

# 水下抛石护岸工程施工与质量控制

张钟天<sup>1</sup> 管辉<sup>2</sup>

1 镇江市水利建筑工程有限公司 2 江苏力恒工程咨询有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i8.4929

**[摘要]** 水下抛石护岸工程作为岸坡防护的重要手段,其施工质量关乎工程安全与稳定。本文围绕水下抛石护岸工程展开,阐述施工前期准备,包括资料收集、石料选择与储备、设备人员配置;介绍施工流程与关键技术,如测量定位、抛石顺序、抛投方式;说明质量控制与验收标准,涵盖原材料检验、过程监控、竣工验收。旨在为该工程施工提供全面指导,保障工程质量。

**[关键词]** 水下抛石; 护岸工程; 质量控制

**中图分类号:** TV861 **文献标识码:** A

## Construction and Quality Control of Underwater Riprap Revetment Engineering

Zhongtian Zhang<sup>1</sup> Hui Guan<sup>2</sup>

1 Zhenjiang Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd.

2 Jiangsu Liheng Engineering Consulting Co., Ltd.

**[Abstract]** As an important means of slope protection, the construction quality of underwater riprap revetment engineering is related to the safety and stability of the project. This paper focuses on underwater riprap revetment engineering, elaborating on pre-construction preparations including data collection, stone selection and storage, and equipment and personnel allocation. It introduces construction processes and key technologies such as measurement and positioning, riprap sequence, and dumping methods. Quality control and acceptance standards are explained, covering raw material inspection, process monitoring, and completion acceptance. The aim is to provide comprehensive guidance for the construction of this type of engineering and ensure project quality.

**[Key words]** underwater riprap; revetment engineering; quality control

### 引言

在水利工程建设中,岸坡防护至关重要,水下抛石护岸工程因其能有效抵御水流冲刷、保护岸坡稳定而被广泛应用。根据南京地铁四号线二期过江隧道工程防洪影响补救措施工程设计要求,水下抛石目的为增加地铁穿江区域深槽覆盖厚度,保证地铁运行环境的稳定。该工程施工环境复杂,受水文、地质等因素影响大,施工难度较高。若施工不当,易出现质量问题,影响地铁工程安全与效益。因此,深入研究水下抛石护岸工程施工与质量控制,掌握关键技术与要点,对确保工程质量和安全、提高工程效益具有重要意义。

### 1 水下抛石护岸工程施工前期准备

#### 1.1 工程资料收集与分析

施工前全面收集并深入分析工程区域基础资料,是工程顺利开展的关键前提。南京地铁四号线二期过江隧道工程防洪影响补救措施工程水下抛石项目主要位于长江南京梅子洲与潜洲之间深槽区域,覆盖范围为顺水流方向地铁隧道轴线的上游50m

至下游30m,沿隧道方向从梅子洲左缘至冲刷最低点向北(潜洲方向)80m,总长226.5m,抛石面积14743m<sup>2</sup>,抛石护底的厚度为1.5m~4.0m。水文资料收集涵盖水位变化范围、水流速度与方向、波浪高度及周期等关键要素。不同季节和洪水期,这些参数差异显著。如雨季或洪水期,水位大幅上涨、水流加速、波浪增高且周期缩短。收集多年完整水文数据并细致分析,能准确把握各时段水文特征,为确定施工参数提供可靠依据<sup>[1]</sup>。地质资料收集聚焦河床或岸坡土层分布、土壤类型、承载力及抗冲刷能力。河床土层可能有多层不同性质的土壤,像淤泥层、砂层、黏土层等,其承载力和抗冲刷能力各异。通过钻探取样和室内试验,明确土层物理力学性质,判断是否满足工程要求。若土壤承载力不足或抗冲刷能力差,设计抛石参数时需考虑加固措施。地形资料借助专业测量获取水下地形图,精确呈现岸坡形态、坡度及潜在冲刷区域。水下地形复杂,有陡坡、深坑、凸起等特殊地形。利用多波束测深仪等先进设备,获取高精度水下地形数据,绘制详细地形图。分析地形图能确定重点防护区域,合理规划抛石范围

和厚度。对收集的各类资料系统分析,综合考量水文、地质和地形因素,确定施工关键参数。抛石厚度需考虑水流冲刷力、土壤承载力及石料粒径,确保能有效抵御水流冲刷,保护岸坡稳定。粒径选择依据水流速度,流速低选较小粒径,流速高选较大粒径。抛投范围结合地形特点和防护需求,覆盖所有潜在冲刷区域。

### 1.2 石料选择与储备

石料质量是水下抛石护岸工程结构稳定性的决定因素,石料选择与储备工作至关重要。石料选择需严格满足强度、耐久性及粒径要求。强度是首要指标,块石抗压强度必须达到设计标准(湿抗压强度大于38Mpa,软化系数大于0.7,比重不小于 $2.4t/m^3$ ),否则在水流冲刷和自身重力作用下易破碎,导致护岸结构失稳。要避免使用风化、软弱或易碎石料,这些石料强度低、耐久性差,无法长期承受水流作用。耐久性方面,要求石料抗冻性、抗化学侵蚀性符合工程环境条件。寒冷地区,石料需具备良好的抗冻性,防止冻融循环损坏;化工污染区域或海水、盐碱环境中,石料要有抗化学侵蚀能力,避免被腐蚀降低强度。粒径选择根据水流速度科学确定,流速低区域,较小粒径石料可形成紧密结构;流速高区域,较大粒径石料能更好抵抗水流冲刷,增强护岸稳定性。石料储备要根据施工进度计划提前合理安排,确保施工期间供应连续。根据工程规模和进度,精确计算所需石料数量,并考虑一定富余量,应对意外情况。

### 1.3 施工设备与人员配置

施工设备的合理选型和人员的科学配置是工程顺利施工的重要保障。施工设备选型要与工程规模和现场条件匹配。抛石船是核心设备,根据水深、抛投距离及石料粒径等因素选择合适类型。开底驳适用于水深大、抛投距离远的区域,通过开启船底舱门实现石料自重抛投;侧抛船适用于狭窄区域或精准抛填场合,通过侧向抛投装置将石料抛至指定位置;专用抛石船配备先进定位与抛投系统,可实现自动化操作,提高施工效率和精度<sup>[2]</sup>。辅助设备方面,定位设备如GPS、全站仪能实时准确确定抛石船位置;测量设备如测深仪可测量水深和抛石厚度;运输设备如驳船、自卸车负责石料运输;起重设备如吊机、挖掘机用于石料装卸和搬运。人员配置涵盖管理人员、技术人员与操作工人。管理人员负责工程整体规划、组织协调和进度控制;技术人员提供技术支持,解决技术问题;操作工人负责具体施工操作。所有参与人员都需接受专业培训,熟悉施工流程和安全规范,培训内容包括设备操作技能、施工工艺要点、安全防护知识等。

## 2 水下抛石护岸工程施工流程与关键技术

### 2.1 测量定位与基线布设

测量定位作为水下抛石护岸工程施工的基础环节,其准确性直接影响整个工程的质量与成效。为建立精确的控制网,需充分利用先进的测量设备与技术。在岸上,运用GPS或全站仪精心设置基准点。这些基准点的选取至关重要,要选择地势较高、视野开阔、土质坚实且不易受外界因素干扰的地点,以确保基准点

的稳定性。通过导线测量或三角测量方法进行基线布设。导线测量是沿着选定的路线,依次测定各导线边的长度和转折角,根据起始数据推算各导线点的坐标;三角测量则是在地面上选定一系列点构成三角形,通过观测三角形的内角和边长,计算出各三角形的顶点坐标。基线布设必须全面覆盖整个施工区域,并且精度要严格满足设计要求。任何微小的偏差都可能导致后续施工出现误差,影响护岸工程的整体效果。水下定位环节,采用声呐、测深仪或GPS浮标系统。声呐利用超声波在水中的传播特性,通过发射和接收超声波来探测水下物体的位置和距离;测深仪可精确测量水深,同时获取水下地形信息;GPS浮标系统结合GPS定位技术,实时监测抛石船的位置与抛投点坐标。这些设备相互配合,能够实时、准确地掌握施工动态,确保抛投范围精准无误。在基线布设过程中,水流影响是不可忽视的因素。水流会对测量设备和测量结果产生干扰,导致定位不准确。因此,需要设置必要的校正参数。根据水流速度、方向以及水流对测量设备的影响程度,通过数学模型和实验数据进行分析计算,得出相应的校正参数,将其应用到测量定位过程中,从而提高定位精度,为后续施工提供可靠的数据支持。

### 2.2 抛石顺序与分层控制

抛石顺序严格遵循“先深后浅、先远后近、分层抛填”的原则。深水区域优先抛填具有重要意义。由于深水区域水流条件复杂,冲刷力较大,如果后续施工对其进行干扰,可能会破坏已抛填的石料结构,影响护岸稳定性。因此,先完成深水区域的抛填,能够为整个护岸工程奠定坚实基础。远离岸边区域先抛,逐步向岸边推进,这种施工顺序可以避免岸边施工对已抛填区域的影响<sup>[3]</sup>。有利于施工设备和材料的合理调配,提高施工效率。分层抛填是控制施工质量的关键环节。每层厚度需严格控制,通常不超过设计要求上限。通过多次抛填达到总厚度,能够保证石料均匀分布,增强护岸结构的稳定性。分层控制要充分考虑石料粒径与沉降特性。大粒径石料自身重量较大,沉降较小,在满足强度要求的前提下,可适当增加单层厚度,以提高施工效率;小粒径石料沉降较大,如果单层厚度过大,容易导致上下层石料混合不均匀,影响整体稳定性,因此需减少单层厚度并增加抛填次数,确保每一层都能达到良好的压实效果。

### 2.3 抛投方式与均匀性保障

抛投方式的选择需根据设备类型与现场条件灵活确定。开底驳通过开启船底舱门,利用石料自重实现抛投,这种方式适用于大面积抛填。其优点是施工效率高,能够在短时间内抛填大量石料,适用于对施工进度要求较高的工程。侧抛船通过侧向抛投装置将石料精准抛至指定位置,适用于狭窄区域或需要精准抛填的场合。在一些岸坡较陡、空间有限的区域,侧抛船能够准确地将石料抛投到目标位置,避免石料散落或堆积不合理。专用抛石船配备先进的定位与抛投系统,可实现自动化操作。通过计算机控制系统,能够精确控制抛投位置、抛投量和抛投速度,大大提高了施工效率和精度,减少人为因素对施工质量的影响。均匀性保障是确保护岸工程质量的重要措施。合理划分抛投区域是

关键一步，需综合考虑水流方向与岸坡形态。水流方向会影响石料的漂移方向，岸坡形态则决定了石料的堆积方式。根据这些因素，将施工区域划分为若干个小区域，通过控制单船抛投量，确保每个区域的石料抛投量均匀。根据石料粒径与抛投面积，通过科学计算确定每艘船的合理抛投量，确保每平方米抛投量符合设计要求。如果单船抛投量过大，容易导致局部石料堆积过多；抛投量过小，则无法达到设计要求的防护效果。

### 3 水下抛石护岸工程质量控制与验收标准

#### 3.1 原材料质量检验

原材料质量是水下抛石护岸工程的基础，石料进场前的质量检验不容有失。检验项目涵盖多个关键指标。粒径检验采用筛分法，将石料通过不同孔径的筛子，精确测量各粒径范围石料的比例，确保石料粒径分布严格符合设计要求，因为合适的粒径是保证护岸结构稳定的重要因素<sup>[4]</sup>。级配检验通过计算不均匀系数与曲率系数，判断石料级配是否良好。良好的级配能使石料相互嵌挤，形成稳定的结构，增强护岸的抗冲刷能力。强度检验采用点荷载试验或抗压强度试验，直接测定石料的强度，确保其满足设计标准。若石料强度不足，在水流冲刷和自身重力作用下，容易破碎，导致护岸结构失稳。含泥量检验通过清洗法或比重法，严格控制石料中泥土含量。过多的泥土会填充石料间的空隙，降低石料的摩擦力和整体稳定性。风化程度检验通过外观观察与硬度测试，避免使用严重风化石料。风化石料强度低、耐久性差，无法长期承受水流作用。只有所有检验项目均合格的石料方可进场使用，对于不合格石料，必须坚决清退出场，从源头上保障工程质量。

#### 3.2 施工过程质量监控

施工过程中的质量监控是确保水下抛石护岸工程达到设计要求的关键环节，需对多个关键指标进行实时监控。定位精度监控至关重要，通过对比设计坐标与实际抛投点坐标，严格控制偏差在允许范围内。准确的定位能保证抛石位置符合设计意图，避免出现抛石偏差导致护岸结构不完整。抛投厚度监控采用测深仪或潜水员探摸的方式，每层抛填后及时测量厚度，确保符合设计要求。合适的抛投厚度是保证护岸结构稳定和防护效果的基础。均匀性监控借助多波束测深仪或水下摄像系统，生成抛投区域高程图或影像图，直观判断石料分布是否均匀。均匀的石料分布能使护岸整体受力均匀，提高抗冲刷能力。密实度监控通过

原位测试或取样试验，检测石料间嵌挤程度与整体稳定性。

#### 3.3 竣工验收标准与程序

竣工验收是水下抛石护岸工程的最后一道关卡，需满足设计要求与相关规范标准。验收项目全面且细致，包括护岸结构尺寸、石料质量、抛投厚度、均匀性及密实度。结构尺寸验收通过测量护岸顶高程、坡度及宽度，严格控制偏差在允许范围内，确保护岸结构符合设计形状和尺寸要求。石料质量验收复核进场检验记录，再次确认使用石料符合质量要求。抛投厚度验收对比设计厚度与实测厚度，允许偏差需符合规范规定。均匀性验收通过高程图或影像图判断石料分布均匀性，对于局部偏差需进行补抛处理<sup>[5]</sup>。密实度验收通过原位测试或取样试验检测，确保密实度达到设计标准。验收程序严谨有序，先由施工单位进行自检，对工程质量进行全面检查和评估；然后监理单位进行抽检，对施工单位自检结果进行复核和监督；最后由建设单位组织正式验收，只有验收合格后，工程方可交付使用，为岸坡提供可靠的防护保障。

### 4 结语

水下抛石护岸工程施工与质量控制是一个系统工程，涉及多个环节和关键点。从施工前期准备到施工流程实施，再到质量监控与竣工验收，每个步骤都紧密相连、相互影响。只有严格把控各个环节，做好资料收集、石料选择、设备配置、技术操作和质量检验等工作，才能确保工程质量达到设计要求，为岸坡提供可靠防护，实现工程的经济效益和社会效益，推动水利事业的可持续发展。

#### [参考文献]

- [1]陆贺,张玉柱,王哲.长江中下游护岸工程水下抛石施工质量管控技术进展[J].水电与新能源,2025,39(8):53-56.
- [2]余坤明,范迪宇,陈昕.内陆码头工程护岸工程施工技术研究[J].价值工程,2025,44(7):157-160.
- [3]秦传华.抛石护岸治理技术在长江马鞍山河段当涂段的应用[J].东北水利水电,2024,42(5):55-57+72.
- [4]周广宇,吴杰,冯俊.基于模糊理论的水下抛石岸坡稳定性评价[J].水科学与工程技术,2025(5):62-64.
- [5]张文选.浅谈通航河道水下抛石施工技术[J].四川水利,2024,45(4):70-73.