第45卷第1期 华中农业大学学报 Vol.45 No.1
2026年 1月 Journal of Huazhong Agricultural University Jan. 2026,180~190

郑段雅,周星宇,翟文雅,等.多功能协同目标下城郊湖泊湿地公园空间景观韧性规划设计策略:以武汉未来湾湿地公园为例[J].华中农业大学学报,2026,45(1):180-190.DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.01.016

多功能协同目标下城郊湖泊湿地公园空间景观韧性规划设计策略:以武汉未来湾湿地公园为例

郑段雅[1],周星宇[2],翟文雅[2,3],邓心怡[1],潘延宾[4]

1.武汉市园林建筑规划设计研究院有限公司第四分院,武汉 430014;
2.武汉市规划研究院(武汉市交通发展战略研究院)区域规划所,武汉 430014;
3.武汉大学城市设计学院,武汉430072;
4.湖北美术学院环境艺术学院/可持续景观规划设计研究中心,武汉 430025

摘要 面对城市扩张背景下城郊湖泊湿地普遍存在的功能冲突与生态退化问题,基于系统韧性理论,提出面向多功能协同的湖泊湿地韧性设计框架。选取未来湾湿地公园为研究对象,系统诊断场地生态、水环境、景观与生物多样性等现状问题,识别水安全调控、生物栖息地保护、水质治理与公共游憩之间的主要冲突,构建四维协同设计策略体系:(1)水安全韧性策略,通过流域统筹和分级调蓄工程实现雨洪管理与水景塑造的兼顾;(2)生物多样性韧性策略,通过核心生态禁入区、生态缓冲带和植被优化等方法营造动态生境体系;(3)水环境韧性策略,通过分区水质目标、污染负荷控制与生态净化措施,实现水源保护与栖息地需求平衡;(4)景观游憩韧性策略,通过弹性驳岸、季节景观序列与多层次游憩系统,实现生态功能与人文体验的共生。基于此,系统韧性导向设计能够有效协调湖泊湿地多功能冲突,提升生态系统适应性和社会使用价值,将为城郊湖泊湿地的可持续管理与城市蓝绿基础设施建设优化提供理论与实践参考。

关键词 城郊湖泊湿地;系统韧性;多功能协同;生态设计;武汉未来湾

中图分类号 TU986.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)01-0180-11

城郊湖泊湿地作为连接城市建成区与自然生态区的关键过渡带,既承担防洪调蓄、水质净化、生物栖息等多样生态功能[1-3],又承载着居民休闲体验、景观观赏等游憩功能[4-6]。然而,随着城镇化的持续外扩与城市土地开发强度的不断提升,城郊湖泊湿地正面临功能弱化与空间压力的双重挑战,包括防洪安全与景观开发、生物保护与人类活动、生态修复与经济利用之间的矛盾与权衡[7-8]。因此,如何在城市扩张的边缘地带实现湖泊湿地多功能协同,已成为城市生态规划的核心议题之一。

目前,国内外理论研究与实践主要集中于生态保护[9]、生境修复[10]、滨水公园规划[11]等单一功能议题。其中,水生态与环境领域的研究多关注水质净化、洪水调蓄与生物多样性等生态价值,多采用工程化手段或生态修复技术提升湿地的单项性能[12-13];规划与景观领域的研究更多关注湿地空间形态优化与景观价值塑造,以改善城市形象与公共空间品质[14]。相关研究积累了较为丰富的理论与实践经验,但整体上仍以单一目标导向为主,对湿地系统内部功能之间的耦合关系及其空间协同机制关注不足。在实际规划与建设中,上述研究取向往往表现为碎片化的治理实践,虽能有效缓解局部风险,却忽视了湖泊湿地系统整体的自组织能力与调节弹性[15]。

近年来,“韧性”逐渐成为湿地与城市水系统研究的重要切入点。相关研究开始强调湖泊并非静态的生态单元,而是具备适应、恢复与重组能力的复杂系统,其价值不仅体现在单项功能的最大化,更体现为多功能在时空尺度上的动态协同[16]。从评估方法上看,已有研究尝试通过指标体系、情景模拟或网络

收稿日期:2025-10-09
基金项目:中国博士后科学基金面上项目(2025M780324)
郑段雅,E-mail:10076895@qq.com
通信作者:潘延宾,E-mail:panyanbin@hifa.edu.cn

分析等手段，识别湿地系统对洪涝冲击、气候变化和土地利用转型的响应特征，为理解湿地韧性的形成机制提供了新的认知基础[17-18]。然而，现有湖泊湿地的韧性研究多停留在韧性概念阐释或定量评价层面，针对城郊湖泊湿地这一兼具水安全、生物多样性与景观游憩等多重功能的复杂空间类型，尚缺乏从多功能协同视角出发，将韧性目标转化为可操作规划设计策略的系统研究。

本研究立足于“多功能协同”核心目标，旨在探索并构建一套面向城郊湖泊湿地的韧性设计策略体系，厘清城郊湖泊湿地多功能冲突的典型表征与韧性内涵的关联，并将该策略体系转译为具体设计方案，以期为化解同类湖泊型湿地的保护与利用提供可借鉴的理论依据与实践范本。

1　理论基础：从单一韧性到系统韧性

“韧性”（resilience）概念最早由 Holling[19]于 1973 年提出，用以描述生态系统在受到扰动后保持功能与结构稳定的能力。此后，韧性理论经历了从工程韧性到生态韧性，再到社会-生态韧性的扩展[13]。其中，工程韧性强调系统在单一稳定状态下的快速恢复，关注“回弹力”；生态韧性则关注系统在多稳态间的转换与维持能力，强调“适应性与自组织性”[14]；社会-生态韧性进一步引入人类活动、制度与治理等因素，体现了系统的学习、创新与自适应能力[15]。在此基础上，系统韧性概念应运而生，强调多要素系统在结构与功能上的协同响应，关注系统在复杂扰动下的稳定性、冗余性与持续演化潜能[16]。系统韧性的目标不再追求单一系统受扰动后能恢复到初始稳态，而是强调通过持续适应与调整，从而在多个系统之间形成一种新的动态平衡，即强调整体性、协同性和动态化 3 个核心内涵[17]。

系统韧性视角的引入，促使承载多重功能的城郊湖泊湿地景观设计从单一功能实现转向多功能复杂互动关系的协调管理，即通过识别并协同利用系统内部不同功能间的耦合与互补，提升整体系统的稳健性与适应力[18]。具体来看，水安全与水环境是生态环境韧性的核心，决定系统的生态调节与环境承载能力；生物多样性代表结构韧性，是维系系统自我更新的基础；景观与游憩则体现社会韧性，是湿地可持续利用与公共价值的重要表现。这些功能之间并非简单并列，而是存在相互制约与相互增强关系：例如，为防洪安全而进行的水位剧烈调控（水安全）可能破坏鸟类栖息地（生物多样性），需要权衡；而通过构建生态缓冲带，虽然能净化径流（水环境），又能为物种提供生境（生物多样性），但会在一定程度上阻隔人为活动（景观游憩），同样需要进行协调。面对以上复杂性，可参考系统韧性理论建构协调框架：通过识别功能间的依赖关系与潜在协同路径，在规划设计中实现多目标的共生优化[19]。例如，Ahern[20]提出的“多重韧性景观”概念强调，通过多层次、多目标的设计策略，在生态安全与人类活动之间实现弹性平衡，其本质正是对系统内部多元目标间权衡与协同关系的空间化调和。

因此，从单一韧性到系统韧性的转向，意味着湿地设计从“防御性”向“适应性”范式的转变，强调在权衡中寻求协同，增强系统的综合韧性。在空间上，可通过分级调蓄格局、生境分区与岸线梯度等方式构建多层次结构，实现协同空间的叠加；在过程中，通过水文连通与生态演替增强系统的自组织与恢复力。通过这种系统化的韧性思维，保障湿地能够在城市扩张与生态风险并存的背景下，实现多功能的协调共生，为城市生态系统的长期稳定与可持续发展提供支撑。

2　多功能协同目标下城郊湖泊湿地韧性设计的原则、目标与策略

本研究以系统韧性理论为基础，遵循“原则提出-目标设定-策略生成”的推演逻辑，构建完整的设计框架（图 1）。

2.1　韧性设计原则

基于系统韧性理论提出的整体性、协同性和动态化的核心内涵，并结合城郊湖泊湿地所固有的复杂性与多功能矛盾，本研究提出 3 项核心设计原则：（1）整体统筹原则。韧性并非一种孤立属性，而深刻依赖于其所属各系统间的物质、能量及信息交换[21]。其中，城郊湖泊湿地的水安全受控于流域产汇流过程，水质受区域污染负荷支配，生物多样性维系于景观尺度的栖息地网络连通性。因此，具体设计中需强化流域与水系统筹连通，构建多尺度调蓄体系，为应对极端气候事件和地表径流变化提供弹性缓冲。（2）多目标协同原则。韧性的建立需要对系统内部的不同功能进行剖析后，进行合理权衡与协同，即提升系统主体的自协调能力[22]。在湖泊湿地空间规划设计工作中，面对防洪安全、生物多样性、水质净化和游憩利用等存在冲突的多重功能[23]，韧性设计需

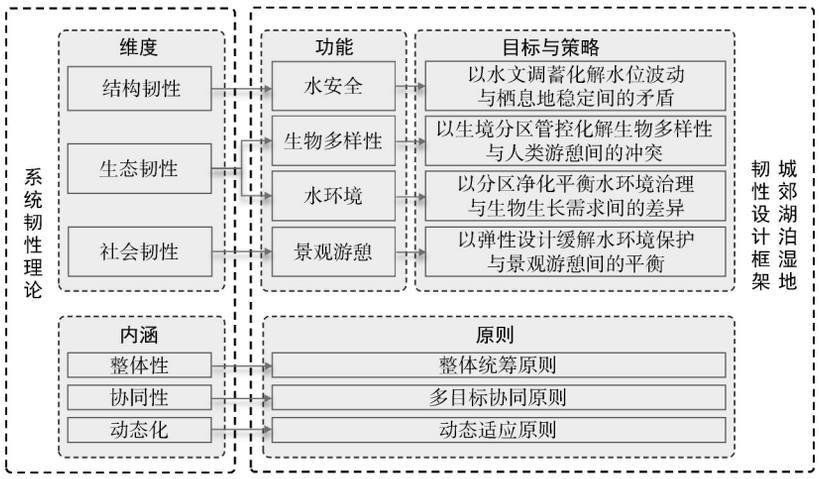


图1 理论框架

Fig.1 Theoretical framework diagram

要通过空间分区与功能叠置等规划手段实现多目标协同。(3)动态适应原则。按照系统韧性的动态适应与转化内涵[24],城郊湿地所处环境具有高度的不确定性,既受环境变化影响,又受城市建设与社会活动干扰。设计方案需具备可调节与可恢复特征,例如灵活的调蓄工程、渐变式岸线和可更新植被群落等,以维持生态系统受干扰后的恢复与重组能力。

2.2 韧性设计策略框架

基于以上原则,结合系统韧性理论的结构、生态、社会三大经典维度[13]与城郊湖泊湿地的特殊属性,本研究提出了“四维韧性”协同目标体系。该体系是经典韧性维度在城郊湖泊湿地设计语境下的具体转译。(1)水安全目标。构建以流域统筹和多级调蓄为核心的雨洪防控与水位管理体系。(2)生物多样性目标。营造多层次、多类型的鸟类栖息与迁徙生境,增强生态网络连通性。(3)水环境目标。建立分区水质调控与污染负荷管理体系,提升系统自净与再生能力。(4)景观游憩目标。塑造兼具季节变换与文化适应性的生态景观体系,实现生态教育与人文体验的融合。这些目标构成了城郊湖泊湿地韧性设计的基础导向,既保障了生态系统的稳定性需求,也兼顾了城市社会系统的共享性要求。

围绕上述韧性设计原则与目标,本研究提出针对性设计策略。(1)水安全导向韧性策略。以“水文安全-高程调蓄”为核心,构建分级调蓄体系、分洪通道与生态堤岸,实现湖区的“可蓄、可排、可调”。该策略直接服务于水安全韧性目标,其提供的弹性水文基础设施与动态调度能力,是化解水安全调控与生物栖息地稳定性,以及与滨水景观持续性之间冲突的工程基础。(2)生物多样性导向韧性策略。通过湖岸带梯度塑造与核心保育区、生态缓冲区等生境分区实现生态网络的连续性与多样性,为缓解生物保护与人类游憩活动之间的直接空间竞争并提供应对环境波动的避难所提供关键途径。(3)水环境导向韧性策略。利用自然净化过程与生态工程构建分区净水体系,实现从“污染应对”到“生态修复”的转变,以协调高标准水质保护与生物多样性保育对水体营养状态差异化需求间的矛盾。(4)景观游憩导向韧性策略。通过可变岸线、季节性景观演替与公众参与机制,将韧性理念转化为文化认知与空间体验,实现生态教育、文化传播与社区参与的协同提升。

3 多功能协同目标下的武汉未来湾湿地公园韧性设计

本研究构建的韧性设计框架(图1)为化解城郊湖泊湿地多功能冲突提供了系统性思路。但仍需通过具体实践予以检验与修正,因此,本研究以武汉未来湾湿地公园为实证案例探索与践行韧性规划理念。

3.1 场地概况与问题诊断

武汉市未来湾公园规划于武汉市主城区与光谷片区之间的过渡带,是典型的城郊湖泊湿地(图2)。场地原为湖泊滩涂与农田交织的复合景观系统,生态基底较为完整,但在城市扩张的持续推进下,场地外围已被居住区、产业与交通基础设施逐步包围,呈现出典型的被建设用地“夹持”的空间格局。

场地承载着多重且高价值的功能诉求。(1)水安全方面。未来湾作为梁子湖的一部分,是当地重要

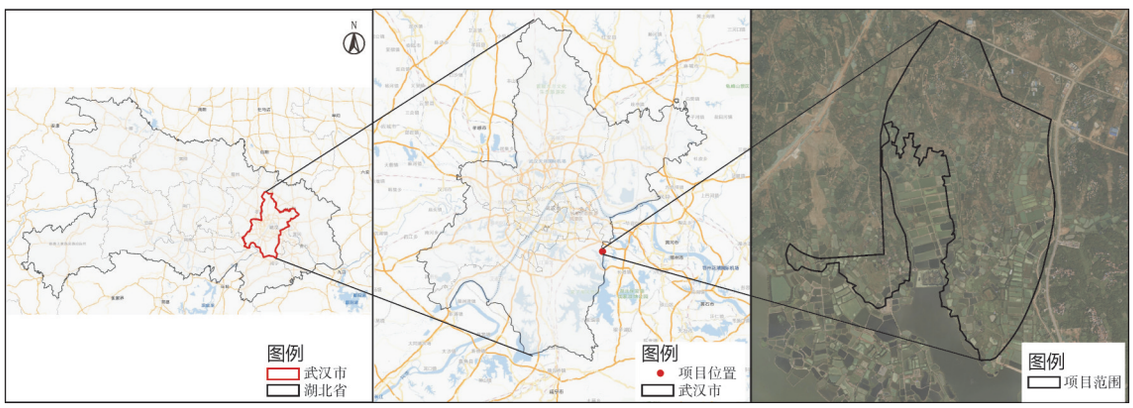


图2 未来湾公园区位示意图

Fig.2 Location map of Future Bay Park

的雨洪调蓄空间，其水域面积约为 102 hm^2，可调蓄容量约 164 万 m^3，可以满足周边 90 hm^2 区域的 24 h 强降雨径流排放。(2)水环境方面。其所属的梁子湖被列为鄂东战略备用水源地，但未来湾历史水质数据显示其 70% 的时段水质为Ⅳ～Ⅴ类，呈轻度到中度富营养状态，实地抽样调查的污染物中约 45% 来源于鱼塘的底泥内源污染，约 30% 来源于周边和上游的农业面源污染，环境治理与改善需求迫切。(3)生物多样性方面。该区域是世界极度濒危物种、国家一级保护野生动物——青头潜鸭的全球最南端繁殖地，区域内最近 1 a 内观测个体数量超过 30 只，同时还栖息着东方白鹳、黑翅长脚鹬、鸦鹃、白鹭、翠鸟、鹭鸨等数百只鸟类，生态价值极其突出。(4)景观价值层面。未来湾公园位于武汉新城中轴线的南端，被定位为区域重要的景观核心与公共客厅，该规划设定年游客接待量达到 30 万人次，承担市民文化交流与休闲游憩等职能。

韧性设计策略需要着力破解以下难题：(1)水安全调控与生物多样性保护存在局部矛盾。湖泊作为雨洪调蓄空间所必需的水位调整与岸边筑巢鸟类所要求的静稳栖息条件之间存在直接矛盾，如青头潜鸭筑巢繁殖期为每年 4—7 月，与当地梅雨季节以及水位剧烈波动期相重叠(水文资料显示水位最高会上升 1.5 m)，同时水位变化也对滨水景观的稳定性构成挑战。(2)水环境治理与生物多样性保护的目标并非完全一致。作为战略备用水源，其水质目标(通常要求达到Ⅲ类及以上)与部分游禽与涉禽偏好的轻度富营养化水体环境存在管理目标上的分歧，这使得水环境治理与特定生物栖息地保护的目标并非完全同步。(3)生物多样性保护与人类游憩活动冲突。未来湾记录的鸟类多数对人类活动干扰极为敏感，需要隔离距离至少超过 200 m 的大面积、连续性静谧生境与生态缓冲带。然而，公园作为公共空间，维持适度的人流与活动是其基本功能，二者在空间使用上形成了“保护与利用”之矛盾。上述多元功能诉求在有限空间内交织碰撞，形成了未来湾湿地公园需要化解的三大核心冲突(图 3)。本研究针对上述冲突构建的韧性设计框架与应对策略，其核心逻辑与方法对于具有类似功能复合性与矛盾敏感性的城郊湖泊湿地具有迁移应用价值，尤其适用于作为水源地、位于生物多样性热点区域或承受高密度城市发展边缘压力的湖泊湿地系统。



图3 未来湾湿地公园核心功能冲突关系框架图

Fig. 3 Framework diagram of core functional conflicts in Future Bay Wetland Park

3.2 多功能协同目标下的武汉未来湾湿地公园韧性设计策略

1)水安全目标下的韧性设计策略。为应对水安全调控与生物多样性保护的矛盾，该规划通过构建可精细调控的水文系统，将原本用于雨水排放的单一功能设施转化为可协同生物栖息和水景营造等多重目标场景的复合工程(图 4)。具体而言，首先依据武汉市历史降雨统计资料，界定系统运行的 3 种量化情景：小雨(24 h 降雨量＜10 mm)、中雨(24 h 降雨量 10～25 mm)与大雨(24 h 降雨量＞25 mm)。在此基

础上，通过水力计算，明确各级设施的量化设计参数：环路雨水管设计排水能力约2.5 m^3/s，串联蓄水坑塘和净水坑塘总有效调蓄容积分别为53和35 hm^2，并设有可控闸门及连接管道进行水量调度。系统运行逻辑如下：在小雨情景下，径流经雨水管汇入蓄水坑塘，随后流入净水坑塘进行沉淀与植物净化（预计悬浮物去除率＞60%，总磷去除率＞30%），最后溢流至主湖。在中雨情景下，降雨经过蓄水坑塘缓冲后，跳过净水坑塘环节，通过其专用渠道（设计流速约3 m/s，内置卵石与格栅进行物理截污）排入湖泊或城市管网。在大雨情景下，为防范内涝，开启环路雨水管直排闸口，将超标径流快速分泄。此外，系统具备双向水位调控功能。通过管道与闸门联动，可在枯水期将蓄水坑塘储存的水资源反补入主湖，使湖区水位维持在17.5～18.0 m，以保障景观水面与滩涂生境稳定。在鸟类繁殖等关键生态期，则依据目标鸟类的巢址要求（如青头潜鸭营巢区水位波动小于30 cm），动态调控局部坑塘水位，为其创造静稳的繁殖条件。

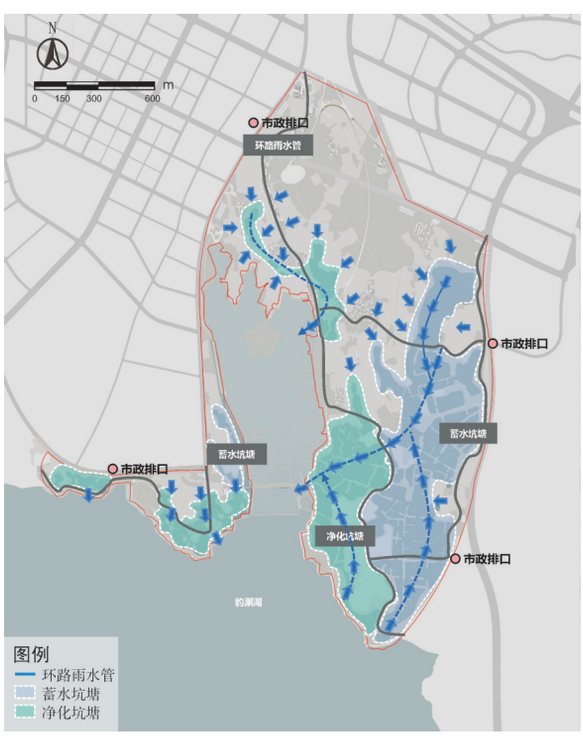


图4 未来湾公园水安全韧性工程示意图

Fig.4 Schematic diagram of water safety resilience engineering in Future Bay Park

2）生物多样性目标下的韧性设计策略。为缓解生物多样性保护与人类游憩活动的冲突，该规划基于前期资源本底调查所明确的关键物种数量（重点为青头潜鸭）、行为习性及其栖息地空间需求，推导建立“禁入-缓冲-活动”三级空间管控体系，为不同鸟类提供完善的生存繁衍生境。根据生态习性，青头潜鸭等游禽在非繁殖期偏好栖息于水生植物丰富的小型湖泊，繁殖期则选择芦苇丛生的隐蔽沼泽地带；涉禽类适宜在开阔的泥滩或浅水区觅食活动；而鸣禽、攀禽和陆禽等多依赖茂密灌丛进行隐蔽、取食和营巢。基于此，本研究从空间分区、生境塑造2个层面构建韧性生境体系。①在空间分区层面，将观测到青头潜鸭等重要鸟类集中分布的区域划定为生态禁入区（面积73.5 hm^2，占总面积的24%），严格限制人类活动干扰。同时，在人类活动区与生态敏感区交界处及环园路沿线，根据前述缓冲距离，设置总面积超过95 hm^2、全长超过3 km的本土密林生态缓冲带，既有效阻隔人为干扰，又为鸣禽、攀禽和陆禽提供了适宜的栖息环境（图5）。②在生境塑造层面，采取4项针对性措施。一是通过坑塘水系连通与水文调控，形成水体闭合度良好、水深大于1.5 m的生态湾区，满足游禽对稳定水域的需求。二是实施退渔还湿工程，塑造大面积水深低于0.3 m的浅水滩涂，为涉禽创造理想的觅食环境。三是通过降低南部田埂高程、控制坡度系数为1∶10，建立园区湿地与外部湖泊之间的生态廊道，促进水禽在繁殖期的自然迁徙；四是对湿地和林地植物群落配置进行系统优化

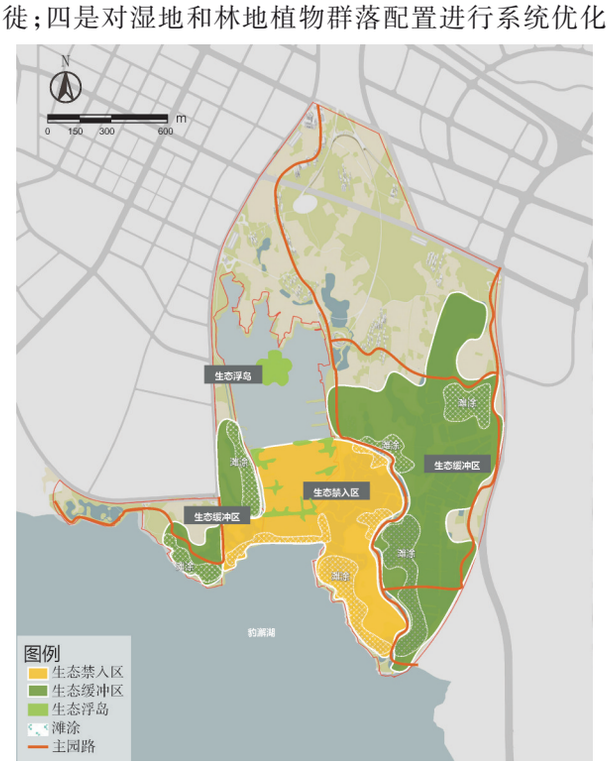


图5 未来湾公园生态功能分区示意图

Fig.5 Schematic diagram of ecological functional zoning in Future Bay Park

（表1），湿地区域通过优化挺水植物、沉水植物和浮叶植物的组合配置，为植食性鸟类提供丰富的种子、果实等食物资源；又通过水生生态系统为肉食性鸟类供应充足的底栖动物和鱼虾等饵料生物。林地区域通过增植大型乔木为大型涉禽和部分攀禽提供营巢场所，补充的浆果蜜源树种不仅为陆地营巢鸟类营造更为隐秘的栖息空间和稳定的食物来源，还能显著提升林分郁闭度，有效阻隔游客干扰和天敌入侵。值得特别指出的是，该规划创新性地配置了约2.5万 m^2 的装配式生态浮岛系统。在非繁殖期，这些浮岛以花型图案组合布置于湖心区，兼具水质净化与景观塑造功能；在鸟类繁殖期，则可灵活拆解并重新分布至生态禁入区和缓冲带的内缘区域，为鸟类提供动态的庇护场所和营巢支持，显著提升了生境系统的时空适应性。

3）水环境目标下的韧性设计策略。为协同水环境治理与生物多样性保护目标非完全一致的矛盾，采用分区治理策略，利用数据模型确定可量化的水质目标，再进行差异化的空间设计与指标配置，以保证不同水质目标的实现。

表1　未来湾公园湿地和林地主要植物群落配置一览表

Table 1　List of main plant community configurations in wetlands and woodlands of Future Bay Park

类别 Types		植物名称 Name of plants	主要作用 Main function
湿地植物群落	挺水植物	再力花	净化能力强
		千屈菜	水陆两栖，花期长，对蜜蜂和蝴蝶极具吸引力
		花叶芦竹	适应性强，水质净化能力较好
		水葱	喜光耐寒，对污水有净化作用
		香蒲	生命力强，净化水质，其蒲绒是鸟类优良的巢材
	浮叶植物	睡莲	适用性广，兼具净化水质、为鱼虾提供食物来源
		荇菜	繁殖快，为鱼虾提供食物来源
	沉水植物	苦草	先锋物种，适应性强，是草食性鱼类的重要饵料
		黑藻	净水能力强，同时是草食性鱼类重要饵料
		狐尾藻	净水效果显著，生长快，耐污染能力较强
		金鱼藻	分布极广，能有效增加水体溶氧量
林地植物群落	浆果类树种	构树	先锋树种，聚花果，6—7月果期极受鸟类喜爱
		桑树	乡土树种，聚花果（桑葚），5—6月果期，营养丰富
		女贞	常绿树种，核果，11—12月果期，冬季重要食源
		南天竹	林下灌木，浆果，10—11月果期，冬季重要食源
		山茱萸	核果，8—10月果期，秋季红果，夏秋季重要食源
	蜜源类树种	枇杷	常绿树种，10—12月开花，蜜粉丰富，冬季重要蜜源
		南京椴	6—7月开花，夏季重要蜜源
		刺槐	4—5月开花，花序长，蜜粉多，春夏季重要蜜源
		柑橘	春季开花，蜜源好，果亦可食
		荆条	6—8月开花，花期长，夏季主要蜜源
		桂花	9—10月开花，秋季重要蜜源
	栖息类树种	香樟	树冠庞大，四季常绿，是鸟类优良的筑巢和夜间栖息地
		垂柳	枝条密集下垂，临水而生，为水鸟提供隐蔽场所，为鱼虾类提供植物碎屑
		水杉	可形成森林群落，提供群体栖息地，为鱼虾类提供植物碎屑
		池杉	树干基部膨大，常有空洞，利于动物藏身；膝状呼吸根形成复杂微生境
		竹林	竹林结构紧密，是多种鸟类和小型哺乳动物的理想隐蔽所和筑巢地
		蚊母树	枝叶密集，常绿，易于形成隐蔽空间
		法国冬青	常绿灌木至小乔木，枝叶茂密，是各类动物优良的绿篱和屏障，提供完美隐蔽

①开展污染治理指标的定量化测算。首先，基于现场勘查采样与武汉市环境监测资料，测量水质以及识别生活污水、农业面源、初期雨水等主要污染源的排放情况。随后，应用输出系数法对场地水域内化学需氧量（chemical oxygen demand，COD）、总氮（total nitrogen，TN）、总磷（total phosphorus，TP）等

关键污染物的现状负荷量进行估算。再结合场地功能分区，确定公园湖泊区（Ⅲ类水）与坑塘栖息区（Ⅳ类水）2类水环境容量目标，以及需要削减的污染负荷量（表2），为后续生态净化工程的规模与布局提供精确依据。

表2 未来湾公园分区污染物负荷总量控制一览表

Table 2 List of total pollutant load control in different zones of Future Bay Park t/a

指标 Indicators	分区 Zone	COD	NH_3^--N	TN	TP
水环境容量目标	公园湖泊区	943.001 4	55.800 0	151.224 2	35.767 8
	坑塘栖息区	577.968 6	34.200 0	92.685 8	21.922 2
现状污染负荷量	公园湖泊区	2 166.491 0	58.534 2	201.084 6	41.062 6
	坑塘栖息区	1 327.849 0	35.875 8	123.245 4	25.167 4
需消减的污染负荷量	公园湖泊区	1 223.489 0	2.734 2	49.860 4	5.294 8
	坑塘栖息区	749.880 6	1.675 8	30.559 6	3.245 2

表2中水质目标（公园湖泊区Ⅲ类、坑塘栖息区Ⅳ类）的实现是一个系统性、渐进式的过程，预计可通过分阶段措施在3 a内逐步实现。其中近期半年以控源截污为主，通过污染面源拦截、基底清淤和初期雨水净化，快速削减外源与内源污染负荷；中期1～2 a以调节水环境为主，通过局部活水循环、湿地植被净化功能提升及生态浮岛等工程，增强系统自净能力与水质稳定性；后期依托持续监测与适应性管理，结合植被群落演替与生态系统成熟，实现水质目标的动态稳定与韧性维持。

②优化水系空间布局以控制污染物交换。为验证并优化设计方案，基于MIKE21的水质模型，模拟湖区内水流场与水质交换情况（图6）。分析发现原设计方案中2类水质区之间的水力交换过程过于顺畅，约45%区域的水质将在数天内发生显著混合。为此，对坑塘栖息区实施水系形态改造，通过增设蜿蜒回水结构和控制水流路径长度，有效延缓营养盐的交换速率，维持各功能区适宜的水质特征。

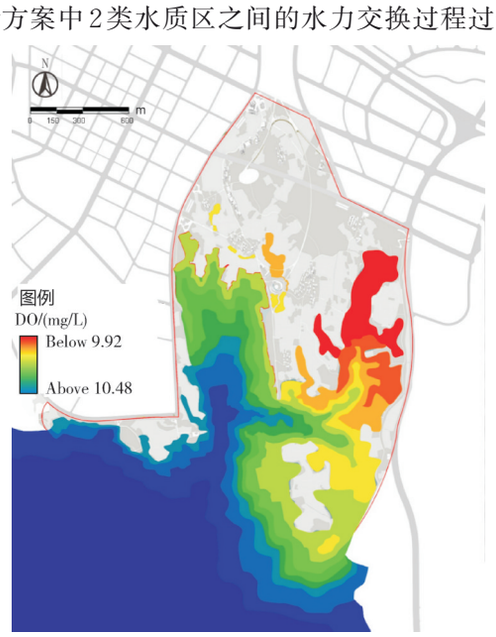


图6 未来湾公园水质模拟分析图

Fig.6 Water quality simulation analysis diagram of Future Bay Park

③提出针对性生态治理措施。在常规的清淤疏浚与活水循环工程基础上，重点开展植物净化系统的空间差异化配置。在公园湖泊区，邻近城市建成区的岸带段集中种植鸢尾、蒿柳和荻白等高效除磷植物，邻近农业区的区段则优选菖蒲、芦竹、水芹和黑麦草等强化脱氮物种。在坑塘栖息区，采取适度净化策略，在减少高效净水植物配置的同时，通过岸带乔木种植和水体中加入金鱼藻、黑藻等遮光性沉水植物，合理控制水体光照条件，科学维持轻度富营养化状态，既满足水禽栖息需求，又保障水质安全底线。

4）景观游憩目标下的韧性设计策略。为缓解生态环境维护与人类游憩活动之间的冲突，该规划尝试从环境适应性与文化传承性2个维度构建韧性景观体系。具体通过科学设计抵御水文干扰的工程设施，并融合地域文化特征，形成能够兼具生态功能与人文体验的弹性景观系统。在切实提升景观抵御自然干扰能力的同时，有效满足多类人群的游憩需求，在空间与时间双重维度上实现“保护与利用”的弹性平衡。

①构建差异化抗干扰驳岸体系，提升滨水空间结构韧性。为应对水流波动与冲刷对滨水生态环境的干扰，依据水流模拟结果，将驳岸划分为自然冲刷区（≤0.5 m/s）、轻度冲刷区（0.5～2.0 m/s）、中度冲刷区（2.0～5.0 m/s）及重度冲刷区（≥5.0 m/s）4种类型，并针对性设计4级韧性驳岸型式（图7）。其中，生态缓坡驳岸适用于自然冲刷区，强调生态自我修复调节能力；柔性桩基驳岸适用于轻度冲刷区，通过植

入仿木桩适度增强驳岸固土能力，并尽可能减少对自然环境的影响；阶梯式弹性驳岸适用于轻度或中度冲刷区，通过台地高差来适应水位变动和减缓冲刷动能，同时达到“水涨则淹、水退则用”的弹性利用效果；结构性抛石驳岸主要用于重度冲刷区，以块石结构来有效抵御水流冲击，其缝隙同时成为鱼类与底栖生物的避难所。这种梯度化的工程设计不仅可降低水流对岸带的侵蚀强度；同时为湿地植被的定植与生长以及相应昆虫、鱼类和鸟类等动物繁衍创造了更为稳定的基底；还可衍生出多样化的亲水体验场景，如浅滩戏水、石间垂钓、平台亲水等，满足不同人群的需求，实现生态稳固性与游憩丰富性的协同。

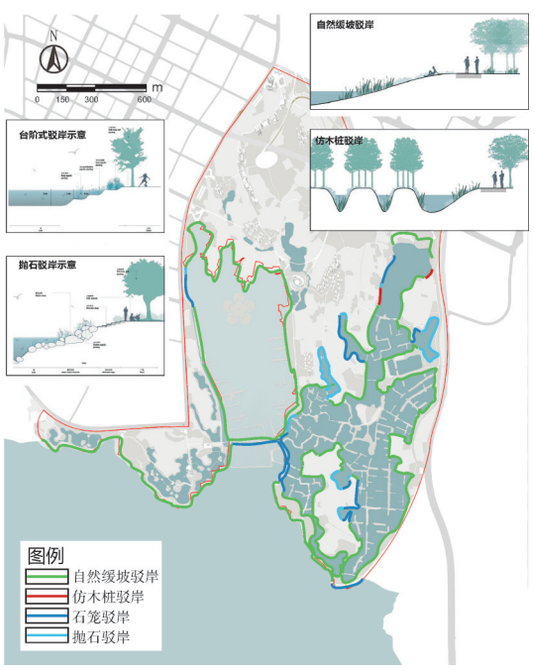


图 7　未来湾公园梯度化韧性驳岸布局图

Fig.7　Schematic diagram of graded resilient revetment layout in Future Bay Park

②设计时序弹性游憩网络，实现空间使用动态适应性。为协调游憩需求与自然变化之间的冲突，该规划构建了“3 级弹性游憩路径系统”（图 8）。其中，1 级园路为刚性保障路径，其路标高达 50 年一遇防洪标准，确保极端天气下的基础安全通行与疏散功能；部分 2 级园路为柔性浮动路径，采用浮筒技术，可随水位波动自动调节高程，实现“与水位共变”的连续性体验；局部深入湿地内部的次级步道为季节性淹没路径，允许其在鸟类繁殖期或高水位期阶段性淹没，为自然生态“让路”，并通过水位痕迹与解说设施，直观诠释人地关系的动态平衡。该系统不仅保障了全域的安全可达性，更通过空间使用的时序调节，实现了游憩活动与生态过程的错峰共生。

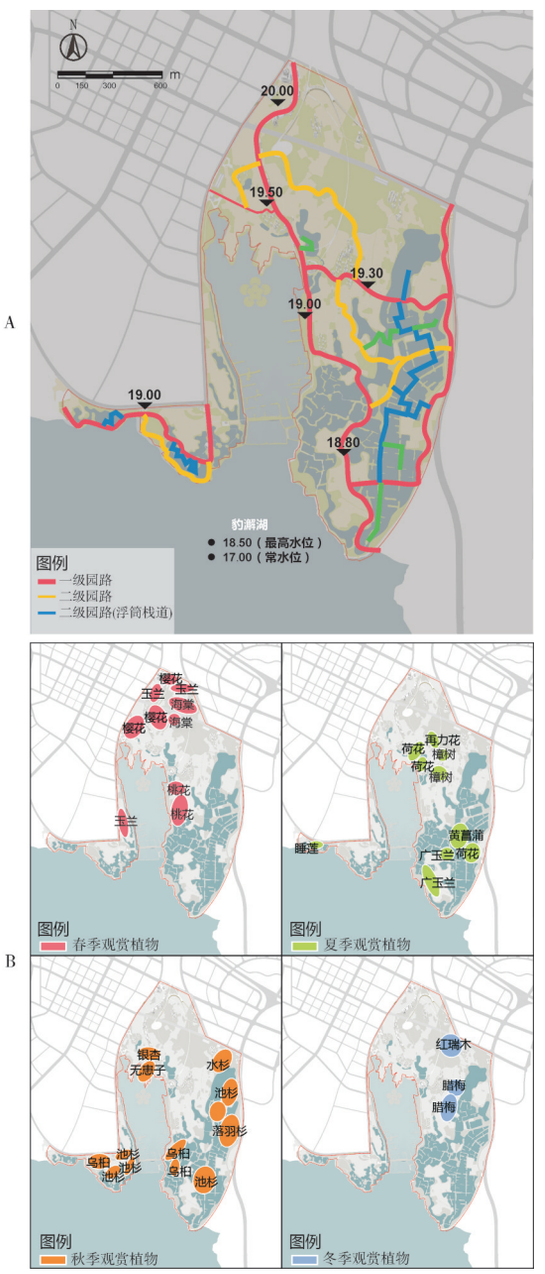


图 8　未来湾公园游憩栈道系统（A）及四季植物景观分布（B）示意图

Fig.8　Schematic diagram of the resilient recreation system（A）and the four-season resilience landscape sequence（B）in Future Bay Park

③营造文化适应性之四季景观，增强社会韧性。为提升景观系统在社会文化层面的适应性与认同感，该规划精心策划了“四时韧性景观序列”（图 8）：春季观花带、夏季赏荷区、秋季观鸟塘、冬季品雪坪。不仅呼应季节规律，还将春季踏青、夏季采莲、秋季庆丰等民俗活动转化为可参与的景观体验。让景观

不再是静态画面，而是承载地方记忆、引导生态教育、促进社区参与的动态文化媒介，从而增强了公众对湿地保护的价值认同，提升了社会系统在面对环境变化时的适应力。

4 讨 论

本研究基于系统韧性理论，构建了包含“三大原则-四维策略”的城郊湖泊湿地韧性设计框架，并以武汉未来湾湿地公园为例进行了实证应用。在理论层面提出以多功能协同为导向的“四维韧性”协同体系与策略，较前人提出的“多重韧性景观”理论[20]更为具象化与操作化，推动了韧性理论在湿地设计中的实际运用。本研究识别的水安全、生物多样性、水环境、景观游憩等四维目标之间的冲突与协同关系，涵盖了城郊湖泊湿地韧性建设的常见核心诉求，或可为类似研究或项目的前期分析提供更为全面的框架。结合未来湾公园项目存在的具体矛盾，集成应用四大设计策略——动态化水文调控工程、精细化生境管控塑造、差异化场地植被配置、弹性化游憩系统设计，将理论框架有效转化为化解具体冲突、提升实际效能的实施方案，同样可为类似项目工程提供参考借鉴。

同时，本研究仍有待改进之处。一是治理维度韧性探讨不足。本研究主要聚焦于空间规划与设计策略，而对保障设施长期运行的“韧性治理”机制涉及较少；下一步可结合公园运营管理视角，探讨制度韧性在湿地可持续运营中的作用。二是实证研究有待加强。由于该规划项目尚未建成，本研究提出的部分策略效益主要基于模型模拟与经验推断，无法通过实际统计、感知评估等手段进行验证。后续将持续通过问卷调查、访谈和行为观测等实证方法，深化和改进策略制定。三是部分技术方法尚可深化。本研究中的涉水工程设计主要基于历史降雨数据，未考虑潜在的更加极端的气候情景。未来可在模拟模型中适当增加降雨强度和时长，进一步提升面对极端气候的长期韧性。总之，未来需要通过协同更多元的韧性维度，并运用更科学的模拟分析与更长期的观察验证，以期更有效地促进城郊湖泊湿地景观系统的韧性能力建设。

参考文献 References

[1] 朱颖，周逸帆，冯育青，等.2018年太湖国家湿地公园的价值溢出[J].湿地科学，2020，18(1)：1-9.ZHU Y，ZHOU Y F，FENG Y Q，et al.Value spillover of Taihu Lake national wetland park in 2018[J].Wetland science，2020，18(1)：1-9 (in Chinese with English abstract).

[2] 王娇月，邴龙飞，尹岩，等.湿地生态系统服务功能及其价值核算：以福州市为例[J].应用生态学报，2021，32(11)：3824-3834.WANG J Y，BING L F，YIN Y，et al.Wetland ecosystem service function and its value accounting：a case study of Fuzhou City，China[J].Chinese journal of applied ecology，2021，32(11)：3824-3834 (in Chinese with English abstract).

[3] 蔡为民，常青，孙晓兵，等.湿地生态产品价值实现模式及路径[J].规划师，2023，39(8)：17-23.CAI W M，CHANG Q，SUN X B，et al.Value realization mode and path of wetland ecological products[J].Planners，2023，39(8)：17-23 (in Chinese with English abstract).

[4] 丁俊，曹敏，孙冠，等.浙江松阴溪湿地公园生态系统服务价值评估[J].湿地科学与管理，2023，19(4)：54-58.DING J，CAO M，SUN G，et al.Value assessment of wetland ecosystem services of Songyinxi Wetland Park[J].Wetland science & management，2023，19(4)：54-58 (in Chinese with English abstract).

[5] 刘丹丹，徐磊，赵美丽，等.湿地自然资源资产价值核算指标体系与评估方法：以内蒙古额尔古纳国家湿地公园为例[J].湿地科学，2024，22(5)：686-696.LIU D D，XU L，ZHAO M L，et al.Wetland natural resource asset value accounting indicator system and assessment methods：a case study of the Erguna National Wetland Park in Inner Mongolia[J].Wetland science，2024，22(5)：686-696 (in Chinese with English abstract).

[6] 熊明彪，舒芬，王博，等.成都城市湿地公园水环境与生态服务价值关系研究[J].四川农业科技，2025(1)：152-159.XIONG M B，SHU F，WANG B，et al.Study on the relationship between water environment and ecological service value of Chengdu Urban Wetland Park[J].Sichuan agricultural science and technology，2025(1)：152-159 (in Chinese).

[7] DÍAZ-PINZÓN L，SIERRA L，TRILLAS F，et al.The social-ecological system framework of urban wetlands：the role of collective management at local level[J].International journal of the commons，2024，18(1)：649-669.

[8] 王凤珍，周志翔，郑忠明.城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估：以武汉市严东湖为例[J].生态学报，2011，31(7)：1946-1954.WANG F Z，ZHOU Z X，ZHENG Z M.Evaluation on service value of ecosystem of Peri-urban transition zone lake：a case study of Yandong Lake in Wuhan City[J].Acta ecologica sinica，2011，31(7)：1946-1954 (in Chinese with English abstract).

[9] 童仪，马明睿，王增龙，等.中国北方典型湖泊湿地生态保护修复工程成效评估指标体系研究[J/OL].中国环境科学，2025：1-25[2025-10-09].https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20251024.001.TONG Y，MA M R，WANG Z L，et al.Research on the assessment indicator system for the

effectiveness of ecological protection and restoration projects in typical lake wetlands in northern China[J/OL].China Environmental Science, 2025:1-25[2025-10-09].https://doi.org/10.19674/j. cnki. issn1000-6923.20251024.001 (in Chinese with English abstract).

[10] 韩泽鹏,韩祯,朱长军,等.不同补水条件对浅水湖泊湿地夏候鸟生境适宜性影响:以白洋淀鹭类生境为例[J].水利水电技术(中英文),2022,53(11):1-12.HAN Z P,HAN Z,ZHU C J,et al.Effects of different water replenishment conditions on habitat suitability of summer migratory birds in shallow lake wetlands: a case study on habitat of herons in Baiyangdian Lake[J].Water resources and hydropower engineering,2022,53(11):1-12 (in Chinese with English abstract).

[11] 苟翡翠,王雪原,田亮,等.郊野湖泊型湿地水环境修复与保育策略研究:以荆州崇湖湿地公园规划为例[J].中国园林,2019,35(4):107-111.GOU F C,WANG X Y,TIAN L,et al.Study on the strategies of maintenance and promotion of suburban lake wetlands:with Chonghu Wetland Park of Jingzhou as the example[J].Chinese landscape architecture,2019,35(4):107-111 (in Chinese with English abstract).

[12] 陈寿岭,秦灏,苗润,等.大型浅水湖泊近岸湿地带建设技术:以常州市长荡湖为例[J].人民长江,2025,56(S1):116-120.CHEN S L,QIN H,MIAO R,et al.Construction technology of coastal wetland zone in large shallow lakes:a case study of Changdang Lake in Changzhou City[J].Yangtze River,2025,56(S1):116-120 (in Chinese).

[13] 贾鹏,于彩芬,王旖旎,等.大连市和营口市湿地资源现状及保护对策[J].湿地科学,2024,22(6):981-986.JIA P,YU C F,WANG Y N,et al.Present situation of wetland resources and protection countermeasure in Dalian and Yingkou[J].Wetland science,2024,22(6):981-986 (in Chinese with English abstract).

[14] 金鑫,徐茂明.昆明市嘉丽泽湿地公园景观规划设计[J].世界林业研究,2025,38(3):146.JIN X,XU M M.Landscape planning and design of jialize wetland park in Kunming[J].World forestry research,2025,38(3):146 (in Chinese).

[15] 付帅,冯英香,余杰,等.基于PSR模型的鄱阳湖流域水资源-经济-生态韧性时空差异及影响因素分析[J].灌溉排水学报,2025,44(6):61-71.FU S,FENG Y X,YU J,et al.Spatiotemporal analysis of economic and ecological water resource resilience and its drivers in the Poyang Lake Basin based on the PSR model[J].Journal of irrigation and drainage,2025,44(6):61-71 (in Chinese with English abstract).

[16] CARPENTER S R,COTTINGHAM K L.Resilience and restoration of lakes[J/OL].Conservation ecology,1997,1(1):2[2025-10-09].http://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.00093.x.

[17] YOU Q H,FANG N,JIAN M F,et al.A reliability-resilience-vulnerability framework for measuring the influence of changes in water level fluctuations on lake conditions[J/OL].Ecological indicators, 2022, 134: 108468[2025-10-09].https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108468.

[18] 丁治凡,梁昊玥,王博锐,等.基于MOP-PLUS模型的湿地公园生态韧性多情景研究:以新济洲国家湿地公园为例[J/OL].生态学报,2026:1-13[2025-10-09].https://doi.org/10.20103/j. stxb. 202408211974. DING Z F, LIANG H Y, WANG B R, et al. Multi-scenario study on eeological resilience of wetland park based on MOP-PLUS model: a case study of Xinjizhou National Wetland Park [J/OL]. Acta ecologica sinica, 2026: 1-13 [2025-10-09]. https://doi. org/10.20103/j.stxb.202408211974.

[19] HOLLING C S.Resilience and stability of ecological systems [J].Annual review of ecology and systematics,1973,4 :1-23.

[20] AHERN J.From fail-safe to safe-to-fail:sustainability and resilience in the new urban world[J].Landscape and urban planning,2011,100(4):341-343.

[21] 万芳,王煜,王威浩,等.流域水资源系统韧性演变及水网构建效果分析[J/OL].水资源保护,2025:1-16[2025-10-09].https://link.cnki.net/urlid/32.1356.TV.20240909.1506.004.WAN F, WANG Y, WANG W H, et al.Resilience evolution of water resources system and analysis of water network construction effect in the basin[J/OL].Water Resources Protection,2025: 1-16[2025-10-09].https://link.cnki.net/urlid/32.1356.TV.20240909.1506.004(in Chinese with English abstract).

[22] 田健,曾穗平.系统韧性理念下城市水系空间“生态+”发展策略及实践[J].上海城市规划,2023(6):105-113.TIAN J,ZENG S P.Research on “ecological +” development strategy of urban water space under the concept of system resilience[J].Shanghai urban planning review,2023(6):105-113 (in Chinese with English abstract).

[23] 蔡紫君,徐杰,何萍,等.天津七里海湿地鸟类对旅游开发活动干扰的韧性研究[J].环境工程技术学报,2025,15(6):1850-1860.CAI Z J,XU J,HE P,et al.Avian resilience to tourism development disturbances in Qilihai Wetland,Tianjin[J].Journal of environmental engineering technology,2025,15(6):1850-1860 (in Chinese with English abstract).

[24] 宋小青,薛家莲,高厚兴,等.中国耕地利用系统韧性的理论解析与建模测度[J].地理学报,2025,80(11):2869-2888.SONG X Q,XUE J L,GAO H X,et al.Theoretical explanation and modeling measurement of cultivated land-use resilience in China[J].Acta geographica sinica, 2025, 80(11): 2869-2888 (in Chinese with English abstract).

Strategies for planning and designing spatial landscape resilience of parks in lakes and wetlands in suburban under goals of multi-functional collaboration:taking Wetland Park of Future Bay in Wuhan City as an example

ZHENG Duanya[1], ZHOU Xingyu[2], ZHAI Wenya[2,3], DENG Xinyi[1], PAN Yanbin[4]

1. *Wuhan Institute of Landscape Architecture Planning and Design Co., Ltd., Wuhan 430014, China*;
2. *Wuhan Institute of Planning and Design / Wuhan Institute of Transportation Development Strategy, Wuhan 430014, China*;
3. *School of Urban Design, Wuhan University, Wuhan 430072, China*;
4. *Department of Landscape Architecture / Sustainable Landscape Planning and Design Research Center / School of Environmental Arts, Hubei Institute of Fine Arts, Wuhan 430025, China*

Abstract A multifunctional collaborative framework for designing the resilience of lakes and wetlands was proposed based on the theory of system resilience to address the common issues of functional conflicts and ecological degradation in lakes and wetlands in suburban under the background of urban expansion. The Wetland Park of Future Bay in Wuhan City was used to systematically diagnose the current problems related to the site ecology, water environment, landscape, and biodiversity. The main conflicts between the regulation of water security, habitat protection, the control of water quality, and public recreation were identified. A four-dimensional collaborative system of design strategy including the resilience strategy of water safety with watershed coordination and graded projects of storage to balance rainwater management with shaping water landscape, the resilience strategy of biodiversity with the exclusion zones of core ecology, buffer zones of ecology, and the optimization of vegetation to create a dynamic system of habitat, the resilience strategy of water environment with the target of water quality in zones, the control of pollution load, and measures of purifying ecology to achieve a balance between the protection of water source and the demands of habitat, the resilience strategy of landscape recreation with the elastic revetments, seasonal sequences of landscape, and the multi-level system of recreation to achieve the mutualism of ecological functions and cultural experiences was established. Based on this, the resilience-oriented design of the system can effectively coordinate the multifunctional conflicts in lakes and wetlands, enhance the adaptability of ecosystem and the value of social use. It will provide theoretical and practical references for the sustainable management of lakes and wetlands in suburban and the optimization of constructing blue-green infrastructure in urban.

Keywords lakes and wetlands in suburban; system resilience; multi-functional collaboration; ecological design; Future Bay in Wuhan

(责任编辑:张志钰)