



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA



高压直流输电 岗位培训教材

互感器、滤波器及避雷器设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



国家电网公司
STATE GRID
CORPORATION OF CHINA

高压直流输电 岗位培训教材

互感器、滤波器及避雷器设备

国网运行有限公司 组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《高压直流输电岗位培训教材》丛书之一,主要介绍了交流电压互感器、交流电流互感器、直流分压器、直流电流测量装置、交流滤波器、直流滤波器、耦合电容器、阻波器和结合滤波器及避雷器等10种设备。重点介绍了各设备的分类、结构、工作原理、试验与检修、常见故障及处理。

本书可供高压直流输电岗位运行、检修技术人员及管理人员参考,也可作为相关专业院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

互感器、滤波器及避雷器设备/国网运行有限公司组编.
北京:中国电力出版社,2009
高压直流输电岗位培训教材
ISBN 978-7-5083-8444-3

I. 互… II. 国… III. ①高电压互感器-技术培训-教材
②高电压-直流-滤波器-技术培训-教材③高电压-直流-
避雷器-技术培训-教材 IV. TM451 TN713 TM862

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第009708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

2009年1月第一版 2009年1月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 7.75印张 169千字
印数0001—3500册 定价18.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《高压直流输电岗位培训教材》

编 审 委 员 会

主 编 崔吉峰

副主编 李 东 王守东 陈秋安 王晓希

娄殿强 罗德彬

编 委 余克武 余振球 刘 涛 唐开平 殷俊新

李继辉 仝培理 习超群 王聿升 王世民

胡开军 刘国云 丁子健 李安伟

各分册编写人员

变压器设备

饶红林 周 广 吴 聪 谭 静 陈 飞 靳海路 王 枫 陈大军
余姗姗 赵福莉 郑 华 黄瑶玲 张 勇 戚 菲 李 浩 张 念
张 益 张海燕

换流器及直流控制保护设备

吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 吴 宁 王紫鑫
许立新 吕拦坡 赵 杰 李 彪 付纪华 姚 孟 俞晓冬 孙 瑾
姚其新 韩情涛 贺霖华 李 君 刘蓓蒂 刘 询 李凤祁

开关设备

戴晨蓉 廖文锋

线路设备

曹 亮 李浙涛 刘庭波 吴秀海 胡 风

通信设备

马树明 欧阳兰 吴 军 朱煜冰 李 晶

互感器、滤波器及避雷器设备

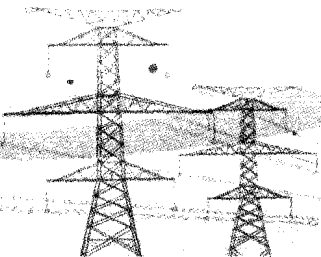
王 鹏 黄 晨 钱 龙 胡锦涛 康 文 石伟峰 李华兵 毛志平
黄岳奎 吴 鹏 汪 涛 陈 凯 王丽娜 摆 亲 陈 晓 陈炳华
顾舒扬

辅助设备

周建国 张 昕 饶 磊 魏华兵 李龙蛟 廖卉莲 康 文 石伟峰
黄 晨 邹根海 苏 飞 陈 凯 汪 涛 吴 鹏 王丽娜 摆 亲
陈 晓 王紫鑫 汤晓峥

交流保护设备

沈志刚 单 哲 郝跃东 汪道勇 李锋锋 徐 兵 商少波 郑 华
黄瑶玲 赵福莉 周建国 张 昕 黄正发 姚青强 吕拦坡 姚 兵



序

1989年,中国第一条超高压直流输电工程葛洲坝—南桥直流输电工程建成投产,直流输电技术在中国稳步发展。进入21世纪后,随着三峡电力送出和跨区电网大规模发展,中国直流输电工程也得到较快发展。目前,中国直流输电无论容量还是技术水平均已走在世界前列,今后还将有一大批直流输电工程投运,直流输电在电网中的作用越来越重要。

由于直流输电工程技术及设备的特殊性,工程运行维护较交流工程有很大不同,随着后续直流输电工程的快速发展,直流输电运行维护培训需求大大增加。因此,编写有关直流输电工程生产岗位培训教材是当前直流输电工程发展所急需的,对提高在运直流输电工程的运行可靠性也具有重要意义。国网运行有限公司是国内运行维护直流工程最早、数量最多、容量最大的专业电网运行公司。为了全面提高国内直流输电工程运行维护工作水平,公司组织了数十名长期从事直流输电运行、检修的技术人员,在充分总结在运直流工程运行经验的基础上,前后经过长达两年的时间编写完成了理论结合实际设备、全面系统、实用性较强的《高压直流输电岗位培训教材》。

这套教材共分八册,系统地对直流输电相关设备的原理、结构、技术特点进行了详细的描述,并进而对设备的巡视检查、检修试验等运行维护工作要求和特点进行了总结。它的出版发行将为从事直流输电运行维护、设计、安装、调试和直流输电设备制造、直流电网生产管理和调度管理等方面的技术人员和生产管理人员提供很好的技术参考。期望它能够对提高我国常规直流输电工程和特高压直流输电工程生产运行水平起到重要作用,从而为建设坚强国家电网作出贡献。

杨吉峰

2008年12月



前言

高压直流输电技术起步在 20 世纪 50 年代,到 80 年代,全世界共建成了 30 项直流输电工程,直流输电在电网中发挥了重要作用,直流输电控制保护技术得到进一步的发展和完善。迈入 90 年代以后,随着电力电子技术、计算机技术和控制理论的迅速发展,高压直流输电技术日益完善,可靠性得到提高。

我国直流输电技术同样是在 80 年代得到发展的,建成了我国自行研制的舟山直流输电工程(± 100 千伏,100 兆瓦,55 千米)和代表当时世界先进水平的葛洲坝—上海(简称葛上) ± 500 千伏直流输电工程。90 年代,随着三峡工程的建设,三常、三广、三沪直流工程相继投运。2004 年,我国第一个背靠背直流工程,同时又是一个直流设备国产化示范工程,灵宝背靠背直流工程顺利建成。标志着中国已经逐渐成为世界上运行直流工程数量最多、容量最大、线路最长的直流输电大国。

据预测,至 2010 年全国发电装机总容量将达到 8.4 亿千瓦左右,2020 年将突破 12 亿千瓦左右。将新建电源的电安全、稳定、可靠、经济地送出是我国电网建设的基本任务,并应在此基础上逐步改善电网结构、推进全国联网,这使得电网的发展比电源建设更具挑战性。特别是在西电东送工程中,直流输电本身适宜远距离输送、送电容量大、易于控制和调节的特点将发挥极其重要的作用。根据《国家电网公司特高压电网规划》,到“十一五”末,规划投产的直流背靠背工程包括东北华北背靠背、灵宝背靠背(扩建)、中俄背靠背、福建广东背靠背四个项目,以及德阳—宝鸡、呼盟—辽宁、晋东南—江苏、宁东—潍坊、蒙古—天津、俄罗斯—辽宁、西藏—青海、葛沪改造等八个项目。到“十一五”末,国网公司系统直流输电工程将达到 17 个、换流站 28 个、输送容量达到 4005 万千瓦。到“十二五”末,国家电网公司将有 8 个直流系统建成投产,包括向家坝—上海、宁东—济南、四川—湖南、锦屏—江苏、蒙古—唐山、溪洛渡—湖南、溪洛渡—浙江、蒙古—山东。直流工程总数将达到 25 个、换流站 44 个,输送容量 8085 万千瓦。“十三五”期间,国家电网公司规划建设投产的直流系统还有 14 个,直流输电工程将达到 39 个、换流站 72 个,输送容量达到 18 745 万千瓦。国内南方电网公司在运的天生桥—广州、安顺—肇庆、兴仁—深圳三个直流输电工程,总输送容量 780 万千瓦,此外在“十一五”末还将完成云广特高压直流输电工程,总输送容量达到 1420 万千瓦。

随着大批直流输电工程投运,直流输电工程的运行维护和生产管理工作显得日益重要,特别是随着近年来直流工程数量和容量的快速发展,直流工程运行维护也不再局限于专业的直流电网运行公司,各网省公司将更多地参与直流输电工程运行维护和生产管理工作。正是为了满足我国直流输电工程生产运行的需要,国网运行有限公司总结了近 20 年来在直流输电工程中运行维护的经验,结合直流输电设备特点,全面系统地编制了我国第一套专门针对直流输电岗位的培训教材。

本套教材共分八册，其主要内容有：变压器设备，换流器及直流控制保护设备，开关设备，线路设备，通信设备，互感器、滤波器及避雷器设备，交流保护设备，辅助设备等。系统地对直流输电工程中的上述设备的结构、原理、技术特性、运行维护工作内容和要求等进行了详细说明。本套教材在大量收集、整理、分析国网系统在运直流输电工程运行技术资料的基础上，结合现场运行维护经验，按照设备类别对直流输电工程的运行维护岗位专业技能进行了详细说明，是从事直流输电运行维护和生产管理人员学习直流输电原理、设备特性、控制原理和运行维护内容的岗位技能教材。同时本书也可用于直流输电工程设计、安装、调试、调度管理、设备厂家及相关直流输电工程生产管理人员使用。

为了编制好本套教材，国网运行有限公司充分发挥专业直流输电工程运行维护公司的特点，仔细分析直流输电各岗位的技术技能需求，自 2007 年 10 月开始进行编制，经过了多次讨论修改，数易其稿，最后于 2008 年 10 月完成了本套教材的编写工作。本书的编写人员均是有着丰富的直流输电工程现场工作经验、熟悉直流输电工程设备技术和生产管理的专业人员。运行公司所属宜昌、上海、惠州、三门峡四个管理处，共 9 个换流站的近百名专业技术人员参与了教材编写。

本书在编写过程中得到了国家电网公司、设备制造厂家、各技术监督单位的大力支持，特在此表示感谢。限于我们的水平和经验，书中难免存在缺点和不足，望读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

序 前言

第一部分 互感器类设备

第一章 交流电压互感器	2
第一节 交流电压互感器介绍及分类	2
第二节 交流电压互感器结构及工作原理	3
第三节 试验与检修	5
第四节 交流电压互感器常见故障及处理	14
第二章 交流电流互感器	18
第一节 交流电流互感器介绍及分类	18
第二节 交流互感器结构及动作原理	18
第三节 试验与检修	22
第四节 交流电流互感器常见故障及处理	28
第三章 直流分压器	32
第一节 直流电压分压器介绍及分类	32
第二节 直流电压互感器结构及工作原理	32
第三节 试验与检修	34
第四节 直流分压器常见故障及处理	38
第四章 直流电流测量装置	39
第一节 直流电流测量装置介绍及分类	39
第二节 直流电流测量装置结构及工作原理	39
第三节 试验与检修	42
第四节 直流测量装置常见故障及处理	48

第二部分 滤波器类设备

第五章 交流滤波器	52
第一节 交流滤波器结构及分类	52
第二节 基本原理	53
第三节 维护检修	57
第四节 试验	59

第五节 特殊性检修项目	63
第六节 常用接线图	64
第六章 直流滤波器	70
第一节 直流滤波器分类及作用	70
第二节 基本原理	70
第三节 试验与检修	74
第四节 常用接线图	79
第七章 耦合电容器、阻波器和结合滤波器	83
第一节 介绍及分类	83
第二节 基本原理	85
第三节 试验与检修	87

第三部分 避 雷 器

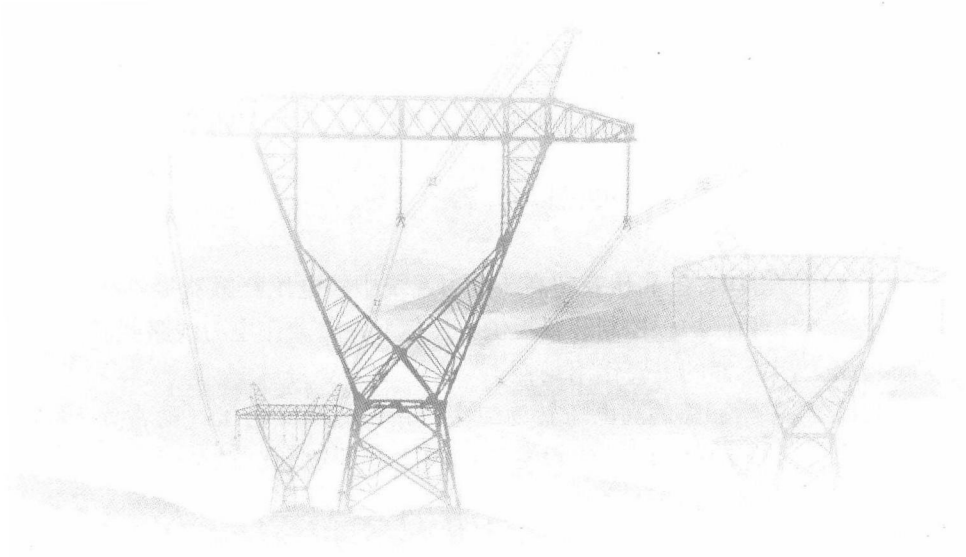
第八章 避雷器介绍及分类	96
第九章 基本原理	97
第十章 试验与检修	99
附录 相关标准和规范名录	114

高压直流输电岗位培训教材

互感器、滤波器及避雷器设备

互感器类设备

本书主要介绍高压直流输电系统中互感器类设备的结构、原理、运行维护及检修等内容。全书共分五章，第一章介绍互感器的基础知识，第二章介绍电压互感器的结构、原理、运行维护及检修，第三章介绍电流互感器的结构、原理、运行维护及检修，第四章介绍避雷器的结构、原理、运行维护及检修，第五章介绍滤波器的结构、原理、运行维护及检修。



交流电压互感器

第一节 交流电压互感器介绍及分类

一、分类

目前,电力系统中运行的电压互感器按绝缘结构不同可分为电磁式电压互感器、串级式电压互感器和电容式电压互感器(CVT)三种。

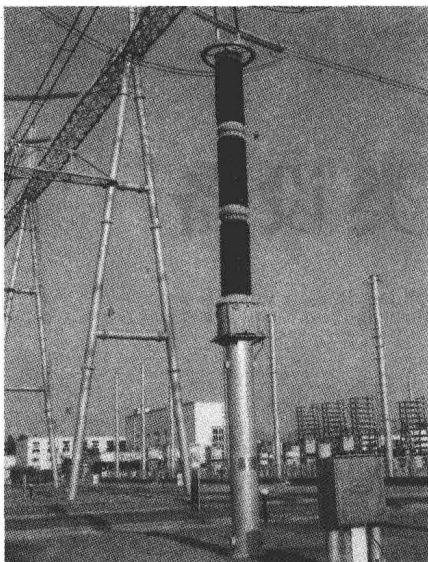


图 1-1 TYD₂500/ $\sqrt{3}$ 型电容式电压互感器

示。本书将重点介绍电容式电压互感器。

二、作用

在频率为 50Hz 的高压及超高压电力系统中,电压互感器接到线与地之间,为电气测量仪器、仪表和保护、控制装置提供电压信号,并兼作电力线路载波耦合装置中的耦合电容器。电压互感器的主要作用是:

(1) 将一次回路的高电压转为二次回路的标准低电压(通常为 100V),可使测量仪表和保护装置标准化,使二次设备结构轻巧,价格便宜。

(2) 使二次回路可采用低电压控制电缆,且使屏内布线简单,安装方便,可实现远方控制和测量。

(3) 使二次回路不受一次回路限制,接线灵活,维护、调试方便。

(4) 使二次与一次高压部分隔离,且二次装设接地点,确保二次设备和人身安全。

第二节 交流电压互感器结构及工作原理

一、结构

1. 干式电压互感器结构

相对于油浸式电压互感器，干式电压互感器无油，不会出现火灾、爆炸、污染等问题。它主要由铁芯、绕组等组成，适用于 500V 以下低压接线。干式电压互感器外形如图 1-2 所示。

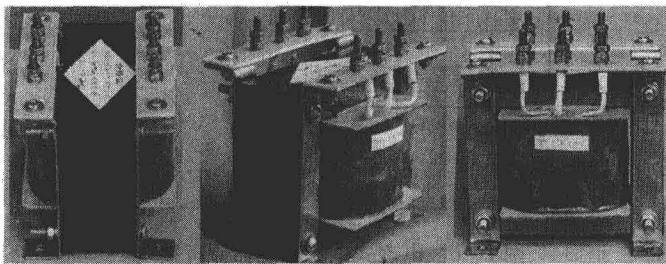


图 1-2 干式电压互感器

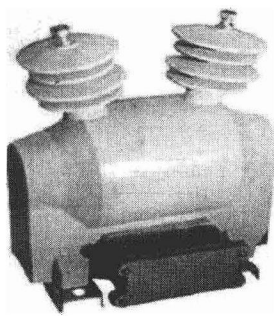


图 1-3 JZW-12 型电压互感器

2. 浇注式电压互感器结构

浇注式电压互感器在环氧树脂浇注体下部涂有半导体漆，并与金属底板相连，可以改善电场的不均匀性和电力线畸变的情况，主要用于 35kV 及以下电压等级，有单相双绕组、单相三绕组之分。浇注式电压互感器的优点是运行维护方便，但一旦损坏只能更新。图 1-3 所示为 JZW-12 型电压互感器。

3. 油浸式电压互感器结构

普通油浸式电压互感器的额定电压制成 3 ~ 35kV，铁芯和绕组均放于充满油的油箱内，绕组通过套管引出。图 1-4 所示为 JSJW-10 型油浸式电压互感器。

4. 电容式电压互感器结构

电容式电压互感器由电容分压器和电磁装置两部分叠装组成。不同电压等级的 CVT 工作原理相同，只是电容分压器上分压电容不同。电磁装置安装于油箱中，由中压变压器，补偿电抗器，阻尼电抗器等器件组成，主要作用是将中压电压转变成测量及保护用低压电压的作用，二次绕组及载波通信端由油箱正面的出线端子盒引出。典型电容式电压互感器的剖视图如图 1-5 所示。

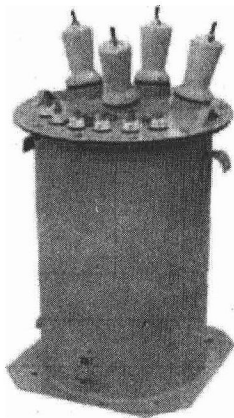


图 1-4 JSJW-10 型油浸式电压互感器

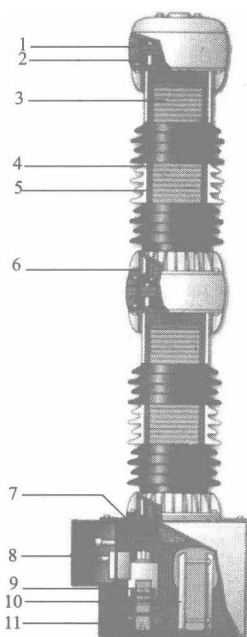


图 1-5 电容式电压互感器剖视图

- 1—油压计；2—膨胀膜；3—电容单元；
 4—绝缘油；5—瓷绝缘子；6—密封件；
 7—外壳；8—低压端子箱/中性（N）
 和高频（HF）端子；9—串联电感；
 10—中压变压器；11—铁磁谐振
 效应阻尼电路

二、工作原理

1. 电磁式电压互感器工作原理

电压互感器的结构和原理与电力变压器类似，在一个闭合磁路的铁芯上，绕有互相绝缘的一次绕组和二次绕组，将高电压、大电流转换成低电压、小电流。图 1-6 所示为电磁式电压互感器原理接线。

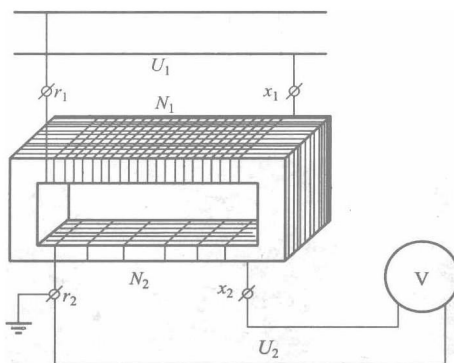


图 1-6 电磁式电压互感器原理接线

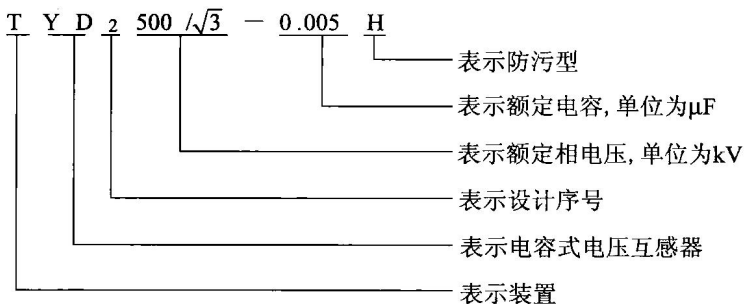
电压互感器的特点是：

- (1) 容量很小，类似一台小容量变压器。
- (2) 二次侧负荷比较恒定，所接测量仪表和继电器的电压线圈阻抗很大，因此在正常运行时，电压互感器接近于空载状态。

电压互感器的一、二次绕组额定电压之比，称为电压互感器的额定电压比，即 $K_N = U_{1N}/U_{2N}$ 。其中一次绕组额定电压 U_{1N} 是电网的额定电压，且已标准化（如 10, 35, 110, 220, 330, 500kV 等），二次电压 U_{2N} 则统一为 100（或 $100/\sqrt{3}$ ）V，所以 K_N 也标准化。

2. 电容式电压互感器型号含义及工作原理

(1) 国产电容式电压互感器型号中字母和数字含义如下：



电容式电压互感器（CVT）除具有电磁式电压互感器的作用外，还可以兼作耦合电容

器,与电力系统载波机相连,作高频载波通道使用。它主要用于测量、继电保护、同步检测、长距离通信、遥测和监控等。图1-7所示为桂林电容器厂生产的500kV电容式电压互感器的电气原理图。

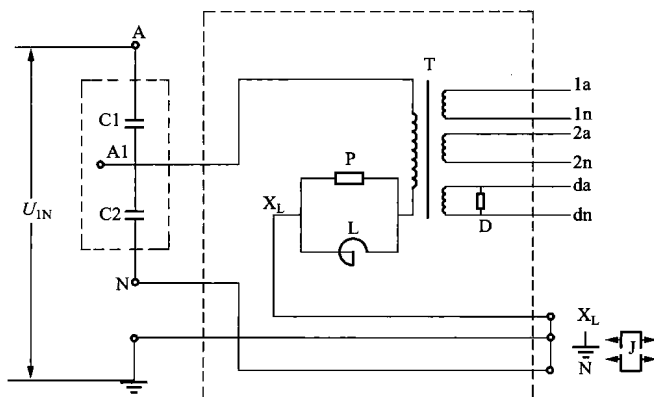


图1-7 500kV CVT 电气原理图

C—载波耦合电容; C₁—高压电容; C₂—中压电容; U_{IN}—额定一次电压; A₁—中间电压端子(用户需要时引出);

T—中间电压变压器; L—补偿电抗器; P—保护装置; 1a1n—主二次1号绕组端子; 2a2n—主二次2号

绕组端子; dadn—剩余电压绕组端子; X_L—补偿电抗器低压端; N—载波通信端子;

D—阻尼装置; J—带有避雷器的结合滤波器

(2) 电容式电压互感器的工作原理可概括为:耦合电容器分压,中间变压器降压,电抗器补偿,阻尼器保护。在运行中,首先通过电容分压器将运行电压变为A₁点的电压U_{A1}(一般为13kV),然后通过中压变压器输出所需的二次电压,由电容分压原理可知: $U_{A1} = U_{IN} C_1 / (C_1 + C_2)$, U_{IN}为系统运行电压。互感器出线端子盒内的N端子在互感器用作载波通信时,要经结合滤波器接地;当互感器不作载波通信时,该端子必须直接接地,不允许开路。

第三节 试验与检修

一、型式试验

型式试验的目的在于考核互感器的设计、材料和制造等方面是否满足试验标准及技术条件所规定的性能和运行要求。新产品研制出来都应进行型式试验。

用来作型式试验的互感器应首先进行出厂试验。出厂试验合格后,方可进行型式试验。其出厂试验结果也应在型式试验报告中给出。型式试验中的所有耐受电压试验的试验项目应在同一台互感器上进行。

(一) 温升试验

1. 试验目的

检验互感器在正常及系统故障情况下的温升情况。

2. 试验方法

试验只在电磁单元上进行,在额定频率和规定负荷〔功率因数为0.8(滞后)~1之间的任一数值〕下,给试品施加规定电压,当每小时的温度上升值不超过1℃时,即认为已达到稳定状态。

规定负荷即每个二次绕组上分别接有各自最大负荷来进行该试验,如果互感器规定了极限热负荷,试验时应加极限热负荷值。

试验时,互感器的安装状态应代表实际运行情况。绕组温升应采用电阻法测量。绕组以外的其他部位的温升,可用温度计或热电偶法测量。

(二) 雷电冲击(全波和截波)试验

1. 试验目的

保证试品的绝缘性能,使试品在系统运行时能够承受来自系统内外的各种过电压的冲击。

2. 试验方法

冲击试验一般施加参考冲击电压和额定冲击耐受电压。参考冲击电压值为额定冲击耐受电压值的50%~75%。冲击电压的峰值和波形应予记录。参考冲击电压下和额定冲击耐受电压下所记录量值的波形变异,可作为试验中绝缘损坏的依据。

雷电全波冲击试验,试验电压值应按设备最高电压和规定的绝缘水平,选择GB311.1规定的相应值。试验电压加到一次绕组的每一个线端和地之间。试验时,一次绕组接地端子(或不接地电压互感器的非被试线端)、座架、箱壳(如果有)和铁芯(如果要求接地)等均应接地。

可在接地连接中接入一个适当的电流记录装置(由制造厂自行选择),二次绕组端子可以连在一起接地。也可接上一个适当的记录装置,以记录试验时出现在二次绕组两端上的电压波形。

(三) 操作冲击试验

1. 试验目的

保证试品的绝缘性能,使试品在系统运行时能够承受来自系统的各种过电压的冲击。

2. 试验方法

试验电压值应按设备最高电压 U_m 和规定的绝缘水平,选取GB311.1规定的相应值。试验按GB/T 16927.1规定进行。试验电压施加在一次绕组线端与地之间。一次绕组的接地端、二次绕组的一个端子、座架、箱壳(如果有)和铁芯(如果要求接地)等均应接地。可在接地连接中接入一个适当的电流记录装置(由制造厂自行选择)。二次绕组不接地的端子可以悬空或接一个高阻抗的装置,以记录试验时出现在二次绕组两端上的电压波形。试验应在正极性下进行,连续冲击15次。应做大气条件校正。

(四) 户外式互感器的湿试验

为了检验外绝缘的性能,户外式互感器应承受湿试验。其试验程序应按照GB/T 16927.1的规定进行。

（五）励磁特性测量

设备最高电压 40.5kV 及以上电压互感器应进行励磁特性测量，其测试要求应符合 JB/T 5357 的规定。

（六）短路承受能力试验

1. 试验目的

检验二次系统出现短路故障时，互感器承受短路电流造成的机械和热效应的能力。

2. 试验方法

在互感器一次侧施加额定电压的情况下，将二次端子短接。短路试验进行一次，持续时间 1s。被试互感器冷却到环境温度后，若能满足下列要求，则认为通过该试验：

（1）无可见的损伤。

（2）其误差与试验前的差异不超过其准确级误差限值的 50%。

（3）电磁单元中变压器的一次和二次绕组能承受工频耐受电压试验（试验电压降低到规定值的 90%）。

（4）经检查，电磁单元中变压器的一次绕组和二次绕组表面的绝缘无明显的劣化现象（如碳化）。如果绕组由铜导线制成，且相应的电流密度不大于 $160\text{A}/\text{mm}^2$ ，则可不进行此项检查。电流密度以实测的二次绕组对称短路电流方均根值（对于一次绕组则除以额定变压比）计算得到。

二、出厂试验

出厂试验的目的在于检验制造过程中的缺陷和测定互感器的准确度，由制造厂对需出厂的每一台互感器进行试验。出厂试验各项目中，误差试验应在耐受电压试验之后进行，其余项目的次序可不作规定。

（一）外观检验（整体部分）

1. 试验目的

检验互感器的外观性能。检验互感器的金属件外露表面是否具有良好的防腐蚀性能，产品铭牌及端子标志是否符合图样要求。

2. 试验方法

目测，观察。

（二）密封性试验（整体部分）

1. 试验目的

检验互感器（包括电容分压器和电磁单元）各密封部位的密封性能。

2. 试验方法

电磁单元的密封性试验方法一般由制造厂规定，一般通过给试品充油压或给试品加温进行，具体要求和方法由制造厂提出。

（三）绕组的极性检验（电磁单元部分）

1. 试验目的

检验互感器的极性是否正确，为后面的试验项目做好准备，防止误差试验时仪器故障。