

水污染预警 DSS 系统框架下的白河水质预警模型研究

郭羽,贾海峰*

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

摘要:为了应对频发的水环境污染事故,在污染事故发生后快速有效地制定应急响应措施,保护水环境,有必要在水源保护区建立水污染预警 DSS 系统,重点对系统建立的核心与难点——水质预警模型进行研究。密云水库是北京市最重要的地表水源地,以密云水库上游的白河为研究区域建立水污染预警 DSS 系统,设计水污染预警 DSS 系统的三层结构框架,将控制端、核心预警模型、GIS 空间数据库紧密联合起来;在此基础上对核心预警模型的建模过程、参数取值等进行研究;最后以典型污染物氰化钠为例,设置水污染事故情景以及应急措施预案情景,进行了情景模拟分析。实例研究表明,此水质预警模型能够较准确地对污染发展趋势进行分析预测,并对不同的应急处理方案的实施效果进行模拟分析,模拟结果能够支持应急方案的制定与优选决策,达到了 DSS 系统的功能需求。

关键词:水质预警模型;EFDC;WASP;情景模拟;污染事故;白河

中图分类号:X32 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2010)12-2866-07

Water Quality Forewarning Model in the Framework of Water Pollution Forewarning DSS

GUO Yu, JIA Hai-feng

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract:In order to deal with the water pollution accident and take emergency measures effectively, water pollution forewarning decision support systems (DSS) is important to be established and water quality forewarning model is one of the hard points of DSS. Miyun Reservoir is the most important surface water sources of Beijing. Baihe River, which is the upstream river of Miyun Reservoir, is selected as the case study in this paper. The three-layer frame of the water pollution forewarning DSS is proposed with the core of mathematical model; then model development and parameterization are studied. Finally, a typical accident of NaCN pollution is taken for instance; the scenario of the accident is simulated and analyzed by DSS. The case study shows that the DSS could precisely analyze and forecast the pollution development trend, and simulate the different impact of emergency proposal. The result could support the primary decision of the emergency proposal to meet the functional requirement of the system.

Key words:water quality forewarning model; environmental fluid dynamic code (EFDC); water analysis and simulation program (WASP); scenario simulation; water pollution accident; Baihe River

突发性水环境污染事故常造成严重的水体污染,1986年德国莱茵河污染事件后,国外越来越重视对突发污染事故的预警方法与应急处理措施的研究。近年来,我国水污染事故频繁发生,例如2004年四川沱江氨氮废水泄露特大污染事故,2005年松花江苯类污染物泄露特重大事故,2006年初湖南湘江发生镉污染事件,2009年盐城水污染事件等。水污染事故的频发引起了国家各相关部门以及各级政府的高度重视。而控制水污染事故对下游用水,尤其是饮用水源造成危害的有效办法就是防患于未然,提前做好各种应急预案,在污染团流达下游敏感区之前,及早提出预告、报警,及时采取措施,加以有效抑制、减缓、控制和整治。

在使用水动力-水质模型对水体污染事故进行预警方面,国内的研究还较少,国外已进行了很多研究^[1,2],开发了较为成熟的模型软件^[3]。决策支持系

统(DSS)在水体污染事故预警研究方面,国内有过相关研究^[4],但在预警模型方面主要选择经验回归模型、人工神经网络模型等^[5]。机制模型在DSS中的集成需要涉及模型较复杂的输入输出数据及管理,是一个技术难点,国内在此方面研究中所集成的机制模型多为针对特定污染物进行模拟的模型,在使用复杂的能够模拟多种危险物质的水质预警模型方面,国内研究还相对较少。在本研究中,以北京市地表水源地——密云水库上游白河河道作为研究区域,分析EFDC和WASP-TOXI5等专业水动力-水质模型在密云水库水污染预警决策支持系统(DSS)框架下的集成,并在此框架下,探讨建立了白

收稿日期:2010-01-01;修订日期:2010-03-30

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07526-005)

作者简介:郭羽(1984~),男,硕士研究生,主要研究方向为水环境模型,E-mail:gh03@mails.tsinghua.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:jhf@tsinghua.edu.cn

河水质预警模型,以期服务于研究区域内出现突发水污染事件后白河水质的模拟与预警。

1 白河水污染预警决策支持系统(DSS)的构建

1.1 研究范围

本研究构建的水污染预警 DSS 是以北京密云水库上游主要河流——白河作为研究区域,范围包括白河北京市境内河段。密云水库作为北京市最重要的地表水源地,其水源地保护工作对于北京市供水安全极其重要。白河是密云水库最大的入库河流,建立其水质预警系统,在发生污染时及时做出预警及应急方案分析,对密云水库饮用水源保护有着重要意义。

在系统服务范围内,白河河段起始于白河堡水库,沿途有黑河、汤河、白马关河等支流汇入,在张家坟附近注入密云水库,全长 129 km,流经延庆、怀柔、密云 3 个区县。起始点下堡水文监测站与入库前张家坟水文测站间水面落差 461 m,河道平均坡度为 0.357%。水污染预警 DSS 系统以整个白河流域为服务对象,在干流、支流布置自动监测站进行水文水质在线监测,而水质预警模型以白河干流为建模对象,支流作为边界条件进行考虑。

研究范围内,白河河段现状水质较好,2007 年 7 月最新的监测数据显示,白河北京段及其支流汤河、黑河均达到 II 类地表水质标准,并且此段河道上没有固定的点源排污口。但是白河水质仍存在一定的隐患。由于上游铁矿开采以及冶金工业等的发展,可能出现重金属及氰类化合物污染(常用于冶金工业中)。研究区域如图 1 所示。



图 1 研究范围示意

Fig. 1 Map of research area

1.2 水污染预警 DSS 设计

在对国内外 DSS 系统剖析、发展趋势分析^[6-8]以及密云水库水污染预警需求和数据积累的综合分析的基础上,构建白河污染预警 DSS。根据 DSS 系统的功能需求,对其进行逻辑结构的设计,将 DSS 系统分为 3 层,分别是系统应用层、模型服务层、基础数据层。

其中,基础数据层在已建成的水质自动监测系统 and 数据传输网络的支持下,按照统一的数据标准体系,对流域范围内不同来源、不同尺度、不同属性的各种数据进行采集整理,以 GIS 空间数据库为基础进行数据的储存与管理,为整个系统提供原始基础数据支持。

模型服务层是整个系统的运算器,通过核心模型的运算,对实时监测值进行预测分析,并且可对各种应急措施情景方案进行预测与分析。

系统应用层为系统的表现层,用户通过该层发出应用请求,DSS 调用数据服务层中相应的运算模型,得到专业的计算分析结果,并进行可视化处理,再将成果返回到应用层,供决策者直观地进行综合分析,帮助决策者对流域水资源保护重大问题做出决策。系统逻辑结构如图 2 所示。

根据 DSS 系统 3 层结构,能够将水文水质自动监测系统、空间信息数据库、水质预警模型结合起来,实现 DSS 系统各模块的功能需求。各功能模块主要包括:水质监测与风险报警模块、污染事故发展趋势模拟模块、应急措施预案管理模块、应急响应方案评价与优选模块。各功能模块协同工作,能够让 DSS 系统在污染物发生后最快速地进行污染报警、污染趋势分析与方案选择支持。

1.3 水污染预警 DSS 开发与模型服务的实现

根据 DSS 系统得逻辑结构设计,利用 J2EE (Java 开发程序)对系统进行开发。系统基于 B/S 架构,将核心专业水环境模型与底层的 GIS 数据库紧密结合,用户可在不同的终端机上,借助网络浏览器对 DSS 系统进行操作,实现对在任何时间发生在河流任意位置上的不同污染事故产生后,污染物在水体中的迁移转化和应急处置后效果模拟。

2 白河水质预警模型的建立

水质预警模型是水污染预警 DSS 中的核心模块,本研究利用“水动力-水质”联合模拟模型,开发建立了 DSS 框架下的白河水质预警模型,服务于污染事故及应急措施情景方案的模拟分析。

2.1 水质预警模型的选取

在水质预警模型选取方面,考虑选取已在相关水环境模拟领域得到广泛使用的机制模型,作为水质预警决策支持系统的核心模型。另外,还要具备以下一些特点:①核心模型具有“水动力-水质”联合模拟功能;②模型源代码公开,具有较好的可二次开发性,便于与预警系统的嵌套;③模型运算速度较快,

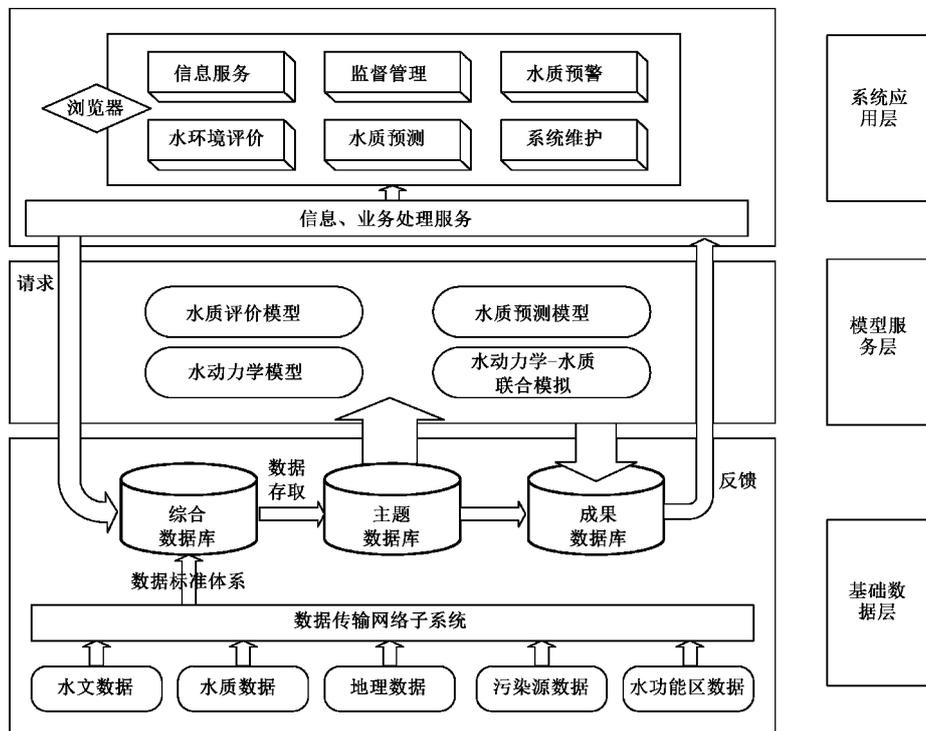


图2 水质预警决策支持系统逻辑结构图

Fig.2 logical structure of water quality forewarning DSS

能够快速预测分析,指导决策工作。

综上所述,选取 EFDC-WASP 模型作为预警系统的核心模型。

EFDC 模型是美国国家环保署(EPA)推荐使用的三维地表水水动力模型,可实现河流、水库、河口等水体的水动力学模拟。WASP 模型是由美国 EPA 开发和维护的水质模型,本文中所使用的 WASP5 版本为 Fortran 语言开发的模型软件,其模型源代码公开,并且能够读取 EFDC 模型的水动力学模拟结果。WASP5 包括 EUTRO5 和 TOX15 2 个子模型,其中 TOX15 能够模拟各种有毒化学物质及重金属等对水体的污染,因此选取它作为水质预警模型对河道中的各类污染物的迁移转化进行模拟。

TOX15 模型模拟水体-底泥系统中某些化学物质的传输及归宿。模型拥有很大的自由度,可以进行 3 类可溶性物质与 3 类颗粒态物质的共 6 系统的模拟。6 系统间既可以实现独立模拟也可进行复杂的相关反应的模拟。模型对模拟对象没有预设与限定,而是预设各种生物-物理-化学反应方程,用户可以通过选择反应方程并设定相应的参数,来对模拟对象进行描述。因此模型可以实现多种污染物的模拟。

2.2 水动力-水质模型的系统集成与联合模拟

模型是 DSS 系统的核心部分,包括水动力学模型 EFDC 与水质模型 WASP5。将模型与 DSS 系统集成后,用户可以通过系统界面操作,管理数据库,设计模拟方案并调用模型进行模拟,查询模拟结果。用户通过 DSS 系统调用模型进行模拟预测的工作过程主要分为 3 个环节,如图 3 所示。

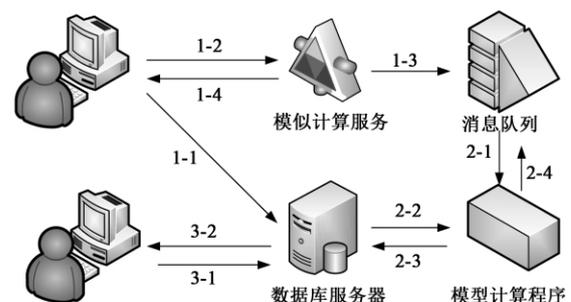


图3 DSS 系统工作原理

Fig.3 Diagram of Model running process in DSS

第 1 环节:用户与模型间的交互环节。用户利用河流中污染事故发生的位置、时间、污染物负荷等信息,以及已存储于数据库中的河道几何数据、常规监测和在线实时监测的水文、水质监测数据,建立模拟

方案,并通过模型计算服务,将模拟方案指令送入模拟队列,模型计算服务回馈用户模型调用是否成功。

第 2 环节:模型与数据库间的交互环节。模型从消息队列中接到模拟指令后,根据相应的方案编号,从数据库中读取模型初始条件、边界条件、模型参数等,进行模拟运算,并将模拟结果存储于数据库中。

第 3 环节:用户与数据库间的交互环节。用户通过 DSS 平台,对数据库中的相关数据进行管理,并查询模拟结果。

由于 WASP5 模型自身不具备完备的水动力模拟功能,要完成水体中水质的传输、扩散情况,需要输入模拟河道或水库等水体中的水动力学条件或读取其他水动力学模型的模拟结果。本研究将 EFDC 模型作为前端水动力学模型,利用其强大的水动力学模拟功能,为 WASP5 模型提供支持。在进行水动力-水质联合模拟时,两模型采用同样的空间网格划分,WASP5 模型通过读取 EFDC 模型的模拟结果文件获得相应的水动力学信息。其中 WASP5 所要使用的 EFDC 输出文件包括 *.hyd(记录网格间流速与流量)、WASPB.OUT(记录网格间的交换系数,即一维模型的纵向扩散系数)、WASPC.OUT(记录网格初始信息)、WASPD.OUT(记录网格间沉积物的交换信息)。

水动力与水质模型都集成于 DSS 系统中,通过系统控制,按顺序调用两模型,并通过模型与数据库的交互,完成模型间的数据传输,实现水动力-水质联合模拟。

2.3 白河水质预警模型的建立

(1) 时间概化

水质模型的时间概化要考虑水体水质和输入条件的变化,还要考虑实际数据的详尽程度、计算的稳定性和数值的精确性等。对于水质预警,由于水污染事故的发生时间都较短,需要对短时间内的水质变化进行模拟计算。预警模型的水动力学模拟时间步长设定为 1 min,水质模拟的时间步长为 10 min。经模型运行调试后证明在此步长下,模型能够稳定运行。

预警模型的总模拟时间综合考虑从上游污染物进入河流到污染物流进密云水库的流行时间(常流量 $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,流行时间约为 40 h),以及由于纵向扩散影响污染带的持续影响时间,设定为 15 d。总模拟时间内,保证模型能够完整模拟各种水文条件下污染物对白河的影响。

(2) 空间概化

预警模型的模拟范围为白河干流,即白河堡水库以下至白河张家坟测站。黑河、汤河等支流按照边界条件进行考虑。河道形状如图 4 所示。

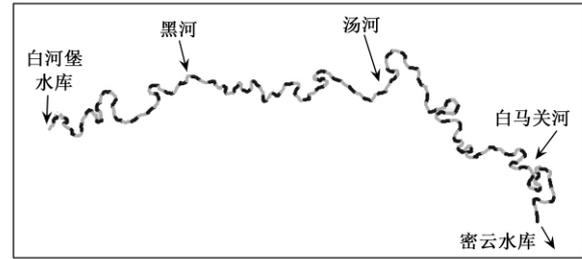


图 4 模型空间概化图

Fig. 4 Segments scheme

在模型计算中,模型网格为模型模拟计算的基本单元。在综合考虑河道长度、河道坡度、模型建立复杂程度、模型运算时间等因素的基础上,采用矩形网格进行空间概化。

利用 1:10 000 河道及两岸区域等高线图,白河流域水功能区划 GIS 图,对白河进行空间概化。经空间概化后,每个网格将视为一个完全混合体。研究中,考虑了整体模拟范围的空间尺度以及水流在常流量下流经单元网格的流行时间,最终将河道划分为 129 个长 1 000 m、初始水深 0.5 m、宽随河道实际情况而变化(30~50 m 之间)的长方体网格,垂直方向上不分层。此概化下,常流量水文条件($15 \text{ m}^3/\text{s}$)流经单元网格的流行时间约为 18 min,在较大尺度的预警模型中可接受此划分结果。连接均为一维线性连接关系。网格的初始交换面积为 25 m^2 ,特征交换长度为 1 000 m。其中水深与交换面积随水文条件变化情况由 EFDC 模型模拟后,进行数据传输,提供给水质预警模型。

(3) 水动力模型参数选取

EFDC 模型在一维水动力模拟中所需要率定的参数包括底部糙率系数、水平扩散系数。其中糙率系数根据白河堡水库放水后的水文监测数据进行率定。根据水文监测数据, $15 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量的洪峰从白河堡水库到达张家坟水文站的所需时间约为 40 h,根据此,率定得到河道平均糙率系数约为 0.03。水平扩散系数采用相关研究的率定成果^[9],为 $20 \text{ m}^2/\text{s}$ 。

(4) 模拟对象分类与水质模型参数选取

对于突发水污染事故,一般缺少该污染物在研究河道中的实际监测数据,有关该污染物的相关反应参数难以通过常规的模型参数识别方法识别。在白河水污染预警 DSS 系统中,先对污染物进行分

类,然后查询相关污染物反应机制研究成果,或进行实验室内参数测定并在自然水体中进行参数修正等方式得到各类污染物的反应参数。

在白河水污染预警模型建立过程中,利用WASP/TOXI5模型对于污染物的模拟具有足够的自由度的特点,通过反应方程上的相同点,将预警对象污染物分为3类:可降解的污染物(例如氰化物),离子态的难降解污染物(例如某些重金属污染物),不溶性的污染物(例如油类)。根据3类污染物的反应特性,选择相应的降解、平衡吸附方程,通过对降解系数、平衡吸附系数、扩散系数来对3类污染物中在水体中的迁移转化规律进行描述。

本研究选择研究区内典型的潜在污染物氰化钠为例,说明模型参数的选取过程。氰化钠在水体中降解反应主要为氰化氢的挥发,WASP-TOXI5模型中将其概化为一级衰减动力学反应,挥发系数为模型的核心参数。由于是有毒物质预警模型,很难找到实测数据进行模型参数率定,故选取以往相关毒理学研究的实验成果作为模型参数。赵吉昌等^[10]曾测定池塘中静置与曝气状态 CN^- 的挥发情况,数据如表1所示。

表1 CN^- 挥发实验数据表

Table 1 Experimental data of volatilization

时间/h	$\text{CN}^- / \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	
	静置	充分曝气
0	25.000	25.000
2	24.120	18.725
4	23.288	16.442
6	21.926	14.228
8	19.484	11.685
10	18.556	9.440
12	17.674	7.221
14	16.284	5.111
16	15.188	3.022
20	14.410	1.367
24	13.266	0.826
28	11.522	0.614
30	9.400	0.507
50	7.288	0.416
70	4.820	0.379

对 CN^- 挥发量随时间变化的情况进行分析,得出挥发量与时间存在对数关系,可看出其符合一级衰减动力学规律,如图5所示。据此可以计算出静置和充分曝气条件下的 CN^- 的降解系数:静置时 $K = 0.0253$,充分曝气时 $K = 0.1398$ 。在预警系统中将 K 的这2个值作为极端情况的取值,作为挥发系数 K 的取值范围。

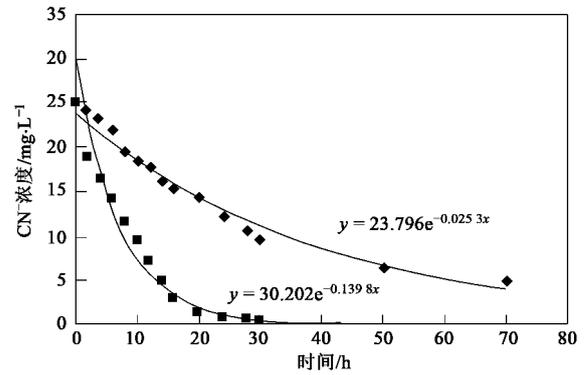


图5 CN^- 在静置和充分曝气情况下挥发的实验结果

Fig. 5 Volatilize rate of CN^- in still or aeration condition

孙大伟等^[11]在辽宁某杏仁露厂出水河道进行了实验研究,通过对实验结果的拟合,求得所研究河道中 $K = 0.0661$ 。本研究采用此挥发系数建立自然状态下河流的氰化钠预警模型。

3 氰化物水污染事故情景模拟及分析

白河水污染预警系统构建完成后,为了验证DSS系统的实际应用能力,进行了虚拟的氰化物突发污染情景的设计,并对情景进行预警分析与应急处置方案分析。

设定的氰化物突发污染情景如下:在白河密云水库入库口上游20 km处发生运输氰化物的车辆翻倒入河事故,致使0.1 d时间内10 kg氰化钠进入白河。情景方案及分析如下。

(1) 基础情景:氰化物突发事故污染

上游来自于白河堡水库的下泄水量,按照 $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 进行设定,支流入流包括黑河与汤河。DSS系统对于原始污染情景以及曝气应急预案情景的模拟结果如图6所示。

本情景中,假设污染事故发生点下游10 km与20 km处2个点,分别作为应急处置工程实施点以

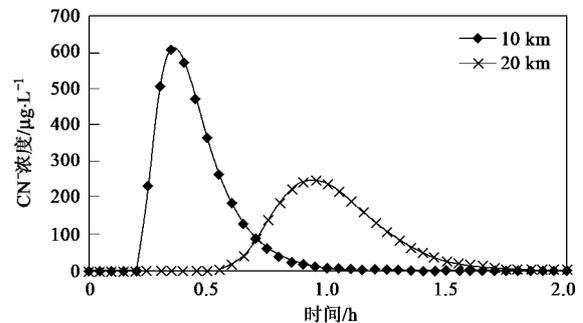


图6 基础情景模拟结果

Fig. 6 Simulation result of basic scenario

及最终评价点(下游 20 km 为白河入密云水库的河口).由模拟结果可见,在原始情景中,在污染事故发生后,污染物前锋约在 8 h 左右到达下游 10 km 处,12 h 左右,污染物峰值经过 10 km 处,峰值氰离子浓度约 600 $\mu\text{g}/\text{L}$;因氰离子在水体中的扩散及挥发作用,在白河入库点,氰离子污染峰约在 1 d 后到达,峰值浓度约为 250 $\mu\text{g}/\text{L}$.

(2) 应急处置情景一:曝气处置

根据氰化物的降解特点,设置应急曝气处置情景,对污染发生点下游 10 km 后的河道进行充分曝气^[12],提高氰离子挥发速度,曝气后的挥发系数按已确定的挥发系数上限值给出(图 7).

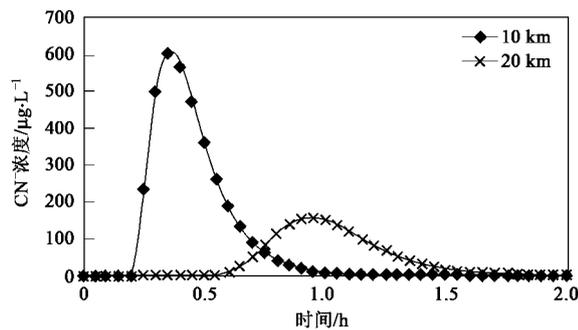


图 7 应急处置情景一模拟结果

Fig. 7 Simulation result of emergency scenario 1

通过在 10 km 处的应急工程曝气,提高了氰离子的挥发速率,10 km 后氰离子浓度明显降低,但是仍会有明显的污染峰入库,因此,利用曝气处置不能保障密云水库的水质安全,还需要考虑其他应急处置措施.

(3) 应急处置情景二:加药沉淀吸附

对污染发生点下游 10 km 后的河道投加铁盐,固定与形成铁氰络离子,解除氰化物的毒性,降低自由氰离子的浓度^[13](图 8).

通过在 10 km 处的应急工程应对假想污染情景,可以使得入库点氰离子浓度达到白河的水环境功能要求,即满足 II 类水质标准.模拟结果说明,沉淀吸附对于处理原始情景中的氰化物污染事故有良好的效果,可以作为备选方案之一.

由氰化物污染事故的情景模拟分析示例,显示了预警系统较好地模拟分析预测能力.对基础情景模拟结果的分析能够让决策者清楚地预知污染团的传播速度、污染物到达水源保护区时的浓度以及总量等信息,能够帮助决策者对应急措施实施地点、措施类型进行判断.对应急处置情景的模拟可以对应

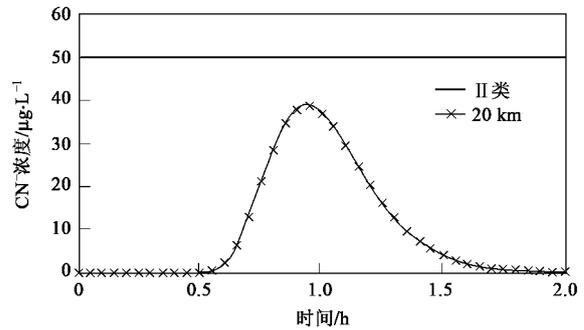


图 8 应急预案情景二模拟结果

Fig. 8 Simulation result of emergency scenario 2

急措施的效果进行评价,优选应急方案,让系统真正起到决策支持的作用.

本工作主要在于如何将专业的“水动力-水质”模型作为水质预警模型集成到水污染决策支持系统中,以提升 DSS 的决策分析能力;以及如何在 DSS 框架下,建立适用的水质预警模型,完成模型的概化、参数选取和情景模拟.在建立水污染预警决策支持系统的过程中,以北京市密云水库重点上游河流——白河为例,搭建了 DSS 系统的三层结构,以 GIS 空间数据库为基础,建立核心模型并开发系统平台.最后基于开发的水污染预警决策支持系统,以氰化钠污染事故为示例,研究了污染事故情景和应急处置方案的设计和情况模拟分析.

4 结论

(1)开发的系统不仅具有污染预测能力,更具有应急处置方案效果的评价能力.

(2)通过对 DSS 系统预警对象的分类,充分利用了模型的自由度与可推广性,DSS 系统中集成污染物反应参数数据库,以及相应的应急措施预案,能让 DSS 系统更好地为管理者提供应急决策支持.

参考文献:

- [1] Pinter G G. The Danube accident emergency warning system [J]. Water Science and Technology, 1999, 40(10): 27-33.
- [2] McIntyre N R, Wheater H S. A tool for risk-based management of surface water quality [J]. Environmental Modeling & Software, 2004, 19(12): 1131-1140.
- [3] Hamrick J M. A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code: Theoretical and Computational Aspects. The College of William and Mary [R]. Virginia Institute of Marine Science. Special Report 317, 1992.
- [4] 付朝阳,金勤献,孙鹏程. 区域环境监测预警体系建设框架研究[J]. 环境科学 2008 29(7): 2077-2080.

- [5] 崔磊,赵璇,王本. 区域水环境信息系统的开发和应用[J]. 清华大学学报(自然科学版) 2008, 48(3):440-444.
- [6] 徐祖信,李雨芯,廖振良,等. 苏州河综合整治决策系统的模型系统开发[J]. 中国给水排水 2008, 24(9):72-74.
- [7] 唐崇杰,林继发. 区域水环境管理决策支持系统的研究和开发——以湛江市为例[J]. 环境科学与管理 2007, 32(5):12-15.
- [8] 俞露,陈吉宁,曾思育,等. 区域水环境安全预警系统框架的建立及应用[J]. 环境监测管理与技术 2005, 17(6):7-11.
- [9] 王建平,苏保林,贾海峰,等. 密云水库及其流域营养物集成模拟的模型体系研究[J]. 环境科学 2006, 27(7):1286-1291.
- [10] 赵吉昌,高克权. 氰化钠泄漏污染调查及治理方案技术分析[J]. 化工环保 2004, 24(5):355-357.
- [11] 孙大伟,刘慧君,厚春华. 杏仁露厂排放废水中氰化物挥发降解规律的初步研究[J]. 环境工程 1995, 13(4):10-12.
- [12] 陈振发. 对氰化钠污染事故应急检测及处置的探讨[J]. 云南环境科学 2005, 24(增刊):214-215.
- [13] 黄彩海. 氰化物突发性污染事故的应急处理、应急监测和预防对策[J]. 陕西环境 2000, 7(4):9-12.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjxx.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按 GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail: hjxx@rcees.ac.cn;网址: www.hjxx.ac.cn