

紫琅湖湖底地形优化设计

林 敏¹, 严 钰², 陆婷婷³

(1. 南通市高层次人才储备中心, 江苏 南通 226019; 2. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200032; 3. 南通市水利工程管理站, 江苏 南通 226019)

摘要: 为更好指导紫琅湖地形设计, 在紫琅湖原有设计方案的基础上, 通过合理分配不同水深区域占比, 对湖底地形进行优化设计。利用 MIKE21 流场数值模拟, 对紫琅湖湖体风生流、吞吐流进行计算, 验证湖体地形的合理性, 有利于紫琅湖后续的水系调度和生态系统构建。

关键词: 湖底地形; 优化设计; 数值模拟

中图分类号: TV882.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2019) 01-0067-06

Optimization design of the bottom topographic of Zilang Lake

LIN Min¹, YAN Yu², LU Tingting³

(1. Nantong High-level Talent Reserve Center, Nantong 226019, Jiangsu;
2. Shanghai General Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200032, Shanghai;
3. Nantong Water Conservancy Project Management Station, Nantong 226019, Jiangsu)

Abstract: In order to better guide the topographic design of Zilang Lake, based on the original design scheme, the optimal design of the lake bottom topography was carried out by rationally distributing the proportion of different water depth areas. By using MIKE21 flow field numerical simulation, the wind-driven flow and huff and puff flow of Zilang Lake were calculated to verify the rationality of the lake topography, which was conducive to the subsequent water system dispatch and ecosystem construction of Zilang Lake.

Key words: lake bottom topography; optimum design; numerical simulation

0 引言

为提升城市核心竞争力, 越来越多的城市开始建设人工湖泊, 以提高城市居民的生活环境。但新建人工湖泊通常存在生态系统自我修复能力差等问题, 需经一定时期的演变才能达到平衡稳定。因此, 在设计人工湖的湖体形态、湖泊生态系统方面, 应符合生态学、环境学、水力学等原则, 保证建成的人工湖泊水环境良好, 并实现湖泊的可持续发展。

人工湖水体一般相对比较封闭, 水体流动性差, 而水动力是影响水生态系统的重要指标之一, 直接影响着水体物质的输移、水土界面物质的交换等诸多生态过程, 从而影响生态系统的生物多样性^[1]。因此, 地形作为影响人工湖水动力的一个因素, 尤以风生流为主的人工湖更甚, 直接影响人工湖水体内的物质扩散、转移及水质条件等方面。胡维平、张发兵等^[2-3]开展了地形对风生流场的影响研究, 表明湖底形态对水体中下层流场影响较大。目前, 运用相关数值模型对湖泊水动力

收稿日期: 2018-06-25

作者简介: 林敏(1989—), 男, 硕士, 主要从事水利工程设计管理工作。

研究的有 DHI—MIKE、EFDC 和 WASP 等, 已有较多工程实例^[4]。路洪涛、王依依^[5-6]利用 MIKE21 对人工湖流场进行分析, 对改善水动力条件给出方案。

本文以南通中央创新区内的紫琅湖为例, 中央创新区总体规划及水系规划已初步确定, 但对湖体地形还未深入研究。基于紫琅湖对该地区的重要性, 也对湖体生态环境提出了更高要求。本文通过对湖体地形的讨论, 基于流场数值模拟, 模拟紫琅湖建成初期湖体形态结构下的流场, 对指导紫琅湖的设计与管理有重要的意义。

1 紫琅湖现状方案

中央创新区水系规划新建及改建部分控制建筑物, 使中央创新区水系及周边水系分隔开, 形成封闭而不闭的相对独立水系。紫琅湖作为中央创新区内南部的人工湖, 设计常水位 1.80 m, 常水位下湖区面积 89.14 hm², 湖区形状接近葫芦形, 中部设计有隧道穿过。

现有湖体方案设计中, 最大水深约 3.30 m, 常水位下库容 217.38 万 m³, 平均水深 2.44 m, 如图 1 所示。从等深线分布情况来看, 湖区水深分布偏向深水区, 占比 44.83%, 过渡区占比 36.21%, 浅水区占比 18.96%, 如表 1 所示。

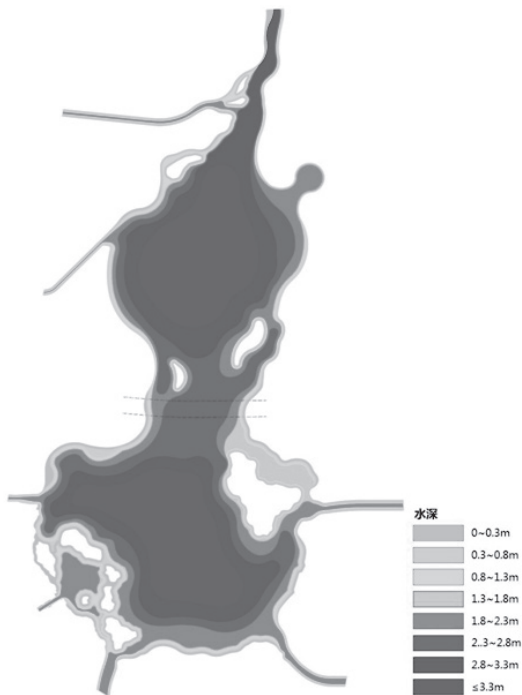


图 1 原设计方案湖底等深线

表 1 紫琅湖原设计方案水深分布情况

分类	水深 (m)	面积 (万 m ²)	比例
深水区	> 2.8	39.96	44.83%
过渡区	1.8 ~ 2.8	32.28	36.21%
浅水区	< 1.8	16.90	18.96%

2 湖底地形优化设计

2.1 优化思路

紫琅湖已有设计方案, 根据原方案设计的等高线, 分析其是否存在相应问题。在不对原有方案做颠覆性调整的基础上, 适当改善湖体地形, 分析紫琅湖适宜水深, 在原方案的基础上调整湖底地形方案, 给出相应的比选方案。结合相关模型工作验证流场的合理性, 以达到最终优化结果。

2.2 优化设计

根据相关文献^[7]提出的人工湖底地形设计原则, 需满足引排水、风生流、生物多样性、景观及水资源调度等要求。紫琅湖的上位规划设计中, 该方案基本满足上述原则及要求。但是, 浅水区占比较小, 不仅湖体土方开挖量大, 还压缩了湖区水生植物生长空间, 不利于湖泊丰富生态系统的构建。

紫琅湖设计岸线平滑柔和, 岛屿洒落其间, 具有一定的形态美感, 在湖底地形优化中, 充分利用其现有岸线的蜿蜒曲折营造湖区深浅不一的水生生境。根据水生植物习性, 挺水植物适宜种植水深小于 0.5 m, 沉水植物适宜种植水深范围为 0.5 ~ 2.0 m, 浮水植物种植在 0.5 ~ 1.0 m 水深范围水域。因此, 原方案中水生植物生长空间约占整个湖区的 15%, 整体偏小, 建议将浅水区域范围适当扩大, 使水生植物可生长空间占比提高至 30% 左右。

根据上述适宜水深分析, 结合紫琅湖自身功能定位, 对紫琅湖适宜水深提出如下要求:

(1) 常水位情况下, 岸线 2.0 m 范围内水深不大于 0.5 m;

(2) 维持原有方案中最大水深 3.3 m 的思路, 紫琅湖设计最大水深建议为 3.3 ~ 3.5 m, 以保证水体自净能力;

(3) 湖体中部有规划穿河隧道经过, 考虑到隧道覆土安全, 要求隧道经过区域及其南北两侧

湖底地形保证在 -0.7 m 左右,即设计水深不大于 2.5 m ;

(4) 景观滨水地带可适当增加挺水植物种植范围,水深不大于 0.5 m 。

2.3 方案比选

根据上述分析,紫琅湖南北部最大深水建议在 $3.3\sim 3.5\text{ m}$ 左右,腰部水深建议在 2.5 m 左右,沿岸 2.0 m 范围内水深尽量不大于 0.5 m 。根据以上原则,设计出如下3个方案。

(1) 方案1

该方案在原有方案基础上,略微增加了水深,南北湖最大设计水深为 3.5 m ,同时按照 $1:20$ 的缓坡拓宽沿岸 $0\sim 0.5\text{ m}$ 水深的分布带。中部穿湖隧道湖区设计水深 2.5 m ,在满足隧道覆土要求下,适当加高局部湖底高程。西南部岛链内部空间较狭窄,因此岛链内侧放坡设计为 $1:10$,外部放坡为 $1:20$,既保证岛链内部有开阔的过渡区水深区域,也能保证岛链外部有较大范围的浅水种植区,增强景观和生态效果。由于紫琅湖自身平面形态设计中岛屿较多,且大多离岸较近,因此近岸侧水域比较狭窄,在该类狭窄区域保证最大水深至少为 2.0 m ,放坡不大于 $1:5$ 。湖底等深线及水深分布情况见图2。

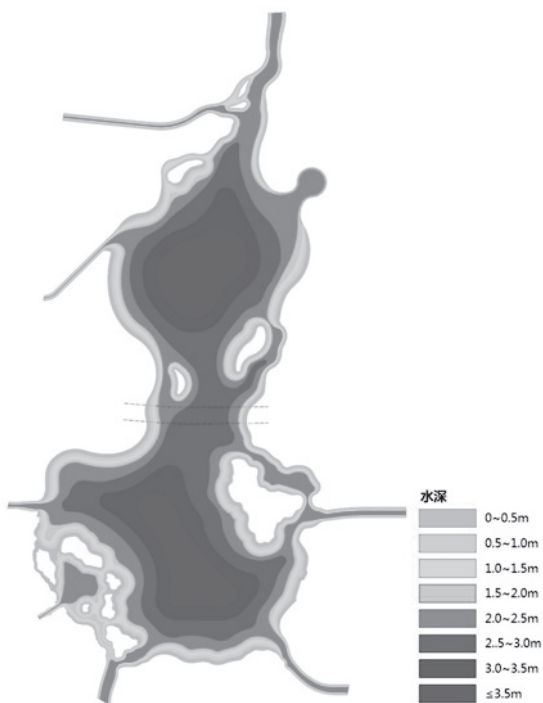


图2 紫琅湖水深分布示意图(方案1)

调整后紫琅湖浅水区占比 30% 左右,过渡区

占比 45% 左右,深水区占比 25% 左右,最大水深约 3.5 m ,常水位下库容 200.13 万 m^3 ,水面面积 89.14 万 m^2 ,平均水深 2.25 m ,如表2所示。

(2) 方案2

方案2与方案1整体比较接近,但没有增加最大水深,即最大水深为 3.3 m ,此时能保证穿河隧道土工膜袋上仍有 0.5 m 覆土厚度。湖底等深线及水深分布情况见图3。

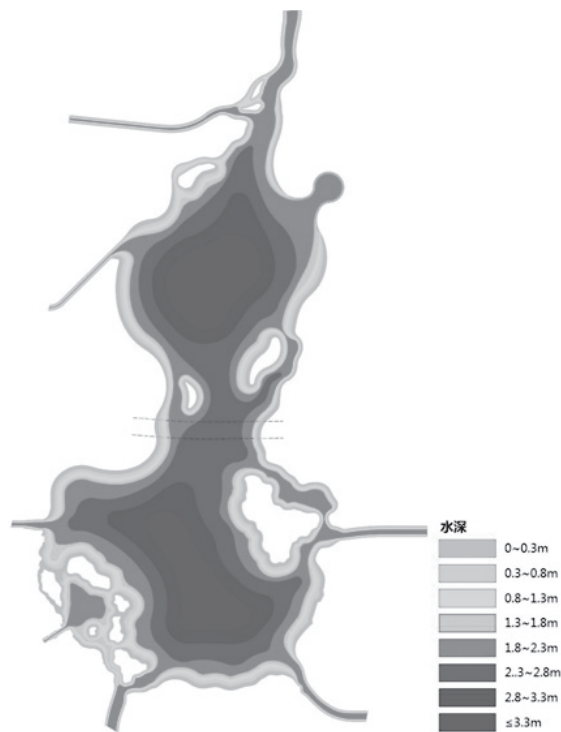


图3 紫琅湖水深分布示意图(方案2)

该方案下调整后浅水区占比 30% 左右,过渡区占比 45% 左右,深水区占比 25% 左右,最大水深约 3.3 m ,常水位下库容 185.04 万 m^3 ,水面面积 89.14 万 m^2 ,平均水深 2.08 m ,如表2所示。

(3) 方案3

方案3在方案1的基础上,局部减小了中部穿河隧道区域的水深,以保证穿河隧道土工膜袋上仍有 0.5 m 覆土厚度,最大设计水深仍为 3.5 m 。湖底等深线及水深分布情况见图4。

该方案调整后浅水区占比 30% 左右,过渡区占比 45% 左右,深水区占比 25% 左右,最大水深约 3.5 m ,常水位下库容 202.24 万 m^3 ,水面面积 89.14 万 m^2 ,平均水深 2.27 m ,如表2所示。

(4) 方案比选

从水深分布情况上来看,方案1与方案3的浅水区、过渡区和深水区占比基本相同。由于方

表 2 紫琅湖各比选方案水深分布情况

方案	分类	水深 (m)	面积 (万 m ²)	比例
1	深水区	>3.0	20.56	23.06%
	过渡区	2.0~3.0	42.69	47.89%
	浅水区	<2.0	25.89	29.05%
2	深水区	>2.8	20.56	23.06%
	过渡区	1.8~2.8	42.69	47.89%
	浅水区	<1.8	25.89	29.05%
3	深水区	>3.0	20.63	23.15%
	过渡区	2.0~3.0	42.61	47.80%
	浅水区	<2.0	25.89	29.05%

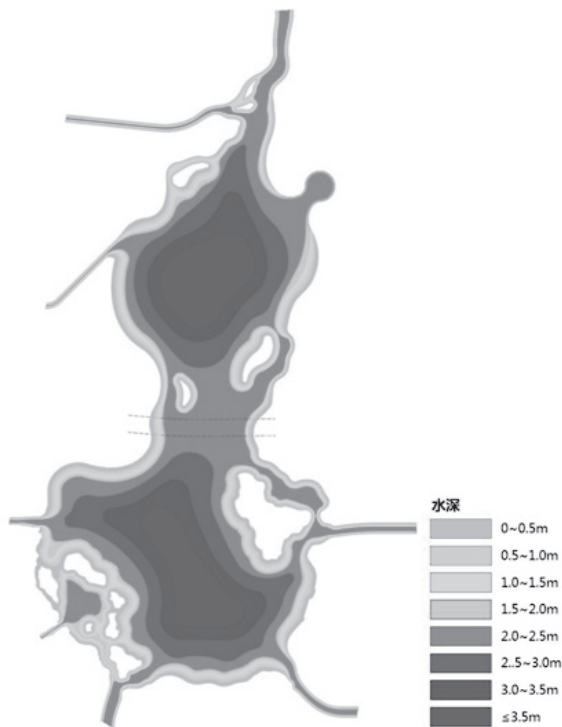


图 4 紫琅湖水深分布示意图 (方案 3)

案 2 统计过程中浅水区和过渡区水深区间较方案 1 与方案 3 小, 因此整体上方案 2 的浅水区占比更大, 深水区占比更小, 即浅水区占比大于 30%, 深水区占比小于 20%, 该分配比例次于方案 1 与方案 3, 故不建议。

方案 3 较方案 1 的区别主要在于中部穿河隧道局部, 方案 1 在该区域设计水深约 2.5 m, 覆土厚度约 0.3 m, 为保证覆土要求, 可根据覆土需要适当加高局部地形; 方案 3 中隧道所在区域设计湖底标高约 -0.2 ~ -0.7 m, 设计水深约 2.0 m, 基

本满足覆土要求。但从湖区水体交换上来看, 方案 1 更有利于过渡区水体交换, 因此建议选择方案 1 作为最终优化结果。

3 流场分析

根据《南通市中央创新区水系规划》, 通过新建的部分涵闸, 合理调度和运行, 实施引清活水, 结合创新区的实际情况, 统筹考虑, 总体以“北引南排、西排”为主, 辅以“南引西排”, 加强水体流动性, 改善水质。

本文选用丹麦 DHI 公司的 MIKE21 模型模拟分析上述方案 1 中的紫琅湖风生流及吞吐流。MIKE21 对二维非恒定流进行模拟的同时, 也兼顾水下地形、密度变化、气象条件和潮汐变化的影响, 更贴合工程实际。

3.1 模型参数设置

(1) 边界条件

为了更好地分析风生流和吞吐流流场情况, 模型计算时不考虑风场条件和进出水条件相互独立考虑, 即模拟风生流时不考虑进出水条件, 模拟吞吐流时不考虑风场条件。

常水位下紫琅湖库容 200.13 万 m³, 以每天换水 8 h, 换水周期 14 d 计算, 引水流量约 5.0 m³/s。因此模拟吞吐流时, 在各口门打开的情况下, 假定仅北侧入口引流, 引水流量 5.0 m³/s, 其余口门设置为常水位 1.8 m。

(2) 湖底地形

通过建立三角形非结构网格, 对湖底地形进

行插值还原,同时针对库区形状对局部网格进行加密,生成大小约 20 m^2 的网格,得到地形文件见图 5。



图 5 紫琅湖风生流模拟模型湖底地形示意图

(3) 风场

根据气象统计资料,南通市年平均风速为 3.1 m/s ,年最多风向为东风。因此本次模型计算选择东向 3.1 m/s 风速的风场作为计算条件。

(4) 水位

选择各库区常水位作为模型计算水位,初始水位为 1.8 m 。

3.2 计算结果分析

(1) 风生流

根据模型计算,紫琅湖各库区的流场和流速分布见图 6 和图 7。根据计算结果来看,在年平均风速下及年最多次生风向的风场下,紫琅湖各库区能产生有效的水体流动,基本无死水区。配合水下生态系统设计,能有效保证紫琅湖湖水水质。

(2) 吞吐流

整体来看,流场分布情况较好。仅依靠北进水

口来水基本能保证湖区水体流动,主要的缓流区见图 8 中的红圈位置,可通过增加曝气设施、加强水生植物种植或调整闸门调度改善局部水质。

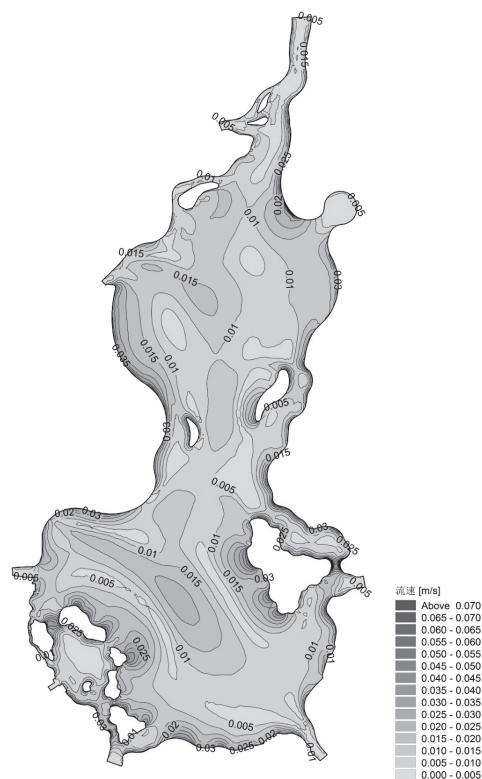


图 6 紫琅湖风生流流速模拟结果

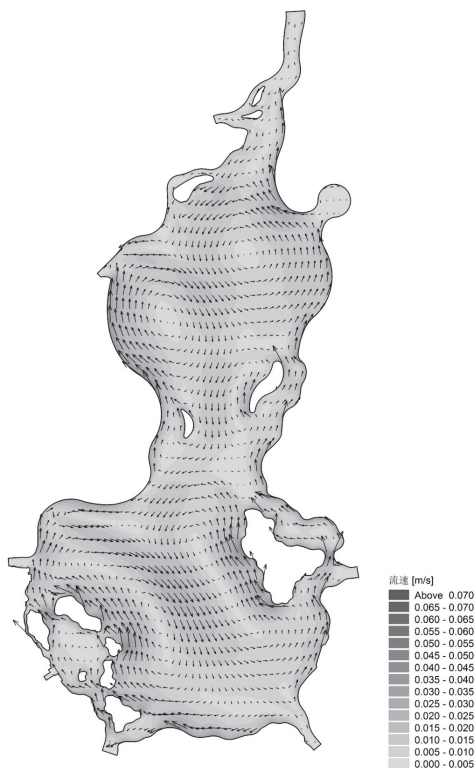


图 7 紫琅湖风生流流场模拟结果

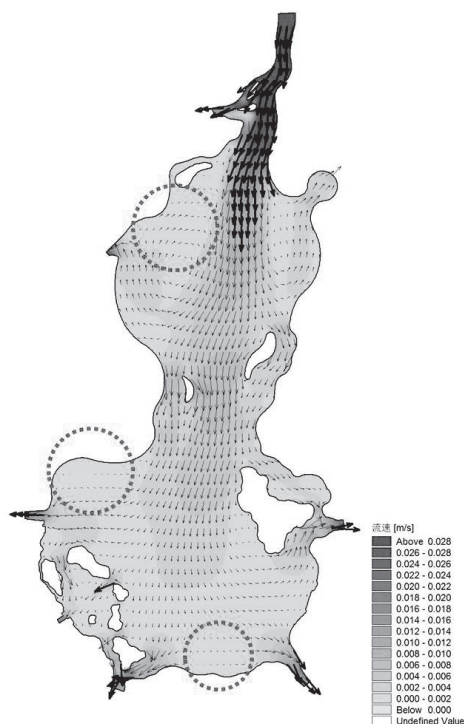


图8 紫琅湖吞吐流流场模拟结果

4 结语

(1) 通过对紫琅湖原有设计地形分析研究,从湖泊水质维护的角度来看,优化构建的湖泊地形起伏平缓、层次分明,更有利于过渡区水体交换,有利于湖泊生态设计及布置,形成较好的湖体环境。

(2) 通过对紫琅湖的流场数值模拟,分析优化后的湖底地形的风生流及吞吐流。从风生流来看,紫琅湖各库区能产生有效的水体流动,基本无死水区。但从吞吐流来看,存在主要的3个缓流区,后期可通过增加曝气设施、加强水生植物种植或调整闸门调度改善局部水质。

参考文献:

- [1] 陈求稳.生态水力学及其在水利工程生态环境效应模拟调控中的应用[J].水利学报,2016,47(03):413-423.
- [2] 胡维平,秦伯强,濮培民.太湖水动力学三维数值试验研究——马山围垦对太湖风生流的影响[J].湖泊科学,2000,12(4):335-342.
- [3] 张发兵,胡维平,秦伯强.湖底地形对风生流场影响的数值研究[J].水利学报,2004,(12):34-38.
- [4] 郭鹏程,蔡明,闫大鹏.基于MIKE21模型的人工生态湖优化设计[J].人民黄河,2014,36(04):56-58.
- [5] 路洪涛,路洪波,刘金光.基于MIKE21的城市湖泊人工水循环流场数值模拟[J].环保科学,2013,19(02):44-48.
- [6] 王依依,张其成,裴李豪,龙珂良.基于流场分析的人工湖设计研究[J].四川环境,2017,36(02):50-56.
- [7] 吴小慧.基于水动力和生物多样性的瀛湖湖底形态研究[J].人民长江,2015,46(23):10-14+33.