

WASP6 水质模型应用于汉江襄樊段水质模拟研究

杨家宽, 肖 波, 刘年丰, 章北平, 李进军, 何归丽

(华中科技大学环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要 :WASP6 是美国国家环保局开发的最新的 Windows 版水质模拟软件。应用 WASP6 对汉江襄樊段现状水质进行了模拟研究, 研究的水质指标包括 BOD_5 、 NH_3-N 、DO, 并用 2001 年实测值对水质模型模拟结果进行校验。研究结果表明 BOD_5 、 NH_3-N 、DO 模拟的平均相对误差分别为 10.7%、11.0% 和 5.6%。WASP6 应用于汉江的水质模拟能够取得较满意的结果。

关键词 水质模型; WASP6; 汉江; 襄樊市

中图分类号 :X32 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2005)04-0008-03

Simulation on the water quality for Xiangfan Reach of Hanjiang River using WASP6

YANG Jia-kuan, XIAO Bo, LIU Nian-feng, ZHANG Bei-ping, LI Jin-jun, HE Gui-li

(College of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract :WASP6 is an enhanced Windows version of the USEPA Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). The present water quality for Xiangfan Reach of the Hanjiang River was simulated by WASP6. Water quality indices, including BOD_5 , NH_3-N , and DO, were studied. The simulation results were verified using the field data in 2001. It is showed that the averaged relative error of BOD_5 , NH_3-N , and DO are 10.7%, 11.0%, and 5.6% respectively. Results indicated that the application of WASP6 to the water quality simulation in Hanjiang River is satisfactory.

Key words :water quality model; Water Quality Analysis Simulation Program (WASP6); Hanjiang River; Xiangfan City

襄樊市是位于汉江中下游的最大城市,也是位于南水北调中线工程取水口丹江口水库下游的第一座城市。汉江流经襄樊市总长为 197 km,随着经济和人口的增长,汉江中下游的水环境质量呈下降趋势。自 Street-Phelps 水质模型建立以来,水质数学模型在环境问题研究中的应用越来越广泛。水质模型作为水质规划和环境质量管理的有效工具有了较大的发展^[1]。因此,研究汉江襄樊段水环境质量模型对于控制汉江流域污染,以及下一步研究南水北调中线工程对汉江中下游的水环境质量影响,都具有重要意义^①。

1 WASP6 水质模型软件

1.1 WASP6 简介

WASP6 (Water Quality Analysis Simulation Program Version 6.0) 全称为水质分析模拟软件第 6 版,简称

黄蜂 6,是美国国家环保局开发的专业水质模型软件。WASP6 是由原来的 DOS 版升级而成的最新 Windows 版本。WASP6 能够用于不同环境污染决策系统中分析和预测由于自然和人为污染造成的各种水质状况。贾海峰等人^[2]应用 DOS 版 WASP5 对密云水库的水质进行模拟研究,取得了满意的结果。本文将 WASP6 水质模型软件应用于汉江襄樊段水质模拟,取得了较满意的结果。

WASP6 的主要特点^[3] :①基于 Windows 开发友好用户界面;②包括能够转化生成 WASP 可识别的处理数据格式;③具有高效的富营养化和有机污染物的处理模块;④WASP 计算结果与实测的结果可直接进行曲线比较。

1.2 水质指标的选取

WASP6 包括两个独立的计算子程序 :DYNHYD5

作者简介 杨家宽(1973—)男,湖北鄂州人,博士,副教授,从事环境流体数值模拟研究。E-mail: yjjakuan@126.com

① 湖北省环境科学研究所,武汉水利电力大学,南水北调中线工程对汉江中下游环境影响研究报告,2001。

和 WASP6。DYNHYD5 是水力学计算程序,它给 WASP6 传输所需的水力学参数。WASP6 提供两类水质模型子程序: EUTRO 和 TOXI, 分别用来解决两类水质问题: ①传统的水质问题, 由 EUTRO 子模块来完成, 包括 BOD、DO、P、N; ②有毒污染物问题, 由 TOXI 子模块来完成, 包括有机污染物、重金属、底泥。WASP6 的计算模块结构见图 1。

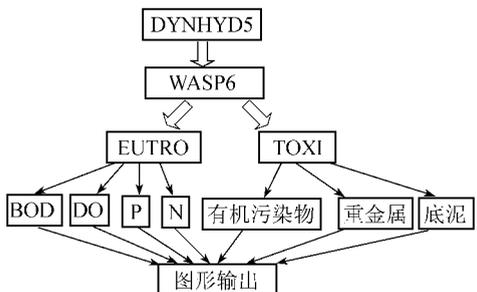


图 1 WASP6 计算模块流程

WASP6 主要包括溶解氧、富营养化、有毒物和有机化合物等 4 个动力学平衡计算过程。由于水质参数监测数据的限制, 本文着重研究 DO 的平衡过程, 选用的水质指标为 BOD₅、NH₃-N、DO, 模拟计算由 EUTRO 子模块来完成, 以 2001 年为基准年对汉江襄樊段的现状水质进行模拟。

2 模拟江段分区

汉江流域襄樊段水环境质量监测断面共有 22 个。根据现有监测断面的数据, 结合县市的行政区划, 将汉江干流襄樊段分为 4 个区。第 1 分区从丹江口水库到陡口, 称为老河口段; 第 2 分区从陡口到白家湾, 称为襄阳县段; 第 3 分区从白家湾到余家湖, 称为襄樊市区段; 第 4 分区从余家湖到流水镇, 称为宜城段。

3 污染源强与水文情势

以 2001 年工业污染源和生活污染源作为点源现状负荷, 以各江段分区的径流引入的污染物作为面源负荷。2001 年汉江襄樊段污染总负荷见表 1。考虑到多年平均流量最能反映一年中水量的平均状况, 故设计流量条件采用多年平均流量。汉江中下

表 1 2001 年汉江襄樊段污染总负荷

分区	污染负荷/(kg·d ⁻¹)		分区	污染负荷/(kg·d ⁻¹)			
	BOD ₅	NH ₃ -N		BOD ₅	NH ₃ -N		
老河口段	1	8684.91	2499.81	襄樊市区段	1	126252.78	23760.73
	2	4285.04	2323.29		2	8561.15	7402.41
	3	12969.95	4823.10		3	134813.93	31163.14
襄阳县段	1	33272.06	14125.95	宜城段	1	10400.15	4062.07
	2	5198.30	4549.40		2	4251.18	5630.00
	3	38470.36	18675.35		3	14651.33	9692.07

注: 1—点源负荷 2—面源负荷 3—总负荷。

游各主要站点多年平均流量和流速见表 2。

表 2 汉江襄樊段干流多年平均流量和流速

分区	平均流量/(m ³ ·s ⁻¹)	流速/(m·s ⁻¹)
老河口段	1180	0.62
襄阳县段	1280	0.91
襄樊市区段	1490	0.61
宜城市段	1490	1.67

4 溶解氧平衡过程及参数率定

有 5 个 EUTRO 状态参量直接参与溶解氧的平衡: 浮游植物碳、NH₃-N、NO₃-N、BOD₅、DO。溶解氧的动力学平衡过程可用以下两个方程来表达。

a. BOD₅ 方程

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = a_{OC} k_{1D} C_4 - k_d \Theta_d^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5 - \text{死亡} \quad \text{氧化}$$

$$\frac{V_{s3}(1-f_{D5})}{D} C_5 - \frac{5}{4} \times \frac{32}{14} k_{2D} \Theta_{2D}^{(T-20)} \left(\frac{K_{NO_3-N}}{K_{NO_3-N} + C_6} \right) C_2 - \text{沉淀} \quad \text{反硝化}$$

式中: C₅ 为 BOD₅ 的质量浓度, mg/L; t 为时间, d; a_{OC} 为氧碳比, mg/mg; k_{1D} 为非捕食性的浮游植物死亡速率, d⁻¹; C₄ 为浮游植物碳的质量浓度, mg/L; k_d 为 20℃ 下 BOD 衰减速度系数, d⁻¹; Θ_d 为 k_d 的温度系数; T 为水体温度, °C; C₆ 为 DO 的质量浓度, mg/L; K_{BOD} 为氧限制的 BOD 半饱和常数, mg/L; V_{s3} 为有机物的沉降速度, m/d; f_{D5} 为 BOD₅ 中溶解部分的比例; D 为沉降距离, m; k_{2D} 为 20℃ 下的反硝化速度常数, d⁻¹; Θ_{2D} 为 k_{2D} 的温度系数; K_{NO₃-N} 为氧限制的 NO₃-N 半饱和常数, mg/L; C₂ 为 NO₃-N 质量浓度, mg/L。

b. DO 方程

$$\frac{\partial C_6}{\partial t} = k_2 \left(C_5 - C_6 \right) - k_d \Theta_d^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5 - \text{大气复氧} \quad \text{氧化}$$

$$\frac{64}{14} k_{12} \Theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{k_{NIT} + C_6} \right) C_1 - \frac{S_{SOD}}{D} \Theta_s^{(T-20)} + \text{硝化} \quad \text{底泥耗氧}$$

$$G_{PI} \left(\frac{32}{12} + \frac{48}{14} \times \frac{14}{12} (1 - P_{NH_3-N}) \right) C_4 - \frac{32}{12} k_{1R} \Theta_{1R}^{(T-20)} C_4 - \text{光合作用产氧} \quad \text{呼吸耗氧}$$

式中: k₂ 为复氧系数, d⁻¹; k₁₂ 为 20℃ 下的硝化速度系数, d⁻¹; Θ₁₂ 为 k₁₂ 温度系数; K_{NIT} 为氧限制的 NH₃-N 半饱和常数, mg/L; C₁ 为 NH₃-N 质量浓度, mg/L; S_{SOD} 为底泥需氧量, g·m⁻²·d⁻¹; Θ_s 为底泥温度系数; G_{PI} 为浮游植物生长系数, d⁻¹; P_{NH₃-N} 为吸收 NH₃-N 的优先项; k_{1R} 为 20℃ 下浮游植物呼吸速度常数, d⁻¹; Θ_{1R} 为 k_{1R} 的温度系数。

表 3 2001 年现状水质同步监测结果与模拟结果

分区	实测值/(mg·L ⁻¹)			水质类别	模拟值/(mg·L ⁻¹)			水质类别
	BOD ₅	NH ₃ -N	DO		BOD ₅	NH ₃ -N	DO	
老河口段	0.82	0.07	7.8	I	0.84	0.06	6.9	I
襄阳县段	0.89	0.10	7.8	I	0.78	0.12	7.6	I
襄樊市区段	1.96	0.26	7.4	I	1.74	0.26	7.9	I
宜城段	1.44	0.31	7.4	II	1.68	0.28	7.3	II

需要率定的参数包括生物、化学常数、颗粒态物质的沉降速度。由于模型系统很复杂,无法用一元线性回归、多元线性回归等方法进行参数估值,同时由于涉及参数太多,现在还无法进行多参数同时自动寻优。因此,在本研究中,首先选用经验数据为一组参数,然后在经验数据的基础上分性质进行参数率定。

WASP6 水质模型需率定的重要参数有:复氧系数 k_2 、20℃时硝化速度系数 k_{12} 、20℃时 BOD 衰减速度系数 k_d 。参照汉江中下游水质模拟已有的研究成果和 WASP6 用户使用手册,经反复试算,直到校验结果满意为止。最后确定参数如下:复氧系数 $k_2 = 0.15 \text{ d}^{-1}$, 20℃时硝化速度系数 $k_{12} = 0.1 \text{ d}^{-1}$, 20℃时 BOD 衰减速度系数 $k_d = 0.16 \text{ d}^{-1}$ 。其他主要参数取值如下: $a_{OC} = 32/12$; $k_{1D} = 0.005 \text{ d}^{-1}$, $k_{BOD} = 0.5 \text{ mg/L}$, $k_{NO_3-N} = 0.1 \text{ mg/L}$, $S_{SOD} = 0.3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, $G_{PI} = 0.3 \text{ d}^{-1}$, $k_{IR} = 0.125 \text{ d}^{-1}$ 。

5 模拟结果与分析

2001 年现状水质实测结果与 2001 年现状模拟结果列于表 3。由表 3 计算得出,BOD₅ 模拟的平均相对误差为 10.7%,NH₃-N 模拟的平均相对误差为 11.0%,DO 模拟的平均相对误差为 5.6%。WASP6 模型对现状水质的模拟误差较小,符合水质模型模拟的要求。

(上接第 7 页)的某些变量被分成多个变量,如 ASM1 中的 S_{NO} 在 RWQM1 中被分成 S_{NO_2} 、 S_{NO_3} , S_{NH} 被分成 S_{NH_3} 、 S_{NH_4} , X_{BA} 被分成 X_{N_1} 、 X_{N_2} ;ASM1 中某些变量,如 S_{ND} (溶解有机氮)、 X_P (惰性粒子)、 X_{ND} (粒子有机氮)在 RWQM1 中没有出现,而 RWQM1 中也引入了如 S_{HPO_4} 、 $S_{H_2PO_4}$ 、 S_{Ca} 、 X_{ALG} 、 X_{CON} 、 X_P (粒子吸收磷)、 X_{II} 等在 ASM1 中不存在的变量。应用时必须注意两者的差别。根据建模目的与控制要求,对 RWQM1 进行适当简化,建立适合集成城市污水系统实时控制的模型,解决集成系统中各子系统间的信息流传递问题,是实现集成城市污水处理系统实时控制必须首先解决的问题。

参考文献:

[1] Shanahan P, Borchardt D, Henze M, et al. River water quality model no. 1 (RWQM1): I. modelling approach [J]. Water Science Technology, 2001, 43(5): 1~9.
 [2] Henze M, Gujer W, Mino T, et al. Activated sludge model no.

6 结论

a. WASP6 应用于汉江的水质模拟能够取得较满意的结果,BOD₅ 模拟的平均相对误差为 10.7%,NH₃-N 模拟的平均相对误差为 11.0%,DO 模拟的平均相对误差为 5.6%。

b. 水质模型中几个重要参数率定结果为:复氧系数 $k_2 = 0.15 \text{ d}^{-1}$; 20℃时硝化速度系数 $k_{12} = 0.1 \text{ d}^{-1}$; 20℃时 BOD 衰减速度系数 $k_d = 0.16 \text{ d}^{-1}$ 。

参考文献:

[1] 谢永明. 环境水质模型概论 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1996.
 [2] 贾海峰, 程声通, 杜文涛. GIS 与地表水质模型 WASP5 的集成 [J]. 清华大学学报, 2001(8): 125~128.
 [3] Tim A W, Robert B A, James L M, et al. Water quality analysis simulation program (WASP) version 6.0 draft: user's manual [M]. Atlanta: US Environmental Protection Agency, 2000.

(收稿日期 2004-05-30 编辑 徐娟)

2d ASM2d [J]. Water Science Technology, 1999, 39(1): 165~182.

[3] Reichert P, Borchardt D, Henze M, et al. River water quality model no. 1 (RWQM1): II. biochemical process equations [J]. Water Science Technology, 2001, 43(5): 11~30.
 [4] Rauch W, Bertrand-Krajewski J L, Krebs P, et al. Deterministic modelling of integrated urban drainage systems [J]. Water Science Technology, 2002, 45(3): 81~94.
 [5] Meirlaen J, Huyghebaert B, Sforzi F, et al. Fast, simultaneous simulation of the integrated urban wastewater system using mechanistic surrogate model [J]. Water Science Technology, 2001, 43(7): 301~309.
 [6] Meirlaen J, Van Assel J, Vanrolleghem P. Real time control of the integrated urban wastewater system using simultaneously simulating surrogate model [J]. Water Science Technology, 2002, 45(3): 109~116.
 [7] Vanrolleghem P, Borchardt D. River water quality model no. 1 (RWQM1): III. Biochemical submodel selection [J]. Water Science Technology, 2001, 43(5): 31~40.

(收稿日期 2004-04-19 编辑 徐娟)