

城市河道防洪与生态修复协同机制的研究

唐森涛^{1,2}

(1. 玉林市水利局, 广西 玉林 537000; 2. 玉林市水旱灾害防御中心, 广西 玉林 537000)

摘要: 通过阐明生态修复与防洪功能之间的协同机制, 来解决气候变化背景下城市河道系统面临的日益严峻的防洪压力与生态退化问题。通过分析湿地恢复、植被覆盖及河道形态优化等生态保护措施对洪水峰值削减和蓄洪能力增强的作用, 揭示两者之间的协同关系, 并构建多目标优化框架与动态适应机制, 提出技术整合路径与政策保障体系。但当前仍面临技术实施难度、成本压力及跨部门协作等挑战, 需进一步优化评估模型并完善长效管理机制。

关键词: 气候变化; 城市河道; 生态修复; 防洪能力; 协同机制

中图分类号: TU998.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)06-0296-06

Research on Collaborative Mechanism of Urban River Flood Control and Ecological Restoration

TANG Sentao^{1,2}

(1. Yulin Water Resources Bureau, Yulin 537000, China; 2. Yulin City Flood and Drought Disaster Prevention Center, Yulin 537000, China)

Abstract: The collaborative mechanism of ecological restoration and flood control function is expounded to address the increasingly severe flood control pressure and ecological degradation problems faced by urban river systems in the context of climate change. By analyzing the role of ecological measures—such as wetland restoration, vegetation coverage and river channel morphology optimization—in reducing flood peaks and enhancing flood storage capacity, the synergy between the two is revealed, and a multi-objective optimization framework and a dynamic adaptation mechanism are developed. The technical integration pathways and policy support systems are proposed. However, at present, there are still challenges such as the difficulty of technical implementation, cost pressure and cross-departmental collaboration. It is necessary to further optimize the evaluation model and improve the long-term management mechanism.

Keywords: climate change; urban rivers; ecological restoration; flood control capacity; collaborative mechanism

0 引言

全球气候变化导致极端降雨事件的发生频率和强度显著上升, 使城市内涝及流域性洪水的风险进一步增加^[1]。城市化进程加快, 地表下垫面结构改变, 对降雨径流的产汇流关系产生了直接影响。例如, 珠三角城市群为代表的“城市看海”现象, 就说明既有防洪设施在气候变化和城市化双重压力下适应能力不够^[2-3]。当下, 我国城市河道防洪治理大多采用传统工程思路, 也就是把提升行洪能力作为核心, 依靠水利工程措施来构建具备调蓄、拦截、分洪、排泄等功能的防洪工程体系^[4]。长期实践发现, 过度

运用河道渠化、岸线混凝土硬化等灰色工程措施, 虽然短期内提高了排水效率, 却不可避免地破坏了河道的自然形态与水文连续性, 水陆生态交互作用变弱, 进而引发河流生态系统功能退化、生物栖息地丧失及水体自净能力下降等一系列生态问题^[5-7], 最终限制了防洪体系整体的韧性与可持续性。

在当前防洪安全保障与河流生态健康需求矛盾日益凸显的背景下, 迫切需要借助系统性的方法来达成两者的协同发展。基于自然的解决方案(nature-based solutions, NbS)提供了重要路径, 此路径借助恢复河流原本蜿蜒的形态、重新构建湿地系统、运用生态护岸的方式, 以及构建起滨岸缓冲带等一系列综合性举措, 同时实现对洪水进行调蓄与开展生态修复两个目标^[8-10]。不过, 当前的实际操作仍然面临着双重挑战: 其一, 水利工程与生态保护在目

收稿日期: 2025-12-02

作者简介: 唐森涛(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事水旱灾害防御与风险管理工作。

标设定与评价标准上存在学科割裂,导致出现了“重工程而轻生态”或者“重景观而轻功能”的治理碎片化状况;其二,缺少能够对协同效应进行量化评估的分析工具,难以对生态与防洪之间的互动关系展开动态评估,进而对技术方案的比选及优化决策产生一定的影响。

综上所述,本文着重于构建城市河道防洪和生

态修复二者协同发挥作用的机制。全面且细致地剖析不同类型生态修复举措实际施行所达成的效果,重点探索在确保防洪安全的基础上,有效提升河道生态系统服务功能的具体途径,从而推动治理模式从单一目标向多维度协同方向转变。本文主要研究框架如图 1 所示。

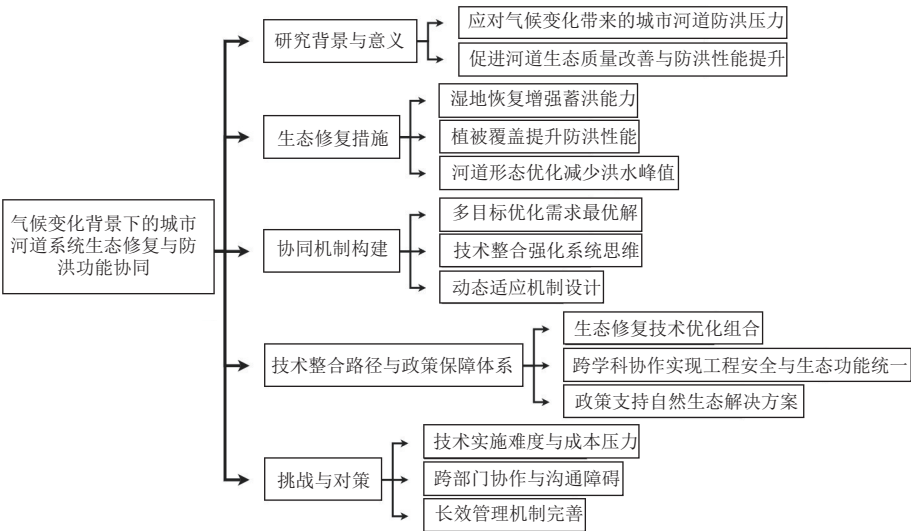


图 1 本文主要研究框架

1 生态修复措施分析

1.1 湿地恢复措施分析

湿地作为城市水系统的重要组成要素,在洪水调蓄方面发挥着关键作用。湿地的蓄洪功能主要是依靠多孔介质结构和复杂植被群落相互之间所产生的协同效应来实现的,可以有效地达成地表径流被滞留起来的目的,还能让汇流的过程变得缓慢一些,进而对洪峰流量起到削减作用^[11]。从机制层面分析,湿地系统凭借着自身粗糙的下垫面特点及密集的植被覆盖情况,对水流运动的特性加以调节。研究表明,天然或者经过修复的湿地,蓄洪能力会受到地形特征、土壤的渗透性及植被覆盖程度等诸多因素的综合影响,单次蓄洪的容量往往能够达到每公顷几百甚至上千立方米^[12]。湿地系统所具备的这些水文调节功能,切实有效地降低了城市出现内涝的风险,同时也减少了对传统灰色基础设施的依赖程度,最终使城市防洪系统的整体韧性和适应性均得到了提升。

在湿地恢复的具体实施过程中,重点把握三个关键技术环节,分别是地形重塑、水文连通性修复和本土植被重建。在设计阶段,要根据河道周边的地

貌特点来着手开展微地形设计工作,进而打造出一种包含有浅水区、洼地还有缓坡带的复合式结构,以提升系统的雨水蓄滞能力。水文连通性修复是确保湿地功能的核心环节,需要打通被阻断的支流和侧向通道,增强水体交换能力,从而延长水流滞留时间,实现洪峰削减。就植被配置而言,应当优先选择能够适应当地气候状况且能够耐受水位发生变化的乡土物种,如芦苇、香蒲等湿生和挺水植物。

1.2 植被覆盖措施分析

植被凭借发达的根系系统,在河岸防护方面起着极为重要的作用。深根性植物如柳树和芦苇的垂直根系能够穿透松散沉积层,进而深入土体内部,起到稳定作用,形成一种类似于“活桩”的锚固结构,有效增强岸坡深层稳定性,抑制浅层滑坡的发生。与此植物所具有的水平分布的须根系统会在表层土体中形成一个三维网状结构,显著增强土体间的凝聚力,同时降低因孔隙水压力而带来的失稳风险。这种基于自然机理的防护方式,一方面保持了河岸的生态功能,另一方面提供了具备可持续性的工程防护效果。

在洪水调控中,植被覆盖对洪峰流量具有明显的削减作用。植被覆盖发挥作用的机制主要涵盖两

个方面:一是冠层能够对降雨起到截留的作用,使地表直接接收到的雨量有所减少;二是植物根系可对土壤结构进行改善,提高入渗的能力,从而将地表径流的形成以及汇集的过程进一步延缓下来。由此,城市排水系统所面临的压力得以减轻,对硬化护岸的依赖程度也会有所下降,同时还有利于对河道生物栖息地进行修复,推动水陆交错带的生态整合进程。

1.3 其他生态修复技术分析

河道形态优化属于提升城市河道防洪能力并且兼顾生态功能的一项重要技术途径。传统治理模式一般会采用规则断面来渠化河道,虽可提高输水效率,却常常会对河流自然水文过程产生干扰,进而导致栖息地变得单一,水文调节功能有所减弱。为应对上述问题,现代生态治理着重恢复河道的自然形态特征,如借助重塑河道蜿蜒度、构建浅滩-深潭序列等办法,增强水系连通性与生态连续性,从而延缓洪峰传播时间并提升调蓄能力。

2 防洪能力提升作用分析

2.1 生态修复对防洪的影响

数学模型是评估湿地恢复措施给城市河道行洪能力提升所带来效果的关键技术之一^[13]。通过构建SWMM、MIKE等分布式水文模型,同时把遥感及GIS技术所给出的湿地空间分布数据加以集成,不仅能精确模拟不同降雨情景下的径流形成过程,还能体现出在城市下垫面发生变动之后针对水文循环所呈现出的响应规律^[14-15]。在此基础上,进一步与二维水动力模型进行耦合,就能从水力学机制这个层面上将湿地在洪峰削减、汇流延时等诸多方面所具有的调控作用揭示出来^[16]。

生态修复的效果受到地形及气候条件的限制,在地形比较陡峭的区域,可以采用阶梯式的湿地加上微地形改造的设计方式,靠延长水流的路径来控制流速并减少能量;在平原河道地区,利用天然的洼地构建湿地系统,以强化该区域的径流调节功能。

2.2 风险与挑战

生态修复技术在城市河道治理中的应用面临多重现实挑战。在对硬质护岸予以拆除及开展生态界面重建工作期间,原有的结构遭受破坏后,极有可能致使岸坡出现失稳状况,所以必须采取相应的加固举措和生态护坡办法。湿地恢复工程项目会受到地下水水流场复杂程度和土壤渗透性存在空间变异情况

的影响,在实施之前应当联合地质雷达探测手段与土工试验来对地层展开评估,借此规避出现渗漏或者积水等相关问题。在筛选植被时,需要全方位地考量诸如耐淹性、固土能力还有抗冲刷性能等诸多因素。本土物种虽说具备不错的适应性,然而生长速度较为缓慢;外来速生种虽成型快速,却存在生物入侵风险。所以,有必要构建起科学合理的植被演替调控机制,推动植物群落能够稳定地发展。河道形态优化常受既有管线、桥基等空间条件制约,难以实现理想断面。在此情况下可以依照低影响开发的理念,运用三维激光扫描与BIM技术进行微地形精细调整,并且通过施工过程的模拟来对实施方案加以优化,以提升工程可行性与安全性。

在投入与产出层面,生态修复项目在刚开始建设的时候,投入不少的资金,主要用在地形改造、乡土植物培育及土壤改良等工程环节上。从整个生命周期的成本来考量,因为生态系统自身调节及保持稳定的功效逐渐形成,项目的长期运营维护成本呈现出下降态势,周期性的清淤费用及结构性维护的费用也明显减少。在产出效益方面,基于自然的解决方案展现出显著的长期经济性优势。这类办法借助水质净化、碳汇形成等生态服务功能,能够有效地缓解区域环境所面临的压力,进而降低相关的公共健康治理成本。

在社会接受度层面,项目能否成功实施,关键在于信息是否公开透明及公众参与的程度。如果居民对生态防洪措施不够了解,又或者在施工阶段日常生活受到明显干扰,就很容易滋生抵触心理。构建制度化的公众参与渠道,是缓解这类“邻避冲突”的有效办法。把景观美化和公共空间的实际功能结合起来,既能提高项目的服务价值,又能增进公众的认可度。

3 协同机制构建

3.1 策略框架设计

协同机制的构建需系统推进多目标优化、技术整合与动态适应三方面工作。

在多目标优化方面,可以将系统动力学和线性规划方法结合起来运用,统筹防洪安全与生态修复目标,以克服传统单一工程治理模式的局限。所构建起的数学模型需要考虑水文过程、生态参数、土地利用特征和成本效益等多类变量,进而建立起一个以实现防洪达标率、提升生态服务功能和做好成本

控制为核心目标的多目标函数体系,随后再借助多目标优化算法来求得帕累托最优解集。

在技术整合方面,需要强化系统思维,转变以往重工程结构、轻生态功能的治理思路,引入生态水工学理念,将河道系统看作水文过程和生态过程相互作用的一个有机整体,在保证行洪安全的前提下,优化岸线形态设计,采用生态石笼、植生袋等接近自然的材料来替代刚性的衬砌结构,既考虑抗冲刷性能,也顾及生物栖息的需求。

在动态适应层面,应构建起“监测预警、应急响应和效果反馈”一体化管理机制,以增强对气候不确定性情况的应对能力。可依托遥感技术、物联网和智能管理平台等手段,实时地采集有关降雨、径流和生态状态等方面的数据,再把这些数据和分布式水文模型相结合进行风险模拟操作,从而给预案启动给予决策方面的支持,以达成动态调度和适应性管理的目标。

3.2 实施路径

在规划阶段引入系统思维,是协调防洪安全与生态保护关系的关键途径之一。应将河道的综合治理事宜、针对河湖水面率的管控等举措,以及对自然水系加以保护,共同纳入城市发展的核心目标体系。为提升区域整体的防洪能力,首要任务便是解决市级河网中存在的连通性断点方面的问题,通过优化骨干河道布局结构,增强区域的雨洪调蓄与排涝能力。规划阶段详细内容如表 1 所示。

表 1 规划阶段详细内容

序号	融入方式/ 关键节点	详细内容
1	加大河道整治力度	提高河网调蓄能力:通过规划管控河湖水面率,保护现有河湖,加大河网建设力度,增加河湖水面率
2	加强河道综合整治	优先安排市级河网断点打通工程,力争在规划期内打通大部分断点。完善骨干河网布局,优先实施承担输水排水功能的规划骨干河道
3	加快建设水利片外围泵闸	水利片外围泵闸是水网主动调控的主要手段,对提升防洪除涝能力和活水畅流调度能力至关重要
4	加强水生态空间管控	规划控制全市河湖水面率,合理划分岸线保护区、保留区、控制利用区和开发利用区
5	复苏河湖生态质量,建设生态空间	实施蓝绿生态空间廊道工程,构建人与自然和谐共生的蓝绿生态网,增加水网生态空间
6	增强城市防洪能力	围绕河道、海堤、水库、泵站四个体系,持续开展防洪(潮)排涝减灾体系建设
7	水环境治理成效	以污水收集处理设施建设和河道综合治理为重点,河流水环境质量进一步改善

在建设阶段,应当规避刚性水利设施给生态系统所带来的割裂方面的不利影响,推广生态混凝土护坡、生态缓坡带等柔性工程技术,实现工程安全与生态功能的有效统一。

在监测阶段,需加强水利工程、生态保护和景观设计等多专业之间的协同配合工作,尤其要对河道沿线关键的生态节点给予重点保护措施。待工程建成之后,应当着手建立起一个空地一体化的监测网络,将遥感监测所获取的数据、无人机巡查所得的信息和地面传感采集到的数据相互融合起来,以便能够实时且精准地掌握水文过程的具体情况、生态状况的实际状态和工程运行的当下状态。凭借物联网和边缘计算等相关技术,实现对动态风险的智能预警功能,并将标准化数据用于趋势分析与模型优化,以保障防洪与生态协同效益的持续发挥。

3.3 政策与管理建议

城市河道的防洪安全与生态系统修复属于一项系统性工程,仅仅依靠单一部门通常很难达成有效的治理效果,所以迫切需要构建跨部门的协同工作机制。适宜把流域当作整体单元来开展综合治理,促使水利、生态环境、自然资源等主管部门在政策制定、项目审批和实施监管等各个环节强化协作。可以凭借现有的河长制管理体系,强化地方政府的统筹协调作用,清晰界定各部门的权责划分,并且搭建统一的流域信息共享平台。通过设置联合工作专班,推动跨部门的信息互通和行动同步,以此来缓解治理过程当中的碎片化问题。该协同机制应覆盖从规划、建设到运营维护的全周期管理过程。

资金保障对治理机制的有效施行而言极为关键。在财政投入方面,应当着重给予项目启动阶段和具备公共属性的生态修复工程以优先支持。中央和地方政府可以通过设立专项建设基金,同时把相关支出归入生态文明建设预算当中,以确保满足重点工程的资金方面的需求。除此之外,还应当积极引导社会资本参与其中,大力推广政府和社会资本合作也就是 PPP 模式、特许经营、生态补偿等多种多样的融资方式,去探索并建立起基于环境效益的价值回报机制,把生态修复所取得的成果和周边土地增值收益关联起来,进一步拓宽项目的融资渠道。

4 结 论

在气候变化、快速城市化相互产生影响的背景下,城市地区同时面临着洪涝风险不断加剧、生态系

统出现退化的双重压力。传统依赖灰色基础设施的防洪模式,由于存在着结构方面较为刚性、对生态造成的干扰比较强烈、适应能力存在明显不足等诸多局限性,已难以满足城市河道防洪韧性构建的需求。本文全面且细致地探讨基于自然的解决方案在城市河道防洪工作和生态修复相关事宜当中所呈现出的协同作用机制,进而为促使治理模式朝着能够实现多目标协同转型的方向发展给予相应的理论方面的有力支撑,同时也为其提供切实可行的实践路径。

具体而言,湿地系统借助地形能够起到蓄滞的作用,同时植被也有阻滞的效果,如此便可以有效地削减洪峰的流量,并且还能延缓汇流的过程。河岸植被依靠冠层的截留功能、根系的固土作用及促进下渗等一系列功能,进而达成径流削减和岸坡稳定的双重效益。河道蜿蜒性的恢复、浅滩-深潭结构的构建,则通过减缓水流的速度和延长洪水传播的时间,来强化系统的调蓄能力。这些措施在提升防洪标准的同时,显著改善了生物多样性维持、水质净化与栖息地修复等生态功能,从而实现防洪安全与生态健康的协同提升。

要达成上述协同效益,需要系统性的策略来支撑。在规划层面,要把蓝绿基础设施归入国土空间规划体系当中,要对生态空间和防洪空间的布局进行统筹安排;在技术层面,需要综合运用水文水动力模型、GIS与BIM等技术,进行多目标优化与精细化设计;在管理层面,应打破部门壁垒,建立在流域尺度上的跨部门协作机制,同时还要通过创新投融资模式的方式来保障项目的可持续运营。

未来城市河道治理要达成从洪水控制到综合韧

性管理的范式转变。这种转变既要有技术创新,还要依靠多学科知识融合、跨部门利益协调,以及对治理体系进行系统性重构,来为推动城市可持续发展给予重要支持。

参考文献:

- [1] 周添红,唐佐槐,褚俊英,等.极端暴雨条件下城市内涝模拟研究进展与展望[J].人民长江,2025,56(5):14-22;30.
- [2] 王江波,焦艺璇,陈璐,等.粤港澳大湾区地表覆盖类型演变对雨洪调节服务的影响[J].安全与环境学报,2025,25(11):4377-4387.
- [3] 张瀚.气候变化与城市化对珠三角地区城市洪涝灾害风险影响研究[D].广州:华南理工大学,2019.
- [4] 秦民,李臻,刘正风,等.广东省北江流域防洪体系与布局优化[J].水利水运工程学报,2024(3):91-98.
- [5] 李威亚,徐鑫,姚磊钧.生态袋植草护坡技术在城市河道治理中的应用[J].四川水利,2021(增刊2):45-46;55.
- [6] 高小涛,胡丽香,任鹏.“生命共同体”视角下城市河流生态治理思路研究[J].水利规划与设计,2022(10):11-14;124.
- [7] 陈勇,唐雨语,梁瑶瑶.城市河道生态治理及修复措施浅析[J].水利技术监督,2024(3):260-262;281.
- [8] 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.
- [9] 王思思,侯爽.基于自然的解决方案在城市水管理方面的研究进展[J].中国给水排水,2021,37(24):25-33.
- [10] 张永萌,翟国方.基于自然解决方案(NBS)的城市雨洪灾害韧性提升研究[J].上海城市管理,2025,34(2):26-35.
- [11] 张慧.基于生态服务功能的南京市生态安全格局研究[D].南京:南京师范大学,2016.
- [12] 刘兴土.三江平原沼泽湿地的蓄水与调洪功能[J].湿地科学,2007(1):64-68.
- [13] 叶群,计勇,吴培军,等.河滩湿地对河道洪水影响的二维数值模拟[J].中国农村水利水电,2020(6):36-39;45.
- [14] 石宜.基于SWMM和遥感影像融合的城市雨洪模拟研究[D].武汉:华中科技大学,2023.
- [15] 陈帅.基于SWMM和MIKE 11模型的博望区雨洪治理模拟研究[D].合肥:安徽建筑大学,2020.

(上接第274页)

- [5] Tubino F, Piccardo G. Tuned Mass Damper optimization for the mitigation of human-induced vibrations of pedestrian bridges[J]. Meccanica, 2014, 50(3): 1-16.
- [6] Liangkun Wang, Satish Nagarajaiah, Weixing Shi, et al. Semi-active control of walking-induced vibrations in bridges using adaptive tuned mass damper considering human-structure-interaction[J]. Engineering Structures, 2021, 244(10): 1-15.
- [7] 朱准峰.自锚式人行悬索桥人致振动及振动控制研究[D].长沙:中南大学,2014.
- [8] Acito M, Mastrangelo R, Magrinelli E, et al. Design strategies of vibration mitigation systems for an existing suspended footbridge[J]. Engineering structures, 2021, 249(15): 1-17.
- [9] 李娟燕,马旭明,魏汝海,等.大跨径人行玻璃悬索桥人致振动舒

- 适度分析及减振设计[J].世界桥梁,2024,52(5):104-109.
- [10] 周望,周彦锋,马如进.大跨径人行桥人致振动舒适性研究[J].城市道桥与防洪,2020(10):73-76.
- [11] 戚志河,陈玉珂,王裕滔,等.大跨度人行斜拉桥TMD减振分析[J].城市道桥与防洪,2022(7):59-62.
- [12] 温青,何冰霖,周越,等.曲线钢桁桥人致振动舒适性评价现场试验研究[J].噪声与振动控制,2024,44(6):236-241.
- [13] 陈建兵,谢永靖,李祖辉,等.变截面钢桁梁人行桥人致振动及振动控制研究[J].地震工程与工程振动,2024,44(6):23-35.
- [14] 田颖,董玉将,张浩.钢结构人行桥的人致振动舒适度分析[J].建筑结构,2022,52(增刊2):610-615.
- [15] 蔡华权,刘爱荣,黄友钦,等.三肢星型人行桥人致振动舒适度及减振研究[J].工程力学,2025,42(增刊1):71-77.

[16] 王玲玲,姜兆宇,韩建军,等.长江浦口段江滩复绿对河道行洪能力的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2021,49(4):316-321.