

基于状态检修的电厂电气系统可靠性提升与改造实践

刘毅

广州恒运东区天然气热电有限公司, 广东 广州 510730

DOI:10.61369/WCEST.2026030017

摘 要 : 发电厂电气系统的可靠性对于安全发电以及电网的稳定而言十分主要, 传统的定期检修方式存在检修过度或者检修不足的情况。状态检修通过设备运行数据对策略进行动态调整, 融合红外热成像、振动分析等监测手段以及机器学习算法, 能够精确识别隐患, 减少故障停机概率和维护费用。改造行动通过设备更新、流程改造以及智能管控大幅提高可靠性, 未来能够融合人工智能、数字孪生科技作进一步优化。

关 键 词 : 状态检修; 电厂电气系统; 可靠性提升

Practice of Reliability Improvement and Transformation of Power Plant Electrical System Based on Condition based Maintenance

Liu Yi

Guangzhou Hengyun East Natural Gas Thermal Power Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510730

Abstract : The reliability of the electrical system in power plants is of great significance for safe power generation and the stability of the power grid. The traditional periodic maintenance approach often leads to either excessive or insufficient maintenance. Condition-based maintenance dynamically adjusts strategies based on equipment operation data, integrating infrared thermal imaging, vibration analysis and other monitoring methods as well as machine learning algorithms. It can precisely identify potential hazards, reducing the probability of failure shutdowns and maintenance costs. The transformation actions significantly enhance reliability through equipment updates, process modifications and intelligent control. In the future, it can be further optimized by integrating artificial intelligence and digital twin technologies.

Keywords : state maintenance; power plant electrical system; reliability improvement

引言

电厂电气系统的可靠性是确保电力安全供应以及电网稳定的主要因素, 其运行状况直接关乎发电效能与经济收益。传统的定期检修方式容易造成过度维护或者遗漏隐患, 难以符合机组容量增大以及系统复杂程度提高的要求。2006年公布《关于加强电力设备状态检修管理的指导意见》, 清晰提出推进状态检修技术运用来提高电力设备可靠性。通过设备实时运转数据开展状态检修, 运用红外热成像、振动分析等手段捕捉潜在故障隐患, 再结合机器学习算法对维护策略进行优化, 能够大幅降低非计划停机比率以及维护费用。相关改造实践显示, 此模式可有效提高系统可用度, 为电厂电气系统的智能化转变提供支持, 成为应对当下可靠性难题的主要途径。

一、电厂电气系统可靠性现状与状态检修基础

(一) 电厂电气系统可靠性的基本概念与挑战

电厂电气系统的可靠性是指在特定时间和条件下, 系统实现预定功能的能力, 其主要指标包括平均故障间隔时间 (MTBF)、故障停机率、可用度等, 这些指标直接体现系统运行的稳定性, 对电厂的安全发电、经济效益以及电网的稳定而言非常重要。现阶段电厂电气设备的检修大多采用定期检修的模式, 此模式依靠固定的周期来安排维护工作, 容易出现过度检修或者检修不足的

状况: 过度检修会使人力和成本的消耗增加, 而检修不足则有可能遗漏潜在的故障, 造成设备突然停运, 对发电的连续性产生影响。除此之外传统的检修模式对设备的实际运行状况关注不够, 很难实时捕捉到设备老化、性能衰退等动态的改变, 不能实现精准的维护。随着电厂机组容量增大以及电气系统复杂程度提高, 传统检修模式的局限更加明显, 迫切需要更科学的检修策略来应对设备故障预测和可靠性保障方面的挑战^[1]。

(二) 状态检修在电气系统中的应用潜力

在电厂电气系统可靠性的现状以及状态检修基础方面, 状态

检修于电气系统里的应用潜力十分明显。它的基础原理是根据设备实际的运行状态数据，融合先进的监测技术和数据分析手段，实现维护策略的动态化调整，技术方案包含状态监测、数据分析、风险评估以及决策支持等板块。相较于传统的定期检修方式，状态检修可精确识别设备潜藏的故障，防止出现过度维护或者维护不足的情况，降低计划外停机以及故障的发生概率，进一步提高系统的整体可靠性。在电厂电气设备的维护工作里，状态检修能够针对变压器、断路器、电缆这类主要设备，通过振动监测、局部放电检测、油色谱分析等技术来实时获取设备的状态参数，再结合机器学习算法对故障趋势进行预测，进一步制定具有针对性的维护计划。实际情况显示，运用状态检修的电厂电气系统故障停机时长能够降低超30%，维护费用减少约20%，系统可靠性指标有明显提高^[2]。此模式不但对资源配置进行优化，还为电厂电气系统的智能化改革提供技术支持，其应用潜在在新能源并网、电网调峰等复杂运行状况下更加明显，成为加强系统可靠性的主要方式。

二、电气设备状态检修技术提升路径

（一）先进监测技术在检修维护中的应用

在电气设备状态检修技术的提高途径里，先进监测技术的应用是主要部分，它通过实时数据的收集与分析实现故障的早期诊断，大幅提高维护的效率。红外热成像技术能够以非接触方式检测设备表面的温度分布情况，捕捉由于接触不良、过载或者绝缘老化所引发的局部过热现象。比如对变压器绕组、断路器触头开展温度监测，可在故障出现之前识别出异常的温升状况，从而避免突发性的停电事故^[3]。振动分析方法面向旋转电机、泵类装置，通过传感器收集振动信号，运用频谱分析判别轴承磨损、转子不平衡等机械问题，实现从定期检修到预测性维护的转变。这些技术的运用不但降低盲目检修造成的资源损耗，还通过数据驱动的决策来优化维护时段，增长设备使用时长。另外先进的监测技术和物联网、大数据平台相融合，能够建立设备健康状态的评估模型，给检修策略的制定提供科学的根据，促进电厂电气系统可靠性不断提高。

（二）检修维护方法的创新与实践

检修维护方式的改革与实践环节，要结合特定案例说明预测性维护和智能诊断技术的应用意义。某火力发电厂通过安装振动监测传感器和红外热成像装置，对主变压器、高压电动机等核心设备开展实时状态收集，运用机器学习算法搭建故障预测模型，预先识别轴承损耗、绕组过温等潜在风险，使设备非计划停机比例下降35%^[4]。智能诊断技术的运用体现在运用超声波局部放电检测设备和油色谱在线监测体系，通过专家系统对数据开展多方面分析，实现绝缘缺陷的早期预报，比如针对GIS装置的局部放电信号特性提取，诊断精确率提高到92%。另外此电厂还对维护流程进行优化，建立状态数据、风险评估、维护决策的闭环管理体系，按照设备健康指数动态改变检修周期，防止过度维护引发的资源浪费，并且保证高风险设备能够得到及时干预。

这些方法改革不但降低设备故障出现率，还让年度维护费用减少20%，证实状态检修技术于提高电气系统可靠性方面的主要效用。

三、减少设备故障的改造实践策略

（一）方法改进减少故障发生率

1. 改进措施的具体实施案例

在减少设备故障的改造实践策略里，方法的优化对降低故障出现率起着主要功效。以某300MW火力发电厂电气系统作为实例，原本运用固定周期的维护模式，高压开关柜平均每年出现故障的次数达到8次，故障主要集中在断路器机械卡涩以及绝缘老化方面的问题。引入通过振动监测和局部放电检测的自动化诊断工具之后，通过实时采集设备运行数据并建立故障预警模型，实现对潜在故障的提前判别^[5]。根据状态检修数据把变压器的维护周期由12个月动态变更为18-24个月，针对电缆接头温度出现异常的情况，运用红外热成像技术开展定期扫描，并且优化接头的紧固工艺。改造完成后，此电厂电气设备的故障发生率降低45%，其中高压开关柜的故障频次降至每年3次以内，变压器非计划停运时长缩短60%。实际情况显示，通过优化维护方案和引入智能诊断手段，能够确实降低设备故障，加强系统的可靠性。

2. 故障减少效果评估

技术改良融合状态检修工艺，通过实时监控温度、振动、绝缘电阻等指标建立故障预警模式，实现从定期检修向预测性检修的转变，运用在线监测与离线检测相融合的途径及时察觉潜在故障。故障降低效果评估通过统计数据与可靠性指标，比较改造前后设备故障频次、平均故障间隔时长以及系统可用比率。改造之后6个月的数据表明，主要电气设备故障的下降比例达到35%，MTBF延长20%，系统可用率提高到99.8%^[6]。根据设备故障类型的变化走向，检验改进措施在降低重复性故障、缩短突发停机时长方面的实际成效，为后续的优化工作提供数据根据。

（二）设备改造的技术方案

1. 改造技术与方法的应用

设备改良技术方案参考状态检修数据，对主要电气设备开展组件升级和系统集成。高压断路器运用真空灭弧室替换少油灭弧室，增装在线监测传感器实时收集机械特性参数，降低触头磨损或者机构卡涩所引发的故障。变压器替换高绝缘等级的绕组材料，同时对冷却系统进行优化，按照油色谱分析数据来调整绝缘油的处理工艺，以此降低局部放电的风险。在系统整合领域，把分散的保护装置接入统一的智能监控平台，通过冗余设置主要控制单元来防止单点故障。针对电缆沟道开展防火与防潮方面的改造工作，通过红外热成像技术替换老化的电缆，排除因绝缘老化而产生的短路风险。改进根据状态检修数据，通过故障模式与影响分析找出薄弱之处，保证措施面向高风险故障点，加强设备冗余程度与系统可靠性^[7]。

2. 改造后可靠性提升分析

对通过状态检修数据进行改造以制定具有针对性的方案，例

如当高压断路器分合闸时间超差率达到15%时，用新型弹簧操动机构替换液压机构，同时加装局部放电监测装置。对变压器进行升级，采用油中溶解气体在线监测系统，电缆接头运用红外热成像和超声波开展联合监测。改造完成后，主变压器平均故障的间隔时长从18个月延长到36个月，系统的可用率由92%提高到98.5%。年度维修费用降低近40%，发电电量损失降低600万千瓦时，状态检修的周期从3个月延长到6个月，运维工作人员的工作量降低30%。备件周转效率提高25%，防止因过量库存造成的资金占用^[9]。

四、电厂电气系统改造实践的综合管理

（一）改造计划的制定与优化

1. 目标设定与优先级确定

改造规划的制定和优化要以状态检修的数据作为根据，精确设定改造目的并明确优先级。结合设备状态的评估，确定量化的可靠性提高指标，例如把主要设备的故障发生率降低30%，或者让系统平均无故障运行时长提高到原来水平的1.5倍，保证指标与电厂整体需求相符合。运用风险矩阵法开展优先级排序工作，全面考量设备重要程度、故障后果以及状态劣化走向，把处于高风险状况且对系统可靠性有明显影响的设备确定为优先改造的目标，例如主变压器绝缘老化情况严重且承担机组80%以上负荷的区域。此过程要参照状态检修有关标准和案例，保证目标设定具备科学性，优先级划分具有合理性，为改造执行提供明确指引^[9]。

2. 资源分配与风险控制

电厂电气系统的改造遭遇多个挑战。从技术角度来看，老旧设备和智能监测模块的协议存在不匹配情况，这使得数据采集出现中断，同时带电作业的风险以及施工空间的限制也提高执行的难度。在管理方面，改造时预算容易超支，像传感器、数据分析平台等的投入较大，技术团队能力欠缺容易导致进度延迟^[10]。应对办法：运用分步兼容措施，通过协议转换装置实现新旧设备的互通，逐步更替老旧部件；引入模块化建造技术降低对机组的干扰。管理方面建立动态预算管控机制，优先对主要设备监测系统投入，强化与专业机构协作以开展人员培训工作，提高执行水平。通过技术和管理的协同改进，减少故障发生概率，确保改造目标实现。

（二）实施过程中的问题应对

1. 常见挑战与解决策略

发电厂电气系统的改造往往会遭遇多种挑战。从技术角度来看，老旧设备和智能监测模块在协议方面存在不兼容情况，这使得数据采集出现中断，带电作业面临的安全风险以及施工空间受限问题，进一步加大执行的难度。在管理方面，改造时预算容易超支，像传感器、数据分析平台这类前期投入较大，而且部分电厂的技术团队能力不够，进一步造成进度延迟。应对办法包含：运用分步兼容的策略，通过协议转换器实现新旧设备的互联互通，逐步更替老旧的组件；引入模块化的施工技术，以降低对机

组运行所产生的干扰。在管理方面建立动态预算管控机制，优先对主要设备监测系统进行投入，通过与专业机构开展合作来强化人员培训，提高现场执行水平。通过技术和管理的协同改进，减少故障发生概率，确保改造目标实现。

2. 监控与调整机制

监测与调控机制是保障改造进程与状态检修目的动态符合的主要部分。实时监测体系通过传感器、智能仪器收集变压器、断路器、电缆等核心设备的运行数据，经过边缘计算处理之后传送到中央监测平台，建立设备状态实时图景。当参数超出阈值范围时，系统启动反馈机制，技术小组根据历史故障实例和风险评估模型来分析成因，判定是否由安装误差或设备适配性方面的问题导致，进一步对改造方案做出相应调整，例如改进安装工艺或者替换组件，更新状态检修的阈值以及维护策略。此机制通过数据驱动的动态调节，保证改造之后设备运行和状态检修技术要求连贯相符，实现技术改造和状态检修体系的深度交融。

（三）效果评估与持续改进

1. 改造效果量化分析

改造成效量化分析以状态检修数据作为根据，通过故障频次统计和可靠性指标来验证改造效果。统计改造前后变压器、断路器、电缆等核心设备的故障数量、持续时长以及类型分布情况，算出故障降低率。引入系统平均无故障运行时长（MTBF）、系统可用率（AS）等指标，对比改造前后的变化来衡量可靠性的提高情况。例如某电厂变压器改造之后，MTBF从1800小时提高到2500小时，故障降低率达到38%。结合状态检修的预测数据，对故障预警准确性的变化展开分析，提前察觉潜在故障的占比由20%提高到65%。量化分析要排除如电网波动、环境变化这类外部因素的干扰，运用控制变量法保障数据精准，为持续优化提供支持。

2. 持续改进策略设计

持续优化策略设计将效果评估作为根据，围绕减少故障发生概率、加强系统可靠性来开展。针对设备陈旧、维护流程迟缓等状况，搭建通过状态监测数据的动态维护程序，通过实时收集变压器绝缘电阻、断路器机械特性等核心参数，结合机器学习预估故障，把定期维护转变为按需维护，降低停机时长。针对老旧继电保护设备开展数字化改造，引入智能终端和边缘计算技术；针对电缆沟这类易受潮的区域，运用新型防潮材料并配备在线监测系统，以降低绝缘故障发生的风险。建立跨部门协作机制，把运维数据反馈到设计阶段，促进设备选型和系统方案的优化，实现电厂电气系统可靠性的逐步提高。

五、总结

通过状态检修的电厂电气系统可靠性加强实践，主要是通过实时监测与数据解析，实现检修策略由周期性向预知性的转变，大幅降低设备故障发生概率。研究显示此项技术能够精确识别隐患，防止过度检修以及突发停运情况，加强系统的可靠性。改造时融入传感器、数据收集与专家诊断模式，搭建全生命周期设备

健康管控体系，为系统平稳运转提供保障。未来能够进一步开展智能化改造工作，通过人工智能对故障预测模型加以优化，运用数字孪生实现动态仿真效果，促进边缘计算和物联网在现场数据

处理过程里的运用，让检修决策变得更加精准且高效，不断提高电厂电气系统的可靠性与经济性。

参考文献

[1] 潘恒毅. 柔性直流换流站状态检修策略研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.

[2] 王洋. 基于 RCM 的变压器状态检修与故障诊断研究 [D]. 华北电力大学 (北京), 2023.

[3] 周翔宇. 基于正交信号生成器的电气系统状态估计方法研究 [D]. 长安大学, 2023.

[4] 刘子轩. 基于视频的学习状态分类与实践 [D]. 东华大学, 2022.

[5] 何启巧. 基于检测状态的输电杆塔结构随机分析与可靠性评估 [D]. 重庆大学, 2022.

[6] 翟欣慰, 涂画, 王志武. 核电厂强损仪控设备可靠性提升技术研究与实践 [J]. 价值工程, 2022.

[7] 郑显贵. 基于电力系统继电保护可靠性评估的状态检修 [J]. 大科技: 科技天地, 2011, 000(18): P.147-148

[8] 朱国雷, 王丽娜, 肖刚, 等. 发电设备状态检修在火电厂的探索和应用实践 [J]. 电力系统装备, 2023(3): 109-111.

[9] 许振霄, 赵树良, 翁腾. 浅析火电厂输煤设备运行可靠性提升分析 [J]. 电力设备管理, 2022(6): 97-99.

[10] 陈荣泽, 孙猛. 基于数据融合的燃煤电厂磨煤机状态检修方法及应用 [J]. 模型世界, 2022(34): 16-20.