

新基建时代风电场智能运维技术的发展与展望

王 璇, 文 坤, 胡凯凯, 陈亚楠, 陈 刚
(中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412001)

摘 要: 面对风电抢装潮后平价、竞价时代的成本和质量压力, 传统的风电场运维管理模式将越来越难以满足行业高质量发展需求。文章结合当前大数据、物联网、5G 通信、人工智能等新基建技术的广泛应用, 探讨了新基建技术在风电场智能运维领域的应用前景; 同时, 从风电机组、风电场、场群 3 个维度, 利用智能化、数字化手段构建了风电场智能运维生态体系, 实现了风电场运维管理的降本增效。

关键词: 智能运维; 大数据; 新基建; 风力发电; 平价时代; 降本增效

中图分类号: TM614

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2021)05-0006-06

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2021.05.002

Development and Prospect of Wind Power Intelligent Operation and Maintenance Technologies in the New Infrastructure Era

WANG Dian, WEN Kun, HU Kaikai, CHEN Yanan, CHEN Gang
(CRRC Zhuzhou Institute Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Confront to the pressure of cost and quality in the parity and bidding era after the rush for installation of wind power, traditional wind farm operation and maintenance management model will become increasingly difficult to meet the high quality development of industry. Combined the current wide application of new infrastructure technologies such as big data, Internet of Things, 5G communication and artificial intelligence, this paper discusses the application prospects of new infrastructure technologies in the field of intelligent operation and maintenance of wind farms. From wind turbine, wind farm and wind-farm groups, using intelligent and digital means, it builds an intelligent wind farm operation and maintenance ecosystem, to achieve cost reduction and efficiency increase in wind farm operation and maintenance management.

Keywords: intelligent operation and maintenance; big data; new infrastructure; wind power; parity era; cost reduce and efficiency increase

0 引言

风力发电是现阶段世界范围内较为推崇的清洁能源, 在我国的电力生产市场中占据着一席重要地位^[1]。尤其是在当前“30·60 碳达峰、碳中和”以及“新基建”的时代背景下, 借助新基建技术, 风电行业必然会迎来新一轮的大发展。然而, 风

力发电自身行业属性决定了风电场部署具有机组分散、地形条件复杂多样、生产环境恶劣等特征, 致使行业内对通过技术手段实现无人或少人值守以及风电机组早期故障诊断与预测有着较为强烈的内在需求。

随着大数据、物联网、5G 通信、人工智能等新基建技术的不断进步, 风力发电行业与整个工业系统正在进行深度融合, 以实现风电行业工业产品的智能化升级, 推动风电智能运维技术发展, 这符合行业发展的客观需求。同时, 在风电整机产品严重同质化、

收稿日期: 2021-04-20

作者简介: 王璇(1979—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事风力发电整机设计相关研究。

风电上网售电平价化的政策背景下，通过数字化智能运维方法提升产品附加价值，合理化降本增效，是在本轮产业发展中提升风电产品竞争力和行业地位的必要手段。

本文将对新基建时代下的风电场智能运维技术现状进行较为系统的介绍，并分析其智能化、数字化发展趋势。

1 风电场运维技术现状

风电场运维是风电场运营管理的重要环节之一，其目的在于维持和提高设备可利用率，提升设备的发电性能并降低运营成本，从而保证风电场在整个生命周期内的投资收益率。因此，风电场运维水平对风电机组发电性能及发电量有着直接的影响，并决定了整个风电场的经济效益。

目前，风电场运维模式主要包括计划性维护和非计划性维护^[2]。计划性维护依靠现场运维人员按照运维计划对风电机组进行维护检查及消缺，该运维方式存在间断性和滞后性特点，难以及时发现风电机组的缺陷。非计划性维护依靠风电机组监控系统的故障告警提示，在机组报出故障后由现场运维人员对故障进行处理。该运维方式受备件、现场环境及故障发生时间等因素的影响，易出现故障处理响应慢、风电机组停机时间长等问题。

传统的风电场运维以分散式运维为主，主要表现为机组分散、运维人员分散、备品备件分散^[3]，即以单个风电场为单位的分散式运维，风电场间的人力资源和备品备件相互独立、互不共享。在分散式运维模式下，因无法实现资源共享和集中统一协调，各个风电场为保证运维效率，避免机组长时间故障停机，通常在风电场部署充足的运维人员及备品备件，导致风电场运维成本高^[4]，难以满足风电平价时代的要求。同时，传统的风电场运维方式缺乏统一的运维标准和规范，运维人员水平参差不齐，风电机组的运行维护和定期检查缺少有效的运维监管，导致部分运维工作流于形式，运维质量难以保证^[5-6]，从而无法发挥机组的最优发电性能，造成发电量损失，机组的安全性也经受到严峻考验。因此，如何在低运维成本的压力下实现机组运维质量的不断提升、提高机组运行的稳定性，这将是风电企业一个亟待解决的课题。

2 新基建时代风电场运维技术创新点

在当前风电平价上网政策要求下，风电机组整机

市场价格持续走低，风电机组运维成本将面临更大压力，传统的运维方式已难以满足行业高质量发展需求。《2020 年国务院政府工作报告》提出，重点支持“两新一重”（即新型基础设施建设，新型城镇化建设，交通、水利等重大工程建设）^[7]，其中的 5G 基站建设、特高压建设、大数据中心、人工智能和工业互联网等数字“新基建”技术将服务于风电行业。目前已有不少运营商借助数字“新基建”技术，将风电运维模式从传统分散式运维模式向智能化集中式运维模式转变，并在整个风力发电运维过程中的部分领域突破了关键技术瓶颈，实现了局部智能运维。针对风电运维生命周期过程涵盖的“运维定检”“备品备件”“资产管理”“技术支持”“延寿改造”和“提质增效”等关键要素，平价政策下的风电运维技术呈现出智能化、数字化的新特点。

2.1 基于 5G 通信技术的无人机蜂群巡检系统

该创新点考虑风电场前端的“运维定检”可达性和高效性，针对传统人工巡检方式所存在的人工成本高、通勤开支大、时效性差、精度差以及航程短等问题^[8]，可采用无人机对风电机组进行定期巡检的方式来解决。例如，无人机巡检风电机组叶片技术，通过对无人机蜂群路径进行最优规划和编队控制，利用 5G 通信技术（具有高速率、低延时特点）传输风电场实况高清视频、音频数据及蜂群控制信号，定期自动巡航，监测风电机组叶片是否存在开裂及覆冰现象以及风电机组外部情况，实现风电机组智能巡检和风电场少人化值守。图 1 为基于无人机方式的风电机组叶片巡检示意图。采用这种方式将极大提高巡检误差精度和效率，降低运维成本。

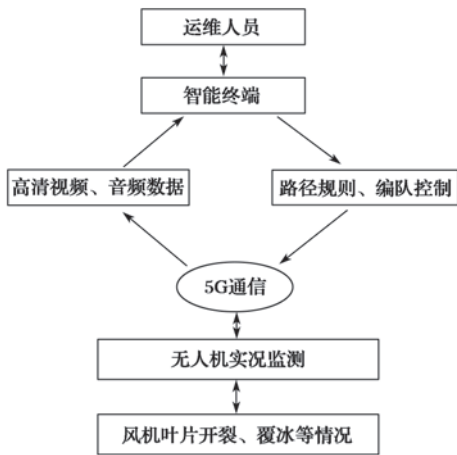


图 1 基于无人机的风电机组叶片巡检示意
Fig. 1 Schematic diagram of UAV based wind turbine blade inspection

2.2 基于数字孪生技术的风电机组数字化仿真系统

风电机组数字化仿真系统是从风电场后端的“运维定检”视角，通过物联网传输实时数据，基于数字孪生技术，将数字风电机组与实际风电机组逐一映射，呈现“如影随形”的仿真效果。该仿真系统规避了机组通达条件的复杂性与环境特殊性，可降低运维成本，实现风电机组的故障复现和寿命预测。图 2 所示为风电机组部件级数字化仿真的风电机组直驱变桨距数字孪生仿真模型^[9]。首先，该模型通过安装在风电机组直驱变桨距系统物理实体中的传感器及数据采集与监视系统，完成对风电机组变桨系统关键数据的采集。然后，数字孪生映射模型将数据传送到风电机组直驱变桨距系统数字孪生虚拟空间。最后，虚拟空间通过更新传感器数据和分析历史运行数据，进行多学科、多物理量、多尺度、多概率的仿真，以反映相应风电机组直驱变桨距系统物理实体装备的生命周期过程。

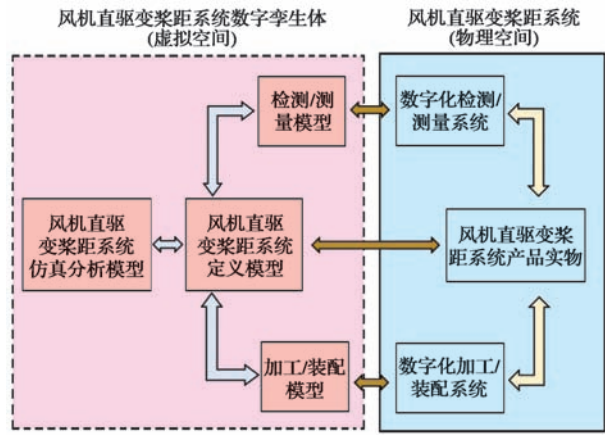


图 2 风电机组直驱变桨距系统数字孪生模型
Fig. 2 Digital twin model of wind turbine direct drive variable pitch system

2.3 基于信息化系统的企业资产管理（enterprise asset management, EAM）系统

该创新点兼顾“资产管理”和“备品备件”两个关键要素，通过各信息系统的互通互联实现对现场运维的管控，使故障处理形成闭环；并在故障处理过程中，不断完善故障知识库，使行业经验得以传承^[10]。

图 3 为基于信息化系统的风电场企业资产管理系统架构示意图。其针对风电机组运维特点，从预测性、预防性和故障维修 3 个方面着手，借助远程监控系统、高频采样系统和振动监测系统，获得风电机组运行日志数据并进行预测性分析；同时，通过设备、耗材周期运维管理，对风电机组故障进行预防性维护，并利用专家经验库进行线上、线下方式知识共享、信息提

醒与远程指导，从而获得知识沉淀和故障 Top 统计（即故障发生频次排行榜）。最终实现对风电机组的根因分析与专项改造，达到降低排障难度和耗材率、提高风电机组维修效率的目的。

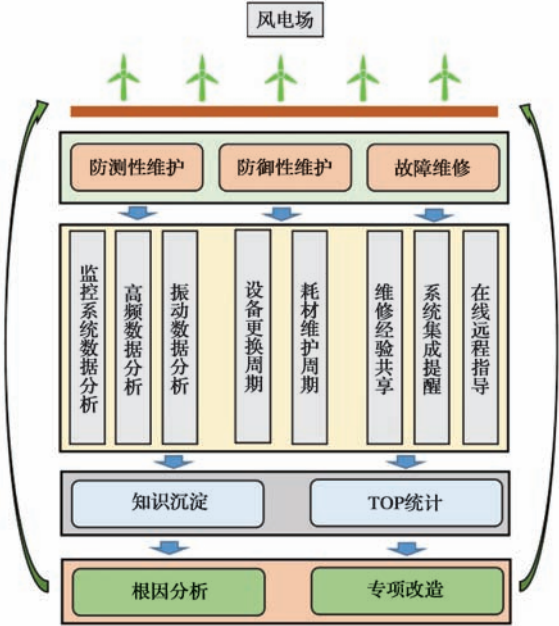


图 3 基于信息化系统的风电场企业资产管理系统架构
Fig. 3 Architecture of enterprise asset management system for wind farms based on information system

2.4 基于智能系统方式的故障预测与健康管理（prognostics and health management, PHM）系统

该创新点着眼于风电机组的“延寿改造”问题，基于智能系统方式对风电机组关键部件进行诊断和预测，有利于提升风电机组的可靠性与延长整个风电系统生命周期^[11]。

相对于传统的基于传感器方式的预测方式，PHM 基于智能系统方式，通过对风电机组状态的智能监测，利用机器学习模型算法，预先诊断风电机组部件或系统完成其功能的状态，并根据诊断、预测信息及使用需求，评估风电机组健康状态，对运维作业做出合理决策，实现对风电机组的健康维护与管理。例如风电机组齿轮箱温控阀异常检测模型，其用于识别齿轮箱温控阀早期故障特征，实现在风电机组报油温高故障 / 警告前发现温控阀故障，帮助运维人员提前做好维修计划制定、配件准备、故障检修时机选择等工作，减少非计划停机时间，最大程度地减小该故障对风电机组发电量的影响。该模型的算法流程如图 4 所示^[12]。通过数据测试验证，温控阀异常检测模型能够提前 3 个月发现机组温控阀异常问题，使得风电场能够及时准备相关配件，避免因等待配件而造成发电量损失。

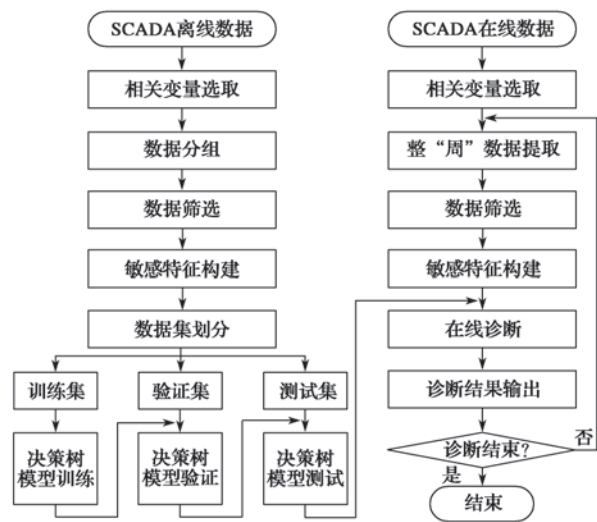


图 4 温控阀异常检测模型

Fig. 4 Detection model for temperature control valve anomaly

又如风电机组叶根螺栓断裂检测模型。由于叶根螺栓位置并未安装传感器，因此，一旦发生螺栓断裂，系统无法对该故障进行实时警报。只有当叶根螺栓断裂后触发其他警报时，风电场的业务人员才能够得到该故障信息。通过对叶根螺栓断裂故障的检测，能够提前获知叶根螺栓故障状态，及时安排检修，避免了因延误修理而造成重大事故，满足风电场业务人员对设备的运维及时性需求。图 5 所示为叶根螺栓断裂检测流程^[13]。其利用不同风电场的数据建模并对相应风电场进行数据测试。实际应用结果表明，采用该模型进行风电场风电机组叶根螺栓断裂故障预测，其准确率可达到 90% 以上，能够及时、有效地发现机组叶根螺栓断裂的情况，从而避免了叶根螺栓断裂所造成的其他更严重的损害。

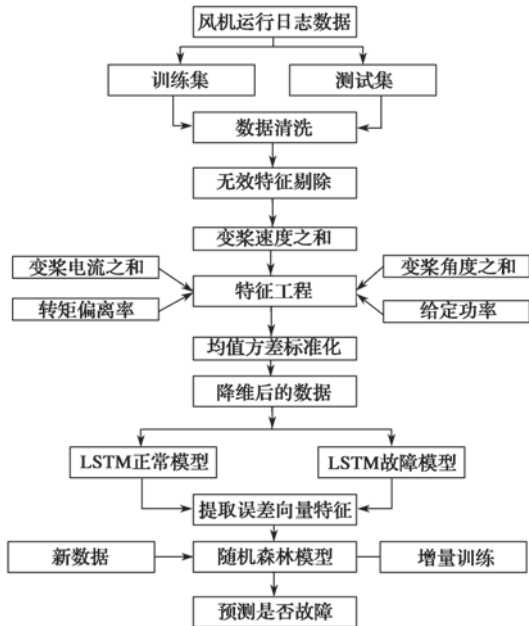


图 5 叶根螺栓断裂检测流程

Fig. 5 Detection process of blade root bolt fracture

2.5 基于整机厂技术实力的后市场运维体系

该创新点是从技术支持层面考虑，针对后市场运维服务品质问题，依托以整机厂为代表的服务商的技术实力，通过发电量担保的手段，有效规范市场^[14]。同时，整机厂通过打造覆盖全生命周期的机组智能运维解决方案，可有效实现机组提质增效，甚至可参与分享担保外的发电收益，与用户一起实现互利共赢，最终依托智能运维技术实现商业模式的拓展。

2.6 基于大数据平台的发电量后评估及增效潜力评估

该创新点从风电场整体的提质增效出发，考虑发电机组的发电量提升和潜力评估。对于在役机组而言，其发电量损失主要包括发电性能退化造成的损失以及可靠性降低造成的损失^[15]。发电量后评估模型依托大数据平台丰富且完备的数据信息，从风电场、单台机组、故障等多维度评估机组及风电场的电量损失，精准定位电量损失源由，明确机组可靠性提升项点。而增效潜力评估模型，从偏航、叶片对零、安全增功、高风穿越及切入优化等维度评估机组发电性能提升潜力，有针对性地对机组进行优化升级，以提升发电量。通过采用类似评估手段，对南方某一容量为 50 MW 的低风速风电场展开评估，在明确各台机组的发电量提升项点并优化的情况下，该风电场年发电量可提升 4%，约 4.40×10^6 kW·h，每年能够额外增加 260 多万元的经济收益。

2.7 基于工业互联网的集团和区域级集约式集控中心

集约式集控中心是从集团层面或区域层面考虑风电运维周期内规模效应。集团层定位于经营和管控，实现统一决策、管控和对下服务；区域层定位于区域化的经营管理，其一方面强化运营管控和决策分析，另一方面搭建共享服务，不仅包括集团内部的共享服务，同时也包括跟客户以及供应商高度协同的共享服务^[16]。

纵观风电场运维技术脉络，当前风电场运维模式处于变革期，随着智能化、数字化新基建技术的不断发展，风电智能运维技术应用将更加广泛。

3 新基建时代下风电场智能运维体系建设

在新基建时代背景下，传统风电运维技术将与物联网、数字孪生、人工智能、边缘计算、云计算、无人机、5G 通信、智能终端等新技术进行深度融合，

决策中心，并建立专家经验积累库进行远程支持，实现资源合理配置及风电机组大数据分析优势对比、能量管理策略宏观优化。同时，构建风电场体检、产能分析等平价时代机组合同履约风险跟踪保障体系，最终达到整体提升风电机组发电量、合理降本增效、价值大幅增长的目的。

综上所述，未来的风电运维服务，将是基于新基建技术，并利用风电机组智能故障诊断、大数据预警防护、损失电量监测等智能化、数字化手段构建风电智能运维生态体系，实现风电运维的降本增效。同时，智能化的风电运维技术也将成为未来风电企业的核心竞争力。

4 结 语

随着风电行业大规模、快速发展，风电场低成本运维需求越来越强烈，传统的风电场运维模式在风电平价政策下所存在的局限性也随之突显。本文分析了当前风电场运维技术现状，认为在国家提出大力发展新基建的时代背景下，未来的风电场运维技术将融合大数据、人工智能、工业互联网、5G 通信等新基建技术，并利用智能化、数字化技术手段，对风电场实行集约式统一管理，实现有效降本增效；并从风电机组、风电场及场群角度出发，分析了不同维度下的风电运维智能化发展方向，构建了风电智能运维生态体系，在一定程度上为风电行业“服务型制造”的转型之路提供参考。

参考文献：

[1] 王煜. 基于大数据的风电场电力系统运维服务能力建设研究[J]. 中国高新技术企业, 2017(10): 115-116.

[2] 秦旭, 和志博, 白玉辉. IT 技术在风电运维中的应用[J]. 中国高新科技, 2020(19): 100-102, 107.

[3] 秦杰. 风电整机商集中运维模式建设研究[J]. 中外能源, 2021, 26(1): 28-33.

QIN J. Research on the Construction of Centralized Operation and Maintenance Mode of Wind Power Equipment Manufacturers[J]. Sino-Global Energy, 2021, 26(1): 28-33.

[4] 王芳. 完备运维体系，给风电健康一生[J]. 风能, 2020(3): 26-31.

[5] 肖新营. 风电运维现状及发展趋势[C]// 中国农业机械工业协会风力机械分会. 第六届中国风电后市场交流合作大会论文集. 北京: 中国农业机械工业协会风力机械分会, 2019: 254-258.

[6] 肖新营. 风电机组运维现状思考[J]. 风能产业, 2017(3): 57-58.

[7] 佚名. “新基建”进入《2020 年政府工作报告》[J]. 科技创新与品牌, 2020(12): 15.

[8] 于海洋, 董石磊, 张学智. 基于 5G 网联无人机的智慧巡防应用研究[J]. 电子技术应用, 2021, 47(5): 11-13, 18.

YU H Y,DONG S L,ZHANG X Z. Research on Intelligent Patrol Application based on 5G Networked Unmanned Aerial Vehicle[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(5): 11-13, 18.

[9] 中国矿业大学. 一种基于数字孪生的风机直驱变桨距系统及优化设计方法: CN201811316348.6[P]. 2019-02-19.

[10] 王波. 基于 EAM 系统在风电场设备管理的应用与实践[J]. 中国科技博览, 2014(38): 51-52.

[11] 王华. 风电规模发展后运维服务业的机会与对策研究[J]. 电子测试, 2016(22): 113-114.

WANG H. Study on the Opportunity and Countermeasure of Operation and Maintenance Service Industry after the Development of Wind Power Scale[J]. Electronic Test, 2016(22): 113-114.

[12] 陈刚, 陈亚楠, 闫慧丽, 等. 风机齿轮箱散热故障的早期诊断模型构建方法及诊断方法: CN110940514B[P]. 2021-09-03.

[13] 陈亚楠, 韩德海, 闫慧丽, 等. 一种叶根螺栓断裂故障检测方法及其介质: CN109681391A[P]. 2019-04-26.

[14] 黄猛. 基于大数据和机器学习模型的风力发电机组健康管理研究[J]. 机械制造, 2017, 55(8): 37-39.

[15] 韩林峰. 浅析大数据分析在风电场运维模式中的应用[J]. 能源与环境, 2021(2): 63-64, 81.

[16] 吕明明. 集控中心在风电企业管理中的创新研究[J]. 神华科技, 2019, 17(5): 3-7.

[17] 王璇, 巫发明, 王磊, 等. 低风速风电机组多学科优化设计[J]. 大功率变流技术, 2013(3): 16-20.

WANG D, WU F M, WANG L, et al. Multidisciplinary Design Optimization of Low Wind Speed Wind Turbine[J]. High Power Converter Technology, 2013(3): 16-20.