

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2013.03.002

基于 MIKE11 的辽河流域一维水质模型

朱茂森

(辽宁省水文水资源勘测局,辽宁 沈阳 110003)

摘要:根据辽河流域的特点,将基于水动力和水质模型原理的 MIKE11 软件应用于辽河上游水域排放限值制定的整体技术路线中,模拟污染物在水体中迁移扩散和衰减的过程。通过对辽河上游福德店到通江口段河流的模拟,验证了用 MIKE11 软件建立辽河流域水动力模型的可行性,进而在水动力模型的基础上建立河流一维水质模型。结果表明:MIKE11 软件用于模拟污染物在水体中迁移扩散和衰减的过程是可行的,有节约人力物力、计算准确、便于操作和结果可视化等优点。

关键词:水质模型;水动力模型;辽河流域; MIKE11 软件

中图分类号:TV11 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2013)03-0006-04

One-dimensional water quality model based on MIKE11 for Liaohe Basin

ZHU Maosen

(Liaoning Provincial Investigation Bureau of Hydrology and Water Conservancy, Shenyang 110003, China)

Abstract: According to the characteristics of the Liaohe Basin, the MIKE11 software, which is based on hydrodynamic and water quality models, was used to simulate the process of relocation diffusion and decrease of pollutants in water, in order to establish standards of emission limits for the upper reaches of the Liaohe Basin. The results of simulation of the upstream Fudedian-to-Tongjiangkou reach indicate that it is feasible to use the MIKE11 software to build the hydrodynamic model for the Liaohe Basin, and based on this, a one-dimensional water quality model can be built. The results show that the MIKE11 software is applicable to the simulation of the relocation diffusion and decrease of pollutants in water, and it is a low-cost software with high accuracy and visual results.

Key words: water quality model; hydrodynamic model; Liaohe Basin; MIKE11 software

辽河流域位于中国东北地区,是我国七大流域之一,辽河流域总面积 22.9 万 km²,河长 1 390 km,地跨河北、内蒙古、吉林、辽宁等 4 省(区),其中辽宁省境内流域面积 6.92 万 km²,是辽宁省最大的流域^[1]。由于辽河流域的气候极端,降水量少,水资源总量为 235.11 亿 m³,水资源时空分布不均,其中辽河中下游的辽宁省水资源人均占有量为 885 m³,仅为全国人均占有量的 1/3。多年来该地区地下水超采,生态系统退化,流域的水质污染严重,90% 的排污控制断面水质超过 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中规定的 V 类水质标准,造成环境质量恶化,严重影响人民生活和经济持续发展^[2]。因此,保护好有限的水源水质显得尤为重要。

笔者利用 MIKE11 软件对辽河上游福德店到通

江口段进行水动力模拟,在验证用 MIKE11 软件建立辽河流域水动力模型的可行性的基础上建立河流一维水质模型。计算结果可应用于辽河流域污染物排放限值的制定,并且对污染物迁移扩散和转化的模拟、检验水质是否达标和水环境容量控制等均具有重要意义。

1 MIKE11 软件简介

MIKE 11 是一款多功能的一维水动力学软件,以求解圣维南(Saint-Venant)方程组作为理论基础^[3],带有水文模型,含对流扩散、水质生态、泥沙传输、降雨径流、洪水预报、实时操作等多种模块,并可与丹麦水利研究所(Danish Hydraulic Institute, DHI)开发的其他分析模型交互运用。MIKE 11 软件中的水动力

作者简介:朱茂森(1982—),男,工程师,博士,从事水资源保护研究。E-mail:jameson1002@163.com

模型采用隐式有限差分格式模拟河流的非稳定水流运动,模型应用能够自适应河道内在时间和空间水流条件的数值计算方案,很好地描述河流的各种水流环境。水质生态模型可用于描述水生态系统中多种物质的相互作用和形态转化过程,该模型可以与水动力学模型、传输扩散模型进行耦合,将对流扩散的传输激励与生物化学反应整合于水生态的模拟^[4]。

2 模型构建及参数率定

2.1 河网文件及断面形状的建立

河网形状根据 GIS 数值地图确定。模拟河段为福德店水文站到下游通江口水文站的辽河干流(图 1)。收集模拟河段断面起始距 x 与河床高程 z 的数据^[5-6],按照特定格式编辑成文本文件,导入 MIKE11,即可生成断面文件。

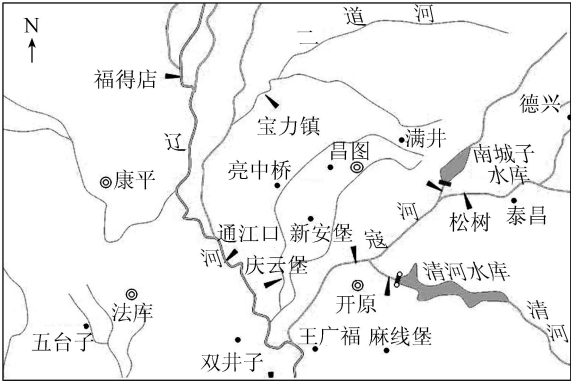


图 1 模拟河段及水文测站分布

2.2 时间序列文件的建立

时间序列文件包括水位、流量、浓度、降雨、太阳辐射等。对于同样的时间轴,也可以将不同类型的数据放在同一个时间序列文件内。按照枯水期、平水期和丰水期,将典型年的 1—3 月、10—12 月定为枯水期,4—5 月定为平水期,6—9 月定为丰水期,分别建立时间序列文件。

2.3 边界条件的建立

边界条件包括外部边界和内部边界条件,所谓外部边界就是模型中那些不与其他河段相连的河段

端点(即自由端点),物质流出此处即意味着流出模型区域,流入也必然是从模型外部流入。这些地方必须给定某种水文条件(如流量、水位等),否则模型无法计算。所谓内部边界是指从模型内部河段某点或某段河长流入或流出模拟河段的地方,典型的例子包括降雨径流的入流、工厂排水、自来水厂取水等。内部边界条件会影响模拟结果的可靠性,应根据实际情况设定。此次模拟只设置了河段两端的边界条件,加入水质生态模块时在边界条件加上污染物浓度,中间段的取水排水等因素暂不考虑。

2.4 模型参数文件的建立

需要设置的参数有初始水位、流量、河床糙率,选择圣维南方程的简化方程,附加输出结构和引擎程序的参数。原则上初始水位和流量的设定应尽可能与模拟开始时刻的实际河网水动力条件一致。

2.5 水质生态模块的建立

辽河流域进入河流的污染负荷主要来源于生活、工业和农业,多采用 4 级水质模块进行基本水质指标的模拟和率定。4 级水质模块包含的状态变量有 DO、BOD₅、温度、NH₃-N;主要常数有降解系数、温度系数、沉降和再悬浮速率、沉降临界速率、产氧速率、呼吸速率、底泥需氧量、耗氧速率、N/P 产率和被吸收速率、反应级数、硝化/反硝化速率等。

2.6 模型参数的率定

在率定过程中,需要不断调整各子流域的参数值,直到计算径流与流域出口实测流量拟合较好,或者过程线的形状大致吻合为止。表 1 列出了模型主要率定参数及其取值范围。

模拟采取的率定顺序为:①最初通过 $U_{\max}$ 和 $L_{\max}$ 以平衡水量,通过 C_{QOF} 和 C_{12}^K 调整流量峰值,通过 C_{BF}^K 调整基流。②进一步反复调整时,确定某个参数值改进率定,一次只调整 1 个参数值,第 1 次尝试时数值改变幅度要大些。

MIKE11 降雨径流模型带有一个自动率定程序,通常利用该模型参数自动优选与人机交互相结合的方法,在自动优选参数的基础上,根据过程线形

表 1 模型主要率定参数及其取值范围

名称	符号	含义	范围
地表储水层最大含水量	$U_{\max}$	影响坡面流、入渗、蒸散发和壤中流,控制总水量平衡	10 ~ 25 mm
土壤层/根区最大含水量	$L_{\max}$	影响坡面流、入渗、蒸散发和基流,控制总水量平衡	50 ~ 250 mm ($U_{\max} \approx 0.1 L_{\max}$)
坡面流系数	C_{QOF}	影响坡面流量和入渗量,控制峰值流量	0 ~ 1
坡面流和壤中流时间常数	C_{12}^K	沿流域坡度和河网演算坡面流和壤中流,控制地表径流形状	3 ~ 48 h
基流时间常数	C_{BF}^K	演算地下水补给,控制基流形状	500 ~ 5 000 h
壤中流排水常数	C_{IF}^K	影响由地表储水层排泄出的壤中流,控制峰值产生的时间相位	500 ~ 1 000 h
坡面流临界值	T_{OF}	产生坡面流所需的最低土壤含水量	0 ~ 1
壤中流临界值	T_{IF}	产生壤中流所需的最低土壤含水量	0 ~ 1
地下水补给临界值	T_{G}	产生地下水补给所需的最低土壤含水量	0 ~ 1

状和流域实况对参数作进一步调整。率定通常需要 3~5 a 的长序列水文、气象资料。

河床糙率是反映河流阻力的一个综合性系数,也是衡量河流能量损失大小的特征量,是水流与河床相互作用的产物^[5]。如果选择不当会对计算结果造成很大的影响,本次模拟曼宁系数选用经验数 $M=30$ 。

3 计算结果分析

由于 1—3 月、10—12 月枯水期处于东北河流冰冻期,模拟效果不直观,故在此不作模拟。分别对 2003 年 4—5 月和 6—9 月进行模拟,并将模拟结果与实测数据对比,模拟结果见图 3~4。

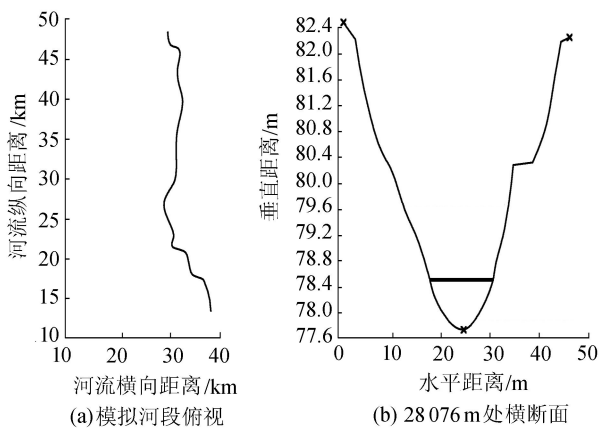


图 2 模拟河段俯视图及中间 28 076 m 处横断面示意图

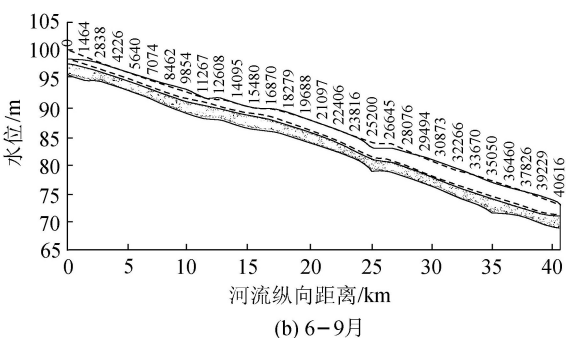
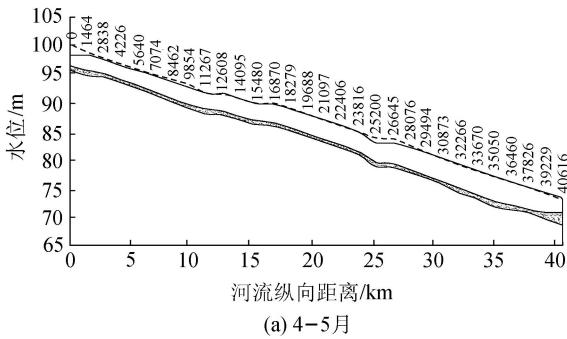


图 3 4—5 月、6—9 月模拟水位纵断面示意图

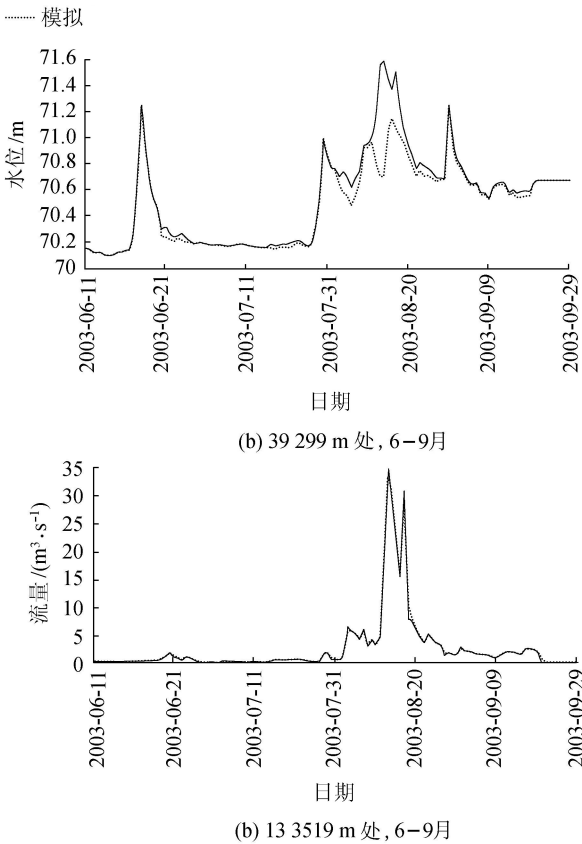
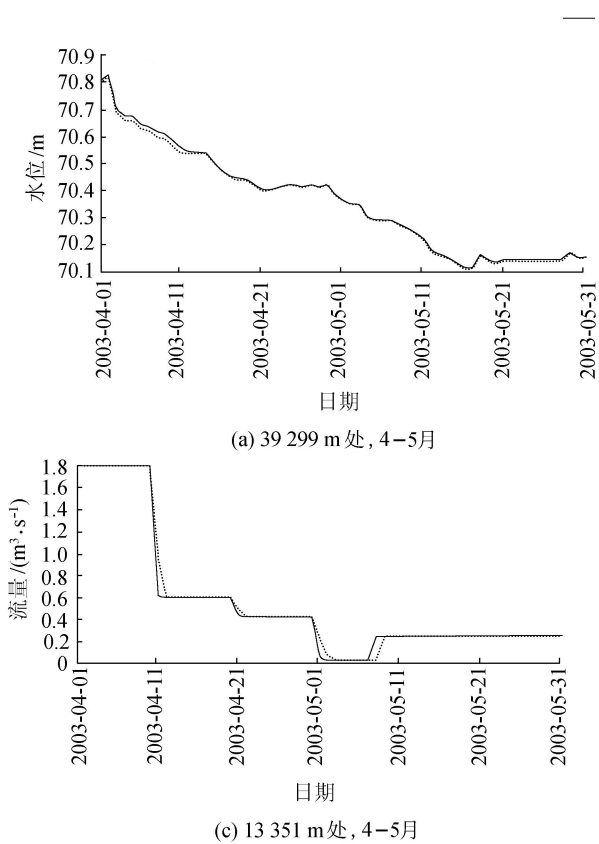


图 4 不同季节、不同距离处模拟河段水位、流量与实测水位、流量对比

根据模拟结果可见,不论是平水期还是丰水期,模拟的水位结果与实测值过程线都可以比较好的拟合。

在水动力模型的基础上加入对流扩散模块和水质 4 级模块后观察各变量的沿程变化,水质 4 级模块的状态变量包括 DO、BOD₅、NH₃-N、温度。设定本底值为 $\rho(\text{DO})=2\text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{BOD}_5)=10\text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=2\text{ mg/L}$ 、 $t_{4-5}=10^\circ\text{C}$ 、 $t_{6-9}=20^\circ\text{C}$ 。在模拟河段 22 430 m 处假定有一处排污点源, $Q=1\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $v=1\text{ m/s}$ 、 $\rho(\text{DO})=0\text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{BOD}_5)=20\text{ mg/L}$ 、 $\rho(\text{NH}_3\text{-N})=10\text{ mg/L}$ 。计算结果如图 5 所示。

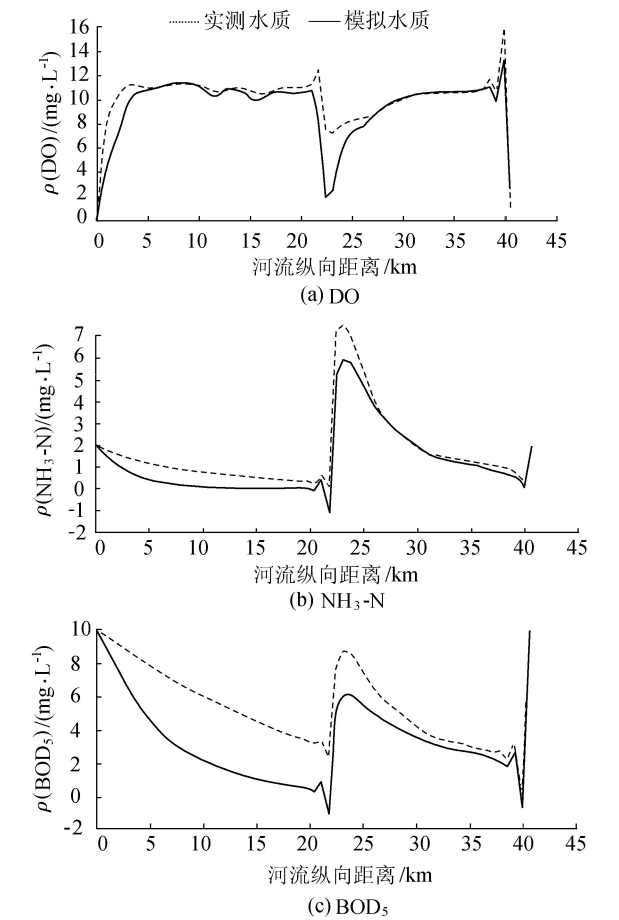


图 5 DO、NH₃-N、BOD₅ 质量浓度模拟结果

由图 5 可见,起初河流水质 DO 质量浓度慢慢升高达到饱和,NH₃-N 和 BOD₅ 质量浓度也慢慢削减,在 22 430 m,即排污口处,DO 质量浓度急剧下降,BOD₅ 和 NH₃-N 质量浓度升高,之后随着河流的自净作用,又恢复到原来的状态。经过计算,可提取任意断面上各自定义状态变量的浓度变化,并且 MIKE11 软件的模拟具有直观、可视化和计算速度快等优点,计算的结果对污染物的自净能力分析和决策管理都有一定的积极作用。

4 结 语

利用 MIKE11 软件建立了辽河上游福德店至通

江口段的一维水质模型,结果表明,只要在水文及地形数据充足的条件下,用 MIKE11 软件对辽河流域水动力和水质变化情况的模拟是可行的。通过模拟计算 BOD₅、DO 和 NH₃-N 在河流中沿程的衰减过程,发现模型运行良好,结果与理论相符,表明 MIKE11 软件一维模型用于辽河流域水体 DO 浓度预测、污染物浓度衰减计算和预警是可行的。

参考文献:

[1] 毕岩,孙作青. 浅谈辽宁省辽河流域生态补偿机制的建立[J]. 沈阳建筑大学学报:社会科学版,2010,12(4): 424-428. (BI Yan, SUN Zuoqin. On the establishment of the Liao River basin ecological compensation mechanism in Liaoning Province [J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Social Science, 2010, 12(4): 424-428. (in Chinese))

[2] 王耕,吴伟. 基于 GIS 的辽河流域水安全预警系统设计[J]. 大连理工大学学报,2007,47(2): 175-179. (WANG Gen, WU Wei. Design of an early warning system of water security for Liaohe River based on GIS [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2007, 47(2): 175-179. (in Chinese))

[3] 王领元. 应用 MIKE 对河流一、二维的数值模拟[D]. 大连:大连理工大学,2007.

[4] Danish Hydraulic Institute (DHI). MIKE11: a modeling system for rivers and channels, reference manual [R]. Copenhagen: DHI, 2007.

[5] 蓝俊康,郭纯青. 水文地质勘察[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.

[6] 向文英. 工程水文学[M]. 重庆:重庆大学出版社,2003.

(收稿日期:2012-11-22 编辑:徐 娟)

