

GIS 与数模集成的水污染突发事故时空模拟

丁贤荣¹, 徐 健¹, 姚 琪², 陈 永¹, 曾贤敏¹

(1. 河海大学水资源环境学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 根据水污染事故发生、发展具有诸多时空和污染源类型不确定性的特点, 以及污染事故控制与处理的时效性和最大限度减少损失的原则, 采用弹性组织出事现场信息的方法, 分析污染事故的基本状况, 实现河流水污染突发事故影响状况的高效模拟. 将 GIS 与水污染模型技术相结合, 开发了适合长江三峡水环境决策管理的水污染事故模拟子系统. 系统可反映污染事件造成的水污染状况及其时空变化过程, 能为突发性水污染事故处理提供强有力的决策支持.

关键词: 三峡; 水污染事故; 时空模拟; 地理信息系统; 水质模型

中图分类号: X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2003)02-0203-04

近年来水污染事故屡见不鲜. 大事故如 2002 年“展望”号油轮在西班牙海岸触礁沉没, 几年前埃克生石油巨轮在加拿大海域出事, 造成大量原油泄漏; 小事故则难以计数, 其大多数是由内河运输化肥、农药、石油及其他有害化学物品的船只, 以及沿岸化工企业的储存容器等失事造成的. 水污染事故不仅造成直接的财产与人身损失, 而且造成许多环境灾害问题. 多数河流既是内河运输的航道, 也是沿岸城市、企业以及乡镇的水源地. 一旦河流上游发生水污染事故, 受害最大的还是下游沿岸城乡供水系统和水生态环境. 为了使水污染事故造成的经济社会损失减小到最低程度, 有必要对水污染事故造成的污染水体进行时空监测与模拟分析, 为行政主管部门提供事故应变决策依据.

各种水域的水污染模型研究较多, 但水污染模型与地理信息系统(GIS)集成的水污染模拟系统则不多见. 模型计算的优点在于能结合水环境的物理化学条件进行数值模拟分析, GIS 的优点是具有很强的空间分析能力, 二者有机结合, 不仅可以分析水污染状况, 而且可以分析污染事故对沿岸具体城乡经济、社会及环境的影响. 这种影响分析正是管理决策层所急需的决策依据.

1 水污染突发事故的不确定性

水污染事故发生、变化及其计算分析的不确定性主要有以下几个方面: (a) 发生时间、空间的不确定性. 运输船舶的失事以及沿岸污染物容器破裂本身难以预料, 因此失事的时间、地点更难确定. (b) 污染源的不确定性. 即使知道了出事时间、地点, 但出事对象释放的污染物类型、数量一时也难以确定, 而这些数据恰恰是水污染模拟分析的基本参数. (c) 出事水域性质的不确定性. 水域的水流状态直接影响污染物的扩散方式与速度. 水域不仅有江河湖海之分, 即使在同一河段, 仅岸别不同, 水流性质差异就很大, 何况还有洪水、潮汐、风浪等瞬时水文变化. (d) 受害对象的不确定性. 各种水域的开发利用方式及程度各不相同, 同等规模和程度的污染事故, 造成的污染危害千差万别. 若城市水源地受到污染, 则城市供水就会突然中断, 其后果将是灾难性的. 此外还有污染事故信息的不完整性与不可比性. 虽然水污染事故层出不穷, 但至今还不可能获得一场典型污染事故的全程信息. 即使某些事故信息相对较完整, 往往也不具有事发环境时空的可比性.

综上所述, 由于水污染突发事故发生时间、空间、规模、过程、水域背景、影响对象的不确定性, 以及信息的不完整性, 因此准确模拟与分析水污染突发事故目前还是一个难题.

2 水污染突发事故模拟的技术路线

由于水污染事件的诸多不确定性,故适合此类模拟分析的方法应具备非结构化、智能化模拟功能。而目前可用的分析模型多为结构化的确定性数学模型,模型用到的定量参数还需要率定,因此必须对模型参数作切合实际的处理。

2.1 模拟分析原则

2.1.1 污染事故最大化控制原则

污染事故模拟需对总体水污染状况有基本的反映,如污染带基本浓度、位置、规模、运动状态、波及对象等。

2.1.2 时效原则

快速反应能力决定了水污染控制对策的成败。一旦得到事故报警,即使在许多基本参数不完全准确的情况下,系统也应能提供相应的污染事故的参考信息,如何时、何地、何对象已经或将要受到影响,受到什么样的影响等信息。

2.2 模拟输入参数的弹性组织

由于目前水环境监测系统不能进行同步监测,污染事故的模拟则不能完全依赖于实测数据,因此通常采用弹性组织法来输入模拟参数。弹性组织法包括假设法、类比法等。假设法是假设事发地有目击者能提供出事的地点、时间、出事对象(如沉船)等基本信息,甚至还能提供相对专业的信息,如出事船只大小、运载物品的类型以及当地水情状况描述等。类比法是根据有限的现场信息以及相关知识与经验,经专业分析可推断出事水域基本信息,如水文情势(流速、流量、水深等)、污染源及其污染状况等。

3 GIS 空间分析与水污染信息表达

污染信息可视化,除了应能以“场”的形式^[1]展现污染带浓度分布外,还应能在时间上提供事故污染过程及污染动态信息,在空间上提供区域地理信息表达。关注与使用水污染模拟结果的人员大多数是地方行政领导和一些非专业人员,因此模拟分析结果应能实时、直观、明确地展现。

采用GIS,可根据目击者提供的地名与位置,获取事发地的地理坐标,可充分利用遥感技术获得水环境及水污染信息,作为水污染模型建立与检验的一体化信息资源。水环境管理与决策分析,有利于建立污染源与水环境保护对象的空间关系,如污染源与水源、取水口、水产养殖区和水生态保护区之间的方位、距离等关系,污染带空间分布亦可同时体现。

水污染的空间关系有3种形式:一是显性空间关系,即受污染对象与污染带的直接空间关系,如地理对象之间的方位、距离等;二是隐性空间关系,即通过第三空间对象的属性传递产生的两对象之间的非显性空间关系,如突发事故水污染带污染了取水口,受害最严重的不是取水口,而是广大供水服务区用户,即影响了他们的正常生产和生活;三是动态空间关系,即二者的空间影响随着时间不断变化,如随着污染带的运移,其上游的保护目标空间上是逐渐脱离污染带,而其下游保护目标则将要或正在受到污染带侵袭。水污染事故处理的决策者不仅关注水体污染本身的信息,更关注如何将污染损失减少到最低限度的信息,尤其是水污染的隐性和动态空间关系,而这可在GIS环境中进行充分的分析与表达^[2]。

4 河流污染事故模型

污染事故中污染物质的排放,可认为是在有限时间内的连续排放,故可采用瞬时无限长线源无界空间的一维水流二维扩散模型^[3]

$$C'(x, y, t) = \frac{m_z}{4\pi Dt} \exp \left[-\frac{(x - ut)^2 + y^2}{4Dt} - k \frac{x}{u} \right] \quad (1)$$

并经过卷积计算(式2)得出污染扩散混合带浓度分布。

$$\begin{aligned} \alpha(x, y, t) &= \int_0^{t'} C'(x, y, t - \tau) d\tau = \\ &= \int_0^{t'} \frac{m_z}{4\pi D(t - \tau)} \exp \left\{ -\frac{[x - u(t - \tau)]^2 + y^2}{4D(t - \tau)} - k \frac{x}{u} \right\} d\tau \end{aligned} \quad (2)$$

式中： $C(x,y,t)$ —— t 时刻 x,y 处的污染物浓度； m_z ——污染物排放强度； D ——扩散系数； k ——综合降解系数； t ——需要预测污染物变化状态所设定的时间； t' ——预计污染物排完所需时间； τ ——卷积变量； u ——断面平均流速； x,y ——相对于污染源位置的坐标值。

利用式(1)计算时需提供事故发生地的位置、流速、污染物现场监测资料及该污染物的本底值资料。污染事故一旦发生,应立即组织现场监测,获得污染源的排放强度 m_z 。监测断面布置位置,可根据当时水流的流速、污染事故已发生的时间、污染物的类型等实际情况确定,一般可设在事故发生地下游100~500 m处。监测垂线,一般宜布置左、中、右3条,具体位置根据污染事故位置及断面流速分布情况而定。测点数目,根据水深及污染物类型确定。现场监测往往受到许多条件的限制,或不能及时到场,或不具备监测条件等,此时可根据上述弹性组织方法确定相关模拟输入参数。

式(1)理论上仅适用于矩形水槽均匀流浓度场扩散模拟计算,在弯曲河流上使用,由于部分参数需要取河段平均值,对计算精度有一定影响。由于污染事故存在许多不确定性,如泄入江河的污染物类型不同,其扩散、降解性能各异,如何准确模拟污染事故,仍有许多问题需要研究。

5 长江三峡水污染突发事件模拟演示

长江三峡工程建设对环境的影响受到广泛关注。1999年,河海大学等研制了三峡大坝至葛洲坝两坝区间水环境决策支持系统^①。该系统以水环境污染控制为重点,建立区间水环境GIS、水量、水质一、二、三维模型,以及决策分析系统,支持水环境管理。其中水污染事故模拟系统是一独立子系统。一旦发生因沉船、泄漏之类突发性水污染事故,该子系统可为此类事故处理提供决策支持。

水污染突发事件模拟系统采用模型式(2),经VB编程模拟计算获得污染带浓度时空分布。污染带时空分布与受污染带影响的水厂等水源保护对象的时空关系信息可在MapInfo管理的GIS环境中进行处理与表达。其操作过程如下:

假设在两坝区间任意地点发生沉船污染事故,则启动该系统,在GIS界面用鼠标点击事发地点,根据界面提示输入沉船上污染物总量(假设1000 t)。假设事发1 h后在事发地下游100 m处,分左、中、右3条垂线进行了监测,获得3条垂线的流速分别为0.4 m/s、0.5 m/s、0.4 m/s,污染物浓度分别为100 mg/L、300 mg/L、200 mg/L。取扩散系数 $D=1\text{ m}^2/\text{s}$,综合降解系数 $k=0$,那么系统可模拟预测出事故发生后任意时间污染水体的状况(相对于上游来水本底浓度值),见图1。该系统不仅可直观提供污染带的时空分布,而且可动态计算污染带面积、污染带与相关保护对象之间的

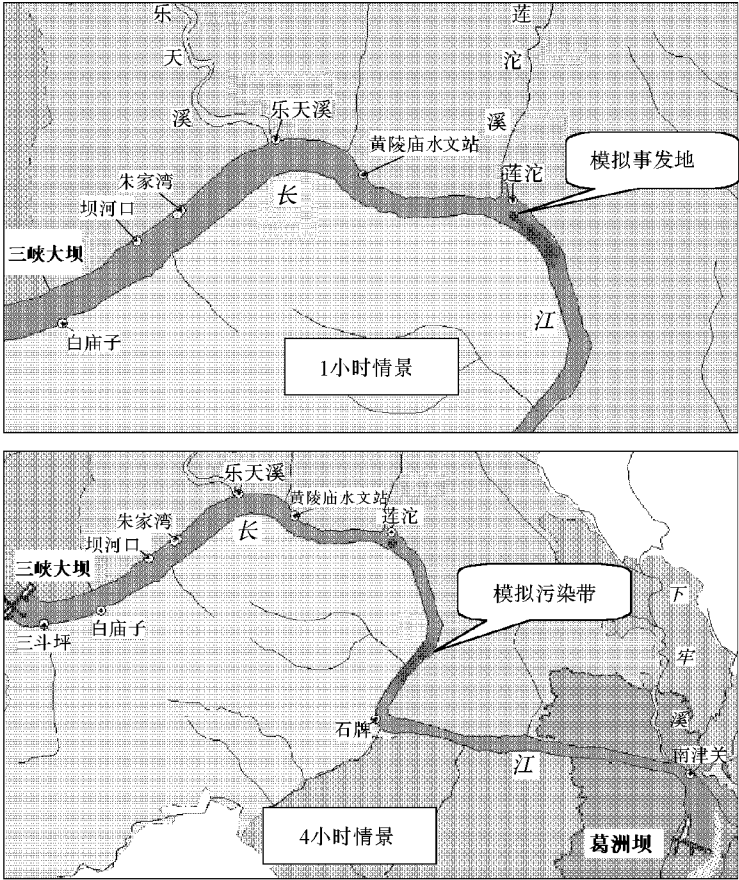


图 1 水污染突发事件时空模拟演示

Fig.1 Space-time simulation of sudden water pollution at Three Gorges

① 河海大学,长江三峡水环境监测中心.三峡大坝和葛洲坝区间水环境监测及决策支持系统研究报告,1999.

距离变化等数据,同时还可根据动态监测值进行污染带分析计算。

6 结 语

将 GIS 与水质数学模型相结合,对水污染事故进行模拟分析,不仅可反映污染事件造成的水污染状况及其随时间的变化过程,而且可表达事发地及其污染水体的地理位置及其空间变化情况,尤其是受害对象与污染事故发展的时空关系。GIS 与数模集成的水污染事故时空模拟系统对于突发事件具有快速反应能力,计算模型所需输入参数具有较大弹性,不受实测资料缺乏的限制,模拟过程可根据具体情况进行人工干预。这可为水环境保护,尤其是为处理突发性水污染事故提供强有力的决策支持。

参考文献:

- [1] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000. 217—220.
- [2] 边馥苓. 地理信息系统原理和方法[M]. 北京: 测绘出版社, 1996. 56—120.
- [3] 黄克中. 环境水力学[M]. 广州: 中山大学出版社, 1997. 36—41.

GIS and numerical model integrated for space-time simulation of sudden water pollution

DING Xian-rong¹, XU Jian¹, YAO Qi², CHEN Yong¹, ZENG Xian-min¹

(1. College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: In consideration of the indeterminateness in space-time distribution and pollution sources of sudden water pollution and on the basis of the time effectiveness of pollution control and remediation and the principle of decrease of pollution losses to a minimum, an analysis was made of the present situation of pollution accidents by flexible description of the pollution information, realizing a highly efficient simulation of the impacts of sudden pollution in rivers. Furthermore, a subsystem for simulation of water pollution accidents suitable for decision-making in management of water environment of the Three Gorges was developed by integration of GIS with the technology of water pollution modeling. The subsystem can reflect the specific situation of pollution accidents and its space-time variation, provide a powerful support for decision-making in treatment of water pollution accidents.

Key words: Three Gorges; water pollution accident; space-time simulation; GIS; water quality model