

# 基于 SCADA 系统的风力发电场 远程监控方法

刘朋义

(神华(天津)新能源技术有限责任公司)

**摘要：**由于风力发电场的状态数据具有多元化的属性特征，导致监控过程中对于异常情况的响应存在丢失的情况，为此，提出基于 SCADA 系统的风力发电场远程监控方法研究。将 SCADA 系统中的 OPC UA 服务器端作为数据的中枢，利用其将分散在多个风力涡轮机、气象站、传感器等设备中的实时数据整合至统一的地址空间中，并对节点属性与引用结构进行针对性，以描述每个数据点的特性与关联关系；采用多线程技术将接收到的数据迅速存储至关系数据库中，通过与对应指标的设置预警参量进行比较，输出对应的结果。在测试结果中，对于不同类型异常状态均能够进行有效的预警反馈，具有良好的监控效果。

**关键词：**SCADA 系统；风力发电场；远程监控；OPC UA 服务器端；地址空间；多线程技术；预警参量

2025.02.DQGY  
35

## 0 引言

对于风力发电场而言，开展远程监控过程中面临的主要挑战包括系统结构复杂、地理位置分散、数据实时性要求高、安全性和可靠性需求严苛五个方面<sup>[1]</sup>。一般情况下，风力发电场通常由众多风力发电机、变电站及监测设备组成，各子系统间需高效协同。同时，风电场往往分布在偏远地区，增加了监控和维护的难度。此外，对故障预警和实时数据的需求也极高，任何延迟或中断都可能导致重大损失<sup>[2]</sup>。在以物联网为基础的分布式光伏发电系统监控技术中<sup>[3]</sup>，通过集成传感器、数据采集器、无线通信等设

备，实现了对光伏电站的实时监测和数据分析。该技术提高了监控效率，降低了人力成本，并能及时发现和处理故障。然而，其也存在数据传输稳定性受网络条件影响、设备维护成本较高等不足。在以 WiFi 及 BLE 5.0 双模通信的光伏发电远程监控系统研究中<sup>[4]</sup>，进一步提升了监控的智能化和灵活性，利用双模通信的优势，实现了对光伏发电设备的远程监控和高效管理，解决了传统光伏电站监控效率低、数据采集困难等问题。然而，其在实际应用中可能面临通信距离受限、信号干扰等问题，且对设备的兼容性和稳定性也有较高要求。综上所述，现阶段不同发电场监控技

术各有优劣。物联网技术以其广泛的连接性和数据分析能力，在分布式光伏发电系统监控中展现出巨大潜力；而 WiFi 及 BLE 5.0 双模通信技术则以其高效的通信能力和智能化管理，为光伏发电远程监控提供了新的解决方案。在此基础上，以技术的不断进步和应用深入为依托，针对监控面临的挑战和不足开展深入研究具有重要的现实意义<sup>[5]</sup>。

本文提出基于 SCADA 系统的风力发电场远程监控方法研究，并通过对比测试的方式，分析验证了设计监控方法的性能。

## 1 风力发电场远程监控方法设计

### 1.1 基于 SCADA 系统的风力发电场数据获取

在风力发电场的数据监控与管理过程中，本文利用基于 OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) 协议的 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统作为执行核心<sup>[6]</sup>。SCADA 系统不仅可以实现对风力发电设备数据的高效采集与实时监控，本文还借助其标准化的通信协议，确保数据的准确性与实时性<sup>[7]</sup>。具体地，OPC UA 协议实现系统的数据采集，作为使用 OPC UA 协议接口的 OpenSCADA 系统的传输协议模块中的客户端实现。

在具体的风力发电场数据获取过程中，本文将 OPC UA 服务器端作为数据的中枢，利用其将分散在多个风力涡轮机、气象站、传感器等设备中的实时数据整合至统一的地址空间中<sup>[8]</sup>。具体的地址空间由复杂的节点网络构成，其中，每个节点代表发电场中的特定设备与对应的数据点，包括风速、发电机功率、叶片角度等。同时本文对节点属性与引用结构进行针对性，确保服务器能够精确地描述每个数据点的特性与关联关系，保留数据的完整性与可访问性<sup>[9]</sup>。具体如图 1 所示。

结合图 1 所示的信息，为实现无缝的数据采集

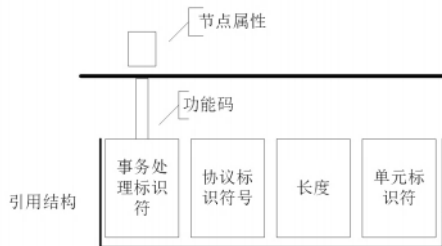


图 1 风力发电场数据地址空间设计

与传输，本文设计 OPC UA 服务器集成风力发电场特有的数据模型，并对外提供统一的服务接口，使得任何遵循 OPC UA 标准的客户端都能轻松接入并获取所需数据。在具体的执行过程中，基于地址空间数据传输函数是 OPCUA 服务器实现的前提<sup>[10]</sup>。在 OPCUA 服务器中，地址空间是详细风力发电场信息数据的集合，由多个节点构成。节点是地址空间的基本单元，可分为节点属性和引用两部分。不同节点具有不同的节点属性，节点属性用于解释节点信息。其中，OPCUA 客户端的主要功能是搜索和获取存储在地址空间中的变量的详细数据，并使用单独的线程将这些数据存储在关系数据库中，从而对作为监控的变量进行订阅操作。

按照上述所示的方式，实现对风力发电场数据的有效获取，为后续的监控分析以及输出响应提供可靠的基础。

### 1.2 基于 SCADA 系统的风力发电场远程监控

在上述基础上，要实现无缝隙并对采集的数据进行有效的监控，需要采用相同的 OPCUA 协议，并在外部提供统一的服务接口，以便 OPCUA 客户端连接通信。作为风力发电场数据监控的核心，本文设计 SCADA 系统通过 OPC UA 客户端模块与服务器建立连接，实现对风力发电场各项数据的实时监控与采集<sup>[11]</sup>。当客户端通过发送特定的服务请求（读取、写入或订阅数据）至服务器时，能够定向获取风力

发电场的实时运行状态与历史数据。其中，图 2 是 OPCUA 客户端和服务端之间交互的实现流程。

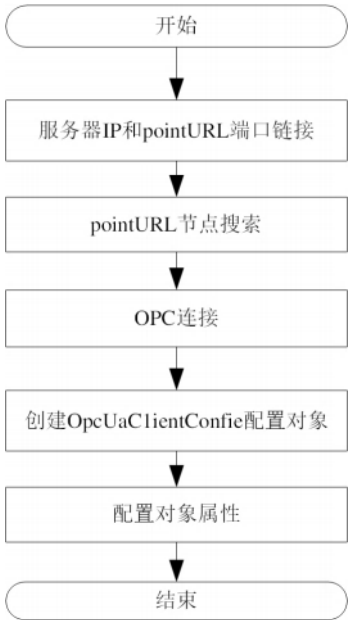


图 2 OPCUA 客户端和服务端交互流程

同时从提升数据处理效率与响应速度的角度出发，本文设计采用多线程技术将接收到的数据迅速存储至关系数据库中，为后续的数据分析、状态预警以及相关决策支持提供有力支撑。其中，具体的预警方式可以表示为：

$$\begin{cases} \text{预警, } x \geq (1-\alpha)\lambda_{\max} \\ \text{预警, } x \leq (1-\alpha)\lambda_{\min} \\ \text{不预警, other} \end{cases} \quad (1)$$

式中， $x$  为获取的具体状态参数； $\alpha$  为置信区间； $\lambda_{\max}$  和  $\lambda_{\min}$  分别为状态参数的上限和下限，该参数为预设值，具体的计算方式为：

$$\begin{cases} \lambda_{\max} = \delta + \frac{\varepsilon}{\sqrt{n}} t_{\alpha}(n-1) + n\varepsilon \\ \lambda_{\min} = \delta + \frac{\varepsilon}{\sqrt{n}} t_{\alpha}(n-1) - n\varepsilon \end{cases} \quad (2)$$

式中， $\delta$  为正常状态下，目标状态参数的均值；

$\varepsilon$  为标准差参数； $t_{\alpha}$  为置信区间内  $\alpha$  的参数分布； $n$  为单位周期内状态参数的数量，受数据采集频率影响。

按照式 (1) 和式 (2) 的设计方式对具体的监控目标状态进行分析后，本文利用 OPCUA 通信堆栈实现监控中心与客户端之间的信息交换，以此为监控应用过程中参与对话的两个端点提供通信保证。其中，当客户端发送服务请求时，OPCUA 通信堆栈会向客户端 API 发出请求，通信堆栈将请求转换为信息，并逐级传递到服务器的通信堆栈中。服务器接口调用响应服务相关联的节点，该接口在任务结束后返回响应消息。

按照上述所示的方式，实现对风力发电场的远程监控，最大限度保障监控的效果。

## 2 测试与分析

### 2.1 测试准备

在对设计方法的性能进行分析时，分别将以物联网为基础的分布式光伏发电系统监控技术，以及以 WiFi 及 BLE 5.0 双模通信的光伏发电远程监控系统作为测试的对照组。通过对比分析不同方法的测试结果，对其具体的监控性能作出客观的分析与评价。

对于具体的测试环境，本文以某海上风电场为基础开展具体的测试。对测试风电场的基本情况进行分析，其为水深超百米、离岸距离超百公里的深远海浮式风电项目，风机采用特殊设计的漂浮式海上风力发电机组，风机装机容量为 7.25MW，轮毂中心高度达 96m，风轮直径 152m，叶片长度 74m。在基础结构组成方面，其采用浮式基础结构，由 9 根锚链系泊固定在水深 120m 的海域。浮体采用半潜式设计，提供足够的浮力和稳定性，以支撑风机的运行。铺设 5km 长的动态海缆，将风机产生的电能传输至海上油田群电网，借助配备的变电站设备，将分散的风机电能汇集并通过电网输送到用户。在此基础上，为确保海上风电场的安全、高效运行，需要对多个关键对象进行实

时监控，具体如下：

- 1) 监控风机的转速、功率输出等参数，确定发电效率。
- 2) 资源利用率：监测风速、风向等参数，评估风能资源利用情况。
- 3) 浮体姿态：监控浮体的倾斜角度、位移等参数，确保浮体在风浪中的稳定性。
- 4) 锚链张力：监测锚链的张力变化，确保锚链系统能够稳定固定浮体。
- 5) 电缆状态：监控电缆的电流、电压等参数，确保电缆传输稳定，无短路、断路等异常情况。
- 6) 变电站运行：监测变电站的电压、电流、频率等参数，确保变电站稳定运行，电能传输顺畅。

在具体的测试方案设计过程中，本文设置了不同监控对象的具体预警状态为监控指标的实际分布超出允许阈值。

### 2.2 测试结果与分析

在上述测试环境的基础上，对不同方法的测试结果进行统计时，本文结合实际监控应用的客观需求，主要针对异常情况的响应反馈情况进行对比分析。其中，三种不同监控方法和系统得出的具体测试结果如表1所示。

表1 不同方法监控性能测试结果对比表

| 异常状态       | 物联网监控方法 | WiFi 及 BLE 5.0 双模通信监控系统 | 本文设计监控方法 |
|------------|---------|-------------------------|----------|
| 风机转速高于上限   | √       | √                       | √        |
| 风机功率输出低于下限 | √       | √                       | √        |
| 浮体倾斜角度高于上限 | √       | √                       | √        |
| 浮体位移大于上限   | √       | ×                       | √        |
| 锚链张力大于上限   | ×       | √                       | √        |
| 电缆电压低于下限   | √       | √                       | √        |
| 变电站频率高于上限  | √       | √                       | √        |

在表1中，“√”表示对异常状态的监控输出作出预警响应，“×”表示未对异常状态的监控输出作

出预警响应。结合三种不同监控方法和系统的测试结果可以看出，物联网监控方法出现了对锚链张力大于上限异常情况未响应的情况，在WiFi及BLE 5.0双模通信监控系统下，也存在对浮体位移大于上限异常情况未响应的情况。相比之下，在本文设计监控方法下，对于不同类型异常状态均能够进行有效的预警反馈，具有良好的监控效果。

结合上述的测试结果可以得出结论，本文设计的风力发电场远程监控方法可以实现对风电场状态的有效监控，对于实际的运维管理具有可靠的指导价值。

### 3 结束语

对于风力发电场而言，其实际状态与整体运行的稳定性和安全性之间存在密切的关联关系，因此，结合实际需求对其进行全方位的监控是极为必要的。本文提出基于SCADA系统的风力发电场远程监控方法研究，通过引入SCADA系统，实现对风力发电场数据的精准获取，并通过数据的状态与管理要求，实现对异常情况的有效预警，大大提高了监控的可靠性。借助本文的研究与设计，以期为实际的风力发电场远程监控管理提供参考。

### 参考文献

- [1] 沈晓兵，叶建君，徐雷，等. 面向燃机发电过程监控的自挑战扩散模型与联邦终身学习 [J/OL]. 控制工程，2023，7（17）：1-8.
- [2] 张向东. 电力发电企业安全生产全过程信息化监控方法研究 [J]. 电气技术与经济，2023（10）：382-384，388.
- [3] 姚俊伟，范李平，王海亮，等. 基于物联网的分布式光伏发电系统故障监控技术研究 [J]. 电力学报，2022，37（4）：279-286.

（下转第43页）

- [4] 赵威振, 宋晨炜, 王旭东, 等. 基于 WiFi 及 BLE5.0 双模通信的光伏发电远程监控系统 [J]. 物联网技术, 2023, 13 (4): 43-45.
- [5] 熊昌全, 张宇宁. 风力发电场远程集中消防监控系统的应用 [J]. 现代职业安全, 2023 (10): 77-80.
- [6] 吴士宾. 基于光伏发电效率提升的智能化在线监控系统研究 [J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (9): 102-105.
- [7] 刘静, 李小治, 张东晓, 等. 映秀湾水力发电总厂集控中心计算机监控系统国产化改造设计和方案研究 [J]. 水电与抽水蓄能, 2023, 9 (3): 72-77.
- [8] 陈秋霖. 网络安全基线在发电企业电力监控系统的应用与实践 [J]. 互联网周刊, 2023 (9): 91-93.
- [9] 周刘俊, 王琨, 宋碧昊, 等. 风力发电场远程集中监控系统的设计及系统应用成果分析 [J]. 科学技术创新, 2023 (1): 221-224.
- [10] 杨京渝, 严文交, 罗隆福, 等. 风储联合发电系统三站合一智能监控系统设计与实现 [J]. 电力系统保护与控制, 2022, 50 (17): 167-177.
- [11] 温怀钰, 李振坡, 宋胜利, 等. 视频监控管理系统在新能源发电工程中的应用分析 [J]. 中国设备工程, 2022 (1): 224-225.

**(收稿日期: 2024-07-23)**