

引用格式: 谭任深, 戚永乐, 周冰, 等. 5G 定制网技术在海上风电场智慧管理与生态环境监测中的应用实践 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(4): 65-75. TAN Renshen, QI Yongle, ZHOU Bing, et al. Application practice of 5G customized network technology in intelligent management and ecological environment monitoring of offshore wind farm [J]. Southern energy construction, 2024, 11(4): 65-75. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.4.07.

5G 定制网技术在海上风电场智慧管理与生态环境监测中的应用实践

谭任深^{1,✉}, 戚永乐¹, 周冰¹, 范永春¹, 冯艺洋², 彭家骏², 麦磊鑫²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;

2. 广东省电信规划设计院有限公司, 广东 广州 510663)

摘要: [目的] 针对现有通信条件难以满足海上风电场工程智慧运维和生态环境监测的需求, 探索提出 5G 定制网方案, 以解决海上风电场信号通达性差、网络覆盖不全以及流畅性低的问题。[方法] 提出利用 5G 定制网技术打造了综合运维与监测方案, 具体如下: 通过在室外部署 5G 宏基站、塔筒内部署 5G 室分、水下铺设光网, 实现风电场通信网络的立体覆盖; 基于 5G 切片技术, 实现一网多用以满足海上风电场对网络差异化的需求; 在集控中心机房部署算力节点, 通过边缘 UPF (用户平面功能) 转发专网数据实现算网融合。[结果] 文章提出的基于 5G 技术的海上风电场智慧管理与生态环境监测方案已依托项目进行试点测试, 测试结果表明 5G 基站的最大有效覆盖半径达到 11.3 km, 稳定传输上行速率达到 5 Mbps, 满足海域的观测数据回传、无人船视频回传的需求; 通过在升压台和风机部署 2 个 2.1G 的 8TR 增强基站提升海域覆盖, 绕风电场拉网测试验证了 5G 专网能够有效地覆盖风电场, 覆盖率 98.4%, 可满足风电场的信号覆盖需求。[结论] 通过 5G 专网覆盖风电场水上海域, 通过 STN (智能传送网)+水下光网实现水下通信, 从而首创性地构筑了立体的海洋监测通信网络, 为实现海上风电场的智慧管理与生态环境监测奠定了通信基础。

关键词: 海上风电; 智慧运维; 5G; 生态监测; 网络切片; 立体通信

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)04-0065-11

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.4.07

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

Application Practice of 5G Customized Network Technology in Intelligent Management and Ecological Environment Monitoring of Offshore Wind Farm

TAN Renshen^{1,✉}, QI Yongle¹, ZHOU Bing¹, FAN Yongchun¹, FENG Yiyang², PENG Jiajun², MAI Leixin²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;

2. Guangdong Telecom Planning and Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In response to the inability of existing communication conditions to meet the intelligent O&M and ecological monitoring needs of offshore wind farm, this article explores and proposes a 5G customized network scheme to solve the problems of poor signal accessibility, incomplete network coverage, and low smoothness in offshore wind farms. [Methods] In this paper, a comprehensive O&M and monitoring scheme was proposed by using 5G customized network technology, which was as follows: through the deployment of 5G macro base stations outdoors, 5G indoor distribution in towers, and underwater laying of optical networks, the 3D coverage of wind farm communication networks was realized; Based on 5G slicing technology, one network could be used for multiple purposes to meet the needs of offshore wind farms for network differentiation; computing nodes were deployed in the centralized control

收稿日期: 2023-12-25 修回日期: 2024-07-08

基金项目: 广东省促进经济高质量发展(海洋经济发展)海洋六大产业专项资金重点支持项目“海上风电场海洋环境立体监测网关键技术及装备产业化”(GDNRC[2021]37)

center computer room, and private network data was forwarded through the edge UPF (user plane function) to achieve computing-network integration. [Result] The intelligent management and ecological environment monitoring scheme for offshore wind farms based on 5G technology proposed in this article has been piloted and tested based on the project. The test results show that the maximum effective coverage radius of 5G base stations reaches 11.3 km, and the stable transmission uplink rate reaches 5 Mbps, meeting the needs of observation data return and unmanned ship video return in the sea area. By deploying two 2.1G 8TR enhanced base stations on the booster station and wind turbine to enhance sea area coverage, the pull-net test around the wind farm verified that the 5G private network can effectively cover wind farms, with a coverage rate of 98.4%, which can basically meet the coverage needs of the entire wind farm. [Conclusion] This scheme utilizes a 5G private network to cover the sea area of the wind farm and achieves underwater communication through STN (Smart Transport Network) and underwater optical networks. Consequently, it innovatively constructs a 3D ocean monitoring and communication network, laying the communication foundation for the intelligent management and ecological environment monitoring of offshore wind farms.

Key words: offshore wind power; intelligent O&M; 5G; ecological monitoring; network slicing; 3D communication

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

1 海上风电的发展现状及问题

相比于陆上风电,海上风电具备风能储量大、利用率高、单机发电容量大、发电量稳定、噪音污染小、不占用土地资源、靠近电力需求、易于消纳等诸多优点^[1-2]。海上风电作为新能源发电的重要组成部分,是践行国家新能源结构改革,实现碳中和、碳达峰的重要手段,2018~2022年中国海上风电累计装机容量如图1所示^[3-4]。

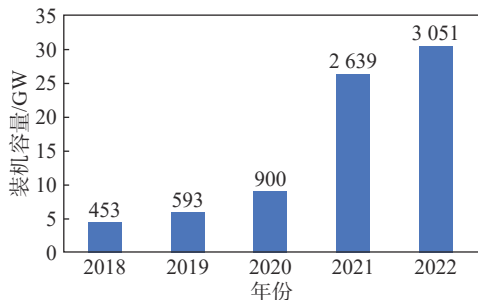


图 1 2018~2022年中国海上风电累计装机容量

Fig. 1 Accumulated installed capacity of offshore wind power in China from 2018 to 2022

当前海上风电项目开发呈现装备大型化、开发远海化、运维智能化、海洋资源利用综合化等趋势^[5-6]。海上风电运维工作存在作业时间窗口短、施工难度大、工况条件差、安全要求高等问题,因此海上风电场的建设、维护和生态环境监测等方面对信息化、智能化管理的需求也日渐提高^[7-8]。目前,存在海上风电机组的通信时效性差、海洋传感器缺乏可靠的传输网络与平台支撑、海洋观测的大数据与实际需

求之间脱节的问题,5G通信技术低时延、高可靠、海量连接的特点使得在海上风电场建设5G专网进行数据上传和访问内网资源以满足智能管理和生态监测的信息化需求成为了可能^[9-10]。在支持风电场智能运维管理的同时兼顾生态环境监测需求,在海上风电场的建设、维护与运行期间对现场进行实时视频监控,通过部署水上与水下的生态环境监测系统实现对鸟类、水下鱼群、藻类以及生态环境的立体实时监测。海上风电的数字化运维对5G应用的需求迫切^[11-13],主要体现在以下4个方面:

1) 风电机组的远程监控和控制:5G技术能够提供更快的数据传输速度和更低的延迟,这对于远程监控和实时控制风电场设备至关重要。运用5G技术,运维人员可以通过远程连接实时监测风电场的运行状况,及时调整参数,提高运维效率。

2) 海上风电场大数据分析:风电场产生大量的运行数据,包括风速、温度、转速等参数,此外,还需要对海洋环境数据进行实时监测。5G的高带宽和低延迟能力有助于将这些海量数据传输到云端,进行实时分析和处理。通过大数据分析,运维团队可以更好地预测设备的运行状态,提前发现潜在问题,从而降低维护成本、提高可靠性。

3) 智能维护和诊断:结合5G和人工智能技术,可以实现对风电设备的智能维护和诊断。例如,通过传感器采集的数据,结合5G传输至云端,使用人工智能识别算法进行设备健康状况的实时评估,提前预警可能出现的故障,为运维人员提供更精准的维护指导。

4)实时通信和协同作业:海上风电场通常分布在广阔的海域,维护人员需要实时协同作业。5G 网络提供高速、可靠的通信,使得维护人员能够实时共享信息、图像和视频,促进远程支持和决策,提高协同作业的效率。

综上所述,海上风电场运维对 5G 的需求主要体现在实时性、大数据处理、智能化维护 and 安全性等方面,5G 技术的应用能够提升风电场运维的效率和可靠性。

2 海上风电综合运维与生态监测方案

本文针对海上风电综合运维与生态监测,提出了以下总体解决方案,涵盖了终端、网络、平台、应用 4 个层次:

1)终端:通过风机内部传感器、监控摄像头、水下观测舱、海上浮标、无人船等,采集了多维异构数据,通过 5G 网络实时回传,为实时风电场运行监视、海域生态环境观测提供实时数据。

2)网络:利用海上风电 5G 宏基站、结合风机室分与水下光网立体覆盖风电场,接入智能传输网(Smart Transport Network, STN);部署专属边缘用户平面功能(User Plane Function, UPF),实现内网数据

安全本地卸载,采用上行分流技术(UpLink Classifier, ULCL),外网访问分流到公网 UPF,连接到互联网。

3)平台:平台层部署了海上风电大数据中心,实现风电场运行监视、海洋生态观测、气象预报等,提供风电场全生命周期的综合服务能力,为海上风电行业数字化转型提供技术支撑。

4)应用:在 5G 网络和大数据平台的基础上,实现了海洋无人船智能控制、智能生态监测与评估、智能生物识别、集群对讲、无人机智能巡检、机器人智能巡检、智能运维等应用。

2.1 立体环境监测与智能管理总体方案

为解决现阶段海上风电智慧运维程度低与生态监测数据实时性不足的问题,本文提出了 1 种基于 5G 技术的海上风电场智慧管理与生态环境监测方案的解决方案,本方案实现了以下创新点,从而更好地满足海上风电场智能管理与生态监测的业务与安全需求:

- 1)立体覆盖 ——5G 融合 STN 网络。
- 2)一网多用 ——5G 专网承载全场景差异化业务。
- 3)云边协同 ——5G 融合边缘算力赋能全域监测和管理。

5G 智能风电场海域立体环境监测与智能管理总体方案如图 2 所示。

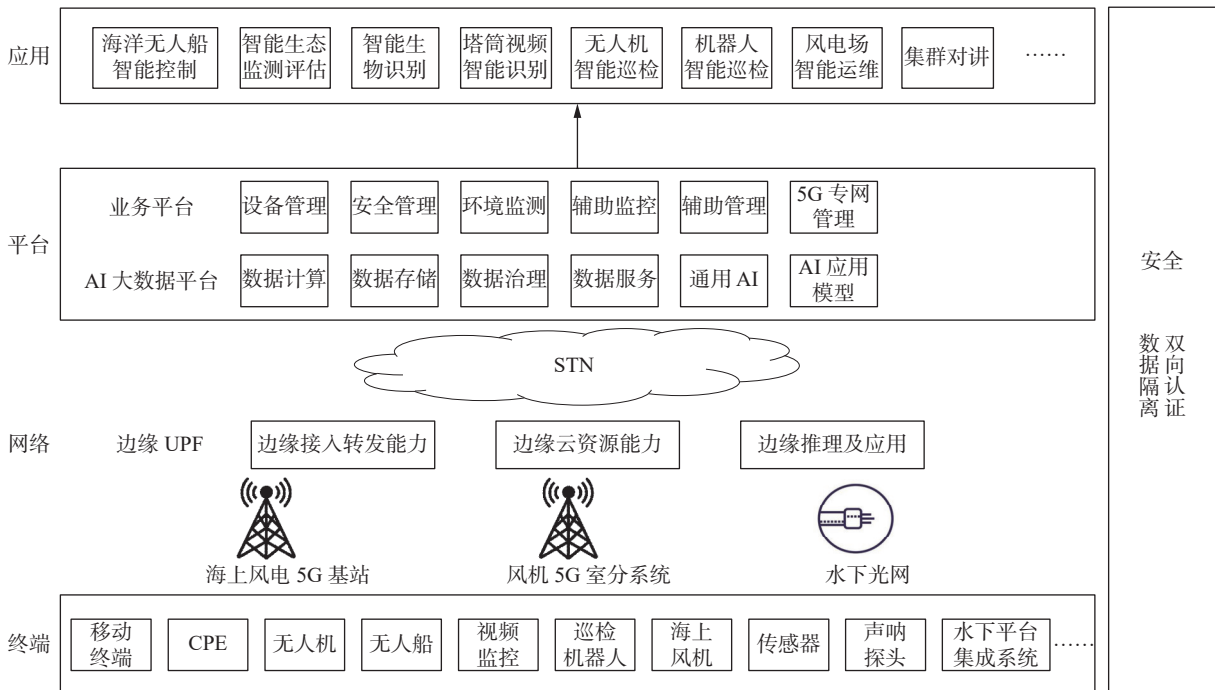


图 2 5G 智能风电场海域立体环境监测与智能管理总体方案

Fig. 2 Overall plan of 3D environment monitoring and intelligent management for 5G smart wind farm sea area

通过海底观测网、海洋环境监测浮标、无人监测平台、视频监控和卫星遥感等观测设备和手段,对海洋环境、海洋生物进行观测和分析。通过构建立体海洋监测通信网络,解决海上风电场生态环境的

数据传输的问题,以便后续开展海上风电场的生态环境评估工作。海洋生态环境立体监测体系架构总体方案如图 3 所示。

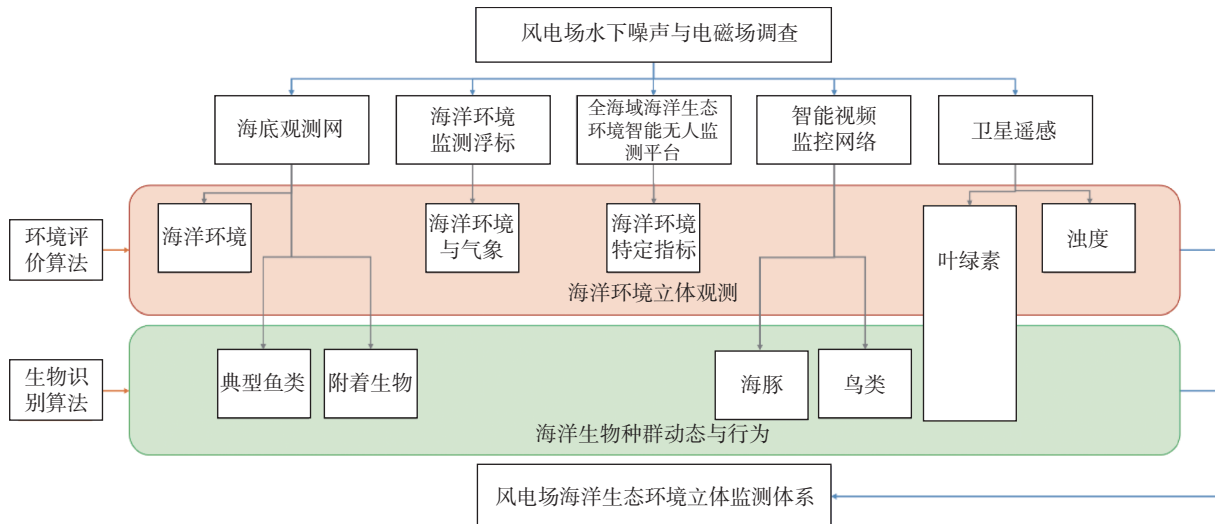


图 3 海洋生态环境立体监测体系架构总体方案

Fig. 3 Overall plan for the 3D monitoring system architecture of marine ecological environment

2.2 立体覆盖——5G 融合 STN 网络

2.2.1 海域广覆盖方案

通过无线网络仿真软件 Atoll, 采用射线跟踪模型预测 5G 无线信号在海域的传播情况, 评估海上风电场海域场景下 5G 网络的覆盖。海上风电场海域无线网络仿真效果(RSRP)如图 4 所示。

为了满足海域的广覆盖需求, 根据 Atoll 软件的仿真效果, 对海上风电场的具体规划进行指导, 采用 2.1G 的 8TR 宏站覆盖海上风电场, 并开启超远距离功能, 提出的部署方案如下:

根据室外无线网络仿真的效果, 选择在升压台部署 1 个 2.1G 4G/5G 双模基站, 通过单个射频拉远单元(Remote Radio Unit, RRU)拉远到 38 号风机, RRU 功分为 3 个扇区, 两站的距离约 6 km, 网络拓扑满足覆盖海上风电场及周边海域。升压台室内基带处理单元(Building Base band Unit, BBU)通过 STN-A 接入承载网, 与 5G 核心网、4G 核心网连接。5G 宏基站海域覆盖的方案如图 5 所示。

2.2.2 塔筒内覆盖方案

针对运维人员在海上风电机组内无法与外界进行有效联系的困境, 本方案提出在塔筒内采用一体

化小站进行 5G 无线网络覆盖^[14-15]。一体化小站系统网络主要由一体化小基站、接入网关、核心网、小基站网管系统等网元组成。一体化毫瓦级小基站可采用无源光纤网络(Passive Optical Network, PON)、STN 承载网等方式将数据回传至电信机房内的小站网关, 小站网关保护数据安全, 再通过 STN 承载网与 5G 核心网连接。一体化小站系统架构示意图如图 6 所示。

部署方案: 针对塔筒内覆盖, 部署了 5G 小站并外置定向天线, 有效覆盖风机塔筒和机舱。本方案通过 STN 网络结合一体化小站实现风机内的无线覆盖。升压台的 A 设备通过海底光缆回传岸边机房的 A 设备, 在上连小站网管, 通过网管接到 4G、5G 核心网。利旧升压台与风机之间的海底光缆, 连接升压台 A 设备与风机塔筒内的 A 设备, A 设备分别连接一体化小站。基于 STN 承载网的一体化小站方案如图 7 所示。

2.2.3 海底光网覆盖方案

为满足水下通信, 在水下铺设光网, 实现大功率能量和高带宽通信的远距离传输, 为海底传感终端提供水下组网平台, 将水下观测舱数据回传到升压

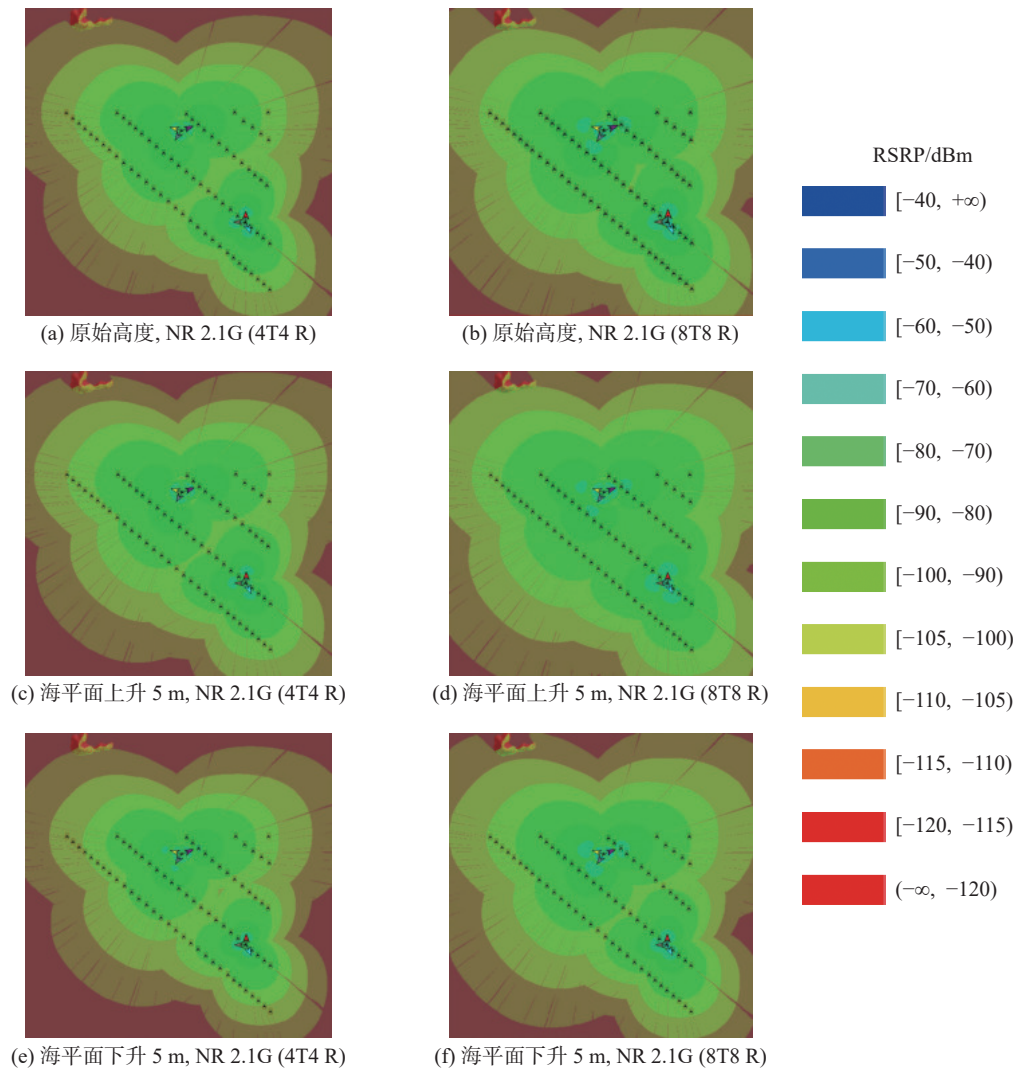


图4 海上风电场室外无线网络仿真效果(RSRP)

Fig. 4 Simulation effect of outdoor wireless network in offshore wind farms (RSRP)

台,然后在升压台通过 STN-A 接入承载网,配置风电场的虚拟局域网(Virtual Local Area Network, VLAN),满足业务隔离,基于 STN 切片技术,将风电场运维数据和水下观测数据通过 STN 专线利回传岸基的机房,并回传大数据中心,保障业务的隔离和安全,并可以预留带宽资源,保障服务等级协议(Service-Level Agreement, SLA)。水下光网通信架构如图 8 所示。

针对海上风电的广域覆盖、风机内部覆盖、水下观测通信等业务需求^[16],基于 5G 定制网与 STN 融合,首创提出海域广覆盖方案、塔筒内覆盖方案以及海底光网覆盖方案构建了立体通信专网,实现水上和水下通信,以实现对整个风电场的全面、高效覆

盖。经过需求分析、仿真测试后,依托项目在海上风电场的不同高度、深度和水平位置上部署通信设备,实现多维度的网络布局,确保整个海上风电场覆盖范围内的通信连接。海上风电场的立体覆盖主要包括水上通信与水下数据传输,5G 融合 STN 立体网络覆盖海上风电场方案如下所示:

1)水上通信主要通过 5G 定制网提供无线网络连接,通过在海上风电场部署 5G 基站,并利用 STN 网络,回传到边缘 UPF,转发到大数据中心。

(1)针对海域广覆盖,在升压台和风机部署 2 个 2.1G 的 8TR 增强基站提升海域覆盖。

(2)针对塔筒内覆盖,部署了 5G 小站与外置定向天线,有效覆盖风机塔筒和机舱。

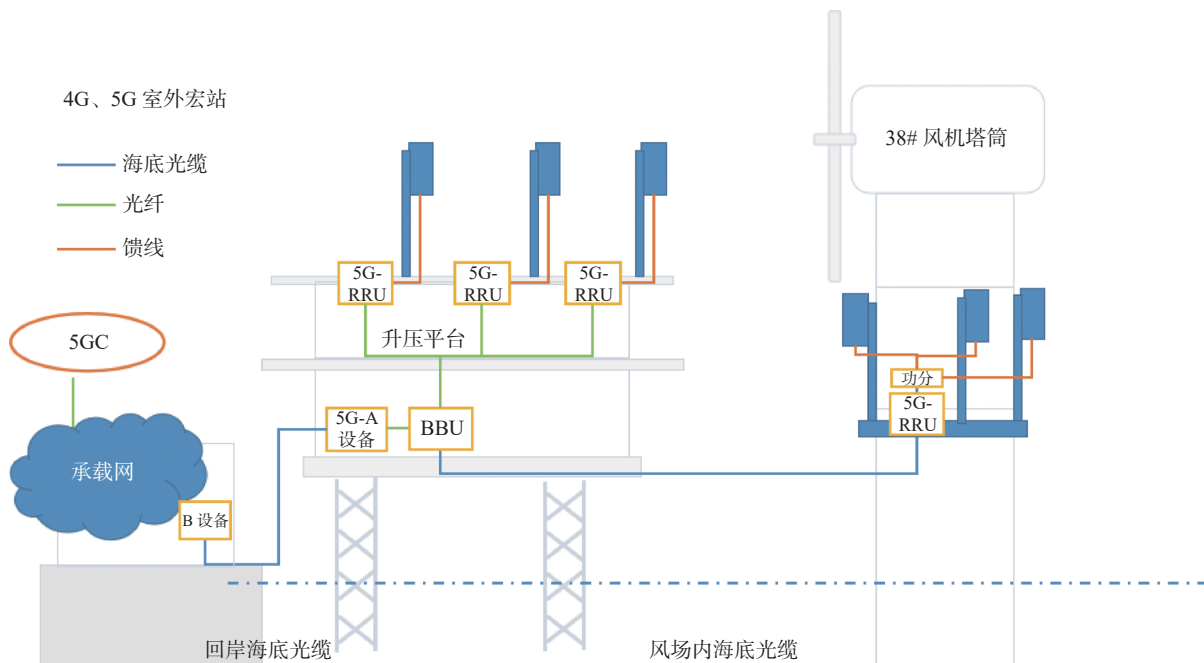


图 5 5G 宏基站海域覆盖

Fig. 5 5G macro base station sea area coverage

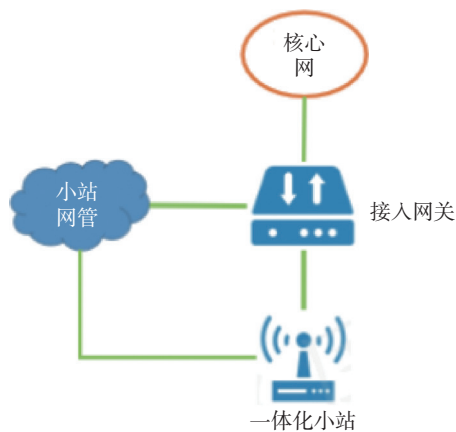


图 6 一体化小站系统架构示意图

Fig. 6 Schematic diagram of integrated small station system architecture

2) 水下铺设光网, 将水下观测舱数据回传到升压台, 实现基于 STN 切片技术, 将风电场运维数据和水下观测数据实时回传。

5G 融合 STN 立体网络覆盖海上风电场方案如图 9 所示。

2.3 一网多用——5G 专网承载全场景差异化业务

作为 5G 网络的关键技术之一, 网络切片具备定制化、自动化、隔离性以及可编程性等特点和优势。杨德龙等结合网络切片构建了智能电网的系统架构,

并详细阐述了其中的关键技术^[17]。王东升等^[18]根据电网行业的特点, 提出了面向电力业务全生命周期的切片管理架构, 并在设计阶段提出了适应业务复杂度分层的方案。杨爽等^[19]基于电力物联网业务, 提出了一种基于模拟退火-粒子群算法的网络切片编排算法, 通过实现对多业务场景网络切片的个性化创建, 充分发挥软件定义网络的集中控制的优势, 在降低网络能耗的同时提高了网络资源利用率。贺金红等^[20]通过引入基于深度学习技术的流量智能预测机制, 实现了电力 5G 切片全过程的智能化管理。

基于 5G 切片技术, 实现 5G 专网的一网多用, 并结合专网切片技术, 利用 5G 的网络横向隔离, 纵向业务保障的特点, 基于不同的业务配置特定的网络资源, 保障数据业务的 SLA, 同时也提高了网络的容量, 满足各项数据对网络的差异化需求。本方案通过构建 5G 专网回传水面、水下、风机 3 大类场景 9 项采集数据, 承载海上风电场全场景的差异化业务需求。在智慧运维领域, 针对风电场的辅助管理系统采集的数据, 通过 STN 实现虚拟切片, 并通过专线回传大数据中心; 为提高维护效率, 在实现风机塔筒和风电场水面的 5G 信号覆盖后, 提供天翼对讲, 实现分组集群通信, 满足现场作业和远程实时指导的通讯需求; 部分风机部署了摄像头, 通过太阳能与

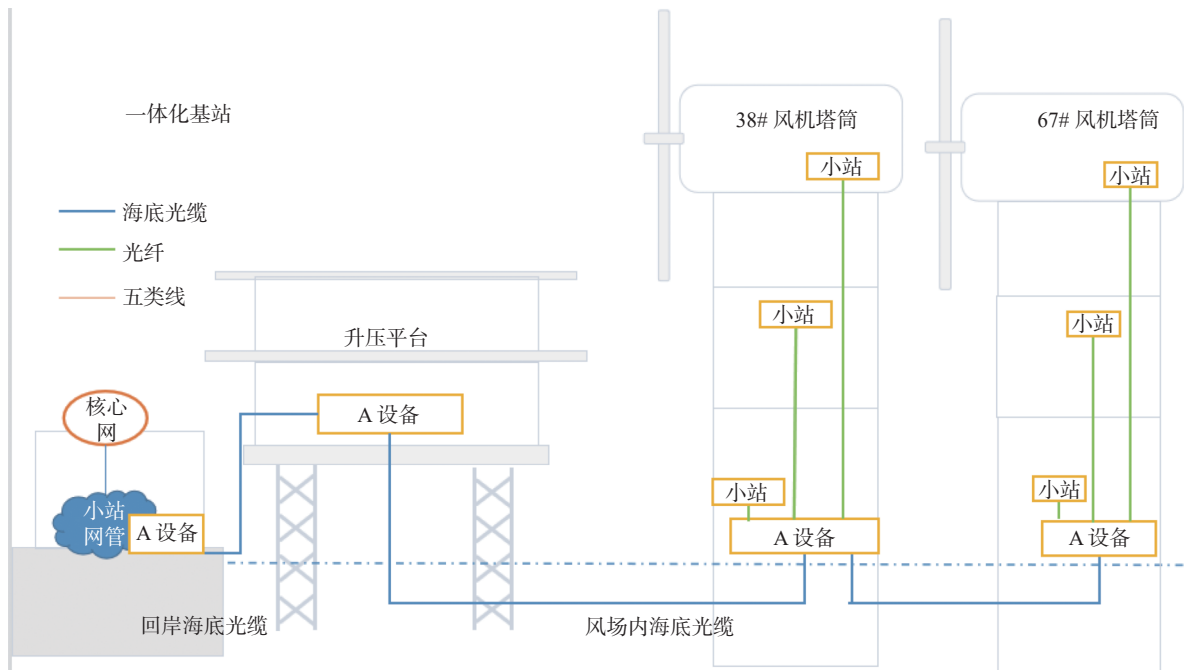


图 7 基于 STN 承载网的一体化小站方案图

Fig. 7 Scheme diagram of integrated small station based on STN bearer network

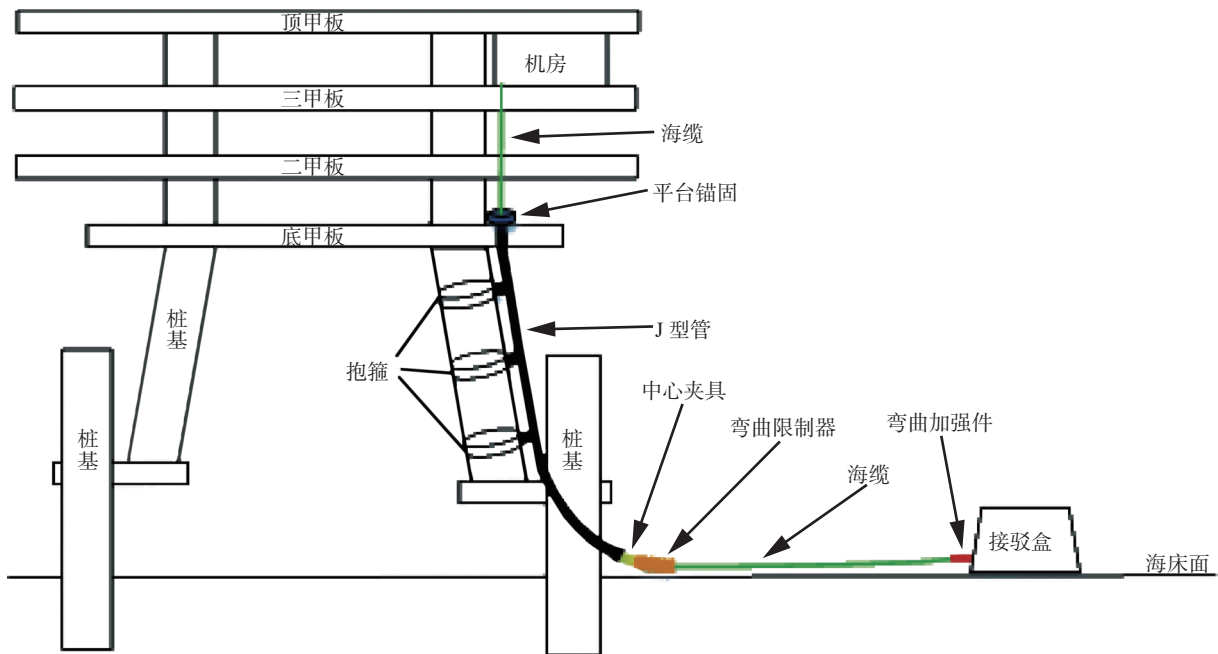


图 8 水下光网通信

Fig. 8 Underwater optical network communication

蓄电池供电, 由 5G 定制网回传后台, 实现视频监控点位的灵活部署; 无人船巡检, 通过 5G 定制网实现控制和视频回传, 满足巡检的需求, 有效提高风电场巡检效率。为风电场运行监视、海域生态环境观测提供了实时数据, 并将采集的数据回传数据采集平

台。通过研发水下集成观测舱, 融合了水温、盐度、电磁场、声纳等观测技术, 对水文、生物群落进行持续观测, 同时结合卫星遥感数据、气象预报数据等进行融合分析, 对风电场周边及水下生态群落建模; 通过实时数据进行迭代更新, 持续观测风电场的环境

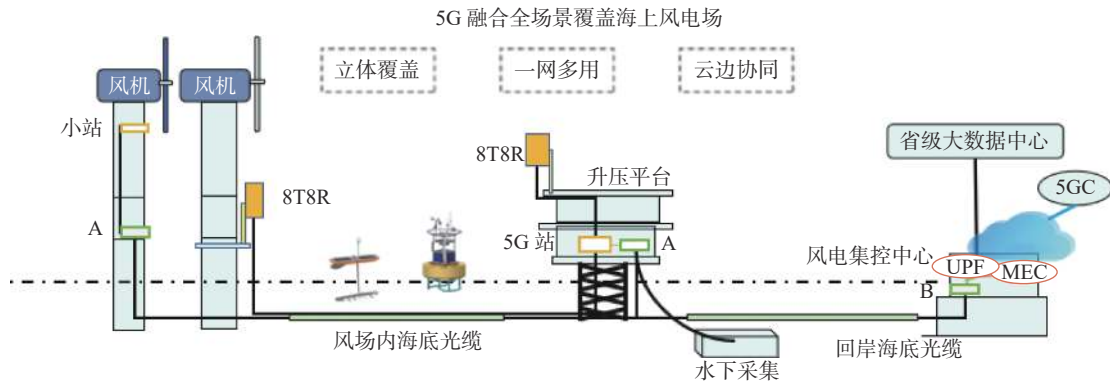


图 9 5G 融合 STN 立体网络覆盖
Fig. 9 5G integrated STN 3D network coverage

变化情况,一旦发生严重生态环境危机事件,及时发出预警。5G 专网承载全场景差异化业务示范如图 10 所示。

2.4 云边协同——5G 融合边缘算力赋能全域监测

在电力能源领域,吕聪敏等^[21]结合网络切片和 MEC,开展了能源互联网云端一体化的架构设计。王莹等^[22]提出了“空天地”一体化网络协助的电力切片架构。云边协同是云计算与边缘计算之间的协同工作或融合,这种协同旨在实现更高效、更灵活的计算和数据处理方式,以满足不同应用场景对实时性、低延迟和大规模数据处理的需求。其中,云计算提供强大的计算和存储资源,适用于大规模数据的处理和分析;边缘计算将计算资源推向离数据源更近的地方,以减少延迟并提高实时性,特别是在物联网(IoT)等场景中,可以更好地处理监测设备获取的数据。云边协同通过将部分计算任务从云端移到边缘设备,以及在边缘设备上初步的数据处理和

分析来实现减轻云端的负担,降低数据传输时的延迟的目标,并更好地适应不同差异化应用场景的需求。本方案提出采用云边协同技术,通过在集控中心机房部署算力节点,利用边缘 UPF 转发专网数据,基于 5G 融合边缘算力赋能海上风电场的全域监测,通过对各风电场数据智能分析后汇聚到省级大数据中心,实现算网融合并提高数据处理效率。

广东省海上风电大数据中心采集并储存海上风电规划数据、建设数据、运营数据 3 大类数据。中心采集了海上风电全生命周期的数据,覆盖规划期、建设期和运营期,并基于数据价值的挖掘,搭载了海上风电基础数据服务(气象水文预报、台风预警等)、建设期数据服务(智慧工地系统)、运营期数据服务(风机设备预警、风电功率预测、智能运维决策等)及移动端应用,形成了可对外输出的数据服务和数字化应用服务能力,持续为海上风电行业的数字化转型提供技术支撑。

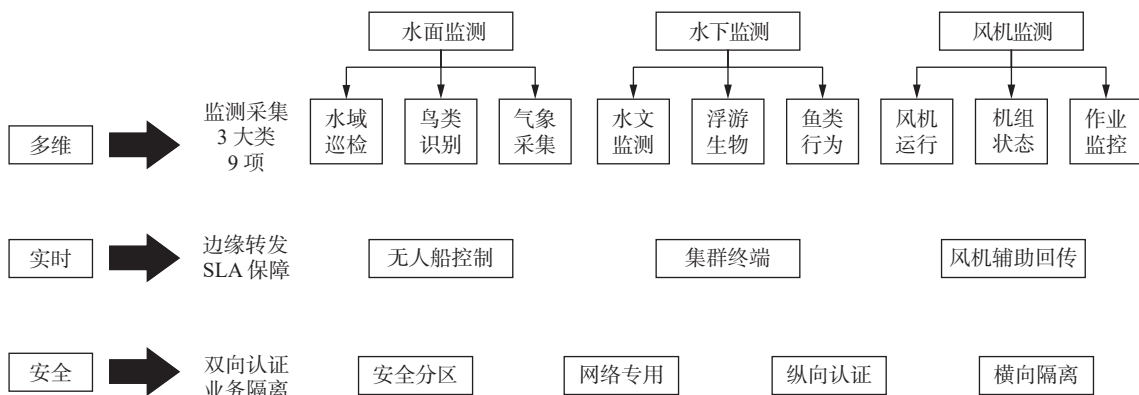


图 10 5G 专网承载全场景差异化业务
Fig. 10 5G private network bearer differentiated services in all scenarios

3 试验结果

为验证海上风电场5G定制网方案满足的覆盖效果,依托现有项目对海上风电场5G定制网信号覆盖情况进行了测试,测试结果表明:

1)通过在离海平面约40 m的升压台顶部部署宏站,开展室外单站拉远覆盖测试,由现场测试可知,5G基站的最大有效覆盖半径达到11.3 km,稳定传输上行速率达到5 Mbps,满足海域的观测数据回传、无人船视频回传的需求;通过在升压台和风机部署2个2.1G的8TR增强基站提升海域覆盖,绕风电场拉网测试验证了5G专网能够有效地覆盖风电场,覆盖率98.4%,可以基本满足整个风电场的覆盖需求。

2)基于5G专网,满足了海上风电场的全场景差异化业务的需求。通过实现了水面监测、水下监测以及风机监测3大类业务的实时数据回传。通过5G专网覆盖风电场水上海域,通过STN结合水下光网实现水下通信,构筑了立体的海洋监测通信网络。数据实时回传到大数据中心,通过远程专家指导以及维护人员实时协同作业等方式实现海上风电场的智慧化、信息化运维;通过大数据中心的大屏汇聚实时生态环境监测数据,实现海上风电场的绿色生态管理。

3)在38号风机塔筒内部分别从第1层转舱、第2层维护层、第3层塔筒层从上往下至底座测试,利用路测终端在38号风机内手动打点收集5G无线室分覆盖相关的信号指标。由测试结果可知,38号风机内5G室分整体信号覆盖良好,塔筒底端近海平面处信号变弱。流媒体服务器利用小基站接入5G专网后可以对风机内部CPE的摄像头进行拉流和推流,流量稳定、正常,摄像头直播效果流畅无卡顿,验证了小基站性能的稳定性和可靠性。

4)基于水下观测集成平台系统,配置终端包括摄像头、电磁传感器、水文传感器等用于采集水下观测数据,通过海底光缆结合STN虚拟切片,传回大数据中心,通过实地测试可知,电磁、水温、电导率等数据可以实时回传到大数据中心。

4 结论

海上风电是新能源发展的重要方向,发展前景广阔,预计在未来的10 a内海上风电的装机容量突

破到300 GW以上,届时海上风电场的运维和监测工作压力巨大。本文针对海上风电场景复杂、需要采集的数据种类繁多以及数据分析困难的问题,提出通过5G专网覆盖风电场水上海域、STN水下光网实现水下通信,构筑立体的海洋监测通信网络,实现海上风电场网络的立体覆盖,从而满足海上风电场对海洋监测数据实时回传的需求;通过设置网络切片,为海上风电场的高清视频监控、工业机器视觉、无人机巡检、无人船巡检、智能办公等业务提供差异化服务保障,实现一网多用;5G融合边缘算力赋能全域监测,通过在集控中心机房部署算力节点,边缘UPF转发专网数据,实现各风电场数据智能分析后,汇聚省级大数据中心,提高效率,实现云边协同,并实时回传的数据后指导海上风电场的维保工作与生态环境保护措施,实现海上风电场的智慧化与信息化运维。

本文打造的海上风电场智能管理和生态监测综合解决方案,在海上风电领域的应用有望提高整个海上风电系统的智能化水平,赋能海上风电场智能管理和运维,节省人工,实现运维管理降本增效,提高可靠性,为新技术和创新提供了更广阔的发展空间,同时兼顾风电场及周边环境的生态监测,有利于海洋经济和生态文明建设的协调发展。

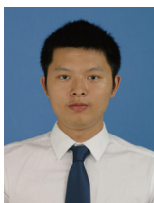
参考文献:

- [1] 王诗超,刘嘉畅,刘展志,等.海上风电产业现状及未来发展分析[J].南方能源建设,2023,10(4):103-112. DOI:10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.04.010.
WANG S C, LIU J C, LIU Z Z, et al. Analysis of current situation and future development of offshore wind power industry [J]. Southern energy construction, 2023, 10(4): 103-112. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.04.010.
- [2] 王燕,童博,李佳东,等.5G技术在海上风电场智慧运维中的应用现状及展望[J].船舶工程,2021,43(增刊1):130-133. DOI:10.13788/j.cnki.cbgc.2021.S1.030.
WANG Y, TONG B, LI J D, et al. Application status and prospect of 5G technology in intelligent operation and maintenance of offshore wind farm [J]. Ship engineering, 2021, 43(Suppl.1): 130-133. DOI: 10.13788/j.cnki.cbgc.2021.S1.030.
- [3] 丰力,张莲梅,韦家佳,等.基于全生命周期经济评估的海上风电发展与思考[J/OL].(2023-12-06)[2023-12-29].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3265.TM.20231205.1633.004.html>.
FENG L, ZHANG L M, WEI J J, et al. Development & thinking of offshore wind power based on life cycle economic evaluation [J/OL]. (2023-12-06) [2023-12-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/>

- detail/11.3265.TM.20231205.1633.004.html.
- [4] 阳杰, 张建华, 马兆荣, 等. 海上风电与海洋牧场融合发展趋势与技术挑战 [J]. *南方能源建设*, 2024, 11(2): 1-16. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.2.01.
YANG J, ZHANG J H, MA Z R, et al. Development trend and technical challenges of the integration of offshore wind turbine with marine ranch [J]. *Southern energy construction*, 2024, 11(2): 1-16. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.2.01.
- [5] 吕晓静, 杭兆峰, 杨立华, 等. 海上风电支撑结构智慧安全管理系统 [J]. *电力大数据*, 2022, 25(11): 77-84. DOI: 10.19317/j.cnki.1008-083x.2022.11.011.
LÜ X J, HANG Z F, YANG L H, et al. Intelligent safety management system for supporting structure of offshore wind farm [J]. *Power systems and big data*, 2022, 25(11): 77-84. DOI: 10.19317/j.cnki.1008-083x.2022.11.011.
- [6] 常丁懿, 石娟, 瞿丽莉, 等. 智慧风电场应急管理体系及应用研究: 5G 技术赋能 [J]. *中国安全科学学报*, 2022, 32(9): 57-67. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2022.09.0170.
CHANG D Y, SHI J, QU L L, et al. Smart emergency management system in wind farms and its application: 5G technology empowerment [J]. *China safety science journal*, 2022, 32(9): 57-67. DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2022.09.0170.
- [7] 郑鹏, 瞿丽莉, 何子春, 等. 5G 技术生态背景下风电场应急管理信息化平台架构 [J]. *实验技术与管理*, 2022, 39(11): 209-214, 231. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2022.11.037.
ZHENG P, QU L L, HE Z C, et al. Architecture of wind farm emergency management information platform under background of 5G technology ecology [J]. *Experimental technology and management*, 2022, 39(11): 209-214, 231. DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2022.11.037.
- [8] 陈凯, 郝述群. 广电 5G 700 MHz 网络在智慧海洋的探索和应用 [J]. *广播与电视技术*, 2023, 50(4): 25-30. DOI: 10.16171/j.cnki.rtbe.20230004004.
CHEN K, HAO S Q. Exploration and application of radio and television 5G 700 MHz network in the wisdom ocean [J]. *Radio & TV broadcast engineering*, 2023, 50(4): 25-30. DOI: 10.16171/j.cnki.rtbe.20230004004.
- [9] 汤东升, 徐初琪, 王洪庆. 海上风电场钢结构腐蚀剖析及应对策略 [J]. *南方能源建设*, 2023, 10(6): 105-111. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.06.012.
TANG D S, XU C Q, WANG H Q. Corrosion analysis and corresponding countermeasures of steel structures in offshore wind farms [J]. *Southern energy construction*, 2023, 10(6): 105-111. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2023.06.012.
- [10] 刘永前, 马远驰, 陶涛. 海上风电场维护管理技术研究现状与展望 [J]. *全球能源互联网*, 2019, 2(2): 127-137. DOI: 10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2019.02.003.
LIU Y Q, MA Y C, TAO T. Review on maintenance management technology for offshore wind farms [J]. *Journal of global energy interconnection*, 2019, 2(2): 127-137. DOI: 10.19705/j.cnki.issn2096-5125.2019.02.003.
- [11] 贾科, 董学正, 李俊涛, 等. 一种适用于海上风电经 MMC-MTDC 并网的电网侧故障穿越方法 [J]. *电力系统保护与控制*, 2023, 51(21): 76-85. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.230551.
JIA K, DONG X Z, LI J T, et al. A grid-side fault ride-through method suitable for offshore wind farms connected with MMC-MTDC [J]. *Power system protection and control*, 2023, 51(21): 76-85. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.230551.
- [12] 任浩, 孟仁杰, 窦仁晖, 等. 基于 5G 网络的“源-网-荷-储”优化调控系统设计 [J]. *电力信息与通信技术*, 2020, 18(12): 23-28. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.12.004.
REN H, MENG R J, DOU R H, et al. Design of optimal control system of "source-grid-load-storage" based on 5G network [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(12): 23-28. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.12.004.
- [13] 李文君, 段登伟, 朱雨, 等. 基于 5G 通信模式下的配电网自愈保护应用 [J]. *电力系统保护与控制*, 2022, 50(24): 152-159. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220308.
LI W J, DUAN D W, ZHU Y, et al. Application of distribution network protection based on a 5G end-to-end communication mode [J]. *Power system protection and control*, 2022, 50(24): 152-159. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.220308.
- [14] 曹鹏, 熊圣新, 李建科, 等. 基于 5G 无线网络的风电机组监控系统组网研究 [J]. *船舶工程*, 2020, 42(增刊 2): 260-264. DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2020.S2.050.
CAO P, XIONG S X, LI J K, et al. Research on wind turbine monitoring system networking based on 5G wireless network [J]. *Ship engineering*, 2020, 42(Suppl.2): 260-264. DOI: 10.13788/j.cnki.cbge.2020.S2.050.
- [15] 陈刚, 温国曦, 冯焱彬. 基于 5G 的海域覆盖解决方案研究及探索 [J]. *电信工程技术与标准化*, 2023, 36(7): 2-7. DOI: 10.13992/j.cnki.tetas.2023.07.003.
CHEN G, WEN G X, FENG Y B. Research and exploration of 5G-based sea coverage solutions [J]. *Telecom engineering technics and standardization*, 2023, 36(7): 2-7. DOI: 10.13992/j.cnki.tetas.2023.07.003.
- [16] 孙文艺, 李勇, 辛道越, 等. 海上风电场高频暂态过电压抑制措施 [J]. *机电工程技术*, 2023, 52(9): 241-245, 251. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2023.09.051.
SUN W Y, LI Y, XIN D Y, et al. Measures for suppressing high frequency transient overvoltage in offshore wind farms [J]. *Mechanical & electrical engineering technology*, 2023, 52(9): 241-245, 251. DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2023.09.051.
- [17] 杨德龙, 万俐, 李晦龄, 等. 基于网络切片的能源互联网系统架构 [J]. *电力信息与通信技术*, 2020, 18(1): 33-38. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.01.005.
YANG D L, WAN L, LI H L, et al. An energy internet architecture based on network slicing [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(1): 33-38. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.01.005.

- [18] 王东升,孙凡清,熊伟,等.电力5G业务切片全生命周期研究[J].*电力信息与通信技术*,2020,18(8):102-108. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.014.
WANG D S, SUN F Q, XIONG W, et al. Research on the full life cycle of power 5G business slice [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(8): 102-108. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.014.
- [19] 杨爽,龚亮亮,胡阳,等.一种网络切片编排算法在电力物联网中的应用[J].*电力信息与通信技术*,2020,18(12):29-35. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.12.005.
YANG S, GONG L L, HU Y, et al. Application of network slice orchestration algorithm in electricity internet of things [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(12): 29-35. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.12.005.
- [20] 贺金红,张港红,高建.5G切片技术在电力物联网应用的智能化管理[J].*电力信息与通信技术*,2020,18(5):19-25. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.05.004.
HE J H, ZHANG G H, GAO J. Intelligent management of 5G slices in the application of power internet of things [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(5): 19-25. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.05.004.
- [21] 吕聪敏,熊伟.基于5G切片和MEC技术的智能电网总体框架设计[J].*电力信息与通信技术*,2020,18(8):54-60. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.007.
LÜ C M, XIONG W. Research on the framework of smart grid based on 5G slicing and MEC technology [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(8): 54-60. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.007.
- [22] 王莹,王雪,刘嫚,等.面向智能电网的5G网络切片应用前瞻性思考[J].*电力信息与通信技术*,2020,18(8):1-7. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.001.
WANG Y, WANG X, LIU M, et al. Prospective thinking of 5G network slicing application in smart grid [J]. *Electric power ICT*, 2020, 18(8): 1-7. DOI: 10.16543/j.2095-641x.electric.power.ict.2020.08.001.

作者简介:



谭任深

谭任深(第一作者,通信作者)
1988-,男,副设计总工程师,高级工程师,硕士,主要从事海上风电数字化技术研究和开发工作(e-mail)tanrenshen@gedi.com.cn。

戚永乐

1983-,男,教授级高级工程师,博士,主要从事能源数字化技术研究和管理工作(e-mail)qiyonglen@gedi.com.cn。

周冰

1970-,男,教授级高级工程师,学士,主要从事海上风电数字化技术研究和开发工作(e-mail)zhoubing@gedi.com.cn。

范永春

1976-,男,教授级高级工程师,学士,主要从事能源电力领域的咨询规划研究、工程管理和数字化工作(e-mail)fanyongchun@gedi.com.cn。

冯芝洋

2000-,男,5G与应用设计所信息化咨询工程师,学士,主要从事5G行业应用创新项目工作(e-mail)fengyiyang@gpdi.com。

彭家骏

1998-,男,5G与应用设计所信息化咨询工程师,硕士,主要从事5G行业应用创新项目工作(e-mail)pengjiajun@gpdi.com。

麦磊鑫

1982-,男,5G与应用设计所高级咨询主管,博士,主要从事5G行业应用创新项目工作(e-mail)maileixin@gpdi.com。

项目简介:

项目名称 海上风电场海洋环境立体监测网关键技术及装备产业化(GDNRC[2021]37)

承担单位 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司,彩虹鱼科技(广东)有限公司,暨南大学,中广核阳江海上风力发电有限公司

项目概述 本项目研发的海洋立体观测平台将演进成为自适应、有机集成的观测平台阵列,对风电场的海空、海面、海底进行立体观察,监测对象包括鸟类行为、海豚行为、鱼类行为、礁栖附着生物、浮游生物、海洋环境、海洋气象,环境监测成果将与广东省海上风电大数据中心已有的海上风电工程数据进行集成,形成1个“海上风电工程-生物-环境”相互关联的大数据系统,为海上风电生态影响长期监测、监测装备研发制造、生态影响分析研究论证提供整体解决方案,助力海洋生态环境产业链构建,为海上风电的可持续和高质量发展筑牢生态环境保护屏障。

主要创新点 (1)海洋环境立体监测装备研发;(2)“海上风电工程-生物-环境”多维评价方法;(3)多源异构海洋环境大数据集成与应用平台研发;(4)海洋环境智能监测算法研发;(5)基于5G通讯技术的海上风电场生态环境和智慧管理研究与应用。

(编辑 孙舒)