

# 城市河道硬质驳岸生态化改造技术研究

李锐

云南省水利水电勘测设计有限公司

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6906

**[摘要]** 城市化进程中硬质驳岸的生态负效应日益凸显,生态化改造成为城市水生态修复的关键路径。本文系统梳理了硬质驳岸生态化改造技术体系,从结构型(生态混凝土、格宾网箱、生态砌块)、植被型(乡土植物配置、植被固坡)、近自然型(阶梯式驳岸、缓坡入水)三个维度,分析各类技术的原理、适用条件与工程特性;总结了生物多样性、水环境改善及工程稳定性的评估方法;结合苏州河、茅洲河及雄安新区等典型案例探讨实践效果。研究表明,生态化改造需统筹防洪安全与生态功能,强调因地制宜的技术选型与全生命周期管理,为城市河道治理提供技术支撑

**[关键词]** 硬质驳岸;生态化改造;近自然修复;生态系统服务

**中图分类号:** Q148 **文献标识码:** A

## A Study on Techniques for the Ecological Restoration of Hardened Riverbanks in Urban Areas

Rui Li

Yunnan Institute of Water & Hydropower Engineering Investigation, Design Co., Ltd.

**[Abstract]** As urbanisation progresses, the negative ecological impacts of hard revetments are becoming increasingly apparent, and ecological rehabilitation has emerged as a key approach to restoring urban aquatic ecosystems. This paper systematically reviews the technical framework for the ecological rehabilitation of hard revetments, analysing the principles, applicable conditions and engineering characteristics of various technologies across three dimensions: structural (ecological concrete, gabion baskets, ecological blocks), vegetative (native plant species, vegetated slope stabilisation) and near-natural (stepped revetments, gently sloping water entry). It summarises assessment methods for biodiversity, water environment improvement and engineering stability; and discusses practical outcomes by examining typical case studies such as the Suzhou River, Maozhou River and Xiong'an New Area. The research indicates that ecological retrofitting must balance flood control safety with ecological functions, emphasising site-specific technology selection and life-cycle management, thereby providing technical support for urban river management.

**[Key words]** Hardened riverbanks; Ecological retrofitting; Near-natural restoration; Ecosystem services

### 1 引言

1.1 研究背景。我国城市化率已突破65%,但快速城市化阶段形成的“三面光”硬质河道(浆砌块石或混凝土岸坡)正成为生态隐患。东部沿海城市河道硬化率普遍超70%,老城区甚至达90%以上。硬质驳岸虽提升了防洪能力与岸坡稳定性,却切断了水陆交错带的横向连通性,导致生境破碎化;光滑不透水的岸壁削弱了水体自净与复氧功能,底栖动物栖息地、鱼类产卵场及滨水植被带随之消失,生物多样性显著下降。同时,硬质岸面的热辐射效应加剧城市热岛,不透水界面阻断地表径流自然渗透,与海绵城市理念相悖<sup>[1][2]</sup>。

1.2 研究意义。党的十八大以来,“绿水青山就是金山银山”理念推动城市水系治理转型。《关于推进海绵城市建设的指导意

见》等政策明确要求河道从单一工程功能向生态、景观、文化复合功能转变,硬质驳岸的生态化改造成为连接灰色与绿色基础设施的关键。该技术涉及水力学、生态学、材料科学等多学科交叉,系统梳理其技术体系与应用效果,对推动行业进步具有重要价值<sup>[3]</sup>。

1.3 研究进展。国外生态护岸探索起步较早:德国“近自然河道治理”强调河流纵向连续性与横向连通性,日本“多自然型河川”工法兼顾防洪与生态,美国环保署将河岸带修复纳入流域管理框架。这些经验为我国提供重要借鉴,但需针对防洪压力、水文特征差异进行本土化适配。国内研究经历了从景观绿化到生态功能深化的过程,生态混凝土、格宾结构等技术逐步工程化,近年来政策驱动下技术集成度显著提升,但在标准化、长期效果评估等方面仍存在短板<sup>[1][4]</sup>。

## 2 城市河道硬质驳岸的生态问题分析

2.1 水文生态效应。硬质驳岸破坏了水陆交错带的生态完整性。自然河道岸坡的缓坡或阶梯形态支撑多样化的湿生环境,而硬质化改造后的直立岸壁消除了水位变动带的生境异质性:其一,阻断洪水期水体向滩地漫溢,切断营养物质与沉积物的岸带滞留过程;其二,光滑硬质表面减少水流紊动,降低自然复氧效率,均匀化流速不利于形成深潭-浅滩序列;其三,不透水岸体切断河道与沿岸地下水的双向补给,削弱水文调节功能,反而增加内涝风险<sup>[3][4]</sup>。

2.2 生物生态效应。硬质驳岸的生物效应体现在栖息地丧失与食物网简化。自然岸坡的石块、倒木、根系为底栖动物提供附着、穴居与觅食场所,而直立硬质岸壁缺乏隐蔽所与食物来源,导致群落单一化、敏感种消失;平缓岸坡与淹没植被的丧失也使鱼类产卵场与幼鱼庇护所减少,繁殖成功率下降。滨水植被消失削弱了陆源有机物质输入,初级生产力与碎屑食物链基础退化,食物网长度较自然河道缩短1-2个营养级,生态系统稳定性降低<sup>[2]</sup>。

2.3 水环境效应。硬质岸面削弱面源污染控制能力,自然岸坡的植被-土壤系统可截留、过滤地表径流污染物,而硬质界面直接将其导入河道。此外,混凝土与石材的高热容量使岸面温度显著高于自然基质,夏季可造成近岸水体升温2-4℃,影响水生生物代谢与溶解氧饱和度。

## 3 硬质驳岸生态化改造技术体系

3.1 结构型生态改造技术。结构型技术侧重于护岸材料的生态化改良,通过材料的多孔性、透水性与植被亲和性,在维持工程稳定的同时创造生物栖息条件<sup>[1]</sup>。

3.1.1 生态混凝土技术。生态混凝土通过控制骨料级配,形成连通孔隙率15%-30%的蜂窝状结构。植生型填充营养土与保水材料,适用于缓坡岸坡;鱼巢型预制洞穴或凹槽结构,用于常水位以下区域。其抗压强度5-15MPa,通过厚度增加(15-25cm)与基层优化满足稳定要求。技术瓶颈在于高孔隙率与力学强度的矛盾、碱性析出抑制植物生长、长期运行后的孔隙堵塞与植被退化<sup>[1][2]</sup>。

3.1.2 格宾网箱与石笼技术。格宾结构由金属网箱填充石块形成,空隙率30%-40%,允许水体自由通过,减少静水压力,石块缝隙为底栖动物提供栖息空间。按规格可分为网箱(厚度0.3-1.0m,用于坡脚)、网垫(0.15-0.3m,用于坡面)与加筋格宾(用于高陡岸坡)。填料粒径为网孔最小尺寸的1.5-2.0倍,常用100-300mm。适用坡度1:1.0至1:1.5,流速3-5m/s。局限性在于金属网丝耐久性(镀锌层10-20年,PVC覆塑30-50年)、细砂地基漏土及后期植被管理难度<sup>[2]</sup>。

3.1.3 生态砌块与预制构件技术。生态砌块将生态功能集成于标准化预制构件,工厂化生产、现场装配。鱼巢砖预制10-20cm孔洞,用于常水位以下;植草砖顶面开设种植孔,用于水位变动带以上;铰接式砌块通过缆绳连接形成柔性整体,适应地基变形。混凝土强度C25-C30,厚度10-20cm。挑战在于标准化与定制

化的平衡:标准化降低成本,但难以适应多样化岸坡条件;定制化则增加生产与施工复杂度<sup>[2]</sup>。

3.2 植被型生态改造技术。植被型技术以植物为核心,利用根系固土、茎叶消浪等功能实现生态防护,成本低、景观自然,但适用条件受坡度、流速与土壤限制。

3.2.1 乡土植物筛选与配置。植物筛选需考虑水文适应性(耐淹、耐旱)、力学特性(根系发达程度)、生态功能与景观效果。按高程区间配置:高水位以上(年均淹没<30天)以乔木为主,如水杉、垂柳;中水位带(30-180天)以灌木与湿生草本为主,如千屈菜、芦苇;低水位带(>180天)以沉水与浮叶植物为主,如苦草、睡莲。提倡乔-灌-草复合群落,根系密度较单一草本提高40%-60%,抗冲刷能力显著增强。

3.2.2 植被固坡技术。力学机理包括根系加筋、锚固及茎叶水力削减。活枝扦插将柳树枝条(30-50cm)插入岸坡,入土20-30cm,密度3-5枝/m<sup>2</sup>,适用于土质岸坡或格宾表层;Brush Layering将枝条束水平铺设于浅沟,形成水平根系网;植生毯将种子、肥料复合于可降解纤维毯,铺设于陡坡。适用坡度不超过1:1.5,流速不超过1.5m/s。高陡岸坡需与结构型技术结合,形成复合防护体系。

3.3 近自然型改造技术。近自然型技术模仿自然河道形态,通过地形重塑创造多样化生境,是生态化改造的高级形态<sup>[4]</sup>。

3.3.1 阶梯式生态驳岸。将直立岸壁改造为2-4级平台,高差0.5-1.5m,宽度0.8-2.0m。高水位平台以乔木与休憩设施为主,中水位平台以湿生植物与生物通道为主,低水位平台以卵石滩与水生植物为主。核心优势在于创造水位变动带的生境异质性,形成自然生态过渡带。对用地条件要求较高,总宽通常3-8m,适用于蓝线充裕区段;用地受限时可采用窄阶梯与垂直绿化结合<sup>[2]</sup>。

3.3.2 缓坡入水式改造。将直立岸坡改造为1:2.5至1:5缓坡,恢复滩涂湿地。生态效益显著:恢复水陆交错带完整功能,湿生植物带对氮磷去除率30%-50%。但工程约束严格:占用较大断面,可能与防洪标准冲突;洪水期稳定性需植被-土壤-防护结构协同保障;城市密集滨水建筑往往制约实施。防洪压力较大时可采用“缓坡+隐形堤”模式:后方设置埋深式堤防,平时作生态景观,洪水期允许漫溢<sup>[4]</sup>。

3.3.3 生态袋与植生毯技术。生态袋为聚丙烯或聚酯纤维袋,填充种植土后堆叠形成柔性挡墙,坡度可达1:0.5至1:1.0,适用于陡岸改造。材料需抗紫外线老化(寿命5-10年)。常与植生毯组合使用:坡脚生态袋构建基础,坡面植生毯快速绿化。长期稳定性依赖植被成熟与根系加筋,前期需加强养护。

## 4 生态化改造效果评估方法

4.1 生态效益评估。生物多样性评估是核心内容。底栖动物调查采用索伯网或彼得森采泥器采集,计算物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数、BI指数(生物指数)与科级生物指数(FBI),评估群落结构改善与水质净化效果。鱼类调查结合网捕、电捕与水下观测,记录物种数、多度、体长结构与产卵行为观察。鸟类调查采用样线法与定点观测,记录物种丰富度与栖息频次。

生境质量评估采用栖息地适宜性指数(HSI)或快速生物评估协议(RBP),从底质类型、岸坡形态、植被覆盖、水深流速等参数综合评价生境适宜度。生态系统服务价值评估可参照Costanza或谢高地等人的方法,估算改造后在气候调节、水质净化、生物多样性维持等方面的价值增量<sup>[3][1]</sup>。

4.2 水环境改善评估。水质监测指标包括常规理化指标(TN、TP、NH<sub>3</sub>-N、COD、DO、透明度)与叶绿素a。监测点位需覆盖改造段与对照段,对比分析改造效果。水体自净能力可通过示踪试验或污染物降解系数计算评估。微气候效应采用红外测温仪与自动气象站监测岸面温度、近岸气温与湿度,对比硬质岸带与生态化岸带的差异。研究表明,植被覆盖良好的生态驳岸夏季岸面温度较混凝土低10-15℃,近岸气温低2-3℃<sup>[2]</sup>。

4.3 工程稳定性与可持续性评估。结构安全监测包括岸坡位移、沉降与冲刷深度测量,可采用全站仪、测斜管与多波束测深系统。植被群落动态监测需持续3-5年以上,记录物种更替、覆盖度变化与优势种演替,评估群落的自我维持能力。全生命周期成本分析(LCCA)比较生态化改造与传统硬质护岸的初期投资、养护费用与更新改造成本。虽然生态化改造的初期投资通常高于硬质护岸(增幅20%-50%),但长期养护成本较低(减少30%-50%),且生态服务价值显著,综合效益更优<sup>[1][2]</sup>。

## 5 国内典型实践案例分析

5.1 上海苏州河滨水空间生态化改造。苏州河是上海的母亲河,历史上经历了严重的工业污染与岸线硬化。2000年后,随着黑臭治理的推进,滨水空间生态化改造逐步实施。技术路线采用“分级防护、软硬结合”:高水位以上建设生态步道与乔灌绿化带;中水位带采用阶梯式生态砌块,平台宽度1.2-1.5m,种植黄菖蒲、千屈菜等湿生植物;低水位带设置抛石护脚与沉水植物带。改造后,底栖动物物种数从3-5种恢复至15-20种,水体透明度从<0.3m提升至0.8-1.2m,生态效益显著。其经验在于:在高度城市化的有限空间内,通过精细化的分级设计实现了生态功能的最大化;但受防洪标准限制,阶梯宽度与缓坡程度仍有妥协<sup>[5]</sup>。

5.2 深圳茅洲河治理中的生态驳岸应用。茅洲河是深圳第一大河,曾因高度城市化与工业污染成为黑臭水体典型。2016年启动的全面治理中,生态驳岸技术得到系统应用。在干支流交汇处与滨水公园段,采用缓坡入水+生态湿地的模式,重建了约12hm<sup>2</sup>的湿地生态系统;在城区段,受用地限制,采用窄阶梯式生态砌块与垂直绿化结合,阶梯宽度0.6-1.0m,通过增加级数(4-5级)弥补宽度不足;在工业区段,采用格宾网箱+植生毯的组合,兼顾防护强度与生态功能。监测数据显示,治理后鱼类物种数从4种恢复至23种,鸟类记录物种从12种增至41种,生态系统的完整性显著恢复。其技术特色在于:根据流域功能分区采用差异化的技术组合,实现了生态化改造的因地制宜<sup>[6]</sup>。

## 6 存在问题与发展趋势

6.1 当前技术存在的主要问题。现行防洪规范以结构安全为核心,对生态功能缺乏可操作的技术参数,缓坡、孔隙、植被等

生态要素常面临“合规性”困境。现有技术多为企业或地方标准,国家层面规范体系尚未建立,设计参数与验收标准不统一,工程质量参差不齐。多数工程仅开展竣工验收时的短期监测,缺乏3-5年以上连续数据,对植被演替、材料老化、功能持续性认识不足。后期管护经费按硬质护岸标准核定,资金缺口导致植被退化、结构破损得不到及时修复,改造效果难以维持。

6.2 未来发展趋势。未来生态化改造将深化基于自然的解决方案(NbS)理念,注重多尺度水文连通性恢复、流域生态网络构建及生态系统服务量化评估。物联网、遥感与人工智能技术将推动智慧监测与适应性管理融合,实现“监测-评估-预警-调控”闭环。生态驳岸将向多功能集成演进,整合生态、景观、文化、休闲与防洪功能,平衡亲水安全与生态需求,融入地方特色并增强气候适应性。在“双碳”目标下,低碳水泥、工业固废再生骨料、生物基材料研发及护岸结构碳汇功能提升将成为技术创新方向<sup>[7]</sup>。

## 7 结论

城市河道硬质驳岸生态化改造是实现水生态修复的关键路径。本文系统梳理了结构型、植被型、近自然型及辅助型四大技术体系,分析了原理、适用条件与工程特性,总结了生态效益与可持续性评估方法,并结合典型实践探讨了应用成效。研究表明,改造需遵循四项原则:安全优先,通过创新设计协调防洪与生态;因地制宜,根据水文条件与空间约束选择技术组合;系统治理,与流域治理、海绵城市相结合;长效管护,建立全生命周期监测与适应性管理机制。未来,随着NbS理念深化、智慧技术融合与低碳材料突破,该技术将向系统化、智能化、可持续方向发展,为建设人与自然和谐共生的城市提供支撑。

## [参考文献]

- [1]夏军强,宗全利,许明祥.城市河流生态护岸技术研究进展[J].水科学进展,2020,31(4):621-632.
- [2]李树平,徐祖信,尹海龙.城市河道硬质护岸生态化改造技术研究进展[J].环境科学学报,2020,40(5):1601-1610.
- [3]董哲仁,孙东亚,赵进勇.生态水工学的理论框架与技术体系[J].水利学报,2021,52(1):1-12.
- [4]赵进勇,董哲仁,孙东亚.河流近自然治理的理论与实践[J].中国科学:技术科学,2022,52(8):1321-1332.
- [5]张饮江,杜佳,陈雪初.上海苏州河滨水空间生态修复与景观更新[J].风景园林,2022,29(3):28-34.
- [6]KONDOLFGM,YANGCN.Restoringurbanrivers:fromplanning toimplementation[J].LandscapeandUrbanPlanning,2020,198:103794.
- [7]刘树坤,吴丹子.基于自然的解决方案(NbS)在城市水系统中的应用[J].中国水利,2023(1):18-24.

## 作者简介:

李锐(1989-),男,白族,云南大理人,硕士研究生,工程师,研究方向:河湖生态修复。