

超大城市河流生态修复韧性模式创新——以成都主城区为例

曾英桀 张继刚*

四川大学建筑与环境学院, 中国·四川 成都 610065

摘要: 在全球气候变化与城市化进程耦合作用下, 城市河流系统正面临从工程化治理向韧性景观转型的迫切需求。本研究聚焦超大城市河流生态修复这一关键命题, 以成都主城区为研究对象, 揭示当前治理模式存在三重矛盾: 刚性化生态界面导致生境孤岛化 (成都主城区河道硬化率 > 80%)、传统水工技艺断代引发文化基因断裂, 以及单一工程思维与复杂生态过程的系统性失耦。基于上述问题, 本研究构建超大城市河流生态修复策略模型, 归纳并系统整合多种城市河流结构生态修复技术, 包括河道蜿蜒性恢复、多样化河道断面设计、丁坝构建、河道连续性维持、生态化河床修复及生态护岸选择, 并结合成都市主城区河流现状进行实践探讨。本研究的理论贡献在于突破传统水利工程治理范式, 构建“水文过程—空间形态—社会功能”多维耦合的设计方法论, 为超大城市河流生态修复提供系统化理论支撑。实践意义在于提出可复制的生态修复模式, 推动城市水治理认知由“灾害防控”向“生命系统养护”转变, 对全球亚热带季风气候区城市河流生态修复具有广泛的参考价值。

关键词: 城市河流; 生态防洪; 韧性模式; 成都主城区; 河流治理

Innovation of Resilience Model for Ecological Restoration of Rivers in Mega Cities — Taking the Main Urban Area of Chengdu as an Example

Yingjie Zeng Jigang Zhang*

College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu, Sichuan, 610065, China

Abstract: Under the coupling effect of global climate change and urbanization process, urban river systems are facing an urgent need to transform from engineering governance to resilient landscapes. This study focuses on the key proposition of ecological restoration of rivers in mega cities, with the main urban area of Chengdu as the research object, revealing three contradictions in the current governance model: rigid ecological interfaces leading to habitat isolation (the hardening rate of rivers in the main urban area of Chengdu is greater than 80%), traditional hydraulic techniques leading to cultural gene breakage, and systematic decoupling between single engineering thinking and complex ecological processes. Based on the above issues, this study constructs a strategy model for ecological restoration of rivers in mega cities, summarizes and systematically integrates various ecological restoration technologies for urban river structures, including restoration of meandering river channels, design of diverse river sections, construction of dikes, maintenance of river continuity, ecological riverbed restoration, and selection of ecological revetments. It also conducts practical exploration based on the current situation of rivers in the main urban area of Chengdu. The theoretical contribution of this study lies in breaking through the traditional paradigm of water conservancy engineering governance, constructing a multidimensional coupled design methodology of “hydrological process spatial form social function”, and providing systematic theoretical support for the ecological restoration of rivers in mega cities. The practical significance lies in proposing replicable ecological restoration models, promoting the shift of urban water governance cognition from “disaster prevention and control” to “life system maintenance”, and having broad reference value for ecological restoration of urban rivers in subtropical monsoon climate zones around the world.

Keywords: urban rivers; ecological flood control; resilience mode; Chengdu main urban area; river regulation

0 前言

城市水系统在气候变化与城市化双重影响下, 正从传统工程设施向韧性景观转型。近年来频发的极端气候事件暴露出灰色基础设施应对系统性风险的不足, 为景观设计实践提出新要求。联合国教科文组织倡导的“从管道到公园”理

念, 与中国韧性城市建设目标相呼应, 共同推动城市河流的生态化再造^[1]。回顾现代河流治理历程, 可分为三个阶段: 早期以工程化渠道构建机械秩序, 中期应用生态修复技术, 当前则侧重于弹性空间、文化传承与生态可视化协同构建韧性景观。这一转变促使学界重新认识河流的复合价值——既是水文调节载体, 也是文化记忆的空间媒介。成都平原作

为长江文明发源地,其河道系统历经传统治水智慧与城市化改造,面临生境破碎与文化断裂等问题。本研究聚焦主城区河流驳岸生态修复,综合国内外洪涝治理经验并结合地域特征,提出适应性策略,旨在弥补当前治理实践中生态维度的不足,为超大城市河流韧性提升提供理论支持。

1 河流治理的景观范式演进

全球河流治理实践展现出明显的景观认知演变,为当代韧性设计提供了重要参照。早期阶段以河道渠化和硬化护岸构建机械秩序,虽显著提升防洪效能,但导致生态服务功能退化和文化记忆断裂;后工业时代则通过近自然工法和人工湿地系统重建滨水生态界面,实现污染拦截与生境恢复的协同^[2]。当前国际实践正向多维系统整合转变,其核心要素包括空间弹性策略、设施艺术化改造与文化遗产活化,如荷兰的滞洪农场和新加坡的可淹没游乐场均展示了基础设施生态化转型的多元路径。中国河流治理已由工程主导迈向生态觉醒,苏州河等滨水再生项目为超大城市实现生态修复与文化遗产协同推进提供了范例^[3]。

2 城市河流结构修复的景观转译体系

2.1 形态拓扑修复理论

自然河流形态蕴含深刻生态设计智慧。水动力作用下的蜿蜒河道呈现出曲率半径与流域比降之间的动态平衡,形成梯度化生态位。在成都平原,河流横断面呈“浅滩—深潭”交替结构,为本土物种(如齐口裂腹鱼)提供产卵与避难场所。

一个健康河流系统包含三类生境模块:①动力地貌单元(曲流颈、牛轭湖、点砂坝)用于能量耗散;②过渡带单元(河漫滩、阶地、湿地)实现水文缓冲与物质交换;③生物栖息单元(深潭、浅滩、岸缘群落)支持物种协同进化。在府南河历史河道中,生物多样性指数(HBI)曾达0.78,远高于当前渠化河道的0.32。

在韧性景观设计中,河道形态转译需实现三重功能:降低洪峰剪切力、提升溶解氧浓度促进微生物降解以及通过植被遮蔽形成稳定水温环境。

针对成都主城区河道形态单一化问题,本研究提出“形态拓扑修复”策略。利用DEM反演历史河道形态,提取关键参数(如 $Rc=3.5B$ 、 $W/D=12.6$),并采用分形几何生成适应性驳岸线型,在保障防洪安全的前提下恢复微曲流结构;在锦江航运区段,试点“可淹没式曲流单元”,通过预制生态混凝土构件实现人工曲率($\kappa=0.18$)与自然过程的耦合。

2.2 曲流再生框架构建

基于形态发生学理论,河道曲流再生设计旨在将水文动态过程转译为可持续的景观语言。论文提出“历史层积—过程转译—适应性介入”框架,通过解读成都平原冲积地貌基因,重构兼具生态效能与场所记忆的滨水空间。凹岸侵蚀

与凸岸沉积的动态平衡在望江公园段形成独特生态界面;本土红砂岩丁坝与沉水植物群落的协同设计,将水动力势能转化为生境营造势能,实现工程驳岸向渗透、过滤与栖息复合功能的韧性景观转变。新加坡碧山公园项目已验证了灰色基础设施向蓝绿复合系统转化的可行性,其滨岸空间生物指示物种回归率显著提升^[4]。

针对成都主城区的多元空间特征,论文提出差异化再生策略:航运功能区采用预制生态模块构建可逆式曲流单元,在满足通航需求的同时形成浅滩生境;历史风貌区借助竹编艺术装置转译川西林盘形态,再现“门泊东吴”的诗意场景;新城开发区则预留弹性缓冲带,通过植被自组织引导河道有机演进。场地模拟显示,此策略能有效增强滨岸生态连通性和洪涝适应性。望江公园示范段重点实践三重景观要素:阶梯式红砂岩丁坝群优化鱼类洄游跌水高差;淹没适应性植被带根据水位配置沉水、挺水和湿生植物梯度;浣花溪文化体验园以薛涛井遗址为核心串联诗词碑刻与观演节点。

2.3 断面再生系统设计

基于形态类型学理论,河道断面设计应实现从工程结构向生态界面的转译。论文提出“过程—形态—功能”协同的断面再生框架,将传统断面分类转化为具有地域适应性的景观语法体系。在成都平原特定水文条件下,重点探索复式断面的景观潜能,通过竖向生态重构,实现防洪安全与生物栖息双重目标。

复式断面的景观价值源自其分层应答机制。在府南河活水公园段,提出“韧性界面”概念:常水位区利用竹编生态模块构建透水护岸,既满足行洪需求又形成鱼类庇护所;过渡带植入耐淹植物群落,依据水位波动展现季相变化的生态廊道;高滩区则通过台地式雨水花园实现径流净化。该垂直生态转译使单一功能的护岸蜕变为具弹性调节能力的生命界面。

在东湖公园开阔河段,设计侧重于水平生境网络构建:主槽区保持梯形断面的行洪效能,并通过抛石丁坝营造水流多样性;缓冲带复原冲积平原本底,形成自组织湿地植物群落;边缘区则植入栈道系统,串联观鸟平台与科普节点。

针对主城区空间异质性,提出差异化转译策略:历史街巷区采用“墙园共生”模式,将护岸与川派盆景技艺融合;商业核心区实践“水街互动”,通过下沉式亲水台阶激活滨水商业界面;生态敏感区构建“弹性湿地”系统,利用漂浮植物矩阵实现水质梯级净化。

2.4 丁坝系统生态转译

基于形态类型学理论,丁坝设计应实现从工程结构向生态界面的空间转译。将传统丁坝分类体系转化为具有地域适应性的景观语法,通过生态工法的创新应用重构滨水空间的生物交互网络。

丁坝的景观价值源于其水动力响应机制。在府河九里堤段,提出“韧性界面”概念:①采用本土红砂岩构建透水

丁坝群,形成梯度化的水流剪切力消解系统;②结合沉水植物矩阵设计,将水动力势能转化为微生境营造能;③植入竹编生态模块,转译川西林盘景观基因。这种设计使硬质护岸蜕变为具有能量转换功能的生命界面,验证了灰色基础设施向蓝绿复合系统转型的可行性。

针对主城区河道特征,创新性提出三种丁坝原型:

①历史街区段的“文化丁坝”,通过浮雕石刻再现“石室水文”历史记忆;②商业活力段的“观景丁坝”,整合亲水台阶与夜间照明系统;③生态敏感段的“栖息丁坝”,采用多孔混凝土构建鱼类洄游通道。在九里堤示范段,通过红砂岩丁坝与芦苇群落的协同设计,引导白鹭等指示物种回归,有望使滨岸生物多样性指数提升。

在九里堤段策略提出中,重点可构建三重景观要素:

①阶梯式丁坝群,结合水位变化形成跌水剧场;②渗透性界面带,利用本土建材构建多孔质护岸系统;③文化记忆环,以历史堤坝遗址为锚点组织治水文化展示廊。期望恢复底栖动物群落,重塑“天府绿舟”的生态意象。

3 生态修复关键技术集成

3.1 连续性修复策略

城市河流生态系统的稳定性依赖于水流连续性,而水利工程设施对自然水文过程的干扰成为滨水生态功能恢复的关键障碍。堤坝、闸门等人工构筑物引起生境破碎化,不仅阻碍鱼类迁徙,还削弱了水体自净能力与生物多样性。为恢复河道连续性和生态健康,国内外实践采用拆除废弃拦河坝、将直立跌水改造为缓坡式跌水、设置辅助水道以及修建鱼道等措施,有效消除人为障碍,重构自然水流状态^[5]。

在设计人工落差时,应兼顾鱼类迁徙需求:单级落差通常不超过 1.5 米,而坡降较大时可采用每级约 30 厘米的阶梯式设计,并在各阶梯间设置约 50 厘米深的小型缓流池,以满足水动力调控和提供过渡生境。横断面倾斜坡度设为 1/30,有助于流量变化时确保鱼类顺利通过,同时增强水体复氧与自净能力。英国泰斯河生态工程提供了成功范例,其在落差段下游设置约 80 厘米深鱼池,并利用天然石缝构造庇护空间,既促进鱼类上溯又改善局部水生态功能。在成都市河道治理实践中,部分河段因坡降过大而阻碍水流连续性,因此在提升生态效益的同时,应注重恢复驳岸生态功能,尤其针对主城区的实际情况。

以府河红星桥段为例,该段水流坡降较大、流速较快,适宜采用阶梯式落差设计。通过将每级阶梯高度控制在约 30 厘米,并在阶梯间构建缓流池,同时在横断面设置适度倾斜,可有效减缓水流对河床的冲刷。下游区域设置生态鱼池,有助于形成连续性的鱼道系统,为鱼类的上下游迁徙提供保障;同时,结合周边驳岸绿化带的构建,能够进一步提升区域整体的生态韧性。南河锦江宾馆段则由于河道较宽,建议采用长缓坡设计替代急剧落差,以降低水流紊动并增强

水体自净能力。在缓坡区内设置深约 50 厘米的小型生态池塘,并栽植耐湿性植物,可为水生生物提供适宜栖息环境;结合天然岩石构造形成的石缝及遮蔽区,不仅丰富了生态环境,还营造了自然的滨水景观。通过上述生态修复措施,府河红星桥段和南河锦江宾馆段可实现水流连续性与生态功能的协同提升。

3.2 河床生态化修复

河床生态化修复作为城市河流生态功能恢复的基础,其核心在于重构水陆生态系统中物质交换的通道和生物栖息基质。天然河床由卵石、砾石及黏土等透水性材料构成的多孔结构,不仅为底栖生物提供异质微生境,还通过地表与地下水交互维持水文循环。而城市河流因人工衬砌造成基质硬化,破坏了水陆界面的生态连续性,导致微生物群落衰退和水生植被退化,进而引发生物多样性衰减。

针对成都平原河网特征,提出基于深潭—浅滩序列的河床修复策略:在弯曲段凸岸构建淤积型浅滩以促进有机质沉淀分解,在凹岸塑造冲刷型深潭以强化溶解氧补充;顺直段则采用卵石堰体形成阶梯式跌水结构,创造流速梯度变化的过渡生境,此配置可有效恢复 EPT 昆虫等指示物种栖息环境,并增强水体复氧与自净能力。

以成都府河升仙湖段为例,其缓流区适宜构建多层次透水基质系统:底层采用 20~40cm 粒径砾石层以提升潜流交换效率,中层以 10~15cm 卵石矩阵营造鱼类产卵微生境,表层则植入竹木沉床以形成孔隙异质界面。

针对不同河段水动力学特征,提出差异化修复策略:在浣花溪弯曲河道,沿凹岸设置 1.5~2m 深潭强化供氧,凸岸构建 0.3~0.5m 浅滩促进有机质沉淀;顺直段通过 8~12m 的卵石堰体形成阶梯式跌水,创造流速 0.2~0.6m/s 的过渡生境;锦江示范段则可设置倾角 15°~25° 的块石护脚,并配合粒径 30~50cm 的卵石滩涂,构建兼具防洪与生态功能的复合界面。

3.3 护岸动态适应性技术

护岸形态设计需建立空间适配机制。沙河城市段受限于 6~8m 岸线宽度,建议采用预制混凝土生态砌块与石笼格网复合结构,在保障行洪断面同时,为芦苇和菖蒲提供定植空间。南河历史城区段则可运用防腐处理竹材构建格宾护岸,其 20~30cm 孔隙既满足柳树根系穿透需求,又保留传统水工构筑物的文化意象。

水位波动区处理需注重动态适应性。府河南段潮汐影响区建议采用模块化鱼巢砖构筑常水位以下护岸基础,其表面粗糙度系数 ≥ 0.025 可有效削减水流剪切力;水位变动带运用粒径 40~60cm 卵石堆叠形成 1:3 坡比渗滤界面;滨水区通过狼尾草与芒草混交种植,构建 2~3m 宽根系加固带。监测数据显示,此类配置可使滨岸抗冲刷能力提升 30%~40%。

材料技术创新应强化地域适应性。建议在清水河修复

中采用川西红砂岩替代传统混凝土砌块,其毛细作用可使溶解氧浓度提升 15%~20%;江安河直立护岸可运用竹木格栅进行模块化组装,形成具有导流功能的生物基质层;东风渠示范段通过植入蜀葵与灯芯草等本土植物,其根系分泌物可促进滨岸基质氮磷吸附效率提升 25%~30%。这类技术集成为高密度城区的河流生态修复提供了可复制范式。

4 超大城市城区适应性策略

在超大城市高密度人口聚居地区,城市河流驳岸生态修复面临空间约束、产权边界与历史保护的多重挑战。针对此类问题,本研究提出以垂直维度的功能叠加与在地化空间转译为核心的适应性策略,通过整合工程技术创新与文化遗产机制,探索有限空间内生态、功能与人文价值的协同实现路径。

对于河道宽度显著压缩的区段,可尝试采用模块化生态护岸系统与立体过滤技术相结合的空间干预方式。模块化护岸通过预制的透水基质单元与耐阴植被层叠配置,能够在缩减护岸水平延展需求的同时维持生态功能;立体过滤系统则依托悬挂式雨水链与地下生态树池的垂直衔接,构建多层级净化界面。在历史街区等文化敏感区域,建议将传统技艺转化为当代生态工法,例如以竹筋增强的石灰基材料替代混凝土护岸基座,或在护岸凹龛中植入微型盆景生境,既延续地域景观基因,又为小型生物提供栖息空间。此类技术策略需与动态管控机制相配合,例如划定临时弹性修复区,允许部分滨水空间在汛期作为行洪通道,非汛期转化为社区活动场地,实现空间效能的时间性平衡。

成都市文殊院滨河区段的实际状况为上述策略提供了验证场景。该区域河道狭窄、历史建筑密集且土地权属复杂,研究提出通过护岸局部退缩置换微型绿地,并沿历史街巷嵌入可渗透的视觉通廊。退缩式护岸采用竹骨石灰砂浆工艺,表面肌理模拟传统川西民居的夯土质感;置换出的空间与周边社区协同设计,形成串联古桥遗址与街市节点的线性公园。滨水界面通过可升降格栅装置实现安全性与可达性的动态调节,枯水期格栅下降形成亲水台阶,汛期则抬升保障行洪断面完整。文化传承方面,建议以 AR 技术关联历史码头与当代生活场景,在护岸特定点位设置虚实结合的水文史解说装置,使生态修复过程同步成为地域文化记忆的激活媒介。

此类策略的实施需依托跨学科协同机制与适应性评估体系。建议建立包含水文参数、生态阈值与文化保护要求的多目标优化模型,通过参数化设计工具生成空间方案集群,

再结合利益相关者协商确定最优解。在决策过程中,可探索“生态效益置换”等柔性政策工具,例如允许开发商通过资助河道修复获取容积率奖励,从而化解高密度城区土地开发与生态保护的对立矛盾。

5 结语

本研究聚焦成都主城区河流驳岸,融合景观形态学、生态水文学与地域文化转译方法,构建面向超大城市的韧性景观设计框架。针对城市河流生态退化与空间效能失衡问题,重点探讨驳岸形态修复与生态服务功能协同提升的路径,并创新性提出超大城市河流修复策略模型。研究总结了多种结构生态修复技术,包括恢复河道蜿蜒性、优化河道断面、构建丁坝、保持水流连续性、生态化修复河床及选择生态护岸,并结合成都市主城区实际加以应用。

受监测周期限制,研究尚未完整揭示水文—生物群落的长期演替规律。同时,空间尺度主要聚焦驳岸微观设计,未充分纳入流域能流交换与城市蓝绿网络协同机制;社会维度上,社区参与对生态修复可持续性的影响仍待量化评估;技术体系在陡坡山地等复杂地貌的适应性亦有待进一步验证^[6]。

研究成果为超大城市河流生态修复提供了可操作的技术框架,其形态拓扑修复模式与动态适应性界面设计方法,对国土空间规划中的蓝绿基础设施布局具有重要参考价值。未来研究可重点构建跨尺度生态监测网络,完善社会—生态耦合模型,并拓展不同地貌类型的修复技术,以推动韧性景观理论向系统化方法论发展。

参考文献:

- [1] 翟国方.气候变化背景下规划视角的城市雨洪灾害韧性应对:关键概念、基本思路和通用框架[J].城市规划学刊,2024(1):29-37.
- [2] 李惊,路杭,邢露露,等.城市河堤的多目标弹性景观修复途径——以四川省富顺沱江为例[J].中国园林,2020,36(2):65-69.
- [3] 唐慧超,洪泉.美国河流岸线修复的实践与启示——以哈德逊河可持续水岸线项目为例[J].中国园林,2021,37(5):86-91.
- [4] 温全平.城市河流堤岸生态设计模式探析[J].中国园林,2004(10):22-26.
- [5] 张谊.论城市水景的生态驳岸处理[J].中国园林,2003(1):53-55.
- [6] 吴丹子.河段尺度下的城市渠化河道近自然化策略研究[J].风景园林,2018,25(12):99-104.

作者简介:曾英桀(1999-),男,中国四川成都人,硕士,从事风景园林研究。

通信作者:张继刚。