



振夯整平一体技术在航道整治工程中的应用

谭炜强，杜璐

(中交一航局第二工程有限公司，山东 青岛 266071)

摘要：基床抛石、夯实和整平是航道整治工程中的重要施工工序。随着近几年水运经济的快速发展，深水大流速的恶劣施工条件对内河航道整治施工工艺提出更高的技术要求。在长江口南槽航道治理工程中采用了振夯整平一体技术：溜槽抛填解决了传统抛石离散性大、损耗率多的缺点，振夯整平技术提高了基床抛填的平整度，一体船的应用实现了连续抛填夯实作业功能，减少了工序转换的时间浪费，提高了总体施工效率。振夯整平一体技术可以推广应用到离岸深水作业，为深水航道整治施工提供参考。

关键词：基床抛石；振夯；一体船；长江口；航道整治

中图分类号：U 615.2

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2022)01-0220-04

Application of vibration compaction leveling integration technology in waterway regulation project

TAN Wei-qiang, DU Lu

(No.2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: Riprapping, tamping and leveling of subgrade bed are important construction procedures in waterway regulation project. With the rapid development of water transport economy in recent years, the poor construction conditions due to deep water with high velocity puts forward higher technical requirements for the construction technology of inland waterway regulation. During vibration compaction and leveling in the south channel regulation project of the Yangtze River Estuary, we adopt the vibration tamping and leveling integration technology: chute filling solves the shortcomings of traditional riprapping, such as large dispersion and high loss rate, vibration tamping and leveling technology improves the flatness of the foundation bed, the application of integrated ship realizes the function of continuous dumping, filling and tamping, which reduces the time waste of process conversion and improves the overall construction efficiency. The vibration tamping and leveling integration technology can be applied to offshore deepwater operation and provide reference for deepwater channel regulation construction.

Keywords: riprapping of subgrade bed; vibration compaction; integrated ship; the Yangtze River Estuary; waterway regulation

航道整治工程的快速发展，尤其是长南京以下12.5 m深水航道的开通，对内河深水航道的施工技术水平提出更高的要求。传统的水下抛石通常采用人工抛石、反铲或方驳吊机机械抛石等工艺，适用于水深较浅、流速较小的情况；传统的夯实工艺通常采用重锤夯实法或爆夯法^[1]，其中重锤夯实法存在效率低等缺点，爆夯法更适用于大面积夯实的

情况；传统的水下抛石整平采用人工潜水作业方式，工作效率低、劳动强度大。近几年国内外研究的整平船或整平机^[2]对水深和工况条件要求比较严格。长江口南槽航道治理一期工程使用的抛填振夯整平一体船可以将石料按规定路径抛至设计位置，在高差较大的区域亦能连续作业，可实现水下高精度振平作业，还具备供料船直接靠泊供料的功能以

及抛填数据实时采集与显示功能^[3]。

1 工程概况

长江口南槽航道为长江口航道体系中的重要组成部分。长江口南槽航道治理一期工程位于长

江口南槽航道上段, 上游顺接长江口深水航道分流鱼嘴南线堤, 堤身沿江亚南沙南缘向下, 总长约 16 km(图 1)。通过整治工程稳定南槽入口段河势, 遏制江亚南沙沙头窜沟的不利发展趋势, 为航道建设提供稳定的边界条件。

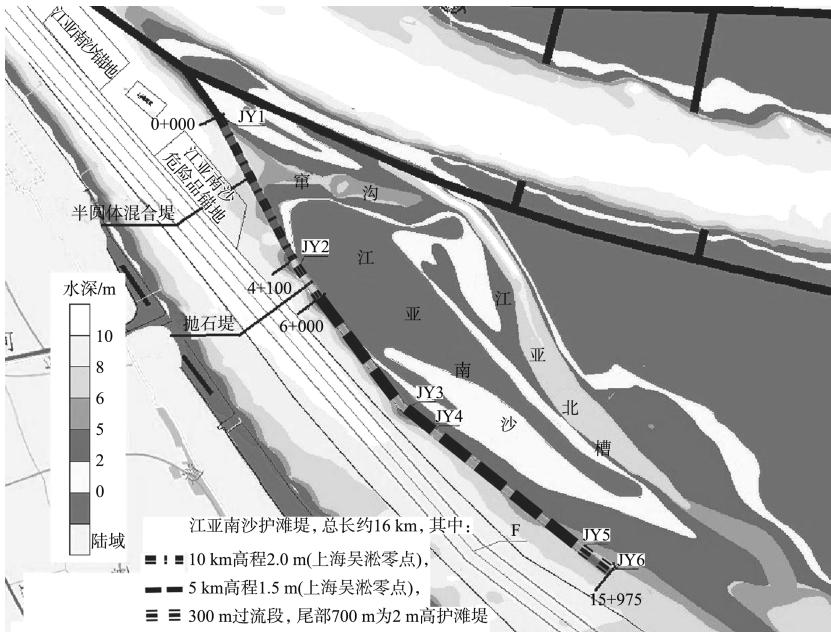


图 1 长江口南槽航道治理一期工程概况

本工程 0+120—3+000 段采用半圆形混合堤, 半圆形构件分为 I 型($5\text{ m} \times 11\text{ m} \times 8\text{ m}$, 长×宽×高), II 型($6\text{ m} \times 10\text{ m} \times 6.5\text{ m}$)两种。两侧护肩宽 4.0 m,

采用 100~300 kg 块石, 下设 10~100 kg 抛石基床, 堤两侧设 5 m 宽的 100~300 kg 抛石护脚棱体(图 2)。

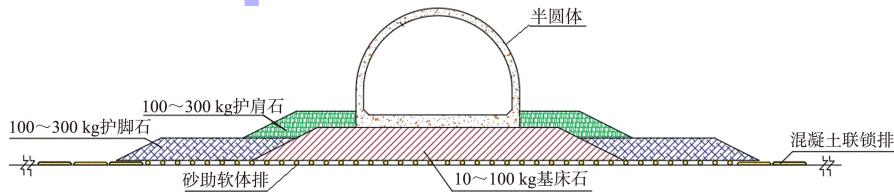


图 2 半圆形混合堤典型断面

2 方案比选

长江口南槽航道治理一期工程施工区域水流急, 基床整平是半圆形混合堤的关键工序, 容易出现基床高点、平整度差、构件安放高低落差、基床回淤等质量问题, 须采用合理的基床抛投、整平方法, 做好质量控制工作。

长江口水域流速大, 为保证基床抛石施工精度, 传统浮吊船须等候平潮时段方可施工。施工水域临近九段沙湿地国家级自然保护区, 是长江流域生物资源最丰富的区域之一, 散抛石施工可

能会对长江口丰富的水生生物资源及独特的水域环境造成不良影响, 所以浮吊船等散抛石施工工艺不适用。

对无夯实率要求的水下基床, 一般采用潜水员水下导轨整平, 潜水作业受环境、水深、水流和天气影响较大, 安全风险高。长江口大潮落潮垂线平均流速 0.75~1.30 m/s, 考虑施工效率、施工精度和施工安全等因素影响, 传统潜水员整平工艺不适用于本工程施工。

工程地处长江入海口, 现场施工作业受潮汐、

潮流、风、浪、雾、雷暴等自然因素影响严重，年可作业天数仅约 170 d，工程对流水组织和施工效率要求较高。抛填振夯整平一体船通过下放一定深度的溜槽限制块石下落时的漂移距，实现定点定量抛填，有效提高抛石精度，且无需候潮施工，有效作业时间较长。一体船安装的振动锤模块自重大，锤杆长度可调，对水深、水流和风浪适应性强，通过锤顶安装的 GPS 可实时监测锤底高程，整平至设计高程时可自动停锤，自动化程度高，进度和质量有保障。抛投模块和振平模块协调配合，实现流水施工，减少不同船舶施工过程中的干扰，提高了船舶利用率。

3 施工工艺

3.1 振夯整平一体技术原理

抛填振夯整平一体船主要由母体船、振平结构、测控系统及其他辅助系统组成。振动模块包括振动管、振动锤、锤笼、夯板等；轨道采用C型结构，轨道根据甲板载荷情况针对性设置4个轨道靴，以承受夯平结构的受力，轨道通过甲板设置的5个锁固点进行固定。台车模块包括振动管约束结构、台车主体结构、提升卷扬机、配重、换锤位卷扬机等(图3)。

一体船设置抛填溜槽，使抛填石料约束在有限空间内，实现精准抛填作业；通过液压振动锤等振动结构实现已抛投石料的振实；通过台车和轨道，振锤的锤位搭接保证基床平整度。



图 3 振夯整平一体船结构

3.2 水下抛石

施工前，对抛石区域进行断面测量，掌握施工作业面范围内平整度和回淤情况。抛石施工采取分段分层抛投的施工原则，按照从下游向上游、由深向浅的顺序进行施工网格划分(图4)。施工

网格尺寸为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ ，根据制定的抛石施工控制高程计算网格的理论抛填量和抛填次数。

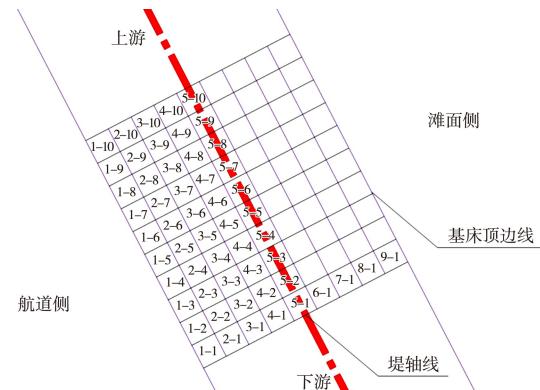


图 4 抛石网格划分

根据抛填船安装的 GPS 定位仪将船位调整至施工位置^[4]，抛填船平行于堤轴线顺水流定位，溜槽迎向水流方向。定位船定位后，石料运输船靠泊，通过挖机将石料送至溜槽口，溜槽可约束石料向下游漂移。抛投量根据工前测量计算的理论数值进行控制，完成一个作业窗口后，向航道侧移船一次，进行下一个作业窗口抛石。抛石完成后及时进行全面检测，对不满足要求的位置进行补抛。

3.3 基床振平

3.3.1 振平网格划分

抛填振夯整平一体船振平板尺寸为 $2.00\text{ m} \times 2.45\text{ m}$ (宽 \times 长), 面积 4.9 m^2 。施工网格划分与振平板尺寸相同, 确定网格尺寸为 $2.00\text{ m} \times 2.45\text{ m}$ (平行轴线长度 \times 垂直堤轴线长度), 见图 5。根据本工程施工经验, 采用横向搭接 0.45 m 、纵向搭接 0.50 m 、分段搭接长度 1 m 的振平搭接方式, 振夯精度可控制到 $\pm 5\text{ cm}$, 满足水下基床细平的允许偏差要求, 振平质量控制最优。

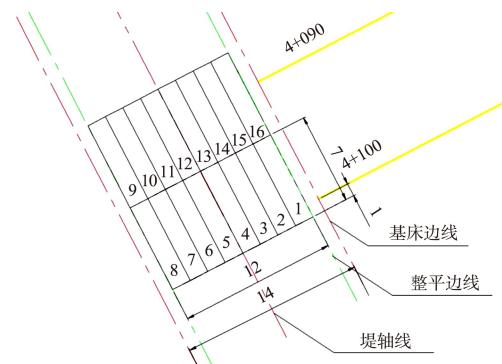


图 5 框平面网格划分

3.3.2 振动锤就位

首次整平时, 通过在甲板上设置的转向滑轮用卷扬机将振平模块由防风位置牵引至施工位置, 将振平模块通过甲板设置的锁固点进行固定, 确保在振平过程中轨道不发生位移。

3.3.3 振平施工

振动锤就位后, 通过卷扬机将振动锤缓缓下放, 根据振平软件实时显示的锤底高程进行振平。振动过程中密切关注系统显示的基床高程: 基床超高值较大时, 增加激振力; 超高值较小时, 降低激振力; 将要达到设计高程时, 缓慢降低激振力, 直至达到设计高程时停锤。

自动停锤后, 通过提锤卷扬机将振动锤提升至一定高度, 通过轨道平台上安装的卷扬机进行振动锤横移, 振平软件实时监测振动锤位置, 确保锤位横移定位准确。横移至下一锤位后, 重复上述整平施工流程。完成该船位整平后, 移船至下一船位继续施工。

3.3.4 高程测量

完成一个船位的基床整平后, 及时用 GPS+水深测杆在平潮时进行检测, 掌握当前船位振平效果。完成一段基床振平施工后, 采用多波束对整段基床振平效果进行扫测, 多波束成像清晰, 能够实现基床可视化监测, 可准确掌握施工段施工效果^[5]。采用 2 种检测手段对基床振平质量进行复核, 根据规范要求, 基床检测每 2 m 一个断面, 每个断面测量安装边线和轴线处高程。扫测结果见图 6。

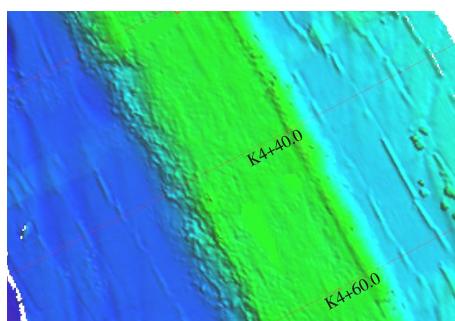


图 6 振平后多波束检测

4 施工效果与工效

1) 施工效率。单向流情况下, 一体船可实现 24 h 施工, 传统抛石工艺可作业时间约 8 h; 在涨落潮流均有的情况下, 一体船每天可作业时间约 16 h,

传统抛石工艺可作业时间约 6 h, 施工作业时间大幅增加。传统的潜水整平须乘平潮施工, 每天可作业时间约为 6 h, 采用振夯整平一体技术, 施工时间不受潮汐影响, 基本可实现 24 h 连续施工。同样工况下, 人工整平工效约 2 400 m²/月, 振夯整平一体施工工效约 4 200 m²/月, 施工工效明显提高。

2) 施工精度。与人工抛石或其他机械抛石工艺相比, 溜槽抛石的块石漂移距得到控制, 抛填精度明显提高, 块石损耗率大大降低。

3) 施工安全。与传统人工潜水整平施工相比, 一体船安全性更高, 对水流环境、风浪和水深适应性更强。

4) 经济效益。综合考虑人工费、船机租赁费和燃油费, 人工整平单价约为 315 元/m², 一体船整平单价约为 188 元/m², 振夯整平一体施工的经济效益明显占优。

5 结语

1) 振夯整平一体技术在长江口南槽航道治理一期工程中得到有效检验, 施工完成后, 基床沉降稳定, 整平效果符合规范要求, 极大提高了后续构件安装施工质量。

2) 抛填振夯整平一体船最大可在水深 30 m、流速 2 m/s 工况下施工, 抛填精度可控制在 ± 20 cm, 振夯精度 ± 5 cm。

3) 振夯整平一体技术提高了航道整治施工水平, 具有巨大的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] 中交第一航务工程局有限公司. 港口工程施工手册 [M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2014.
- [2] 罗兵. 几种典型基床整平工艺在深水航道整治工程运用效果的探讨 [J]. 中国水运, 2018(2): 55-57.
- [3] 冯海暴, 王翔, 冯甲鑫. 块石抛填振夯整平一体船研发应用 [J]. 船舶工程, 2020, 42(12): 25-29, 34.
- [4] 冯海暴, 吴一鸣, 曾凡军, 等. 深水抛填船实时测控验收系统设计与应用 [J]. 港工技术, 2016, 53(6): 44-47.
- [5] 周良玉. 多波束检测技术在长江深水航道和畅洲整治工程中的应用 [J]. 水运工程, 2017(2): 1-7.