

[边缘计算]

基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测

文/赵雄英 赵瑾 杨金贵 杨盼盼 谢桂辉
云南滇能智慧能源有限公司

光伏的大规模集成使系统呈现出愈发明显的弱电网特征,而光伏出力的波动性将导致系统运行工况发生更频繁、更宽范围的变化,因此,提出基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测研究。实验结果表明,该监测方法能够实现对全场站设备的全面覆盖,且不受设备实际距离的限制,成功实现远程监测。同时,保持较高的监测准确性与稳定性。

光伏电站作为绿色能源体系中的核心组成部分,其高效稳定运行对于保障能源供应安全、推动绿色发展具有重要意义。然而,光伏场站设备种类繁多且运行环境复杂多变,使得实现多设备的远程一体化监测成为当前亟待解决的技术难题^[1]。尽管目前已存在一些光伏场站多设备监测方法,但在实际应用中仍暴露出不少短板。例如,文献[2]提出的方法虽然能够实现数据的集中存储与分析,但由于数据传输距离远、网络延迟大,难以实现对光伏场站设备的实时监测和快速响应;文献[3]提出的方法因忽视对多设备间关联性的深入分析与协同调控,导致监测准确度受到限制。

边缘计算技术的引入,通过在网络的边缘部署计算资源,实现了数据的就近处理与分析,显著降低数据传输的时延,提升数据处理的效能,为光伏场站监测难题提供新的解决路径^[4]。鉴于此,本研究致力于开发一种基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测方法,旨在提升监测的精确性与时效性,为光伏电站的智能化运维管理贡献力量。

边缘计算节点部署

在规划光伏场站的边缘计算节点部署策略时,首先需明确监测对象及其关键参数。具体而言,监

测对象应包括但不限于逆变器、太阳能电池板以及汇流箱等关键设备。而关键监测参数则涵盖设备运行状态(如在线/离线状态、故障报警等)、环境温度、环境湿度(%RH)以及各设备的发电量^[5]。

基于上述监测需求,选择低功耗(功耗不超过10 W)且高性能的嵌入式计算机作为边缘计算设备。这些设备需集成数据采集、处理、存储和通信四大核心功能。

为了确保每个边缘计算节点至少能覆盖一台逆变器,且尽量均匀覆盖太阳能电池板和汇流箱,根据光伏场站的布局和设备分布情况,估算所需的节点数量

$$L \geq \max \left(N, \frac{M}{C_p}, \frac{K}{C_b} \right) \quad (1)$$

式中, N 为逆变器数量; M 为太阳能电池板数量; K 为汇流箱数量; C_p 、 C_b 分别为每个节点期望覆盖的太阳能电池板和汇流箱的数量。

通过式(1),估算边缘计算节点的数量,实现全场站设备的无死角监测。

配置边缘计算节点的网络参数如下:①为其分配唯一的IP地址192.168.1.100,该地址在网络中用于唯一标识边缘计算节点;②设置子网掩码为255.255.255.0,以区分网络地址与主机地址;③指

定网关为192.168.1.1，负责转发内部网络向外部网络发送的数据包^[6]。

此外，为了在保证数据安全的同时最大化数据传输效率，设定数据上传频率为次/min。

通过上述部署的策略，为后续光伏场站多设备运行参数的协同采集奠定坚实的基础，确保所采集数据的实时性、准确性和完整性。

光伏场站多设备运行参数协同采集

边缘计算节点部署完成后，进行光伏场站多设备运行参数的协同采集工作，旨在为后续的基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测提供准确、全面且实时的数据支持。

边缘计算节点通过LoRa通信技术，与光伏场站内的逆变器、太阳能电池板以及汇流箱等核心设备建立起稳定可靠的连接。利用设备自带的DL/T通信协议，边缘计算节点能够智能识别并接入光伏场站内的各种设备^[7]。

随后，边缘计算节点会按照预设的时间间隔（每秒或每分钟）从已接入的设备中实时采集数据。这些数据汇聚成多设备运行参数的原始数据集 $x[n]$ ，为光伏场站的运行监测提供了丰富的信息源^[8]。原始数据集中往往包含噪声，因此需要对其进行去噪处理：去噪过程表示为

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}, k=0,1,\dots,N-1 \quad (2)$$

式中， $x[k]$ 为去噪后的设备运行参数数据集； N 为数据序列的长度； j 为虚数单位； $e^{-j \frac{2\pi}{N} kn}$ 为离散傅里叶变换的基函数。去噪后的数据需要进行格式转换，以适应后续的数据分析和存储需求，公式为

$$z = F(X[k], T) \quad (3)$$

式中， z 为输出转换后的设备运行参数数据； F 为格式转换函数； T 为目标格式，包括数据结构、数据类型和数据准确度等。

边缘计算节点配备充足的存储空间，用于保存采集到的原始数据和经过预处理的数据。这样不仅可以确保数据的本地备份，还便于在需要时能够迅速访问这些数据^[9]。此外，边缘计算节点还会按照一定的周期（每小时或每天）将预处理后的光伏场站多设备运行参数数据，通过通信网络传输至远程监控中心。这一步骤实现了数据的远程存储和备

份，为光伏场站的远程一体化监测提供了坚实的数据基础。

基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测

在光伏场站多设备运行参数协同采集后，利用边缘计算技术来实现光伏场站多设备远程一体化监测。

在这一过程中，边缘计算节点会定期通过上述通信网络，将预处理的数据上传至远程监控中心。数据上传与接收的过程，可以通过以下公式简化描述，以更好地管理数据传输的流量

$$D_t = \sum_{i=1}^M (z_i C_i) \quad (4)$$

式中， D_t 为总传输光伏场站多设备运行参数数据量； z_i 为第 i 个设备的格式转换后数据量； C_i 为第 i 个设备运行参数的数据压缩率； M 为光伏场站设备总数^[10]。

远程监控中心在接收到这些数据后，会立即进行解析和重构工作，确保数据的准确性和完整性。数据的解析与重构过程，可以通过公式描述为

$$D_r = P^{-1}(P(D_t)) \quad (5)$$

式中， D_r 为远程监控中心重构后的数据； P 、 P^{-1} 分别为数据的编码和解码过程。

为实时监测光伏场站内各设备的运行状态及工作参数，远程监控中心借助物联网平台，对各设备的参数进行持续追踪。为确保设备的安全稳定运行，设置了阈值报警机制。具体而言，针对逆变器工作温度、太阳能电池板电流输出等参数，设定了具体的监测阈值：逆变器工作温度被限制在不超过85℃，太阳能电池板的电流输出需保持在其额定值的90%以上。一旦这些参数监测值超出预设的阈值范围，远程监控中心将立即触发报警系统，并通过短信、邮件等多种通信手段迅速通知运维人员，以便他们能够迅速采取措施，防止故障升级或发生安全事故。阈值报警机制可以表示为

$$A = \begin{cases} 1, & \text{if } D_{ri} > T_i \text{ or } D_{ri} < L_i \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

式中， A 为是否触发警报（1表示触发，0表示未触发）； D_{ri} 为第 i 个设备运行参数重构后的数据； T_i 、 L_i 分别为第 i 个设备运行参数的上限和下限阈值。

通过上述流程的实施，成功地利用边缘计算技术，实现光伏场站多设备的远程一体化监测。这一系统能够实时掌握设备的运行状态，及时发现并处理故障，为提高光伏场站的运维效率和能效水平提供有力的技术支持。

实验分析

1. 实验对象

本实验选择一个典型的光伏场站作为研究样本。该场站内部设备种类丰富，包括太阳能电池组件、储能电池、逆变器和传感器等多种设备。各设备信息如下。

1) 太阳能电池组件。场站内共部署了2 000块太阳能电池组件，它们均匀分布在各个区域，这些组件均采用高效单晶硅材料制成，每块的额定功率为320 W。

2) 储能电池。场站配备了15组储能电池，每组包含8个电池模块，每个模块的容量为12 kW·h，场站的总容量为1 440 kW·h；

3) 逆变器。场站内安装两台逆变器，每台逆变器的额定功率为500 kW。

4) 传感器。为全面监测场站的运行环境，合理布置了200个传感器节点，包括温度传感器、光照传感器和风向风速传感器等，它们根据场站规模和设备分布进行了精心配置。

此外，该光伏场站还配备智能运维系统、安全防护系统和远程监控中心等配套设施，以确保场站能够安全、高效运行。

2. 监测环境配置

采用高性能的边缘计算网关作为核心设备，该网关具备出色的兼容性，能够支持多种通信协议，并集成数据采集、处理与传输的一体化功能。为进一步提升监测的全面性和实时性，引入无人机进行空中监测作业，无人机同样搭载边缘计算设备，能够即时采集并传输数据。在网络设备配置上，配置了4G/5G通信模块和L波段通信设备等，确保数据传输速率稳定在10 Mbit/s以上，从而实现数据的即时、高效传递。操作系统方面，选择高稳定性和安全性的Linux系统作为运行平台。

在具体部署上，将边缘计算网关部署在光伏场站的关键节点位置，与太阳能电池组件、储能电池

和逆变器等关键设备相连，以实现全面、准确的数据采集与传输。同时，无人机按照预设的飞行计划进行定期监测，将采集的数据实时回传至地面的边缘计算网关，进而实现对光伏场站各项设备的远程监控和运维管理。

3. 监测结果

选择基于物联网技术的光伏-储能一体化系统远程监测方法、调控一体化模式下电力系统多设备运行故障状态实时监测方法作为对比对象，在相同条件下，分别使用本文提出的基于边缘计算的远程一体化监测方法和两种传统方法对光伏场站进行监测，对比三种方法的监测数据，分析监测覆盖面。结果见表1。

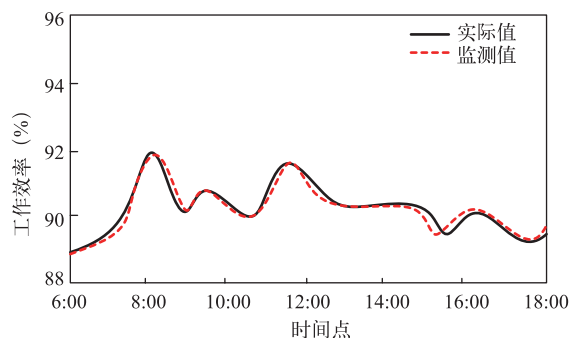
表1 光伏场站多设备远程监测覆盖面对比结果
(单位：km)

设备编号	实际距离	本文方法监测距离	基于物联网技术方法监测距离	调控一体化模式下方法监测距离
1	0.5	0.5覆盖全场站	0.3	0.2
2	1.2	1.2覆盖全场站	0.8	1.0
3	2.0	2.0覆盖全场站	1.5	1.6
4	0.8	0.8覆盖全场站	0.6	0.6
5	3.0	3.0覆盖全场站	2.1	2.2
6	1.5	1.5覆盖全场站	1.0	1.2

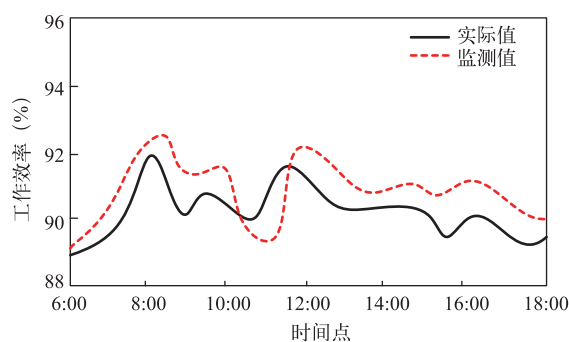
通过对比上述数据可以得出：本文提出的基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测方法能够覆盖全场站，不受设备实际距离的限制，实现了远程监测目标。相比之下，两种传统方法受网络线路长度、质量和布局等多重因素的制约，导致其监测范围受限，远程监测效果较差。

为进一步验证本监测方法的准确性，选择光伏场站中的逆变器工作效率作为监测参数，并在不同时间点分别采用三种方法进行监测数值的测定，同时与实际参数进行对比。对比结果如图1所示。

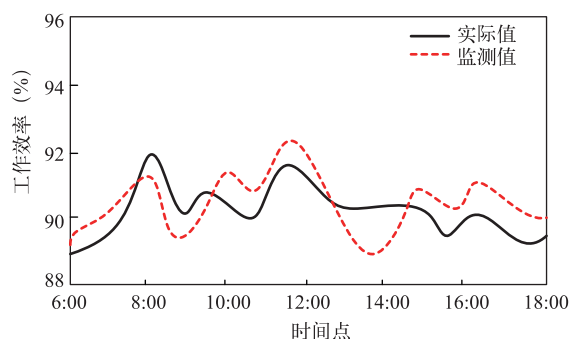
通过图1的对比结果可以看出，基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测方法在监测逆变器工作效率方面表现出色，监测值与实际值高度接近，误差保持在可接受的范围内，即使在不同时间点面临网络波动、网络拥堵或网络维护等不利条件



(a) 本文方法



(b) 基于物联网技术方法



(c) 调控一体化模式下方法

图1 三种方法远程一体化监测结果

时,该方法仍然能够保持较高的监测准确性,显示出其强大的稳定性。相比之下,两种传统方法在这些不利条件下容易受到较大影响,导致监测值与实际值产生较大偏差。

综上所述,基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测方法在监测准确性、稳定性以及远程监测能力等方面均表现出显著优势,是未来光伏场站智能化监测的重要发展方向。

结束语

通过本研究,成功设计一种基于边缘计算的光伏场站多设备远程一体化监测方法。该方法能够实

时监测光伏场站中多个设备的运行状态,实现对光伏场站运行状态的全面精准掌控。未来,将继续深化对该监测方法的研究,不断提升方法的智能化水平和监测精度,为光伏场站的智能化运维和能源管理提供更加全面和高效的解决方案,为构建绿色低碳、可持续发展的能源体系做出更加积极的贡献。

EA

(收稿日期:2024-11-30)

参考文献

- [1] 卢阳,韦阳辉.光伏电站中基于物联网的设备监测与管理技术研究[J].智能物联技术,2024,56(5):141-144.
- [2] 辛青松.基于物联网技术的光伏-储能一体化系统远程监测与故障诊断研究[J].电气技术与经济,2024(6):22-24+27.
- [3] 郝丽萍,杨强,杜娟,等.调控一体化模式下电力系统多设备运行故障状态实时监测方法[J].电气开关,2024,62(3):35-38.
- [4] 金锐,黄凌宇,崔希,等.基于云+本地多端部署的光伏监测与预测系统设计[J].能源研究与管理,2024,16(2):127-133.
- [5] 张富建.光伏发电系统远程监测平台设计及其稳定性应用的实践探索——以“源网荷”一体智能光伏实验室电网项目为例[J].科技管理研究,2023,43(18):162-168.
- [6] 张海涛,王帆,李超群,等.模块化多站融合变电站一体化监控系统设计与实现[J].河北电力技术,2023,42(1):90-94.
- [7] 王立峰,马超,牛永光,等.基于大数据背景下电站设备状态监测及故障检修管理系统仿真设计[J].粘接,2022,49(10):176-179.
- [8] 熊波.数字化智能型电站设备和工程安全监测关键技术研究分析[J].科技与创新,2021(22):172-173.
- [9] 郑伟烁,郑文悦,李志伟,等.光伏电站在线监测技术现状与进步趋势展望[J].电测与仪表,2021,58(9):1-7.
- [10] 谢志远,张信.基于NB-IoT的光伏阵列运行参数监测系统设计[J].仪表技术与传感器,2020(7):80-85.