

# 多波束测深技术在码头地形测量中的应用

许招华<sup>1,2</sup> 王志良<sup>1,2</sup> 张 平<sup>1,2</sup>

(1. 国家海洋局南海调查技术中心 广东广州 510300; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用  
重点实验室 广东广州 510300)

## Application of Multi-Beam Sounding Technology in Topographic Survey of Wharf

XU Zhaohua WANG Zhiliang ZHANG Ping

**摘 要:** 为了获取码头水下地形地貌,将多波束测深技术应用于码头地形测量。结合实际工作项目,详细介绍多波束测深系统以及水下地形测量和数据处理流程。结合码头清淤前后的地形测量成果,准确分析清淤状况。测量结果表明,多波束测深技术能够准确获取码头水下地形变化信息,为相关工程应用提供参考。

**关键词:** 多波束测深; 水深测量; 水下地形测量

**Keywords:** Multi-Beam Sounding; Water Depth Measurement; Underwater Topographic Survey

中图法分类号: P229.1

水下地形测量是一项基础性海洋测绘工作,其技术核心是水深测量技术<sup>[1-2]</sup>。20 世纪 70 年代出现了由换能器阵列组成的多波束回声测深技术,随后产生了基于多波束测深系统的水深探测技术<sup>[3-4]</sup>。多波束测深系统是一种高精度、高分辨率、高效率的水下地形测量新技术,具有覆盖范围大、精度高、速度快、记录数字化、成图自动化的优点,近年来在海洋测绘中广泛使用<sup>[5-6]</sup>。

在码头清淤工作中,需要准确获知清淤效果,生成高精度的码头地形图。本文结合实际工作项目,详细介绍多波束测深系统技术和数据处理过程,并

采用多波束测深系统对码头清淤前后地形进行测量,获得了码头清淤成果和三维地形信息。

## 1 多波束测深系统

多波束测深系统主要由多波束探头及控制盒、外围辅助传感器、GNSS 接收机、声速剖面仪、采集电脑、数据采集与处理软件组成<sup>[7]</sup>。

### 1.1 多波束测深仪

采用 R2Sonic 2024 多波束测深仪,主要参数:信号带宽 60 kHz,量程分辨率 1.25 cm,覆盖宽度 10°~160°,实时可选波束数量 256 个,最大量程

[2] 秦昆. 隋唐长安城天坛遗址公园设计研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016.

[3] 杨永. 古建筑数字化保护关键技术研究[D]. 开封: 河南大学, 2010.

[4] 赵东. 数字化生存下的历史文化资源保护与开发研究[D]. 济南: 山东大学, 2014.

[5] 师国伟,王涌天,刘越,等. 增强现实技术在文化遗产数字化保护中的应用[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(7): 2 090-2 093.

[6] 王志,孙升,唐仲明,等. 基于倾斜摄影测量技术的明中都城午门遗址三维重建[J]. 安徽建筑大学学报, 2017, 25(1): 34-37.

[7] 刘军. 文化遗址的三维场景建模及虚拟展示技术研究

[D]. 西安: 西北大学, 2009.

[8] 阎西浔. 基于多源测量数据融合的三维实景重建技术研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2017.

[9] OIMO Z R, ARSALAN A, ERIC P C, et al. An Open Source Java Web Application to Build Self-Contained Web GIS Sites[J]. Environmental Modelling and Software, 2014: 62.

[10] Wikipedia. Open API[EB/OL]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Open\\_API](http://en.wikipedia.org/wiki/Open_API), 2009-03-20.

收稿日期: 2020-02-28

作者简介: 尉青梅, 高级工程师, 现主要从事航空摄影测量与遥感。

500 m, 脉冲长度  $10\ \mu\text{s} \sim 1\ \text{ms}$ , 波束角为  $0.5^\circ \times 1^\circ$  (垂直航线  $\times$  沿航线), 深度检测技术是相位和振幅。R2Sonic 2024 多波束测深仪分辨率很高, 可以发现水下极小物体<sup>[8]</sup>, 其换能器安装在测量船测量井中, 可以全自动垂直升降<sup>[9]</sup>。

### 1.2 运动传感器

Octans 运动传感器, 集罗经、运动传感器于一体, 可以提供载体真方位角、纵横摇角度、升沉量等有关信息, 是目前唯一采用光纤陀螺技术、能同时提供真北方位和运动姿态的固态罗经运动传感器。运动传感器为系统提供船舶的姿态数据, 包括横摇值 (Roll)、纵摇值 (Pitch)、升沉值 (Heave), 以便修正因船舶运动引起的水深值的变化<sup>[10]</sup>。

### 1.3 GNSS 设备

C-NAV 3050 差分全球导航卫星系统 (DGNSS), 水平精度小于 15 cm, 垂直精度小于 30 cm, 速度精度为 0.01 m/s, 1PPS 精度为 12.5 ns。通过提供实时三维定位信息, 计算多波束测深仪改正后的高程信息, 同时还输出 1PPS 时间脉冲, 实时同步传输水深数据和其他传感器 (GNSS、运动传感器) 数据, 消除时间偏差。

### 1.4 声速剖面仪

声速剖面仪 AML Minos X, 工作温度  $-20 \sim 45^\circ\text{C}$ , 自主识别 RS232 或 RS485, 最大工作水深 1 000 m, 最大采样数 25 次/s, 精度  $\pm 0.05\ \text{m/s}$ 。通过采集声波在海水中的传播速度, 以便在内外业进行声速改正, 求得正确的水深值。考虑到表面声速对 R2Sonic 2024 多波束测深仪接收换能器的影响, 用声速剖面仪测量时一定要保证准确。

### 1.5 测量平台

本项目采用当地渔船作为测量平台。渔船吨位 15 t, 尺寸  $14.75\ \text{m} \times 3.05\ \text{m}$ , 吃水 1.5 m, 船两侧适宜安装固定多波束换能器。渔船工人对测区情况较为了解, 能在测量过程中保证船速和姿态均匀, 为获取高精度的资料提供了必要保障。

## 2 水深地形测量

### 2.1 测区概况

对某维权执法基地码头前沿水域进行清淤, 需对清淤前后的水域进行水深测量, 以准确掌握清淤情况, 获取码头精确地形信息。测区水域范围为码头前沿约 200 m 范围, 测量面积约  $6.7\ \text{hm}^2$ 。外业测量包

括水深测量、水位观测、声速剖面测量等, 内业整理包括测量资料处理分析、图件编绘、报告编制等。

### 2.2 测量基准

坐标系采用 2000 国家大地坐标系, 投影采用高斯 3° 带投影, 中央子午线  $114^\circ\text{E}$ , 地形图比例尺为 1:500, 深度基准采用当地理论最低潮面, 按码头边标高 5.12 m 起算。

### 2.3 水位观测

在测量区域设立验潮站, 目的是获得潮位数据, 进行潮位改正。临时验潮站设立在码头边缘, 观测临时验潮站水位使用人工验潮的方式, 每 10 min 观测一次, 保证覆盖整个水深测量期, 潮位观测曲线如图 1 所示。

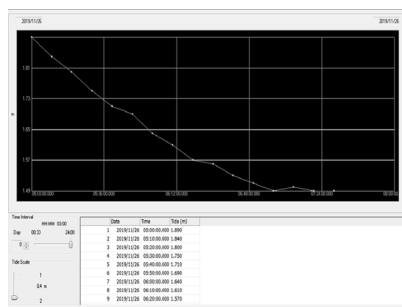


图1 测区潮位曲线

Fig. 1 Tide Level of the Surveyed Area

### 2.4 多波束水深测量

#### 2.4.1 测线布设

本项目采用便携式浅水多波束测深仪进行覆盖测量, 测线布设采用水深主测线平行于码头前缘线, 检测线与主测线垂直的原则。根据 2019 年测量所得数据, 码头前沿水域大部分水深在 5 m 左右, 多波束单边覆盖宽度为水深值的 3 倍, 为了保证覆盖效果, 水域主测线间距均设置为 25 m, 测线布设示意图如图 2 所示。

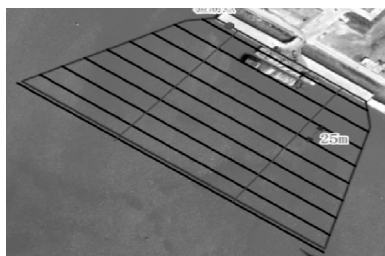


图2 测线布设示意图

Fig. 2 Schematic Layout of the Surveyed Line

#### 2.4.2 定位测量

本项目采用 C-NAV 3050 DGNS, 能实时接收

Starfire 星站差分信号,可获得分米级实时定位精度,大大优于相关规范对定位精度的要求,满足了测量需求。正式测量作业前,在码头选择固定点进行长时间观测以验证其定位精度和稳定性,所有投入使用的导航定位设备须满足相关规范要求后方可开始测量工作。

#### 2.4.3 水深测量

本项目采用 R2Sonic 2024 多波束测深仪进行水深地形测量,测量前根据测量船上的甲板空间合理摆放仪器设备。在船侧安装水下换能器,并配备表面声速仪测定表层海水声速环境参数;在船舶的中轴线上安装光纤罗经,可以更好地模拟船舶的运动方向和三维运动姿态;安装在船上的多波束测深系统收发控制单元,可以通过采集软件控制多波束测深系统的工作状态;安装在船顶部的导航定位系统,可以通过导航控制软件实时显示船舶的航行信息。设备安装固定后,测量多波束探头、光纤罗经与 GNSS 天线的位置和方位,并做位置改正及仪器调试。水深测量开始前,对多波束测深系统及其辅助设备进行调整和参数校正,选择有特征地形的海区进行多波束测深系统的横摇、纵摇、艏摇校正以及 GNSS 的延迟校正;量取探头的吃水,进行吃水改正。水深测量期间,在测量前后应使用声速剖面仪测定声速剖面,获取一个声速剖面数据,如果在测量中发现声速剖面的变化较大,则须增加声速剖面测量的次数,以保证测量数据的精度。

测量过程中,应保持匀速直线航行,船速不超过 5 节(1 节 = 1.852 km/h)。测线更换时,测量船按照“提前上线、延迟下线”的原则进行测量,测量船航线偏离不超过扫测条带宽度的 10%。

### 3 测量数据处理

本项目采用 CARIS HIPS and SIPS 软件进行多波束水深数据处理,处理流程:建立船型文件,进行声速改正,进行潮位改正,数据合并,子区编辑,区域三维成图,数据质量检查,成果数据输出等。多波束水深数据处理采用 HIPS and SIPS 软件的标准流程,如图 3 所示。

主要处理过程如下:

- 1) 编辑船型配置文件(Create a Vessel File)。
- 2) 建立新 HIPS 项目(Create a New Project)。
- 3) 将原始数据(如 XTF 格式)转换成 HIPS 格式

(Convert Raw Data)。

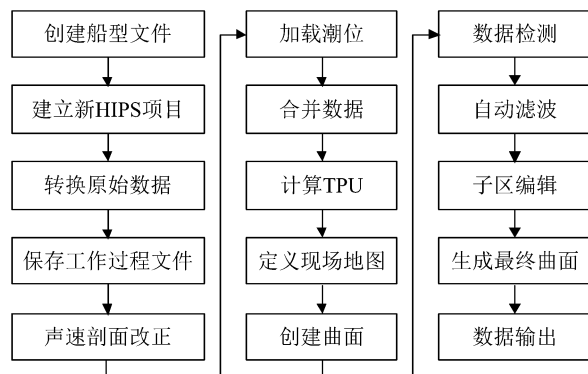


图3 HIPS and SIPS 后处理流程

Fig. 3 Post-Processing Flowchart by HIPS and SIPS

4) 保存工作过程文件(Save Session)。

5) 声速剖面改正(Sound Velocity Correction),读入和编辑声速剖面文件,声速剖面改正时可选择最近距离或最近时间。

6) 输入潮位数据(Load Tide)。

7) 合并数据(Merge),将水深数据与辅助传感器数据合并,产生三维地理坐标数据。

8) 计算每个水深点的总传播误差(Compute TPE)。

9) 定义现场地图(Define New Field Sheets)。

10) 创建曲面,用 CUBE 技术生成网格化水深地形曲面(Generate BASE Surface CUBE);数据检测(Data QC),如果在水深地形曲面上发现数据异常,需要进行检查,首先进行条带编辑,逐条线依次检查和编辑以时间为参考的原始水深数据,其次检查、编辑 GNSS 和运动传感器数据对精细改正声速折射的影响;子区域数据清理,在小面积地图范围内同时编辑多条测线数据。

11) 自动数据处理(过滤)(Automated Filters):首先,可进行条带滤波,自动进行测线数据清理功能;其次,进行水深地形曲面过滤,滤除不在 CUBE 面上的数据。

12) 子区编辑(Process Subset Data)。

13) 生成光滑水深曲面(Finalize Surface)。

14) 数据输出,首先用 CARIS 编辑工具生成各种图件,其次用新的 HIPS 现场地图(Field Sheets)编辑器生成等值线图和水深图,最后,各种图像以 TIF 格式输出,其中水深值可输入 CARIS 或以 ASCII 文件格式输出。

为确保数据处理质量,应严格按照 GARIS HIPS

and SIPS 软件的标准流程进行多波束数据处理,先进行多波束姿态校正,再进行单线编辑和子区编辑,通过检查线确保数据质量。

图 4 为本次多波束水深测量获得的清淤地形图,从图 4 可以看出,整个清淤范围内的大部分水深为 4.5 ~ 6.3 m,码头前沿大部分水深为 5 m,靠码头两侧水深稍浅,部分水深未达到 5 m,码头前沿 100 m 处水深较深,平均为 5.5 m。

本项目清淤工程要求清淤至 5 m 水深,根据 2019 年 9 月 10 日疏浚前实测水深数据,通过统计挖方量,疏浚边坡按 1:2 计算,清淤量为 14 048 m<sup>3</sup>。2019 年 11 月 26 日实测水深数据显示,只有部分区域水深未到 5 m,通过统计挖方量可知,疏浚边坡按

1:2 计算,清淤量已完成 12 471 m<sup>3</sup>。清淤工程达到了预期效果。

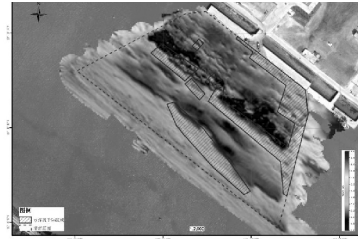


图 4 清淤地形图

Fig. 4 Topographic Map of Dredging Area

对多波束水深数据进行质量检查,水深检查点共有 10 个,超限点 0 个。本项目水深数据符合相关规范要求,质量可靠。主检查测深比对统计见表 1。

表 1 主检查测深比对统计

Tab. 1 Statistics Table of Main Inspection Comparison

序号	北方向/m	东方向/m	水深/m		
			主测线	检查线	较差
1	252 657.534	42 257.432	5.01	5.05	0.04
2	252 672.056	42 274.320	5.80	5.82	-0.02
3	252 690.657	42 296.221	5.72	5.69	0.03
4	252 712.855	42 321.121	5.91	5.92	-0.01
5	252 744.136	42 338.401	5.87	5.83	0.04
6	252 777.825	42 357.221	5.63	5.67	-0.04
7	252 795.056	42 375.621	5.35	5.40	-0.05
8	252 593.567	42 372.231	5.94	5.94	0.00
9	252 623.289	42 398.421	5.55	5.50	0.05
10	252 659.116	42 415.576	5.31	5.34	0.03

## 4 结 语

多波束测深技术的出现,改变了水深测量方式。本文将多波束测深技术应用于码头地形测量,结合实际工作项目,详细介绍了多波束测深技术的水下测量技术和数据处理过程,获取了符合相关规范要求的水深测量数据,该测量结果能准确显示不同时期的码头三维地形,为相关工程应用提供了参考。

## 参考文献

[1] 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):1 786-1 794.  
[2] 翟国君,黄谟涛.我国海洋测绘发展历程[J].海洋测绘,2009,29(4):74-81.  
[3] 李海森,魏波,杜伟东.多波束合成孔径声呐技术研究进展[J].测绘学报,2017,46(10):1 760-1 769.

[4] 李海森,周天,徐超.多波束测深声纳技术研究新进展[J].声学技术,2013,32(2):73-80.  
[5] 张同伟,秦升杰,唐嘉陵,等.深水多波束测深系统现状及展望[J].测绘通报,2018(5):82-85.  
[6] 王建忠,王玉龙.多波束与 RTK 三维水深测量技术的联合应用[J].测绘工程,2014,23(4):65-68.  
[7] 李传,章繁荣,邓红勇.HY1621 多波束测深仪的性能分析[J].海洋测绘,2020,40(1):73-78.  
[8] 郭军,刘胜旋,关永贤,等.浅水多波束系统 SONIC 2024 在码头测深中的应用[J].测绘工程,2016,25(7):46-50.  
[9] 程波,蔡艳军,蒋婷婷.多波束与 RTK 三维水深测量技术的联合应用[J].工程技术研究,2018(4):72-73.  
[10] 潘满,何波.RTK 三维多波束水深测量在港珠澳大桥岛隧工程中的应用[J].中国港湾建设,2016,36(7):5-8.

收稿日期:2020-10-18

第一作者简介:许招华,工程师,现主要从事海洋测绘。