

多波束测量技术在跨河桥梁墩、台影响范围防汛墙 安全防控管理中的应用研究

王家奇

(上海市堤防泵闸建设运行中心, 上海市 200080)

摘要: 上海地区的堤防大多位于软土地区, 黄浦江防汛墙受地质条件、水文条件、气候条件及人为因素等多方面影响, 存在结构失稳的安全风险。这种多源致险机制也使得安全风险识别及管理具有诸多挑战。近几年也有发生了多起防汛墙失稳事件耗费了大量的人力物力, 给堤防日常管理工作增加了不小的难度。多波束测量技术作为一种目前较先进的测量手段, 可以为桥梁墩、台及上下游防汛墙冲刷研究提供直观的数据分析, 随着该技术方法的普及, 在防汛墙安全性风险监测识别方面可为高风险防汛墙日常安全管理提供有效的技术支撑。

关键词: 多波束; 河床冲刷; 黄浦江防汛墙监测

中图分类号: U442

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)06-0366-05

Research on Application of Multi-Beam Measurement Technology in Safety Prevention and Control Management of Flood Control Walls within Influence Range of Bridge Piers and Abutments across Rivers

WANG Jiaqi

(Shanghai Embankment Pump and Gate Construction and Operation Center, Shanghai 200080, China)

Abstract: Most of the embankments in Shanghai are located in soft soil areas. The flood control wall of Huangpu River is affected by geological conditions, hydrological conditions, climatic conditions and human factors, which has the safety risk of structural instability. This multi-source risk mechanism also makes the identification and management of security risks have many challenges. In recent years, there have been many incidents of instability of flood control walls, which have consumed a lot of manpower and material resources, and added the considerable difficulty to the daily management of embankments. The multi-beam measurement technology, as a relatively advanced measurement method at present, can provide the intuitive data analysis for the erosion study of bridge piers, abutments and upstream and downstream flood control walls. With the popularization of this technical method, it can provide the effective technical support for the daily safety management of high-risk flood control walls in the monitoring and identification of flood control wall safety risks.

Keywords: multi-beam; riverbed erosion; monitoring of Huangpu River flood control wall

0 引言

上海市已基本建成了以千里海塘、千里江堤、区域除涝、市区排水系统所构成的防汛“四道防线”。千里江堤作为四道防汛防线之一, 在防汛管控中起到了积极重要的作用, 对防汛墙进行安全防控管理是堤防管理部门的一项重要工作。本市针对防汛墙开展日常巡查和专项检查的“两查”工作, 能有效防控防汛墙发生失稳的风险。其中专项检查采用周期

监测等专业技术手段为防汛墙安全防控提供了技术支撑。采用多波束测量系统对跨河桥梁墩、台影响范围内的河底及防汛墙前地形进行扫测, 采集的数据较单波束更为精细和直观。该技术也将更多运用于未来水下地形的测量, 研究其作为防汛墙安全防控方面技术手段的适应性具有重要意义。

1 多波束测深系统介绍

1.1 多波束测深系统简介

多波束测深系统, 又称为多波束测深仪、条带测深仪或多波束测深声呐等, 是一种多传感器的复杂组合系统。多波束测深系统一般由窄波束回声测深

收稿日期: 2024-02-22

作者简介: 王家奇(1982—), 男, 学士, 工程师, 从事堤防管理工作。

设备和回声处理设备两大部分组成。

与传统单波束测量技术相比,多波束测深系统的优点包括以下几个方面。

(1)精度更高:多波束测深系统可以同时获取多个深度值,并且具有更高的测量精度和分辨率,有助于减少测量误差,提高数据质量。

(2)效率更高:多波束测深系统可以快速获取大面积的测量数据,提高了测量效率,有助于减少测量时间和工作量,降低成本。

(3)覆盖范围更广:多波束测深系统的覆盖范围更广,可以同时测量多个位置的深度值,有助于获取更全面的水下地形地貌信息。

(4)自动化程度更高:多波束测深系统可以实现自动化测量和数据处理,减少了人为误差和操作繁琐性,有助于提高测量准确性和效率。

(5)功能更丰富:多波束测深系统具有更多的功能和应用,如水下地形地貌测量、水下物体检测、水底资源勘探等,有助于满足不同领域的需求。

1.2 多波束测深系统的应用方向

随着多波束测深系统技术的发展和普及,以及近几年我国在时空大数据方面的建设,其应用场景越来越广泛,具体来说,多波束测深可以应用于数字孪生建设、港口疏浚、航道测绘、水下建构筑物测绘、海洋地质调查和海上风电场建设。

2 选取研究位置

桥梁墩、台对防汛墙冲刷的影响主要表现在结构稳定性、河流走向、水流冲刷和河流沉积物等方面。为保障本研究的顺利实施,需考虑研究的适用性及管理需求等因素。本研究位置的选择主要考虑三方面,桥梁墩、台对河道水流具有直接的影响,上下游河道平直,研究位置具有一定的历史数据可供对比分析。

经过现场踏勘及综合考虑,本研究测量点位选取沪青平公路跨拦路港淀峰大桥位置。

3 多波束测量技术流程

多波束测量实施流程图见图1。

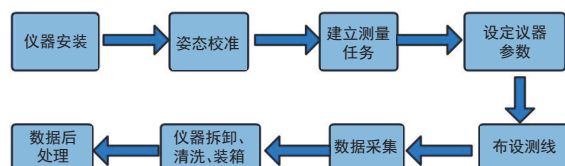


图1 多波束测量实施流程图

4 仪器设备选取

多波束测深系统根据其搭载平台不同分为测量船搭载方式与无人船便携式。测量船搭载方式属于传统多波束测深系统,所需测量船只船体较大、测深设备装卸复杂,固测量船搭载多波束方式适用于水深、开阔水域,一般用于海域测量及湖面测量。

本次研究区域水深相对较浅,过往船只较多,存在有桥墩等障碍物,桥梁下方水道狭窄。综合考虑本研究采用无人船便携式多波束测深系统,使用中海达最新研发的iBeamP8140多波束测深系统集成搭载于中海达iBoat BS15无人测量船(见图2、图3)。



图2 无人船便携式

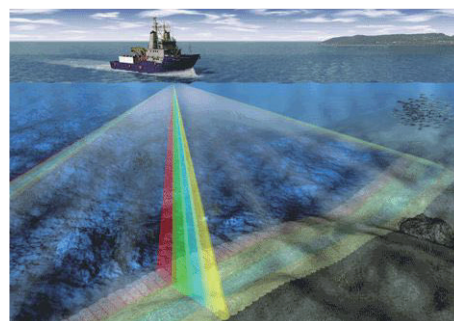


图3 测量船搭载式

无人船搭载便携式多波束测深系统是近几年发展的集成新型测量系统,较传统测量船搭载多波束测深系统形式具有以下优势。

(1)适应性:无人船多波束系统可以适应更广泛的水域环境,包括浅水、深水、开阔海面、狭窄水道等,同时也可以应对不同的天气条件。

(2)安全性:无需人员随船测量,可以避免传统多波束测深系统中可能出现的船上危险情况。

(3)智能化:无人船搭载多波束测量系统可以实现自主测量、数据处理和结果输出等功能,具有较高的智能化程度。

(4)提高浅水区域测量精度:传统测量船在浅水区域作业时,由于水浅,测量过程中容易造成棱镜杆倾斜或下陷的情况,影响数据的准确性。而无人船

搭载多波束设备可以稳定地在水面航行,避免了这种情况的发生,从而提高了浅水区域的测量精度

(5) 高效性:无人船多波束系统可以自动完成测量任务,所需作业人员少,能连续长时间作业,大大提高了工作效率。

(6) 经济性:虽然无人船多波束系统的初始成本可能较高,但是可以节约人力成本、提高工作效率,长期来看具有更高的经济性。

(7) 环保节能:无人船通常采用电力驱动,相较于传统船只的燃油驱动,噪音更低排放更小,更加环保节能。

5 数据采集

5.1 设备调试与准备

为确保设备正常运行、提升测量效率,数据采集前一日选择适合的类似水域进行设备调试准备工作,包含设备检查、软件设置、设备安装、校准校验等。

5.2 测量实施

5.2.1 测线布设

本次研究测量范围内存在通航船只和阻水构筑物(桥墩、台),水下地形呈中间深,两岸浅,采用垂直于河道布设测线,覆盖整个测区;垂直于测线布设检查线。为保证数据的准确性,多波束扫描重叠度不低于50%。

5.2.2 多波束校准

多波束校准主要为船体姿态校准与测量深度校准(见图4)。姿态校准包含横摇、纵摇和艏摇。

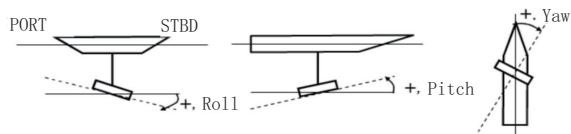


图4 多波束校准图

横摇校准是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。

纵摇校准是在有特征地形的水底同一航线往返航行两次,通过对该区域特征地形的航向偏差进行参数修正。

艏摇校准是在水底落差较大区域相邻航线同向航行,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。

深度校准是在水底平坦、水深在2~3 m的区域,通过与塔尺、单波束对比同一区域水深进行参数修正。

5.2.3 航速确定

拦路港受潮汐影响流向、流速紊乱,来往船只又较多,船行波对无人船的航行稳定存在一定干扰,为保证无人船航行安全及多波束采集数据的精准。综合各种因素,本次数据采集过程中无人船航速控制为2 m/s。

5.2.4 数据采集

运用中海达自主研发的HiMAX多波束显控软件实时控制数据采集。

数据采集过程为:项目管理(新建)→坐标系和投影设置→船形设计→设备网络连接测试→测线规划→偏移量和校准值设置→实时导航坐标、姿态、艏向、航速等参数显示→实时2D/3D格网水深显示(见图5)。



图5 数据采集工作界面图

在行船转弯、掉头以及受船行波等影响导致多波束测深系统姿态不稳时停止数据采集。同时施测技术人员根据软件显示实时水下情况,调整增益参数。

5.3 多波束采集数据处理

通过中海达自主研发的HiMAX多波束采集后处理软件,对测量数据进行如下处理。

(1) 新建项目导入测线:将需要处理的数据导入HiMAX多波束采集后处理软件。

(2) 参数设置:检查并校准参数。将设置的参数

计算波束点地理位置。

(3)潮位改正:选择无验潮改正。

(4)声速改正:选择单剖面声速改正模式。

(5)数据融合:测线应用所设置参数进行声线跟踪,重新计算波束点位置。

(6)数据编辑:查看横摇、纵摇、涌浪、航向、航迹数据,如果有异常数据,利用传感器数据的编辑功能处理异常数据。

(7)成果导出:导出处理过的波束点云数据。

6 研究分析

6.1 分析方法

根据相关文献资料及研究综合分析,水流对河床及水中建构筑物的冲刷分析是较为复杂的。一般传统的河道冲刷分析方法主要包括河床断面法、河床演变分析法、水文分析法、数值模拟法。但由于河床冲刷的分析方法具有复杂性和不确定性,传统分析方法需多方法相互补充。

基于上述情况,本研究采用以实测数据对比分析为主其他分析为辅的综合分析模式。

6.2 实测分析

本次研究形成了2023年10月研究点位上下游100 m范围内的多波束测量数据。数据的后期采用相关GIS软件进行处理、展示与分析。将形成的tin数据、灰体模型以及收集到的DWG数字线划图数据进行多源数据叠加,可直观形象展示研究区域的地物地貌情况。叠加图见图6。

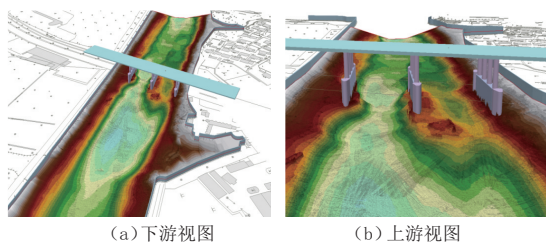


图6 沪青平公路跨拦路港淀峰大桥多源数据叠加图

最后,通过研究点位上下游多源数据叠加图对比分析得出,多波束测量数据,可直观识别出跨河桥梁桥墩、桥台及上下游防汛墙等构筑物结构水下形态;桥梁上下游处有明显的水流冲刷泓沟;临近桥梁墩台处,河床边坡相对其他位置较陡。研究点位桥梁上游与下游水深存在明显差异,整体呈现出桥梁下游比上游深的情况。

6.3 对比分析

对比分析是对同一点位相同时期不同测量技术

方法测量数据或不同时期的相同技术方法测量数据进行对比分析的方法。本研究在实施多波束测量的同时,进行了单波束河道断面测量,同时收集2019年研究点位的多波束数据。该数据为采用传统测量船搭载多波束模式施测,数据覆盖主要集中在河道中间深水区域。收集到的2019年多波束数据为本研究对比分析提供了支撑。叠加对比见图7和图8

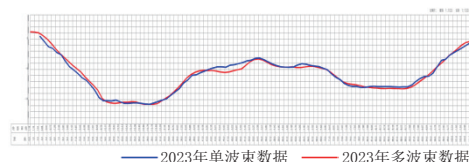


图7 单波束与多波束测量数据断面叠加对比图

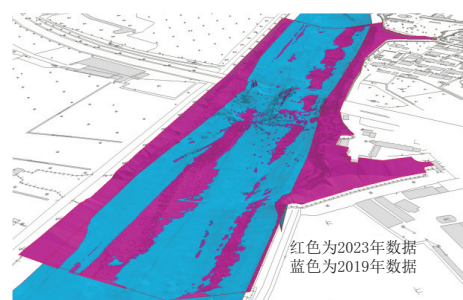


图8 两期多波束数TIN模型叠加图

通过多波束测量数据与单波束测量数据形成的横断面数据叠加对比分析可得,本次多波束测量数据与单波束测量数据符合度良好,所测同一位置的河道横断面形态一致。

2019年TIN数据显示沪青平公路跨拦路港桥处水下地形地貌与2023年实测结果基本一致。两期TIN数据进行空间叠加分析,将两期数据进行单色渲染处理,可明显看出2019—2023年河床高程变化,可实现区域河床冲淤变化分析。

6.4 综合分析

本研究通过实测分析与对比分析可直观分析出河床变化,为进一步研究跨河桥梁墩台对河床的影响奠定基础。在实施多波束测量中,采用无人船搭载ADCP,测量研究点位桥梁上下游水流流量及流速。根据测流断面数据可直观分析出研究点位上下游处水流情况,其数据与多波束数据冲淤结果一致。测流数据见图9和图10。

通过上下游断面流量图综合分析,上下游流速分布不均,流速较大值集中在桥墩中间位置,上游最大流速为0.687 m/s,下游最大流速为0.703 m/s;通过测流数据综合分析可得,跨河桥梁墩台对河道水流产生一定影响,桥梁下游流速会在桥墩影响下会大于上游流速。结合多波束测量数据分析,其测量断

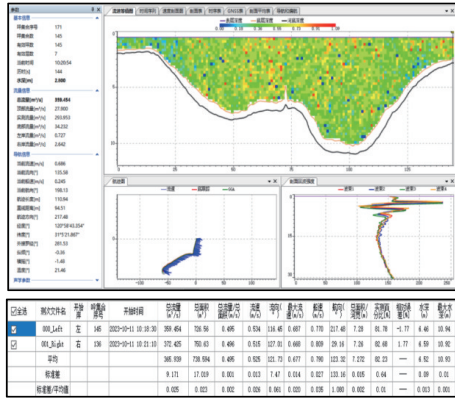


图9 上游测流断面

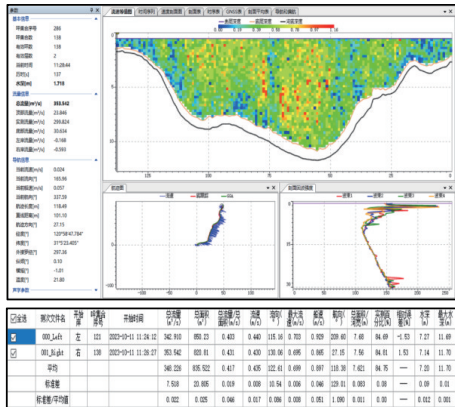


图10 下游测流断面

面流速分布与河床冲刷情况相符合。

6.5 成果运用

本次测量研究成果形成可视化高精度水下地形图,为拦路港淀峰大桥上游堤防安全评估与维护管理提供数据支撑。同时也为桥梁上下游防汛决策提供支持。并且可以实时监测桥梁上下游以及堤防周边水下的地形变化,保障堤防的安全。

通过本次研究,无人船搭载多波束测量可在堤防日常管理中进行应运。

7 结论与展望

7.1 结论

7.1.1 多波束的适用性

无人船多波束测深系统采集数据精度较高,能够满足水下建构筑物及河床冲刷分析需求。

7.1.2 跨河桥梁墩台对河道河床冲刷影响

跨河桥梁墩台对其上下游河道河床冲刷产生影响,一般会于跨河桥梁处形成冲刷泓沟,上游临近桥

梁及桥梁下游一定距离范围内河床冲刷明显。

7.1.3 桥梁墩台对其本身与防汛墙的影响

跨河桥梁的桥墩、桥台及上下游防汛墙附近河床边坡明显变陡,增加了桥墩、桥台及上下游防汛墙基础淘刷失稳的风险。

7.2 展望

随着无人船技术的发展,可以实现无人精准操作,提高了测量效率和应用范围,在重要防汛墙岸段及重要水下建构筑物的监管监测采用多波束测量技术。多波束测深系统能够生成精确的三维地形图,作为信息化分析的基础数据。后期可加强多波束测量数据在堤防信息化管理、智慧水务与数字孪生等方面的探索应用。

参考文献:

- [1] 于刚. 无人船搭载多波束测量技术在水下地形测量中的应用[J]. 河南水利与南水北调, 2022, 51(6): 97-99.
- [2] 刘亦鸣. 应用于多旋翼无人机测量系统的天线设计[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2022.
- [3] 严律, 鲍鑫. 基于数字化测图的航道工程测量分析[J]. 中国水运, 2022(4): 51-54.
- [4] 华朝锋. 水电站河道冲刷破坏水下多波束测深检测分析[J]. 中国水能及电气化, 2022(4): 42-47.
- [5] 初秀民, 聂梓熠, 刘怀汉, 等. 航道水沙要素移动测量技术研究综述[J]. 水利水运工程学报, 2022(2): 1-10.
- [6] 张新盼, 郭可敬, 李建军. 一种固定指向多波束天线安装测量技术研究[J]. 电子测量技术, 2022, 45(6): 99-105.
- [7] 王舒文, 刘晓东, 曹金亮, 等. 深水多波束测深声纳多条带探测模式研究与实现[J]. 海洋测绘, 2022, 42(2): 22-27.
- [8] 冯露, 李艳, 翟洁, 等. 海洋测量技术方法在涉水工程水下结构检测中的应用与思考[J]. 地下水, 2021, 43(6): 173-174; 229.
- [9] 李庆松. 基于无人机机载激光和无人船多波束下水陆一体化三维测量技术应用和探讨[J]. 水利技术监督, 2021(11): 42-45.
- [10] 王晨, 林杰. 基于多波束测试系统对桥梁水下基础、河床检测方法研究[J]. 公路, 2019(4): 298-304.
- [11] 魏星海, 王焕科. 多波束测量误差分析[J]. 现代测绘, 2016(2): 18-20.
- [12] 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; 36.
- [13] 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): 78-79.
- [14] 梁志诚, 黄文骞, 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.