

小流域绿色基础设施体系构建与实践

李 敢,蒋国翔,陈 莎,陈 烨,罗 彦

(中国城市规划设计研究院中部分院,湖北 武汉 430060)

摘要:针对既有绿色基础设施体系多是面向城镇地区、侧重单一功能从而导致小流域治理适配度不足的问题,在分析小流域和绿色基础设施二者内在作用机理的基础上,从衔接上位流域规划、转变单一功能侧重、丰富绿色发展内涵、聚焦低成本高效设施等方面构建了保护生态环境-保障安全底线-促进绿色发展三位一体的小流域绿色基础设施体系,并以湖北省丘陵型、岗地型和平原型小流域为例,开展了绿色基础设施实践探索。结果表明,保护生态环境-保障安全底线-促进绿色发展体系对于小流域综合治理具有高度适用性,能够有效指导各小流域解决生态环境及安全发展等现实问题,可为小流域治理提供可复用的规划框架和技术路径。

关键词:小流域;绿色基础设施;体系构建;湖北省

中图分类号:TV212.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2025)02-0226-07

Construction and practice of green infrastructure system in small watersheds//LI Gan, JIANG Guoxiang, CHEN Sha, CHEN Ye, LUO Yan(*Central Branch, China Academy of Urban Planning & Design, Wuhan 430060, China*)

Abstract: In view of the lack of research in rural areas and the lack of adaptability of small watershed governance due to the focus on a single function in the existing green infrastructure system, on the basis of analyzing the internal mechanism of small watershed and green infrastructure, a three-in-one green infrastructure system of protecting the ecological environment, ensuring the bottom line of safety, and promoting green development was constructed from the aspects of connecting the upper watershed planning, changing the focus of a single function, enriching the connotation of green development, and focusing on low-cost and efficient facilities. The practical exploration of green infrastructure was carried out for the small watershed of the hill type and the prototype of peace. The practical results show that the system has high applicability to the comprehensive management of small watersheds, can effectively guide small watersheds to solve practical problems such as ecological environment and safe development, and provides a reusable planning framework and technical path for small watershed governance.

Key words: small watershed; green infrastructure; system construction; Hubei Province

绿色基础设施是由自然区域、绿色空间、保护地和其他开放空间组成的相互连接的网络,旨在保护自然生态系统的价值和功能,为人类社会提供环境、经济和社会效益^[1]。小流域是流域的基本组成,是相对完整的生态单元、生产单元和生活单元,内在要素联系紧密,以小流域为基本单元统筹推进山、水、林、田、湖、草、路和村庄的系统性综合治理,成为推进新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化(四化)同步发展的重要抓手。绿色基础设施与小流域相互作用,绿色基础设施是小流域的设施基础,形塑并影响小流域的生产、生活和生态空间;小流域是绿色基础设施的空间载体,两者具有高度的适配性。研究

小流域绿色基础设施体系,对于优化小流域综合治理结构、提高治理成效具有重要的指导意义。

当前,既有绿色基础设施体系研究多见于生态、城镇和农业空间,侧重单一功能,大致归纳为3类:①重要生态功能保护类型。以自然保护为出发点,着重维护生态网络的完整性并保障生态过程的连续性,聚焦生态格局构建^[2-4]、生态系统修复^[5-7]、生物多样性保护^[8-9]等方面。②城镇生态建设与人居环境改善类型。以服务人居需求为落脚点,强调利用绿色基础设施缓解城市热岛效应^[10-11]、雨洪灾害^[12-16]、空气污染^[17]以及提升公共空间品质^[18-19]等。③农业农村振兴与生态质量提升类型。以改善

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFC3800805)

作者简介:李敢(1993—),男,工程师,硕士,主要从事水环境与水生态、城市交通研究。E-mail:516599805@qq.com

通信作者:罗彦(1979—),男,正高级工程师,博士,主要从事城市规划学研究。E-mail:18655093@qq.com

乡村环境风貌、提高基础设施投产效益和促进城乡融合等为目的,包括乡村生态系统^[20-22]、分散式设施研究^[23]和乡村景观营建^[24]等。总体看来,国内外鲜有关于流域绿色基础设施体系构建的研究,且现有研究多为面向城市地区,以实现单一目标为主。而小流域具有系统更复杂、需求更多元、对象以农村为主等特征,既有绿色基础设施体系的适配性有待提高。本文针对小流域绿色基础设施体系构建的适配性需求,进行了构成体系与规划策略的集成研究,以实现多目标协同综合治理效能的提升。

1 小流域绿色基础设施体系构建

1.1 绿色基础设施在小流域中的适用性

1.1.1 内在关联紧密

绿色基础设施与小流域内涵高度重合,均由三向维度构成,维度之间相互关联且作用机制明显,紧密难以分割,具备相互嵌套的内在基础。绿色基础设施三向维度为要素、格局和功能,其中,要素维度是成分结构,格局维度是空间组合,功能维度是生态系统的服务功能,要素和格局决定功能发挥的稳定性与多样性,功能效益通过要素和格局来测度^[25]。小流域生态、生产、生活三大维度相互联系、相互制约并相互交织,自然系统、人居聚落、城乡空间、生产空间共同构成有机联系的整体。绿色基础设施是小流域的设施基础,各类斑块及廊道型设施等要素对小流域产生向心力、线性力及不确定力,从而塑

造小流域的生产、生活和生态空间;要素组合和网络格局能够有效锚固重要生态斑块和生态高敏感区域,进而约束小流域内开发与利用活动;点、线、面型绿色基础设施构成有效的功能体,发挥人居环境改善、生态环境保护和气候变化应对等重要作用,支撑小流域生态-任务过程的顺畅运行。小流域作为绿色基础设施的空间载体,其物质、生物以及人类活动等生态-人文过程活动的需求决定绿色基础设施的供给体系。例如为实现小流域水环境提升,城镇及农村生活地区需配套污水处理设施,农田及养殖等生产地区需配套尾水及废物循环处理设施。绿色基础设施与小流域相互作用机理如图1所示。

1.1.2 发展要求相合

从发展要求来看,绿色基础设施和小流域具有相同的出发点、切入点、关键点和根本点,决定了二者发展方向和实施路径高度契合。出发点即处理好保护与发展的关系。绿色基础设施强调维护生态网络的完整性,保障生态过程的连续性,小流域综合治理以水治理为核心筑牢安全底线,两者均以解决现实问题为切入点,注重结合地方发展需求及基础条件精准化施策,倒逼城市发展转向更自然、更安全的方式,避免无序规划与过度建设。两者关键点相通,贯彻绿色低碳理念,强调生态环境保护,提倡引导地区生活和生产绿色低碳发展。同时,两者根本点是为服务,绿色基础设施重点服务人居需求,改善城市人居环境;小流域综合治理的核心目标是实现可

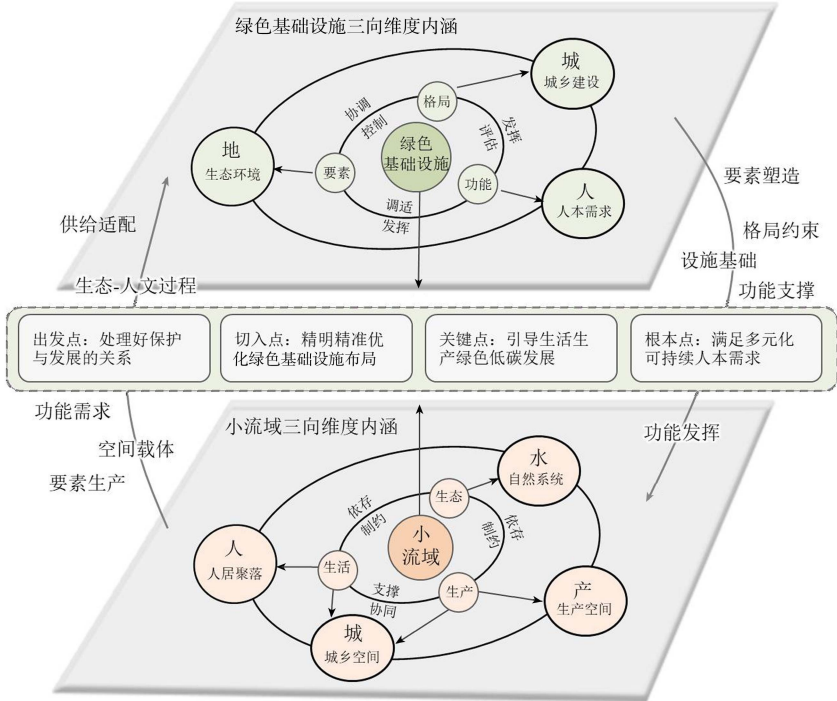


图1 绿色基础设施与小流域相互作用机理示意图

Fig.1 Schematic diagram of interaction mechanism between green infrastructures and small watershed

持续发展,坚持问需于民、问计于民,以“共同缔造”实现百姓富的愿景。

1.2 小流域绿色基础设施体系构建原则和内容

1.2.1 构建原则

遵循衔接上位规划、功能多元、绿色发展、低本高效的原则,拓展既有绿色基础设施体系的发展内涵和功能维度,形成与小流域高适配的绿色基础设施拓展框架,如图2所示。

a. 衔接上位规划。以上位流域规划为指导,结合小流域综合治理工作的要求,重点丰富安全类绿色基础设施要素,增加水安全、水环境安全、粮食安全和地质环境安全等安全类设施。

b. 功能多元。考虑小流域生态-人文过程活动的系统复杂性以及需求多样性,对既有体系进行功能叠加,形成集生态环境改善、安全底线保障、绿色发展等多目标协同的小流域绿色基础设施体系框架。

c. 绿色发展。贯彻绿色低碳发展理念,考虑农村生活、生产是小流域综合治理的核心,拓展原有面向城市地区的人居环境型绿色基础设施,围绕绿色发展形成面向绿色生活和绿色生产的绿色基础设施。

d. 低本高效。小流域项目实施侧重低成本和易推广,应突出体现轻简化小工程等“小切口”设施,通过小修小补实现大效果,实现精明精准施策、低本高效建设。

1.2.2 构建内容

在保护生态环境、保障安全底线、促进绿色发展的框架下,构建集防洪排涝、水生态调节、污染防治、垃圾固废处理、粮食保障、水土保持、地质灾害防治、节能低碳、灌溉节水等各类设施于一体的小流域绿

色基础设施体系。通过创新低本高效、简单易行的建设运营模式,推动补齐小流域绿色基础设施短板弱项,逐步形成由城市向建制镇和乡村延伸覆盖的生态环境基础设施网络,最终实现小流域生态价值保护与生态功能修复。

a. 生态环境设施。以维护生物多样性和加强水土保持为主。①生物多样性设施包括人工动物巢穴、小微保育湿地、过鱼设施。②水土保持设施包括生态护坡、梯田、沉沙池、谷坊等设施。

b. 安全底线设施。①水安全保障设施:包括水库、堤防、行洪道、排(截)洪沟、塘堰等防洪排涝设施;自来水厂、水泵、输配水管道、引泉池等供水设施;生态缓冲带、漫水桥、拦河堰、滚水坝等水生态调节设施。②水环境改善设施:包括养殖尾水处理设施、粪污资源化利用、脱氮沟等农业污染防治设施;分散式处理、污水处理厂、污水管网等生活污水防治设施;秸秆资源化、厌氧制沼、固体废弃物处置等垃圾固废处理设施。③粮食安全保障设施:高标准农田是提高农业综合生产能力的重要抓手。④地质灾害防治设施:通过抗滑挡土墙、落石平台、拦石堤(墙)等防护设施达到工程防治效果。

c. 绿色发展设施。①绿色生活设施:节能低碳设施(绿色建筑、屋顶光伏、节能路灯、新能源充电桩等)、雨水收集利用设施(屋顶集水设施、雨水花园、植草沟等)、环卫设施(公共厕所、垃圾分类转运设施等)和交通出行设施(绿道、驿站等)与小流域居民绿色生活紧密相关。②绿色生产设施:灌溉节水设施(干渠、灌渠、节水设施等)和绿色生产设施(绿色工厂、智慧种植设施、数字管理一体化平台等)是实现绿色生产的关键工具。

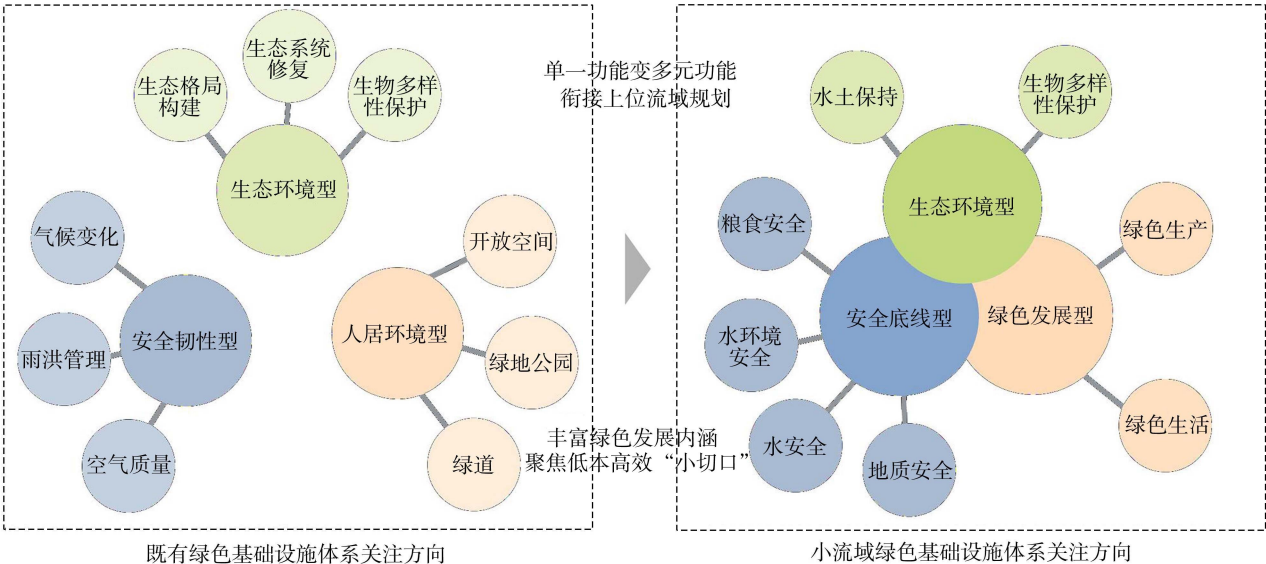


图2 小流域视角下对既有绿色基础设施体系拓展框架

Fig. 2 Expanding framework for existing green infrastructure system from perspective of small watersheds

2 小流域绿色基础设施实践

小流域绿色基础设施体系是指导小流域规划建设
的工具包,在具体实践中应结合小流域的特征问
题和目标愿景。选择湖北省丘陵型、岗地型和平原
原型 3 个不同地形的小流域实践案例进行分析,有针
对性地选择合适的设施实现有效治理,确保小流域
的绿色基础设施实践做到“问题导向,因地制宜,突
出特色,一河一策”。

2.1 丘陵型小流域

2.1.1 核心问题

十堰市茅塔河小流域位于丹江口水库库区的
中上游,是湖北省西北部重要的生态屏障。小流域
面积 157.5 km²,自南向北依次为生态区、农业区、工
业区、城市区,是集山、水、村、田、园、城为一体的完整
单元。该小流域的核心问题是水环境污染。上游农
村生活、畜禽养殖等污水收集处理率较低,农业农
村面源污染排放量大;中游城镇管网建设不完善、雨
污分流不彻底,导致下游水体水质稳定性不强,未
能持续满足Ⅲ类水水质的要求。茅塔河小流域现
状如图 3(a)所示。

2.1.2 绿色基础设施治理对策

以小手术、小治理思路分区分类、补短整改
提升绿色基础设施体系。坚持源头治理,上游推
进分布式、分户式农村污水处理设施建设。10
户以上聚居区,采用“化粪池+收集池+微动力
设施+人工湿地”模式;10 户以下分散农户,采
用“水冲厕所+三格化

粪池+沉淀池+小湿地”四件套模式,推进畜禽
养殖粪污无害化处理和资源循环利用。建设生
态脱氮沟 11 条,中游推进城镇雨污分流,实现
小流域内污水全收集、全处理、全达标。茅塔
河小流域改善水环境的绿色基础设施布局如图
3(b)所示。

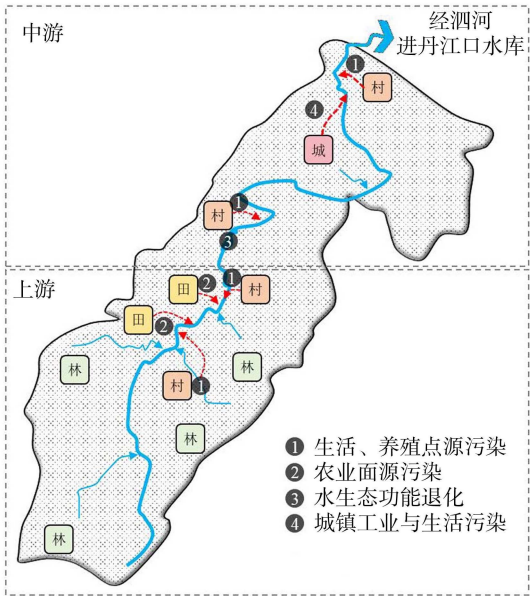
2.2 岗地型小流域

2.2.1 核心问题

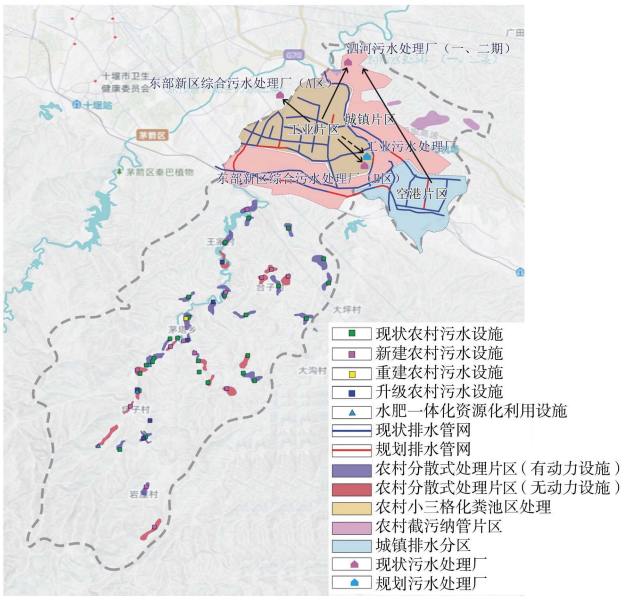
荆门市牌楼西河小流域处于鄂西山区向江
汉平原地区的过渡地带,是典型的岗地型流域
地区。流域面积 29.54 km²,是饮水安全保障、功
能多元化的城郊和就地城镇化区。楼西河小流
域的核心问题是水环境污染和水动力不足。上
中游地区农业面源污染和农村生活污水排放
量较大,河流水质总体状况较差。河道淤积严
重,拦水建筑较多,降低了流域水循环动力,汛
期流量远低于生态基流标准。

2.2.2 绿色基础设施治理对策

遵循“源头控制、过程拦截、末端处理”的
原则,分区治理水环境。在水产养殖污染治理
重点区域加快畜禽粪污资源化利用,对养殖基
地实施“三池两坝”尾水治理和鱼池标准化改
造,并沿河 200 m 内划定禁养区;农业面源末
端治理区域建设湿地与植草沟系统实现末端
净化;农村生活污水治理区域加快建设污水处
理设施,并配套水泵和水管,达标尾水回用于
“小三园”(小菜园、小花园、小果园)灌溉,如
图 4(a)所示。在提升水动力方面,重点优化现
状密集拦水设施,拆除拦河坝 18 座,生态改造
7 座,提升水体流动性,如图 4(b)所示。



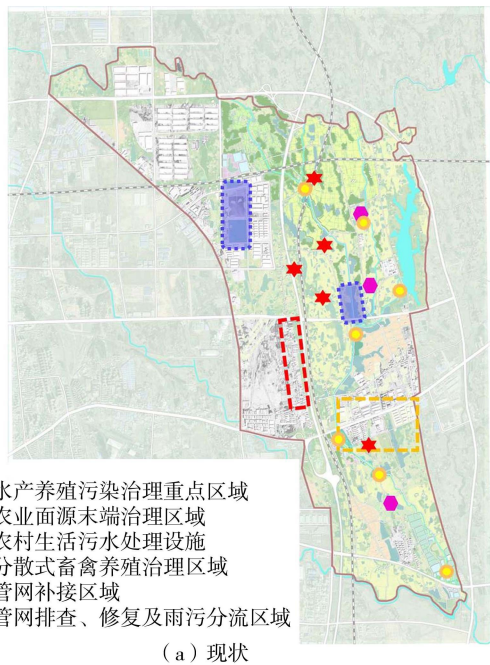
(a) 现状



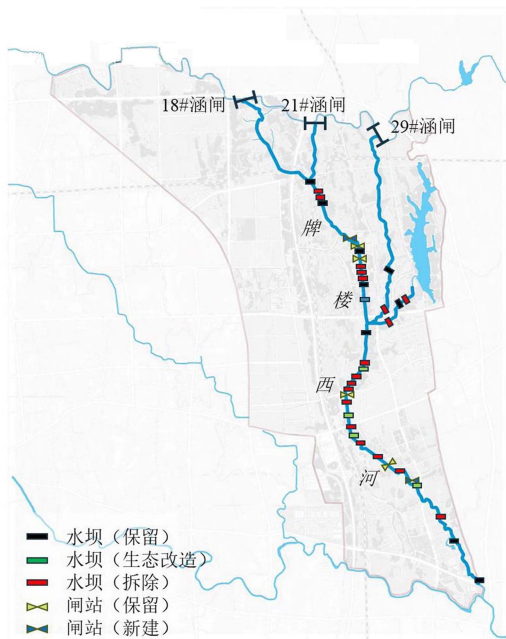
(b) 绿色基础设施布局

图 3 十堰市茅塔河小流域现状及绿色基础设施布局

Fig. 3 Current situation and green infrastructure layout of the Maota River small watershed in Shiyan City



(a) 现状



(b) 绿色基础设施布局

图 4 荆门市牌楼西河小流域现状及绿色基础设施布局

Fig. 4 Current situation and green infrastructure layout of the Xihe River small watershed in Jingmen City

2.3 平原型小流域

2.3.1 核心问题

荆州市洪湖湖区目前水质整体为Ⅳ~Ⅴ类,超标因子主要为总磷、化学需氧量和高锰酸盐。影响水质的因素主要有:①农业农村和城镇生活等外源污染突出,入湖总磷污染分别占农业面源污染和城镇生活污染的82%和18%;②洪湖沉水植被盖度锐减,自净能力严重下降,湖泊由清水型向浊水型稳态转换;③内源性污染较重,多年高密度围网养殖,造成底泥淤积严重,平均厚度达0.8~1.3 m。

2.3.2 绿色基础设施治理对策

针对洪湖水质问题,重点围绕四湖流域总干渠

上下游、左右岸,狠抓外源控源截污和内源生态修复,建立从源头溯源防治、过程控污截污到末端河湖整治的全方位修复路径,重点治理城乡生活污水、农业种植污染、畜禽养殖污染等污染源头,在中心城区等上游城镇生活地区、中游农田径流和农业养殖地区,下游入湖、入河排口等地区完善过程截污设施,加强末端治湖治河,启动环湖生态缓冲带、临湖截污带、沿湖生态修复带“三带”建设以及水生植物恢复等。到2024年,洪湖流域主要入湖河口全面消除劣Ⅴ类、Ⅴ类水,力争3a洪湖水质稳定在Ⅳ类以上,局部水质达到Ⅲ类。以总磷转移为例,洪湖水污染治理措施见图5。

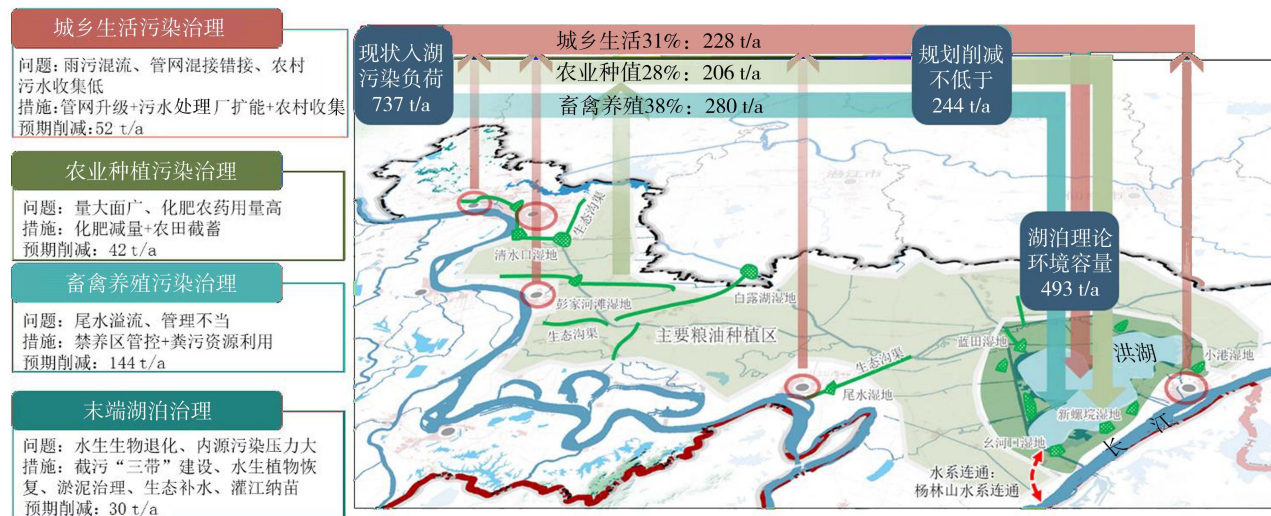


图 5 洪湖水环境系统治理模式

Fig. 5 Governance model for water environmental system of the Honghu Lake

3 结 语

本文结合小流域综合治理要求,从内涵丰富、规划衔接、功能拓展、设施聚焦等方面提升绿色基础设施体系与小流域的适配度,构建了小流域绿色基础设施体系,并结合 3 个典型案例的实践,指导小流域在绿色基础设施体系框架下因地制宜,结合实际问题和需求开展设施建设,做到一河一策。在小流域绿色基础设施建设过程中,除设施建设本身外,工作组织、管理模式、投融资等体制机制方面的创新有待进一步探索研究,应促进部门融合,整合各方力量,确保小流域绿色基础设施建设的可持续性,发挥长效机制。

参考文献:

[1] BENEDICT M, MACMAHON E T. Green infrastructure: smart conservation for the 21st century [J]. Renewable Resources Journal, 2002, 20 (3) : 12-17.

[2] 廖向华. 基于多目标进化算法的绿色基础设施空间布局优化研究 [D]. 广州:华南理工大学, 2022.

[3] 耿建伟, 余坤勇, 谢祯, 等. 基于生境质量模型的福州市绿色基础设施网络优化研究 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2023, 43 (2) : 118-125. (GENG Jianwei, YU Kunyong, XIE Zhen, et al. Habitat-quality-model based optimization of green infrastructure network in Fuzhou [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2023, 43 (2) : 118-125. (in Chinese))

[4] 张晓琳, 金晓斌, 韩博, 等. 长江下游平原区生态网络识别与优化:以常州市金坛区为例 [J]. 生态学报, 2021, 41 (9) : 3449-3461. (ZHANG Xiaolin, JIN Xiaobin, HAN Bo, et al. Identification and optimization of ecological network in the plain area of the lower Yangtze River: a case study of Jintan District, Changzhou [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41 (9) : 3449-3461. (in Chinese))

[5] 孔凡婕, 刘文平, 吴悠, 等. 基于绿色基础设施的国土空间生态修复研究:以长江中游为例 [J]. 国土资源导刊, 2023, 20 (2) : 82-87. (KONG Fanjie, LIU Wenping, WU You, et al. Research on national territory spatial ecological restoration based on green infrastructure network: taking the middle reaches of Yangtze River as an example [J]. Land & Resources Herald, 2023, 20 (2) : 82-87. (in Chinese))

[6] 武晓玲. 绿色基础设施的生态系统服务价值评估:以上海淀山湖风景区为例 [D]. 徐州:中国矿业大学, 2022.

[7] 王欣. 基于绿色基础设施理论的环境滇池湖滨带生态修复:以环滇池斗南湿地设计为例 [J]. 建设科技, 2022 (6) : 62-64. (WANG Xin. Ecological restoration of Dianchi Lake waterfront based on green infrastructure theory: case study of Dounan Wetland design of Dianchi Lake [J]. Construction Science and Technology, 2022 (6) : 62-64. (in Chinese))

[8] HERZOG C P . A multifun-ctional green infrastructure

design to protect and improve native biodiversity in Rio de Janeiro [J]. Landscape and Ecological Engineering, 2016, 12 (1) : 141-150.

[9] SNAEL T, LEHTOMAEKI J, ARPONEN A, et al. Green infrastructure design based on spatial conservation prioritization and modeling of biodiversity features and ecosystem services [J]. Environmental Management, 2016, 57 (2) : 251-256.

[10] 赵晨晓, 刘春卉, 魏家星. 缓解城市热岛效应的南京市绿色基础设施网络构建方法 [J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38 (6) : 1127-1135. (ZHAO Chenxiao, LIU Chunhui, WEI Jiaying. Green infrastructure network construction method for mitigating urban heat island effect in Nanjing [J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2021, 38 (6) : 1127-1135. (in Chinese))

[11] 许霖峰. 应对热岛效应的深圳低碳城绿色基础设施规划策略研究 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2013.

[12] 赵宇桑. 基于水量平衡的高密度居住区绿色基础设施优化策略研究 [D]. 济南:山东建筑大学, 2024.

[13] 杨柳, 李小英, 王莹, 等. 海绵城市雨水调蓄设施优化设计与运行调度研究进展 [J]. 水资源保护, 2024, 41 (5) : 53-61. (YANG Liu, LI Xiaoying, WANG Ying, et al. Research progress on optimization design and operation dispatch of rainwater storage facilities in sponge cities [J]. Water Resources Protection, 2024, 41 (5) : 53-61. (in Chinese))

[14] 李江云, 李瑶, 胡子欣. 灰绿耦合雨洪系统多目标优化建模与应用 [J]. 水资源保护, 2022, 38 (6) : 49-55. (LI Jiangyun, LI Yao, HU Zixin. Multi-objective optimization modeling and application of grey-green coupling stormwater system [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (6) : 49-55. (in Chinese))

[15] 侯精明, 栾广学, 王添, 等. “灰绿”协同措施对银川市合流制溢流污染的影响 [J]. 水资源保护, 2022, 38 (3) : 43-49. (HOU Jingming, LUAN Guangxue, WANG Tian, et al. Influence of “grey-green” syn-ergistic measures on combined sewer overflow pollution in Yinchuan City [J]. Water Resources Protection, 2022, 38 (3) : 43-49. (in Chinese))

[16] HDEIB Rouya, AOUAD Marwan. Rainwater harvesting systems: an urban flood risk mitigation measure in arid areas [J]. Water Science and Engineering, 2023, 16 (3) : 219-225.

[17] LIAO J, KIM H Y. The relationship between green infrastructure and air pollution, history, development, and evolution: a bibliometric review [J]. Sustainability, 2024, 16: 65-67.

[18] 马玥. 基于绿色基础设施理论的中心城区绿道网络规划及重点地段设计:以任丘市为例 [D]. 北京:北京林业大学, 2022.

[19] 宫聪, 吴旻, 胡长涓. 基于绿色基础设施网络的城市公共空间生态功能优化策略:以南京中心城区为例 [J].

新建筑,2022(1):49-54. (GONG Cong, WU Hong, HU Changjuan. Ecological function optimization strategy of urban public open space based on green infrastructure network; a case study of central Nanjing [J]. New Construction,2022(1):49-54. (in Chinese))

[20] 丁金华,孙琦,钱晶. 基于 MSPA-InVEST 模型的水网乡村绿色基础设施网络构建研究:以吴江东北片区为例[J]. 西北林学院学报,2022,37(6):183-191. (DING Jinhua,SUN Qi,QIAN Jing. Research on the construction of rural green infrastructure network of water network based on MSPA-InVEST model;a case study of northeast Wujiang area [J]. Journal of Northwest Forestry University,2022,37(6):183-191. (in Chinese))

[21] 葛希辰. 双碳视角下 MSPA 在乡村绿色基础设施格局优化中的应用:以徐州市睢宁县为例[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.

[22] SEGURA-BARRERO R , LANGEMEYER J , BADIA A, et al. The food-water-climate nexus of green infrastructure: examining ecosystem services trade-offs of peri-urban agriculture [J]. Science of the Total Environment, 2024, 951; DOI: 10. 1016/j. scitotenv. 2024. 175799.

[23] 胡凯,许航,张怡蕾,等. 分散式农村生活污水处理设施运营模式探讨[J]. 水资源保护,2017,33(2):63-66. (HU Kai, XU Hang, ZHANG Yilei, et al. Study of operation modes for decentralized domestic sewage treatment facilities in rural areas [J]. Water Resources Protection,2017,33(2):63-66. (in Chinese))

[24] 项诚. 景观基础设施视角下乡村景观营建策略研究:以池州市栗坑村为例[D]. 南京:南京林业大学,2022.

[25] 冯矛. 嘉陵江流域多尺度绿色基础设施规划研究[D]. 重庆:重庆大学,2022.

(收稿日期:2024 - 06 - 28 编辑:胡新宇)

+++++

(上接第 215 页)

[15] 张哲铭,李晓瑜,姬建. 基于 LS-SVM 的 TBM 掘进参数预测模型[J]. 河海大学学报(自然科学版),2021,49(4):373-379. (ZHANG Zheming, LI Xiaoyu, JI Jian. TBM excavation parameter prediction model based on LS-SVM[J]. Journal of Hohai University (Natural Science), 2021,49(4):373-379. (in Chinese))

[16] 刘娣,孙佳倩,余钟波. 基于机器学习模型的多层土壤湿度反演[J]. 河海大学学报(自然科学版),2024,52(3):7-14(LIU Di,SUN Jiaqian,YU Zhongbo. Multi layer soil moisture inversion based on machine learning [J]. Journal of Hohai University (Natural Science), 2024,52(3):7-14. (in Chinese))

[17] 王红瑞,魏豪杉,胡立堂,等. 基于遗传算法的 SVM-AR 改进模型与应用[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(6):488-497. (WANG Hongrui, WEI Haoshan, HU Litang, et al. Improved SVM-AR model and application based on genetic algorithm [J]. Journal of Hohai University (Natural Science), 2020,48(6):488-497. (in Chinese))

[18] 邓韶辉,王晓玲,石祖智,等. 基于 FIG 和 GWO-SVM 的灌浆功率时序预测[J]. 河海大学学报(自然科学版),2020,48(5):426-432. (DENG Shaohui, WANG Xiaoling, SHI Zuzhi, et al. Time series prediction of grouting power based on FIG and GWO-SVM[J]. Journal of Hohai University (Natural Science), 2020,48(5):426-432. (in Chinese))

[19] 杨丹. 区域洪水灾害风险特征及其演化态势分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2023.

[20] 唐红亮,谢宇宁,王冬,等. 基于突变理论和模糊数学的湖库型水源地风险评价[J]. 中国农村水利水电,2024(2):178-185. (TANG Hongliang, XIE Yuning, WANG Dong, et al. Risk assessment of lake-reservoir water source based on mutation theory and fuzzy mathematics [J]. China Rural Water Resources and Hydropower,2024(2):178-185. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 05 - 30 编辑:胡新宇)

+++++

(上接第 225 页)

[36] GATIEN P, ARSENAULT R, MARTEL J L, et al. Using the ERA5 and ERA5-Land reanalysis datasets for river water temperature modelling in a data-scarce region[J]. Canadian Water Resources Journal,2023,48(2):93-110.

[37] 刘锋,严冬,范文晓,等. 近 50 年来新疆阿克苏河流域平原区气候变化周期分析研究[J]. 新疆农业大学学报,2021,44(2):117-122. (LIU Feng, YAN Dong, FAN Wenxiao, et al. Analysis of climate change cycle in Aksu River Basin, Xinjiang in recent 50 years [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2021, 44(2):117-122. (in Chinese))

[38] 王磊,曾思栋,阳林翰,等. 基于 CMIP6 的未来气候变

化下汉江流域干旱特征研究[J/OL]. 水资源保护. [2024-03-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.tv.20240520.1608.009.html>. (WANG Lei,ZENG Sidong,YANG Linhan, et al. Drought characteristics in Hanjiang River Basin under future climate change based on CMP6 [J/OL]. Water Resources Protection. [2024-03-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1356.tv.20240520.1608.009.html>. (in Chinese))

[39] MCGUIRE C R, NUFIO C R, BOWERS M D, et al. Elevation-dependent temperature trends in the Rocky Mountain Front Range: changes over a 56 and 20-year record[J]. Plos One, 2012, 7(9):12-13.

(收稿日期:2024 - 06 - 12 编辑:胡新宇)