

太湖流域水环境风险预警系统构建

李维新^{1D}, 张永春¹, 张海平², 刘 庄¹, 张龙江¹, 蔡金傍¹, 庄 巍¹, 章永鹏² [1. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042; 2. 丹华水利环境技术(上海)有限公司, 上海 200032]

摘要: 从流域整体性和系统性的理念出发, 调查分析太湖流域社会经济、资源开发利用等人类活动与水环境质量变化的关系, 进行太湖流域水环境风险预警的需求分析, 提出了太湖流域水环境风险预警系统的总体目标和结构设计, 构建了包括预警方案订制、风险预警模型库和预测结果三维展示 3 个子系统为一体的太湖流域水环境风险预警系统, 为太湖流域水环境风险评估与预警平台构建奠定基础。
关键词: 太湖流域; 河网水质模型; 风险预警; 三维展示系统
中图分类号: X832 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—4831(2010)S1—0004—05

Construction of Water Environmental Risk Early Warning System for Taihu Lake Basin. LI Wei-xin¹, ZHANG Yong-chun¹, ZHANG Hai-ping², LIU Zhuang¹, ZHANG Long-jiang¹, CAI Jin-bang¹, ZHUANG Wei¹, ZHANG Yong-peng² [1. Nanjing Institute of Environmental Sciences Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 2. Dan Hua Water Environmental Technology (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 200032, China]
Abstract: Proceeding from the concept of integrity and systematicity of the basin, relationships of the water environment quality of the Taihu Lake Basin with the social economy, resources exploitation and other human activities in that region were investigated and analyzed and so was the need for early warning of water environmental risks of the basin. On such a basis, overall objectives and structural design of the water environmental risk early warning system was put forth, and such an early warning system was built up integrating three sub-systems: early warning program customization, early warning model library and three-dimensional display of prediction results, thus laying down a solid foundation for water environment risk assessment and setting up of an early warning platform for the Taihu Lake Basin.
Key words: Taihu Lake Basin; water quality model for river network; risk early warning; three-dimensional display system

太湖是我国第 3 大淡水湖, 太湖流域是我国举足轻重的经济核心区和城市密集区。“十一五”期间, 土地面积不足全国 0.4%、人口不足 3% 的太湖流域创造了约 13% 的国内生产总值和约 20% 的财政收入。近年来, 太湖流域水质下降, 污染事故频发, 已对经济发展和社会稳定构成威胁^[1]。因此, 建立一套切实可行的太湖流域水环境风险监控预警系统, 对将流域水环境的被动管理转化为主动管理、常规管理转变为风险管理具有十分重要的意义^[2]。

流域水环境风险预警系统可为流域水环境风险管理提供直接信息, 包括风险源识别、影响过程及风险后果预测等, 从而为水环境风险管理提供技术支持。国内外在以河流为典型的流域水污染预警方面进行了一系列研究, 如德国和奥地利联合开发的多瑙河流域水污染预警系统、德国在莱茵河流域开发的水污染预警系统^[3-4]以及我国的辽河、汉江流域水质预警系统等^[5-6]。然而, 以浅水型湖泊为主的平原河网型复杂水流域的预警系统研究尚不多见。

此外, 水环境风险与流域内社会经济发展之间的关系也未在现有预警模型中体现。

1 需求分析与系统结构设计

1.1 预警系统需求分析

1.1.1 水环境管理技术手段不足

太湖流域地处长江三角洲经济发达地区, 科研水平虽然在全国处于领先地位, 但与流域面临的严重水环境问题相比, 依然存在很大的滞后性, 很难应对未来水环境形势发展变化的需求。太湖流域主要存在以下水环境管理问题: (1) 流域累积性生态风险水平不断提高, 危及流域水生态安全; (2) 尚未掌握流域水质变化、湖泊富营养化对流域人类活动的响应关系, 对水环境风险难以实现超前预防和控制;

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07528—005)
收稿日期: 2010—11—05
① 通讯联系人 E-mail: lvxlette@yahoo.com.cn

(3)缺乏流域层面的水环境风险管理系统,水环境风险管理,尤其是跨界管理能力薄弱,太湖流域水环境风险管理涉及江苏、浙江、上海等多个省市,从全流域层面对跨行政区的水环境风险实施有效管理与协调已成为亟待解决的主要问题;(4)环境管理依然停留在一般管理水平,缺乏风险管理理念,太湖富营养化及流域水环境质量变化是流域自然条件、社会经济、人类活动等多种因素综合作用的结果,因此,必须从流域的整体性、完整性、系统性出发,综合考虑流域平原河网与湖泊相连、自然环境与人类活动相互作用的特点来构建流域水环境预警系统。

1.1.2 缺乏有效的风险预警技术和手段

在流域风险控制的技术层面,该区域存在以下问题:(1)对流域风险状况和水环境变化趋势缺乏系统深入研究;(2)缺乏符合该区域特点的水环境预警模型和技术,现有的水环境预测数学模型一般只是解决了模型方程和计算方法问题,而在关键的模型参数率定和系数确定方面,还有很多不完善之处;(3)缺乏集流域层面的、集自然—社会经济—污染排放—水资源利用—水环境质量—生态为一体的流域水环境风险预警综合模型,由于湖泊是一个复杂的生态系统,基于风生流的湖泊常规水质预测和预警模型的应用效果往往不佳。

1.2 预警系统总体目标与结构设计

1.2.1 系统目标

太湖流域水环境风险预警系统由建立预测方案订制、预测模型库和结果展示 3 个子系统构成,具体包括:(1)在建立太湖流域水环境风险数据库的基础上,整合链接系统和数据处理系统,完成流域水环境预测方案订制子系统;(2)建立包括水文、水动力学、汇水模型、河网水质及湖泊生态动力学模型在内的预测预警模型库;(3)采用空间曲面拟合技术、细节层次技术、对象建模技术、体一面一体化渲染技术等,将属性数据与空间数据结合,初步完成预警平台的三维展示系统,为流域水环境风险评估与预警平台的构建奠定基础。

1.2.2 系统结构

系统的部署采用 B/S 及 C/S 相结合的方式,其中,采用 C/S 进行与预测预警模型相关的、较为专业复杂的部分操作,而 B/S 主要实现系统整体功能结构组织、数据查询显示以及结果统计分析功能。B/S 系统引入已经较成熟的 SilverLight 新一代前端显示技术来构建预测结果三维展示系统,使系统的用户界面更加友好易用;同时,引入 SmartClient 系统集成技术,使 B/S 与 C/S 子系统无缝集成在一

起,便于系统使用。

2 预警系统功能实现

2.1 预警方案订制子系统

目前已经开发完成了累积风险、突发性风险和藻华预测预警 3 大功能的方案订制。在模拟方案检测并计算完成后,用户可以通过 Web 页面查询国控断面、省界断面、重点水源地等重点断面的污染物浓度变化过程,也可以对重点断面进行结果评估与对比分析。除了对污染事故进行预测预警模拟之外,用户还可以通过对水工构筑物的操作调度,生成多种风险防范措施和应急响应方案,从而对事故应急处理提供决策支持。

(1)累积性风险预警方案订制。根据流域现有污染源的分布和排放强度,计算流域不同地区水体中污染物浓度,同时对各种水环境风险管理方案的实施效果作预测,计算不同方案下流域不同水体中污染物浓度的变化情况和水质改善效果。通过该子系统,用户可以选择太湖流域特定的模拟区域,在该区域已有模型基础上进行累积性风险的预测预警工作。选择区域后,用户可以制订模拟方案,进行诸如模拟时段确定、水动力边界确定、水动力参数确定、水质边界条件确定等操作,其中水质边界条件可以通过系统界面进行局部调整,也可以通过污染负荷削减模块进行多种方式的负荷削减操作。

(2)突发性风险预测预警方案订制(图 1)。建立该子系统的主要目标是在突发性风险事故发生后,能够通过系统快速预测事故的发展态势,分析污染团的迁移和扩散情况,计算下游特定地点的污染物浓度变化;同时,还能够预测不同应急处置方案的实施效果,为最优方案的筛选提供技术支撑。在该子系统中,用户可以选择太湖流域内发生污染事故的模拟区域,在该区域已有的模型基础上制订应急模拟方案,进行诸如模拟时段确定、水动力边界确定、水动力参数确定、水工构筑物操作调度、污染事件信息录入与定义、水质边界条件确定等一系列操作。

(3)藻华预测预警子系统。建立该子系统的主要目标是通过生态动力学模型,根据气象、水文以及水体中营养盐浓度和藻类密度,对湖体中藻类的的演替、密度和藻华的形成及动态变化做出预测,并将预测结果提供给决策者,以便制定并实施有针对性的应急预案。

2.2 预警模型库子系统

模型库子系统是预警系统的核心,是完成流域

水环境风险预警的重要工具。在识别流域水环境风险源的基础上,研发和构建流域水环境预警模型库,模拟被污染水体在流域内的传输过程,预测污染水体通过的时间及污染物的最大浓度,从而为水环境风险管理及应急决策提供技术支持。模型库子系统的结构见图 2。



图 1 太湖流域突发性水环境风险预警方案订制界面

Fig.1 Interface for programming of early warning of sudden water environmental risks in the Taihu Lake Basin

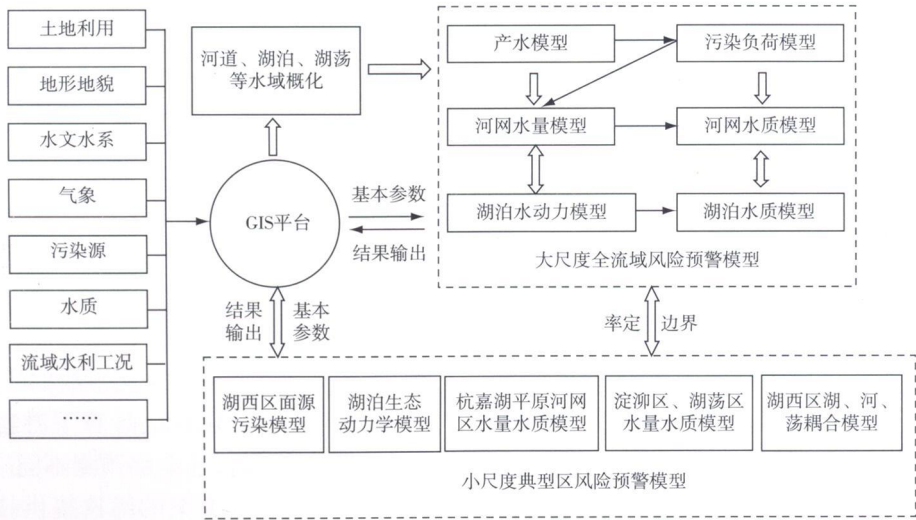


图 2 太湖流域风险预警综合模型库构建示意

Fig.2 Sketch of the structure of the early warning model library subsystem for the Taihu Lake Basin

(1)全流域水文模型。将太湖流域划分为 41 个子流域,收集流域内主要水文站点的历史实测降雨值、雨量等值线图和实测蒸发数据,构建全流域水文模型,并将该模型与河网水动力学模型相耦合,对降雨产流过程和水量平衡进行分析。

(2)一维河网水动力学模型。采用 MIKE 11 HD 模型工具建立太湖流域一维河网水动力学模型。结合各水系特征对太湖流域河网进行概化,得到概化后河网共 1 054 条。由于太湖流域河网基本由闸门和泵站控制,对目前 78 个闸门和泵站全部通

过模型描述来执行。将太湖流域水系与长江连通,模型上游采用长江大通水文站实测流量边界,下游主要采用长江口和杭州湾实测潮位作为水位边界,有效解决了现有方法孤立计算太湖流域水动力的弊端。此外,还将太湖湖区作为准二维的方法耦合到一维全流域水动力学模型中,同时考虑到湖区的降雨和蒸发过程。

(3)太湖流域污染负荷模型。建立太湖流域分布式污染负荷模型(DWLM),针对非点源污染时空分布不均匀和不连续的特点,对污染负荷模型做出

了较大改进。将非点源污染分为城市和城镇降雨径流污染、旱地降雨径流污染、稻田降雨径流污染、农村生活污染、畜禽养殖污染和水产养殖污染等类型,分别采用不同模式测算各类污染源的污染负荷。利用 DWIM 模型对全流域主要污染负荷量进行测算,并将测算结果与水动力和水质模型相耦合。

(4)采用 ECO Lab数值模拟软件构建太湖流域水质模型,同时构建一维河网水质模型,并将该模型与流域产汇流、水动力和污染负荷模型相耦合。水质模型的主要模拟指标包括溶解氧(DO)、氨氮(NH₃-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、生化需氧量(BOD₅)、

磷(颗粒性和溶解性磷)和化学需氧量(COD)。模型参数中还考虑了有机物质降解、光合作用产氧、动植物呼吸、大气中氧的交换、悬浮 BOD₅与河床间的交换、河床需氧量、硝化与反硝化等过程。

2.3 预测结果三维展示子系统

采用目前先进的空间曲面拟合技术、细节层次技术、对象建模技术、体一面一体化渲染技术等,将属性数据与空间数据结合,初步完成了预警平台的三维展示系统构建,展示结果示例见图 3。具体采用的技术包括:

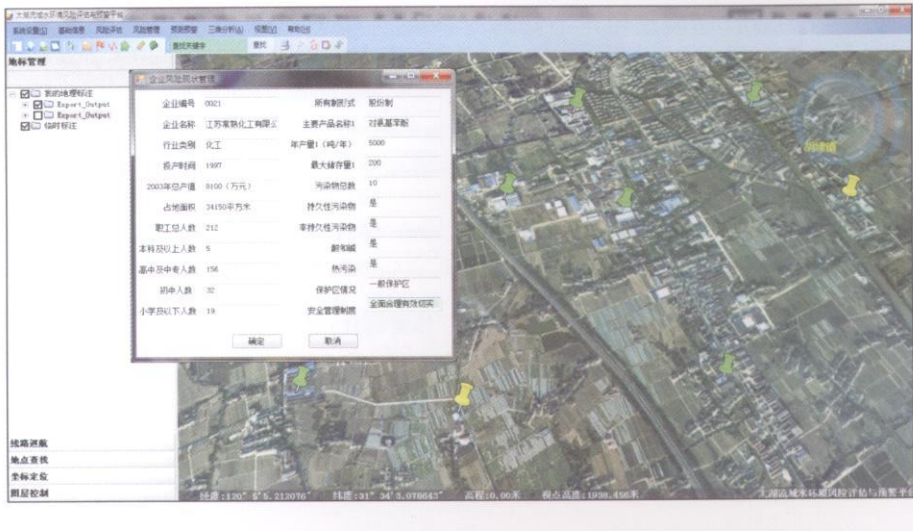


图 3 太湖流域水环境风险预警系统污染源三维展示结果

Fig 3 Pollutant source three-dimensional display of the water environmental risk early warning system for the Taihu Lake Basin

(1) 将空间信号等的作用范围进行离散化采样,并将采样点进行结构化建模,将曲面拟合成果置于由数字地形模型(DTM)构建的三维环境中。

(2)针对原始的多面体建立面片模型,并根据视景远近不同,对原始的面片几何模型按不同的逼近程度进行简化,从而达到在不影响视觉效果的情况下降低数据复杂程度和 I/O 吞吐量的目的,提高多面体数据的访问和渲染效率。

(3)利用统一三维模型驱动引擎,将不同格式三维模型的结构解析、位置解析、渲染方法进行统一,从而支持插件模式,将 Colada 模型、X 模型、KMZ 模型等多种三维模型在系统中进行动态插入,以实现在三维场景中,交互式、实时化地插入、移动、编辑三维模型。利用对象建模技术,并结合缓冲、透视等空间分析手段,实现基于三维场景的设施建设规划和设备布置规划。

(4)将表现数字地形地貌的表面模型和表现设备对象的体模型通过三维坐标结合,并根据地形起伏,对对象模型在场景中的植入深度、地形遮蔽情况进行分析,在内存中构建成具有统一基元特征的一体化渲染模型,从而能够利用统一的光照、阴影、方位变换、投影方法以及模型渲染方法对三维场景进行高效的一体化渲染,提高三维场景的仿真程度。除此以外,系统还采用航空遥感影像作为 GIS 数据源,具有分辨率高、大面积连续覆盖、时相一致、无云覆盖等优点。

3 结果与展望

3.1 该预警系统已解决的关键技术

(1) 一维河网模型通过 SO(structure operation) 模块进行水工建筑物调度,实现了内河以及沿江、沿海闸群联调,同时,通过 SO 模块,可以将太湖流域

大型水利调水工程的复杂调度规则设置到模型中,使得闸群和泵站系统联合调度与水动力学演算在模型中得到有效结合。

(2)模型库中引入了生态数值模拟软件 ECO Lab来描述化学与生态系统之间的相互作用和形态变异过程。该模型是一个开放通用性工具,用户可基于此来自定义水生生态模型以模拟诸如水质、富营养化、重金属分布和生态状况等。采用 ECO Lab模块构建水质模板,可以将太湖流域内的大量水质研究成果和蓝藻研究进展嵌套到 ECO Lab模板中,有助于机理研究成果的有效利用。

(3)系统集成成了累积性风险、突发性风险和藻华爆发风险的预测预警子系统,能满足用户不同的应用需求;系统操作灵活,用户可以直接对水工建筑物和水质模型模板进行操作,同时将重点风险源的预测结果进行统计和评估,订制结果更具针对性。此外,采用目前先进的系统开发软件开发了预测结果三维展示子系统,使界面更友好,操作更直观。

3.2 系统应用展望

太湖流域水环境风险预警系统以信息技术为基础,综合运用 GIS、网络、多媒体等现代高新科技手段,利用河网水质模型,并结合环境风险管理理论,

在太湖流域环境风险管理方面进行了尝试。但在在线监测数据实时接入与处理、提高预警预测结果的精度、多风险事件叠加结果预警、风险防范及应急预案制订等方面距离业务化运用还有一定距离,需在今后的研究中进一步完善。

参考文献:

- [1] 叶建春,贾更华,朱威. 加强太湖流域综合管理维护河湖健康生态[J]. 人民长江, 2007, 38(11): 1—3.
- [2] LI Wei-xin, ZHANG Yi-min, LIU Zhuang et al. Outline for Establishment of the Taihu Lake Basin Early Warning System[J]. *Eco-toxicology*, 2009, 18(6): 768—771.
- [3] PPINTER G G. The Danube Accident Emergency Warning System[J]. *Water Science and Technology*, 1999, 40(10): 27—33.
- [4] PUZICHA H. Evaluation and Avoidance of False Alarm by Controlling Rhine Water With Continuously Working Biotests[J]. *Water Science and Technology*, 1994, 29(3): 207—209.
- [5] 李秉文,刘明,冯明祥. 辽河流域水质预警预报系统的探讨[J]. 东北水利水电, 2000, 18(9): 39—42.
- [6] 窦明,李重荣,王陶. 汉江水质预警系统研究[J]. 人民长江, 2002, 33(11): 38—42.

作者简介:李维新(1966—),男,江苏徐州人,研究员,博士,主要从事水环境风险评估与预警方面的研究。E-mail: lw-x-lette@yahoo.com.cn