

基于生态护坡理念的河道堤防结构自适应稳定机制研究

王碗琴

浙江省水利水电技术咨询中心, 浙江杭州, 310000;

摘要: 社会对环境保护与可持续发展关注度不断提升, 传统河道堤防结构在极端气候与水文变化下逐渐显现脆弱性, 生态护坡理念凭借绿色环保、资源节约的特点, 在堤防工程中得到广泛应用, 自适应稳定机制作为河道堤防新型设计思路, 融合生态修复与工程技术, 增强堤防自我调节能力, 可应对自然与人为因素带来的复杂变化。本文分析生态护坡堤防在多变环境中的稳定特性, 构建自适应稳定机制, 提升堤防结构长期耐久性与可靠性, 为河道堤防可持续发展提供可行方向。

关键词: 生态护坡; 河道堤防; 自适应稳定; 绿色防护; 水文变化

DOI: 10.69979/3060-8767.26.05.068

引言

全球气候变化与水文条件持续改变, 传统河道堤防结构面临诸多挑战, 确保防洪安全的同时, 兼顾生态环境的保护与修复, 成为当前研究的核心内容, 生态护坡融合工程技术与生态理念, 作为创新方法, 成为解决河道堤防稳定性问题的重要路径。引入自适应稳定机制, 可使堤防结构有效抵御水流冲刷与环境改变, 在极端气候下维持稳定运行, 该机制赋予堤防结构更高的灵活性与稳定性, 为提升堤防长期耐久性创造条件。

1 生态护坡堤防的挑战与需求

气候变化与极端天气事件不断出现, 传统河道堤防在防护性能与结构稳定上承受着越来越大的压力, 强降雨、洪水及水位大幅波动场景中, 常规堤防结构体现出较低的适应水平与抗冲刷性能, 堤防设计对环境动态变化缺少足够考量, 实际运用中易发生溃决、渗漏等状况, 威胁水利运行安全与区域生态环境质量^[1]。河道堤防承担着防洪核心作用, 当代堤防工程建设需同步兼顾环境保护、生态修复与长期发展需求, 行业内亟需引入全新设计思路应对现有难题, 生态护坡将生态理念与工程技术相互结合, 为改善极端气候下堤防易受损的状况提供可行方向, 生态护坡堤防在规划与落地过程中仍存在较多难点, 生态保护目标与结构稳定要求之间的平衡把控尤为关键。

生态护坡堤防设计工作中, 堤防结构长期稳定的保障是需要重点攻克的内容, 生态护坡需借助植物根系实现对堤防土体的加固, 同时抵御各类水文条件带来的土壤侵蚀、坡度改变与水流冲刷作用, 河流区域高水位洪水出现频次较高时, 堤防表层植被易受水流损毁, 降低护坡防护效果, 极端天气下还可能引发堤防局部垮塌。

水生植物布局与水流作用相互影响、根系固土效果在不同区域存在差异, 都是生态护坡堤防设计中亟待解决的技术问题, 生态保护理念不断普及, 在维持堤防防洪能力基础上融入生态修复与自然修复要素, 成为河道堤防建设面临的主要挑战。

生态护坡堤防对自适应机制的运用, 推动传统堤防设计实现创新突破, 传统堤防多采用刚性结构形式, 缺少随环境改变进行自我调整的能力, 生态护坡堤防依靠植物生长、土壤自我修复及环境调节功能, 构建出柔性更强的防护体系, 该类堤防可依据水流大小、土壤条件及植被生长状态, 动态优化结构稳定程度与防护作用, 自适应机制的应用同样带来新的研究难点, 生态要素与工程设计如何深度融合, 保障堤防在长期自然环境变化中保持稳定, 是需要重点突破的技术方向。现阶段生态护坡堤防在多地仍处于试验应用阶段, 结构稳定、应用效果与环境适应能力还需依靠大量实测数据与技术手段加以验证, 优化生态护坡堤防设计方案, 提高复杂环境下的适应水平, 依旧是现阶段研究的重点方向。

2 自适应稳定机制的基本原理与应用

自适应稳定机制的核心思想, 是借助持续调整让堤防结构在水文、气候等外部条件改变时灵活响应, 维持长期稳定状态, 机制落地需结合河道堤防所在区域的水文环境、土壤特性与植被生长状况等多项条件, 实际运用里, 堤防稳定不只依靠结构自身物理属性, 更需要各类生态因子共同作用^[2]。对水流动力变化、土壤渗透性能及植被与土体间的相互作用开展实时监测, 堤防结构可依据环境波动做出相应调整, 维持整体稳定, 这一过程依托多维度数据解析与运算, 保障堤防在极端天气、气候变迁及水位起伏等复杂场景下快速反应, 维持防护

性能,避免出现溃口与侵蚀等危险情况。

植物根系在自适应稳定机制运行中占据关键地位,根系可提升土体之间的黏结效果,抵御水流带来的冲刷影响,还能调控土壤含水率与内部结构,辅助维持堤防整体稳定,栽种多样的耐水植被,根系可在水文条件持续变化的环境中自主调整生长状态,减少土体流失与局部塌陷情况的出现。生态护坡将植物生长体系与堤防工程融为一体,通过适配植物品种与栽种模式,让根系固土效果得到充分发挥,水流大小与变化趋势同样作用于植物根系,冲刷作用力可能造成植被损伤与土体结构破坏,进而影响堤防稳定状态,自适应机制可在这一环节发挥作用,实时捕捉水流变化并采取对应措施,加固堤防结构或优化植被配置,维持生态护坡堤防的防护效果。

自适应稳定机制的落地同样依赖堤防结构形式的创新设计,传统堤防结构多依靠刚性材料与固定形态保障稳定,面对环境变化时缺少灵活调整的空间,自适应堤防借助动态调控技术,实现堤防结构与外部环境的双向互动,坡度设置、堤顶高程、材料选用等外部构造参数,可依据水文条件变化做出优化,这类设计能够强化堤防抗冲刷性能,减轻水流对堤防形成的冲击作用,降低溃口发生概率。将自适应调控方式与传感设备相结合,可完成水位、土壤湿度、植被生长情况等信息的实时采集,启动自动调节程序,相关技术能够增强复杂环境下堤防的稳定程度,减少后期养护所需的资金与人力,为现代河道堤防建设提供全新发展路径。

3 生态护坡堤防设计中的关键因素

生态护坡堤防设计需统筹多项条件,实现结构稳定与生态功能的相互契合,土壤类别与内部构造直接决定护坡作用发挥,各类土壤在水流冲刷、干湿交替等外界作用下呈现出不同的稳固状态,堤防设计需结合土壤颗粒构成、透水性能、密实程度等物理指标,选取适配的土体加固方式,易受侵蚀的土壤可搭配植被覆盖与石块、草皮等人工加固材料,降低土体流失概率,强化护坡作用^[3]。土壤抗压性能与蓄水能力关系到植物根系发育与固定效果,土壤过于松散会阻碍根系扎根,削弱护坡堤防的长期稳固性,土壤改良与选型需结合区域地理条件与水文状况开展科学评定。

植物种类选取与空间布局在生态护坡堤防设计中占据重要地位,合适的植物可提升土体稳固程度,增强堤防抵御水流冲击的水平,选用根系粗壮、耐水性能突出、适应恶劣环境的植物是设计的基础条件,不同水文场景下可配置固土能力较强的草本、灌木及部分乔木植物,根系可在水流作用下抑制土体流失,降低堤防坍塌

风险。植物生长与水流作用的相互影响同样需要纳入考量,水流冲刷会阻碍植物发育甚至损伤根系结构,提升生态护坡效果需结合植物生长周期与水位变动规律,在堤防表面合理划分植被区域,构建自然防护体系。

堤防外形构造与材料选取同样是生态护坡设计的核心内容,堤防坡度、表层材质、结构形式直接作用于水流冲刷强度与植物生长空间,坡度偏陡的堤防易受水流直接冲击,加剧土体流失,不利于根系扎根,降低整体稳定性,设计阶段可控制坡度平缓度,搭配生态修复手段,提升堤防适应水流变化的能力。护坡材料的选择同样起到关键作用,选材需兼顾抗冲刷性能、使用年限与环境影响,透水性能良好的砾石、草皮等环保材料可降低对生态环境的干扰,为植物根系生长创造适宜条件,优化堤防构造与材料搭配,可强化堤防防护效果,推动区域生态系统修复与长效发展。

4 自适应稳定机制对堤防稳定性的影响

自适应稳定机制依托外部环境的实时反馈与调整,提升堤防在复杂动态水文环境中的稳定水平,该机制注重堤防结构与周边环境的相互作用,借助灵活调节方式适配水流强度、土壤湿度与植被生长状态等条件的改变,水流冲刷、泥沙淤积、风暴潮等自然现象持续影响堤防稳定状态,传统刚性堤防设计难以适配这类多变自然条件^[4]。自适应稳定机制借助实时监测与调控,使堤防结构随水文状况自动调整,减弱外部冲击对堤防稳定造成的不利影响,借助动态调节模式,堤防可在极端天气下维持稳定状态,长期适配环境变化,提升整体耐久性能与可靠程度。

该机制整合传感网络、遥感技术、数据处理与智能算法等多种技术手段,完成堤防运行状况与环境条件的实时监测,传感器可采集水流速率、土壤含水率、气候变动等相关数据,为堤防运行提供即时反馈信息,数据的采集与解析支撑堤防结构做出即时调整,优化堤防坡度、强化薄弱区段、调整植被种植布局等操作均可同步实现。自适应调节模式使堤防结构在水文条件波动时快速响应,保障稳定状态不受明显影响,该机制可依据环境变化选取合理的调整方案,降低人工干预带来的波动与操作偏差,提升堤防管理效率与长期环境适配能力。

自适应稳定机制对堤防稳定的强化作用,凸显其在自然灾害与极端气候事件中的应用价值,水流冲刷、地震、风暴潮等外部作用力具备明显的突发性与随机性,传统设计形式难以应对这类复杂且快速变化的影响因素,自适应机制构建动态响应系统,完成外部状况的实时预判与堤防结构的即时调整,强降雨或水位抬升场景

下,堤防可对易溃口区段进行及时加固,调节堤防内部压力分布,减小水流冲击作用。动态调节模式使堤防在极端水文条件下保持防护功能,保障堤防运行安全,维持防护效果的长期稳定,自适应稳定机制加快堤防对环境变化的响应速度,降低环境变动引发的损坏概率,提升堤防在复杂外部条件下的复原与自我修复能力。

5 生态护坡堤防结构的优化路径与实施

生态护坡堤防结构的优化,不只是提升堤防防护水平,还需兼顾生态环境的修复与保护,设计优化阶段以提升堤防环境适应能力与自我修复能力为核心目标,降低对周边生态环境的干扰,强化各类水文条件下堤防的稳定效果,优化工作可从堤防结构的材料选用与外形设计入手,使其更贴合生态保护的实际需求^[5]。堤防表层土体与植被体系可结合区域水文条件、土壤特性与气候条件,筛选适配的材料与植物品种,选用透水性能突出、具备自我修复能力的材料,可降低土体流失概率,减轻对周边生态环境的影响,堤防坡度、外形设计与土体改良措施,可依据不同区段现实条件灵活调整,实现生态效益与结构稳定的双重提升。

智能化技术的融入,可进一步提升堤防的适应能力与灵活程度,信息技术持续发展,物联网与大数据技术在生态护坡堤防工程中的应用价值不断凸显,借助智能传感设备与遥感技术,可实时捕捉堤防周边环境变化信息,涵盖水位起伏、土壤湿度、气候变动与植被生长状态,相关数据可为堤防结构的即时调控提供支撑,在灾害性天气到来前完成预警并做出适应性调整。智能系统通过多类数据的整合分析,预判水文变化对堤防产生的作用,借助自动化手段强化堤防稳定效果,高风险区段可通过优化堤防坡度、提升植被覆盖比例、改善土体结构等方式,增强堤防防护水平。

生态护坡堤防结构优化实施阶段,施工工艺与后期运维管理同样需要重点把控,施工环节需保障土体与植物根系的稳定状态,维持表层植被与土体之间的协同关系,为保障植物正常生长并发挥固土作用,可结合土壤特性、气候条件与植物生长周期完成植被配置,避免因植物不适当当地环境影响堤防结构稳定,施工完成后,后期运维重点关注植被生长管控与土体健康状况。定期

检测堤防土体质量,判断植物根系生长情况,更替或修复衰败受损植被,保障植被体系长期稳定发挥作用,堤防结构监测与运维可同步结合生态效益评价,跟踪生态修复成效,优化设计方案与施工手段,持续完善堤防整体功能,项目实施阶段可推动地方政府、科研单位与设计部门协同合作,构建完善的生态护坡堤防建设与管理 体系,为堤防长期稳定运行与可持续发展提供支撑。

6 结语

生态护坡堤防的优化设计与实施,既能提升堤防稳定性,也能推动生态环境的修复与保护,面对不断变化的水文条件与极端气候,自适应稳定机制与智能化技术的应用,为堤防长期可持续运行提供支撑,综合考量土壤、植被、材料及智能监测技术,可增强堤防的灵活性与应对能力。优化后的堤防结构可降低人力投入,提升防护效果,助力生态系统和谐发展,未来,生态护坡堤防将成为抵御自然灾害、保障水利安全的重要方式,在持续技术创新与完善管理体系下,堤防设计将朝着绿色、智能、可持续方向发展,实现水利工程与自然环境的和谐共生。

参考文献

- [1]刘柳玲,黄锦涛.河道生态护坡在堤防防护工程中的结构可靠性研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.第十三届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.水利部珠江水利委员会技术咨询(广州)有限公司;,2025:373-374.
- [2]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.
- [3]任现明,吕玉宏.黄河下游堤防生态护坡措施试验与效果评价[J].水利技术监督,2025,(11):290-292.
- [4]刘圣娟.生态护坡技术在河道堤防中的应用与效果评估[J].水利技术监督,2025,(09):251-254.
- [5]张海萍.河道堤防生态护坡设计及防渗加固研究[J].珠江水运,2024,(24):142-144.

作者简介:王碗琴,女,(1992.5-),籍贯:江苏泰州,民族:汉,学历:硕士,职称:中级工程师,研究方向:水利工程技术研究。