

智能诊断技术在电力变电设备故障处理中的应用

吴振宇 南嘉星

内蒙古电力（集团）有限责任公司薛家湾供电分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要：智能诊断技术融合多学科知识，以传感器和数据采集技术为基础获取数据，借助机器学习、专家系统等实现信息处理与分析，突破传统诊断局限。本文介绍了其类型原理，阐述在电力变电设备故障处理中，于故障监测预警、识别诊断、处理决策支持等方面的应用，并通过变压器、断路器、综合变电所故障处理案例，展现其提高故障处理效率与准确性的作用。

关键词：智能诊断技术；电力变电设备；故障处理；应用

1 智能诊断技术基础

智能诊断技术是一门融合多学科知识，模拟人类专家诊断思维的先进技术，旨在高效、精准地识别设备故障，为后续维修决策提供依据。它以传感器技术为基石，传感器如同设备的“感知器官”，能实时捕捉设备运行时的各类物理量，像温度、压力、振动、电流、电压等，并将其转化为可测量的电信号，为后续分析提供原始数据。数据采集技术则负责将这些模拟信号转换为数字信号，并进行存储与传输。通过信号调理、模数转换等环节，确保数据的准确性和完整性，以便计算机系统能够处理^[1]。信息处理与分析是智能诊断的核心。运用先进的算法和模型，如傅里叶变换、小波分析进行特征提取，从海量数据中挖掘出能反映故障的特征信息；再借助机器学习、专家系统等方法，依据这些特征判断设备是否存在故障、故障类型及严重程度。智能诊断技术突破传统人工诊断的局限，实现设备故障诊断的自动化、智能化，极大地提高诊断效率和准确性。

2 智能诊断技术类型及原理

2.1 传感器与数据采集技术

传感器是智能诊断系统的“感知器官”，能将设备物理量转为便于测量处理的信号。电力变电设备中常用温度、压力、振动、电流互感器、电压互感器等传感器。温度传感器监测设备温度变化，有热电偶等多种类型；压力传感器监测内部压力，采用压阻式等原理；振动传感器检测振动，有加速度传感器等；电流和电压互感器测量电气信号。数据采集技术把传感器采集的模拟信号转为数字信号并存储传输。数据采集系统由信号调理电路、模数转换器、微处理器等组成。信号调理电路对传感器信号放大、滤波等，提高信号质量；模数转换器将模拟信号数字化；微处理器采集、处理、存储数字信号，并通过通信接口传输到上位机，供进一步分析处

理，为电力变电设备故障诊断提供准确数据支持。

2.2 机器学习诊断技术

机器学习是人工智能重要分支，通过让计算机从数据学习模式规律，实现对未知数据的预测分类。在电力变电设备故障诊断中，有监督学习、无监督学习和半监督学习等方法。监督学习用带标签数据训练模型，学习输入输出映射关系，常用算法有支持向量机、决策树、神经网络等，可处理故障分类问题。无监督学习在无标签数据中发现模式结构，用于异常检测和故障模式识别，常用聚类算法。半监督学习介于二者之间，利用少量带标签和大量无标签数据训练模型，在电力变电设备故障诊断中，因获取带标签故障数据难，它能充分利用无标签数据提高模型性能和泛化能力。

2.3 专家系统与知识图谱

专家系统是基于知识的计算机程序，模拟人类专家决策过程，解决特定领域问题。在电力变电设备故障诊断中，它将专家知识和经验编码成规则存入知识库，知识库含事实库和规则库。推理机根据输入信息和规则推理判断故障。推理机采用正向、反向或混合推理策略得出结论。知识图谱是基于图结构的知识表示管理方法，以图展示实体关系。在电力变电设备故障诊断里，它对设备、故障等实体及关系建模，构建知识网络。通过知识图谱，能快速查询推理故障相关信息，为诊断提供丰富知识支持。如发现变压器故障症状，可借助它快速找到故障原因和维修方法，提升故障诊断效率和准确性。

2.4 多源信息融合技术

电力变电设备运行产生电气、机械、热等多种信息，单一信息源有局限，多源信息融合技术可综合处理分析多源信息，提高故障诊断准确性和可靠性。该技术分数据层、特征层和决策层融合。数据层融合处理多个传感器原始数据，常用加权平均、卡尔曼滤波等方法，

能保留更多原始信息，但对传感器同步性和数据传输要求高^[2]。特征层融合处理不同信息源提取的特征，用主成分分析等方法，可减少数据维度、提高计算效率且保留重要特征。决策层融合综合各信息源初步诊断决策结果，采用贝叶斯推理等方法，能考虑多方面因素，提高故障诊断的鲁棒性和可靠性。

3 智能诊断技术在电力变电设备故障处理中的应用

3.1 电力变电设备故障类型

电力变电设备主要包括变压器、断路器、隔离开关、互感器、避雷器等，这些设备在运行过程中可能会因各种原因出现故障。常见的故障类型包括电气故障、机械故障、热故障等。电气故障是电力变电设备中最常见的故障类型之一，如短路、断路、接地故障等。短路故障会导致设备电流急剧增大，产生大量的热量，可能损坏设备的绝缘材料，引发火灾等严重后果。断路故障则会使设备无法正常通电，影响电力系统的正常运行。接地故障会导致设备外壳带电，对人身安全构成威胁。机械故障主要包括设备的磨损、松动、变形等。例如，变压器的铁芯松动会导致振动和噪声增大，影响变压器的正常运行；断路器的操动机构磨损可能导致分合闸失灵，影响电力系统的故障切除和恢复供电。热故障是由于设备在运行过程中产生热量无法及时散发，导致设备温度升高而引起的故障。

3.2 智能诊断技术在故障监测与预警中的应用

智能诊断技术可以实现对电力变电设备的实时监测和预警，及时发现设备的潜在故障隐患。通过在设备上安装各种传感器，实时采集设备的运行参数和状态信息，如温度、压力、振动、电流、电压等，并将这些数据传输到智能诊断系统中。智能诊断系统运用数据分析和挖掘技术，对采集到的数据进行实时分析，建立设备的正常运行模型和故障预警阈值。当设备的运行参数超出正常范围时，系统会及时发出预警信号，通知运维人员进行检查和处理。例如，通过对变压器油中气体含量的实时监测和分析，当检测到某种气体含量超过预警值时，系统可以判断变压器可能存在内部故障，如局部放电、过热等，并及时发出预警，以便运维人员采取相应的措施，避免故障的进一步扩大。智能诊断技术还可以结合设备的历史运行数据和故障记录，运用机器学习算法对设备的故障趋势进行预测。通过对设备运行状态的长期监测和分析，建立故障预测模型，预测设备在未来一段时间内可能出现的故障类型和时间，为设备的预防性维护提供科学依据，提高设备的可靠性和可用性。

3.3 智能诊断技术在故障识别与诊断中的应用

当电力变电设备出现故障时，智能诊断技术能够快速准确地识别故障类型和位置。通过对设备故障时的各种信号进行分析，如振动信号、电气信号、热信号等，运用特征提取和故障识别算法，提取故障特征信息，并与预先建立的故障特征库进行比对，从而确定故障的类型^[3]。例如，对于断路器的故障诊断，可以通过分析断路器分合闸过程中的振动信号和电流信号，提取信号的频率、幅值、波形等特征，运用机器学习算法或专家系统进行故障识别。如果振动信号的频率成分发生明显变化，且电流信号出现异常波动，可能表明断路器的操动机构存在故障，如弹簧疲劳、连杆松动等。智能诊断技术还可以结合多源信息融合技术，综合分析设备的多种信号和信息，提高故障诊断的准确性。

3.4 智能诊断技术在故障处理决策支持中的应用

智能诊断技术不仅能够诊断设备故障，还能为故障处理提供决策支持。根据故障诊断结果，智能诊断系统可以结合设备的运行参数、历史故障记录、维修经验等信息，运用决策分析算法，为运维人员提供最佳的故障处理方案。例如，当变压器出现内部故障时，智能诊断系统可以根据故障的类型、严重程度、设备的运行年限等因素，综合考虑维修成本、维修时间、对电力系统的影响等因素，为运维人员提供是进行现场维修还是返厂维修的决策建议。系统还可以提供详细的维修步骤和注意事项，指导运维人员进行故障处理，提高故障处理的效率和质量。智能诊断技术还可以建立故障处理知识库，将各种故障处理案例和经验进行存储和管理。当遇到类似故障时，系统可以快速查询知识库，为运维人员提供参考和借鉴，避免重复犯错，提高故障处理的水平。

4 智能诊断技术在电力变电设备故障处理中的案例分析

4.1 案例一：智能诊断技术在变压器故障处理中的应用

某变电站的一台主变压器在运行过程中出现油温异常升高的现象。运维人员首先通过传统的温度监测方法发现变压器油温超过正常范围，但无法确定故障的具体原因。随后，他们采用智能诊断技术对该变压器进行故障诊断。通过在变压器上安装多种传感器，实时采集变压器的油温、油中气体含量、局部放电信号、振动信号等数据，并将这些数据传输到智能诊断系统中。系统运用数据分析和挖掘技术，对采集到的数据进行实时分析，发现油中乙炔、氢气等气体含量超标，同时局部放电信号出现异常。运用特征提取和故障识别算法，对振动信号和局部放电信号进行进一步分析，提取信号的特

征信息，并与预先建立的故障特征库进行比对，诊断出变压器可能存在内部绕组匝间短路故障。为进一步确认故障位置，系统结合变压器的结构参数和电磁场分布模型，通过仿真计算确定故障的具体位置。根据智能诊断系统的诊断结果，运维人员制定详细的维修方案，对变压器进行停电检修。在检修过程中，发现变压器内部绕组确实存在匝间短路现象，与智能诊断系统的诊断结果一致。通过对绕组进行修复处理，变压器恢复正常运行，避免故障的进一步扩大，减少经济损失。

4.2 案例二：智能诊断技术在断路器故障处理中的应用

某变电站的一台断路器在分合闸操作时出现异常振动和噪声，运维人员怀疑断路器存在机械故障。为了准确诊断故障原因，他们采用智能诊断技术对该断路器进行检测。在断路器上安装振动传感器和电流传感器，实时采集断路器分合闸过程中的振动信号和电流信号，并将数据传输到智能诊断系统。系统对采集到的振动信号进行时频分析，提取信号的频率成分和能量分布特征，同时对电流信号进行分析，判断断路器的操动机构是否正常工作。通过与正常状态下的信号特征进行对比，发现振动信号中出现异常的高频成分，且电流信号的波动较大，表明断路器的操动机构存在故障。进一步运用专家系统和知识图谱技术，结合断路器的结构特点和工作原理，诊断出故障原因是断路器的连杆松动，导致分合闸过程中出现卡涩现象，产生异常振动和噪声。根据诊断结果，运维人员对断路器进行紧固处理，调整连杆的间隙，使断路器恢复正常运行。通过智能诊断技术的应用，快速准确地找到故障原因，缩短故障处理时间，提高电力系统的可靠性。

4.3 案例三：智能诊断技术在综合变电所故障处理中的应用

某综合变电所在运行过程中突然出现部分设备停电的故障。运维人员首先对变电所的设备和线路进行初步检查，但未能发现明显的故障点。为了快速准确地定位

故障，他们采用智能诊断技术对整个变电所进行故障诊断。通过在变电所的各个关键设备上安装传感器，实时采集设备的电气信号、机械信号、热信号等多源信息，并将这些信息传输到智能诊断系统。系统运用多源信息融合技术，对采集到的各种信息进行综合处理和分析，建立变电所的整体运行模型。通过对电气信号的分析，发现某条馈线的电流出现异常波动，同时该馈线所连接的设备温度升高^[4]。结合机械信号和热信号的分析结果，运用机器学习算法和专家系统进行故障推理和诊断，确定故障原因是该馈线的电缆接头处出现松动，导致接触不良，产生过热现象，进而引发设备停电。根据智能诊断系统的诊断结果，运维人员迅速找到故障点，对电缆接头进行紧固处理，恢复变电所的正常供电。通过智能诊断技术在综合变电所故障处理中的应用，实现对复杂电力系统的快速故障定位和准确诊断，提高故障处理的效率和电力系统的稳定性。

结束语

智能诊断技术在电力变电设备故障处理中成效显著，实现了故障监测预警、精准识别诊断以及科学决策支持，极大提升了故障处理效率与电力系统稳定性。通过多个实际案例验证了其有效性与实用性。未来，随着技术持续发展，智能诊断技术将不断完善，为电力变电设备的安全稳定运行提供更有力的保障，推动电力行业向智能化迈进。

参考文献

- [1]王帅.电气设备故障诊断系统的分析与设计[J].现代制造技术与装备,2021(4):108-109.
- [2]李燕.高压电气设备故障诊断中红外检测技术的应用[J].光源与照明,2021(3):59-60.
- [3]王刘旺,周自强,林龙,等.人工智能在变电站运维管理中的应用综述[J].高电压技术,2020,46(01):1-13.
- [4]王堃.基于人工智能技术的电力设备故障识别技术研究[J].流体测量与控制,2024,5(6):106-109.