中進行試驗。引綫對引綫沿