

河道生态护坡关键技术研究

孙 瀚

江苏省水利勘测设计研究院有限公司 江苏 扬州 225000

摘 要：河道生态护坡是维系水生态系统平衡、保障河道安全稳定的关键举措。植被护坡、土工材料护坡等多种技术，通过不同作用机制实现固土护坡与生态修复功能。植被根系增强土体抗剪强度，土工材料提升坡面稳定性，生态混凝土与石笼网兼具防护与生态效益。随着技术革新，多元化技术融合、智能化监测管理等趋势显著，绿色环保材料广泛应用，推动生态系统自修复与可持续发展，对河道综合治理意义深远。

关键词：河道；生态护坡；关键技术

引言

在生态文明建设与城市防洪排涝需求叠加背景下，传统硬质护坡引发的生态退化、水体自净能力下降等问题日益凸显。河道生态护坡作为兼顾工程安全与生态功能的新型防护模式，成为水利工程领域研究热点。本文基于植被、土工材料、生态混凝土及石笼网等关键护坡技术，深入剖析其作用机理与应用特点，探讨多元化融合、智能化管理等发展趋势，旨在为河道生态护坡技术的优化与推广提供理论支撑与实践参考。

1 河道生态护坡概述

河道生态护坡是基于传统护坡工程技术，融合生态修复理念与环境科学原理，构建兼具防洪安全与生态功能的复合防护系统。其设计与施工突破单一工程防护目标，通过合理配置工程材料与植物群落，形成稳定坡面结构的同时，构建水陆生态过渡带，为水生生物、两栖动物及微生物提供栖息繁衍场所，促进物质循环与能量流动，实现工程结构与自然生态的协同共生。在材料选择与结构设计方面，生态护坡多采用多孔混凝土、生态袋、石笼网等具有透水透气性的新型工程材料，替代传统硬质混凝土与浆砌石结构。这些材料不仅能够保障坡面抗冲刷能力，还允许水体与土壤间的物质交换，为植物根系生长创造条件。结构形式上，常见的阶梯式、鱼巢式、植被混凝土护坡等，通过构建多样化的微地形与孔隙空间，优化水流形态，降低坡面流速，增强岸坡稳定性，同时为鱼类洄游、底栖生物附着提供适宜环境。植被系统作为生态护坡的核心要素，其配置遵循植物生态学原理，结合区域气候、土壤条件，选择乡土草本、灌木及乔木进行科学组合。草本植物生长迅速，可快速覆盖坡面，减少雨水溅蚀；灌木根系发达，能够加固浅层土体；乔木则通过深根系增强边坡整体稳定性。不同植物间形成立体植被群落，既能截留雨水、减少地表径

流，又能通过光合作用吸收二氧化碳、释放氧气，改善区域小气候，同时发挥景观美化功能，营造自然和谐的滨水空间。河道生态护坡通过工程措施与生态技术的有机结合，在有效抵御洪水侵蚀、保障岸坡安全的基础上，重建河道生态系统服务功能，恢复水陆生态连通性，提升生物多样性水平，实现防洪安全、生态保护与景观营造的多重效益统一，为城市与乡村河道治理提供可持续发展的解决方案。

2 河道生态护坡关键技术分析

2.1 植被护坡技术

植被护坡技术通过构建植物群落系统，利用植物根系与土壤的相互作用，实现对河道边坡的稳定与生态修复。草本植物如狗牙根、高羊茅等，凭借其发达的须根系在浅层土壤中交织成网，可有效增强土壤抗剪强度，减少坡面表土的侵蚀；木本植物如紫穗槐、柳树等，其主根深入土层，侧根横向延展，能够在更深层次锚固土壤，提高边坡整体稳定性。植物地上部分的茎叶可削弱雨滴溅蚀，降低坡面径流流速，截留部分雨水，减少坡面冲刷力。在实际应用中，植被护坡技术需结合不同植物的生态习性与河道环境条件进行植物配置。例如，在水位变化频繁的区域，可选择耐水淹、耐冲刷的菖蒲、芦苇等水生植物，其根系在水中仍能保持活性，且茎叶可缓冲水流冲击；在高陡边坡，可采用藤本植物与草本植物相结合的方式，藤本植物攀援生长，覆盖坡面，草本植物稳固表层土壤。植被的生长还能吸收水体中的氮、磷等营养物质，净化水质，为水生生物和昆虫提供栖息地，促进河道生态系统的生物多样性，实现边坡防护与生态环境改善的双重效益^[1]。

2.2 土工材料护坡技术

土工材料护坡技术基于高分子聚合物或天然纤维材料的特殊性能，构建具有良好力学性能与生态适应性的

护坡结构。土工格栅凭借其高强度、高模量的特点,与土体形成复合体,通过格栅与土体间的摩擦力和嵌锁作用,约束土体变形,提高边坡稳定性。在受水流冲刷严重的区域,常使用土工布铺设于坡面,其透水不透土的特性,既能使坡面渗水顺利排出,降低孔隙水压力,又可有效防止土壤颗粒流失,起到反滤和隔离作用。三维土工网垫是该技术的典型应用材料,其独特的三维立体结构在铺设后可形成稳定的坡面微地形,为土壤和植物生长提供空间。填充土壤并播种植物后,植物根系与三维土工网垫相互缠绕,进一步增强坡面的抗冲刷能力。土工格室作为一种立体网格构件,展开后形成蜂窝状结构,可在格室内填充碎石、土壤等材料,用于加固边坡。在格室内种植植物,能使工程措施与生态修复有机结合,不仅提升边坡的力学稳定性,还能改善坡面生态环境,减少坡面水土流失,适应不同地质条件和水流工况的河道护坡需求。

2.3 生态混凝土护坡技术

生态混凝土护坡技术以特殊配比的混凝土材料为基础,通过调整骨料级配、孔隙结构和胶凝材料组成,使其兼具防护功能与生态属性。多孔混凝土是生态混凝土的主要类型,其内部存在大量连通孔隙,孔隙率通常在15%-35%之间,这种独特的孔隙结构赋予其透水、透气性能,能够有效缓解坡面径流,减少洪峰流量,促进雨水下渗,补充地下水。孔隙空间为植物根系生长和微生物活动提供了场所,为植被扎根创造条件。在实际工程中,生态混凝土护坡常采用预制块体或现场浇筑的方式构建。预制生态混凝土块可根据设计要求制成不同形状和尺寸,如连锁式、鱼巢式等,这些特殊形状的块体相互拼接,形成稳定的护坡结构,增强抗水流冲刷能力。块体孔隙中填充适宜的种植土和营养基质后,播种或扦插耐水湿植物,植物生长后覆盖坡面,既能美化环境,又能通过根系固土,进一步提高护坡稳定性。生态混凝土中的胶凝材料经过特殊改良,降低了水泥水化产物的碱性,减少对植物生长的不利影响,使混凝土与植物生长环境相协调,实现工程防护与生态修复的一体化^[2]。

2.4 石笼网护坡技术

石笼网护坡技术采用金属网或高分子合成材料编织成网笼,内填石料,构建柔性护坡结构。常见的石笼网材料有镀锌钢丝网、高尔凡钢丝网和聚酯长丝机织布网等。钢丝网具有较高的强度和抗腐蚀性,能承受较大的水流冲击力;聚酯长丝机织布网则具备良好的柔韧性和耐化学腐蚀性。网笼内填充的石料,如块石、卵石等,通过相互嵌挤形成整体,具有较强的抗冲刷能力。在河

道护坡工程中,石笼网可根据边坡地形和水流条件灵活布置。对于坡度较缓的边坡,可采用平铺式石笼网,将网笼顺坡铺设并填充石料,形成连续的防护层,有效分散水流冲击力;在陡坡或冲刷严重区域,可采用叠砌式石笼网,通过多层网笼堆叠,增强护坡的稳定性。石笼网结构的柔性使其能够适应地基的不均匀沉降,避免因地基变形导致护坡结构破坏。网笼间的孔隙为水生生物提供了栖息、繁衍的场所,石料表面可生长苔藓等低等植物,逐渐形成生物膜,改善河道生态环境,且石笼网护坡施工简便,后期维护成本低,在河道生态护坡工程中得到广泛应用。

3 河道生态护坡关键技术的发展趋势

3.1 多元化技术融合

(1) 河道生态护坡技术融合趋势体现在水文、岩土工程与生态修复技术的交叉运用。通过流体力学模型模拟河道水流特性,结合岩土力学分析边坡稳定性,构建兼顾防洪安全与生态功能的护坡体系。在河道弯道处,将土工格栅加筋技术与植被混凝土护坡相结合,既增强边坡抗冲刷能力,又为植物生长提供基质,实现工程结构与生态系统的协同。(2) 材料科学与生物技术的融合拓展了生态护坡技术边界。纳米材料的应用提升了护坡材料的耐久性与渗透性,同时微生物固化技术通过微生物诱导碳酸钙沉淀,增强土体强度,减少传统混凝土的使用。如在沙质河岸,采用纳米改性土与微生物注浆技术,形成具有自愈合能力的生态防护层,有效抵御水流侵蚀。(3) 景观设计与生态护坡技术的深度融合,塑造兼具功能性与美学价值的河道空间。通过地形塑造与植物配置,营造多样化的生境,为水生生物与岸栖生物提供栖息场所。利用景观生态学原理,设计蜿蜒的河道岸线与浅滩深潭交替的地貌,不仅提升水体自净能力,还为城市增添独特的滨水景观。

3.2 智能化监测与管理

(1) 传感器技术在河道生态护坡监测中的应用,实现对边坡状态的实时感知。光纤光栅传感器可精准监测边坡土体应变与位移变化,土壤湿度传感器与水质传感器实时采集环境数据,为护坡稳定性评估提供依据。分布式光纤传感系统能够沿护坡全长连续监测,及时发现潜在的滑坡隐患,避免灾害发生。(2) 物联网与大数据技术构建起智能化管理平台,整合多源监测数据,实现对河道生态护坡的动态分析与智能决策。通过机器学习算法对历史数据进行训练,预测边坡稳定性变化趋势,提前采取加固措施。基于物联网的智能灌溉系统,根据土壤湿度数据自动调节灌溉量,保障护坡植被生长。

(3) 无人机与卫星遥感技术为河道生态护坡监测提供宏观视角。无人机搭载高分辨率相机与多光谱传感器,定期巡查护坡状况,快速识别植被退化、土体流失等问题。卫星遥感数据则用于分析流域尺度的生态变化,为区域生态护坡规划与管理提供宏观指导,实现对河道生态护坡的全方位、立体化监测^[3]。

3.3 绿色环保材料的应用

(1) 生物可降解材料在河道生态护坡中的应用,减少对环境的长期影响。聚乳酸(PLA)等可降解高分子材料制成的土工格栅,在边坡稳定期发挥加固作用,随着时间推移逐渐分解,避免传统塑料材料造成的白色污染。天然纤维如椰纤维、麻纤维编织的生态袋,不仅具有良好的透水透气性,还能为植物根系生长提供支撑,最终融入生态系统。(2) 工业固废再生材料的开发利用,既解决废弃物处理问题,又为生态护坡提供环保材料。利用粉煤灰、矿渣等工业废料制备生态混凝土,通过优化配合比,使其具备良好的强度与透水性,用于护坡结构中。这些再生材料的应用,降低了对天然石材与水泥的依赖,减少资源消耗与碳排放。(3) 新型环保胶凝材料的研发,推动生态护坡材料的绿色化发展。以微生物胶结剂替代部分水泥,利用微生物代谢产物粘结土体颗粒,形成具有生态友好性的护坡材料。这种材料在固化过程中无需高温烧制,能耗低且对环境友好,同时其多孔结构有利于水分渗透与植物根系生长,促进生态护坡的可持续发展。

3.4 生态系统的自修复与可持续发展

(1) 基于生态系统服务功能的护坡设计,注重构建自我调节机制。通过模拟自然河道的生态过程,营造多样化的生态位,促进生物多样性发展。在缓坡区域种植挺水植物、沉水植物与湿生植物,形成复合生态群落,利用植物根系固土护坡,同时发挥植物的净化功能,提

升水体自净能力。(2) 生态护坡的可持续发展强调材料与技术的循环利用。采用模块化设计的护坡结构,便于后期维护与更新,减少资源浪费。可回收的生态护坡材料,如金属网箱与塑料模块,在达到使用寿命后可回收再加工,降低工程全生命周期成本。雨水收集与再利用系统与生态护坡相结合,实现水资源的循环利用,增强生态系统的韧性。(3) 生态护坡的自修复能力通过生物技术与生态工程措施协同实现。引入具有固氮、解磷功能的微生物,改善土壤肥力,促进植被生长。利用生态浮岛技术,在水面种植水生植物,吸收水体中的营养物质,缓解富营养化问题,同时为护坡区域提供生态缓冲带。通过这些措施,逐步恢复河道生态系统的结构与功能,实现生态护坡的长期稳定与可持续发展^[4]。

结语

综上所述,河道生态护坡关键技术保障边坡稳定、改善河道生态环境方面成效显著。植被护坡等技术协同应用,实现工程防护与生态修复的有机统一。面对未来,技术发展需聚焦多元化融合创新,强化智能化监测管理水平,深化绿色环保材料研发与应用,充分发挥生态系统自修复能力。通过持续探索与实践,推动河道生态护坡技术迈向更高水平,助力水生态环境的可持续发展。

参考文献

- [1] 崔凯.水利工程中的河道生态护坡施工关键技术研究[J].水上安全,2025(6):106-108.
- [2] 齐文超.水利工程中的河道生态护坡施工关键技术[J].科技创新,2024(23):126-129.
- [3] 谢伟莎.水利工程中的河道生态护坡施工关键技术研究[J].中文信息,2025(3):73-74.
- [4] 叶家兴.水利工程中的河道生态护坡施工关键技术[J].城镇建设,2025(5):197-199.