

基于多波束条带测深技术的沉箱式水下抛石工艺抛投效果研究

赵 钢¹, 陆 月², 王茂枚¹, 徐 毅¹, 蔡 军¹, 陈 楠¹, 罗 青¹

(1. 江苏省水利科学研究院,江苏 南京 210017; 2. 河海大学 土木与交通学院,江苏 南京 210098)

摘要:选取水深条件、水流和施工难度方面具有较好代表性的区域进行沉箱式水下抛石试验,利用多波束条带测深技术,基于点云数据分析,对抛投效果关键指标抛投准确性、抛投均匀性、测点增厚值及断面增厚值进行对比分析研究。结果表明,该数据符合江苏省地方标准《水利工程施工质量检验与评定规范》中规定的各项水下检查指标,为今后在长江护岸工程中开展和推广该工艺提供科学依据。

关键词:多波束; 沉箱; 水下抛石; 增厚值

中图分类号:TV52 文献标识码:A 文章编号:1007-7839(2019)10-0029-05

Study on the throwing effect of caisson underwater riprap technology based on multi – beam strip sounding technology

ZHAO Gang¹, LU Yue², WANG Maomei¹, XU Yi¹, CAI Jun¹, CHEN Nan¹, LUO Qing¹

(1. *Jiangsu Institute of Water Resources and Hydropower Research, Nanjing 210017, Jiangsu;*

2. *College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu*)

Abstract:The caisson – style underwater riprap test was carried out in representative areas of water depth condition, water flow and construction difficulty. Using multi – beam swath bathymetry technology , the key indexes of throwing effect as accuracy, uniformity, thickening value of measuring points and section were compared and analyzed based on point cloud data analysis. The results showed that the data met the various underwater inspection indicators specified in the Jiangsu Provincial Local Standard“Code for Quality Inspection and Assessment of Hydraulic Engineering Construction”, which could provide a scientific basis for the future development and promotion of this process in the Yangtze River Bank Protection Project.

Key words:multi – beam; caisson; underwater riprap; thickening value

1 研究背景

水下抛石护岸一直是河道整治工程中的重要措施之一。其主要是通过计算用一定级配的块石把崩岸地段从深泓到岸滩均匀抛成一定厚度的块石层,旨在全覆盖河床底部易崩塌区域,巩固其抗冲能力,起到稳定河势,护堤护岸的作用。目前,传

统水下抛石存在施工定位船精度不高,施工水域深,水质浑浊,抛石粒径不均匀,导致抛投石块不能在河床底部均匀分布,甚至出现漏抛区域,整治效果达不到期望值^[1-2]。为进一步提升长江整治工程施工质量,提高施工工效,江苏省水利厅制定了《长江整治工程推广应用沉箱式水下抛石工艺的指导意见》,并在全省推广。沉箱式水下抛石工艺具有

收稿日期:2019-02-19
基金项目:江苏省水利科技项目(2018005),中央高校基本科研业务费专项资金资助(2018B764X14)
作者简介:赵钢(1975—),男,硕士研究生,研究员级高级工程师,研究方向为水下测绘研究。

功效高、抛投准确和均匀性好等特点,是一种新的水下护岸工艺,但其施工定位、抛投范围、测点增厚值及断面增厚值等指标是否满足《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2-2013)和《长江水下平顺抛石护岸施工规范》(DB32/T2947-2016)要求,未进行过验证。为此本文利用多波束条带测深技术对沉箱式水下抛石试验区域进行水下全覆盖扫测,基于点云数据,对抛投范围、抛投均匀性、测点增厚值及断面增厚值等指标进行比对分析,并对抛投效果进行定量分析研究。

2 沉箱式水下抛石

2.1 沉箱式水下抛石工艺流程

(1) 赛克格宾网箱制作、装填、吊运及入仓

组装赛克格宾网箱,间隔网与网身成 90° 相交,经绑扎形成长方形网箱组或网箱,一般尺寸为 $4\text{ m}\times 2\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ 。

填料施工中,控制每层投料厚度在 30 cm 以下,一般 0.50 m 高网箱分2层投料, 0.75 m 分3层,每层采用挖机进行粗整平。顶面填充石料适当高出网箱,且必须压实密实、空隙处以小碎石填塞。

采用吊机对整个赛克格宾网箱箱体进行吊运,在入仓时将赛克格宾网箱箱体下放至距沉箱船沉箱仓底 1 m 处,打开赛克格宾网箱箱体底门,使赛克格宾网箱平顺的落入沉箱船沉箱仓内以减小赛克格宾网箱形变。

(2) 水下抛投

按照设计要求,事先在施工区域划分好抛投区格、确定每个区格投抛量后,利用GPS定位技术,将装有赛克格宾网箱的开体船开至指定位置,进行抛投,沉箱下沉到接近河床表面一定高度后(离河床 $3\sim 5\text{ m}$),打开沉箱底部仓门,使赛克格宾网箱平稳地滑落到相应抛投区格内,提升沉箱到水面,然后关闭仓门,进行下一次作业。见图1。

2.2 工艺优点

(1) 精准抛投

沉箱式赛克格宾网箱抛投工艺特点,即让装载石笼的沉箱下沉接近河床底(离河床 $3\sim 5\text{ m}$)时方打开底部仓门,石笼自然滑落到河底。滑落过程历时短,落距小,易于定点定位控制,定点抛投的准确度较传统水面抛投工艺有显著提高。

(2) 抛投均匀度好

由于能精准定位,接近河床底部抛投,并且沉箱式赛克格宾网箱整体性好,易于抛投均匀度控

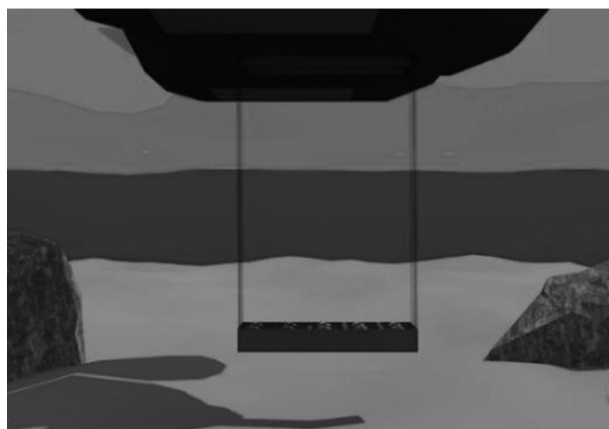


图1 沉箱式水下抛石图

制,提高抛投效果。

(3) 抛投效率高

传统水面抛投工艺受流速等影响比较明显,一般都对抛投作业时的流速有严格限制,流速较大时无法作业,施工效率较低。沉箱式抛投工艺是接近河床底抛投,受潮汐转换、流速变化等因素影响较小,施工效率明显提高。

3 多波束条带测深技术

与传统单波束相比,多波束测深系统具有高分辨率、高精度和全覆盖的特点,该技术测量范围大、速度快、精度高,它把测深技术从原先的点线状扩展到面状,并进一步发展到立体测图,从而使海底地形测量技术发展到一个较高的水平。多波束测深系统是由多个子系统组成的综合系统,分为声学系统、数据采集系统、数据处理系统和外围设备。

把该测深技术应用到沉箱式水下抛石探测,主要是考虑到该技术具有分辨率高以及全覆盖扫测河床的特点,可形成大量带有位置信息的点云数据,通过构建三维模型可准确反映出水下的地物地貌情况,从而能准确判断水下抛投效果。

以SONIC 2024多波束测深系统为例,SONIC 2024多波束测深系统在 500 m 量程范围内的具体优势可总结为:高分辨率、灵活多用、实效性、全覆盖、边坡显示、系统处理软件功能强大、系统具有实时监测功能,直观性强等^[3-4]。多波束测深系统主要技术指标见表1。

4 试验及抛投效果分析研究

试验区域选定在南京河段七坝段长江左岸石碛河口上游,该区域水深在 20 m 左右,所选区域在水深条件、水流和施工难度方面具有较好的代表性。

表 1 多波束测深系统主要技术指标(以 SONIC 2024 为例)

工作频率	200 ~ 400kHz
带宽	60kHz,全部工作频率范围内
波束大小	0.5°x1°
覆盖宽度	10° ~ 160°
最大量程	500m
量程分辨率	1.25cm
脉冲宽度	10μs ~ 1ms
波束数目 (每个“ping”)	标准发射换能器:256 个@等角分布
工作温度	0°C ~ 50°C
存储温度	-30°C ~ 55°C

试验区域长 100 m, 宽 20 m, 设计抛厚 1.5 m, 设计抛投总方量为 3000 m³。

将该区域分为 50 个小区格, 每小区格尺寸为 4 m × 10 m, 按照先上游后下游, 先深泓后浅滩的施工顺序施工, 其中上游 50 m 采用 0.5 m 厚格宾网箱抛 3 层, 下游 50 m 采用 0.75 m 厚格宾网箱抛 2 层, 每个小网格工程量为 60 m³。为了检验该工艺的水下抛投效果, 工程设计量一次性抛投完后不再进行补抛, 就进行相应的检测。施工前、后均采用多波束条带测深技术对试验区域进行全覆盖扫测。抛后三维图见图 2。

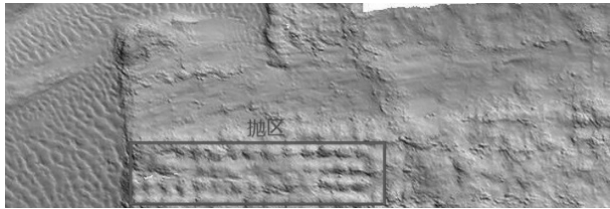


图 2 沉箱式水下抛石抛后三维图

4.1 抛投准确性分析

抛投准确性分析主要是分析水下抛投的沉箱是否全部落在了抛区。本次试验区域长 100 m, 宽 20 m, 设计抛厚 1.5 m, 设计抛投总方量为 3000 m³, 采用多波束测深技术对抛区进行抛前、抛后全覆盖扫测, 基于海量点云数据准确计算出实际抛投量为 2642.7 m³, 抛区内方量增加率为 88.09%, 从方量

增加率来看, 绝大部分沉箱为有效抛投, 都落入了设定的抛区内, 抛投准确性高。

4.2 测点增厚分析

依据《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2-2013) 规定, 使用测深仪在顺水流方向 20 ~ 50 m 测 1 个断面, 且每单元工程不少于 3 个断面; 每断面 5 ~ 10 m 测 1 点; 测点增厚值大于等于 75% 设计值。测点增厚值为一般检测项目。

工序质量等级评定标准中关于一般检测项目: 一般检测项目逐项检查点合格率 70% 以上, 为工序质量合格等级; 一般检测项目逐项检查点合格率 90% 以上, 为工序质量优良等级。

此次采用多波束条带测深技术全覆盖扫测, 在 2000 m² 的抛区获得了大量的点云数据, 共获取了 7133 个点, 也就是说每 1 m² 的区域就检测了 3.5 个点, 能够详细、准确地反映沉箱在水下的状态。从测点增厚值统计来看, 测点增厚值小于 75% 设计值的有 138 个点, 占总统计数的 1.93%, 绝大部分点的测点增厚值是大于 75% 设计值的, 测点增厚值是大于等于 75% 设计值的点数占比为 98.07%, 该检测项目逐项检查点合格率 90% 以上。测点增厚值统计表见表 2。

表 2 测点增厚值统计表

测点增厚值	点数(个)	占比
<75% 设计值	138	1.93%
>=75% 设计值	6995	98.07%

4.3 断面增厚分析

依据《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2-2013) 规定, 使用测深仪在顺水流方向 20 ~ 50 m 测 1 个断面, 且每单元工程不少于 3 个断面; 每断面 5 ~ 10 m 测 1 点; 断面平均增厚值大于等于 70% 设计值。断面平均增厚值为一般检测项目。

此次选定试验段顺水流方向每 10 m 布置 1 个断面, 共 10 个断面, 计算各个断面的平均增厚值(见表 3), 断面平均增厚值最小为 79.78%, 最大为 96.11%, 平均为 88.09%。统计的断面平均增厚值全部大于 70% 设计值, 该检测项目逐项检查点合格率 100%。

表 3 检测断面平均增厚值统计表

断面序号	断面平均增厚值(cm)	增厚率
1	126.17	84.11%
2	130.50	87.00%
3	126.84	84.56%
4	137.16	91.44%
5	133.34	88.89%
6	133.50	89.00%
7	144.17	96.11%
8	138.50	92.33%
9	131.51	87.67%
10	119.67	79.78%

4.4 抛投均匀性分析

测点增厚值在 75% ~ 150% 设计值点数占比达到 97.52%，尤其集中在 75% ~ 100% 设计值的范围，点数占比 82.13%。测点增厚值小于 75% 设计值的点数占比为 1.93%，测点增厚值大于 150% 设计值的点数占比为 0.55%。各区段具体增厚见表 4。通过 7133 个测点增厚值的统计分析，沉箱式水下抛石工艺定点抛投的准确度高，出现漏抛和沉箱箱体重叠的现象非常少，绝大部分区域增厚在 75% ~ 150% 设计值之间，整个抛投区域均匀性好。另外从测点增厚值频数直方图(见图 3)和测点增厚值散点图(见图 4)也能看出，测点增厚值主要集中在 78% ~ 107% 设计值的范围，所有统计点的平均增厚值为 136.84 cm，为设计值的 91.23%，都集中在平均增厚值线附近。

表 4 各区段测点增厚值统计表

点增厚值	占比
<75%	1.93%
75% ~ 100%	82.13%
100% ~ 150%	15.39%
150% ~ 200%	0.27%
>200%	0.28%

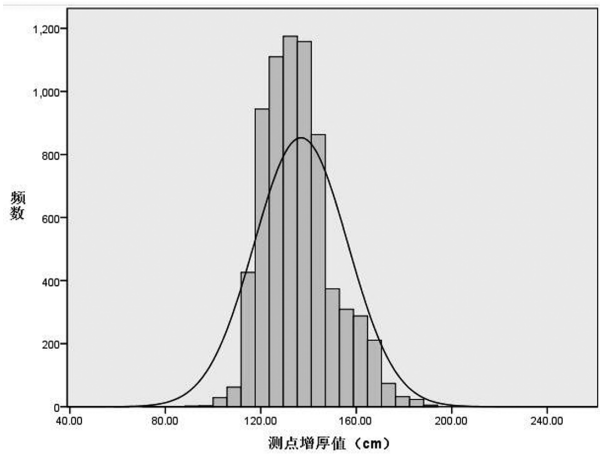


图 3 测点增厚值频数直方图

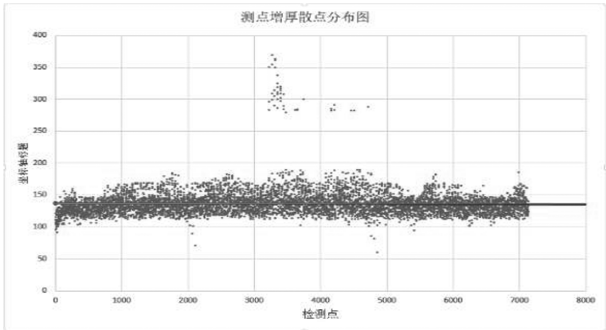


图 4 测点增厚值散点图

5 结论

(1) 沉箱式水下抛石为一种精细化施工工艺，弥补了传统抛石工艺的不足，由于将沉箱吊至河床底上方 3 ~ 5 m 时才抛投，减少了水流对抛投的影响，提高了塞克格宾网箱落床的准确性，从而提高了有效抛投的施工效率。

(2) 查阅相关文献资料，沉箱式水下抛石设计、施工和检测方面的资料较少，该工艺虽具有诸多优点，但是水下防护效果是否满足相关规范要求，未进行过验证，此次试验针对抛投效果关键指标抛投准确性、抛投均匀性、测点增厚值及断面增厚值，在基于多波束测深技术全覆盖扫床的基础上进行了详细的分析，为长江整治工程中大范围推广应用沉箱式水下抛石工艺提供了技术支撑，具有一定的借鉴意义。

(3) 通过试验分析可以得出，沉箱式水下抛石工艺试验的测点增厚值及断面增厚值符合《水利工程施工质量检验与评定规范》(DB32/T 2334.2 - 2013)规范要求，并达到工序质量优良等级，优于传统抛石抛投质量；在抛投均匀性方面，通过测点数据统计，测点增厚值在 75% ~ 150% 设计值点数占

比达到97.52%,该工艺出现抛投重叠和漏抛的现象极少,远远优于传统抛石。

(4)通过试验也进一步验证了该工艺在长江上实施的可行性,其实施后水下防护效果可以达到设计要求。

参考文献:

- [1] 朱朝峰,刘杏安,刘清明.水下抛石护岸加固施工新方法[J].水利水电快报,2001(21):3-6.
- [2] 杨建贵,顾云峰,诸青,等.水下抛石护岸管理系统的研发和应用[J].小水电,2006(05):58-61.
- [3] 赵钢,王茂枚,徐毅,等.多波束测深结合声呐技术在河道堤防水下外观病害探测中的应用[J].水利水电技术,2017,48(04):104-108.
- [4] 赵钢,王冬梅,黄俊友,等.多波束与单波束测深技术在水下工程中的应用比较研究[J].长江科学院院报,2010,27(02):20-23.
- [5] 雷国刚,胡宁,徐林,等.水下抛石护岸施工工艺和

质量控制[J].江西水利科技,2010,36(04):281-284.

- [6] 孙涛,朱长青.长江航道整治工程水下抛石施工工艺及质量控制[J].水运工程,2012(10):162-168.
- [7] 钱海峰,葛俊,吴友斌,等.长江南京河段护岸工程实施效果浅析[J].人民长江,2012,43(S2):109-110.
- [8] 姚建忠,朱智兵,胡念凡.河湖抛石护岸工程的设计与应用浅探[J].江苏水利,2015(05):14-1.
- [9] 江苏省水利厅.江苏省长江水下平顺抛石护岸工程质量验收办法(试行)(苏水计[2000]74号)[S].2000.
- [10] 赵钢,王茂枚,徐毅,等.多波束测深技术在沉排工程水下铺设质量检测中的应用[J].长江科学院院报,2016,33(07):145-149.
- [11] 翟二生.沉箱式深水抛石新工艺应用研究——以长江澄通河段老海坝节点综合整治工程为例[J].中国水利,2018(08):35-36+48.