水电水利
Hydropower and Water Resources
第 10 卷◆第 9 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

电力系统变电设备状态检修技术应用探析

李孟徽　赵栋　王岩松　徐文洁
石河子工程职业技术学院
DOI:10.32629/hwr.v10i9.7129

[摘　要] 传统电力变电设备定期检修存在检修盲目、资源浪费、停电时长偏长等弊端,难以适配智能电网安全、高效、经济的运行需求。状态检修依托设备在线监测、状态评估、故障诊断技术,以设备实际运行工况为依据开展差异化检修,是变电运维模式转型升级的核心方向。本文系统阐述变电设备状态检修的基本内涵与技术体系,分析当前状态监测、状态评估、故障预判及现场应用存在的突出问题,从监测技术升级、评估模型优化、运维机制完善、智能技术融合等方面提出应用优化策略。实践表明,科学运用状态检修技术能够有效降低设备故障率、缩减运维成本、提升电网供电可靠性,可为变电站运维智能化升级提供技术参考与实践依据。
[关键词] 变电设备；状态检修；在线监测；智能运维
中图分类号：TM63　文献标识码：A

Application Analysis of Condition-based Maintenance Technology for Power System Substation Equipment

Menghui Li　Dong Zhao　Yansong Wang　Wenjie Xu
Shihezi Engineering Technical College

[Abstract] The traditional periodic maintenance of power substation equipment suffers from drawbacks such as blind maintenance, resource waste and long power outage duration, which can hardly meet the safe, efficient and economical operation requirements of smart power grids. Condition-based maintenance relies on technologies including on-line equipment monitoring, condition assessment and fault diagnosis, and carries out differentiated maintenance according to the actual operating conditions of equipment. It serves as the core direction for the transformation and upgrading of substation operation and maintenance modes. This paper systematically elaborates on the basic connotation and technical system of condition-based maintenance for substation equipment, analyzes prominent problems existing in current condition monitoring, condition assessment, fault prediction and field application, and puts forward application optimization strategies from the perspectives of monitoring technology upgrading, evaluation model optimization, improvement of operation and maintenance mechanism, and integration of intelligent technologies. Practice shows that the scientific application of condition-based maintenance technology can effectively reduce equipment failure rate, cut operation and maintenance costs and improve power supply reliability of power grids, providing technical references and practical basis for the intelligent upgrading of substation operation and maintenance.
[Key words] Substation Equipment; Condition-based Maintenance; On-line Monitoring; Intelligent Operation and Maintenance

随着新型电力系统建设持续推进,电网网架结构日趋复杂,变电设备长期处于高负荷、不间断运行状态,设备安全稳定运行直接关系电网供电质量与运行可靠性。传统定期检修模式以固定周期开展停电检修,无法精准匹配设备老化速率与故障发展规律,易出现“过修”“欠修”问题,增加电网停运风险与运维损耗。状态检修作为基于设备真实工况的主动检修模式,融合传感监测、数据挖掘、智能诊断等技术,实现由“周期检修”向“状态检修、精准运维”转型。现阶段,基层变电站存在监测数据利用率低、状态评估标准不完善、智能技术落地不足等问题。为此,本文全面探析变电设备状态检修技术体系、应用短板与优化路径,助力变电运维提质增效。

1 变电设备状态检修技术体系与核心内涵

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2529-7821 /（中图刊号）：868GL002

1.1状态检修的基本概念与技术优势

变电设备状态检修是以设备实时运行状态、历史检修数据、环境参数、绝缘性能等多维度信息为基础，结合设备老化规律与故障机理，动态制定检修时机、检修项目与检修方案的智能化运维模式，区别于传统固定周期的预防性检修。该技术模式摒弃一刀切的检修方式，依据变压器、断路器、GIS、隔离开关等不同设备的运行状态差异化安排运维作业。相较于传统检修，状态检修具备显著技术优势，可精准识别设备潜在缺陷，提前预判故障发展趋势，有效规避盲目检修造成的人力、物力浪费。同时可大幅减少不必要停电操作，提升电网持续供电能力，降低设备过修损耗与欠修隐患，契合新型电力系统安全高效、绿色经济的运维发展要求，是变电运维数字化、智能化转型的关键支撑。

1.2状态检修整体技术架构与运行流程

变电设备状态检修形成“数据采集—状态分析—风险评估—检修决策—闭环整改”的完整技术架构，各环节相互衔接、协同运转。数据采集层依托温度、振动、超声、红外、局部放电等传感设备，实时获取变电设备运行参数与状态特征；数据分析层通过数据清洗、特征提取、异常甄别，筛选有效状态数据，剔除环境干扰与设备误差数据；状态评估层结合设备服役年限、历史故障、试验数据，判定设备健康等级与运行风险；决策执行层根据设备健康状态制定观察维护、专项检修、停电大修等差异化方案；闭环管控层完成检修复盘、数据更新与模型迭代。整套流程实现设备状态动态感知、故障精准预判、检修科学施策，构建全生命周期智能化运维体系。

1.3变电核心设备状态检修适用特征

变电站核心设备运行机理、故障类型、老化规律存在显著差异，状态检修技术应用具备较强针对性与适配性。电力变压器主要存在绝缘老化、绕组变形、油温异常、渗漏油等缺陷，可通过油色谱在线监测、温度监测、振动检测实现状态研判；高压断路器故障集中于操作机构卡涩、灭弧性能下降、绝缘破损，依托机械特性监测、局部放电检测开展状态评估；GIS设备易出现内部气隙放电、绝缘缺陷、气体泄漏等问题，适配超声、超高频局部放电监测技术；隔离开关、互感器等设备可依托红外测温、在线工况监测识别发热、接触不良等隐患。各类设备差异化的故障特征，决定状态检修需分类选用监测技术、评估标准与检修策略，保障检修精准性与实效性。

2 变电设备状态检修关键核心技术

2.1设备在线监测与数据采集技术

在线监测技术是状态检修的数据基础，通过部署高精度传感终端，实现变电设备运行状态全天候、不间断采集，涵盖电气参数、物理状态、环境参数三大类监测内容。电气参数监测包含局部放电、绝缘电阻、负荷电流、电压波动等核心指标，可精准反映设备绝缘性能与电气运行稳定性；物理状态监测依托红外测温、振动传感、噪声检测，捕捉设备发热、机械松动、结构异常等缺陷；环境参数监测涵盖温湿度、污秽程度、气压变化，消除环境因素对设备状态研判的干扰。现阶段，智能传感、物联网、无线传输技术广泛应用，实现监测数据实时上传、远程调取、动态更新，有效解决传统离线检测数据滞后、采样间断的问题，为设备状态精准评估提供全面、可靠的数据支撑。

2.2故障智能诊断与状态评估技术

故障诊断与状态评估是状态检修的核心环节，依托大数据分析与智能算法，实现设备缺陷识别、故障定位与健康状态分级研判。传统诊断依赖人工经验比对数据，存在主观性强、准确率低、滞后性明显等问题，现阶段融合深度学习、神经网络、数据融合算法，可实现多源监测数据联合分析，精准挖掘设备隐性故障与早期缺陷。通过构建设备健康度评估模型，结合设备服役年限、试验数据、故障记录、运行工况，将设备状态划分为健康、注意、异常、严重四个等级，量化设备运行风险。同时可实现故障趋势预测，预判设备老化速率与故障发展规律，为检修时机选择、检修项目制定、风险防控提供科学依据，彻底改变传统检修经验化、主观化的研判模式。

2.3大数据驱动的检修决策优化技术

大数据检修决策技术依托设备全生命周期数据库，整合设备出厂参数、运行数据、检修记录、缺陷台账、试验报告等多维信息，构建智能化检修决策体系。通过数据挖掘与关联分析，梳理设备故障高发规律、缺陷关联特征，精准定位设备薄弱环节与运维短板，实现检修资源精准投放。针对不同健康等级设备，系统自动生成差异化检修方案，对健康设备采取常态化巡视维护，注意设备开展专项监测与隐患排查，对异常设备及时安排针对性检修，严重设备立即停机大修。

3 当前变电设备状态检修技术应用现存问题

3.1在线监测系统适配性不足，数据质量参差不齐

目前多数变电站已部署在线监测设备，但在实际应用中仍存在监测设备适配性差、数据稳定性不足、数据冗余量大等问题。部分老旧变电站传感设备老化、精度衰减，易出现数据漂移、误报、漏报现象，无法精准反映设备真实运行状态；不同厂家监测系统数据标准不统一、接口不兼容，存在数据孤岛问题，多源数据难以融合分析，制约综合研判效果。同时监测数据存在大量重复、无效、干扰数据，基层运维人员缺乏专业数据筛选与处理能力，难以提取有效状态特征数据。

3.2状态评估体系不完善，检修决策科学性不足

现阶段变电设备状态评估尚未形成统一、细化的量化标准，评估体系存在主观性强、指标单一、分级模糊等短板。多数运维单位仍以人工经验结合单一监测数据开展状态研判，未能全面融合设备老化规律、运行工况、历史缺陷、环境影响等多维因素，评估结果精准度不足。部分设备健康评估模型适配性较差，未针对变压器、GIS、断路器等不同设备差异化优化评估参数，通用化模型无法适配各类设备故障特征。

3.3智能技术融合程度低，运维队伍专业能力薄弱

智能电网背景下，人工智能、大数据、数字孪生等先进技术在状态检修中的融合应用程度不足，多数变电站仍停留在数据采集与基础监测层面，智能化诊断、趋势预测、自动决策功能未

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

充分落地。智能算法模型训练样本不足、场景适配性差，对新型隐性故障、早期微小缺陷识别能力有限，难以满足高精度检修需求。同时基层运维队伍专业能力滞后于技术发展，部分运维人员熟悉传统检修工艺，但对在线监测系统操作、智能诊断技术、大数据分析掌握不足，缺乏智能化运维思维与实操能力。单位专项培训体系不完善，培训内容偏重理论，实战化训练不足，人员技术更新滞后，难以适配智能化状态检修的岗位需求，制约技术落地成效。

4 变电设备状态检修技术应用优化策略

4.1升级智能监测系统，提升数据采集与处理质量

针对监测设备适配性差、数据质量低的问题，全面推进变电站在线监测系统智能化升级改造，更换老旧、低精度传感设备，选用耐高温、抗干扰、高精度智能传感终端，提升复杂工况下数据采集稳定性与精准度。统一各厂家监测设备数据接口、传输标准与数据格式，搭建一体化数据共享平台，破除数据孤岛，实现多源监测数据融合汇总、统一分析。构建标准化数据预处理机制，通过智能算法完成数据清洗、降噪、筛选，剔除无效干扰数据，提取核心状态特征信息。针对极端天气、高负荷运行等特殊场景，优化监测点位布局，增设专项监测模块，强化隐性缺陷监测能力，全面提升设备状态数据的完整性、准确性与时效性，为精准评估筑牢数据基础。

4.2完善量化评估体系，构建科学化检修决策机制

结合各类变电设备运行机理与故障特征，建立差异化、量化的设备状态评估标准，细化变压器、断路器、GIS、隔离开关等设备的评估指标体系，涵盖电气性能、机械性能、绝缘状态、环境工况、服役年限等多维指标。优化设备健康评估模型，引入多数据融合算法，提升模型故障识别、状态分级、趋势预判精度，减少人工主观研判偏差。健全分级检修决策机制，根据设备健康等级制定差异化运维策略，明确预警处置、隐患排查、专项检修、停机大修的适用场景与操作规范。建立检修闭环管控机制，实现异常预警、缺陷研判、检修实施、效果复核、数据更新全流程闭环管理，持续提升检修决策科学性与精准性。

4.3深化智能技术融合，建强专业化运维队伍

深度融合人工智能、大数据、数字孪生技术，搭建变电设备智能运维平台，依托深度学习算法优化故障诊断模型，强化早期隐性故障、微小缺陷识别能力，实现设备状态动态预判、故障精准定位、检修智能决策。推动数字孪生技术应用，构建变电站虚拟仿真模型，实现设备运行状态可视化、故障推演、检修模拟，提升运维智能化水平。同时健全运维人员专项培训体系，围绕智能监测系统操作、大数据分析、智能故障诊断、新型检修技术开展分层分类实战培训，更新人员知识体系与运维思维。建立师徒帮带、岗位练兵、技能比武常态化机制，培育兼具传统检修能力与智能运维素养的复合型人才，全面提升状态检修技术落地应用质效。

5 结语

本文系统梳理状态检修技术体系、核心技术与应用短板，从监测系统升级、评估体系完善、智能技术融合、队伍建设等方面提出优化策略。当前变电设备状态检修仍存在数据质量不足、评估体系不完善、智能化程度偏低等问题，后续需持续深化智能技术融合，完善量化评估与闭环运维机制，推动状态检修技术标准化、智能化、精细化落地，全面提升变电设备运行稳定性与电网供电可靠性。

[参考文献]

[1]李腾飞.电力系统中的变电运行设备检修技术应用[J].电力设备管理,2026,(4):47-49.

[2]孙钊,张一.电力系统变电一次设备状态检修技术研究[J].电力设备管理,2026,(1):16-18.

[3]严盖,李军妍.电力系统状态检修模式下变电检修技术的应用策略研究[J].光源与照明,2022,(9):217-219.

[4]何俊辉.电力系统中变电运行设备检修技术的应用[J].通讯世界,2017,(22):306-307.

[5]杨胜全.解析电力系统变电一次设备状态检修技术[J].低碳世界,2017,(20):91-92.

[6]蒋春敏.电力系统变电一次设备状态检修技术探讨[J].建设科技,2016,(23):124.

[7]陈超.浅析电力系统变电设备检修技术的应用[J].河北企业,2016,(5):171-172.

作者简介：

李孟徽(2000--),男,汉族,河南商水县人,本科,职称：助教,研究方向：机电设备故障检测与维护技术研究。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.