

电气设备绝缘性能现场检测方法改进与实践研究

范晓龙

华电国际莱城发电厂 山东 济南 271100

摘要：电气设备绝缘性能达标能够更好地保障电力系统运行的安全性、稳定性、高效性，而现场检测工作的开展能够精准快速检测到电气设备是否存在故障，判断电气设备的绝缘状态是否符合要求。但传统的检测方法效率低、精确性不足，且容易受环境等因素影响，不能满足现代化发展需求，亟须改进优化现场检测方法。基于此，本文先分析了电气设备绝缘性能现场检测常用的方法及存在的问题，后从检测技术、检测设备、检测流程等方面制定了相应的改进对策，并通过案例验证改进方法的可行性，以期进一步提高电气设备绝缘性能现场检测质量，为电力系统安全稳定运行提供有力支撑。

关键词：电气设备；绝缘性能；现场检测；方法改进

引言：电力系统是国民经济的重要命脉，电气设备作为电力传输与分配的核心载体，其运行可靠性直接决定电网整体安全水平^[1]。绝缘系统是电气设备的重要组成部分，能够有效防止漏电、隔离电位，可更好地保护电气设备运行安全，以及规避安全事故的发生，进而达到保障人身安全的效果。但长期运行期间，电气设备绝缘材料会受电场、环境温湿度等多项因素影响，出现受潮、破损等情况，极易引发绝缘故障，风险性大幅度提升，现场检测作为直接对设备绝缘性能进行检测与评估的技术手段，其检测的效率、精准性等十分关键。因此，现阶段应加强重视现场检测工作，并对传统的检测方法进行改进优化，切实提升现场监测实效性，确保电气设备绝缘性能符合规范标准，规避现场安全事故，保障电网安全运行。

1 电气设备绝缘性能现场检测常用方法及现存问题

1.1 现场检测常用方法

绝缘电阻与吸收比测试法：该方法是现场检测中最为基础的一种，主要借助兆欧表向电气设备绝缘系统施加直流电压，测量所得相应的绝缘电阻值，并通过计算得到吸收比或极化指数，根据这些数值进一步分析电气设备绝缘状态，判断绝缘系统是否存在受潮、劣化等问题。该方法所需成本较低，应用简单，适用于像变压器、电缆等电气设备的绝缘性能初步检测。

直流泄漏电流与直流耐压试验法：电气设备停电条件下，可通过施加直流高压电源的方式对绝缘系统的泄漏电流进行测量，这样可获得泄漏电流的数值、时间变化规律等信息，进而判断绝缘集中性缺陷^[2]。而直流耐

压试验则是施加高于额定电压的直流电压，这样可直接对绝缘的耐压强度进行检测，能够更为精准地发现是否存在局部破损等更为严重的问题。

介质损耗角正切测试法：使用数字化介损测试仪等专业设备，于交流电压条件下对绝缘介质的损耗角正切值进行测量，可灵敏反应电气设备绝缘整体是否存在受潮、老化等情况^[3]。该方法是变压器套管等容性设备最常使用的检测方式，在检测分析绝缘整体性能劣化趋势方面有较好的效果。

局部放电现场检测法：局部放电是绝缘早期缺陷的重要表征，现场常用特高频法、超声波法等方式检测绝缘内部局部放电产生的电磁信号、声波信号或电流信号^[4]。对于电气设备早期存在的绝缘故障或较为微弱的绝缘缺陷，使用此方法较为精准，且能够在电气设备带电时进行检测。

1.2 现场检测存在的问题

为进一步提高电气设备绝缘性能现场检测水平，还需全面分析当前现场检测存在的问题。① 检测精度受干扰。电气设备现场处于强电磁环境，这种情况下会产生大量电磁干扰，而局部放电、泄漏电流等绝缘故障极易会被现场环境所覆盖，难以精准检测。同时，现场环境的温湿度、粉尘等因素会进一步影响检测结果的精确性。② 传统方法敏感性不足。绝缘故障多从局部微小缺陷开始发展，传统离线检测方法如绝缘电阻测试、介损测试等，主要反映绝缘整体性能，对早期局部缺陷的检测敏感性不足，容易使得局部缺陷持续发展造成更严重的绝缘故障。③ 检测流程繁琐。传统现场检测开展时

需保证电气设备停电、需进行前期试验,以及复杂的接线准备,整体流程复杂,需耗费较多时间和人力,不满足状态检修的高效化需求。④ 智能化水平低。传统现场检测的数据信息更多需人工进行判读,无统一规范的诊断标准,这不同能力水平的检测人员所得的诊断结果也不同。同时,人工判读无法对大量的数据信息进行整合分析和智能预测,不能对绝缘性能劣化规律进行精准把握。⑤ 检测设备功能单一。传统检测设备体积大、质量重、功能单一,不仅不适用于高空、狭小空间的现场检测,还无法进行多参数、多技术的融合现场检测,检测设备整体运行水平低,应用效果不足。

2 电气设备绝缘性能现场检测方法改进分析

2.1 改进优化检测技术

根据当前现场检测存在的问题,对原有的现场检测技术进行改进优化,进一步提高电气设备绝缘性能现场检测实效性。首先,对于强电磁环境下产生的电磁干扰问题,可先采取自适应滤波技术与小波变换信号去噪算法预处理检测信号,这样可对环境干扰噪声进行精准过滤,进一步提取到更微弱的有效信号^[5]。为更好地避免电磁干扰,在局部放电检测时可使用窄带带通滤波器与双层电磁屏蔽技术,有效提高检测期间的抗干扰能力,且可更加灵敏地检测到特高频、超声波信号。建立环境参数修正模型,能够结合检测现场的温湿度等参数变化实时校正检测数据,确保检测结果可靠无误。其次,以往检测技术应用较为独立单一,为提高缺陷检测的全面性,可更为精确地了解电气设备绝缘缺陷问题,应采取多技术融合检测方式。如将特高频法与超声波法进行结合运用,可对局部放电进行精准定位,快速识别具体类型;将直流泄漏电流测试法、介质损耗角正切测试法与局部放电检测法进行结合运用,可同步获得局部缺陷与电气设备绝缘整体性能的相关数据。最后,对非接触式红外热成像检测技术、电场检测技术进行优化,在电气设备不停电、与电气设备保持较远距离等条件下也能进行绝缘检测,这样可确保供电稳定。对高频电流与特高频电流带电检测传感器进行升级,提高传感器的信号捕捉能力,可对电气设备进行实时带电检测,这样可提早发现绝缘缺陷予以维修处理^[6]。

2.2 改造升级检测设备

以往检测设备功能单一,一台检测设备只能完成一项检测项目,不仅效率低,还会产生更高检测成本,在改造升级过程中应积极研发一体化智能检测设备,将泄漏电流、介损、绝缘电阻等多项检测方法进行集成运用,实现一台设备完成多参数检测。对传统传感器进行

升级,可借助微电机系统、光纤传感技术等,不断提高传感器的灵敏度等性能参数,能够精准检测数据信息,以及减小检测设备的体积与质量,提高检测设备的便携性,这样可更好地适用于高空、狭小空间的现场检测。使用自取能技术,利用设备运行中的电磁场、振动能量等为传感器供电,在无需外接电源的条件下可解决现场布线难题^[7]。将5G通信技术等集成于绝缘检测设备中,实现检测数据的实时无线传输,既可减少人工工作量,降低人工记录误差,又可提高检测效率,数据能够快速传输至管理平台,检测人员可直接远程进行检测分析,及时发现存在的绝缘缺陷问题。

2.3 规范优化检测流程

提升电气设备绝缘性能现场检测效率,确保检测数据精准全面,还需对原有的现场检测流程进行优化,提高检测的规范化、标准化。一是制定差异化检测标准,对电气设备的运行年限、运行环境、电压等级、运行重要性、历史绝缘缺陷等多方面条件进行了解,以根据电气设备的实际情况制定不同的检测计划。如对于主变压器等较为核心的电气设备,应进一步缩短检测周期,提高检测重视度,增加局部放电、油中溶解气体等更为精细的检测流程,而对于相对普通的电气设备,可使用批量检测方法,适当延长检测周期。二是制定标准化检测作业流程,对前期准备工作、设备接线、设备参数设定、检测操作、检测数据记录、安全措施、异常处理、突发事件应对等作业流程进行统一规范,这样既可减少人为失误,又能提高检测效率、质量及安全。同时,规范检测数据格式与记录要求,实现多设备、多批次检测数据的统一管理。三是优化离线检测流程,可采取快速拔插接头的接线设计以有效减少接线时间。开发设计自动化检测程序,当电气设备运行后可自动进行升压、数据采集、降压、结果输出等检测作业,进一步提高现场检测效率^[8]。

2.4 强化先进技术赋能

运用人工智能算法等技术,建立电气设备绝缘性能评估与故障诊断模型,依托机器学习算法可对检测数据进行训练,相比于人工检测分析来说,智能诊断模型的建立可精准、自动识别绝缘缺陷的类型、严重程度等。通过深度学习算法还可对局部放电信号特征进行精准分析,便于检测人员了解到该电气设备绝缘故障的具体类型。结合绝缘性能劣化规律,可建立趋势预测模型,检测人员能够通过模型预测分析绝缘性能的劣化趋势,一旦出现异常数值可及时查看处理,实现故障提前预警。现场检测工作开展期间会产生大量的检测数据信息,同

时还涉及电气设备的历史故障数据、日常运行数据等，整体数据信息海量，为提高对电气设备绝缘状态的检测评估质量，还应建立数据库，将多类数据信息进行整合，并搭建数据共享平台，实现不同现场、不同运维团队的数据共享。另外，还可开发可视化管理系统，将现场检测数据、电气设备绝缘状态、绝缘故障的位置等通过三维模型进行展示，提高检测分析的可视化。

3 现场检测方法改进的工程实践应用

选取某运行十年多的 220kV 变电站开展实践验证，该变电站内电气设备类型多样，电磁环境具有一定的复杂性，以往采取的现场检测方法存在数据不精确、绝缘缺陷漏判、检测效率低等问题。本次全面应用优化后的绝缘性能现场检测方法，检验方案可行性与实用性。

表 1 电气设备绝缘性能现场检测方法改进效果对比表

对比指标	传统检测方法	改进后检测方法	提升/变化数值
缺陷检出率	72 %	94 %	+ 22 %
检测数据误差	> 8 %	≤ 3 %	-60 % 以上
单台设备检测时长	90min	30min	缩短 66.7 %
全站核心设备检测周期	5d	2d	缩短 60 %
诊断结果一致性	75 %	100 %	+ 25 %

根据实践结果显示，改进后的检测缺陷检出率、早期局部缺陷识别准确率、检测时长、检数据误差等指标均优于改进前，且改进后还可实现数据自动判读与故障预警，进一步提高现场检测效率及质量，在极大程度上降低了绝缘故障问题的发生率，可更好地保障电气设备的运行安全，减少运维成本和经济损失。通过该工程实践全面验证了改进方法在精准确度、效率与智能化层面的显著优势，具备大规模推广价值。

结语：综上所述，电气设备绝缘性能现场检测是电力系统运维的重要环节，其对电力系统运行的安全稳定性有直接影响。但传统现场检测方法存在抗干扰能力差、检测精度不足、检测效率低等问题，还需加大重视，对现场检测方法进行改进优化。本文所提出的多技术融合检测、运用一体化智能检测设备、建立电气设备绝缘性能评估与故障诊断模型等改进方案可解决传统检测方法的不足。工程实践结果表明改进后的检测方法应用效果更好，可进一步提高电气设备绝缘性能的检测水平，实现精准检测、智能分析和早期预警，能够更好地保障电气设备的运行安全。未来，还需持续对现场检测方法进行优化，推进数字孪生技术、人工智能等数字化

实践过程中，现场安装配备一体化智能检测终端，将泄漏电流、介损、绝缘电阻等多项检测方法进行集成运用，搭配微型自取能传感器与 5G 无线传输模块，同步搭建智能诊断平台并完成模型训练。现场检测开展期间，严格按照规范标准进行各项检测作业，对于停电的电气设备采用快速离线检测、对于带电的电气设备使用特高频与超声波联合非接触检测，现场检测时所获得的检测数据可实时传输至管理后台。依托电气设备绝缘性能评估与故障诊断模型进一步展开分析，可快速、精准判断出电气设备存在的绝缘缺陷，其中改进效果对比如表 1 所示。

技术与现场检测方法的深度融合，为电力系统的高效稳定运行提供更有力的技术支撑。

参考文献

[1] 何洁, 颜湘莲, 刘伟, 等. 电气设备用全氟异丁腈环保绝缘气体检测技术 [J]. 绝缘材料, 2025, 58(2): 85-91.

[2] 连鸿松, 李文琦, 赖永华, 等. 变压器绝缘油溶解气体及含气量现场快速检测一体化装置研究 [J]. 高压电器, 2020, 56(3): 79-86.

[3] 李晋强. 高压电气设备绝缘性能诊断技术研究 [J]. 电工技术, 2025(1): 126-129.

[4] 宝岩. 高压电气设备绝缘性能在线监测与评估技术 [J]. 模型世界, 2024(8): 52-54.

[5] 杨振杰. 低压电气设备绝缘性能提升技术 [J]. 电气时代, 2025(10): 99-101.

[6] 宋鹏飞, 熊燕辉, 秦向向. 高压设备强电系统电气设备绝缘性能安全保障技术研究 [J]. 电力设备管理, 2025(9): 239-241.

[7] 刘璐璐. 面向高压电气设备绝缘性能的在线检测技术研究 [J]. 实验室检测, 2025, 3(20): 74-76.

[8] 郭敬旺, 张洪文, 彭智绪. 高低压成套电气设备绝缘性能检测与故障诊断技术分析与应用 [J]. 机电工程技术, 2025, 54(23): 158-164.