

# 多波束测深系统在河床变化分析中的应用

付盈盈

(上海堃灿科技工程有限公司, 上海市 201703)

**摘要:**河道变化情况与变化趋势是河道防洪、通航、水文等分析的重要因素。特别是在河道水情复杂和险工险段处,其河床变化复杂,规律难寻,对通航安全、防洪排涝、水利工程设施稳定性等影响深远。根据具体实测数据研究了多波束测深体系在河床变化分析中的应用,探索了多波束测深系统在内河河底地形数据采集及数据处理及分析的方法,形成了一种基于多波束测深系统的河底地形数据进行河床变化的反演分析的思路。

**关键词:**河床变化;多波束测量;河底地形测量

**中图分类号:** TV221

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)07-0266-04

## 0 引言

本文是以上海市黄浦江某高风险区段作为试验段实施两次多波束测量并根据实测数据展开研究分析。黄浦江是上海市最大的河流,是集航运、排洪、灌溉、渔业、旅游、调节气候等综合功能为一体的重要河流。本研究实验段水情复杂,河底地形变化莫测,历史出险频繁,并有多次沉船等航行安全事件发生。为此,相关管理单位开展了大量的分析研究工作,但是由于该河段情况过于复杂,基于理论研究的方法以及研究模型其输入的各相关影响要素都难以考虑全面,往往导致分析模型及分析结果较实际情况具有较大偏离。基于河道河底地形变化实测数据进行河道变化分析是以结果为输入要素开展的反演分析模式,是一种有效且准确度较高的分析模式。水下地形测量一般有单波束测深系统与多波束测深系统两种测量手段,多波束测深较单波束测深在数据采集量及采集效率方面具有非常大的优势,但由于其适用水深较深的区域及设备昂贵的价格,长期以来在内河河道水深测量未有效普及。随着近几年测量设备的发展,多波束测深系统在集成化、轻量化、测量精准性等方面有了很大提升,多波束水下地形测量由之前主要适用于海洋测绘逐步向河道等浅水域发展,为本次研究的准确性和成果普及创造了基础条件。

## 1 多波束测深系统的发展简述

多波束测深系统是一种集成水声技术、计算机

技术、导航定位技术和数字化传感器技术等多种技术的高度集成技术系统。测量时,每发射一个声脉冲,不仅可以获得船下方的垂直深度,而且可以同时获得与船的航迹相垂直的线上的几十至上百水深值。多波束测深系统一般由回声测深设备(换能器、收发机、船行姿态传感装置等)和回声处理设备两大部分组成。

自70年代问世以来就一直以系统庞大、结构复杂和技术含量高著称,世界上主要有美国、加拿大、德国、挪威等国家在生产。近20多年时间,世界各国相继开发出了多种型号的多波束测深系列产品,其最大工作深度200~12 000 m,横向覆盖宽度可达深度的3倍以上。近几年生产的最新设备其采用宽带技术、近场自动聚焦和水体显示等技术,提高了声呐性能,波束数更多,测深点更密,集成度也更高。

到20世纪90年代初,我国有关部门从国防安全和海洋开发的战略需要出发,研制了用于中海型的多波束测深系统,该系统工作频率45 kHz,具有左右舷共48个 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 的数字化测深波束,测深范围10~1 000 m,覆盖范围2到4倍水深(覆盖宽度 $126.8^{\circ}$ )。使我国成功跻身世界具有独立开发与研制多波束测深系统的少数国家之列,国内海鹰HY1621等多波束测深仪也已经达到国际一线水平。

## 2 多波束测量关键点控制及精度评定

数据采集质量是数据精度的保障,因多波束测量系统集合了多种传感器,且相应的设备组装、调试、校准等工作均较为复杂,稍有疏忽便可能导致所测数据无效。为了保证测量精度,必须消除船在航行时纵横摇摆的影响,一般采用姿态传感器进行姿态修正。本

收稿日期: 2023-03-22

作者简介: 付盈盈(1988—),女,学士,工程师,从事测绘测量、地理信息工作。

次研究采用了 SeaBat7125 型号多波束测量设备,该设备为双频高分辨率多波束测深系统,适用于水深 500 m 以内的浅水。其工作频率有 200 kHz/400 kHz 双频可选,水深分辨率为 6 mm,扫宽为 140°(165°可选),最大测深范围为 200 m/500 m。

## 2.1 项目参数确定

准确设置项目参数是确定测量框架并测出准确结果的前提。项目参数主要是对坐标转换系统的设定,因内河河道水下地形图一般采用当地平面坐标,多波束测深系统的定位设备一般 GNSS 接收机,数据为通用的 GGA 数据。这就使得坐标系统的设备与常规陆地 GNSS 测量设备设定方式基本一致,源椭球选择 84 大地坐标系,其余主要为投影方式、投影参数和转换参数的设定。一般所测区域面积较小,选择投影中央子午线附近投影变形较小的高斯克吕格投影方式;带号、中央经线、经纬度偏移等投影参数根据当地坐标系设定;转换参数采用 7 参数,需要注意的是与陆域测量不同的是其旋转参数的符号是相反的,项目参数设置见图 1。

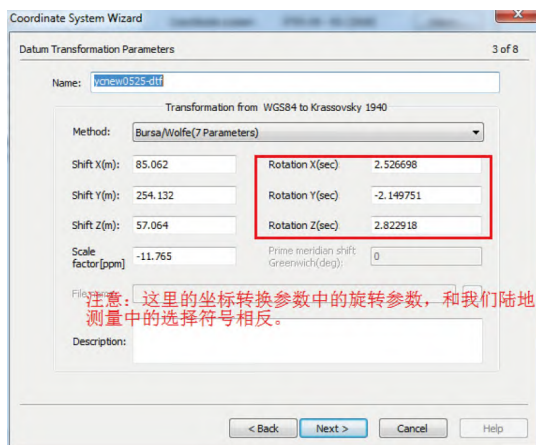


图 1 多波束测深项目参数设置图

## 2.2 各传感器几何空间确认

多波束测量系统作业涉及到的传感器设备有罗经(Compass)、定位设备(Positioning system Geogs)、多波束(Multibeam)和姿态仪(VRU)。当各种传感设备在船体固定好后,其相互间的空间关系也随之固定。这时需设置一个传感器组的 0 点来量化各传感器之间的位置关系,一般设置换能器连接杆的中心作为传感器组的平面 XY 坐标 0 点,其余传感器以 0 点位起算量测好 XYZ 坐标值输入设备即可,多波束各传感器空间几何关系设置见图 2。

## 2.3 设备校准

在实际测量过程中,多波束姿态是影响其测量准确性的关键因素。这其中包括多波束设备在船体

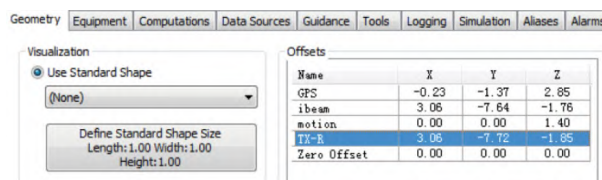


图 2 多波束测深系统各传感器几何空间关系设置图

固定后很难保障其换能器完全水平的静态偏差和在施测过程中船体摇动的动态偏差。其中静态偏差需要在施测前进行现场校准,动态偏差在后期测线后处理过程中校准。换能器的静态偏差主要包括换能器与船体横向水平夹角 roll 为横摇偏差,换能器与船体纵向水平夹角 pitch 为纵摇偏差,设备的指向与船舶指向的艏向偏差 yaw 为艏摇偏差,多波束测深系统姿态偏差示意图见图 3。

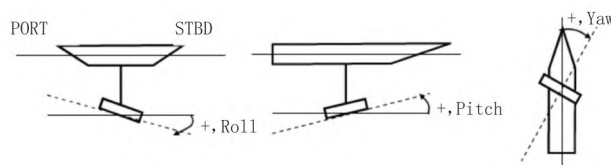


图 3 多波束测深系统姿态偏差示意图

根据所需校正的三个参数的特点选择合适的水下地形非常重要,同时在进行校准时需要控制船行姿态平稳以减少动态偏差的影响。为了获取好的校正效果,横摇校正需在水底平坦的区域进行,通过对比在同一航线往返航行两次形成的同一区域水底两次测量的平面夹角进行参数修正;纵摇校准需要在有特征地形的水底同一航线往返航行两次,通过对比该区域特征地形的航向偏差进行参数修正;艏摇校准要在水底落差较大区域相邻航线同向航行,其间隔要保障边缘波束有足够的重叠,比较重叠部分的两个剖面,确定偏差值。

## 2.4 测深精度评定

多波束测量的误差包括系统误差、偶然误差和人的误差等。系统误差来源于声速、多波束换能器、定位及姿态传感器等固定因素;偶然误差包括仪器姿态、外部潮流等偶然因素;人的误差包括参数设置、人工数据处理等误差。相对来说多波束测深的误差因素较多且难以逐一分析。本次直接根据多波束与单波束测深系统对特征断面同期施测数据水深值互差比对分析的方式进行。

本次研究在测量区域选取了 11 条断面进行单波束水深测量,对两种测量手段的河床中部重叠测量部分进行横断面比对,断面线套合叠加比对见图 4,在 11 条断面中均匀抽样了 204 个点位,剔除异常点后进行比较与较差中误差计算与评估。计算较差



平均为 0.24 m,较差中误差为 0.19 m。根据历年测量区域的单波束比对分析,河底常高程年变化量在几十厘米至几米范围,故可判定多波束测量精度可满足河底高程变化分析要求。

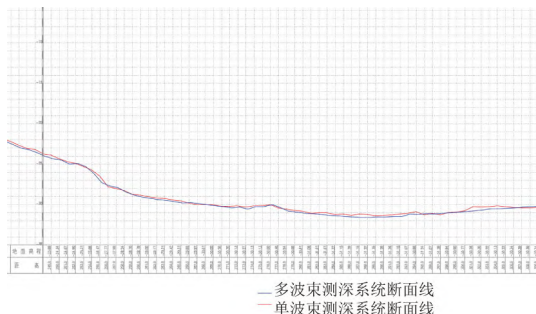


图 4 单波束与多波束测量断面线叠加对比图

### 3 河底地形数据处理

传统单波束采集的数据是河底散点高程数据,最终形成的河底地形展现形式为等深线与散点高程为主的 DLG 数字线划图。多波束采集的原始数据是河底高程的点云数据,点云数据可形成 DEM 数字高程模型,结合不同软件可对河底地形进行更直观和细致的展现。本研究是采用日常用的 ArcGis 软件的 3D Analyst 进行最终数据分析研究,所以数据处理流程是将多波束原始数据最终处理成 ArcGis 的 TIN 数据。

(1)多波束噪音数据剔除,在原始数据中存在因水下漂浮物等导致的点位异常的凸凹点,这种异常点可在规程测量地形图绘制软件南方 Cass 中通过建立三角网并绘制等深线后,查找等高线异常的点状线圈,在查看高程与旁边高程平滑情况,对异常点位进行剔除,南方 Cass 异常高程点位筛查见图 5。

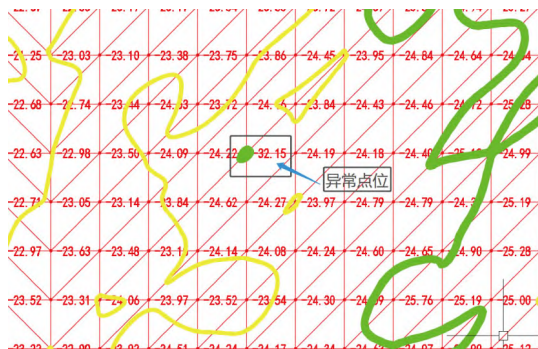


图 5 南方 Cass 异常高程定位筛查

(2)南方 Cass 的 DWG 高程点数据可方便导入 ArcGis 的 ArcScene 进行三维点云查看,对异常点位进一步筛查,ArcScene 中对三维点可进行全方位导航查看。对异常数据进一步剔除后,采用 ArcToolbox 的转换工具中的转为 shapefile 工具将 DWG 数据转

化为 shape 点数据,数据筛查及数据转换见图 6。

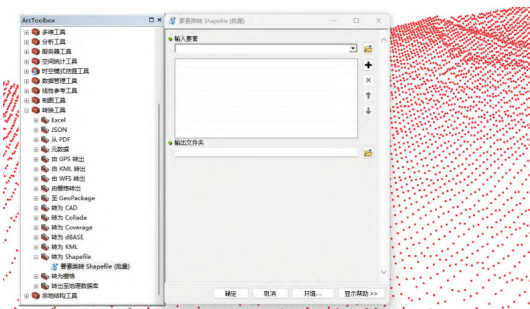


图 6 ArcGis 数据筛查及数据转换

(3)TIN 数据制作,采用 ArcToolbox 的 3D Analyst 的创建 TIN 工具创建 TIN,由于软件算法会对临近高程点建立三角线,会导致凹形凹角处点位直连,需要再次用编辑 TIN 工具对错误的直连区域裁切掉已保障数据与现实情况的一致性。对 TIN 数据按照高程字段进行符号系统的配色方案设计便可得到直观的 TIN 模型数据作为下一步叠加分析用。研究河段 TIN 模型效果见图 7。

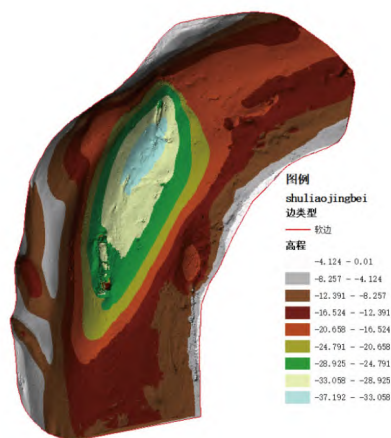


图 7 研究河段 TIN 模型图

### 4 河床变化比对分析

基于 TIN 数字高程模型的分析方式较多,本次研究我们是基于两期 TIN 数据对河床的局部冲淤游变和总淤积情况进行分析。

(1)河床冲淤游变的分析,采用两期 TIN 进行叠加比对,分层设色,通过叠加区域的空间显示情况判断河床冲淤游变情况,两期 TIN 数据叠加效果见图 8。其中黄色为 2020 年多波束测量生成的 TIN 模型,蓝色为 2021 年多波束测量生成的 TIN 模型。通过叠加分析可直观看出河床的变化情况为近岸区域河床以冲刷为主,中间区域河床以淤积为主。

(2)河床冲淤量分析,河床冲淤量分析是基于 TIN 模型,采用 ArcGis 的表面体积分析计算分析的方法。其原理是在计算河床以上某一虚拟高程平面

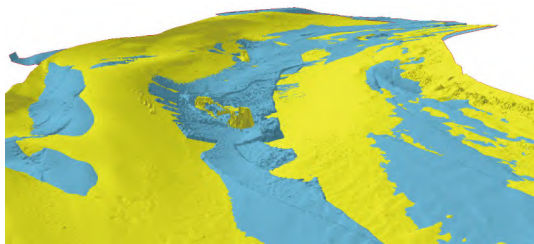


图 8 两期 TIN 模型叠加对比图

与河底 TIN 模型表面围合成的空间体积,两期数据形成的空间体积差值便是总的冲淤量。为了防止虚拟高程面与 TIN 模型的表面有交叉导致河床表面有高于虚拟表面情况,虚拟高程面的高程值应设置合理,一般设置大于 TIN 模型的最高高程。同时两期 TIN 模型边界需裁切一致,保证冲淤总量分析是在一定的投影面积范围内。本次研究两期数据表面体积计算虚拟高程设置为 5 m,参考平面参数选择 BELOW 选项,也就是计算虚拟平面以下的体积。表面体积工具的参数设置见图 9,两期模型表面体积计算结果见图 10。经计算可得两期冲淤总量为淤积  $390\,440\text{ m}^3$ 。



图 9 表面体积计算参数设置图

## 5 结论与展望

通过本研究可以得出,采用多波束测深系统进

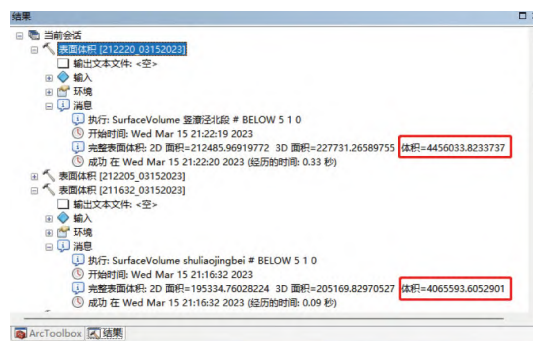


图 10 表面体积计算结果图

行数据采集,对其数据进行有效处理及计算分析,其分析方法是高效的,也是符合目前测量技术及设备的发展形式的;分析结果是准确的,是可以真实和直观反应河床冲淤变化并准确计算冲淤数量的。

多波束水深测量是一种快速高效的水下地形采集方法。随着多波束测深系统的轻量化、集成化发展,其使用也越来越方便。同时,随着国产化的推进,其技术在不断提升,设备测量精度不断提高,设备价格也在不断下降,这都为多波束测量系统在水上测量领域的普及奠定了基础。期望在不久的将来多波束测深系统成为水下地形采集的普及手段,为数字孪生等河道方面的管理与分析提供有力支撑。

### 参考文献:

- [1] 魏星海,王焕科.多波束测量误差分析[J].现代测绘,2016(2):15-17.
- [2] 史青法.多波束测量边缘波束测深精度分析与评估[J].海洋测绘,2018,38(6):25-28.
- [3] 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].工程技术与应用,2018(4):72-73.
- [4] 梁志诚,黄文赛,魏帅,等.多波束测量的精度控制与规范指标[J].测绘工程,2016,25(2):57-60,65.
- [5] 汤国安,杨昕.ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程(第二版)[M].北京:科学出版社,2021.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: [cdq@smedi.com](mailto:cdq@smedi.com)

industrialization can solve the problems in the implementation of fabricated cement concrete pavement technology.

**Keywords:** fabrication; pavement; airport; repair; construction technology

Application of Hydraulic Lifting Cable Crane in Canakkale Bridge ..... HE Yong ( 263 )

**Abstract:** Taking the application of 450 t hydraulic lifting cable crane in 1915 Chanakale Bridge in Turkey as the research object, the structure design and the main engineering machinery technology of the cable crane are introduced firstly. Then the principle of cable crane walking on the main cable in the air is analyzed. Finally, the key technologies of self-installation and self-disassembly of cable crane are discussed respectively in order to provide the reference for the design and site construction of the cable crane.

**Keywords:** cable crane; structure design; self-installation; self-disassembly; key technology

Application of Multi-beam Sounding System in Analysis of Riverbed Change ..... FU Yingying ( 266 )

**Abstract:** The change situation and change trend of river are the important factors in the analysis on the flood control, navigation and hydrology of river. Especially in the river water situation complex and dangerous sections, the changes of the riverbed are complicated and the rules are difficult to find, which have a far-reaching influence on the navigation safety, flood control, waterlogging drainage, and the stability of hydraulic engineering facilities. The application of multi-beam sounding system in the analysis of riverbed change is studied according to the detailed measured data. The methods of multi-beam sounding system in the topographic data collection, data processing and data analysis of the inland river bottoms are explored. And a method of inverse analysis of riverbed changes based on the data of river bottom topography from the multi-beam sounding system is developed.

**Keywords:** riverbed change; multi-beam measurement; measurement of river bottom topography

RAP Refined Oilstone Separation Technology and Its Engineering Application .....

..... ZHU Lei, ZHANG Yang, TANG Wei, ZHUANG Yuan, LI Ning, WANG Deyu ( 270 )

**Abstract:** The variability of reclaimed asphalt mixtures (RAP) is one of the important factors to affect the mix design and pavement performances of the reclaimed asphalt mixtures. Therefore, in the engineering practice, it is urgently to pretreat RAP material and separate the aged asphalt and aggregates in order to reduce the variability. Based on this, a new separation method of RAP oilstone named the refined oilstone separation technology is introduced including its technological process. The separation effect is experimentally evaluated. The refined separated RAP material is used to prepare the reclaimed mixture and to apply in the practical projects. The result shows that the RAP material after refined separated and treated is even and stable, and the variability meets the requirements. The performance indexes of used aggregates are basically same as the new aggregates. Various pavement performances of reclaimed asphalt mixture all satisfy the requirement. The construction quality of high-class pavement is controllable and reclaiming effect is good.

**Keywords:** reclaimed asphalt mixtures (RAP); refined oilstone separation; reclaimed mixtures; construction process; pavement maintenance

## THE RELATIVE SPECIALITIES

Study on Cooperative Construction Mode and Technology of Urban Tunnel and Underground Space .....

..... SUN Li, ZHAO Guang, HUANG Jun, LI Ao, YANG Kui, DONG Fei ( 274 )