

多波束测深系统在沉管隧道水下地形测量中的应用研究[★]

杨 卓, 刘 彤, 刘永辉, 胡综浩, 朱 烈, 喻定成, 黎大钊

(广州建设工程质量安全检测中心有限公司, 广州 510440)

摘 要: 为获取某沉管隧道浮运航道及管节寄存区的水下地形地貌信息, 本文采用 R2Sonic (2024) 多波束测深系统搭配高精度惯导分析设备对待测水域进行了大面积扫测, 同时对测深系统的工作原理、操作要点、技术参数、安装调试等进行了归纳总结, 扫测获得了目标水域水底三维信息模型, 通过对模型的分析得到了开挖状况及水域高点具体方位。研究结果显示: 高精度测深系统 (R2sonic) 在沉管隧道水下地形测量中发挥了不可替代的作用, 本文的技术方法和注意事项可以为相关扫测工作提供技术参考。

关键词: 多波束测深系统; 沉管隧道; 水下地形地貌; 水深测量

中图分类号: TU91

文献标识码: A

文章编号: 1671-2439(2023)04-097-04

作者简介: 杨卓 (1985—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事岩土工程检测、水下检测与监测方面的研究, E-mail: 165503593@qq.com。

Research on Application of Multi-beam Sounding System in Underwater Topographic Survey of Immersed Tube Tunnel

YANG Zhuo, LIU Tong, LIU Yong-hui, HU Zong-hao, ZHU Lie, YU Ding-cheng, LI Da-zhao

(Guangzhou Institute of Building Science Co., Ltd., Guangzhou 510440)

Abstract: In order to obtain the underwater topography and geomorphology information of the floating channel and the storage area of a submerged tube tunnel, this paper adopts the R2Sonic (2024) multi-beam sounding system and high-precision inertial navigation analysis equipment to sweep the measured waters in a large area. Meanwhile, the working principle, operation key points, technical parameters, installation and debugging of the sounding system are summarized. The three-dimensional underwater information model of the target water area is obtained by sweeping side, and the excavation condition and the specific orientation of the water area high point are obtained by analyzing the model. The results show that the high precision sounding system (R2sonic) plays an irreplaceable role in the topographic survey under immersed tube tunnel test. The technical methods and precautions in this paper can provide technical reference for the relevant side sweeping work.

Keywords: multi-beam sounding system; immersed tube tunnel; underwater landform; bathymetry

0 引言

多波束测深系统主要包括多波束测深仪、表面声速仪、深度剖面仪、惯性分析仪、GPS 定位系统、数据采集软件及后处理平台等多种测量设备^[1-2], 是为了提高海底地形测量效率而设计研发。

与传统的单波束测深系统每次测量只能获得测量船垂直下方一个海底测量深度值相比, 多波束测深系统能获得一个条带覆盖区域内多个测量点的海底深度值, 从而实现了从“点—线”测量到“线—面”

测量的关键跨越, 其技术进步在水下检测领域尤其是需要高精度测量的沉管隧道工程领域具有跨时代的意义^[3-5]。

1 多波束测量原理及系统组成

1.1 多波束测深原理

多波束测深系统是利用安装于船底或拖体上的声基阵向与航向垂直的海底发射超宽声波束^[6-7]。其

接收海底反向散射信号, 经过模拟/数字信号处理, 形成多个波束, 同时获得几百个海底条带上采样点的水深数据; 测量条带覆盖范围为水深的 2~10 倍, 与现场采集的导航定位及姿态数据相结合, 绘制出高精度、高分辨率的数字成果图^[8]。多波束扫侧示意图如图 1 所示。

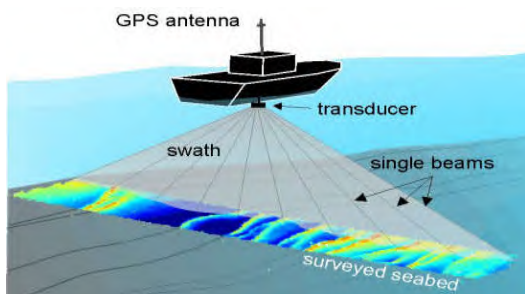


图 1 多波束扫侧示意图

与单波束回声测深仪相比, 多波束测深系统具有测量范围大、测量速度快、精度和效率高的优点。

多波束测深系统把测深技术从点、线扩展到线、面, 并进一步发展到立体测深和自动成图, 特别适合进行大面积的海底地形探测^[9-10]。

1.2 多波束测深系统的组成

典型的多波束系统组成为多波束测深仪、惯导姿态仪/光纤罗经、表面声速仪、声速剖面仪、GNSS 定位设备、多波束数据采集与后处理软件^[11-12]。

多波束系统的组成如下图 2 所示:



图 2 多波束测深系统组成图

其中各部分的主要功能如下:

(1) **多波束测深仪:** 多波束测深仪发射声波的部分, 可同时发射 1024 个波束, 根据声波的发射角、入射角和往返时间算出探测点跟换能器的相对位置, 根据航向角可计算出绝对的水深和坐标, 从而形成大面积的点深信息并以三维立体的方式显示。

(2) **惯导姿态仪:** 三维姿态仪可实时输出横摇信息, 纵摇信息和起伏信息等, 根据数据实时改正船体的姿态, 根据工程经验, 在 1° 的横摇误差下, 50m 的斜距会造成 0.6m 左右的误差, 因此必须进行姿态改正, 以保证检测数据的准确性^[13-14]。

(3) **声速剖面仪:** 主要用来测量当声波在不同介质中传播的情况。因声波会发生折射, 从而导

致声波到达水底的绝对速度,根据工程经验,开角 70° 、水深在60m左右时,会导致70cm的水深误差。

(4) GNSS 定位设备: 主要作用是获得船只当前坐标系下的坐标,然后根据波束角、距离,把船只坐标归算到水底每一个水深点,形成点深信息云^[15]。

2 工程应用

2.1 项目概况

为判断某沉管隧道的浮运航道及寄存区开挖深度、边坡及水下情况是否满足设计要求,为沉管隧道浮云和寄存提供数据支持和技术服务,保障沉管隧道沉放对接安全顺利,我司对相关水域进行了大面积多波束扫侧工作,采用进口最新 R2sonic 测深系统针对水下地形地貌进行高精度测量。

2.2 数据处理

声速剖面数据采集在多波束测量数据采集前或过程中进行,通过绳索将声速剖面仪放入水底再收回水面,采集待测区域水体剖面声速数据,用于多波束数据处理声速改正。

声速剖面数据采集应在进入测量区域实施测量前完成。

2.3 水深测量

将多波束声呐头插至水中50cm,连接GPS、表面声速仪、姿态仪与罗经,记录各个传感器与船体相对参考点的相对位置,调试多波束系统,预热各个传感器10~30min。

打开点深多波束采集软件,根据测量水域水深选择多波束测深门限;测量船在GPS的导航指引下,进行不间断水下声纳扫侧。

航行过程中同时测得来自多波束仪的深度值和GPS系统定位坐标值(水下探测仪的每一次脉冲都对应接受相应的GPS差分坐标)、罗经的姿态及方位数据及表面声速,自动输入计算机进行数据存储,用以数据分析和处理。设备安装图如图3所示。

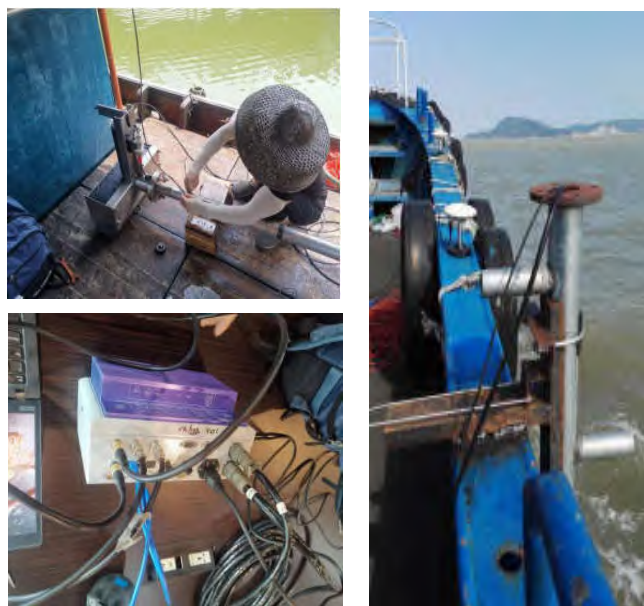


图3 现场设备安装图

2.4 数据处理

利用点深数据后处理软件将现场测量数据、声速深度梯度变化曲线、水位变化情况整合得到待测区域的平面坐标、河床底标高等数据,剔除不符合水深的跳点后,导入Surfer三维绘图软件绘制水下地形横断面图如图4所示。

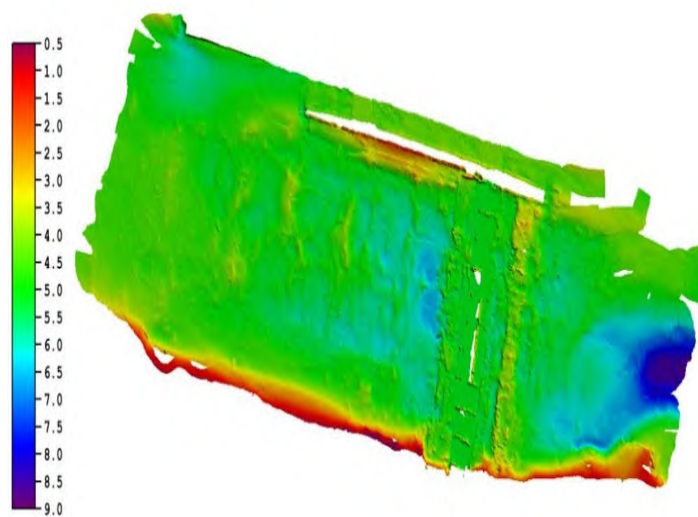


图4 水下地形点云效果图

2.5 测量结果分析

(1) 管节寄存区西侧局部标高未达到设计标高,最高处约-2.8m,东侧局部未达到设计标高,最高处约-5.7m;

(2) 浮运航道开挖底边线普遍未达到-4.3m 高程要求, 东侧情况较为严重, 底边线附近最高处高程约为-3.2m。

(3) 浮运航道存在疑似较浅, 最高处高程约-3.8m; 同时存在疑似浅点, 高程约-4.0m; 浮运航道内还存在部分未达到-4.3m 的区域, 面积约 750m²。

3 结语

多波束测深系统相对于单波束具有更高的分辨率, 更宽广的覆盖范围、更准确的数据计算。在水下检测中, 尤其是沉管隧道关键工序水下地形地貌测量中具有无法比拟的优势, 其可以清晰地扫测到浮云航道可疑高点, 可以对关键水域的水深情况有更全面的了解, 有利地保障了沉管隧道浮云、沉放和成功对接, 其在沉管隧道水下地形地貌测量中具有积极的、不可替代的作用和意义。

参考文献

- [1] 潘伟,朱永帅,成益品,等.沉管隧道基础施工多波束测深系统高精度检测技术研究及应用[J].中国港湾建设,2022,42(11):50-53.
- [2] 陶振杰,朱永帅,成益品,等.多波束测深系统在沉管隧道基槽回淤监测及边坡稳定性分析中的应用[J].中国港湾建设,2021, 41(5):4.
- [3] 杨锐,蒋伟平.基于多波束数据的港珠澳大桥隧道基础检测分析[J].海洋测绘,2017,37(6):4.
- [4] 宋来中.外海沉管隧道回淤监测及防淤清淤技术[J].中国港湾建设,2017,37(8):4.
- [5] 高耿明,潘润秋.基于多波束测深的海底沉管基槽回淤监测与分析[J].测绘地理信息,2010(4):32-33.
- [6] 郑伟.港珠澳大桥沉管隧道深基槽回淤监测与分析[J].中国港湾建设,2015,35(11):25-28,55.
- [7] 胡玗晗.基于多波束测深系统的隧道沉管覆土及沉降变化研究[J].科技资讯,2019.
- [8] 尚乾坤,张月欣,徐良.沉管隧道碎石回填高程测量分析[J].中国港湾建设,2022,42(12):57-61.
- [9] 刘经南,赵建虎.多波束测深系统的现状和发展趋势[J].海洋测绘, 2002, 22(5):4.
- [10] 李家彪,郑玉龙,王小波,等.多波束测深及影响精度的主要因素[J].海洋测绘, 2001(1):7.
- [11] 朱庆,李德仁.多波束测深数据的误差分析与处理[J].武汉测绘科技大学学报, 1998, 23(1):5.
- [12] 赵建虎,刘经南.多波束测深系统的归位问题研究[J].海洋测绘, 2003, 23(1):3.
- [13] 罗深荣.侧扫声纳和多波束测深系统在海洋调查中的综合应用[J].海洋测绘, 2003, 23(1):3.
- [14] 周丰年,赵建虎,周才扬.多波束测深系统最优声速公式的确定[J].台湾海峡, 2001.
- [15] 朱小辰,刘雁春,肖付民,等.多波束测深波束脚印位置归算模型研究[J].海洋测绘, 2011, 31(5):4.