规划设计

基于数值模拟的湖库型水体景观规划设计

——以 MIKE21 模型在七里冲水库应用为例

刘 昱[1] 徐晶菁[2] 熊 瑶[3] 徐 昕[1] 武柯宏[1]

1 湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 武汉 430070
2 西南交通大学建筑学院 成都 610097
3 长江设计集团有限公司 武汉 430010

摘要：我国地大物博、水库众多，如何平衡库区水利安全、生态安全与景观规划设计间的矛盾是当下可持续发展与绿色水利关注的重点。文章以鄂北地区水资源配置工程中的七里冲水库为例，首先利用 MIKE21 软件构建库区的二维水动模型，模拟不同工况下水体水流场与流态；然后以景观规划设计语言对结果进行分析与转译；最后从景观建设适宜性区域划分与具体实施方法两方面提炼基于水动力特征分析的库区景观规划设计方案与实施路径。结果表明，基于湖库水文特征解析以识别适宜建设区域，可为平衡库区景观规划设计与水利安全提供一定科学依据，也可为相关实践项目提供一定思路借鉴。

关键词：湖库型水体；景观规划设计；水动力模型；数值模拟
DOI：10.12169/zgcsly.2024.05.15.0002

Landscape Planning and Design of Lake-type Reservoirs Based on Numerical Modelling: An Application of MIKE21 Model to Qilichong Reservoir

Liu Yu[1] Xu Jingjing[2] Xiong Yao[3] Xu Xin[1] Wu Kehong[1]

(1. Hubei Provincial Water Resources and Hydropower Planning Survey and Design Institute Co., Ltd. Wuhan 430070, China; 2. School of Architecture, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610097, China; 3. Yangtze River Design Group Corporation, Wuhan 430010, China)

Abstract: China boasts a large land area and a large number of reservoirs. How to balance water safety, ecological safety and landscape practice is the key to sustainable development and green water conservancy. The paper takes the Qilichong Reservoir, a part of water resources allocation program in northern Hubei, as a study area to construct the two-dimensional hydrodynamic model of the reservoir area using MIKE21 software for simulating the water flow field and the flow pattern under different working conditions, then analyze and translate the results with the language of landscape planning and design, and finally extract the method of landscape planning and design based on the hydrodynamic characterization of the reservoir area and summarizes the path of implementation in terms of the division of appropriate landscape construction area and the implementation method. The results show that identifying appropriate construction area based on the hydrological characteristics analysis of lake-type reservoirs would provide a certain

收稿日期：2024-05-15
* 基金项目：湖北省水利科研项目“湖北省汉北平原河网地区生态流量阈值及保障措施研究”(HBSLKY202310)
第一作者：刘昱 (1990-)，男，本科，工程师，研究方向为滨水景观规划与景观生态。E-mail：278955138@qq.com
通信作者：徐晶菁 (1991-)，女，硕士，博士研究生在读，研究方向为景观规划设计与景观生态。E-mail：519222572@qq.com

scientific basis for balancing landscape planning & design and hydrological security and also certain inspirations on the implementation of similar projects.

Keywords: lake-type reservoirs; landscape planning and design; hydrodynamic model; numerical modelling

我国水利资源数量庞大、类型多样，生态水利、绿色水利逐渐成为当前水利工作的核心目标。水库作为满足人类生存需求的重要工程，科学开发、利用其与周边环境不仅有利于提高水库的综合价值，还可借助一定生态修复手段缓解其建设所遗留的环境问题。七里冲水库区域作为广水市重要的生态安全屏障，在区域生态系统生产力提升、河岸稳定、微气候调节等方面有重要价值；同时，在该市革命老区建设与生态环境修复双重需求下，其水源地保护与生态环境建设不仅可有效缓解工程实施造成的环境问题，还可进一步保障鄂北地区水资源配置工程效益的发挥。

水库是依靠筑坝蓄水形成的人工湖泊，与自然湖泊存在较为显著的差别：水库调蓄依靠人工调度[1]，多依丘陵山区而建，具有库滨带狭窄、光线和温度梯度变化明显、形态结构多样化等复杂特征；水库具有“社会—自然”的双重属性，即除水利功能外，在维持区域生态平衡、增强景观效应等方面也有较为积极的作用。研究表明，景观是水库水体审美价值认知、环境规划与资源评价等的空间载体[2-4]，相关学者在设计理念创新、学科协作等方面进行了一定探索[5-6]，也强调了人文社会关怀与视觉美感在涉水工程中的重要地位[7]。然而，部分库区在景观项目实施后，不仅存在景观效果不佳等问题（图 1），甚至还削弱了水库原有的生态效益。究其原因，是人们在不了解水循环过程的水动力条件、水量和水质变化等情况下，依据经验作出背离水安全与水生态的设计决策。由此，在尊重水体自然规律、保证库区水利安全的基础上统筹协调库区生态效益与景观效果，是当下湖库型水体景观设计关注的重点。

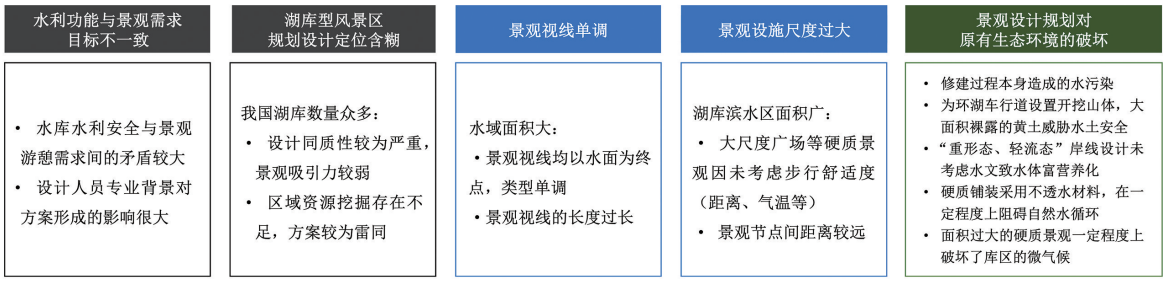


图 1 湖库型水体景观规划设计的现实问题

1 国内外水环境模拟软件的应用现状

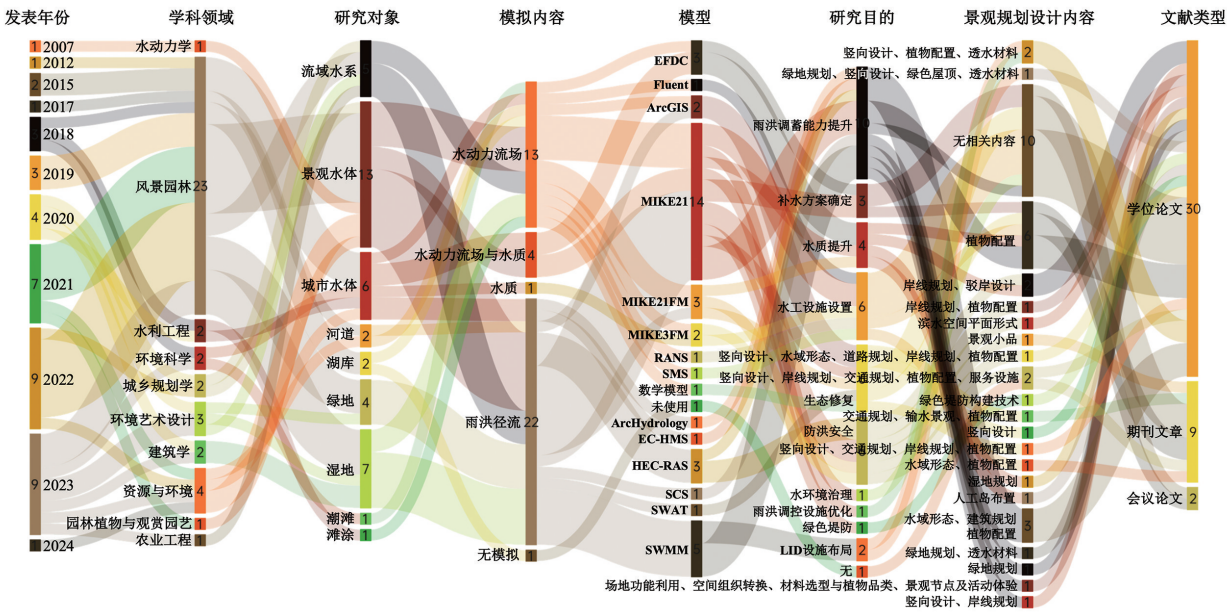
国外学者为解析水文特征开发了多种模拟平台与软件，其应用已获得阶段性成果[8]；国内学者在此影响下，针对水利工程、自然水系等进行了一定的探索。国内外较为常用的模型主要有 HEC-RAS、EFDC、SMS、MIKE21、SWMM 等（表 1）。从国内现有研究来看（图 2），风景园林学科对模型的探索应用较为关注，研究对象包含湖泊、河道、水库、湿地等多种类型；雨洪调蓄、生态修复、水工设施布置是相关研究的主要目的。需要说明的是，虽然相关模型的应用能促进景观规划设计由经验决断转向循证设计[9]，但当前各领域对模型的筛选仍尚未形成统一标准。此外，在规划设计领域，运用 MIKE21 模型模拟水动力流场的研究较多[10]：早期以验证方案的有效性为主，后期以科学指导景观规划设计的相关内容为主，涉及绿地规划、岸线形态规划、交通规划、水域形态设计、竖向设计、人工浮岛设置、植物配置、透水材料使用等多方面，但其内容与成果转译仍未形成体系。

就其成果应用而言，相关学者对水动力特征因子与景观规划设计间的影响机制进行了初步探讨，指出水循环状态、临岸流速特征与水深梯度分布是核心影响要素[11-12]。相关成果也表明科学模拟水体场地未来工况并转译相关指标与结果，

表 1　国内外常用的水环境模拟软件

模型名称	研发单位	模块构成	应用范围
Hec-RAS 模型	美国陆军工程兵团水文工程中心	恒定流模块 非恒定流模块 泥沙运移模块 水质分析模块	适用于河道稳定和非稳定流一维水力计算，可模拟不同降雨、上游补引水情况下河道水位、流速、流量信息
EFDC	威廉玛丽大学维吉尼亚海洋科学研究所	水动力学模块 有毒物污染物模块 水质模块 风浪模块 泥沙模块	运用范围广，可模拟多种地表水体的水动力水质变化、富营养化趋势和沉积物迁移转化等过程
SMS 水动力学模型	美国 Brigham 大学环境模型研究实验室	计算水位、流速 计算污染物运移 计算波浪要素 计算急变流的 计算泥沙的模块	涉及水动力学多个研究领域，计算稳定性好、结果精确度高
MIKE21 模型	丹麦水动力研究所	前后处理模块 水动力模块 水质和环境评价模块	适用于模拟河流、湖泊、湿地、海湾、海岸及海岸的水流、波浪、泥沙及环境，具有较高精度，并可与 GISMAP 兼容、利于模拟结果的图形可视化
SWMM 模型	美国佛罗里达大学	水文模块 水质模块 水力模块	广泛运用于城市地区暴雨洪水的地表径流过程、地表径流量和污染负荷量的估算与预测 排水、排污系统的规划分析设计

注：表中内容根据文献［9-10］整理而成。



注：图片是基于文献［3-4，6，10-33］绘制。

图 2　国内水环境模拟软件在景观规划设计相关研究的应用

可进一步提升景观规划设计的科学性[9,34]。值得注意的是，虽然相关研究在理论与方法层面已较为成熟，但因湖库型水体与各地地方特征的多样性，部分研究对水动力条件的推演预判有一定局限，相关模型的定量分析方法与成果转译在实践层面的应用更有待进一步深入[9]，尤以基于数值模拟的、针对湖库型水体景观设计全流程的研究较少。故本研究以优化湖库型水体景观规划设计方法为目标，利用 MIKE 21 软件构建七里冲水库的水动力数学模型以量化分析其水文动态特征，并基于模拟结果划定不适宜建设区、转译指标与模拟结果，从全流程层面提出景观规划设计方案与实施路径（图 3）。

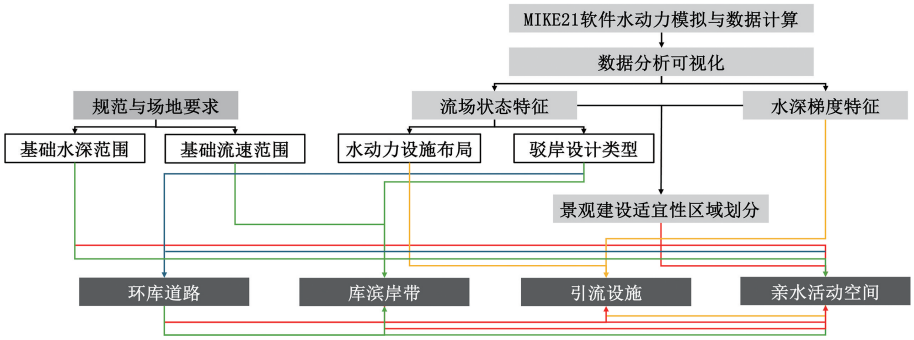


图 3 水动力模拟与实施路径

2 场地认知及水动力数学模型建立

2.1 工程概况

鄂北地区水资源配置工程是水库所在区域的重大战略民生工程，是湖北省“一号工程”，也是 2015 年所部署 27 项重大水利工程中投资规模最大的一项，旨在通过退还被城市挤占的农业灌溉与生态用水量，提升受水地区的生态环境用水条件，而七里冲水库作为其生态环境提升、环境展示点之一（1/5），具有重要的战略地位[1]。水库位于鄂北工程干渠（桩号 242+145）与广水市之间（图 4），是应山城区及周边乡镇城镇生活工业供水水库。该区属低山丘陵地带，地势东南低、西北高，整体高差幅度相对平缓，大坝、泵站、溢洪道、输水口等工程依山而建；水库总容积 17.7 万 m^3，正常蓄水位 90.50 m，最大坝高 14.5 m；周边以林地、田地为主，分布有民居、坑塘；库区梯田、民居、林地等景观极佳，区域丰富的红色文化与民俗文化一起为其景观规划设计提供了较好的资源基础。然而，七里冲水库作为区域重要的生态安全屏障，存在以下问题：1）场地与周边民居毗邻，水库与周边村落分界较模糊，对水质保护存在一定消极影响；2）周边山体植被群落单一，亟需提升区域生物多样性与生态系统生产力；3）库区对周边城镇居民的文娱活动需求响应较弱。

2.2 水动力模型建立

MIKE21 模型是由丹麦水动力研究所（DHI）开发的、用于多种地表水体的平面二维自由表面动态流模型[13]，其作为一种定量分析工具，在水质水量模拟、景观水体生态设计、流域积水风险等研究中具有较好的效果[14-15,35]。因此，为系统

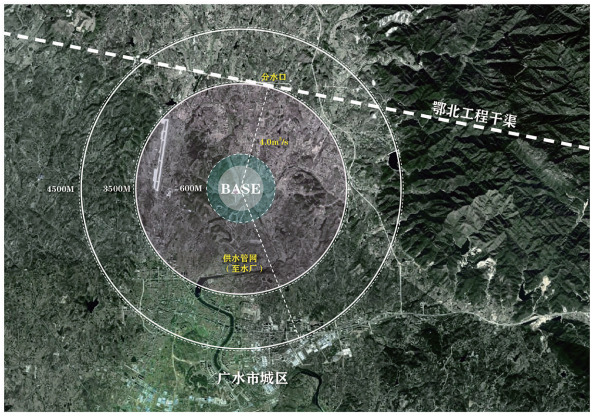


图 4 项目基址区位

解析七里冲蓄水过程中水动力的变化，对七里冲水库水动力两种极端引、排条件下的水动力流场进行数值模拟，以分析不同补排水工况下的流场变化，相关参数见表 2。

表 2 不同工况参数特征

指标	工况一	工况二
初始水位/m	88(死水位)	92.5(正常蓄水位)
进水口流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	4	0
出水口流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	0	1.8
Smagorinsky 系数	0.28	0.28
曼宁系数($m^{1/3} \cdot s^{-1}$)	60	60

注：工况一指从死水位蓄水，只补水不抽水；工况二指从蓄水位抽水，只抽水不补水。

考虑到 MIKE21 模型的特性，为提升其效率与准确性作如下说明：1）因水库地处丘陵深处，风场的影响有限，且风速不会改变流场结构[5]，故忽略其影响；2）因密度梯度对二维浅水方程的影响很小，故忽略不计；3）因七里冲为内陆人工浅水水库，故引潮势、波浪辐射也不予考虑；4）基于区域河床、植被、水流条件的影响，曼宁系数依水位取值

为 60;5)为减少模型发散,Smagorinsky 系数取值为 0.28。具体操作如下:首先整理提取水库 DEM 地形数据,采用邻近点法对网格节点高程进行插值以形成水动力模型的计算网格;其次根据计算范围,采用三角形网格进行剖分,单个三角形网格面积控制在 100 m^2以内,最终得到网格 664 个(模拟范围见图 5,三角形网格边界见图 6)。

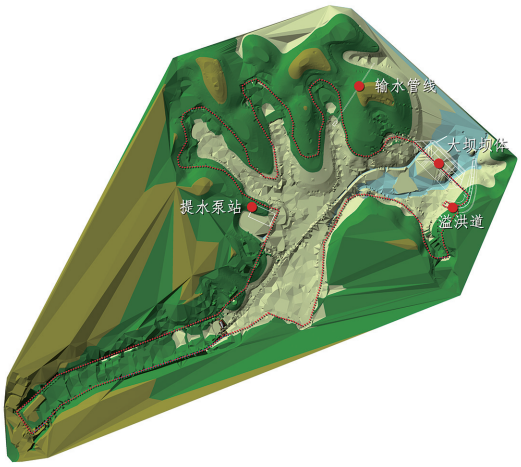


图 5　模拟范围

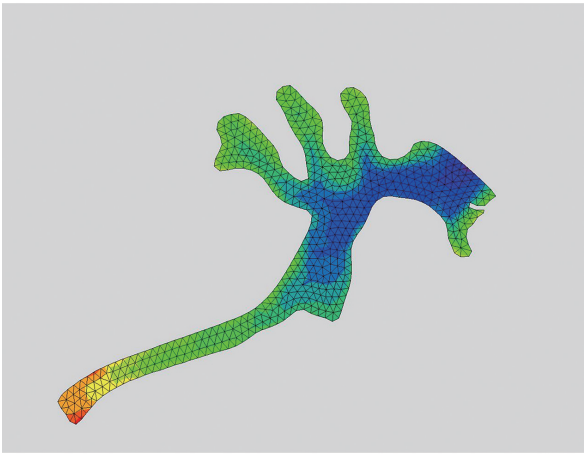


图 6　三角形网格边界

3　水动力特征模拟结果与解析

由图 7 可知,库区水深范围为 0.0~11.2 m,正常蓄水位 92.5 m,淹没岸线位于水深 2.4 m 附近。为避免蓄水过程水文变化对场地安全的影响,在此基于淹没岸线范围划定安全区、低等、中等、高等风险区。需要说明的是,水生植物水动力适应性仍难以定量[36],故参考《城市湿地水生植物应用技术要求》,依据水生植物种植深度划分种植区域,即规避 2.0 m 以上区域(图 8、图 9)。

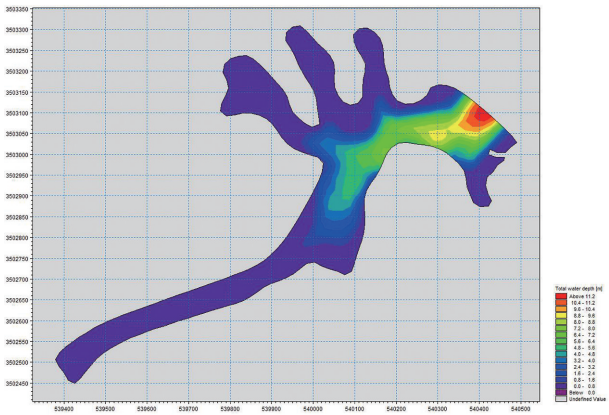


图 7　水库水深梯度分布图

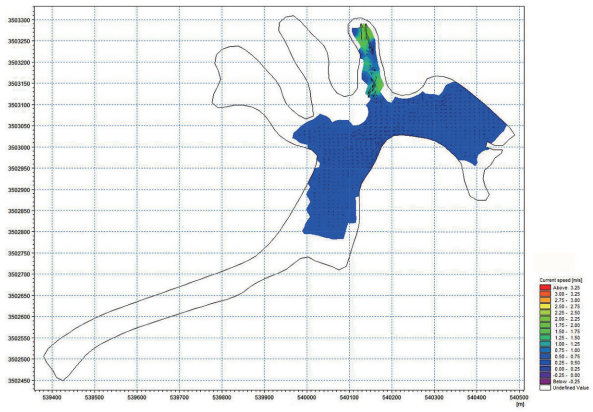


图 8　工况一流场分布图

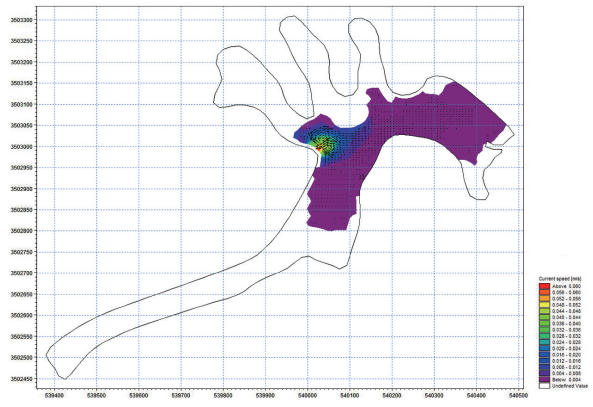


图 9　工况二流场分布图

由图 8~9 可知,在两种极端工况下,中心区域水体流动性较弱,入水口、出水口水体流动性较强。同时,图 8~9 中绿色部分表明,因受出水口水流急缓冲刷的影响,入水口水流具有无序的特征,即启动提水泵轴后,周围较广区域的水体流动会随之发生无序改变。故在此基于水体流速大小、岸线抗冲刷等级与水体水循环健康等级,划分出污染物质的易积累滞留区、易发生富营养化区、流向紊乱区、易产生

涡旋水流区,以期辅助指导护岸类型的选择性设计。

综上,首先,基于水深特征进行适宜区域划分的说明(图 10):区域 A(大坝所在区域)与区域 G(毗邻溢洪道)对水利安全有一定影响,不适宜布置活动场地,将其划定为规避区域;区域 B 与 F 的狭窄处水深变化明显,在规划设计中需考虑园林设施、人类活动等的安全性,将其划为过渡区域;区域 C 与 E 地形为全域最缓,划定为适宜建设区域。其次,基于流场特征进行适宜区域划分说明(图 11):区域 D(抽水泵站所在区域)与 H(毗邻输水管出口)为高流速区,不适宜布置活动场地与植物种植;区域 B、E、F 为易滞留区域,在规划设计中需考虑增加水体流动性。

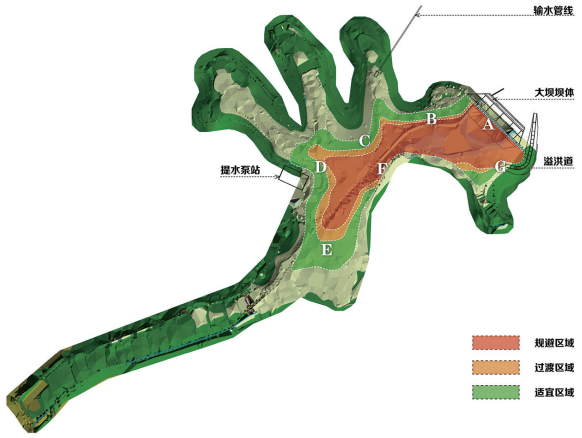


图 10 七里冲水库水深梯度特征分析

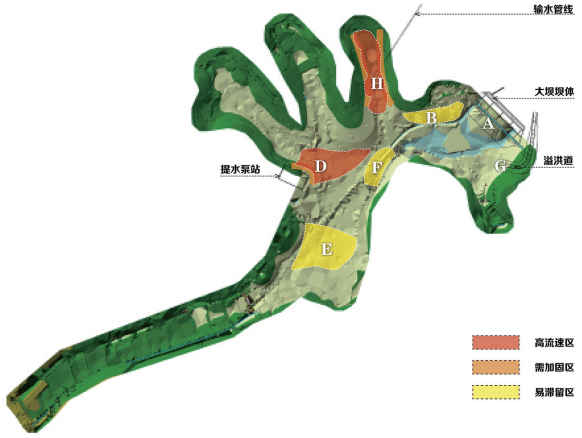


图 11 七里冲水库流场状态特征分析

4 基于数值模拟的湖库型水体景观规划设计方案

4.1 景观建设适宜性区域划分

为保障景观设施稳定与游客活动安全,首先基于相关标准与研究成果对景观建设区域适宜性进行初步划分;然后结合图 10~11,在平衡水利安全性与景观美感矛盾的基础上对景观建设区域适宜性进行进一步细分。具体步骤如下。

首先,参照相关规范与要求[8,10],确定滨库区域亲水活动场地(亲水平台、码头、栈道等)及植物(水生植物)的基础水深范围与流速范围(表 3);其次,基于图 11 划定流速小、流态不佳的重点区域,明确水动力设施布局、驳岸设计与实施做法;再次,将图 10 与图 11 进行叠合分析,得到景观建设区域适宜性的初步结果;最后,对上述结果进行综合解析,形成最终的景观建设区域划分方案(图 12):A、G 区域外的绿色、黄色区域受水深及流场影响最小,为适宜景观建设区域;区域 B、E 所覆盖区域,较适宜布置活动场所及种植各类水生植物,但易产生水体滞留,需要结合引流设施一并考虑;区域 F 较为陡峭,不适宜作为景观建设条件用地,且易产生水体滞留,需采取对应措施;区域 D、H 及其周边,因水库人工调度,产生较高流速,需结合工程措施消解其影响。

表 3 亲水活动场地与植物的基础数值范围

类型		水深范围/m	流速范围/(m·s^{-1})
亲水活动场地	亲水平台	1.0~2.0	≤1.0
	码头	2.0~3.0	≤3.0
	戏水区	0.2~1.6	<1.0
	栈道/园路	0.5~2.0	<1.6
	水循环设施	1.0~2.0	<0.2
	护坡加固	—	>1.6
植物	湿生植物	水深<0.2	—
	挺水植物	水深 0.2~0.8	0.0~1.0
	浮叶植物	0.8~1.5	<0.1
	沉水植物	小于水体透明度的 2 倍	<0.9

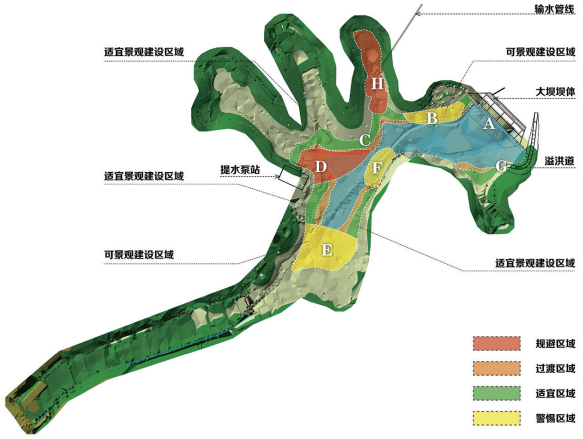


图 12 七里冲水库景观建设适宜性区域划分

4.2　具体实施路径

4.2.1　环库道路

由图 10 可知，环库道路对岸线的扰动较大，故其选线需在相关设计标准的基础上，避开不适宜区域；此外，由于主坝与坝尾间的道路因水库建设而断开，故其选线还需考虑水质的保护的需求。综上，布局方案如下：恢复道路以主坝至库尾为界分为南、北两支环绕水库，并确保环库道路远离区域 D（抽水泵站所在区域）与 H（毗邻输水管出口）两个高流速区。具体措施如下：基于《公路工程技术标准》（JTG B01-2014）、《城市道路交通工程项目规范》（GB 55011-2021），首先，环库道路高程与坡度设计应高于 94.05 m（200 年一遇设计洪水位），结合防浪加高需求与地形走势，最终将其最低高程设置为 94.5 m（最大纵坡不超过 9%）；其次，为保障通行与管理便利，需在临近起伏山体侧设排水沟以截留地表径流，确保水质安全；此外，毗邻出水口、泵站提水处的道路护坡采用格宾石笼加固，其余道路两侧施工创面采用假俭草作为先锋植物打底，待 6~8 个月后（覆盖率超过 85%）再选取耐贫瘠、低维养、根系发达乔、灌木进行种植。

4.2.2　库滨岸带

七里冲滨库岸带较窄，且山体、丘陵直接延伸至库区，故为最大程度控制地表径流污染、恢复环库岸线生态系统，需在适宜区域栽植不同种类植物以构建立体的防护屏障。同时考虑到水深变化的影响，在此基于图 10 进一步划分植物栽植适宜分区：根据《水土保持工程设计规范》（GB51018-2014）规范要求，第 1 层征地范围线以 200 年一遇设计洪水位 94.05 m 为范围标准，并对 20°~30°坡面进行整理；第 2 层以 200 年一遇设计洪水位 94.05 m 至正常蓄水位 92.5 m 为范围标准；第 3 层以正常蓄水位 92.5 m 以下为范围标准（表 4）。

表 4　库滨岸带植物栽植适宜分区

区域划分	具体措施
第 1 层	该区域面积最大，区域内长势良好的植物予以保护；土壤含水率低的问题，需选取具有耐旱能力的乔木进行栽植，同时可再穿插色叶园林植物以丰富景观层次；清理区域内的浮石、危石等以消除地质灾害隐患，并对陡峭山坡（20°~30°）进行修整、稳定处理
第 2 层	该区域是水域与陆地间的过渡性连续地带，侵蚀与裸露交替，需栽植根系发达、耐水、喜水植物（如饲料桑、荻、假俭草、柳树等），在一定程度上消解暴雨径流及风浪扰动对边坡的侵蚀；种植耐受性强的地被植物（如野花）形成野花草甸，可提高土壤颗粒间粘结力、兼顾景观美化和节水需求、恢复岸坡稳定性
第 3 层	该区域以改善水质为主，需划分出挺水植物（91.5~92.5 m）、浮叶植物（90.5~92.5 m）种植区域范围，选择具有良好净化功能的植物（如芦苇、蒲草、香蒲、茨菇等）。沉水植物种植区位于 89.5~92.0 m 缓地形区，可种植苦草、金鱼藻、狐尾藻等增加水体溶解氧，降低营养盐含量，减缓富营养化进程，改善水质，提高库区水体透明度

4.2.3　引流设施

库区存在 3 处易滞留区（图 11），应基于模拟结果对引流设施类型与结构进行探讨：首先，结合场地景观需求选取适宜布置水循环优化设施的区域，如区域 B、F（图 12）；其次，考虑到缓冲过渡地带狭窄，需结合主坝观景节点及亲水平台设置，在区域 B 布置景观喷泉，促使水体动静结合；再者，区域 F 流速≤0.05 $m \cdot s^{-1}$，但其地形陡峭不适宜进行景观建设，故可设置多组悬吊式人工鱼巢以增强水体流动；最后，虽然区域 E 适合布置亲水活动场地，但因此区域水体流动性较弱，需布置人工浮岛以降解水中 COD、氮和磷的含量、改善水质。

4.2.4　亲水活动空间

据图 12 在高于 92.5 m 蓄水位附近顺延水库北侧穿插布置园路、栈道、亲水平台作为滩地、护坡的交通过渡，各要素伴水而行、或聚或离，促使水体与景观相互渗透；码头布置于泵站南侧内、凹处栈道尽头位置，既毗邻环库道路方便通行，又避开了高流速区域保证设施安全。此外，为进一步推进广水市革命老区建设，将地域文化要素融入景观方案中：在主坝下游及库尾绿地，以曲折线性几何形线条为载体，运用极简的设计元素，诠释“红色文化”精神，并在位于南侧道路背水侧开凿边坡，以红色涂装覆盖喷砼，将广水源远流长的历史文化、名垂千古的伟人文化、

独具特色的民俗文化和鼓舞人心的红色文化镌刻在边坡上，以此来捕捉人们近水面游览时的自由轨迹与视线。

4.3 经验性方案与数值模拟方案对比

根据以上模拟设计方案建设的七里冲水库景观鸟瞰效果如图 13 所示。为进一步对数值模拟方案的有效性进行佐证，对比经验性方案 1（图 14 左）发现，数值模拟的设计方案 2（图 14 右）基于对流场状态的分析，通过在高流速区设置水工设施，提升了活动场地、驳岸走向布局的安全性与科学性；基于适宜建设区划分，优化了环库道路的走线、增加了具有地域文化特色的景观节点与活动空间，在保障水利安全与水生态的前提下，最大程度地挖掘了库区的景观效益。由此，可进一步佐证本文的初衷，即基于水动力特征模拟结果与解析对景观建设适宜性区域进行划分，可有效降低景观建设对湖库型水体的消极影响，也可提升亲水活动区域的安全性与适应性。此外，通过合理布置湿生植物、挺水植物、浮叶植物、沉水植物在提升水景空间生态效益的基础上，还可最大程度地发挥湖库水体景观的景观效益。



图 13 七里冲水库景观建设鸟瞰效果图

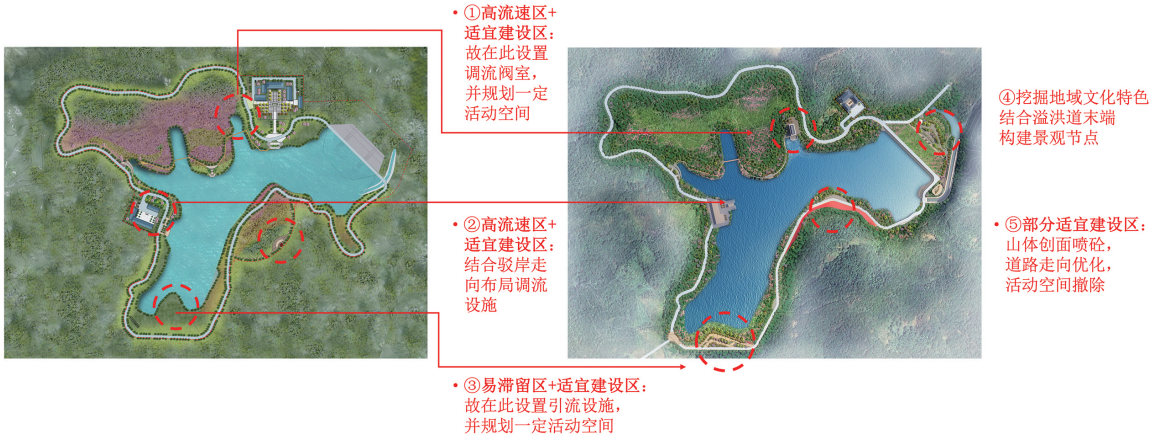


图 14 经验性方案与数值模拟方案对比

5 结语

本研究运用 MIKE21 软件模拟了不同工况下库区的水流条件，并以景观规划设计语言将相关模拟数值结果进行转译，一定程度上实现了水利安全与景观功能间的平衡，证实了科学模拟分析与预测规划设计方案对湖库型水体景观的积极作用，但本研究仍存在一定局限性：首先，虽然本研究从项目谋划就介入其中，但相关分析数据采集并非来源于水库运行下的数据，其结果与实际情况可能存在一定差异；其次，在指标选取层面，考虑到七里冲水库的特性，本研究在模拟中的参数设置对部分研究存在一定不适用性，后续研究需增加此部分的探讨；最后，由于七里冲水库指标选取的局限性等问题，未能以模型进行进一步验证，后续需进一步探寻相关量化分析路径。

参考文献

[1]刘昱,徐晶菁,闫少锋,等.引调水工程的景观营造:以孟楼镇节点为例[J].中国农村水利水电,2021(10):201-206.
[2]杨冬冬,曹磊,刘海龙,等.基于数值模拟仿真技术的水生态景观规划设计探索[J].风景园林,2019,26(5):77-82.
[3]邱金辉.HEC-RAS 模型在河道整治洪水危险性评价中的应用[J].陕西水利,2021(10):64-66.
[4]李欣.珠江河口岸线及地形变化对生物栖息地适宜性的影响研究[D].东莞:东莞理工学院,2023.
[5]刘翊竣,徐国宾.风场和吞吐流对洪泽湖流场的影响分析[J].水资源与水工程学报,2020,31(2):174-178,184.
[6]郭湧,刘新栋,王庆,等.风景园林信息模型与水文水动力模型的耦合及应用[J].园林,2022,39(5):37-43.

[7]张任菲，苏俊伊，刘志成，等.生态视角下的河流廊道景观风貌综合评价：以永定河（官厅水库至屈家店段）为例[J].中国城市林业，2021，19（1）：78-83.

[8]朱振杰.基于水动力适应性的湖泊型景观水体规划设计方法初探：以武汉蔡甸区西湖动植物王国中心湖为例[D].武汉：武汉大学，2017.

[9]张楠，张曼胤，王贺年，等.水文模型在湿地景观规划设计中的应用研究[J].世界林业研究，2023，36（2）：32-37.

[10]尹若远.基于水文模型的城市蓄滞洪区景观规划研究：以西玉河公园为例[D].北京：北京林业大学，2021.

[11]张天骋，徐筱婷，魏成，等.以山水城市为导向的城市新区湖库型城市湿地公园规划设计：以长治市漳泽湖国家城市湿地公园为例[J].中国园林，2022，38（S1）：45-49.

[12]周燕，冉玲于，苟翡翠，等.基于数值模拟的湖库型景观水体生态设计方法研究：以 MIKE 21 模型在大官塘水库规划方案中的应用为例[J].中国园林，2018，34（3）：123-128.

[13]宋新桐.基于 MIKE21 的华山湖水环境模拟研究[D].济南：济南大学，2023.

[14]张煜森.基于雨洪管理的山地丘陵区小流域景观规划设计[D].郑州：河南农业大学，2023.

[15]吴奇原.荥阳市索河小流域蓝绿融合的竖向调控规划[D].郑州：河南农业大学，2022.

[16]慕光明，马元才，汤林.基于水动力重构的景观生态水系设计[J].城市建设理论研究（电子版），2024（17）：199-201.

[17]陈泽宇，梁明捷，王英杰，等.海口市鸭尾溪湿地生态修复与生境营造[J].济南大学学报（自然科学版），2023，37（5）：616-623，632.

[18]孙海鑫.基于水弹性理念的西姜寨滨河湿地公园规划设计[D].郑州：河南农业大学，2023.

[19]姚程程.郊野溪流近自然景观设计方法研究[D].镇江：江苏大学，2023.

[20]窦立苑.基于功能湿地理论的城市矿业类棕地生态规划策略研究：以徐州市韩桥煤矿废弃地为例[D].泉州：华侨大学，2023.

[21]米婕.潮滩修复和绿色堤防构建理论与技术研究：以长三角滨海湿地为例[D].上海：上海师范大学，2023.

[22]李相逸，马超，刘育辰，等.生态修复导向下的天津七里海古泻湖湿地景观规划设计策略研究[J].园林，2023（2）：35-42.

[23]王子轶.城市滨水空间洪涝适灾机理分析与韧性提升策略研究：以重庆市中心城区为例[D].重庆：重庆大学，2022.

[24]朱莹莹，张宇帆，徐怡宁，等.基于 SCS 模型的登封市景观格局对地表径流的影响研究[J].水生态学杂志，2024，45（4）：63-72.

[25]彭圣杰.基于水安全目标的半湿润地区郊野公园规划设计研究：以迁安市龙山郊野公园为例[D].北京：北京林业大学，2022.

[26]孙夫昊.弹性水景观视角下的半湿润地区城市滨水绿地设计研究：以河北省迁安市滦河西岸滨水绿地景观为例[D].北京：北京林业大学，2022.

[27]张作强.基于水动力条件的城市河流消落带景观规划设计策略研究：以岷江犍为黄旗坝段为例[D].雅安：四川农业大学，2022.

[28]张嫣.基于雨洪调蓄的武汉中心城区湖泊公园体系构建与管控研究[D].武汉：华中农业大学，2021.

[29]张子灿.基于韧性承洪理念的城市滨水开放空间规划研究：以长沙市潭阳洲公园为例[D].北京：北京林业大学，2021.

[30]董磊.景观水文视角下的城市居住区绿地设计研究[D].镇江：江苏大学，2020.

[31]张益章.基于低影响开发的景观规划设计：以清华校园规划设计为例[D].北京：清华大学，2015.

[32]张琳，李飞鹏，张海平.基于数值模拟的城市景观水体生态设计研究：以广西苍海湖为例[J].中国园林，2015，31（10）：76-80.

[33]张磊磊.平原地区人工景观湖规划设计中若干问题的研究[D].扬州：扬州大学，2007.

[34]刘洪延.SWAT 模型研究及应用进展[J].亚热带水土保持，2019，31（2）：34-37.

[35]李添雨，李振华，黄炳彬，等.基于 MIKE21 模型的沙河水库水量水质响应模拟研究[J].环境科学学报，2021，41（1）：293-300.

[36]魏华.水流特性对水生植物的影响规律研究进展[J].江西农业大学学报，2018，40（5）：1084-1091.