

多波束测深系统在海上风电场测量中的应用

刘新华, 吴猛

引用本文:

刘新华, 吴猛. 多波束测深系统在海上风电场测量中的应用[J]. 南方能源建设, 2021, 8(3): 51-57.

LIU Xinhua, WU Meng. Application of Multi-Beam Sounding System in Offshore Wind Farm Survey[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(3): 51-57.

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)

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>

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>

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>

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>

一种新技术在海上风机基础冲刷防护的应用研究

A New Technology Research for Scour Protection of Offshore Wind Turbine Foundation

南方能源建设. 2020, 7(2): 112-121 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.017>

多波束测深系统在海上风电场测量中的应用

刘新华^{1,2,✉}, 吴猛²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 广东科诺勘测工程有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 为了获取详细的海底地形地貌信息, 提出了一种基于多波束测深系统在海上风电场测量中的应用。[方法] 以广东某一海上浮式风电装备研制项目为例, 详细介绍了 Reson SeaBat T50-P 多波束测深系统的原理和组成, 通过项目的实施, 对测深成果进行了分析和精度评定。[结果] 通过本项目的实际应用, 验证了多波束测深系统在海上风电场测量中具有更好的便捷性、高效性和可靠性。[结论] 本工程的实践对开展其他类似的海上风电场测量起到很好的借鉴意义。

关键词: 多波束测深系统; 声速剖面; 数据处理; 测量精度

中图分类号: TK89; P229.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)03-0051-07
开放科学(资源服务)二维码:



Application of Multi-Beam Sounding System in Offshore Wind Farm Survey

LIU Xinhua^{1,2,✉}, WU Meng²

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

Abstract: [Introduction] In order to obtain detailed seafloor topographical information, an application of multi-beam sounding system in offshore wind farm survey is proposed. [Method] Taking an offshore floating wind power equipment development project as an example, the principle and composition of the Reson SeaBat T50-P multi-beam sounding system were introduced in detail, through the implementation of the project, the results were analyzed and the accuracy was evaluated. [Result] Through the practical application of this project, it is verified that the multi-beam sounding system has better convenience, high efficiency and reliability in the offshore wind farm survey. [Conclusion] The practice of this project provides a good reference for other similar offshore wind farm surveys.

Key words: multi-beam sounding system; sound velocity profile; data processing; accuracy of survey

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/>).

广东作为海洋大省, 广东省政府已把发展海上风电作为可再生资源开发利用的重要方向^[1-2]。随着人类对海洋资源和环境开发研究活动的不断增加, 人们对了解海底地形地貌的要求日益提高。如何去获取更加详细的海底地形地貌信息成了海上风电场测量中最重要的工作^[3-5]。

传统的水下地形测量方法(如测深杆法、测深锤法、回声测深仪法、RTK测量)只能简单获取水深信息, 对水下地形信息却无能为力。单波束测深

系统在一定程度上解决了水下地形测量问题, 但在测量效率和精度上有较大的局限性, 无法满足当今的需求。近年来, 多波束测深系统在海洋测量中逐渐受到高度重视, 国内外许多学者对此进行了深入研究, 取得了一批显著成果。随着多波束测深系统应用范围的不断深入和扩展, 其全覆盖式测量、高效率、高密度采集、高分辨率和成果信息丰富^[6]等特点被越来越多的同行所认同, 应用也越来越广泛。特别是在进行大面积的海上风电场海底地形测

收稿日期: 2021-01-08 修回日期: 2021-03-10

基金项目: 广东省促进经济高质量发展专项资金项目“海上风电项目建设期和运营期环境影响研究”(GDOE[2019]A09)

绘中具有极高的应用价值。我院作为国内唯一获得海洋工程勘察全部三个专业的甲级资质的电力行业设计企业,拥有精良的海洋勘察设备和专业的技术服务团队,截止2020年底,我院勘察团队已完成30多个海上风电场项目勘察,勘察面积约1 500 km²,积累了丰富的海上风电勘察经验和专业技术。

本文以广东某一海上浮式风电装备研制项目为案例,详细介绍了多波束测深系统在该项目的实施过程,对最终的测量成果进行精度分析,结果表明多波束测深系统在海上风电场地形测量中精度和效率更高,三维展示成果更加直观。

1 多波束测深系统的工作原理和组成

1.1 工作原理

多波束测深系统的工作原理是利用发射换能器阵列向海底发射宽扇区覆盖的声波,接收换能器接收窄波束,通过发射、接收扇区指向的正交性形成对海底地形的照射脚印,对这些脚印进行恰当的处理,一次探测就能给出与航向垂直的垂面上百个甚至更多的海底被测点的水深值^[7],从而能够精确、快速地测出沿航线一定宽度内水下目标的大小、形状和高低变化,比较可靠地绘出海底地形的三维特征^[8-9]。

1.2 Reson SeaBat T50-P 系统组成

SeaBat T50-P多波束测深系统是由丹麦RESON公司研制的一款便携式多波束测深系统,具有大扫宽角度、波束数量多、工作频率范围大、测深分辨率高、高度集成、安装便捷及作用方便等特点。系统主要由多波束声学系统、数据采集系统、数据处理系统、外围辅助设备和成果输出系统组成。主要的设备包括:换能器及处理单元、POS MV惯导系统、声速剖面仪、数据存储设备、数据采集和处理软件,系统主要设备见图1。

Reson SeaBat T50-P多波束测深系统技术参数见表1。

2 工程实例

2.1 项目概况

广东某一海上浮式风电装备研制项目位于广东省湛江市徐闻县东侧海域,场址中心坐标为北纬20.318°,东经110.579°,面积约7.6 km²,场址中心

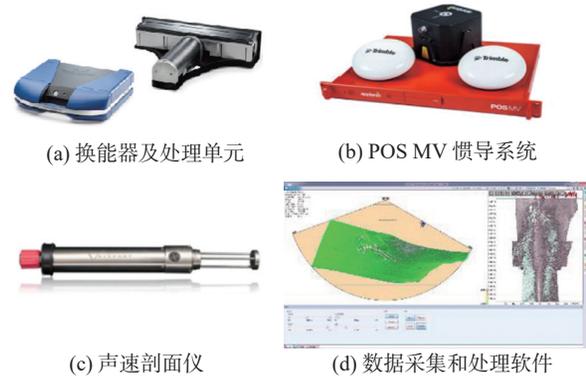


图1 SeaBat T50-P系统组成

Fig. 1 SeaBat T50-P system components

表1 多波束测深系统技术参数

Tab. 1 Technical parameters of multi-beam sounding system

频率	最大420 kHz;最小190 kHz。 10 kHz步长可调节
垂直航迹接收波束角度(额定值)	0.5°(400 kHz);1°(200 kHz)
沿航迹发射波束角度(额定值)	1°(400 kHz);2°(200 kHz)
大ping率	50 pings/秒
波束个数	512
大扫宽角度	等距模式下150°、等角模式下 165°
测深分辨率	6 mm
脉冲长度	15 ~ 300 μs(CW);300 μs ~ 10 ms (FM)

离岸距离约13 km,水深32~78 m。本项目拟安装1台单机容量为5 MW风电机组,完成“海上浮式风电装备研制”工程示范要求,并开发利用良好的风能资源,向电网提供清洁的可再生能源。通过资料收集,项目所在区域海底表层底质以粉砂、细沙为主;同时项目地处北回归线以南的低纬地带,属亚热带海洋性季风气候,冬季NE—E风向较多,夏季ESE—SSE风向较多,多年月平均风速为2.4~3.5 m/s;年平均气温为24.5℃,潮汐类型为不规则半日混合潮;海水温度最高值为30.86℃,最低海水温度值为28.71℃。测区地理位置见图2。

2.2 项目实施

2.2.1 测线布置

主测线沿测区南北走向布置,测线间距为100 m,保证多波束能全覆盖扫测,且其有效条带重合度大于条带宽度的15%;检测线垂直于主测线,检测线间距为1 200 m,检查线长度约占主测线数的7.5%,

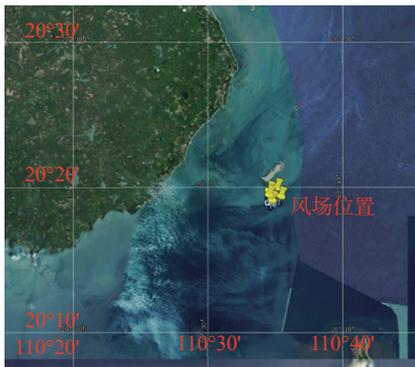


图 2 测区地理位置图

Fig. 2 Geographical location map of the survey area

多于规范要求的 5% 要求。

2. 2. 2 声速剖面测量

为了获取高精度多波束水深数据, 每日作业前、作业中、作业后在测区两端与中央的水域测定声速剖面, 确保投放的单个声速剖面仪投放位置控制范围小于 5 km, 声速剖面测量时间间隔小于 6 h, 测量的声速剖面位置为附近水域最深水深, 表面声速变化大于 2 m/s 时重新测定声速剖面。通过数日的实时监测, 作业区域内监测的表面声速约为 1 530 m/s。声速剖面曲线图见图 3。



图 3 声速剖面曲线

Fig. 3 Curve of sound velocity profile

2. 2. 3 潮位观测

测区距离岸边约 13 km, 水深测量时采用 GPS RTK 技术测量作业区域的水位变化, 并根据实测的水面高数据生成当日的潮位文件, 用于改正多波束水深测量值。

2. 2. 4 多波束安装和调试

SeaBat T50- P 多波束的换能器采用舷侧安装法安装, 装在船中部牢固不活动的部位, 此位置远离船主机、泵和螺旋桨并有效避免勘察船摇摆及噪音干扰, 其他仪器设备均安装在其合适位置。POS MV 定姿定位系统, IMU 和换能器通过刚性连接安

装在一起。多波束安装相对位置见图 4。

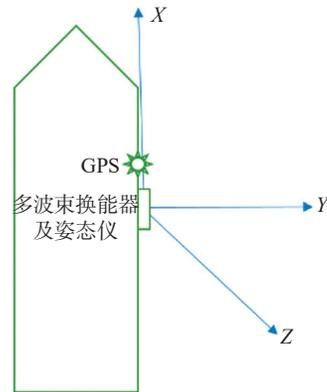


图 4 多波束安装相对位置

Fig. 4 Multi-beam mounting relative position

设备安装完毕后, 对各设备的工作状态进行测试, 所有设备测试正常后才可进行下一步工作。

2. 2. 5 多波束校准

为了确定多波束换能器的初始安装角度, 需要进行多波束校准测量。在测区附近水域布设合适的测线, 分别校正横摇差 (Roll)、纵摇差 (Pitch)、艏摇差 (Yaw) 及船舶动吃水测定等项^[10], 各校正参数按照相应的方法进行。经外业数据采集, 通过软件校准计算求得各改正值, 横摇 (Roll): 0.06°; 纵摇 (Pitch): -0.77°; 航向 (Yaw): 0.06°。

根据校正结果对采集的 4 条测线数据进行 Roll, Pitch, Yaw 参数校正并进行数据合并检验, 合并结果显示测线之间拼接情况良好, 因此, 本次校正参数符合要求, 可用于本次多波束正常作业波。多波束校正作业区域和测线见图 5。

2. 2. 6 多波束数据采集

多波束外业测量采集的数据主要包括 GPS 定位数据、多波束测深数据、光纤罗经的罗经姿态数据和现场测量的一些基本数据。外业采集数据时使用 Sonar UI 多波束控制软件和 PDS Control Center 数据采集软件, 测量期间, 每天观察吃水变化, 并量取变化值做好记录, 测量船作业时船速控制在 5 节左右, 不大于 6 节, 保证测量数据质量良好。测量过程严格按照操作说明作业, 设备工作正常, 软件运行稳定。多波束外业测量见图 6。

2. 2. 7 侧扫声呐障碍探测

在调查中, 侧扫声呐采用船舷拖拽方式, 放缆长度约 8 m。工作前, 我们对侧扫声呐系统进行严

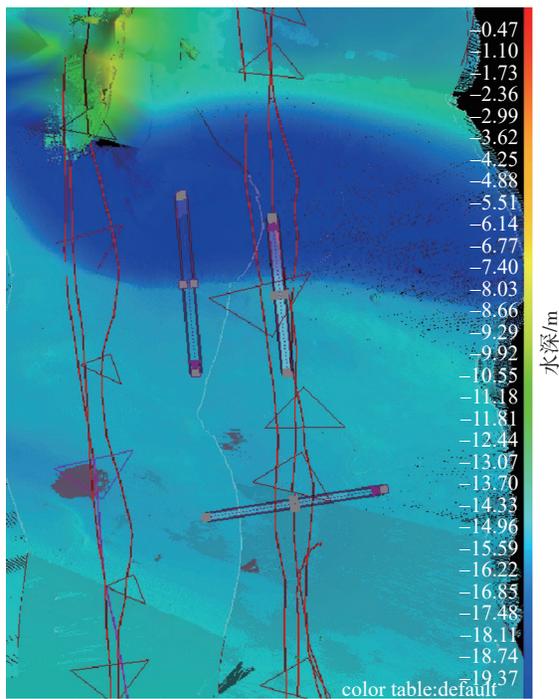


图 5 多波束校正作业区域和测线

Fig. 5 Multi-beam calibration of operating areas and survey lines

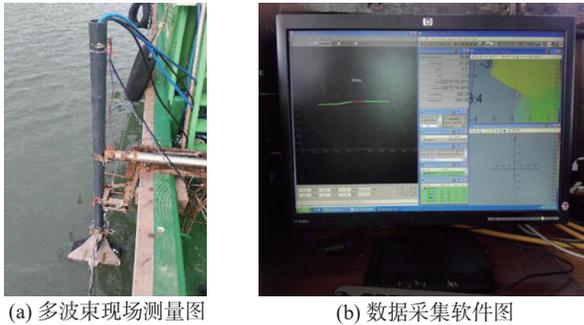


图 6 多波束外业测量

Fig. 6 Multi-beam field survey

格的状态调试，调试的主要内容包括：拖鱼入水深度、侧扫作业模式的选定、信号的发射与接收、增益、TVG调节等。侧扫声呐作业时船速控制在 5 节以内，这样既能保证质量，又能提高作业效率。

3 数据处理

多波束数据处理采用 CARIS HIPS 软件，在处理前，检查各传感器的偏移量、系统校准参数等相关数据的准确性，基本的处理流程如下：

1) 创建新项目，建立船型文件。

2) 声速文件的编辑，按 CARIS 要求的格式导入声速数据。

3) 潮位文件的编辑，按 CARIS 要求的格式导入潮位数据，潮时采用 UTC 标准时间。

4) 将 PDS 数据导入 Caris。

5) 对数据进行潮位改正、声速改正及 Merge 合并。

6) 编辑水深数据，利用 Caris 软件的 Swath Editor、Subset Editor 等编辑模块对数据进行粗差别除。

7) 计算总传播误差，并建立实测地域图 (Field Sheets)，然后采用 CUBE 加权平均算法建立加权平均水深数据曲面 (Base Surface)，该算法是当前最先进的半自动多波束数据处理方法。本工程建立了分辨率为 1 m 的水深曲面。

8) 由 CARIS HIPS 软件输出标准的 ASCII 文件格式，用于水深图的绘制。多波束数据后处理流程图见图 7。

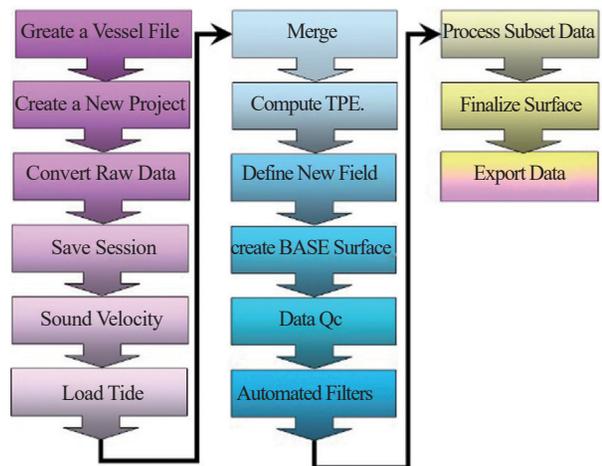


图 7 多波束数据处理流程

Fig. 7 Multi-beam data processing

4 成果分析

利用 Caris 软件根据以上数据处理流程，分别得到了测区内 1 m 及 5 m 格网的数字高程模型见图 8。通过数字高程模型可以直观地看出 1 m 格网比 5 m 格网的数字高程模型精细化程度高，更能清晰的表达地形地貌特征。海底地形主要以链状沙坡地貌为主；但在测区的东侧有一处凹坑，长约 380 m，宽约 110 m，最深处约 89.2 m，海底有较多长短不一的沙波地貌，走向为东西方向，个别沙坡长约 680 m，高差达 15 m，最大坡度约为 11°。整个区域的地形呈南高北低，部分断面图见图 9，三维效果图见图 10。

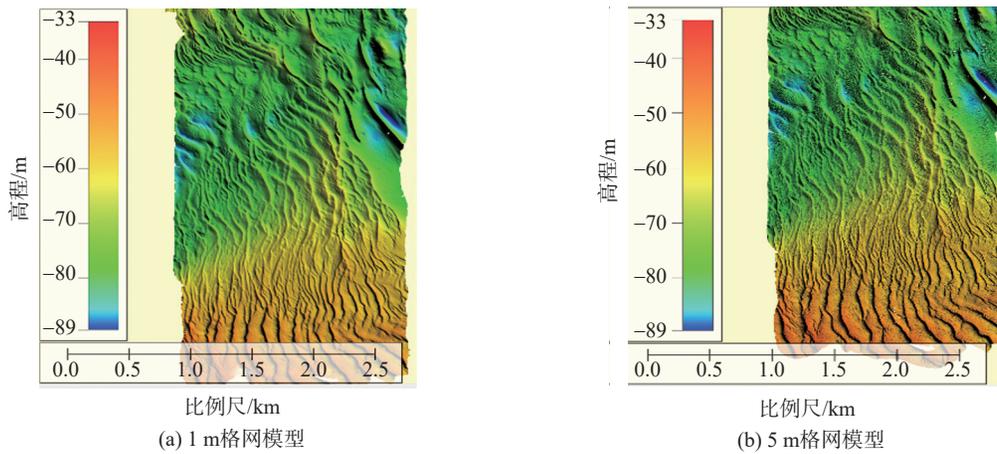


图 8 数字高程模型

Fig. 8 Digital elevation model

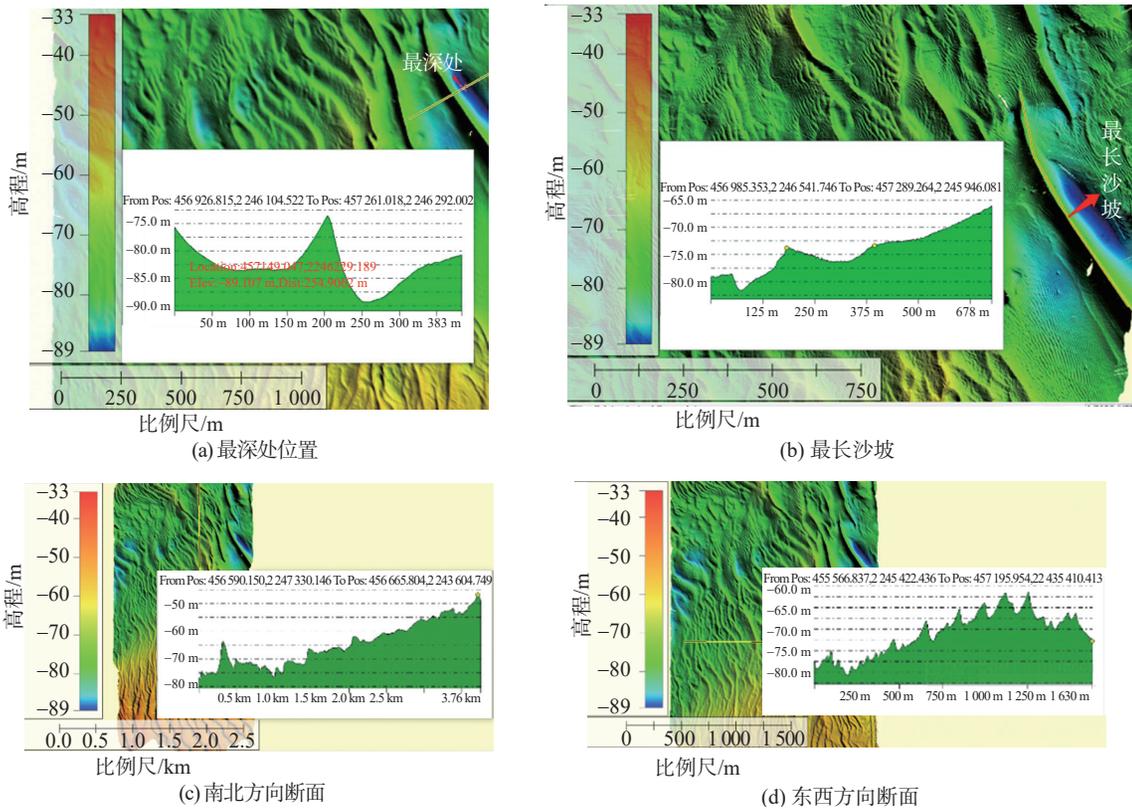


图 9 断面图

Fig. 9 Profile

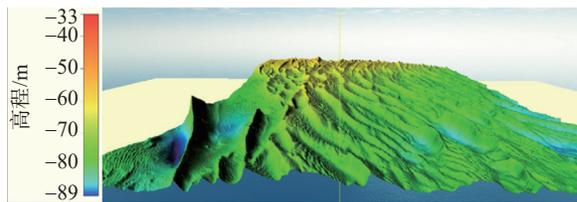


图 10 三维效果图

Fig. 10 3D effect graphic

将 Caris7.0 数据处理完成后得到的 XYZ 成果, 利用南方 CASS 软件按 1 : 1 000 比例尺绘制水深图。按相应规范要求绘制各要素和标注形式, 最终生成数字线划图见图 11。从数字线划图中等高线的稀疏密度可看出, 在有沙坡的区域地形变化较明显。

通过 SonarWiz.Map 软件对每条数据输入位置

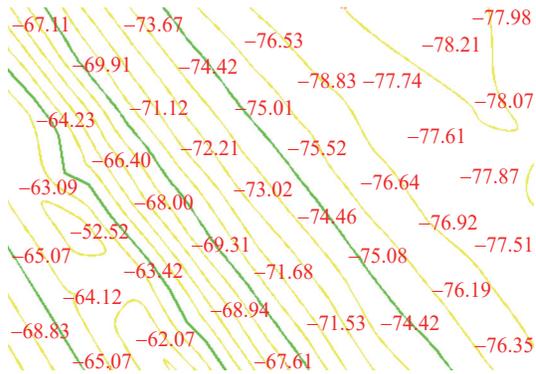


图 11 数字线划图

Fig. 11 Digital line graphic

偏移量进行改正, 再进行数据的拼接, 提取有利用价值的地物, 对地物的尺寸、高度、属性等进行解译, 处理完毕后输出 TIF 图形文件和地物分析报告。侧扫声呐障碍物探测结果见图 12。

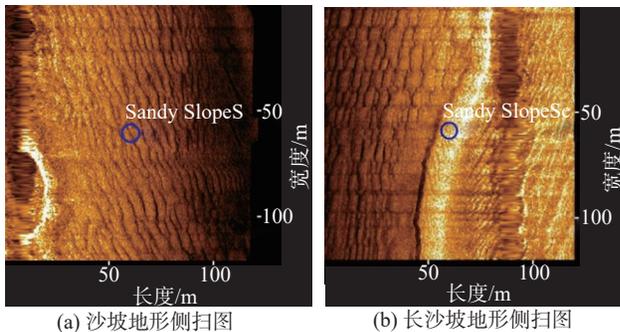


图 12 侧扫声呐障碍物探测结果

Fig. 12 Obstacle detection results from side scan sonar

从侧扫声呐障碍物探测结果可以看出, 该区域的地物主要是沙波地貌, 期间没有发现沉船、大礁石、管道等障碍物。

5 精度评定

十字交叉水深精度评估方法既是单波束测深的传统水深精度评估方法, 也是多波束测深的有效水深精度评估方法^[11-13]。该方法考虑了多波束系统换能器、各传感器的随机误差、系统误差和换能器、各传感器空间安装的组合误差, 因此该方法是除没有考虑水深系统误差外的最为有效的水深精度评估方法。参照《海洋调查规范 第10部分: 海底地形地貌调查》(GB/T 12763.10—2007) 规范及《测绘成果质量检查与验收》(GB/T 24356—2009)^[14-15], 利用主测线与检测线重合点水深不符值, 进行水深

测量准确度估计^[16]。本工程通过主测线和检查线深度比对(检查半径为图上1mm), 有效检查水深点1902个, 精度对比情况见图13。从表可知本次多波束测量精度满足规范要求, 成果质量可靠。

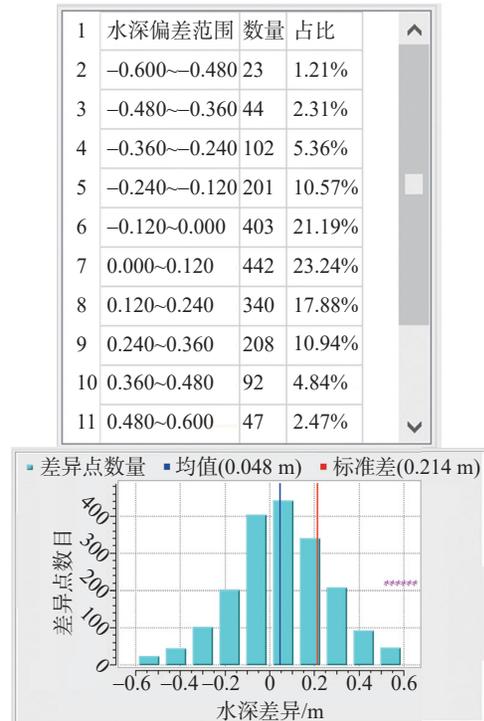


图 13 精度对比情况

Fig. 13 Accuracy comparison

6 结论

本文介绍了 SeaBat T50-P 多波束测深系统在海上风电项目中的具体应用, 重点论述了多波束的测量原理及实施的关键步骤, 并对测量成果的精度进行了详细分析, 表明 SeaBat T50-P 多波束测深系统在此次海上风电场地形测量中成果合格, 质量可靠, 满足工程的需要。

近年来, 多波束测深的技术发展迅速, 仪器结构方面向更小的体积和重量、更高的集成度以及更灵活的安装和维修方面发展。数据处理软件更加自动化、智能化、精细化, 图像处理速度更快, 功能更加完善以及成果表达更加丰富等方面发展。

随着海上风电开发活动由近海向深海发展, 多波束测深系统将成为深水地形测量的主要技术手段, 在海上风电开发活动中的将会发挥着越来越重要的作用, 多波束测深系统在深水地形测量的应用将会是我们下一步研究的重点方向。

参考文献:

- [1] 裴爱国,何登富. 海上风电大数据发展研究 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(2): 19-23.
PEI A G, HE D F. Research on the development of big data with offshore wind power [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(2): 19-23.
- [2] 郑钊颖,冯奕敏. 广东海上风电产业发展路径与对策研究 [J]. 南方能源建设, 2020, 7(4): 18-25.
ZHENG Z Y, FENG Y M. Research on the development approach and policy recommendations of Guangdong offshore wind power industry [J]. Southern Energy Construction, 2020, 7(4): 18-25.
- [3] 马海毅. 广东沿海海上风电项目工程勘测综述 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(增刊1): 194-198.
MA H Y. Investigation summary of offshore wind farm along Guangdong coastline [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(Supp. 1): 194-198.
- [4] 邓卫红,刘凡. 多波束系统在500 kV福港线海底电缆路由地形变化分析中的应用 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(增刊1): 119-123.
DENG W H, LIU F. Application of multibeam system in the analysis of the terrain change of the 500 kV Fugang high-voltage submarine cable [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(Supp. 1): 119-123.
- [5] 赵建虎,欧阳永忠,王爱学. 海底地形测量技术现状及发展趋势 [J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1786-1794.
ZHAO J H, OUYANG Y Z, WANG A X. Status and development tendency for seafloor terrain measurement technology [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 1786-1794.
- [6] 闫文斌,郑杰尹. 多波束测深技术在水工项目中的应用 [J]. 中国水运, 2019(5): 48-50.
YAN W B, ZHENG J Y. Application of multibeam sounding technology in hydraulic engineering project [J]. China Water Transport, 2019(5): 48-50.
- [7] 赵云昌,李通. EM2024P多波束系统在码头测深中的应用与分析 [J]. 测绘工程, 2020, 29(5): 71-76.
ZHAO Y C, LI T. Analysis and application of EM2024P multi-beam bathymetric system in wharf survey [J]. Engineering of Surveying and Mapping, 2020, 29(5): 71-76.
- [8] 李家彪. 多波束勘测原理技术与方法 [M]. 北京: 海洋出版社, 1999.
LI J B. Principle technology and method of multi-beam survey [M]. Beijing: China Ocean Press, 1999.
- [9] 付作民,刘喆,王琪,等. 多波束测深系统在海洋航道测量中的应用分析 [J]. 工程技术研究, 2019, 4(14): 136-137.
FU Z M, LIU Z, WANG Q, et al. Application of multi-beam sounding system in ocean hydrographic survey [J]. Engineering Technology Research, 2019, 4(14): 136-137.
- [10] 张国堃,陶春辉,王昇,等. 深水多波束声呐测深数据精度评估 [J]. 海洋学报, 2017, 39(11): 106-114.
ZHANG G Y, TAO C H, WANG A, et al. Accuracy evaluation of multi-beam echo sounder bathymetry data [J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(11): 106-114.
- [11] 卢凯乐. 多波束测深数据预处理及系统误差削弱方法研究与实现 [D]. 抚州: 东华理工大学, 2016.
LU K L. Research and implementation of data preprocessing and systematic error weakening method for multi-beam depth sounding [D]. Fuzhou: East China University of Technology, 2016.
- [12] 张彦昌,张博. 多波束安装校准中各参数关联性分析 [J]. 海洋测绘, 2010, 30(1): 53-55+58.
ZHANG Y C, ZHANG B. Correlation analysis of parameters in multi-beam installation calibration [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2010, 30(1): 53-55+58.
- [13] 李宜龙,殷晓冬,张立华,等. 交叉检查在多波束测深精度评估和误差分析中的应用 [J]. 海洋技术, 2006, 6(1): 119-123.
LI Y L, YIN X D, ZHANG L H, et al. The application of cross-check in multibeam accuracy evaluation and error analysis [J]. Ocean Technology, 2006, 6(1): 119-123.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海洋调查规范 第10部分: 海底地形地貌调查: GB/T 12763. 10—2007 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for marine surveys - part 10: submarine topographic and geomorphic surveys: GB/T 12763. 10—2007 [S]. Beijing: People's Communications Press, 2012.
- [15] 国家测绘产品质量监督检验测试中心. 测绘成果质量检查与验收: GB/T 24356—2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
National Surveying and Mapping Product Quality Supervision Inspection and Test Center. Quality inspection and acceptance of surveying and mapping results: GB/T 24356—2009 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [16] 刘胜旋,张瑶,马金凤,等. 多波束测深成果精度评估方法探讨 [J]. 海洋测绘, 2016, 36(5): 36-39.
LIU S X, ZHANG Y, MA J F, et al. Accuracy assessment of multibeam echosounding data [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2016, 36(5): 36-39.

作者简介:



刘新华

刘新华 (通信作者)

1981-, 男, 江西九江人, 高级工程师, 注册测绘师, 硕士, 主要从事输电线路工程测量、海洋测绘及工程项目管理工作 (e-mail) liuxinhua@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)