

电力设备状态监测与检修策略的优化研究

江绍明

中国电建集团江西省电力建设有限公司 江西 南昌 330000

摘要：随着电力需求持续攀升与电网规模不断扩大，电力设备的安全稳定运行愈发关键。本文聚焦电力设备状态监测与检修策略的优化研究。先概述电力设备状态监测技术，分析传感器技术、在线与离线监测、数据分析方法等要点。接着指出当前检修策略存在制度缺乏灵活性、高素质人才短缺、技术应用滞后等问题。最后提出优化策略，包括完善检修制度、加强人员培训、引入先进技术、建立设备档案等，旨在提升电力设备运行可靠性，降低运维成本，保障电力系统稳定运行。

关键词：电力设备；状态监测；检修策略；优化研究

引言：在电力系统规模不断扩大、结构日益复杂的当下，电力设备的稳定运行关乎整个电力供应的安全与可靠。传统电力设备检修方式多依赖定期检修，存在过度检修或检修不足等问题，难以精准适应设备实际状态。而电力设备状态监测技术能实时获取设备运行信息，为科学检修提供依据。深入研究电力设备状态监测与检修策略的优化，不仅有助于提高设备运行的可靠性和经济性，还能推动电力行业向智能化、精细化方向发展，对保障电力系统的稳定运行意义重大。

1 电力设备状态监测技术概述

电力设备状态监测技术是针对电力系统设备运行状态进行实时监视与检测的关键技术，广泛应用于发电、输电、变电及配网环节。其核心目标在于通过持续采集设备运行参数，及时发现绝缘老化、机械磨损、环境腐蚀等性能下降问题，预防设备故障，保障电力系统安全经济运行。该技术体系涵盖传统人工巡检与现代自动化监测两类模式。传统方法依赖定期停电试验与人工巡视，通过外观检查、仪表读数及预防性试验判断设备状态。随着传感技术、计算机技术及光纤传感技术的发展，现代监测方法已实现不间断在线监测，利用电量/非电量传感器捕捉局部放电、温度异常等信号，结合专家系统进行数据分析。例如，光电检测技术通过光弹效应、法拉第效应实现高电位参数测量，具有抗电磁干扰优势；神经网络、小波变换等智能算法则强化了故障预警能力^[1]。

2 电力设备状态监测技术分析

2.1 传感器技术

传感器技术是电力设备状态监测的核心基础，其性能直接影响数据采集的精度与可靠性。电力设备监测中常用的传感器类型包括温度传感器、振动传感器、气体传感器、光纤传感器及电流/电压传感器等。温度传感器

通过热电偶或热电阻原理，实时监测变压器绕组、断路器触头等关键部位的温度变化，防止过热导致绝缘老化；振动传感器采用加速度计捕捉设备机械振动信号，结合频谱分析可识别轴承磨损、铁芯松动等机械故障；气体传感器通过检测变压器油中溶解的氢气、甲烷等特征气体浓度，判断内部是否存在过热或放电故障；光纤传感器利用光弹效应或瑞利散射原理，实现高压设备温度与振动的非接触式测量，具有抗电磁干扰优势；电流/电压传感器则通过电磁感应或霍尔效应，精确采集设备电气参数，为过载保护与电能质量分析提供依据。

2.2 在线监测与离线监测

在线监测与离线监测是电力设备状态监测的两种主要模式，二者在技术原理与应用场景上存在显著差异。在线监测通过传感器网络实时采集设备运行数据，经工业以太网、5G或光纤通信传输至后台系统，实现24小时不间断监测。其核心优势在于时效性强，可捕捉早期故障信号，避免突发停机，典型应用包括变压器油色谱在线监测、断路器机械特性在线分析等。离线监测则依赖定期人工巡检或停机试验，通过便携式仪器采集设备状态参数，如绝缘电阻测试、局部放电检测等。该方法成本较低，但存在数据滞后性，难以发现潜伏性故障，通常用于辅助验证在线监测结果或作为历史数据补充。当前，随着物联网与边缘计算技术的发展，在线监测正逐步替代离线监测，成为主流方案，而离线监测则向便携化、智能化方向演进，与在线系统形成互补。

2.3 数据分析方法

数据分析方法是电力设备状态监测中实现故障诊断与预测的关键环节，其核心在于从海量数据中提取有效特征并建立关联模型。传统方法以阈值报警为主，通过设定温度、振动等参数的临界值触发预警，但存在误报

率高、适应性差等问题。现代分析技术则引入机器学习与深度学习算法,提升诊断精度。例如,支持向量机(SVM)与随机森林(RF)等监督学习模型,可通过历史故障数据训练分类器,实现故障类型识别;卷积神经网络(CNN)擅长处理振动信号频谱图,自动提取机械故障特征;长短期记忆网络(LSTM)则可分析时间序列数据,预测设备剩余寿命(RUL)。此外,无监督学习如聚类分析(K-means)可用于异常数据检测,而集成学习通过融合多个分类器结果,提升诊断鲁棒性。

3 现有电力设备检修策略存在的问题

3.1 检修制度缺乏灵活性

当前电力设备检修制度多沿用传统定期检修模式,检修周期与项目按固定标准执行,未充分考虑设备实际运行状态、负荷特性及环境差异。例如,同一电压等级的变压器,因负载率、运行年限不同,其绝缘老化速度存在显著差异,但定期检修仍按统一周期开展,导致部分设备过度检修(增加成本与停机风险),而部分设备则可能因检修不足引发突发故障。此外,检修计划制定缺乏动态调整机制,无法根据设备实时监测数据或历史故障趋势灵活优化,难以适应电力系统智能化、精细化发展趋势^[2]。

3.2 高素质检修人才短缺

电力设备检修对人员技术能力要求较高,需掌握机械、电气、绝缘等多学科知识,并具备故障诊断、数据分析及应急处理能力。然而,当前行业面临高素质检修人才短缺问题:一方面,传统检修人员以经验型为主,对新型传感器技术、在线监测系统及智能诊断算法的掌握不足,难以胜任复杂设备状态评估;另一方面,高校相关专业培养体系与实际需求脱节,毕业生实践操作能力薄弱,而企业培训资源有限,导致人才梯队断层。

3.3 检修技术应用滞后

现有电力设备检修技术仍以传统方法为主,如人工巡检、定期试验及离线检测,对新型监测技术(如光纤传感、声发射检测)及智能分析工具(如深度学习、数字孪生)的应用不足。例如,部分企业虽已部署在线监测系统,但数据仅用于简单阈值报警,未深入挖掘故障特征与关联规律;局部放电检测仍依赖便携式仪器人工操作,效率低且易漏检;检修决策依赖经验而非数据驱动,导致故障定位不精准、维修方案针对性差。

4 电力设备检修策略优化

4.1 完善检修制度

(1) 制定科学合理的检修周期。当前电力设备检修周期多依赖固定标准,未充分考虑设备个体差异与环境

因素。需结合设备历史运行数据、故障统计规律及实时监测结果,建立动态调整机制。例如,通过分析变压器油色谱数据、断路器机械特性参数等,评估设备实际老化速度,对负载率高、运行环境恶劣的设备缩短检修周期,对状态稳定的设备延长周期。同时,引入可靠性工程理论,计算设备故障概率分布,优化检修时间窗口,避免因周期不合理导致的过度检修或漏检,实现成本与可靠性的平衡。(2) 建立状态检修为主、定期检修为辅的检修模式。传统定期检修存在“一刀切”弊端,而状态检修通过实时监测数据驱动决策,更具针对性。需构建以在线监测系统为核心的状态评估体系,集成温度、振动、局部放电等多维度数据,利用机器学习算法预测设备剩余寿命。对于关键设备(如主变、GIS),以状态检修为主,仅在监测数据异常时触发检修;对于非关键或监测手段有限的设备,保留定期检修作为补充。通过分层分类管理,提升检修效率,降低非计划停机风险。(3) 强化检修过程管理。检修过程管理是保障检修质量的关键。需制定标准化作业流程(SOP),明确检修步骤、技术标准及安全规范,减少人为操作失误。引入数字化管理工具,如检修APP或移动终端,实现任务派发、数据记录及质量追溯的全流程电子化。同时,建立三级验收机制(班组自检、部门复检、专家终检),结合无损检测、电气试验等手段,确保检修结果符合标准。此外,通过PDCA循环持续改进检修流程,定期分析检修缺陷原因,优化作业指导书,提升检修规范化水平。

4.2 加强人员培训

(1) 开展多元化培训方式。为满足不同层次检修人员的学习需求,应开展多元化培训。线上搭建学习平台,上传设备原理讲解视频、故障案例分析等资料,方便员工随时学习;线下组织专题讲座,邀请行业专家讲解新技术、新方法。同时,开展实景模拟培训,利用VR/AR技术还原检修场景,让员工在虚拟环境中练习操作,增强培训的趣味性与实效性,提升员工综合技能。(2) 注重实践技能培训。电力设备检修依赖实操能力,需强化实践培训。建立设备检修实训基地,配置真实设备或模拟装置,让员工进行绝缘检测、部件拆装等操作练习。培训中设置故障场景,要求员工依据监测数据和现象分析故障、制定维修方案。通过参与实际检修项目,让员工在实战中积累经验,提高故障处理效率和准确性,确保检修工作质量。(3) 建立激励机制。建立有效激励机制可激发员工学习热情。物质上,对通过技能认证、参与技术创新或故障抢修表现突出的员工给予奖金、津贴奖励;精神上,开展“技术能手”评选,颁发荣誉证书

并公开表彰。将培训成绩与晋升挂钩，优先提拔技术强、有创新精神的员工，营造“比学赶超”氛围，推动检修队伍整体水平提升。

4.3 引入先进技术

(1) 应用物联网技术。通过在设备关键部位部署各类传感器，如温度、振动、电流电压传感器等，可实时采集设备运行数据，并借助无线通信网络将数据传输至监控中心。这些数据形成设备状态的全息画像，检修人员能远程掌握设备健康状况。一旦数据超出正常范围，系统立即发出预警，检修人员可提前制定检修计划，精准定位故障点，避免盲目巡检，大幅提高检修效率，降低设备突发故障导致的停电损失。(2) 采用大数据和人工智能技术。大数据技术可整合设备历史运行数据、故障记录、环境参数等多源信息，构建庞大的数据资源库。人工智能算法，如深度学习、机器学习等，能对这些数据进行深度挖掘和分析，自动识别设备故障模式、预测剩余使用寿命。通过建立故障预测模型，提前发现潜在故障隐患，为检修决策提供科学依据，实现从“事后维修”到“事前预防”的转变，提升电力设备运行的可靠性和经济性。(3) 推广无人机巡检技术。无人机巡检技术为电力设备检修提供了高效、安全的巡检方式。无人机搭载高清摄像头、红外热成像仪等设备，可对输电线路、杆塔等设备进行全方位、无死角的巡检。它能快速穿越复杂地形，到达人工难以到达的区域，及时发现线路断股、绝缘子破损、金具松动等缺陷。同时，无人机巡检不受时间和天气限制，可定期或不定期执行巡检任务，大幅提高巡检效率和频次。通过数据分析软件对巡检图像进行处理，能快速定位故障，为检修工作争取宝贵时间。

4.4 建立设备档案

(1) 全面记录设备信息。建立电力设备档案需全面、精准地记录设备全生命周期信息。基础信息方面，涵盖设备名称、型号、规格、出厂编号、生产厂家、出厂日期等，明确设备“身份”。运行信息上，记录设备投运时间、运行位置、负载情况、历年运行参数（如电压、电

流、温度等），反映设备实际工作状态。检修信息包含每次检修时间、检修内容（如部件更换、调试项目）、检修人员、使用的备品备件等，为后续检修提供参考。故障信息则详细记录故障发生时间、现象、原因分析、处理措施及结果，便于总结经验、预防类似故障。此外，还需记录设备的改造、升级情况，确保档案信息完整、连续，为设备管理提供可靠依据。(2) 实现设备档案的信息化管理。传统的纸质设备档案管理存在查找困难、易损坏丢失等问题，信息化管理可有效解决。利用专门的设备管理软件，将设备各类信息录入系统，形成电子档案。通过设置关键词、分类标签等，实现快速检索和查询，提高管理效率。同时，信息化管理支持数据备份与恢复，保障档案数据安全。还可借助物联网技术，将设备实时运行数据自动上传至档案系统，实现档案的动态更新^[3]。此外，信息化管理便于数据的统计与分析，为设备检修策略制定、寿命评估等提供数据支持，推动设备管理向智能化、精细化方向发展。

结束语

电力设备状态监测与检修策略的优化研究，是保障电力系统稳定运行、提升供电可靠性的关键。通过引入物联网、大数据、人工智能等先进技术，实现设备状态的实时精准感知与故障预测，推动检修模式从“定期检修”向“状态检修”转变。同时，完善检修制度、强化人员培训、建立信息化设备档案等举措，进一步提升了检修效率与质量。未来，随着技术的持续创新，电力设备监测与检修将更加智能化、自动化，为构建安全、高效、绿色的现代电力体系提供坚实支撑，助力能源行业高质量发展。

参考文献

- [1]王鹏飞,高晗.电力设备状态检修与预防性试验探析[J].中国设备工程,2021(20):164-165.
- [2]任少飞.电力设备状态检修中的问题与对策[J].集成电路应用,2020,37(11):68-69.
- [3]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.