

滨水空间生态护岸绿化修复技术应用

王莹, 张镓, 谭超

(武汉临空经济区建设投资开发有限公司, 湖北 武汉 432200)

摘要: 滨水空间生态护岸绿化修复技术是为解决传统硬质护岸生态功能不足而开发的工程化生态修复方法。通过剖析硬质护岸构造对水生生态系统的阻隔原理, 阐明滨水区域土壤基质退化机制, 探究水位变化带植被群落构建过程中面临的技术难题, 提出护岸稳定性与生态功能协同提升的需求。同时, 深入阐释了生态格网结构护岸体的构建施工方法、多层次植被配置体系的种植技术、生态基质改良与根系固土工艺, 以及坡面水文调控和排水系统的设计思路。结合河道修复工程实践, 说明该项技术在工程现场的应用流程和实施关键环节。实践表明, 该技术能够有效地恢复滨水空间的生态功能, 增强护岸结构的稳定性, 为城市河道的生态修复工作提供了切实可行的技术方向。

关键词: 生态护岸; 滨水空间; 植被修复; 生态修复技术; 护岸稳定性

中图分类号: TU998.4; TV85

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0334-06

Application of Ecological Protection and Greening Restoration Technology for Waterfront Space

WANG Ying, ZHANG Kai, TAN Chao

(Wuhan Airport Economic Zone Construction Investment and Development Group Co., Ltd., Wuhan 432200, China)

Abstract: The ecological revetment greening restoration technology for waterfront spaces is an engineering ecological restoration method developed to address the insufficient ecological functions of traditional hard revetments. By analyzing the blocking mechanism of hard revetment structures on aquatic ecosystems, clarifying the degradation mechanism of soil matrices in waterfront areas, and exploring the technical difficulties encountered in the construction of vegetation communities in the water level fluctuation zone, the demand for the coordinated improvement of revetment slope stability and ecological functions is proposed. At the same time, the construction methods of ecological grid-structured revetments, the planting techniques of multi-level vegetation configuration systems, the ecological matrix improvement and root soil consolidation technologies, as well as the design concepts of slope hydrological regulation and drainage systems are elaborated in depth. Combined with the practice of specific river restoration projects, the application process and key implementation links of this technology at the project site are explained. Practice shows that this technology can effectively restore the ecological functions of waterfront spaces, enhance the stability of revetment structures, and provide a practical technical direction for the ecological restoration of urban rivers.

Keywords: ecological shoreline protection; waterfront space; vegetation restoration; ecological restoration technology; revetment stability

0 引言

在城市河道治理观念由单纯注重防洪排涝向致力于生态功能恢复转变的背景下, 滨水空间生态护岸技术已成为河道综合整治工程的关键构成要素。传统的硬质护岸构造虽然能够切实保障岸坡的稳定性, 但因其具有封闭性特点, 这一特性阻断了水域生态系统和陆地生态系统之间的物质与能量交换, 进

而造成滨水区域生物的栖息场所消失、水质的自我净化能力降低。近些年来, 生态护岸技术借助结构方面的创新以及植被的重新构建, 在确保工程安全性的基础上, 达到修复护岸生态功能的效果。不过, 这项技术在实际运用过程中依然面临着一些技术难题, 比如水位变动区域植被的存活几率较低、坡面土壤流失情况较为严重、生态系统重建所需周期较长等。因此, 对生态护岸绿化修复的技术原理和工程施工方法展开系统性研究, 对于指导滨水空间的生态修复实际工作具有重要的意义。本文从工程技术的层面出发, 深入剖析生态护岸修复过程中所面临的关键问题, 详细阐释相应的技术施工方法要点, 并结合工程实际案例探讨具体应用举措, 以期类似

收稿日期: 2026-04-03

作者简介: 王莹(1981—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事建筑业、房地产开发工作。

通信作者: 张镓(1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事建筑业、房地产开发工作。电子信箱: 413132492@qq.com

的工程项目提供技术参考。

1 硬质护岸生态功能障碍及国内外研究现状

1.1 硬质护岸生态功能障碍成因

传统的由混凝土制成的挡墙、用浆砌石做成的护坡等刚性结构,把水域和陆地的生态系统完全地分隔开来,将水生生物向陆域进行迁移的路径阻断。混凝土表面光滑,并且缺少缝隙,这就使两栖类动物、水生昆虫失去了可以栖息和繁殖的空间,同时还阻断地下水和地表水进行自然交换,导致滨水带边缘所具有的效应消失,生物群落的结构变得简化^[1]。除此之外,城市滨水区域的土壤长时间受到工程的碾压,土壤的容重增大,孔隙率降低,细颗粒在雨水的冲刷之下不断地流失,有机质匮乏以及微生物活性不足又对团粒结构的形成起到制约作用,植被的根系很难发育,固土的能力比较薄弱。硬质护岸底部的反滤层和上层土壤在物理特性方面存在较大差异,这进一步加剧了土壤出现干旱或者积水问题^[2]。

1.2 国内外研究现状

针对上面所提到的这些问题,国外已经形成了相对比较成熟的生态护岸技术体系。在欧洲,普遍采用把格网石笼和本地植被结合起来的方式,通过格网的孔隙为水生生物提供可以栖息的空间,利用植物的根系增强岸坡的稳定性;美国陆军工程兵团提出“环境工程”理念,强调在护岸结构当中预留生态位,并且制定了相应的植被配置技术规范;日本在航道整治过程中广泛应用生态混凝土预制块,其孔隙结构能够促进植物的定植以及水体的交换^[3]。国内在研究方面,梁霄等人针对浙江海塘防护体系开展了生态化改造方面的研究;陈效贺探讨了生态护岸技术在航道整治当中的应用路径;舒实等人通过模型试验分析了考虑筋土相对位移的生态护岸结构的力学特性。现有研究表明,生态护岸技术已经从单一结构的防护朝着“结构-生态”协同的方向发展,但是在设计参数的标准化、施工工法的规范化以及长期效果的定量评价方面仍需要进一步深化^[4]。

2 生态护岸绿化修复的技术工法体系

2.1 生态格网结构护岸体的构建方法

生态格网构造选用热镀锌钢丝编织形成双绞合六边形网孔,网孔规格一般为 80 mm×100 mm,钢丝直径 2.7 mm,边缘部位的钢丝直径为 3.4 mm,其抗拉强度不低于 400 MPa。格网构造内部填充块石,块石

粒径控制在 100 ~200 mm 范围之内,填充孔隙率维持在 30% 左右,以为植被生长留出空间。格网箱体尺寸依据岸坡坡度来确定,当坡度为 1.0:2.0 时,箱体高度采用 0.5 m^[5];当坡度为 1.0:1.5 时,箱体高度调整为 0.3 m,以保障结构稳定性。箱体之间通过绑扎方式进行连接,绑扎所用的钢丝直径为 2.2 mm,每隔 200 mm 绑扎一道。格网构造底部铺设土工布,单位面积质量为 300 g/m²,渗透系数为 1×10⁻³ cm/s,发挥反滤与隔离功能。格网箱体内部每隔 1.0 m 设置横向隔板,将箱体划分成独立单元,防止块石出现移位情况^[6]。

生态格网结构的稳定性可通过以下公式验算:

$$F_s = \frac{W \cdot \cos\theta \cdot \tan\phi + P_p}{W \cdot \sin\theta + P_w}$$
 (1)

式中: F_s 为抗滑稳定安全系数,取值应大于 1.25; W 为格网箱体单位宽度重力,kN/m; θ 为岸坡坡角, $^{\circ}$; ϕ 为块石内摩擦角,通常取 35 $^{\circ}$ ~45 $^{\circ}$ ^[7]; P_p 为被动土压力,kN/m; P_w 为水压力,kN/m。通过该公式可确定格网结构在不同水深与坡角条件下的稳定性,为工程设计提供依据。

通过对表 1 相关数据的分析可知,当岸坡坡度呈现出放缓趋势时,格网箱体的高度能够进行适当提升,填充孔隙率也会随之提高,这为植被的生长拓展了更充裕的空间。各项安全系数均处于大于 1.25 的水平,能够满足工程在稳定性方面的要求。而当坡度较为陡峭时,需要对钢丝直径进行增加处理,以此来增强结构的强度,同时对孔隙率进行适当降低,从而保证块石之间能够紧密咬合^[8]。

表 1 地勘土体参数表

岸坡 坡度	箱体高度/ m	箱体长度/ m	钢丝直径/ mm	填充孔隙率/ %	安全 系数
1:1.5	0.3	2.0	2.7	28	1.35
1:2.0	0.5	2.0	2.7	32	1.42
1:2.5	0.5	2.0	2.2	35	1.38
1:3.0	0.6	2.0	2.2	38	1.45

2.2 多层次植被配置体系的种植技术

生态护岸的植被布置需依照水位高低进行分区域规划,构建起挺水植物区域、湿生植物区域和旱生植物区域的立体式配置模式。挺水植物区域处于常年平均水位以下 0.3 m 到常年平均水位之间的范围,宜挑选芦苇、香蒲等具备良好通气结构的植物种类,种植密度设定为 16 株/m²,采用穴植的方法进行栽种,种植穴的直径为 200 mm,深度为 300 mm,回填时使用种植土与河沙混合的基质,二者比例为 3:1^[9]。

湿生植物区域分布在常年平均水位至洪水水位之间的地带,可选择千屈菜、黄菖蒲等能够耐受水湿环境的植物,种植密度为12株/m²,种植穴直径150 mm,深度250 mm。旱生植物区域位于洪水水位以上的位置,应选择狗牙根、紫穗槐等具有耐旱固土特性的植物,采用撒播与穴植相结合的种植方式,种植密度为9株/m²,撒播的种子用量为30 g/m²。

植被根系固土效果可通过根系抗拉强度与分布深度计算:

$$T_r = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \sigma_i \cdot L_i \quad (2)$$

式中: T_r 为单位面积根系抗拉拔力,kN/m²; A_i 为第*i*层根系截面积率,%; σ_i 为第*i*层根系平均抗拉强度,MPa; L_i 为第*i*层根系长度,m; n 为土层分层数。实测表明,芦苇根系在0~300 mm土层的截面积率为0.8%,抗拉强度为25 MPa,计算可得单位面积根系抗拉拔力约为6.0 kN/m²,能够有效增强土体抗剪强度^[10]。

2.3 生态基质改良与根系固土工艺

护岸坡面土壤改良所采用的有机无机复合改良剂,是由腐熟秸秆、生物炭与保水剂按5:3:2的质量比例混合制成。该改良剂的施用量为5 kg/m²,施用方式为均匀撒施后,通过旋耕手段将其混入0~200 mm的表层土壤之中。腐熟秸秆的粒径需控制在10~20 mm范围,且其有机碳含量不低于40%,能够为土壤中的微生物提供碳元素来源。生物炭的比表面积为200 m²/g, pH值为8.5,具备吸附固定土壤养分的作用,其自身的多孔结构有助于改善土壤的保水性能^[11]。保水剂选用聚丙烯酰胺类产品,具有300倍的吸水倍率,可在一定程度上缓解干旱对土壤造成的胁迫影响^[12]。

土壤抗剪强度改善效果可用莫尔-库仑公式表示:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \cdot \tan \phi' \quad (3)$$

式中: τ_f 为土体抗剪强度,kPa; c' 为有效黏聚力,kPa; σ 为总应力,kPa; u 为孔隙水压力,kPa; ϕ' 为有效内摩擦角,°。经改良后,土壤有效黏聚力从15 kPa提升至28 kPa,内摩擦角从25°增至32°,显著提高了坡面稳定性^[13]。

3 生态护岸技术在河道修复工程中的实践应用

某城市东部城区实施的內河滨水空间生态修复工程,涉及全长1.2 km河道,其中开展整治的河段长

度达800 m,河段平均河宽25 m。该河段以往采用混凝土重力式挡墙作为硬质护岸,挡墙高度为3.5 m,岸坡坡度为1.0:0.3。经过多年的使用,部分区域出现了墙体产生裂缝以及基础受到冲刷的情况,生态方面的作用基本不复存在。此次工程针对其中600 m的岸段实施生态化改造,设计的岸坡坡度为1.0:2.5,生态护岸结构的高度为3.0 m,这当中水位变动带的高度是1.2 m,设计常水位的高程为2.5 m,洪水位高程为3.8 m。工程区域的土壤主要为粉质黏土,土壤天然含水率为22%,孔隙比为0.75,有机质含量为1.2%。在植被布置上以本地物种为主要选择,挺水植物带挑选了芦苇和香蒲,湿生植物带选用黄菖蒲和千屈菜,旱生植物带则采用紫穗槐和狗牙根。该工程于2023年3月启动建设,2023年6月完成结构部分的施工,2023年9月完成植被种植工作,随后进入养护阶段。

3.1 生态格网护岸结构的现场安装流程

施工现场第一步开展岸坡修整作业,运用挖掘机协同人工方式对坡面进行修整,把原有坡度1.0:0.3调整为设计坡度1.0:2.5,坡面平整程度控制在±50 mm范围之内^[14]。修整工作完成后实施坡面压实操作,采用小型振动碾进行3遍碾压,使压实度达到85%^[15]。在坡底开展基槽开挖工作,基槽宽度为1.0 m,深度为0.8 m,铺设300 g/m²的土工布作为反滤层,土工布搭接宽度为300 mm,接缝部位使用缝包机进行缝合。

格网箱体于工厂加工形成半成品,运输至现场后开展组装作业。首先进行底板铺设,将格网片舒展平整,运用绑扎丝实现侧板与隔板的连接。待箱体组装完毕,将其吊装至基槽内,相邻箱体需采取错缝布置方式,且错缝距离不得小于箱体长度的三分之一。箱体内部进行块石填充,块石强度等级为MU30,粒径范围在100~200 mm之间,填充过程分层实施,每层厚度为300 mm,通过人工码砌方式,确保块石咬合紧密、孔隙分布均匀。填充工作完成后,对顶盖进行封闭处理,利用绑扎丝将盖网与侧网相互连接。

箱体实施分层砌筑作业,每层高度设定为0.5 m,每层施工完毕后均开展高程和位置的复核工作,将偏差控制在±20 mm范围之内。上层箱体与下层箱体采取错开布置方式,构建错缝结构,以此提升整体结构性能。当墙体砌筑达到设计高程后,在墙后进行种植土回填,采用分层夯实工艺,每层厚度为

300 mm,控制压实度为80%,防止因过度压实对植被根系生长造成不利影响。坡面整平处理后,铺设50 mm厚度营养土,为植被建植做好前期准备。该结构整体施工周期为45 d,平均每日施工长度达13 m。

3.2 水位变动带植被的分层种植实施

在开展植被建植工作之前,需对坡面土壤实施改良举措。具体操作是:按照5 kg/m²的标准施用有机无机复合改良剂,并将其深翻至0~200 mm的土层中进行混合。改良剂施用完毕后,需让土壤静置7 d,待土壤结构达到稳定状态后,方可启动种植流程。

挺水植物带所处区域为高程2.2~2.5 m的范围,该区域采用芦苇与香蒲混合种植的方式,两者的种植比例为2:1。在进行种植前,需在高程2.2 m的位置铺设一道生态格网箱,以此作为种植平台。此箱体的高度为0.3 m,在填充块石之后,于其表面覆盖200 mm厚的种植土。芦苇采用分株繁殖的方式,每穴种植3~4株,穴距和行距均为500 mm,种植深度为200 mm,需将根部埋入土壤之中,地上部分保留100 mm。种植工作完成后,需将水深保持在50~100 mm之间,随后随着植物的生长,逐步降低水位,以起到诱导根系下扎的作用。

湿生植物分布在海拔为2.5~3.5 m的区域,采用黄菖蒲与千屈菜呈条带状混合种植模式,条带宽度设定为1.0 m,每种植物按纵向排列种植3行。种植黄菖蒲时,开挖直径为150 mm、深度为250 mm的种植穴,每穴植入1株,植株间距保持400 mm。千屈菜种植采取穴植与扦插相结合的方式,穴植时株距为500 mm,扦插时入土深度为100 mm。该区域土壤含水率需控制在20%~30%范围内,种植完成后覆盖稻草进行保湿,覆盖厚度为50 mm。

旱生植物分布区域为海拔3.5 m以上至坡顶位置,采用紫穗槐与狗牙根混合播种方式。紫穗槐种植时株距为800 mm,开挖穴深为300 mm的种植穴,每穴施加底肥100 g。狗牙根种植采用喷播工艺,将种子与木纤维、黏合剂混合后通过高压设备进行喷播,喷播厚度为20 mm,种子使用量为25 g/m²。喷播完成后覆盖无纺布,无纺布单位面积质量为15 g/m²,以起到保水并促进种子发芽的作用。植被种植工作分阶段组织实施,2023年6月下旬启动挺水植物种植作业,7月上旬完成湿生植物种植任务,7月中旬完成旱生植物种植内容。整个植被建植过程历时25 d,日均种植面积约为240 m²。

3.3 护岸坡面生态基质的改良施工

针对工程区域土壤存在有机质含量不足、结构性欠佳状况,开展全面的基质改善工作。首先在坡面整个断面施加生物炭,施用量为2 kg/m²,生物炭颗粒直径在1~5 mm之间,pH值为8.0,比表面积为180 m²/g。生物炭通过人工撒布的方式施用,之后利用旋耕机将其翻耕混入0~150 mm的表层土壤中,旋耕深度为150 mm,往返操作两遍以保证混合均匀。

在坡度较为陡峭的部分区域,坡度约为1.0:2.0,采用植生袋辅助进行固土。植生袋的规格为400 mm×600 mm,袋体使用可降解无纺布材质,降解周期为2年。袋内填充材料的配比为种植土占70%、腐熟有机肥占20%、草籽占10%。草籽选择高羊茅与白三叶混合播种,比例为3:1。填充材料的含水率控制在15%~18%,装袋后的质量约为15 kg。

植生袋依照坡面等高线进行布置,遵循自下而上的顺序逐层进行码砌操作。底层植生袋需埋入坡面土层内100 mm,袋体的长边需与坡面方向保持垂直,袋体之间的间距设定为200 mm。上层植生袋与下层植生袋需错开半个袋长,以此形成互锁结构。每层植生袋均采用U形钉进行固定,U形钉选用直径为6 mm的钢筋制作而成,其长度为300 mm,固定间距为500 mm。植生袋表面采用M5砂浆实施勾缝处理,缝宽为20 mm,该处理方式既能够对袋体起到固定作用,又可营造微环境以实现水分保持。

植生袋码砌工作完成之后,需在其表面进行基质层喷播作业。喷播材料的配比为:种植土占比70%、木纤维占比20%、复合肥占比5%、保水剂占比3%、黏合剂占比2%。木纤维的长度处于15~25 mm,主要起到覆盖与保湿的作用。喷播厚度设定为30 mm,分两次完成喷播,首次喷播厚度为20 mm,待其初步固结之后,再喷播剩余的10 mm。喷播作业完成后,需在表面覆盖草帘,并定期进行洒水养护。

3.4 植被养护期水分管理技术措施

植被完成建植工作后随即进入养护周期,该养护周期时长为1年,养护工作的核心内容包括水分调控以及补植修复作业。养护周期划分为初期、中期和后期3个阶段,各阶段实施有差异的水分管理措施。

初期是指建植完成后1—3个月的时段,此阶段的关键在于保障植被的存活情况。挺水植物生长区域需将水深保持在100~150 mm范围,水位波动幅度控制在±50 mm以内,防止因水位急剧下降造成植物

根系裸露。湿生植物生长区域的土壤含水率要维持在田间持水率的60%~70%,在干旱季节每3 d进行1次灌溉,每次灌溉量为 10 L/m^2 ,采用微喷灌的灌溉方式,喷头之间的间距为3 m,工作压力为0.2 MPa。旱生植物生长区域主要依靠自然降水,仅在严重干旱时进行补充灌溉,灌溉量为 8 L/m^2 。该阶段每月开展1次成活率调查工作,若发现存在缺苗现象需及时进行补植,补植时使用同龄苗木,种植完成后需加强管理与养护。中期指建植后第4个月至第9个月,核心任务是推动植被生长与根系发育进程。针对挺水植物带,需依据植物生长实际状况,分阶段将水位逐步降低至50 mm,以此引导根系向土壤深层延伸拓展。湿生植物带需调整灌溉策略,将灌溉频率减少至每7 d 1次,但单次灌溉量提升至 15 L/m^2 ,促使根系向土壤深处探寻水源。对于生长过于密集的区域,需开展间苗作业,其中芦苇与香蒲的种植密度应控制在 $12\sim 16\text{ 株/m}^2$ 范围内,黄菖蒲与千屈菜的密度控制在 $8\sim 10\text{ 株/m}^2$ 范围内。间苗工作选择在春季实施,操作时需剔除弱苗、病苗,留存健壮植株。同时,要做好杂草清理工作,尤其是针对入侵物种,每月进行1次人工拔除,杜绝使用化学除草剂。此阶段需进行1次追肥操作,选用氮:五氧化二磷:氧化钾比例为15:15:15的复合肥,施肥量为 30 g/m^2 ,施肥时机选择在雨后,撒施后进行浅耕,使肥料入土。

后期阶段指建植完成后第10个月至第12个月,核心目标为培育植被的自然适应能力。人工灌溉频次将逐步降低,仅在出现严重干旱情况时实施应急性补水操作。挺水植物分布区域的水位调节依赖河道自然水位变化,不再通过人工方式控制水位。湿生植物区域的灌溉间隔时间延长至15 d,以此引导植被适应自然的水文变化规律。开展植被群落结构的优化调整工作,针对生长状态不佳的区域补植耐阴植物品种,例如麦冬等,以提升群落结构的丰富度。实施植被覆盖度监测措施,具体要求为:挺水植物区域覆盖度不低于85%,湿生植物区域不低于80%,旱生植物区域不低于90%。若出现覆盖度未达标的区域,需分析具体成因,若为土壤问题则进行局部改良,若为光照问题则对上层植被密度进行调整。

4 工程应用效果评价

4.1 应用前后效果对比

在工程开始实施之前,该河段有那种硬质的挡墙,这就使得水和陆的生态完全被隔离开来,滨水的

地带生物的栖息地方消失了,水体自己净化的能力很低,岸坡上面没有植被来覆盖,在夏季的时候,表面的温度比周边要高 $8\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,并且墙体存在裂缝以及基础被冲刷的情况,生态方面的功能基本丧失。在工程完成1年之后,进行监测所显示出来的情况是:生态格网的孔隙当中已经出现了鱼类、两栖类还有水生昆虫在那里栖息,滨水带的植物群落的结构逐渐变得丰富起来,挺水植物的区域覆盖的程度达到了87%,湿生植物的区域达到83%,旱生植物的区域达到92%;坡面的土壤里面有机质的含量从1.2%提升到2.8%,容重从 1.45 g/cm^3 下降到 1.28 g/cm^3 ,孔隙率增加12%;水体里面氨氮的浓度下降35%,总磷的浓度下降28%,透明度提高40 cm。格网的结构经过了汛期洪水的考验,岸坡没有出现滑移变形的情况,抗滑安全的系数经过实测是1.38,满足规范所规定的大于1.25的要求。坡面径流的系数从改造之前的0.85下降到0.45,水文调节能力明显增强。

4.2 经济性分析

本项工程的生态护岸方面的直接投资大概是280万元,折算下来每延米是4 670元。和传统的那种硬质护岸拆除之后再重建的方案相比较而言,虽然在初期的时候投资增加了大约15%,但是综合起来去考虑生态方面的效益以及后期养护方面的成本,在全寿命周期这个阶段的经济性是更加优良的。传统的硬质护岸需要定期去做裂缝的修补工作、勾缝的工作以及基础的加固工作,平均每年的养护费用大概是12万元;生态护岸在植被建植完成了之后,后期的养护主要是以自然恢复这种方式为主,平均每年的养护费用降低到了4万元,并且不需要进行大规模的结构维修工作。按照20年的设计周期来进行计算,生态护岸方案的总成本和传统方案相比较降低了大约18%。除此之外,生态护岸所带来的水质净化的效果、生物多样性提升的情况以及景观改善的状况等外部效益非常显著,符合绿色低碳建设的理念。

5 结 语

滨水空间生态护岸绿化修复技术借助结构工程和生态工程的有效融合,妥善处理了传统硬质护岸缺少生态功能的难题。本文全面剖析了硬质护岸出现生态功能障碍的成因机制,涵盖生态阻隔影响、土壤基质退化、水位变动区域植被种植艰难以及稳定性和生态功能的协调需求。在这一基础上,细致阐

释了生态格网结构搭建、多层次植被布置、基质改良与根系固土、坡面水文调节等关键技术方法。工程应用实例显示,该技术能够适应不同的岸坡状况,通过合理的施工工艺和养护管理,能够在确保工程稳定的基础上,实现滨水生态系统的快速重建。生态护岸技术的推广应用需重视本地化适配,依据具体的水文地质条件优化设计参数,挑选合适的植被种类,制定科学的养护方案。随着技术的持续完善和经验的不断积累,生态护岸技术会在城市河道生态修复中起到更为关键的作用,为构建人水和谐的水环境提供强有力的技术支持。

参考文献:

[1] 梁霄. 基于生态修复的浙江海塘防护体系改造研究[J]. 水利技术监督, 2026(6): 144-147.
 [2] 陈效贺. 生态护岸技术在航道整治中的应用[J]. 建材发展导向, 2026, 24(5): 112-114.
 [3] 舒实, 游智翔, 彭承鉴, 等. 考虑筋土相对位移的生态护岸结构模型试验[J/OL]. 河海大学学报(自然科学版), 2026: 1-13 (2026-02-27)[2026-03-26]. <https://link.cnki.net/urlid/32.1117.TV.20260227.1532.006>.
 [4] 杨波, 胡耀, 李雷, 等. 水生态修复技术在河流生态治理中的应用

[J]. 河南科技, 2026, 53(4): 124-129.
 [5] 秦炜恒. 生态护岸在山丹县石沟河综合治理中的应用[J]. 乡村科技, 2026, 17(4): 143-146.
 [6] 林红. 高尔凡石笼网在生态护岸工程中的施工质量控制研究[J]. 四川水利, 2026, 47(1): 62-65; 123.
 [7] 于欢, 姜小妹, 张玉东. 北方沙质平原型河流生态修复与岸带调控——柳河彰武段综合治理案例及效果评估[J]. 吉林水利, 2026(2): 57-61; 67.
 [8] 耿运生, 姬宏奎, 马思齐, 等. 水美乡村建设中框架式混凝土预制板桩河道生态护岸研究[J]. 水利技术监督, 2026(5): 278-282; 313.
 [9] 李荣生. 生态护岸技术在水利工程建设中的应用研究[J]. 水上安全, 2025(24): 7-9.
 [10] 常倩, 马静. 浅谈生态护岸在运输河道水毁修复工程中的应用——以汤河右岸生态护岸修复工程为例[J]. 中国储运, 2025(12): 234-235.
 [11] 许凤荣, 魏辰, 柴雨凡. 波浪型生态护岸在河道治理中的设计和应用[J]. 海河水利, 2025(10): 103-106.
 [12] 孙明权, 武谦, 孙童, 等. 水美乡村建设中河道生态护岸技术应用与效果评价[J]. 江苏水利, 2025(10): 34-38.
 [13] 王宽, 郑念念, 赵新宇. 生态护岸在台州航道养护工程中的应用[J]. 珠江水运, 2025(11): 103-105.
 [14] 徐一尧. 疏浚底泥的原位生态护岸技术在河道治理中的应用研究[J]. 城市道桥与防洪, 2025(5): 192-196.
 [15] 谢长进. 内河航道绿色低碳建设技术应用与研究——以京杭运河江苏段为例[J]. 工程技术研究, 2025, 10(7): 216-218.

(上接第 304 页)

[16] 李伟进, 唐孝国, 平文凯. 新型 Actiflo ~ (R) 加砂高速沉淀池及其工程应用[J]. 中国给水排水, 2010, 26(6): 55-57.
 [17] 谭云飞. 加砂高密度沉淀池在郑州新区污水厂的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2018(8): 166-168.
 [18] 由小卉, 平文凯, 陈晓华. Actiflo ~ (R) 高效沉淀工艺在 CSO 处理

中的应用[J]. 中国给水排水, 2010, 26(20): 49-52.
 [19] 陈汉龙. 一种新型微砂沉淀处理工艺在河道水处理中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2020(5): 158-160.
 [20] 杨巍, 郑佳勇, 李亮, 等. 三级生物滤池工艺用于污水处理厂提标改造[J]. 中国给水排水, 2022, 38(24): 87-91.