



水工建筑物水下三维检测精确定位分析

王萧寒, 王俊刚, 卢军民

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 在复杂海况下, 对水下的水工建筑物进行三维检测精确定位分析, 目前有多种设备可选择。但检测的可靠性和精度需要进一步分析和验证。为此, 结合广东揭阳石化原油码头工程, 采用多波束测深仪系统和水下三维实时3D声呐系统, 以点云数据建模, 将2种系统采集的数据融合处理, 可对建筑物的坐标和高程进行精确分析。其中, 多波束测深仪系统可用于水下建筑物绝对坐标的测量, 而实时3D声呐系统可取得目标物精确的模型图像, 2种数据融合处理后, 即可用可视化的方法对目标物的位置和状态进行准确分析。该方法可用于港口和码头维护以及水下建筑物检测, 为老码头的改造、修复提出有效的检测定位方法和可视工具。

关键词: 3D声呐系统; 点云数据; 多波束测深仪系统; 数据融合; 精准定位

中图分类号: U 666.73

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0085-05

Accurate positioning analysis of underwater three-dimensional detection of hydraulic structure

WANG Xiao-han, WANG Jun-gang, LU Jun-min

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Under complex sea conditions, there are many kinds of equipment available for 3D detection and accurate positioning analysis of underwater hydraulic structures. However, the reliability and accuracy of the detection need to be further analyzed and verified. Combining with Guangdong Jieyang Petrochemical Crude Oil Terminal Project, we adopt the multi-beam echo-sounder system and the underwater 3D real-time sonar system, and build model with the point cloud data. The data collected by the two systems are integrated and processed, and the coordinate and elevation of the building are accurately analyzed. The multi-beam echo-sounder system can be used for measuring the absolute coordinates of underwater structures, and the real-time 3D sonar system can obtain accurate model image of the target object. Integrating and processing the two kinds of data, we can accurately analyze the position and state of the object by the visual method. This method can be used for the harbor and wharf maintenance, underwater building inspection, and provide an effective detection and positioning method and visual tools for the reconstruction and restoration of old wharves.

Keywords: 3D sonar system; point cloud data; multi-beam echo-sounder system; data fusion; accurate positioning

受海浪、台风等复杂海况的影响, 水下建筑物如桥墩、钢管桩、码头基础等存在位移、倾倒、折弯、裂缝等各种情况。为修复被破坏的结构, 以前是蛙人水下探摸, 近年来多波束测深仪和三维声呐成像得到广泛使用, 但以上方法均无法以坐标和高

程精确定位, 给施工带来较大的困难。广东揭阳石化原油码头, 离岸约2 km, 桩基结构为钢管桩。2014年施工完成105根, 2014—2018年, 受台风影响, 其中24根发生明显移位和倾倒。笔者结合该工程钢管桩的修复, 设计了多波束测深系统和

3D 声呐系统点云数据融合处理的方案, 对钢管桩基进行一体化三维测量, 取得钢管桩精确的位移数据, 为下一步的施工修复提供了基础资料。该方法可推广用于港口和码头改造以及水下建筑物的检测修复等。

1 系统介绍

1.1 SeaBat 7125 多波束系统

多波束测深系统工作原理是利用 T 型发射换

能器向水下发射一个声呐脉冲, 形成一定角度的扇区声波, 可同时获得与船的航迹相垂直的平面内的几十个水深值, 从而实时显示海底地貌, 亦可测量水下航行障碍物的位置、深度。该设备由基本系统、辅助设备、数据实时采集处理系统 (PDS2000) 和数据后处理软件包 (Hypack) 4 部分组成^[1], 见图 1。

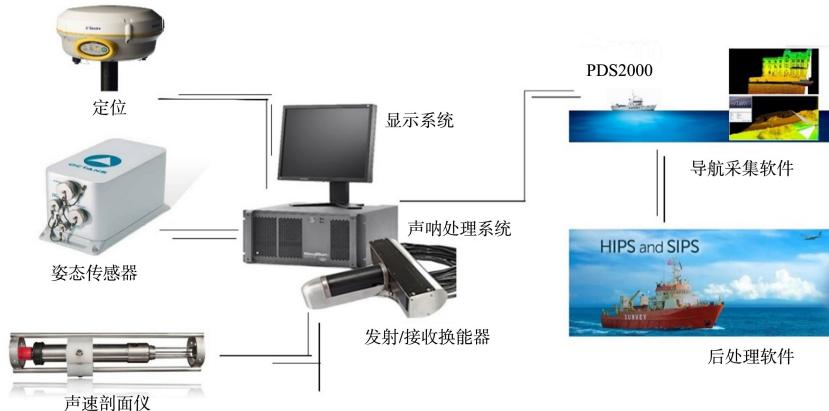


图 1 RESON SeaBat 7125 多波束系统组成

1.2 EchoScope 实时 3D 声呐系统

3D 声呐系统原理是利用相控阵技术产生同时存在的波束, 形成三维声呐图像, 使得整个场景可以实时地可视化显示, 提供高清晰度水下环境图像, 同时可生成相对应的数据集。该系统的特

点是可实现快速的实时三维成像, 并进行多角度的可视化观测, 从三维图像中对水下物体进行更加精准的测量。系统主要由水下声呐、定位定姿系统、单轴转子、立体连接器及数据处理软件 5 部分组成^[2], 见图 2。

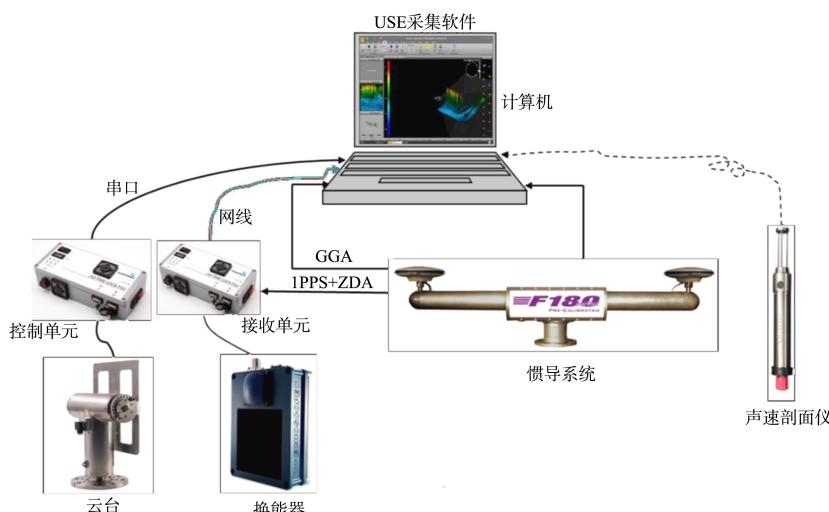


图 2 EchoScope 实时 3D 声呐系统组成

1.3 多波束和 3D 声呐的比较

多波束的主要功能是测量水深, 在外业工作

时无法提供数据模型, 只有在内业进行数据处理后才能构建数字地形模型。3D 声呐主要功能是可

以直观地提供物体图像, 在外业工作的同时, 可在工作屏幕上看到声呐扫描的模型, 所见即所得^[3-4]。

多波束的测量定位可得到水下建筑物的绝对坐标, 3D 声呐可扫描水下物体的模型图象, 二者数据的融合处理, 可实现水下建筑物的精确定位和可视化分析。

2 多波束测深仪测量

2.1 安装和调试

多波束测深仪应选择在船重心附近的船舷位置(约 1/2 船长处)安装, 此位置远离船主机、泵和螺旋桨, 可有效避免测量船摇摆及噪音干扰。调整姿态仪使其测量的方位角与测量船艏艉线一致。GPS 垂直安装在换能器杆顶端, 减少距离量测误差, 同时保证信号不受船舶遮挡, 避免多路径效应。

以姿态仪为中心作为参考点建立船体坐标系, 测试各仪器的工作状态, 如换能器发射和接收信号强度、GPS 状态、软件系统的数据采集、屏幕显示信息等, 并逐一进行调试, 全部调试正常后依次进行 Roll 偏差测定与校准、Pitch 偏差测定与校准、Yaw 偏差测定与校准。

2.2 测量

在进行多波束测量时, 对相关参数进行设置, 主要包括发射功率、增益、工作模式、脉宽等。外业导航软件实时显示测量船航行信息, 包括偏移量、航迹、航速、GPS 状态等, 并实时记录。在浅水区域选择使用较低的脉宽, 可确保高航速下采集的数据密度。调节增益可使得接收到的声波信号放大, 提高声波识别能力。

SeaBat 7125 型多波束测深系统波束角朝向可调整, 在钢管桩扫测过程中, 波束朝向钢管桩, 以尽可能扫描到钢管桩上部情况。

2.3 数据处理

设置数据处理软件, 将采集到的测深数据自动分析和分类, 剔除错误的数据和受干扰的数据。对预处理后的数据进行分析、描述和绘图。

后处理顺序为: 定位点数据检查→姿态数据检查→声速改正→线模式编辑→潮位改正→合并数据→面模式编辑数据处理等。

3 3D 声呐测量

3.1 设备安装

在测量船的左舷安装 3D 声呐探头, 使安装杆垂直向下, 将 F180 惯导系统固定在安装杆的正上方, GPS 安装在船顶部开阔区域。以探头安装杆与海平面交点作为参考原点建立船体坐标系, 见图 3。

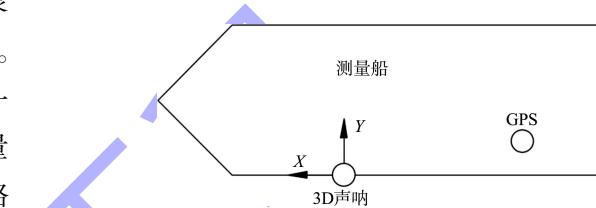


图 3 3D 声呐及 GPS 安装位置

将探头与云台系统通过电缆连接到控制盒, 云台角度归零。探头与云台放入水下, 位置应低于测量船底部, 调整安装杆使之与水面垂直。F180 惯导系统竖直固定在安装杆上, 将 DGPS 罗经天线安装在船顶开阔部位, 连线与船中轴线平行。姿态数据由 F180 惯导系统获取, 定位和艏向数据由 DGPS 罗经采用星站差分模式提供。

3.2 测量

沿钢管桩群外侧布设测线, 初步设定测线距离管桩 10 m, 具体根据测区现场情况进行调整, 确保测量安全和数据完整。

沿计划测线航行, 调整云台角度使海底钢管桩清晰可见, 在扫测过程中进一步微调云台角度, 使当前 3D 声呐扫测范围内呈现更多的钢管桩桩基结构。

调整不同的云台角度和发射频率, 沿测线重复航行, 保证测区范围内钢管桩桩基测量完全, 对复杂结构区域进行精细扫测, 部分测量结果见图 4。

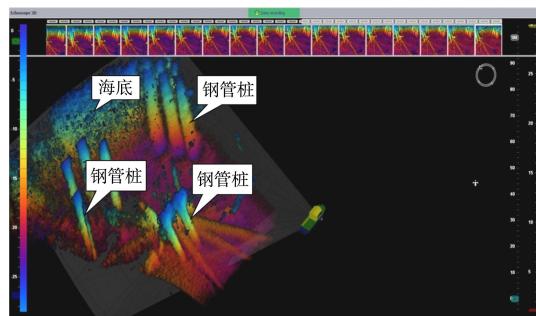


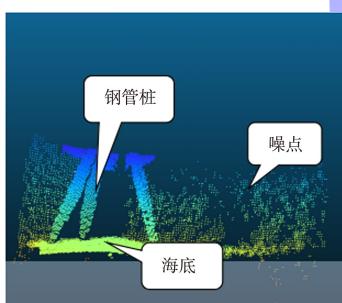
图 4 钢管桩桩基扫测

3.3 数据处理

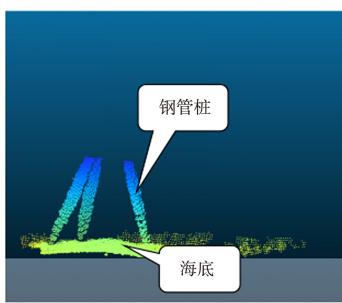
使用软件的 Patch Test 功能对往复测量的同一钢管桩及海底地形进行校正，得出校正值，并在数据回放处理过程中将校正值输入软件。应多次校正，以确保数据的准确性。

对每个钢管桩区块分别进行回放，在保证相邻两 ping 数据有 $1/2$ 以上重叠的基础上，依次导出点云数据，处理后应检查数据完整性。

将导出的点云数据文件导入 CloudCompare 软件中，参照所导出数据的 3D 声呐画面，分析确定钢管桩和海床数据，剔除噪点。噪点剔除前后对比见图 5。



a) 剔除前



b) 剔除后

图 5 点云数据噪点剔除前后对比

4 多波束和 3D 声呐测量数据融合处理

多波束点云数据具有绝对坐标，但多波束扫

测的点云密度不足以支撑建模需要。3D 声呐数据的单帧数据具有密度高、质量好的特点，然而其只有相对坐标^[5]。本项目采用提取钢管桩群多帧 3D 声呐数据进行点云拼接，形成具有相对坐标的钢管桩群点云，再配准到多波束点云，配准完成后进行数据建模。

4.1 点云配准

首先将 3D 声呐数据的多帧模型进行拼接配准，其次将拼接成果生成的点云与多波束数据进行基于地形和钢管桩的匹配。处理完成后 3D 声呐数据即具有绝对坐标，配准后成果见图 6。

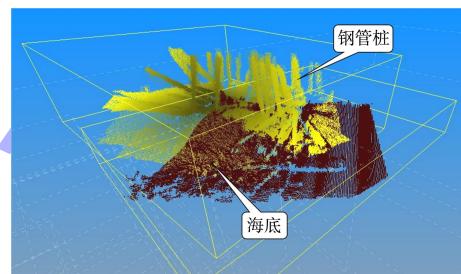


图 6 多波束和 3D 声呐数据配准

4.2 点云建模

将具有绝对坐标的 3D 声呐点云数据导入 Trimble RealWorks 软件中进行钢管桩建模(图 7)，处理后得到钢管桩模型的旋转视图(图 8)，根据此成果可提取钢管桩模型的中心线。

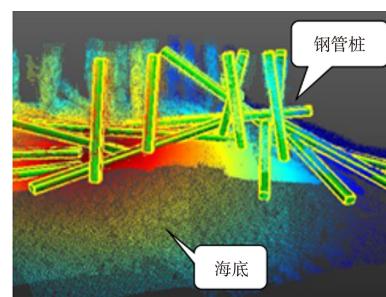


图 7 3D 声呐数据建模

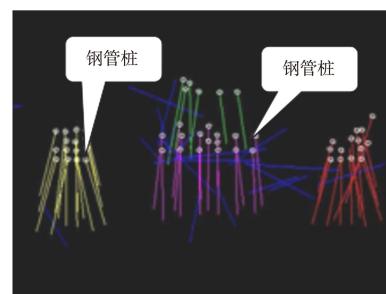


图 8 钢管桩旋转视图

4.3 数据提取比较

将模型中心线进行三维延伸至设计高程。提

取每个延伸点的坐标, 与原设计坐标进行比较分析。部分钢管桩坐标比较见表 1。

表 1 部分钢管桩位坐标及偏位

墩台	桩号	桩径/m	桩顶 高程/m	坐标(设计)/m		坐标(测量)/m		偏差/m	
				X	Y	X	Y	纵向	横向
工作平台 (PT1)	P1-A1	1.2	6.60	2 536 810.131	449 947.058	2 536 811.070	449 947.910	-0.939	-0.851
	P1-A2	1.2	6.60	2 536 806.001	449 941.160	2 536 806.548	449 942.153	-0.547	-0.992
靠船墩 (KB)	KB-D2	1.4	4.60	2 536 759.657	449 895.725	2 536 747.068	449 889.535	12.589	6.190
	KB-D3	1.4	4.60	2 536 757.337	449 892.413	2 536 756.270	449 890.744	1.067	1.668
引桥墩 (QD16)	QD15Z2	1.4	7.20	2 536 834.169	450 066.347	2 536 821.111	450 054.398	13.058	11.949
	QD15Z5	1.4	7.20	2 536 845.966	450 066.632	2 536 847.794	450 067.179	-1.829	-0.547

5 结论

1) 多波束测深仪系统的扫测对海底的测量分辨率较高, 而扫测钢管桩需要调整扫测角度。当扩大扫测角度时, 其精度会降低, 其点云密度也不足以满足建模需要。

2) 3D 声呐系统波速比多波束测深仪高, 对钢管桩的细节成像分辨率高, 三维显示细腻形象, 可观察到钢管桩折弯、裂缝等损坏情况, 然而无法精确测量其绝对坐标。

3) 采用水下 3D 声呐系统对钢管桩进行全景成像扫描, 与多波束扫描成果进行数据融合处理, 获取钢管桩精确位置与状态, 提供水下建筑物的绝对坐标及三维模型, 为下一步的修复工作提供可靠依据。

4) 此方法可推广到水下建筑物变形、破坏检测, 水下建筑物施工, 配套工具修补, 水下障碍物探摸, 水下地形测量等更多应用领域。

(上接第 47 页)

- [3] 交通运输部水运科学所. 危险货物港口建设项目安全设施设计专篇编制规范: JTS/T 108-3—2019[S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [4] 全国人民代表大会常务委员会. 全国人民代表大会常务委员会关于修改《中华人民共和国安全生产法》的决定 [R]. 北京: 全国人民代表大会常务委员会, 2014.
- [5] 中华人民共和国国务院. 中华人民共和国国务院令第 645 号国务院关于修改部分行政法规的决定《危险化学品安全管理条例》[R]. 北京: 中华人民共和国国务

5) 随着无人机搭载激光雷达技术的发展, 可以精确测量建筑物水面以上部分的坐标。结合本文多波束和 3D 声呐数据的融合, 真正实现水上、水下建筑物一体化测量精确定位。

参考文献:

- [1] 何邦涛, 曹敬涛, 李海鹏.Reson SeaBat 7125 多波束测深系统应用与分析[J]. 珠江水运, 2016(19): 36-37.
- [2] 向松, 吴文力, 王刚. 新型防护块体 Xbloc 的安装技术[J]. 港工技术, 2020, 57(2): 60-64.
- [3] 朱瑞虎, 郑金海, 章家保, 等. 重力式码头沉箱接缝检测方法研究与改进[J]. 水运工程, 2019(6): 58-62.
- [4] 张顺洋, 张卓. 多波束测深系统与三维声呐系统在码头水下部分的应用对比[J]. 吉林水利, 2018(7): 40-43.
- [5] 党云廷. 基于点云数据的水下精细化探测技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2020.

(本文编辑 郭雪珍)

院, 2013.

- [6] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 港口工程初步设计文件编制规定: JTS 110-4—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.
- [7] 交通运输部办公厅. 关于印发《港口安全设施目录》的通知[R]. 北京: 交通运输部, 2014.
- [8] 中华人民共和国建设部. 关于印发《工程设计资质标准》的通知[R]. 北京: 交通运输部, 中华人民共和国建设部, 2007.

(本文编辑 武亚庆)