

水电厂电气设备状态监测与故障诊断技术研究

尹大铭

四川华电木里河水电开发有限公司 四川 凉山彝族自治州 615000

摘要: 本文围绕水电厂电气设备状态监测与故障诊断技术展开研究, 概述水轮发电机组、变压器等核心设备的分类、运行环境及故障特征, 分析状态监测技术的原理、分类及系统构建要点, 对比传统与智能故障诊断技术的优劣, 探讨机器学习、大数据融合等智能技术的应用与优化。研究表明, 智能监测与诊断技术可有效提升设备故障识别精度和预警能力, 解决传统技术局限, 为水电厂设备安全稳定运行提供技术支撑, 助力水电厂实现高效、无人值守的运维模式。

关键词: 水电厂; 电气设备; 状态监测; 故障诊断技术

引言: 水电厂作为电力系统的核心供电单元, 其电气设备的安全稳定运行直接关系到电网供电可靠性。受河流沿岸潮湿、温差大等复杂运行环境及负荷波动、雷电冲击等因素影响, 电气设备易出现绝缘老化、机械磨损等问题, 引发故障。传统监测与诊断技术存在精度低、智能化不足等缺陷, 难以满足现代水电厂运维需求。开展相关技术研究, 优化监测诊断方案, 对保障电力供应安全、降低运维成本具有重要现实意义。

1 水电厂电气设备概述及故障特征分析

1.1 水电厂核心电气设备分类及功能

(1) 水轮发电机组电气部分: 作为水电厂核心动力设备, 主要由发电机、励磁系统及调速装置组成, 核心功能是将水轮机传递的机械能转化为电能, 励磁系统保障发电机输出电压稳定, 调速装置根据电网负荷变化调节机组转速, 确保电能质量达标。(2) 电力变压器: 承担电能升压、降压任务, 将发电机输出的低压电能升压后接入输电网络, 或把电网高压电能降压后供给厂用电设备, 是电能传输的关键枢纽, 同时起到隔离电网、保护设备的作用。(3) 开关设备与输电线路: 开关设备包括断路器、隔离开关等, 用于电路的接通、断开和故障隔离, 保障设备检修安全及电网稳定运行; 输电线路分为厂内配电线路和外部输电线路, 负责将电能输送至用电负荷端, 实现电能的合理分配。

1.2 水电厂电气设备运行环境及失效机理

(1) 运行环境特点及影响因素: 水电厂多选址于河流沿岸、偏远山区, 运行环境具有潮湿、温差大、粉尘多的特点, 同时易受到水汽、腐蚀性气体的侵蚀。此外, 电网负荷波动、雷电冲击、水力冲击等外部因素, 也会加速设备绝缘老化, 降低设备运行稳定性, 增加故障发生概率。(2) 设备失效核心机理分析: 核心失效

机理主要分为三类, 一是绝缘老化失效, 由环境腐蚀、长期电场作用导致绝缘性能下降, 最终失去绝缘作用; 二是机械磨损失效, 设备长期运行中部件间的摩擦、振动, 导致部件磨损、松动; 三是电气击穿失效, 由过电压、短路等异常工况引发, 三者相互影响, 逐步导致设备性能下降直至故障^[1]。

1.3 水电厂电气设备典型故障类型及特征

(1) 电气故障类型及表现: 常见类型有短路、漏电、绝缘损坏等, 主要表现为设备自动跳闸、运行时发热异常、电压电流波动明显, 严重时会产生电弧、烧毁设备部件, 直接影响电网供电的稳定性。(2) 机械故障类型及表现: 主要发生在水轮发电机组、开关设备等部件, 表现为设备运行时出现异响、部件松动、卡涩, 转速异常、操作失灵等, 如发电机转子偏心、断路器拒动等, 易导致设备停机, 影响生产进度。(3) 故障特征提取要点: 重点提取设备运行参数(电压、电流、温度)的异常变化, 结合设备运行时的声音、振动、气味等直观特征, 明确区分电气与机械故障的核心差异, 精准捕捉故障发生的时间、工况及影响范围, 为后续故障诊断提供可靠、精准的依据。

2 水电厂电气设备状态监测技术研究

2.1 状态监测技术基础

(1) 监测原理与核心指标: 状态监测核心原理是通过采集设备运行过程中的各类物理、电气信号, 结合设备正常运行参数阈值, 识别信号异常, 预判设备健康状况, 实现“早发现、早诊断、早处理”, 避免故障扩大。核心监测指标分为电气指标和非电气指标, 电气指标包括电压、电流、功率、局部放电量、绝缘电阻等, 直接反映设备电气性能; 非电气指标包括振动幅值、温度、油液介损、设备异响等, 间接体现设备机械状态和

老化程度,两类指标协同作用,全面覆盖设备运行状态。(2)监测技术分类及适用场景:按监测方式可分为在线监测、离线监测和远程监测三类。在线监测适用于核心关键设备(如水轮发电机组、主变压器),需实时掌握运行状态、避免停机影响供电的场景;离线监测适用于非核心设备、定期检修或在线监测系统故障时的补充监测,可灵活开展、降低监测成本;远程监测适用于偏远地区水电厂、多厂区集中管理的场景,实现异地实时监控,减少人工巡检压力,提升监测效率。

2.2 常用状态监测技术及应用

(1)在线监测技术:振动监测主要应用于水轮发电机组、变压器,通过安装振动传感器,实时采集设备运行时的振动信号,分析振动频率、幅值异常,判断转子偏心、轴承磨损等故障;温度监测采用红外测温传感器、光纤测温技术,监测设备绕组、接头、油箱等部位温度,及时发现过热隐患,避免绝缘老化和设备烧毁;局部放电监测针对变压器、开关设备,通过超声波、特高频检测技术,捕捉局部放电信号,识别绝缘缺陷,预防绝缘击穿故障,保障设备长期稳定运行^[2]。(2)离线监测技术:油液分析主要用于变压器、液压系统,通过检测油液中的水分、杂质、金属颗粒含量及介电常数,判断设备内部磨损、绝缘老化程度,指导油液更换和设备检修;红外检测采用便携式红外测温仪,定期对设备表面温度进行扫描,重点排查接头松动、接触不良等导致的局部过热问题,适用于设备定期巡检;此外,离线监测还包括绝缘电阻测试、直流耐压试验等,用于全面评估设备绝缘性能。(3)远程监测与数据传输技术:以物联网、大数据技术为核心,构建远程监测平台,将现场监测设备采集的各类数据,通过无线通信(4G/5G)、光纤传输等方式,实时传输至监控中心。平台具备数据实时显示、异常报警、历史数据查询等功能,工作人员可异地查看设备运行状态,针对异常信号及时下达检修指令;同时,数据传输采用加密技术,保障数据完整性和安全性,避免数据丢失或泄露,适配偏远水电厂无人值守、少人值守的运行模式。

2.3 监测系统构建与数据预处理

(1)监测系统整体架构设计:采用“感知层-传输层-应用层”三层架构。感知层由各类监测传感器、数据采集模块组成,负责采集设备运行参数和环境数据,是系统的数据来源;传输层由通信设备、传输线路组成,承担数据传输任务,实现感知层与应用层的互联互通;应用层包括监控平台、数据分析模块、报警模块,负责数据处理、状态诊断、故障预警和报表生成,为工作人员

提供决策支持,架构设计注重兼容性和扩展性,可适配不同类型、不同规模的水电厂设备。(2)监测数据采集与预处理方法:数据采集采用定时采集与实时采集相结合的方式,核心设备关键参数(如局部放电、振动)实时采集,非关键参数定时采集,兼顾监测精度和系统能耗;数据预处理是提升监测准确性的关键,主要包括数据清洗、去噪、标准化处理,剔除异常值、干扰数据,修正数据偏差,将不同格式、不同单位的数据统一标准化,转化为可用于分析的有效数据,为后续故障诊断和状态评估提供可靠支撑^[3]。(3)监测系统可靠性保障措施:从硬件、软件、管理三个层面构建保障体系。硬件层面,选用耐高温、防潮、抗干扰的监测设备和传感器,定期对设备进行校准、维护,确保数据采集精度;软件层面,优化系统算法,提升数据处理效率和异常识别准确性,定期更新系统版本,修复漏洞;管理层面,建立完善的监测系统运维制度,明确工作人员职责,定期开展运维培训,及时处理系统故障,确保监测系统长期稳定运行,充分发挥状态监测的预警作用。

3 水电厂电气设备故障诊断技术研究

3.1 故障诊断技术核心原理

(1)故障诊断的基本流程:水电厂电气设备故障诊断遵循“数据采集—信号处理—特征提取—故障识别—诊断决策”的核心流程。首先通过状态监测系统采集设备运行中的电气、物理信号,包括电压、电流、振动、温度等;随后对采集到的原始数据进行去噪、标准化等预处理,滤除干扰信息;接着提取故障特征参数,区分正常与异常信号的差异;再通过诊断模型对特征参数进行分析,识别故障类型、部位及严重程度;最后生成诊断报告,给出检修建议,形成“监测—诊断—决策”的闭环管理,确保故障得到及时处理。(2)故障诊断的核心逻辑与评价指标:核心逻辑是基于设备正常运行与故障状态下的参数差异,通过对比分析、模式识别,实现故障的精准定位与定性,本质是“异常识别—特征匹配—原因溯源”的过程,核心是通过特征参数与故障模式的对应关系,排除干扰、锁定故障根源。评价指标主要包括诊断准确率、诊断速度、误报率、漏报率,其中诊断准确率是核心指标,反映故障识别的精准度;诊断速度决定故障处理的及时性;误报率、漏报率需控制在合理范围,避免过度检修或遗漏故障,确保诊断结果的可靠性与实用性。

3.2 传统故障诊断技术及应用局限

(1)基于信号分析的诊断方法:这是传统故障诊断的核心方法,主要通过对监测信号的时域、频域分

析,提取故障特征,常见方法包括傅里叶变换、小波分析等。该方法适用于简单故障的诊断,如设备过热、短路等,通过分析信号幅值、频率的异常变化,快速判断故障类型,在水电厂变压器、开关设备的基础故障诊断中应用广泛,具有操作简便、成本较低的优势,但对复杂故障、多故障叠加的场景适配性较差。(2)基于专家系统的诊断方法:依托水电厂设备检修专家的经验,将故障现象、特征参数与故障原因的对应关系整理为规则库,通过逻辑推理匹配故障模式,实现故障诊断。该方法能够模拟专家决策过程,适用于已知故障类型的诊断,在水轮发电机组的常见机械故障、电气故障诊断中有所应用,但过度依赖专家经验,规则库更新滞后,无法适配新型设备故障、未知故障,且推理效率较低^[4]。

(3)传统技术的应用不足:一是诊断精度有限,对复杂故障、早期轻微故障的识别能力较弱,易出现误报、漏报;二是适应性差,难以应对水电厂复杂的运行环境、设备老化带来的参数漂移,以及多故障叠加的场景;三是智能化程度低,依赖人工操作与经验判断,诊断效率低,无法满足水电厂无人值守、高效检修的需求;四是缺乏对故障发展趋势的预判能力,只能在故障发生后进行诊断,难以实现主动预警。

3.3 智能故障诊断技术研究 with 优化

(1)基于机器学习的诊断方法:以数据驱动为核心,通过构建机器学习模型(如支持向量机、神经网络、随机森林等),利用大量设备运行数据、故障数据训练模型,实现故障特征的自动提取与故障识别。该方法无需依赖专家经验,能够自适应设备参数变化,对早期轻微故障、复杂故障的识别精度较高,适用于水轮发电机组、变压器等核心设备的故障诊断,目前已在局部放电故障、轴承磨损故障诊断中得到初步应用,有效提升了诊断的智能化水平。(2)基于大数据与融合算法的诊断方法:整合水电厂多源监测数据,包括设备运行数据、环境数据、检修记录等,利用大数据技术进行数据挖掘、关联分析,结合多算法融合(如信号分析与机器学习算法融合),弥补单一算法的不足,提升故障诊断

的准确性与可靠性。该方法能够实现故障的全方位、多维度诊断,同时可挖掘故障发展规律,实现故障预警,适配水电厂大规模、多设备的监测诊断需求,是当前智能诊断技术的发展重点^[5]。(3)智能诊断模型的优化策略:一是数据优化,扩大样本数据集,补充早期故障、未知故障数据,通过数据增强技术提升数据质量,解决样本不均衡问题;二是算法优化,改进现有机器学习模型的结构,结合深度学习技术,提升模型的特征提取能力与泛化能力,降低误报率、漏报率;三是模型适配优化,结合水电厂设备类型、运行环境,个性化调整模型参数,提升模型的适应性;四是融合运维数据,将诊断模型与设备检修系统联动,实现诊断结果与检修方案的精准匹配,同时通过反馈数据持续优化模型,形成“诊断—检修—优化”的良性循环。

结束语

本文系统研究了水电厂电气设备状态监测与故障诊断技术,梳理了核心设备故障机理,总结了在线、离线、远程监测技术的应用场景,分析了传统与智能诊断技术的应用效果及优化路径。研究虽取得一定成果,但在智能模型适配性、多源数据融合效率等方面仍有提升空间。未来可结合物联网、深度学习等技术完善系统,推动技术向精准化、智能化升级,为设备运维提供可靠保障,助力电力系统高质量发展。

参考文献

- [1]黄怀军.大型水电厂设备远程状态监测与故障诊断系统的构建[J].电子世界,2024,24(18):300-306.
- [2]杨学福.浅析中小型水电厂设备状态检修的开展[J].低碳世界,2023,5(14):10-11.
- [3]李培义,陈英.谈水电厂机械设备检修及维护管理问题[J].企业家天地,2023,10(7):91-94.
- [4]朱燕斌.水电厂主设备状态检修中数据挖掘技术的应用[J].环球市场信息导报,2022,17(43):234-238.
- [5]段进祥.智能水电厂主设备状态监测与状态检修技术研究[J].科技创新导报,2022,16(17):173-174.