

城市滨水空间生态修复循证设计研究

Research on Evidence-based Design of Ecological Restoration in Urban Waterfront Space

陈俊延^{1,2} 丁 纯³ 陈凯扬³ 王 敏^{2,4*} 汪洁琼^{2,4} 王蓉蓉^{2,5}
CHEN Junyan^{1,2} DING Chun³ CHEN Kaiyang³ WANG Min^{2,4*} WANG Jieqiong^{2,4} WANG Rongrong^{2,5}

(1. 广州市城市规划勘测设计研究院有限公司, 广州 510060; 2. 高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室(同济大学)水绿生态智能分实验室, 上海 200092; 3. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200082; 4. 同济大学建筑与城市规划学院, 上海 200092; 5. 上海市园林设计研究总院, 上海 200333)

(1. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute CO., Ltd. (GZPI), Guangzhou, Guangdong, China, 510060; 2. Eco-Smart Lab Attached to Ministry of Education Key Laboratory of Ecology and Energy-Saving Study of High Density Habitat (Tongji University), Shanghai, China, 200092; 3. Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd., Shanghai, China, 200082; 4. College of Architecture and Urban Planning, Tongji University, Shanghai, China, 200092; 5. Shanghai Landscape Architecture Design & Research Institute CO., Ltd., Shanghai, China, 200333)

文章编号: 1000-0283(2024)12-0042-07

DOI: 10.12193/j.laing.2024.12.0042.005

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2024-03-07

修回日期: 2024-04-22

摘要

生态文明建设与城市绿色转型背景下, 在城市重要生态空间的景观设计中融入生态修复理念成为大势所趋。为了保证方案切实达到生态修复目标, 景观生态修复实践应引入科学解释和客观可度量的循证设计理念。聚焦城市滨水空间的生态修复, 通过梳理归纳支撑循证设计的数据、技术与手段, 构建基于循证设计理念的城市滨水空间生态修复四维概念框架, 即基于在地性因素的水生态实测数据分析、基于创新型技术的水生态效数字模拟、基于指导性要求的水生态工程设计标准、基于多学科知识的水生态系统服务供给。以台州市椒江南岸闸口公园为例, 阐述强调生态修复的城市滨水空间设计如何通过循证方法得到科学、合理、效益最大化的设计方案, 旨在为其他城市滨水空间生态修复循证设计提供思路与教学、实践范例。

关键词

风景园林; 生态修复; 循证设计; 城市滨水空间; 景观生态设计

Abstract

Under the background of ecological civilization construction and green transformation, it has become a general trend to integrate the concept of ecological restoration into the landscape design of urban ecological space. To achieve the goal of ecological restoration, landscape ecological restoration should introduce evidence-based design concepts that can be measured objectively. The research focuses on the ecological restoration of urban waterfront space and constructs a four-dimensional conceptual framework based on evidence-based design. That is, water ecological measurement data analysis based on local factors, digital simulation of water ecological effects based on innovative technologies, design standards for water ecological engineering based on guiding requirements, and supply of water ecological system services based on multidisciplinary knowledge. Taking Sluice Gate Park on the South Bank of Jiaojiang River in Taizhou as an example, this study expounds how urban waterfront space design emphasizing ecological restoration can obtain a scientific, reasonable, and cost-effective design scheme through evidence-based methods, aiming to provide ideas and teaching and practical examples for other urban waterfront space ecological restoration.

Keywords

landscape architecture; ecological restoration; evidence-based design; urban waterfront space; landscape ecological design

基金项目:

国家自然科学基金面上项目“基于多重价值协同的城市绿地空间格局优化机制: 以上海大都市圈为例”(编号: 52178053); 2023年同济大学研究生教育研究与改革重点项目“‘三新’背景下为职业能力成长赋能的建筑类专业学位人才培养与学位标准探索”(编号: 2023ZD01); 2023年上海高校本科重点教改项目“建筑类专业企业导师协同育人的深化探索”; 2023年上海市研究生教学改革项目“建筑规划景观研究生一流人才培养的产教融合创新探索”; 2024年同济大学研究生课程“知识+能力”图谱建设项目《风景园林前沿实践》(编号: 2024KCTP02)

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: wmin@tongji.edu.cn

当前中国将生态文明建设作为改善人民福祉的大计,为更好地践行开放、绿色、共享、创新、协调的新发展理念,需更多地从生态修复角度入手,改善地区生态环境,强调城市“绿色”转型与可持续发展。在城市重要生态空间的景观设计中融入生态修复理念成为大势所趋。

当前已有较多研究关注景观生态修复领域,科研与教学过程中对风景园林综合性的重视度在逐渐加深。然而,相关实践中景观设计与生态修复技术的融合仍然存在两种常见的缺口:(1)主观演绎与感性创作占主导,局限于“生态的景观一定会展现出绿色的外表”的经验主义,仅限于单一绿化覆盖、自然材料的应用,缺少硬核的生态知识与真正的生态设计手段,无法达到实际的生态效益,景观生态修复流于表面化包装^[1]。(2)有强烈的生态意识和生态追求,采用“海绵城市”“绿色基础设施”等生态理念,部分实践缺乏科学的量化数据作为支撑、没有完整遵循各类标准,仅是生搬硬套,虽能在短期内产生一定效果,但难以长期维持^[2]。

针对以上问题,以生态修复为导向的景观设计应向以科学解释和客观可度量为代表的循证设计方向转变。循证设计是一种以客观度量标准和系统的循证知识为基础的设计方法^[3],是传统设计的有力补充。传统设计往往带有一定的主观性与经验主义,而循证设计主要依据科学的设计方法,通过搭建逻辑链的方式,强化设计要素与各类信息、各学科知识之间的关联,从而确保决策的合理性,把控整体设计质量。循证设计最早源于“循证医学”(Evidence-Based Medicine)^[4],国内较早由建筑领域引入相关理念,一开始聚焦于康复景观,且辨析循证概念与构建循证设计途径方面的研究较多^[5]。近年来逐步出现结合不同方向、多源数据的项目应用,这标志着循证设计从概念性的理论指导向多元化的实践应用转变。其中不乏生态系统数据监测、生态效应软件模拟、场地勘察与生态工程技术创新等生态修复方面的循证设计应用研究^[6-8],在生态修复项目中景观专业与勘察测绘、环境工程等专业的多学科合作也逐渐推广。由此可见,循证设计思想在景观生态修复领域已有相对成功的应用实例,并发展出信息量化、技术革新、学科交叉等多种手段。

城市滨水空间既是居民休闲活动的重要开放空间,也是城市水陆生态系统间资源流动、物种循环的重要通道,其具有的复合空间的复杂特征使其同时承载着不同功能,能够提供多种生态系统服务,属于景观生态修复的主要对象,不可“重工程”而“轻生态”。当前,国内对滨水空间的更新改造正如火如荼^[9],对于生态价值的考虑也随着

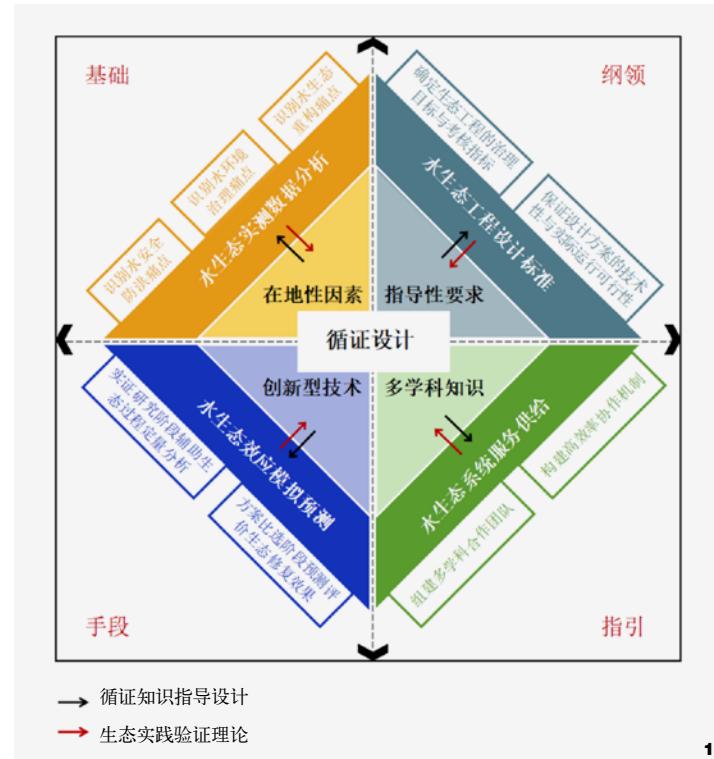


图1 生态修复四维概念框架
Fig. 1 Four-dimensional conceptual framework for ecological restoration

绿色低碳、环境友好等理念的传播而逐年加强,为了保证生态实践成果高质量发展,有必要在城市滨水空间生态修复中引入循证设计思想,打造功能性提升的城市滨水空间。基于此,研究聚焦于城市滨水空间的生态修复,通过梳理归纳支撑循证设计的数据、技术与手段,着眼于构建基于循证设计思想的城市滨水空间生态修复四维概念框架,构建可指导景观生态修复相关实践的知识体系与设计模式,开拓与丰富风景园林理论,并选取台州市椒江南岸闸口公园为实证案例,通过生态实践进行验证。

1 基于循证设计思想的城市滨水空间生态修复四维概念框架

研究提出基于循证设计思想的城市滨水空间生态修复概念框架(图1),包含三个层面:(1)厘清何为循证设计所说的“依据”,以及其所包含的类别;(2)阐述循证依据是如何为实践提供指导,明确在城市滨水空间生态修复工作内容中从收集“依据”到导出“决策”的4类主要路径;(3)探寻循证设计思想与城市滨水空间生态修复实践的全过程融合,并阐明二者之间相互影响的闭环关系。

1.1 循证依据类型及其应用

城市滨水空间生态修复循证设计所依据的信息以准确性、可量化为主要特征。通过梳理当前滨水空间生态修复相关的研究成果与实践经验发现^[10-14], 参照依据主要包括在地性因素、指导性要求、创新型技术、多学科知识4大类型, 分别从基础、手段、纲领、指引4个维度为实践过程提供一定的技术支持与参考, 帮助作出判断与选择。

(1) 在地性因素包含需求侧信息与供给侧信息。一方面摸清自然基底, 从而了解场地潜力, 相关依据以精细化的场地特质信息为主, 如城市滨水空间所处的片区生态网络布局、场地高程数据、水位数据与防洪标高、植被覆盖率等; 一方面调研公众需求, 从而明确场地定位, 相关依据包括区域人口结构统计数据、周边产业类型统计数据、场地热力图等非物质信息。在地性因素对城市滨水空间生态修复的指导主要表现为为水生态实测数据分析提供基础。后者采用数据搜集、统计、分析等手段深入挖掘现状情况并获取定量信息作为循证依据, 对现场调研与收集资料获得的场地信息作进一步推导与判断, 从而识别出生态问题、需求及修复目标, 如依据暴雨洪水监测数据及海绵设施占比识别水安全防洪痛点; 依据水质监测数据及控源截污城市基础设施情况识别水环境治理痛点; 依据水生生物调查结果及场地生境质量评价识别水生态重构痛点等^[15-19]。

(2) 创新型技术指借助计算机技术的GIS、遥感、遥测、多媒体、互联网、人工智能、虚拟仿真等一系列新型技术^[20]。创新型技术对城市滨水空间生态修复的指导主要表现为为水生态效应模拟预测提供手段。水生态效应模拟预测一方面可作为实证研究阶段定量分析的辅助方法, 如利用ArcGIS工具进行

滨水空间的水文分析、利用SWMM工具进行场地雨洪模拟^[21]; 另一方面通过数字模拟构建对实施效果可信的分析与预判, 增加方案设计依据的可靠性与科学性, 指导方案比选与优化, 如利用Delft3D工具进行设计方案的水体污染物扩散模拟^[2]、利用INVEST工具预测设计后的滨水空间生态系统服务^[22]。

(3) 指导性要求往往是可信度与约束力最强的底层循证知识, 具有一定的技术含量, 包括专项规划、设计导则、技术规范等。指导性要求对城市滨水空间生态修复的指导主要表现为为水生态工程设计标准提供可信的纲领。后者主要作为把控因素在城市滨水空间生态修复中指导方案设计, 一方面关乎如何确定滨水空间生态工程的治理目标与考核指标, 另一方面关乎如何从技术上保证设计方案的实际运行, 与后期实施进行一定衔接。例如: 依据海绵城市专项规划规定的雨水年径流总量控制率和设计降雨量等构建海绵城市响应工程, 依据地表水环境质量标准及人工湿地污水处理工程技术规范等设计科学化、可运行的人工湿地工程等^[23]。

(4) 多学科知识指不同专业学科交叉、跨界、协同构成的循证知识体系及决策智囊。多学科知识对城市滨水空间生态修复的指导主要表现为为水生态系统服务供给提供指引。众所周知, 城市滨水空间能够提供水质净化、雨洪管理、支持生物多样性、提供自然教育等多种生态系统服务^[24-25], 其中不乏相互制约的服务类型, 而如何实现城市滨水空间生态系统服务最大化、生态修复与公共活动协调发展是城市双修背景下最为强调的价值观取向, 势必运用到多学科视角及不同领域的专业知识来指引该目标的实现。风景园林师的角色要从单一立场的景观知识提供者, 转化为学科融合的组织者与参与者,

在把握本学科空间形态营造核心的同时, 积极促进与生态、地理、环境工程、植物等多专业的学科进行深度的信息交换, 构建全面、深入、多角度的循证知识体系, 如组建视角全面、技术领先的多学科合作团队, 构建与项目流程紧密贴合的高效率协作机制等。

1.2 循证设计与城市滨水空间生态修复的全过程融合

在实践应用之中, 完整的城市滨水空间生态修复项目通常包括前期准备、方案设计、方案实施及跟踪监测等多个阶段。前期准备工作主要是“循证依据收集阶段”, 通过广泛收集实测数据、整理相关规范要求、选定所需技术方法及构建高效率合作交流机制, 为循证设计积累依据、夯实基础。方案设计阶段包括生态问题诊断、提出生态策略、确定解决方案、方案比选及优化, 是循证思想占据主导位置的“循证设计指导阶段”。此阶段已有的循证知识通过前文所述的“提供设计基础、提供预测手段、提供技术纲领、提供价值指引”四维路径直接影响一系列决策, 是对已有信息及知识的最大化利用。方案实施及跟踪监测阶段则为“循证设计验证阶段”, 城市滨水空间生态实践的效果作为理论的验证、用实证数据与实际经验反哺知识体系^[26], 从而完成从理论到应用的跃变, 形成一套不断自我完善的设计流程, 具有可持续发展意义(图2)。

2 台州市椒江南岸闸口公园的生态修复实践

2020年台州市提出启动“海塘安澜”“百项千亿”防洪排涝工程建设, 推动椒江城东堤塘治理。椒江南岸滨水空间位于台州市椒江南岸, 是“海塘安澜”千亿工程的重要组成部分, 闸口公园作为示范段一期工程, 于

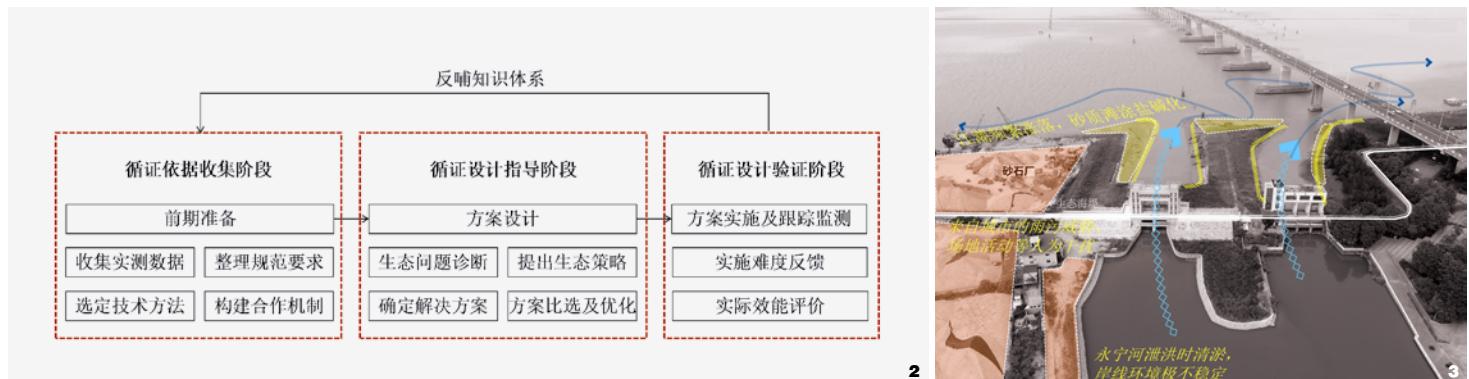


图2 循证设计与城市滨水空间生态修复的全过程融合
Fig. 2 The full process integration of evidence-based design ideas and ecological restoration practices in urban waterfront spaces

图3 基地条件分析
Fig. 3 Analysis of site conditions

2022年秋向公众开放。

项目近椒江入海口，受到径流与潮流双重作用，具有水陆相交的高敏感性，因此有必要结合城市景观更新的机会开展滨水空间的生态修复工作。堤外与堤内环境都面临着景观生态修复的挑战（图3）：（1）堤外环境面临高风险性问题，消落带面临岸线侵蚀、风暴潮、盐碱化等自然环境挑战，而当前场地呈现植被单一、生境单一的现状，未能形成有效的绿色弹性屏障；（2）堤内环境面临高干扰度问题，受到来自城市的雨污威胁、场地活动等滨江公共空间人为干扰，在满足公众游憩与生态环境修复之间存在一定矛盾。

针对以上挑战，椒江南岸滨水空间的生态修复引入了循证设计思想，分为两个方面：（1）堤外环境聚焦于消落带植被生态恢复，通过以自然恢复为主、人工干预为辅的植被恢复措施完成种植群落的适应性生态重构，形成自我调节和自我修复的高韧性动态岸线景观；（2）堤内环境聚焦于构建多级湿地净化体系，既回应了场地为城市居民提供亲水游憩机会的需求，同时也运用生态设计手段构建了蓄滞净用的海绵系统。

2.1 堤内多级湿地净化体系构建

（1）依据基地的水质检测数据，从符合规范的角度指导湿地主要处理工艺比选。通过前期的场地踏勘，确定了多级人工湿地就近从永宁河取水，经湿地与消毒设备处理后用于景观池，再通过处理汇入椒江。取官方实测的永宁河水质检测数据作为进水水质，参照椒江管理规范取现行国家标准《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）中规定的Ⅲ类标准作为出水水质设计目标，将污染物去除率比对《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ 2005-2010）中规定的参考值，符合水平潜流人工湿地的污染物去除率规范范围（表1）。考虑到不同湿地类型的净化效力及经济性，选择水平潜流人工湿地作为主要处理工艺，结合二次净化辅助工艺，最终确定了“水平潜流人工湿地+表面流人

工湿地+沉水植物塘”的组合工艺。

（2）依据技术规范，在多学科合作机制下以生态技术与审美的统一为原则进行水平潜流人工湿地的方案比选。设计步骤包括设计参数核算、湿地形态生成、设计细节优化。参数核算方面，从场地内绿化浇灌回用要求及儿童嬉水池用水要求等需求方面考虑确定设计流量，再综合考虑人工湿地可用面积及水力负荷进一步确定湿地总面积，见公式（1）（2），并核算水力停留时间，见公式（3），确保湿地净化效能，所有公式参考《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ 2005-2010）。

$$A = Q (C_0 - C_1) / N \quad (1)$$

$$A = Q / N q \quad (2)$$

$$HRT = (V * \epsilon) / Q \quad (3)$$

式中， A 为人工湿地面积， m^2 ； Q 为进水流量， m^3/d ； C_0 为进水COD浓度， mg/L ；

表1 污染物去除率数值比对
Tab. 1 Numerical comparison of pollutant removal rates

污染物 Pollutant	水平潜流人工湿地规范值 /% Standard values for horizontal subsurface flow constructed wetlands	闸口公园湿地设计值 /% Design value of wetland in Sluice Gate Park
COD	55 ~ 77	58
氨氮	40 ~ 70	62
TP	70 ~ 80	75

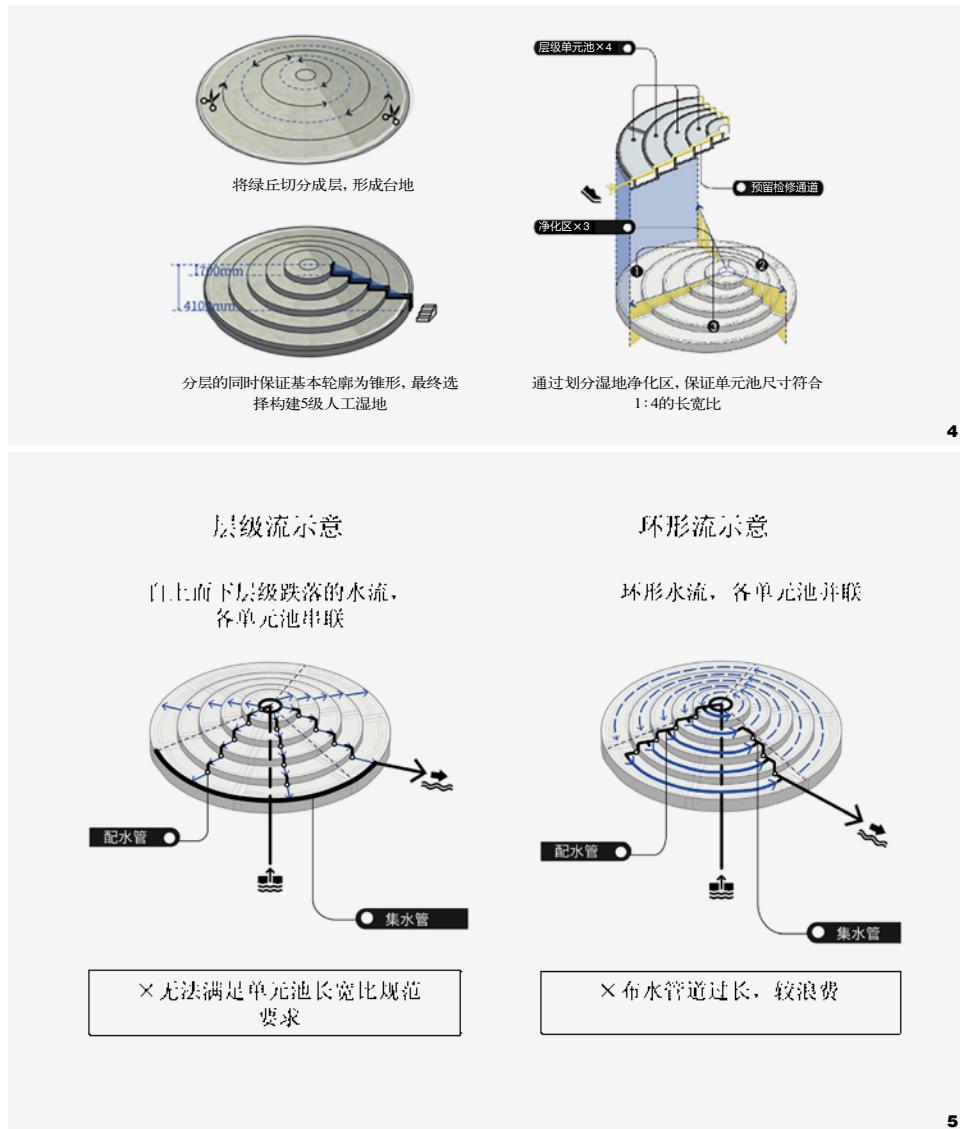


图4 水平潜流人工湿地形态生成
Fig. 4 Morphological generation of horizontal subsurface flow constructed wetlands

图5 水平潜流人工湿地设计细节优化
Fig. 5 Optimization of design details for horizontal subsurface flow constructed wetlands

CI 为出水COD浓度, mg/L ; N 为污染物负荷, $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; Nq 为水力负荷, $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; HRT 为水力停留时间, d ; V 为人工湿地基质在自然状态下的体积, m^3 ; ε 为孔隙率, $\%$; Q 为人工湿地设计水量, m^3/d 。

湿地形态生成方面, 传统的水平潜流人工湿地形态较为简单, 但闸口公园为使湿地

节点形态能融入整体景观方案采用的“圆弧”设计语言, 需要对水平潜流人工湿地进行形式上的创新。同时, 相关规范要求湿地净化区必须保证单元池尺寸符合1:4的长宽比。综合生态技术与审美的统一考虑, 将湿地划分为5层的同心圆创新型湿地形式, 每层再通过三分法进一步划分为长宽比符合标准的

单元池, 同时分层抬升, 利用重力加强湿地水流动力(图4)。

设计细节优化方面, 针对湿地单元进出水方式, 目前水平潜流人工湿地较常见做法为“层级流”与“环形流”, 前者特征为自上而下层级跌落、各单元池串联, 但在项目场地中这种方式无法满足单元池长宽比规范要求; 后者采用环形水流、各单元池并联, 但布水管道过长, 较浪费。经多学科合作, 项目最终采用“蛇形流”为特征的做法。该做法采用各单元池串联、迂回的形式, 水流方向通过头尾布置的集水管、配水管沿环形流动保证单元池长宽比符合规范, 净化后通过管道排入表面流人工湿地(图5)。“蛇形流”方案极大地节约了管道, 提高施工方便性及经济性, 因此成为最优方案。

(3) 以数字景观技术工具的模拟净化效果作为主要依据, 进行表面流人工湿地的方案优化比选。表面流人工湿地的池底地形会影响水体垂直方向的循环与流动, 从而使得污染物的处理效果不同, 故引入数字模拟技术辅助方案的选择。设计团队与环境工程专业合作, 采用Delft3D三维水动力计算软件进行不同地形方案情况模拟(图6)。经分析, 增加了水生植物圆岛的方案二比基础无岛地形方案效果要有利, 原因是在本项目表面流湿地形态受限的情况下, 可以部分加强水动力弱化死角区域, 在景观效果和净化需求间取得平衡。

2.2 堤外消落带植被生态恢复

(1) 依据实测数据与模拟结果划分消落带, 剔清消落带在水文变化影响下不同高程的种植条件。结合椒江水文站2020年的每月水位数据(图7), 将堤外环境进一步划分为陆生区域段、偶尔淹没段、月频淹没段、日

常涨落段、长期淹没段、永久淹没段, 为下一步设计提供参考。

(2) 方案设计阶段主要结合消落带的生态条件划分种植分区, 并从多学科价值协同角度出发深化考虑植物选种。构建应对潮水涨落的分层植物群落, 并选择生态功能侧重不同的植物应对各自需求: 标高-1 m以下的区域常年水深1.4~1.9 m, 挺水植物难以生长, 划分为沉水植物区, 为水生动物提供庇护所; 标高-1~3.71 m区域属于月频淹没与日常涨落段, 其中, 靠近水闸行洪通道两侧的区域划分为种植深根系耐冲刷植物的泄洪冲刷区, 北面受椒江涨潮淤积作用的区域划分为种植耐盐碱固滩先锋植物的潮滩淤积区(图8)。以平衡观赏价值与生态价值为原则, 从符合要求的抗逆植物中进一步选择景观观赏效果较好的盐地碱蓬、芦竹等(图9)。

3 结语

在新一轮城市更新与发展背景下, 以新数据、新技术为手段探索典型脆弱生境修复与生态安全格局构建具有重要意义, 在城市滨水生态空间综合效能优化方面引入循证设计理念有望带来新的突破。研究梳理归纳支撑循证设计的数据、技术与手段, 构建基于循证设计理念的城市滨水空间生态修复四维概念框架, 以台州市椒江南岸闸口公园为例, 阐述城市滨水空间设计如何通过循证方法得到科学、合理、效益最大化的生态修复方案, 为其他城市滨水空间生态修复循证设计提供思路与教学、实践范例。研究表明, 在地性信息以精细化的实测数据作为设计基础, 创新型技术为水生态效应模拟预测提供手段, 指导性要求为水生态工程设计标准提供纲

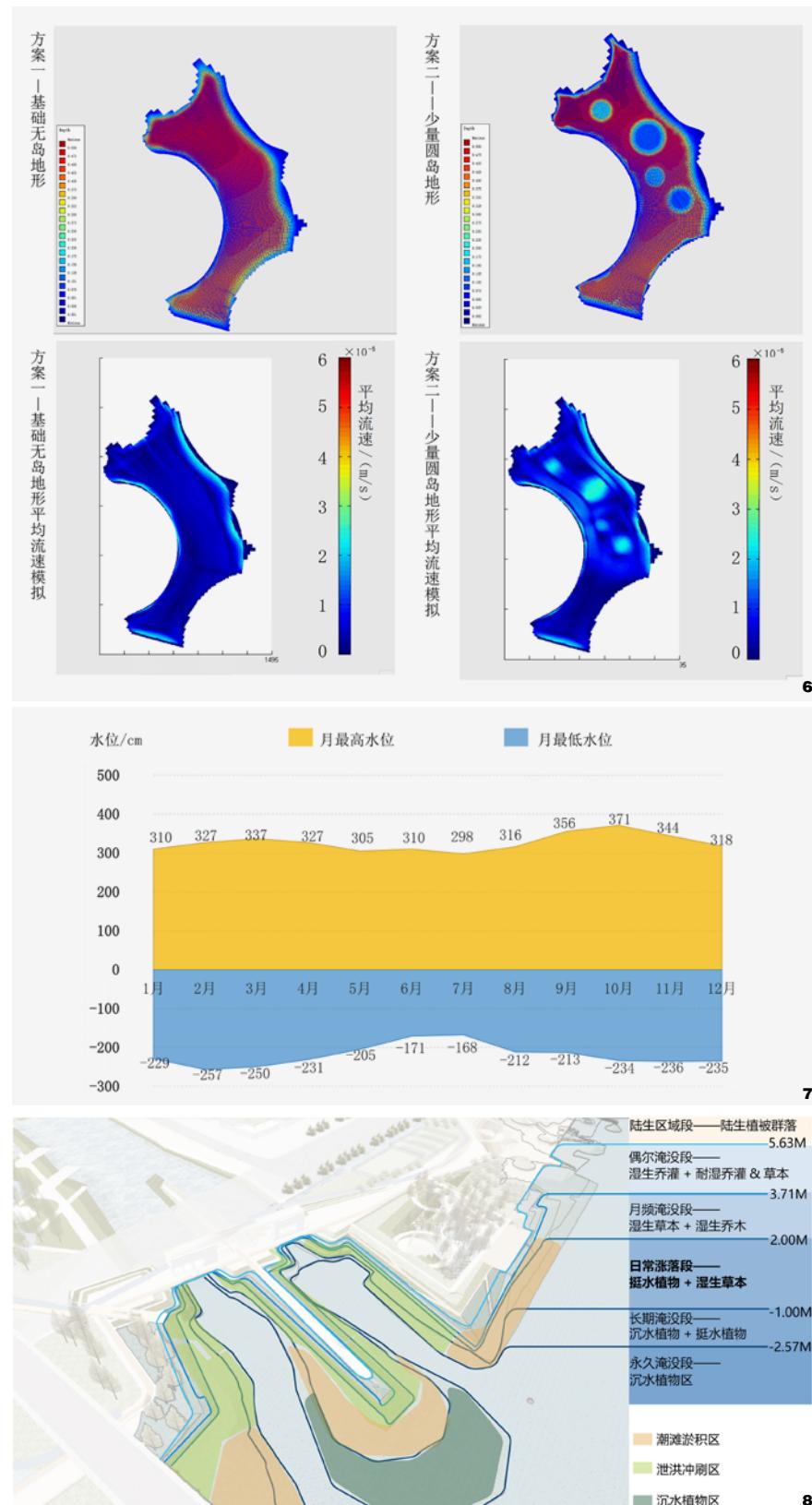


图6 表面流人工湿地不同地形方案水动力情况模拟

Fig. 6 Simulation of hydrodynamic conditions in different terrain schemes of surface flow constructed wetlands

图7 椒江水位监测数据

Fig. 7 Water level monitoring data of Jiaojiang River

图8 消落带生态种植分区

Fig. 8 Planting zoning in the subsidence zone



图9 闸口公园生态修复效果前后对比
Fig. 9 Ecological restoration effect of Sluice Gate Park

领, 多学科知识为水生态系统服务供给最大化提供指引, 不同维度的循证依据共同推进生态修复实践的科学性、实效性。

此外, 基于循证设计的生态修复在实践应用中仍存在着许多不成熟之处: (1) 创新型技术的应用停留在科学层面, 转化为具体设计的过程存在技术理解上的瓶颈, 往往表现为分析结论与设计方案的割裂; (2) 跨学科合作带来的复杂协调问题有可能影响效率。风景园林被越来越多的学科所渗透已是不可逆转的发展趋势, 需要更完善的合作体系来解决不同立场带来的冲突。未来应进一步研究由参考依据落实到设计内容这一阶段的方案生成过程, 明确应对各种生态矛盾的生态设计科学手段, 同时吸取共同合作的经验, 构建更专业、科学、理性的学科合作方法, 发挥景观生态方向研究者的牵头作用, 协调并传达不同团队的关注要点和诉求, 从而完善生态修复循证设计的实施路径, 促进

循证设计方法在滨水空间生态修复实践的广泛应用。 

注: 文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] 王向荣. 生态无需表达[J]. 风景园林, 2018, 25(01): 4-5.
- [2] 汪洁琼, 陈奕, 毛永青, 等. 基于Delft3D污染物扩散模拟的城市湖泊景观水体三维形态循证设计[J]. 中国园林, 2021, 37(05): 44-49.
- [3] 陈筝, 帕特里克A·米勒. 走向循证的风景园林: 美国科研发展及启示[J]. 中国园林, 2013, 29(12): 48-51.
- [4] ULRICH R S. View Through a Window May Influence Recovery from Surgery[J]. Science, 1984, 224(4647): 420-421.
- [5] 尹国斌. 风景园林循证设计研究——以大堤公园为例[J]. 中国住宅设施, 2023(08): 49-53.
- [6] 张楚晗. 赣江“S湾”活水岸公园: 自然驱动的河流景观生态修复实践[J]. 景观设计学, 2020, 8(03): 114-129.
- [7] 张琳, 李飞鹏, 张海平. 基于数值模拟的城市景观水体生态设计研究——以广西苍海湖为例[J]. 中国园林, 2015, 31(10): 76-80.
- [8] 孟凡玉, 朱育帆. “废地”、设计、技术的共语——论上海辰山植物园矿坑花园的设计与营建[J]. 中国园林, 2017, 33(06): 39-47.
- [9] 王敏, 叶沁妍, 汪洁琼. 城市双修导向下滨水空间更新发展与范式转变: 苏州河与埃姆歇河的分析与启示[J]. 中国园林, 2019, 35(11): 24-29.
- [10] 马浩然, 宋春丽, 齐莎莎. 生态修复理念下的滨水绿色空间设计——以三亚市两河及丰兴隆生态公园为例[J]. 城乡规划, 2017(03): 68-75.
- [11] 陈竞珠. 韧性城市理论下河流蓝绿空间融合策略研究[J]. 规划师, 2020, 36(14): 5-10.
- [12] 文闪闪, 王有春, 张圆, 等. 新时代河湖水生态工程治理关键技术发展与应用[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(03): 89-91.
- [13] 李雁鹏, 吴玮, 张如锋, 等. MIKE11模型在河道生态修复方案优选中的应用[J]. 水电能源科学, 2019, 37(11): 41-45.
- [14] 卞晋森. 城市河流生态修复与活力提升的方法探讨——以合肥四里河生态修复与景观提升工程设计为例[J]. 中国园艺文摘, 2017, 33(06): 56-64.
- [15] 汪洁琼, 沈桐羽, 王敏, 等. 应对雨洪挑战的城市滨水码头区蓝绿空间耦合设计研究[J]. 园林, 2023, 40(03): 47-54.
- [16] 朱黎青, 高超, 朱春阳. 气候变化视角下上海黄浦江滨水区洪涝风险评估与分区分策[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(04): 42-52.
- [17] 王文娟, 朱隆斌, 李加强. 城市黑臭水体治理的整体性方法[J]. 城市建筑, 2020, 17(28): 192-195.
- [18] 王敏, 陈梦璇, 宋昊洋. 生境质量与游憩服务的耦合协调对滨水空间活力的影响[J]. 中国城市林业, 2022, 20(03): 7-13.
- [19] 袁兴中, 贾恩睿, 刘杨婧, 等. 河流生命的回归——基于生物多样性提升的城市河流生态系统修复[J]. 风景园林, 2020, 27(08): 29-34.
- [20] 刘硕, 张桐恺, 李春晖. 数字景观技术研究应用进展[J]. 西部人居环境学刊, 2016, 31(04): 1-7.
- [21] 左俊. 空间治理背景下海绵城市规划体系研究[J]. 中国设备工程, 2021(10): 11-12.
- [22] 汪洁琼, 王蓉蓉, 宋昊洋, 等. 表面流人工湿地Delft3D水动力数值模拟与空间形态设计研究[J]. 中国园林, 2023, 39(03): 40-45.
- [23] 赵之煌, 李纲, 胡丽香, 等. 基于水生态文明视角的城市滨水空间研究[J]. 人民黄河, 2022, 44(08): 114-118.
- [24] 魏雯, 薛佳明. 基于生态系统服务供需评价的昆明市盘龙江滨水空间景观优化研究[J]. 广东园林, 2023, 45(05): 42-48.
- [25] 汪洁琼, 李心蕊, 王敏. 城市滨水空间生态系统服务供需匹配的空间智慧[J]. 风景园林, 2019, 26(06): 47-52.
- [26] 朱黎青, 高超. 从风景园林评论到循证设计[J]. 中国园林, 2016, 32(11): 50-54.