

基于数字化平台的海上风电与光伏联合智能运维技术研究

辛 明¹ 魏 玮¹ 滕丽霞¹ 姜晨曦¹ 袁雪萌¹ 王宏任² 顾 翔² 糜文杰²

1.国华(东港)新能源有限公司, 山东 东营 257000

2.中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014

[摘要]近年来,我国在“海上风电+”的发展模式下,不仅在海上风电与渔业养殖方面取得了显著成效,还在多个领域进行了创新探索。其中,海上风电与海上光伏的融合发展,正成为一个备受瞩目的研究方向,其联合运维对于提高能源利用效率、降低运维成本、促进能源转型和可持续发展具有重要意义。文中针对海上风电与光伏智能联合运维技术进行研究,旨在探索将海上风电场与光伏电站的运维工作通过智能化数字化手段进行高效整合与优化的方法,即通过海上风光智能运维管理平台,实现对海上风电场和光伏电站的实时监控、故障预警、远程诊断与维护等功能,从而大幅度提高运维工作的效率和质量。海上风光智能运维管理平台从系统架构、数据采集、系统功能三个方面进行研究,提出了海上风电与光伏智能联合运维技术方案,该方案是一套完整、高效且实用的解决方案,为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。

[关键词]海上风电;海上光伏;风电与光伏;智能联合运维;智能运维管理平台

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17637

中图分类号: TM6

文献标识码: A

Research on Joint Intelligent Operation and Maintenance Technology of Offshore Wind Power and Photovoltaic Based on Digital Platform

XIN Ming¹, WEI Wei¹, TENG Lixia¹, JIANG Chenxi¹, YUAN Xuemeng¹, WANG Hongren², GU Xiang², MI Wenjie²

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

2. PowerChina Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha, Hunan, 410014, China

Abstract: In recent years, under the development model of "offshore wind power+", China has not only achieved significant results in offshore wind power and fishery aquaculture, but also made innovative explorations in multiple fields. Among them, the integrated development of offshore wind power and offshore photovoltaics is becoming a highly anticipated research direction, and their joint operation and maintenance is of great significance for improving energy utilization efficiency, reducing operation and maintenance costs, promoting energy transformation and sustainable development. The article focuses on the research of intelligent joint operation and maintenance technology for offshore wind power and photovoltaic power plants, aiming to explore efficient integration and optimization of the operation and maintenance work of offshore wind farms and photovoltaic power plants through intelligent digital means. That is, through the offshore wind and solar intelligent operation and maintenance management platform, real-time monitoring, fault warning, remote diagnosis and maintenance of offshore wind farms and photovoltaic power plants can be achieved, thereby greatly improving the efficiency and quality of operation and maintenance work. The intelligent operation and maintenance management platform for offshore wind and solar power has been studied from three aspects: system architecture, data collection, and system functions. A comprehensive, efficient, and practical solution has been proposed for the intelligent joint operation and maintenance of offshore wind power and photovoltaic power. This solution provides new ideas and methods for the intelligent joint operation and maintenance of offshore wind power and photovoltaic power.

Keywords: offshore wind power; offshore photovoltaics; wind power and photovoltaics; intelligent joint operation and maintenance; intelligent operation and maintenance management platform

引言

随着海上风电产业链的不断完善和技术进步,我国已成为全球最大的海上风电市场,海上风电累计装机容量快速增长^[1]。国家能源局《电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027年)》支持探索海上风电、光伏发电和海洋牧场融合发展^[2]。同时,为了进一步提高海域资源利用效率,政策层面《自然资源部关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知》鼓励采用“风电+”的综合开

发利用模式,实现“一海多用”,切实提高海上风电场区海域资源利用效率,推动海上风电与海上光伏等多种能源资源的融合发展^[3]。沿海省区如山东、江苏、浙江等也制定了详细的规划,积极推动海上光伏项目的落地实施。

我国在“海上风电+”的发展模式下,不仅在海上风电与渔业养殖方面取得了显著成效,还在多个领域进行了创新探索^[4]。其中海上风电与海上光伏的融合发展,正成为一个备受瞩目的研究方向,这种模式不仅能够缓解海洋空间资源

紧张的问题,为海上新能源的持续发展开辟新路径,还能促进技术创新和产业升级,推动能源结构的优化调整^[5]。

海上风电和光伏项目不断增加,其运维需求也日益增长。这些项目通常位于远离陆地的海域,海上运维面临可达性差、窗口期短、效率低、出海成本高等诸多挑战。为了应对这些挑战,需要采取一系列的解决方案,基于数字化平台的海上风电与海上光伏联合智能运维的模式应运而生。这一模式旨在通过智能化、数字化的运维手段,实现两种能源形式的互补优化,提高能源利用效率,降低运维成本。此外,联合智能运维还有助于加速海上新能源的规模化、商业化进程,因此,海上风电与海上光伏联合智能运维具有重要的战略意义和广阔的发展前景。

1 概述

海上风电和海上光伏要联合运维,首先需要对两者的运维工作进行分析,找出相同点和不同点。

相同点:运维目标方面,两者运维的目标都是确保发电设施正常运行,提高发电效率和稳定性,减少故障和停机时间。远程监视方面,两者都需要利用远程监视技术实时监测设备的运行状态,及时发现并处理潜在的故障。运行管理方面,两者都有故障记录、工单两票、设备管理等生产运行管理的要求。安全管理方面,两者运维工作都涉及高空操作、人员落水等安全风险。设备管理方面,两者都有海上升压站或陆上集控中心,其电气设备基本相同。可视化管理方面,两者都需要运行可视化,故障可视化。

不同点:设备类型方面,海上风电运维主要涉及风力发电机组的维护,包括叶片、齿轮箱、发电机等关键部件的检查、维修和更换等;海上光伏运维主要涉及光伏电池板、逆变器、支架等光伏系统的维护,包括清洁、检查、更换等。监测数据方面,海上风电监测数据主要包括风机本体、CMS 系统等,数据来自风机 SCADA 系统;海上光伏监测数据主要包括逆变器、箱变等,数据来自光伏监控系统。数据分析方面,风电和光伏发电设备不同,故障

诊断的技术则不相同,数据分析的技术也不相同。

通过分析发现,海上风电和海上光伏在运维方式上有很多相同点,而海上风电智能运维管理平台的应用已经相对成熟,这为海上光伏智能运维提供了很好的借鉴和融合基础。将海上光伏智能运维与成熟的海上风电智能运维相结合,通过在孪生电站、在线监测、数据分析、智能巡检等关键领域加入海上光伏智能运维功能,实现对海上风电场和光伏电站的实时监控、故障预警、远程诊断与维护等功能,最终形成海上风光数字化智能运维管理平台,实现两者的智能联合运维。

海上风光智能运维管理平台从系统架构、数据采集、系统功能三个方面进行研究,提出了一整套完整的海上风电与光伏联合运维技术方案,为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。

2 系统架构

海上风光智能运维管理平台,融合工业与数字智慧,实现全要素连接,构建一体化大数据工业互联网平台。该平台集数据采集、存储、清洗、建模分析于一体,针对业务难题,提供故障预警、健康分析、绩效评估、智能数据分析、安全保障及监测等模块。通过深挖数据规律,自动化人工经验与决策,显著提升生产管理效率与质量,实现业务量化、集成管理、平台统一及智能协同。

为满足电力二次安全防护的要求,风机 SCADA 系统、光伏监控系统、升压站综自系统部署在安全 I 区,功率预测系统、电能计量系统、塔筒和基础监测系统、防腐监测系统、海缆监测系统部署在安全 II 区,安全 I、II 区所有监控系统数据汇聚到一体化监控系统,再通过正向隔离装置将数据传至安全 III 区的 Web 服务器。

海上风光智能运维管理平台部署在安全 III 区,从一体化监控系的 Web 服务器采集监控系统数据,供生产、运维和分析等功能使用,为智能化运维系统平台研究提供数据支撑。



图 1 海上风光智能运维业务架构

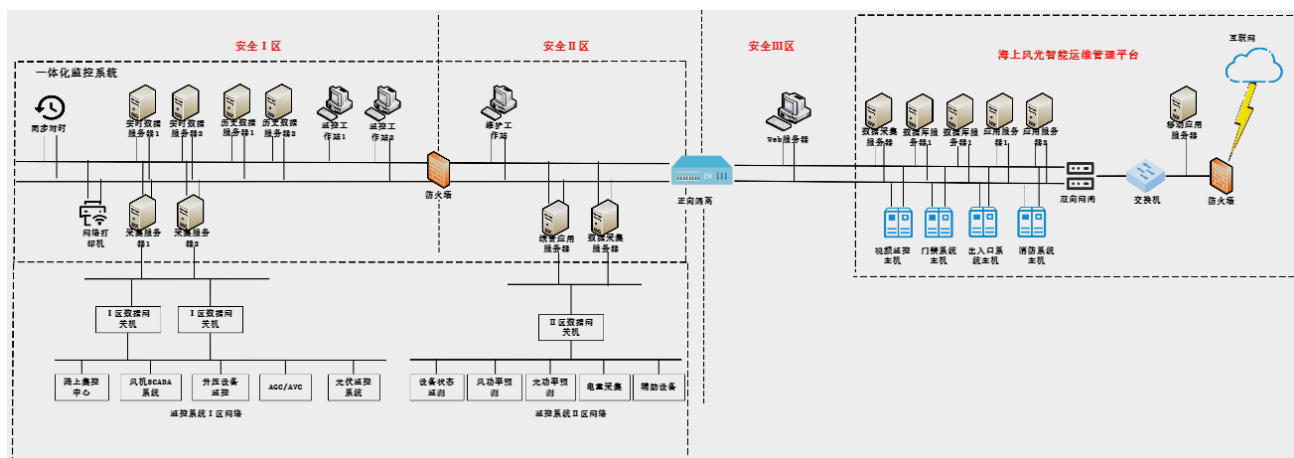


图2 海上风光智能运维网络拓扑图

3 数据采集

海上风电与光伏智能联合运维需要采集的数据包括实时数据采集、风功率预测数据采集、光功率预测数据采集、历史监测数据采集、数字仿真数据采集等。将采集到的数据传回运维平台进行相关数据分析。为保证通信的可靠性、实时性，一体化监控系统与智慧运维管理平台的实时数据采集，采用 IEC-60870-5-104 电力系统实时数据通信协议，由一体化监控系统向运维平台单向传输，通信过程中首次主动传输全数据，平时主动传输变化数据。功率预测采用 SFTP 协议，5~10min 主动传输数据。风机数据量，单机在 1000 点左右，场区总数据量取决于风电场规模。海上升压站，以 220kV 为例，大概在 1.5 万点。陆上集控中心，以 220kV 为例，大概在 2 万点光伏场区，以 100MW 为例，数据量 20 万点左右。根据数据点数量、存储频率和数据点大小，海上风电和光伏每日产生的数据量是相对较大的数值，可能达到几 GB 至十几 GB 不等。

运维系统需考虑存储和处理这些海量数据，使得实时监控和故障预测成为可能。因此，在设计海上风光智能运维系统时，需充分考虑数据量、通信协议以及系统点数的容量问题，确保系统能够稳定、高效地处理和分析这些数据，为运维决策提供有力支持。

4 系统功能

4.1 孪生电站

孪生电站是以 BIM 和建设期信息为基础，将运维期的动态信息与 BIM 模型紧密关联，并结合 GIS 大场景技术，形成与现实场景一致的虚拟场景。通过 GIS+BIM 的三维可视化界面，孪生电站能够直观地展示电站的地理位置、接入系统关系，以及虚拟的海上风电和光伏电站生产过程的动态模拟。此外，孪生电站还将海上光伏阵列进行数字化建模，使其与海上风电处于同一虚拟环境中进行查看。在数据驾驶舱页面，综合展示了海上风电和光伏场的的数据，为快速决策提供了有力支持。同时，孪生电站的在线监测模块接入了光伏阵列的逆变器数据，实现了对电气参数及故障报警的实时监控。

4.2 水文气象

海上作业基本要求、风电场运行和维护一般规定，需监测风电、光伏场海域的海洋水文天气信息，通过该模块可以及时全面地了解海域内的海事信息，关注航行警告和航行通告的发布，并根据这些信息确定维护计划。

4.3 在线监测

在线监测功能模块包括升压站监测、风机在线监测、逆变器监测、箱变监测、塔筒/基础监测、防腐监测、海缆监测。升压站监测包含主接线，主要开关状态，生产数据，在线监测系统数据。风机在线监测，包括风机状态监测矩阵、风机叶片状态在线监测、风机振动在线监测、变桨轴承监测、塔筒及基础状态监测、螺栓预紧力监测、油液监测主要监测数据。逆变器监测主要包括关键参数监测及故障预警与监测。箱变在线监测，包括箱变所属集电线路概况，箱变状态、油温、低压侧电流电压等监测数据。海缆监测对电气故障或机械故障监测，为电力送出系统故障诊断提供基础数据和分析依据。

4.4 数据分析

包括原始数据查询、运维指标分析、风光功率预测协同、水电能耗监测、风机故障预警、系泊缆系统分析预警、浮体结构状态分析预警、动态海缆结构分析预警等。

通过采集实时数据、状态信息、风电场与光伏场的原始数据等，并进行智能数据分析。原始数据查询功能解决了对设备实时状态和数据的即时查看需求，使得运维人员能够迅速掌握设备运行情况。运维指标分析及时发现风电、光伏场区运行过程中存在的问题，为运维决策提供了数据支持。风光功率预测协同解决了风光功率预测结果与实际运行数据的对比分析需求，通过直观的对比曲线，可以评估预测模型的准确性。水电能耗监测解决了对水电能耗情况的实时监测和评估问题，有助于发现能耗异常和节能潜力。风机故障预警解决了风机故障的提前预警问题，通过数据分析及时发现潜在故障，避免故障发生对生产运行的影响。系泊缆系统分析预警、浮体结构状态分析预警、动态海缆结构分析预警解决了海上风电设施结构安全的监测和预警问题，通过数

据分析及时发现结构异常,保障设施的稳定运行。

4.5 智能巡检

智能巡检模块融合了无人机与多种智能机器人技术,实现了高效且精准的巡检。无人机被部署于光伏阵列和海上风机的巡检任务中,凭借搭载的先进传感器,能够迅速识别潜在问题。海上升压站及陆上集控中心的室内区域,挂轨机器人沿预设轨道自主运行,配备了高清摄像头与红外热像仪,监测设备状态并预警潜在故障,其设计充分考虑了海风、海浪及腐蚀等特殊环境因素,确保了设备的安全稳定运行。陆上集控中心的室外区域,配置轮式机器人,能够自主导航,灵活应对复杂地形,高效完成巡检任务。

4.6 生产管理

生产管理是海上风电和光伏智能运维的相同模块,可采用同一套生产管理系统进行管理,该模块包含故障缺陷管理、检修计划管理、工单及两票管理、设备管理及交接班管理五个功能模块。故障缺陷管理模块采集故障缺陷信息、发现人信息、任务派发信息、处理信息、验收信息,有效记录并跟踪故障缺陷的全过程,确保每个故障都能得到及时发现、处理及验收。检修计划管理,获取检修计划相关信息包括检修计划创建、计划审批、任务分配及完成情况,对检修工作进行全过程管理,便于掌握检修工作的进度和质量。两票管理则针对操作票和工作票,跟踪其发令、填写、审核、执行及验收,实现全程监控,增强了工单任务的透明度,确保了两票管理的准确性和安全性,降低了操作风险。设备管理获取设备台账、备品备件信息、仪器仪表信息及损坏件数据,全面管理设备及其相关备件和工具,确保设备的正常运行和及时维护。交接班管理通过获取到的交接班日志和排班系统数据,提高了交接班效率,确保了生产过程的连续性和稳定性,减少了因信息交接不清导致的生产问题。

4.7 资料管理

资料管理包括技术资料管理、运维制度管理、合同管理三个功能模块。通过技术资料管理模块,实现了对各种技术资料的分类管理,并将电子版技术资料与BIM模型进行关联,有效解决了传统方式下技术资料查找困难、信息不直观的问题,达到了从设备模型属性中快速调取该设备所有相关资料的效果,提高了运维效率。运维制度管理模块,实现了对值班管理制度、工作票制度、操作票制度等运维相关制度的电子版文件管理,解决了制度文件分散、不易查阅的问题,确保了运维工作的规范性和安全性。合同管理模块实现了对设备采购类、备品备件采购类、生产物资采购类、生活物资采购类以及服务类等各类合同的电子版文件管理,解决合同文件繁多、管理混乱的问题,提高了合同管理的效率和准确性。

4.8 安全管理

安全管理包括智能安防、安全培训及安全制度三个模块。智能安防采集视频监控录像、人员位置信息、门禁使用记录、出入口通行数据、火灾报警信号等相关数据,实现了对安全风险的全面、实时监控和快速响应,可以有效提升安全防范能力。安全培训,系统自动对照培训计划与实际资料,实时

跟踪培训实施情况,生成可查阅的安全培训台账,确保了培训工作的有序进行和效果评估的准确性。安全制度,通过构建包含法规库、法规选取、规章管理、操作规程、制度评价等五大子模块的安全制度管理体系,实现了对安全制度的集中管理、及时更新和有效评价,确保了制度合规性和执行力。

5 结论

本文深入探讨了海上风电与光伏智能联合运维技术方案,旨在通过智能化手段高效整合与优化海上风电场与光伏电站的智能运维工作。经过对系统架构、数据采集以及系统功能三个关键领域的细致研究,我们提出了一套针对性的智能联合运维技术方案。在系统架构方面,我们整合并优化了针对海上风电场和光伏电站运维需求的多个关键模块,如故障预警、健康分析、绩效评估、智能数据分析、安全保障及监测等。这些模块共同实现了运维工作的智能化和高效化,显著提升了运维效率和质量。在数据采集环节,我们全面覆盖了实时数据采集、风光功率预测数据采集、历史监测数据采集以及数字仿真数据采集,确保了数据的全面性和准确性,为后续的数据分析和运维决策提供了坚实的基础。系统功能方面,我们设计并实现了包括孪生电站、水文气象、在线监测、数据分析、智能巡检、生产管理、资料管理、安全管理等在内的多个功能模块,这些模块覆盖了智能运维工作的各个方面。本论文提出的海上风电与光伏智能联合运维技术方案是一套完整、高效且实用的解决方案,它不仅解决了传统运维方式中存在的诸多问题,还为海上风电与光伏智能化联合运维提供了新的思路和方法。展望未来,随着技术的不断进步和创新,海上风电与光伏联合智能运维技术将更加成熟和完善。同时,随着可再生能源的不断发展,该技术将得到更广泛的应用和推广。基于数字化平台的海上风电与光伏联合智能运维技术具有广阔的应用前景和重要的战略意义,它将为海上风电和光伏的融合发展提供有力的支撑和保障。我们将继续深化研究,不断完善和优化该方案,以更好地服务于新能源产业的发展。

【参考文献】

- [1]水电水利规划设计总院.中国可再生能源发展报告2023[M].北京:人民日报出版社,2023.
 - [2]国家能源局.电力系统调节能力优化专项行动实施方案(2025—2027年)[EB/OL].(2024-12-30)[2025-01-14].
 - [3]自然资源部.关于进一步加强海上风电项目用海管理的通知[EB/OL].(2024-12-30)[2025-01-14].
 - [4]张哲,郑国富.海上风电与渔业融合发展研究[J].渔业研究,2025(1):1-10.
 - [5]岳云峰,彭欣然,王洪庆,等.海上漂浮光伏发电技术及其融合发展展望[J].南方能源建设,2024,11(2):1-8.
- 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;*通信作者:王宏任(1996—),男,工程师,硕士研究生,就职于中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司,主要从事海上风电数字化设计工作。