

海上风电场电力系统自动化与智能化技术研究

姬晓东, 陈子祥, 王钊

海洋石油工程股份有限公司, 天津 300450

摘要 : 本文探讨了海上风电场的优势、发展现状与趋势, 并重点介绍了自动化与智能化技术在风电场中的应用, 包括监测、控制、数据采集、通信和远程监控等方面。还进一步预测了中国海上风电领域在自动化和智能化技术方面的未来进展, 着重指出了创新技术、产业链合作以及人才发展对于推进清洁能源行业向更先进阶段发展的重要指导作用。

关键词 : 海上风电场; 电力系统自动化; 智能化技术; 清洁能源; 绿色低碳

Research On Automation And Intelligent Technology Of Power System Of Offshore Wind Farm

Ji Xiaodong, Chen Zixiang, Wang Zhao

Offshore Oil Engineering Co., LTD., Tianjin 300450

Abstract : This paper discusses the advantages, development status and trends of offshore wind farms, and focuses on the application of automation and intelligent technology in wind farms, including monitoring, control, data acquisition, communication and remote monitoring. It further forecasts the future progress of automation and intelligent technologies in China's offshore wind power sector, highlighting the important guiding role of innovative technologies, industrial chain cooperation, and talent development in promoting the development of the clean energy industry to a more advanced stage.

Keywords : offshore wind farm; power system automation; intelligent technology; clean energy; green and low-carbon

引言

海上风电场相比陆上风电场具有风能资源更稳定、风速更高、对环境的影响更小等优点, 但同时也面临着建设成本高、运行维护困难等挑战。为了提高海上风电场的运行效率和降低运维成本, 电力系统自动化与智能化技术的研究和应用显得尤为重要。

一、海上风电场的优势

海上风电场相较于陆地风电场具有众多优势。一是海洋占地球表面的很大一部分, 因此海上风电场可以更充分地利用风能资源。据相关数据显示, 海上风电场的风能资源比陆地风电场更为丰富, 可利用小时数更长。二是海上风电场位于海洋中, 不存在土地征用和生态破坏的问题, 对周边环境的影响较小。

此外, 海上风电场的风机安装在水中, 可以减少对陆上基础设施的依赖, 同时水路运输更为方便。最重要的是, 海上风电场具有较高的发电利用效率和可靠性, 有助于减少对化石燃料的依赖, 降低温室气体排放, 对于推动绿色低碳发展具有重要意义。

二、海上风电场的发展现状与趋势

(一) 发展现状

近年来, 我国海上风电场的发展取得了显著的成就。根据相

关报道, 我国计划在“十四五”期间, 在沿海市县建设11个海上风电场, 总装机容量达到1230万千瓦。目前, 我国海上风电场的发展已经进入大规模安装阶段, 多个海上风电场已经进入施工阶段, 预计在未来几年内将实现全容量并网发电。

风能是清洁的可再生能源, 我国东部沿海风能资源丰富, 海上风电开发备受关注。技术进步和政策支持使海上风电成为能源结构转型的重要力量, 对于推动我国能源结构优化升级, 具有重要的战略意义和长远的发展前景。因此开发东南沿海及其附近岛屿的近海风能, 可直接推动东南沿海省份的电力低碳化, 且避免了能源长距离输送的问题。^[1]

从全球范围来看, 海上风电场的发展也呈现出积极的趋势。全球可用的海上风电资源超过7.1亿吉瓦, 具有巨大的开发潜力。各国政府纷纷出台相关政策, 推动海上风电产业的发展。我国海上风电产业也呈现出规模化、连片开发与深远海演变的特点。

(二) 发展趋势

1. 技术创新: 海上风电场面临的技术挑战较大, 如强风、盐

雾、波浪等恶劣环境，因此技术创新是推动海上风电场发展的关键。当前，我国海上风电自主创新能力不断增强，零部件国产化率也在提高。

2. 产业链完善：海上风电产业链包括专业服务、风电机组、辅助设备、海上风电施工、海上运营和关联产业等。随着海上风电产业的快速发展，产业链逐渐完善，推动了行业整体的成熟与发展。^[2]

3. 规模化开发：为了降低成本和提高效益，海上风电场的发展趋势之一是规模化开发。通过建设大型海上风电场，实现规模经济，降低单位发电成本。

4. 深远海开发：随着技术的进步和产业链的完善，未来海上风电场的发展将向深远海方向延伸。深远海地区风力资源更为丰富，具有更高的开发价值。

三、电力系统自动化与智能化技术概述

（一）自动化与智能化技术的定义

电力系统自动化与智能化技术是指应用先进的计算机技术、通信技术、控制技术、监测技术、预测技术等，对电力系统进行实时监控、分析、预测和优化，实现电力系统的安全、高效、经济运行。自动化技术主要通过人工或自动化设备对电力系统进行监控和控制，以减轻人为操作的负担，提高系统运行的稳定性和可靠性。智能化技术则是在自动化技术的基础上，引入人工智能算法，实现电力系统的自我学习、自我优化和故障诊断等功能。^[3]

（二）自动化与智能化技术在电力系统中的应用

电力系统自动化与智能化技术在电力系统的各个环节都有广泛应用，包括提高发电效率和可靠性的远程监控与优化运行，确保输电安全与可靠性的实时监控和故障诊断，提升变电运行效率和稳定性的远程监控与智能调度，增强配电系统的可靠性及经济性的实时监控和优化调度，促进用户智能用电、需求响应和能效管理的智能用电技术，以及提升电力市场透明度和效率的市场信息处理、交易撮合和市场分析技术。这些技术的综合应用正推动电力系统向更加高效、安全、可靠和环保的方向发展。

四、海上风电场电力系统自动化技术

“碳达峰、碳中和”的宏伟目标是 中国为应对全球气候变化和推动绿色低碳发展而提出的重大战略决策，这一目标体现了中国作为发展中大国在应对气候变化方面的责任担当，也是中国走可持续发展道路、建设美丽中国、实现人与自然和谐共生愿景的具体行动。

具体而言，中国政府承诺在 2030 年前实现碳达峰，即二氧化碳排放达到峰值，并在 2060 年前实现碳中和，即二氧化碳的净零排放。这意味着中国将在未来几十年内进行深刻的变革，包括能源结构、产业布局、科技创新和生活方式等方面的调整，以减少对化石燃料的依赖，提高能源利用效率，推动清洁能源的广泛应用。实现这一目标将对中国经济社会发展的全面绿色转型产生深

远影响，同时也为全球气候治理和可持续发展作出重要贡献。^[4]

（一）自动化技术在海上风电场电力系统中的应用

海上风电场电力系统自动化技术是一项集现代计算机技术、通信技术、控制技术和传感器技术于一体的综合性技术，它通过对海上风电场的运行状态进行实时监控、分析、控制和优化，确保了风电场的安全、高效和稳定运行。

这一技术体系涵盖了监测与控制系统，数据采集与处理系统，通信网络系统以及远程监控系统等多个方面。通过安装风速仪、风向仪、温度传感器、振动传感器等设备，实现对风电场运行状态的实时监控，并通过控制系统对风力发电机进行启动、停止、偏航、变桨等操作。同时，数据采集与处理系统能够对监测到的数据进行预处理、存储、传输和分析，通过数据挖掘和智能算法实现对风电场运行状态的预测、故障诊断和性能优化。

此外，通信网络系统的建立保证了风电场内部设备之间、风电场与陆地控制中心之间的信息传输的实时性和可靠性。而远程监控系统的应用使得运维人员可以在陆地控制中心实时了解风电场的运行状态，进行远程故障诊断和处理，大大提高了运维效率。

（二）海上风电场电力系统自动化技术的优势

1. 提高风电场的运行效率：通过对风电场的实时监控和优化控制，提高风力发电机的发电效率和稳定性，降低运行成本。^[5]

2. 确保风电场安全运行：通过实时监控风电场的运行状态，及时发现并处理故障，防止事故发生，确保风电场安全运行。

3. 提高风电场的可靠性：通过数据采集与处理系统，实现对风电场运行状态的预测和性能优化，提高风电场的可靠性。

4. 降低运维成本：通过远程监控系统和自动化控制技术，减少现场运维人员的工作量，降低运维成本。

5. 促进清洁能源发展：海上风电场电力系统自动化技术的发展和利用，有助于提高海上风电场的发电量，促进清洁能源的发展和利用。

五、海上风电场电力系统智能化技术

海上风电场的电力系统智能化技术，就像是风电场的“大脑”和“神经系统”，它能够实时监控风电场的运行状态，对风电场的运行进行智能分析、控制和优化，确保风电场的安全、高效和稳定运行。

智能化技术的工作原理是通过集成先进的计算机技术、通信技术、控制技术和人工智能技术，实现对电力系统运行的实时监控、分析和控制。^[6]它主要包括以下几个方面：

1. 是监测与控制系统。你可以把它想象成风电场的“感官系统”，通过安装风速仪、风向仪、温度传感器、振动传感器等设备，实时监控风电场的运行状态，包括风速、风向、温度、振动等参数。然后，通过控制系统能够实现对风力发电机的启动、停止、偏航、变桨等操作。

2. 是数据采集与处理系统。这个系统就像是风电场的“大脑”，它负责收集由传感器捕捉的数据，并进行初步处理、储存、

传输及深入分析。通过数据挖掘和智能算法，可以对风电场的运行趋势进行预测，对潜在故障进行诊断，并针对性能表现进行优化。^[7]

3.是通信网络系统。这个系统就像是风电场的“神经系统”，建立稳定且高效的通信网络，确保风电场内部设备之间以及与岸上控制中心之间的信息流畅传递。该网络可能包括无线通信、光纤连接、卫星链路等多种方式，以确保数据传输的及时性和信赖度。

4.是远程监控系统。这个系统就像是风电场的“遥控器”，通过这个系统，操作人员可以在岸上的控制中心对风电场进行远程监控、控制和调度。^[8]这样不仅能够实时掌握风电场的运行状况，还能进行远程故障排查和处理，极大提升了运营和维护工作的效率。

六、我国海上风电场电力系统自动化技术与智能化发展展望

由于科技、经济、社会、政治等方面的重大变革，人类社会进入了一个新的发展阶段。对于中国而言，中国共产党第十九次全国代表大会提出的新的历史方位，即中国特色社会主义进入了新时代。中国经济发展进入新常态，从高速增长转向高质量发展，强调创新驱动、结构优化和绿色发展。中国强调科技创新是国家发展的重要动力，提出要加快建设创新型国家，推动以科技创新为核心的全面创新。而海上风电场电力系统自动化技术与智

能化的发展，则是推动海上风电场高效、安全、稳定运行的关键。^[9]

1.技术创新：加强对风电场运行数据的挖掘和分析，提高风电场的运行效率。^[10]同时，研发新型传感器、控制系统和通信技术，提高风电场的自动化和智能化水平。

2.产业协同：推动海上风电场设备制造、风电场设计、运行维护等产业链上下游企业的协同发展，实现资源共享、优势互补，从而提高整体产业链的技术水平、降低成本，形成良好的产业生态，为海上风电场的可持续发展提供有力支撑。

3.人才培养：加强海上风电场电力系统自动化技术与智能化领域的专业人才培养，提高我国在该领域的研究和创新能力。

总之，我国海上风电场电力系统自动化技术与智能化的发展，将有助于提高海上风电场的运行效率，降低运维成本，促进清洁能源的发展和利用。在新时代背景下，我国应继续加大对海上风电场电力系统自动化技术与智能化的研发投入，推动清洁能源事业迈向更高水平。

结束语

海上风电场电力系统自动化与智能化技术的发展，是推动清洁能源发展和绿色低碳转型的重要力量。相信，随着技术的不断进步和产业的协同发展，海上风电场将发挥更大的作用，为构建清洁低碳、安全高效的能源体系，实现人与自然和谐共生，贡献出更大的力量。

参考文献

- [1]刘明敏;陈彬;刘军涛;孙珂;田伟辉;高岩.海上风电场发电能力后评估及影响因素分析[J].西北水电,2023(02):91-95.
- [2]黄攀,田智捷,吴寿康.储能电站与海上风电场联合运行控制策略研究[J].电工技术,2023,(22):76-78+104.DOI:10.19768/j.cnki.dgjs.2023.22.020.
- [3]卿子龙,孔庆香.海上风电场智慧型监控管理一体化系统[J].分布式能源,2021,6(05):59-63+70.DOI:10.16513/j.2096-2185.DE.2106548.
- [4]胡宗邱,时洪奎,张斯翔,等.大型海上风电场一体化电力系统暂态稳定性研究[J].电子设计工程,2023,31(12):58-61+67.DOI:10.14022/j.issn1674-6236.2023.12.012.
- [5]吴豪.海上风电场的电气系统技术分析[J].电子技术,2022,51(10):274-275.
- [6]王辉,付凌云,孙世民,等.海上风电场集电系统电压选择研究[J].高压电器,2022,58(09):112-119.DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2022.09.014.
- [7]熊永新.远海风电经多端柔直并网系统主动频率支撑控制[D].华中科技大学,2022.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2022.002014.
- [8]程强,李显,孙高龙,等.大规模海上风电场并网方式研究[J].电工材料,2022,(02):61-64.DOI:10.16786/j.cnki.1671-8887.eem.2022.02.016.
- [9]程玮.基于海上风电场电气系统的应用研究[J].景德镇学院学报,2021,36(06):17-21.
- [10]张晋华,朱悦榕,李旭强,等.考虑风电不确定性的含海上风电场电力系统优化调度策略研究[J].分布式能源,2021,6(05):33-43.DOI:10.16513/j.2096-2185.de.2106547.