

基于 EFDC 示踪模拟的人工湖调水规模分析

郭鹏程, 蔡明, 闫大鹏

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003)

摘要: 城市景观人工湖规划设计时,需在湖体水质恶化到一定程度引入新的水体进行调水置换,以确保湖区水环境质量,合理确定的引水条件将有效节约引水资源量。以石家庄市正定湖为例,基于 EFDC 水环境数学模型,分析了不同调水方案下湖区示踪粒子追踪模拟情况,根据示踪粒子追踪模拟结果,确定了湖区最优调水规模,并探明了湖区潜在的重污染区域和富营养化高发区,为切实保障湖区水环境质量提供了技术参考。

关键词: EFDC; 人工湖; 示踪粒子; 水环境保护

中图分类号: TV214

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2013)05-0223-03

Analysis of water diversion scale for artificial lake based on simulation of tracer particles of EFDC

GUO Pengcheng, CAI Ming, YAN Dapeng

(Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: During the design of artificial lake, the water quality is deteriorated to a certain degree so that water diversion must be applied to exchange the old water to ensure the water quality. If the design is not scientific, it will cause a great waste of water resource. Taking Zhengding Lake for example, based on EFDC, the paper analyzed the simulation state of tracer particles in the lake in different schemes of water diversion, determined the optimum scale of water transfer according to the simulative results of tracer particles, and ascertained the potential region of heavy pollution and the region of eutrophication, which supplied technical support for the guarantee of water environmental quality in the lake area.

Key words: EFDC; artificial lake; tracer particles; water environment protection.

正定湖位于河北省石家庄市正定县,为滹沱河上规划建设的大型人工湖泊,占地面积 4.7 km²,设计正常蓄水量 1 352 万 m³。湖中分布有太阳岛、月亮岛、金星岛、木星岛、水星岛、火星岛和土星岛 7 座岛屿。正定湖主要由黄壁庄水库退水形成,经长期运行水质恶化至设定标准后,需引用黄壁庄水库蓄水进行换水,以改善湖区水环境质量。当前,在河流、湖泊水质水动力研究中应用较为成熟的数值模型主要有 EFDC、WASP 和 DHI - MIKE 等,采用类似水环境数学模型进行河湖等地表水体的模拟研究应用广泛,如谢锐、李一平等^[1~11]应用 EFDC、Wasp 和 DHI - MIKE 模型对河流和湖泊进行了数值模拟,为完善相关河湖的综合治理提供了科学参考,得到了较好的应用。本文主要基于 EFDC 水动力数学模型的示踪模拟功能,确定了正定湖生态换水时的较优调水规模,为人工湖的生态设计提供了新思路。

1 EFDC 模型简介及其基本原理

EFDC 是由美国维吉尼亚海洋研究所根据多个

数学模型集成开发研制的综合模型,被用于模拟水系统一维、二维和三维流场、物质输运(包括温度、盐度和泥沙的输运)、生态过程以及淡水入流等。

1.1 水动力模型

EFDC 模型垂向上采用 σ 坐标变换,能较好的拟和近岸复杂岸线和地形。采用修正的 Mellor - Yamada 2.5 阶湍流封闭模式较客观地提供垂向混合系数,避免人为选取造成的误差。其动量方程、连续方程及状态方程为:

动量方程:

$$\begin{aligned} & \partial_t(m_x m_y H u) + \partial_x(m_y H u u) + \partial_y(m_x H v u) + \\ & \partial_z(m_x m_y w u) - (m f + v \partial_x m_y - u \partial_y m_x) H v \\ & = -m_y H \partial_x(g \xi + p) + m_y(\partial_x h - z \partial_x H) \partial_z p + \\ & \partial_z\left(m_x m_y \frac{A_v}{H} u\right) + Q_u \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \partial_t(m_x m_y H u) + \partial_x(m_y H u v) + \partial_y(m_x H v v) + \\ & \partial_z(m_x m_y w v) + (m f + v \partial_x m_y - u \partial_y m_x) H u \\ & = -m_x H \partial_y(g \xi + p) + m_x(\partial_y h + z \partial_y H) \partial_z p + \end{aligned}$$

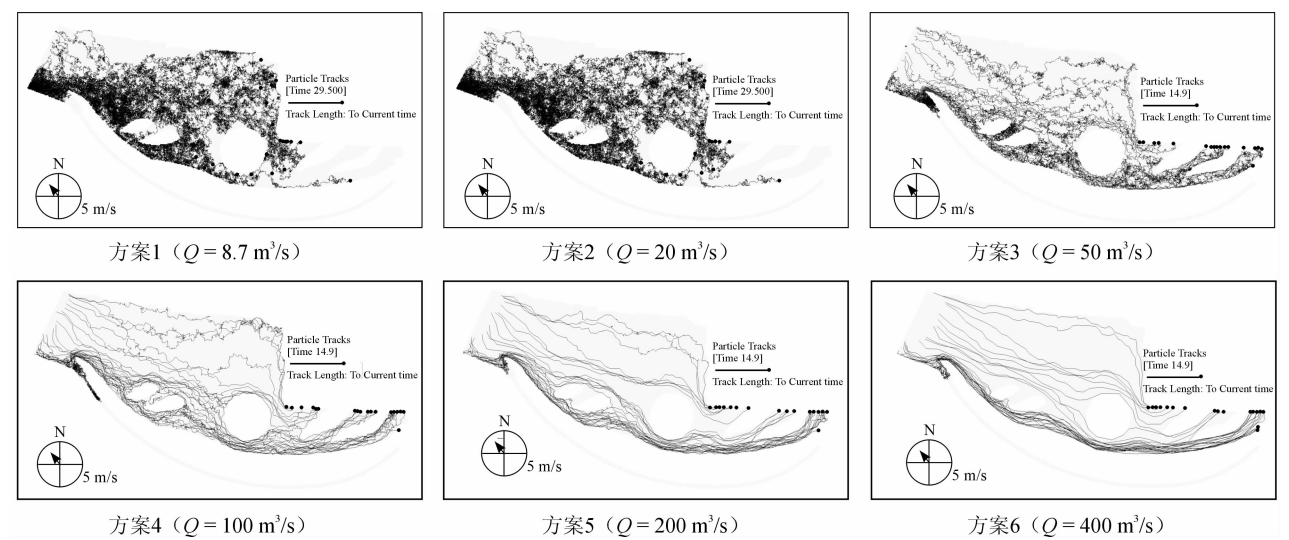


图 2 正定湖示踪粒子的时空分布

污染物在湖体内的停留时间不断减小,不同调水方案条件下污染物在湖体内的停留时间见表 2。

表 2 不同调水方案下污染物在湖体内停留时间表						
m³/s, d						
方案	1	2	3	4	5	6
流量	8.7	20.0	50.0	100.0	200.0	400.0
流量增加倍数		1.3	1.5	1.0	1.0	1.0
污染物停留时间	20.0	16.5	6.0	1.4	0.7	0.4
停留时间减少天数		3.5	10.5	4.6	0.7	0.3
减少天数/流量增加		2.7	7.0	4.6	0.7	0.3

注:表中污染物湖内停留时间为平均值。

由表 2 可知,调水引入的污染物在湖内停留时间减少的天数与流量增加倍数的比值,在调水流量为 50 m³/s,该比值为 7.0,是所有调水方案中最大的。模拟结果表明,在该调水流量下,对于减少污染物在湖内的停留时间效率最高。因此,推荐该工程的引水规模为 50 m³/s,可实现较高的调水置换效益比。

4 结 语

本文应用 EFDC 水动力数学模拟软件,模拟并分析了石家庄市正定湖生态换水时调水规模的认证过程,主要得出以下结论:

- (1)通过湖区调水引入污染物的示踪模拟,基于湖区污染物的时空分布和污染物在湖体内的停留时间分析,确定了正定湖工程的最佳调水规模,当调水规模为 50 m³/s 时,可以取得较好的调水置换效益比。
- (2)使用 EFDC 水环境数学模型辅助人工湖泊的规划设计,可为水利工程的科学设计提供技术依据。

参考文献:

[1] 谢 锐,吴德安,严以新,等. EFDC 模型在长江口及相邻海域三维水流模拟中的开发应用[J]. 水动力学研究与进展(A 辑),2010,25(2):165-174.

[2] 李一平,唐春燕,余钟波. 大型浅水湖泊水动力模型不确定性和敏感性分析[J]. 水科学进展,2012,23(2):271-276.

[3] Seo D, Sigdel R, Kwon K H, et al. 3-D hydrodynamic modeling of Yongdam Lake, Korea using EFDC [J]. Desalination and Water Treatment, 2010, 19(1-3):42-48.

[4] Wu Guozheng, Xu Zongxue. Prediction of algal blooming using EFDC model: Case study in the Daoxiang Lake [J]. Ecological Modelling, 2011, 222:1245-1252.

[5] 刘夏明,李俊清,豆小敏,等. EFDC 模型在河口水环境模拟中的应用及进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(S1):136-140.

[6] 李林子,钱 瑜,张玉超. 基于 EFDC 和 Wasp 模型的突发性水污染事故影响的预测预警[J]. 长江流域资源与环境, 2011, 20(8):1010-1016.

[7] Luo Feng, Li Ruijie. 3D water environment simulation for North Jiangsu offshore sea based on EFDC [J]. Earth & Environmental Sciences, 2009, 1(1):42-47.

[8] 孙 翔. 结合 DHI-MIKE 一维模型的捞刀河天然河道水面线简化复核计算[J]. 中国农村水利水电, 2012(8):70-71.

[9] 马 强,陈福容,王 颖. 基于 MIKE 11 Ecolab 模型的梁滩河流域水污染问题探讨[J]. 水电能源科学, 2011, 29(11):33-36+72.

[10] 牛志广,陈彦熹,米子明,等. 基于 SWMM 与 WASP 模型的区域雨水景观利用模拟[J]. 中国给水排水, 2012, 28(11):50-56.

[11] 姜 毅,张龙涛,吕永涛,等. 基于 WASP 模型城市人工景观水体水质的模拟[J]. 西安科技大学学报, 2011, 31(3):307-310.