

DOI: 10.16513/j.2096-2185.DE.2308210

智慧风电系统架构与评价体系

曹庆才, 高伟, 郭鹏, 张舒翔

(大唐可再生能源试验研究院有限公司, 北京市西城区 100052)

摘要: 针对现有智慧风电体系缺乏全面的关键指标、评价体系, 以及未从全生命周期、不同层级统筹考虑智慧风电建设的问题, 开展了智慧风电全生命周期建设与管理研究。提出了关键运营指标、数据管理成熟度、员工幸福感等7大方面的关键指标特征, 从关键要素、实现过程和应用层次全面阐述了智慧风电系统架构, 并建立了智慧风电评价体系, 为智慧风电全生命周期建设、运营、评价提供依据。

关键词: 智慧风电; 关键指标特征; 系统架构; 评价体系

中图分类号: TK 89 文献标志码: A

Architecture and Evaluation System of Smart Wind Power System

CAO Qingcai, GAO Wei, GUO Peng, ZHANG Shuxiang

(Datang Renewable Energy Test and Research Institute Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100052, China)

ABSTRACT: In view of the lack of comprehensive key indicators and evaluation system of the existing smart wind power system, and the lack of overall consideration of the construction of smart wind power from the whole life cycle and different levels, a study on the construction and management system of smart wind power in the whole life cycle was carried out. The paper puts forward the characteristics of seven key indicators, including key operating indicators, data management maturity, and employee happiness, comprehensively expounds the smart wind power system architecture from the key elements, implementation process and application level, and establishes the smart wind power evaluation system, which provides the basis for the construction, operation and evaluation of the whole life cycle of smart wind power.

KEY WORDS: intelligent wind power; key index characteristics; system architecture; evaluation system

0 引言

能源行业转型升级是实现我国2030年碳达峰、2060年碳中和目标的重要路径和必然选择^[1-3]。目前各大发电集团风电资产管控面临风电智能化运维水平相对不高, 运维费用偏高, 盈利水平较低的问题, 如何把数字化、信息化、智能化作为提升产业竞争力的技术基点, 构建全新的、以数字技术为核心的、富有活力和创新性的智慧风电体系成为发展

的重点^[4]。文献[5]从体系架构和主要功能等方面重点介绍了国家能源集团火电和水电智慧电厂的研究与应用, 不完全适用于智慧风电领域。文献[6-8]主要研究了智慧海上风电场的架构体系, 从智能设备、智能控制等方面研究了海上智慧风电场建设。文献[9-13]介绍了各大发电集团在区域集控中心开展的智慧化建设工作, 通过集控中心监控平台搭建, 实现风电场“无人值班、少人值守、区域管理”的集中监测和远程控制管理模式。文献[14]从企业层面研究了智慧风电场的工业互联网架构, 并进行了实践应用。文献[15-17]研究了智慧风电在智慧运维方面的关键技术, 以及体系架构建设。文献[18]介绍了集团级大数据中心在智慧风电运营关键技术研究及应用。当前国内外对智慧风电的研究, 缺少智慧风电关键的指标特征以及评判智慧风电水平的评价体系, 同时大多侧重于集团级、区域级、场站

基金项目: 中国大唐集团新能源科学技术研究院科技项目(基于集团新能源监控与大数据中心的高级应用研发项目)

Project supported by Science and Technology Project of China Datang Corporation Renewable Energy Science and Technology Research Institute (Advanced Application Research and Development Project Based on the Group's New Energy Monitoring and Big Data Center)

级、设备级某一层级的智能化研究,或关注于风电全生命周期某一阶段的智能化技术,缺乏从全生命周期、不同层级统筹考虑智慧风电建设。

为此,本文开展智慧风电全生命周期建设与管理研究,设立关键运营指标、数据管理成熟度、员工幸福感等7大方面的关键指标特征,从关键要素、实现过程和应用层次全面阐述智慧风电系统架构,并建立智慧风电评价体系,为智慧风电全生命周期建设、运营、评价提供依据。

1 智慧风电及关键指标特征

智慧风电旨在提升风电管理效率、经济效益和员工获得感、幸福感、安全感,促进高质量发展,以新一代信息技术与风力发电技术深度融合为本质,以数字化、网络化、智能化、无人化为方向,以数据、平台、网络、算法为关键要素,具有全域感知、实时泛在、多源融合、自主精益、高效协同等特征的工业互联网形态。

1.1 总体特征

新一代信息技术和风电技术实现完全融合,风电场管理实现机器智能自主决策,极端情况下需要人工干预,智慧化在风电发展和运营方面发挥了主要作用。

1.2 关键运营指标

风电场能量可利用率 $\geq 99\%$,风电机组平均无故障运行时长 $\geq 6\,000\text{ h}$,年度台均故障次数 ≤ 1 ,维护人数 $\leq 0.01\text{ 人/MW}$ 。

1.3 数据管理成熟度

完全实现数据格式的标准化与数据管理的规范化,数据编码已在风电场广泛应用,数据在提升风电场的生产运营和管理方面发挥了主要作用,数据被认为是企业生存和发展的基础,相关管理流程能实时优化,能在行业内进行最佳实践分享。

1.4 数字化基础设施

数字化基础设施已健全,完全实现场站侧、集控侧、集团侧的算力优化部署,关键基础设施自主可控率达到 100% ,应采用5G或更高等级的通讯技术。

1.5 智慧化对促进规划、基建、生产等的作用

智慧风电体系架构需涵盖风电全生命周期的3个阶段,即项目规划设计阶段、项目建设施工阶段及项目生产经营阶段,智慧化在这3个阶段都发挥了重要作用,如图1所示。



图1 风电全生命周期智慧化

Fig. 1 The intelligence of the whole life cycle of wind power

在规划设计阶段,大数据和人工智能技术在风资源获取和风电项目工程优化设计方面取得主要作用,人工智能自动判断最佳地理资源布局,完全实现数字化、一体化设计;人工智能技术能够对风电机组的类型选择和容量选择发挥主要作用,关键设备选型采用自感知、自学习、自决策、自执行、自适应的智能设备;风电监控系统设计已经包含对全部的指标进行智能分析。

在基建阶段,已经建立基于数字孪生的三维可视化平台,人工智能技术可以对基建施工进行全天候安全管控和进度管控,完全实现各施工单位之间的统筹协调管理,完全实现土建工程和设备安装进度等的可视化,并对作业行为和作业质量进行全面的分析评价,设备制造阶段的质量信息、设备安装调试信息、风电场基建数据信息等资料完全实现数字化移交。

在生产运营阶段,基于数字孪生的三维可视化平台已经完全融合智能监控系统、智能巡检系统、智能运维排程系统、智能仓储系统、智能检修系统和远程专家支持系统等各类智能管理系统,能够精准判断各类突发状况,备件需求自动判断,智能算法自主优化,检修维护自主决策,设备运行状态评估、故障诊断的准确率达到 90% 以上,超短期、中短期功率预测精度分别达到 95% 、 90% 以上,完全实现“场站端无人值守,集控端少人值守”情况下的安全、经济、环保运营。

1.6 智慧化对风电运营及发展的作用

智能化水平完全满足风电运营及发展需求,应实现生产全面智能化、管理关键领域智慧化,系统具备自学习、自寻优、自决策、自执行、自适应的能力,全部设备建立了基于人工智能的算法模型,能够自动适应新能源发电企业内、外部环境,根据电网安全、气候变化、设备健康等影响因素的变化优化生产策略。

1.7 智慧化对员工幸福感的作用

智慧化在增加员工幸福感方面发挥主要作用,实现“集中监控、无人值守、区域运维、专业检修”,

电站一线生产员工常驻城市,关门电站自运行、自优化,仅极端情况下需返回电厂进行人工干预,一线生产员工对信息化、数字化便利程度非常满意。

2 智慧风电系统架构

本文从关键要素、实现过程和应用层次三个维度阐述智慧风电系统。三个维度相互融合、相互关联和支撑,最终形成完整的智慧风电体系,如图2所示。

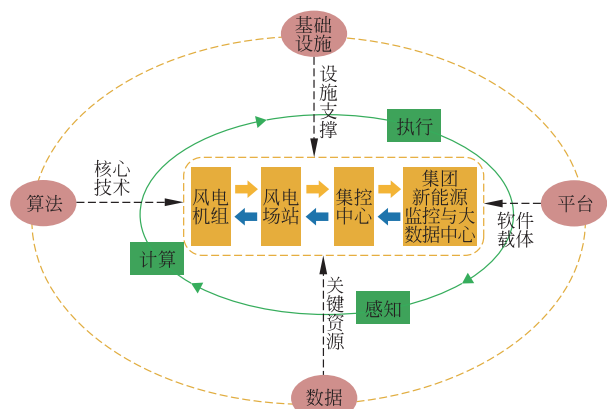


图2 智慧风电逻辑框架

Fig.2 Logical framework for intelligent wind power

2.1 关键要素

智慧风电应由智能风电数据、智能风电基础设施、智能风电算法和智能风电平台这4个关键要素组成。

(1) 智能风电数据。利用智能感知终端等方式,在风电设备、风电场站等采集得到的环境状态、设备状态、企业管理等信息,涉及风电生产管理全过程。海量多维高质量的数据是风电智能化的关键资源和根本驱动力。

(2) 智能风电基础设施。面向风电行业数字化、网络化、智能化需求,通过专线通道及物联网、5G等新一代通讯技术,实现智能风电系统全要素、全生产管理过程的深度互联互通。高效、安全、准确、全面的通讯网络是实现智能风电的关键基础设施。

(3) 智能风电算法。为了实现风电生产管理过程所需的数据清洗、状态感知、性能分析、特征挖掘、趋势外推、优化决策等环节的智能化,需要采用的各类人工智能手段和方法。先进的算法是实现智能风电的核心技术。

(4) 智能风电平台。海量风电生产管理数据、各类风电生产设备及存储/计算/通讯设备、云计

算/边缘计算、高级智能应用程序等各类要素和资源的载体,支撑各类资源的泛在连接与汇聚、弹性供给、高效配置,实现风电生产过程分析与智能决策、新技术融合扩展等服务的综合管理,为智能风电系统的高效、可靠、安全运转以及前沿性技术的实施提供支撑性服务。

2.2 实现过程

智慧风电的实现过程应由感知、计算和执行这3个环节组成。

(1) 感知是指通过广泛部署智能感知终端与数据采集设备,实时监测风电生产管理过程中的全要素、多维度、多尺度状态信息。

(2) 计算是指采用机器学习、启发式优化等先进智能算法,以全域“感知”得到的海量数据为基础,开展数据清洗、数据分析、状态评估与优化决策、模型更新升级等大规模运算工作,支撑智能风电系统各个层级的智能化生产与管理。

(3) 执行是指根据“计算”得到的信息实时调整风电生产管理过程中设备及人员的工作状态和运营模式等。

2.3 应用层级

智慧风电的应用层级应分为风电机组、风电场站、集控中心、新能源监控与大数据中心这4个层级,不同层级上的功能侧重有所不同,如图3所示。

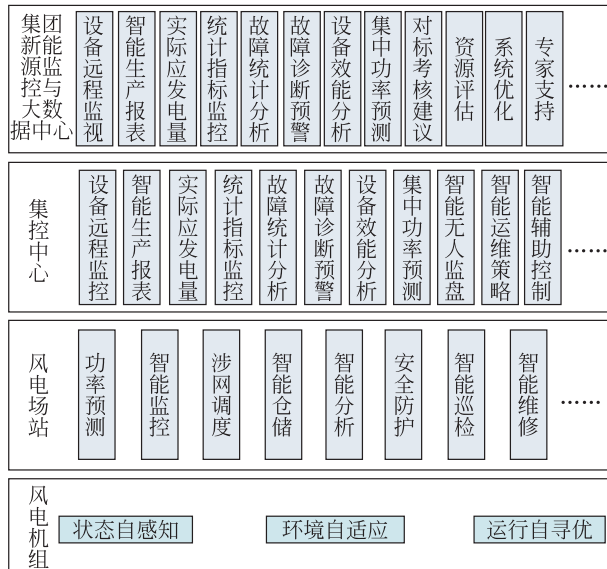


图3 智慧风电功能架构

Fig.3 Smart wind power functional architecture

(1) 风电机组。应具备状态自感知、环境自适应和运行自寻优等智能化功能。

(2) 风电场站。应具备功率预测、智能监控、涉网调度、智能仓储、智能分析、安全防护等功能,形

成风电场站生产和管理过程的智能化。

(3) 集控中心。应具备远程智能监控、区域智能协同运行与智能化设备维护等功能,实现从单一风电场智能化向区域智能化的提升。

(4) 集团新能源监控与大数据中心。应具备风电资源的全面监控与全局优化,实现集团从信息交互向资源与战略的全局优化演进。

3 智慧风电评价

3.1 评价原则

采用数据资料查验、基础设施评价、业务功能验证、专家验收评审等多种方式,对智慧风电建设情况进行评价。

重点针对数字化、信息化、智慧化相关技术在风电的应用范围、应用深度,以及上述技术的应用对风电场安全、经济、环保运营水平提升的成效进行评估。

3.2 评价内容

智慧风电评价总分为 2 000 分,其中总体特征 500 分,智能场站 1 500 分,1 200≤评价得分<1 500 为一星,1 500≤评价得分<1 800 为二星,评价得分≥1 800 为三星。

4 结论

智慧风电建设是能源行业转型升级的重要路径和必然选择。针对智慧风电研究,本文讨论了关键指标特征、系统架构和评价体系。

(1) 关键指标特征方面,主要涉及关键运营指标、数据管理成熟度、员工幸福感等 7 大指标,行业内第一次对以上指标进行量化,为后续智慧风电场评价工作的开展奠定基础。

(2) 体系架构方面,从关键要素、实现过程和应用层次这 3 个维度分析了智慧风电系统,开展了智慧风电机组、风电场站、集控中心、新能源监控与大数据中心这 4 个不同层级上的功能研究。

(3) 智慧风电评价体系方面,行业第一次建立了智慧风电评分标准,为评价智慧风电发展的阶段奠定了基础。

参考文献

[1] 姜红丽,刘羽茜,冯一铭,等. 碳达峰、碳中和背景下“十四五”时期发电技术趋势分析[J]. 发电技术, 2022, 43(1):

54-64.

JIANG Hongli, LIU Yuxi, FENG Yiming, et al. Analysis of power generation technology trend in 14th five-year plan under the background of carbon peak and carbon neutrality[J]. Power Generation Technology, 2022, 43(1): 54-64.

[2] 童光毅. 基于双碳目标的智慧能源体系构建[J]. 智慧电力, 2021, 49(5): 1-6.

TONG Guangyi. Construction of smart energy system based on dual carbon goal[J]. Smart Power, 2021, 49(5): 1-6.

[3] 王丽杰,张喜平,冯强,等. 基于云边协同的新能源监控与大数据平台构建[J]. 分布式能源, 2021, 6(1): 44-50.

WANG Lijie, ZHANG Xiping, FENG Qiang, et al. Construction of new energy monitoring and big data platform based on cloud-side collaboration[J]. Distributed Energy, 2021, 6(1): 44-50.

[4] 张树晓. 基于大数据平台的新能源智能化运营监管技术[J]. 分布式能源, 2022, 7(1): 74-82.

ZHANG Shuxiao. New energy intelligent operation supervision technology based on big data platform[J]. Distributed Energy, 2022, 7(1): 74-82.

[5] 崔青汝,李庚达,牛玉广. 电力企业智能发电技术规范体系架构[J]. 中国电力, 2018, 51(10): 32-36, 48.

CUI Qingru, LI Gengda, NIU Yuguang. Technical specification architecture of intelligent power generation in electric power enterprises[J]. Electric Power of China, 2018, 51(10): 32-36, 48.

[6] 卿子龙,卿良华. 海上风电机组智慧型监控管理系统[J]. 分布式能源, 2022, 7(1): 69-73.

QING Zilong, QING Lianghua. Intelligent monitoring and management system for offshore wind turbines[J]. Distributed Energy, 2022, 7(1): 69-73.

[7] 阳熹,杨源. 智慧型海上风电场一体化监控系统方案设计[J]. 南方能源建设, 2019, 6(1): 42-48.

YANG Xi, YANG Yuan. Design of smart offshore wind farm integration monitoring system[J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(1): 42-48.

[8] 陈亮,阳熹,杨源. 智慧海上风电场的定义、架构体系 and 建设路径[J]. 南方能源建设, 2020, 7(3): 62-69.

CHEN Liang, YANG Xi, YANG Yuan. Definition, architecture and constructive route of intelligent offshore wind farm[J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(3): 62-69.

[9] 刘祥雄,胡德聪,吴磊. 基于大数据平台的智慧风电集控建设解决方案[J]. 能源科技, 2021, 19(6): 41-43, 75.

LIU Xiangxiong, HU Decong, WU Lei. Centralized control construction solution for smart wind power based on big data platform[J]. Energy Science and Technology, 2021, 19(6): 41-43, 75.

[10] 曹拥军. 智慧发电“集控”安全[J]. 现代职业安全, 2020(8):

- 34-35.
- [11] 吴萌. 基于 Hadoop 架构的风电场集中监控系统的研究与实现[D]. 济南: 山东大学, 2018.
- WU Meng. The Research and implementation of centralized monitoring system for wind farm based on Hadoop platform [D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [12] 丛智慧. 基于云平台大数据技术的风电集控系统的设计与应用[J]. 内蒙古科技与经济, 2016(19): 61-63.
- [13] 黄海燕, 黄力哲. 基于工业互联网的智慧风电管理[J]. 企业管理, 2019(S1): 240-241.
- [14] 肖祥武. 基于工业互联网的新能源智慧企业体系架构研究与实践[J]. 电力信息与通信技术, 2022, 20(9): 100-107.
- XIAO Xiangwu. Research and practice of new energy smart enterprise architecture based on industrial internet [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2022, 20(9): 100-107.
- [15] 吴辰璇, 周军, 姜国岩. 智慧风电场的建设及探讨[J]. 自动化博览, 2022, 39(4): 66-71.
- [16] 张艳锋, 田震, 杨海涛, 等. 风电场智慧运维管理浅谈[J]. 中国设备工程, 2019(15): 35-37.
- [17] 张本. 基于云平台的风电机组智能运维系统设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2021.

ZHANG Ben. Intelligent maintenance system design of wind turbine based on cloud platform [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2021.

- [18] 韩斌, 王忠杰, 赵勇, 等. 智慧风电场发展现状及规划建议[J]. 热力发电, 2019, 48(9): 34-39.

HAN Bin, WANG Zhongjie, ZHAO Yong, et al. Development status and planning suggestions of smart wind farms[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(9): 34-39.



曹庆才

收稿日期: 2022-11-24

作者简介:

曹庆才(1991), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为集团级大数据分析 & 故障预警、风电智能运维, dt_cqc@126.com;

高伟(1978), 男, 博士, 正高级工程师, 精通风电机组整体设计, 主持双馈、直驱和半直驱三种技术路线下的多款机型开发;

郭鹏(1987), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为新能源技术管理;

张舒翔(1985), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为新能源场站运维、提质增效技改、控制策略优化、新能源数据分析、故障诊断预警研究。