

海上风电场智慧运维管理系统

杨源, 汪少勇, 谭江平, 陈亮

引用本文:

杨源, 汪少勇, 谭江平, 等. 海上风电场智慧运维管理系统[J]. 南方能源建设, 2021, 8(1): 74-79.

YANG Yuan, WANG Shaoyong, TAN Jiangping, et al. [The Intelligent Operation and Maintenance Management System for Offshore Wind Farms](#)[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(1): 74-79.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

[智慧海上风电场的定义、架构体系和建设路径](#)

Definition, Architecture and Constructive Route of Intelligent Offshore Wind Farm

南方能源建设. 2020, 7(3): 62-69 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.008>

[海上风电场智能船舶调度及人员管理系统](#)

Scheme Design of Intelligent Vessel Dispatching and Personnel Management System for Offshore Wind Farm

南方能源建设. 2020, 7(1): 47-52 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.007>

[智慧型海上风电场一体化监控系统方案设计](#)

Design of Smart Offshore Wind Farm Integration Monitoring System

南方能源建设. 2019, 6(1): 42-48 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.008>

[大型海上风电项目中的集电海缆研究](#)

Research on Array Submarine Cables in Large Offshore Windfarm

南方能源建设. 2020, 7(2): 98-102 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.015>

[生态系统理念在海上风电项目管理中的应用研究](#)

Application Research of Ecosystem Theory in Offshore Wind Farm Project Management

南方能源建设. 2018, 5(2): 143-148 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.02.021>

海上风电场智慧运维管理系统

杨源[✉], 汪少勇, 谭江平, 陈亮

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 针对海上风电场运维安全管理, 提出了海上风电场智慧运维管理系统。[方法] 通过海上风电智慧调度系统、海上风电雷达多源跟踪及边界警示系统、海上风电场风机平台作业监管系统, 搭建出海上风电场智慧运维管理系统。[结果] 通过陆上集控中心的海上风电智慧调度系统, 实现人员的安全管理以及船舶调度。通过海上风电雷达多源跟踪及边界警示系统, 实现海域船只全范围跟踪, 并确保海上风电场的风机及海缆安全。通过风机平台的海上风电场风机平台作业监管系统, 实现风机作业人员在风机平台的全面管理。[结论] 研究的系统实现了海上风电场人、船、风机的全面管理, 有力保障了人员的安全管理以及船舶调度, 提高了海上风电场的风机及海缆安全性, 实现海上风电场智慧运维效率, 有望在工程中应用推广。

关键词: 海上风电; 智慧运维管理系统; 雷达多源跟踪及边界警示系统; 风机平台作业监管系统

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)01-0074-06

开放科学(资源服务)二维码:



The Intelligent Operation and Maintenance Management System for Offshore Wind Farms

YANG Yuan[✉], WANG Shaoyong, TAN Jiangping, CHEN Liang

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

Abstract: [Introduction] Aiming at the operation & maintenance and safety management of offshore wind farm, the intelligent operation and maintenance management system for offshore wind farms is proposed. [Method] Through the intelligent dispatching system of offshore wind power, multi-source tracking and boundary warning system of offshore wind power radar, and operation supervision system of offshore wind farm wind turbine platform, the intelligent operation and maintenance management system of offshore wind farm was built. [Result] Through the offshore wind power intelligent dispatching system of the onshore centralized control center, personnel safety management and ship dispatching can be realized. Through the offshore wind power radar multi-source tracking and boundary warning system, the full-range tracking of ships in the ocean area is realized, and the safety of the wind turbines and submarine cables of the offshore wind farm can be ensured. Through the wind turbine platform's offshore wind farm fan platform operation supervision system, the comprehensive management of wind turbine operators on the wind turbine platform can be assured. [Conclusion] Therefore, it can realize the overall management of personnel, ships and wind turbines in offshore wind farms, it effectively ensures the safety management of personnel and ship scheduling, improves the safety of wind turbines and submarine cables of offshore wind farms, and realizes the intelligent operation and maintenance efficiency of offshore wind farms, which is expected to be applied and promoted in the project.

Key words: offshore wind farm; intelligent operation and maintenance management system; radar multisource tracking and border warning system; wind turbine platform operation supervision system

2095-8676 © 2021 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/>).

收稿日期: 2020-07-09 修回日期: 2020-08-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“考虑变压器非线性高频特性的海上风电场内部过电压产生机理及暂态特征提取方法研究”(51477054); 中国能建广东院科技项目“海上风电智能运维策略研究”(ER05281W)

大规模的海上风电投产后, 如何解决海上风电的运维问题, 成为当前迫切的问题。当前, 海上风电项目的建设、运维过程面临以下痛点问题: (1) 海陆之间通信困难; (2) 无法掌握海上作业船舶和人员的实时画面情况, 也无法进行视频回放和信息查询等功能; (3) 建设、运维船靠人工调度, 没有结合 AIS、气象预测等情况, 导致建设、运维检修的计划性不强, 运维成本高; (4) 建设、运维过程中, 没有对船舶和人员进行资源管理和定位, 无法保障船舶和人员管理安全; (5) 对于风电场基础设施没有进行统一的管理, 无法及时获取当前设施实时情况^[1-4]。

因此, 需要建立海上风电场智慧运维管理系统, 实现海上风电场人、船、风机的全面管理, 提高运维效率和质量。

1 海上风电场智慧运维管理系统概述

通过海上风电智慧调度系统、海上风电雷达多元跟踪及边界警示系统、海上风电场风机平台作业监管系统, 搭建出海上风电场智慧运维管理系统^[5-9]。如图 1 所示。



图 1 海上风电场智慧运维管理系统示意图

Fig. 1 The schematic diagram of intelligent operation and maintenance management system for offshore wind farms

- 1) 通过陆上集控中心的海上风电智慧调度系统, 实现人员的安全管理以及船舶调度。
- 2) 通过海上风电雷达多元跟踪及边界警示系统, 实现海域船只全范围跟踪, 并确保海上风电场的风机及海缆安全。
- 3) 通过风机平台的海上风电场风机平台作业监管系统, 实现风机作业人员在风机平台的全面管理。

2 海上风电智慧调度系统

2.1 系统架构

海上风电场智慧调度管理系统作为一套海洋工程领域的管理系统, 围绕决策管理、人员管理、视频监控、海洋气象服务、工单管理、船舶管理、后台设备等 7 方面进行具体要求。通过可视化, 实现智慧调度^[10-11]。具体框架, 如图 2 所示。

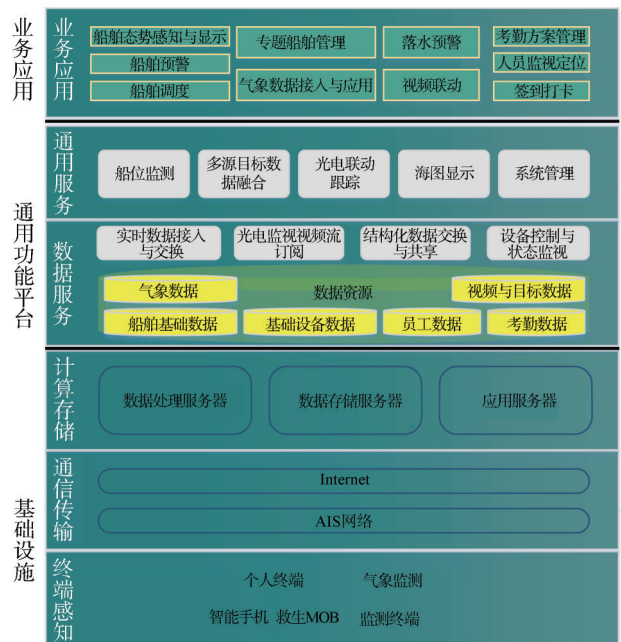


图 2 海上风电场智慧调度管理系统框架图

Fig. 2 The schematic diagram of smart dispatching management system of offshore wind farm

2.2 决策管理

可根据工单类型查看可作业窗口期, 可作业窗口期根据工单类型、策略配置及风力和浪高进行计算而得相的作业建议。

可通过日期查看当天实时的作业窗口期, 以及实时风力和浪高信息, 并可查看作业窗口期的具体依据说明。

2.3 人员管理

2.3.1 人员跟踪定位管理

人员跟踪管理系统通过出勤人员管理 APP 实现风电场人员信息管理, 实现出海任务、出海人员的全过程跟踪, 建立有效的跟踪管理机制, 增强人员防范对安全风险和避险急的能力, 达到人员安全管理的目的。

2.3.2 人员急管理

1) 落水预警

救生衣 AIS MOB 设备（个人示位标），落水后可向 AIS 基站、卫星发送求救信号，系统收到求救信号后自动标记处落水人员在电子海图中的位置，并发出声光报警通知监控人员。

2) 视频联动

当出现落水预警时，通过光电设备联动功能，将摄像头自动对准落水位置，锁定落水人员的落水区域，辅助救援工作。

2.4 视频监控

视频监控系统包括具备透雾功能的远红外热成像摄像机，用于观测整个海上风电场区域的海域船只情况。视频监控系统与人员急管理系统、船舶管理调度系统有机结合，自动实现动态目标捕捉、坐标捕捉。

一旦人员落水，通过个人急示位标的发送位置，海域视频监控系统自动锁定其位置，并进行视频实时观测。

系统通过 AIS 系统的接口，能够在海图上设置电子围栏区域。当船舶靠近、闯入区域或非法锚泊时，系统发出告警提示，以声光方式通知值班用户，并记录报警信息。同时通过光电联动跟踪功能，通过摄像头实时跟踪危害船舶，并进行视频录像保存。

2.5 海洋气象服务系统

系统集成气象数据采集、预报、分析为一体，实时测量风、温、湿、气压等多项气象要素，为船舶、直升机的调度提供基本的气象信息。提供气象预报和气象服务，接收和显示海洋天气预报部门定时发布的气象预报及大风大浪预警信息。

系统接入的气象数据包括温度、降水、风力风向、气压、能见度和台风等。系统通过接口从气象部门获取气象数据并实时更新显示在电子海图上，并能够根据风电场区域的气象情况给出是否适合出勤指导意见。

2.6 工单管理系统

主要实现以下两个功能：

1) 任务申请：由任务负责人使用人员跟踪系统新建并提交任务申请，登记任务人员，并将任务分配给相关工作人员。

2) 报表管理：包括任务报表及工作人员完成情况等。

2.7 船舶管理

2.7.1 船舶管理系统

船舶管理系统，通过获取项目海域的船舶 AIS 信息，在海图上以符号的方式，显示船舶的实时位置和动态，并叠加风电设施的位置符号；海图显示区域可以放大缩小和移动显示窗口，点击船舶符号可以查看船名、呼号、MMSI、IMO、航速、航向、转向、经纬度和船只信息；通过船名、呼号、MMSI、IMO 或通过选择，对特定的船只如项目的海上作业平台、驳船和运维船等进行关注（采用区别性的符号进行显示）。通过海图上圈定电子围栏，对船只进入或离开指定海域进行提醒。

2.7.2 船舶调度通信

为了能够与施工船只进行沟通，对威胁设施和施工船只安全的社会船舶进行联络和监听海面船舶的呼叫，建立覆盖项目部、风电场海域的 VHF 通信系统，实现陆上项目管理部与人、船通信的对讲平台。

3 雷达多源跟踪及边界警示系统

3.1 系统架构

主要功能是以电子海图为管理界面，实现对船只的全面监测和警示。系统对风电场内部船舶和其他重点关注船舶运行状态实时监控，对所有到过风电场的船只，均能实现历史“轨迹记录”。系统还提供其他监控设备的联动接口，对进入虚拟警戒区域的船只，可实现“联动跟踪”。作为雷达多源跟踪系统的补充，为减少船只误入风电场区域，在保护区域的边界风机上，安装边界警示系统。具体框架，如图3所示。

采用智慧调度管理系统的高精度远距离远程光电前端、小目标探测雷达（X波段）、AIS 三种手段相结合，构建雷达探测目标、光电联动确认跟踪目标、AIS 获知目标信息的复合监控体系，实现近海动态目标信息管理自动化、智能化。

同时，在风电场的边界风机基础平台上，采取声音、灯光、无线电等警示措施。安装射程2海里左右的警示用航标灯，用来提示风机的位置；安装雾情探测设备（能见度检测仪）和雾号（号笛）；安装雷达答器和 AIS 航标专用答器，通过无线电提

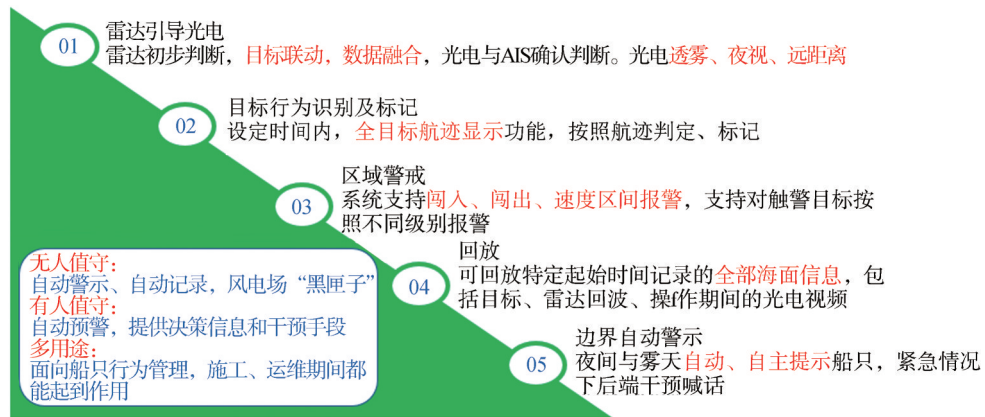


图3 雷达多源跟踪及边界警示系统示意图

Fig. 3 The schematic diagram of radar multi-source tracking and boundary warning system

醒过往船只。

3.2 主要技术

3.2.1 总体技术特点要求

以雷达为主要传感器，能够在无人值守、恶劣天气（雨、雾）情况下主动探测目标，并持续自动跟踪、报警、记录。

雷达同时探测多个目标（系统可跟踪、显示最大目标数： $\geq 20\ 000$ 批次），系统接收周边船只AIS信号，并与雷达信号智能融合，光电系统与雷达联动后实现单个目标自动跟踪，对风电场周边目标实现全面监控，在雷达信号覆盖范围内可设置海缆保护区域，凡进入区域的船只一律自动跟踪拍摄录像，可通过人工方式在第一时间发现电缆拖网、抛锚的目标，识别其特征、舷号，事前发出警告，事后保存证据。系统还可以设定数据保存时间，可追溯回放某一条船或者某个区域在一定时间内所有船只（可达1个月或更长）的运行轨迹。

3.2.2 软件系统主要功能

系统能够实时、全景显示雷达视频信号、光电视频图像、海图等多类型信息，在统一平台下便于准确的进行态势分析。系统具备区域控制和事件控制的控制、报警功能。具有对覆盖范围内的海上目标进行全自动跟踪探测功能，提供目标的位置、航向、航速等参数。

3.2.3 边界警示系统

边界警示系统是雷达多源跟踪系统的补充，用于主动警示风电场附近的船只。主要有以下功能：

1) 在风电场边界风机基础上，安装射程2海里以上的警示用航标灯，夜间警示灯自动打开，向

经过风电场附近的船只提示风机的位置。

2) 安装雾情探测设备（能见度检测仪）和雾号（号笛），以及边界警示系统的控制器。当能见度严重不良时，系统按规定自动施放雾号。

警示系统与雷达多源跟踪系统连接，现场的能见度数据和雾号控制信号接入网络，陆上集控中心的工作站可采集到风机现场的能见度数据，可在后端控制雾号的施放。

在陆上集控中心设置麦克风，雷达发现可疑船只靠近风机时，操作人员可通过号笛（带喇叭功能），对边界风机现场进行喊话。考虑到雾号的指向性，每台边界风机基础上，安装两台雾号，对准风电场外侧不同的方向。

3) 雷达答器和AIS航标专用答器，通过无线电提醒过往船只。航标灯和雷达、AIS答器常开。

4 风机平台作业监管系统

4.1 系统架构

海上风电场风机平台作业监管系统是基于海上风电运维、人脸识别、网络、数据库和可视化等技术的海上人员作业管理系统。具体框架，如图4所示。

4.2 风机平台作业监管系统配置要求

风机平台作业监管系统实现以下功能：

1) 作业任务的远程申请、审核

风机维护厂家通过APP对作业任务进行远程填报申请，三角岛的运行人员通过APP收到网络申请后，进行审核确认后形成风机作业任务。该作业任务将自动包含所涉及的风机的门禁开锁权限及警示装置撤防权限。

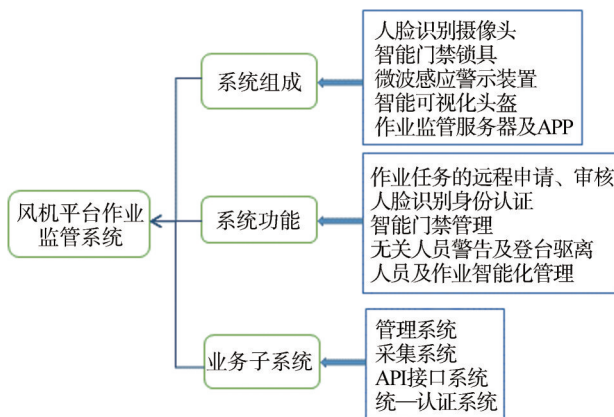


图4 风机平台作业监管系统示意图

Fig. 4 The schematic diagram of operation supervision system of wind turbine platform

2) 无关人员登台驱离

风机上设置微波人体感警示及高音喇叭装置, 若非工作人员登上风机平台, 该装置将自动报警, 报警完毕后提示人员离开风机平台, 否则将在设定时间后启动高音喇叭对人员进行驱离。工作人员登上平台使用APP连接报警装置进行撤防, 单次撤防时间可设。

3) 智能门禁管理

风机塔筒的门锁设置为智能门锁, 通过APP来控制开启, APP操作记录等网络恢复后将自动上送到后台系统, 运行人员对操作记录进行检查统计。

4) 人脸识别及可视化头盔

通过在塔筒门的人脸识别摄像头, 对登上风机平台作业的人员进行身份认证。同时, 通过配置可视化头盔, 为管理人员及专家进行远程指导和监督。

4.3 风机配置要求

每台风机配置: 一套人脸识别系统、一套智能门禁锁具、一套微波感警示及高音喇叭装置等。同时, 对于进入风机的作业人员, 配置可视化头盔。

1) 人脸识别摄像头: 通过在塔筒门的人脸识别摄像头, 对登上风机平台作业的人员进行身份认证以及实现人脸开锁功能。同时, 通过配置可视化头盔, 不但可保护作业人员安全, 并将风机现场维修、检修的设备画面实时传输至陆上集控中心, 为管理人员及专家进行远程指导和监督。

2) 智能门禁锁具: 对各风机塔筒门禁进行闭锁。实现手机蓝牙控制开锁、远程开锁, 配置急开锁芯, 可通过机械钥匙开锁。

通过管理平台授权发放门禁管理卡, 现场刷脸方可开门; 亦可实现手机短信、蓝牙、APP软件和网管远程操作等方式开门。如若发生门被非法开启, 控制器立刻将信息上报陆上集控中心; 并同时启动声光报警模块、摄像头抓拍模块, 抓拍图像立即上传至陆上集控中心存储备案。

3) 微波感警示装置: 实现对登上平台人员进行监测, 提示风险, 并控制高音设备的通断。

微波感警示及高音喇叭装置采用雷达波感技术, 在侦测到物体经过时, 能迅速响警灯闪烁和发出语音提示功能, 实现对登上风机平台人员进行监测, 提示风险。

4.4 手机移动APP要求

通过对作业工作票的电子化和移动化实现整个作业流程的管理控制。移动APP实现工作票的申请和审核以及风机平台上锁具及报警装置的布防撤防。系统按工作票管理系统层次结构进行设计, 具备两票管理功能。

1) 工作票管理

移动APP可进行工作票的操作。工作票是在设备及系统检修作业时, 落实安全技术措施、组织措施及有关人员安全责任, 进行检修作业的书面依据, 是保证检修作业过程中人身安全和设备安全的重要措施。常见的有电气类检修工作、机械类检修工作, 如: 变压器、电动机等电气设备的检修; 轴承、齿轮箱等机械设备的检修。

2) 操作票管理

移动APP可进行操作票的操作。操作票是运行人员改变设备、系统运行方式的指令及操作步骤。其作用是: (1) 操作人员根据值班调度或值班负责人的命令来完成指定的操作任务; (2) 作为准许操作设备的凭证; (3) 执行具体操作步骤, 以防止人为误操作事故的发生。常见的操作票有电气倒闸操作票。

3) 两票抽查

移动APP通过预先设置好班组、部门和企业层对工作票和操作票抽查人员以及每月必须抽查的次数, 系统会自动下达不合格票抽查任务给相应的人员。这些人员接收任务后, 录入抽查结果, 从而为不合格票统计提供了数据来源。

4) 两票统计

移动APP可按部门、按专业、按个人对工作

票、操作票进行统计。同时统计工作票、操作票的合格率、标准票使用率。

5) 两票基础设置

移动 APP 实现两票三种人设置、三种人导入、运行人员设置、基础数据设置、危险点分类维护、危险点维护。

5 结 论

本文通过海上风电智慧调度系统、海上风电雷达多源跟踪及边界警示系统、海上风电场风机平台作业监管系统,搭建出海上风电场智慧运维管理系统。本系统实现人员的安全管理以及船舶调度。同时,实现海域船只全范围跟踪,并确保海上风电场的风机及海缆安全。最终,实现风机作业人员在风机平台的全面管理。

本文的方案,实现了实时掌握海上作业船舶和人员的实时画面情况,进行视频回放和信息查询等功能。同时,结合 AIS、气象预测等情况,对船舶和人员进行资源管理和定位,实现了建设、运维检修的计划性,保障船舶和人员管理安全。

参考文献:

- [1] 国家能源局. 风电场工程 110~220 kV 海上升压变电站设计规范: NB/T 31115—2017 [S]. 北京:中国电力出版社,2017. National Energy Board. Code for 110~220 kV offshore substation design of wind power projects: NB/T 31115—2017 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2017.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海上风力发电场设计规范: GB/T 51308—2019 [S]. 北京:中国计划出版社,2019. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the Personnel's Republic of China. Design code for offshore wind farm: GB/T 51308—2019 [S]. Beijing: China Planning Press, 2019.
- [3] 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 X, YANG Y. Design of smart offshore wind farm integration monitoring system [J]. Southern Energy Construction, 2019,6(1):42-48.
- [4] 卢启付,余超耘,王红星,等. 中国海上风电检测与认证标准体系研究 [J]. 广东电力,2020,30(3):1-6. LU Q F, YU C Y, WANG H X, et al. Offshore wind power testing and certification standard system in China [J]. Guangdong Electric Power, 2020,30(3):1-6.
- [5] 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. 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.
- [6] 谢鲁冰,李帅,芮晓明. 海上风电机组维修优化研究综述 [J]. 电力科学与工程,2018,34(4):57-65. XIE L B, LI S, RUI X M, et al. Overview of maintenance strategy optimization of offshore wind turbine [J]. Electric Power Science and Engineering, 2018,34(4):57-65.
- [7] 黄玲玲,曹家麟,张开华,等. 海上风电机组运行维护现状研究与展望 [J]. 中国电机工程学报,2016,36(3):729-738. HUANG L L, CAO J L, ZHANG K H, et al. Status and prospects on operation and maintenance of offshore wind turbines [J]. Proceedings of the CSEE, 2016,36(3):729-738.
- [8] 桑祺,何焱,冯笑丹. 面向组合维修的海上风电场运行维护建模及仿真 [J]. 电力系统自动化,2016,40(20):83-91. SANG Q, HE Y, FENG X D, et al. Modeling and simultaneous of combined replier oriented operation and maintenance form off shore wind farms [J]. Automation of electric power system, 2016,40(20):83-91.
- [9] 张志宏,施永吉,黄建平,等. 深远海域风电场智慧运维管理系统的探索与研究 [J]. 太阳能,2018(6):49-53+25. ZHANG Z H, SHI Y J, HUANG J P, et al. Exploration and research on the intelligent operation and maintenance management system of wind farms in the deep ocean [J]. Solar Energy, 2018(6):49-53+25.
- [10] 杨源,阳熹,汪少勇,等. 海上风电场智能船舶调度及人员管理系统 [J]. 南方能源建设,2020,7(1):47-52. YANG Y, YANG X, WANG S Y, et al. The scheme design of intelligent vessel dispatching and personnel management system for offshore wind farm [J]. Southern energy construction, 2020,7(1):47-52.
- [11] 曾建平,郭建新,蒋光道,等. 基于立体感知技术的海上风场水域交通安全监管系统 [J]. 上海船舶运输科学研究所学报,2020,43(1):61-64. ZENG J P, GUO J X, JIANG G D, et al. Traffic safety supervision scheme of offshore wind farms based on three-dimensional perception technique [J]. Journal of Shanghai Institute of Shipbuilding and Transportation Science, 2020,43(1):61-64.

作者简介:



杨源

杨源 (通信作者)

1990-, 男, 广东湛江人, 工程师, 硕士, 从事海上风电新能源利用研究 (e-mail) yangyuan@gedi.com.cn.

(责任编辑 郑文棠)