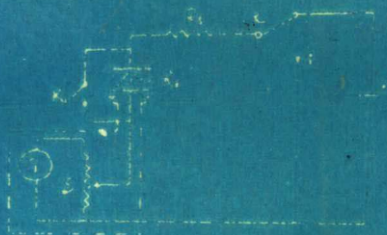


大型变压器

安装调试和运行维护



电力工业局

大型变压器 安装调试和运行维护

胡惠然 编著
曾珍高等 审阅

湖北省电力工业局

1991年3月

出 版 说 明

随着我国电力工业的发展，湖北电力工业也相应迅速发展。湖北电网从1969年全省第一条220千伏输电线路投入运行后，1981年我国第一条500千伏超高压交流输电线路（从河南省的平顶山到湖北省武昌）、1989年我国第一条±500千伏直流输电线路（湖北省宜昌市到上海市南桥）相继投入运行。全省发电装机容量达到700万千瓦，110千伏及以上输电线路近万公里，220千伏至500千伏变电站和升压站40余座，数十台国产和进口的大型高压、超高压变压器在网内运行。我省电业职工和专业工程技术人员在长期的工作实践中积累了不少的经验，在“主变”上做了大量的工作。为了总结经验并在已有基础上进一步提高，我们组织收集了国内外有关大型变压器安装、调试及运行维护等方面的资料和经验，参照国家有关标准，针对我国超高压输变电工程发展的要求，编写了《大型变压器安装调试和运行维护》一书。

全书分三大部份，分别介绍大型变压器的安装、调试、运行维护及故障诊断。同时选编了供现场调试参考用的有关国家标准。本书内容取材较为广泛，以实践为基础又充实了有关理论，具体实例较多，以实用性为主，对有关新技术作了介绍。本书力求满足现场电气人员实际工作的需要，也适用于从事大型变压器专业工作的工程技术人员阅读以及大

专院校有关专业师生参考。

本书由湖北省电力试验研究所高压电器绝缘专业胡惠然高级工程师编著，漆振侠副译审负责编辑统稿。最后由湖北省电力工业局副总工程师曾珍高同志审阅定稿，张德利、杨肇成、汪洋、胡正民等高级工程师也参加了审阅工作。

限于编审者的水平，书中难免有错误和疏漏之处，敬请批评指正，并请返馈意见，以便再版时补充、修改和完善。

湖北省电力工业局

1991年3月

目 录

出版说明

概 述 (1)

第一章 大型变压器的安装..... (15)

第一节 安装工作的基本要求..... (15)

一、防止运输中严重冲撞..... (15)

二、防止绝缘受潮..... (16)

三、防止杂物进入变压器油箱..... (17)

四、要认真清洗和正确安装附件..... (17)

第二节 变压器的装卸和运输..... (18)

第三节 安装工作的准备..... (25)

一、变压器的现场验收..... (25)

二、设备在现场的保管..... (26)

三、绝缘油的验收..... (27)

四、安装工具及设备准备..... (28)

第四节 器身检查和干燥..... (29)

一、排氮..... (30)

二、排油检查..... (30)

三、变压器器身的干燥	(31)
第五节 变压器本体及附件的安装	(44)
一、本体的安装	(44)
二、套管的安装	(44)
三、有载调压切换装置的安装	(47)
四、有载开关的安装要求	(52)
五、冷却装置的安装	(56)
六、油枕(储油柜)的安装	(60)
七、气体继电器的安装	(63)
八、压力释放阀的安装	(65)
九、测量装置的安装	(67)
第六节 真空注油和热油循环	(70)
一、真空注油工艺	(70)
二、热油循环工艺	(72)
第七节 静置时间、密封检查及油位调整	(74)
第二章 大型变压器的试验	(75)
第一节 现场安装中的试验	(77)
一、测量与铁芯绝缘的各紧固件及铁芯引出套管对外壳的绝缘电阻	(77)
二、套管的绝缘试验	(77)
三、套管变流器试验	(79)
四、绝缘油试验	(82)

五、有载调压开关的现场试验·····	(93)
第二节 安装竣工后试验·····	(96)
一、线圈直流电阻测量·····	(96)
二、变压比测量·····	(105)
三、极性和接线组别的测量·····	(110)
四、绝缘电阻及吸收比(极化指数)试验·····	(118)
五、测量绕组连同套管的直流泄漏电流·····	(124)
六、变压器绝缘的损耗因数测量·····	(127)
七、交流耐压试验·····	(137)
八、操作波感应耐压试验·····	(160)
九、现场局部放电试验·····	(189)
十、变压器空载电流及空载损耗测量·····	(200)
十一、短路试验·····	(210)
十二、变压器的噪音测量·····	(216)
十三、整体渗漏和油压试验·····	(222)
第三章 大型变压器的运行维护及故障诊断·····	(224)
第一节 运行维护·····	(224)
一、通电前的检查·····	(224)
二、运行中的巡视·····	(225)
三、定期检查·····	(226)
四、变压器部件的更换·····	(228)
五、允许过负荷要领·····	(229)

六、运行变压器监督.....	(231)
----------------	-------

第二节 变压器的故障诊断.....(234)

一、变压器故障的原因.....	(234)
-----------------	-------

二、变压器故障的类别.....	(234)
-----------------	-------

三、变压器的故障诊断.....	(235)
-----------------	-------

附 录

一、常用物理单位换算.....	(273)
-----------------	-------

压力、力、温度、容积.....	(273)
-----------------	-------

二、交流500KV变压器和套管、绝缘油交接和

预防性试验.....	(274)
------------	-------

1、电力变压器的试验项目、周期和标准.....	(274)
-------------------------	-------

2、套管的试验项目、周期和标准.....	(283)
----------------------	-------

3、绝缘油的试验项目、周期和标准.....	(284)
-----------------------	-------

三、常用温度换算系数.....(287)

1、铜导线直流电阻换算系数.....	(287)
--------------------	-------

2、铝导线直流电阻换算系数.....	(288)
--------------------	-------

3、变压器绝缘电阻温度换算系数.....	(289)
----------------------	-------

4、变压器泄漏电流温度换算系数.....	(290)
----------------------	-------

四、常用的高压硅堆参数.....(291)

五、球间隙放电电压.....(292)

六、部分500kV 变压器的性能参数	(293)
1、500kV 120MVA 167MVA变压器.....	(293)
2、500kV 250MVA单相自耦变压器.....	(295)
3、500kV 300MVA三相升压变压器.....	(296)
4、500kV 360MVA三相自耦变压器.....	(296)
主要参考文献	(297)

概 述

八十年代我国500KV超高压输变电工程建设得到迅速发展。继全国第一条平武输变电工程建成之后，华中、东北、华北、华东等地区的500kV电网均已形成。1989年全国首条±500KV葛上直流输电工程又顺利投产，作为超高压输变电主要设备之一的变压器数量亦日益增多。目前已投入运行的主变压器，从国外引进的占总数的53%；国内自行设计制造的占47%；其中单相变压器最小容量为167MVA，最大容量250MVA；三相最小容量300MVA，最大容量360MVA，500kV电抗器国外引进的占48%；国产的占52%，容量是50MVAR。因此，进一步了解超高压变压器的情况，掌握安装、调试和运行维护的要领是非常必要的。本书根据国内外的有关资料，以及工程建设的实际经验编写而成，内容亦适用于110—500KV级变压器，可供从事本专业的技术人员参考。

1、国内外变压器的发展概况

电力的需求不断增长，意味着超高压输电电压的提高。不少国家为解决能源消耗过于集中及用户与电源相隔甚远的矛盾，近年来有些已采用765—1200KV的输电系统，因此，相应而来的特高压变压器发展十分迅速。国外自60年代就着手研究500KV及以上超高压设备，从变压器制造业来看，主要分布在欧洲及亚洲，约有20多个大的公司，产量占全世

界的60%。目前国内外较著名的厂家如下表所示:

制造厂(公司)	规模及产品运用情况
美国通用电气公司 (GE)	年产量75000MVA,具有制造1000kV 1000MVA变压器的能力
美国西屋公司	年产70000MVA,具有生产1000kV 1000MVA变压器的能力
法国阿尔斯通公司	年产20000MVA,能制造500kV变压器及电抗器,500kV产品在我国已有运行。
联邦德国TU公司	年产38000MVA,可制造500—1200kV级变压器,500kV变压器在我国华东地区运行。
瑞典ASEA公司	在交直流输电方面处于世界领先地位,60年代开始超高压设备制造,500kV变压器、电抗器、CT、PT在国内超高压网路中均有其产品运行。
三菱电机公司(日本)	年产3000MVA,可生产500kV产品,型式多为外铁式(老式)我国很少采用。
东芝电气公司(日本)	67年开始生产500kV变压器,目前已有1000kV产品,500kV变压器在我国江苏省已有运行。
日立国分工厂(日本)	年产20000MVA,500kV产品已制造百余台,单相为1000/3MVA,三相为11000/3MVA,已发展1000kV级产品,该厂产品在我国投运的较多。
富士电机千叶工厂 (日本)	主要生产电力变压器、试验变压器、干式变压器、整流变压器、电炉变压器,67年开始生产超高压大容量变压器和并联电抗器,500kV单相、三相变压器、电抗器在我国已有运行,84年已发展765kV产品。
法国MR工厂	主要生产M型有载开关,数量和质量处于世界领先地位,开关最大电流3000A,最大电压5000V

中国沈阳变压器厂	我国最大的变压器厂,产量占全国一半以上,80年试制成功500kV变压器,能生产单、三相360MVA及以下变压器。产品在东北、华中、华北、华东等地均有运行。
中国西安变压器厂	是我国三大变压器厂之一,80年试制成500kV单相变压器及电抗器产品已在国内华北、华中、东北等地运行。
中国保定变压器厂	是我国三大变压器厂之一,83年试制成120MVA500kV变压器,产品在东北及华北地区运行。

变压器的绝缘基本上由油和纸构成。但随着绝缘技术的进步,上述结构一直在改进和变化。为提高变压器的可靠性和经济性,变压器制造部门开发利用了大型计算机进行优化设计。在电场计算技术中,应用差分法、电荷重叠法及有限元法并趋于自动化和通用化。此外,对磁场,机械力以及结构,电位振荡,温升,噪音等进行分析,力求在降低损耗,缩小尺寸,减轻运输重量等方面有新的突破。同时对大型变压器开展了油流带电现象以及油中尘埃对绝缘性能影响的研究。在运行维护方面,开发了内部故障诊断技术和油中气体自动分析装置等。

2、超高压变压器器身结构的特点

(1) 芯式变压器

这种结构的变压器,是多数制造厂采用的一种传统结构,铁芯柱是内接圆多截面,外部套装线圈,其特点是:

①铁芯——采用宽幅剪切线,取消了心柱拼合。铁片不涂漆,不退火,增加铁芯级数,提高填充系数。铁片迭装改

为 45° 全斜接缝，无铁芯冲孔，代之以无纬环氧带绑扎，降低了损耗。振动和噪音也较低。铁芯材料采用质量高的冷轧矽钢片，如日本的G6H，法国的M6X等牌号，其厚度为0.3—0.23mm。近来还开发应用激光处理矽钢片的新工艺，如三菱公司的ZDKH型号超低损矽钢片，损耗可降低10%左右。

铁芯的结构型式，单相变压器采用单柱旁轭式，中间为心柱，二边为旁轭，轭的截面为心柱截面的一半。三相变压器采用三柱旁轭，（五柱铁芯），中间为三相主柱，二边为旁轭，轭的截面为主心柱的 $\sqrt{3}$ 。单、三相变压器的铁芯柱上均装有屏蔽，以减缓铁芯阶梯菱角处的场强，降低局部放电，大容量变压器铁芯，每隔一定迭层还设有油道进行冷却。

铁芯加工制造时，使有了电子计算机控制的自动剪切生产流程工艺如，图0—1所示，从而使铁芯具备小型、轻量、低损耗和低噪音等优点，如图0—2所示。

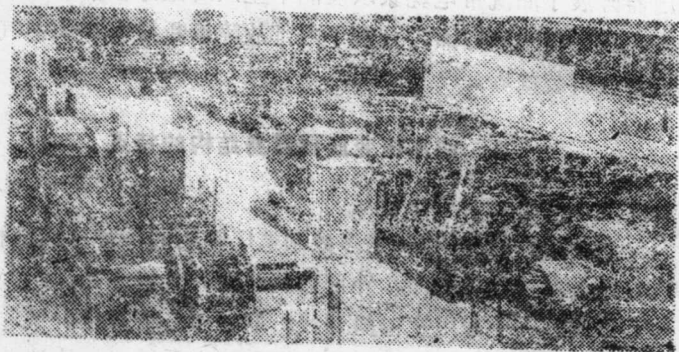
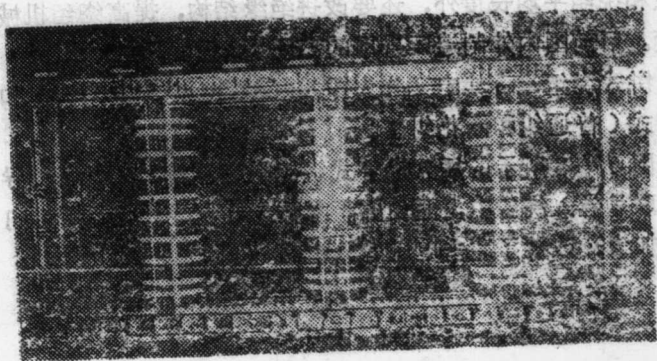
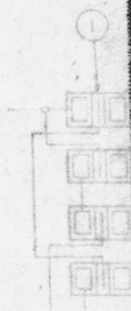


图0—1 自动剪切线

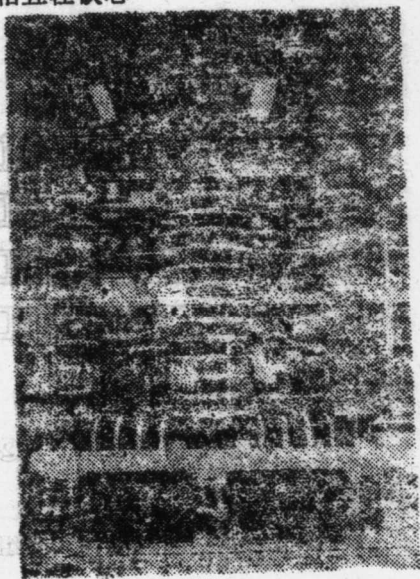
图 0—2 三相铁芯示意图



(a) 三相五柱铁芯



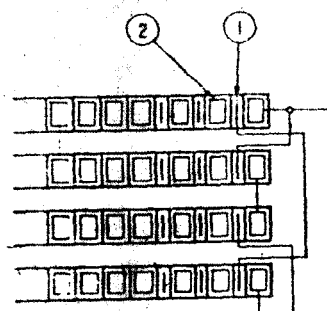
(b) 单相三柱铁芯



②线圈——为减小变压器体积和降低损耗，除减少绕组匝数和绕组平均长度外，还要改进绝缘结构，提高绕组机械强度。目前国内外制造厂采用的高压绕组形式有：

饼式绕组——其中又分为插入电容式（内屏蔽绕组）和纠结式（普通纠和插花纠）。

图 0—3 所示的插入电容式绕组是将屏蔽导体与绕组导体并联地卷入绕组中，而使屏蔽导体与绕组导体之间的纵向电容加大，改善了冲击电压的分布。



①屏蔽

②导体

图 0—3 插入电容式绕组

图 0—4 纠结式绕组

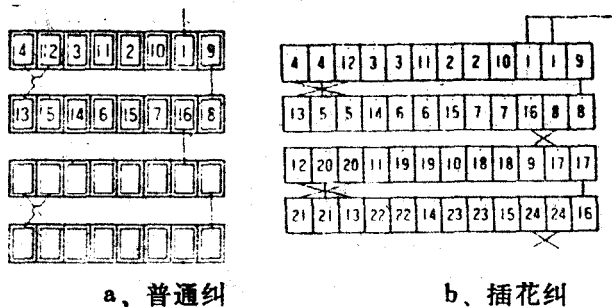
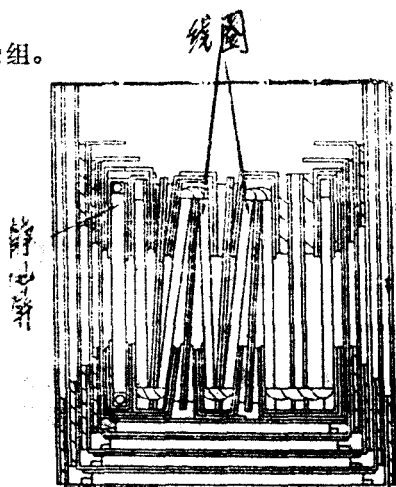


图 0—4 所示为纠结式绕组。

图 0—5 所示为层式绕组（圆筒式）。

图 0—5 层式绕组

这种结构是同心式线圈的最简单形式。工艺性好，便于绕制，层间油道散热效率高，为使起始电压分布均匀，线圈内层放置有静电屏。层间绝缘为电缆纸及油道，线圈两端部用绝缘件填平。不足之处是端部支撑稳定性较差，在超高压变压器中因绝缘层较厚不容易干燥彻底。



超高压变压器的线圈制造，是在密闭式防尘空调（温度 20°C 左右，湿度34—45%）的车间内进行。空调室内其过滤精度是经 $3\mu\text{m}$ 薄膜将空气通入室内，工作人员进出要经空气喷淋，使工作服上的尘埃不带入室内。

绕组采取不浸漆，并利用较先进的煤油气相干燥工艺进行恒压干燥。导体用多根铜线组合成换位导线或自粘换位导线。这种导线是将截面小的奇数根聚乙烯醇缩甲醛电线迭为两层，并将上下两层逐条换位，然后将外周一起加以绝缘。因此导体的宽度和厚度可缩小，损耗减少。如图0—6所示，匝绝缘使用 0.055mm 高密度电缆线。



1、卷装绝缘 2、聚乙烯醇缩甲醛电线 3、绝缘纸

图0—6 换位导线示意图

③绝缘结构——大量使用绝缘成型件和组合式绝缘。引线采用多重隔板绝缘，以波纹纸管作间距绝缘，能缩小绝缘尺寸。端部绝缘，将金属压板改为木质层压板这对提高端部绝缘强度、降低局部放电、减少杂散损耗均有好处。