

河道堤防工程水土保持与生态安全协同设计方法

单雅婷¹ 赵子俊² 吴娟¹

1. 徐州鼎源水务工程有限公司 江苏 徐州 221111

2. 徐州市正源水利建筑工程检测有限公司 江苏 徐州 221116

摘要：传统河道堤防工程多侧重防洪结构安全，存在水土保持措施单一、生态治理滞后、设计体系脱节等问题，易引发坡面侵蚀、岸坡坍塌及河道生境退化等现象。本文以河道堤防工程水土保持与生态安全协同发展为目标，梳理协同设计基本内涵与设计原则，系统识别工程建设与运行阶段的水土及生态风险。通过构建一体化协同设计体系，优化生态护坡、岸线整治、排水改造、植被配置等关键技术，形成兼顾工程稳固、水土防控与生态修复的成套设计方法。研究结果可为河道堤防绿色改造、水土流失治理及流域生态安全维护提供实践参考。

关键词：河道堤防工程；水土保持；生态安全；风险识别；协同设计；关键技术

引言：河道堤防是流域防洪体系的重要组成部分，直接关系沿岸区域安全与水土资源稳定。现阶段堤防工程建设中，传统硬化设计模式普遍重结构、轻生态，重防护、轻修复，导致堤岸水土失衡、生物栖息地缩减、河道自净能力下降等问题突出。为改善堤防工程与生态环境不协调的现状，亟需建立水土保持与生态安全协同的设计理念。本文结合堤防工程建设特点，从风险识别、体系构建、关键技术等方面开展系统研究，探索适配本土河道条件的协同设计路径，助力堤防工程绿色化、生态化建设。

1 河道堤防工程水土保持与生态安全协同设计概述

1.1 河道堤防工程水土保持核心内涵与防控要点

河道堤防工程水土保持是水利工程建设的基础性配套工作，核心是通过工程与植物措施，防控堤防建设及运行过程中的土壤侵蚀问题，减少坡面冲刷、河道泥沙淤积等病害。其核心内涵兼顾工程安全与水土资源保护，区别于普通区域水土保持，重点针对堤防堤身、边坡、滨水区域等特殊部位开展防护治理。防控工作聚焦工程全周期，施工阶段重点管控土方开挖、填筑造成的地表裸露与水土流失，运行阶段主要防范雨水冲刷、水流淘刷引发的边坡坍塌、土体流失。同时需结合河道水文特征、土质条件制定针对性防控方案，在保障堤防结构稳定的前提下，最大限度减少水土资源损耗。

1.2 河道堤防生态安全定义、评价维度与管控目标

河道堤防生态安全是河道生态系统稳定运行的重要保障，指堤防工程建设运行后，河道水文环境、动植物栖息地、水体自净能力维持良性状态，无系统性生态破坏的稳定状态。其评价维度主要包含水文生态、生境质量、生物多样性三个核心层面，兼顾堤防工程对河道生

态的扰动程度与修复效果。整体管控目标以生态可持续为核心，规避传统硬化堤防造成的水系割裂、生境退化等问题，平衡堤防防洪功能与河道生态功能，实现工程建设不破坏生态基底、运维过程持续改善生态环境的管控要求。

1.3 协同设计基本原则

水土保持与生态安全协同设计原则如下：（1）遵循功能统筹原则，兼顾堤防防洪、固土保水、生态修复多重功能，规避单一防护设计的局限性。（2）坚持因地制宜原则，结合河道区域气候、土质、水文及本土植被特征，适配本地化设计方案，杜绝同质化、模式化设计。（3）落实生态优先、综合治理原则，以生态系统修复为导向，将水土防控措施与生态修复措施深度融合。（4）遵循长效稳定原则，兼顾工程短期防护效果与长期生态运维效益，实现水土保持长效可控、河道生态安全持续稳定^[1]。

2 河道堤防工程水土流失与生态安全风险识别

河道堤防工程施工及运行阶段会改变原有河道地形地貌、土体结构与水系格局，打破原有水土平衡与生态系统稳态，产生水土流失及生态安全隐患。具体风险问题如下：（1）工程建设引发的水土流失风险。堤防工程土方开挖、填筑、清基等施工工序会大面积扰动地表土层，破坏原有结皮与植被覆盖，导致表层土体松散、抗冲刷能力大幅下降。河道沿线土质多为粉质壤土、砂性土，孔隙大、粘结性弱，在降雨径流、河道水流淘刷作用下，极易出现坡面溅蚀、面蚀与沟蚀。施工弃土、临时堆土堆放不规范，未采取临时防护措施，会加剧局部水土流失，造成河道泥沙淤积、堤坡土体流失等问题。（2）堤防改造产生的生态安全风险。传统堤防多采用硬质混凝土、浆砌石

全覆盖护坡,彻底阻断水土交换通道,破坏河道水陆交错带生态结构。硬质堤岸无法涵养水分、附着微生物,导致水生、湿生植物消亡,鱼类、底栖生物栖息空间萎缩,河道生物多样性下降。堤防线型裁弯取直、岸线固化改造,改变天然河道水文节律,削弱水体自净能力,易引发水体富营养化,造成河道生态系统退化。(3)传统设计模式的协同缺失风险。现有堤防设计多以防洪、结构稳定为核心,水土保持设计与生态设计相互独立,缺乏统筹衔接。水土防护措施侧重工程硬性护坡,未兼顾生态修复需求,生态设计缺乏固土保水技术支撑,导致水土防控不彻底、生态治理无成效,形成工程安全、水土保持、生态保护相互制约的矛盾^[2]。

3 水土保持与生态安全协同设计体系构建

水土保持与生态安全协同设计体系以堤防结构安全为基础,统筹固土保水、生态修复、水文调控等核心内容,实现工程建设与生态保护协调发展,具体架构如下:(1)协同设计总体框架。摒弃传统单一工程设计模式,建立“结构安全-水土防控-生态维稳”三位一体设计框架。以河道堤防全生命周期为轴线,整合勘察设计、施工建设、运维管护各阶段设计内容,打破专业设计壁垒,将水土流失防控指标、生态安全管控要求全面融入堤防设计全过程。(2)多目标协同设计体系。兼顾堤防防洪减灾、土体稳固、生态存续核心目标,平衡工程硬性防护与生态柔性修复关系。在满足堤防防洪标准、结构稳定的前提下,细化水土流失控制、岸坡防护、生境修复等细分目标,规避单项设计冲突问题,实现多重目标统筹兼顾。(3)堤防分区协同设计体系。根据堤防不同区域功能差异,划分堤身主体、边坡坡面、滨水过渡带及堤后缓冲区域,实行分区差异化设计。结合各区域水土侵蚀特征与生态禀赋,匹配针对性的工程防护、植被修复措施,实现局部精准治理、整体系统协同,提升设计方案的科学性与适配性^[3]。

4 河道堤防水土与生态协同设计关键技术

4.1 生态护坡水土保持协同设计技术

生态护坡是解决堤防坡面水土流失、破除硬质护坡生态壁垒的核心技术,以“固土抗冲、透水透气、适配植被”为核心设计准则,替代传统混凝土、浆砌石全硬化护坡模式,兼顾堤防结构安全与坡面水土、生态管控需求。(1)柔性生态护坡结构设计。针对常规土质堤防坡面,采用格宾石笼、生态混凝土、植草砖等柔性复合护坡结构。格宾石笼选用抗腐蚀高强度合金钢丝材,内部填充级配碎石,结构孔隙率可控,可实现坡面水土正常交换,同时依托整体网状结构约束坡面土体,抵御雨水冲刷与河道

水流淘刷,有效降低坡面面蚀、沟蚀发育概率。生态混凝土采用多孔透水配比设计,摒弃密封硬化结构,孔隙结构可为草本植物扎根、微生物附着提供基础,在保障护坡整体强度的前提下,弱化硬化结构对生态的阻隔影响,能够在满足堤防抗滑、抗倾覆稳定验算要求的基础上,提升坡面水土涵养能力。(2)坡面分层加固设计。根据堤防坡比、土质特性开展分层差异化设计,堤身下部临水侧采用刚性偏弱、抗冲性更强的复合结构,应对高频水流冲击;堤身上部背水侧以柔性植被护坡为主,重点防控雨水径流冲刷,减少表层土体流失。所有护坡结构施工均同步设置反滤层,规避土体颗粒随水体渗漏流失,从结构层面筑牢水土保持基础,有效解决传统护坡透水差、易脱空、生态断层等工程问题。

4.2 岸线整治与水土流失防控协同技术

河道岸线是水陆生态交错带的核心载体,也是水土流失高发区域。传统岸线裁直、固化整治方式易造成岸坡土体失衡、生境碎片化,本次协同设计以“自然岸线修复、局部固化防护、泥沙可控疏导”为核心,优化岸线整治技术体系。(1)自然曲折岸线保留与修复技术。摒弃一刀切式直线岸线改造,对原有天然曲折河道、浅滩、缓坡区域予以保留,对破损塌陷岸线进行微地形修整,恢复河道天然断面形态。通过微调岸线曲率、修整浅滩高程,减缓近岸水流流速,降低水流对堤岸的侧向淘刷力度,从水动力层面减少岸坡水土流失。同时杜绝大规模土方平整,最大限度保留原有岸坡土体结构与地表覆盖,维持河道原有水动力场与泥沙输移规律。(2)岸坡固土防冲专项技术。针对坍塌风险较高的脆弱岸段,采用土方压实整形+生态护岸组合工艺,对松散岸坡土体进行分层压实,控制土体密实度达标,提升土体自身抗蚀能力。岸坡底部设置防冲护脚结构,采用小块石散铺护脚方式,替代整体硬化护脚,既阻挡底部水流掏空岸坡土体,又可保留底部水域生境,保障底栖生物生存空间,实现岸坡水土稳固与生态保护协同^[4]。

4.3 堤防排水系统生态优化设计技术

堤防排水系统承担坡面排水、防渗导水功能,传统硬质排水沟槽存在排水集中、冲刷加剧、生态割裂等问题。生态化优化设计以“分散排水、消能减冲、生态连通”为目标,重构堤防排水体系,解决排水与水土流失、生态保护的矛盾。(1)分散式生态排水结构设计。取消传统贯通式硬质排水沟,采用分段式、隐蔽式生态排水槽,搭配透水盲沟、渗滤管组合结构。坡面雨水经透水层、盲沟逐级渗滤疏导,避免集中径流形成高强度冲刷,大幅降低坡面水土流失强度。排水沟槽内部填充

级配砂石与改良种植土, 兼顾排水导水与植被生长条件, 实现排水结构生态化改造, 改变传统沟槽完全阻断水土交换的弊端。(2) 排水出口消能生态设计。堤防排水出口是冲刷病害高发点位, 常规直排方式易造成出口处土体掏空、坡面塌陷。设计中在排水出口设置生态消能池、缓流带, 通过碎石缓冲、植被阻流实现水流消能减速。同时优化排水出口布设间距与高程, 避免局部水流集中汇集, 保证排水顺畅的同时, 杜绝水力侵蚀引发的水土病害, 维持堤脚水域生态稳定。

4.4 乡土植被配置生态固土技术

植被固土是水土保持与生态修复协同的核心软性技术, 相较于外来植被, 乡土植被适配本地水文、土质、气候条件, 成活率高、抗逆性强、管护成本低, 可长期稳定发挥固土保水、修复生境的作用。(1) 分区植被配比设计。遵循因地制宜原则, 实行堤防分段、分层植被配置。临水滨水带种植芦苇、菖蒲、莎草等湿生乡土植被, 适配干湿交替环境, 根系密集可稳固堤脚土体, 缓冲水流冲击; 坡面区域种植狗牙根、紫穗槐、荆条等耐旱、固土能力强的草本与灌木植被, 深浅根系交错分布, 形成立体根系固土网络, 加固坡面土体结构; 堤后缓冲区配置乔灌木复合植被, 提升地表覆盖度, 防控地表径流侵蚀。(2) 植被群落稳定化设计。摒弃单一植被种植模式, 构建草本、灌木、乔木多层级复合群落, 提升植被系统抗干扰能力与自我修复能力。严格控制植被种植密度与间距, 避免植被过密争抢养分、过稀防护不足, 同时杜绝外来入侵植被引入, 维持河道原生生态群落结构, 在实现长效水土保持的同时, 修复河道生物栖息环境, 保障区域生态安全^[5]。

4.5 水土生态动态监测与运维协同技术

该项技术填补了传统设计重施工、轻运维的技术短

板, 实现设计、治理与动态管控的全过程协同。(1) 定点动态监测布设技术。结合堤防水土流失高发区与生态敏感区, 布设坡面侵蚀、水体流速、植被覆盖度定点监测点位, 重点采集堤坡土体流失量、水域生态指标及植被生长状态数据, 精准掌握堤防水土与生态动态变化规律, 及时预判潜在侵蚀风险与生态退化问题。(2) 分区运维协同管控技术。根据堤防不同区段的防护功能与生态特征, 制定差异化运维方案。针对临水易冲区段, 定期排查护脚、护坡结构完整性, 及时修复局部破损点位, 避免土体渗漏掏空; 针对坡面与堤后生态区, 常态化开展植被抚育、杂草清理、群落优化工作, 保障植被固土效能稳定发挥。

结束语: 本文围绕河道堤防水土流失防控与生态安全保障需求, 完成了协同设计理念梳理、风险识别、体系搭建与关键技术优化, 形成了一套贴合工程实际的协同设计方法。研究有效解决了传统堤防设计水土治理与生态保护相互割裂的问题, 实现工程安全、水土保持与生态修复的统筹兼顾。

参考文献

- [1] 温天玉. 河道综合生态修复技术设计实践研究[J]. 水利技术监督, 2022, 30(9): 260-264.
- [2] 罗欢. 河道堤防工程水土保持与生态安全协同设计方法[J]. 水利技术监督, 2026(1): 223-225+260.
- [3] 陈泽仪. 水土保持措施技术在小隐涌河道整治工程中的应用研究[J]. 水上安全, 2026(4): 85-87.
- [4] 曾文会. 河道堤防生态护坡设计及防渗加固策略[J]. 工程技术研究, 2025, 10(19): 202-204.
- [5] 李世玺. 河道治理工程中生态护坡的设计与应用探究[J]. 中文科技期刊数据库(引文版) 工程技术, 2025(5): 214-217.