

电力电气自动化设备物联网在线监测技术研究

谢霖娜

深圳市特发信息股份有限公司 广东深圳 518000

摘要: 电力电气自动化设备物联网在线监测是保障电力系统安全经济运行的关键技术。面对能源互联网、泛在电力物联网等新型电力系统发展带来的挑战,传统监测模式亟需突破。本文立足于电力电气自动化设备物联网在线监测技术的前沿进展和应用需求,围绕能源互联网环境下的设备全息监测、支撑柔性电网的设备自愈控制、面向泛在电力物联网的多源异构数据融合等关键技术方向,开展系统的分析和研究。探讨物联网、大数据、人工智能等技术在电力设备在线监测中的创新应用,剖析技术实现路径和关键难题,提出潜在的解决方案和优化策略。

关键词: 电力电气自动化设备;物联网;在线监测;技术研究

引言

电力电气自动化设备是电力系统安全稳定运行的重要保障,其健康状态直接关系到电网的可靠性和经济性^[1]。然而,电力设备种类繁多、分布广泛、运行环境复杂,传统的定期巡检和事后维修模式难以适应日益复杂的电网运行需求。随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的快速发展,利用在线监测技术实现电力设备的实时状态感知、智能故障诊断、自主控制决策,已成为智能电网发展的必然趋势。

1 电力设备物联网监测技术理论基础

1.1 技术原理体系

电力设备物联网监测技术以物联网、传感技术、通信技术和大数据分析等为理论基础,构建了一套完整的技术原理体系。首先,通过在电力设备上部署各类传感器,实时采集设备的运行状态数据,如温度、振动、局部放电等。其次,利用可靠的有线或无线通信网络,将采集的海量监测数据传输至云端平台^[2]。再者,云平台采用大数据分析、机器学习等技术,对监测数据进行处理、挖掘和建模,实现设备健康状态评估、故障诊断、寿命预测等功能。最后,监测结果通过可视化界面呈现给管理人员,辅助其进行设备管理和维护决策。这一技术原理体系打通了电力设备、传感单元、通信网络、云平台和应用终端之间的数据链路,实现了设备全生命周期的在线监测和智能管理,为保障电力系统安全运行提供了重要的技术支撑。

1.2 关键算法模型

在电力设备物联网监测技术中,关键算法模型主要体现

在监测数据的分析和处理环节。通过应用先进的数学模型和计算机算法,可以从海量的监测数据中提取有价值的信息,实现设备状态评估、故障诊断和寿命预测等功能。以下是几类常用的关键算法模型:

(1) 统计学模型:利用统计学原理,对设备的历史运行数据进行分析,建立正常状态下的数据分布模型,通过与实时监测数据的偏离程度判断设备健康水平,如多元统计分析、主成分分析等。

(2) 机器学习模型:通过对已知设备状态的监测数据进行学习和训练,建立监测量与设备状态间的映射关系,再对新采集的数据进行判别和预测。常用的机器学习模型有支持向量机、随机森林、神经网络等。

(3) 深度学习模型:通过构建多层神经网络,自动学习监测数据的深层特征,在设备故障诊断、剩余寿命预测等任务中表现出色,代表性的模型有卷积神经网络、长短记忆网络等。

(4) 信号处理模型:针对振动、局放等高频监测信号,采用信号处理领域的分析方法,提取信号的时域、频域特征,再结合设备模型,解析信号背后的物理意义,用于故障定位和类型识别,如小波变换、希尔伯特-黄变换等。

2 电力电气自动化设备物联网在线监测系统设计

2.1 硬件感知层设计

电力电气自动化设备物联网在线监测系统的硬件感知层设计是实现数据采集和设备状态感知的基础。硬件感知层由部署在一次、二次设备上的各类传感器和数据采集终端组

成。传感器的类型涵盖温度、湿度、气体、振动、局部放电等，与被监测设备的特性和监测参数相匹配^[3]。数据采集终端具备多路传感器接入、本地数据处理、通信协议转换等功能，是连接传感器和上层网络的纽带。硬件感知层的设计需要综合考虑传感器的测量精度、量程、频率、供电和网络接口等技术参数，采集终端的处理器性能、存储容量、通信方式等，以及设备布置的环境条件、电磁兼容性等因素。合理的硬件设计可以保证监测数据的准确性、可靠性和实时性，减少数据的冗余和噪声，降低通信频率和功耗，提高感知层的智能化水平，为上层的边缘计算和云计算提供高质量的数据支撑。

2.2 网络通信层设计

电力电气自动化设备物联网在线监测系统的网络通信层设计是连接感知层和应用层的关键环节。网络通信层需要根据电力系统的地理分布、数据量大小、实时性要求等因素，综合选择有线和无线通信技术^[4]。有线通信主要采用工业以太网、串行通信等方式，适用于局部范围内的数据传输，具有高速、可靠、安全的特点。无线通信技术如 4G/5G、NB-IoT、LoRa 等，适用于远程、分散的设备监测，具有覆盖广、部署灵活、扩展性强的优势。网络通信层的设计需要考虑通信协议的标准化、互操作性，数据的加密、压缩和校验机制，网络的拓扑结构、冗余备份和故障恢复能力，以及通信设备的防护等级、电磁兼容性和可维护性。合理的网络通信层设计可以提高数据传输的效率和可靠性，降低通信延迟和丢包率，保障网络的安全性和鲁棒性，实现监测数据的实时上传和指令的下发，为监测系统的稳定运行提供坚实的网络支撑。

2.3 数据平台层设计

电力电气自动化设备物联网在线监测系统的数据平台层设计是实现监测数据管理和分析的核心。数据平台层通过构建分布式的数据存储、计算和服务框架，提供监测数据的汇聚、清洗、存储、检索、分析和可视化等功能。在数据存储方面，采用关系型数据库与非关系型数据库相结合的方式，满足结构化和非结构化数据的存储需求，并通过分布式文件系统、对象存储等技术实现海量数据的高效管理。在数据计算方面，利用大数据处理、流计算等技术，实现监测数据的实时和离线分析，提取特征指标，发现异常模式，为设备状态评估和决策优化提供依据。

3 电力电气自动化设备物联网在线监测技术应用途径

3.1 面向能源互联网的设备全息监测

能源互联网环境下，电力设备呈现出分布式、互联化、智能化的特点，传统的集中式、单一参数监测模式难以适应设备全生命周期管理的需求。物联网技术通过在设备各个部位部署多类型传感器，实现对设备运行状态的多维度、高精度、实时感知。海量监测数据经过多源融合和智能分析，构建起设备的数字孪生模型，为设备性能评估、故障诊断、寿命预测等应用提供数据支撑。设备全息监测有助于掌握能源互联网环境下电力设备的健康状态，优化运维策略，提高电网运行的安全性和可靠性。

例如，在变电站的主变压器上部署温度、振动、油中气体等多种类型的无线传感器，通过边缘计算网关实时采集和预处理监测数据，并通过 5G 网络上传至云端平台。平台利用机器学习算法对多源异构数据进行特征提取和关联分析，生成变压器的虚拟仿真模型，实时呈现变压器的三维温度场、振动频谱、油气含量等全息信息。当监测数据出现异常时，平台自动触发故障诊断和风险评估流程，结合知识图谱和专家经验，推断故障原因和影响范围，生成智能运维决策方案。运维人员通过可视化界面和移动终端，掌握变压器的健康状态和故障预警信息，开展精准的状态检修和预测性维护，确保变压器的可靠运行。同时，监测数据和分析结果反馈至设备全生命周期管理系统，优化设备选型、改造和更新策略，提高电网资产管理水平。这种全息监测模式可以推广应用于其他关键电力设备，构建覆盖发电、输电、变电、配电、用电各环节的全息监测网络，提升能源互联网的感知智能水平。

3.2 支撑柔性电网的设备自愈控制

柔性电网要求电力设备能够适应复杂多变的运行环境，快速响应故障扰动，实现自主恢复和重构。设备自愈控制通过将物联网监测与智能决策紧密结合，构建自感知、自诊断、自决策、自执行的闭环控制系统。设备实时感知自身状态和外部环境变化，自主判断故障类型和严重程度，快速制定和执行恢复策略，最大限度地减小故障影响，保证电网的安全稳定运行^[5]。设备自愈控制提高了电力系统的韧性和灵活性，是实现柔性电网的关键技术之一。

以柔性配电网中的自愈重构为例，配电自动化终端通过接入各类传感器，实时采集开关设备、线路参数、负荷波

动等运行数据,判断配电网的实时工况和拓扑状态。当出现故障时,自愈控制系统快速定位故障位置,评估故障影响范围,同时考虑负荷重要性、网络约束、设备容量等因素,优选恢复目标和重构方案。控制策略通过跳闸隔离故障区段,调整开关拓扑,转移负荷至健康馈线,保证重要负荷的连续供电。整个过程自动完成,耗时在毫秒至秒级,大大缩短了传统人工操作的时间。自愈重构方案执行后,控制系统还将持续监测配电网状态,根据负荷变化动态优化网络拓扑,必要时启动旋转备用和应急电源,提高配电网的恢复能力和适应能力。故障修复后,控制系统自动恢复原始运行方式,完成一次完整的自愈控制循环。类似的自愈控制策略还可应用于变电站、微电网等场景,与分布式能源、储能设备协同,促进源网荷储的灵活互动,提升电力系统的自恢复能力和运行弹性,支撑柔性电网的安全经济运行。

3.3 面向泛在电力物联网的多源异构数据融合

电力设备监测数据种类繁多,包括工况、环境、状态等多个维度,数据来源分散,采集频率和格式不一。异构数据的统一表示和关联融合是实现全局感知和决策的基础。通过构建多源异构数据的语义模型和映射机制,实现数据的互操作和共享^[6]。利用数据挖掘和机器学习技术,探索异构数据间的内在关联和演化规律,实现设备运行模式识别、故障溯源分析、趋势预测等应用。多源异构数据的融合分析,可以突破单一数据源的局限,提供更全面、更精准的设备状态信息,为泛在电力物联网的智能化应用提供数据支撑。

例如,在输电线路状态监测中,需要融合杆塔倾斜、导线弧垂、微气象环境、导线温度等多源数据。可以采用本体建模方法,构建输电线路监测数据的语义模型,定义各类数据的概念、属性和关系,实现语义层面的数据统一。在此基础上,设计数据融合框架,通过数据清洗、数据对齐、特征提取等步骤,实现不同来源、不同格式数据的关联融合。融合后的数据进一步用于线路状态评估和风险预警。当局部微气象监测数据表明恶劣天气来临时,结合杆塔倾斜和导线弧垂数据,评估恶劣天气对线路安全的影响;结合导线温度和电流数据,分析导线的热容限和过负荷风险。多源数据的关联分析,能够全面评估输电线路的安全状态,及时发现风险隐患。同时,通过数据挖掘方法,提取多源数据的特征指

标,建立线路状态评估模型和故障预警模型,实现输电线路的智能监控和运维决策。

4 结束语

电力电气自动化设备物联网在线监测技术是智能电网发展的重要方向,是实现电力系统安全、可靠、高效运行的关键支撑。随着物联网、大数据、人工智能等新兴技术的快速发展和深度融合,电力设备在线监测正经历着从传统的单一感知向全息感知、从被动响应向主动预警、从简单控制向自愈控制、从单一决策向协同优化的转变。这一转变不仅带来了技术方案的重大变革,也为电力系统的规划、建设、运行和管理提出了新的挑战和机遇。未来,电力设备在线监测技术将朝着更加智能化、网络化、协同化的方向发展,形成覆盖发电、输电、变电、配电、用电全过程的泛在监测体系,实现电力系统的全局感知、智能决策和自适应控制。这需要我相关工作者在感知、通信、计算、控制等关键技术领域持续创新,在标准规范、数据安全、互联互通等方面加强统筹协调,在机理建模、知识积累、智能算法等方面深化基础研究。

参考文献:

- [1] 凌瑜. 基于物联网技术的电气自动化设备监测与故障诊断[J]. 电气技术与经济, 2024(6):150-152.
- [2] 严康, 陆艺丹, 于宗超, 等. 配电网用户侧异构电力物联设备安全研究综述及展望[J]. 电力自动化设备, 2023,43(3):146-158.
- [3] 邹敦宇. 智能化技术在电力系统电气工程自动化中的应用[J]. 工程技术, 2024(002):000.
- [4] 刘伟. 电力系统中太赫兹温度传感器的研究[D]. 安徽理工大学, 2024.
- [5] 任铂, 林杉. 智慧市政建设中电气自动化的运用研究[J]. 科技资讯, 2023,21(4):40-43.
- [6] 李斌. 基于物联网技术的港口电气设备自动化监测与控制系统研究[J]. 电气技术与经济, 2025(3).

作者简介: 谢霖娜(1988-),女,汉,辽宁省铁岭市人,本科助理级工程师,研究方向为物联网、在线监测、传感器等相关工作。