

海上风电运维中的大数据管理和应用

雷振¹, 王世全², 温钊³, 张方红³

(1.中国船舶集团有限公司 北京 100097; 2.重庆海装风电工程技术有限公司 重庆 400021;
3.中国船舶集团海装风电股份有限公司 重庆 401122)

摘要:为促进海上风电的降本增效和可持续发展,文章基于海上风电运维管理的内容和存在的问题,分析大数据在风电运维中的应用和风电运维管理的发展趋势。研究结果表明:海上风电运维管理主要包括机组运行管理、机组运行数据管理、项目资源管理、可达性管理和成本管理,目前在成本、运维模式和可达性等方面存在问题;通过将工业数据与大数据相结合以及创新运维模式和管理方式,有助于风机预防性维护和风场辅助决策,有效提高风电运维效率、降低风电运维成本和提升发电量;未来的风电运维管理将通过转变模式进一步加强数字化和可视化运维,通过装备升级提高运维的可达性和效率以及通过提高质量多角度降低运维成本。

关键词:大数据;风力发电;海上风电;预防性维护;辅助决策

中图分类号:P75

文献标志码:A

文章编号:1005-9857(2021)12-0093-05

Big Data Management and Application in Offshore Wind Power Operation and Maintenance

LEI Zhen¹, WANG Shiquan², WEN Zhao³, ZHANG Fanghong³

(1.China State Shipbuilding Corporation Limited, Beijing 100097, China;
2.Chongqing Haizhuang Windpower Engineering & Research Co., Ltd., Chongqing 400021, China;
3.CSSC Haizhuang Windpower Co., Ltd., Chongqing 401122, China)

Abstract: In order to promote the cost reduction, efficiency increase and sustainable development of offshore wind power, based on the content and existing problems of offshore wind power operation and maintenance management, this paper analyzed the application of big data in wind power operation and maintenance and the development trend of wind power operation and maintenance management. The results showed that offshore wind power operation and maintenance management mainly included unit operation management, unit operation data management, project resource management, accessibility management and cost management. At present, there were problems in cost, operation and maintenance mode and accessibility. By combining industrial data

收稿日期:2021-01-11;修订日期:2021-12-04

基金项目:工业和信息化部数据采集和新能源设备上云、风电机组管理和智慧风场运维云应用项目(工信厅信软函[2018]279);工业和信息化部重点工业设备上云解决方案应用推广公共服务平台项目;工业和信息化部“5G+工业互联网”高质量网络和公共服务平台项目。

作者简介:雷振,高级工程师,研究方向为自动化

通信作者:张方红,研究员,博士,研究方向为大数据分析

with big data and innovating operation and maintenance mode and management mode, it was conducive to preventive maintenance of wind turbine and auxiliary decision-making of wind farm, effectively improve wind power operation and maintenance efficiency, reduce wind power operation and maintenance cost and increase power generation. The future wind power operation and maintenance management would further strengthen the digital and visual operation and maintenance by changing the mode, improve the accessibility and efficiency of operation and maintenance through equipment upgrading, and reduce the operation and maintenance cost from multiple angles by improving the quality.

Keywords: Big data, Wind power generation, Offshore wind power, Preventive maintenance, Auxiliary decision-making

0 引言

经过 30 余年的发展,风电已成为全球能源向绿色低碳转型的重要方向以及推动能源转型的重要力量。根据全球风能理事会(GWEC)最新发布的报告^[1],2019 年全球共安装 22 893 台风电机组,来自 33 个不同的制造商,新增装机量超过 63 GW,创造风电行业供应侧的历史新高。海上风电作为可再生能源开发利用的重要方向之一,具有风力平稳、风速高、发电效率高、单机装机容量大、占用空间小和不扰民等优点,成为全球风电发展的研究热点^[2]。

我国《关于完善风电上网电价政策的通知》明确指出自 2021 年起风电逐步实现与煤电平价上网的目标^[3-4],风场业主对收益率和度电成本越来越重视^[5]。因此,提高风机利用率、减少风机故障停机时间、准确预测风机故障、快速维修风机故障、高效判断风机状态和提高运维排程的智能性等对提高发电收益和降低运维成本具有十分重要的意义。

近年来大数据在互联网行业中快速发展,在模式识别、文本处理和状态预测等方面取得一系列应用成果。工业数据结合大数据方法在风机预防性维护和风场辅助决策方面应用广泛,有利于提高风电运维效率、降低风电运维费用和提升发电量。

1 海上风电运维管理现状

1.1 管理内容

海上风电运维管理主要包括机组运行管理、机组运行数据管理、项目资源管理、可达性管理和成本管理。

(1)机组运行管理是指为达到项目合同的运行考核要求,通过采取一系列运维措施,保证风电机组正常运行的管理。通常采取的运维措施包括日常维护和计划性维护^[6]等,其中日常维护是指日常巡检以及风电机组由于长期运行设备或电路本身出现告警后采取的维护措施,计划性维护是指在半年周期、1 年周期或 5 年周期等固定周期采取的维护措施。

(2)机组运行数据管理是指在风电机组长期运行过程中,对机组运行数据的采集、传输、存储和分析等管理。通过对机组运行数据的分析,一方面,可建立一系列预警诊断模型,实时评估机组的健康状态,提醒并指导维护人员进行预防性维护,降低机组告警发生率^[7];另一方面,可在告警发生后远程指导维护人员作业,提高运维效率。此外,对机组运行数据的分析还可为运维业务成本核算提供依据。

(3)项目资源管理是指对项目人员、物料和交通工具等的管理。一方面,要保证项目资源充足,并加强物资供应链管理,使项目资源满足风电运维需求;另一方面,要合理调度项目资源,在高效完成运维作业的基础上尽可能少地消耗资源。

(4)可达性管理是指在执行运维工作前对于可达性的管理,如预测预警极端风况、雾霾、地震和冰雪等,对于海上风电运维还须考虑潮汐和海况等,从而保证人员安全和顺利地完运维作业。

(5)成本管理是指对风电运维成本的管理。降本增效是风电行业早就提出的发展方向,也是亟待

解决的问题。海上风电运维环境复杂且交通不便,因此运维成本较高。

1.2 存在的问题

1.2.1 成本

风电机组尤其是海上风电机组的故障率居高不下,据统计海上风电的运维成本约为陆上风电的 2 倍^[6]。海上风电运维受天气和海况影响大,导致作业窗口期较短且较少以及运维时间不受控,风电机组在发生告警后难以保障抢修作业,发电量因此受到影响。

在海上恶劣环境影响下,电气元件和机械部件失效更快,导致运维次数和物料消耗增加。由于风电运维工作具有不确定性,项目往往备有充足的物料库存,但实际上一部分物料的使用频次很低,导致出现一大批积压库存并造成一定的库存成本。此外,在涉及大部件更换和运输时,风电设备安装船和运输船等的使用成本较高,且受环境和作业区域的限制,大部件通常更换周期较长,发电量受到严重影响。因此,高成本是风电运维亟待解决的问题。

1.2.2 运维模式

目前大部分风电仍采用传统的运维模式,即通过人员在集控中心监控机组运行状态^[8],当告警发生后,通过分析机组运行数据和根据历史经验制定维护策略,然后对项目资源进行调度,并组织人员进行告警处理。在这种情况下,机组不规律的告警导致停机次数增加,同时导致机组发电量、可利用率和平均无故障运行时间(MTBF)降低;由于根据历史经验的调度在很大程度上无法实现维护策略的最优化,最终也会导致维护成本增加。因此,传统运维模式与市场要求之间产生矛盾。

1.2.3 环境和可达性

风电场通常建设在风资源较好的地区,但同时也是环境相对恶劣的地区。海上风电场涉及的环境因素更多,海上天气复杂多变且灾害性天气频发,因此海上风电场或潮间带风电场的运维对窗口期和可达性的要求更高,同时受天气、海况和潮汐等的影响。对于风电运维交通工具即运维船也有特殊要求,如需要更快的航行速度、更强的靠泊能力和更强的适应恶劣海洋环境能力,才能有效降低海上运维时间和增加作业窗口期,达到提升运维效

率和发电效率的目的。

2 大数据在风电运维中的应用

2.1 风机预防性维护

风机预防性维护是指在机组监控系统(SCADA)报出故障前或机组因故障停机前对机组进行有针对性、有计划和有目标的修补方法,以减少风机故障停机时间、提高机组利用率和提高发电量^[9](图 1)。

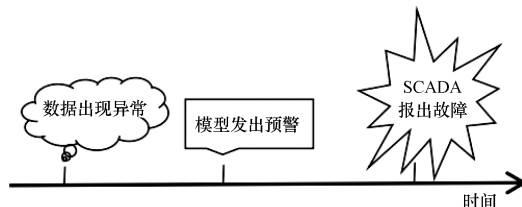


图 1 风机预防性维护

为实现风机预防性维护,须提前识别风机故障特征和准确评估风机状态,从而对显著的故障特征发出具有针对性的故障预警。通过累计大量风机运行的历史数据,筛选正常运行状态下的数据,通过决策树和神经网络等大数据建模方法建立模型,选择合适的特征变量,利用机器学习算法模拟风机各大部件的正常运行状态,并与真实的机组传感器数据进行对比,当风机运行数据出现异常时发出预警。2019 年的成功预警模型如表 1 所示。

表 1 2019 年的成功预警模型

模型名称	风场名称	风机 编号	模型预警时间 (月—日)	现场发现时间 (月—日)
主轴后轴承 温度异常预警	新疆 某风场 A	6 #	03—12	03—31
主轴前轴承 温度异常预警	云南 某风场 A	26 #	11—29	12—18
发电机滑环 温度异常预警	新疆 某风场 B	2 # 9 # 1 #	09—03 01—01 04—02	10—05 08—20 06—04
发电机绕组 温度异常预警	云南 某风场 B	22 #	03—19	04—01

2.2 风场辅助决策

利用大数据分析方法,结合工程运维中实际遇到的问题,对运维过程中的棘手问题进行分析建模

并生成解决方案,从大量数据样本中提取故障特征并寻找故障原因,为高效运维提供科学依据,实现风场辅助决策^[10-11]。

2.2.1 优化运维排程

海上风电运维成本在整个项目成本中占比较大,同时运维任务的开展受到波浪、潮汐、风速和能见度等因素的影响,因此合理安排运维时间和运维顺序对于降低运维成本和提高运维效率具有十分重要的意义。随着海上风电场向大型化发展,同一海域的风机数量越来越多,运维任务越来越繁重,

通过人工安排运维时间和顺序越来越困难。

针对该问题,利用多年海上风电场运维经验,结合人工智能和机器学习等算法,构建考虑运维成本、运维时间、天气、航线、故障级别和备品备件等情况的最佳运维路线生成方案。在运维过程中可选择路程成本最低、发电量损失最少和综合成本最低等不同模式,生成不同的智能化运维排程策略。

选择综合成本最低的排程策略,将历史排程路线与优化排程路线进行对比,单次排程的优化结果如表 2 所示。

表 2 单次排程的优化结果

排程方法	发电量损失		路程成本		综合成本	
	合计/(kW·h)	优化率/%	合计/元	优化率/%	合计/元	优化率/%
历史人工	106 615.19	—	24 620.16	—	115 243.07	—
智能优化	74 984.38	29.67	23 409.34	4.92	87 146.06	24.38

排程优化的主要优化点在于船只路线和任务开始时间,在 20 台风机、2 艘运维船、14 个告警任务和 34 个巡检任务的排程中,1 个月可降低综合成本约 28 万元。

2.2.2 故障分布统计

SCADA 故障记录和运维记录中包含大量的故障类型、故障时间和风场信息等内容,通过统计分析这些数据可获得风机的故障频次、故障率和故障间隔时间等信息。重点关注高频故障并展开专题研究,确定故障原因,寻找解决方法;验证油品和碳刷等的更换周期,探索适合当地气候和海拔的更换周期;从海拔、地域和机型等不同维度比较故障率,针对不同的故障率采用不同的运维策略。

利用 SCADA 故障记录,结合风场地理位置等信息,统计不同海拔高度下每台风机的年平均故障次数,可以看出风机故障次数随着海拔的增高而增多,可为合理准备易损件和油品提供数据支持(表 3)。

表 3 不同海拔高度下的风机年平均故障次数

海拔高度/m	故障次数/次
低于 2 200	50.15
2 200~3 000	64.47
3 000~4 000	103.80

3 风电运维管理的发展趋势

在风电运维的快速发展中,行业与企业对运维管理的要求越来越高,因此亟须更加重视风电运维管理存在的诸多问题,从多个方面入手,共同助力解决问题。

3.1 转变模式,进一步加强数字化和可视化运维

随着物联网和大数据的发展,事后运维模式的低效率逐渐暴露,数字化、信息化和智能化已成必然趋势,智慧运维将逐渐在风电运维管理中占据主导地位。目前大部分风电企业都正在开发或已经开发出智能运维管理系统。一方面,利用数字化和信息化的管理搭建大数据平台,实现风电场远程实时监控、数据采集与存储、气象预测、海况预测、风资源评估、数据挖掘分析、故障智能诊断、仿真分析、风电机组全生命周期智能健康预测预警以及运维策略优化等功能;另一方面,通过 3D 可视化远程运维管理,实时查看风电场和风电机组设备的状态,实现风电场的集约化管理和项目资源的远程在线管理。

通过数据对运维策略进行分析计算,并输出使发电量损失最少和运维成本最低的运维策略;通过对项目资源的数据分析,提升资源供应和协同,降

低项目库存,提高物资周转率,从侧面降低企业的运维成本。

3.2 升级装备,提高运维的可达性和效率

一方面,升级与运维可达性相关的装备,如海上风电运维管理涉及的运维船,运维船的抗风浪等级在很大程度上决定其能否出海和人员乘船舒适度,航行速度决定其能否高效快速到达风机机位,因此专业运维船将是必然趋势;另一方面,升级与运维效率相关的装备,加速智能检测装备、智能调试装备、水下机器人、智能力矩校验装备和无人机等智能装备的研发,不仅能够辅助人员提高运维效率,而且能够检测水下桩基腐蚀和锈蚀等非常规和人员难以触及的信息。

3.3 质量先行,多角度降低运维成本

风电运维成本主要来自发电量损失和实际运维过程产生的成本,如车辆和船舶租赁成本、油耗成本、人工成本以及物资成本。风电运维成本的首要影响因素就是机组质量,这与机组本身设计的可靠性和运维质量有关。通过奖惩结合的形式提高人员积极性,提高个人和团队的运维素质,从而提高风电运维质量、降低机组停机频次和减少发电量损失。对于海上风电场或大型陆上风电场而言,运维策略的优化能在很大程度上降低运维成本。此外,上述多个管理发展思路通过提高运维效率的方式也能在一定程度上减少发电量损失和降低运维成本。

4 结语

通过将工业数据与大数据相结合以及创新运

维模式和运维管理方式,可有效提高风电运维效率、降低风电运维成本和提升发电量。在风机预防性维护方面,可提前发现隐藏故障,减少风机停机频次和风功率损失;在风场辅助决策方面,通过考虑风速、波浪、潮汐、运维成本和备品备件等信息,可合理安排运维路线,提高运维可达性和运维效率。

参考文献

- [1] GWEC.Global wind power market-supply side report 2019[R]. Brussels:Global Wind Energy Council,2020.
- [2] 赵高强.大规模风电项目开发及并网运营优化管理研究[D].北京:华北电力大学,2013.
- [3] 灵溪.国家发改委完善风电上网电价 2021 年陆上风电全面实现平价上网[J].电力系统装备,2019(11):28-29.
- [4] 张典.基于环境正外部性的风电发电侧定价机制研究[D].宜昌:三峡大学,2018.
- [5] 姚中原.我国海上风电发展现状研究[J].中国电力企业管理,2019(22):24-28.
- [6] 周琼芳.基于平价上网的海上风电运维策略分析[J].科技创新与应用,2019(22):126-128.
- [7] 廖雯竹.基于设备衰退机制的预知性维护策略及生产排程集成研究[D].上海:上海交通大学,2011.
- [8] 刘晓姣.基于模型预测控制算法的风电场有功控制[D].成都:电子科技大学,2015.
- [9] 刘晓波.风电设备运行预防性维护工程项目绩效评价研究[D].北京:华北电力大学,2012.
- [10] 曾平良,韩家辉,周勤勇,等.间歇式电源并网分析与规划辅助决策平台[J].南方电网技术,2016,10(3):35-41.
- [11] 徐进,孙静,牛倩.基于主动预防策略的风电场智能运维管理解决方案[J].水力发电,2020,46(3):104-107.