

长江中下游地区湿地公园鱼类栖息地营建——以芜湖市太阳埠湿地公园为例

Restoration of Fish Habitats in Urban Wetland Parks in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River: A Case Study of Dayanghan Wetland Park, Wuhu

杨云峰¹ 熊 蹇¹ 宁可明² 卜明港¹
YANG Yunfeng¹ XIONG Qian¹ NING Keming² BU Minggang¹

(1.南京林业大学风景园林学院, 南京 210037; 2.南京铁道发展集团有限公司, 南京 210000)
(1. College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu, China, 210037; 2. Nanjing Railway Development Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, China, 210000)

文章编号: 1000-0283(2023)02-0011-08
DOI: 10. 12193 /j. laing. 2023. 02. 0011. 002
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-09-18
修回日期: 2022-12-14

摘 要
在国内外学者研究基础上, 整理湿地公园鱼类栖息地环境因子指标, 确立鱼类与栖息地环境因子之间的相关性, 以此作为城市湿地公园鱼类栖息地营建过程中水域设计、植物设计、水质管养等方面的设计指导。研究发现, 鱼类栖息地生境质量受水质 (水温、溶解氧、pH值、含沙量)、水力学 (水深、流速)、水文 (流量)、地形、岸际条件、底质、河道内覆盖以及人类活动等因子的影响显著。基于此, 从水域设计 (水深、底质、岸线、生态驳岸、生态岛、断面设计、微生境)、植物设计、水质管养等方面探讨栖息地构建策略, 进而提出基于鱼类栖息地保护的湿地公园滨水区域设计策略, 最后以芜湖市太阳埠湿地公园为例, 阐述具体的鱼类栖息地营建和管护措施。

关键词
风景园林; 湿地公园; 鱼类; 栖息地营建; 设计研究

Abstract
Based on the research of domestic and foreign scholars, this paper collates the environmental factor indicators of fish habitats in wetland parks, establishes the correlation between fish and environmental factors of habitats, and takes this as the design guidance of water area design, plant design, water quality management and maintenance, etc. in the construction process of fish habitats in urban wetland parks. The study found that the habitat quality of fish habitat was significantly affected by water quality (water temperature, dissolved oxygen, pH, sediment concentration), hydraulics (water depth, flow velocity), hydrology (flow), topography, coastal conditions, sediment, river channel coverage and human activities. Based on this, the habitat construction strategy is discussed from the aspects of water area design (water depth, sediment, shoreline, ecological revetment, ecological island, section design, microhabitat), plant design, water quality management and maintenance. Then the design strategy of the wetland park waterfront area based on fish habitat protection is proposed. Finally, taking Wuhu Dayanghan Wetland Park as an example, the specific measures for the construction and management of fish habitats are described.

Keywords
landscape architecture; wetland park; fish; habitat restoration; design research

杨云峰
1981年生 / 男 / 浙江宁波人 / 博士 / 南京林业大学风景园林学院副院长、副教授 / 研究方向为湿地公园设计、园林史

熊 蹇
2000年生 / 女 / 湖北武汉人 / 在读硕士研究生 / 研究方向为风景园林规划设计

宁可明
1994年生 / 女 / 安徽宿州人 / 硕士 / 助理工程师 / 研究方向为风景园林规划设计

生物多样性是生物与环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的总和^[1], 区域水生态环境的关键性指标。长江中下游地区湿地面积辽阔, 自然资源丰富多样, 是鱼类多样性是其中重要组成部分, 也是反映中国面积最大、人工湿地与自然湿地相结合

基金项目:
国家自然科学基金项目“城市湿地公园实施方案验证分析”(编号: 31300590)

的复合型湿地生态系统，也是多种淡水鱼类的重要栖息地。湿地公园本身是一片受保护的区域，其中鱼类保护不牵涉到生产、养殖等问题，其栖息地的保护、恢复较为单纯。自20世纪70年代以来，美国鱼类及野生动植物管理局 (United States Fish and Wildlife Service, FWS) 提出栖息地适宜性指数 (Habitat Suitability Index, HSI) 模型对栖息环境进行评估，针对特定鱼类物种进行调查研究，而对普适性的鱼类栖息地修复的研究较少^[2]。中国学者对鱼类栖息地的研究较国外稍晚，主要体现在研究环境变化对鱼类生存繁衍的栖息地所产生的影响及建立由多项指标构成的栖息地评价体系等方面，针对鱼类栖息地保护和栖息地营建方面的相关研究还相对较少，对于普适性的鱼类栖息地营建的研究基本处于起步阶段^[3-6]。

目前，国内外越来越多的学者开始关注水利工程、景观工程建设活动对鱼类的影响，以及开始探寻影响鱼类生存繁衍的环境指标，并期望以此对鱼类保护工作作出指导。文章通过对长江中下游地区湿地公园中常见鱼类的生活习性及其生境需求进行研究总结，结合国外相关鱼类栖息地适宜性指数研究，确立鱼类对于栖息地多方面需求，在此基础上研究湿地公园鱼类栖息地营建的设计指导及基于鱼类栖息地保护的湿地公园滨水区域设计策略，为湿地公园鱼类栖息地营建提供参考，为鱼类创造良好栖息环境。丰富的鱼类多样性，可为涉禽、游禽提供食物源，进而提高湿地公园生物多样性。

1 长江中下游地区湿地及鱼类资源现状

1.1 长江中下游地区湿地现状

长江中下游地区湿地面积达556万hm²，占中国总湿地面积的15%^[7]，是世界湿地和生

物多样性保护的重点区域。近20年来，城镇用地的增加、长江流域经济和交通的发展使得人类活动强度增大，导致长江中下游斑块数量增多和斑块密度增大，斑块凝聚度减少，长江中下游流域湿地景观破碎程度加剧^[8-9]，水体环境也受到重大影响，致使鱼类多样性面临严重威胁，林业和住建部门建立了多处湿地保护区和湿地公园，以有效保护、恢复湿地资源。

1.2 长江中下游地区鱼类资源现状

长江水系包括各附属湖泊共分布鱼类370种，其中纯淡水鱼294种^[10]。长江中下游流域作为世界上主要的淡水生态区，拥有丰富的生物资源，是长江江豚、中华鲟等珍稀动物的栖息地和产卵场，也是“四大家鱼”等重要经济鱼类资源的重要产地^[11]。但在水利工程、围湖造田和过度捕捞等人类活动的影响下，长江流域标志性物种种群规模下降、鱼类捕捞产量进一步降低、渔获物呈现小型化趋势。其中水利工程的建设和围湖造田行为使得鱼类原本生活的生态系统空间碎片化，新的生态系统并不满足鱼类的栖息条件，导致鱼类摄食、繁殖、躲避不良条件的能力降低。因此若要提高鱼类物种多样性，则需要分析鱼类栖息环境的有利因子，以营造适合鱼类繁衍的栖息地^[12]。

邓朝阳等^[13]以2009年在长江芜湖江段

鱼类多样性调查为例，整理了长江中下游地区鱼类资源现状。样本显示沿岸浅水区鱼类多样性最为丰富，河口其次，深水区鱼类多样性最少。目标鱼类食物源丰富，栖息环境复杂多样，江河、湖泊、池塘、沟渠、沼泽、稻田中均可生存，在水体的上中下层均有发现。

2 鱼类栖息环境因子相关性研究

2.1 HSI模型中鱼类栖息地指标

在栖息地生境质量评价方法中，HSI模型最具代表性。该模型旨在通过实地调研分析动物生活习性，对栖息地环境因子进行定量评价，从而探寻生物栖息的最优环境^[14]。综合FWS对鱼类HSI模型的研究，总结了栖息地相关环境因子和类型(表1)。

2.2 鱼类与环境因子相关性总结

FWS的研究主要关注栖息地自然条件的适宜度，较少考虑人为干扰因素。而湿地公园中，人为干扰因素对鱼类栖息地适宜性影响较为显著。因此，结合国内相关资料，补充人为干扰因子如表2。

3 基于鱼类栖息地营建的湿地公园设计策略

通过对鱼类栖息地环境因子的偏好进行总结，从鱼类栖息地环境因子指标选取的角度出发，提出鱼类栖息地营建的水文设计、水质管养、微生境设计及游憩设计策略。

表1 鱼类栖息地环境因子
Tab. 1 Environmental index of fish habitat

环境因子类型 Types of environmental index	环境因子 Environmental index
水文指标	流量、水深、流速
水质指标	水温、溶解氧、pH值、含沙量、盐度
生境指标	生境结构、水面覆盖物、植被丰度、基底类型

表2 长江流域代表鱼类与环境因子相关性总结表^[15-34]
Tab. 2 Summary of correlation between representative fishes and environmental factors in the Yangtze River Basin^[15-34]

因子类型 Types of environmental index	环境因子 Environmental index	环境因子与鱼类相关性 Correlation between environmental index and fish
水质指标	水温	水温12~30℃适宜大多数鱼类生存
	溶解氧	水体溶解氧5~8 mg/L适宜鱼类生存, 低于4 mg/L不适宜鱼类生存, 甚至致死
	PH值	水体pH值在6.5~8.5适宜鱼类生存, 低于6或高于9不适宜鱼类生存
	含沙量	水体含沙量过高会对鱼类产生负面影响, 影响鱼类呼吸、运动和摄食
	盐度	狭盐性鱼类水体盐度超过14将会致死
水文指标	流量	通常流量增加对提高鱼类生物多样性有利, 但若增加到洪水期, 反而会破坏环境, 不利于鱼类生存
	水深	浅滩区0~0.3 m, 浅水区0.3~2 m, 深水区2~4 m适宜鱼类栖息繁衍
	流速	静水水域和低流速适合鱼类栖息繁衍, 流速小于30 cm/s的水域鱼类利用度较高, 多梯度的流速有利于鱼类营造生境
生境指标	生境结构	复杂多变的地形有利于提高栖息地复杂性, “W”型和“V”型河流断面有利于提高鱼类物种多样性, 驳岸稳定无侵蚀适宜鱼类生存
	水面覆盖物	水面覆盖物可以改变水体流动的深度和速度, 为鱼类创造阴蔽环境, 提供给野生动物栖息地、快速避难所, 丰富的水面覆盖有利于鱼类栖息
	植被丰度	丰富的植物种类有利于水生生态系统的稳定, 为鱼类提供更多的食物选择, 有利于鱼类生存
	基底类型	砂子、碎石和砾石、泥浆或淤泥底层以及植被碎片等多种物质构成的底质适宜鱼类繁育、栖息
干扰指标	噪声	损害鱼类听觉系统, 干扰鱼类摄食、集群、休息等行为
	光污染	影响鱼类生产繁殖、生理代谢、内分泌活动等
	水体污染	影响鱼类胚胎发育、性腺发育, 水体中杂质会影响鱼类的视线, 进而影响其觅食、躲避敌害等生命活动
	公园建设	一定程度上破坏鱼类生境, 影响鱼类栖息
	生物入侵	外来鱼类的入侵会破坏原有生态系统的平衡, 与土著鱼类争夺食物与生存空间, 从而引起本地鱼类种群的骤减

注：水面覆盖物是指可以在水面形成覆盖的材料，通常是倒木、树桩或植物根块等大型的木质碎屑，也包括一些植物的枯树落叶。

3.1 水文设计策略

3.1.1 水深设计

水域根据水深的不同可以分为浅滩区、浅水区和深水区，不同深度的水域为鱼类

提供不同的栖息条件。深水区可以为鱼类休息创造平静环境，而浅滩的水力条件则为鱼类产卵创造优势环境，同时，深浅交错地带水流形态复杂，可以提高鱼类的受精率。美

国国家城市野生生物研究所（The Urban Wildlife Research Center）的研究表明，25% ~ 50%的水域面积水深达到0.4 ~ 0.6 m，或50% ~ 75%水域面积水深为0.9 ~ 1.2 m的水域设计可以创造最大化的野生生物生态价值^[35]。湿地公园的水深设计应以浅水水域为主，同时，在水域中心地带可局部深挖至3 ~ 4 m，为深水鱼类和冷水鱼类提供栖息庇护及越冬索饵场。表3为不同鱼类适宜的水深区域。

表3 不同鱼类适宜的水深区域^[36]
Tab. 3 Suitable water depth for different fishes^[36]

水深/m Water depth	鱼类名称 Fish name
[0, 1)	光泽黄颡鱼、青鳉鱼、黄鳝、圆尾斗鱼、刺鳅、宽鳍鱮、餐条、红鳍鲌、银飘、中华鲮、高体鲮、彩石鲃、无须鲮、彩副鲮、大鳍刺鲃、越南刺鲃、斑条刺鲃、短须刺鲃、麦穗鱼、细纹颌须鲃、泥鳅等
[1, 2)	鳊鱼、鲢鱼、白鲫、蛇鲡、胭脂鱼、鳙鱼、赤眼鲮、翘嘴红鲌、戴氏红鲌、蒙古红鲌、细鳞斜颌鲴等
[2, 3)	鲤鱼、青鱼、草鱼、黄颡鱼、鳊鱼、长春鳊、团头鲂、三角鲂、银鲴、逆鱼、刺鲃、厚唇鱼、唇鲮、花鲮、似刺鳊、华鳊、银色颌须鲃、乌鳢、月鳢、鲫鱼、鳊鱼、鳊鱼、胡子鲶、鳊鱼、长吻鮠、松江鲈鱼等

3.1.2 水流调控

水流方面主要是流量和流速，在底栖生物群落维系过程中，流速是基本环境因子，流量是显著环境因子^[37]。可以通过设置丁



图1 美国密西西比河岸丁坝 (引自<https://news.stlpublicradio.org/>)
Fig. 1 Spur dam on the banks of the Mississippi River, USA

坝、放置木材及构建砾石群三种方式改变水流的流量和流速, 提高底栖生物群落的多样性, 为鱼类提供充分食源, 从而提高鱼类栖息地的适宜度。丁坝是坝身与堤岸相接呈“T”字形的保护堤岸水土的构筑物, 可以改变水流流态、水面高程、流速等, 具有增加局部流态多样性、改变岸坡和水底形态的功能^[37] (图1), 水中放置木材可丰富沉积物来源, 提高地形的复杂度和稳定性, 增加栖息地的复杂性, 进而影响水的流向和流速, 通过降低水流速度、增加水流深度和水池频率来改变河道条件^[38]。同时, 凋零的碎木影响植物的分布, 为鱼类动物提供栖息场所^[39]。在水域中堆放砾石、块石能够改变水底坡降和局部流畅, 促进有机质降解, 进而创造多样化的流速和水深条件, 提高鱼类栖息地多样性^[37]。

3.2 水质维护措施

针对鱼类对栖息地水质的要求进行维

护, 具体包括净化水质、增加水体溶解氧和改善水体pH值, 主要涉及三方面技术: (1) 生物浮床水质改善技术。利用生物浮床人工创建生态系统, 通过植物消除水体中N、P等有害物质, 从而净化水质, 改善鱼类生存环境。(2) 天然滤料与人工填料接触氧化技术。天然滤料对其间流过的水体中的污染物进行吸附过滤, 其表面具有生长生物膜, 可以对水体中的部分有害物质进行氧化分解, 对污染水体进行过滤净化。(3) 射流曝气增氧技术。利用浮筒等相关曝气装置, 对水域的水体进行搅动, 增加水体的水流循环, 提高水体中的溶解氧含量。在水流经过的水域铺设一些人工或天然的填料, 也可对水体污染物进行过滤, 改善水质。

3.3 微生境设计策略

通过对栖息地内的生境结构、水面覆盖物、植被丰度、基底类型进行调整, 借助生态废弃物为鱼类创造微生境, 其经济环保观

赏性强, 可在鱼类栖息地营建中广泛使用。

3.3.1 生境结构设计

鱼类栖息地的生境结构主要包含水域形态、水下地形及岸线结构, 对生境结构进行优化可以改善野生鱼类种群结构和数量, 修复重建淡水生境。河流中线的实际岸线长度与这段河流首尾两点直线距离的比值被称之为岸线的蜿蜒度。Rhoads等^[40]通过实验研究得出: 顺直河段的物种丰富度相对较低, 河段蜿蜒度的增加有利于提高该河段的物种丰富度、完整性和生物总量^[41]。

河流河床的纵剖面通常是起伏错落的, 河床的低凹之处形成深潭, 凸起之处创造浅滩环境。塑造深潭—浅滩序列能够引导河流蜿蜒化, 提高河流生态系统的完整性和可持续性。深潭—浅滩序列的间距一般为5~7倍河道宽度, 是底栖动物的优良栖息地, 有利于大型生物觅食栖息, 同时为鱼类提供栖息、繁衍及庇护的栖境, 是鱼类重要的产卵场^[37]。此序列既可以通过疏浚和堆放自然材料来直接构建, 又可以通过设置丁坝、放置木材、安置砾石群等方式改变水的流速流向间接形成。

在湿地公园进行鱼类栖息地营建时, 应优先选用天然材料。如生态驳岸, 是指使用天然材料, 结合相关的土木工程措施, 增强岸际稳定性, 同时为鱼类等野生动植物创造良好生存环境的驳岸^[42]。鱼巢砖作为一种新型的护岸构件, 可以为产卵场遭到破坏的鱼类提供仿生态产卵条件, 主要包括三大类: (1) 连锁块铺面护岸, 指在坡度较大的岸际铺设连锁块铺面, 维稳水土; (2) 透水混凝土箱式护岸, 抵挡水流冲刷的同时为水生植物提供生长空间; (3) 护坡抛石结合芦苇、生态袋插柳护岸, 保持河岸水土, 供

鱼类栖息觅食^[43]。

3.3.2 覆盖物选取

在鱼类学相关文献中，覆盖层通常被视为栖息地变量。但是由于在实际研究中难以对其进行量化并评估其对鱼类的作用范围，因此覆盖层的定义较为模糊。从广义上讲，覆盖物是指在水域范围内可为鱼类躲避捕食者、竞争者或不利的非生物条件（急流、明亮的阳光、极端温度）提供庇护的元素，并为其提供觅食和产卵场所。其对鱼类有三个主要功能：防天敌、提供减少竞争性互动的视觉隔离和水力掩蔽^[44]。

覆盖物是各种时空尺度上鱼类栖息地内的结构因子，石块表面、植物的枯枝落叶和根垫等均可构成鱼类栖息地的盖层结构，可形成视觉隔离防止捕食、减少竞争以及提供水力避难所，研究表明，有木材的地方，鱼类丰富度更高^[45]。木质残骸如废弃的木船、悬倒的圆木均可以作为微生物境，为鱼类觅食和产卵场所提供庇护。

3.3.3 植物选择

健康的河岸植被对鱼类繁殖起着重要作用，为确保鱼类繁殖行为的正常进行，建议河岸缓冲带的宽度至少为30 m，在允许的情况下植被缓冲带越宽越好。水生植物中沉水植物通过稳定局部微生物境的底质和流速，促进河流沉积物中的有机质转化，为鱼类提供更为适宜的生境条件^[46]。结合资料，总结鱼类食物源和产卵场营建适宜植物种类如表4。

3.3.4 底质设计

水域的底质是鱼类栖息环境的重要组成部分，适合的底质环境可以增加河流微生物境的适应性。底质粒径范围较广的河床不仅为附生动物提供很大的附着面积，其缝隙也为底栖动物提供大量的生存空间和避难场所。底质设计具体可从以下方面入手：（1）定期清淤，同时保留一定比例原有砂土或淤泥底质用于底栖生物栖息藏身。清淤后对于砂质底质可以补充铺洒不同粒径的砾石。（2）直

径80 cm左右经排列埋入河底的自然石适宜鱼类创造重要的栖息环境即鱼礁。（3）湖泊设计中可在浅水区投放石块，适当架空底部，既可减缓水流流速，又可以为鱼类提供栖息庇护的优良场所。

3.4 游憩设计策略

湿地公园滨水游憩空间设计营建既要注重人与水的互动性体验，又要充分重视鱼类等生物栖息地保护。

3.4.1 滨水建筑及道路设计

大部分鱼类运动依靠视觉导向，光线突然减少会降低其移动性，因此水上结构的阴影会影响鱼类活动，从而限制鱼类的觅食、繁殖行为，例如在桥墩的遮蔽区域，鱼类的总丰度显著降低^[48]。因此，湿地公园中滨水建筑和滨水步道的选址应尽可能远离生态敏感性较高的滩涂、湖湾等区域，并且减少近岸水上结构宽度，公园滨水建筑设计建造时需后退一定的蓝线距离，在湿地公园中，建议后退蓝线的距离不小于30 m，对于一些小型的休闲游憩建筑设施可适当减小后退距离。此外，亲水步道和亲水平台的设计应采用水面架空的形式，将透光表层（如玻璃板、金属格栅、天窗）运用于水上结构中，以减小对自然栖息地的影响^[49]。

3.4.2 照明设计

湿地公园中照明设施的使用可能会对鱼类生理活动产生负面影响，改变其集群、觅食等行为。因此，在确保游人安全的前提下，湿地公园的滨水或临水地带可减少夜间照明，降低灯光强度和广度。在鱼类产卵、交配等特殊时期，可关闭照明措施，禁止游人夜晚游憩以确保鱼类正常栖息繁衍。

表4 鱼类食物源和产卵场营建适宜植物种类^[47-48]

Tab. 4 Fish food source and suitable plant species for spawning ground construction^[47-48]

类型 Type	植物名称 Plant name
浮水植物	浮萍 (<i>Lemna minor</i>)、茳萍 (<i>Wolffia arrhiza</i>)、紫萍 (<i>Spirodela polyrrhiza</i>)、槐叶萍 (<i>Salvinia natans</i>)、满江红 (<i>Azolla imbricata</i>)、凤眼莲 (<i>Eichhornia crassipes</i>)
挺水植物	空心莲子草 (<i>Alternanthera philoxeroides</i>)、鸭舌草 (<i>Monochoria vaginalis</i>)、芦荻 (<i>Phragmites australis</i>)、香蒲 (<i>Typha orientalis</i>)、菖蒲 (<i>Acorus calamus</i>)、花叶芦竹 (<i>Arundo donax</i> var. <i>versicolor</i>)、再力花 (<i>Thalia dealbata</i>)、鸢尾 (<i>Iris tectorum</i>)、旱伞草 (<i>Cyperus alternifolius</i>)、梭鱼草 (<i>Pontederia cordata</i>)、水生美人蕉 (<i>Canna generalis</i>)、马蹄莲 (<i>Zantedeschia aethiopica</i>)、荷花 (<i>Nelumbo nucifera</i>)、水葱 (<i>Scirpus validus</i>)、荻 (<i>Triarrhena sacchariflora</i>)、茭白 (<i>Zizania caduciflora</i>)
沉水植物	眼子菜 (<i>Potamogeton distinctus</i>)、光叶眼子菜 (<i>Potamogeton lucens</i>)、马来眼子菜 (<i>Potamogeton wrightii</i>)、微齿眼子菜 (<i>Potamogeton maackianus</i>)、苦草 (<i>Vallisneria natans</i>)、菹草 (<i>Potamogeton crispus</i>)、狐尾藻 (<i>Myriophyllum verticillatum</i>)、小茨藻 (<i>Najas minor</i>)、金鱼藻 (<i>Ceratophyllum demersum</i>)、伊乐藻 (<i>Elodea nuttallii</i>)、黑藻 (<i>Hydrilla verticillata</i>)、大藻 (<i>Pistia stratiotes</i>)、水车前 (<i>Ottelia alismoides</i>)



图2 大阳埠湿地公园实景 (2010年1月9日)
Fig. 2 The real scene of Dayangshan Wetland Park on January 9, 2010

图3 大阳埠湿地公园建成实景 (2015年7月15日)
Fig. 3 The real scene of the completion of Dayangshan Wetland Park on July 15, 2015

图4 大阳埠湿地公园总平面图
Fig. 4 General layout of Dayangshan Wetland Park

4 芜湖市大阳埠湿地公园鱼类生境营建

大阳埠湿地公园位于芜湖市城东新区, 总面积87.2 hm², 曾是位于城郊的一片湖泊、河流、沼泽的混合体。自2005年以来, 周边迅速城市化, 一系列城市道路、厂房、商业用地围合湿地。政府于2009年计划建设湿

地公园, 保护破碎的湿地, 恢复原先的风貌 (图2)。研究团队于2009-2015年参与公园规划设计至建成开放, 将破碎的湿地风貌恢复为人、鸟、鱼共融的场所 (图3, 图4)。针对公园现状, 本文从鱼类栖息地营建的角度出发, 调查场地内鱼类资源, 从水文设计、

水质改善、微生物设计、游憩设计4方面, 对现状水系进行设计调整。

4.1 水文设计

4.1.1 水深设计

大阳埠湿地公园水域部分水深约为0.5 ~ 2 m, 场地内高程差距小, 总体地势平缓, 坑塘水深情况单一, 需要通过人工疏浚对场地内不同水体进行重新分配调整, 由于大型鱼类需要较深的水域环境栖息觅食, 而浅水水域更适宜小型鱼类及部分两栖类动物生存。规划设计中远离岸际的中心水域水深控制在3 ~ 4 m (图5), 为夏季冷水鱼和深水鱼提供庇护所, 为暖水鱼提供冬季越冬场所。利用滨水岸线和湖中生态岛等, 营造平均水深0.5 m以内, 局部水深在0.15 m的浅水水域, 为鱼类创造产卵觅食的优越环境 (图6)。

4.1.2 水流控制

场地只有中心主水面流向为由北向南。场地多个水塘小而分散, 与主水体不连通, 流通性差造成水质不佳。加之岸线多为直线驳岸, 水陆交界面小, 不利于水陆物质交换。雨季时, 水体流速过快, 不利于岸际生态多样性的提升。设计利用植物及生态岛屿对流速进行控制, 雨季可以在保证快速行洪的同时, 降低水流冲刷对鱼类栖息地的破坏, 同时创造更多的浅滩环境与深水区相邻, 为鱼类提供避难所。

4.2 水质改善

由于受到周边工业废水及居民污水的影响, 设计首先对周边工厂和居民区严格截污, 进而通过提水泵促进水体循环流动, 结合跌水、水台阶、喷泉等设施使水体曝气, 增加



图5 驳船开挖深水区
Fig. 5 Barge excavation in deep water



图6 岸际保留原有的浅水区
Fig. 6 Keep the original shallow water area on the shore



图7 生态岛和浅水区提供鱼类栖息繁衍的场所
Fig. 7 Ecological islands and shallow water areas provide places for fish to live and breed

水体含氧量、净化水质。

4.3 微生境设计

4.3.1 岸际形态设计

考虑到边缘效应，在水系改造时，调整岸线，增加岸线曲折度，通过岛屿营造浅水滩涂等多流态的水环境，创造季节性淹没的浅滩湿地和浅水水塘，为鱼类产卵育苗提供优良场所（图7）。

4.3.2 岸线结构

太阳埠原有驳岸僵硬，缺乏湿生、水生植物，难以起到净化水质的作用。驳岸规划保留原有缓坡驳岸，将坡度较陡驳岸改造为缓坡入水，丰富植物群落（乔木—灌木—湿生植物—水生植物）。护岸建设选用自然木桩、柳编石笼、荆笆片等生态材料，这些材料间的空隙能为鱼苗提供生息场所^[50]。改造后总岸线长度增加近一倍，进一步加强其形态的不规则性，为鱼类提供栖息生境。

4.3.3 种植设计

太阳埠场地内木本湿生植物单一，仅有

零星的银叶柳 (*Salix chienii*) 和垂柳 (*S. babylonica*) 分布，核心区域草本湿生植物较为丰富，另外水体富营养化明显，水藻滋生蔓延。种植设计根据不同植物的习性，将一些低洼地改造为水深0.2 ~ 1.0 m水泡地，种植不同类别水生植物群落，如睡莲科 (Nymphaeaceae)、禾本科 (Poaceae)、莎草科 (Cyperaceae)、泽泻科 (Alismataceae)、蓼科 (Polygonaceae) 等。通过湿地植物长期的自然演替，最终形成不同类型的湿生植物塘，为生境内鱼类提供食物源和栖息庇护。

4.4 设施设计

公园周边居民较多，公园在满足生态保育的前提下，也需要提供观赏游憩和科普展示功能。为了保证鱼类正常的栖息繁衍，公园只沿主路布置太阳能灯具照明，设施间隔40 ~ 50 m，旨在控制游人夜间活动，为鱼类、鸟类提供良好的栖息环境。

5 结论与讨论

本文在以鱼类栖息地保护和修复的视角，分析鱼类对于栖息地在水质（水温、溶

解氧、pH值、含沙量、盐度）、水力学（水深、流速）等方面的需求，以及分析人类活动（噪音、夜晚照明、污染物杂质）等对鱼类的影响，提出鱼类栖息地的营建原则，并希望提高公园鱼类栖息地的适宜度，增加鱼类的种类和数量，进而吸引更多的鸟类，营造人、鸟、鱼共融的公园环境。

近年来，学界对湿地公园中鸟类、蝴蝶等栖息地的保护研究已十分活跃，对鱼类栖息地的研究还处于起步阶段。鱼类作为湿地公园生物链重要一环，其栖息地保护和营建工作价值巨大。由于调研、监测的难度较大，鱼类栖息地保护营建还存在许多有待深入的方面，具体如下：（1）在生物本地调研基础上，对公园内各种鱼类栖息地的全面调研；（2）与鱼类学、环境工程等学科加强交流，优化设计方法与营建措施；（3）建立湿地公园栖息地评估体系，将栖息地保护和修复作为贯穿湿地公园规划设计至施工运营的必备工作环节；（4）采用数字监控技术，依据监测数据对公园管理进行动态反馈，完善栖息地保护工作。

注：文中图表除标注来源外，均由作者自绘/自摄。

参考文献

- [1] 任文春, 徐靖, 何卫. 认识生物多样性价值, 践行绿色发展[J]. 世界环境, 2018(06): 76-77.
- [2] 黄滨, 傅菁菁, 芮建良, 等. 水利水电工程鱼类栖息地保护模式及研究展望——基于文献综述的思考[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(01): 103-105.
- [3] 朱瑶. 大坝对鱼类栖息地的影响及评价方法述评[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005(02): 100-103.
- [4] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007(06): 928-936.
- [5] 英晓明, 崔树彬, 刘俊勇, 等. 水生生物栖息地适宜性指标的模糊综合评判[J]. 东北水利水电, 2007, (07): 60-63.
- [6] 夏霆, 朱伟, 姜谋余, 等. 城市河流栖息地评价方法与应用[J]. 环境科学学报, 2007(12): 2095-2104.
- [7] 马炜, 周天元, 蒋亚芳, 等. 中国湿地保护状况和未来湿地保护的目標和重点[J]. 湿地科学, 2021, 19(04): 435-441.
- [8] 潘保柱, 韩谕. 长江与黄河两大流域水生生态问题剖析[J]. 风景园林, 2020, 27(08): 18-23.
- [9] 王砚深, 窦弘毅, 赵丽娅. 长江中下游流域人类活动对湿地生态系统的影响研究[J]. 绿色科技, 2022, 24(04): 57-61.
- [10] 王连龙, 王华. 长江鱼类生物多样性与保护对策[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(21): 12876-12877.
- [11] 潘保柱, 刘心愿. 长江流域水生生态问题与修复述评[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(03): 1-8.
- [12] 刘飞, 林鹏程, 黎明政, 等. 长江流域鱼类资源现状与保护对策[J]. 水生生物学报, 2019, 43(S1): 144-156.
- [13] 邓朝阳, 朱仁, 严云志. 长江芜湖江段鱼类多样性及其群落结构的时空格局[J]. 淡水渔业, 2013, 43(01): 28-36.
- [14] 金龙如, 孙克萍, 贺红士, 等. 生境适宜度指数模型研究进展[J]. 生态学杂志, 2008(05): 841-846.
- [15] 龙华. 温度对鱼类生存的影响[J]. 渔业现代化, 2005(02): 254-257.
- [16] 杨爱斌. 浅谈水中溶解氧与养鱼的关系[J]. 黑龙江水产, 1997(03): 31-33.
- [17] 张金宗. 池塘水中的溶解氧作用及增氧方法[J]. 内陆水产, 2006(03): 11-12.
- [18] 高光明. 浅谈水体pH值及其调节措施[J]. 养鱼科学, 2006(11): 79.
- [19] 王静, 曾伯平. pH值的作用和调节措施[J]. 内陆水产, 2006, 31(9): 41-42.
- [20] STAUB E. Effects of Sediment Flushing on Fish and Invertebrates in Swiss Alpine Rivers[C]//WEC. International Workshop and Symposium on Reservoir Sedimentation Management. Toyama: WEC, 2000: 185-193.
- [21] 白音包力泉, 陈兴茹. 水库排沙对下游河流鱼类影响研究进展[J]. 泥沙研究, 2012(01): 76-82.
- [22] 王云峰, 朱鑫华. 盐度对鱼类生态生理学特征的影响[J]. 海洋科学集刊, 2002(00): 151-158.
- [23] 张代青, 沈春颖, 于国荣. 基于河道内流量的河流生态系统服务价值评价模型研究[J]. 水利经济, 2019(05): 16-20.
- [24] 刘咏梅, 蒋买勇. 拆坝对鱼类资源的影响及生态保护修复技术措施探讨[J]. 湖南水利水电, 2013(03): 60-62.
- [25] 王莹. 澜沧江中下游鱼类栖息地的水文、水力学特征研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2015.
- [26] 李建, 夏自强. 基于物理栖息地模拟的长江中游生态流量研究[J]. 水利学报, 2011(06): 678-684.
- [27] 章宇宇, 汪振华. 鱼类关键生境研究进展[J]. 渔业现代化, 2011(05): 58-65.
- [28] 王银东, 熊邦喜, 陈才保, 等. 环境因子对底栖动物生命活动的影响[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2005(03): 253-257.
- [29] 石妮, 李英文, 刘智皓, 等. 噪声对鱼类的影响[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2017(04): 28-32.
- [30] 宋红桥, 王振华, 单建军, 等. 人为噪音对鱼类影响的研究进展[J]. 农学报, 2017(11): 46-50.
- [31] JACOBSEN L, BAKTOFT H, JEPSEN N, et al. Effect of Boat Noise and Angling on Lake Fish Behavior[J]. Journal of Fish Biology, 2014, 84(6): 1768-1780.
- [32] KASTELEIN R A, HEUL S V D, VERBOOM W C, et al. Startle Responses of Captive North Sea fish Species to Underwater Tones Between 0.1 and 64 kHz[J]. Marine Environmental Research, 2008, 65(5): 369-377.
- [33] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对鱼类生理活动影响的研究进展[J]. 生态学杂志, 1999(06): 59-61.
- [34] 牛景度, 刘占才. 水污染对鱼类性腺及胚胎发育的影响[J]. 北京农业: 中旬刊, 2015(5): 1.
- [35] (美)克雷格-S坎贝尔, 迈克尔-H奥格登. 湿地与景观[M]. 吴晓芙译. 北京: 中国林业出版社, 2005: 212.
- [36] 农牧渔业部水产局, 中国科学院水生生物研究所, 上海自然博物馆. 中国淡水鱼类原色图集I[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [37] 于鲁冀, 李廷梅, 李羽仙, 等. 基于河床调流的河道微生境改善技术综述[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(03): 1-7.
- [38] SIEVERS M, HALE R, MORRONGIELLO J R. Do Trout Respond to Riparian Change? A Meta-analysis with Implications for Restoration and Management[J]. Freshwater Biology, 2017, 62(3): 445-457.
- [39] 孟海星, 陆健健, RONALD T. 华盛顿湾鲑鱼(Oncorhynchus spp.)生境恢复方案探讨[J]. 湿地科学, 2014, 12(02): 220-227.
- [40] RHOADS B L, SCHWARTZ J S, PORTER S. Stream Geomorphology, Bank Vegetation, and Three-dimensional Habitat Hydraulics for Fish in Midwestern Agricultural Streams[J]. Water Resources Research, 2003, 39(8): 2-13.
- [41] 马里, 白音包力泉, 许凤冉, 等. 鱼类栖息地环境评价指标体系初探[J]. 水利水电技术, 2017(03): 77-81.
- [42] 刘欣慰. 大理市西洱河生态驳岸研究[D]. 昆明: 西南林学院, 2008.
- [43] 李云涛, 郭美玉, 詹诚, 等. 人工鱼巢渔业资源增殖效应研究进展[J]. 淡水渔业, 2018, 48(04): 58-62.
- [44] ALLOUCHE S. Nature and Functions of Cover for Riverine Fish[J]. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 2002(365-366): 297-324.
- [45] WILLIAMS J G, ARMSTRONG G, KATOPODIS C, et al. Thinking Like a Fish: A Key Ingredient for Development of Effective Fish Passage Facilities at River Obstructions[J]. River Research and Applications, 2012, 28(4), 407-417.
- [46] 渠晓东, 余杨, 张敏, 等. 城市河流沉水植物与大型底栖动物群落的关系[J]. 环境科学, 2018, 39(02): 783-791.
- [47] 孙健, 贺锋, 张义, 等. 杭州西湖子湖湖区沉水植物群落恢复区鱼类调查与分析[J]. 水产学杂志, 2021, 34(03): 72-77.
- [48] 张映雪, 王瑞, 屈霄, 等. 不同鱼类养殖方式对长江中游湖泊浮游植物群落的影响及其季节动态[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(10): 2260-2269.
- [49] TOFT J D, MUNCH S H, CORDELL J R, et al. Effects of Shoreline Armouring and Overwater Structures on Coastal and Estuarine Fish: Opportunities for Habitat Improvement[J]. The Journal of Applied Ecology, 2017, 54(5): 1373-1384.
- [50] 熊瑶, 杨云峰. 天然类城市湿地恢复与重建策略——以芜湖太阳岛湿地公园建设为例[J]. 林业科技开发, 2014, 28(01): 133-138.