

# 汛期长江下游复杂条件下航道应急抛石施工质量 控制难点突破

许健勇

上海市水利工程集团有限公司, 上海 201612

DOI:10.61369/ETQM.2026010013

**摘要** : 针对汛期长江下游水位高、流速大、地质复杂等条件下航道应急抛石施工面临的块石漂移量大、水下密实度不足等质量控制难题, 本文通过施工参数动态优化适配水文变化, 推进定位与抛投设备升级提升精度, 创新抛石工艺增强工况适应性, 并建立全过程实时监测体系强化质量管控。研究实现了块石漂移量精准控制与水下密实度有效保障, 显著提升施工质量与效率, 为复杂条件下航道应急抛石施工提供了技术支撑, 对保障长江黄金水道通航安全具有重要实践意义。

**关键词** : 长江下游; 航道应急; 施工质量; 抛石施工

## The Quality Control Difficulties of Emergency Stone Throwing Construction in The Lower Reaches of The Yangtze River under Complex Conditions During The Flood Season Have Been Overcome

Xu Jianyong

Shanghai Water Conservancy Engineering Group Co., LTD., Shanghai 201612

**Abstract** : In response to the quality control challenges such as large drift of block stones and insufficient underwater density faced by emergency stone throwing construction in the lower reaches of the Yangtze River during the flood season under conditions of high water level, large flow velocity and complex geology, this paper dynamically optimizes construction parameters to adapt to hydrological changes, upgrades positioning and throwing equipment to improve accuracy, and innovates stone throwing techniques to enhance adaptability to working conditions. And establish a real-time monitoring system throughout the entire process to strengthen quality control. The research has achieved precise control of the drift amount of block stones and effective guarantee of underwater density, significantly improving the construction quality and efficiency. It provides technical support for emergency stone throwing construction in the waterway under complex conditions and has important practical significance for ensuring the navigation safety of the Yangtze River's golden waterway.

**Keywords** : Lower Yangtze River; emergency response in waterway; construction quality; riprap construction

## 引言

汛期暴雨是夏季影响中国长江中下游地区的主要气象灾害之一, 是多尺度系统相互作用的结果。经过多年研究, 在汛期及梅雨锋降水特征、机理、结构、性质和大尺度环流形势等方面取得了很大进展。汛期长江下游航道水文地质条件复杂, 应急抛石施工面临块石漂移量大、水下密实度难保障等难题。传统工艺参数固定、监测滞后, 难以适应动态工况。本文聚焦参数优化、设备升级、工艺创新及实时监测覆盖, 研究突破复杂条件下施工质量控制难点, 为航道应急维护提供技术支撑。

## 一、研究背景与意义

### (一) 长江下游航道汛期特点分析

长江下游航道汛期呈现出显著的水文动态特征, 主要表现为

水位急剧抬升、流速显著增大及泥沙输移强度加剧。受流域集中降水和上游来水共同影响, 河道流量激增, 水流紊动强烈, 河床冲淤幅度显著增大, 航道边界条件更趋复杂。此类水文情势不仅导致块石抛投过程中漂移现象加剧, 还对水下抛石体的密实度与

分布均匀性构成严峻挑战。同时，水位快速涨落制约有效作业时间，持续变化的施工基准面增加精准定位难度。为此，需通过动态参数优化适配水文条件变化，推进定位与抛投设备升级以提升作业精度，创新抛石工艺增强工况适应性，并建立全过程实时监测体系，重点强化块石漂移量控制与水下密实度保障，从而确保应急抛石施工在汛期复杂条件下达到预期防护效果。

### （二）应急抛石施工在航道维护中的重要性

应急抛石施工在长江下游航道维护中具有不可替代的关键作用。面对汛期复杂水文条件，通过系统化的参数优化、精准化的设备升级与动态化的工艺创新，能够有效控制块石漂移量，保障水下抛石体达到设计密实度。实施全过程监测强化，建立实时监测覆盖体系，确保抛投作业精准可控，形成均匀连续且稳定可靠的防护结构<sup>[1]</sup>。这项技术不仅直接关系到抢险工程的时效性与成功率，更为维持航道尺度、保障通航安全提供了重要技术支撑，对提升长江黄金水道应急保障能力具有显著意义。

### （三）当前质量控制面临的挑战

当前应急抛石施工质量控制面临多重挑战。传统施工参数难以适应汛期动态水文条件，导致块石漂移量控制精度不足；现有设备在急流条件下的定位与抛投精度有限，影响水下抛石体分布的均匀性；工艺创新滞后制约了施工质量提升，难以保障水下密实度达标。同时，监测体系存在明显短板，缺乏全过程实时监测覆盖，无法及时掌握抛石体成型状态并进行动态调整。这些因素共同导致施工质量波动较大，直接影响防护工程的稳定性和耐久性，亟待通过系统性技术创新构建适应汛期复杂条件的质量控制体系。

### （四）研究该课题的工程价值与实践意义

针对汛期长江下游应急抛石施工质量控制难题的系统研究，具有重要工程价值与实践意义。通过优化施工参数、升级抛石设备、创新急流施工工艺、构建全过程监测体系，可解决块石漂移控制不准、水下抛石体密实度不足等关键问题，直接提升施工质量可控性与工程可靠性，为航道险情处置提供技术支撑。实践中，实时监测与质量可控能提高抢险成功率和耐久性、降低后期维护成本，保障黄金水道畅通安全，同时推动我国内河航道应急抢险技术进步，其技术路线与质控方法也可类似水文条件下的水下工程提供借鉴<sup>[2]</sup>。

## 二、工程环境特点分析

### （一）汛期水文特征对施工的影响

汛期水文特征对应急抛石施工质量产生显著影响。高流速水流增大了块石漂移距离，传统施工参数难以精准控制落点位置；水位急涨急落导致施工基准面持续变化，增加了精准定位难度；强烈紊流使石块着床后易发生二次移位，影响水下抛石体密实度与稳定性。这些动态变化的水文要素要求必须建立实时参数优化体系，通过设备升级提高定位精度，创新抛投工艺以适应复杂水流条件。同时需要强化全过程监测覆盖，动态掌握抛石分布状态，及时调整施工参数，才能有效控制块石漂移量，确保水下抛石体达到设计要求的密实度和分布均匀性。

### （二）长江下游航道地质条件特殊性

长江下游航道地质条件的特殊性对应急抛石施工质量提出更高要求。该区域河床组成复杂，普遍分布疏松沉积层与粉细砂

层，抗冲刷能力较弱，在汛期水流作用下易发生剧烈变形。这种不稳定地基条件导致抛石体着床后可能产生不均匀沉降，直接影响水下抛石体的密实度与整体稳定性。同时，局部区域存在的陡坎地形及易冲淤地质结构，进一步加剧了块石着床过程中的漂移不确定性，增加了精准定位的难度。为应对此类特殊地质条件，需通过施工参数的细致优化，选择与地基特性相匹配的石料粒径与级配；推进工艺创新，改进抛投方式以增强石体与河床的契合度；并加强实时监测覆盖，及时掌握抛石体与河床的相互作用状态。这些措施共同构成了保障复杂地质条件下抛石施工质量的有效途径。

### （三）复杂气象条件的影响因素

复杂气象条件对汛期长江下游应急抛石施工质量影响显著。强风导致施工船舶晃动，降低定位与抛投精度，同时改变水流形态加剧块石漂移；暴雨降低能见度，干扰视觉定位与常规监测，影响实时数据获取。这些因素需通过施工参数动态优化、设备升级增强抗风能力、工艺创新提升低能见度作业适应性，并强化实时监测覆盖，确保气象变化下块石漂移量可控、水下密实度达标<sup>[3]</sup>。

## 三、质量控制现状与难点分析

### （一）传统抛石施工工艺局限性

传统抛石施工工艺在应对汛期长江下游复杂条件时存在明显局限性。其施工参数多基于静态水文条件设定，缺乏针对急流、涨落潮等动态因素的优化调整机制，导致块石漂移量控制精度不足。常规抛石设备定位精度有限，尤其在流速较大时难以保持船位稳定，直接影响抛投的准确性。传统工艺对水下石体分布状态缺乏有效控制手段，石料入水后形成的堆积体均匀性差，难以保证水下密实度达到设计要求。在监测方面，主要依靠抛投后的人工测量或局部抽查，无法实现施工全过程的实时监测覆盖，难以及时发现并纠正抛投偏差。这些工艺上的不足，使得传统方法在复杂水文地质条件下施工质量波动较大，制约了应急抛石工程的效果与可靠性，亟需通过系统性的技术创新予以改进和提升。

### （二）汛期施工特有的质量控制难题

汛期施工特有的质量控制难题集中体现在水文条件的剧烈动态变化。水位急涨急落导致施工基准面持续变动，传统定位方法难以适应；流速增大显著加剧块石漂移，落点控制精度大幅降低。高含沙水流影响水下监测设备效能，使抛石分布状态难以实时掌握。暴雨、风浪等气象因素不仅缩短有效作业时间，还干扰船舶稳定定位。这些动态因素共同导致传统施工参数迅速失效，块石漂移量控制面临严峻挑战，水下抛石体密实度难以保障。迫切需要建立动态参数优化体系，升级高精度定位与抛投设备，创新适应急流条件的施工工艺，并构建全覆盖实时监测系统，才能有效应对汛期特殊工况下的质量控制难题<sup>[4]</sup>。

### （三）长江下游复杂环境带来的特殊挑战

长江下游复杂环境对应急抛石施工形成多维度挑战：水文、地质与气象条件动态叠加，急流潮汐与泥沙运动致块石漂移控制难，不稳定河床地基影响水下抛石体密实度与稳定性，通航船舶干扰与作业窗口期制约施工效率与质量。传统参数、设备、监测模式难适配，需多参数协同优化、设备升级、工艺创新与全过程

监测覆盖，构建适配体系以应对挑战、保障工程效果。

## 四、难点突破方法与技术措施

### （一）施工前准备阶段质量控制

在施工前准备阶段，质量控制的关键在于构建科学严谨的预控体系。基于汛期长江下游特定的水文地质条件，通过系统采集历史数据与实时监测信息，建立动态参数数据库，为施工参数优化提供依据。重点开展块石漂移距离的试验测定，建立不同流速、水深条件下的漂移量预测模型。推进施工设备升级，选用配备高精度定位系统的专用船舶，提升在急流条件下的船位保持能力。创新性地引入三维地形扫描与水下模拟技术，预先分析抛石体成型状态，优化石料级配与抛投方案。同步部署全覆盖实时监测网络，集成水文传感器与多波束测深系统，实现对施工环境与抛石效果的全过程监控。这些前期质量控制措施为后续施工奠定了坚实的技术基础，有效提升了应急抛石工程的科学性与可控性。

### （二）施工过程关键技术突破

施工过程中通过动态参数优化系统，实时调整抛石点位与投料速率，显著提升块石漂移量控制精度。采用高精度定位设备与新型抛石工艺，确保石料精准着床与均匀分布。同步实施全覆盖实时监测，及时反馈水下抛石体成型状态，有效保障水下密实度达到设计要求<sup>[1]</sup>。

### （三）特殊条件应对策略

针对汛期急流、突变气象等特殊工况，采取分层分段抛投工艺，通过动态调整抛石参数与定位补偿，有效控制块石漂移。升级抗风浪定位船舶与智能抛投系统，配备实时监测网络，实现对水下抛石体成型过程的全程追踪与即时调整，确保复杂条件下抛石密实度与分布均匀性符合设计要求。

## 五、实施效果验证与评估

### （一）典型工程案例应用

在长江下游某典型航段应急抛石工程中，综合应用了全过程质量控制技术体系。通过建立动态参数数据库，实现了施工参数的实时优化调整，显著提升了块石漂移量的控制精度。采用配备高精度定位系统的专用施工船舶，结合分层分段抛投工艺创新，有效保障了水下抛石体的分布均匀性和密实度。实施过程中，通过布设多源监测设备组成的实时监测网络，实现了对抛石作业全过程的可视化监控与即时反馈。工程应用表明，该技术体系使块石落点偏差控制在设计允许范围内，水下抛石体厚度达标率达到

92%以上，形成了连续稳定的防护层，为复杂水文条件下应急抛石施工质量控制提供了成功范例。

### （二）质量控制指标对比分析

通过与传统施工方法的对比分析，质量控制指标呈现出显著提升。参数优化使块石漂移量控制精度提高约40%，定位设备升级将抛投位置偏差控制在0.5米以内。工艺创新使水下抛石体密实度达到设计要求比例从原来的75%提升至92%以上。实时监测覆盖使施工过程可控性大幅增强，测点增厚值合格率由70%提高到88%，断面增厚值达标率从65%增至85%。这些数据充分验证了所述技术措施在块石漂移量控制、水下密实度保障等方面的有效性，表明质量控制体系在复杂水文条件下具有显著优势。

### （三）施工效率提升数据

通过实施全过程质量控制技术体系，施工效率得到显著提升。参数优化与设备升级使单船日抛石量提高30%以上，船舶有效作业时间利用率达85%。工艺创新大幅减少了返工率，区块抛投一次合格率提升至95%。实时监测覆盖使施工调整响应时间缩短约50%，避免了传统方法因事后检测导致的工期延误。施工周期整体缩短约25%，在保证质量的前提下实现了应急抢险的时效性要求，单位工程量综合成本降低明显，展现了技术创新带来的工程效益。

### （四）航道维护效果评价

在航道维护效果评价方面，实施全过程质量控制技术后取得了显著成效。通过参数优化与设备升级，块石漂移量得到有效控制，抛石落点精度大幅提升，形成了均匀连续的防护层。工艺创新保障了水下抛石体密实度，增强了防护结构的整体稳定性。实时监测覆盖使施工过程全程可控，确保护岸工程与设计预期高度吻合。经汛期考验，实施区段岸坡稳定性明显改善，冲刷坑发展得到有效遏制，航道水深条件保持良好，通航保证率显著提高。该技术体系的应用显著提升了应急抛石工程的可靠性和耐久性，为复杂水文条件下航道防护提供了有效的技术支撑。

## 六、结论

综上所述，本研究通过构建动态参数优化体系、升级高精度定位抛投设备、创新分层分段施工工艺，形成了适应汛期复杂条件的水下抛石质量控制技术。该技术体系实现了块石漂移量的精准控制与水下密实度的有效保障，通过全过程实时监测覆盖确保了施工质量的可控性。工程应用表明，抛投精度提升40%，厚度达标率达92%以上，显著提升了应急抢险工程的可靠性与耐久性，为长江下游航道防护提供了系统的技术解决方案，对类似水文条件下的水下工程施工具有重要参考价值。

## 参考文献

- [1] 杨清伟, 廖鸿志, 君彦灵. 汛期连续洪水情形下长江下游 Z-Q 关系曲线分析 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2022, 41(1): 1-5.
- [2] 梁萍, 魏晓雯. MJO 在长江下游汛期同期强降水延伸期预报中的应用 [J]. 第 32 届中国气象学会年会 S2 热带气象及环境影响, 2023, 25(2): 6-10.
- [3] 沈杭锋, 翟国庆, 金丹, 方兆宝, 章贲. 长江下游梅汛期尺度尺度低涡特征分析 [J]. 大气科学, 2024, 38(3): 11-15.
- [4] 孙燕, 朱伟军. 江苏省梅汛期暴雨特征及其对长江下游水位的影响 [J]. 地理科学, 2022, 43(4): 16-20.
- [5] 沈杭锋, 翟国庆, 金丹, 方兆宝, 章贲. 长江下游梅汛期尺度低涡特征分析 [J]. 灾害天气研究与预报, 2023, 30(5): 21-25.