

# 新能源变电站设备状态监测与全生命周期管理研究

严德清

白银景泰发展新能源有限公司 甘肃 白银 730400

**摘要:**在“双碳”目标推动下,新能源变电站作为新型电力系统核心枢纽,受风光资源波动影响,设备运行工况复杂,传统监测与管理模式已难以适配需求。本文结合新能源变电站设备运行特征,分析传统与新型状态监测技术的优劣,构建覆盖规划设计至退役处置的全生命周期管理体系,结合案例验证其可行性,提出技术、管理、政策层面优化建议,为提升设备运行安全性、经济性与环保性提供支撑,助力新能源电力系统高质量发展。

**关键词:**新能源变电站;设备状态监测;全生命周期管理

引言:当前我国新能源装机容量持续攀升,风光等新能源逐步向主力电源发展,新能源变电站承担着电力汇集与传输的关键任务。但新能源发电的随机性、波动性,加之户外复杂运行环境,导致设备故障风险增加,传统定期巡检与孤立管理模式存在诸多局限。基于此,开展设备状态监测与全生命周期管理研究,破解监测精度不足、管理衔接不畅等难题,对保障电网安全稳定运行、推动能源绿色转型具有重要现实意义。

## 1 新能源变电站设备状态监测技术基础

### 1.1 新能源变电站核心设备及运行特征

(1) 核心设备分类:新能源变电站核心设备主要包括变压器、断路器、互感器等。变压器作为“能源心脏”,承担着电能转换与传输的核心任务,直接决定变电站供电稳定性;断路器负责电路的接通与断开,保障设备故障时快速隔离故障点;互感器用于监测电路电压、电流参数,为运维决策提供数据支撑,其中变压器的稳定运行是整个新能源场站正常供电的关键。(2) 运行特征分析:新能源场站受风光资源波动影响,负载变化剧烈,设备长期处于变负荷运行状态;且多数新能源变电站位于户外,面临温湿度变化、风沙、雨雪等复杂环境,对设备抗干扰、耐候性要求更高,结合当前推行的黑灯场站建设,对设备状态监测的实时性、精准性提出特殊需求,需通过智能巡检、视频监控等手段及时捕捉负荷波动下的设备异常。

### 1.2 传统设备状态监测技术及局限性

(1) 传统监测技术:常用方式包括定期巡检和离线试验。定期巡检通过人工现场检查设备外观、参数,适用于简单故障排查;离线试验需停止设备运行,对设备性能进行专项检测,多用于设备大修后的性能验证。(2) 局限性分析:传统监测方式难以实时捕捉设备潜伏性故障,易出现故障漏判、误判;人工巡检和离线试验运维效率低,且需投入大量人力物力,监测成本较高,无法适配

新能源变电站负载波动大、需实时监测的运行特性,更难以满足黑灯场站、集控运行的智能化运维需求。

### 1.3 新型设备状态监测技术及应用

(1) 在线监测技术:核心包括局部放电监测、声纹振动监测等,结合黑灯场站建设需求,同步配套巡检机器人、视频监控设备,局部放电监测通过捕捉设备内部放电信号,判断绝缘缺陷;声纹振动监测识别设备运行异响,排查机械故障;油中溶解气体监测、光纤测温则分别针对变压器油质和设备温度,实现全方位在线监测。(2) 智能监测技术:融合物联网感知、边缘计算、AI故障诊断技术,联动集控中心实现远程管控,物联网实现多设备数据实时采集,边缘计算完成数据本地快速处理,AI技术通过数据分析实现故障精准识别,大幅提升监测精度与实时性,支撑黑灯场站无人值守模式<sup>[1]</sup>。

### 1.4 监测数据处理与质量控制

(1) 多源异构数据融合方法:采用数据标准化、融合算法,整合不同监测技术及巡检机器人、视频监控产生的格式各异、精度不同的数据,消除数据差异,实现多维度数据协同分析,为故障诊断提供全面数据支撑,同步上传集控中心实现数据共享。(2) 数据质量控制:运用滤波、聚类等技术,剔除环境干扰、设备误差产生的无效信号,过滤异常数据,确保监测数据的真实性与可靠性,为设备状态评估、集控远程决策及黑灯场站智能运维提供准确依据。

## 2 新能源变电站设备全生命周期管理体系构建

### 2.1 全生命周期管理核心内涵与框架

(1) 核心内涵:新能源变电站设备全生命周期管理是一种覆盖设备规划设计、建设施工、运行维护、退役处置全阶段的闭环管理理念,打破传统各阶段孤立管理的壁垒,结合黑灯场站、集控运行需求,以设备安全稳定运行为核心目标,兼顾经济性、环保性与智能化,实现

设备从“诞生”到“退役”的全流程可控、可追溯、可优化,最大化提升设备利用率、降低全生命周期成本,适配新能源变电站负载波动大、设备运维要求高的特点。(2)总体框架:明确全生命周期各阶段的管理目标、核心任务与相互衔接关系,构建“数据+规则+智能”的一体化管理模式,联动集控中心实现远程统筹管控。其中,数据是基础,整合各阶段监测数据、运维数据、档案数据及巡检机器人、视频监控数据,形成全生命周期数据链;规则是支撑,制定各阶段管理标准、操作规范与考核要求,规范管理流程;智能是核心,依托数字化、智能化技术,支撑黑灯场站无人值守,实现管理决策的精准化、自动化,确保各阶段无缝衔接、协同推进<sup>[2]</sup>。

### 2.2 各阶段全生命周期管理实施要点

(1) 规划设计阶段:紧密结合新能源接入规模、负荷特性及未来发展需求,兼顾黑灯场站、集控运行规划,开展设备选型与布局优化,优先选用抗干扰、耐候性强、智能化程度高的设备,适配户外复杂环境与负载波动特点;同时融入数字化监测理念,提前规划监测点位、巡检机器人路径、视频监控覆盖范围,预留数据接口,为后续运行维护阶段的状态监测、智能运维及集控远程管控奠定基础。(2) 建设施工阶段:以设备安装质量管控为核心,严格执行施工规范与质量标准,加强设备安装过程中的巡检与验收,重点把控变压器、断路器等核心设备的安装精度,同步完成巡检机器人、视频监控设备及集控对接设备的安装调试;同步推进设备数字化建档,录入管理平台并对接集控中心,实现“建转运”数据贯通。(3) 运行维护阶段:以设备状态监测数据为核心,依托黑灯场站巡检机器人、视频监控等设备,摒弃传统定期检修模式,实施预测性维护,通过分析监测数据捕捉设备运行异常,集控中心可远程监控、远程调度,优化检修计划,减少人工干预,降低运维人力成本与时间成本,保障设备长期稳定运行<sup>[3]</sup>。(4) 退役处置阶段:坚持绿色环保理念,开展设备绿色评估,对退役设备的性能、损耗、环保风险进行全面检测,分类推进设备回收利用与无害化处置;相关数据同步上传集控中心存档,实现全流程追溯,契合新能源产业绿色发展的核心要求。

### 2.3 全生命周期管理关键支撑技术

(1) 数字孪生技术:构建设备虚拟映射模型,将设备物理实体的参数、运行状态、环境条件等信息实时映射到虚拟模型中,实现设备全生命周期的精准管控与虚实交互。通过虚拟模型可模拟设备运行场景、预判故障发展趋势、优化运维方案,无需停止设备运行即可开展模拟试验,降低运维风险与成本,提升管理的精准度与

效率<sup>[4]</sup>。(2) 数据管理技术:依托PMS3.0等专业管理平台,构建全生命周期数据底座,整合规划设计、建设施工、运行维护、退役处置各阶段的多源异构数据,实现数据标准化、规范化管理;通过数据底座可实现数据一键调阅、全程追溯,为管理决策、故障诊断、检修优化提供全面、准确的数据支撑,打破数据孤岛,提升管理的协同性与智能化水平。

### 2.4 管理体系评价指标体系构建

(1) 评价指标选取:结合新能源变电站设备全生命周期管理特点及黑灯场站、集控运行需求,从安全性、经济性、效率性、环保性四个核心维度科学选取评价指标,全面覆盖设备规划设计、建设施工、运行维护、退役处置全阶段管理效果。安全性指标作为核心基础,包括设备故障发生率、事故处置及时率、核心设备无故障运行时长等,重点保障设备稳定运行及集控远程管控的可靠性;经济性指标涵盖全生命周期成本、设备利用率、运维成本节约率等,直观体现管理模式的经济效益;效率性指标包含运维效率、数据处理速度、集控调度响应时效等,反映智能化管理的高效性;环保性指标涉及退役设备回收利用率、污染物排放量、绿色处置达标率等,契合新能源产业绿色发展理念。(2) 评价方法确定:采用层次分析法等科学评价方法,结合新能源变电站设备管理实际及黑灯场站运维需求,构建科学合理的评价模型。通过层次分析法将复杂的评价问题分解为目标层、准则层、指标层三个层次,明确各维度及具体指标的权重分配,结合定量监测数据与定性分析结果,对全生命周期管理体系的运行效果进行全面、客观的综合评估,为管理体系的优化完善提供科学依据,推动设备管理向智能化、精细化方向持续提升。

## 3 案例分析与优化建议

### 3.1 案例选取与概况

(1) 案例选取:选取某大型风光互补新能源变电站作为研究对象,该变电站位于户外复杂环境,接入风电、光伏装机总容量120MW,核心设备配置包括2台主变压器、8台断路器、16台互感器及配套监测设备,同步部署巡检机器人、视频监测系统,接入集控中心推行黑灯场站试点运行,适合作为案例开展研究。(2) 案例概况:该变电站主要接入风电、光伏两种新能源类型,负载波动幅度较大,核心设备长期处于变负荷运行状态。目前核心设备运行基本稳定,但存在部分监测点位不足、巡检机器人路径优化不够、集控数据共享不顺畅等问题;现有管理模式仍有传统运维痕迹,黑灯场站智能化水平偏低,各阶段管理衔接不够顺畅,难以实现设备全生命周期的精

准管控。

### 3.2 案例中设备状态监测系统应用分析

(1) 监测系统部署：该变电站部署了局部放电监测、声纹振动监测等核心在线监测技术，配套4台巡检机器人、12路高清视频监控设备，实现升压站各设备智能巡检全覆盖，局部放电监测设备安装于关键设备本体，巡检机器人按预设路径开展自主巡检，视频监控实现24小时实时监控，整体数据采集覆盖率达85%，数据同步传输至集控中心，传输延迟控制在5秒内<sup>[5]</sup>。(2) 监测效果验证：通过对监测系统运行数据的分析，结合巡检机器人、视频监控反馈信息，该系统成功预警3次主变压器局部放电异常、2次断路器机械振动异常，集控中心及时远程调度，现场人员快速处置，故障预警准确率达90%以上，充分验证了新型监测技术及黑灯场站配置的可行性与实用性。

### 3.3 案例全生命周期管理实施效果评估

(1) 基于前文构建的评价指标体系，从安全性、经济性、效率性、环保性及黑灯场站、集控适配性维度进行量化评估。结果显示，设备故障发生率较之前下降35%，事故处置及时率达95%；全生命周期成本降低20%，设备利用率提升15%；运维效率提升40%，集控调度响应速度加快；退役设备回收利用率达60%，整体管理效果达到预期，但黑灯场站智能化运维、集控数据协同仍有优化空间。(2) 结合评估结果，分析得出管理过程中存在的不足：一是黑灯场站相关技术应用不够深入，巡检机器人路径优化不足、视频监控AI识别能力有限；二是集控数据共享不充分，各阶段数据衔接不畅；三是退役处置阶段的绿色管理力度不足，明确以上三点为后续优化方向。

### 3.4 新能源变电站设备管理优化建议

(1) 技术层面：全面推广数字孪生、AI故障诊断等先进技术，优化黑灯场站配置，调整巡检机器人路径，提升视频监控AI识别精度，构建设备虚拟映射模型；完善监测

系统布局，实现监测全覆盖；优化数据融合技术，确保黑灯场站与集控中心数据传输稳定，提升智能化水平。(2) 管理层面：健全设备全生命周期管理流程，明确各阶段管理责任与衔接标准；依托PMS3.0平台完善数据底座，强化集控中心数据统筹能力，实现黑灯场站监测数据与各阶段数据协同共享；全面推行预测性维护，依托黑灯场站无人值守模式，减少人工干预。(3) 政策与标准层面：建议行业主管部门完善新能源变电站设备管理及黑灯场站、集控运行相关行业标准；加强政策支持，鼓励企业加大先进技术研发与应用投入，推动黑灯场站、智能监测等技术的规范化、规模化应用。

### 结束语

本文围绕新能源变电站设备状态监测与全生命周期管理展开系统研究，明确了新型监测技术的应用价值，构建了科学完善的管理体系并通过案例验证其有效性。研究虽解决了当前管理中的核心难题，但在数字孪生技术深度应用、多源数据协同优化等方面仍有提升空间。未来可进一步深化智能技术融合，完善行业标准，推动管理模式迭代升级，为新型电力系统建设提供更有力的技术与管理支撑。

### 参考文献

- [1]刘建军.基于状态监测的电力设备全寿命管理研究[J].电力系统保护与控制,2021,49(18):132-137.
- [2]赵峰,王忠民.变电站设备智能运维与全生命周期管理技术探讨[J].中国电力,2022,55(4):89-95.
- [3]朱旻哲.基于云计算的电力大数据变电站设备状态检修方法[J].电气技术与经济,2025,21(1):305-307.
- [4]唐民.变电站多功能带电智能检修平台设计与研究[J].电力设备管理,2024,8(23):165-167.
- [5]张继敏.变电站设备状态检修方法研究[J].办公自动化,2024,29(21):88-90.