

基于高压试验的电力设备故障诊断方法探讨

张著忠

贵州西电电力股份有限公司黔北电厂，贵州 毕节 551800

摘 要： 本研究全面探讨了基于高压试验的电力设备故障诊断技术。本文先详细介绍了高压试验的基本原理及其执行步骤，涵盖了高压试验的类型、核心原理及关键技术。随后，深入分析了电力设备故障诊断的理论基础，包括故障类型识别、诊断方法的选择以及技术发展趋势。进一步，文中评估了高压试验在电力设备故障诊断中的应用价值及其局限性，并探讨了与其他诊断技术的融合策略。基于此，提出了一套基于高压试验的故障诊断方法，涉及故障诊断流程设计、高压试验信号的处理与分析、特征提取与分析，以及故障诊断算法的开发。算法研究不仅包括传统方法，也涉及智能诊断算法，并对算法性能进行了评估与优化。本研究为电力设备故障诊断领域提供了创新视角，对于增强电力设备的运行可靠性和电力系统的安全稳定运行具有显著意义。

关 键 词： 高压试验；电力设备；故障诊断；信号处理；特征提取

Discussion on Fault Diagnosis Method of Power Equipment Based on High Voltage Test

Zhang Zhuzhong

Guizhou Xidan Power Co., LTD. Qianbei Power Plant, Bijie, Guizhou 551800

Abstract： In this study, the fault diagnosis technology of power equipment based on high voltage test is comprehensively discussed. In this paper, the basic principle and implementation steps of high pressure test are introduced in detail, including the types, core principles and key technologies of high pressure test. Then, the theoretical basis of power equipment fault diagnosis is deeply analyzed, including fault type identification, diagnosis method selection and technology development trend. Furthermore, the application value and limitation of high voltage test in power equipment fault diagnosis are evaluated, and the fusion strategy with other diagnostic techniques is discussed. Based on this, a set of fault diagnosis method based on high voltage test is proposed, which involves fault diagnosis flow design, high voltage test signal processing and analysis, feature extraction and analysis, and fault diagnosis algorithm development. The algorithm research includes not only the traditional method, but also the intelligent diagnosis algorithm, and the performance of the algorithm is evaluated and optimized. This research provides an innovative perspective for the field of power equipment fault diagnosis, and has significant significance for enhancing the operational reliability of power equipment and the safe and stable operation of power system.

Keywords： high pressure test; electric power equipment; fault diagnosis; signal processing; feature extraction

引言

随着我国经济的快速发展，电力系统在国民经济发展中的地位日益重要。电力设备作为电力系统的核心组成部分，其安全稳定运行对保障电力供应具有重要意义。然而，由于电力设备长期运行在高压、大电流等复杂环境中，设备故障频发，给电力系统的安全稳定运行带来严重威胁。

高压试验是检测电力设备绝缘性能和发现潜在故障的重要手段。通过对电力设备进行高压试验，可以有效地发现设备在运行过程中可能出现的故障隐患，为设备维护和故障处理提供依据。然而，传统的高压试验方法在故障诊断方面存在一定的局限性，如诊断精度不高、抗干扰能力差等问题。因此，研究基于高压试验的电力设备故障诊断方法，提高故障诊断的准确性和实时性，具有重要的理论意义和实际价值。

一、高压试验与电力设备故障诊断理论

在电力系统的运行和维护中，高压试验和电力设备故障诊断

是两个至关重要的领域。高压试验确保了电力设备在高压环境下的可靠性与安全性，而电力设备故障诊断则保障了设备在运行过程中的稳定性和效率。以下是这两个领域的基本理论和方法。

（一）高压试验原理与方法

高压试验按照不同的测试目的和对象，可以分为绝缘试验和性能试验两大类。绝缘试验主要包括绝缘电阻测试、介质损耗角正切测试和局部放电测试等，而性能试验则包括耐压测试、漏电流测试和短路阻抗测试等。

高压试验的基本原理是利用高电压对电力设备的绝缘性能进行考验，以检测其是否能够承受正常工作电压或故障时的过电压。通过对设备施加高于其额定工作电压的试验电压，观察设备在规定时间内是否出现击穿现象，从而判断其绝缘状态。

常用的高压试验方法包括交流高压、直流高压和谐波高压等。其中，交流高压试验是最常用的一种方法，其测试电压可以高达数百千伏。在进行高压试验时，需要使用专门的高压试验设备，如高压发生器、高压变压器、高压绝缘子和高压电缆等^[1]。高压试验的关键技术包括高电压发生技术、电压测量技术、绝缘状态监测技术和试验数据分析技术。其中，高电压发生技术要求试验设备能够稳定、准确地产生所需的高电压；电压测量技术则要求测量仪器具有较高的精度和稳定性；绝缘状态检测技术通过监测设备的局部放电、介质损耗等参数来评估绝缘状况；试验数据分析技术则通过对试验数据的处理和分析，为设备的安全评估提供依据。

（二）电力设备故障诊断理论

电力设备的故障类型繁多，主要包括绝缘故障、导电回路故障、机械故障和控制系统故障等。绝缘故障如绝缘老化、击穿等；导电回路故障如接触不良、短路等；机械故障如轴承磨损、振动异常等；控制系统故障如保护装置误动、控制信号丢失等^[2]。

电力设备故障诊断方法主要包括信号处理方法、模型分析法、人工智能方法和专家系统等。信号处理方法通过对设备运行中的信号进行滤波、时频分析等处理，提取故障特征；模型分析法基于设备的工作原理和数学模型，通过比较实际运行参数与模型预测参数的差异来诊断故障；人工智能方法如神经网络、支持向量机等，通过学习正常和故障状态下的数据特征来实现故障诊断^[3]；专家系统则模拟人类专家的判断逻辑，对设备状态进行评估。

随着传感器技术、数据处理技术和人工智能技术的不断发展，电力设备故障诊断技术呈现出以下发展趋势：一是向智能化、自动化方向发展，减少对人工经验的依赖；二是向在线监测和远程诊断方向发展，提高诊断效率和实时性；三是向综合诊断和预诊断方向发展，实现对设备状态的全面评估和故障预警。

二、高压试验在电力设备故障诊断中的应用

高压试验不仅是确保电力设备安全运行的重要手段，而且在电力设备故障诊断中也扮演着关键角色。以下将探讨高压试验在故障诊断中的应用及其重要性，同时分析其局限性，并探讨如何将其与其他故障诊断方法相结合。

（一）高压试验在电力设备故障诊断中的作用

高压试验作为一种精细的检测手段，能够对电力设备的绝缘状态进行精确评估，有效揭示出潜在的绝缘缺陷，包括局部放电

现象、绝缘材料的老化等。这些细微的缺陷通常是设备故障的早期信号，它们的存在预示着设备可能出现的功能性下降或失效^[4]。高压试验所提供的数据和结果，为故障诊断提供了直接且可靠的参考，使得运维人员能够及时发现并预防潜在的故障问题，从而有效避免了设备在运行过程中可能遭遇的突发性故障，确保了电力系统的连续性和稳定性。

此外，定期执行高压试验，不仅能够对设备的绝缘状况进行持续监控，而且为电力系统的预防性维护策略提供了科学依据。这种主动的维护方式大大降低了系统因故障而导致的停机风险，提高了电力供应的整体安全性和可靠性。通过高压试验的长期监控，运维团队可以更加精准地把握设备的健康状态，制定出更为合理和高效的维护计划，从而在保障电力系统稳定运行的同时，也延长了设备的使用寿命，优化了电力企业的运营效益。

（二）高压试验在电力设备故障诊断中的局限性

在充分认识高压试验重要性的同时，其局限性同样需要引起重视。高压试验的实施前提是电力系统需暂时停止供电，此举不仅中断了电力供应的连续性，而且可能对依赖于稳定电源的工业生产及居民生活带来显著干扰。此外，尤其是进行破坏性水压试验时，可能会对受试设备造成不可逆的损伤，这不仅引发经济损失，还可能影响设备的长期运行可靠性。

更为重要的是，高压试验的检测能力主要局限于与电压相关的绝缘故障，而对于电力设备可能出现的机械磨损、结构疲劳、控制系统故障等其他多样化的故障模式，高压试验并不具备有效的检测能力^[5]。因此，在依赖于高压试验进行故障诊断的过程中，必须清醒地认识到这些局限性，并考虑整合其他诊断技术，以实现电力设备状态的全面评估，从而确保诊断结果的准确性和全面性。

（三）高压试验与其他故障诊断方法的结合

为了弥补高压试验在电力设备故障诊断中的局限性，采取一种综合性的策略，即将其与多种故障诊断技术相融合，显得尤为必要且有效。例如，将高压试验与先进的信号处理技术相结合，通过对试验中收集的信号数据进行深入分析，能够更为精确地辨识出故障的特定特征^[6]。此外，引入人工智能技术，包括神经网络和机器学习算法，可以显著提升故障诊断的精确度和效率，从而在复杂的数据中挖掘出故障的深层次信息。

更进一步，通过将高压试验数据与设备的运行数据、维护历史等多源信息进行整合，可以构建出一个全面性的设备状态评估体系，为故障的预测和预防提供强有力的支持。这种多技术融合的方法，不仅极大提升了故障诊断的准确性，还实现了对设备状态的实时监控和智能化分析，为电力系统的稳定运行和智能化管理奠定了坚实的基础^[7]。采用这种全方位、多层次的技术融合策略，不仅确保了电力设备的安全可靠性，同时也显著提升了故障诊断的整体性能及其实用性。

三、基于高压试验的电力设备故障诊断方法

高压试验作为一种有效的电力设备状态检测手段，其在故障

诊断领域的应用日益深入。以下将详细介绍基于高压试验的电力设备故障诊断方法，包括故障诊断的流程设计、高压试验信号的处理与分析，以及故障诊断算法的研究。

（一）故障诊断流程设计

故障诊断流程的设计对于保障诊断的准确性与效率至关重要。在实施高压试验的过程中，必须将电力系统置于停机状态，以确保测试的安全执行，这一措施虽然不可避免地影响了电力供应的连续性，但却是保障人员安全和设备完整性的必要条件。特别在进行破坏性高压试验时，需警惕其对设备的潜在损害，这种测试可能会对设备造成不同程度的物理损伤。在顺利完成信号采集之后，随即进入信号预处理和特征提取阶段，这一步骤对于提炼出能够反映设备状态的关键信息至关重要^[8]。紧接着，利用先进的故障诊断算法对所提取的特征进行细致分析，这一过程是得出精确诊断结果的关键。依据这些精确的诊断结果，可以进一步制定出针对性强、效果显著的维修或更换策略，为电力设备的可靠运行和维护提供科学指导。

（二）高压试验信号处理与分析

信号预处理是信号分析不可或缺的初步阶段，它包括了滤波、去噪、归一化和时域变换等关键步骤。滤波环节致力于消除信号中的高频噪声和低频干扰，以保障信号的清晰度；去噪过程则通过算法有效抑制信号内的随机噪声，从而提高信号的整体质量；归一化处理统一了信号的度量标准，为后续的一致性分析奠定了基础；时域变换则将信号转换到适宜的时域形式，以便于特征的精确提取。

然而，信号预处理过程中也存在一定的局限性^[9]。滤波操作虽然能够清除噪声，但若滤波器设计不当，可能会损失信号中的有用信息；去噪算法在抑制噪声的同时，也可能平滑掉信号中的某些细节特征；归一化处理虽然便于分析，但若处理不当，可能会导致信号特征的扭曲；时域变换虽然有助于特征提取，但对于非平稳信号，传统的时域变换可能无法有效捕捉其动态特性。

信号特征提取是从预处理后的信号中提取出表征设备状态的参数，这些特征包括时域特征（如均值、方差、波形因子等）、频域特征（如频谱、功率谱等）以及时频域特征（如短时傅里叶变换、小波变换等）。特征提取的准确性直接影响到故障诊断的精确度，但这一过程可能受到预处理效果的制约。

信号特征分析是对提取出的特征进行深入分析，以识别故障的迹象。通过对比正常状态下的特征参数，分析故障特征的变化

趋势和模式，为故障诊断提供了可靠的依据。然而，特征分析的准确性同样受限于特征提取的质量，以及分析算法的适用性和有效性。因此，在信号预处理和特征提取的过程中，必须谨慎处理，以确保故障诊断的准确性。

（三）故障诊断算法研究

在故障诊断技术的应用中，传统算法虽然具有一定的实用性，但也暴露出一些局限性。统计方法虽然能够通过特征参数的统计分析来揭示故障，但其对数据分布的假设和敏感性可能导致在某些复杂情况下的诊断效果不佳。模式识别方法通过训练学习正常与故障状态下的特征模式，但这种方法可能受到训练数据集的局限性和过拟合问题的影响^[10]。基于模型的诊断方法依赖于设备的数学模型，然而，模型的准确性、复杂性和计算成本可能会成为实际应用的瓶颈。

智能故障诊断算法，如神经网络、支持向量机、聚类分析和深度学习等，虽然模拟人脑的学习和判断机制，能够处理复杂的非线性问题，但其黑箱特性可能导致诊断结果的可解释性不足。此外，这些算法的训练过程可能需要大量的数据和时间，且容易受到数据不平衡和噪声的影响。

算法性能评估虽然关键，但评估指标如准确性、实时性、鲁棒性等可能难以全面反映算法在实际应用中的表现。优化算法的过程中，调整参数、改进算法结构或融合多种算法虽然能够提升故障诊断的整体性能，但也增加了算法的复杂性和维护难度。持续的评价和优化流程虽然有助于确保故障诊断系统的高效性和稳定性，但也需要大量的资源和专业知识，这在实际应用中可能构成挑战。

四、结束语

总结而言，本文针对基于高压试验的电力设备故障诊断方法进行了深入探讨。通过对高压试验信号的处理与分析，提取敏感特征，并研究适用于高压试验信号的故障诊断算法，为电力设备故障诊断提供了一种有效的手段。虽然本文在故障诊断方法研究方面取得了一定的成果，但仍存在一些不足之处。展望未来，随着信号处理技术、人工智能理论及相关领域的发展，基于高压试验的电力设备故障诊断方法将不断完善，为我国电力系统的安全稳定运行提供有力保障。在此基础上，希望本文的研究成果能为相关领域的研究者和工程技术人员提供一定的参考和启示。

参考文献

- [1] 罗恒, 李晓梅, 孔继蕾, 等. 电力变压器高压试验技术及故障处理方法研究 [J]. 云南电力技术, 2023, 51(05): 43-45.
- [2] 全宏莲. 电力变压器高压试验和故障处理分析 [J]. 光源与照明, 2023, (05): 162-164.
- [3] 李钢, 刘海波. 电力变压器高压试验及其故障处理分析 [J]. 内蒙古科技与经济, 2022, (24): 76-78.
- [4] 沈象志. 电力变压器高压试验技术及故障处理 [J]. 电力设备管理, 2020, (06): 55-56.
- [5] 韩西坪. 探究电力变压器高压试验技术及故障处理 [J]. 电气开关, 2022, 60(01): 99-101+105.
- [6] 刘思杰, 张冠男. 电力变压器高压试验及其故障处理分析 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(08): 209-211.DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.08.86.
- [7] 杨宇豪, 李泉. 电力变压器的高压试验与故障处理 [J]. 光源与照明, 2021, (05): 86-87.
- [8] 施蒙. 电力变压器高压试验及其故障处理分析 [J]. 门窗, 2019, (18): 199+202.
- [9] 董伟. 探析电力变压器高压试验技术及故障处理措施 [J]. 电力设备管理, 2021, (01): 180-181.
- [10] 夏峰岭. 电力变压器高压试验技术及故障处理 [J]. 湖北农机化, 2020, (17): 131-132.