

2021年滨水空间生态修复研究与规划建设热点回眸

杨波¹, 陈天², 李小艳³, 李阳力², 李彦军¹, 刘昱¹, 张磊⁴, 韩祯¹, 董瑜^{2,5}, 李宝军⁴, 郭纪光⁴

1. 艾奕康(天津)工程咨询有限公司, 天津 300074
2. 天津大学建筑学院, 天津 300072
3. 北京市生态环境保护科学研究院, 北京 100037
4. 北京正和恒基滨水生态环境治理股份有限公司, 北京 100084
5. 天津市规划和自然资源局名城保护处(城市设计处), 天津 300042

摘要 城市更新、韧性城市建设和水生态系统保护与修复是2021年中国生态文明建设的重要议题,滨水空间作为城乡“三生”协同发展的重要空间要素,对城乡建设的品质、环境、生态价值发挥着不可替代的作用,同时滨水空间的城市空间、景观建设、水生态修复与“双碳”目标紧密相关互相促进。回顾了2021年滨水空间生态修复研究、规划建设、运营管理、新技术运用和技术规范指南建设等方面的研究和实践成果,在此基础上提出在未来的城市规划建设研究中应进一步加强滨水空间价值提升与生态修复技术和规划建设方法论的研究,加强跨学科的融合和新技术的运用,重视国际先进理念的引进和实践。

关键词 滨水空间;生态修复;城市更新;韧性城市;陆海统筹;基于自然的解决方案

本文所指的滨水空间是指从陆域到水域且互相联系的空间,具有生活、生产、生态服务等多重功能,是社会、经济与生态系统的叠加,成为生态环境的重要构成部分,表现出自然与人工相结合的二元特征。水生态修复是利用生态学原理,采取工程或非工程技术措施恢复或修复受损的水生态系统,改

善水体的生态功能,其对象包括河流、湖泊、湿地、海岸带等。随着生态文明建设的推进,城乡规划从增量主导转向存量更新,滨水空间建设和生态修复各参与主体逐渐达成共识,即水生态与滨水空间应作为一个自然与人工的复合系统,综合考虑两者相互作用与相互影响。

收稿日期:2021-10-20;修回日期:2021-12-31

作者简介:杨波,教授级高级工程师,研究方向为城市规划、水环境生态、景观设计、海岸工程,电子信箱:bob.yang@aecom.com

引用格式:杨波,陈天,李小艳,等. 2021年滨水空间生态修复研究与规划建设热点回眸[J]. 科技导报, 2022, 40(1): 204-214; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2022.01.015

为解决水资源短缺、水生态破坏、水灾害频发等问题,全世界制定了多项水生态系统保护与修复战略目标与行动计划。联合国宣布“水促进可持续发展(2018—2028年)”十年国际行动,中国提出“以水定城、以水定地、以水定人、以水定产”的战略目标,围绕相关主题颁布了诸多政策,持续推动水生态系统领域的研究、规划建设和运营管理技术进步和体制创新。与此同时,中国提出2030年碳达峰和2060年碳中和的“双碳”目标,未来滨水空间兼具减少碳源、增加碳汇的功能,将面临更大的机遇和挑战。“滨水空间”这一传统的主题焕发新的生机,与“水生态修复”耦合成为近年城乡规划建设领域的热点。

系并监督实施的若干意见》^[1]提出国土空间规划是国家空间发展的指南,可持续发展的空间蓝图,明确了坚持生态优先的发展目标,并对水生态系统的规划进行了细化规定。《国土空间规划城市设计指南》^[2]中要求打造滨水空间等生态宜人的公共空间,同时要减少对自然生态系统的破坏。业内更关注人工和自然要素的协同关系,利用综合性思维去解决复杂的城市水系统问题^[3],不能将人工和自然要素进行简单的叠加。在国土空间规划体系中基于系统性的思维,探索将现有的不同领域水专项规划完善为城市水系统综合规划(图1)^[4]。

在国土空间规划推动下,城市滨水区的研究和规划建设向统筹性思维转变,城市滨水空间吸引聚集更多公共职能,并兼具蓝绿生态空间营造功能,对促进滨水区及周边区域的价值提升以及提升生物多样性指标具有重要意义,城水耦合的规划重点与路径可以促进和帮助城市滨水空间的品质和生态性营造(图2)^[5]。局域空间尺度的研究扩展到与中宏观尺度空间和生态系统的协同和统筹,“陆海统筹”“城水耦合”等新理念逐步落实到空间规划中。

1 政策引导促进滨水空间生态修复技术进步

1.1 国土空间规划为滨水空间生态修复制定空间蓝图

《中共中央 国务院关于建立国土空间规划体

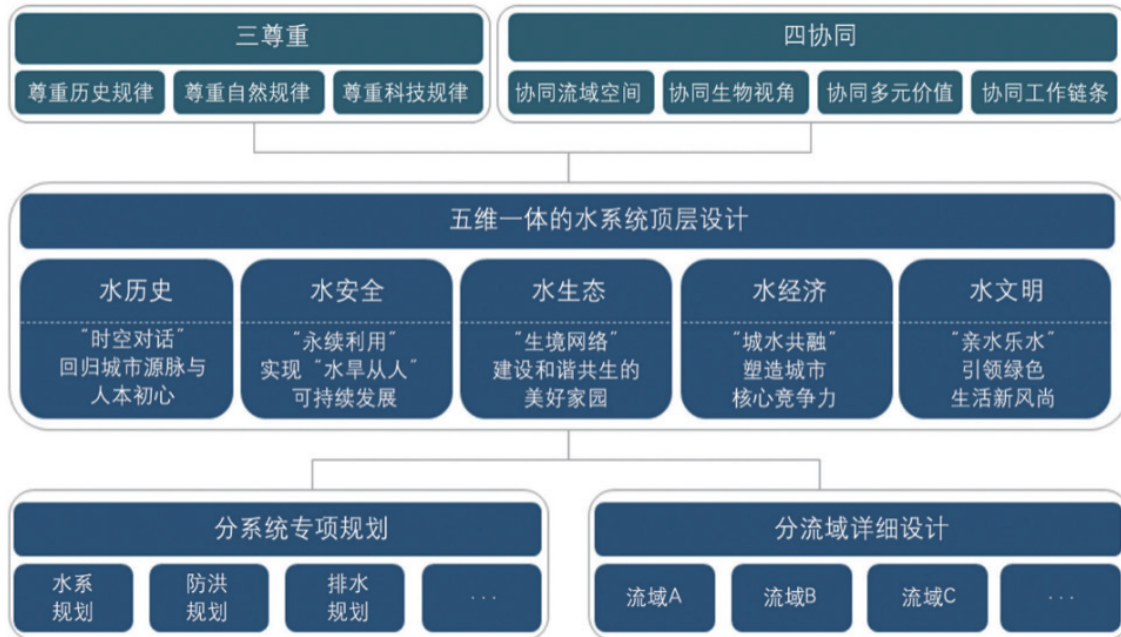


图1 城市水系统规划工作框架

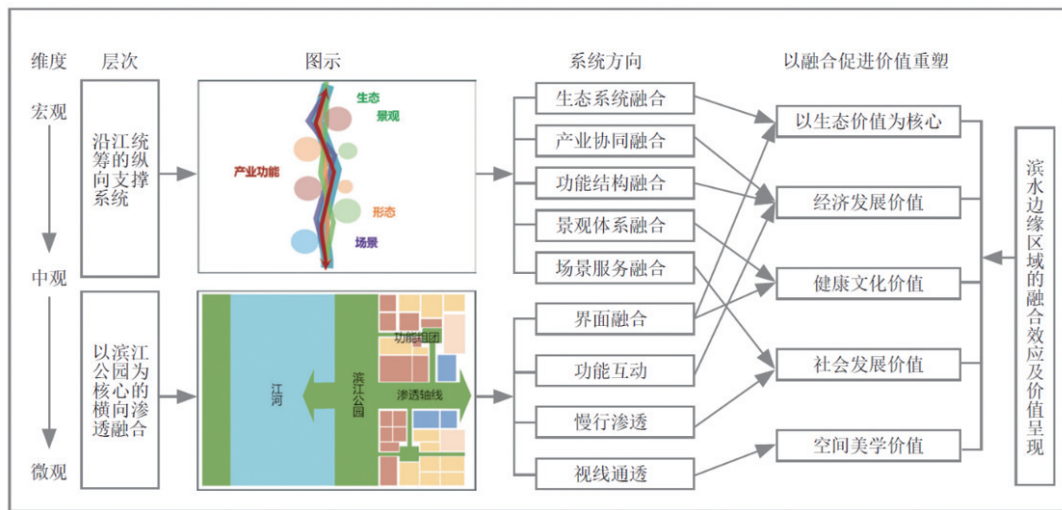


图2 城水耦合的规划重点与路径

利用系统性思维解决滨水空间水生态问题,提高了对于基础数据的要求,大数据技术能够更快地获取海量数据,从而被运用于滨水空间的分析等,从服务设施、交通可达性等方面,帮助提出滨水空间的活力提升规划策略建议^[6]。滨水空间水生态修复的研究从定性转向定性定量结合乃至部分量化主导。例如,通过对滨水空间的建筑高度、建筑密度等形态因子进行建模和多情景模拟,获得适宜环境气候的中微尺度的滨水空间模式^[7]。

1.2 城市体检为滨水空间生态修复提供基础信息

2020年,住房和城乡建设部制定了城市体检工作方案^[8],并在30多个城市开展试点工作,旨在查找城市人居环境建设方面存在的问题,提出对策建议。城市体检包括8个方面、50项指标(2021年增加至65项),其中与“水生态修复的滨水空间规划设计”紧密相关的“生态宜居”方面,主要是反映城市的大气、水、绿地等生态环境要素,城市资源集约节约利用要素。城市体检是实施城市更新行动和国土空间规划的基础,2021年6月,自然资源部发布《国土空间规划城市体检评估规程》^[9],对城市发展阶段特征及国土空间总体规划实施效果定期进行分析和评价,有效的“城市体检”将为滨水空间生态修复提供更坚实的基础信息。

1.3 滨水空间生态修复是城市更新的重要内容

2020年11月《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目

标的建议》明确提出实施城市更新行动。住房和城乡建设部发布的《实施城市更新行动》^[10]阐述了实施城市更新行动的重要意义,明确了实施城市更新行动的目标和任务。城市滨水空间的水生态修复是城市更新行动的重要内容和载体之一,也是城市更新行动的重要途径和手段,为滨水空间生态修复提供了空间和政策、资源支持。

1.4 大运河文化保护传承利用

2019年2月颁布的《大运河文化保护传承利用纲要》^[11],提出了构建一条主轴带动五大片区、六大高地的空间格局框架,以大运河主河道(历史,现存)为基础划分为核心区、拓展区和辐射区,提出“文化遗产保护展示、河道水系资源条件改善、绿色生态廊道建设、文化旅游融合提升”4项工程。2020年有关部委相继印发《大运河文化遗产保护传承专项规划》《大运河河道水系治理管护专项规划》《大运河生态环境保护修复规划》《大运河文化和旅游融合发展专项规划》4个专项规划^[12-15];同时大运河沿线北京、天津、河北、山东、江苏等8省(市)分别出台了地方实施规划,大运河文化保护传承利用“四梁八柱”规划体系正式形成,大运河沿岸成为滨水空间生态修复的实践热土。

1.5 规划编制保障滨水空间生态修复

2021年12月国家发展改革委会同有关部门发布了《生态保护和修复支撑体系重大工程建设规划(2021—2035年)》^[16],着眼于建设人与自然和谐共

生的现代化对生态治理能力的有关要求,立足尽快补齐短板,着力提升重点领域生态保护支撑能力,提出了当前和今后一段时期生态保护和修复支撑体系建设的总体目标、主要任务、重点项目,并明确了相关保障措施。各地政府结合本地特点编制了符合地方特色的滨水空间生态专项规划,例如,广东省人民政府批复实施《广东万里碧道总体规划(2020—2035年)》,北京市海淀区编制了“水清岸绿”行动计划(2020—2025年)。这些专项规划采用学科交叉的基础研究方法,脱离了单一“就水论水”的传统模式,采取了统筹水资源、水安全、水生态、水文化、水景观等多要素城水综合的规划内涵和空间格局,滨水空间生态修复构成了其重要规划内容和目标,并与“城市体检”和“城市更新”的内容有机结合,使绿水青山在产生生态效益的同时,产出经济效益和社会效益。

1.6 机制创新推动滨水空间生态修复技术进步

滨水空间生态修复创造了具有地域特色的新机制和经验,例如广东省以深圳、广州等城市为代表的“碧道建设”将治水、治岸、污染治理、城市空间畅通的整体生态价值转化相结合;北京朝阳区在体制上创新提出了“共商、共治、共建、共管、共享、共赢”的“六共”城市滨水空间治理模式,整合“水、城、景、文、游”,使以亮马河为代表的水利河道转型为生态和文化景观廊道和“拉链”,促进了河道沿线城水耦合,衍生出丰富的新型滨水服务业态;嘉兴市“九水连心”项目滨水空间建设,依托长纤塘、嘉善塘与平湖塘等九水汇聚南湖的一体化格局,构建多元复合的滨水生态系统和基于生态修复导向的新江南滨水立体空间。同时,在部分地区还存在着重人工景观建设轻自然生态恢复和修复,重形象整治、轻源头治理以及城水割裂背离等现象,都有待于通过政策制定、规划编制、城市决策水准和民众认知提高,创新生态修复等策略获得进一步提高。

2 滨水空间生态修复近期技术热点和进展

2.1 流域生态与滨水空间水生态的互相影响促进流域尺度的水生态修复影响着城市发展布局

优化,推动城市空间统筹规划,并由此下探适水城市规划和韧性城市等。在城市规划中,统筹考虑流域水生态能力建设,结合空间分区域结构优化,指导城市区域功能,空间单元指标控制是解决流域生态问题的途径之一。张令达等^[17]探索了流域尺度下的国土空间管控,从“空间结构布局-片区功能指引-单元指标控制”的管控途径入手,将土地利用、村庄发展、景观格局及水文过程等控制指标及指引策略进行整合落位,为流域生态修复与综合治理提供依据。Lee等^[18]认为流域景观格局生态化对于适水性城市设计具有重要的上位引领意义,在城市设计中引入了雨水管理技术,提高雨水渗透和补给,激活流域健康水循环。

2.2 城市滨水空间水生态修复与韧性城市建设

滨水空间的韧性是城市韧性的重要组成部分,滨水空间的水生态韧性不仅受到自然生态系统的影响,社会要素的影响也不容忽视^[19]。滨水空间是人工和自然生态系统的集合,目前探索构建的城市水韧性框架(city water resilience framework, CWRWF)从基础设施、生态系统、规划、财政等多个维度入手^[20]。快速的城镇化进程进一步对水资源带来了较大的压力,如何平衡水资源和城镇用地之间的关系成为了当前国土空间规划的难点之一。从水资源开发利用和水生态空间保护对比出发模拟多种情景下的城镇用地扩展趋势,筛选出既能保护水生态系统又能促进城市发展的最优城镇开发边界^[21]。

针对水资源的综合韧性,可以从鲁棒性(robustness)、冗余性(redundancy)、资源性(resourcefulness)、快速性(rapidity)、持久性(durability)(5R+D)6个方面构建水资源韧性评估框架^[22]。城市水生态韧性目前还是多集中在理论框架构建和评价方法方面的研究,未来会进一步突破到城市水生态韧性的规划策略和实施保障。

2.3 滨水空间是海绵城市建设的主要空间载体

中国的海绵城市与美国的低影响开发(low impact development, LID),英国的可持续发展排水系统(sustainable urban drainage systems, SUDS),澳大利亚的水敏感性城市设计(water sensitive urban design, WSUD)等,是各国城水关系管理的重要策

略和方法,其基本原理相似相通,技术途径各有不同的特点。自2015年中国广泛推行海绵城市建设以来,依然存在着海绵城市建设与洪水风险管理之间关系待统筹,全过程管理体系待建立,认知和技术观念待转变,与国家政策衔接待加强等问题^[23]。为了解决这些问题,工程技术人员从不同角度对海绵城市的建设展开了进一步工作。例如,为检验海绵城市的建设成效采用元胞自动机和成本效益共同构建海绵城市建设绩效评估框架^[24]。在工程实践中深圳市的《海绵城市设计图集》(DB4403/T—2019)(简称《图集》)为工程技术人员提供了极大的帮助,其适用范围、本地特色以及与其他相关标准的衔接,是《图集》的核心要点^[25]。“十四五”规划中,海绵城市建设与老旧小区改造的结合,有机会成为解决城市更新的有效措施之一^[26],中国的海绵城市建设从理念到工程实践,在全球范围内已经获得了高度关注^[27],起到引领作用。

2.4 滨海城市海岸生态修复

大部分滨海城市都有直接与海岸交接的城市滨水空间界面,海岸带作为一种特殊的滨水空间,海陆交界的异质性、海洋巨尺度、水体高含盐、水位周期波动-潮汐、波浪动力等是决定海岸与河湖的区别,也是形成海岸带丰富生态系统的基础。基于海岸特征的生态修复对于滨海空间的“三生”服务能力提升和优化,具有重要的作用。

近年来“陆海统筹”“海岸生态修复”“蓝色海湾”成为海洋行业热点,“海岸带规划”纳入国土空间规划的专项规划。海洋科学研究的方法与城市规划学科互相渗透结合。利用遥感软件研究跨尺度海岸带地区生态格局对滨海城市时空变迁的影响,通过对典型地区的经验总结提出海岸带地区空间的保护利用建议^[28-30];运用对景观格局的定量分析,研究城市滨海空间景观规划,为基于海岸生态修复的城市规划和空间设计提供指导^[31-32]。

滨海公共空间是滨海城市特色风貌的代表区域,随着产业发展和城市化进程,海岸空间区域的港口、工业转型,城市滨水空间吸引聚集更多公共职能,通过以生态修复导向的城市设计、景观设计

方法,海岸空间成为兼具生态、安全、旅游、景观的滨海公共空间。20世纪中后期几乎与产业转移转型同步,国际上已经开始滨海空间功能调整和转型,尤以港口及工业区为代表,例如巴尔的摩内港、巴塞罗那海岸、伦敦金丝雀码头等。退港还城与海岸生态修复相结合是近年中国滨海城市海岸空间转型的特点:山东省日照石臼港区煤码头在2015年启动港口工业岸线退港还海、修复整治生态岸线,海龙湾总计恢复了1882 m的生态岸线,新增沙滩面积46万m²,与此同时煤炭作业区迁移等工程于2021年进入尾声,探索了中国港口岸线退港还海结合生态修复的技术路径^[33]。同时,2021年一系列与海岸空间转型生态修复相关的国际城市设计和规划咨询应运而生^[34]。

结合海岸生态修复对保护在地海洋文化也进行了积极探索。上海黄浦江两岸45 km岸线公共空间贯通,其中徐汇滨江段曾是中国近代工业发源地之一,通过一系列生态景观处理手法,充分挖掘工业遗产,形成富于港口工业景观特色和历史记忆的公共开放空间^[35]。中新天津生态城“印象海堤”项目探索了淤泥质海岸生态修复与“海岸新遗产”保护相结合,取得良好社会效益^[36-37]。

应对海洋灾害是滨海空间规划设计的长期任务。荷兰、美国等发达国家在滨海城市海岸空间安全和生态结合方面已经进行了积极的探索实践,而中国的生态型海岸基础设施融合韧性海岸研究和探索方兴未艾。徐伟等^[38]从海堤灾害防御能力和海堤周边生态环境2个方面构建可用于海堤生态化建设适宜性评价的指标体系;高抒等^[39]探讨绿色海堤的环境动力学原理,分析绿色海堤体系内各类生态系统消减波能的作用。徐海珏等^[40]对于植物消波与海堤结构结合的防灾能力进行了试验探索;“中国海洋工程咨询协会”发布了一系列海岸生态修复及生态海堤建设的技术指南^[41],为行业技术推广应用奠定了基础。结合城市功能、防灾减灾、生态保护等要素,城市规划通用的建筑退缩线规则,被借鉴用于保护海岸的空间规划^[42-43]并有待进一步与城市设计结合加深其应用于海岸空间管控的

研究。

在实践中,中新天津生态城近年进行了一系列生态海岸的修复与生态海堤结合的实践,南堤滨海步道公园于2021年全面正式开放^[44];杨波等在中新天津生态城临海新城北堤设计中,提出了一整套结合海岸安全与生态景观的生态型海堤方案,为淤泥质海岸海堤生态化与景观旅游结合提供了创新的解决方案^[45]。

2.5 滨水空间生态修复基于自然的解决方案

2016年,世界自然保护联盟(IUCN)发布“基于自然解决方案(NbS)”的框架,并定义基于自然的解决方案是指保护、可持续利用和修复自然的或被改变的生态系统的行动,从而有效地和适应性地对当今社会面临的挑战,同时提供人类福祉和生物多样性(IUCN第WCC-2016-Res-069号决议)^[46]。实施NbS包含生态系统保护、针对具体问题的生态系统方法、基础设施建设类方法、基于生态系统的管理、生态系统修复5大方向。2020年,IUCN颁布了“基于自然解决方案”的全球标准及使用指南,设定了8条准则^[47]。滨水空间基于自然的解决方案是一个系统性概念,包括4个维度:纵向上,从上游水资源保护、中游河流洪水通道减少风险、再到下游与洪泛区连接、红树林修复及暗礁栖息地保护;横向上,连通城市海绵设施、绿色空间、森林景观恢复、湿地与生态缓冲区建立;垂向上,连接地表与地下;同时要考虑时间维度上的滨水生态系统演替。

中国积极响应和实践NbS的理念,并提出未来科研与实践的方向,包括国土空间规划、山水林田湖草系统化治理^[48]、城市绿色基础设施^[49]、河流生态保护^[50]、湿地公园^[51]、海岸带生态系统修复^[52]等,并颁布了《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》^[53]、《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》^[54]、《山水林田湖草生态保护修复工程技术指南(试行)》^[55],基本形成生态保护与修复管理的框架体系。在NbS的工程实践方面,“大理洱海湖滨缓冲带生态修复示范段”,以生态重建、辅助再生、自然恢复、保护保育等措施,使洱海湖滨缓冲带逐步恢复到天然状态,湖滩、湿地等栖息空间“失而复得”^[56]。

3 滨水空间生态修复的应用技术体系和生态工程构建

滨水空间功能从单一功能向生态性、景观性、功能性融合的方向转型^[57],且更加注重从生态、社会、文化、人本服务功能等滨水空间与水生态修复的结合,在滨水空间营造中发挥人工力和自然力的双重作用。

3.1 技术规程和指南系统逐步完善

在全球新兴经济体国家,至少有3700座大型水坝计划或在建,用于水利发电或灌溉^[58],所有已建、正在计划或建设的水坝的完成将意味着全球所有河流93%的自然水文流量将丧失^[59]。中国有约12%的河流为受干扰度较低的河流,超过63.39%的河流受到了强干扰以及严重干扰,还有约24.39%是中等干扰河流^[60],由此人们必须重新审视水利工程与生态体系构建的关系。英国河流修复技术中心(RRC)于2020年出版了《河流修复技术手册》,包含39个不同技术示例的案例,指导各种类型河流的生态设计与修复措施^[61]。中国水利部于2020年印发了《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》(SL/T 800—2020),要求河道蓝线划定应遵从“宜宽则宽”原则,河流岸坡尽量采用缓坡形式,尽可能采用接近自然河道的断面,形成拟合自然动力特征的横断面形态^[62],遵从生态水利学的原理对滨水空间传统建造方法系统反思及创新,在江河湖海生态修复领域有待深入探索。

对于城市涉水空间技术规范 and 指南的建设,指引游走于“蓝线”之外的城市规划“试水”合作。2018年上海市发布的《上海市河道规划设计导则》^[63]明确城市河道规划要综合考虑生态、社会、人文等要素,广州市制定了《珠江景观带重点区段城市设计与景观详细规划导则》^[64],其中重点强调了水系统与自然系统的构建,指引珠江两岸未来规划发展。2021年,由华南理工大学、天津大学等共同承担的国家重点研发计划项目《城市新区水环境系统与规划设计优化技术》进入结题。相应成果《城市新区涉水空间规划设计技术规程》通过专家评审,从城市规划的角度为城市涉水空间规划提供了技术指引^[65]。

《深圳市碧道设计导则》针对河流型、湖库型、滨海型等滨水空间类型提出了设计导则,通过低干预措施改善河流湖库的水文、水质、地貌、生境、生物多样性,逐步恢复生态系统结构、功能和过程^[66]。

3.2 滨水空间生态修复的生态工法实践

1938年德国学者 Seifert^[67]提出了近自然河溪治理的概念,1962年,巴登-符腾堡州环境部^[68]提出“Ecological Engineering”,将生态学概念应用于工程实践。生态工法结合了工程技术与生物学,被称为有生命的滨水结构。

中国的河流生态系统构建早期以植物绿化、生态预制块驳岸为主,近年来细化为根据岸线形态设置不同形式驳岸,同时根据不同动力条件、地形地貌、目标物种等,出现了不同的生态工法。在基于

自然的解决方案(NbS)原则下,就地取材,采用土木工程方法让结构安全、水利安全、生物多样性保护等都能获得保障。江苏南四湖流域丰沛运河生态修复工程以“缝合生长”的生态逻辑,构建多元复合立体廊道,通过采用圆木桩、块石、活的植物枝条等自然材料编制重组,实现破硬复绿,固坡理水,从而提升整体滨水空间的生态品质与生态价值。生态工法的实践由河湖向海岸延伸,广州市南沙区灵山岛尖外江岸线生态提升,通过枝桩沉床、土工格式等生态工法,实现了感潮河段的堤岸复苏^[69]。莆田市蓝色海湾整治项目则通过数字水文模拟(图3)精准匹配生态工法技术,实现了生态工法在滨海潟湖的应用,构建了以鹭类为目标物种的生态滨水空间^[70]。

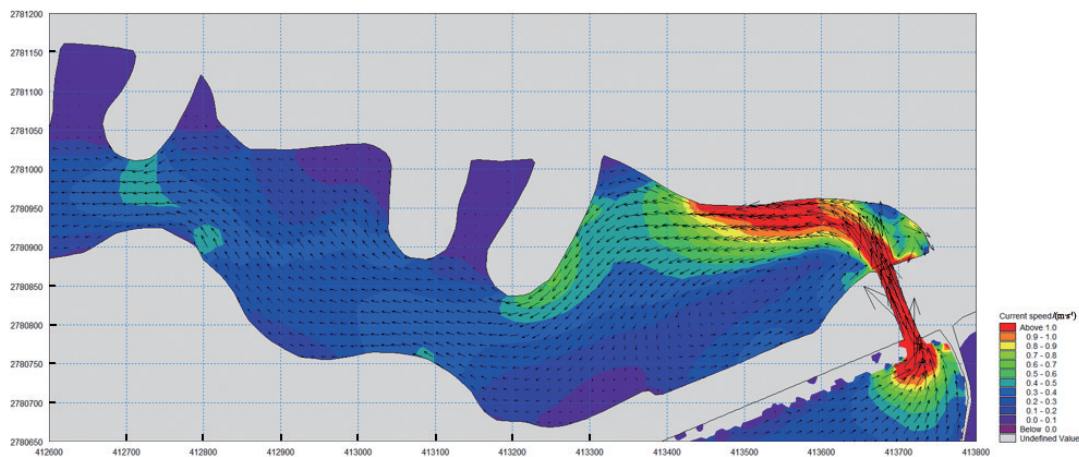


图3 莆田市蓝色海湾整治项目潟湖流速模拟

(图片来源:莆田市蓝色海湾整治行动工程环境影响评价数模研究报告)

4 滨水空间生态修复的重点新技术展望

滨水空间在引入生态修复理念后的系统性整合,一直存在很大需要弥合的空间,城市设计和景观设计对于空间处理的感性与生态修复和水利工程的理性,通过何种渠道和工具平台有机衔接是一个需要重点探索的方向。滨水空间生态修复技术主要涉及模拟评估技术、设计技术及工程技术等互相依存的方面。

1) 在模拟评估技术方面,通过模型或评价指

数量化某种或某类型措施,为滨水空间生态修复提供科学决策或可持续管理。为应对气候变化与土地利用变化造成的洪水灾害,采用不确定性模型(probabilistic modeling framework)可量化自然保护措施减少洪水的风险,以论证基于自然的解决方案措施是否更具有韧性和可持续性^[71]。栖息地风险评估(habitat risk assessment, HRA)和栖息地质量(habitat quality, HQ)模型可对人类活动引起的生态压力进行评估,以保障近岸海域保护与恢复的可持续管理^[72]。地形空间格局和生态连接指数可建立绿色空间生态网络系统,以达到连接破碎化栖息

地、保护生物多样性及保障区域生态安全目的^[73]。

2) 在滨水空间与人连接方面,通过结构方程模型评估滨水空间的景观质量、可达性、周围人口数量对滨水空间活力的影响^[6]。在生态修复经济实用性上,Multi-Hydro模型在城市流域尺度上整合水文效应与经济指标,评估不同基于自然的解决方案情境下投入成本的有效性^[74-75],项目管理中贝叶斯简化网络模型(Bayesian belief network)可判定城市滨水空间修复过程中公众、政府、项目管理者等众多利益相关者接受基于自然的解决方案的关键决定因子,以确保项目成功实施^[75]。

3) 在设计技术上,信息技术的不断更新为滨水空间生态修复提供设计新工具。景观信息模型(LIM)是由建筑信息模型(BIM)发展而来,其需考虑植物、生态、水体、气候等各种因子,是一个多维度不同因素的集合体理念,在设计、建造、管理各个阶段中实现不同专业协同合作和对接。LIM应用还处于初级阶段,并未开发出LIM全生命周期运营的软件载体^[77]。

4) 在工程技术方面,滨水空间生态修复与“双碳”目标紧密相关。除了滨水空间的碳源和碳汇对于“双碳”目标达成的重要价值探索,海岸带蓝碳是海洋碳汇的重要组成部分,与“蓝碳”相关的近岸海域生态修复成为近期关注的热点^[78]。从碳汇角度,焦念志等^[79]研究微型生物碳泵MCP驱动无机碳、有机碳综合负排放机理与方案,未来可实施微生物驱动无机-有机-生命-非生命综合储碳生态示范工程,助力碳中和目标实现。

参考文献(References)

- [1] 中共中央国务院关于建立国土空间规划体系并监督实施的若干意见[EB/OL]. (2019-05-23)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/23/content_5394187.htm.
- [2] 《国土空间规划城市设计指南》行业标准报批稿公示[EB/OL]. (2021-05-30)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-05/30/content_5613973.htm.
- [3] 莫雅, 龚道孝, 高均海, 等. 城市水系统从理念、方法到规划实践[J]. 给水排水, 2021, 57(1): 77-83.
- [4] 王波, 胡滨, 牟秋, 等. 公园城市水系统顶层规划的实践探索——以天府新区为例[J]. 城市规划, 2021, 45(8): 107-112.
- [5] 刘杰希, 张垒, 阮晨. 城水融合视角下的沿江轴线规划——以成都沱江发展轴为例[J]. 规划师, 2021, 37(11): 69-75.
- [6] Liu S, Lai S Q, Liu C, et al. What influenced the vitality of the waterfront open space? A case study of Huangpu River in Shanghai, China[J]. Cities, 2021, 114: 103197.
- [7] 马童, 陈天. 城市滨河区空间形态对近地面通风影响机制及规划响应[J]. 城市发展研究, 2021, 28(7): 37-42.
- [8] 吴瑾洋. 碧道理念下的河道整治景观打造思路——以广州流溪河流域碧道项目为例[J]. 绿色科技, 2021, 23(9): 33-35.
- [9] 国土空间规划城市体检评估规程: TD/T 1063-2021[S]. 北京: 中华人民共和国自然资源部, 2021.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 实施城市更新行动[EB/OL]. (2020-11-17)[2021-12-23]. http://www.mohurd.gov.cn/xinwen/jryw/202011/20201117_248050.html.
- [11] 中共中央办公厅国务院办公厅印发《大运河文化保护传承利用规划纲要》[EB/OL]. (2019-05-09)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/zhengce/2019-05/09/content_5390046.htm.
- [12] 国家文物局. 国家文物局、文化和旅游部、国家发展和改革委员会联合印发《大运河文化遗产保护传承专项规划》[EB/OL]. (2020-09-27)[2021-12-23]. http://www.ncha.gov.cn/art/2020/9/27/art_722_163246.html.
- [13] 水利部 交通运输部 国家发展改革委联合印发《大运河河道水系治理管护规划》[EB/OL]. (2020-06-11)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/11/content_5518599.htm.
- [14] 生态环境部有关负责人就《大运河生态环境保护修复专项规划》答记者问[EB/OL]. (2020-10-09)[2021-12-23]. http://www.mee.gov.cn/xxgk/2018/xxgk/xxgk15/202010/0/t20201009_802273.html.
- [15] 文化和旅游部、国家发改委联合印发《大运河文化和旅游融合发展规划》[EB/OL]. (2020-09-29)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/29/content_5548093.htm.
- [16] 国家发展改革委等部门关于印发《生态保护和修复支撑体系重大工程建设规划(2021—2035年)》的通知[EB/OL]. [2021-12-23]. https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcflb/ghwb/202112/t20211222_1308922.html?code=&state=123.
- [17] 张令达, 侯全华, 段亚琼. 黄土高原地区流域生态空间管控模式[J]. 农业工程学报, 2021, 37(10): 206-213.
- [18] Lee J M, Park M, Park B K, et al. Evaluation of water

- circulation by modeling: An example of nonpoint source management in the Yeongsan River watershed[J]. *Sustainability*, 2021, 13(16): 8871.
- [19] Falkenmark M, Wang-Erlandsson L. A water-function-based framework for understanding and governing water resilience in the Anthropocene[J]. *One Earth*, 2021, 4(2): 213-225.
- [20] Saikia P, Beane G, Garriga R G, et al. City water resilience framework: A governance based planning tool to enhance urban water resilience[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2021: 103497.
- [21] 贾梦圆, 陈天, 臧鑫宇. 耦合水资源环境的城镇用地扩张多方案预景与规划路径——以天津市为例[J]. *城市规划学刊*, 2021(3): 58-65.
- [22] Behboudian M, Kerachian R, Pourmoghim P. Evaluating the long-term resilience of water resources systems: Application of a generalized grade-based combination approach[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 786(2): 147447.
- [23] 余年, 谢映霞, 李迪华. 对中国海绵城市建设再出发的若干问题反思[J]. *景观设计学*, 2021, 9(4): 82-91.
- [24] Wang Y, Liu Z, Wang G, et al. Cellular automata based framework for evaluating mitigation strategies of sponge city[J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 796: 148991.
- [25] 张亮, 汤钟, 李亚, 等. 深圳市《海绵城市设计图集》的编制及思考[J]. *中国给水排水*, 2021, 37(10): 16-22.
- [26] 张佳丽, 刘杨, 王凤. 老旧小区“+海绵”改造的理论与实践——以宁波市三和嘉园小区为例[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(7): 24-29.
- [27] Köster S. How the Sponge City becomes a supplementary water supply infrastructure[J]. *Water-Energy Nexus*, 2021, 4: 35-40.
- [28] 石佳佳, 李伟峰, 刘亚丽, 等. 粤港澳大湾区城镇化对海岸线与海岸带的影响[J]. *生态学报*, 2022, 42(1), doi: 10.5846/stxb202011032811.
- [29] 林金城, 毋亭. 20世纪40年代以来福建省大陆海岸带利用程度时空变化分析[J]. *科技导报*, 2021, 39(4): 104-111.
- [30] 田立鑫, 韩美, 王敏, 等. 莱州湾南岸海岸带土地利用时空演变及稳定性研究[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(4): 259-265.
- [31] 吴威, 李彩霞, 陈雪初. 海岸带整治修复驱动下的城市滨海空间景观格局变化及其特征研究——以上海鹈鹕洲生态湿地为例[J]. *西北师范大学学报(自然科学版)*, 2021, 57(4): 24-30.
- [32] 元冰瑜, 高建华, 池源, 等. 1990—2020年江苏省海岸带景观生态状况指数跨尺度时空特征[J]. *应用生态学报*, 2021, doi: 10.13287/j.1001-9332.202202.016.
- [33] 我国首例退港还海实践为城市系上生态“绿丝带”[EB/OL]. (2020-12-14)[2021-12-23]. http://www.xinhuanet.com/politics/2020-12/14/c_1126858624.htm.
- [34] 烟台芝罘湾战略提升及城市设计国际征集资格预审公告[EB/OL]. (2021-08-09)[2021-12-23]. <http://www.bkpmzb.com/bidding/display.php?oid=257&pid=1905>.
- [35] 黄浦江45公里岸线巡礼首篇, 独家回顾徐汇滨江百年魅力[EB/OL]. (2018-01-18)[2021-12-23]. <https://www.jfdaily.com/news/detail?id=77309>.
- [36] 天津北方网. 生态城印象海堤公园建成开放[EB/OL]. (2017-08-31)[2021-12-23]. http://house.enorth.com.cn/system/2017/08/31/033642756.shtml?utm_source=UfqiNews.
- [37] 张天扬. 城市的远见——“新遗产保护”于市政景观规划中的践行价值[J]. *城市建设理论研究(电子版)*, 2018(34): 20.
- [38] 徐伟, 陈淳, 刘建辉, 等. 海堤生态化建设适宜性评价研究及应用[J]. *应用海洋学学报*, 2021, 40(4): 659-668.
- [39] 高抒, 贾建军, 于谦. 绿色海堤的沉积地貌与生态系统动力学原理[J/OL]. *热带海洋学报*[2021-12-23]. http://journal15.magtechjournal.com/Jwk3_rdhxb/CN/10.11978/YG2021002.
- [40] 徐海珏, 胡萍, 白玉川, 等. 木本植被覆盖岸坡上波浪爬升过程的数值模拟研究[J]. *海洋学报*, 2020, 42(3): 10-24.
- [41] 关于发布《海岸带生态系统现状调查与评估技术导则》系列团体标准、《海岸带生态减灾修复技术导则》系列团体标准和《围填海工程海堤生态化建设标准》英文版的公告[EB/OL]. (2021-10-29)[2021-12-23]. <http://www.caoe.org.cn/nr/cont.aspx?itemid=209&id=3299>.
- [42] 王刚, 张甲波, 白玉川, 等. 海岸建筑退缩线的综合划定体系——以秦皇岛沿岸为例[J/OL]. *海洋开发与管理*[2021-12-23]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3525.P.20211117.1033.004.html>.
- [43] 张济婷. 从粗放到精细的海岸退缩线划定探索——以珠海市为例[C]//2020/2021中国城市规划年会暨2021中国城市规划学术季2021中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用). 北京: 中国城市规划学会, 2021: 789-798.
- [44] 河海交汇处又现鸟翩跹(推动京津冀协同发展)[EB/OL]. (2021-01-12)[2021-12-23]. <http://politics.people.com.cn/n1/2021/0112/c1001-31996328.html>.

- [45] 杨波, 常勤, 富楷, 等. 中新天津生态城临海新城北堤生态廊道工程方案设计[R]. 天津: AECOM, 2021.
- [46] Cohen-Shacham E, Walters G, Janzen C, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges[M]. Gland: IUCN, 2016: 97.
- [47] 基于自然的解决方案全球标准中文版及中国实践典型案例发布[EB/OL]. (2021-06-24)[2021-12-23]. http://www.mnr.gov.cn/dt/ywbb/202106/t20210624_2659274.html.
- [48] 罗明, 应凌霄, 周妍. 基于自然解决方案的全球标准之准则透析与启示[J]. 中国土地, 2020(4): 9-13.
- [49] 罗明, 刘世梁, 张琰. 基于自然的解决方案(NbS)优先领域初探[J]. 中国土地, 2021(2): 4-11.
- [50] 王振霖, 耿春茂, 禹雪中. 基于自然解决方案的国际经验及其对河流生态保护的启示[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(8): 9-14.
- [51] 陶练, 熊斯顿. 以基于自然的解决方案修复圩田生境——鉴洋湖湿地公园首启区景观实践[J]. 景观设计学, 2021, 9(4): 92-105.
- [52] 康澜月, 李妹洋, 李洪远. NbS在海岸带蓝碳生态系统修复中的案例研究[J]. 景观设计, 2021(4): 10-15.
- [53] 中共中央办公厅国务院办公厅印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》[EB/OL]. (2019-06-26)[2021-12-23]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content_5403497.htm.
- [54] 国家发展改革委自然资源部关于印发《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035年)》的通知[EB/OL]. (2020-06-03)[2021-12-23]. http://gi.mnr.gov.cn/202006/t20200611_2525741.html.
- [55] 自然资源部办公厅财政部办公厅生态环境部办公厅关于印发《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》的通知[EB/OL]. (2020-08-26)[2021-12-23]. http://gi.mnr.gov.cn/202009/t20200918_2558754.html.
- [56] 洱海越发美丽[EB/OL]. (2021-03-30)[2021-12-23]. http://paper.people.com.cn/rmr/html/2021-03/30/nw.D110000renmr_20210330_6-01.htm.
- [57] 吴基昌, 平明明, 纪道斌, 等. 城市滨水区多功能规划利用现状与趋势[J]. 中国农村水利水电, 2021(4): 71-74.
- [58] Zarfl C, Lumsdon A E, Berlekamp J, et al. A global boom in hydropower dam construction[J]. Aquatic Sciences, 2015, 77(1): 161-170.
- [59] Grill G, Lehner B, Lumsdon A E, et al. An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales[J]. Environmental Research Letters, 2015, 10(1): 015001.
- [60] 张益章, 周语夏, 刘海龙. 国土尺度河流干扰度评价与空间分布制图研究[J]. 风景园林, 2020, 27(8): 10-17.
- [61] Grill G, Lehner B, Thieme M, et al. Mapping the world's free-flowing rivers[J]. Nature, 2019, 569(7755): 215-221.
- [62] 河湖生态系统保护与修复工程技术导则: SL/T 800-2020[S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2020.
- [63] 《上海市河道规划设计导则》征求公众意见[EB/OL]. (2018-11-30)[2021-12-23]. <https://ghzyj.sh.gov.cn/qtgs/20200110/0032-893501.html>.
- [64] 广州市国土资源和规划委员会关于公布《珠江景观带重点区段(三个十公里)城市设计与景观详细规划导则》的通知[EB/OL]. (2018-08-08)[2021-12-23]. http://ghzyj.gz.gov.cn/sjb/xw/tzgg/content/post_4904184.html.
- [65] 关于发布《2020年中国城市科学研究会标准编研计划(第二批)》的通知[EB/OL]. (2021-01-13)[2021-12-23]. <http://www.chinasus.org/index.php?c=content&a=show&id=857>.
- [66] 深圳市碧道设计导则(试行)[EB/OL]. (2021-08-31)[2021-12-23]. http://swj.sz.gov.cn/xxgk/jsbz/content/post_9095907.html.
- [67] Seifert A. Naturnacherer Wasserbau[J]. Deutsche Wasserwirtschaft, 1983, 33(12): 361-366.
- [68] Ministerium fuer Umwelt Baden-wuettemberg. Stuttgart: Hochwasserschutz und Oekologie[R]. Stuttgart: Ministerium fuer Umwelt Baden-wuettemberg, 1988.
- [69] 李阳, 李小艳, 李冰心. 广州市南沙区灵山岛尖外江岸线生态提升规划设计[J]. 广东园林, 2021, 43(4): 85-89.
- [70] 张磊, 王刚. 莆田市蓝色海湾整治行动项目设计方案[R]. 北京: 正和恒基, 2020.
- [71] Lallemand D, Hamel P, Balbi M, et al. Nature-based solutions for flood risk reduction: A probabilistic modeling framework[J]. One Earth, 2021, 4(9): 1310-1321.
- [72] Zhai T L, Wang J, Fang Y, et al. Assessing ecological risks caused by human activities in rapid urbanization coastal areas: Towards an integrated approach to determining key areas of terrestrial-oceanic ecosystems preservation and restoration[J]. Science of the Total Environment, 2020, 708: 135153.
- [73] Cui L, Wang J, Sun L, et al. Construction and optimization of green space ecological networks in urban fringe areas: A case study with the urban fringe area of Tongzhou district in Beijing[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 276: 124266.

- [74] Qiu Y, Schertzer D, Tchiguirinskaia I. Assessing cost-effectiveness of nature-based solutions scenarios: Integrating hydrological impacts and life cycle costs[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 329: 129740.
- [75] Luan B, Yin R X, Xu P, et al. Evaluating Green Stormwater Infrastructure strategies efficiencies in a rapidly urbanizing catchment using SWMM-based TOPSIS[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 223: 680-691.
- [76] Dai L, Han Q, de Vries B, et al. Applying Bayesian Belief Network to explore key determinants for nature-based solutions' acceptance of local stakeholders[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 310: 127480.
- [77] 廖怡. 北京香山静宜园见心斋园林三维数字信息模型建构研究[D]. 北京: 北方工业大学, 2021.
- [78] 苏玮, 林阳阳. 海洋生态修复研究进展与热点分析[J]. *资源节约与环保*, 2021(2): 13.
- [79] Jiao N Z, Cai R H, Zheng Q, et al. Unveiling the enigma of refractory carbon in the ocean[J]. *National Science Review*, 2018, 5(4): 459-463.

Summary of hot spots of research, planning and construction of waterfront space ecological restoration in 2021

YANG Bo¹, CHEN Tian², LI Xiaoyan³, LI Yangli², LI Yanjun¹, LIU Yu¹, ZHANG Lei⁴, HAN Zhen¹, DONG Yu^{2,5}, LI Baojun⁴, GUO Jiguang⁴

1. AECOM (Tianjin) Engineering Consultants Co., Ltd., Tianjin 300074, China
2. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China
3. Beijing Municipal Research Institute of Eco-Environmental Protection, Beijing 100037, China
4. Beijing ZEH0 Waterfront Ecological Environment Treatment Corp, Beijing 100084, China
5. Famous City Protection Office (Urban Design Office), Tianjin Municipal Planning and Natural Resources Bureau, Tianjin 300042, China

Abstract Urban renewal, resilient city construction, protection and restoration of water ecosystems are important issues in the construction of ecological civilization in the new era of China. Waterfront space is an important spatial element for the coordinated development of urban and rural life, production and ecology, which also has a great impact on the quality, environment and ecology of the city. At the same time, the ecological restoration of the waterfront space is closely related to the "double-carbon" goals and promotes each other. This article summarizes the construction of water-suitable cities and reviews the research results of waterfront space among ecological restoration, planning and construction, operation, and management, new technology application and technical specification guide in 2021. On this basis, it proposes that the future research of urban planning and construction should further strengthen the waterfront space value enhancement and the methodology construction of ecological restoration. In addition, interdisciplinary integration and application of new technologies are still important in the future research, and introduction and practice of international advanced concepts should also be emphasized.

Keywords waterfront space; ecological restoration; urban renewal; resilient city; land and sea coordination; nature-based solutions ●



(责任编辑 卫夏雯)