

浅析电力变电设备状态检修

吉鑫 倪天军 黄威 胡晋鲲
德阳明源电力集团有限公司 四川 德阳 618000

摘要：随着电力系统规模持续扩张与智能化水平不断提升，电力变电设备作为电网运行的核心枢纽，其安全稳定性直接关系到供电可靠性与社会经济效益。本文围绕电力变电设备状态检修展开探讨，分析其多方面优势，包括提高设备可靠性、降低运维成本、延长设备使用寿命及提升电力系统运行效率。阐述了在线监测、带电检测、智能诊断和数据分析等关键技术手段，梳理了从设备状态信息采集、评估、检修决策制定到实施与效果反馈的完整流程。同时，指出当前面临的监测技术不完善、专业人才短缺、设备多样性与复杂性及管理体系不健全等挑战，并提出相应的应对策略，为电力变电设备状态检修的优化与发展提供参考。

关键词：电力；变电；设备；状态；检修

引言：电力系统的稳定运行离不开变电设备的可靠支撑，传统定期检修模式存在资源浪费、检修过度或不足等问题，难以适应现代电力系统的高效运维需求。状态检修作为一种基于设备实际运行状态的检修模式，通过精准把握设备状态，实现按需检修，成为提升电力运维水平的重要方向。立足于电力行业发展实际，深入剖析变电设备状态检修的优势、技术手段、实施流程，结合当前面临的挑战提出应对策略，旨在为推动状态检修模式的有效应用、保障电力系统安全经济运行提供理论与实践借鉴。

1 电力变电设备状态检修的优势

1.1 提高设备可靠性

状态检修通过实时监测变电设备的运行参数（如温度、绝缘强度、机械性能等），能够及时捕捉设备潜在故障信号，避免传统定期检修中“过修”或“欠修”导致的隐患。例如，对变压器油中气体成分的在线监测可提前预警内部绝缘老化，对断路器机械特性的动态跟踪能发现潜在卡涩问题。

作者简介：吉鑫，1986年1月11日出生，男，四川达州人，工程师，本科，主要从事变电工程项目管理、变电站安装及调试技术、二次设备等领域的研究开发。

倪天军，1976年04月02日出生，男，四川资阳人，工程师，本科，主要从事工程施工管理，安全技术管理。

黄威，1984年1月20日出生，男，湖南常德人，工程师，本科，主要从事变电工程项目管理、变电站安装及调试技术、二次设备等领域的研究开发。

胡晋鲲，1989年10月26日出生，男，湖北宜昌人，工程师，本科，主要从事输电线路建设、运维、检修和状态评价等领域的研究开发。

1.2 降低运维成本

传统定期检修模式下，无论设备状态如何均按固定周期开展检修，易造成人力、物力的浪费。状态检修通过按需检修，避免了对健康设备的不必要拆解和维护，减少了检修人员投入与备品备件消耗。同时，提前预警故障可降低突发停机带来的抢修成本及停电损失。例如，对互感器的状态评估可避免盲目停电检修，每年可减少因计划外停电造成的经济损失。

1.3 延长设备使用寿命

过度检修会因频繁拆解、试验等操作加速设备老化，而状态检修基于设备实际状态制定检修计划，减少了不必要的干预。例如，对于绝缘性能良好的电缆，状态检修可避免传统定期耐压试验对绝缘层的损伤；对机械部件的精准润滑，可减少磨损并保持其性能稳定。

1.4 提升电力系统运行效率

状态检修通过实时掌握全网变电设备状态，可实现检修计划与电网负荷调度的协同优化。例如，在用電低谷期安排重要设备检修，避免高峰时段停电影响；通过数据分析预判设备性能变化，提前调整运行方式以平衡负荷。同时，状态检修模式下的信息化管理（如设备状态数据库、检修流程数字化），提升了运维决策效率，使电力系统在动态调整中保持最优运行状态，满足现代社会对电力供应的高效性需求^[1]。

2 电力变电设备状态检修的技术手段

2.1 在线监测技术

在线监测技术通过在变电设备关键部位安装传感器，实现对设备运行状态的实时跟踪。比如在变压器油箱上装设温度传感器，持续监测绕组温度变化；在GIS设备上安装压力传感器，实时记录SF₆气体压力值。这

些传感器将采集到的电流、电压、湿度等数据，通过电缆或无线传输方式发送至监控终端，运维人员可随时查看设备运行参数。当数据超出预设阈值时，系统会自动发出报警信号，提醒工作人员及时排查。这种技术能 24 小时不间断监测设备状态，相比传统定期巡检，更能及时发现设备早期异常，为故障预防争取时间。

2.2 带电检测技术

带电检测技术是在设备正常运行、不停电的情况下开展的检测工作，常用工具包括红外热像仪、超声波检测仪等。用红外热像仪扫描开关柜表面，能通过温度分布图像找出接触不良导致的过热部位；超声波检测仪可捕捉设备内部局部放电产生的高频声波，判断是否存在绝缘缺陷。检测人员携带便携式设备到现场，对断路器、互感器等设备进行针对性检测，将数据记录在专用仪器中，回传至后台分析。这种技术避免了停电检修对电力供应的影响，尤其适合在用电高峰期对重要设备进行检测，既保证了电网稳定运行，又能及时掌握设备状态。

2.3 智能诊断技术

智能诊断技术依托预先构建的故障判断模型，对检测到的设备数据进行分析。模型中存储了大量设备故障案例和对应的特征参数，比如不同类型变压器出现故障时的油中气体成分比例。当新的检测数据输入后，系统会与模型中的数据进行比对，判断设备是否存在故障以及故障类型。工作人员还能根据系统给出的诊断结果，结合设备运行环境等因素，进一步确认故障情况。这种技术减少了对工作人员个人经验的依赖，让故障判断更具客观性，对于复杂设备的故障分析尤其有帮助。

2.4 数据分析技术

数据分析技术对收集到的各类设备数据进行系统处理，包括在线监测的实时数据、带电检测的现场数据以及历史检修记录等。通过整理筛选，去除无效数据后，运用统计方法分析数据之间的关联，比如分析设备运行时间与故障发生率的关系，总结出设备劣化规律。再通过建立数学模型，将多方面数据转化为设备健康状况的量化指标，直观显示设备当前状态和未来变化趋势。工作人员根据这些分析结果，制定更合理的检修计划，比如对健康状况下降较快的设备优先安排检修，提高检修工作的针对性和有效性^[2]。

3 电力变电设备状态检修的实施流程

3.1 设备状态信息采集

设备状态信息采集是状态检修的基础环节，需通过多元方式收集设备全维度运行数据。在线监测系统实时采集变压器、断路器等核心设备的电压、电流、温度等

动态参数，例如每 5 分钟记录一次变压器顶层油温，每小时存储一次 GIS 设备气室压力值。同时，结合定期带电检测获取关键部位状态，如每月用红外热像仪检测开关柜接头温度，每季度用超声波检测仪排查互感器局部放电。此外，还需汇总设备出厂参数、安装记录、历次检修报告等静态数据，以及环境数据（如湿度、粉尘浓度）。采集过程中需确保数据完整性，对异常数据进行二次核验，通过专用数据库实现结构化存储，为后续评估提供全面、准确的原始资料。

3.2 设备状态评估

设备状态评估是对采集的数据进行综合分析，判断设备健康状况的过程。首先对数据进行预处理，剔除干扰数据后，结合设备运行标准和历史数据，分析参数变化趋势，例如对比近 6 个月变压器油中水分含量的增长速率。然后采用多维度评估法，从电气性能（如绝缘电阻）、机械性能（如断路器分闸时间）、理化性能（如绝缘油介损）等方面进行量化打分，形成健康指数。对于复杂设备，组织专业人员结合运行经验进行复核，参考同类设备故障案例，识别潜在隐患。

3.3 检修决策制定

检修决策制定需基于设备状态评估结果，结合电网运行需求综合确定。对于评估为“严重”状态的设备，立即制定紧急检修方案，优先安排停电窗口；“异常”状态设备则制定计划性检修计划，明确检修项目和时间节点。决策过程中需平衡检修成本与风险，例如对老旧变压器评估后，若局部修复成本过高，可纳入设备更换计划。同时，协调调度部门制定检修期间的电网负荷调整方案，避免影响供电可靠性。

3.4 检修实施与效果反馈

检修实施需严格按照既定方案执行，提前做好安全隔离措施，如设置安全围栏、悬挂警示牌，对带电区域进行绝缘遮蔽。检修过程中详细记录操作步骤和关键数据，例如更换断路器弹簧后，需测试分合闸速度并与标准值比对。检修完成后，通过带电检测和在线监测验证效果，如检测接头温度是否恢复正常，观察 3 天内设备参数是否稳定。同时，收集检修过程中的问题与经验，更新设备状态数据库，分析检修前后的状态变化，评估检修效果^[3]。

4 电力变电设备状态检修面临的挑战与应对策略

4.1 面临的挑战

4.1.1 监测技术不完善

现有监测技术在精度和适应性上存在局限，部分关键参数（如变压器内部绝缘老化程度）难以直接监测，

需依赖间接数据推断,易产生误差。户外设备监测受环境干扰大,高温、潮湿天气会导致传感器数据漂移,雨雪天气甚至影响信号传输稳定性。此外,不同厂家的监测设备接口不统一,数据格式差异大,难以实现跨系统数据融合,导致部分设备状态信息碎片化,无法形成完整的监测链条。

4.1.2 专业人才短缺

状态检修需同时掌握电力设备原理、监测技术和数据分析能力的复合型人才,目前这类人才缺口较大。基层运维人员多擅长传统检修技能,对在线监测系统的数据分析、故障预判能力不足,难以从复杂数据中识别潜在隐患。高校相关专业培养侧重理论,与现场实际需求衔接不够,新入职人员需长期培训才能独立开展工作,导致人才供给速度跟不上行业发展节奏。

4.1.3 设备多样性与复杂性

变电站设备型号繁多,既有运行数十年的老旧设备,也有智能化新设备,不同年代、不同厂家的设备结构原理、故障模式差异显著,增加了状态评估难度。随着电网升级,设备集成度不断提高,如智能变电站的一体化监控系统,涉及多专业技术融合,其内部故障关联因素复杂,单一监测数据难以准确判断问题根源,给状态检修带来极大挑战。

4.1.4 管理体系不健全

状态检修缺乏统一的标准规范,各地区、各单位的实施流程和评估指标差异较大,导致检修质量参差不齐。部分单位仍沿用传统管理模式,未建立与状态检修匹配的绩效考核机制,难以调动人员积极性。此外,设备状态数据的共享机制不完善,检修、调度、运维等部门之间信息传递不畅,影响决策效率,也不利于形成全生命周期的设备管理闭环。

4.2 应对策略

4.2.1 加强监测技术研发

加大对高精度传感器的研发投入,提升设备参数监测的直接性与准确性,例如开发可直接监测变压器绝缘老化程度的内置传感器。针对复杂环境干扰问题,研发抗高温、抗潮湿的自适应监测设备,优化信号传输算法以减少雨雪等天气的影响。推动监测设备接口标准化建设,统一数据格式,开发跨系统数据融合平台,实现不同厂家、不同类型监测设备的数据互通,形成完整的设备状态监测链条,提升监测数据的系统性和可用性。

4.2.2 开展专业培训

构建多层次培训体系,针对基层运维人员,开展在线监测系统操作、数据分析解读等实操培训,结合实际

案例讲解故障预判方法。与高校合作调整相关专业课程设置,增加状态检修实践教学内容,建立校企联合实训基地,提升毕业生的岗位适配能力。定期组织行业技能竞赛和经验交流会,促进技术人员之间的知识共享,培养既懂电力设备原理又掌握监测分析技术的复合型人才,缓解专业人才短缺问题。

4.2.3 建立设备全生命周期管理体系

梳理不同型号、不同年代设备的技术参数和故障特征,建立分类设备数据库,为状态评估提供针对性依据。对设备从出厂、安装、运行到退役的全流程进行信息记录,包括历次检修数据、故障处理情况等,形成完整的设备档案。结合设备运行环境和使用年限,制定差异化的状态监测和检修策略,例如针对老旧设备增加监测频次,对智能新设备优化数据采集维度,实现对设备全生命周期的精细化管理。

4.2.4 健全管理体系

制定统一的状态检修标准规范,明确各环节的操作流程和评估指标,确保不同地区、单位的检修工作质量一致。建立与状态检修相匹配的绩效考核机制,将设备状态评估准确性、检修效果等纳入考核范围,调动工作人员的积极性。搭建跨部门信息共享平台,实现检修、调度、运维等部门的实时信息传递,打通设备状态数据流转渠道,形成“数据共享—协同决策—高效执行”的管理闭环,提升状态检修的决策效率和管理水平^[4]。

结束语

综上所述,电力变电设备状态检修是保障电力系统稳定高效运行的关键举措,其凭借提升设备可靠性、降低运维成本等显著优势,成为电力行业发展的必然趋势。尽管在实践中面临监测技术、人才、设备管理及体系建设等方面的挑战,但通过加强技术研发、开展专业培训、建立全生命周期管理体系和健全管理机制等策略,可逐步克服难题。

参考文献

- [1]刘振华,张岗,成志.探究电力变电设备状态检修技术和管理措施[J].通信电源技术,2015(4):219-220+231.
- [2]吴晓晖,甘德刚,王红梅,等.四川省电力公司输变电设备状态检修体系建设与应用[J].四川电力技术,2012(5):64-67.
- [3]达瓦次仁.电力系统变电一次设备状态检修方式分析[J].中国高新技术企业,2017(8):186-187.
- [4]肖艳炜,赵玉成.电力系统变电一次设备状态检修策略研究[J].电子世界,2017(3):192+194.