

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2020.06.011

多波束与侧扫声呐在海上风电场水下结构冲刷检测中的综合应用

陈 超, 祝捍皓*, 陈政威, 张 政
(浙江海洋大学 海洋声学遥感实验室, 浙江 舟山 316021)

摘 要: 近年来, 海上风电的装机和发电量持续快速增长, 运维检测面临诸多技术挑战。其中, 风机水下结构的冲刷状况监测及风机全生命周期管理体系的基础数据完善工作, 对确保海上风电场长期安全稳定的运行意义重大。本文结合东海某海上风电场检测工程实例, 介绍了一种联合多波束测深系统与侧扫声呐在风电场水下结构冲刷检测中的综合应用情况。两者的结合使用可以有效地实现优势互补, 获取更加详细、准确的水深数据及水下结构图像, 为海上风电场的运维及全生命周期管理体系的建立提供可靠的基础数据支撑。

关键词: 海上风电场, 全生命周期管理, 水下结构冲刷, 多波束测深系统, 侧扫声呐

中图分类号: TV221.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2020) 06-0072-05

相较传统利用热能的发电方法, 利用风能发电不仅清洁无污染, 还可有效缓解温室效应, 符合国家绿色可持续发展的需要^[1]。海上具有风能资源丰富、靠近电网负荷中心等优势, 近年来全球范围内海上风电的装机和发电量在快速增长。根据全球风能理事会 (Global Wind Energy Council, GWEC) 公布的统计数据, 2019 年全球海上风能累计装机容量超过了 27.2 GW^[2]。海上风电场安装和运行在海洋环境当中, 相比于陆上风电场, 其自然条件更为恶劣, 设备运行时受到风荷载、地质、波浪海流等多种复杂荷载的叠加影响。其中又以海流对海上风电场水下结构的冲刷影响最大, 因此, 对其冲刷状况的检测已成为运维保障的关键^[3]。

现阶段, 利用以多波束测深系统、侧扫声呐为代表的声呐设备对海上风电场水下结构冲刷状

况开展检测, 是评估其水下结构生命周期的最主要手段。其中, 多波束测深系统可以获取目标区域高精度的水深数据及点位, 生成反映海底地貌特征的三维立体图像, 但对海底的细致特征反映较差; 侧扫声呐可以获取目标区域高分辨率的二维平面影像, 但位置信息及水深数据精度较低^[4-6], 两者单独使用均无法获得全面、高精度的水下基础数据。

本文综合上述两种设备优势, 提出了一种联合多波束测深系统与侧扫声呐的检测手段, 在东海某海上风电场水下结构冲刷检测中开展试点应用。旨在通过定期全面、高精度的数据采集与分析, 了解风电场水下结构冲刷的变化情况, 为海上风电场全生命周期管理体系的构建与完善提供重要的基础数据支撑。

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 国家级大学生创新创业计划训练资助项目 (202010340059S); 浙江省大学生科技创新活动计划资助项目 (2019R411001); 舟山市科技计划资助项目 (2017C41003)

作者简介: 陈超 (1995-), 男, 硕士, 主要从事海洋声学探测设备研究。E-mail: 1079233809@qq.com

通讯作者: 祝捍皓 (1987-), 男, 博士, 副教授, 主要从事水声工程研究。E-mail: zhuhanhao@zjou.edu.cn

1 设备测量原理

1.1 多波束测深系统

多波束测深系统是一种高精度、高分辨率、高效率的一种水下地形测量技术^[7],该系统通过声波发射与接收换能器阵进行声波广角度发射和定向接收,在与航向垂直的垂面内形成条幅式高密度水深数据,从而能够绘制出沿航线一定宽度条带内海底的三维地形、地貌,并根据风机水下结构周边的海底地形变化分析其冲刷情况。本文采用美国 R2SONIC 公司 SONIC2024 宽带超高分辨率多波束测深仪,工作频率 200 ~ 400 kHz,频率实时在线可选,覆盖宽度 10°~ 160°实时在线可调,以 0.5°×1°超窄波束,具有 1.25 cm 的超高分辨率,最大测深范围为 500 m。多波束测深系统测量原理如图 1 所示。

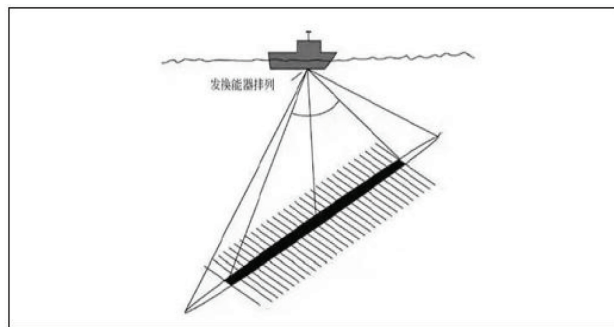


图 1 多波束测深系统测量原理图

1.2 侧扫声呐

侧扫声呐是一种主动式声呐,从安装在拖鱼内(拖曳式)的换能器中发出声波,利用声波反射原理获取回声信号图像,根据回声信号图像分析海底地形、地貌,确定海底结构物分布情况^[8]。本文采用美国 EdgeTech 公司的 EdgeTech 4125 型侧扫声呐系统,低频 100 kHz,高频 400 kHz,同时双频工作,波束倾角向下 5°~ 20°,实时在线可调,最大量程单侧 500 m/100 kHz,单侧 150 m/400 kHz。侧扫声呐测量原理如图 2 所示。

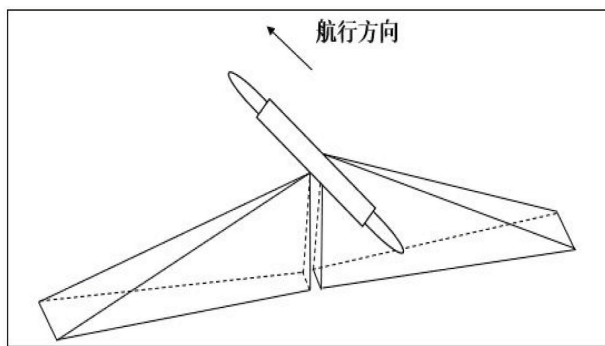


图 2 侧扫声呐测量原理图

2 检测应用

2.1 工程概况

东海某海上风电场某风机组,位于东海大桥西侧海域,海域水深 9.9 ~ 11.9 m,以软土地基为主,风机基础采用高桩混凝土承台,每个风机设置一个基础^[9],如图 3 所示。工程基础分两节,下节为直径 14.00 m、高 3.00 m 的圆柱体,上节为直径 11.00 m、高 1.5 m 的圆台体;每个基础设 8 根直径 1.70 m 的斜率 5.5:1 的钢管桩。运营单位期望通过定期检测,有效掌握风机水下结构及周边的地形、冲刷情况以及海底电缆裸露状况,为海上风电场水下结构的后期维护工作提供科学依据,本文采用多波束测深系统和侧扫声呐综合检测手段进行试验性应用。



图 3 东海某风电场现场图

2.2 检测作业流程

检测作业的设计及实施依据《全球定位系统 (GPS) 测量规范》(GB/T 18314—2009)、《海洋调查规范 第 10 部分: 海底地形地貌调查》(GB/T 12763.10—2007) 等现有国家标准及规范。海上检测作业前, 依照作业船只、作业现场天气、风浪和潮汐水流情况, 以适宜方式布设测线。通过 AutoCAD 绘制作业测线, 并转换成测量导航文件。利用 Hypack 专业海洋综合调查导航软件设置好定位参数和记录模式, 连接测深仪、定位仪、姿态传感器等设备, 引导测量船进入测线位置。导航员根据导航软件显示引导船长实时修正航向、航速, 按设计测线开始走航作业, 导航软件实时显示并记录定位、水深等测量数据。

多波束测深系统检测作业时, 工程船舷悬挂式安装多波束换能器, 换能器安装在测量船中部, 并用伸缩性较小的钢丝绳呈 T 字型安装, 以减少船体晃动对水深数据质量的影响。配合高精度光纤罗经及运动传感器实现多波束换能器姿态实时改正、海上定位设备实现多波束测点点位实时获取, 并利用专业多波束测量数据采集软件, 实现 R2Sonic 2024 多波束测量系统一体化海上实时动态水下地形测量作业。通过测线走航测量作业, 对风机基础周边目标区域范围实现全覆盖扫测。

侧扫声呐检测作业时, 通过绳索将拖鱼悬挂于船尾, 控制拖鱼入水深度。计算 GPS 天线中心至固定支架的距离, 并记录拖鱼绳索放出长度, 实时地进行拖鱼位置改正。根据现场检测资料调整拖鱼位置和姿态, 尽量避开船只尾流的干扰。通过测线走航测量作业, 掌握风机基础周边的海底面的地形地貌状况。

3 数据分析

检测作业完成后, 对多波束测深系统扫测原始数据进行声速剖面校正、潮位改正等一系列处理, 得到精确的水深数据。利用 Blueview、

Sufer、AutoCAD 等软件处理生成风机水下结构三维点云图、风机水下地形等值线图、风机整体三维模型图等, 展示风机水下结构及海底地形的特征要素。

由图 4 可以看出, 风机水下的 8 根钢管桩轮廓形态清晰; 图 5 显示风机水下的 8 根钢管桩周围因局部水流动力场变化形成了明显的冲刷坑, 冲刷坑整体呈椭圆形, 长半轴为东西方向, 长约 34 m, 短半轴为南北方向, 长约 27 m, 同时根据冲刷坑及流痕判断风机周边主要水流冲刷方向为东西方向。由图 6 可知, 检测风机水下结构周边平坦区域高程约为 -13.5 m, 冲刷坑坑底最深处高程约为 -18.6 m, 冲刷坑最深约 5 m (均以 1985 国家高程为高程基准)。由图 7 看出, 冲刷坑中存在多处管状结构物悬空, 推测为风机安装施工过程中的建筑废料。

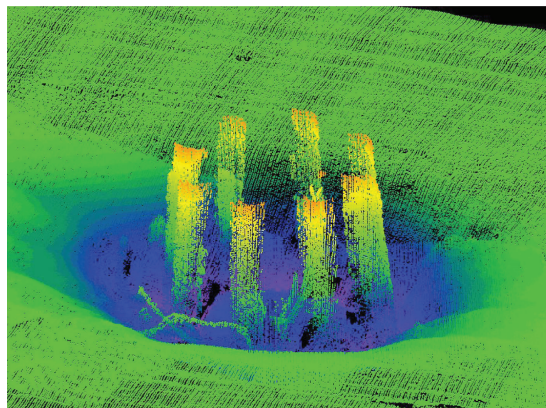


图 4 风机水下结构三维点云图

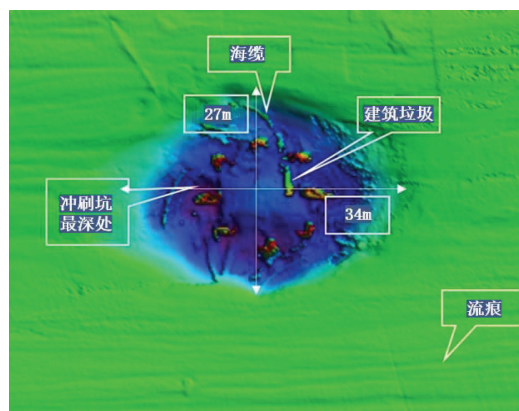


图 5 风机水下结构三维点云图 (俯视图)

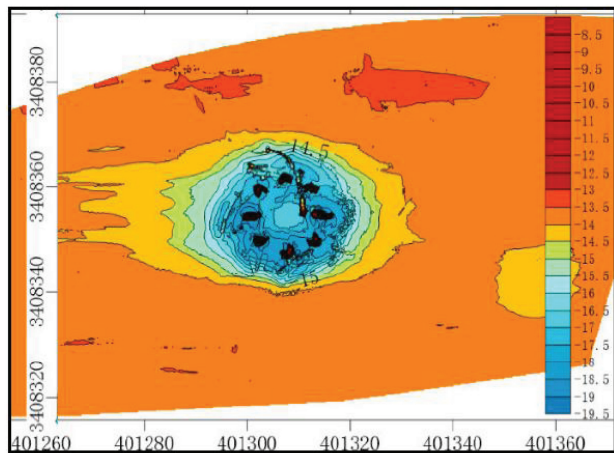


图6 风机水下地形等值线图

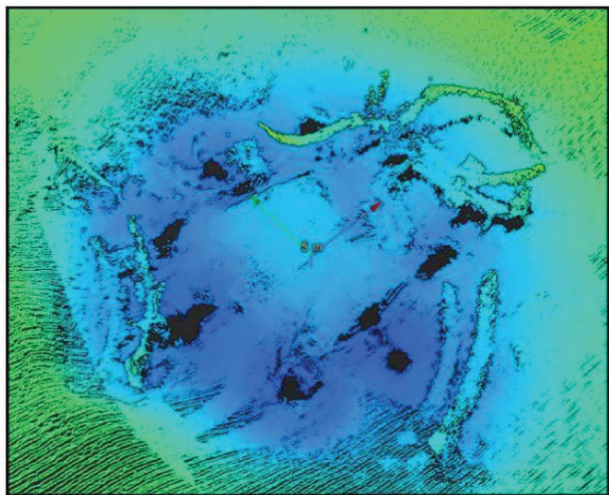


图7 风机水下结构物周边三维图像

通过侧扫声呐图像数据可以获取海底结构物的位置、大小及分布范围,图像更加直观、清晰,从图8中可以清晰的观察出八根钢管桩的形态特征、冲刷坑中的多处管状结构物以及风机电缆裸露的情况,可与多波束系统三维图像相互配合、验证和支撑,为数据分析提供有效补充。

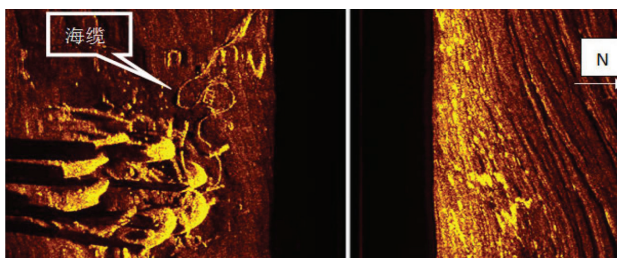


图8 风机水下结构物侧扫声呐图像

综合各项测量数据,最终形成如图9所示的风机整体结构三维模型图。该图能够直观、定量地显示现阶段风机水下结构的海底冲刷情况。后期,通过对该风机连续多次检测,并将每次检测的数据处理形成三维图像,进而对比分析风机水下结构周围冲刷坑的发育、变化情况,融入并完善其全生命周期管理体系,为风电场运行维护提供依据。

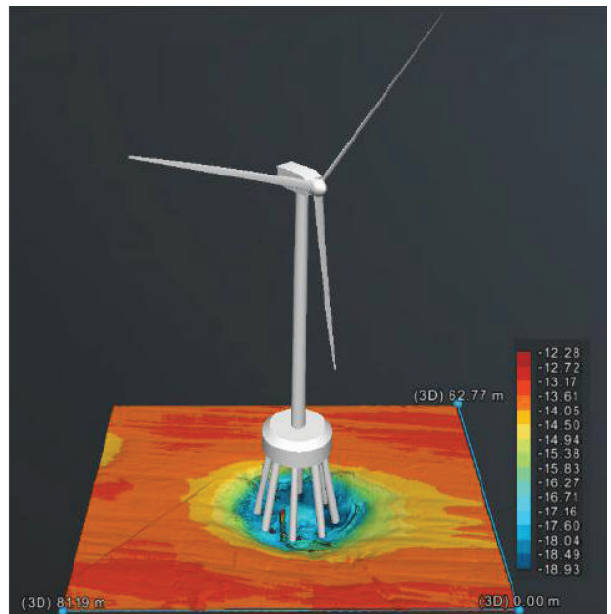


图9 风机三维模型示意图

4 结 论

多波束测深系统和侧扫声呐系统协同应用,在海上风电场水下结构冲刷检测中取得了较理想的效果。多波束测深系统具有全覆盖、高精度的特点,不仅能够获取风机海底基础的平面位置信息,还能够通过测深点云数据对其进行三维建模,实现三维可视化,更加直观、量化地确定风机水下结构冲刷情况,但对海底的细致特征的反映效果较差,而侧扫声呐却能够将海底地形以高分辨率的二维平面影像的方式呈现,详细反映出风机水下结构物及周边冲刷状态,但位置信息及水深数据精度不足。两者的结合使用可以有效地

实现优势互补,带来更好的适用性、可靠性,能够获取更加详细、准确的水深数据及水下结构图像,由此更好地应用于海上风机水下结构冲刷检测工程。

为了更好地实现海上风电场的运维管理,实

现效益最大化,可以通过对风机组水下结构定期检测及数据分析上传,完善风电运维大数据库,对海上风机水下结构冲刷坑的发育、变化情况进行实时地评价和预测,融入整个风机全生命周期管理体系,为风电场运行维护提供依据。

参考文献:

- [1] Wang Z X, Jiang C W, Ai Q, et al. The key technology of offshore wind farm and its new development in China[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(1):205-211.
- [2] Perveen R, Kishor N, Mohanty S R. Off-shore wind farm development: Present status and challenges[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2014, 29(1):780-792.
- [3] 刘璐洁. 海上风电运行维护策略的研究 [D]. 上海: 上海大学, 2018.
- [4] 别伟平, 郭志勇, 于永宽. 多波束与侧扫声呐在水下障碍物探测中的综合应用 [J]. *港工技术*, 2019, 56(S1):157-159.
- [5] 熊小虎, 柯虎, 付彦伟, 等. 多元协同探测技术在水电工程中的应用 [J]. *水力发电*, 2020, 46(9):126-130.
- [6] 饶光勇, 陈俊彪. 多波速测深系统和侧扫声呐系统在堤围险段水下地形变化监测中的应用 [J]. *广东水利水电*, 2014(6):69-72.
- [7] 范少英, 张冉, 石亚龙. Sonic 2026 多波束测深系统在小浪底水利枢纽的应用 [J]. *科技创新与应用*, 2020(7):177-178, 180.
- [8] 刘彦华, 杨晓军, 袁超. 海洋物探方法在海上风电场勘察中的应用 [J]. *地质学刊*, 2019, 43(4):619-626.
- [9] 黄俊. 海上风电基础特点及中国海域的适用性分析 [J]. *风能*, 2020(2):36-40.

Comprehensive Application of Multi-beam Sounding System and Side-scan Sonar in Scouring Detection of underwater Structures in Offshore Wind Farms

CHEN Chao, ZHU Han-hao, CHEN Zheng-wei, ZHANG Zheng

Marine Acoustics and Remote Sensing Laboratory, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316021, China

Abstract: In recent years, the installed capacity and power generation of offshore wind power have continued to grow rapidly, with operation and maintenance testing facing many technical challenges. Among them, the monitoring of the scour status of the underwater structure of the wind turbine and the complete basic data of the wind turbine's full life cycle management system are of great significance to ensure the long-term, safe and stable operation of the offshore wind farm. This paper introduces the application of a combined multi-beam sounding system and side-scan sonar in the scour detection of underwater structures of wind farms based on an example of offshore wind farm located in the East China Sea. The combination of the two can effectively achieve complementary advantages and obtain more detailed and accurate water depth data and underwater structure images. It provides reliable basic data support for the operation and maintenance of offshore wind farms and the establishment of life cycle management system.

Key words: offshore wind farm; life cycle management; scour of underwater structures; multi-beam sounding system; side-scan sonar