

基于 GIS 的辽河流域水安全预警系统设计

王 耕^{1,2}, 吴 伟^{*1}

(1. 大连理工大学 环境与生命学院, 辽宁 大连 116024;

2. 辽宁师范大学 城市与环境学院, 辽宁 大连 116029)

摘要: 水安全具有空间地域性. 以辽河流域为例, 阐述了基于 GIS 空间技术的水安全预警的逻辑过程. 根据系统目标与原则, 初步设计了系统的信息采集、查询与检索、因子评价与分析、动态预测与预警和系统指导管理功能; 给出了系统的客户机—浏览器—服务器三层网络结构; 构建了数据库. 此系统的设计为及时掌握水安全的状态, 发布预警信息, 适时采取必要的调控措施等提供了科学依据.

关键词: GIS; 辽河流域; 水安全; 预警系统; 设计

中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A

0 引言

水资源不仅是一个生态环境问题, 也是一个经济问题、社会问题和政治问题, 直接关系到国家安全. 2000-03 在荷兰海牙召开的世界部长级会议和 2000-08 在瑞典斯德哥尔摩召开的世界水论坛的主题都是“21 世纪水安全”^[1]. 所谓水安全是指由于自然的水文循环波动或人类对水循环平衡的不合理改变, 或是二者的耦合, 使水体弱化或丧失正常功能, 不能维持其社会与经济价值, 危及人类对水的基本需求, 威胁人类社会经济活动^[2]. 水安全具有地域性, 为深入分析我国水资源供需矛盾, 探讨水资源对社会经济发展的长期影响, 维护水安全并增强水资源安全保障体系, 本文综合分析水安全的时空差异, 考虑区域完整性、水安全问题的代表性、资料的可获取性等多项因素, 以辽河流域为例, 基于 GIS 空间分析技术设计流域水安全预警系统^[3], 以便及时掌握水环境的负荷水平及其受损状态, 定期或不定期地发布预警信息, 适时地采取必要的调控措施, 进行适时跟踪调控.

1 辽河流域水安全概况

辽河是东北地区南部第一大河, 流域总面积

(含浑河、太子河) $22.9 \times 10^4 \text{ km}^2$. 本文所指的辽河流域是辽河水文与水资源的统计常用名词“辽河流域片”, 其中不包括辽宁沿海诸河、鸭绿江(中国侧)、图们江(中国侧), 共 90 个县市(区)^[4]. 辽河流域水环境安全的局势是严峻的. 水资源总量为 $235.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($p=75\%$), 时空分布不均, 其中辽河中、下游的辽宁省人均占有水资源量 885 m^3 , 仅为全国人均占有量的 $1/3$, 且多年来地下水严重超采, 生态系统严重退化. 流域的水质污染十分严重, 90% 的断面超过 V 类标准, 而且造成环境质量恶化, 严重地影响了人民生活 and 经济的持续发展^[5].

2 系统设计的基本逻辑

水安全预警机制就是将预警的理论、方法应用到水资源领域中^[6]. 具体地讲, 水安全预警机制的逻辑过程主要包括六个部分, 即警情动态监测、警情分析、警兆辨识、警度预报、预测决策和采取相应的对策措施^[7]. 警源也就是警情的根源. 从警源到警情发生必然有各种征兆, 这也就是常说的警兆. 水安全预警的目的就是根据警兆变动来预报警情, 其逻辑过程框架如图 1 所示.

收稿日期: 2006-01-05; 修回日期: 2007-01-17.

基金项目: 教育部博士学科点专项科研基金资助项目(20020141027); 国家自然科学基金资助项目(70073003); 辽宁省教育厅青年基金资助项目(2004F010).

作者简介: 王 耕(1973-), 女, 博士生, 讲师; 吴 伟*(1941-), 男, 教授, 博士生导师.

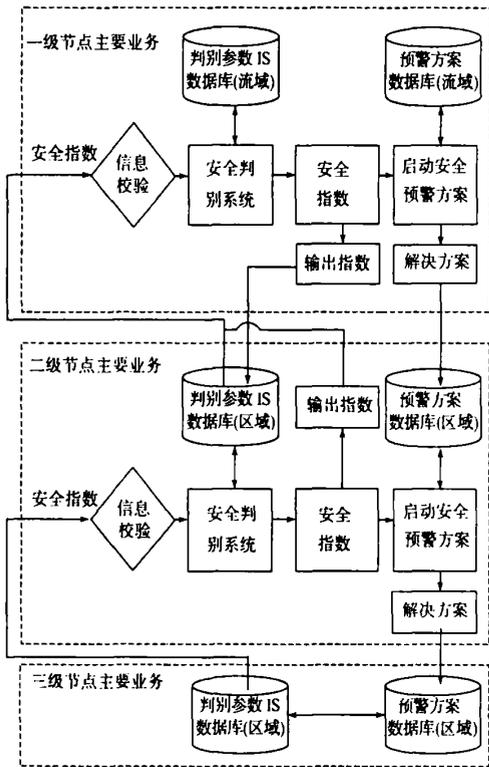


图 1 预警系统的逻辑过程

Fig. 1 The logical process of the early warning system

首先,建立监测节点信息系统,可使预警工作科学化、程序化,形成预警信息输出与反馈的自动调节机制。根据辽河流域水安全的特点,其监测信息节点设计为三级,如图 2 所示。其次,基层节点检测计算区域内判别参数数据库中的信息,并把水安全信息实时输入到上一级预警系统。输入的信息经校验通过后,进行此一级的水安全判别参数系统,计算出区域水安全指数,并输入上一级系统。第三,区域水安全指数若示警,立即启动区域预警方案库,解决问题。最后,输出的区域生态安全指数进入到最高级预警系统,再做安全判别,并计算出最高级的水安全指数,若安全指数在流域内示警,要启动流域预警方案库,采取措施,尽量避免可能带来的重大损失^[8-9]。实际上预警系统起到一个安全阀的作用,在预警系统实施过程中,预警系统将安全信息不断地反馈到上一级决策中心,上一级决策者得知后,不断识别,运用动态变化的观点,解决资源开发,人类活动对环境、生物及生态系统的各种不良效应影响,做出区域经济社会发展的最佳定位。

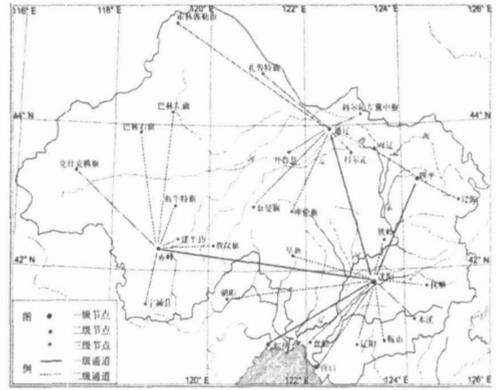


图 2 辽河流域水安全监测信息节点等级与拓扑关系图

Fig. 2 The water security nodes grade and topology relationships of the monitoring information of Liaohe River

3 系统设计目标与原则

3.1 系统设计目标

总体目标:通过建立基于“压力-状态-响应”(P-S-R, pressure-state-response)框架的流域水安全评价指标体系^[10],对流域内各单元水安全影响因子进行数据采集、分析、处理和交换,实时测算各区域单元及流域水安全综合指数。在此基础上,通过各种指数的综合分析判断安全水平,发布基于 GIS 水安全预警信息,分析水安全原因及产生的影响和后果,为流域水安全调控和管理提供科学依据。

分目标体系:(1)建立基于 P-S-R 的流域水安全评价指标体系^[11]。(2)设计、建设流域基于 GIS 平台的大中比例尺的流域水安全相关指标信息数据库。(3)拟定流域水安全评估指标体系和水安全模型体系。(4)评价分区水安全的现状。(5)设计、建设水安全评价分布式动态地理信息系统。

3.2 系统设计原则

(1)规范性原则:系统所涉及数据的分类、编码遵循现有国家标准和行业标准,并根据实际工作的需要,建立流域之间、流域内部各分区单元之间具有一定可比性的数据规范。

(2)实用性原则:系统设计充分考虑流域和水安全评价与管理的实际情况,所建立的系统要便于使用者操作;设计系统界面力求简单,便于系统的日常运行和维护操作。

(3)可靠性原则:数据库中的所有资料应是

准确可靠的,系统应有较强的容错能力和处理突发事件的能力。

(4) 开放性原则: 系统具有良好的接口和方便的二次开发工具,便于用户根据需要进行系统功能的扩展;系统在多源数据交换方面应具有较强的兼容性,能进行各种不同资料格式的转换。

(5) 安全性原则: 系统应根据使用情况,对不同类型的用户设置不同的使用权限,防止系统的越权使用及对数据的非法修改和拷贝等。

4 系统功能设计

4.1 信息采集功能

系统可以接受各种类型的数据,包括图形、图像、声音、文字、表格等。矢量数据主要利用扫描仪输入后,以 GIS 作为后台支持,进行矢量化、建立拓扑关系、要素分层等处理;数据信息输入后系统能及时将录入信息保存在数据库中。系统可以将数据库中的水安全信息以文字、地图、图片等形式加以显示、统计。系统根据用户对不同主题的需要,输出不同的产品,如各种地图、数据表、统计图表以及各种文本资料和图形、图像资料等^[12]。

4.2 信息查询与检索功能

空间数据管理是 GIS 最基本的功能。在辽河流域水安全预警系统中设计了分类查询、模糊查询、空间查询等查询方式。查询功能主要是针对用户对基础地形图和各种专题数据的查询需求而设计的,具有空间位置、属性、范围及关系等多种查询检索功能。同时,系统方便地对水安全信息进行日常的更新和维护,不仅对生态系统管理提供了数字化信息来源,而且也提高了管理的效率^[12]。

4.3 因子评价与分析功能

利用 GIS 提供的一系列空间统计功能(叠置分析、缓冲分析、拓扑空间查询、空间集合分析、网络分析等)可以对水安全空间信息和属性信息进行处理分析,归纳总结出分析评价的因子并定量化,建立空间评价模型并验证,分析影响水安全的主导因素,得出水安全评价的专题地图^[13-14]。

4.4 动态预测与预警功能

根据水安全评价的结论,结合相关数据,将决策转化成命令、函数和分析模拟程序等形式,模拟水安全演化过程,预知未来结果。同时,确定预警警示的触发分量——水安全指数的阈值(警戒线),自动发布预警信息^[7-15],其计算公式如下。

假设在 t 时对未来某一时间 T 的水安全进行预警,则预警时段 $\Delta t = T - t$;再以 $W(t)$ 表示水安全综合指数评分值;以水安全综合指数评分临界值 WP 为参数,表示不良状态预警;以 Δt 时段内水安全综合指数评分值变化速率的临界值 ΔWP_t 为参数表示恶化趋势预警;以流域开发规划时段内水安全综合指数评分值变化速率的临界值 ΔWP_s 为参数表示恶化速度预警。当预警评价对象的变化具有随机不确定性时,即以保证率为 a 的参数作为预警评价的约束条件,水安全预警评价数学模型表达式为

$$\text{不良状态预警: } Y\{WP_{t1} < W(t) < WP_{t2}\} > a$$

$$\text{恶化趋势预警: } Y\{W(T) < W(t), |W(T) - W(t)| > \Delta WP_t\} \geq a$$

$$\text{恶化速度预警: } Y\{W(T) < W(t) < WP, |W(T) - W(t)| > \Delta WP_s\} \geq a$$

4.5 指导管理功能

通过流域水安全 GIS 数据库,利用 GIS 的空间分析和动态预测可以辅助制定辽河流域各单元生态系统管理的模式并采取相应的措施。

5 系统的结构设计

系统采用客户机 / 浏览器 / 服务器三层网络地理信息系统 (Web) 结构,即 C/B/S 结构 (Client / Browser / Server),参见图 3。WebGIS 的服务器端可以采用目前的 CGI 模式、Server API 等一般构造模式^[16-17]。客户机端可以采用 Plug-in 模式、GIS Java Applet、GIS ActiveX 控件等构造模式。

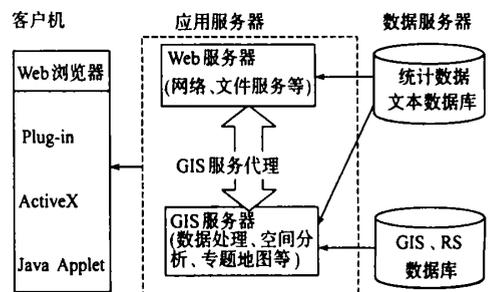


图 3 基于 WebGIS 的系统结构

Fig. 3 The system structure based on WebGIS

该 WebGIS 技术构架可以满足以下基本要求:

- (1) 能够共享多种来源、多级尺度(比例尺)、

存放在不同地点的地理数据,能够和其他应用软件集成,可以通过 Java CORBA DCOM 等技术跨平台协作运行;

(2) 通过使用 Internet 协议标准,将 GIS 与 Web 服务器集成,通过普通浏览器,用户可以在任何地方操纵 WebGIS,共享地理空间信息服务,从而将 GIS 扩展成为公众服务系统;

(3) 系统支持数据分布和计算分布,把 GIS 数据和分析工具部署在网络不同的计算机上,用户可以从网络的任何地方访问这些数据和应用程序,即不需要在本地计算机上安装 GIS 数据和应用程序,只要把请求发送到服务器,服务器就会把数据和分析工具模块传送给用户;

(4) 系统可以为网络用户提供地理数据存取服务、地理数据目录服务、地理信息分析服务和地图显示服务,通过互操作技术,共享分布的数据对象在多个不同的平台上协同运行,最大限度地利用网络资源。

6 系统数据库设计

系统的功能、结构决定了本系统的数据库类型复杂、数据量大、可靠性要求高,因此选择大型网络数据库 Oracle 作为数据库管理系统。

6.1 Web 数据库

流域水安全预警系统涉及的基本数据包括流域水环境历史背景、现状及发展趋势分析、人文地理概貌、工农业发展状况、生态环境评价、监测站点布设、主要干支流污染河段、重点城市等方面。数据类型包括文字、声音、图形、图像等。按照预警系统的功能结构特征要求,设计以下基本数据库。

(1) 水质数据库包括断面信息表、地表水质数据表、底质数据表、地下水数据表、评价标准数据表、饮用水水质数据表、简报(包括月报、年报)数据表、水质评价结果数据表、饮用水源情况(取水口位置、供水厂名称、取水量、时间等)^[5]。

(2) 法规、条例数据库包括有关水环境的政策、法规及相关标准,如环境保护法、水法、水污染防治法、地面水环境质量标准、渔业用水标准、饮用水标准、农田灌溉用水标准、污水排放标准等。

(3) 入河排污口数据库包括排污口信息表、污染物监测表、污染物调查表、社会经济情况表、取水口信息表等。其中社会经济情况数据包括各相关城市的位置、人口、工业产值、农业产值、用水

量、排污量、排污周期、污染物处理情况等。

(4) 地理信息数据库包括主要区段地形图、行政区划图、人口分布图、矿产资源分布图、工农业产值分布图、污染源分布图、水质状况图、水文站网分布图、预测结果图等信息。

(5) 水安全评价模型库包括数据的合理性检查、质量控制措施结果检查、区域水环境质量评价、趋势分析、相关性分析、区域水环境预测,以及水安全趋势判别等模型。

6.2 数据仓库技术运用

数据仓库(data warehouse)是存储供查询和决策分析用的集成化信息仓库。近几年在国内外发展很快。基于大型网络数据库,例如 Oracle Sybase 等,数据仓库技术已经是基本的集成功能。从流域水安全预警系统的功能要求看,不断积累的海量数据和频繁交互过程更需要通过中间组织的帮助来实现,具体包括空间数据仓库(spatial data warehouse)、空间数据站(spatial data station)、空间数据交换中心(spatial data clearinghouse)等技术。空间数据仓库的主要任务是将来源于分散在不同地点、不同单位的分布式数据库中的类型不同、结构不同、存储格式不同、内容与格式丰富多彩的原始数据,进行标准化、过滤与匹配、净化、标明时间属性和确认数据质量的过程。然后再根据任务的需要,将来源于分布式数据库的不同性质、不同格式的数据再进行集成与分割、概括与聚集、预测与推导、翻译与格式化、转换与再映象处理,最后进行数据仓库的建模、概括、聚集、调整与建立结构化查询等功能^[18-19]。

7 结 语

循着以上主流 WebGIS 技术设计的辽河流域水安全预警系统,具有功能完善、结构简单、系统开发难度小、投资省、效益高等基本特点。本系统的建立对于提升流域水安全研究的技术层次,科学分析水安全的空间差异有一定的理论意义。系统建成投入运行后,对于我国重要的产业基地——辽河流域的可持续发展具有重要的经济和社会意义。

参考文献:

- [1] 方子云. 提供水安全是 21 世纪现代水利的主要目标——简介斯德哥尔摩前年国际水会议及海牙部长级

- 会议宣言 [J]. 水利水电科技进展, 2001, 21(1): 9-10
- [2] 韩宇平, 阮本清, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用 [J]. 资源科学, 2003, 25(4): 37-42
- [3] CROSCTTO M, TARANTOLA S, SALTELLI A. Sensitivity and uncertainty analysis in spatial modeling based on GIS [J]. *Agric Ecosyst and Environ*, 2000, 81: 71-79
- [4] 韩增林, 王 利. 奔騰到海大辽河——辽河流域概况 [M]. 沈阳: 辽海出版社, 2000: 12-26
- [5] 国家环境保护总局. “三河”“三湖”水污染防治计划及规划 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 83-87
- [6] 郭安军, 屠梅曾. 水资源安全预警机制 [J]. 生产力研究, 2001, 1: 37-38
- [7] 杨京平, 卢剑波. 生态安全的系统分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 139-143
- [8] 郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系——面对严重的生态危机的对策 [J]. 科技导报, 2001, 1: 54-56
- [9] 宋文华, 王 千, 颜 慧. 环境预警系统的建立与研究 [J]. 城市环境与城市生态, 1998, 11(4): 36-38
- [10] 王韩民, 郭 玮, 程淑兰, 等. 国家生态安全: 概念、评价及对策 [J]. 管理世界, 2001, 2: 149-151
- [11] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究 [J]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267-272
- [12] 王 耕. 城市重大环境风险事故应急救援系统的设计——以大连市为例 [J]. 自然灾害学报, 2004, 13(2): 119-225
- [13] ZANDBERGEN P A. Urban watershed ecological risk assessment using GIS: a case study of the Brunette River watershed in British Columbia, Canada [J]. *J Hazardous Mater*, 1998, 61: 163-173
- [14] KIENAST F, BRZEZIECKI B, WILDI O. Long-term adaptation potential of Central European mountain forests to climate change: a GIS-assisted sensitivity assessment [J]. *Forest Ecol and Manage*, 1996, 80: 133-153
- [15] 张巧显, 欧阳志云, 王如松, 等. 中国水安全系统模拟及对策比较研究 [J]. 水科学进展, 2002, 13(5): 569-571
- [16] 宗 梅, 马小平. 基于 Net 的三层 Client/Server 结构及其应用 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 520-522
- [17] 楼巧萍, 周志宇, 刘迎春. 基于 Client/Server 的网络建设方案的设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2004, 20(2): 108-109
- [18] 陈桂东, 宋爱波. Web 数据仓库的逻辑设计 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(2): 449-451
- [19] 尹卫刚, 姜 薇, 刘 桓, 等. 基于数据仓库的煤矿物资管理系统的设计与实现 [J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(1): 200-202

Design of an early warning system of water security for Liaohe River based on GIS

WANG Geng^{1,2}, WU Wei^{* 1}

(1.School of Environ. and Biol. Sci. and Technol., Dalian Univ. of Technol., Dalian 116024, China;

2.School of Urban and Environ., Liaoning Norm. Univ., Dalian 116029, China)

Abstract Water security is of spatiality and regionality. Logical process of early warning system of water security based on GIS is expounded taking Liaohe River for an example. System functions that involve information collection, query and search, assessment and analysis, dynamic prediction and early warning, guide and management are designed primarily according to its aim and principle. The client-browser-server network structures are designed. Database constructions are explained. This design provides the scientific gist for mastering water security states, issuing early warning information and taking essential measures.

Key words GIS; Liaohe River; water security; early warning system; design