

# 河道整治工程中护岸结构的优化设计与稳定性分析

魏倩

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450000

**摘要:**为提升河道护岸工程的稳定性与综合效益,本文围绕护岸结构优化设计与稳定性分析展开研究。先剖析水文水力、地质岸坡、生态经济及施工运维四大核心影响因素,再提出传统、生态、复合式护岸的优化方案及数值模拟迭代方法。基于岩土力学理论构建稳定性评价指标体系,结合数值模拟与物理模型试验验证方案可行性。研究形成多维度优化与稳定性分析体系,可为河道整治工程中护岸结构的科学设计提供技术支持,兼顾工程安全与生态适配性,具有实际应用价值。

**关键词:**河道整治;护岸结构;优化设计;方法与方案;稳定性分析

引言:河道护岸是保障河道形态稳定、抵御水流侵蚀的核心工程设施,其设计合理性直接关系河道整治成效与工程耐久性。当前护岸工程面临生态兼容性不足、稳定性适配性差等问题,亟需优化设计方法与精准稳定性分析手段。本文立足工程实际,系统研究护岸结构优化路径与稳定性评价体系,通过模拟与试验结合的方式验证方案可靠性,旨在解决传统护岸设计痛点,为水利工程中护岸结构的优化升级提供理论依据与实操指引,助力河道整治工程提质增效。

## 1 河道护岸结构优化设计的影响因素

### 1.1 水文水力实际工况因素

水文水力条件是护岸设计的核心实操影响因素,直接决定护岸抗冲刷与承载能力。实际工程需重点考量常遇水流流速、水位变幅、洪水峰值及持续时长,流速过大易引发岸坡基底冲刷,水位骤升骤降会加剧土体干湿循环破坏。河道含沙量、水流流向与岸坡夹角等细节工况,影响护岸磨损程度与受力分布,需针对性优化设计,避免照搬统一标准留下工程隐患。

### 1.2 场地地质与岸坡条件因素

地质条件是护岸结构选型与优化的基础约束,直接关联施工难度与稳定性。需勘察岸坡土体类型、密实度、抗剪强度及地下水埋深,粘性土岸坡易滑塌、砂性土岸坡抗冲刷弱,需分别采取加固、防渗等措施。若存在软土、风化岩层等特殊地质,需优化基础埋深与处理工艺,防止基底不均匀沉降变形;同时结合地质特性调整岸坡坡度、高度设计,兼顾稳定性与经济性。

### 1.3 生态适配与经济成本因素

生态兼容性与经济成本是工程需权衡的重要因素。生态层面需适配周边植被群落与水生生物栖息地,避免硬质护岸阻断生态连通性,生态敏感区域优先选用生态

友好型结构。经济方面需统筹材料、机械、人工及后期运维费用,既不盲目追求高性能导致成本超支,也杜绝选用劣质材料,通过优化结构与工艺实现效益最大化。

### 1.4 施工条件与运维可行性因素

施工与运维实操性直接影响护岸质量与使用寿命。施工需结合河道通航、场地大小、季节气候等,优化施工顺序与工艺,适配不同工况需求。运维需考虑检查便利性、维修难度及更换成本,设计时预留监测点位与维修通道,易损耗部位采用模块化结构,便于后期局部更换维护,降低长期运维成本<sup>[1]</sup>。

## 2 河道护岸结构优化设计方法与方案构建

### 2.1 传统护岸结构的优化改良策略

传统硬质护岸优化核心在于在保留高强度、抗冲刷优势的基础上,弥补生态短板、提升结构合理性与经济性,具体改良策略如下:(1)结构形态优化,针对浆砌石、混凝土挡墙护岸,调整墙体截面形式,采用梯形或弧形截面替代传统矩形截面,降低水流对墙体的冲击压力,同时优化墙身排水孔布置,合理设定排水孔间距与坡度,及时排出墙后积水,减小水压力对墙体稳定性的影响。(2)材料性能改良,选用高性能混凝土、透水混凝土等替代普通混凝土,提升护岸材料的抗渗性、抗冻性与耐久性,延长使用寿命;对浆砌石护岸,优化砂浆配比,加入抗裂、防渗添加剂,增强砌体整体性与防水能力。(3)施工工艺优化,采用预制装配式施工工艺替代传统现浇工艺,减少现场作业量与施工周期,提升施工精度,同时降低对河道周边环境的扰动;针对老旧护岸改造,采用加固补强工艺,通过粘贴碳纤维布、增设锚杆等方式,提升原有结构承载力,避免整体拆除重建造成的资源浪费。(4)生态适配改良,在传统护岸墙身预留生态孔洞或种植槽,填充种植土与营养基质,搭配

耐水植被,实现硬质结构与生态功能的初步融合,兼顾稳定性与生态性。

## 2.2 生态护岸结构的创新设计方案

生态护岸设计以生态优先为核心,结合水土保持需求,实现结构稳定性与生态兼容性的协同,创新设计方案如下:(1)植被护岸优化设计,采用乔灌草复合种植模式,合理搭配深根、浅根植被,构建多层次植被防护体系,提升岸坡抗冲刷能力与水土保持效果;优化植被种植间距与排列方式,结合岸坡坡度调整种植密度,同时配套设置植被固定设施,避免植被初期生长阶段因水流冲击倒伏。(2)生态袋护岸创新设计,选用高强度、耐降解、透水透气的生态袋材料,优化袋体规格与连接方式,采用嵌套式叠加工工艺提升结构整体性;袋内填充改良种植土与缓释肥,搭配适生植被,同时在袋体间隙设置排水通道,保障岸坡排水通畅,避免积水导致土体软化。(3)格宾网护岸优化设计,选用高镀锌或高尔凡格宾网材料,提升抗腐蚀能力,优化网箱规格与网箱尺寸,根据岸坡受力需求调整网箱填充石料的粒径与级配;在网箱内预留种植空间,填充种植土并种植水生或湿生植被,形成“网箱+石料+植被”的复合生态结构,兼顾抗冲刷性与生态修复功能。(4)生态混凝土护岸创新设计,采用大孔隙生态混凝土材料,优化孔隙率与孔径分布,保障水体与土体的连通性,为水生生物提供栖息空间;在混凝土孔隙内填充营养基质与种子,促进植被生长,同时优化护岸结构坡度与厚度,平衡结构稳定性与生态通透性。

## 2.3 复合式护岸结构的优化组合设计

复合式护岸通过不同类型护岸结构的合理组合,适配复杂河道工况,实现优势互补,优化组合设计方法如下:(1)上下段组合优化,针对岸坡上下段受力与生态需求差异,上段采用生态护岸结构,如植被护岸、生态袋护岸,发挥生态修复与水土保持功能;下段采用硬质护岸结构,如浆砌石挡墙、格宾网护岸,抵御水流主力冲刷,提升结构稳定性,同时优化上下段衔接工艺,避免出现受力薄弱点。(2)主次区域组合优化,根据河道水流分布特点,主流区、凹岸等冲刷强烈区域采用高强度硬质护岸或复合护岸,强化抗冲刷能力;非主流区、凸岸等冲刷较弱区域采用生态护岸,侧重生态修复,合理分配工程成本,实现稳定性与生态性的平衡。(3)功能型组合优化,结合河道防洪、生态、景观等多元需求,整合护岸结构与配套设施,在护岸结构中融入亲水平台、生态栈道等景观元素,同时配套设置截排水系统、防渗设施,兼顾功能实用性与景观协调性;对穿越城镇的河道,

采用“硬质护岸+生态缓冲带”组合模式,既满足防洪要求,又为居民提供生态休闲空间。(4)结构衔接优化,针对不同类型护岸结构的材质差异,优化衔接部位的施工工艺与结构设计,采用过渡段、锚固装置等方式增强衔接部位的整体性与稳定性,避免因材质、受力差异导致衔接处出现裂缝、渗漏等问题。

## 2.4 基于数值模拟的护岸设计方案迭代

借助数值模拟技术,实现护岸设计方案的精准优化与迭代升级,提升设计科学性,具体流程与方法如下:(1)模拟模型构建优化,根据河道实际水文地质条件,选取适配的数值模拟软件,构建二维或三维护岸结构模型,精准设定土体、护岸材料的物理力学参数,如抗剪强度、弹性模量、渗透系数等,同时合理划分网格,兼顾计算精度与效率。(2)多工况模拟分析,针对常遇洪水、极端洪水、枯水期等不同水文工况,模拟水流对护岸结构的冲刷作用、应力应变分布及岸坡稳定性,识别设计方案中的薄弱环节,如基底冲刷风险区、结构应力集中部位等,为方案优化提供数据支撑。(3)设计参数迭代调整,基于模拟结果,针对性调整护岸结构参数,如基础埋深、墙体厚度、坡度、材料配比等,通过多次模拟迭代,优化参数组合,使护岸结构在满足稳定性要求的前提下,实现材料用量最省、生态效果最优。(4)方案可行性验证,对迭代优化后的设计方案,进行多维度模拟验证,包括结构稳定性、抗冲刷能力、排水性能等,同时结合施工工艺与经济成本,评估方案的实操可行性,剔除存在施工难度过大、成本超支等问题的方案,最终确定最优设计方案<sup>[2]</sup>。

## 3 护岸结构稳定性分析核心理论与评价指标

### 3.1 稳定性分析基本理论与计算方法

护岸结构稳定性分析以岩土力学、水力学为核心理论支撑,核心围绕岸坡抗滑、抗倾覆及抗冲刷稳定性展开。抗滑稳定性理论基于摩尔-库仑强度准则,通过分析岸坡土体与护岸结构的受力平衡,判断是否存在沿软弱面滑动的风险;抗倾覆稳定性理论聚焦护岸结构在水流压力、土压力作用下的力矩平衡,避免结构绕基底边缘倾倒。计算方法以实用工程算法为主,抗滑稳定性采用滑动面法,结合条分法计算安全系数,精准划分潜在滑动面并量化受力;抗倾覆稳定性通过计算抗倾覆力矩与倾覆力矩的比值,评估结构稳定性。

### 3.2 护岸结构稳定性评价指标体系构建

稳定性评价指标体系需兼顾科学性与实操性,按结构受力特性与破坏形式分类构建。(1)抗滑稳定性指标,核心为抗滑安全系数,根据护岸类型设定分级标准,硬

质护岸需满足更高安全阈值,生态护岸结合植被固土作用适度调整,同时纳入滑动面剪切强度、土体密实度等辅助指标。(2)抗倾覆稳定性指标,以抗倾覆安全系数为核心,配套基底应力分布均匀性指标,避免局部应力集中导致结构破损。(3)抗冲刷稳定性指标,涵盖护岸材料抗冲强度、岸坡冲刷深度及水流冲刷力,量化材料磨损速率与岸坡侵蚀程度。(4)辅助评价指标,包括渗流稳定性指标(如渗流量、渗透坡降)、结构变形指标(如沉降量、水平位移),形成多维度指标体系,为护岸稳定性综合评价与方案优化提供量化支撑<sup>[3]</sup>。

#### 4 护岸结构稳定性模拟与试验分析

##### 4.1 护岸结构稳定性数值模拟分析

数值模拟分析要依托实际工程参数,通过精准建模与多工况运算,量化护岸结构稳定性状态,具体操作要点如下:(1)模型构建与参数设定,结合河道水文地质勘察数据,选用适配的工程数值模拟软件,构建对应维度的护岸结构与岸坡土体模型,明确材料物理力学参数,包括土体抗剪强度、弹性模量、渗透系数及护岸材料抗压强度、耐久性指标,合理划分网格单元,兼顾计算精度与运算效率,同时设定符合实际的边界条件,涵盖水流约束、土体约束及结构接触约束。(2)多工况模拟运算,针对常遇水文工况、极端洪水工况及枯水期工况,分别开展模拟分析,重点计算水流作用下护岸结构的应力应变分布、基底反力及岸坡位移量,同步模拟渗流场分布,量化孔隙水压力对土体有效应力的影响,识别结构应力集中区域与岸坡潜在滑动风险区。(3)模拟结果校准与分析,结合前期理论计算结果,对模拟数据进行校准修正,剔除异常数值以保障结果可靠性,通过数据可视化呈现护岸结构受力特性与稳定性规律,为后续物理试验设计及方案优化提供数据支撑。

##### 4.2 护岸结构稳定性物理模型试验验证

物理模型试验要以数值模拟结果为基础,通过缩尺建模复刻实际工况,验证模拟数据的准确性与护岸结构的稳定性,具体实施要点如下:(1)试验模型设计与制作,采用相似原理确定模型缩尺比例,确保模型与原型

在几何形态、力学特性、水文条件上满足相似关系,选用与原型材料力学性能一致的模拟材料,制作护岸结构与岸坡模型,配套搭建试验水槽、供水系统及量测系统,保障试验工况可精准复刻。(2)试验方案制定与数据采集,明确试验控制指标,包括水流流速、水位、荷载大小及作用时长,按预设工况逐步开展试验,通过位移传感器、应力传感器、流速仪等设备,实时采集护岸结构位移量、应力值、岸坡冲刷深度及水流参数,同步记录试验过程中结构的变形、破损情况,确保数据全面且精准。(3)试验结果分析与验证,对采集的试验数据进行整理分析,绘制应力应变曲线、位移变化曲线及冲刷深度曲线,与数值模拟结果进行对比,验证模拟模型的合理性与数据可靠性,若存在偏差则反向修正数值模拟参数,形成“模拟-试验-修正”的闭环流程,同时量化护岸结构在实际工况下的稳定性阈值,为工程设计提供实测依据<sup>[4]</sup>。

结束语:本文完整梳理了护岸结构优化设计与稳定性分析的核心逻辑,明确了影响因素、优化方案及验证方法的内在关联,构建了兼顾安全性、生态性与经济性的护岸设计体系。通过理论分析、数值模拟与物理试验的结合,为护岸工程设计提供了全方位技术支撑。后续可聚焦新型生态材料应用与智能监测技术融合,进一步完善优化与分析体系,为更复杂场景下的河道护岸工程提供更全面的参考。

#### 参考文献:

- [1]李志东.河堤整治工程中护岸形式与断面优化选择[J].水利技术监督,2025(2):258-262.
- [2]高远超,孙孝蕾,徐洪贤,滕信峰,段连法.基于生态功能提升的河道护岸结构优化设计研究[J].工程建设与设计,2025(22):71-73.
- [3]祝明慧.河道治理中生态护岸结构优化路径探析[J].区域治理,2025(23):0019-0021.
- [4]施建业,刘依文,欧阳正平,曹骅,王亚洲.生态护坡净水效果及稳定性分析[J].河南科学,2025,43(6):838-846.