

网络出版时间:2014-07-09 11:51

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.08.025

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.08.025.html

三峡库区事故型水环境污染风险评估 系统的设计与实现

李国伟^{a,b},周廷刚^{a,b},曾 波^a,沈敬伟^{a,b},李宗峰^a

(西南大学 a 三峡库区生态环境教育部重点实验室,b 地理科学学院,重庆 400715)

【摘 要】 【目的】构建三峡库区事故型水环境污染风险评估系统,为政府相关部门对三峡库区水污染事故的风险评估及决策提供支持。【方法】采用 GIS 技术以及 Silverlight 技术的有效集成,对系统的总体设计、功能设计和关键技术进行研究;在此基础上,采用 B/S 架构,以 Microsoft Visual Studio 2010 和 ArcGIS Server 9.3.1 为开发平台,构建三峡库区事故型水环境污染风险评估系统,并对其应用实例进行分析。【结果】在解决了风险源分级方法、敏感目标分级方法和风险分区方法等关键技术的基础上,成功建立了三峡库区事故型水环境污染风险评估系统,该系统具备数据管理查询、风险源及敏感目标分级评估、风险分区评估等多种空间辅助决策功能,可满足客户的基本需求。【结论】该系统实现了基本的 GIS 功能及风险评估功能,具有较好的可行性和实用性。

【关键词】 事故型水环境污染;风险评估;Silverlight;GIS;三峡库区

【中图分类号】 X52

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)08-0221-08

Design and development of risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

LI Guo-wei^{a,b}, ZHOU Ting-gang^{a,b}, ZENG Bo^a, SHEN Jing-wei^{a,b}, LI Zong-feng^a

(a Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region of Ministry of Education,

b School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: 【Objective】 This study aimed to establish a risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region, providing decision support for water pollution accident risk assessment in Three Gorges Reservoir Region. 【Method】 Through the effective integration of GIS and Silverlight, the overall design, function design and key technologies of the system were studied. Then, the risk assessment system of accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region was built using B/S as architecture and using Microsoft Visual Studio 2010 and ArcGIS Server 9.3.1 as the platform. The application examples of the system were analyzed as well. 【Result】 Based on the key technologies including risk source classification method, the sensitive target classification method and risk zoning method, the Three Gorges reservoir water accident environment pollution risk assessment system with the data query and management, risk source and the sensitive target classification and assessment, risk zoning assessment, and other spatial aided decision-making functions was established. It met the customer's basic needs. 【Conclusion】 The established system achieved the basic GIS function and risk assessment function.

【收稿日期】 2013-06-13

【基金项目】 国家水体污染控制与治理重大科技专项(2009ZX07528-003-07);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(XDJK2013-C035);西南大学统计学一级学科博士点资助项目

【作者简介】 李国伟(1986—),男,广东茂名,硕士,主要从事遥感与 GIS 开发及其应用研究。E-mail: ooolilili@126.com

【通信作者】 周廷刚(1971—),男,四川南部人,教授,主要从事遥感与地理信息系统及其应用、生态环境遥感研究。

E-mail: zhoutg@163.com

It also had good feasibility and practicality.

Key words: accidental water environment pollution; risk assessment; Silverlight; GIS; Three Gorges Reservoir Region

近年来,三峡库区水环境形势不容乐观,长江流域突发性水污染事件也有逐年增加的趋势。葛洲坝库区黄柏河黄磷污染事件、万州航空油泄漏事件、沱江污染事件、重庆垫江县英特化工有限公司爆炸事故等,这些突发性水污染事故的发生给生态环境、人群健康和社会经济发展造成极大的损失和影响^[1]。事故型水环境污染最突出的特点就是事发地点和事发时间的不确定性。因此,除了需要考虑污染事故对水体本身及生态系统的风险外,还需要关注污染事故对其他敏感目标如水源、取水口的风险。

国际上对突发性水环境污染事故的研究,最初主要集中在对海域突发性污染事故的风险分析和评估上。Emerson 等^[2]分析了海域移动风险源(如船舶)及海岸线固定风险源(如化工厂、港口)的安全状况,探讨了突发性水污染事件对海岸生态环境的影响。美国颁布的《反恐法》明确规定,水源是美国重要的基础设施,该法第 5 部分对涵盖美国 90% 以上人口的 8 000 多个供水人口在 3 300 人以上的水源地供水系统的饮用水源保障和安全做出了专门规定,要求对这些水源供水系统进行易损性评价并制定应急对策计划^[3]。法国开发出一个称为“SE-ANS”的软件包,可为突发性水污染事故提供应急决策;欧盟在莱茵河、多瑙河、易北河先后建立了多瑙河水质突发事故预警系统(AEWPS-Danube Accident Emergency Warning and Prevention System),旨在开发跨界河流污染事故早期信息发布系统,建立流域国际合作程序,以便相关国家及时应对^[4]。

我国最近 10 年来对水环境污染的研究更多集中在固定点源、农业面源的污染控制,流域生态管理,土地利用调整等方面^[5-7],事故型水环境污染风险问题没有得到应有的重视,相关研究内容相对较少,主要是一些较为单一、分散的专题研究,如污染物质在水体中扩散行为的模型模拟^[8]、突发性水环境污染事故后的水质健康风险评估^[9]、河流突发污染事件的环境风险评价模型和事故泄露行为的模拟分析^[10]、水环境健康风险评价模型^[11]等。也有学者从区域角度建立了水环境预警、分析系统,如张羽^[12]从水源地安全的角度,针对水源地突发性水污染事件进行了风险评价理论及方法的实证研究;张钧^[13]对江河水源地突发事故的预警体系与模型进

行了研究;吕连宏等^[14]对沿江化工园突发水污染事故的预警指标体系进行了研究;袁洁等^[15]建立了城市饮用水源地地理信息系统;张艳军^[16]建立了“基于 SOA 的三峡库区水环境安全预警平台集成”。以上研究为保障饮用水源、水污染防治和动态监控等提供了强大的软硬件环境和技术支撑。但总体来看,对事故型水环境污染风险评价的研究还不足,关于水环境风险源的辨识、分级和标准、定性定量评估等都还缺乏研究,在理论和技术方法上也有待进一步分析。目前对三峡库区事故型水环境风险的研究还非常薄弱。

本研究从水环境污染风险源及敏感目标信息辨识、水环境风险源及敏感目标分级评估、分区评估等方面进行综合分析,以 .NET 为开发平台,采用浏览器/服务器(Browser/Server, B/S)架构,建立三峡库区事故型水环境污染风险评估系统,以期为政府相关部门对三峡库区水污染事故的风险评估及决策提供支持,也为整个三峡库区水环境的可持续发展提供有效的信息参考。

1 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的总体设计

1.1 系统的总体架构设计

以 Microsoft Visual Studio 2010 和 ArcGIS Server 9.3.1 为开发平台,以 SQL Server2008 数据库进行数据管理与分析,基于 C# 程序设计语言,搭载上富客户端 Silverlight 技术,设计三峡库区事故型水环境污染风险评估系统。系统运用 B/S 模式的 3 层体系架构,从系统开发的业务流程上看,系统平台可分为数据层、功能层和应用层 3 个层次(图 1)。

1.2 系统的数据库设计

三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的数据库主要由空间数据库、业务数据库和用户数据库 3 部分构成。其中空间数据库主要是指三峡库区的基础地理数据,主要包括行政区界、道路、主要居民区、河流水资源利用和生态环境等数据;业务数据库主要是风险源和敏感目标等数据,比如名称、经纬度、类型、所在区县、暴露人口、危化品名称、现存量(t)、临界量(t)、允许限值(mg/L)、事故发生概率、化学品校正系数、化学品浓度、跨界影响系数等;用

户数据库主要是用户、管理员信息表,赋予管理员最高权限,对用户注册、登录进行控制等。系统的数据

库设计如图 2 所示,为了保证数据安全,数据库有严格的权限管理和数据加密策略。

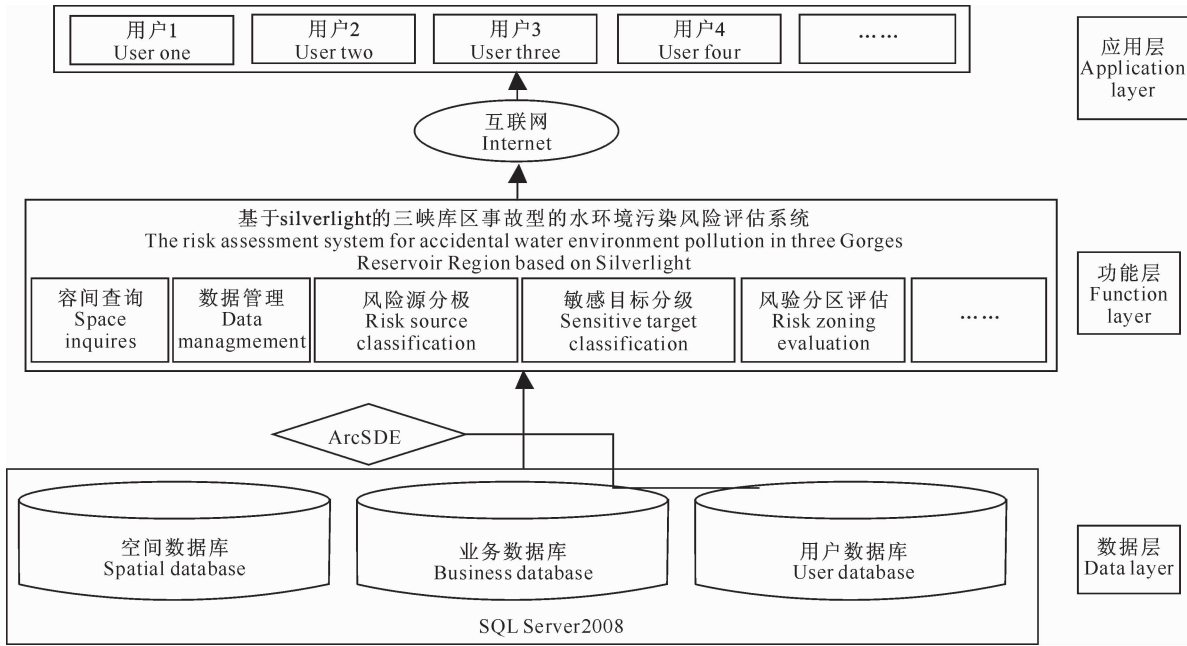


图 1 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的结构

Fig. 1 Architecture of the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

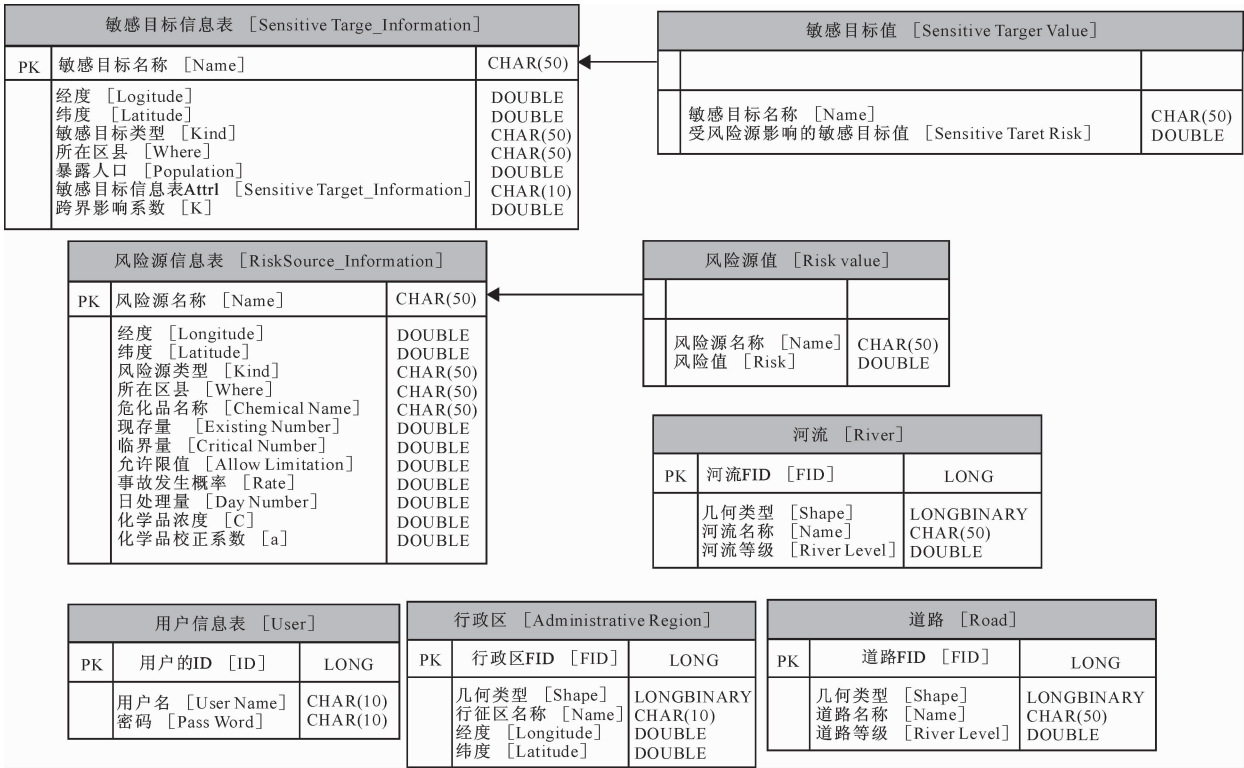


图 2 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的数据库设计

Fig. 2 Database design of the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

2 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的功能设计

结合三峡库区事故型水环境污染评估系统的特点,本系统主要由 5 个功能模块构成,分别是基本操作模块、数据输出模块、风险评估模块、信息查询模块、系统管理模块等。

块和系统管理模块,系统功能结构见图 3。ArcGIS API for Silverlight 组件式的开发,实现了地图基本操作、信息查询和数据输出功能;ArcSDE 结合 SQL Server 数据库管理,实现了风险评估和系统管理模块等功能。

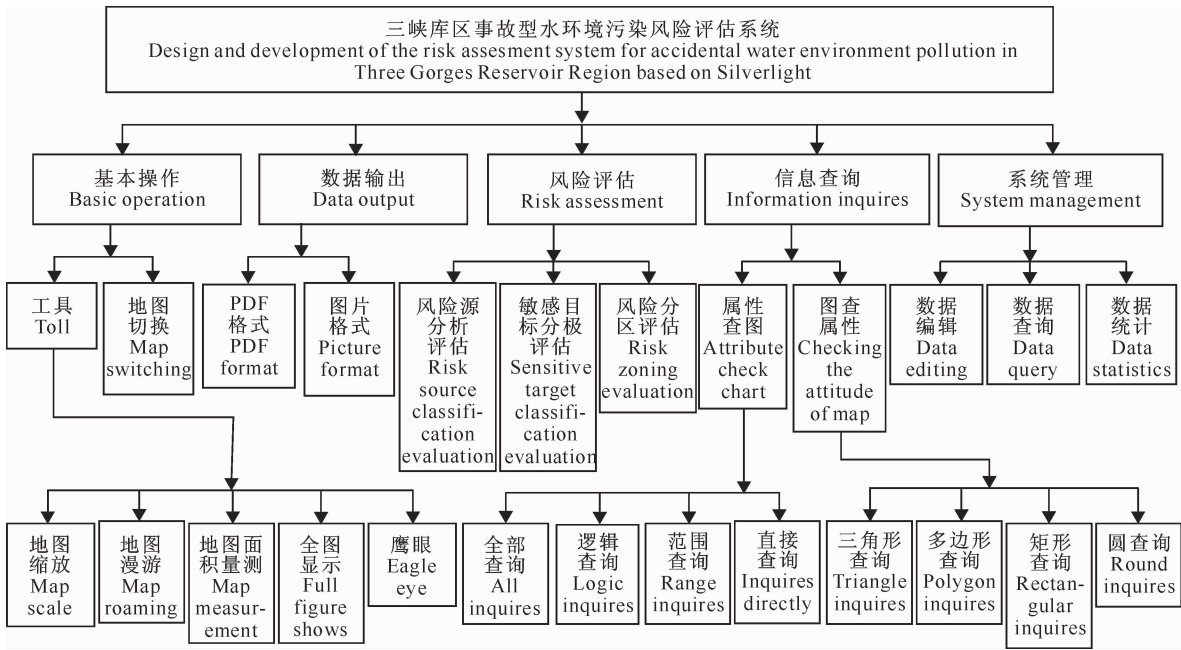


图 3 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的功能结构

Fig. 3 Functional architecture of the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

2.1 基本操作

基本操作主要是通过 ArcGIS API for Silverlight 接口实现的,主要包括地图切换、地图缩放、地图漫游、地图面积测量、距离测量、全图显示以及鹰眼等功能。

2.2 数据输出

数据输出主要以图片形式导出为主,提供 PDF、PNG、JPG、BMP 等 4 种常用的格式。

2.3 风险评估

风险评估是系统的核心模块,主要包括风险源分级评估、敏感目标分级评估、风险分区评估 3 个功能子模块。

2.3.1 风险源分级评估 系统的风险源包括 4 种,分别为化工厂、污水处理厂、危化品码头、水上加油站(船),对这 4 种风险源进行分级评估时,先调用数据库的风险源数据,计算出风险源的风险值 R_1 并保存到数据库,然后对计算出的风险值 R_1 进行分级,可以将风险源划分为 3 个不同的级别:特大风险源、重大风险源和一般风险源,分别以红、蓝、绿不同颜色在地图上显示出来,以便区别。

色的圆形符号在地图上显示出来,以便区别。

2.3.2 敏感目标分级评估 确定敏感目标时,以容易受到风险源的污染威胁为标准,敏感目标包括多种类型,其中饮用水源地与人类生产、生活最为密切,故系统中只对饮用水源地进行分级评估。具体过程为:先调用数据库的敏感目标数据,计算出敏感目标风险值 R_2 并保存到数据库,然后根据计算出的敏感目标风险值 R_2 进行分级,可以将敏感目标划分为 3 个不同的级别:特大敏感目标、重大敏感目标和一般敏感目标,分别以红、蓝、绿不同颜色的五角星符号在地图上显示出来,以便区别。

2.3.3 风险分区评估 根据风险源风险值 R_1 、敏感目标风险值 R_2 的不同,采用分别基于风险源的风险分区以及基于风险源和敏感目标耦合后的风险分区。在对风险源和敏感目标分级的基础上,根据不同的 R_1 和 R_2 值,计算各种不同的风险分区结果,然后根据分区标准将不同风险区划分为 3 类:高风险区、中风险区和低风险区,分别以红、蓝、绿不同颜色在地图上显示出来,以便区别。

2.4 信息查询

2.4.1 属性查图 1)全部查询。显示数据库中所有的风险源和敏感目标的属性信息、空间信息。

2)逻辑查询。根据用户设置的多个关键字段和逻辑谓词,提取出符合条件的风险源和敏感目标。

3)范围查询。用户设置查询范围及查询中心点,搜索距中心点一定范围内的风险源和敏感目标。

4)直接查询。即模糊查询,根据用户输入的关键字段,即可搜索出包含关键字段的风险源和敏感目标。

2.4.2 图查属性 主要包括三角形查询、多边形查询、矩形查询及圆查询,均是在地图上设置好空间范围,再查询范围内包含的风险源和敏感目标的属性信息。

2.5 系统管理

系统管理主要是赋予管理员权限,可以对空间数据和属性数据进行编辑、查询、统计等操作。属性数据存放在 SQL Server 数据库中。

3 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的关键技术研究

3.1 风险源分级方法

不同风险源的污染物差异很大,其中化工厂的污染物以盐酸、乙酸、氢氧化钠等为主,水上加油站(船)的污染物以汽油、柴油为主,危化品码头的污染物以汽油、柴油、沥青、润滑油为主,污水处理厂的污染物以生活污水为主。参照《危险化学品重大危险源辨识标准 GB18218—2009》,可知不同危险化学品有不同的临界量,利用临界量值来判断风险级别的大小,采用单元内经校正系数校正后的各种危险化学品的实际存在量与其临界量的比值(L)对指标分

级^[17],计算公式如下:

$$L=\partial_1q_1/Q_1+\partial_2q_2/Q_2+\cdots+\partial_nq_n/Q_n。$$
 (1)

式中: $q_1,q_2,\cdots,q_n$ 表示每种危险化学品的实际存在量,单位为 t; $Q_1,Q_2,\cdots,Q_n$ 表示与各危险化学品相对应的临界量,单位为 t; $\partial_1,\partial_2,\cdots,\partial_n$ 表示与各危险化学品相对应的校正系数。

除了考虑污染物的临界量以及校正系数之外,还应考虑其他影响因素。根据风险源的性质,对饮用水源地的污染风险评价,参照《生活饮用水卫生标准 GB5749—2006》,可知不同污染物质有不同的允许限值 B 。此外,风险源突发风险事故发生概率 P 以及化学物品的浓度 $C^{[18]}$ 也是主要影响因素,其中 P 的计算公式如下:

$$P=P_{\text{平均}}+K_s+K_a+K_p+K_m。$$
 (2)

式中: $P_{\text{平均}}$ 为行业平均事故概率; K_s 为风险源类型影响系数, $K_s=P_s/P_{\text{平均}}$, P_s 为不同类型风险源事故概率,有固定源及移动源; K_a 为受体影响系数, $K_a=P_a/P_{\text{平均}}$, P_a 为不同受体事故概率; K_p 为风险事故场所影响系数, $K_p=P_p/P_{\text{平均}}$, P_p 为不同事故场所事故概率; K_m 为管理水平影响系数, $K_m=P_m/P_{\text{平均}}$, P_m 为不同管理水平事故概率。

结合式(1)、(2)及提到的影响因素,可计算一个单位风险源的污染风险值 R_1 ,计算公式见式(3):

$$R_1=\sum_{i=1}^n\left(\frac{\partial_i\times q_i}{Q_i}+\frac{C}{B}\right)\times\frac{1}{2}\times P。$$
 (3)

风险源等级划分是在风险值 R_1 的基础上通过统计计算得来的,分别确定各因素的平均值(μ)和标准偏差(σ)^[19-20]。设定风险值 $R_1\geq\mu+1.15\sigma$ 时为特大风险源,在 $\mu-0.05\sigma\leq R_1<\mu+1.15\sigma$ 时为重大风险源,在 $R_1<\mu-0.05\sigma$ 时为一般风险源。风险源定性等级及相应的风险值范围如表 1 所示。

表 1 风险源定性等级与相应的风险值范围

Table 1 Qualitative grade of risk source and the corresponding risk value range

风险等级 Grade of risk source	一般风险源 General risk source	重大风险源 Major risk source	特大风险源 Catastrophic risk source
设定范围 Set the range	$<\mu-0.05\sigma$	$\geq\mu-0.05\sigma<\mu+1.15\sigma$	$\geq\mu+1.15\sigma$
风险值范围 Risk value range	$R_1<1$	$1\leq R_1<10$	$R_1\geq10$

3.2 敏感目标分级方法

本研究中,敏感目标只考虑饮用水源地,参考《饮用水源地保护区划分技术规范》(HJ/T338—2007)划定,上游河段 1 000 m 和下游 100 m 以中泓线为界的同侧水域为一级保护区,二级保护区的上游边界为一级保护区上游边界向上游延伸不得小于 2 000 m,二级保护区的下游边界距一级保护区下游边界的距离不得小于 200 m,这里饮用水源风险评

估范围以风险源处于一级保护区和二级保护区为准。

饮用水源的风险评估除了考虑评估范围内不同污染物的毒性(毒性大小以临界量 Q 和允许限值 B 来判断)之外,以《国家突发环境事件应急预案》为依据,还应考虑污染物扩散时间 T 、暴露人口 M 、跨界影响系数 K (不跨界取 1,跨县界取 2,跨省界取 2.5,跨多个界需要叠加跨界系数)等其他因素。饮

用水源地风险值 R_2 的计算公式如下:

$$R_2 = \sum_{i=1}^m \left\{ \sum_{j=1}^n \left(\left(\frac{\partial_i \times q_i}{Q_i} + \frac{C}{B} \right) \times \frac{1}{2} \times P \right) \times \frac{1}{T} \times M \times K \right\}.$$
 (4)

式中: $T = \frac{k_{河}}{v_{河}} + \frac{k_{库}}{v_{库}}$, 其中 $k_{河}$ 、 $k_{库}$ 分别表示某风险源到某饮用水源地的河流水体河段长度和水库水体河

段长度, $v_{河}$ 、 $v_{库}$ 分别表示河流水体河段的平均流速和水库水体河段的平均流速。

同理,敏感目标等级划分以 $R_2 \geq \mu + 1.15\sigma$ 时为特大敏感目标,在 $\mu - 0.05\sigma \leq R_2 < \mu + 1.15\sigma$ 时为重大敏感目标,在 $R_2 < \mu - 0.05\sigma$ 时为一般敏感目标。敏感目标定性等级及相应的风险值范围见表 2。

表 2 敏感目标定性等级与相应的风险值范围

Table 2 Qualitative grade of sensitive target and the corresponding risk value range

风险等级 Grade of risk source	一般敏感目标 General sensitive target	重大敏感目标 Major sensitive target	特大敏感目标 Catastrophic sensitive target
设定范围 Set the range	$< \mu - 0.05\sigma$	$\geq \mu - 0.05\sigma \sim < \mu + 1.15\sigma$	$\geq \mu + 1.15\sigma$
风险值范围 Risk value range	$R_2 < 10\ 000$	$10\ 000 \leq R_2 < 50\ 000$	$R_2 \geq 50\ 000$

3.3 风险分区方法

在本研究范围内,风险分区主要是以长江主干流以及重要的支流为主,以 10 km 为一个单位区段,值得注意的是,河道范围越小则分析精度越高,比如按每 5 km 为一个单位区段计算,精度比按每 10 km 为一个单位区段要高。

在确定了风险源风险值 R_1 、敏感目标风险值 R_2 的基础上,利用 ArcGIS API 提供的 Dijkstra 最短路径算法,将不同级别的风险源和敏感目标归并到河流上不同区段内,然后统计出各个不同河流区段内不同级别风险源或敏感目标的个数,分别累加求和($\sum R$)。最后通过 ArcGIS API 提供的自然断点法(Natural Breaks)分类出不同的拐点值来定义

分区标准,以分区标准为依据,将风险区划分为 3 种类型,分别为高风险区、中风险区和低风险区。

4 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统的应用实例

本研究以三峡库区地理数据、风险源和敏感目标等为试验数据,构建了三峡库区事故型水环境污染风险评估系统(图 4)。该系统对研究区域内的风险源及敏感目标的分级情况进行了实例化(图 5、图 6);同时亦对基于风险源以及基于风险源对敏感目标的影响整合后的风险分区情况进行了分析及可视化(图 7 和图 8),从而可以较为直观地反映研究区域内的风险分布情况。

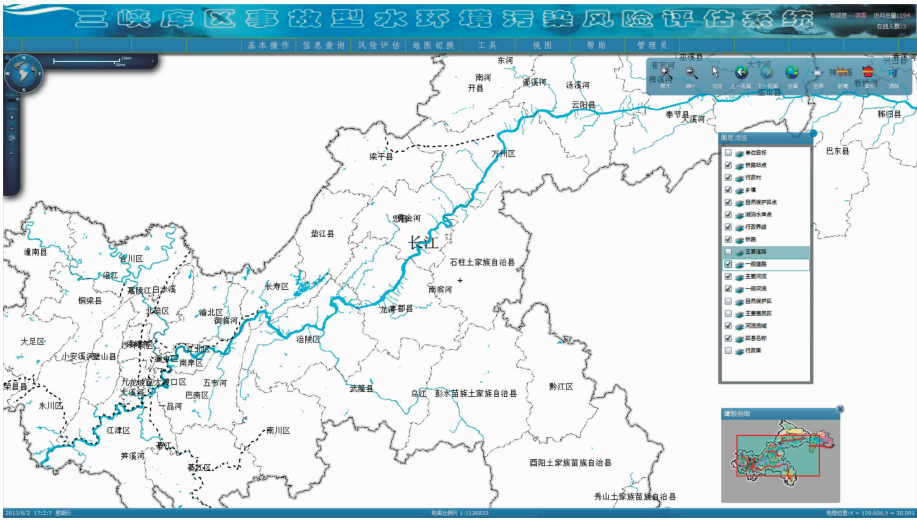


图 4 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统主界面

Fig. 4 Main interface of the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir

从图 7、图 8 可以看出,2 种风险分区方法得到的结果差异明显。以局部放大图为例,图 7 主城区中,由于重庆江北区、南岸区是风险源的密集区,而且特大风险源、重大风险源比较多,所以计算结果显

示该地区为高风险区;而渝北区嘉陵江支流入口风险源数量不多,但是有特大风险源而且风险值特大,另外大渡口区风险源等级大多是一般风险源以及重大风险源,所以计算结果显示该地区为中风险区。

图 8 中,大渡口区以及渝北区嘉陵江支流入口的敏感目标比较多,而且大多是特大敏感目标、重大敏感目标,该地区附近以及上游的风险源也比较多,计算结果显示该地区为高风险区;南岸区的敏感目标虽然数量比较少,但是有重大敏感目标且附近以及上

游的风险源比较多,所以计算结果显示该地区为中风险区。而江北区敏感目标数量比较少,并且上游的风险源距离江北区太远影响较小,所以计算结果显示该地区为低风险区。



图 5 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统中基于风险源的风险分级

Fig. 5 Source based risk classification in the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

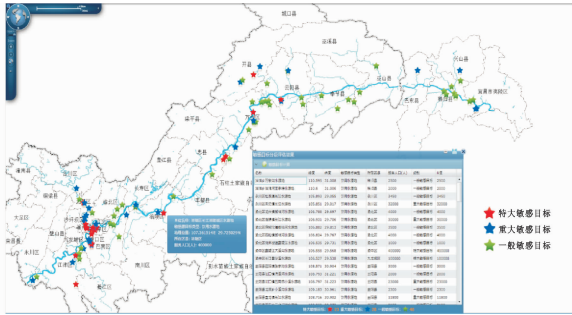


图 6 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统中整合风险源影响后的敏感目标分级

Fig. 6 Sensitive target classification after the integration of risk source in the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

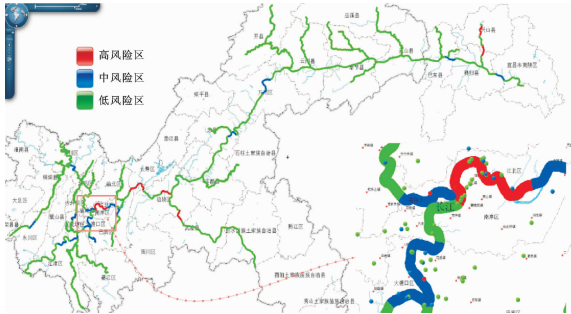


图 7 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统中基于风险源的风险分区

Fig. 7 Source based risk zoning in the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

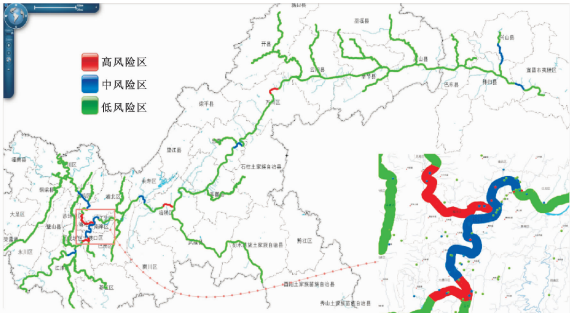


图 8 三峡库区事故型水环境污染风险评估系统中风险源和敏感目标结合后的风险分区

Fig. 8 Risk zoning combination of risk sources and sensitive targets in the risk assessment system for accidental water environment pollution in Three Gorges Reservoir Region

5 小 结

本研究在对系统总体设计、功能设计和关键技术进行分析的基础上,建立了三峡库区事故型水环境污染风险评估系统,该系统实现了基本的 GIS 功能及可视化的风险评估效果功能,可反映研究区域内的风险分布情况,从而可为政府部门在三峡库区水环境污染风险评估方面提供较为科学的决策支持,也可对三峡库区水环境可持续发展提供较为有效的信息参考。由于三峡库区事故型水环境污染风

险评估系统涉及到海量数据,而敏感目标分级评估子模块中关于整合风险源的影响后敏感目标的价值用威胁度计算的算法效率较低,因此在风险源、敏感目标分级评估及风险分区评估的数学模型验证方面,还需要在实际应用中不断完善与优化。此外,对水环境风险污染进行预警,也是下一步的研究重点。

[参考文献]

[1] 陈蓓青,谭德宝,宋 丽. GIS 技术在突发性水污染事件应急响应系统中的应用研究 [J]. 长江科学院院报, 2010, 27(1): 29-32.

- Chen B Q, Tan D B, Song L. Application research of GIS technology in suddenly-happened water pollution accident emergency response system [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(1): 29-32. (in Chinese)
- [2] Emerson S D, Nadeau J. A coastal perspective on security [J]. Journal of Hazardous Materials, 2003, 104(1/2/3): 1-13.
- [3] 张 勇, 徐启新, 杨 凯, 等. 城市水源地突发性水污染事件研究述评 [J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(12): 1-4.
- Zhang Y, Xu Q X, Yang K, et al. Review of studies on water pollution incidents in areas of urban water supply [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2006, 7(12): 1-4. (in Chinese)
- [4] Zografos K G, Vasilakis G M, Giannouli I M. Methodological framework developing decision support system(DSS) for hazardous materials emergency response operations [J]. Journal of Hazardous Materials, 2000, 71: 503-521.
- [5] 杨爱玲, 朱颜明. 城市地表饮用水源保护研究进展 [J]. 地理科学, 2000, 20(1): 72-77.
- Yang A L, Zhu Y M. The study of urban surface drinking water sources protection [J]. Scientia Geographica Sinica, 2000, 20(1): 72-77. (in Chinese)
- [6] 郑天柱, 倪深海, 熊远明, 等. 城市水源污染的预防和生态治理综述 [J]. 水资源保护, 2001, 66(4): 16-19.
- Zheng T Z, Ni S H, Xiong Y M, et al. Prevention of water source pollution and ecological environment remediation in cities [J]. Water Resources Protection, 2001, 66(4): 16-19. (in Chinese)
- [7] 曾维华, 程声通, 杨志峰. 流域水资源集成管理 [J]. 中国环境科学, 2001, 21(2): 173-176.
- Zeng W H, Cheng S T, Yang Z F. Integrated water resources management on river basin [J]. China Environmental Science, 2001, 21(2): 173-176. (in Chinese)
- [8] 石剑荣. 水体扩散衍生公式在环境风险评价中的应用 [J]. 水科学进展, 2005, 16(1): 92-102.
- Shi J R. Application of extended waterbody diffusion formulate to environmental risk assessment [J]. Advances in Water Science, 2005, 16(1): 92-102. (in Chinese)
- [9] 钱家忠, 李如忠, 汪家权, 等. 城市供水水源地水质健康风险评价 [J]. 水利学报, 2004, 24(8): 90-93.
- Qian J Z, Li R Z, Wang J Q, et al. Environmental health risk assessment for urban water supply source [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 24(8): 90-93. (in Chinese)
- [10] 曾光明, 卓 利, 钟政林, 等. 突发性水环境风险评价模型事故泄漏行为的模拟分析 [J]. 中国环境科学, 1998, 18(5): 403-406.
- Zeng G M, Zhuo L, Zhong Z L, et al. Assessment model about the accident water environment risk modeling of the toxicant accident leakage [J]. China Environmental Science, 1998, 18(5): 403-406. (in Chinese)
- [11] 曾光明, 卓 利, 钟政林, 等. 水环境健康风险评价模型 [J]. 水科学进展, 1998, 9(3): 213-217.
- Zeng G M, Zhuo L, Zhong Z L, et al. Assessment models for water environmental health risk analysis [J]. Advances in Water Science, 1998, 9(3): 213-217. (in Chinese)
- [12] 张 羽. 城市水源地突发性水污染事件风险评价体系及方法的实证研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- Zhang Y. Empirical studies on risk assessment system of accidental water pollution events in city's source water area [D]. Shanghai: East China Normal University, 2006. (in Chinese)
- [13] 张 钧. 江河水源地突发事故预警体系与模型研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- Zhang J. Research on the early-warning system and models for abrupt accidents in water source areas of rivers [D]. Nanjing: HoHai University, 2007. (in Chinese)
- [14] 吕连宏, 罗 宏, 路超君. 沿江化工园突发水污染事故预警指标体系研究 [J]. 工业安全与环保, 2011, 37(1): 30-32.
- Lü L H, Luo H, Lu C J. Research on early warning system for sudden water pollution accident in chemical industry park along the Yangtze river [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2011, 37(1): 30-32. (in Chinese)
- [15] 袁 洁, 张子凡. 南京市饮用水源地环境管理地理信息系统的建立 [J]. 污染防治技术, 2005, 18(3): 23-25.
- Yuan J, Zhang Z F. Development of geographic information system for environmental management of drinking water resource in Nanjing [J]. Pollution Control Technology, 2005, 18(3): 23-25. (in Chinese)
- [16] 张艳军. 基于 SOA 的三峡库区水环境安全预警平台集成 [J]. 四川环境, 2010, 29(1): 48-50.
- Zhang Y J. A safety precaution system of water environment for the area of Three Gorges Reservoir based on SOA [J]. Sichuan Environment, 2010, 29(1): 48-50. (in Chinese)
- [17] 魏利军, 吴宗之. 一种简单可行的危险化学品重大危险源分级方法 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 12(12): 45-50.
- Wei L J, Wu Z Z. A simple and feasible grading method for major dangerous chemical hazard installations [J]. China Safety Science Journal, 2009, 12(12): 45-50. (in Chinese)
- [18] 马 越, 彭剑峰, 宋永会, 等. 饮用水源地突发事故环境风险分级方法研究 [J]. 环境科学学报, 2012, 32(5): 1211-1218.
- Ma Y, Peng J F, Song Y H, et al. Study on the classification method of environmental risk for sudden accidents in drinking water sources [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(5): 1211-1218. (in Chinese)
- [19] Colorado Department of Public Health and Environment Water Quality Control Division. Source water assessment methodology for surface water sources and ground water sources under the direct influence of surface water [R]. Colorado: EnecoTech Inc, 2004.
- [20] 刘 琰, 郑丙辉, 万 峻, 等. C 市饮用水源风险评价实例分析 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(1): 52-59.
- Liu Y, Zheng B H, Wan J, et al. Risk assessment for drinking water sources of C City: A case study [J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(1): 52-59. (in Chinese)