

# 大数据支持下的光伏电站智能运维技术分析

张玉洁 杨灏 于满源 高永峰 周其亮 王东 刘涛

华能(甘肃)新能源有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8532

**[摘要]** 双碳目标提出的背景下,我国新能源产业发展走上快车道,以光伏电站为代表的新能源生产基地在我国能源供应体系中的重要性持续上升。通过大数据等先进数智技术应用,为光伏电站智能运维提供了强劲助力。根据此,本次研究中将总结归纳大数据支持下的光伏电站智能运维技术应用,依据现有技术应用提出基于大数据的光伏电站智能运维系统设计实施的优化建议,并选取实际案例对研究中提出的光伏电站智能运维系统的实际应用效果进行验证。由此为新时期光伏电站智能运维发展提供实质性的技术支持。

**[关键词]** 大数据;光伏电站;智能运维

## Analysis of Intelligent Operation and Maintenance Technology for Photovoltaic Power Stations Supported by Big Data

Zhang Yujie Yang Hao Yu Manyuan Gao Yongfeng Zhou Qiliang Wang Dong Liu Tao

Huaneng (Gansu) New Energy Co., Ltd.

**[Abstract]** Against the backdrop of the dual carbon target, the development of China's new energy industry has entered a fast lane, and the importance of new energy production bases represented by photovoltaic power stations in China's energy supply system continues to rise. Through the application of advanced digital technologies such as big data, strong support has been provided for the intelligent operation and maintenance of photovoltaic power plants. Based on this, this study will summarize and generalize the application of intelligent operation and maintenance technology for photovoltaic power plants supported by big data. Based on existing technology applications, optimization suggestions for the design and implementation of intelligent operation and maintenance systems for photovoltaic power plants based on big data will be proposed, and actual cases will be selected to verify the practical application effect of the proposed intelligent operation and maintenance system for photovoltaic power plants. This provides substantial technical support for the development of intelligent operation and maintenance of photovoltaic power plants in the new era.

**[Key words]** big data; Photovoltaic power station; Intelligent Operations

随着全球能源结构转型升级进程的推进以及全球气候变化影响日益加剧,以光伏为代表的清洁能源发展受到了全人类的广泛关注。光伏电站建成投产之后,运维管理工作面临重大压力。以往光伏电站运维管理普遍采用人工巡检管理的方式,工作效率与精度难以得到保证,从而对光伏电站整体稳定运转产生不利影响。而通过引入大数据技术,构建光伏电站智能运维技术体系,能够借助大数据技术在数据获取、数据处理、数据应用等各个方面的优势,全方位提升光伏电站运维工作效能。深入开展基于大数据的光伏电站智能运维技术研究,对于提升电站运行可靠性、控制运维成本、推动光伏产业高质量发展

展具有重大价值。

### 1.基于大数据的光伏电站智能运维主要技术应用

#### 1.1 数据采集与分析技术

基于大数据的光伏电站智能运维技术体系中,数据采集与分析技术是这一体系的基础构成。相关技术在实际应用中,经由光伏板、逆变器、气象站等各个关键节点处安装的传感器装置获取光伏电站运行相关的各类数据,汇合形成大规模的数据流。而后借助机器学习等先进算法对传感器上传数据作深度处理与挖掘,以识别电站中各型设备运行情况,预测各个设备可能发生的故障,通过提前预警规避或减少非计划停机时间。另

外，基于对传感器数据分析还可以辅助光伏板位置调整，优化电站运行状态与提高光伏板能源转化效率<sup>[1]</sup>。

### 1.2 智能诊断与预测技术

光伏电站智能运维中，基于大数据的智能诊断与预测技术应用，以电站运行历史数据与实时监控数据为基础，使用支持向量机、深度学习等算法建立电站内各个设备的健康监控模型。根据模型实时演变分析对应设备运行是否有异常，以此对设备故障隐患实现高精度的早期识别。根据智能预测结论，电站运维人员可以提前制定电站内各型设备检修工作计划，降低因突发事件发生导致电站整体停运事件发生的概率，更有力维系电站稳定运行<sup>[2]</sup>。

### 1.3 优化控制与调度技术

此类技术在光伏电站智能运维中的应用，借助遗传算法、粒子群优化等集成大数据分析 with 优化算法实现对电站运行参数的智能调控，根据光伏电站所在区域实时的气候变化、目标用户用电需要以及电力价格的变化对光伏电站产能进行科学规划，并按照规划自主调整电站的电能输出功率，以实现电站能源输出效率与能源供应经济性之间的科学平衡。同时，基于智能调度系统应用还可以协调光伏电站与其他电力生产供应系统运行，从而建立更加高效、灵活的综合性供电体系<sup>[3]</sup>。

### 1.4 云计算与边缘计算技术

光伏电站智能运维中，依托云计算技术建立云计算中心，对电站运行中生成的海量数据作集中存储与处理，并借助大数据、人工智能领域的先进算法分析得出可供电站运维管理决策使用的参考数据集。边缘计算技术在应用中，于接近数据源的位置对电站运行相关数据进行预处理，提升数据传输与响应速度。元计算与边缘计算技术的融合既能够充分保证电站运行数据安全，又能够充分提升数据使用效率。由两项技术的协同，光伏电站智能运维中可以实现对电站运行的远程监控、故障预警与故障智能分析等更加高级的运维管理功能<sup>[4]</sup>。

## 2. 基于大数据的光伏电站智能运维系统设计与实施优化对策

### 2.1 智能运维系统架构与功能设置优化

基于大数据的光伏电站智能运维系统构建，从根本上要求借助大数据技术，实现电站运行中故障预测精度提升以及日常运维管理的更高效开展。由此联系大数据技术的核心运行逻辑，光伏电站智能运维系统的架构设计，需要涵盖电站运行数据采集、数据处理、电站设备运行故障预测、运维决策以及用户互动等层级。各层间经由统一的通信协议与数据接口建立无缝连接机制<sup>[5]</sup>。

根据现有的光伏电站智能运维技术应用的成果，针对智能运维系统功能的优化，可以基于当前电站运行监测中广泛使用的传感器装置，直接连接系统数据处理层，对传感器数据执行清洗、归一化及特征提取。而后将经处理数据导入故障预测层，引入时间序列分析机制配合现有的机器学习算法对电站设备故障趋势作更高精确预测，并根据预测结果发送指定预警信息。由此使系统的实时监测预警功能得到有力完善。针对系统故障诊断与定位功能优化，可以由大数据技术应用，将电站运行的拓扑模型融入到电站设备运行的健康监控模型中，以拓扑

算法应用提高设备运行故障定位的精度与速率<sup>[6]</sup>。优化后系统架构的简化流程如下：

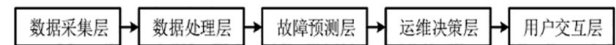


图1 系统架构简化流程图

### 2.2 运维决策支持算法优化

基于大数据的光伏电站智能运维系统运行中，以数据驱动支持运维决策。针对运维决策支持算法的优化，研究中在现有算法基础上引入贪心算法，建立新的运维决策支持算法体系。依托贪心算法，从多个故障点中选择其中最有的运维路径：

```
def optimal_maintenance_path(fault_list, start_point):
```

```
    path = [start_point]
```

```
    remaining_faults = fault_list.copy()
```

```
    while remaining_faults:
```

```
        nearest_fault = min(remaining_faults, key=
```

```
        lambda x: distance(path[-1], x))
```

```
        path.append(nearest_fault)
```

```
        remaining_faults.remove(nearest_fault)
```

```
    return path # distance 函数需根据实际情况定义，计
```

```
算两点之间的距离
```

根据贪心算法运行的核心逻辑，优化后的系统运维决策支持算法运行中，每次都选取与当前位置最接近的故障点进行处理，由近及远实现所有故障点的覆盖。另外，算法优化中根据已优化算法配合实施各类故障预防性运维管理与处理对策，最大程度发挥优化后算法在运维决策支持方面的效能<sup>[7]</sup>。

### 2.3 系统集成与接口设计

光伏电站智能运维系统设计与实施中，与电站现用系统集成整合是系统投入使用最为重要的环节。基于优化后系统与先前电站使用运维系统均以大数据为技术基础的现实情况，采用无缝集成方案可以实现两个系统间技术底层架构互通，为系统间数据高质量共享交互提供切实支持。

数据接口设计采用通用通信协议及数据交换格式，例如 RESTful API 和 MQTT。这些接口在充分满足当前系统数据交互传输需求以外还有相当大的冗余空间，为后续系统架构拓展与功能审计提供足够的空间支持<sup>[8]</sup>。

## 3. 相关案例分析

### 3.1 案例简介

研究中选择一座西部沙漠地区的光伏电站为研究对象。该电站总装机容量 550MW。电站位置十分偏远，自然环境严酷，给电站日常运维及故障检修等工作开展带来极大阻碍。

智能运维系统应用前，电站各项运维工作开展采用人工巡检及周期性维护机制，运维管理效率与精度都难以满足电站后续建设发展需要，且无法做到对各项故障隐患的及时识别预警，影响电站运行的安全稳定<sup>[9]</sup>。

### 3.2 基于大数据的智能运维系统实施过程

根据研究对象光伏电站运维管理中的问题，实施经优化的以大数据技术应用为基础建立的智能运维系统。

第一，于系统部署阶段，根据研究对象电站内的详细布局，统筹规划系统配套的各型传感器装置及数据采集装置的安装位置，确保系统全面覆盖电站各个位置，以此使传感器与数据采集装置获取数据的范围与精度满足电站智能运维管理的要求。

第二，在所有的传感器、数据采集装置安装至指定位置后，技术人员使用实验用的系统主机连接这些设备，测试安装的传感器、数据采集装置是否能够正常上传数据。实验发现异常情况时，重点检查各个设备安装是否符合规程，以及设备连接使用通信协议、数据接口是否正常启动。排除上述故障后，进一步测试系统数据的预处理、存储等后续环节运行情况，确认无误后将正式的系统主机与配套的系统架构、算法程序等接入。系统正式进行试运行状态。

第三，启动系统，根据系统预设的运行程序，经由设置在电站各处的传感器与数据采集装置获取电站运行各个维度的数据，通过系统核心的大数据程序执行数据清洗指令，将数据中的噪声，以及后续数据处理中无法使用的与电站运行无关及错误数据过滤掉，而后对数据进行归一化处理，将量纲存在差异的各类数据转换为统一量级的数据，以便后续数据分析程

序正常运行。再然后，系统故障预测层启动，基于层级中的机器学习算法程序等，提取经清洗后数据内部各项关键特征并进行模型训练。经过数次的迭代优化，故障预测模型数据呈现与故障预测精度可以实现大幅提升。

第四，根据系统中模型对电站运行故障趋势预测结果，制定运维资源调度方案，同时针对可能发生的故障调整预防性维护与故障处理对策。上述内容实施中，通过系统配套的传感器、数据采集装置获取数据，按照以上系统数据处理流程得出方案实施后电站运行质量评估结论，判定方案实施是否起到预期效果。如未起到效果，根据系统数据反馈分析原因，重新调整方案并实施，直到系统数据分析结果提示电站运行无异常情况。

### 3.3 基于大数据的智能运维系统实施效果评估与对比分析

对案例中光伏电站运维管理中智能运维系统实施前后的运维效果进行对比分析，具体结果如下：

表1 系统实施前后效果对比

对比项目	实施前	实施后	提升幅度
电站中各型设备运行故障预测的精度	70%	90%	+20%
运维效率（故障事件处置平均用时）	5h	2.5h	-50%
经济效益（发1度电的成本支出）	0.3元/（kWh）	0.2元/（kWh）	-20%
社会效益（减少碳排放）	-	1200t/年	+（新增）
实际问题	运维人员专业知识水平与工作能力不足，影响运维管理各项举措实施	系统智能化程序尚有进一步提升的空间	-
未来改进方向	加强人员专业技能培训，全面优化工作管理流程	深化大数据、人工智能领域最新型技术、算法应用，利用系统冗余空间持续推进系统架构升级	-

根据以上内容，基础大数据的智能运维系统在光伏电站运维管理中的应用，显著提升了电站运维管理中各型设备故障预测精度的大幅提升，在提高运维管理效率的基础上还进一步提升了电站运行的经济与社会效益。由此可见，依托大数据技术构建光伏电站智能运维体系对电站稳定高质运行具有积极的推动作用。而大数据技术应用尚存在较大的拓展提升空间，对此在后续的光伏电站智能运维发展中要加以格外的关注。

### 结束语：

综上所述，大数据技术参与在光伏电站智能运维体系建设与实施中具有决定性作用，是这一体系建设与高质量运行的核心技术基础。光伏电站运维管理中为此要充分利用大数据技术，有力推动建立综合电站运行数据采集、数据处理、电站设备运行故障预测、运维决策以及用户互动的功能完善的智能运维系统，并持续关注大数据技术发展最新成果，对系统进行持续的拓展升级。

### [参考文献]

- [1]张朋飞.基于监测系统的光伏电站智能运维中巡检装备的应用研究[J].太阳能, 2023, (06): 77-81.
- [2]房方,集团级光伏多场景智能评估与故障诊断技术研究及应用.云南省,华能新能源股份有限公司云南分公司, 2024-03-22.

[3]阎军,刘健鑫,何建奇.智能光伏电站开发及运维管理体系的构建与实施[J].中国战略新兴产业, 2024, (30): 85-87.

[4]张志强.光伏电站运维管理系统中智能巡检与数据分析的应用研究[C]//中国智慧工程研究会.2024 工程技术与施工管理交流论文集(下).国家电投集团(北京)新能源投资有限公司; , 2024: 24-25.

[5]范新华.基于多传感器深度融合光伏电站在线监控系统设计与应用[J].电工技术, 2025, (02): 74-77.

[6]孟子尧,许盛之,王丽朝,等.光伏电站航拍图像中组串级语义分割的人工智能算法[J].计算机应用与软件, 2025, 42(04): 201-207.

[7]王庆安,张祥雷,苑宁.基于AI识别的无人机智能巡检在光伏电站运维中的应用[J].电力安全技术, 2025, 27(05): 40-44+68.

[8]刘兴杰.光伏电站中的智能运维平台控制架构设计与实现[J].集成电路应用, 2025, 42(08): 234-235.

[9]吴晓琳,刘超,杨舒越,等.基于无人机巡检的光伏电站智能运维系统研究与实现[J].低碳世界, 2025, 15(09): 127-129.