

陆海连通潮汐生物通道构建及其对内陆水体影响 ——以长江口北支和北湖为例

季永兴^{1,2,3}, 滕飞^{1,2,3}, 姚怡先^{1,2}, 李路^{1,2,3}

(1. 上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海 200232; 2. 华建集团上海海洋工程设计研究院, 上海 200232;

3. 上海滩涂海岸工程技术研究中心, 上海 200232)

摘要: 在陆海交界区域有效构建生物通道可以丰富该区域生物多样性, 提升滨海生态品质与综合服务功能, 推动海陆空间联动高质量发展。本研究以位于崇明岛北侧的北湖为例, 研究利用既有沟槽和涵闸构建潮汐生物通道的可行性方案, 基于二维水动力数值模型和盐度模型, 分析不同潮汐生物通道规模下的水动力特性及其对内陆水体的影响, 探讨生物通道植物配置和运行管理措施。结果表明: ①选择合适的生物通道长度和堰坝间距、缝宽, 可使生物通道在涨落潮一定时间内获得适宜鱼类等生物通行的流速; ②构建适宜规模的陆海连通生物通道, 既可以满足陆海连通生物通道要求, 又可以防止风暴潮灾害风险; ③崇明北湖遭遇长江口北支 10 年一遇重现期典型潮汐情况下水位变化约 20 cm, 遭遇 100 年一遇风暴潮情况下水位仍能控制在设防水位以下; ④受长江口北支每天两涨两落咸潮、浑水和污染水体影响, 建议在生物通道开展生境营造、在北湖湖区开展生境修复, 植物配置应考虑流速、水位变化和咸淡混合区的特点。

关键词: 陆海连通; 生物通道; 鱼道; 长江口; 崇明岛

DOI: 10.3969/J.ISSN.2095-4972.20240221002

中图分类号: P76

文献标识码: A

文章编号: 2095-4972(2025)-01-0099-09

陆海交界的滨海湿地区域是生物多样性最丰富的生态系统之一^[1-2], 也是提供生态价值最高的区域之一。但是, 沿海社会经济快速发展和人口急剧增加, 导致人类活动对该区造成了较大干扰, 陆海连通受阻, 滨海湿地减少, 生态系统退化, 生态服务功能下降^[3]。该区域的生态系统阻隔、减少、退化的影响及其修复成为社会各界关注的焦点和学者研究的热点^[3-5]。有效的陆海水文连通、滩涂生境修复、水体生境营造可以创造滨海湿地多样的生境, 进而为恢复生物多样性创造条件。相关研究表明, 滨海生物的分布与生境的理化特征、初级生产力, 以及水体波动特征等密切相关^[6-7], 有关鱼类群落与河口盐度分布的密切关系已被广泛证实^[7]。所以, 有效构建陆海交界的生物通道, 可以丰富该区域生物生境多样性, 进而丰富该区域生态群落的多样性, 提升滨海生态品质与综合服务功能, 推动海陆空间联动高质量发展。

位于崇明岛北侧的北湖是崇明岛与长江口北支重要的滨海地区, 最初经人工圈围而形成时保持未开发状态^[8], 呈半咸水状态, 生物资源丰富^[9], 后有渔民放养而导致水体富营养化。为改善北湖水质, 恢复北湖与长江口北支连通性, 创造生物生境多样性, 同时保证风暴潮期的防潮安全, 本研究拟改造黄瓜沙与黄瓜二沙的沟槽, 形成北湖与长江口北支的陆海连通的生物通道, 并基于二维水动力数值模型和盐度模型, 分析不同潮汐生物通道规模下的水动力特性及其对内陆水体的影响, 从而为项目决策提供科学依据。

1 研究区域概况

1.1 长江口北支概况

长江口为东海与长江的过渡区, 受径流、潮汐、波浪及科氏力等多种动力影响, 至徐六泾分为南、北

两支。其中,长江口北支西起南北支分流口崇头,东至北支口门连兴港,总长约 80 km。由于上口弯段折冲水流和下游东海潮汐动力影响,长江口北支处于不断变化演替过程之中。历史上,由于涨落潮流路分歧,泥沙在不同岸段的边滩和江心落淤,形成不同规模的岸滩和江心沙洲。上世纪 80 年代,永隆沙因促淤圈围与崇明岛并岸后,永隆沙外的暗沙逐渐淤涨,形成长条形沙洲^[10]。上海地区因其形似黄瓜,称其为“黄瓜沙”,江苏地区则称其为“兴隆沙”。2001—2003 年,上海在崇明岛北沿实施促淤圈围,将黄瓜沙并入崇明岛。由于滩涂促淤、圈围和岸线整治等工程实施,本世纪以来,河道岸线被相对固定,长江口北支上口河面宽约 3 km,下口河面宽约 12 km。

长江口北支河段属于非正规半日浅海潮,每天两涨两落,潮汐日不等现象明显。以崇明北湖附近的三条港站为例,平均涨潮历时 4 h 54 min,平均落潮历时 7 h 31 min,平均涨落潮历时约 12 h 25 min;历史最高潮位为 6.20 m(1997 年 8 月 18 日,吴淞高程,下同),历史最低潮位为 -0.76 m(1969 年 4 月 5 日);平均高潮位为 3.60 m,平均低潮位为 0.80 m;最大潮差为 5.63 m,最小潮差为 0.06 m,多年平均潮差为

3.07 m。统计显示,三条港站 100 年一遇高潮位为 6.32 m,50 年一遇高潮位为 6.16 m,20 年一遇高潮位为 5.93 m。2021 年 12 月对北支黄瓜沙外侧水质监测,结果显示,高锰酸盐指数(COD_{Mn})为 5.7 mg/L,化学需氧量(COD_{Cr})为 29 mg/L,五日生化需氧量(BOD_5)为 7.7 mg/L,总磷(TP)含量为 0.125 mg/L,总氮(TN)含量为 0.61 mg/L,总体水质为 V 类水。

1.2 崇明北湖基本情况

崇明北湖原为崇明岛与位于长江口北支的江心沙(黄瓜沙和黄瓜二沙)间的一条夹泓。由于涨落潮动力差异和黄瓜沙头部围垦,夹泓上游逐步萎缩。本世纪初,有关部门根据长江口综合整治规划,对黄瓜沙和黄瓜二沙进行促淤圈围,先期在夹泓上游和黄瓜沙与黄瓜二沙的沟槽设置锁坝,夹泓上游加速淤涨,然后在黄瓜二沙尾部和新河港设置东、西堤坝^[8]。锁坝与西堤形成了陆域,东、西堤坝则形成了相对封闭水体,即北湖(图 1)。为保证工程顺利实施,实施期间在黄瓜沙与黄瓜二沙的沟槽锁坝上设置了 5 孔 3 m×3 m 箱涵(现今称“三通港涵闸”)作为临时排水,后一直沿用至今,承担了北湖与长江口北支的连通功能,包括挡潮、排涝、引水等。

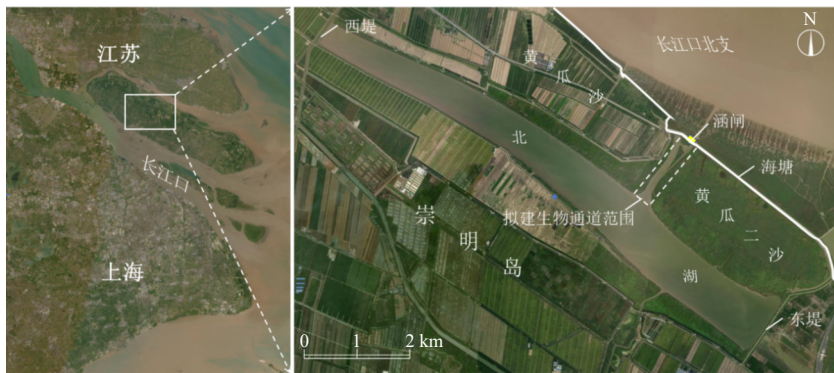


图 1 崇明北湖及长江口北支关系图

Fig. 1 Relationship between Chongming North Lake and the north branch of the Yangtze River Estuary

北湖现状东西长约 12 km,南北宽 0.5 ~ 1.0 km,水域面积为 7.59 km²,水位变化范围为 2.2 ~ 3.2 m。湖区东深西浅,东部深水区湖底高程普遍为 -4.0 ~ -3.0 m,最深处为 -16.0 m;中部湖底高程为 -3.0 ~ -2.0 m;西部湖底高程为 -2.0 ~ -1.5 m。多年水质监测结果显示,2004 年湖区水体总体为地表水 III 类^[10],2020 年年均水质为 IV 类,2021 年年均水质为 V 类。2021 年全年,北湖 pH 值基本保持在 7.6 ~ 8.4 之间, COD_{Mn} 年均均为 6.37 mg/L, COD_{Cr} 年均均为 30.39 mg/L, BOD_5 年均均为 3.36 mg/L,TP 含量年均均为 0.09 mg/L,TN 含量年均均为 0.94 mg/L。另外,监测显示,北湖的

水质与长江口北支水质相关性较大,且呈季节性变化。长江枯水期,海水会上溯灌入长江口北支,北湖水体盐度也增高。

2 研究方法

2.1 研究资料

为构建崇明北湖生物通道,收集崇明北湖及长江口北支 2020 年 1 : 2 000 水下地形测量资料,以及三通港涵闸设计资料和安全评定资料。三通港涵闸安全评价结果显示,涵闸是工程建设时的临时工程,材料及防腐等级较低,现因长久运行,闸门腐蚀和漏

水严重, 评价为四类闸, 建议拆除重建。为分析北湖水质及生物通道建设对北湖的影响, 收集北湖历年水质监测资料, 其中 2004 年参考文献 [9] 的资料, 2020 年、2021 年为全年逐月监测资料。同时, 于 2022 年 3 月开展全湖水质实测 (表 1), 结果显示: 湖东与湖中水质为 IV 类水, 湖西水质为 V 类水, 主要超标因子为 COD_{Mn} 、 COD_{Cr} 和 TN。

2.2 生物通道构建方案

现状黄瓜沙与黄瓜二沙间的沟槽全长约 1 300 m, 宽约 120 ~ 400 m, 在北段中间有沙洲分东、西两汉, 西侧槽沟宽约 120 m, 东侧三通港涵闸前水域宽约 30 ~ 60 m, 两汉在沟槽中部汇合 (图 1)。北湖陆海连通的生物通道基于与三通港连通的东汉沟槽进行改造。生物通道长度考虑两个方案, 一是利用既有沙洲南汉, 总长约 500 m; 二是在沟槽南段沙洲顶部向南增设导堤, 构建全长约 1 150 m 的生物通道 (图 2)。生物通道采用竖缝式布置, 沿生物通道交错设置隔坝, 自北向南分别编号, 间隔 l 约 50 ~ 70 m, 竖缝宽 b 以数值模拟确定, 初拟 6、12、18 m。隔坝采用抛石梯形断面, 顶宽 2 m, 闸前水域隔坝顶高 4 m、槽沟内隔坝顶高 3 m, 两侧沿 1 : 2 放坡至滩面 (图 2)。生物通道改造后, 三通港涵闸设为常开状态, 通长江口北支与北湖内的生物自由通行。为控制生物通道构建后北湖水位变幅过大, 比选了是否增设西侧沟槽与长江口北支的口门方案。

2.3 2D 水动力模型

为分析不同潮汐生物通道规模下的水动力特性及其对内陆水体的影响, 以长江口成熟应用的平面二维水动力数学模型^[11]为基础, 建立崇明北湖生态

生物通道局部精细数值模型, 比较不同生物通道长度和堰坝间距、缝宽内水动力情况, 进而评价在诱鱼和过鱼方面的优缺点, 为生物通道规模的确定提供依据。北湖精细数值模型以北湖三通港涵闸闸址为出入流边界, 采用静压假定和 Boussinesq 假定下的不可压缩 Navier-Stokes 方程组进行模型求解。模型采用无结构三角形与四边形混合网格, 采用崇明北湖实测地形数据内插后对湖底地形网格进行高程赋值, 并根据生物通道构建方案中设置的间隔方案对隔坝高程进行赋值 (图 3)。由长江北支水文站实测水位数据序列为北湖模型提供外海边界条件。北湖内初始水位为 2.7 m。

2.4 2D 盐度模型

盐度模型采用对流-扩散方程, 在长江口盐水研究中已广泛应用^[12-13]。对北湖精细水动力模型中溶质的对流、扩散与衰减进行模拟, 与水动力模型共用计算边界及网格。盐度模型以氯化物浓度为计算指标, 以较不利浓度进行比选计算。根据北湖盐度调查资料成果, 北湖湖区盐度变幅约为 6 ~ 20, 长江北支盐度变幅可达 3 ~ 30^[9], 故选取以北湖内部低盐度水体受纳外部长江北支高盐度水体的不利条件进行盐度模拟, 设置三通港闸外长江北支水体盐度为 20, 湖区初始盐度取 5。

2.5 模型分析方案

生物通道规模设计应适宜鱼类的游泳能力指标, 生物通道内流速应能够使鱼类产生反应改变游动方向, 且不大于鱼类在一段特定时间内能够保持的最大游动速度, 上述速度分别被定义为“感应流速”及“临界流速”, 该速度区间即为合理的生物通道

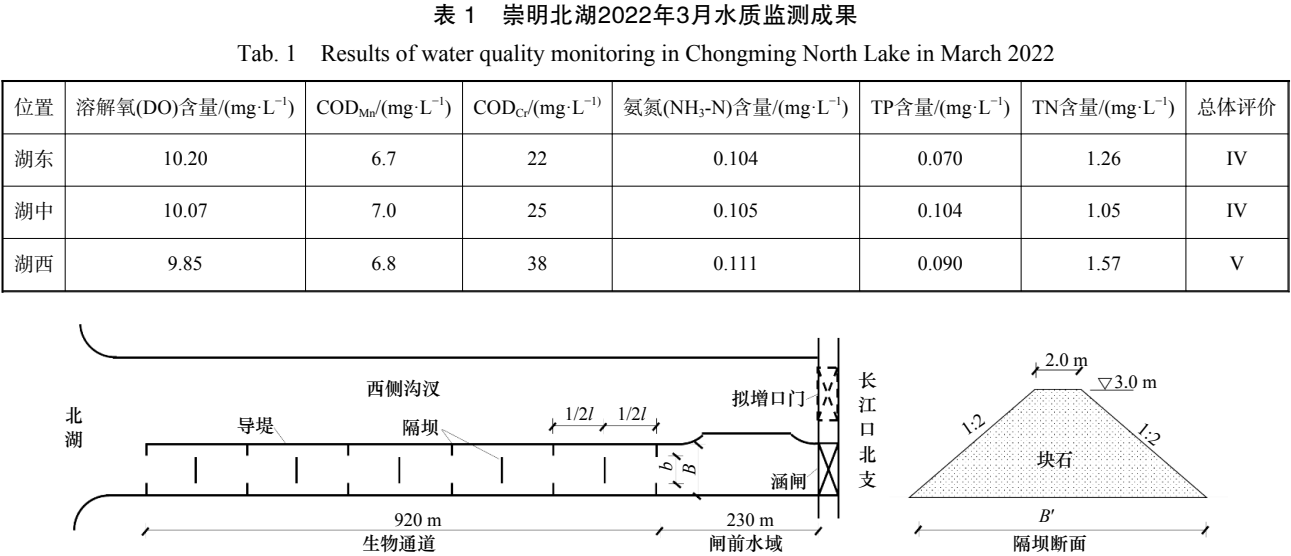


图 2 生物通道布置示意图
Fig. 2 Layout diagram of biological corridor

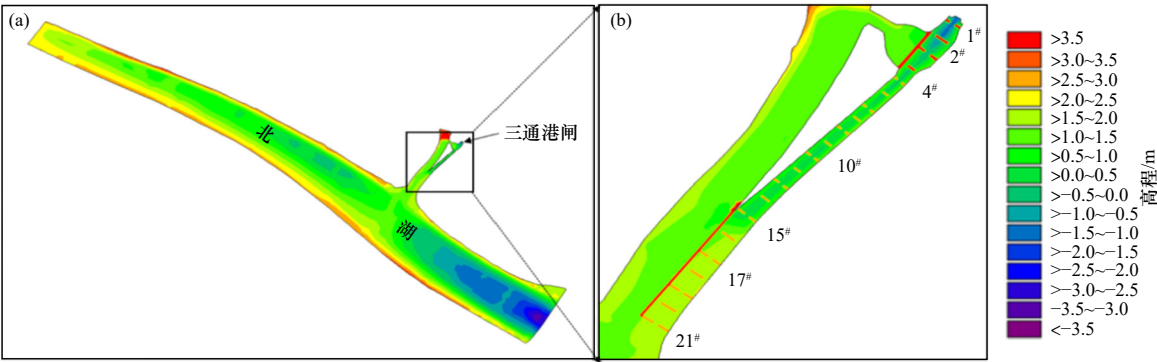


图 3 北湖总体地形及生物通道改造方案

Fig. 3 Elevation of Chongming North Lake and the layout of the biological corridor

诱鱼流速。根据相关研究,河口区域生物通道的推荐诱鱼流速在 $0.47 \sim 1.50 \text{ m/s}$ ^[14-16]。由于生物通道中过水流量主要由通道的隔坝竖缝宽度控制,故模型分析基于诱鱼流速这一指标比选不同竖缝宽度。在不同隔坝竖缝宽度基础上,同时考虑西侧沟槽是否增设与长江北支连通的口门(表 2),比较生物通道内的水动力条件和北湖潮位变化。各工况均进行连续 7 日(约半个大小潮周期)的计算。

表 2 各工况下竖缝间最大流速及适宜诱鱼流速占比

工况	出入口竖缝宽/m	西侧槽沟是否增设口门	竖缝间适宜诱鱼流速时段占比/%			最大流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)		
			4#隔坝	17#隔坝	21#隔坝	4#隔坝	17#隔坝	21#隔坝
1-1	6	否	44.7	33.0	56.1	2.14	2.27	2.75
1-2	6	是	57.1	42.3	55.8	1.39	2.34	2.53
2-1	12	否	39.0	42.9	70.4	2.65	2.16	2.55
2-2	12	是	38.7	45.7	72.5	2.96	2.22	2.27
3-1	18	否	38.4	79.0	64.4	2.57	1.61	2.46
3-2	18	是	41.0	74.8	54.3	2.81	1.61	2.13

3 结果及分析

3.1 生物通道规模水动力分析

基于 2D 水动力数学模型计算成果,若仅在沙洲南侧总长约 500 m 的沟汊构建生物通道,湖区水位变化大、通道内流速超 2 m/s 的时间较长,既不满足生物适宜流速要求,也不满足湖区防潮度汛要求。分析总长 1 150 m 的生物通道引排水期间各工况下最大流速(图 4),引排水期间生态生物通道大部分区域的流速总体处在 $0.47 \sim 1.50 \text{ m/s}$ 的诱鱼流速区间内,但局部隔坝竖缝间在引排水期间最大流速易超过诱鱼流速,选取 4#、17#、21#隔坝在各工况下竖缝间的最大流速进行对比分析(表 2)。

工况 1-1 中,引水期间南端 21#隔坝竖缝间出现最大流速,约 2.75 m/s,排水期间南侧第 17#隔坝间最大流速约 2.27 m/s,北部 4#隔坝两侧区域过水口最大

流速约 2.14 m/s,其他生物通道竖缝间最大流速约 $0.40 \sim 1.60 \text{ m/s}$ 。增加西侧引排通道后(工况 1-2),引水期间 21#隔坝竖缝间最大流速下降至 2.53 m/s,排水期间 17#隔坝竖缝间流速略微升高至 2.34 m/s,4#隔坝两侧最大流速下降至约 1.39 m/s,但 1#隔坝竖缝间出现最大约 3.45 m/s 的排水流速,其他生物通道竖缝间流速未明显改变。

工况 2-1 中,引水期间生物通道内最大流速在南端 21#隔坝竖缝间出现,最大流速约 2.55 m/s;落潮排水期间生物通道内最大流速出现在 17#隔坝竖缝间,以及 4#隔坝两侧,分别约为 2.16、2.65 m/s。其他生物通道竖缝间最大流速约 $0.70 \sim 1.60 \text{ m/s}$ 。工况 2-2 中,引水期间 21#隔坝竖缝间最大流速下降至 2.27 m/s,排水期间 17#隔坝竖缝间流速略微升高至 2.22 m/s,4#、2#隔坝两侧最大流速上升至约 2.96、2.50 m/s,其他生物通道竖缝间最大流速约 $0.50 \sim 1.30 \text{ m/s}$ 。

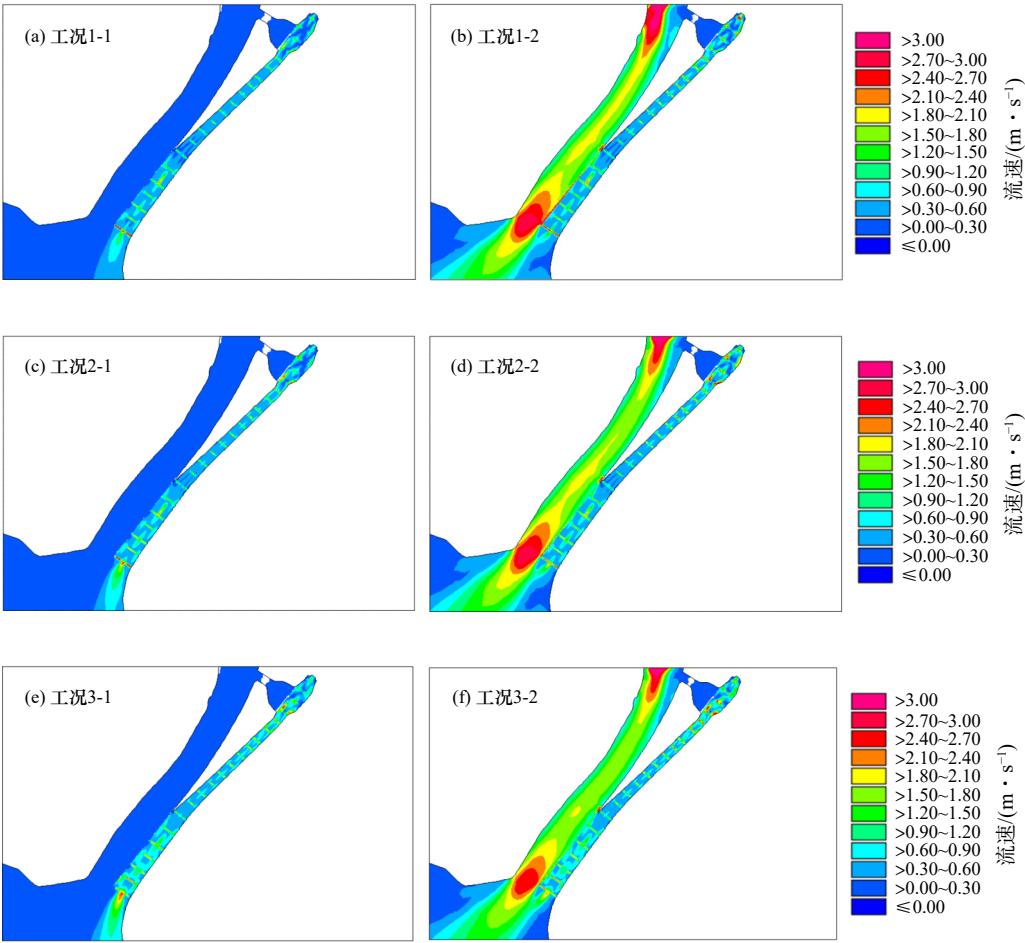


图 4 各工况生物通道运行期间最大流速分布

Fig. 4 Maximum velocity distribution during the tidal fishway operation with different scales.

工况 3-1 中, 引水期间生物通道内最大流速在南端 21#隔坝竖缝间出现, 最大流速约 2.46 m/s; 落潮排水期间生物通道内最大流速出现在第 17#隔坝竖缝间, 以及 4#隔坝两侧, 分别约为 1.61 m/s 和 2.57 m/s。其他生物通道竖缝间最大流速约 0.65 ~ 1.60 m/s。工况 3-2 中, 引水期间 21#隔坝竖缝间最大流速下降至 2.13 m/s, 排水期间 17#隔坝竖缝间流速略微升高至 1.61 m/s, 4#隔坝两侧最大流速上升至约 2.81 m/s, 其他生物通道竖缝间最大流速约 0.60 ~ 1.70 m/s。

各工况下典型隔坝断面最大流速及适宜诱鱼流速时间占比 (表 2) 显示, 增大生物通道南北侧隔坝竖缝将总体降低南侧隔坝引水期间的最大过水流速, 提高生物通道北部隔坝间排水期间的最大过水流速, 但相较诱鱼流速仍然偏大。隔坝竖缝规模的扩大将略降低北侧 4#隔坝间竖缝流速适宜诱鱼的总体时间, 提升南侧 17#、21#隔坝间流速适宜诱鱼的时间占比。考虑到生物通道适宜过鱼时间受各隔坝中的最小值控制, 故各方案中工况 2、工况 3 规模相对较优。

3.2 生物通道建设对北湖水位变化影响

提取各工况引排水期间北湖湖区内水位变化,

结果表明, 仅进行生物通道改造情况下, 北湖湖区水位总体变化较为稳定, 单次涨落潮过程的水位变幅约 0.02 ~ 0.09 m, 水位变幅与外部潮差正相关, 且随着生物通道隔坝间竖缝规模增大而提高。工况 1-1、工况 2-1 在经历约半个大小潮周期的计算时长后, 计算末时刻的水位与初始时刻基本维持相同, 工况 2-1 中湖区能够达到的最高水位略大约其他两种工况, 达 2.86 m。工况 3-1 因过水断面增大, 低潮期间向长江北支排出更多库容, 导致在计算末时刻湖区水位下降至约 2.63 m。水位变化影响分析表明, 生物通道隔坝竖缝维持在 6 ~ 12 m 规模下, 三通港水闸常开能够维持湖区水位在 2.7 m 左右; 竖缝规模进一步扩大至 18 m 后, 无法维持湖区水位保持在 2.7 m 常水位水平; 若进一步在三通港闸西侧增设引排水通道 (工况 1-2、2-2、3-2), 湖区内日常水位变幅最大均可达 0.5 m 以上, 对维持湖区水位稳定较为不利 (图 5)。

3.3 生物通道建设对北湖水质变化影响

对比工况 1-1、2-1、3-1 下模拟北湖湖区连续 7 日与长江北支连通后的盐度变化情况。结果表明,

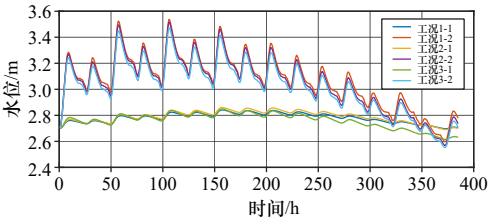


图 5 生态生物通道改造后各工况湖区水位变化
Fig. 5 Changes in water level in Chongming North Lake after the construction of tidal fishway

北支高浓度盐水对湖区的影响范围集中在拟建生物通道至其东侧总宽约 2.5 km 的水域内,不同的隔坝竖缝规模下,北支来水对湖区水体盐度的影响范围基本一致,但在能够达到的最大浓度上有所差异。工况 1-1 中,7 日后受影响水体最大盐度达 10~12,工况 2-1、工况 3-1 中这一数值分别为 11~14、12~15,湖区其他水域盐度无显著改变(图 6)。该浓度与北湖现状建设条件下枯水期盐度(11~16)^[9]较为接近。

3.4 生物通道最优规模确定

综合各生物通道建设方案的水动力、水位、水质影响显示,各生物通道竖缝规模对湖区水质的影响范围基本一致,但过大的竖缝宽度或新增其他北湖-长江北支沟通通道将造成湖区水位变化加大、盐度变幅更大,不利于北湖水位、水生态维持较为平稳的

状态,故不推荐隔坝竖缝宽度达到 18 m 或新增湖区与外部沟通通道。隔坝竖缝在 6、12 m 规模下对北湖水位、水质影响较为接近,较大竖缝宽度将降低生物通道北湖侧隔坝间引水期间最大流速,提高北支侧隔坝间排水期间最大流速,生物通道内适宜诱鱼流速时间占比略有提升,故推荐 12 m 缝宽,不增设其他沟通通道。

4 讨论

4.1 生物通道运行管理方式

与一般生物通道常年畅通不同,位于陆海连通区域的生物通道在极端风暴潮期间若不受控制,则有可能会造城内陆区域的防洪风险,所以其运行管理方式更值得各方关注。为此,根据长江口北支三条港水文站潮位特征值分析成果,分别计算了北湖在生物通道改造后,遭遇极端风暴潮气候,外海高潮位达到 100 年一遇、50 年一遇、20 年一遇、10 年一遇、2 年一遇、1 年一遇情况下湖区水位变化(表 3)。结果表明,长江北支遭遇风暴潮 2 年一遇以下重现期潮位情况下,湖区水位变幅小于 0.2 m;遭遇 10 年一遇以上重现期潮位情况下,湖区水位上涨幅度超 0.3 m,较日常潮位下湖区水位变幅显著增大;遭遇 100 年一遇以下重现期的潮位,北湖最高水位均低于最高控制水位 3.2 m。所以,构建适宜规模的生物通

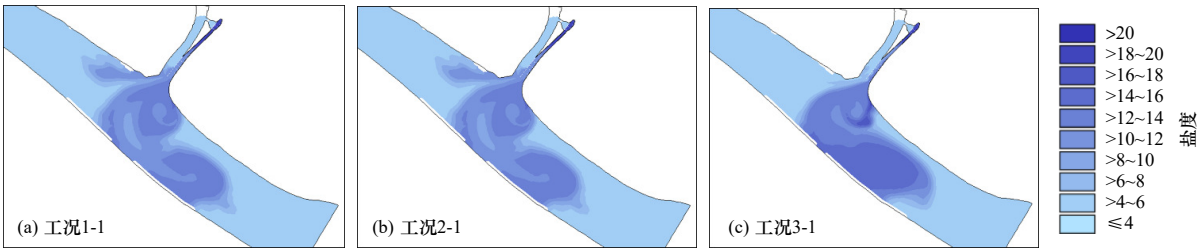


图 6 生态生物通道改造后连续 7 日引排湖区盐度分布
Fig. 6 Salinity distribution within 7-day-long drainage after construction of tidal fishway

表 3 长江北支遭遇风暴潮对北湖水位影响

设计频率	重现期	北支最高潮位/m	北湖最高水位/m	湖区水位最大变幅/m
1%	100年	6.32	3.10	0.38
2%	50年	6.16	3.08	0.36
5%	20年	5.93	3.04	0.32
10%	10年	5.68	3.00	0.28
50%	2年	5.12	2.92	0.20
99%	1年	4.40	2.81	0.09
	平均高潮位	3.60	2.76	0.04

道后,即使长江北支遭遇风暴潮灾害,北湖内的水位也能控制在设防水位以下,可以不对涵闸进行关闭。但是,遭遇极端风暴潮时,北湖水位有可能增加,应适时关闭三通港涵闸,防止湖区水位超过设防水位。

4.2 生物通道生境营造方式

生物通道内通过适宜缝宽的隔坝缓流,涨落潮期存在不同的流速,满足了不同生物通行需求。但是,生物通道内的水质、盐度、透明度等也会影响生物的通行^[17-19]。长江口北支的总体水质为Ⅴ类,而北湖的总体水质要好于北支。同时,长江口受上下游泥沙影响,水体浑浊,透明度明显低于北湖。因此,为改善北支进入北湖的水体污染,营造生物适宜生境,应在构建生物通道时,结合北湖流速、水位变化和咸淡混合区的特点,在生物通道两侧岸坡和沟底构建水生生态系统。岸坡宜以可净化水质的芦苇等挺水植物为主,沟槽内可选择种植狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、篦齿眼子菜(*Potamogeton pectinatus*)等枝叶较为繁茂、叶面积较大的沉水植物,吸附水体污染物,并为鱼类提供产卵场与栖息地,改善鱼卵发育环境,更利于鱼类生存与繁殖。

4.3 北湖生物生境修复技术

崇明北湖形成近20年,期间经历了封堵、连通、养殖、退养等过程,湖体水质由最初Ⅲ类演变为近年Ⅴ类。湖区污染物主要来源于周边面源污染、原湖区养殖和长江口北支水质影响。生物通道建成后,即使在生物通道内采取生境营造改善长江口北支水体进入北湖的影响,也应在北湖湖区采取生态技术措施,改善湖区生物生境。首先,对周边农田及芦苇荡汇入北湖的排口进行封堵,隔断其向北湖排水通

道,利用周边芦苇荡的自净能力对这部分面源污染进行消纳;其次,在三通港涵闸附近设置长江口北支水质预警监测系统,实时监测三通港闸外水质,依据水质变化适时调控三通港涵闸启闭;第三,利用北湖四周宽阔滩涂和芦苇等自然生境净化水体,并适时收割养护,去除有机污染物;最后,必要时根据北湖水体有机污染物通量高、浓度低和泥沙含量高的特征,采用光电催化净水技术(PEC)等新型原位净水工艺^[20-21],去除水体中的有机物、重金属、钙、镁、胶体、微粒等。

5 结语

滨海区域是人类和生物生存的重要活动区域。受人类活动干扰而破坏的滨海区域迫切需要开展生态修复,促进陆海联动。因地制宜构建适宜生物连通的陆海通道,可以丰富该区域生物多样性,提升滨海生态品质与综合服务功能,推动海陆空间联动高质量发展。利用崇明岛北侧黄瓜沙与黄瓜二沙的沟槽,构建潮汐生物通道,连通北湖与长江口北支,选择合适的堰坝间距、缝宽,可获得涨落潮一定时间内适宜鱼类等生物通行的流速,进而起到陆海连通、提升生态性的效果。

为便于生物通行而长期开敞,生物通道的运行会导致内陆水体处于咸淡水混合状态。陆海连通的潮汐生物通道兼顾生物通行和挡潮防洪。构建适宜规模的生物通道,可以控制内陆水体水位变化,满足日常运行和景观要求,但需设置遭遇风暴潮等不利工况的控制措施。受长江口北支每天两涨两落咸潮、浑水和污染水体影响,建议在生物通道开展生境营造、在北湖湖区开展生境修复,植物配置应考虑流速、水位变化和咸淡混合区的特点。

参考文献:

[1] 陈彬, 俞炜炜, 陈光程, 等. 滨海湿地生态修复若干问题探讨[J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(4): 464-473.
CHEN B, YU W W, CHEN G C, et al. Coastal wetland restoration: an overview[J]. Journal of Applied Oceanography, 2019, 38(4): 464-473.

[2] LESTER S E, DUBEL A K, HERNÁN G, et al. Spatial planning principles for marine ecosystem restoration[J]. Frontiers in Marine Science, 2020, 7: 328.

[3] 俞炜炜, 马志远, 张爱梅, 等. 海洋生态修复研究进展与热点分析[J]. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 100-110.
YU W W, MA Z Y, ZHANG A M, et al. Research progress hotspot analysis of marine ecological restoration[J]. Journal of Applied Oceanography, 2021, 40(1): 100-110.

[4] LI S, XIE T, PENNINGS S C, et al. A comparison of coastal habitat restoration projects in China and the United States[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 14388.

[5] TEMMINK R J M, CHRISTIANEN M J A, FIVASH G S, et al. Mimicry of emergent traits amplifies coastal restoration success[J]. Nature Communications, 2020, 11(1): 3668.

[6] TEMMINK R J M, ANGELINI C, VERKUIJL M, et al. Restoration ecology meets design-engineering: mimicking emergent traits to restore feedback-driven ecosystems[J]. Science of the Total Environment, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166460.

- [7] 史赞荣, 晁敏, 沈新强. 主导长江口鱼类群落物种时间共存格局的环境过滤机制研究[J]. *应用海洋学学报*, 2018, 37(4): 525-533.
SHI Y R, CHAO M, SHEN X Q. Environmental filtering mechanism controlling the species temporal coexistence pattern for fish communities in Changjiang Estuary[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2018, 37(4): 525-533.
- [8] 季永兴, 卢永金, 莫放全. 崇明北沿滩涂促淤围垦水流数学模型研究 (之二)[C]//《水动力学研究与进展》编委会, 中国造船工程学会, 中国力学学会水动力学专业组, 等. 第十四届全国水动力学研讨会文集. 北京: 海洋出版社, 2000: 244-249.
- [9] 黄志峰, 倪国彬, 黄庆, 等. 崇明北湖水质及水生生物资源调查报告[J]. *水产科技情报*, 2005(4): 167-168.
HUANG Z F, NI G B, HUANG Q, et al. Investigation report on water quality and aquatic biological resources of Chongming North Lake[J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2005(4): 167-168.
- [10] 李晓敏, 张杰, 马毅. 1974 年以来长江口北支沙洲演变过程遥感监测[J]. *人民长江*, 2014, 45(21): 45-48.
LI X M, ZHANG J, MA Y. Remote sensing monitoring of sandbars evolution in north branch of Yangtze River Estuary since 1974[J]. *Yangtze River*, 2014, 45(21): 45-48.
- [11] 陈美发, 卢永金, 季永兴. 崇明北沿滩涂促淤围垦水流数学模型研究 (之一)[C]. //《水动力学研究与进展》编委会, 中国造船工程学会, 中国力学学会水动力学专业组, 等. 第十四届全国水动力学研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 2000: 238-243.
- [12] LI L, ZHU J R, WU H. Impacts of wind stress on saltwater intrusion in the Yangtze Estuary[J]. *Science China Earth Science*, 2012, 55(7): 1178-1192.
- [13] 李路, 朱建荣. 长江口枯季北港淡水向北支扩展的动力机制[J]. *水科学进展*, 2016, 27(1): 57-69.
LI L, ZHU J R. Dynamic mechanism of freshwater extension from the north channel to the north branch in the Changjiang Estuary in dry seasons[J]. *Advances in Water Science*, 2016, 27(1): 57-69.
- [14] 孙东坡, 何胜男, 王鹏涛, 等. 明槽式鱼道进流口区水流特性及改善措施[J]. *水利水电技术*, 2016, 47(4): 58-62.
SUN D B, HE S N, WANG P T. Hydraulic characteristics of flow in intake area of open channel fishway and its improving measures[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2016, 47(4): 58-62.
- [15] 王晓臣, 邢娟娟. 5 种鱼感应流速比较分析[J]. *水生态学杂志*, 2018, 39(2): 77-81.
WANG X C, XING J J. Comparison of induction velocities for five fish species[J]. *Journal of Hydroecology*, 2018, 39(2): 77-81.
- [16] 陈海燕, 赵再兴, 李郴娟. 一种鱼道进口诱鱼结构装置的试验研究[J]. *水生态学杂志*, 2019, 40(6): 61-66.
CHEN H Y, ZHAO Z X, LI C J. Study of a proposed fish attracting entrance for a fish passage[J]. *Journal of Hydroecology*, 2019, 40(6): 61-66.
- [17] 李捷, 李新辉, 朱书礼, 等. 连江西牛鱼道过鱼效果及其影响因子研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2019, 35(12): 1593-1600.
LI J, LI X H, ZHU S L, et al. Study on the efficiency and influencing factors of Xiniu fishway in the Lianjiang River[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2019, 35(12): 1593-1600.
- [18] OVIDIO M, DIERCKX A, BENITEZ J P. Movement behaviour and fishway performance for endemic and exotic species in a large anthropized river[J]. *Limnologica*, 2023, 99: 126061.
- [19] BAEK K O, LEE J M, HAN E J, et al. Evaluating attraction and passage efficiencies of pool-weir type fishways based on hydraulic analysis[J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(4): 1880.
- [20] WANG W, XU X M, ZHOU W, et al. Recent progress in metal-organic frameworks for applications in electrocatalytic and photocatalytic water splitting[J]. *Advanced science*, 2017, 4(4): 1600371.
- [21] 郭琳, 苗锦, 谭涛, 等. 光催化/光电催化 5-羟甲基糠醛的研究进展[J]. *中国科学: 化学*, 2024, 54(2): 147-159.
GUO L, MIAO J, TAN T, et al. Research progress in photocatalytic/photoelectrocatalytic conversion of 5-hydroxymethylfurfural[J]. *Scientia Sinica (Chimica)*, 2024, 54(2): 147-159.

A study on construction of tidal biological channels connecting land and sea and its impact on inland water bodies: taking the North Branch of the Yangtze River Estuary and the North Lake as an example

Ji Yongxing^{1,2,3}, TENG Fei^{1,2,3}, YAO Yixian^{1,2}, LI Lu^{1,2,3}

(1. Shanghai Water Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200232, China; 2. Shanghai Ocean Engineering Design and Research Institute of Arcplus Group, Shanghai 200232, China; 3. Shanghai Engineering Research Center on Coastal Zone, Shanghai 200232, China)

Abstract: The establishment of effective biological corridors in the land-sea transitional zone can enhance the biodiversity of the area, elevate the ecological quality and overall service capabilities of the coastal realm, and foster the high-quality advancement of integrated sea-land development. This study takes Chongming North Lake, located on the north side of Chongming Island, as a case of study to examine the viability of developing tidal fishways utilizing existing trenches and culverts. Based on a 2D hydrodynamic numerical model and salinity model, the hydrodynamic characteristics of different tidal fishway sizes and their impact on inland water bodies are analysed, and the plant configuration and operation management measures of biological channels explored. Results indicate that, firstly, by selecting the appropriate length of the biological corridor the distance between dams, and the width of the gaps, it is possible to achieve an optimal flow velocity within the corridor for the passage of fish and other organisms during specific period of tidal flux. Secondly, constructing a suitable scale of land sea connected biological pathway can satisfy the functional requirements while mitigating the risks associated with storm surge disasters. Thirdly, under typical tidal conditions with a 10-year recurrence interval, the water level in Chongming North Lake fluctuates by about 20 cm. Even under a 100 year storm surge scenario, the water level can be managed to remain below the designed limit. Fourthly, considering the daily influx of saline water, turbid water and polluted water bodies in the northern branch of the Yangtze River Estuary, it is recommended to undertake habitat creation within the biological corridor and to restore habitats in the North Lake area. The arrangement of vegetation should take into account the dynamics of flow velocity, water level variations, and the mixed zones of brackish-water.

Key words: land-sea connectivity; biological channels; tidal fishway; Yangtze River Estuary; Chongming Island

DOI: [10.3969/J.ISSN.2095-4972.20240221002](https://doi.org/10.3969/J.ISSN.2095-4972.20240221002)

Corresponding author (E-mail: jiyx@sh163.net)

(责任编辑: 肖 静)