

新能源发电企业全生命周期技术监督优化研究

卢必娟

广州发展新能源集团股份有限公司, 广东 广州 510623

DOI:10.61369/EPTSM.2026040017

摘 要：“双碳”目标驱动下，传统技术监督模式已难以适应风电、光伏设备数量庞大与分布分散的行业特点。以设备全生命周期管理理论为框架，构建覆盖规划设计、建设调试、运行维护与退役评估四个阶段的技术监督优化路径，引入I-V扫描、无人机红外巡检与风机振动监测等技术手段加以验证。实验结果显示，设备隐蔽缺陷识别率显著提升，非计划停运时长明显压缩，数智化平台的集成应用有效推动技术监督从事后响应向主动预控转型。

关 键 词：全生命周期；技术监督；新能源发电；风险预控；数智化平台

Research on Optimization of Technical Supervision throughout the Life Cycle of New Energy Power Generation Enterprises

Lu Bijuan

Guangzhou Development New Energy Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510623

Abstract： Driven by the “dual carbon” goal, traditional technical supervision models can no longer meet the industry’s needs, given the large number and dispersed locations of wind and solar power equipment. Based on the theory of equipment life-cycle management, this paper proposes an optimized technical supervision approach covering four phases: planning and design, construction and commissioning, operation and maintenance, and decommissioning evaluation. Technical methods such as I-V curve analysis, infrared inspections using drones, and wind turbine vibration monitoring are utilized to validate this approach. Experimental results show that the ability to detect hidden defects in equipment has significantly improved, unplanned downtime has been reduced, and the integrated use of digital platforms has effectively transformed technical supervision from a reactive approach to proactive prevention.

Keywords： full life cycle; technical supervision; new energy power generation; risk prevention and control; digital intelligence platform

引言

风电、光伏装机规模的快速扩张以及新能源装机在电网中角色的深刻转变，对技术监督管理提出了更高的要求^[1]。现行新能源发电企业的技术监督体系大多沿用传统火电或水电的框架，在监督标准、覆盖范围与技术手段上与新能源发电行业特点存在明显错位，监督重点不突出、主动预控能力薄弱等问题制约着企业安全运营水平^[2]。将全生命周期管理理论引入新能源发电的技术监督领域，结合数智化技术手段系统构建覆盖设备全周期的新能源技术监督体系，对提升设备可靠性与运营效益具有重要实践价值。

一、新能源发电企业技术监督的体系构成与现存挑战

（一）风电与光伏发电技术监督的专业领域划分

新能源发电企业的技术监督体系在传统火电九大专业框架基础上，结合风电与光伏发电的行业特点加以重构^[3]。风电技术监督涵盖风力机监督、绝缘监督与继电保护及安全自动装置监督、金属监督、电能质量监督、能效监督、化学监督、监控自动化与网络安全监督八大专业领域，其中风力机监督为风电特有专业，重点针对叶片、齿轮箱、主轴、塔筒与变桨偏航系统等风力发电

机组核心机械部件开展状态跟踪与缺陷管控。光伏技术监督则着重于逆变器与汇流设备的绝缘状态、组件效能衰减与支架金属结构完整性及并网电能质量等方面^[4]。风力发电场和光伏发电站这两类电站均高度依赖电力电子设备，如变流器、逆变器的运行状态，直接影响并网性能，构成技术监督的核心对象。

（二）当前技术监督模式的主要瓶颈与成因

当前新能源技术监督模式存在四方面系统性瓶颈：一是监督标准体系不健全，储能电池、光伏组件与风电机组等关键设备的监督依据分散于行标、团标甚至厂家技术文件，标准权威性与统一性不

足，导致设备质量管控缺乏统一基准，关键设备质量参差不齐的问题较为突出^[5]。二是监督范围适配性不足，对配储系统、充电桩等新业务的设备的监督标准和监督方法尚不完善，难以覆盖新能源电站点多面广的实际场景。三是技术手段数智化程度偏低，人工巡检面对数万块光伏组件或数十台风机存在明显覆盖盲区，金属部件内部裂纹、热斑等隐蔽缺陷难以在日常巡检中被发现，易被忽视，存在安全生产盲区^[6]。四是各业务系统数据相互孤立，SCADA、视频监控与 AGC/AVC 等系统缺乏有效联动，监督工作停留于事后统计和分析，风险主动预控能力严重不足。

二、全生命周期管理框架下的技术监督优化路径

（一）规划设计阶段：设备选型与系统设计的前置审查机制

电站（场）的规划设计阶段是电站和设备全生命周期技术监督的源头关口，前置审查机制的建立对后续各阶段设备可靠性具有决定性影响。技术监督介入设备选型环节，重点审查光伏组件功率参数的真实性与衰减曲线合理性、风电机组关键部件的材料等级与疲劳寿命指标、变流器及逆变器的并网性能参数是否符合最新电网接入标准等。系统设计审查聚焦于集电线路截面选取的合理性、汇流箱与逆变器容量匹配关系、储能系统接入方案的安全边界设定。依据《电力技术监督导则》DL/T1051-2019 及相关国家标准、行业标准的要求，建立设备准入技术规范清单，将标准符合性审查前置至采购招标阶段，从源头规避因设备质量缺陷或设计方案不合理引发的设备全生命周期运维隐患，降低后期改造和维护成本。

（二）建设调试阶段：安装质量管控与并网性能验收

建设调试阶段的技术监督重点在于确保设备安装质量与系统并网性能双重达标。安装质量管控方面，针对光伏支架焊接质量、组件串并联接线规范性、MC4连接器压接工艺、电缆头制作工艺、电缆敷设绝缘完好性等实施过程见证与抽检；风电机组安装监督重点覆盖塔筒法兰螺栓力矩、叶片安装角度偏差与机舱吊装对中精度及接地系统连续性。调试阶段依据并网技术规范，对逆变器及变流器的低电压穿越能力、电能质量指标（谐波、功率因数、电压偏差）与继电保护定值及整组传动试验进行系统性验证。储能系统调试重点是核验充放电控制逻辑、保护动作边界值及与主站 AGC/AVC 系统的通信协议一致性等内容，所有调试数据应纳入设备台账基础档案，作为运行阶段状态基准值的参考依据。

（三）运行维护阶段：现代化技术手段的集成应用与状态监测

1. 光伏系统 I-V 扫描与无人机红外巡检的精细化监督

光伏系统的 I-V 扫描技术主要是通过采集光伏组串电流-电压特性曲线，与标准工况理论曲线对比，精准识别组件隐裂、热斑与旁路二极管失效等功率损失成因，监督粒度细化至单块组件层级。定期扫描数据可量化评估灰尘遮挡损失、指导光伏组件清洗计划的制定，并长期追踪组件功率衰减趋势，为寿命评估提供依据。无人机搭载可见光与红外热成像相机，按预规划航线自动执行全站巡检工作，可见光镜头识别光伏组件玻璃破裂、背板烧

蚀等外观缺陷，红外镜头精准定位光伏组件热斑及连接故障，巡检图像经人工智能算法自动分析，缺陷位置标注至具体阵列与组件坐标，生成标准化巡检报告，两项技术的协同应用流程如图 1 所示。

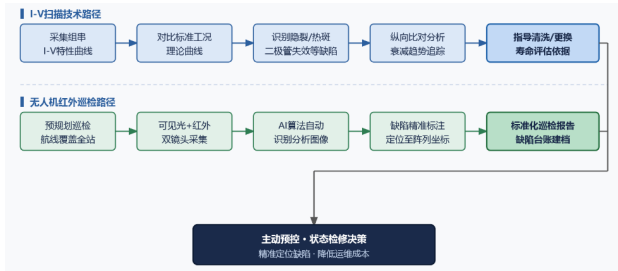


图 1 I-V 扫描技术和无人机红外巡检技术协同应用流程图

2. 风机振动监测与净空监测的预防性管控

风机振动监测系统主要是在轴承座、齿轮箱与主轴等关键部位布置加速度传感器，持续采集振动信号并进行频谱分析，可在轴承点蚀、齿轮磨损与转子不对中等早期缺陷发展为灾难性故障前发出预警，有效预防齿轮箱失效或主轴断裂等重大事故。通过振动趋势数据与历史健康基线的持续比对，为状态检修计划的动态调整提供直接依据，减少非必要停机造成的发电量损失，净空监测系统通过激光测距或毫米波雷达技术，实时监测叶尖与塔筒间的最小间隙，在碰撞风险临近时触发预警。净空数据的长期趋势分析可间接反映塔筒垂直度偏差与基础沉降及叶片形变等结构性问题，将安全距离要求转化为可量化、可追溯的连续监督指标。

3. 电缆故障快速定位技术的效能提升

新能源电站集电线路距离长、延伸范围广，部分大型光伏电站和风力发电场内电缆总长度可达几十公里甚至数百公里，传统的电缆故障查找主要依赖人工沿线排查，耗时可能长达数天，严重影响电站的发电量和恢复效率。电缆故障快速定位技术综合应用时域反射法与行波测距法及阻抗法，可将故障点定位精度控制在数米范围内，故障排查时间从数天压缩至数小时，显著缩短非计划停运时长。针对接地、短路与断线等不同故障类型，采用差异化的测试方法与参数配置，提升复杂地形与长距离电缆场景下的定位准确率。定期开展电缆绝缘状态检测，结合历史故障数据建立集电线路健康档案，对绝缘劣化趋势进行预判，实现由故障后抢修向故障前预控的监督模式转变，直接减少因线路故障引发的电量损失。

（四）退役评估阶段：设备寿命诊断与资产全周期管理

退役评估阶段的技术监督核心在于科学判定设备剩余寿命，避免过早退役造成资产浪费或超龄运行引发安全风险，光伏电站的光伏组件寿命诊断依托长期 I-V 扫描数据，结合外观检查与电致发光（EL）检测及功率衰减曲线，综合评估组件继续服役的经济性与安全性边界。风力发电场的风电机组退役评估重点针对塔筒焊缝疲劳损伤与主轴及轮毂金属疲劳状态、叶片结构完整性开展无损检测，结合累计等效载荷数据评估关键部件的剩余疲劳寿命。变压器、电缆等电气设备的退役决策依据绝缘老化程度与油色谱分析结果，以及历次预防性试验的数据变化趋势综合

判定，退役评估结论直接反馈至资产管理系统，指导备品备件储备策略与技改投资计划，实现设备全生命周期资产价值的最优化管理。

三、数智化平台驱动的闭环监督体系构建与实验验证

（一）技术监督数智化平台的总体架构与功能模块设计

技术监督数智化平台以工业互联网为基础，综合运用边缘计算、大数据分析、人工智能与云计算技术，构建“感知层—传输层—平台层—应用层”四层架构。感知层汇聚 SCADA、振动监测、净空监测、I-V 扫描、无人机巡检与电缆检测等多源异构数据，打通各业务系统数据孤岛；传输层依托工业以太网与 4G/5G 通信网络，保障海量实时数据的可靠传输；平台层构建设备数字档案库与健康状态模型，支撑全生命周期数据的存储、清洗与关联分析；应用层部署设备台账管理、智能告警、故障预测、状态检修决策与绩效分析等功能模块。平台通过对多维监测数据的深度融合分析，将原本分散独立的监督手段整合为统一的闭环管控体系，实现技术监督从人工驱动向数据驱动的根本转变，为全生命周期精准管理奠定平台基础。

（二）多场景实验验证：缺陷识别率与非计划停运改善效果

为验证数智化平台与现代化技术手段协同应用的实际效果，我司选取了典型光伏电站与风电场作为实验对象，分别模拟传统监督模式与优化后监督体系的运行场景，对关键监督指标进行系统性对比采集。在龙川龙母光伏电站部署 I-V 扫描与无人机红外巡检系统，针对组件隐裂、热斑与接线虚接等典型缺陷类型统计识别率变化；在应城东岗风电场接入振动监测与净空监测系统，记录早期缺陷预警响应时效及非计划停运事件频次。两类场景的实验数据均经平台大数据模块统一清洗与处理，以缺陷识别率、平均故障响应时间与非计划停运时长及发电量损失率为核心评价指标，量化评估优化体系的实施效果，实验周期覆盖完整运行年度以确保数据代表性。

表1 优化前后技术监督关键指标对比

评价指标	传统监督模式	优化后监督体系	提升幅度
组件缺陷识别率	62%	91%	+29%
早期缺陷预警响应时间	72 h	8 h	缩短 89%
年非计划停运时长（h/台）	186 h	54 h	缩短 71%
发电量损失率	4.8%	1.3%	降低 3.5%
电缆故障定位耗时	48 h	4 h	缩短 92%
人工巡检覆盖率	73%	98%	+25%

优化后监督体系在缺陷识别、故障响应与停运管控等核心指标上均取得显著改善。组件缺陷识别率由 62% 提升至 91%，源于 I-V 扫描与无人机红外巡检将监督粒度细化至单体设备层级；早期缺陷预警响应时间压缩 89%，得益于振动监测数据与平台智能告警模块的实时联动；年非计划停运时长缩短 71%，印证了预测性维护策略对计划外停机的有效抑制。从推广适用性角度评价，数智化平台架构具备良好的横向扩展能力，可按电站类型、规模与地理分布灵活配置接入方案，适用于集中式与分布式新能源电站场景，现代化监测技术与平台的模块化集成设计，支持企业根据自身监督体系建设阶段分步实施，降低整体部署门槛，具备在新能源行业范围内推广应用的现实基础。

四、结语

新能源发电企业技术监督工作全生命周期视角的引入，从根本上改变了新能源发电企业技术监督碎片化、被动化的管理局面。将监督工作贯穿到设备的规划设计、建设调试、运行维护到退役评估的全生命周期中，各阶段数据相互支撑、动态反馈，形成持续迭代的闭环管控机制。随着人工智能与边缘计算技术与技术监督体系的深度融合，缺陷识别的预测精度与故障响应效率将进一步增强，设备全生命周期的数字档案将成为资产决策与状态检修的核心依据，推动新能源发电企业在降本增效与安全管理两个维度上实现协同跃升。

参考文献

[1] 李晶. 新能源发电项目全生命周期档案管理的数字化转型路径研究 [J]. 办公室业务, 2025, (20): 94-96.
[2] 党相琪. 新能源发电项目全生命周期成本管理优化路径研究 [J]. 商讯, 2025, (18): 126-128.
[3] 李学刚, 靳晓勇. 新质生产力在新能源发电企业安全生产监管中的应用 [J]. 电力安全技术, 2025, 27(01): 9-13.
[4] 马瑞东, 翟丽莉, 叶智. 新型电力系统背景下新能源发电企业技术监督管理体系创新 [J]. 电器工业, 2024, (11): 79-83.
[5] 纪方旭, 何尧玺, 李雪松, 等. 基于全生命周期的新能源数字化系统及功能应用规划研究 [J]. 长江技术经济, 2024, 8(02): 82-86+96.
[6] 宋静怡, 林朋飞, 张珍珍, 等. 新能源发电全生命周期评价及环境协同发展——以甘肃省新能源发电为例 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(03): 170-175.