

多波束系统在崇启大桥基础冲刷检测中的应用

童 浩

(江苏宁沪高速公路股份有限公司,江苏 南京 210000)

摘 要: 基础冲刷是造成桥梁病害的重要因素之一。针对大桥水下环境复杂、检测难度大的问题,探讨了一种高效、高精度的基础冲刷检测技术—多波束测量技术。简述了多波束系统的工作原理及系统组成,并结合实际工程,对崇启大桥 51 个桥墩及其周围水下地形进行扫测,直观地展示出水下桥梁基础冲刷程度、外观形态及河床地形地貌,为桥梁后期安全评价提供数据支撑。

关键词: 多波束测试系统;桥墩基础;冲刷检测

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)11-0280-04

0 引 言

桥梁墩台及基础是桥梁的重要组成部分,承担着桥梁上部结构传递的荷载,其技术状况直接关系到桥梁的整体承载能力、结构物的稳定性与耐久性,对桥梁的安全运营至关重要。桥梁水下结构的环境特殊,其构件病害具有一定的隐蔽性,如若不及时发现和处置,错失维修养护的最佳时机,可能会引发严重的桥梁安全事故^[1-4]。相关研究表明,桥梁水毁的最主要原因就是桥墩冲刷^[5-6],对于一些大桥或特大桥而言,其水域环境复杂,为保证桥梁的安全运行,水下墩台、基础等构件的冲刷检测就显得尤为重要^[7]。

随着信息化技术的进步,从传统的测绳铅砣测量、测杆测量到单波束单频测量、双频单波束测量、多波束测量,水下基础检测技术迅速发展。近年来出现的多波束测深系统可实现对所测水域水深、水底地形等全覆盖无遗漏测量,并以三维影像直观反映所测水域的地形地貌。本文依托崇启大桥,采用多波束测试系统对水下桥墩及其周围河床的水下地形进行测量,观测桥墩桩基附近河床的冲刷情况。

1 工程概况

崇启大桥是 G40 国家高速公路重要的跨江通道,位于长江入海口附近,连接崇明岛和江苏启东。全桥跨江段长 3 344 m,桥梁支撑部分由两种类型的钢桩结构桥墩组成,其中主桥墩有 7 个,第一和第

七个为 3 排每排 8 根共计 24 根钢桩组成,主 2—主 6 为 4 排每排 8 根共计 32 根钢桩组成,其他均为由 6 根一组围成圆形,共 2 组的结构形式。崇启大桥(江苏段)各桥桩分布见图 1。

2 多波束系统

多波束测深系统是现代信号处理技术、计算机技术、导航定位技术、数字化传感器技术等多种高新技术的高度集成,是一种高精度全覆盖测量系统,可获取全覆盖高精度的水下地形数据^[8-9],宏观反应水下基础的缺陷及特征。

2.1 工作原理

多波束系统的基本原理是向海底发射多个扇形波束,声波在水体内扩散遇到障碍物会形成反射波和散射波^[10],接收到回波信号后,通过传播时长以及声速等计算距水下目标物的距离,见图 2。多波束声呐系统通过走航式调查方法实现面状全覆盖测量,根据实时上传数据的软件系统,采用弯曲的曲线实时反映水下地貌,通过不同颜色的曲线合成检测区域的三维地形、地貌,直观反映水下地形特征。

2.2 系统组成

多波束系统是由多波束声学系统、多波束外围辅助设备系统、多波束数据采集处理系统三个子系统组成的综合系统。

(1)多波束声学系统。主要包括多波束换能器阵(声呐探头)和信号控制处理电子系统,用于发射和接收多波束信号,与其他设备进行数据和指令的交互传输等。

收稿日期:2023-11-07

作者简介:童浩(1982—),男,硕士,正高级工程师,从事高速公路养护管理工作。

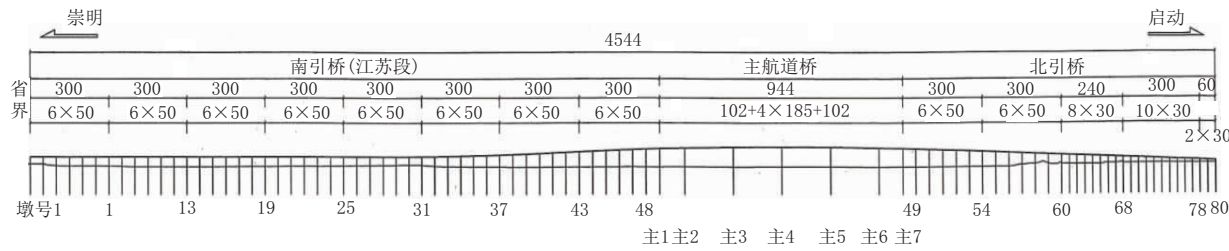


图 1 崇启大桥(江苏段)各桥桩分布示意图(单位:m)

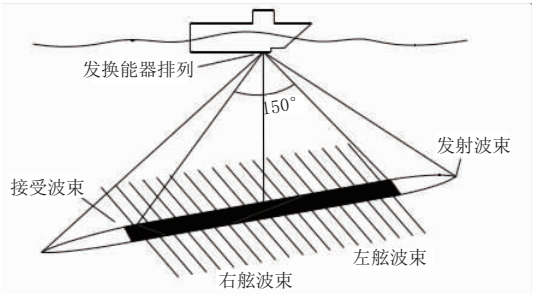


图 2 多波束声呐的成像原理

(2)多波束外围辅助设备系统。主要包括导航定位系统、姿态传感器、声速剖面仪等,用于确定各波束脚印的位置及水深。

(3)多波束数据采集处理系统。主要包括数据后处理软件和数据显示、输出、储存设备。

3 设备选用及安装

3.1 设备选用

本次测试选用 T50-P 多波束测深系统,并配备惯性导航系统、声速剖面仪、表面声速仪等仪器设备,见图 3。

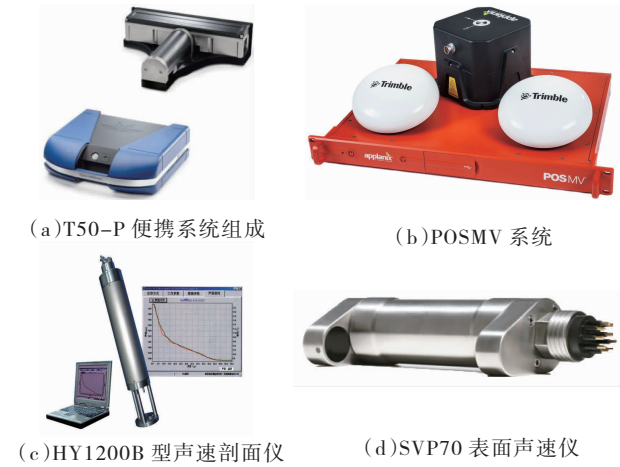


图 3 测试仪器设备

(1)T-50-P 系列多波束系统。SeaBat T50-P 包括一个便携式声呐处理器单元(PSP),一个接收单元,和一个发射单元,用户显示界面和系统控制则位于用户配置的笔记本电脑终端。SeaBat T50-P 的工作频率可以在 190 ~ 420 kHz 之间灵活切换,可以在严酷的测量环境下提升测量效率,降低测量耗时成

本;可在与航线垂直面上测量相对水深,具有高达 140°或者 165°的扫宽条带,其声呐性能指标见表 1。

表 1 T50-P 多波束声呐性能指标

内容	低频	高频
工作频率	200 kHz	400 kHz
波束角	2.0° × 1.0°	1.0° × 0.5°
波束发射频率	50 Hz	
覆盖角度	160°	
波束数量	最小 10,最大 512	
测深量程	0.5 ~ 500 m	
测深分辨率	6 mm	
工作温度	-5℃ ~ +45℃	
存储温度	-30℃ ~ +70℃	
功耗	最大 300 W	

(2)惯性导航系统。POSMV 是美国 Trimble 公司旗下 Applanix 公司生产的一款集定位、定向、导航与姿态信息为一体的惯性导航系统,每一个 posmv 系统由一个带有两个内嵌 GPS 接收机的 POS 计算机系统(PCS)、两个 GNSS 天线、一个惯性导航装置(IMU)组成。适用于需要不受干扰精度可靠定位信息的地理空间实时测绘工作。

(3)声速剖面仪。精确测量声速是声纳准确测距的基础。选用的 HY1200B 型为自容式声速剖面仪,利用环鸣法测量声速,发射的声信号被固定已知距离内的反射板反射,接收机接收到反射信号后,触发下一次的发射,可根据用户的需求安装不同量程的压力传感器,可用于几百米乃至几千米(目前为 200 m)的声速剖面测量。

(4)表面声速仪。SVP-70 是丹麦 RESON 公司生产的一款便携式表面声速仪,多用于固定安装,可安装在舰船的水表面、潜艇、水下机器人(ROV 或 AUV)或者其他启动平台。

(5)采集及后处理软件。现场采集软件采用 PDS2000 海道测量 & 疏浚软件包,支持所有类型多波束和姿态、定位、罗经等辅助传感器,具有在线采

集和实时三维显示功能。

3.2 设备安装

多波束测量设备的安装主要分为水上和水下两个部分。水下部分包括多波束换能器以及表面声速仪,多波束的发射阵和接收阵呈T字形排列安装在配套面板下方,见图4;表面声速仪安装在面板上部特定位置,见图5,设备线缆均通过安装杆内部空腔穿行,防止船体运行中对线缆的拉扯。

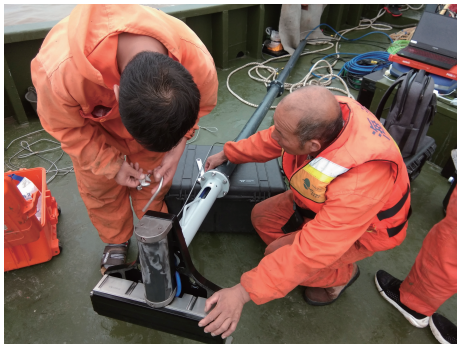


图4 多波束换能器安装



图5 多波束表面声速仪安装

装有多波束换能器的测量杆通过固定于船舷上的安装支架进行固定,并且在竖杆靠近换能器的法兰处引出三根钢缆进行支撑,用花兰螺丝拧紧加固,见图6。一方面可以保证设备的安全,起到安全绳的作用;另一方面可以最大限度的减小换能器的抖动情况。



图6 多波束安装及加固

水上部分主要为 Applanix PosMV 惯性导航系统的安装,见图7,将惯导系统的IMU安装于船体右侧靠近多波束换能器安装位置处,并进行加固。多波束系统及惯导系统的甲板单元以及UPS电源、交换机、采集电脑等安放于工作平台。



图7 惯性导航系统安装

4 数据采集及分析

因靠近岸端水深较浅,为确保人员及设备安全本次共进行51个桥墩及其周围水下地形的扫测,所测桥桩编号为12-55以及主墩1-7。采用穿越桥洞尽量靠近桥墩的方式,从桥墩两侧进行扫测,实测航迹线见图8。

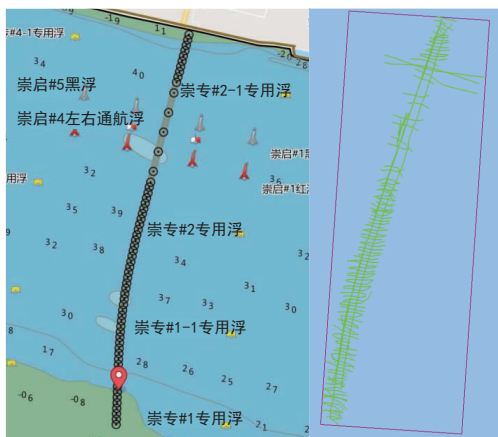


图8 桥桩分布及实测路线图

为了便于分析每一个桥墩其周边水下地形的冲刷情况,对整体数据进行处理之后呈现格网图及横纵断面图,本文各图建遵循以下原则:(1)各桥桩图片中的平面格网图均按照上北下南、左西右东方向,图片中的右侧为长江入海口方向;(2)俯视图与侧视图只作为查看整体冲刷盘形态的参考;(3)图示中的横剖面是沿着桥梁走向,对每一组桥桩分别截取,因此除了主桥桩只有一个横剖面外,其余均有两个横剖面;(4)图示中的纵剖面是垂直于桥梁走向截取所得;(5)对桥桩处地形进行描述时的上下游分别指桥梁的西侧和东侧。

4.1 河床总体冲淤情况

本次河床检测冲淤情况参考大桥施工图设计阶段(2008年)河床地面高程值进行对比与分析,对比数值见图9。

图9中可以看出:

(1)崇明侧12#~20#桥墩处总体淤积深度为1~3 m;23#~32#桥墩河床总体冲刷深度为3~5 m;

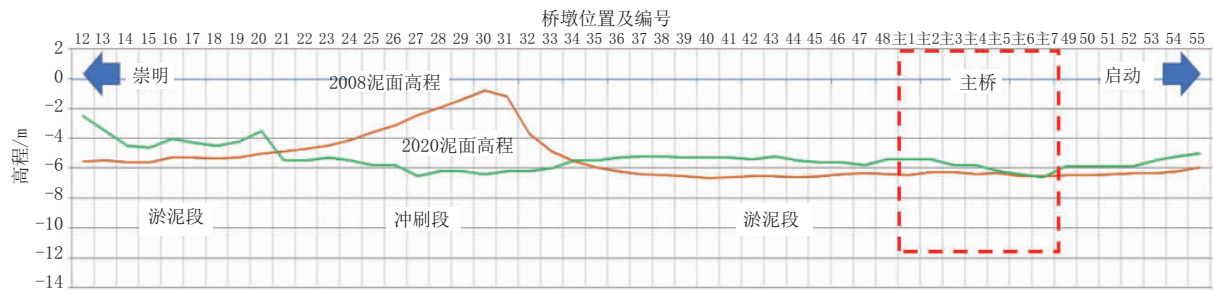


图 9 河床总体泥面高程对比(单位:m)

35#~55# 桥墩(含 1#~7# 主墩)内河床总体淤积深度为 1~1.5 m;

(2)设计阶段位于桥位南侧的 23#~32# 桥墩附近的沙洲已逐渐消失,其地形高程与周边地形高程基本相当,即该区域范围内河床已出现了约 3~5 m 左右的一般性冲刷;

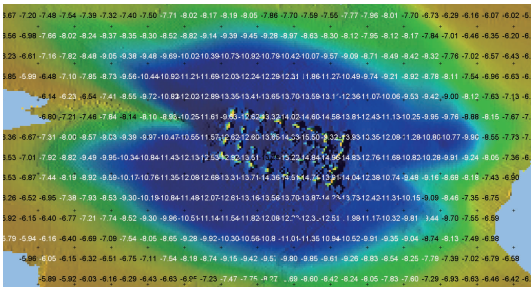
(3)除 23#~32# 桥墩附近的沙洲消移产生的一般性冲刷情况外,桥位区河床冲淤变化情况与长江口北支河道基本一致,河床总体上处于微淤状态。

4.2 桥墩桩基础河床局部冲刷情况

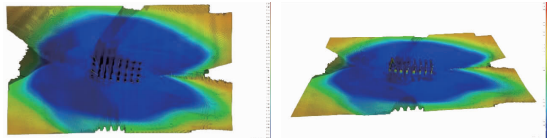
采用多波束三维图像声呐技术对崇启大桥的 51 个桥墩水下基础冲刷程度进行检测,形成墩桩基础附近水下地形的平面格网图、多视角图及断面图,其中主桥 4# 墩桩地形见图 10;并对桥墩桩基础处一般冲刷与局部冲刷泥面高程进行对比分析,见图 11。

图 11 中可以看出:

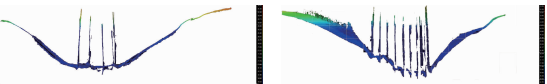
(1)各桥墩桩基础处存在一定程度的局部冲刷现象,其中位于深槽区的主桥段局部冲刷深度相对较大,冲刷深度在 7.0~10.0 m 左右,其余引桥局部冲刷深度相对较小,冲刷深度在 3.5~6.5 m 左右。与



(a)主 4# 墩桩基础附近水下地形平面格网图



俯视图 侧视图
(b)主 4# 墩桩基础处水下地形多视角图



横剖面 纵剖面
(c)主 4# 墩桩基础附近水下地形断面图

图 10 主 4# 墩桩基础附近水下地形图

工程设计阶段《局部冲刷模型试验报告》中桥墩桩基础局部冲刷深度基本相当(主桥墩冲刷深度为 12.2 m,引桥代表墩冲刷深度为 5.4 m)。

图 11 中可以看出:

(2)设计阶段位于南侧的 23#~32# 桥墩桩基础附近出现了约 3~5 m 左右的一般性冲刷,加上目前桥墩桩基础处产生的约 5 m 左右的局部冲刷,因此 23#~32# 桥墩基础总体冲刷深度为 8~10 m 左右。

5 结 语

本次采用多波束测深系统对崇启大桥 51 个桥墩及其周围河床的水下地形进行测量,分析了河床总体冲淤情况和桥墩桩基础河床局部冲刷情况,直

观地展示出水下桥梁基础冲刷程度、外观形态及河床地形地貌,验证了多波束系统应用于桥梁水下河床冲刷检测的适用性及可靠性,同时为后期桥梁结构安全评估与维护提供基础数据。

参考文献:

[1] 宋一凡.公路桥梁荷载试验与结构评定[M].北京:人民交通出版社, 2002.
[2] 王毅娟.从桥梁事故分析中得到的警示[J].北京建筑巩工程学院学报,2003,19(4):50-54.

(下转第 296 页)

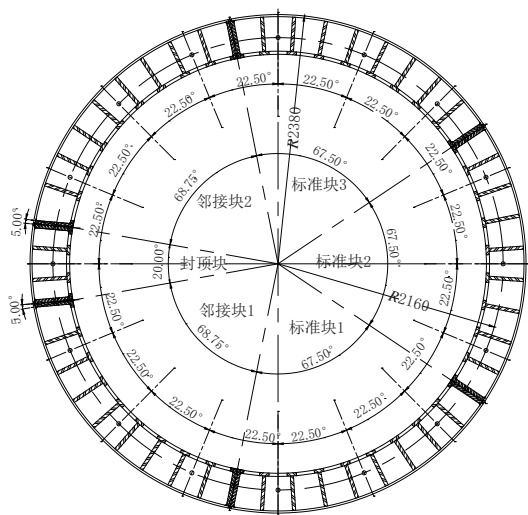


图 6 管片分块断面示意图

表 1 管片环宽分析结果

管片块	接缝位置 与水平轴 夹角 β / (°)	近似算法		实体模型法	
		外弧侧 环宽 /mm	内弧侧 环宽 /mm	外弧侧环 宽 /mm	内弧侧 环宽 /mm
封顶块	± 170	780.332	783.391	780.326	783.382
		780.210	783.514	780.196	783.525
邻接块 1	-101.25	796.098	796.098	796.098	796.098
	-170	780.332	783.391	780.326	783.382
邻接块 2	101.75	796.098	796.098	796.098	796.098
	170	780.332	783.391	780.326	783.382
标准块 1	-101.25	796.098	796.721	796.098	796.721
	-33.75	816.629	813.974	816.629	813.974
标准块 2	± 33.75	816.629	813.974	816.629	813.974
		816.629	813.974	816.629	813.974
标准块 3	33.75	796.098	796.721	796.098	796.721
	101.25	816.629	813.974	816.629	813.974

实体分块法计算结果稍有差异,外弧侧环宽最大差异为 0.014 mm,内弧侧环宽最大差异为 0.011 mm,环宽误差远小于《盾构法输水隧道结构设计规程》(T/CECS 610—2019)规定的构造要求限值。

4 结 论

(1)排水盾构隧道通用楔形环管片环楔形量主要受管片环的轴线环宽、转弯半径以及管片环外径影响。对于急曲线段盾构隧道,一般采用较小的轴线环宽(通常为 600~800 mm)和较大的楔形量来满足急曲线的线路拟合要求,同时为满足管片手孔拼接以及施工纠偏等要求,通常采用钢结构管片。

(2)排水盾构隧道通用楔形环管片分块环宽主要与管片环轴线环宽、楔形量和接缝夹角有关。文中推导了通用楔形管片环的楔形量与管片块环宽的近似计算式,并在工程案例中采用 BIM 切割实体模型量得尺寸与其进行对比,验证了其可行性与准确度,为后续类似工程提供了可靠的技术支撑。

参考文献:

[1] 赵国旭,何川.盾构隧道通用管片设计及应用[J].铁道建筑技术,2003(2):5-8.
[2] 张志华,朱国力,隆泗.盾构管片排版计算方法的研究[J].地下空间与工程学报,2013,9(5):1040-1044,1086.
[3] 潘国荣,荣一夫.盾构通用管片排版与纠偏控制的简化解法[J].大地测量与地球动力学,2014,34(1):55-58.
[4] 吴海彬,何川,晏启祥,等.通用楔形管片盾构隧道曲线段线路拟合算法及应用[J].铁道学报,2016,38(10):90-97.
[5] 张稳军,朱战魁,张琪,等.地铁盾构通用环管片楔形量计算方法研究[J].隧道建设(中英文),2019,39(5):746-753.

(上接第 283 页)

[3] 赵国藩,曹居易,张宽权.工程结构可靠度[M].北京:水利电力出版社,1984.
[4] 李本伟,姚红兵,汪军,等.钢箱梁的优化设计研究[D].呼和浩特:内蒙古大学,2007.
[5] 何小兰,李强.浅析跨河桥梁桥墩局部冲刷[J].中国水运(下半月),2013,13(1):198-200.
[6] 查雅平,张永良,余锡平,等.某跨海大桥复合桥墩潮流作用下局部冲刷深度的数值分析[J].水运工程,2007(423):33-37.
[7] 魏荣灏,史永忠,李最森,等多波束测深系统在某跨海大桥桥墩局部冲刷监测中的应用[C]//第十五届全国水利量测技术综合学术研讨,2014,128-133.
[8] 陈柏麟,郭力纶,张达德.水压计用于河床冲刷的实时监测研究[J].岩土力学,2017,38(8):2448-2455.
[9] MARONI A,TUBALDI E,FERGUSON N,et al.Electromagnetic sensors for underwater scour monitoring[J].Sensors (Basel, Switzerland),2020,20(15):4096.
[10] 曹斌,朱述龙,邱振戈,等.WorldView-2 影像双介质摄影测量的浅海地形测绘试验[J].遥感学报,2018,22(5):745-757.