

电力电网设备故障诊断与智能维护技术研究

洪英鑫

广东能建电力设备厂有限公司，广东 广州 510400

DOI: 10.61369/SSSD.2025040018

摘 要： 伴随城市化、工业化进程加快，社会用电需求持续增长，电力系统的规模和复杂性不断增加，提高电网运行的安全性与稳定性至关重要。在电力电网设备中，变压器占据着重要地位，设备一旦出现故障就会导致大面积停电，不利于社会生产和经济发展。本文阐述变压器常见的故障类型及原因，分析故障诊断的多种技术方法，包括油中溶解气体分析、电气试验、红外测温等。然后，对智能维护技术的框架、关键技术及应用案例进行了探讨。通过这些研究，旨在提高变压器故障诊断的准确性和及时性，为电力系统可靠运行，运维智能化发展，降低运维成本提供参考。

关 键 词： 变压器；故障诊断；智能维护；电力电网

Research on Fault Diagnosis and Intelligent Maintenance Technology for Power Grid Equipment

Hong Yingxin

Guangdong Energy Construction Power Equipment Factory Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510400

Abstract： With the acceleration of urbanization and industrialization, the social electricity demand continues to increase, and the scale and complexity of the power system are constantly expanding. It is crucial to improve the safety and stability of power grid operation. In power grid equipment, transformers occupy an important position. Once a transformer fails, it will cause large-scale power outages, which is not conducive to social production and economic development. This paper describes the common fault types and causes of transformers, analyzes various technical methods for fault diagnosis, including oil dissolved gas analysis, electrical tests, infrared temperature measurement, etc. Then, the framework, key technologies, and application cases of intelligent maintenance technology are discussed. Through these studies, the aim is to improve the accuracy and timeliness of transformer fault diagnosis, providing references for the reliable operation of the power system, the intelligent development of operation and maintenance, and the reduction of operation and maintenance costs.

Keywords： transformer; fault diagnosis; intelligent maintenance; power grid

引言

伴随科学技术创新发展，物联网、大数据和人工智能逐步应用在社会生产的方方面面，给电力设备故障检测、诊断与维护技术的创新带来了机遇。从基本原理角度看，人工智能的底层逻辑是基于机器学习与神经网络技术，能够借助计算机网络，模仿人脑建构神经元，具备利用经验来学习的能力。在电力电网设备故障诊断与维护工作中，通过运用人工智能技术和算法，工程人员能够借助计算机网络，输出大量故障数据和信息，培训 AI 故障诊断与维护专家，使其具备故障识别与预测的能力。如此看来，AI 专家系统的出现，将带动传统的人工维护向着智能维护方向转变，不仅降低人工运维成本，还能高效地开展变压器故障诊断与维护工作，提高电力系统运维的可靠性与安全性^[1]。由此，深入分析变压器故障类型与产生原因，推动电力电网设备维护与智能维护技术融合具有深远意义与广阔的应用前景。

一、电力电网变压器常见故障类型及原因分析

（一）绕组故障

绕组故障是变压器设备常见的故障问题，主要原因是出现了相间、层间与匝间等短路现象。通常情况下，设备出现匝间短路问题的频率较高，统计发现该故障类型占比高达40%。匝间短路

的产生原因如下，线路的绝缘体部分出现老化现象，再加上原本质量和工艺不过关，亦或是施工维修过程中出现了磨损。一旦出现匝间短路现象，对应匝路部分的绕组会因产生电路环流，出现温度持续增高的现象，烧化绝缘体，埋下火灾隐患。

（二）铁芯故障

铁芯故障产生原因有出现局部短路问题，或因多点接地后出

现故障，统计发现此类故障发生概率约为 60%。按照安装标准和规定，变压器铁芯采用的是一点接地，确保设备处在零电位状态。在长期电力设备运行过程中，铁芯部件之间缠绕的绝缘体出现老化，甚至有局部出现破损，因铁芯与金属夹部件相接触，出现多点接地现象，在电路闭合后形成电路环流，导致局部绕组出现发热现象^[9]。伴随故障铁芯区域温度的持续升高，绝缘体因此烧毁，进一步引发更多铁芯出现故障，破坏了变压器正常运作状态，无法正常运行。

（三）分接开关故障

分接开关的故障出现在安装和运行环节，该故障发生后，分解开关无法发挥作用，不能起到调节输出电压的作用，主要原因包含以下方面。在安装过程中，当选用的分解开关存在质量问题，如传动机构无法正常运转，或施工人员未能按照正确的分接位置安装。在电力电网设备运行过程中，由于承接的负载较多，变压器经常处在高温、高压状态，大量热量堆积在分解开关处，接触电阻不断增大，触头表面容易氧化，甚至因接触不良出现灼烧和损坏^[3]。

二、电力电网中变压器故障诊断技术

（一）油中溶解气体分析技术（DGA）

油中溶解气体分析技术是搜集高负载变压器运行过程中产生的气体进行检验和分析，主要原理如下：在变压器设备内部出现电火花或高温现象时，液体与固体绝缘材料会分解为化学气体，如氢气、甲烷、乙烷等。将绝缘油与这些气体接触后，分析油中溶解的主要气体类型，比对气体含量后，分析设备是否出现故障，为故障的类型诊断提供依据。DGA 方法主要有三种，分别为三比值法、改良三比值法和人工智能诊断方法。三比值法是搜集五种特殊气体，将采集到的数值对比，判断变压器是否因温度过高，或内部电路放电出现故障；经过改良的三比值法，能够获取精准度更高的数据结果。人工智能诊断方法是依靠支持向量机与神经网络，将大量故障样本作为经验，训练 AI 故障诊断模型，使其具备识别故障的能力^[4]。

（二）电气试验诊断技术

1. 绕组直流电阻测试

绕组直流电阻测试是检验变压器绕组是否处在正常运行的手段，可以检出分解开关是否出现接触不良，设备内绕组是否出现短路和断路现象。通常情况下，三相电阻的不同分接位置，相同绕组的电阻值处在额定的范围，且每一相的直流电阻值保持相互均等状态^[6]。若一相与其他两相的绕组电阻值差距大，或不同分接位置的电阻值波动不在正常范围，可能是绕组发生故障。由此，在不同绕组设置检测点，分析对比检测结果后，可以通过分析直流电阻状态，找到绕组是否存在焊点脱落、导线断开、分接开关触头故障等问题。

2. 绝缘电阻测试

绝缘电阻测试的重点是使用兆欧表，检测变压器设备的绝缘体性能是否合格。在变压器设备中，绝缘电阻数值体现了内部绝

缘性能，数值高则性能好。在绝缘电阻测试标准上，考虑变压器的运行环境和电压等级，绝缘电阻值越高，表明绝缘性能越好^[9]。在测试 10kV 的变压器时，主要测试范围包含以下方面，铁芯与地面、绕组之间的绝缘电阻值，以及绕组之间的电阻值，若大于等于 1000M Ω ，若小于则需要进一步展开分析，判断绝缘体是否出现破损、老化现象。

3. 泄漏电流测试

泄漏电流测试是采用特定的电压，检测变压器在低压状态下电流泄漏的变化情况。一旦检出泄漏电流骤增或波动的情况，表明绝缘部分仍存在故障问题^[7]。

（三）红外测温诊断技术

红外测温技术是通过红外传感器，检测变压器表面各部分的温度分布图。在正常运行时，设备表面的温度相对平衡；若出现接触不良、短路或接地等异常情况，设备局部温度会急剧增长，成为高温区。

（四）基于振动分析的故障诊断技术

变压器在运行过程中，由于电磁力的作用，会产生一定频率和幅值的振动。当变压器内部发生故障时，如绕组变形、铁芯松动等，其振动特性会发生改变^[8]。基于振动分析的故障诊断技术通过在变压器外壳上安装振动传感器，采集变压器运行时的振动信号，然后对振动信号进行分析处理，提取与故障相关的特征参数，如振动频率、幅值、相位等，根据这些特征参数来判断变压器是否存在故障以及故障的类型和位置。

三、变压器智能维护技术

（一）智能维护系统框架

变压器智能维护系统主要由数据采集层、数据传输层、数据处理与分析层和决策支持层组成。数据采集层通过各种传感器，如温度传感器、压力传感器、振动传感器、气体传感器等，实时采集变压器运行过程中的电气参数、温度、压力、振动、油中溶解气体等多种数据信息^[9]。这些传感器分布在变压器的各个关键部位，能够全面、准确地获取变压器的运行状态数据。

数据传输层负责将数据采集层采集到的数据，通过有线或无线网络，安全、可靠地传输到数据处理与分析层。常用的通信技术包括以太网、光纤通信、无线局域网（WLAN）、4G/5G 等。在传输过程中，采用数据加密、校验等技术手段，确保数据的完整性和准确性^[10]。

（二）智能维护关键技术

1. 大数据技术

大数据技术是利用数据采集、分析与挖掘技术，统一地处理电力电网设备所产生的数据，建立关联分析模型，导出设备数据变化情况，便于维修人员了解设备运行状态^[11]。在变压器设备维护中，大数据技术可以采集湿度、温度、震动、气体、电气等数据指标，按照关联分析的方式，识别变压器的故障类型，辅助维修人员完成故障诊断。

2. 人工智能技术

人工智能技术是依靠深度学习、机器学习，训练智能维护专家系统。在诊断变压器故障时，可以将大量历史故障数据导入计算机中，训练 AI 故障诊断和预测模型。在设备产生新数据时，将这些数据输入模型中，通过模型来提取数据中的关键特征，识别复杂的故障类型，更高效地、快速地检出故障原因^[12]。

3. 物联网技术

物联网技术是使用传感器技术与通信模块，采集变压器的运行数据，并将实时数据信息远程上传，反馈给智能维护平台，便于远程监测变压器设备情况。在电力电网设备运维系统中，一旦变压器出现异常信息，物联网技术可以通过远程平台，第一时间向设备厂商和维修人员发送预警信息，维修人员可以根据实际情况，快速处理，保证电力维修与供应的稳定性。

（三）智能维护技术应用案例

在电力电网设备维护领域，智能维护技术在变电站维护中展现出极大优越性。在变电站维护上，某大型电力公司加大智能维护技术的投入力度，将传感器安装在变压器上，构建起以大数据与人工智能为核心的智能监测体系，利用智能化运行方式，采集、分析和诊断设备信息^[13]。在具体应用效果方面，在机器学习算法的支持下，将油气分析故障诊断模型，运用在变压器故障诊断中，最终故障检测准确率达到95%以上。同时，在物联网技术的支持下，将变压器运行数据统一汇集到数据管理中心，实现

远程监测与运维。

根据一次监测数据发现，一台变压器绕组温度急剧增长的情况后，将传感器传回的数据，导入油中溶解气体的诊断模型，检出油中含有超出标准的乙炔成分，系统发出告警信号，并生成初步的故障诊断报告，识别为设备内部绕组出现匝间短路情况^[14]。根据告警信息与诊断报告，运维人员采用人工检测的方式，检验变压器运行情况，发现检查结果与智能诊断结果一致。整个运维过程从预警信号发起，到运维人员现场维修处理，响应及时，避免变压器出现更严重的故障，降低停电检修带来的经济损失^[15]。

四、结论

综上所述，推动大数据、人工智能、5G 通信技术在电力电网设备故障诊断工作融合发展，完善智能监测与运维技术应用体系，对保证电力供应、提高技术维修水平具有重要意义。因此，无论是技术专家还是运维人员，都应深入分析不同技术之间的融合与协同应用方案，探索和优化变压器智能运维体系。此外，高校和单位应联合培养相关领域的专业技术人才，为变压器故障诊断与智能维护技术的发展和应用提供有力的人才支持，推动电力电网设备智能化运维水平的不断提升，为电力系统的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1] 袁丽坚. 基于输电技术的智能变电站状态评估应用研究 [D]. 昆明理工大学, 2023.
- [2] 何超. 农村智能配电网快速选线与故障诊断——评《农村电力需求评价和电网规划》[J]. 中国农业气象, 2022, 43(05): 422.
- [3] 郑建欣, 吕俊霞. 电力设备的缺陷及诊断技术 [J]. 灯与照明, 2022, 46(01): 34-37.
- [4] 范蓓, 崔波. 电力设备状态检修技术研究综述 [J]. 科技资讯, 2021, 19(21): 29-31.
- [5] 邓燕山, 赵凯利, 吕文超, 等. 基于大数据与物联网的输变电设备故障诊断研究 [J]. 计算机技术与发展, 2021, 31(07): 193-197+208.
- [6] 田启东, 黄双. 大数据支持下的电网系统故障诊断分析技术 [J]. 电子设计工程, 2020, 28(05): 125-129.
- [7] 燕凯, 岳振宇, 高嘉浩. 基于大数据的电力计量设备运行状态评估与故障诊断方法研究 [J]. 电子器件, 2019, 42(05): 1095-1098+1121.
- [8] 高文颖. 智能电网中的输配电设备状态监测及故障预警研究 [J]. 光源与照明, 2024, (06): 96-98.
- [9] 康吉. 浅析电力系统继电保护常见故障及预防措施 [J]. 电气技术与经济, 2023, (08): 287-288+301.
- [10] 季润阳. 基于智慧城市建设的电网大数据发展技术研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(05): 73-75.
- [11] 陈卯, 梁祖辉. 电力设备状态检修与运维一体化技术分析 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(02): 181-184.
- [12] 崔晓飞, 徐策, 张群, 等. 电网变电运维检修技术研究 [J]. 能源与环保, 2022, 44(11): 203-208.
- [13] 陈天豪. 配电线路故障原因及运维管控 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(10): 295-296.
- [14] 秦晓森. 变压器检修技术及其在电力电气维修中的运用分析 [J]. 中国机械, 2023, (05): 100-103.
- [15] 王海会. 浅议电力企业变压器检修中常见问题与处理对策 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2022, (31): 46-48.