

大数据分析在光伏电站运维中的应用与效果评估

杨朋朋

甘肃绿电电力运营有限公司 甘肃 兰州 730000

摘要：随着光伏产业规模化发展，传统运维模式面临效率与精准性的双重挑战。大数据分析通过深度挖掘电站运行数据，为运维管理提供了全新解决方案。本文系统阐述大数据分析在设备状态监测、发电效率优化、故障诊断及资产寿命管理等核心场景的应用路径，并从设备运行、发电效益、运维管理及资产价值四个维度构建效果评估体系。通过整合技术应用与效果评估，可为光伏电站运维的智能化转型提供实践参考。

关键词：大数据分析；光伏电站运维；应用场景；效果评估；优化方向

引言：光伏发电规模化发展对电站运维的精细化管理提出了更高要求。传统依赖人工经验的运维模式在应对设备故障预警、发电效率优化等复杂场景时日益显得力不从心。在此背景下，大数据技术凭借其强大的海量数据处理与智能分析能力，为构建精准高效的运维体系提供了新的技术路径。通过系统分析大数据技术在关键运维场景中的应用模式，并建立多维效果评估框架，有助于推进光伏电站智能化运维的实践进程，为行业转型升级提供重要支撑。

1 大数据分析在光伏电站运维中的核心应用场景

1.1 设备状态监测与预警

多维度数据采集与整合需覆盖设备运行与环境数据。收集光伏组件、逆变器、汇流箱的运行参数，包括组件工作电压、输出电流、表面温度，逆变器转换效率、输出功率、故障代码，汇流箱电流分配情况，确保采集实时全面，尤其关注组件在高温强光下的参数稳定性。整合光照强度、风速、环境温度、降水量等环境数据与设备参数，打破数据孤岛，建立设备全生命周期运行数据库，存储设备从投运到退役的运行数据，为运维人员判断设备状态提供精准历史依据^[1]。状态评估与异常预警依托数据分析实现。通过数据分析识别组件参数波动、逆变器性能衰减等异常特征，构建设备健康状态评估模型，划分健康、亚健康、预警、故障等级。针对组件热斑、逆变器电路故障等潜在风险提前预警，推送信息至运维人员手机或终端，提醒他们及时到现场排查处理，避免故障扩大影响电站发电。

1.2 发电效率优化

发电影响因素分析需挖掘各类因素作用规律。分析光照强度变化对组件发电量的实时影响，研究环境温度升高对组件效率的抑制程度，统计树木、建筑物遮挡形成的阴影导致的局部发电损失，明确不同环境因素的

影响权重；同时追踪设备长期运行中的性能衰减趋势，评估运维人员操作是否规范对发电效率的间接影响，精准识别影响效率的关键瓶颈。运维策略优化基于数据分析制定。根据区域灰尘堆积速度、季节光照角度变化，确定组件清洁与角度调整的最优周期；优化逆变器工作阈值与调频调压参数，提升转换效率；结合光照预测数据，在光照优越时段安排人员巡检保障设备稳定，光照较弱时集中力量检修，让运维资源发挥最大效用。

1.3 故障诊断与运维调度

故障精准定位借助数据关联分析。对比故障设备与周边正常设备的参数差异，结合电站设备拓扑关系锁定故障位置与类型，构建故障诊断模型，区分设备自身老化故障与暴雨、沙尘等外部环境导致的故障，大幅缩短运维人员识别与定位故障的时间，为后续维修方案制定提供精准方向。运维资源调度结合多因素优化。根据故障对发电的影响程度划分紧急等级，结合电站区域分布规划运维人员与维修设备的最短调度路径，优先调配距离近、技能匹配的人员；通过历史数据预测故障高发时段与区域，提前在这些区域储备常用工具与备件；自动化分配运维任务，实时跟踪进度，确保运维工作有序推进，减少电站因故障停机的时间。

1.4 资产寿命管理

设备衰减趋势分析基于长期数据。拟合光伏组件、逆变器的性能衰减曲线，对比设备投运初期、中期、后期的输出功率、转换效率，识别衰减速度异常的设备，分析高温暴晒、频繁故障冲击等加速衰减的原因，精准预测设备剩余使用寿命，为运维团队制定资产计划提供数据支撑。资产维护与更新规划依托数据支撑。根据设备寿命预测与衰减加速原因制定预防性维护计划，分析设备继续使用的维护成本与更新后的发电收益，确定最优更新时机；结合设备实际寿命、性能衰减情况与市场

价值波动，动态更新资产价值数据，帮助管理人员优化资产配置，优先保留高效设备、替换低效设备，确保电站资产始终保持高效利用状态。

2 大数据分析在光伏电站运维中的效果评估方向

2.1 设备运行效果评估

设备运行效果评估需聚焦故障率与稳定性两大核心指标。以某150MW光伏电站（2022年应用大数据运维）为例，该电站关键运行指标优化效果显著，具体数据如表1所示。在故障率评估方面，需对比大数据应用前后的变化，组件故障率从3.5%降至1.2%，逆变器故障率从

2.8%降至0.8%，故障次数大幅减少；同时故障预警准确率从68%提升至96%，提前预警时长从1-2小时延长至4-6小时，能精准判断预警机制的有效性与及时性，为后续预警模型优化提供依据^[2]。在稳定性评估方面，可从参数波动与连续运行时间入手：组件电压波动幅度从±8%缩小至±3%，逆变器连续无故障运行时间从60天延长至180天，参数波动越小、连续运行时长越长，说明设备运行越稳定可靠；结合这些变化，电站因故障停机的发电损失也随之减少，进一步体现大数据对设备运行的优化价值。

表1

评估指标	应用前（2021年）	应用后（2023年）	变化幅度
组件故障率	3.5%	1.2%	下降65.7%
逆变器故障率	2.8%	0.8%	下降71.4%
故障预警准确率	68%	96%	提升41.2%
提前预警时长	1-2小时	4-6小时	延长200%
组件电压波动幅度	±8%	±3%	缩小62.5%
逆变器连续无故障运行时间	60天	180天	延长200%

2.2 发电效益效果评估

发电效益效果评估需围绕发电量提升与成本控制展开。发电量提升指标评估需关注应用大数据后年发电量、年利用小时数的变化，对比相同光照条件下的发电量差异，计算年利用小时数的增加幅度，反映大数据对发电潜力挖掘的作用。同时分析发电效率（PR值）的改善幅度，PR值直接体现电站实际发电能力与理论发电能力的比值，PR值提升说明电站发电效率优化，资源利用更充分。发电成本控制指标评估需测算运维成本与经济效益变化。计算单位发电量运维成本的降低幅度，统计应用大数据后每千瓦时发电量所需的运维费用，对比之前的成本数据，成本降低则表明运维资源利用效率提升。评估因效率提升带来的经济效益增长，根据发电量增加幅度与电价标准，估算额外产生的经济收益，同时考虑成本降低因素，综合衡量大数据应用对发电效益的提升价值。

2.3 运维管理效果评估

运维管理效果评估需从效率与资源利用率两方面衡量。运维效率指标评估需对比故障响应时间、故障修复时间的缩短情况，统计从发现故障到运维人员出发的响应时长，以及从开始维修到设备恢复正常的修复时长，时长缩短则说明运维反应速度与处理能力提升。同时评估运维人员人均负责电站容量的提升幅度，在人员数量基本不变的情况下，人均负责容量增加意味着运维人员工作效率提高，降低人力成本投入。运维资源利用

率指标评估需关注资源使用与任务完成情况。分析运维车辆、工具等资源的使用效率变化，统计车辆出行里程中有效运维里程的占比，工具使用频次与闲置时间的变化，使用效率提升则表明资源配置更合理。评估运维任务完成率与重复运维率的优化情况，统计计划内运维任务的实际完成比例，以及同一问题重复运维的次数变化，完成率提高、重复率降低则说明运维管理流程更高效，减少资源浪费。

2.4 资产价值效果评估

资产价值效果评估需聚焦寿命延长与保值增值。资产寿命延长指标评估需关注设备寿命偏差与维护效果，评估设备实际使用寿命与预期寿命的偏差改善，对比应用大数据前后设备实际退役时间与设计寿命的差距，差距缩小则表明资产寿命管理更精准。分析因精准维护带来的资产寿命延长效果，统计经大数据指导开展预防性维护的设备，其实际寿命较未采用该模式的设备延长情况，寿命延长则提升资产整体使用价值。资产保值增值指标评估需衡量资产价值保障与回报率变化。评估设备性能衰减减缓对资产价值的保障作用，对比应用大数据前后设备性能衰减速度，衰减减缓则说明设备保持良好工作状态的时间更长，资产贬值速度降低，保障资产现有价值。分析基于数据的资产规划对资产回报率的提升，根据设备更新换代的最优时机选择、资产配置优化方案，测算资产投资回报率的增长幅度，回报率提升则表明资产运营更具效益，实现资产保值增值目标。

3 大数据分析在光伏电站运维中的优化方向

3.1 数据质量与整合优化

数据质量与整合优化需从采集精度与跨系统融合推进。提升数据采集精度要优化传感器布局与采集频率,根据光伏组件、逆变器的分布与运行特性调整传感器位置,覆盖关键监测点,结合设备规律设定频率,减少采集偏差。建立数据清洗机制,通过算法识别过滤异常值、缺失值,确保分析数据真实可靠,为后续工作打基础^[3]。跨系统数据融合需打破壁垒,实现运维数据与发电数据、财务数据的跨平台整合,将设备运行、故障维修数据,与发电量、效率数据,及运维成本、资产折旧数据归集到统一平台,形成完整链条。推动不同电站数据标准化与共享,制定统一格式与分类标准,消除数据差异障碍,让数据高效流通,支持集团化运维分析。

3.2 分析模型与算法优化

分析模型与算法优化需聚焦精准度提升与实时能力强化。模型精准度提升要引入先进算法并适配地域特性,将机器学习、深度学习融入故障诊断、寿命预测模型,通过大量历史数据训练,提升对设备故障、寿命衰减的判断准确性。结合光伏电站地域特性调整参数,针对不同地区光照、温度、气候优化适配性,避免地域差异导致偏差。实时分析能力强化需优化架构,采用分布式计算技术提升实时处理速度,确保设备运行与环境数据采集后快速处理,及时生成结果。实现海量数据快速计算与反馈,通过算力调配与算法优化缩短计算周期,让结果及时传递给运维人员,支撑实时决策。

3.3 应用场景拓展优化

应用场景拓展优化需推动多场景融合与智能化升级。多场景融合要探索大数据与其他系统的协同潜力,将其与储能系统、微电网运维结合,通过分析优化储能充放电策略、微电网调度方案,提升整体效率。结合碳减排目标,拓展碳足迹追踪与减排评估场景,用数据记

录电站能源消耗、碳排放,测算减排量并评估效果,助力低碳运营。智能化升级需推动运维模式迭代,从“数据驱动运维”向“智能决策运维”转型,基于分析结果自动生成建议,预设条件下触发操作,减少人工干预。借助智能巡检机器人、自动控制设备,实现巡检、故障处理、维护保养全流程自动化,提升效率与安全性。

3.4 安全与隐私保护优化

安全与隐私保护优化需构建全流程防护与合规机制。数据安全要建立全流程体系,传输环节用加密技术防止截获,存储环节通过权限控制与加密保障安全,使用环节设定严格规则,形成传输、存储、使用全流程防护。实现数据访问权限精细化管控,根据岗位与需求分配权限,避免越权访问。隐私合规需规范数据使用边界并强化审计,明确可共享范围与目的,对电站运营机密、人员信息等敏感数据特殊保护,防止泄露。建立数据安全审计机制,定期核查采集、存储、使用、共享环节的操作合规性,及时纠正违规行为,确保数据在合规框架内应用。

结束语

大数据分析已成为提升光伏电站运维质效的核心驱动力。通过深化数据挖掘、优化分析模型、拓展应用场景,可进一步发挥在故障预测、能效提升与资产管理方面的价值。未来,随着算法迭代与多技术融合,大数据分析将助力光伏电站实现更智能、高效、安全的运维新模式,为能源绿色转型注入持续动力。

参考文献

- [1]李会骞,吕学坤,王兴春,等.基于大数据的光伏电站智能运维技术研究[J].光源与照明,2024(9):131-133.
- [2]石多梅,黄培冬,吴鹏基.智能光伏电站运维的大数据分析[J].集成电路应用,2022,39(10):154-155.
- [3]杜思阳,仲颖.基于智能传感技术的光伏电站智慧运行[J].电工技术,2021(21):182-183.