

☆ 工程师继续教育培训教材 ☆

电力新技术应用

(下册)

湖北省电力公司 编

Gongchengshi Jixu
jiaoyu peixun jiaocai



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

工程师继续教育培训教材

电力新技术应用

(下册)

湖北省电力公司 编

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

为适应新形势下电力专业技术人员继续教育培训的需要,增强培训的针对性和适用性,对电力专业技术人员进行一次比较全面的技术知识普及,《工程师继续教育培训教材》编写委员会组织相关技术专家,编写了本书。

本书是《工程师继续教育培训教材 电力新技术应用(下册)》,共分为四篇。

第五篇为输变电设备新技术应用与发展,主要内容有输变电设备新技术、电力设备状态检测技术、高压直流输电、灵活交流输电系统。第六篇为电网自动化技术,主要内容有电网调度自动化系统站端设备、电网调度自动化主站系统、电能量计量系统、电力市场技术支持系统、电网自动化技术的其他应用系统、自动化系统的安全防护、电网自动化技术发展展望。第七篇为电网企业信息化技术概论,主要内容有计算机硬件、操作系统、计算机网络、数据库技术、计算机信息安全技术、企业信息化概论、信息技术在电力系统中的应用、信息化名词解释。第八篇为电力市场基本理论,主要内容有电力市场营销基本理论、电力客户服务、电力市场营销现代管理及新技术、需求侧管理、电力市场应研究的问题等。

本书既可作为电力行业各专业技术人员的培训用书,也可作为大专院校相关专业师生的教学用书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力新技术应用.下册/湖北省电力公司编. —北京:中国电力出版社,2005

工程师继续教育培训教材

ISBN 7-5083-2933-3

I.电... II.湖... III.电力工业-新技术应用-技术培训-教材 IV.TM-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第135944号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2005年1月第一版 2005年1月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 22.5印张 694千字
印数0001—5000册 定价48.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

编 审 委 员 会

主任委员 周世平

副主任委员 陈瑞亭 胡亚东 张大国

委 员 阮成豪 詹必川 王增清 袁小英 李振柱 薛启龙
蔡 敏 杨木林 詹新华 邹宇兵 朱世俊 王义平
邓大明 王世林 李建平 覃兰平

主 编 周世平

参 编 李火元 李 斌 胡 刚 张叔骅 陈俊杰 王大江
林协丰 李仲英 郑晓东 徐 珮 周凝翠 周少雄
童丹勤 周想凌 舒旭辉 李珞新 祝小红 侯淞学
胡惠然 张炳惠 卢 军 林志伟 彭晓莺 王瑞珍
蔡成良 汪 涛 丁一功 徐浩军 杨 璃 车方毅
袁 烽 肖治华 罗 宾 樊启柏 吴阶林 秦昌平

序

在全面建设小康社会，走新型工业化道路的新形势下，我国经济快速发展，再次暴露出电力总供给难以满足总需求的基本矛盾，同时也给中国电力工业和中国电网建设带来了新的发展机遇。

走新型工业化道路的突出特征就是科技含量高。我国电力工业 120 多年的发展史就是电力工业科学进步的发展史。在电力工业的发展过程中，大量的新设备、新技术、新知识得到广泛应用，这些新技术与新设备一方面提高了电力工业的生产运营水平，另一方面也给电力安全稳定运行带来了挑战。充分利用这些先进的技术，运行、维护好电网，提高电力工业的生产力，为社会提供质优价廉、安全可靠的电力商品，满足社会对电力的各种需求是广大电力工作者的神圣职责。

广大电力工程技术人员站在电力安全生产、稳定运行的前沿，要能承担这些责任，就必须不断自我加压、不断学习，既要了解一些前沿理论，又要掌握现有的适用技术；既要认真研究有关技术难题，又要用好现有的设备、设施，把自己打造成既通晓理论知识，又熟悉电力生产经营实践的复合型技术人才。

当今时代已步入信息化时代，电力工业走新型工业化的道路，就必须自觉利用信息产业的最新成果武装和改造传统的电力工业，发挥信息化的带动和倍增作用。当前，信息技术飞速发展，过程控制、管理信息、通信、计算机、网络技术在电力工业各个部门及设备上发挥着越来越重要的作用。随之而来的是各种专业技术资料、书籍浩如烟海，要选择适合自身实际又能为工作提供一定指导性的书籍确实很难，费时费力，受益却不多。如何选择一套带有电力工业特色的专业技术书籍，既能较全面反映当今电力企业，特别是电网企业运用的新技术、新设备，又能反映电力企业在技术方面的发展方向，为广大工程技术人员提高自身素质起到一个很好的指导作用，是当前专业技术人员继续教育培训面临的一个重要问题。

针对这一情况，湖北省电力公司积极思考、探索，精心组织有关专家，历时两年时间，编成了适用性较强的《工程师继续教育培训教材》。本教材内容丰富，包括新型电力安全装置、配电自动化技术、热机设备节能降耗新技术、现代通信知识在电力工业中的应用、输变电设备新技术应用及发展、电网自动化技术、电网企业信息化技术概论、电力市场营销八个方面的知识，涵盖了目前电力企业所应用的主要新技术，同时也展望了有关专业技术领域的发展前景，是专业技术人员学习培训的理想教材，也是提高自身素质的一套必不可少的工具书，同时还是专业技术人员综合发展的好助手。

我们希望本教材的出版，能对专业技术人员开阔视野，丰富实际经验，提高理论知识，起到较大的帮助作用；能对提高广大电力专业技术人员的专业技术水平起到极大的促进作用。

湖北省电力公司总工程师

周世平

2004 年 6 月

前 言

为适应新形势下电力专业技术人员继续教育培训的需要,增强培训的针对性和适用性,对电力专业技术人员进行一次比较全面的技术知识普及,同时,为专业技术人员在纷繁复杂的技术领域提供学习参考,湖北省电力公司从2002年1月起,分析研究了发供电单位广大工程技术人员生产实际中的迫切需求,成立了教材编写委员会,组织公司内部技术专家,编写了《工程师继续教育培训教材》。

在教材编写过程中,作者坚持了以下指导思想和编写原则。

指导思想是:以工作需求选材,以电力生产技术与经营中的新技术、新设备、新材料、新工艺为中心内容,努力使教材具有较强的针对性、实用性、科学性和先进性,以适应工程技术人员工作的需要和电力职工的自学要求。

编写原则如下:

实用性:与电力生产、经营实际紧密结合,具有较强的针对性、实用性、科学性和先进性,能指导工程师解决生产、经营中的实际问题。

前瞻性:不但要介绍当前新的工程技术,还应介绍国内外新技术、新设备、新材料、新工艺在电力工业中的运用及发展态势。

普及性:语言力求精练、简洁,工程技术人员看起来通俗易懂。

规范性:内容、结构形式规范,引用名词、图形、文字符号符合国家出版物标准的要求。

这本教材共有八篇,分上下两册出版,其中第一~四篇为上册内容,第五~八篇为下册内容。

第一篇为新型电力安全自动装置,主要内容有微机型电力安全自动装置的基本知识、电力系统稳定器、远方跳闸装置、按频率自动减负荷装置、电力系统自动解列装置、微机型故障录波器、剩余电流保护、微机防误装置。该篇主要由李火元、李斌、胡刚、张叔骅同志编写。

第二篇为配电自动化技术,主要内容有基于“分布控制”的配网自动化系统、基于“集中控制”的配网自动化系统、配电自动化涵盖的其他内容、配电自动化工程实施中的经验及问题配电自动化的前景。该编主要由陈俊杰、王大江同志编写。

第三篇为热机设备节能降耗新技术,主要内容有国内外能源利用现状与非传统能源的简介,火力发电厂能量平衡的基本知识、火力发电厂锅炉—汽轮机组节能降耗新技术。该篇主要由林协丰、李仲英同志编写。

第四篇为现代通信知识在电力工业中的应用,主要内容有信号传输基本知识、有线和无线通信技术、交换技术、IP通信、SDH通信、接入网、电信管理网络、可视会议通信等。该篇主要由郑晓东、周少雄、周凝翠、徐珮、童丹勤、周想凌同志编写。

第五篇为输变电设备新技术应用与发展,主要内容有输变电设备新技术、电力设备状态检测技术、高压直流输电、灵活交流输电系统。该篇主要由张炳惠、胡惠然、卢军、林志伟、彭晓莺、王瑞珍、蔡成良、汪涛、丁一功同志编写。

第六篇为电网综合自动化技术,主要内容有电网调度自动化系统站端设备、电网调度自动化主站系统、电能量计量系统、电力市场技术支持系统、电网自动化技术的其他应用系统、自动化系统的安全防护、电网自动化技术发展展望。该篇主要由徐浩军、杨璃、车方毅、袁烽同志编写。

第七篇为电网企业信息化技术概论,主要内容有计算机硬件、操作系统、计算机网络、数据库技术、计算机信息安全技术、企业信息化概论、信息技术在电力系统中的应用、信息化名词解释。该篇主要由肖

治华、周想凌、罗宾、樊启柏、吴阶林、秦昌平同志编写。

第八篇为电力市场基本理论，主要内容有电力市场营销基本理论、电力客户服务、电力市场营销现代化管理及新技术、需求侧管理、电力市场营销应研究的问题等内容。该篇主要由舒旭辉、李璐新、祝小红、侯淞学同志编写。

在《工程师继续教育培训教材》历时两年的编写过程中，编者花费了大量心血和时间，克服了许多困难，教材编委会各位专家及审稿人也严格审核把关，但百密仍有一疏，加之时代的进步和技术的发展，难免会出现一些失误，但愿我们努力后的这一成果，能使广大工程技术人员参阅或学习后有所收获，并希望各位专家对我们的教材提出批评建议，以便于进一步完善。在此，向参加此项工作的编写者及审稿专家们表示衷心的感谢。

编者

2004年6月

目 录

序
前言

● 第五篇 输变电设备新技术应用和发展 ●

第三十章 输变电设备新技术	1
第一节 变压器	1
第二节 高压互感器	5
第三节 电抗器的应用和发展	8
第四节 高压套管	9
第五节 高压开关设备新产品新技术	10
第六节 其他设备应用的新技术	14
第七节 电容器	19
第三十一章 电力设备状态检测技术	23
第一节 电气设备热故障红外诊断技术	23
第二节 利用油中溶解气体分析法判断变压器内部故障	29
第三节 变压器新的检测技术	38
第四节 串联谐振耐压试验技术	42
第五节 支柱瓷绝缘子超声波检测	43
第六节 防雷接地试验新技术	45
第七节 雷电定位系统	47
第八节 电力电缆及架空线故障检测	49
第九节 高压架空输电线路状态检测技术——用盐密指导清扫	55
第十节 GIS 组合电器测试技术	62
第三十二章 高压直流 (HVDC) 输电	67
第一节 高压直流输电概述	67
第二节 高压直流输电构成	67
第三节 两端直流输电系统	70
第四节 换流器常用技术用语解释	71
第五节 双桥换流器	73
第六节 换流器谐波特性	75
第七节 换流器的功率因数	75
第八节 直流输电系统控制	76

第三十三章 灵活交流输电系统	78
第一节 概述	78
第二节 常见的 FACTS 基本原理及应用	79
参考文献	85

第六篇 电网综合自动化技术

第三十四章 综述	86
第三十五章 电网调度自动化系统站端设备	89
第一节 远动基本原理及常规远动	89
第二节 变电站自动化技术	99
第三十六章 电网调度自动化主站系统	110
第一节 概述	110
第二节 数据采集与监视控制功能	112
第三节 Web 子系统	117
第四节 电网自动发电控制 (AGC) 功能	118
第五节 网络分析功能	122
第六节 地调、区调或集控站调度自动化系统的几种连接方式	131
第三十七章 电能量计量系统	133
第一节 概述	133
第二节 常见电能表分类及功能特点	134
第三节 远方电能量数据终端主要功能	135
第四节 主站系统基本功能	137
第五节 安全管理	141
第六节 电能量计量系统与 SCADA/EMS 系统集成分析	142
第三十八章 电力市场运营系统	144
第一节 电力市场简介	144
第二节 电力系统运行管理模式和电力市场的技术要求	146
第三节 电力市场运营系统	148
第四节 电力市场运营系统的集成	157
第三十九章 电网自动化技术的其他应用系统	158
第一节 水库调度自动化系统	158
第二节 雷电定位监测系统	162
第三节 电网智能稳措系统	164
第四节 调度员培训模拟系统	169
第五节 变电站遥视系统	177

第三节	电力客户服务技巧	294
第四节	电力客户服务先进经验介绍	298
第五十二章	电力市场营销现代化管理及新技术	301
第一节	电力营销现代化管理的必要性及基本内容	301
第二节	电力营销管理信息系统	305
第三节	电力客户服务技术支持系统 (95598)	313
第四节	抄表新技术	314
第五节	电能计量新技术	320
第六节	防窃电技术	324
第七节	反窃电管理手段	326
第五十三章	需求侧管理	329
第一节	基本概念	329
第二节	需求侧管理的目标	330
第三节	需求侧管理的作用	330
第四节	需求侧管理的主要手段	331
第五节	DSM 的实施步骤及案例	336
第六节	现阶段 DSM 的推广	338
第五十四章	电力市场营销应研究的问题	340
第一节	竞争对手分析	340
第二节	市场需求分析	342
第三节	电力市场开拓	343
第四节	电力市场开拓典型案例	345
参考文献		347

第五篇

输变电设备新技术
应用和发展

第三十章

输变电设备新技术

第一节 变 压 器

一、变压器设计技术的发展

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,近年来已采用 750 ~ 1000kV 的输电网络,因此相应而来的特高压变压器发展十分迅速。变压器的绝缘基本上由纸和油构成。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,噪声等进行分析,力求在降低损耗,缩小尺寸,减轻运输质量等方面有新的突破。

二、变压器的结构改进

1. 芯式变压器的结构特点

(1) 铁芯。常用的变压器多为芯式结构,即铁芯柱是内接圆多截面,外部套装绕组,一般分为单相二柱、单相三柱、三相三柱、三相五柱。

铁芯采用优质冷轧取向硅钢片叠成,不涂漆,不退火,全斜无孔步进搭接,无纬玻璃丝带绑扎。工艺上采用先进的工装定位,不叠上铁轭,既降低了损耗,又使振动和噪声也较低。

铁芯柱及旁轭上均装有磁屏蔽,以减缓铁芯阶梯菱角处的场强,降低局部放电水平。对于大型变压器,每隔一定选层还设有油道使冷却效果更好。

铁芯材料采用质量高的冷轧硅钢片,如日本的 G6H、法国的 M6X 等牌号,其厚度为 0.3 ~ 0.23mm。近年还应用激光照射硅钢片的新工艺,如 ZDKH 型超低损硅钢片,损耗可降低 10% 左右。

(2) 绕组。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:①饼式绕组。其中又分为插入电容式(内屏蔽绕组)和纠结式(普通和插花纠),这两种方式主要是为了增加绕组的纵向电容,使冲击电压分布得到改善。②层式绕组。这种结构是同心式绕组的最简单形式,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,绕组内层放置有静电屏,层间绝缘为电缆纸质油道,绕组两端均用绝缘件填平,不足之处是端部支撑稳定性差,在超高压变压器中,因绝缘层较厚不易彻底干燥。

对于大型超高压产品,变压器的绕组采取不浸漆,并利用较先进的煤油气相干燥工艺进行恒压干燥,导线材料用无氧电解铜拉成,外包纸绝缘,根据产品电压级的不同,采用不同的匝绝缘厚度,如110kV为1.35mm、220kV为1.95mm、500kV为2.3mm以上,匝绝缘用纸为0.055mm高密度电缆纸。为提高变压器的抗短路强度并降低附加损耗,根据设计要求,分别采用组合导线或者自粘性换位导线以及半硬导线,其应力 $\sigma_{0.2} \approx 160 \sim 200 \text{N/mm}^2$ 。

(3) 绝缘结构。当今国内外制造厂生产的大型变压器,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,如魏德曼公司生产的波纹栅结构,用于引出线的绝缘,则可大大缩小它的绝缘尺寸。

端部绝缘将金属压板改为层压木板,对提高端部绝缘强度,降低局部放电,减少杂散损耗有益。

2. 壳式变压器的结构特点

壳式变压器与芯式变压器在结构上有很大不同,它具有方形的芯柱、绕组及油箱。铁芯将绕组包围,故称为壳式变压器。其特点是结构紧凑,机械稳定性好,绕组内油隙大,冷却效果良好。因此效率高,损耗小,噪声水平低。

(1) 铁芯。不需单独的叠装工序,器身装配可同时进行,即将组装的绕组放在下节油箱上,然后把铁芯选片插入矩形绕组内孔,不用复杂的夹件。铁芯不必绑扎。通常,压紧铁芯有两种方法:一是压件与螺杆拉紧;二是采用密配合型,用上下节油箱压紧铁芯。密配合型是全密封式构造,箱沿焊死,无螺钉,油箱成为一个刚体。

(2) 绕组。绕组形状与铁芯截面形状相适应,绕组是纸包扁线绕成,具有矩形截面,绕组各饼可以串联。高低压线圈能交替间隔放置。

3. 变压器油箱及附件的特点

(1) 油箱。采用的钢材为低碳钢,伸张强度(12mm厚)为41~42kg/mm²,焊接工艺为CO₂气体保护埋弧焊,油箱表面经喷砂除锈,采用X射线探伤和导通法,最后经水压试验。

为防止漏磁在箱壳上引起局部过热,对立于绕组距离近的箱壁用铝板(电屏蔽)或硅钢片(磁屏蔽),前者可降低负载损耗2%,后者可降低负载损耗8%,油箱均能全真空抽试。

(2) 冷却器及潜油泵。大型变压器均采用高效铝合金冷却器,单台容量可达到300kW,并配置有噪声低的风扇。

潜油泵,过去为1500r/min,轴承易发生磨损,近年来,应用900r/min的低转速泵,防止轴承磨损取得较好效果。

(3) 套管。220kV及500kV级套管,均采用油纸电容型,整体装配用压力弹簧通过导杆压紧,为全密封结构,目前在超高压产品上,逐步在采用干式套管或充SF₆气体的套管。

(4) 压力释放器。变压器油箱上,过去采用的防爆管已由压力释放器取代。当变压器发生内部故障时,压力阀动作释压,发出信号。压力释放器的规格一般为0.5kg/cm²和0.8kg/cm²。

(5) 冷却和绝缘介质。作为变压器绝缘和冷却的介质主要是变压器油,在超高压变压器中,为保证油的介电性能稳定性,均要求采用环烷基油。此外,高燃点(312°)变压器油在美国已有应用,SF₆绝缘的变压器在日本已大量在电网中使用。

4. 变压器有载调压技术

电压是电力网中的一项重要质量指标。由于用电负荷的变动,将会出现电压偏移,其变动范围不得超过额定值的±5%,为此在电力系统中采用自动调压措施来调整系统中各点的电压。目前,电力网中的调

压手段主要有发电机调压、变压器调压、同步静止电容补偿调压等。

变压器有载调压是在变压器励磁或负载状态下进行绕组分接位置的一种装置。

有载分接开关调压的基本原理，是在不中断负载电流的情况下，由变压器绕组的一个分接头，切换到另一分接头，以改变变压器的电压比，从而实现调整电压的目的。

(1) 有载分接开关种类。有载分接开关按限流方式分为电抗式和电阻式两大类。

1) 电抗式。它的电抗器装在变压器油箱内，允许跨桥使用时，能增加调压级数，由于电抗器始终接入电路中，故损耗大，且电抗式不易熄弧，所以现在已被电阻式所代替。

2) 电阻式。两个分接位置变换时，由过渡电阻加以限流。这种型式的开关，由过渡电路（切换开关部分）、选择电路（选择开关部分）、调压电路（线性调压、正反调压和粗细调压三种）组成。

(2) 有载分接开关的基本参数。

1) 额定通过电流 (I)。通过分接开关流向外部线路的电流。这个电流在相关级电压下，能被分接开关从一个分接转移到另一个分接，并能被分接开关连续负载。

2) 最大额定通过电流。有载分接开关中，用以进行触头温升试验和开关负载切换试验的额定通过电流。最大额定通过电流的优选值是 120、250、500、800、1200、1600、2000A。

3) 额定级电压 (U_s)。对应于每个额定通过电流，接到变压器相邻分接上的分接开关两端子间的最大允许电压。

4) 最大额定级电压。分接开关设计额定级电压的最大值。最大额定级电压的优先值是 300、1000、1500、2000、3000、4000、5000V。

5) 额定级容量 (P_s)。级容量定义为级电压和负载电流的乘积，即 $P_s = U_s I$ 。

额定级容量是分接开关在连续工作条件下的最大级容量，对于某一范围的允许负载，其额定容量由负载电流和最大允许级电压所限定。

6) 额定频率。分接开关设计的交流频率，通常采用工频。对于低频用分接开关，由于燃弧时间长，因此过渡电阻的尺寸设计得大。

7) 相数。分接开关本身结构的相数，一般有三相和单相。

8) 额定绝缘水平。额定绝缘水平主要指分接开关对地、相间和需要绝缘的那些部分的冲击及工频试验电压的耐受值。总之，分接开关额定绝缘水平应与变压器调压绕组的绝缘水平的要求相同。

(3) 有载分接开关的技术要求。

1) 机械寿命。有载分接开关结构中，运动部分是开关的关键环节。满足长时间连续动作的次数称为机械寿命，国标规定，机械寿命至少为 50 万次，先进国家的产品已达到 80~100 万次的水平。

2) 电气寿命。电弧触头的电气寿命，直接影响维修周期和工作量。因此，要求分接开关应具有高的电气寿命，国标规定，触头电气寿命不低于 5 万次，先进国家已高达 20~30 万次。

3) 结构性能。为保证分接开关工作的可靠性，对分接开关结构性能提出比较严格的技术要求，如油室密封性能和安全保护装置、瞬变过电压保护装置、电动机械的安全保护装置等。

三、变压器运行要领

变压器在运行中，常受到严重的电应力和机械应力的冲击。为提高变压器的安全性、可靠性，避免事故，除有高质量的产品之外，特别要注意的是认真细致地管理好变压器，这对于超高压、大容量变压器尤为重要。一般在变压器安装竣工后，按规定项目要进行本体及绝缘油的全部试验，合格之后，则具备通电运行的条件。此后，运行部门应把加强运行维护作为重点，以确保变压器的正常使用和预期寿命。

1. 通电前的检查

(1) 检查所有指示元件是否正常，如压力释放器油流指示器、油位指示器、温度指示器。对于用来启动变压器油循环的油泵及风扇的温度计接点，如果是用油温来启动的，则整定在 60℃；如果是用绕组温度来启动的，则整定在 75℃。

(2) 检查油泵及风扇的旋转方向是否符合规定的方向。

(3) 检查变压器油箱上及其他升高部位的放气塞，要将积气放净，以免气泡进入高电场区引起电晕放电或进入气体继电器发生误报警。

(4) 对于水冷变压器，要使水压不大于最低油压，以免水渗入油中。

(5) 检查所有阀门应置于正确位置。

(6) 变压器上的导线、母线以及接地连线要牢固、可靠。

(7) 检查变压器上各带电体到地的距离应符合要求。

(8) 检查密封垫的所有螺栓要足够紧固。

(9) 检查带驱动机械的有载分接开关状况，如分接位置指示，限位装置和计数器等。

(10) 检查变压器上（含控制柜等）不要残留仪表工具。

(11) 对于半绝缘产品，投运时应将中性点接地，以免过电压造成绝缘击穿。

2. 运行中的巡视

运行中的巡视是发现变压器异常的必要手段。根据重要性的不同，原则上每值 1 次，主要注意点是：

(1) 变压器各部温度指示及仪表的情况。

(2) 油位是否符合正常的油位—油温曲线。

(3) 套管、阀门、冷却装置、压力释放器、油管和法兰有无渗漏油。

(4) 变压器本体及冷却器振动和响声是否正常，如励磁声音的变化、油泵磨损、风扇振动加大等。

(5) 套管污秽情况。

(6) 呼吸器的干燥剂是否变色（2/3 以上由蓝色变成浅紫色，应更换）。

(7) 有载调压开关装置的操作机械动作情况。

3. 定期检查

(1) 油的色谱分析应每年进行 1、2 次，总烃不大于 $150\mu\text{L/L}$ 油。

(2) 油中微量水分检测 1~3 年进行 1 次，110kV 不大于 $30\mu\text{L/L}$ 油。

(3) 有载调压开关的检查。

1) 运行开始 1 万次或者 1 年进行第 1 次检查，以后 5 万次或 5 年以内主要检查切换开关触头和限流电阻的情况。

2) 切换出口短路事故时应提前检查。

3) 调压开关小油箱中油的电气强度低于 $25\text{kV}/2.5\text{mm}$ 时，应进行更换。

4) 对不经常移动的触头，应定期操作一周，以防止触头上沉积有炭粒。

(4) 变压器本体的试验。

1) 绝缘试验 1~3 年进行 1 次，对于大型变压器，可 1 年进行 1 次。

2) 变压器的介电损耗因数定期试验 1~3 年进行 1 次。

3) 变压器出口短路后，应进行绕组变形检查，如低电压测短路阻抗法、频扫法、电容法。对绕组有怀疑时，应吊芯（吊罩）检查。

4) 套管的检查应 2~3 年进行 1 次，主要检查有无裂纹、污秽、渗油，局部过热和绝缘性能有无变化等。

5) 冷却器每年要检查 1 次，冷却器的散热面要用 $2\text{kg}/\text{cm}^2$ 气压或水压冲洗干净。

6) 气体继电器的跳闸回路必须每年检查 1 次。

7) 对于大型变压器运行中可进行油的带电度或油流带电测量。

4. 允许过负荷要领

变压器的寿命主要决定于变压器的绕组和铁芯的最高温度，油温变压器在额定负载下，绕组平均温升为 65°C ，与最热点的温差为 13°C ，平均环境温度为 20°C ，则热点为 98°C ，在这个温度下运行 20~30 年，如果过负荷，寿命要按每增加 6°C 减少一半的法则。因此，对温度保持连续性的监视是很重要的。DL/T 572—1995《电力变压器运行规程》规定，一般正常过负荷可以经常使用，其允许值由变压器负荷曲线、

冷却介质温度及过负荷前变压器所带负荷等因素来确定。对于低温冷却介质，变压器可以过负荷。但是，允许的过负荷绝不能只由对冷却介质的温升来确定。因为绕组与油之间的温降随负荷增加的 1.8 次方增加。所以过负荷运行时间应由绕组的最热点温度决定。

第二节 高压互感器

随着超高压电网的发展，互感器的应用日益增多，其中电压互感器以往均采用电磁结构，多为由于其易引起电磁谐振过电压。近年来，电容式电压互感器已得到广泛使用。在电网中，电流互感器较电压互感器数量更多，其型式亦多种多样，如充油式、充 SF_6 气体式、光电式，结构上有发卡式和倒置式，近年来开发光电互感器也在电网中逐步应用，现分述如下。

一、电磁式电压互感器

电磁式电压互感器是用来测量电网电压的，因此与电力变压器相似，具有高压绕组（一次）和低压绕组（二、三次）。但是电磁式电压互感器的高压绕组仅有一部分线匝与低压绕组在同一芯柱上，而其他线匝则绕在其他铁芯柱上，这一部分高压绕组线匝是通过平衡线圈和连耦线圈与低压绕组进行电磁耦合的，其结构示意图如图 30-1 所示。

这种结构表明，上铁芯框是有 $3/4$ 互感器的额定相电压，下铁芯框具有 $1/4$ 额定相电压。两个铁芯框安装在同一组绝缘支架上，对地绝缘。110kV TV 的结构与 220kV TV 类似，只是仅一个铁芯框，无连耦线圈。

1. 绝缘结构

TV 的一次绕组具有很多线匝，以 JCC-220 型为例，有四万多匝。一次绕组常采用 0.25mm 的绿色漆包线。平衡线圈、连耦线圈和二、三次绕组采用较大直径的纸包圆铜线。绕组采用圆筒式绕法，各线匝的层间绝缘是几层电缆纸，为均匀电场，一次绕组的内、外侧安放静电屏，每个铁芯框上的线包端部与铁轭之间，按电位差的大小，其绝缘距离是不同的。通常，绕组端部有两三级台阶，每个台阶布置了相应的绝缘角环，以增加绝缘强度，铁芯框之间和铁芯框对地的绝缘由 4 根绝缘支架构成，绝缘支架固定在互感器端部储油柜与底座之间，承受全部的互感器电压。

2. 密封结构和互感器制造工艺

(1) 密封结构目前大量采用金属膨胀器结构，膨胀器内始终充满互感器油，既隔绝了氧气对油的老化，又使互感器内部有微正压，防止进水受潮。

(2) 制造工艺。绕组绕制与配电变压器类似，是圆筒式绕法。铁芯和绝缘支架组装完毕后，先固定在互感器底座上，然后将带有储油柜的瓷套坐落在底座上。反之，当吊开瓷套进行 TV 内部检查时，只要卸开一次绕组以及绝缘支架与储油柜的固定螺栓即可吊起瓷套，不要将储油柜与瓷套分离。由于线包内导线细密，绝缘层厚实，因此，采用真空干燥和真空注油工艺。

(3) 常见绝缘缺陷。

- 1) 匝绝缘损坏。常发生在无绿色的普通漆包线上。
- 2) 绕组端部绝缘薄弱。
- 3) 绝缘支架分层劣化。
- 4) 进水受潮。主要是由于端部螺栓没有拧紧造成的。
- 5) 悬浮放电。主要是铁芯穿心螺丝松动造成的。

6) 谐振过电压引起的损坏。这是由于断路器的断口电容和 TV 的电感发生谐振而引起的，这种过电压可在一相、两相或三相上同时发生，电压最高可达 3 倍相电压。

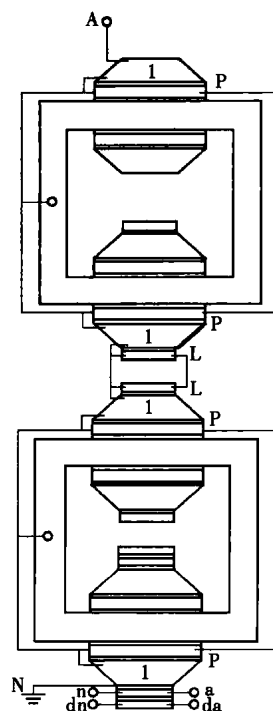


图 30-1 220kV 电磁式电压互感器示意图

1——一次绕组；P——平衡绕组；L——耦绕组；a、n——二次绕组；da、dn——剩余电压绕组