

三峡库区城市滨江消落带生态修复与景观优化示范研究*

Demonstration Study on Ecological Restoration and Landscape Optimization of Urban Riverside Littoral Zone in the Three Gorges Reservoir Area

袁兴中 袁嘉 高磊 张森林 刘杨靖 张照亮 YUAN Xingzhong, YUAN Jia, GAO Lei, ZHANG Senlin, LIU Yangjing, ZHANG Zhaoliang

摘要 三峡库区生态环境是长江生态大保护的关键,消落带恢复治理是重中之重。在三峡库区消落带恢复治理中,重庆主城区长江段面临着极其严酷的环境胁迫。以重庆主城区九龙外滩的滨江消落带为例,运用界面生态调控技术、立体生态空间建设技术和滨江消落带韧性景观修复技术,在前期规划设计的基础上,开展了九龙外滩340 m长的滨江消落带的生态景观修复示范研究,成功筛选出耐淹性强的植物种类。阶段性试验研究的结果表明,这些植物面临持续不断的洪水冲刷淹没及高温干旱交替的逆境,无论是植物种类,还是植被结构方面,都表现出了良好的韧性适应。通过运用适应水位变化的滨江立体生态空间建设技术,试验段滨江立体生态空间格局初步呈现,与周边的裸滩形成鲜明对比,生物多样性丰富,生态服务功能持续优化。

Abstract The ecological environment of the Three Gorges Reservoir Area is the key to the great ecological protection of the Yangtze River, and the restoration of the littoral zone is the most important. In the Three Gorges Reservoir Area, the Yangtze River section of Chongqing's main urban area is facing severe environmental stress. Taking the riverside and littoral zone of Jiulongwaitan in Chongqing as an example, this paper uses the technology of interface ecological regulation, three-dimensional ecological space construction and the technology of resilient landscape restoration for riverside and littoral zone. A demonstration study on the ecological restoration and landscape optimization of riverside and littoral zone with a length of 340 m was carried out. The results show that the plants with strong submergence tolerance were successfully screened, and both plant species and vegetation structure showed good resilience and adaptability. The spatial pattern of the three-dimensional ecological environment along the riverfront in the experimental section is preliminarily presented. In contrast to the surrounding bare beach, it has abundant biodiversity and continuous optimization of ecological service.

关键词 消落带 | 生态修复 | 景观优化 | 三峡库区 | 重庆主城区

Keywords Littoral zone | Ecological restoration | Landscape optimization | Three Gorges Reservoir | Chongqing municipality

文章编号 1673-8985 (2018) 06-0132-05 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20180619

作者简介

袁兴中

重庆大学资源及环境科学学院 教授,博士生导师
长江上游湿地科学研究重庆市重点实验室主任
重庆千洲生态研究院名誉院长

袁嘉

重庆大学建筑城规学院,重庆大学山地城镇建设
与新技术教育部重点实验室 讲师,博士

高磊

重庆千洲生态环境工程有限公司 高级工程师

张森林

重庆千洲生态环境工程有限公司 高级工程师

刘杨靖

重庆千洲生态环境工程有限公司 工程师

张照亮

重庆千洲生态环境工程有限公司 工程师

0 引言

长期以来,长江江岸是水与陆的界面,除了作为生态过渡带具有重要的生态服务功能外,还是人类活动的重要空间。江岸顺应长江的自然演变规律,与人类社会长期协同进化形成协同共生体。长江生态大保护战略的提出,为长江经济带绿色发展指明了方向。三峡库区生态环境是长江生态大保护的关键,消落带恢复治

理是重中之重。在三峡库区消落带及滨江生态系统恢复治理中,重庆主城区长江段面临着极其严酷的环境胁迫,除了季节性大幅度水位变动(30 m落差的水位变幅)、冬季深水淹没外,夏季频繁的高含沙量洪水淹没、冲刷给生态修复带来了更为严峻的挑战。因此,重庆主城区长江消落带生态修复与景观优化工程是亟待解决的关键工程技术问题。

本论文以重庆主城区九龙外滩的滨江消

*基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目“山地城市水敏性区域草本植物群落适应性设计研究”(编号51808065);国家科技重大专项“汉丰湖流域生态防护带建设关键技术研究与示范”(编号2013ZX07104-004-05)。



图1 示范研究区域地理位置
资料来源:重庆千洲生态研究院提供。

落带为例,运用界面生态调控技术、立体生态空间建设技术和滨江消落带韧性景观修复技术进行研究实践。在前期规划设计的基础上,开展了九龙外滩340 m长的滨江消落带的生态景观修复示范研究。通过阶段性试验研究的综合评估,总结滨江消落带的生态修复与景观优化设计方法和技术,以期为具有季节性水位变化的城市滨江消落带生态修复和景观优化提供参考。

1 九龙外滩滨江消落带的挑战

九龙外滩位于长江干流主城区重庆九龙坡区九滨路东侧。九龙外滩的地理坐标介于北纬 $29^{\circ} 30' 32''$ — $29^{\circ} 32' 21''$,东经 $106^{\circ} 31' 25''$ — $106^{\circ} 31' 42''$ 之间,规

划总面积约 70 hm^2 ,呈南北走向(图1)。场地内部交通主要以马道形式沿江修建,一级马道位于 179 m 高程、二级马道位于 185 m 高程,中间用梯步将一二级马道连通。 175 m 高程以下为河漫滩区域。现状 165 — 174 m 为常年淤积并生长稀疏草本植物的区域,冬季被水淹,夏季频繁淹没。 174 — 178 m 为水泥砌筑岸坡,一级马道位于 178 m 高程。 178 — 185 m 为菱形水泥格框护坡,护坡上植物种类单一,入侵物种葎草蔓延。 185 — 191 m 为直立硬式挡墙。 191 m 为九龙外滩广场。硬质护坡整体观感单调,动植物栖息困难,生态结构完整性较差,生物多样性贫乏。

2006年三峡工程蓄水至 156 m ,2010年三峡工程完成 175 m 试验性蓄水,实行“蓄清排浑”的运行方式,即夏季低水位运行(145 m),冬季高水位运行(175 m)。因而,在 145 — 175 m 高程的库区两岸,形成与天然河流涨落季节相反、涨落幅度 30 m 的消落带。九龙外滩正是长江三峡库区消落带的一部分。九龙外滩在三峡水库蓄水 175 m 时,水位为 177 m ;枯水期水位为 160 m ,消落带高达 17 m ,与自然河流涨落季节相反。九龙外滩消落带的恢复治理不仅面临着反季节消落带水位变动的巨大挑战,消落带植物在冬季面临长时间被淹没以及违背植物自然生长规律的挑战,同时也面临着夏季频繁遭受洪水冲刷的严峻考验,重庆主城区长江段夏季常面临多次洪峰过境,洪峰流速快、冲刷力强、淹没范围广,水位高程变化快且

幅度大,对植物选种及固定是严峻的挑战。如何化害为利,最大程度地减缓消落带的不利影响,充分利用消落带治理的生态机遇,是九龙外滩消落带治理的艰巨任务。

2 滨江消落带设计策略

针对重庆长江主城区段消落带生态环境问题,结合九龙外滩段消落带生态特征,立足消落带向库岸稳定、景观美化优化、环境污染净化、生物多样性保育等多功能需求转变,重点突破冬水夏陆水位变动及夏季洪水冲刷的技术难题,构建“主城长江段消落带界面生态调控关键技术”“主城长江段滨江消落带韧性景观修复技术”“适应水位变化的主城长江段滨江立体生态空间建设技术”,建设长江三峡库区城镇消落带生态恢复治理及景观优化典范。

(1) 界面生态调控技术

九龙滨江区域是一个典型的生态界面,既是水陆相互作用界面、水位变动交错界面,也是一个城市与自然的界面,更是一个文化空间界面。应用界面生态调控理论进行九龙滨江界面的生态修复、管理,构建生态界面调控技术体系。基于对界面生态重要性的认识和界面生态特性,本文提出了界面生态调控技术的基本框架(图2)。

(2) 适应水位变化的滨江立体生态空间建设技术

针对不同季节水位变化,以及山地城市自身生态环境特征,构建不同高程的滨江岸坡生态带,形成顺应高程梯度的滨江立体生态空间结构。

(3) 滨江消落带韧性景观修复技术

强调韧性设计,采用韧性材料,实施韧性施工技术,构建韧性景观结构,提高场地对夏季洪水过境冲刷和冬季深水淹没的韧性应对能力及快速自我恢复能力。

3 滨江消落带设计方案

3.1 总体设计

总体设计是以消落带为主导的整体滨江生态系统设计和修复。依据水位变化,按高程

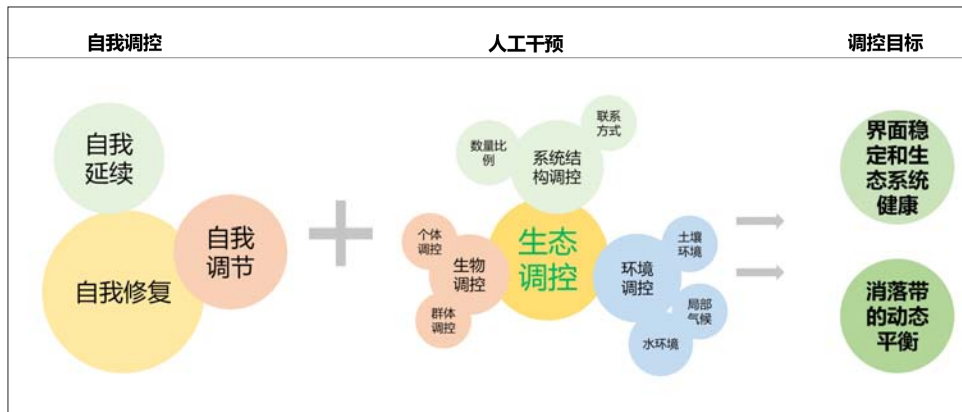


图2 界面生态调控技术基本框架
资料来源:重庆千洲生态研究院提供。

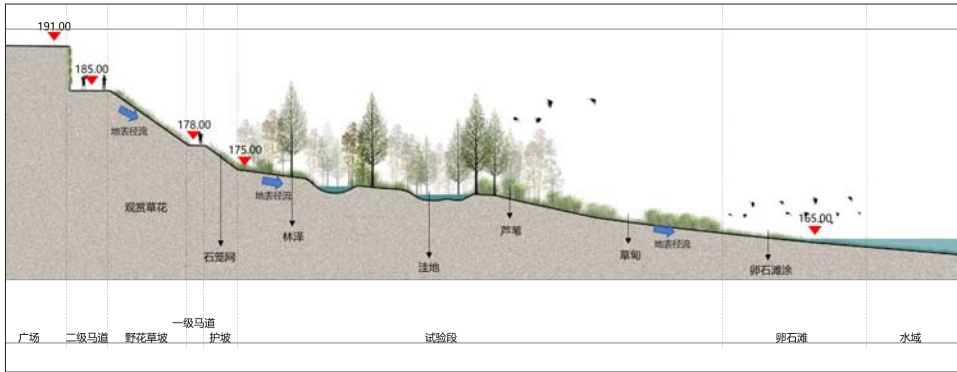


图3 示范研究区域分高程设计
资料来源:重庆千洲生态研究院提供。



图4 示范研究区域设计总平面图
资料来源:重庆千洲生态研究院提供。

分带设计(图3)。在165 m以下,以江滩自然保育为主,包括江滩生物多样性保育、水环境保护、江滩自然地貌保育,保留现有卵石滩、泥石滩、江湾、涡湖、水塘、江滩、洼地等湿地结构。在165—170 m之间以消落带自然恢复为主,主要为自然草本植被恢复,稀疏丛状种植秋华柳与芦苇,形成岛状的灌丛镶嵌斑块,丰富草滩的垂直结构。在170—175 m之间为消落带林泽生境带,对场地内部植被进行补植和优化,林泽植物种类的选择以竹柳、秋华柳、乌桕、中山杉、本地杨树、小乔木为主。175—178 m为一级硬质护坡生态优化带,设计为石笼网中间填充土壤基质,间插秋华柳等灌木对硬质防浪墙进行生态软化和柔性化修复。178—185 m为上部护坡野花草甸带,选用经试验段使用成活率较高的草本花卉进行护坡植物搭配,以混栽形式,结合成苗混栽及种子混播等

技术手段进行栽种,在较高高程栽种观赏效果好、生态服务功能优良的草本植物种类,增加群落多样性,创造多层次、多色彩、多季相的植物景观。为防止野花草甸下部在夏季洪水淹没冲刷期间的水土流失,采用创新性的地下立体生物网络进行稳固。185 m以上为垂直生态空间营建带,对垂直硬化墙进行绿化改造,主要采用攀爬式、悬垂式、板槽式、附架式、铺贴式、模块式、牵引式等垂直绿化方式,丰富垂直空间,提升景观观赏性与参与性(图4)。

3.2 施工及管护要点

(1) 地形塑造

利用小型挖掘机以及人工进行地形堆砌塑造,形成洼地和起伏的地形;并采用竹笼网、土工布以及树篱进行固土。

(2) 乔灌木栽种及固定

筛选栽种耐冬季水淹的植物,包括乔木中山杉、池杉、竹柳、落羽杉、乌桕,以及灌木秋华柳。为防止洪水冲刷,采用尼龙网和三角桩相结合的固定方法进行乔木土球固定,并采用三角木桩以及石笼网固树技术对栽种的树木进行加固。

(3) 花草种植措施

利用土工布将种植土稳固,并采用草花群落搭配的种植方式,将草花及观赏草种植于坡度较大的178—185 m高程的护坡上。栽种多年生草本花卉并进行草种混播。

(4) 后期管理维护措施

施工完成后,对项目地持续开展管理维护;加强生态监测,包括记录每天水位变化、植物生长状况等。

4 建设成效评估

示范研究工程于2018年5月31日竣工。一期示范项目完成后,正值夏季多雨季节,洪峰过境对场地带来了巨大的考验。整个夏季共经历5次洪峰过境。栽种于172—174 m的林泽淹没最长时间达9天,栽种于172 m以下的林泽淹没最长时间为35天,栽种于178—180 m之间的花草淹没最长时间达4天。洪峰过境时间长、冲刷力度大,造成部分乔木死亡以及部分草本花卉的脱落与死亡,但试验段整体工程经受住了洪峰过境冲刷、深水淹没等严峻考验,特别是工程采用的三角桩及石笼网固树技术,使得林泽工程的树木全部稳固。通过持续跟踪监测,存活的林泽树木已成为鸟类的良好栖息生境。178—185 m高程的坡地区域野花绽开。洪峰过境后,试验段区域与周边的裸滩形成鲜明对比,生物多样性丰富,而对照裸滩生物多样性贫乏(图5-图9)。

165—175 m消落带的植物,经受住了洪水冲刷的考验,植物稳固性良好;证明试验段工程所研发的创新性三角桩固定技术、石笼网固定技术在干流主河道河滩上的木本植物种植方面,具有良好的稳固效果。

178—185 m滨江护坡陡壁野花草甸的营建中,运用了土工布护坡固土技术、树篱固土、



a) 修复前护坡



b) 夏季经历180.75m水位洪水淹没



c) 洪水部分退却后植物生长情况及护坡景观

图5 示范研究段修复前后变化
资料来源:笔者现场拍摄。

竹笼网固土及地下生物网络固土技术,经历多次洪水淹没冲刷,洪水退却后,滨江陡坡固土技术效果良好。

试验段示范工程应对夏季植物生长季节高含沙量的洪水淹没(甚至是没顶淹没),以及已经来临的冬季淹没,成功筛选了耐淹性极强的一批植物种类,包括竹柳、中山杉、落雨杉、乌桕、秋华柳、狗牙根、香附子,其中乌桕、秋华柳、香附子是本团队首次发现并运用于消落带的物种,奠定了消落带治理及景观优化的生态工程物种库基础,上述植物是能够耐受夏季高含沙量洪水冲刷淹没、冬季深水淹没的优良工程物种。

界面生态调控技术初见成效。目前,界面生态体系结构完整,生物多样性较为丰富,表现了较好的生态服务功能。滨江消落带韧性景观修复技术得到了初步成功运用,面临持续不断的洪水冲刷淹没及高温干旱交替的逆境,无论是植物种类,还是植被,以及生境结构,都表现出了良好的韧性适应。通过运用适应水位变化的滨江立体生态空间建设技术,试验段滨江立体生态空间格局初步呈现。

5 结语

示范研究表明,重庆主城长江段消落带最大的问题是夏季长时间反复被洪水淹没冲刷的逆境胁迫。示范研究筛选出了耐夏季洪水淹没和冲刷优良工程物种,如秋华柳、竹柳、乌桕等。面临持续不断的洪水冲刷淹没及高温干旱交替的逆境,无论是植物种类,还是植被结构,都表现出了良好的韧性适应。通过运用适应水



图6 经历夏季洪水没顶淹没出露后生长良好的乔木树种

资料来源:笔者现场拍摄。



图8 示范段景观层次优良的滨江立体生境

资料来源:笔者现场拍摄。



图7 优良的耐淹植物秋华柳在经历洪水淹没后生长良好(2018年夏季先后经历了33天没顶淹没,其中最长时间连续淹没22天)

资料来源:笔者现场拍摄。



图9 经历了夏季洪水淹没考验的消落带韧性生物结构——竹柳—秋华柳—香附子群落

资料来源:笔者现场拍摄。

位变化的滨江立体生态空间建设技术,试验段滨江立体生态空间格局初步呈现。示范研究拓展和创新了逆境生态修复技术,构建了三峡库区城镇消落带生态修复与景观优化技术。对消落带生态修复中的地形塑造还需要结合水动力及泥沙条件进一步优化。野花草甸护坡带的部分草本花卉及观赏草的耐水湿性还需要深入探究。下一步将在充分吸取示范研究经验的基础上,创新消落带生态恢复的技术体系和多功能途径,将九龙外滩消落带生态恢复治理工

程建成适应夏季洪水冲刷淹没和冬季蓄水淹没的韧性生态系统,将九龙外滩建设成为长江生态大保护的示范样板,成为长江经济带生态江岸营建与城市人居环境质量优化协同共生的样板。

参考文献 References

- [1] CHEN S G, IMPENS I, CEULEMANS R, et al. Measurement of gap fraction of fractal generated canopies using digital image analysis[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1993, 65 (3-4): 245-259.
- [2] 吴刚, 李静, 邓红兵. 农林生态系统界面生态学初探[J]. *应用生态学报*, 2000, 11 (3): 459-460.
WU Gang, LI Jing, DENG Hongbing. Primary research on interface ecology in agroforestry ecosystems[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (3): 459-460.
- [3] 王云才, 张英, 王丽莹. 中小尺度生态界面的图式语言及应用[J]. *中国园林*, 2014 (9): 46-50.
WANG Yuncai, ZHANG Ying, WANG Liying. The pattern language and its application in meso- and micro-scale eco-interface[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2014 (9): 46-50.
- [4] BELL S. *Landscape: pattern, perception and process*[M]. London: Taylor & Francis group, 1999.
- [5] YUAN X Z, ZHANG Y W, LIU H, et al. The littoral zone in the Three Gorges Reservoir, China: challenges and opportunities[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, 20 (10): 7092-7102.
- [6] MITSCH W J, LU J J, YUAN X Z. Optimizing ecosystem services in China[J]. *Science*, 2008, 322 (5901): 528.
- [7] 王强, 袁兴中, 刘红. 三峡水库156m蓄水后消落带新生湿地植物群落[J]. *生态学杂志*, 2009, 28 (11): 2183-2188.
WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong. Plant communities in newly created wetlands in water-level fluctuation zone of Three Gorges Reservoir after flooding to 156 m height[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28 (11): 2183-2188.
-
- 上接第107页
- facilities distribution on the price of commercial property[D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University, 2016.
- [3] 曾祎瑾, 周红. 厦门市房价空间分布与基础设施水平关系的研究[J]. *工程管理学报*, 2017 (1): 146-152.
ZENG Yijin, ZHOU Hong. Research on the relationship between spatial distribution of housing price and infrastructure level [J]. *Journal of Engineering Management*, 2017 (1): 146-152.
- [4] HAURIN D R, BRASINGTON D. School quality and real house prices: inter-and intrametropolitan effects[J]. *Journal of Housing Economics*, 1996, 5(4): 351-368.
- [5] STEVENSON S. New empirical evidence on heteroscedasticity in hedonic housing model[J]. *Journal of Housing Economics*, 2004 (13): 136-153.
- [6] ROSIERS F D, LAGANA A, THERIAULT M, et al. Shopping centers and house values: an empirical investigation[J]. *Journal of Property Valuation and Investment*, 1996, 14 (4): 41-62.
- [7] GLASCOCK J L, 丰雷, 刘迎梅, 等. 公共交通易达性对香港房价的影响分析——Hedonic模型的应用[J]. *统计与决策*, 2011 (3): 30-33.
GLASCOCK J L, FENG Lei, LIU Yingmei, et al. Analysis of the impact of public transport accessibility on Hong Kong's housing prices: the application of Hedonic Model[J]. *Statistics and Decision*, 2011 (3): 30-33.
- [8] 任辉. 南京市住宅地价空间分异及其驱动的实证研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
REN Hui. Empirical research on the spatial variation of urban housing price and its driving in Nanjing[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.
- [9] 陈笑双. 基于GIS的商品住宅价格空间分布研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2013.
CHEN Xiaoshuang. Study on the spatial distribution of commercial housing price by GIS[D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2013.
- [10] 赵婷, 杨旭艳. 黄土高原降水量空间插值方法研究[J]. *地下水*, 2012, 34 (2): 189-191.
ZHAO Ting, YANG Xuyan. Research on spatial interpolation methods of annual average precipitation on Loess Plateau[J]. *Ground Water*, 2012, 34(2): 189-191.
- [11] 谷兴, 周丽青. 基于地理加权回归的武汉市住宅房价空间分异及其影响因素分析[J]. *国土与自然资源研究*, 2015 (3): 63-68.
GU Xing, ZHOU Liqing. Spatial differentiation and influencing factors of Wuhan's housing price based on GWR model[J]. *Research on Land and Natural Resources*, 2015(3): 63-68.
- [12] 刘贵文, 王丽娟. 城市住房价格影响因素及其空间规律研究——基于地理加权回归模型的实证分析[J]. *技术经济与管理研究*, 2013 (9): 81-86.
LIU Guiwen, WANG Lijuan. Factors and spatial variation research of housing price-based on geographically weighted regression model[J]. *Research on Technology Economy and Management*, 2013(9): 81-86.