

基于多波束探测的桥梁扩大基础埋深测试研究

徐 达, 吕 斌, 崔 鑫

(上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市 201108)

摘 要: 为了定量分析桥梁基础冲刷, 首先对非开挖河床的桥梁基础埋深检测方法进行分析, 对比了不同检测方法的优劣性。其次将人工深度尺测深、多波束探测应用于桥梁扩大基础埋深检测中。最后, 通过对比多波束探测数据与人工深度尺测深数据的偏差值, 证实了多波束探测桥梁扩大基础埋深的可操作性, 该方法可为桥梁扩大基础埋深检测提供参考。

关键词: 扩大基础; 基础埋深; 多波束; 网络 RTK

中图分类号: U445.55

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2021)10-0196-03

0 引 言

桥梁基础冲刷导致桥梁病害发展甚至坍塌在国内外频发, 基础冲刷已成为威胁桥梁结构安全的重要因素。1960—1984 年期间, 新西兰发生的 108 起桥梁事故中, 29 起是由桥梁基础冲刷造成的。1989—2000 年期间, 美国境内 503 座坍塌的桥梁中, 由桥梁基础冲刷及其相关水力作用引起桥梁坍塌占比达 50%^[1]。刘亢^[2]调查了 2007—2015 年期间, 国内垮塌的 102 座桥梁中, 44 座桥梁因水灾导致垮塌, 占垮塌数量的 43.1%, 水灾事故造成垮塌的大部分桥梁实际使用寿命远低于设计使用寿命。

桥梁扩大基础通常埋深较浅, 在水流长期冲刷、侵蚀作用下, 易发生沉降、局部掏空以及承载能力显著下降等病害。桥梁基础冲刷的测试方法主要有工深度尺测深、声学多普勒流速剖面仪(ADCP)、雷达探测、FBG 传感器测试与多波束探测^[3]。人工深度尺测量基础冲刷, 所需仪器成本低, 现场操作便捷, 但测量方式为单点测深, 无法进行桥梁基础冲刷的细部分析。声学多普勒流速剖面仪(ADCP)的仪器成本高, 且不适用于泥沙浓度含量高的水质条件。雷达探测的仪器成本高, 扫描范围小造成操作耗时, 需专业人员判别电磁波反射图像, 多应用于不同地层识别^[4]。FBG 传感器测试需提前布置光栅传感器, 结合泥沙特性分析冲刷深度, 现场测试成功率较低^[5]。多波束探测系统通过换能器发射超声脉冲, 对桥梁基

础进行条带式测深, 检测自动化程度和作业效率高。本文以某石拱桥为工程背景, 分别通过人工深度尺测深和多波束探测对桥梁扩大基础埋深及河床断面进行检测和对比, 为后续桥梁基础埋深检测提供参考。

1 多波束探测原理及误差消除措施

1.1 多波束探测原理

多波束探测系统包括无人船、动力系统、通信系统、数据采集系统和控制系统等, 现场无人船采集数据见图 1, 多波束测深原理及 RTK 技术定位示意图 2。多波束探测原理是利用超声波在同一介质中均匀传播的特性^[6], 由换能器同时发射多个超声脉冲, 超声脉冲遇到不同介质发生反射后被换能器接收, 通过发射和接收超声脉冲时间差计算测点水深值。不仅获得检测船下方的垂直深度, 而且同时获得与航行轨迹相垂直的多个水深值。



图 1 现场无人船采集数据

设超声脉冲在水中的传播速度为 v , 换能器发射和接收超声脉冲时间差为 Δt , 测深设备误差修正系数为 α , 则换能器距测点对应河床的水深值 h_2 为

$$h_2 = 1/2 \cdot v \cdot \Delta t + \alpha \quad (1)$$

实测 GNSS 接收器至换能器的距离为 h_1 , 无人船

收稿日期: 2021-03-01

作者简介: 徐达(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁检测工作。

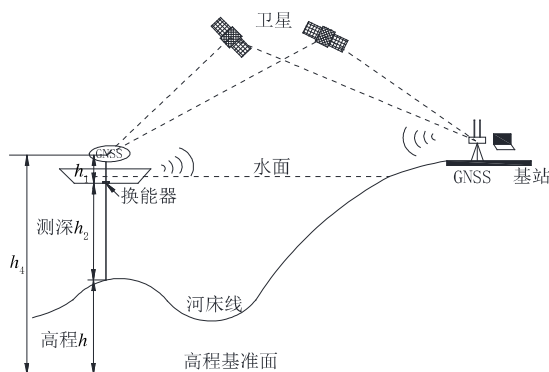


图 2 多波束测深原理及 RTK 技术定位示意图

上 GNSS 接收器的高程为 h_4 ，无人船姿态修正参数为 β ，则无人船航行过程中测点对应河床高程值 h 为

$$h = h_4 - h_1 - h_2 + \beta \quad (2)$$

1.2 多波束探测的误差分析

多波束探测水深的系统性误差主要来源于无人船姿态、潮汐、声速、定位等方面^[7]。无人船姿态主要包括纵摇、横摇、艏向，姿态改变会引起测深点的水深误差。无人船上搭载的姿态采集仪，通过实时射频点对点通信方式，将姿态数据传输到控制端，由系统软件对无人船采集的水深数据自动修正。本项目测试的桥梁所在河流为内陆河，潮汐作用较弱，因此不考虑潮汐造成的误差。探测过程中，水体清澈、含盐量低、无明显泥沙，根据声速-水温函数对声速进行修正。

多波束探测系统进行桥梁基础埋深检测时，由于无人船姿态变化以及构筑物阻挡定位信号，造成平面位置误差，导致多波束探测过程中“跳点”现象。基于网络 RTK 技术，通过无人船 Trimble 板卡与网络 RTK 联合作业，接收 GNSS 卫星信号，将无人船的航行速度、位置、姿态等数据实时传输到岸基控制系统。预先设定航线可以在一定程度上固定无人船的航行速度和轨迹，避免人工操作导致航行速度、船体姿态不稳定，提高定位及测深数据的稳定性。

2 桥梁扩大基础埋深检测

2.1 工程概况

本项目桥梁共 10 孔，单孔净跨径 25.0 m，全长 290.8 m，桥梁上部结构为上承式等截面悬链线空腹石拱桥，主墩、拱圈及腹拱圈采用岩石打磨后砌合而成，采用主墩支撑主拱圈，主拱圈通过立墙支撑腹拱圈的结构形式，桥墩台采用浆砌块石重力式墩台，墩柱基础采用单层或双层式扩大基础。该桥建造时间久远，桥龄已达 35 a，该桥基础长期处于自然冲刷和

局部冲刷作用下。

桥位处河床宽且平顺，南岸河床表层为中等砂砾，经钻探结果，岩层表面的高程在 29.08 ~ 30.65 m 之间，岩层属紫红色红砂岩，走向平坦，所测桥梁结构立面照见图 3。



图 3 桥梁结构立面照

2.2 人工深度尺测深

应用人工深度尺测深时，将棱镜固定在深度尺顶端，用于测点定位。以桥梁纵向走向为测量方向，通过全站仪建立坐标系。到达预定测深位置后固定船只，下放深度尺至桥梁基础，待深度尺水准气泡居中后，记录水深值，同时全站仪测量测点坐标。

2.3 多波束探测

依据在河岸边预先架设 3 个 GNSS 基站，接收定位信号，将差分数据发送至地面控制平台，获得测量区域的三维坐标。基于 Auto Planner 设定无人船航行路线，无人船行驶过程中，其搭载的 210° 开角多波束实时探测水深，对水下地形进行条带式测量。通过无线传输模块传输数据，检测人员在岸上观察水深云图，并在水深异常位置进行标记，无人船航线规划及水深实时监测云图见图 4。

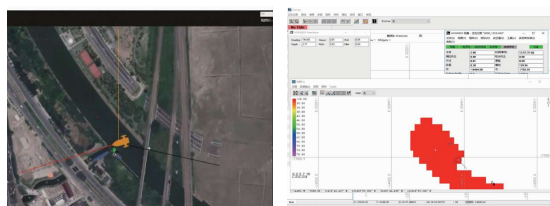


图 4 无人船航线规划及水深实时监测

3 试验结果分析

采用人工深度尺测深时，每个桥墩测量四个侧面，每个侧面三个测点，选取最大水深测点换算出对应桥梁基础高程。采用多波束探测时，扫描桥墩四个侧面，拾取人工深度尺对应测点的桥梁基础高程。利用人工深度尺和多波束探测的桥梁扩大基础埋深数据见表 1，基于多波束探测的河床断面结果见图 5。

表1 桥梁扩大基础埋深检测结果表

桥梁墩号	设计标高/m		测点标高/m								多波束测量偏差/m	
	下层基础顶面	下层基础底面	桥墩东侧基础		桥墩西侧基础		桥墩南侧基础		桥墩北侧基础		东侧 (上游侧)	西侧 (下游侧)
			深度尺	多波束	深度尺	多波束	深度尺	多波束	深度尺	多波束		
D02	30.36	29.16	29.91	29.97	30.26	30.33	31.04	31.06	30.31	30.32	0.06	0.07
D03	30.28	29.08	29.25	29.29	30.53	30.58	29.97	30.04	30.85	30.89	0.04	0.05
D04	30.41	29.50	31.89	31.91	32.39	32.48	31.77	31.75	32.23	32.26	0.02	0.09
D05	30.54	29.70	31.11	31.14	32.38	32.38	31.15	31.18	32.30	32.35	0.03	0.00
D06	30.70	30.00	31.92	31.96	32.33	32.34	31.82	31.83	32.25	32.28	0.04	0.01
D07	30.59	29.74	31.23	31.24	31.22	31.25	32.38	32.40	32.44	32.45	0.01	0.03
D08	30.51	29.51	30.52	30.51	30.10	30.11	29.87	29.90	31.85	31.86	-0.01	0.01
D09	31.40	30.50	30.58	30.59	31.29	31.29	30.31	30.35	31.16	31.18	0.01	0.02
D10	30.80	30.39	30.55	30.55	30.54	30.42	30.41	30.47	30.77	30.77	0.00	-0.01

注:1.加粗数据表示相应测点的上层基础已经掏空;2.所在河流流向为从东至西,桥梁墩号以从北至南为增大方向。

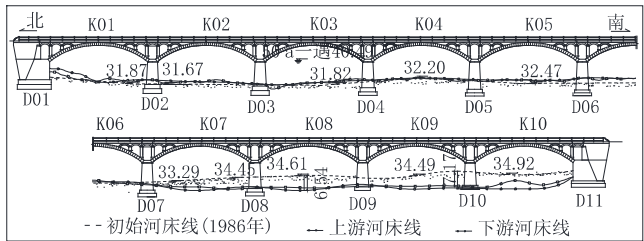


图5 基于多波束探测的河床断面结果图

从表1中数据分析可知,相对于人工深度尺测深法,多波束探测法检测数据的最大偏差为0.09 m,其中上游侧最大偏差0.06 m,下游侧最大偏差0.09 m,最大偏差小于0.10 m,表明多波束探测法对于桥梁扩大基础埋深的检测精度是满足工程要求的。结合表中桥梁扩大基础埋深的检测数据分析,大部分多波束探测值高于人工深度尺测量值,这是由于超声脉冲在桥梁基础上方的软弱淤泥表面发生反射,超声脉冲未到达实际桥梁基础,造成所测基础高程偏大。因此当桥梁基础被软弱淤泥覆盖时,应结合其它方法确定桥梁基础埋深。

所测9个墩柱基础中,D02~D03、D08~D10桥墩上层基础均出现局部外露,其中D03、D09和D10桥墩基础局部测点已接近下层基础底面,表明该桥基础冲刷较为严重。相对建桥时的河床断面,K07~K10上下游的河床断面冲刷深度较大,其中上游侧最大冲刷深度7.17 m,下游侧最大冲刷深度6.54 m,K01~K06河床断面冲刷深度较小。

4 结论

(1)桥梁基础埋深检测是桥梁下部结构检测的重

要内容,利用多波束探测法可以对桥梁基础进行条带式检测,具有较高的效率。

(2)相对于人工深度尺测深法,多波束探测法检测数据的最大偏差0.09 m,表明多波束探测法对于桥梁基础埋深的检测精度是满足工程要求的。

(3)当桥梁基础被软弱淤泥覆盖时,多波束在桥梁基础上方的软弱淤泥表面发生反射,造成所测基础高程偏大,应结合其它方法确定桥梁基础埋深。

(4)基于网络RTK技术解决了无人船受构筑物影响丢失定位信号,减少多波束探测数据的“跳点”现象;预设航行路线并固定无人船行驶速度,增大了无人船航行稳定性,提高了测深数据的准确性。

参考文献:

[1] 郭健,蒋兵.近30年桥梁基础冲刷研究进展及关键问题[J].中国公路学报,2020,203(7):1-16.
[2] 刘亢,刘均利,余文成.2007~2015年洪水导致垮塌桥梁的统计分析[J].城市道桥与防洪,2017,213(01):90-92.
[3] 向琪芪,李亚东,魏凯,等.桥梁基础冲刷研究综述[J].西南交通大学学报,2019,246(02):235-248.
[4] 蔡少峰.探地雷达在河流水下地形及基岩探测中的试验研究[J].工程地球物理学报,2019,16(5):680-685.
[5] 熊文,CAI C S,叶见曙.基于布拉格光栅传感器的桥墩基础冲刷动态监测试验[J].中国公路学报,2014,129(5):125-130.
[6] 陈俊任,周晓华.无人船测量系统在水下地形测量中的应用[J].测绘技术装备,2020,85(4):65-68.
[7] 吉绪发.结合无人船与网络RTK技术测量露天矿坑土方量[J].测绘通报,2019,508(7):151-155.