

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2021.01.016

基于 Mike21 模型的湖泊推流设计

曾秀云¹, 陈钰林²

(1.福州工商学院,福建 福州 350715;2.福州市城市排水有限公司,福建 福州 350008)

摘要: 构建了基于 Mike21 的推流器水动力模型,以西湖沉淀区为研究对象,对不同工况的推流效果进行模拟。基于推荐工况,沉淀区西侧的平均换水率在 7 h 内基本趋于稳定;但沉淀区东侧换水率需 16 h 才能达到基本稳定,较西侧有所降低。结果表明,在工程中采用 7.5 kW 推流器(1 用 1 备),沉淀区西侧实测平均流速 0.213 m/s,与模拟值仅偏差 7.9%,工程达到了预期的效果。基于 Mike21 的推流器水动力模型在西湖沉淀区项目的成功应用,不仅解决了推流方案的比选优化问题,还可为其他城市内湖的水动力改善提供理论基础和技术支持。

关键词: 湖泊;推流器;选型;水动力;模拟

中图分类号: TU992

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2021)01-0089-06

Design of lake pushflow based on Model Mike21

ZENG Xiuyun¹, CHEN Yulin²

(1.Fuzhou Technology and Business University, Fuzhou 350715, China;

2.Fuzhou Urban Drainage Co., Ltd, Fuzhou 350008, China)

Abstract: A hydrodynamic model of the water impeller based on Mike21 was constructed, and the impelling effects of different working conditions were simulated with the sedimentation zone of the West Lake as the research object. Based on the recommended working conditions, the average water changing rate on the west side of the sedimentation zone tends to be stabilized within 7 h. However, the water changing rate on the east side can only achieve stabilization in 16 h, whose efficiency was lower than that of the west side. Results show that when the 7.5 kW impeller (one for use and one for stand-by) is used in the project, the measured average velocity on the west side of the settling zone is 0.213 m/s, with only a difference of 7.9% when compared with the simulation value, achieving the expected effect. The successful application of the impeller's hydrodynamic model based on Mike21 in the settling zone of the West Lake not only solves the problems about the comparison, selection and optimization of the impelling scheme, but also provides a theoretical basis and technical support for hydrodynamic improvement in lakes of other cities.

Keywords: lake; impeller; type selection; hydrodynamic force; simulation

Mike21 是水动力及水质模拟中最为常用的模型^[1]。其中,水动力模块(HD)是 Mike21 其它模块的基础,用于模拟河流、湖泊的水动力过程^[2];对流扩散模块(AD)可用于研究水质组分随水动力条件变化的过程。近年来,国内外应用 Mike21 模型对河道和湖泊等开展了大量研究。

如:LaiY. C^[3]对 Kaoping 流域的面源污染物(NPS)研究中,以 SS 和 NH₄-N 作为污染指数代表值,对上游河流流速引起 NPS(NH₄-N 和 SS)的变化进行分析,建立了 Kaoping 流域水质评价和流域管理策略。WibowoM^[4]等人利用 MIKE21 模型分析了海上堤坝建成后对三宝垄海湾沿岸水

动力场和区域水质变化的影响,详细分析了海上堤坝建设对沿海水环境动态平衡的影响。王玥^[5]、谭超等^[6]分别以大东湖、惠州西湖为研究对象,均采用了 Mike21 模型对城市湖泊水体进行了模拟评估。张叶^[7]等基于模拟结果分析了不同引补水方案下对北京市潮白河顺义段水质改善情况。李梓嘉^[8]等分析了泗洪县城区引水冲污措施调控对各水系的影响。目前尚未有人对推流器在城市湖泊的整治效果开展过模拟和评估。本研究拟基于 Mike21 建立平面二维数值模型,模拟在不同工况推流器的作用下,西湖沉淀区的流场

变化,进而对水动力改善效果进行评估,并为设计方案提供依据和理论支撑。

1 研究区域概况

福州西湖湖体面积 30.3 hm²,沉淀区位于湖区北侧屏西河入流,面积约 1.1 × 10⁴ m²。根据要求,整治后的西湖沉淀区平均流速大于 0.160 m/s;同时,考虑到不能冲刷附近驳岸,近岸附近最大流速不大于 0.5 m/s^[9]。根据设计,拟在沉淀区西南方向设置推流器,西湖沉淀区推流方案的平面布局如图 1 所示。

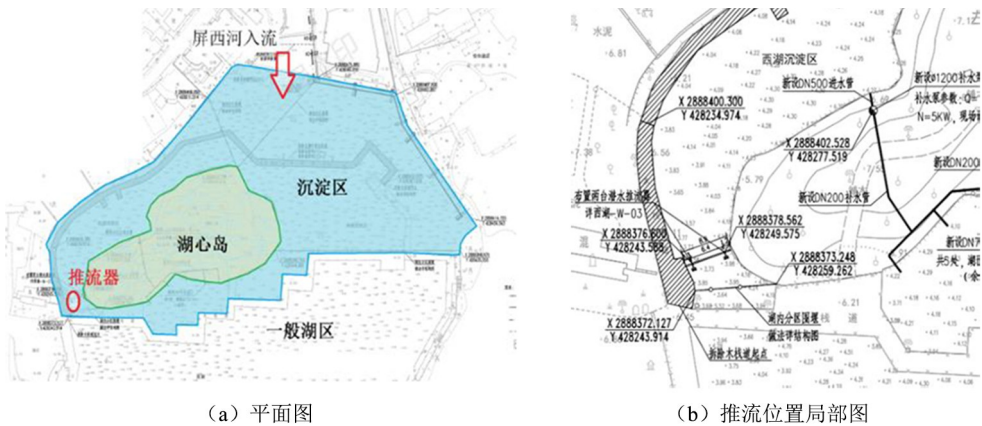


图 1 西湖沉淀区推流方案示意图

Fig.1 Layout plan of push flow scheme in West Lake's sedimentation area

2 研究方法

2.1 模型的建立

2.1.1 模型的网格划分

根据西湖-左海地形图,将其整体湖区概化为 14 361 个网格,7 850 个节点,其中最小网格面积 10 m²,对西湖沉淀区网格进行加密。模型计算时间 50 h,步长为 3 600 s。

2.1.2 模型边界条件设置

西湖湖区由屏西河、铜盘河汇入,其中,屏西河位于西湖主湖区东北侧,流量为 3.00 m³/s;铜盘河位于西湖-左海湖区西北侧,流量为 1.00 m³/s;出流经白马河水闸控制后形成白马河,湖区控制水位为 5.55 m。

2.1.3 模型参数率定验证

以 2019 年 10 月屏西河沉淀区入口(P1)的实测流量(以实测流速、河道断面计算)为初始条件,对白马河出水闸(P2)的流速和液位进行验证和率定。模型率定结果为:湖底糙率(manning

number)为 45.0 m³/s^[10],流速平均误差 3.99%,水动力条件满足要求,率定后的流场如图 2,其横纵坐标为西安 85 坐标系。

2.2 推流器模型搭建

在西湖沉淀区西侧设置 2 台推流器,采用 1 用 1 备及 2 用(全启动模式)两种运行模式,对功率为 5.0 kW 和 7.5 kW 的低速推流器进行比选。为将 5.0 kW 和 7.5 kW 的推流器概化在数值模型中,首先独立构建长 350 m、宽 200 m、深 6 m 的水池数值模型,在每个水池模型的源汇项中设置一对相关联的负流量和速度矢量的点源用以模拟推流器的进口和出口。将结果与推流器技术参数进行拟合,以 0.100 m/s 的边界流速作为拟合流场的边界进行率定^[11-12]。其中,5.0 kW 推流器在距离中心 10 m 处,模拟流速峰值和实际参数相差 19%;40、60、85 m 处流速峰值分别相差 11.6%、11.1%、1.2%,在推流器的边界流速拟合较好,误差在可靠范围内。率定结果为 5.0 kW 推流器的等效出口流量为 2.000 m³/s,等效出口流速为

1.600 m/s,如图 3(a);7.5 kW 推流器在距离中心 10 m 处,模拟流速峰值和实际参数相差 0.3 %;40、60、85 m 处流速峰值分别相差 0.6 %、0.1 %、0.3 %,在推流器的边界流速拟合较好,误差在可

靠范围内。7.5 kW 推流器的等效出口流量为 2.500 m³/s,等效出口流速为 2.100 m/s,如图 3(b)。模型将每个推流器概化为 1 个进水口和 1 个具有 *u*、*v* 场的出水口,具体如表 1。

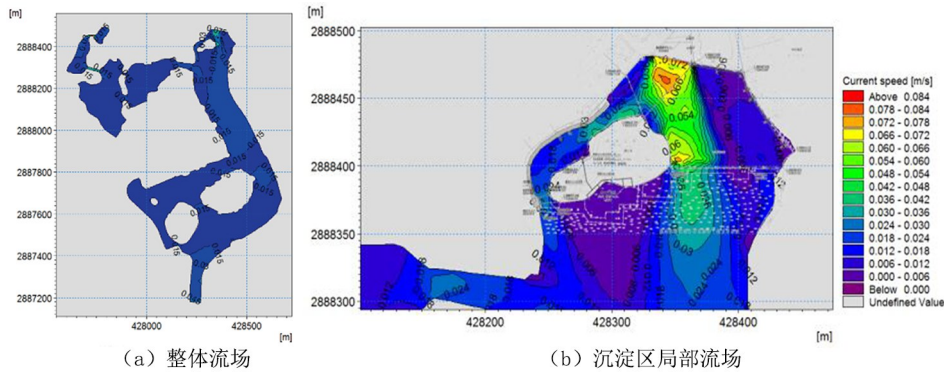
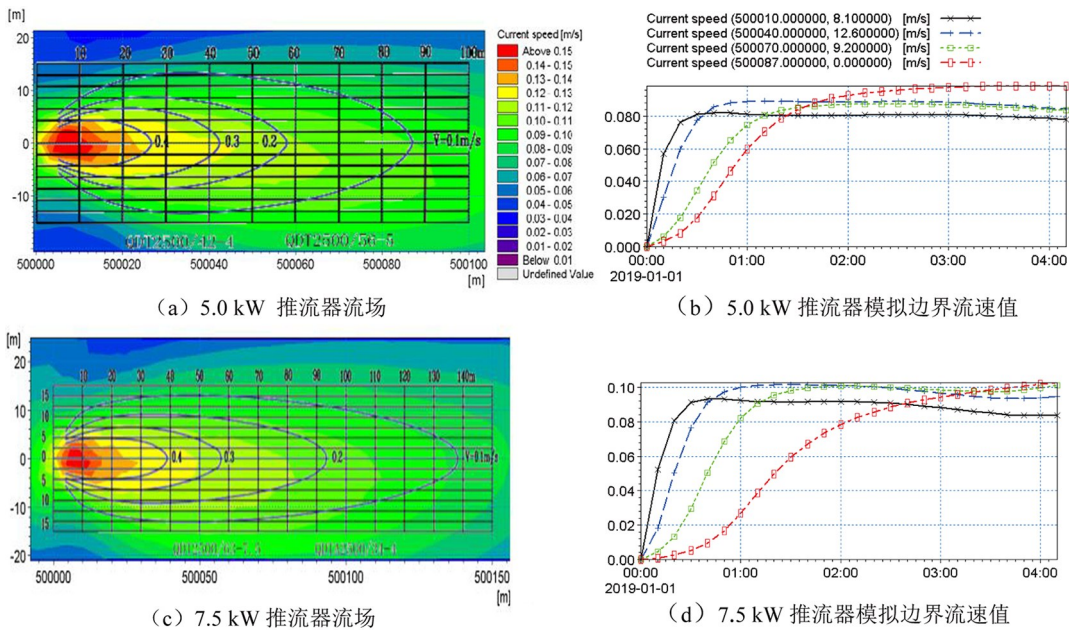


图 2 西湖流场图
Fig.2 Flow field diagram of West Lake



注: 横纵坐标为西安85坐标系

图 3 推流器流场的率定
Fig.3 Calibration of flow field in the impeller

表 1 推流器参数计算

Tab.1 Parameter calculation of the impeller

设备类型	推流/搅拌	等效流量/	换算出口流速/	方位倾角/	<i>u</i> /	<i>v</i> /
		(m ³ · s ⁻¹)	(m · s ⁻¹)	(°)	(m · s ⁻¹)	(m · s ⁻¹)
5.0 kW	推流	2.000	1.600	-70.00	0.55	-1.50
7.5 kW	推流	2.500	2.100	-70.00	0.72	-1.97

2.3 结果验证

结合模型分析结果,最终实际采用 7.5 kW 推

流器(1 用 1 备),安装于沉淀区西侧。经实测,当采用 1 台 7.5 kW 推流器时,沉淀区东侧模拟平均

流速 0.027~0.033 m/s,实际平均流速 0.031 m/s,与模拟值最大偏差 14.8 %;沉淀区西侧实际平均流速 0.213 m/s,与模拟值 0.196 m/s 仅偏差 7.9 %,模拟情况与实测偏差较小。

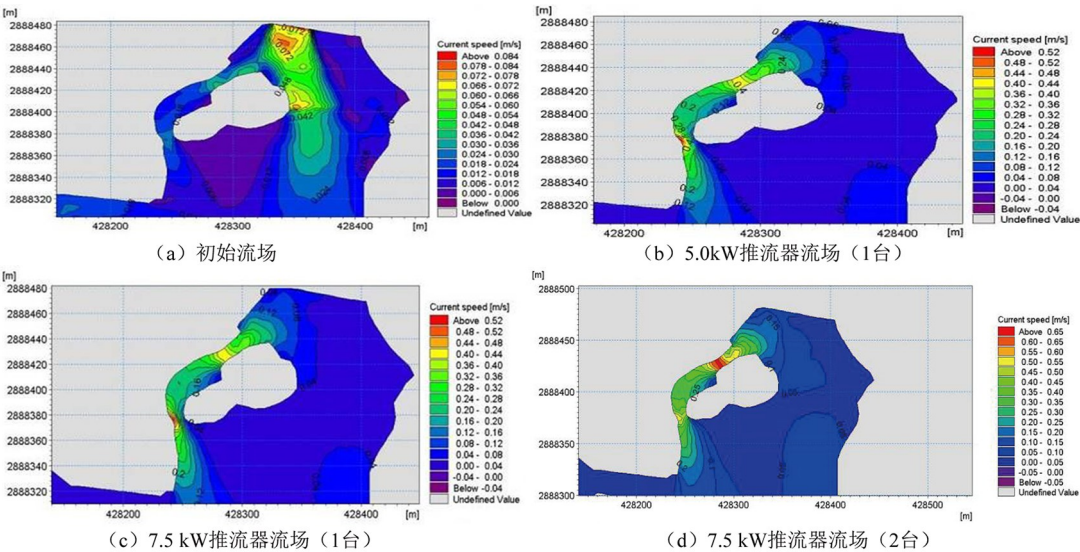
3 工程治理措施效果的评估

3.1 水动力效果分析

为评估沉淀区东侧主流道和沉淀区西侧最不利位置的流速,在模型沉淀区的西侧取 3 处测点。采用便携式 LS1206B 型数字流速仪,对湖区相应测点位置进行流速测定。

通过考察西侧最不利位置的流速评估沉淀区

水动力效果。由图 4(a) 西湖沉淀区初始流场可见,在初始状态,自屏西河入流进入沉淀区北侧后,流速减缓,西北侧流速最低,西北侧 3 个测点平均流速为 0.004 m/s。安装 5.0kW 的推流器后(1 用 1 备模式),沉淀区流速有所加大,测点平均流速增大至 0.151 m/s,如图 4(b);安装 7.5 kW 的推流器后(1 用 1 备模式),沉淀区流速平均流速增大至 0.196 m/s,如图 4(c),比 5.0 kW 推流器整体流速增加了 29.8 %;当采用 2 台 7.5 kW 的推流器后(全启动模式),沉淀区流速平均流速增大至 0.298 m/s,如图 4(d),比 5.0kW 推流器平均流速增加了 97.4 %,实际流速结果详见表 2。



注: 横纵坐标为西安85坐标系

图 4 初始状态与不同推流器的流场

Fig.4 Initial state and flow field of different impellers

表 2 沉淀区(西侧)各工况的测点流速

Tab.2 Flow velocity of measuring points in sedimentation area (west side) under different working conditions					
序号	工况	t 4 流速/(m·s ⁻¹)	t 5 流速/(m·s ⁻¹)	t 6 流速/(m·s ⁻¹)	平均流速/(m·s ⁻¹)
工况 1	初始状态	0.005	0.003	0.004	0.004
工况 2	1 台 5.0 kW	0.173	0.1118	0.169	0.151
工况 3	1 台 7.5 kW	0.221	0.151	0.216	0.196
工况 4	2 台 7.5 kW	0.329	0.230	0.334	0.298

3.2 推流器选型分析

根据表 2 分析,当未使用推流器时,沉淀区平均流速只有 0.004 m/s,水动力严重不足。采用功率为 5.0 KW 的推流器时(1 用 1 备),沉淀区最不利点西北角的平均流速为 0.151 m/s,推流效果已大为改善,但与设计要求最不利位置 0.160 m/s 的平均流速相比,略显不足;当采用 7.5 kW 的推

流器时(1 用 1 备),平均流速为 0.196 m/s,水动力条件已大为改善,可以满足要求。当采用 2 台 7.5 kW 的推流器时(全设备模式),沉淀区西侧平均流速为 0.298 m/s,但在湖岸附近最大流速达到 0.500 m/s,流速偏大,如图 4(d)。因此,采用 7.5 kW 推流器在 1 用 1 备的正常工况下,可以大大改善沉淀区的推流效果;但采用 2 用的全设备模式

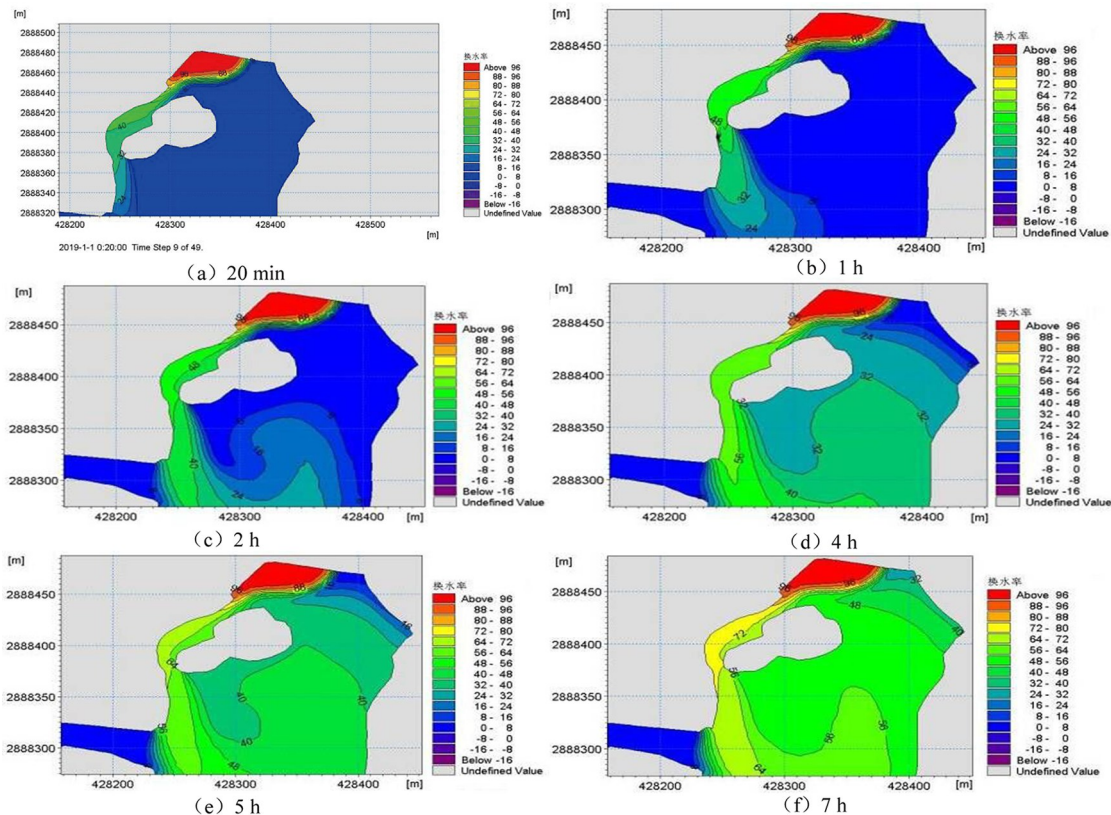
时,长期运行会对周边驳岸造成一定冲刷,需要限制全设备模式运行,或对驳岸采取加固措施。

基于上述模型分析,采用 7.5 kW 推流器(1 用 1 备模式)能较好地改善沉淀区西侧局部水动力不足的状况。

3.3 整体换水效果分析

西湖湖体较小,入流的停留时间较短,湖体内 COD、TN、TP 等各污染物生化反应作用不大,因此可将各类水质指标的变化概化为 Mike21 的对流扩散模型。开启推流器后沉淀区整体的水质的

变化情况可采用北侧入流的换水率^[13-14]指标进行评价。采用 7.5 kW 推流器(1 用 1 备模式)的沉淀区整体水质变化如图 5 所示。由图 5 可见,启动推流器后,自北侧入湖的屏西河主流改向了沉淀区西侧,沉淀区西侧的平均换水率在 7 h 内已达到 61.0 %,且基本趋于稳定;沉淀区东侧受西侧短流影响,屏西河入湖需经沉淀区西侧、南侧绕流后进入东侧,换水时间增长,需 16 h 才达到基本稳定,且较西侧有所降低,稳定值为 20.9 %,如表 3。



注: 横纵坐标为西安85坐标系

图 5 沉淀区换水率变化情况 (7.5 kW 推流器)
Fig.5 Change of water exchange rate in sedimentation area (7.5 kW impeller)

表 3 沉淀区水质变化(换水率)

Tab.3 Change of water quality in sedimentation area (water exchange rate)

时间	东侧换水率/%				西侧换水率/%			
	<i>t</i> 1	<i>t</i> 2	<i>t</i> 3	平均值	<i>t</i> 4	<i>t</i> 5	<i>t</i> 6	平均值
0:20	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	38.6	36.0	38.2
1:00	0.0	0.0	0.0	0.0	52.7	51.4	51.8	52.0
2:00	0.2	0.0	2.2	0.8	53.8	52.6	53.1	53.2
3:00	7.2	2.8	9.7	6.6	55.9	54.8	55.2	55.3
4:00	12.0	9.5	13.3	11.6	58.2	57.1	57.5	57.6
5:00	14.7	13.3	15.6	14.5	59.7	58.6	59.0	59.1

续表 3

时间	东侧换水率/%				西侧换水率/%			
	t1	t2	t3	平均值	t4	t5	t6	平均值
6:00	16.6	15.5	17.2	16.4	60.8	59.8	60.2	60.3
7:00	17.9	17.1	18.3	17.7	61.6	60.6	61.0	61.0
8:00	18.8	18.1	19.0	18.6	62.2	61.2	61.5	61.6
10:00	19.9	19.4	20.0	19.8	62.9	61.9	62.3	62.3
16:00	21.0	20.7	21.0	20.9	63.5	62.5	62.9	63.0

3.4 结果验证

根据模型分析,实际工程采用 7.5 kW 推流器(1 用 1 备),安装于沉淀区西侧。经实测,沉淀区东侧模拟平均流速 0.027~0.033 m/s,实际平均流速 0.031 m/s,与模拟值最大偏差 14.8 %;沉淀区西侧实际平均流速 0.213 m/s,与模拟值 0.196 m/s 偏差 7.9 %,模拟值与实测值偏差较小。

4 结论

- 1) Mike21 模型能够较为准确的模拟西湖沉淀区流场的变化,在 Mike21 中搭建推流器模型用以模拟推流效果是可行的方案。
- 2) 通过优化推流器的选型和工况,湖体的水动力条件得到了充分的改善,其中,采用 7.5 kW

推流器(1 用 1 备模式)能改善沉淀区西侧局部水动力不足的状况,且不会对周边驳岸造成冲刷。

- 3) 基于该工况,对沉淀区的整体换水情况进行分析,沉淀区西侧的平均换水率在 7 h 内基本趋于稳定;但沉淀区东侧换水率需 16 h 才达到基本稳定,较西侧有所降低。

- 4) 基于 Mike21 的推流器水动力模型在西湖沉淀区项目的成功应用,不仅解决了推流方案的比选优化问题,还可为其他城市内湖的水动力改善提供理论基础和技术支持。未来可在本研究基础上,结合西湖沉淀区其他工程(如:补水、截污等措施)进一步增加水动力和水质参数,为系统研究综合整治工程的成果做出评估。

参考文献:

[1] 赵小利,李文奇,周怀东. 水环境数学模型与人工湿地模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(3):84-87, 91.

[2] 王晓青. 三峡库区澎溪河(小江)富营养化及水动力水质耦合模型研究[D]. 重庆:重庆大学, 2012.

[3] LAI Y C, TU Y T, YANG C P, et al. Development of a water quality modeling system for river pollution index and suspended solid loading evaluation[J]. Journal of Hydrology, 2013, 478:89-101.

[4] WIBOWO M, HAKIM B. Study of water quality changes due to offshore dike development plan at Semarang bay[J]. IOP Conference Series:Earth and Environmental Science, 2018, 135:012009.

[5] 王玥. 大东湖水系水动力水质模拟研究[D]. 北京:清华大学, 2014.

[6] 谭超,黄广灵,黄本胜,等. 城市景观湖泊水体交换的数值模拟研究[J]. 广东水利水电, 2016(6):6-11.

[7] 张叶,孟德娟,于子钺,等. 基于 MIKE21 的城市河流水质改善与达标分析[J]. 水电能源科学, 2020, 38(9):48-52.

[8] 李梓嘉,董增川,樊孔明,等. MIKE11 模型在泗洪县城城区河网引水冲污工程中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(8):100-103.

[9] 李骁. 基于 EFDC 模型的龙景湖死水区水动力数值模拟研究[D]. 重庆:重庆大学, 2016.

[10] 吴沛霖,朱程亮,赵杰,等. 基于水文要素的河流湿地公园设计方案优化[J]. 中国给水排水, 2020, 36(9):89-93.

[11] 曾志波,洪方文,熊紫英,等. 推流器选型技术研究[C]//第二十一届全国水动力学研讨会暨第八届全国水动力学学术会议暨两岸船舶与海洋工程水动力学研讨会论文集. 济南, 2008:740-746.

[12] 陈川. 潜水推流器对龙景湖湖湾死水区水质影响试验研究[D]. 重庆:重庆大学, 2015.

[13] 冯丹,田淳,吴月勇. 引水方案对人工湖内换水率影响的数值模拟[J]. 人民黄河, 2019, 41(5):71-76.

[14] 冯丹. 基于 MIKE 21 软件对人工湖运行方式的优化分析[D]. 太原:太原理工大学, 2019.

(责任编辑:方素华)