

基于预防性试验的互感器故障分析与检测研究

白月川¹, 李敏², 雷禾雨³, 赵盛泽^{1*}

1. 华电山东新能源有限公司, 山东 济南 250000

2. 中国电信股份有限公司淄博分公司, 山东 淄博 255000

3. 乌兰察布供电公司修试管理处, 内蒙古 乌兰察布 012000

DOI: 10.61369/SSSD.2026090036

摘 要 : 互感器是电力系统中实现电压、电流变换以及继电保护、测量和计量的重要设备, 其绝缘性能和运行状态直接关系到电网的安全稳定运行。预防性试验能够通过周期性检测及时发现设备绝缘受潮、老化、局部缺陷及结构异常等问题。本文围绕互感器预防性试验展开研究, 通过绝缘电阻试验、介质损耗角正切值测量、直流电阻测量、极性和变比试验、伏安特性试验以及交流耐压试验和局部放电测量等典型方法开展互感器预防性试验。结果表明预防性试验能够有效识别设备潜在缺陷, 提高设备运行可靠性, 并为状态检修与故障预警提供依据。

关 键 词 : 互感器; 预防性试验; 绝缘电阻; 介质损耗; 局部放电; 电力设备

Research on Fault Analysis and Detection of Transformers Based on Preventive Tests

Bai Yuechuan¹, Li Min², Lei Heyu³, Zhao Shengze^{1*}

1. Huadian Shandong New Energy Co., Ltd., Jinan, Shandong 250000

2. Zibo Branch of China Telecom Co., Ltd., Zibo, Shandong 255000

3. Maintenance and Testing Management Department of Ulanqab Power Supply Company, Ulanqab, Inner Mongolia 012000

Abstract : Transformers are crucial devices in power systems for voltage and current transformation, as well as for relay protection, measurement, and metering. Their insulation performance and operational status directly affect the safe and stable operation of the power grid. Preventive tests can timely detect issues such as insulation moisture, aging, local defects, and structural abnormalities through periodic inspections. This paper focuses on the preventive tests of transformers, conducting tests such as insulation resistance tests, measurement of the tangent of the dielectric loss angle, DC resistance measurement, polarity and ratio tests, volt-ampere characteristic tests, AC withstand voltage tests, and partial discharge measurements. The results show that preventive tests can effectively identify potential defects in the equipment, enhance operational reliability, and provide a basis for condition-based maintenance and fault early warning.

Keywords : transformer; preventive test; insulation resistance; dielectric loss; partial discharge; power equipment

引言

在高压电力系统中, 互感器用于准确测量和控制系统电压以确保电网的稳定运行, 主要承担电压、电流变换以及为测量、计量、保护和控制装置提供标准信号的任务。由于电力系统中互感器运行的数量较多, 运行环境复杂, 多为高电压、大电流的工况, 其内部绝缘系统容易受到电、热、机械结构及外界环境因素的共同影响, 进而出现受潮、老化、局部放电及绝缘劣化等问题。若隐患未能被及时发现, 轻则影响计量和保护准确性, 重则引发设备故障甚至系统事故。

预防性试验是电力设备运行维护中的关键技术环节, 其核心目标在于通过周期性检测掌握设备绝缘状态及电气性能变化规律, 在故障形成和扩大之前发现电力设备异常并采取处理措施。

一、互感器的分类与结构特征

互感器的核心作用是借助闭合磁路铁芯, 配合绕制其上且相

互绝缘的一次绕组与二次绕组, 将电力系统中的高电压、大电流转换为便于测量、保护及控制的低电压、小电流^[1]。互感器可分为电流互感器与电压互感器两大类, 其中, 按绝缘介质分类, 可分

作者简介: 白月川 (1987.11—) 男, 山东淄博人, 助理工程师 / 学士, 研究方向: 电气。

通讯作者: 赵盛泽 (1995.10—), 男, 山东淄博人, 助理工程师 / 学士。研究方向: 经济学。

为干式、浇注绝缘式、油浸式及气体绝缘式；按变换原理分类，则可分为电磁式、电容式及光电式^[2]。

电流互感器的分类方式多样，按用途可分为测量用电流互感器与保护用电流互感器；按安装地点可分为户内式与户外式；按绝缘介质可分为油绝缘、浇注绝缘、干式绝缘、瓷绝缘及气体绝缘等类型。从应用场景来看，低压与中压等级的电流互感器多采用户内式安装，而高压等级的电流互感器则以户外式安装为主^[3]。

从绝缘结构上看，油浸式电流互感器主要包括链型绝缘结构和电容型油纸绝缘结构。电容型电流互感器由于底部结构及末屏位置较为特殊，当受潮或进水时，往往首先表现为末屏对地绝缘性能下降，因此在预防性试验中应重点关注相关测试结果^[4]。

二、预防性试验

预防性试验是指电力设备投入运行后，由运行或试验部门按照规定周期或运行需求实施的状态检测工作，目的是及时发现设备绝缘缺陷及其他潜在故障，防止设备在运行中发生突发性损坏^[5]。

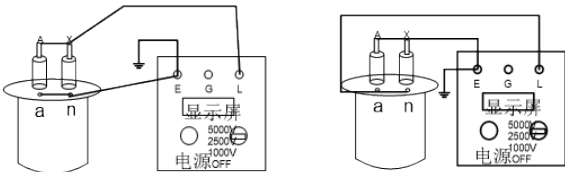
按试验过程中对绝缘的影响程度不同，互感器预防性试验通常分为非破坏性试验和破坏性试验两大类。非破坏性试验是指在低于或接近额定电压条件下，采用电气或非电气方法测量绝缘特性及其变化规律，以判断绝缘状态的一类试验。该类试验对设备绝缘损伤较小，适合周期性检测，但通常不能直接反映绝缘极限耐压能力^[6]。

破坏性试验通常是指在高于设备正常运行电压的条件下进行的耐压试验，其目的是考验设备绝缘在过电压作用下的承受能力。交流耐压试验是典型的破坏性试验方法。此类试验对发现严重绝缘缺陷具有较高有效性，但在设备绝缘已存在明显薄弱环节时，可能造成不可逆损伤，因此一般安排在非破坏性试验之后进行^[7]。

三、互感器预防性试验方法分析

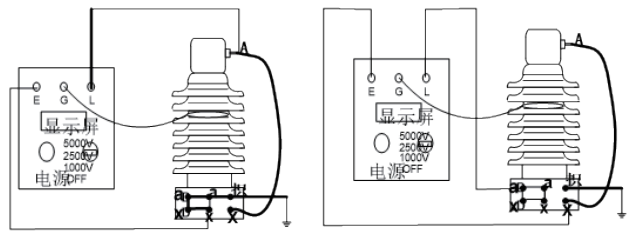
（一）绝缘电阻试验

绝缘电阻试验主要用于检测互感器整体绝缘是否存在受潮、劣化及表面泄漏等问题，是评估设备绝缘状态最基础、最常用的试验项目之一。对于电压互感器，通常采用绝缘电阻表分别测量一次绕组和二次绕组绝缘电阻。具体试验接线如图1、图2所示。



(a) 高压侧对低压侧绝缘电阻 (b) 低压侧对高压侧绝缘电阻

图1 JDJ-10电压互感器绝缘电阻测量



(a) 高压侧对低压侧绝缘电阻 (b) 低压侧对高压侧绝缘电阻

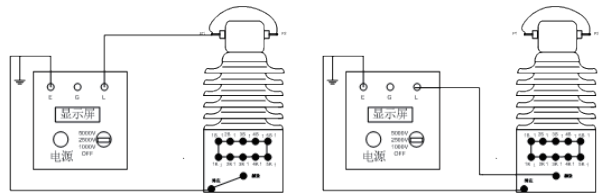
图2 JCC6-10W串联式电压互感器绝缘电阻测量

表1 电压互感器测量数据结果

互感器型号	高对地绝缘电阻	低对高绝缘电阻	温度	湿度
JDJ-10	11.5GW	2.9GW	22℃	31%RH
JCC6-10W	4.25GW	1.2GW	22℃	31%RH

将上述结果与以往值和出厂值比较发现，所测得的一次绕组绝缘电阻满足要求，二次绕组绝缘电阻不低于10M Ω ，所以电压互感器 JDJ-10和 JCC6-10W 的绝缘状况均良好。

电容式电流互感器的绝缘状态监测中，需重点测量主屏间绝缘电阻及末屏对地绝缘电阻，通过这两项指标可有效反映设备底部是否存在受潮或积水现象^[8]。电容型电流互感器的末屏安装于油箱底部，其与大地之间仅通过末屏外屏绝缘及 U 形纸板绝缘实现绝缘隔离，绝缘结构相对薄弱。当互感器发生受潮故障时，水分易在油箱底部积聚，进而导致末屏与油箱之间的绝缘部分受潮最为严重，直接引发绝缘电阻值显著下降。具体测量如图3所示。



(a) 主屏间的绝缘电阻 (b) 末屏对地的绝缘电阻

图3 LB6-110W3电容式电流互感器绝缘电阻的测量

表2 电容式电流互感器绝缘电阻的测量结果

	主屏间的绝缘电阻	末屏对地的绝缘电阻	温度	湿度
测量数据	∞	100GW	23℃	31%RH

结果表明，相关被试互感器的一次、二次绕组绝缘电阻均满足要求，主屏间绝缘电阻表现为高阻状态，末屏对地绝缘电阻数值较高，表明设备绝缘状况整体良好。

（二）介质损耗角正切值测量

介质损耗角正切值 ($\tan \delta$) 是表征绝缘介质损耗特性的关键参数。测量 20 kV 及以上电磁式互感和 110 kV 及以上电容型电流互感器的末屏对二次绕组及地的介质损失角正切值 $\tan \delta$ ，对发现绝缘受潮、老化、裂纹、局部碳化及电容芯子异常等缺陷具有较高灵敏度。试验室中使用的是 AI-6000D 型介损测试仪，该仪器上面板如图4所示，其简化图如5。

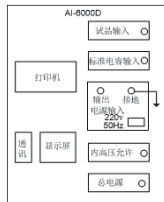


图4 AI-6000D 型介损测试仪面板

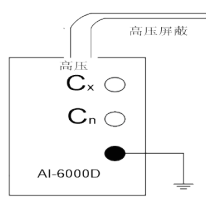


图5 AI-6000D 型介损测试仪面板简化图

在电压互感器试验中,可采用正接线或反接线进行测量;对于串级式电压互感器,还可采用常规法、自激法、末端屏蔽法和末端加压法。对于电容式电压互感器,则应分别测量分压电容及电磁单元的 $\tan \delta$ 和电容量。

(三) 直流电阻测量

直流电阻测量主要用于检查互感器绕组是否存在短路、断路、接线错误、焊点接触不良等问题,同时也可用于核对导线规格及绕组一致性。本研究用 XD2505 型直流电阻测试仪测量 JCC6-10W 串级式电压互感器,具体接线如图6所示。

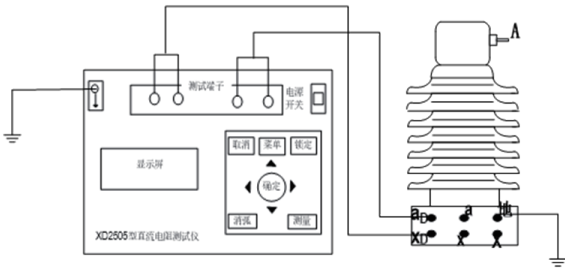


图6 直流电阻测试仪测量 JCC6-10W 接线图

(四) 极性和变比试验

极性和变比试验用于校核互感器的极性连接关系及变比是否符合铭牌要求,是保证继电保护、测量和计量准确性的必要手段。本研究选用 FA-103 型互感器多功能全自动综合测试仪测量 LB6-110W3 电容式电流互感器,具体接线方式如图7所示。

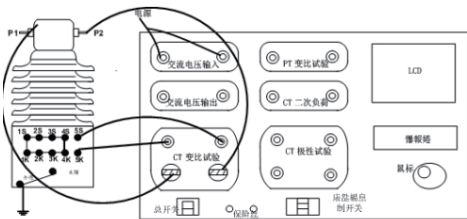


图7 多功能全自动测试仪测量电流互感器极性变比接线图

测量结果为:二次绕组变比为1097.9,误差为-0.19%,减极性;二次辅助绕组变比为627.3,误差为-1.23%,减极性;本

次试验还对 LB6-110W 进行测量,测得的结果为:测量极变比为300/4.994,比差为0.12%,角差为0.15° 减极性;保护级变比为300/4.987,比差为0.26%,角差为0.64° 减极性。通过与被试互感器的铭牌进行比对,所测得的变比与极性均符合铭牌上的标识规定。

(五) 伏安特性试验

伏安特性试验主要针对电流互感器开展,其目的是绘制励磁特性曲线并确定饱和拐点电压,以判断铁心磁路是否存在匝间短路、局部缺陷或磁性能下降等问题。具体接线如图8所示。

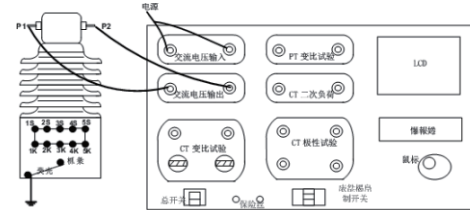


图8 多功能全自动测试仪测量电流互感器伏安特性接线图

四、试验结果综合分析与讨论

从整体试验结果看,绝缘电阻、 $\tan \delta$ 、变比极性以及伏安特性等项目均未发现明显异常,说明被测互感器总体绝缘状况良好,能够满足运行要求。非破坏性试验结果表明,互感器绕组主绝缘、末屏绝缘及二次回路状态均较为稳定,没有出现显著受潮、老化或局部进水迹象。

此外,对于分级绝缘电压互感器和电容型电流互感器,仅依赖单一试验项目通常难以全面判断其绝缘状态,应将绝缘电阻、 $\tan \delta$ 、电容量变化、末屏试验结果及局部放电测量等信息进行综合分析,才能获得更可靠的结论。

五、结论

本文基于互感器预防性试验原始材料,对互感器分类与结构特点、主要试验项目及实施方法进行了系统整理和学术化分析。研究表明,预防性试验是保障互感器安全运行的重要措施,能够有效发现绝缘受潮、老化、局部放电及结构异常等潜在缺陷。建立完善的历史试验数据库并对比历次试验结果,是提高设备状态评估准确性和实现状态检修的重要基础。互感器预防性试验不仅是电力设备运行维护的基础工作,也是保障电网安全、提升设备可靠性和实现精益化运维的重要技术手段。

参考文献

- [1] 李鹏,田建华. 高电压技术实训指导书 [M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [2] 常美生. 高电压技术 [M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [3] 于长顺,郭琳. 发电厂电气设备 [M]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [4] 陈化钢. 电力设备预防性试验技术问答 [M]. 北京:中国水利水电出版社,1998.
- [5] 河南电力技师学院. 电气试验工 [M]. 北京:中国电力出版社,2004.
- [6] 孙恒峰,张扬,孙正华,等. 不拆高压引线测量220kV CVT 介损及电容量的试验方法 [J]. 电力电容器与无功补偿,2008(5):7-13.
- [7] 赵京武,李红林. 500kV CVT 不拆高压引线预试方法探讨 [J]. 高电压技术,1999(3):4-7.
- [8] 杨殿成,邱朝阳. 220kV 电容式电压互感器不拆引线试验研究 [J]. 云南电力技术,2011,4(1):19-22.