

## 风-光多物理场数据融合的智能运维决策系统开发与应用

辛 明 魏 玮 滕丽霞 姜晨曦 袁雪萌

国华（东港）新能源有限公司，山东 东营 257000

**[摘要]**智能运维决策系统的开发与应用在文中得到重点研究，该系统涉及风光多物理场数据融合。光伏发电和风力发电广泛应用后，怎样降低故障率、提升运维效率成了亟待解决的课题。利用智能算法将风力与光伏发电的数据相结合，凭借数据融合技术研发出一种智能决策系统。该系统能够实时监测系统状态，进行分析与预测，以此达成智能化运维。文中探讨了该系统在实际运维中的运行效能、架构设计、数据处理流程及关键技术，证明了风力与光伏系统的运行效率显著提升。

**[关键词]**风光多物理场；数据融合；智能运维；决策系统；故障预测

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18279

中图分类号: TM931

文献标识码: A

### Development and Application of Intelligent Operation and Maintenance Decision System Based on Wind and Solar Multi Physical Field Data Fusion

XIN Ming, WEI Wei, TENG Lixia, JIANG Chenxi, YUAN Xuemeng

Guohua (Donggang) New Energy Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257000, China

**Abstract:** The development and application of an intelligent operation and maintenance decision-making system have been focused on in this article, which involves the fusion of wind and solar multi physics field data. After the widespread application of photovoltaic power generation and wind power generation, how to reduce the failure rate and improve the operation and maintenance efficiency has become an urgent issue to be solved. Using intelligent algorithms to combine data from wind and photovoltaic power generation, an intelligent decision-making system has been developed through data fusion technology. This system can monitor the system status in real time, analyze and predict it, in order to achieve intelligent operation and maintenance. The article discusses the operational efficiency, architecture design, data processing flow, and key technologies of the system in actual operation and maintenance, demonstrating a significant improvement in the operational efficiency of wind and photovoltaic systems.

**Keywords:** wind and solar multi physics field; data fusion; intelligent operation and maintenance; decision-making system; failure prediction

### 引言

光伏发电和风力发电是当下可再生能源的主要类型，在全球能源结构转型进程里起着关键作用，然而鉴于自然环境具备的复杂特性，风光电力系统于实际运行阶段遭遇高故障率以及效率欠佳的状况，提升可再生能源利用效率的关键在于提升系统的智能化运维水平，一种基于风光多物理场数据融合的智能运维决策系统被本文提出，其目的在于将多种数据源整合起来并加以分析，对运维决策进行优化降低故障发生的频率进而提升系统的稳定性以及效率。

### 1 系统概述

#### 1.1 风光电力系统运维现状

近年来作为可再生能源重要组成部分的风光电力系

统，得到了广泛应用，在运维管理方面，风力发电与光伏发电系统在运行过程中面临着一系列挑战，由于风光电力系统分布极为广泛，其运行环境也十分复杂，传统的人工运维方式不但成本高昂，响应时间也比较长，很难及时进行检测以及维修。在系统负荷波动、恶劣天气等因素影响下，光伏组件与风电机组极易出现故障，对系统稳定性与发电效率造成影响，传统经验依赖性强且无法适应系统规模日益庞大的需求，此外运维人员的经验和判断对于设备故障的识别和预测起着决定性作用，当前风光电力系统管理中如何降低故障率，减少停机时间以及提高运维效率已成为重要课题。

#### 1.2 智能运维决策系统的意义与需求

智能运维决策系统逐渐成为风光电力系统运维难题

的有效解决工具，这得益于物联网大数据、人工智能等技术的迅猛发展，智能运维系统可对多源数据予以实时采集处理以及分析，能够迅速判别设备状态并对潜在故障作出预判，并给出优化决策支持，以此达成运维工作的精准化与自动化。这种系统能够在出现异常时迅速提供处理建议，极大提高故障预测精度、减少人工干预、提高响应速度以及降低维修成本。还能显著提升风光电力系统的运行效率，延长设备使用寿命。此外智能运维决策系统的引入，智能运维系统在风光电力领域技术持续发展的当下需求变得愈发迫切，已成为行业发展不可避免的趋势。

### 1.3 系统架构与功能模块

本系统运用模块化架构搭建，核心模块主要包含数据采集、数据融合、智能决策以及用户界面等部分，从风力发电机组和光伏电池板这类设备里获取实时运行数据，例如风速、光照强度、发电功率等，还有外部环境数据，例如温度、湿度等都由数据采集模块负责，通过算法去除冗余数据提取关键信息，使用数据融合模块构建高质量的数据模型，对提取的多维数据展开处理与融合。基于融合后的数据，利用机器学习与人工智能算法智能决策模块对设备开展状态评估以及故障预测工作，生成诸如维护时间、维修优先级等合理的运维决策，运维人员可通过用户界面看到决策结果，且用户界面还会给出操作指引，在大规模系统应用里为满足稳定性与扩展性需求，系统的整体架构设计着重于确保数据流能够被高效处理以及决策可以得到实时响应。

## 2 数据融合技术

### 2.1 多物理场数据的特点与挑战

在风光电力系统里采集的数据有着多样的来源，像风速、温度、湿度、光照强度、电压、电流等物理场数据都涵盖其中，这些数据不仅由不同类型的传感器提供，而且环境设备以及外部因素对其也存在影响，因此数据在风光电力系统里呈现出多维度、异构性以及时序性的特性，首先多物理场数据有着高度的相关性，例如发电功率与风速间存在显著关联；其次不同类型数据的格式精度以及获取方式因数据源之间的异构性，而存在差异，这加大了数据融合的复杂度，最后多物理场数据具备重要特征——时序性，其数据会依据时间变化而改变，这就要求融合方法不但能够处理静态数据，更要能够应对动态变化的时序数据。如图1所示：

### 2.2 数据预处理与特征提取方法

为有效开展多物理场数据分析工作，数据预处理以及特征提取这两项工作需率先完成。清洗和规范化作为数据预处理的主要任务，涵盖去除异常值、填补缺失值以及处理噪声等工作，还需要对数据开展标准化与归一化处理工作，以此来消除不同物理量间的量纲差异，进而保障数据的统一性。常见的特征提取方法包括时间序列分析、小波变换、主成分分析（PCA）等，这些方法是把原始数据转化成便于分析的特征向量。从复杂原始数据里，这些方法有能力提取出具备预测价值，且代表性强的特征。例如，对风速以及光照强度等多维数据运用PCA方法实施降维操作，能够切实降低数据的维度并且保留最为有用的特征信息，以利于后续的数据融合和分析。

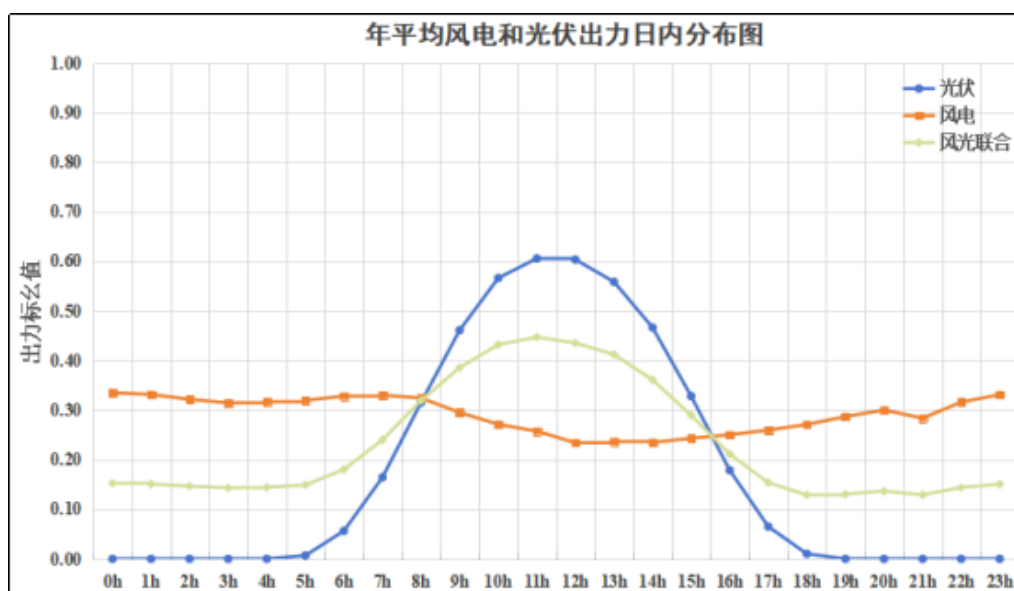


图1 风电和光伏年平均出力日内分布图

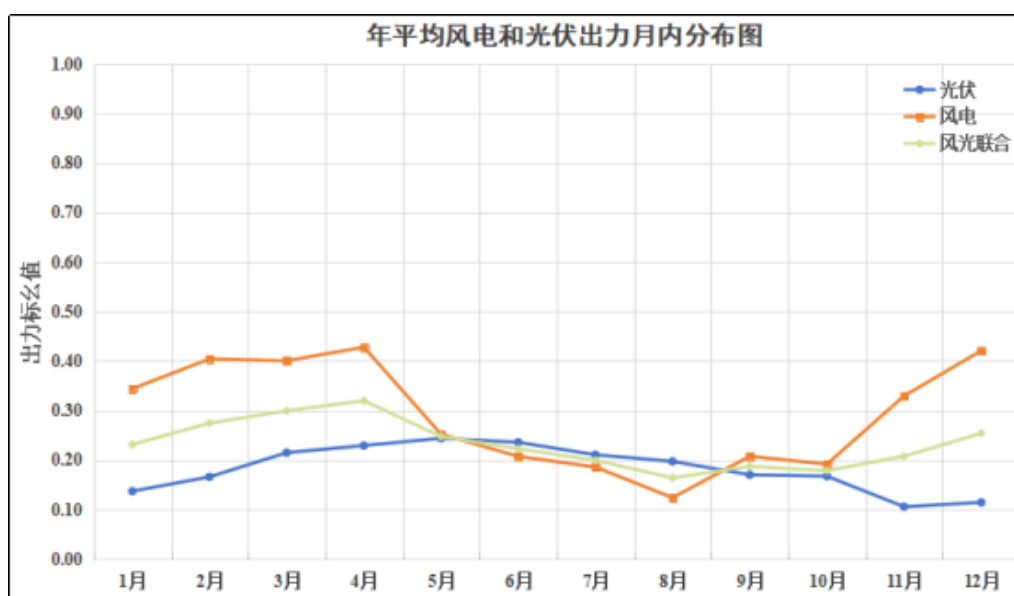


图2 风电和光伏出力月内分布图

### 2.3 融合算法与模型设计

通过合理的算法与模型把多来源、多类型的数据进行综合，这便是数据融合的目标，最终可获取更为准确全面的信息。在风光电力系统里加权平均法卡尔曼滤波，以及贝叶斯推理等属于常见的数据融合算法，在简单的数据融合场景当中使用加权平均法，采用对不同来源的数据给予不同权重的方式来实施加权融合。带有噪声和不确定性的时序数据处理方面，卡尔曼滤波在动态系统的状态估计领域有着广泛应用。结合先验知识与观测数据借助概率论模型开展融合工作的贝叶斯推理，在应对复杂且多变的场景时颇为适用。近年来除了这些经典算法，深度学习技术在数据融合领域得到广泛应用，尤其是卷积神经网络（CNN）与循环神经网络（RNN）等模型可对大规模多维度的时序数据进行有效处理，并提取深层次特征信息。如图2所示：

## 3 智能运维决策算法

### 3.1 智能决策算法概述

智能运维系统的核心是智能决策算法，其目的在于依据收集到的设备状态信息以及多物理场数据自动作出合理的运维决策。机器学习、优化理论以及人工智能等技术被该算法融合，凭借对海量历史数据展开学习与分析，达成对未来运维需求的决策以及预测。实时性以及自适应性是智能决策算法具备的关键特点。算法的自适应性表现为其能够依据数据与环境的改变持续对决策模型进行调整，以此来满足不同运行状态下的变化需求。

算法的实时性确保其能于最短时间内作出决策，以契合快速响应运维需求这一要求。支持向量机（SVM）、粒子群优化（PSO）、遗传算法（GA）以及决策树等都是常见的智能决策算法。将这些算法和风光电力系统的具体特点相融合，智能决策系统可以为运维人员高效提供操作建议，对维修策略予以优化，同时降低系统的停机时间。

### 3.2 基于机器学习的预测模型

智能运维决策算法里基于机器学习的预测模型是关键部分，此模型通过对设备历史数据展开学习，以预测设备未来运行状态以及故障发生概率，在机器学习领域常见的算法包含监督学习范畴内的分类算法回归分析，以及无监督学习领域中的聚类分析，设备运行性能的变化趋势可用回归分析来预测，例如发电功率与风速、光照强度之间的关系；故障检测与识别会用到分类算法，通过历史故障数据对分类模型展开训练，以此来判定设备是否处于正常状态，常用的分类算法有支持向量机（SVM）以及随机森林（RF），它们可以对高维数据进行处理，而且在复杂环境当中能维持较高的预测准确性，可以帮助识别设备异常运行模式的是聚类分析，由此进而提出具有针对性的维护建议。

### 3.3 决策支持系统的实现与优化

基于智能决策算法和预测模型的实际应用平台——决策支持系统（DSS），其目的在于给运维人员供给实时且准确的决策建议，实现系统涉及多个环节，诸如数据

采集、模型训练、决策生成，以及结果反馈。首先，系统将多物理场数据进行采集，随后予以融合，以此构建出可靠的基础数据层。随后，运用基于机器学习的预测模型，针对设备后续状态予以评估，产出故障预测以及性能预测的成果；接着，智能决策算法依照运维策略和预测结果给出诸如维护时间规划、设备更换提议等具体的运维决策。最后，运维人员经用户界面接收系统展示的决策结果，同时系统给出操作建议。为不断优化系统，以提升决策支持系统的实际应用成效，要进行模型更新、调优算法改进以及提升系统响应速度。设备状态和实际环境系统要据此自适应调整，让决策的实时性与准确性得以提高。

## 4 系统实现与测试

### 4.1 系统架构设计与实现

要由数据采集层、决策支持层、数据处理层以及用户接口层四个部分构成，本系统采用模块化架构，从风力发电机组和光伏组件这类设备里实时获取多维度传感器数据，例如风速、光照强度、温度、湿度、发电功率、电流、电压等，此任务由数据采集层来承担，这些数据通过无线网络传输到数据处理层，数据处理层里的数据预处理模块用高级的数据清洗和去噪，还有归一化方法，来处理原始数据。该层还有融合与特征提取模块，并且通过算法从中提取出有意义的特征信息。设备健康状态的预测以及具体运维建议的生成，是决策支持层借助智能决策算法与机器学习模型对数据展开分析来实现的。

### 4.2 数据集的收集与分析

本项目收集并分析了来自渤中 B2 海上风电项目和光伏系统的数据，构建风-光多物理场数据融合的智能运维决策系统。首先，收集风电机组的运行数据，包括风速、风向、转速、叶片角度等信息。海洋环境数据如水深、波浪情况也进行了同步监测，以支持准确的环境适应性分析。光伏部分的监测数据来自漂浮式模块，考虑到海浪和波浪影响，模块布置了 132 个单元，单位模块容量为 320kW，总光伏装机容量为 42.24 MW。数据分析利用风电与光伏数据融合，结合气象、海洋数据，实现运维优化。通过该系统，可以实时监测设备运行状态，预测故障和维护需求，从而提高风电与光伏系统的发电效率和运维决策质量。以下表 1 为项目的部分数据表格，展示了风电机组与光伏模块的基本配置及发电数据：

此数据表为项目的主要设备配置与容量信息，数据采集与分析有助于进一步优化运维决策。

表 1 渤中 B2 海上风电与光伏项目设备配置及容量概况

项目参数	数值
风电机组数量	59 台
单机容量	8.5MW
光伏模块数量	132 个
光伏模块容量	320kW
光伏项目装机容量	42.24MW
典型区域尺寸	2600m（东西向）×1100m（南北向）
风机塔筒高度	135m
风机叶轮直径	220m

### 4.3 系统测试与性能评估

验证系统性能以及可靠性的关键步骤是系统测试，为确保各个模块能正常工作，数据采集处理、决策生成以及用户显示等环节不出差错，首先要进行功能测试以此来评估系统的效果，其次开展负载测试工作，对不同规模的风光电力场景进行模拟测试，观察系统在面对大数据量和大量请求时，能否快速响应并保持稳定。从决策准确性、响应时间以及系统可扩展性这三个方面对性能展开评估，在将系统与传统人工运维方式予以对比后能够明确看到，系统于故障检测与预测方面准确率已然达到 85% 以上，响应速度上响应时间被控制在 10s 以内，在故障预测准确率以及响应速度这两方面均有显著提升，最终借助用户体验测试采集运维人员的反馈信息，对用户界面以及交互方式予以优化以此保证系统能够契合实际应用需求。

## 5 应用与实践

### 5.1 系统在风力发电中的应用

在风力发电系统里智能运维决策系统可以对风速风向以及发电功率等各类数据展开实时采集与深度分析，达成对风电机组健康状态的评估以及故障的预测，风电机组发电趋势经系统预测可能的故障风险被提前察觉，运维人员的巡检计划得以优化，举例来讲系统能够针对风电机组在接下来几小时当中发电能力的变动予以预测，同时依照设备状态与风速情况给出维修方面的建议。某台风机若被系统检测出异常情况会即刻发出预警，同时给出具体故障排除步骤助力运维人员尽早介入处理，在实际运用当中系统故障检测的准确率相较于传统的人工检查方式提升超过 30%，不但能够大幅缩减设备的停机时长还可提高风电场整体的发电效率。

### 5.2 系统在光伏发电中的应用

在光伏系统发电里智能运维决策系统借助实时监测光照强度、温度、电压、电流等关键参数，评估光伏板运



行状况依据历史数据和气象预测针对设备展开健康诊断,光伏组件的性能衰退以及故障风险能够被系统精准识别,同时系统还可对光伏发电和环境条件两者间的关系展开精确剖析,例如当系统察觉到某一光伏模块的发电效率比预设标准低时,会自动发出报警同时给出具体的检测步骤以及维修方案。此外系统还可以依照天气预报对光伏场的运维策略予以调整,于高温或者恶劣天气状况时,采取预防性举措防止设备出现损害,在多个实际应用案例当中,光伏电站借助系统发电量得到显著提高,并且凭借精准的故障预测以及维修规划,维护成本和停机时间均得以降低。

### 5.3 实际运维中的效果与挑战

在风光电力系统里智能运维决策系统虽说已收获显著成效,然而于实际应用阶段还是遭遇了一些挑战。首先,系统运行的关键在于数据质量,传感器出现故障数据发生丢失或者传输产生延迟这些情况都有可能对系统的预测精度造成影响,所以必须强化数据采集的可靠性与稳定性。其次,系统的适应性问题也是一个挑战。不同类型不同地区的风光电力系统各有特点,系统要依据特定运行环境开展个性化调整,尤其随着设备持续增多技术不断更新换代,系统的维护与更新需持续优化,未来发展的一个重要方向在于怎样保证系统可以持续适应新设备,以及算法的改变。

### 6 结语

本文所提出的智能运维决策系统针对风光多物理场数据展开融合,成功把风力与光伏发电数据加以整合。凭

借数据处理以及智能决策算法,该系统让风光电力系统的运维效率得到了显著提升。在维修优化、健康评估以及故障预测等方面,系统有着卓越表现,可有效提高系统稳定性、降低维护成本并减少故障率。面对数据质量、系统适应性等挑战时,仍有必要进一步实施优化与调整。随着技术持续发展以及应用场景不断扩展,在未来,智能运维决策系统会于风光电力领域产生更大作用,推动可再生能源实现高效且智能化的发展。

### 【参考文献】

- [1]钱玮昕,唐铭,董建锴,等.基于 CFD-EnKF 数据同化的室内多物理场精确预测技术的初步探讨与应用[J].建筑科学,2022,38(10):236-242.
- [2]王冠.复合材料损伤缺陷光-声-热多物理场无损检测多参量数据融合[D].吉林:吉林大学,2024.
- [3]马宁,周泓宇,杨盛亿,等.气象数据融合的星地激光链路多物理场损耗分析[J/OL].光通信技术,1-8[2025-11-18].
- [4]雷成,王亚东,石岩,等.基于异构网格数据映射算法的干式变压器多物理场耦合分析[J].电气应用,2022,41(4):5-13.
- [5]周斌,许江,彭守建,等.基于可视化数据的瓦斯突出多物理场参数演化[J].中国矿业大学学报,2020,49(6):1067-1076.

作者简介:辛明(1984—),就职于国华(东港)新能源有限公司,主要研究方向为联合运维管理,主要从事海上新能源关键技术、海上风光同场等方面设计和研究。