

基于 WASP 7 模型的水质模拟应用——以淮沭新河东海段为例

张佩芳, 朱文杰, 任妍冰, 单璐

(连云港市环境监测中心站, 江苏 连云港 222001)

摘要:应用 WASP 7 模型的 EUTRO 子模块对淮沭新河东海段的溶解氧(DO)和化学需氧量(COD)指标进行模拟研究,采用2014年与2015年的水文、水质数据进行模型参数率定,并以2016年1月—2017年9月的水质数据进行验证,验证结果为DO和COD的模拟值与实际值的相对误差分别能控制在15%和10%以内,线性回归分析结论显示相关系数 R^2 均在0.9以上,表明两者的吻合度较高。

关键词:WASP模型;水质模拟;化学需氧量;溶解氧;淮沭新河

中图分类号:X821

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2018)02-0011-04

Application for on Water Quality Simulation based on WASP 7 Model——A Case Study on Donghai Section of Huaishuxin River

ZHANG Pei-fang, ZHU Wen-jie, REN Yan-bing, SHAN Lu

(Lianyungang Environmental Monitoring Central Station, Lianyungang, Jiangsu 222001, China)

Abstract: Simulation study of the water quality in Lianyungang section of Huaishuxin River was carried out using WASP 7 model. Water quality indices in this study included: Dissolved oxygen(DO) and Chemical oxygen demand(COD). The measured values of Lianyungang section of Huaishuxin River in 2014 and 2015 were used to calibrate and check the simulated values. Results showed that as for the simulated values the relative error of DO was below 15%, and of COD was below 10% in a specific time period from January 2016 to September 2017. The results of the linear regression analysis showed that the correlation coefficient R^2 was above 0.9, indicating a high degree of anastomosis between the simulation values and the measured values.

Key words: WASP model; Water quality simulation; Chemical oxygen demand(COD); Dissolved oxygen(DO); Huaishuxin River

淮沭新河横跨宿迁市与连云港市,从沭新闻进入到连云港东海县,之后到友谊桥附近分为两股支流,其中一股支流淮沭干渠流入白塔取水口,从沭新闸到白塔取水口(淮沭新河东海段)的水质情况关系到连云港市饮用水质量。采用水质模型对该段河流水质进行模拟研究,可获得水质未来变化趋势。

1 变量选取

选取 WASP 模型中的富营养化子模块 EUTRO^[1]模拟氨氮(NH_3-N)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD)3个变量的动态变化情况,将其设定为“Simulated”选项。由于白塔取水口的硝酸盐、有机氮、有机磷、磷酸盐、浮游植物叶绿素5个实际监测数据浓度值较低且稳定,而且其他断面缺少实

际监测数据,无法将模拟值与实际监测值进行对比,故模型中将该5个因子选取为“constant”选项,认为其影响稳定不变^[2-3]。

2 河流概况与分段

在河流断面发生较大变化处(河段1与河段2河宽变化较大)、水文特征变化较大处(河段2末端有部分流量流入到其他河流)、有实测数据的断面处(河段3末端、河段4末端有实测数据)对其进行分段,经概化后被分为4段。河流分段情况见表1,其中河段长度、宽度数据来源于 google earth 测算,坡度与糙度类比于其他平原地带河流参

收稿日期:2017-12-11;修订日期:2018-01-10

作者简介:张佩芳(1986—),女,工程师,硕士,从事环境监测工作。

数^[4],速度乘数、速度指数、深度乘数、深度指数通过 WASP 手册中公式计算得到。模型中水体流量数据来源于连云港市水利局的防汛防旱决策网。

表 1 河流分段数据

段号	体积/m ³	速度乘数	速度指数	深度乘数	深度指数	段长/m	河宽/m	坡度系数	糙度系数
1	1 356 000	0.1	0.32	0.7	0.45	1 130	105	0.001 2	0.03
2	10 098 000	0.1	0.32	0.7	0.45	15 300	57	0.001 2	0.03
3	5 928 000	0.1	0.32	0.7	0.45	9 880	48	0.001 2	0.03
4	1 144 000	0.1	0.32	0.7	0.45	2 200	39	0.001 2	0.03

3 参数率定

研究的动力学参数与常数的初始值主要参考文献[2]以及 WASP 用户手册中推荐值,根据 2014—2015 年监测实测数据,采用试算法进行参数率定后得出。试算法的具体步骤为:在其他参数保持模型缺省值条件下,仅对某一参数在其可行变化范围内进行调整,直到模拟值与实测值基本一致,而其余参数则依次试算,最后再重复循环微调,使各水质指标模拟值与实测值之间相对误差最小^[4-6]。相对误差计算公式为:

$$f = \frac{x_{\text{模拟值}} - x_{\text{实测值}}}{x_{\text{实测值}}}$$

参数率定后的主要参数见表 2。

表 2 主要模型参数

参数名称	单位	取值	范围
20 ℃ 时硝化速率 K_{12}	d^{-1}	0.1	0 ~ 10
K_{12} 的温度系数 θ_{12}		0.9	0 ~ 1.07
20 ℃ 时反硝化速率 K_{2D}	d^{-1}	0.05	0 ~ 0.09
K_{2D} 的温度系数 θ_{2D}		1.0	0 ~ 1.04
20 ℃ 时有机氮的矿化率 K_{71}	d^{-1}	0.08	0 ~ 1.08
K_{71} 的温度系数 θ_{71}		1.05	0 ~ 1.08
20 ℃ 时溶解性有机磷的矿化率 K_{83}	d^{-1}	0.10	0 ~ 0.22
K_{83} 的温度系数 θ_{83}		1.05	0 ~ 1.08
氧碳比 α_{oc}		1.20	0 ~ 2.67
20 ℃ 时 COD 衰减速率 K_d	d^{-1}	0.21	0 ~ 5.6
K_d 的温度系数 θ_d		1.06	0 ~ 1.07

4 模拟结果与分析

由于 2016 年 1 月—2017 年 9 月淮沭新河东海段 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的实际监测平均值为 0.3 mg/L 左右,且部分监测值 <0.2 mg/L,在质量浓度较低时使用监测仪误差较大,因此不对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 进行分析。此时该河段的第一段与第三段 DO 和 COD 实际监测数据比较完整,故选择这两段模拟值与实测值进行

对比分析。DO 和 COD 的模拟值与实测值对比结果见图 1(a)(b)与图 2(a)(b)。

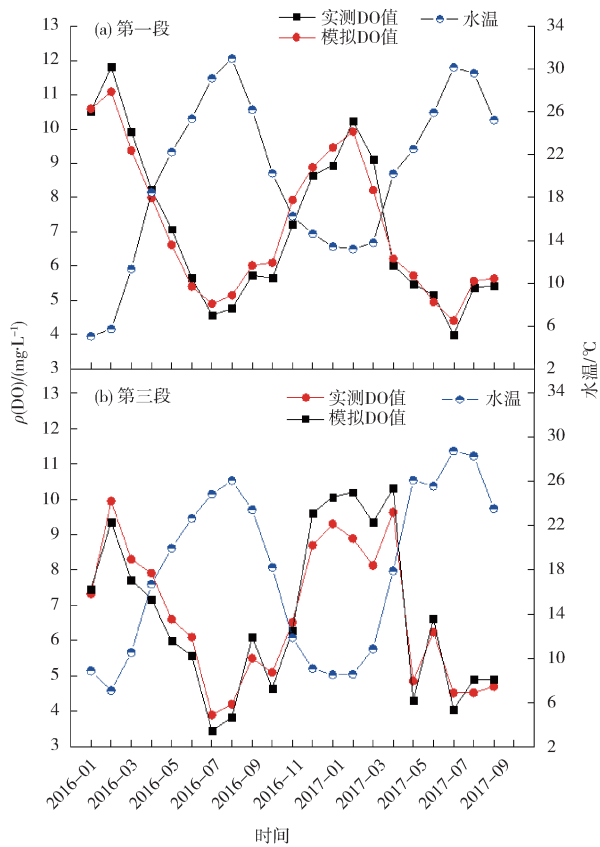


图 1 DO 模拟值与实测值对比

由图 1(a)(b)与图 2(a)(b)可知,DO 与 COD 模拟趋势与实测值基本一致,吻合度较好。由图 1(a)(b)可知,DO 在每年 2 月份达到最大峰值,在 7 月份为最小峰值,基本呈年周期性变化。DO 与水温明显存在波峰与波谷相对趋势,表明水温对 DO 的影响比较显著。一方面,温度越低水体中氧的饱和浓度越高;另一方面,温度越高水体中 BOD 分解速率越快,耗氧越多。

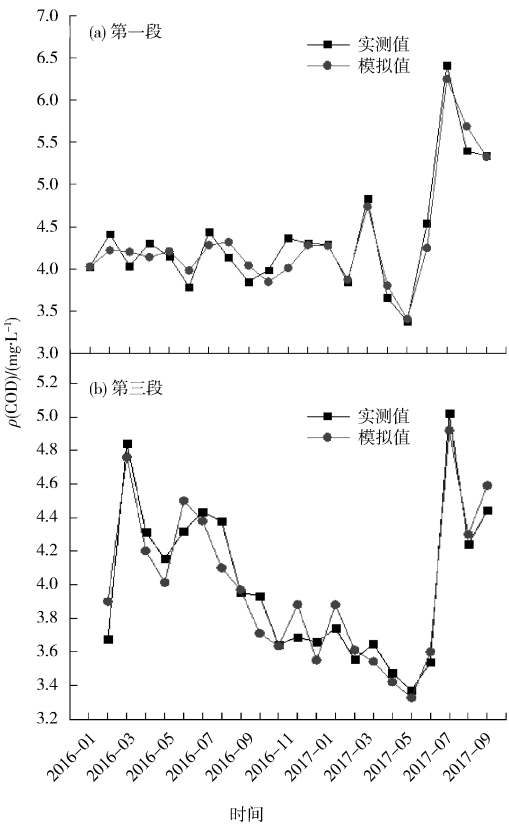


图 2 COD 模拟值与实测值对比

由图 2(a)(b) 可知,COD 通常在 2 月、3 月和 7 月份左右质量浓度较大。这是因为水体流量在夏季达到峰值,流量增大使河流自净能力加强,但是夏季水温较高,导致水中 DO 质量浓度较低,制约了 COD 的降解;而 2、3 月份则相反,水体流量减小导致河流自净能力减弱,而 DO 较高则会使得 COD 降解加速。由以上分析可推测,DO、水温和水体流量对 COD 影响较显著。

将模型模拟结果进行误差分析,计算结果见表 2 与表 3。并采用 ORIGIN 8.0 对 DO 与 COD 的模拟值与实测值作线性回归分析,探讨其吻合程度,结果见图 3 与图 4。

由表 2 与表 3 可知,DO 模拟值与实测值的相对误差皆控制在 15% 以内,其中 78.6% 的模拟数据与实测值控制在 10% 以内。COD 作为主要污染物因子,COD 模拟值与实测值的相对误差皆控制在 10% 以内。

由图 3 与图 4 可知,相关系数 R^2 均在 0.9 以上,说明模拟值与实测值吻合度较高,具有较好的关联性。

表 2 DO 模拟结果误差分析

日期	第一段 DO			第三段 DO		
	$\rho(\text{实测})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{模拟})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$f/\%$	$\rho(\text{模拟})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{实测})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$f/\%$
2016-01	10.524	10.590	0.63	7.457	7.322	-1.81
2016-02	11.807	11.091	-6.07	9.356	9.946	6.30
2016-03	9.925	9.380	-5.49	7.721	8.300	7.50
2016-04	8.233	7.994	-2.90	7.175	7.910	10.24
2016-05	7.074	6.622	-6.39	5.992	6.600	10.15
2016-06	5.652	5.404	-4.39	5.574	6.096	9.36
2016-07	4.573	4.900	7.16	3.454	3.900	12.91
2016-08	4.768	5.150	8.01	3.839	4.200	9.40
2016-09	5.735	6.018	4.93	6.111	5.500	-10.00
2016-10	5.652	6.100	7.93	4.655	5.100	9.56
2016-11	7.210	7.931	10.00	6.289	6.515	3.59
2016-12	8.647	8.886	2.76	9.604	8.690	-9.52
2017-01	8.944	9.456	5.72	10.059	9.300	-7.55
2017-02	10.226	9.925	-2.94	10.195	8.890	-12.80
2017-03	9.114	8.218	-9.83	9.345	8.123	-13.07
2017-04	6.018	6.218	3.32	10.299	9.630	-6.50
2017-05	5.475	5.724	4.56	4.302	4.860	12.97
2017-06	5.159	4.949	-4.08	6.619	6.238	-5.76
2017-07	4.000	4.408	10.19	4.057	4.520	11.41
2017-08	5.379	5.567	3.49	4.898	4.526	-7.60
2017-09	5.424	5.638	3.94	4.898	4.706	-3.91

表 3 COD 模拟结果误差分析

日期	第一段 COD			第三段 COD		
	$\rho(\text{实测})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{模拟})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$f/\%$	$\rho(\text{实测})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{模拟})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$f/\%$
2016-01	4.026	4.025	-0.02	3.674	3.899	6.13
2016-02	4.411	4.220	-4.33	4.845	4.760	-1.75
2016-03	4.032	4.201	4.20	4.313	4.201	-2.60
2016-04	4.303	4.139	-3.82	4.154	4.012	-3.41
2016-05	4.144	4.207	1.53	4.320	4.500	4.17
2016-06	3.787	3.983	5.16	4.435	4.380	-1.24
2016-07	4.436	4.280	-3.52	4.378	4.100	-6.35
2016-08	4.133	4.317	4.45	3.953	3.968	0.39
2016-09	3.849	4.039	4.94	3.933	3.709	-5.69
2016-10	3.986	3.845	-3.54	3.642	3.633	-0.24
2016-11	4.366	4.009	-8.18	3.688	3.881	5.22
2016-12	4.298	4.282	-0.37	3.656	3.550	-2.90
2017-01	4.290	4.274	-0.36	3.739	3.880	3.77
2017-02	3.840	3.873	0.85	3.554	3.610	1.58
2017-03	4.834	4.738	-1.98	3.647	3.541	-2.89
2017-04	3.661	3.801	3.82	3.471	3.420	-1.47
2017-05	3.378	3.405	0.79	3.369	3.325	-1.30
2017-06	4.542	4.246	-6.51	3.537	3.600	1.78
2017-07	6.416	6.250	-2.59	5.024	4.920	-2.07
2017-08	5.399	5.690	5.39	4.241	4.300	1.39
2017-09	5.341	5.329	-0.23	4.442	4.591	3.36

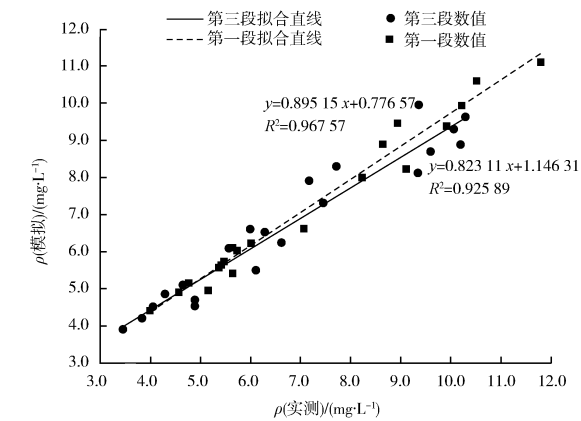


图 3 DO 线性回归方程

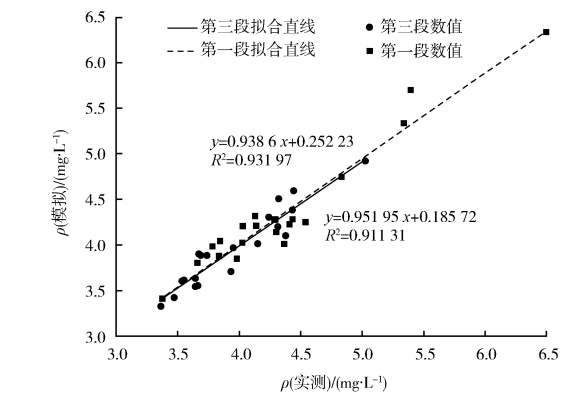


图 4 COD 线性回归方程

5 结论

运用 WASP 模型对准沭新河东海段的 DO 和 COD 水质指标进行模拟研究。结果表明,DO 和 COD 水质指标模拟值与实测值吻合度较高,相关系数 R^2 均在 0.9 以上,说明该模型适用于淮沭新河东海段,可作为该区域水质预测与管理的有效工具,同时也可作为连云港水环境保护与管理提供决策参考。该段河流 DO 受水温影响显著,而 COD 同时受水体流量、水温与 DO 影响显著。

[参考文献]

[1] 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:U. S. EPA,2000.

[2] 杨家宽,肖波,刘年丰. WASP 6 水质模型应用于汉江襄樊段水质模拟研究[J]. 水资源保护,2005,21(4):8-10.

[3] 陈美丹,姚琪,徐爱兰. WASP 水质模型及其研究进展[J]. 水利科技与经济,2006,12(7):420-422.

[4] 唐国平. 基于 WASP 模型的水质模拟及水环境容量研究——以南河下游为例[D]. 苏州:苏州科技大学,2016.

[5] 彭森. 基于 WASP 模型的不确定性水质模拟研究[D]. 天津:天津大学,2010.

[6] 郭旭,解岳. 应用 WASP 模型模拟曲江池水质[J]. 供水技术,2011,5(3):32-34.