

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2022) 04-066-06 中图分类号: TM614

智慧风电场的建设及探讨

Discussion on Construction Scheme of Smart Wind Farms

★ 吴辰璇, 周军, 姜国岩 (杭州和利时自动化有限公司, 浙江 杭州 310018)

摘要: 近年来, 随着互联网+、大数据、云平台和人工智能等技术的发展, 电力能源领域也掀起了一股智慧化的热潮。智慧能源、智慧电网、智慧风电等其他相关的概念也逐渐被人们所熟知。结合自身平台开发经验和电力行业多年从业经验, 本文阐述了智慧风场的概念, 介绍了智慧风电场当下的发展现状, 并且针对目前的风电行业发展态势进行了需求分析。经过深入研究后提出了智慧风电场全生命周期的建设方案及平台架构的思路。同时, 对智慧风场建设中可能涉及的一些关键性技术进行了探讨。总结了目前智慧风电场建设中存在和面临的各项困难和挑战, 并给出了部分建议和对策, 为今后风电场的智慧化发展提供了参考。

关键词: 智慧风电场; 全生命周期建设方案; 平台架构; 智慧运维; 智能决策

Abstract: With the development of Internet plus, big data, cloud platform and artificial intelligence in recent years, the field of electric energy has also started a wave of intelligence. Smart energy, smart grid, smart wind power and other related concepts are gradually known by people. Combining with the platform development experience and years of experience working in the power industry, this paper expounds the concept of smart wind farm, introduces the current development status of smart wind farm, and analyzes the demand for the current development trend of wind power industry. After in-depth study, the construction scheme and platform architecture of the whole life cycle of smart wind farm are proposed. At the same time, some key technologies that may be involved in the construction of smart wind farm are discussed. This paper also summarizes the difficulties and challenges in the construction of smart wind farm, and gives some suggestions and countermeasures, which provides a reference for the smart development of wind farm in the future.

Key words: Smart wind farm; Life cycle construction plan; Platform architecture; Smart operation; Intelligent decision

1 引言

作为社会发展最重要的物质基础和经济驱动力, 能源问题一直受到社会各界广泛的关注。如何能够更

加安全、稳定、清洁和可持续地利用能源来支撑人类社会的发展和前进, 也已经成为一个亟待解决的全球性问题。随着工业互联网、工业4.0等新一轮工业革命的兴起, 同时为了适应科学技术的不断发展及地理环境演变的新趋势和新要求, 智慧能源、智慧电力、智慧电网等新兴词汇和理念也逐步走入人们的生活当中。

在现有的电力能源组成结构中, 风力发电是继火力发电和水力发电后, 我国的第三大发电能源。除去传统的火电和水电依旧占据着绝对主导地位外, 风能作为目前所有已知的可再生能源中技术相对成熟, 并具规模化开发和利用前景的一种清洁能源也逐渐走进了我们的生活当中。因此, 作为新能源领域中颇具代表性的绿色清洁能源, 风电技术的更新迭代, 也在一定程度上体现了能源系统的变革。并且基于这潜力巨大的能源市场, “智慧风电” “智慧风电场”等概念的提出更是给本就竞争激烈的传统风电领域带来了根本性的冲击。

2 概述

2.1 智慧风场的概念

智慧风场的概念源自于欧美等发达国家, 2010年9月美国IBM公司首次在国内发布了“智慧的电力”战略以及系列解决方案^[1]。随后逐步出现了“智能风电场”“智慧风电场”等概念。随着智能技术的发展和能源产业化的加快, 市场对于能源企业的要求已经从数字化、智能化逐步过渡到智慧化的阶段。智慧已经不再是智能的简单升级, 而是提出了更高层次的要求, 需要电厂在生产运作过程中充分展现出“拟人”的特点, 即具

有“思维”“判断”和“决策”的能力^[2]。

智慧风电具有学习性、成长性、开放性、异构性、友好性等基本特征^[2]。而智慧风场指的是基于风电企业现有的数字化、信息化和标准化建设为基础，将互联网、云平台、大数据、物联网、移动互联、人机交互、虚拟现实、人工智能等新兴的高科技手段与传统电力企业的规划设计、建设施工、安全生产监管、运营维护等流程进行有机融合，最终构建覆盖企业的全层级、全业务、全过程的智慧管控平台。

2.2 国内外风电的发展现状

随着新能源行业的快速发展，全球风电装机总量及装机容量急剧增加。2020年全球新增风电装机容量为创纪录的93GW，较2019年61GW的新增风机装机容量，增幅达到53%。2020年全球陆上及海上风能新增装机容量已超过743GW，较2019年增长了14%^[3]。在过去的二十年间，国内外大多数成熟的工业及能源行业都经历了一场数字化和信息化的革命。随着能源行业和数字信息技术智能化的深度融合及发展，当今社会对能源系统的智能化和智慧化的需要愈发迫切。由于风力发电原理简单且应用广泛，风机控制系统技术的发展也相对成熟，设备的自动化和信息化程度较高，并且根据风电场自身场群分散、对智能远控要求较其他传统电厂都更高等特点，风电在能源的智能和智慧转型中具备了优越的先天条件，成为了开拓智慧能源的践行者和试金石^[4]。

自“十二五”以来，以《中华人民共和国可再生能源法》为依托，我国逐步形成了一整套相对完善的、支持风电发展的政策措施，并取得了丰硕的成果。在2016年2月，为了更好地提升能源转换效率，针对我国能源发展和结构转型的需求，国家发布了《关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见》，其中明确地指出了要将互联网理念、先进信息技术与能源产业深度融合，将能源的生产和消费相结合建成一套完善的智能生态体系^[5]。

2.3 智慧风场建设需求分析

虽然我国风电产业迅速发展和扩大，我国的设备制造业和技术创新的能力依旧受到限制，许多风机及风电设备的核心技术能力还停滞于“引进、消化和吸

收”的阶段，风电技术的自主创新能力不足导致风电设备在智能化方向的进展缓慢。同时，风电本身的特性导致风能产能过剩、弃风等问题的存在。尤其是目前智慧电网的建设依旧处于初步的探索阶段，智能电网的统一规划和风电的并网难等问题依旧成为制约风电发展的瓶颈。

风电产业除了在其发展方向上面临许多的困难，同时在项目建设过程中也存在诸多不足。传统风电场的规划建设流程大致经历十个阶段。建设流程如图1所示。



图1 传统风电场规划建设流程

为保证风电场项目规划的合理性以及施工建设、生产运维的安全性和责任制的落实，风电场项目在设计、施工及建设过程中通常会遇到很多挑战，例如：

(1) 项目前期准备时间过长。因风电特殊性，在电厂规划阶段不仅需要收集当地的气象数据，还需建造测风塔，收集至少一个完整年的测风塔数据。根据收集到的数据进行风电场风机路线布置规划和升压站定位。

(2) 传统二维图纸设计不合理。虽然二维设计相对三维设计难度较低，设计工作周期短且出图更加便捷，便于现场施工，但用二维的三向视图来表达三维立体的设计易出错。且因不同专业的二维设计图纸通常都不互通，易造成现场施工时一些不同专业间的设备、管道、电缆布线、建筑结构等发生冲突，导致返工影响现场施工进度。

(3) 项目工期规划和成本管理不合理，施工建设管理不专业。因施工现场易受人员、材料、机械设备、施工方式、环境、气候等因素影响，导致重复的工作量增加，造成建筑材料的浪费，增加了建筑成本。或者施工过程管理不到位、不专业影响了各施工单位并行施工作业的协同性，造成了管理的杂乱无章，导致施工进度

拉长而使得工期紧张。

(4) 风电场生产运维模式不合理。传统风电场在生产运维过程中都需配备一定数量的运维人员,并配备相关生活设施,因而增加了运维的人员成本。同时,风电场设备巡检及维护规划不合理和重复性,导致运维成本增加。且设备维护不及时使得风电场设备故障频发,导致风电场整体运营产能效率低。设备本身的维护管理成本高导致风力发电的成本居高不下。

3 智慧风电体系架构

当前国内外对智慧风电的研究大多侧重于智能算法和智能运维等部分功能的智能化,或更关注于设备和局部系统的智能化控制或故障诊断。虽然许多风电场已经尝试引用新技术来代替传统手动操作,但大多数新技术的应用只体现了风电产业的部分数字化、信息化和智能化,并不代表风电场具有了“智慧”。

3.1 智慧风场全生命周期建设方案

一套完整的智慧风场的体系架构需涵盖风场全生命周期的三个阶段,即项目前期规划阶段、项目设计施工阶段及项目运行维护阶段。如图2所示。



图2 智慧风场体系架构

(1) 在规划阶段对项目需要进行宏观选址、测风和测绘以及微观选址。在项目进行过程中,可通过GPS定位、无人机航拍、基站定位等技术的应用,对风资源和气象地理数据进行采集并进行三维仿真建模,通过算法及数字模型对当地风资源进行分析,能在极短的时间内完成宏观选址并出具地勘报告。这不仅节约了建造测风塔的人力成本,更节约了时间成本和经济成本。通过算法模拟和风况等数据的分析,对风功率和风资源进行精准预测及评估。

(2) 在设计和施工阶段,通过二维及三维相结合的设计图纸,能显著提升工程设计质量,使得设计流程

和设计周期得到有效控制,并且能打破设计阶段和施工阶段之间简单的二维图像与三维现实转换间的壁垒,让设计成果更好地服务于现场施工。同时,可以避免在以往的二维设计中由于图纸和实际施工现场不符而造成设计图返工,甚至施工现场返工的情况。在项目施工过程中,结合大数据、互联网及BIM技术构建数字化三维智能施工管理云平台,用三维模型数据集成平台将项目参与方的多维信息集合起来,以模块化的形式展现为智慧数字模型、智慧物流、智慧管理等三大板块,可在工程建设中实现安全作业监控、电子巡检、AI智能识别、4D施工进度优化管理、5D施工造价管理、建造协同等功能,使得施工建设及施工管理更科学、高效、安全。

(3) 待项目施工完毕,风电场进入项目的生产运行维护阶段。通过搭建风电场智能运维平台,既能对风电场日常的生产发电及整个风电场系统的运行状态及关键设备的运行状态提供全天24小时的智能监控和在线诊断,同时又保证风电企业的智慧运营和提供智慧决策。使得风电场真正成为新一代少人甚至无人值守、集中监控、电网友好型的智慧型风电场。

3.2 智慧风场平台架构

智慧风电场架构可从生产管理维度和信息平台架构两个方向展开研究:

(1) 从生产管理维度来看,可分为四个层级:

- 风机级,即具备深度感知、自我认知和优化控制、协同决策等特征的智能风机;
- 场站级,即基于智能电网技术,具有能够对环境即风力、风向及其他环境数据进行实时感知,以及电网的实时状态进行自我调节和自我优化的能力;
- 集控级,通过对若干风电场群数据信息收集整理分析,达到全面统筹、集中控制和智能化管理,实现智能运维;
- 集团级,指能实现自主学习和自主优化,并提供集团发展层面的指导分析、智慧决策和智慧发展^[2]。

(2) 从信息平台架构来看,可分为四个层级:

- 边缘层,构建精准、实时、高效的数据采集体系是基础;
- 基础层(即工业IaaS层),为用户提供具有低成

本、免维护、伸缩性强且支持应用广泛的包括服务器、储存、网络虚拟化等云基础设施服务是支撑；

- 平台层（即工业PaaS层），构建一个可扩展的操作系统，为应用软件开发提供一个基础平台是核心；

- 应用层（即工业SaaS层），形成满足不同行业、不同场景的应用服务是关键。此外，信息平台需要具备：存储资源管理、集群管理、工业信息模型库及管理、通用中间件与数据库服务、应用和容器监控、运行监控与告警服务、统一日志管理、应用/服务软件部署与管理等功能。

以风电场智慧运维平台为例，平台纵向分层采用五层模型，如图3所示，由下至上共分为基础硬件设施层、智能感知层、数据服务层、基础应用层及高级应用层。基础硬件设施层由各种硬件设备及物理网络连接组成；智能感知层是对硬件设施信息及环境和电力系统进行数据的获取和采集，并建立实时数据库、历史数据库、关系型数据库、非关系型数据库的元数据汇集；数据服务层指利用大数据和云服务等技术将数据进行计算、存储、网络资源同构或组合成为资源池，为系统提供资源管理、部署、分配、监控和并发等支持；基础应用层是对平台对风电场设备和系统各项控制功能服务的实现；高级应用层由各类高级应用程序、软件构成。

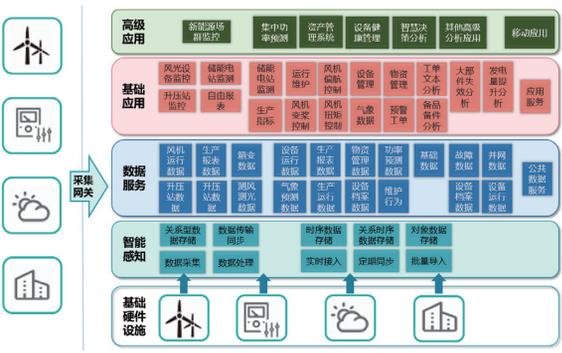


图3 智慧风电场运维平台构架

4 智慧风场关键技术

智慧风电场作为能源智慧化的一个探索方向，通过将风电场测控通信技术、风机和系统自动化控制技术

及电厂生产运维运作方式和最新的互联网、云平台、大数据、人工智能等技术手段进行深度融合，是一个将风电场从自动化、数字化、信息化逐步过渡到智能化乃至智慧化的过程。为了使风电场实现“智慧化”并能真正达到“少人甚至无人监管”以及能够满足自主进行“拟人化”的智慧决策，还需要对现有的技术进行不断的迭代和升级。

4.1 风资源精细化评估及风机功率智慧调节

风资源评估及风功率预测技术的应用如图4所示。为了让风场运行效益最大化，并且在接入电网时体现智能调控及自优化性，需要保证风场风资源数据采集分析和评估结果的完整性和准确性。例如采用中尺度WRF数值模拟方法和微尺度CFD数值模型耦合的方法来提高风资源评估方法的精确性^[7-8]。同时，风能资源评估和风机功率预测技术需要对风场的风资源进行高精度短期和中长期气象预测和趋势分析。例如采用虚拟测风塔技术，模拟出风电场区域范围内或者具体的风机点位的气象数据来解决风资源数据完整性缺失等问题^[2]。

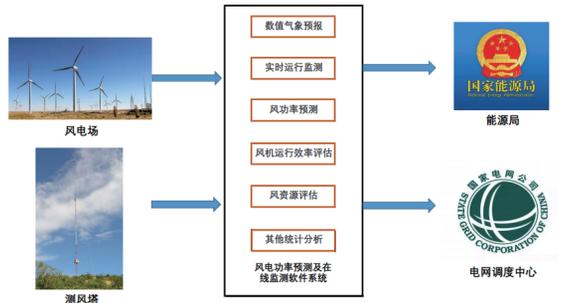


图4 风资源评估及风功率预测的应用

4.2 风场升压站智能选址及风机智能布机技术

在风电场前期规划设计阶段，风电场风机及升压站选址是关乎整个风电场建设施工成本及建成后生产发电效益的关键。因此，在风电场宏观和微观选址时，可以通过分析该区域的气象和地理数据，结合风资源的中尺度及微尺度^[7]模型的计算结果，利用寻优算法模型来得出可供参考的升压站选址和合理的风机布局路线。这样可避免在测风塔不足、测风数据缺失或因地理条件导致的选址失误。与此同时，还可以根据风场不同地理位置和风况条件对风机设备及风机基础进行定制

化设计^[8]，以此达到降低风场造价，提高风机利用率和风场效益的效果。如图5所示。

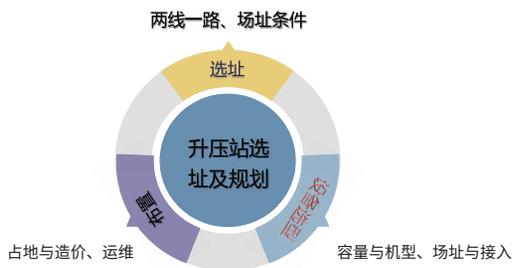


图5 升压站选址及规划

4.3 智慧运维及可视化智能巡检

智慧风电场在生产运维的管理过程中可通过电子两票管理实现对工作票的全过程跟踪，保证安全措施落实。通过智能安防系统的图像智能识别功能，对现场的安防情况进行智能监测与感知。基于获取的实时设备状态信息，智慧风电场可利用大数据分析技术、智能算法及评估模型对设备的健康度、寿命等进行智能评价，评价结果可为智能决策提供数据支撑，指导生产运维。对于故障设备，智慧风电场可借助全开放的智慧风电体系架构，利用精准的疲劳损伤模型^[9]、故障智能诊断算法，并结合设备的历史运行信息对设备故障进行智能诊断，明确故障原因，结合运维经验给出排故建议，并能对设备故障进行准确预警。

在运维和巡检过程中，所涉及的工器具、备件信息、环境数据、人员信息、运维路线及运维工作内容都会通过手机端应用将人员定位和工作内容实时推送和反馈给相关人员，并在系统内留下电子记录，保证运维和巡检工作的公开性、规范性和安全性^[6]。

4.4 智能决策

智慧风电场的智能决策系统是将人工智能AI和传统的决策支持系统DSS相结合，将风电场内所有数据和信息进行统筹管理及分析。在风电场的日常生产运行、设备维护诊断、发电并网及电力交易等过程中提供相应的智慧化决策分析和指导意见。

例如基于风机运维数据对机组运行状态进行智能评估和智能维修决策系统，可以将目前风电场传统的“故障维修、预防性维修和状态维修”策略转变成“以

预防性维修、视情维修为主，故障维修为辅”的智能型维修决策^[10]。风电场的安全应急决策系统也可根据掌握的数据信息，通过专家系统和算法模型，生成各种专项应急预案：如自然灾害、事故灾难、公共卫生、社会安全、海上作业等紧急安全预案。当紧急事件即将来临或已经发生时，安全应急决策系统可启动相应的预警和处理方案。

5 智慧风场建设面临的问题及对策

5.1 设备及数据问题

现阶段风电场普遍都采用自动化程度较高的设备，但由于同风场采购的设备均来自不同的厂家，其各自配备的控制系统和数据接口不兼容，导致底层的设备数据获取困难，很难有效地被整合利用起来。且由于风电场的特殊性，使其面对的环境数据、设备状态数据、风电场控制系统数据及电网数据量十分庞大，面对海量的数据采集、存储、传输和分析工作，如何保证数据传输的实时性、稳定性、规范性和完整性成为了智慧风电场建设面临的首要难题。

5.2 生产安全及信息安全问题

生产安全方面，智慧运维平台应具有高度的可靠性和安全性。平台具有完善的授权和数据备份机制，能够提供完善的用户鉴权、访问控制、安全日志管理、操作员权限管理的多种安全手段，并提供多种安全检查手段，保证公司能够正常使用系统中的共享资源，提供应有的信息服务，采用有效的安全保密技术。

信息安全方面，为了确保电网及能源供给的安全，遵循《电力监控系统安全防护总体方案》（国能安全〔2015〕36号）的要求，按照“安全分区、网络专用、横向隔离、纵向认证”的原则，综合采用物理隔离技术、逻辑隔离技术、加密认证技术、入侵检测技术及病毒防护和主机加固技术等构建网络安全防御体系，确保集中建设智慧运营中和各场站系统网络中主机终端安全、网络通信及边界安全、应用及数据安全。

5.3 人员及管理问题

目前，国内风电发展迅速，风电场大规模投运时

间较短,许多风电场生产运营制度并没有统一的标准,有的还沿用以往传统火电厂的生产运维模式,运行检修和安全生产规范、标准不完善,在生产过程中缺乏智能化和数字化的监督手段。同时,风电场运维人员整体素质不高,人才匮乏且流动性大。部分风电场为了在短期内节约人力物力,将设备运行和维护全部外委,导致风电场总维护费用高昂。由于设备的运行维护工作外委导致很多生产及运维的信息和数据难以完整地反馈到风电场业主方。这也与智慧风电场生产运行过程中对设备状态信息的完整性要求背道而驰,并且不利于风电场自身运维经验的积累^[6]。

6 结论

智慧风场的建设是一个复杂的系统工程。从风电场的数字化、信息化、智能化以及智慧化的发展历程来看,智慧风场重新定义了风电场的规划、设计、建设和

管理,提高风机的利用率,降低设备故障发生率和维修成本,提高风电场发电量,起到了低碳环保、降本增效、少人值守、智慧运营的作用。智慧风电场的发展和建设,对传统电力能源行业及绿色新能源产业的发展都起到了良好的促进和带头作用。AP

作者简介:

吴辰璇(1988-),江西南昌人,硕士,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事数字工厂、智慧电厂解决方案及相关产品方案的设计及策划工作。

周军(1974-),湖北咸宁人,工程师,学士,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事新能源行业自动化相关工作。

姜国岩(1987-),吉林吉林人,学士,现就职于杭州和利时自动化有限公司,从事工业自动化、智能化解决方案及相关产品的销售营销工作。

参考文献:

- [1] 凡一. 智慧电力推动绿色转型[J]. 中国电力企业管理, 2010, (24): 73.
- [2] 吴智泉, 王政霞. 智慧风电体系架构研究[J]. 分布式能源, 2019, 4 (02): 8 - 15.
- [3] REN 21. Renewables 2020 Global Status Report[R]. 2020.
- [4] 吴智泉. 推进智慧风电建设, 提高风电核心竞争力[J]. 中国经济周刊, 2019, (10): 108 - 109.
- [5] 发展改革委, 能源局, 工业和信息化部. 关于推进“互联网+”智慧能源发展的指导意见[EB]. 2016.
- [6] 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 (09): 34 - 39.
- [7] 方艳莹, 徐海明, 朱蓉等. 基于WRF和CFD软件结合的风能资源数值模拟试验研究[J]. 气象, 2012, 38 (11): 1378 - 1389.
- [8] 彭怀午, 胡己坤, 田伟辉, 吕昶. 风电场智能化设计云平台关键技术探讨[J]. Water Power, 2020, 46 (09): 19 - 22, 62.
- [9] 陈浪. 基于动力学模型的风力发电机齿轮箱疲劳寿命计算方法研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.
- [10] 苑一鸣. 基于运维数据的风电机组状态评估与维修决策研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.