

流域水污染模拟预测及应急处理系统研究 ——以淮河为例

付俊娥^①, 田宏红^②, 李纪人^①

(^① 中国水利水电科学研究院, 北京 100048; ^② 日照市国土资源局, 山东 276826)

摘要: 流域水污染突发事件往往超出政府、社会和组织的常态管理能力, 造成对生命、财产、环境等的严重威胁和损害, 实现其模拟监测与应急处理意义重大。本文以 3S 技术作为支撑, 设计了流域水污染模拟预测及应急处理系统的采集层、数据层、应用层、表示层 4 层架构, 建立了复杂水流条件和水质调度要求的水污染模拟仿真模型, 并开发了实际系统, 通过在淮河流域的应用, 实现了对水污染的自动监测和突发事件应急决策处理。

关键词: 水污染; 水污染运移; 应急处理

doi: 10. 3969/ j. issn. 1000- 3177. 2011. 03. 022

中图分类号: P208 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000- 3177(2011) 115- 0116- 05

Research on Water Pollution Modulated Forecasting and Emergency Handling System of River Basin

FU Jun e^①, TIAN Hong hong^②, LI Ji ren^①

(^① *China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100048;*

^② *Rizhao City Bureau of Land and Resources, Rizhao 276826*)

Abstract: The sudden water pollution accidents of river basin caused the huge casualties and property losses, as well as enormous threats to the ecological environments and have by far exceeded the capacity of normal management of the governments, society and organizations, so that it is of great significance for water pollution monitoring and emergency handling. In this paper, based on 3S techniques, we developed the four layer architecture including acquisition layer, data layer, application layer and present layer, established the water pollution transportation model to meet the requirement of flood regulation and water quality's control, and built the application system. The application in Huaihe River realized water pollution automatic monitoring and emergency decision making handling.

Key words: water pollution; transportation; emergency handling system

1 引言

流域水污染突发事件是一种紧急事件或者紧急状态, 它在一定条件下出现和爆发, 超出了政府、社会和组织的常态管理能力, 往往对生命、财产、环境等形成威胁和损害。随着我国工农业生产和经济建设的迅猛发展, 水环境污染突发事件不仅在发生次数上, 而且在污染的危害程度上均有增加的趋势, 特别是一些重大环境化学污染事故接连发生, 例如 1994

年广西兴安发生了人为砷酸钠污染井水事件; 2002 年西江上游砒霜坠河事件引起社会恐慌; 2005 年吴江恒祥酒精有限公司厌氧罐发生爆裂, 造成河水变黑, 危及下游浙江嘉兴几十万居民饮用水安全; 2005 年中石油吉化公司双苯厂爆炸引发的松花江水体污染事件, 导致哈尔滨全市停水, 并引起邻国的严重关注。类似事故的频繁发生, 对建立一套集成自动化测报、水质评价、模拟预报、资源数据库、应急方案库等多功能于一体的应急决策管理系统提出迫切要求。

收稿日期: 2010- 04- 21

作者简介: 付俊娥(1976-), 女, 研究方向为水文学与水资源。

E mail: fujie@iwahr.com

在此背景下,本文针对我国主要流域的潜在环境突发事件的可能性、污染强度的分布、扩散速度和对周边环境的影响程度进行研究,综合采用空间信息技术,开发建立了江河流域水污染模拟预测及应急处理系统,并在淮河流域示范应用。系统实现了3S技术的集成应用,利用GPS获取固定监测站、移动监测站的准确位置,并将监测的数据通过卫星通讯传输系统发送到信息中心,更新系统综合数据库;利用RS及时获取流域水体图像,利用水质模型监测其变化,及时发现水污染事件;通过GIS实现了空间数据的存贮、分析以及水污染模拟模型处理结果的可视化展示。

2 系统架构

为满足水污染事件自动监测、模拟预测和应急

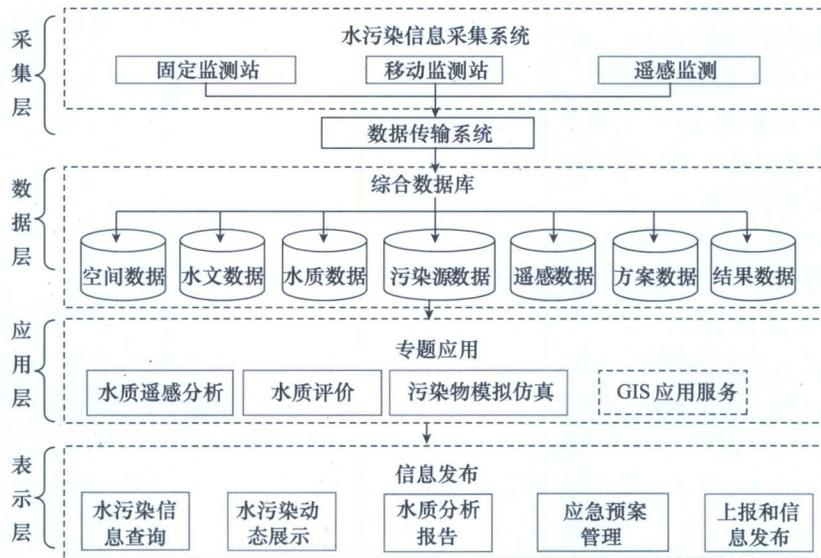


图1 系统架构

3 水污染模拟仿真模型

水污染模拟仿真模型是江河流域水污染模拟处理的核心模块。通过模拟仿真模型模拟分析污染水团规模、运动特征、浓度峰值出现和持续时间、污染物入河总量、污染物河流输送通量、污染物滞留沉积量等信息,为进行水污染控制规划、水环境时空变化情景分析、水污染治理措施效果预测、水环境调度预测分析等提供科学有效的技术支持手段。

本文以淮河干流为例,建立了水污染模拟仿真模型。该模型对各种污染源排放条件变化的水质响应进行预报,对污染源以下河段中的重点水域,给出污染团到达的时间和最高浓度值,对污染团运行提前发出预警,以争取时间采取措施降低或消除影响。

处理的应用需求,本文设计系统架构由采集层、数据层、应用层和表示层4层体系构成,如图1所示。采集层主要实现应急监测数据的采集与传输,包括来自固定监测站、移动监测站的水质数据和遥感影像数据。数据层用于存储和提供系统所需的各类基础数据和应急监测数据。应用层主要包括水质遥感分析模型、水质评价模型、污染物运移扩散模型和GIS应用服务等,其中水质遥感分析模型主要实现流域主要水质参数的遥感反演;水质评价模型用于根据水污染扩散范围和影响进行水污染灾情的应急评估;污染物运移扩散模型对流域水环境进行模拟;GIS应用服务提供数据处理的应用工具、方便用户进行空间查询和分析。表示层是为用户提供交互式界面,方便用户查询、分析结果信息。

用于描述河流水体水质的数学模型由两部分组成:一部分描述水体水流运动规律的水动力水流模型,另一部分刻画这些水质要素变化的水质模型。前者是后者的基础和前提条件。

(1) 水动力水流模型

二维水流模型的基本方程为:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(\mu H) + \frac{\partial}{\partial y}(\nu H) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = Q \\ & \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \\ & = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + f v - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{3/2} u + \frac{k}{H} W_x |W| - \frac{Q}{H}(u - u_0) \\ & \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \\ & = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + f u - \frac{g}{HC^2}(u^2 + v^2)^{3/2} v + \frac{k}{H} W_y |W| - \frac{Q}{H}(v - v_0) \end{aligned}$$

式中, 参数 f 定义为: $f = 2\omega \sin \varphi$ (φ 为纬度, ω 为地球自转速率); 风剪切应力参数 k , 定义为: $k = \frac{\rho C_D}{\rho}$; η 为水位变化; H 为总水深; u 为 x 方向速度; v 为 y 方向速度; t 为时间; g 为重力加速度; C 为谢才系数; ρ_a 为空气密度; C_D 为风拽系数; ρ 为流体密度; W_x 为 x 方向风速; W_y 为 y 方向风速; $|W|$ 为风速; u_0 为 x 方向注水速度, v_0 为 y 方向注水速度。

(2) 水质模型

水质模型基本方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(H D_x \frac{\partial c}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(H D_y \frac{\partial c}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial x}(H c u) = \frac{\partial}{\partial t}$$

$(H c) + S - A Q C_0$

式中: c 为浓度、多余悬浮物或温度; u 为水流问题得到的各单元速度; D_x 为纵向扩散系数; D_y 为横向扩散系数; H 为总水深; S 为溶质通量项; Q 为注水量; c_0 为注水浓度、多余悬浮物或温度。

在以上数学模型的基础上, 采用淮河流域的实际数据建立水污染模拟仿真模型。模型计算范围上始淮河干流润河集, 下至蚌埠闸(图 2)。模型以润河集流量为入流边界, 蚌埠闸水位作为出流边界, 主要有淠河、颍河和涡河 3 条主要支流, 采用各支流上游横排头流量、阜阳闸泄流量和蒙城闸泄流流量, 将三者经过马斯京干法演算后的结果分别作为淠河、颍河和涡河的旁侧入流。根据淮河干流 118 个断面实测资料, 进行河道地形概化, 采用三角网格划分为 3260 个节点、4525 个单元, 单元边长最长约 200m,

最短短约 50m(图 3)。模型的输入为水位、流量和污染负荷量, 污染物质主要考虑 COD_{Mn} 、 NH_3-N 。

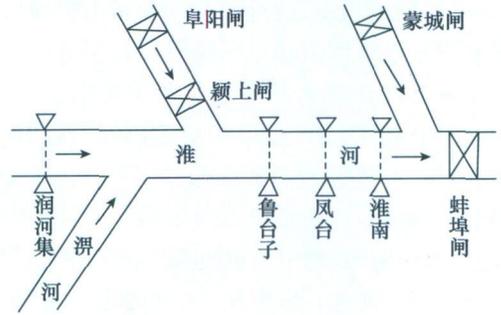


图 2 淮河干流示意图

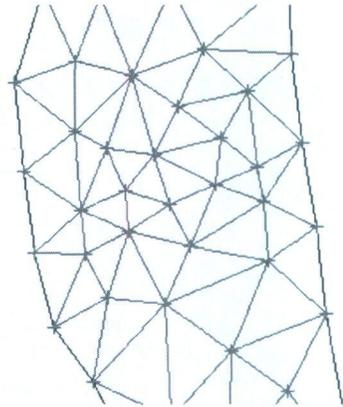


图 3 网格剖分图

选取 2004 年水文条件对模型进行了率定, 根据率定的模型参数, 复演 2005 年淮河联防调度的实况, 通过与实测过程的对比来检验模型的适应性、稳定性和模拟精度。结果如图 4~ 图 9 所示。

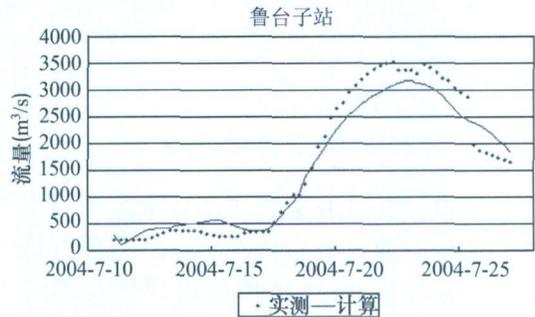
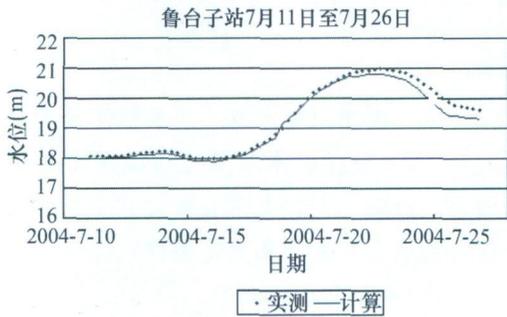


图 4 水文站水位流量率定结果(2004 年)

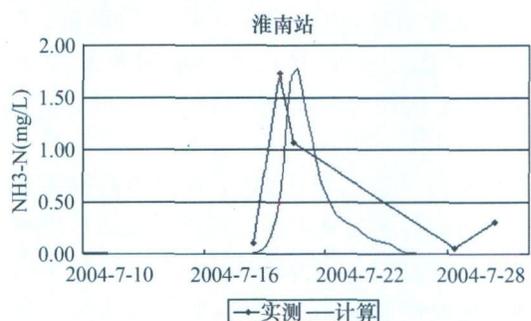
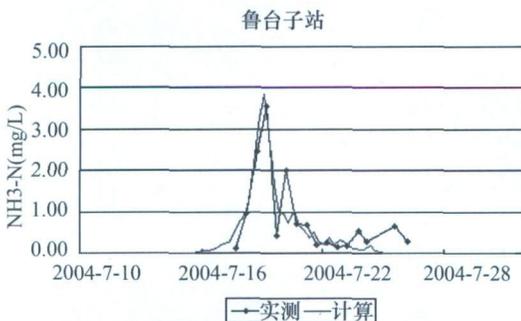


图 5 NH_3-N 率定结果(2004 年 7 月)

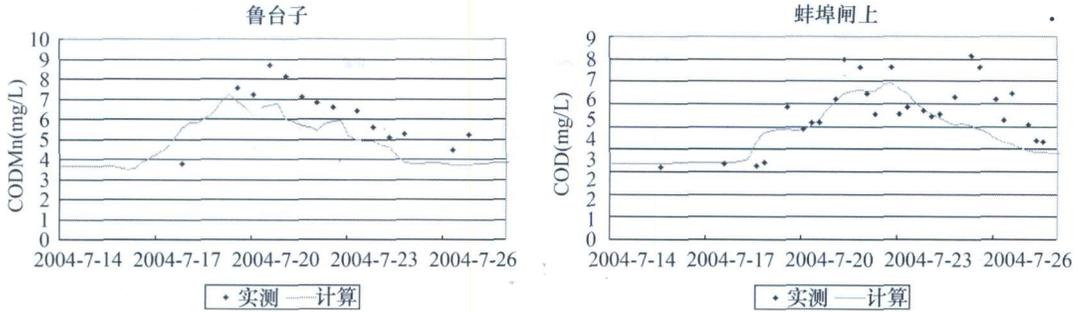


图6 CODMn 率定结果(2004 年 7 月)

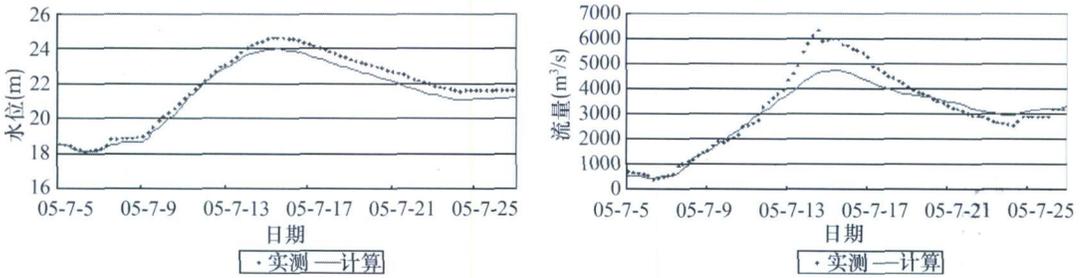


图7 鲁台子站水位流量验证结果(2005 年)

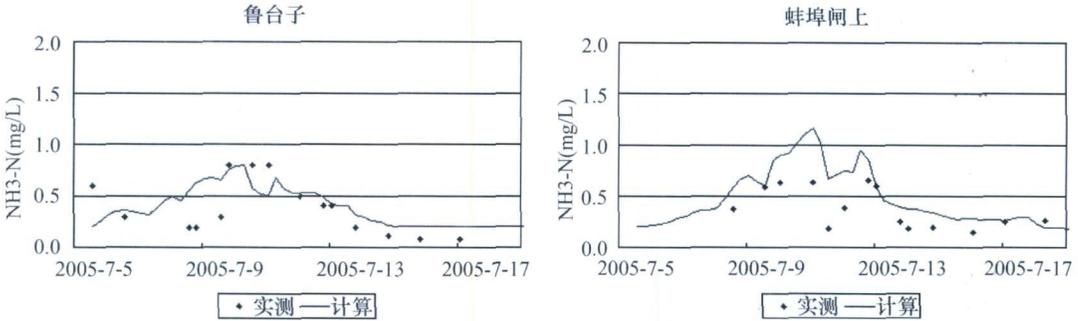


图8 NH3-N 验证结果(2005 年 7 月)

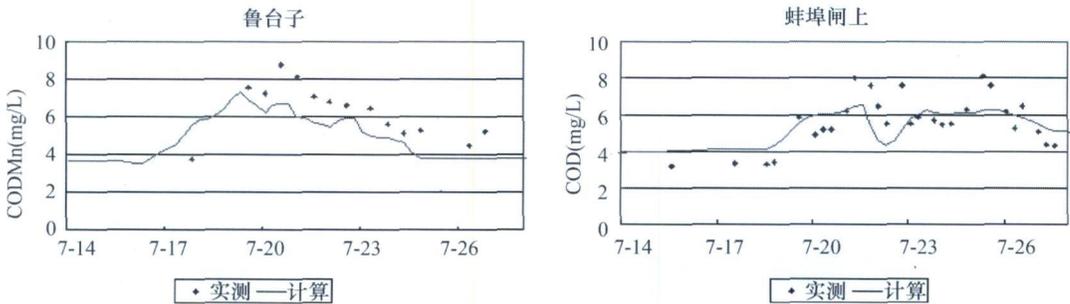


图9 CODMn 验证结果(2005 年 7 月)

结果表明,模型模拟计算的水位、流量、NH₃-H、CODMn 的过程与实测过程变化趋势一致,峰谷基本对应,各指标的峰值相对误差在合理范围以内。说明本文研究建立的模型能比较好地反映淮河水污染联防重点区域内水系的水情、污情变化,能够为淮河水污染联防调度提供技术支持。

4 实现与应用

在采集层、数据层、应用层和表示层 4 层体系架

构下,以建立的淮河流域水污染模拟仿真模型为基础,本文研制开发了具有信息处理、污染事件模拟和可视化时空分析等多种综合管理功能的流域水污染模拟预报和应急处理系统。系统实现的功能包括:

(1) 水污染数据自动采集

系统集成流域原有的地面固定站、移动站水质监测设备,建立了包括遥感卫星数据采集、航空遥感数据采集(特殊情况下使用)、地面水质监测站的水污染数据自动传输系统,收集各监测点的监测数据,并

通过卫星或网络直接传输到数据处理与发射中心。

(2) 水污染遥感监测

系统利用高光谱遥感数据和陆地卫星数据,与来自地面的数据相结合,可以监测淮河流域大型企业的排污状况及江河水污染状态,从整体上反演水体的情况。

(3) 水污染模拟预报预警

运用建立的模型可以模拟预测联防调度下、突发污染事故下和水闸联合调度下 3 个不同方案的水质水量联合调度效果,对各种污染源排放条件变化的水质响应进行预报,给出污染团到达的时间和最高浓度值,对污染团的运行过程提前发出预警。

(4) 水污染可视化显示与辅助决策

系统将区域 DEM、卫星影像、三维信息及数值模拟成果多要素紧密融合,以表格、图形、报表、文字、多媒体等方式表示出来,使相关部门或决策者能够更加直观清晰地了解事故发生地的各类信息;采用静态、动态结合的数值模拟成果展示技术,模拟出污染发生、发展趋势的三维真实场景,通过人为干预以减少污染发生的可能性,并及时制定出污染应急预案与防治对策。

本文研建的流域水污染模拟预报和应急处理系统已在淮河流域得到了实际应用。淮河流域 2004 年颍河污染物的下泄过程模拟如图 10 所示。

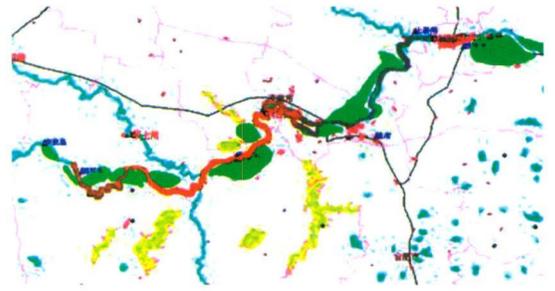


图 10 颍河污染物的下泄过程

5 结束语

流域水污染模拟预报和应急处理涉及到水文、地理、生态、环境等多个方面,本文在集成应用 GPS、GIS、RS、三维仿真、水动力学等方面的多种技术条件下,建立了淮河流域的水污染模拟仿真模型,实现了自动化测报、评估、预警预报、应急处理等一体化的综合应用。本文所建立的水污染模拟预测及应急系统通过在淮河流域的实际应用,有效提高了应对各种突发性水污染问题的应急决策能力。

参考文献

- [1] 姜卫星,张海平,陈玲,林卫青,黄浦江突发性水污染事故预报预警系统[C]//中国环境水力学:第七届全国环境水力学学术研讨会论文集.北京:中国水利水电出版社,2006:131-136.
- [2] 施益强.海上溢油事故应急反应系统的框架研究[J].灾害学,2002(4):87-91.
- [3] 熊德琪.大连海域溢油应急预报信息系统及其应用[J].交通环保,2002(6):5-7.
- [4] 孙俊.基于 OILMAP 的中国舟山港溢油管理信息系统[J].计算机仿真,2002(7):76-78.
- [5] 北京灵图软件公司.VRMp3.0 企业版用户手册[Z].2004.
- [6] 陈蓓青,等.三峡水库突发性水污染事件应急系统的开发[J].人民长江,2006,37(5):89-91.
- [7] 冉圣宏,陈吉宁.区域水环境污染预警系统的建立[J].上海环境科学,2002,21(9):541-544.
- [8] 陈惠君,唐允吉.广西桂江水质预警预报信息系统的研究[J].陕西水力发电,1997,13(2):50-52.
- [9] 崔伟中,刘晨.松花江和沱江等重大水污染事件的反思[J].水资源保护,2006,22(1):1-4.
- [10] 闫志刚,盛业华,左金鑫.3S 技术及其在环境信息管理系统中的应用[J].测绘通报,2001(增刊):17-20.
- [11] 司鹤,毕海普,李晓红.基于虚拟技术的三峡库区应急救援系统[J].中国安全科学学报,2007,17(4):21-24.
- [12] 李茂堂,姜永生,等著.基于 3S 的江河水污染监测与应用[M].现代教育出版社,2009.

(上接第 18 页)

- [6] Serot, J., Ginjac, D., Derutin, J. P.. SKiPPER a skeleton based programming environment for image processing applications[C]//Fifth International Conference on Parallel Computing Technologies. 1999.
- [7] Valencia, D., Plaza, A. Martinez P., Plaza, J.. Parallel processing of high dimensional remote sensing images using cluster computer architectures[J]. International Journal of Computers and Their Applications, 2007, 14(1):23-34.
- [8] Plaza, A. Valencia, D., Plaza, J., Martinez, P.. Commodity cluster based parallel processing of hyperspectral imagery[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2006, 66(3):345-348.
- [9] 陈国良,等.并行算法实践[M].北京:高等教育出版社,2004:61.
- [10] Schott, John R. Remote Sensing: The Image Chain Approach[M]. Oxford University Press, Oxford, 2007:17-19.
- [11] Li, G. Q., Liu, D. SH.. Key technologies research on building a cluster based parallel computing system for remote sensing[J]. LNCS, 2005(3516), 484-491.
- [12] 孙家桢.遥感原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2003:163-164.