

某人工湖补水方案数值模型分析

黄舒琴

(中国市政工程西北设计研究院有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 为了解人工景观湖补水方案实施效果, 确定最优补水方案, 利用 Delft3D 对周围水系建立二维水动力模型, 分析在现有规划的补水系统下湖内水动力和水质情况, 并为研究区域提供模型边界条件, 然后对湖内水体建立三维水动力模型, 分析不同补水方案下湖内水动力变化。根据对计算结果的研究表明在现有规划的补水系统下, 湖内水体流动性很差, 即存在死水区, 水质易发生恶化; 湖内水质受上游来水水质影响较大, 主要表现为氨氮超标; 补水口位置和数量对湖内水动力影响较大, 湖内浅水区处宜设置补水口。

关键词: 人工湖 补水方案 数值模拟 Delft3D

中图分类号: P731.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-9082 (2022) 07-0233-03

引言

城市内湖与大江、大河相比具有不同的显著特性: 汇水面积小, 水量小, 水量调节能力小; 与周围的环境联系紧密, 污染风险大, 生态环境较为脆弱, 有富营养化的可能。因而城市内湖的保护具有相当的难度^[1]。调查结果显示^[2]: 国内大部分城市湖库由于受人类活动的影响, 富营养化已成为各类水体水功能的障碍。综上所述, 城市内湖水体交换能力弱, 加上适宜的营养盐条件, 水体富营养化现象严重。同时, 随着人类对水资源开发利用程度不断增强以及水环境污染的增加, 水体富营养化存在着潜在的发展趋势。一旦水体发生富营养化, 其治理极其棘手, 不仅要花费大量的人力、物力, 更重要的是造成宝贵的水资源的大量浪费, 使区域资源的永续利用, 经济、社会的可持续发展受到严重制约^[3]。

调补水工程作为治理城市河湖污染的一种有效的辅助手段, 很多国家已得到大量的实践应用, 并验证了引清调度对改善城市河道的景观水位和水质具有显著作用^[4]。调水补水工程方案的研究基本集中于重要河流, 且调、补水流量大, 工程造价和运维成本高, 鲜有针对城市景观河、湖小范围补水改善水质的研究^[5]。国内调补水工程改善水质方面, 上海于 20 世纪 80 年代率先进行, 之后各市对玄武湖、巢湖、太湖、滇池等河湖开展调补水工程提升水环境的研究。为推进水生态文明, 目前水利设施均兼顾防污治污的目标, 但研究对象基本为大江大河和大中型湖泊, 同样缺乏小范围内水域补水改善水质的研究。随着城市化进展加快, 城市内水生态破坏严重, 易造成水污染, 且不同地区人文、地理特点不同, 对水环境的影响也不同, 所以进一步有针对性地研究城市小范围内水域的补水方案具有非常

重要的现实意义。

本文通过以某城市人工景观湖为研究对象建立三维水动力模型研究补水方案的实施效果, 确定最优补水方案, 研究成果可为城市人工湖补水工程实施提供依据, 提高社会效益和工程效益, 也可为城市人工湖水环境改善提供参考。

一、研究区域概况

研究区域位于城市某一圩区内, 圩区内水系纵横交错, 共有 18 条河流, 均为内河。人工湖西侧与一纵向河道连, 东侧连通两条河道。湖内水域面积约为 122510m², 最大水深为 2m, 蓄水量约为 245020m³。河湖底高程为 1.58m, 常水位为 3.58m, 高水位为 4.08 m, 水流由泵站排向外河。由于河道纵坡为 0, 圩区内水体流动性较差, 为防止产生黑臭水体, 相关部门设计补水系统通过泵站补水和补水管道建设增加水体流动性, 预期目标: 换水周期 7 天; 湖内基本无死水区; 水质为地表水 V 类以上。研究区域位置和规划补水系统如图 1 所示。



图1 研究区域位置
和规划补水系统



图2 水系二维水动力
模型计算网格

二、模型的建立

1. Delft3D 模型介绍

Delft3D 是一款由荷兰代尔夫特研究所开发的计算机软件包，共包含 7 个模块，可模拟二维和三维水体。其具有功能强大且操作简单的网格绘制、前处理和后处理工具，被广泛应用于河口海岸咸水入侵和地表水环境污染等问题的研究上，是目前世界上最先进的水动力模型之一。

核心模块为水动力模块，采用边界拟合较好的曲线网格离散格式，垂向网格采用 σ 坐标离散，求解的方程为非恒定浅水方程组（连续性方程、输移方程、动量方程等）^[9]。可模拟的水体型式较为广泛，比如变化的河湖水流、物理模型中水槽的紊流、河口海岸的密度流和重力流等，模拟计算速度快且稳定性好。如图 2 所示。

2. 二维水系水动力模型

2.1 模型网格和参数。研究区域为水系中一个水域面积相对较小的人工湖，圩区内总水域面积较大，河网纵横交错，若采用水系河网建立模型设置不同工况进行研究，网格范围较大，计算耗时长，且对计算机要求较高。若利用水系二维水动力模型为人工湖水动力模型提供初始和边界条件，采用人工湖水域建立三维水动力模型计算不同工况下补水方案水动力变化，既节省了时间又可以达到相同的研究目的，且三维模型可进一步了解湖内水深方向的水动力差异。

为分析现有补水系统下人工湖的水动力和水质情况，对水系建立水动力和水质二维模型，因研究主要分析上游水质对人工湖水质的影响，故模型仅计算在对流扩散作用下水质变化。模型采用正交曲线结构化网格，网格横向尺寸为 5.14m ~ 7.88m，纵向尺寸为 5.3m ~ 12.6m，网格数为 592 × 754 = 24167。糙率采用曼宁系数，取 0.011，模型紊动模式为 k- ϵ 模式。河道为矩形断面，水深 2m，按 ① ~ ⑩ 编号。模型共设置两个开边界，将 ⑩ 号河道上游从圩区外围河道泵站引水处断面作为入流开边界，将 ② 号河道下游泵站排水至外河处断面作为出流开边界，根据已有河道水质实测资料和参考周边水域资料（周边水域水质为地表水五类水标准）确定模型初始和边界条件（如图 3 所示）。初始和边界条件分别如表 1 和表 2 所示。模型开始计算后，需一段时间计算才会达到稳定，流量计算达到稳定较快，一般计算 5 天后流量基本稳定，故以模型冷启动计算 5 天后的流量作为流量初始条件，模型计算时间为 30 天，时间步长为 1min。

2.2 计算结果。补水水质为地表水四类水标准（溶解氧

DO 为 3mg/l，氨氮 NH₃-N 为 1.5mg/l，总磷 TP 为 0.3mg/l），在现有补水系统下补水过程中，与人工湖连通的断面流量、溶解氧浓度、氨氮浓度和总磷浓度变化如图 4 所示，补水后进入人工湖的水中溶解氧浓度增加，变化较为明显；氨氮浓度减小，但减少幅度较小；总磷基本没有变化。由图 4 变化情况可知进入人工湖的水质情况为：溶解氧和总磷达标（溶解氧浓度大于 2mg/l；总磷浓度小于 0.4mg/l），氨氮超标（氨氮浓度大于 2mg/l）（以地表水五类水标准判定是否达标）。由表 1 可知，水系中河道初始水质均为氨氮超标，而补水在短时间内对氨氮的减弱作用较小，从而使进入人工湖的水质仍为氨氮超标，由此可知，上游来水水质影响人工湖水质。



图 3 二维水动力模型开边界位置及河道编号

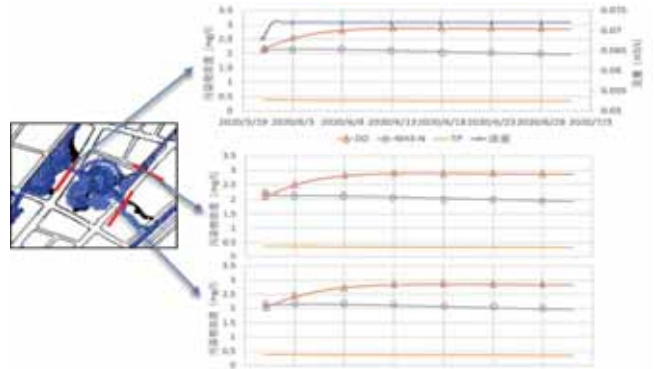


图 4 人工湖连通的断面流量、DO 浓度、NH₃-N 浓度和 TP 浓度变化

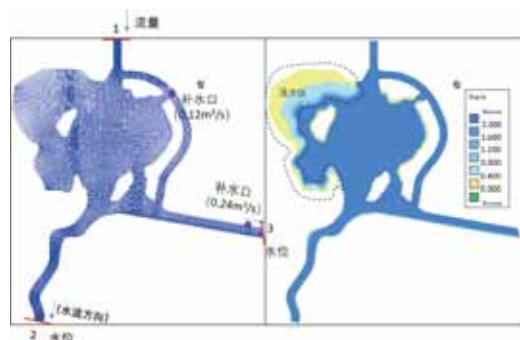


图 5 人工湖三维水动力模型计算网格（左）和水深（右）

表1 二维水系模型初始条件

河道编号	指标 (mg/l)			盐度/psu	温度/℃	流速	水深/m
	溶解氧	氨氮	总磷				
⑤	9.16	2.41	0.25	0.3	16	0	2
②	4.82	5.28	0.085				
⑩	2.31	4.61	0.19				
⑫	5.11	5.12	0.11				
④	6.6	3.38	0.29				
⑥	14.1	4.21	0.15				
其他	2	2	0.4				

表2 二维水系模型边界条件

开边界	流量	水质
1	1.7361	断面所在河道各项水质指标初设浓度
2	3.4013	

3.三维水动力模型

3.1模型网格和地形。人工湖三维水动力模型网格横向尺寸为5.14~7.88m,纵向尺寸为5.3~12.6m,网格数为592×754=24167。曼宁系数和紊动模式同二维水动力模型。计算网格和水深如图5所示。二维水动力模型计算结果为三维模型提供边界和初始条件,根据水流方向,人工湖三维模型设置三个开边界,西侧与河道连通处断面作为入流开边界,边界条件为流量变化过程,东侧与两条河道连通处断面作为出流开边界,边界条件为水位变化过程(即为常水位3.58m)。计算时间为15天,时间步长为1min。根据现有补水系统计算湖内水动力情况,从图6湖内水流速图可知,现有补水系统仅设置一个补水口,湖内水流动性较

差,存在大面积死水区(流速小于0.01cm/s),由于死区内易发生水质恶化,故原补水系统需进行优化。

3.2不同补水方案下流速变化。因补水口数量和位置不同,补水效果亦会产生差异,所以设置除补水口外其余条件都相同的情况下,补水口为1、3和4个的三种工况,分析三种工况下湖内水动力变化情况。由图6和图7可知,一个补水口的情况下,改变补水口位置,死水区面积稍有变化,但对于水动力改善效果较小。从工况一和工况二可以看出,在浅水区增加补水口后,湖内水动力改善效果较明显,死水区面积骤减。由图7~图9湖内水流速变化可知,工况3:补水口为4个且沿湖布置时,湖内水体流动性较好,基本不存在死水区。

三、结论

本文通过对水系建立二维水动力水质模型,以及对人工湖建立三维水动力模型,分析不同补水工况下湖内水动力变化。研究得到以下几点主要结论。

第一,补水对水质改善具有一定效果,但短时间内补水对以改善水质至水质达标(地表五类水标准)为目的的水域并不适用。

第二,人工河承接上游来水,湖内水质受上游来水水质影响较大,主要表现为氨氮超标。

第三,为达到补水改善城市人工湖水质的目的,补水方案需经过严谨的计算论证分析确定。根据本研究,现有补水系统下,湖内水体流动性很差,存在大面积死水区,补水系统需进行优化。补水口位置和数量对湖内水动力影响较大,沿湖周边均设补水口对水动力改善效果良好,湖内浅水区处宜设置补水口。

参考文献

[1]王军.某新校区人工湖水环境状况评价及污染控制措施研究[D].重庆大学,2008.
 [2]俞燕,王修信,陈毓龄.城市湖泊水质优化管理技术研究[J].东南大学学报(自然科学版),2000,30(004):77-80.
 [3]闫庆松.浅谈水体富营养化[J].山东环境,1994(02):43.
 [1]杨娟.猎德涌基于水质改善目标的补水方案研究[D].华南理工大学,2019.
 [5]关蓓.广州主城区河涌景观改造研究[D].华南理工大学,2012.
 [6]王华,魏乾坤.Delft3D模型理论及应用[M].北京:海军出版社,2018.

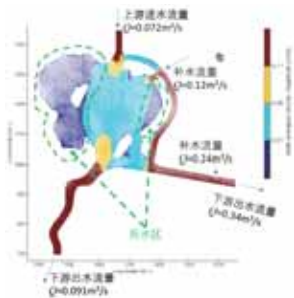


图6 现有补水系统下湖内水流速图

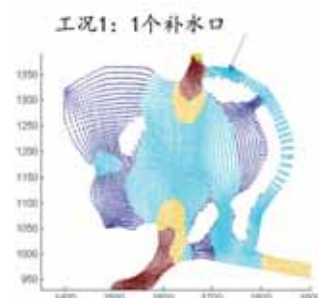


图7 工况一: 1个补水口湖内水流速图

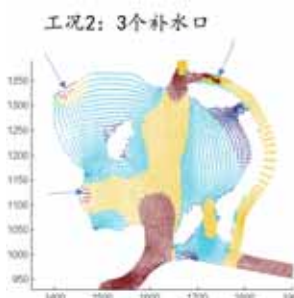


图8 工况二: 3个补水口湖内水流速图

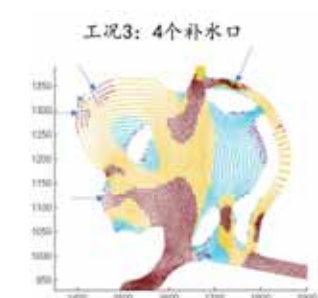


图9 工况三: 4个补水口湖内水流速图

作者简介:黄舒琴(1995—),女,汉族,江苏常州人,硕士,助理工程师,研究方向:水力学及河流动力学、水工结构。