

基于 GIS 的焦作市地下水污染预警系统

谢洪波^{1,2}, 钱壮志¹, 尹国勋², 徐招锋²

(1 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2 河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 在系统分析的基础上, 采用二次开发模式, 按地下水质量标准 and 灰色预测模型 GM(1, 1), 建立了基于地理信息系统的焦作市地下水污染预警系统; 利用该系统查清了焦作市地下水水质状况的空间分布规律以及铅、铁、锰、镉、六价铬、氟化物、氯化物等 15 种水质监测因子超标分布区域。

关键词: GIS; 地下水; 污染警示; 污染预测

中图分类号: P208; X506 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)01-0094-03

Warning-Forecast System for Groundwater Pollution in Jiaozuo City Based on GIS

XIE Hong-bo^{1,2}, QIAN Zhuang-zhi¹, YIN Guo-xun², XU Zhao-feng²

(1 School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2 School of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China)

Abstract On the basis of system analysis, a groundwater pollution warning system based on GIS is set up with second development mode according to the groundwater quality and prediction grey model GM(1, 1). With the advantages of this system, the rule of groundwater quality distribution in space and the extent of 15 water quality monitoring factors like lead, iron, manganese, cadmium, hexavalent chromium, fluoride, chloride et al, which exceed the standard, are checked clearly.

Key words: GIS; groundwater; alarm for pollution; pollution prediction

0 引言

中国淡水资源人均 2 300 m³, 仅为世界人均占有量的 1/4, 属联合国公布的 13 个严重缺水的国家之一^[1]。然而, 中国城市地下水污染日益加剧, 据 118 个城市监测资料, 约有 64% 的城市地下水遭受严重污染, 33% 的城市受到轻度污染, 基本清洁的城市只有 3%^[1,2]。如何高效管理城市地下水监测数据, 根据相关水质标准对地下水监测数据进行分析, 探索出地下水污染的区域性分布规律, 建立地下水污染预测模型, 对有的放矢地进行地下水污染治理至关重要。焦作市地下水污染严重, 已经对人

民生活、社会经济发展构成极大威胁, 因此, 查清焦作市地下水水质状况的空间分布规律、分析地下水污染机理、制定地下水污染治理方案已迫在眉睫。

1 系统分析

研究区范围包括焦作市区及其管辖的 6 个县, 地下水类型为深层和浅层两种, 监测方式分为常规监测和普查监测。要求系统具有 4 方面功能:

- (1) 管理焦作市地下水日常及普查监测数据。
- (2) 完成对地下水监测数据的检索、分析, 根据相关地下水质量标准, 以可视化方式进行分级警示。
- (3) 建立焦作市地下水污染趋势预测模型, 实

收稿日期: 2007-05-20

基金项目: 河南省环保局重大基金项目(豫环科 2001-10)

作者简介: 谢洪波(1968-), 男, 安徽砀山人, 河南理工大学副教授, 长安大学博士研究生, 从事地学信息工程与环境保护教学研究。

E-mail: xiehb@hpu.edu.cn

现预测结果的可视化表达。

(4)对相关查询、分析、警示、预测结果能够打印输出。

1.1 技术路线

由于研究范围较大、监测数据较多及数据的可视化表达特点, 选择基于 GIS 的系统是可行的。系统开发如图 1。

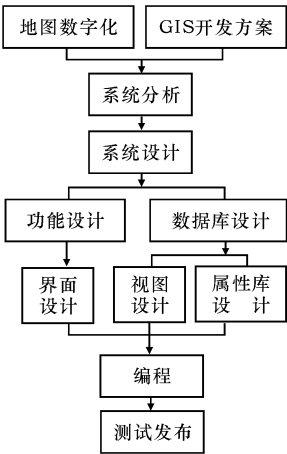


图 1 技术路线

Fig. 1 Route of Technique

点、自来水厂位置、境内河流及监测断面的展示与相关属性数据的组织, 通过 Avenue 编程可以实现地下水污染等级的评价及评价结果的可视化表达, 达到项目要求的地下水污染按级别警报的目的; 结合 Avenue 提供的与外部程序接口技术, 利用 Visual C++ 6.0 动态连接库开发方法^[8], 可以建立预测模型, 从而实现对地下水污染的预测。

1.2 系统分析

1.2.1 基础地理底图

在 ArcView 下, 通过 Tmp_焦作地区视图来组织基础地理信息地图, 该视图主要包括固废堆放场、地下水监测点、自来水厂位置、监测断面等专题及基础地图专题。在该视图下, 通过相关按钮可以实现固废堆放场业主、监测点名称等基本信息的查询。通过相关主题的打开和关闭, 实现某主题突出显示的目的。

1.2.2 地下水污染警示

地下水污染警示, 系对某次监测数据, 根据有关标准, 判定污染级别加以警示, 分为单因子警示和综合指标警示。

对于单因子, 系统根据要分析的监测数据分布范围、日期、因子从数据库中提取相应的数据, 然后

地理信息系统开发主要有独立开发、组件式开发和单纯二次开发 3 种模式^[3-7]。

焦作市地下水污染预警系统, 采用 ArcView 3.3 为基础 GIS 平台进行二次开发。ArcView 本身具有 GIS 基本功能可以实现项目要求的地形、地物(包括固废堆放场业主企业位置)、固废堆放场、地下水监测

按照地下水质量标准^[9]进行级别划分, 结果可以 2 种形式显示: ①在视图中, 根据污染级别、监测点位用不同的符号显示, 达到单点警示的目的; ②把各监测点作为离散点, 根据各离散点相应因子的级别进行插值, 然后勾绘出等值线, 达到污染区污染警示的目的。

综合指标警示, 是在对地下水综合评价基础上进行, 该方法是在对单因子评价基础上进行。对单个监测点的各监测因子按照地下水质量标准^[9]进行级别划分后, 按 $F = \sqrt{F^2 + F_{\max}^2} / 2$ 计算综合评价分值 F , 之后按表 1 划分地下水质量级别, 结果表达与单因子相似。

表 1 地下水质量级别标准

Tab. 1 Quality Standard for Groundwater $\rho_B / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$

级别	优良	良好	较好	较差	极差
F	< 0.80	$0.80 \sim < 2.50$	$2.50 \sim < 4.25$	$4.25 \sim < 7.20$	> 7.20
	I	II	III	IV	V

1.2.3 地下水污染预测

地下水污染状况受污染源分布、地表水体、降水、水文地质条件、地下水运移条件等地质环境综合因素的制约, 这些因素在焦作目前的研究程度上, 尚不足以建立合适的地下水污染预测模型。但是对于分布于市区范围内的常规监测点历年来的监测数据是一个时间序列, 符合灰色系统预测理论。因此, 系统拟采用灰色预测模型 $GM(n, h)$ 建立焦作市地下水污染预测模型^[10], 预测结果采用与地下水污染警示相同的表达方法。 $GM(n, h)$ 模型中 h 表示变量的个数, n 表示微分方程的阶次, n 越大, 则模型所描述的内涵越丰富, 但阶次过高的系统特征方程求解困难, 而且精度不一定高, 其结果也不是解析的, 所以通常建立 $n=1$ 的 GM 模型。

由于地下水系统的结构和关系信息不明确, 因此建模时, 只需考证水质特征的动态变化规律, 即变量唯一, $h=1$, 那么所需建立的模型就是 $GM(1, 1)$ 模型。

2 系统设计与实现

系统设计包括系统功能设计和系统数据库设计。

2.1 系统功能设计

系统应包括数据录入、地下水污染警示及污染预测、专题图打印等基本功能, 这些功能通过系统

提供的用户界面来实现。

2 1 1 数据录入

由于数据录入主要是各监测点监测数据,从 GIS 的角度看,它们是属性数据,系统通过项目的属性表文档用户界面来实现该功能。在该界面下,为了方便用户使用,还设计了监测数据浏览、监测数据查询、监测值统计分析等功能(图 2)。

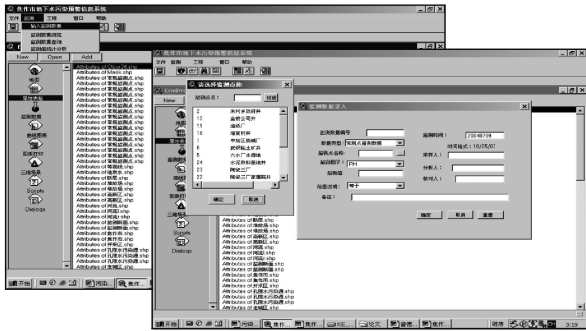


图 2 数据录入界面

Fig. 2 Interface of Data Input

2 1 2 地下水污染警示

地下水污染警示的基础是监测数据,它是一个时间序列。由于监测手段和监测的目的性,一些数据可能不符合计算的要求。因此,在进行警示之前,要明确对哪一次哪些因子或综合指标警示,对不符合要求的数据要进行过滤。为此,系统设计了数据分析模块、综合指标评价模块(图 3),以进行警示前的数据准备工作。

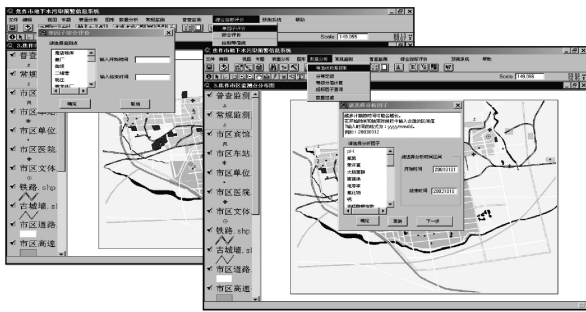


图 3 数据分析模块和综合指标评价模块

Fig. 3 Module of Data Analysis and Module of Comprehensive Indices for Evaluation

由于数据本身的区域性(常规监测数据位于市区,普查数据分布于整个焦作地区),在设计地下水污染警示模块时,将其分解为常规监测、普查监测两个模块,这两个模块分别具有监测数据查询与过滤、分定等级、等级分值计算、分类指标评价、分类指标查询、绘制等值线、生成 Grid、分类超标警示等

功能,联合实现地下水污染的警示,结果以不同的符号显示,达到单点警示的目的,或以等值区域图的方式显示,达到污染区污染警示的目的。

利用此功能查清了焦作市地下水水质状况的空间分布规律以及铅、铁、锰、镉、六价铬、氟化物、氯化物等 15 种水质监测因子超标分布区域(图 4)。

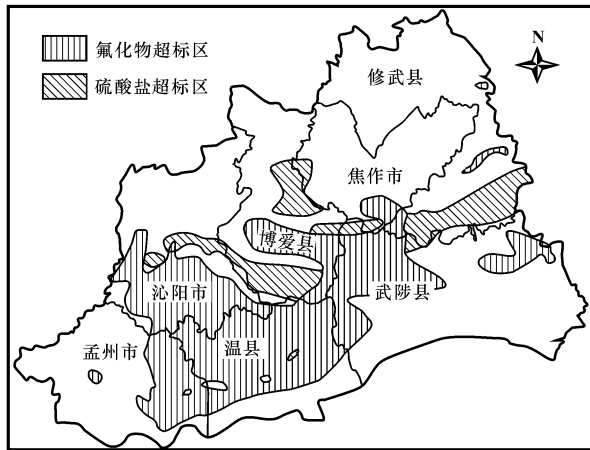


图 4 氟化物、硫酸盐超标警示区域

Fig. 4 Alarm for Fluoride and Sulfate

2 1 3 地下水污染预测

如同地下水污染警示一样,在进行地下水污染预测之前也要做数据准备工作,它仍然通过上述数据分析模块、综合指标评价模块来实现。

系统使用 GM(1, 1)预测模型来进行地下水污染预测。该模块用 Visual C++ 6.0 开发,以 Modeling.dll 动态库的形式提供给 ArcView 的 Avenue, Avenue 通过对其函数的调用实现预测^[11-12],这个过程用户是看不到的,仅仅通过菜单项的点击来实现。预测结果存放在临时数据表中,像警示一样,通过进一步操作可以可视化表达。

2.2 系统数据库设计

GIS 中的数据库包括空间数据库和属性数据库,空间数据库存放的是各种与地理位置有关的数据,在 ArcView 中,空间数据库对应视图文档,属性数据库对应属性表文档^[13-14]。为了实现设计功能,本系统建立了焦作市地形图、焦作地区地形图、焦作市区监测点分布图、焦作地区监测点分布图、焦作市区水质参数等值线图、焦作地区水质参数等值线图、焦作市区地下水污染预警图、焦作地区地下水污染预警图、Tmp_焦作地区和 Tmp_焦作市区地图等视图以及监测点、监测数据等多个属性表。

(下转第 106 页)

of Wastewater Treatment Plant Performance Using Artificial Neural Networks[J] . Environmental Modelling and Software, 2004, 19(10): 919-928.

[8] Schulze F H, Wolf H, Jansen H W, et al. Applications of Artificial Neural Networks in Integrated Water Management: Fiction or Future[J] . Water Science and Technology, 2005, 52(9): 21-31.

[9] Aguado D, Ferrer A, Seco A, et al. Comparison of Different Predictive Models for Nutrient Estimation in a Sequencing Batch Reactor for Wastewater Treatment[J] . Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2006, 84(1/2): 75-81.

[10] Ráduľ B, Gernaey K V, Capodaglio A G, et al. Artificial Neural Networks for Rapid WWTP Performance Evaluation: Methodology and Case Study[J] . Environmental Modelling and Software, 2007, 22(8): 1208-1216.

[11] Mjalli F S, Al-Ashah S, Alfadala H E. Use of Artificial Neural Network Black-Box Modeling for the Prediction of Wastewater Treatment Plants Performance[J] . Journal of Environmental Management, 2007, 83(3): 329-338.

[12] Rosen C, Olsson G. Disturbance Detection in Wastewater Treatment Systems[J] . Water Science and Technology, 1998, 37(12): 197-205.

[13] Lennox J. Multivariate Subspaces for Fault Detection and Isolation: with Applications to the Wastewater Treatment Process[D] . Brisbane: University of Queensland, 2002.

[14] Niu Dongxiao, Gu Xihua. Application of Linear Programming Techniques for Multidimensional Analysis of Preference-Kemel Principal Component Analysis Model in Wastewater Treatment[C] // International Association of Engineers. Proceedings of International Multiconference of Engineers and Computer Scientists 2007. Hongkong: Newswood Ltd, 2007.

[15] 樊立萍, 于海斌. 基于 KPCA 的 SBR 过程监视[J] . 仪器仪表学报, 2006, 20(3): 249-253.

[16] Fan Liping, Xu Yang. A PCA-Combined Neural Network Software Sensor for SBR Processes[C] // Liu Derong, Fei Shumin, Hou Zengguang, et al. Advances in Neural Networks-4th International Symposium on Neural Networks 2007 Proceedings: Part II. Berlin: Springer-Verlag, 2007.

[17] Charef A, Ghauch A, Baussand P, et al. Water Quality Monitoring Using a Smart Sensing System[J] . Measurement, 2000, 28(3): 219-224.

[18] Oliveira-Esquerrel K P, Mori M, Bruns R E. Simulation of an Industrial Wastewater Treatment Plant Using Artificial Neural Networks and Principal Components Analysis[J] . Brazilian Journal of Chemical Engineering, 2002, 19(4): 365-370.

[19] 冉维丽, 乔俊飞. 基于 PCA-GABP 神经网络的 BOD 软测量方法[J] . 控制工程, 2004, 11(3): 212-215.

[20] Lee D S, Jeon C O, Park J M, et al. Hybrid Neural Network Modeling of a FullScale Industrial Wastewater Treatment Process[J] . Biotechnology and Bioengineering, 2002, 78(6): 670-682.

(上接第 96 页)

3 结语

- (1)系统实现了监测数据单因子和综合指标的评价,评价结果可以以单点符号图和等值区域图的形式,达到了地下水污染分级警示的目的。
- (2)系统实现了对常规监测点地下水污染的预测,预测结果可以数据表和可视化的形式表达。
- (3)利用该系统查清了焦作市地下水质状况的空间分布规律以及铅、铁、锰、镉、六价铬、氟化物、氯化物等 15 种水质监测因子超标分布区域。

参考文献:

[1] 王立彬, 赵 承. 人均淡水资源量 2300 立方米相当于世界人均的 1/4, 我国是 13 个最贫水国之一[N] . 北京青年报, 2000-06-12(6).

[2] 尹国勋, 李振山. 地下水污染与防治: 焦作实证研究[M] . 北京: 中国环境科学出版社, 2005.

[3] 陈建春. Visual C++ 开发 GIS 系统: 开发实例剖析[M] . 北京: 电子工业出版社, 2004.

[4] 刘 光. 地理信息系统二次开发教程组件篇[M] . 北京: 清华大学出版社, 2003.

[5] 樊 红, 翟建军. ArcView GIS 应用与开发技术[M] . 武汉: 武汉大学出版社, 2003.

[6] Scott Hutchinson, Larry Daniel. Inside ArcView GIS[M] . New York: On World Press, 2000.

[7] Amir H Razavi. ArcView GIS Developer's Guide Programming with Avenue[M] . New York: On World Press, 2002.

[8] 王正军. Visual C++ 6.0 程序设计从入门到精通[M] . 北京: 人民邮电出版社, 2006.

[9] GB/T 14848-93, 地下水质量标准[S] .

[10] 邓聚龙. 灰预测与灰决策[M] . 武汉: 华中理工大学出版社, 2002.

[11] 朱东海, 任爱珠, 江见鲸. ArcView 应用开发中动态连接库方法研究[J] . 计算机工程, 2000, 26(9): 92-94.

[12] 邵华开, 付明泉, 刘雪梅, 等. 在 ArcView 3.0a 平台上应用 DLL 技术的探讨[J] . 大庆石油学院学报, 1998, 22(4): 47-50.

[13] 赵法锁, 宋 飞, 王艳婷, 等. 基于 GIS 的略阳县地质环境质量评价[J] . 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 88-91.

[14] 黄广生, 吴 方. 基于 GIS 的陕北景观结构[J] . 地球科学与环境学报, 2006, 28(3): 106-110.