

# 电力变压器检修技术及其实验分析

刘玉龙<sup>1</sup> 贾晓彬<sup>2</sup>

1. 河南安钢招标代理有限公司 河南 安阳 455000

2. 河南金数智能科技股份有限公司 河南 安阳 455000

**摘要:** 随着电力设备智能化升级, 变压器检修技术向精准化、预防性转型。本文聚焦电力变压器检修技术及其实验分析。首先概述电力变压器检修工作的重要性与基本内容, 接着详细阐述绕组、铁芯、绝缘部件、分接开关及冷却系统等关键检修技术, 并介绍绝缘电阻、直流电阻、介电损耗因数测试及油务试验等实验分析方法。最后探讨电力变压器检修技术的发展趋势, 包括智能化检修、在线监测技术应用以及绿色检修理念等, 旨在为电力变压器的高效、安全运行及检修技术发展提供参考。

**关键词:** 电力变压器; 检修技术; 实验分析; 发展趋势

引言: 电力变压器作为电力系统的核心设备, 其稳定运行对保障电力供应的可靠性至关重要。然而, 受运行环境、负载变化等多种因素影响, 变压器易出现各类故障, 影响电力系统安全。因此, 及时有效的检修工作必不可少。传统的电力变压器检修多依赖定期检修与事后维修, 存在过度检修或检修不足等问题。随着技术发展, 先进的检修技术与实验分析方法不断涌现。深入研究电力变压器检修技术及其实验分析, 有助于提升检修效率与质量, 降低运维成本, 确保电力系统稳定运行。

## 1 电力变压器检修的概述

电力变压器是电力系统中实现电压变换、电能分配与传输的关键设备, 其运行状态直接影响电力系统的安全、稳定与经济运行。由于长期承受电、热、机械应力以及环境因素的综合作用, 变压器内部各部件不可避免地会出现老化、磨损、绝缘性能下降等问题, 进而引发故障, 影响供电质量甚至造成停电事故。因此, 开展科学、有效的检修工作至关重要。电力变压器检修旨在通过定期或不定期的检查、维护、试验与修理, 及时发现并消除设备潜在缺陷, 恢复或提高其性能, 延长使用寿命, 确保变压器始终处于良好的运行状态。检修工作涵盖多个方面, 包括对绕组、铁芯、绝缘部件、分接开关、冷却系统等关键部位的外观检查、性能测试与状态评估。根据检修时机与目的的不同, 可分为预防性检修

**第一作者:** 刘玉龙, 1988年10月, 男, 汉族, 河南郑州人, 本科学历, 电气助理工程师, 研究方向电气自动化。

**第二作者:** 贾晓彬, 1989年2月, 男, 汉族, 北京人, 本科学历, 初级工程师, 党委办公室主任, 研究方向电气工程。

与故障检修。预防性检修通过定期检测与维护, 提前预防故障发生; 故障检修则是在设备出现故障后, 迅速定位并修复问题。合理的检修策略能够平衡检修成本与设备可靠性, 提高电力系统的整体运行效益<sup>[1]</sup>。

## 2 电力变压器检修的关键技术

### 2.1 绕组检修

绕组作为电力变压器的核心部件, 承担着电能传输与电压变换的关键功能, 其运行状态直接影响变压器的性能与安全。绕组检修需重点关注以下几个方面: 首先, 外观检查至关重要。需仔细查看绕组绝缘有无破损、老化、变色, 导线有无松动、变形或断股现象。若发现绝缘层有龟裂、起泡或碳化痕迹, 需及时评估其绝缘性能, 必要时进行更换。其次, 进行直流电阻测试。通过测量绕组直流电阻, 可判断绕组是否存在匝间短路、断线或接触不良等故障。若三相电阻不平衡度超出标准值, 需进一步排查原因, 如引线焊接不良、绕组变形等。此外, 还需关注绕组变形情况。利用频率响应分析法或短路阻抗法, 可检测绕组在运输、运行或短路冲击下是否发生轴向、径向变形, 确保绕组结构完整性。

### 2.2 铁芯检修

铁芯是电力变压器建立磁场、实现能量转换的关键部件, 其检修质量直接影响变压器的运行效率和安全性。铁芯检修需重点关注以下要点: 首先, 进行外观及结构检查。仔细查看铁芯表面是否平整, 有无局部过热、烧蚀痕迹, 硅钢片间绝缘漆是否脱落或破损。若发现铁芯多点接地, 会形成环流, 导致局部过热, 需及时查明接地原因并消除。同时, 检查铁芯夹件、拉板等结构件是否松动、变形, 确保铁芯整体紧固可靠。其次, 检测铁芯绝缘性能。采用绝缘电阻测试仪测量铁芯对地

绝缘电阻,若绝缘电阻值低于标准值,说明铁芯绝缘受潮或损坏,需进行干燥处理或更换绝缘材料。

### 2.3 绝缘部件检修

绝缘部件是保障电力变压器安全运行、防止电气击穿的关键屏障,其性能优劣直接影响变压器的可靠性与使用寿命,检修工作需细致全面。对于绝缘纸板、绝缘纸等固体绝缘部件,重点检查其有无受潮、老化、破损情况。受潮会使绝缘性能大幅下降,可通过测量绝缘电阻判断,若数值低于标准,需进行干燥处理;老化则表现为变脆、变色,严重时要及时更换。同时,查看部件有无机械损伤,如裂纹、孔洞等,防止局部放电发生。绝缘油作为液体绝缘介质,要定期取样进行油务试验,检测其击穿电压、介质损耗因数、含水量等指标。若击穿电压降低,说明油中杂质或水分过多;介质损耗因数增大,表明油质老化。根据试验结果,采取过滤、再生处理或换油等措施。

### 2.4 分接开关检修

分接开关是电力变压器用于调节电压的关键装置,通过改变绕组匝数比来实现电压调整,其可靠运行对保障电力系统的电压稳定至关重要,检修工作不容忽视。检修时,先对分接开关的外观进行全面检查。查看触头有无烧蚀、磨损,若触头表面不平整、有熔焊痕迹或氧化严重,会导致接触电阻增大,引发局部过热,需及时打磨处理或更换触头。同时,检查弹簧压力是否正常,弹簧压力不足会使触头接触不良,影响电压调节效果。接着,进行电动操作机构检查。测试分接开关的电动操作是否灵活,有无卡涩、拒动现象,确保操作机构能准确、可靠地完成分接变换动作。还要检查限位装置是否完好,防止分接开关越限运行。

### 2.5 冷却系统检修

冷却系统对于电力变压器至关重要,它通过有效散热,确保变压器在允许的温度范围内运行,防止因过热导致绝缘损坏等故障,检修工作需全面且细致。对于风冷式冷却系统,先检查风扇电机。查看电机运行是否平稳,有无异常振动与噪声,测量电机绝缘电阻,若绝缘电阻过低,需进行干燥处理或更换电机。同时,检查风扇叶片有无变形、损坏,确保其转动时风量充足。还要查看风道是否畅通,有无杂物堵塞,若有需及时清理,保证空气能顺畅流通带走热量。油浸式变压器的冷却系统多采用散热器或冷却器。检查散热器表面有无油污、灰尘堆积,这些会影响散热效率,需定期清洁。查看散热器阀门是否开关灵活,有无渗漏油现象,若有渗漏需紧固阀门或更换密封件<sup>[2]</sup>。

## 3 电力变压器实验分析方法

### 3.1 绝缘电阻测试

绝缘电阻测试是评估电力变压器绝缘性能的基础实验方法。通过测量变压器各绕组之间、绕组对地及铁芯对地的绝缘电阻值,可判断绝缘是否受潮、老化或存在局部缺陷。测试时,使用高精度兆欧表,在规定电压下(如2500V或5000V)施加直流电压,记录稳定后的绝缘电阻值。若绝缘电阻显著降低,可能表明绝缘材料受潮、脏污或绝缘层破损。例如,当绕组对地绝缘电阻低于前次测量值的50%或低于标准值时,需进一步排查原因,如检查密封是否良好、绝缘油是否劣化等。此外,测试环境温度、湿度对结果影响较大,需在干燥、清洁的环境中进行,并记录测试条件以便对比分析。绝缘电阻测试操作简便、成本低,是变压器预防性试验的重要项目。

### 3.2 直流电阻测试

直流电阻测试用于检测电力变压器绕组的直流电阻,可反映绕组导线连接是否良好、有无断股或接触不良等故障。测试时,采用直流电阻测试仪向绕组通入直流电流,测量电压降并计算电阻值。三相绕组直流电阻不平衡度是关键指标,若不平衡率超过标准值(如线间不平衡率不超过2%),可能存在匝间短路、分接开关接触不良或引线焊接问题。例如,若某相绕组电阻显著增大,可能是该相引线断路或接头松动;若电阻减小,则可能存在匝间短路。直流电阻测试还能发现绕组制造工艺缺陷,如导线换位不充分导致的电阻偏差。该测试对变压器安全运行至关重要,能提前发现潜在故障,避免事故扩大。

### 3.3 介质损耗因数测试

介质损耗因数( $\tan\delta$ )测试是评估电力变压器绝缘介质损耗特性的关键方法。通过测量绝缘介质在交流电压作用下的有功损耗与无功损耗之比,可反映绝缘材料的劣化程度和受潮情况。测试时,使用高压介质损耗测试仪向变压器绕组施加交流电压,测量 $\tan\delta$ 值及电容值。若 $\tan\delta$ 值显著增大,表明绝缘介质老化、受潮或存在局部放电。例如,当 $\tan\delta$ 值超过标准值(如20℃时不大于0.5%)或与历史数据相比增长超过30%时,需进一步检查绝缘状态。介质损耗因数测试对早期发现绝缘缺陷敏感,尤其适用于油纸绝缘系统的变压器。结合温度校正和频率响应分析,可更准确判断绝缘性能,为变压器状态评估提供重要依据。

### 3.4 油务试验

油务试验是监测电力变压器绝缘油性能的核心手

段,通过分析油样物理、化学和电气指标,评估油质状态及变压器内部故障风险。主要试验项目包括击穿电压、介质损耗因数、含水量、含气量、酸值、微水检测及色谱分析等。例如,击穿电压低于标准值(如35kV)表明油中杂质或水分过多,需过滤或换油;色谱分析通过检测油中溶解气体(如H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>等)的组分和含量,可诊断变压器内部过热、电弧放电或绝缘老化等故障。若C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>含量突增,可能存在电弧放电;总烃含量超标则提示过热故障。油务试验还能监测油质老化趋势,指导油再生处理或更换周期。定期油务试验是变压器预防性维护的重要环节,可提前发现潜在故障,延长设备使用寿命<sup>[3]</sup>。

#### 4 电力变压器检修技术的发展趋势

##### 4.1 智能化检修

电力变压器智能化检修是行业发展的核心趋势。借助物联网、大数据、人工智能等技术,实现设备状态全面感知与数据深度融合。通过部署多种传感器,实时采集温度、局放、油色谱等关键参数,结合红外热成像、超声波检测等非电参数监测技术,构建设备全维度健康模型。利用机器学习、深度学习算法,对海量数据进行智能分析,精准识别故障特征,预测设备剩余寿命与故障发展趋势,制定最优维护策略。同时,智能巡检机器人(如无人机、地面巡检机器人)的应用,可自主完成巡检任务,实时回传数据并与后台联动分析,实现巡检过程全自动化。一体化智能运维平台整合设备全生命周期数据,支持故障预警、工单派发、维护过程跟踪等全流程管理,提升运维效率与决策科学性。

##### 4.2 在线监测技术应用

在线监测技术是电力变压器检修的关键支撑。通过实时采集变压器油温、绕组温度、局部放电、油中气体成分等数据,结合GPRS、4G/5G、光纤等通信技术,实现远程实时传输与云端分析。基于人工智能的故障诊断算法,可自动识别异常模式,预测潜在故障,提前发出预警。多源数据融合技术整合红外测温、超声波检测等监测数据,构建设备全维度健康模型,提升状态评估准确性。低功耗传感器与边缘计算技术的结合,减少数据传输延迟,提升系统响应速度。标准化与平台化建设推动监测系统接口统一,构建统一数据管理平台,实现跨

设备数据共享,为运维决策提供数据支撑。未来,随着数字孪生技术发展,可构建设备虚拟模型,实现动态校准与故障推演,优化维护方案。

##### 4.3 绿色检修理念

绿色检修理念是电力变压器检修的可持续发展方向。该理念强调在检修过程中减少能源消耗、降低废弃物排放,实现资源高效利用与环境保护。绿色变压器采用立体卷铁心、植物油绝缘等环保材料,减少矿物油使用,降低碳排放。检修环节推广绿色维修技术,如采用环保型清洗剂、可降解润滑油,减少有害物质排放。同时,优化检修流程,避免过度检修,延长设备使用寿命,降低全生命周期成本。此外,绿色检修还注重检修废弃物的分类回收与资源化利用,如变压器油再生处理、金属部件回收再利用,减少环境污染。随着“双碳”目标推进,绿色检修理念将深入电力设备检修领域,推动行业向低碳、环保、可持续方向转型<sup>[4]</sup>。

##### 结束语

电力变压器作为电力系统的核心设备,其检修技术与实验分析是保障电网安全稳定运行的关键环节。通过系统化的检修技术,如绕组、铁芯、绝缘部件等关键部位的精细检测与维护,可有效预防设备故障;而实验分析方法,如绝缘电阻、直流电阻、介质损耗因数及油务试验等,则为设备状态评估提供了科学依据。两者相辅相成,共同构建起变压器全生命周期管理体系。未来,随着智能化、在线监测技术的深入应用,变压器检修将向预测性、精准化方向发展,进一步提升电力系统的可靠性与经济性,为能源转型与“双碳”目标实现提供坚实支撑。

##### 参考文献

- [1]张逸凡.电力变压器雷击故障诊断及对策[J].河南电力,2022(S2):31-33.
- [2]翟晶晶,常舜禹.电力变压器的运行状态综合评价探讨[J].智能城市,2022,5(24):50-51.
- [3]杜娟.变压器运行中异常现象的处理和维护初探[J].科技风,2023(36):174.
- [4]马伟华,李志华.电力自动化变压器检修系统处理技术的探讨[J].科技与企业,2022(10):206.