

基于 GIS 的地下水易污性评价系统

张保祥^{1,2}, 张心彬³, 黄 乾², 孟凡海⁴

(1. 北京大学工学院水资源研究中心, 北京 100871; 2. 山东省水利科学研究院, 济南 250013;
3. 山东省煤田地质规划勘察研究院, 泰安 271000; 4. 山东省龙口市水务局, 龙口 265701)

摘要: 介绍了基于 MapGIS 开发的地下水易污性 DRAMTICH 评价系统, 说明地下水易污性评价软件(GW-VAS)的基本框架、主要功能、组成部分、系统特点以及使用方法。该系统还对 DRASTIC 等其它常见的地下水易污性评价方法进行了综合集成, 克服了单一方法缺乏对比性的不足, 提高了评价结果的客观性、科学性和实用性。并将该方法应用于黄河流域, 利用传统的权重评分法和本文开发的方法进行了对比, 结果表明, 系统通用性好, 方法实用性强。

关键词: 地下水易污性; MapGIS; GW-VAS 评价系统

中图分类号: X143

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2009)06-0026-06

目前, 地下水污染问题越来越受到人们的重视, 如何评价人为活动和自然污染源可能对地下水造成的污染, 成为决策管理者在有关地下水的政策制定和目标管理过程中面临的主要问题。地下水易污性评价是进行地下水保护工作的核心内容之一, 已经广泛应用于地下水保护工作中并得到充分肯定, 它能够各级规划和管理部门制订地下水资源管理、土地利用、环境保护及城市规划等政策措施提供决策依据。

1 地下水易污性评价原理

地下水易污性是一个相对模糊概念, 评价方法有多种。目前, 国际上应用最普遍、最成熟的地下水易污性评价方法是 DRASTIC 评价指标体系。该方法在美国、加拿大、南非及欧共体各国成功应用并积累了丰富的经验, 近年来在我国的应用也得到了迅速发展^[1]。

该方法选取对含水层易污性影响最大的 7 项水文地质评价指标来定量分析地下水的易污性^[2], 即: 地下水埋深 (Depth to the Water)、含水层净补给量 (Net Recharge)、含水层岩性 (Aquifer Media)、土壤类型 (Soil Media)、地形坡度 (Topography)、非饱和介质影响

(Impact of the Vadose Zone Media)、含水层水力传导系数 (Hydraulic Conductivity of the Aquifer), DRASTIC 即由上述 7 项指标英文首字母组成。DRASTIC 地下水易污性指数通常用以上 7 项指标的加权总和来表示。根据 DRASTIC 指数的大小, 就能够识别地下水污染敏感区, 具有较高易污性指数的区域的地下水就易于被污染, 反之就不易被污染。

在对 DRASTIC 地下水易污性评价指标体系充分分析的基础上, 结合北方滨海地区具体情况和对地下水易污性影响因素的具体分析, 以指标具有代表性、可靠性、科学性、系统性、层次性、可操作性及指标之间无相关性和包容性作为选取指标的原则, 建立了北方滨海地区地下水易污性 DRAMTICH 评价指标体系。该评价方法的计算结果为研究区地下水位埋深 (D)、含水层补给模数 (R)、含水层岩性 (A)、地下水环境 (M)、地形坡度 (T)、非饱和带岩性 (I)、含水层综合渗透系数 (C) 及人类活动影响 (H) 8 个指标评分的加权总和。

地下水易污性评价的步骤通常分为以下几个方面: ①确定影响研究区地下水易污性的主要水文地质参数, 并收集整理各参数的基本数据资料; ②对研究区进行参数分区, 按照一定的分级标准评定各参数对应的单项评分; ③建立评价模型, 计算分区地下水易污性指数, 确定其易污程度; ④对整个研究区地下水易污性做出总体评价, 提出研究区地下水保护方案。

2 系统开发

由于地下水易污性评价涉及的因素较多, 这些因素及各因素之间关系的数据量十分复杂, 当前正在快速发展的地理信息系统为解决上述问题提供了有力的

收稿日期: 2008-11-03; 修订日期: 2009-02-05

基金项目: 科技部国际科技合作与交流计划项目 (2007DFB70200); 国家重点基础研究发展计划 (973) 项目 (2006CB043404); 北京大学数字中国研究院为新研究基金 (W08DB07)

作者简介: 张保祥 (1966-), 男, 研究员, 在站博士后, 主要从事水资源与水环境方面研究。

E-mail: baoliang.zh@126.com

技术支持^[3]。针对地下水易污性评价系统的专业特点及技术要求,利用 MapGIS 空间分析和属性管理实现了易污性评价数据与图形的管理、查询和分析功能。

2.1 系统组成

地下水易污性评价系统(GW-VAS)实现了有关评价的信息检索、查询、分析、计算、输出等功能,主要由图形制作、属性管理、专业评价、系统设置及专业帮助等模块组成。系统总体框架结构如图1所示。

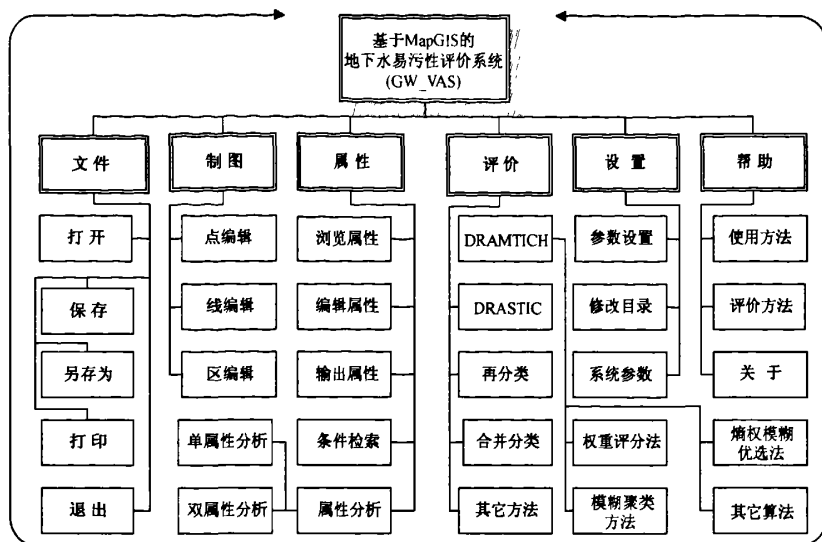


图1 基于 MapGIS 的地下水易污性评价系统框图

Fig.1 Diagram of groundwater vulnerability assessment system based on MapGIS

2.2 系统功能

考虑到不同行业对地下水易污性评价的要求可能不同,主要为其设置如下功能:

地图制作:图形制作是以地下水易污性评价专题地图和数字化数据为基础,图形输入以点状、线状及面状地物为基本组成部分,完全独立于具体的应用模式。图形制作主要具有对图形进行编辑、修改、检索、造区、分层管理等功能。

属性管理:该系统可方便地建立动态属性库,可随时扩充、精简和修改库的字段;属性定义功能可定义属性结构,修改属性域,并可对已有的属性进行管理、维护、分析、检索等操作;该系统能根据用户的需要,方便地建立动态属性库。

专业评价:地下水易污性评价方法较多,该系统主要进行 DRASTIC 方法和本文提出的 DRAMTICH 方法(包括权重评分法、熵权模糊优选法和模糊聚类分析方法)的评价和其它多种常见的评价计算方法(如 SEEPAGE、SINTACS、GOD、AVI 等),该模块主要是利用 MapGIS 的空间分析和属性管理功能来实现,它通过空间叠加分析方法、属性分析方法、数据查询检索来实现 GIS 对地理数据的分析和查询。

系统维护:该系统具有开放性,通过数据库、属性

库和方法库的修改,可应用于不同层次的用户。

2.3 评价方法

2.3.1 权重评分法

叠加分析是 GIS 最常用的提取空间隐含信息的手段之一,将初始数据层进行叠加可产生一个新数据层,它综合了原来两层或多层要素所具有的属性。叠加分析不仅包含空间关系的叠加,还包含属性关系的叠加,传统的地下水易污性评价方法就是利用 GIS 的叠加功能来完成的。本文首先利用 MapGIS 把每个评价指标的范围(分类)和评分值分别赋予其相应的属性参数中去进行叠加分析,然后将指标的权重值代入后得出地下水易污性评价指数,最后再根据该指数和地下水管理工作的需要对地下水易污性进行分类。

2.3.2 熵权模糊优选评价方法

地下水易污性及其评价的本质特征具有模糊性,可构造一个多目标模糊优选问题,对地下水的易污性评价问题便成为对各评价分区求解对易污性的隶属度问题^[4]。

设有 n 个评价分区,反映各分区易污性的评价指标有 m 个,则根据实测数据可构造评价指标特征值矩阵 X :

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nm} \end{bmatrix},$$

$$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m) \quad (1)$$

对各指标进行归一化处理,得到相对隶属度矩阵

R :

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

设第 i 个分区对易污性的相对隶属度为 u_i , w_j 为第 j 个评价指标的权重。根据模糊集理论可将隶属度定义为权重,则加权广义距离:

$$D(r_i) = u_i \sqrt{\sum_{j=1}^m (w_j |r_{ij} - 1|)^p} \quad (3)$$

上式经过处理,推导出第 i 个分区隶属度为:

$$u_i = \{1 + [\sum_{j=1}^m w_j (1 - r_{ij})]^2 / [\sum_{j=1}^m w_j r_{ij}]^2\}^{-1} \quad (4)$$

根据熵的定义,第 j 个评价指标的熵为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln(m)} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (5)$$

相应的第 j 个评价指标的权重为:

$$w_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^m (1 - e_j) \quad (6)$$

将式(6)结果代入式(4)中,即可求出每个分区的模糊优选隶属度。根据最大隶属度原则,可得到所有各分区地下水易污性相对隶属度的排序,据此对地下水易污性进行分类。

2.3.3 模糊聚类分析方法

模糊聚类分析是研究和处理如何根据观测数据将样品进行分类的数学方法,它可以把缺乏可靠历史资料而性质相近的事物归入一类^[5]。含水层易污性是一个模糊概念,不同的易污染性级别之间并没有明确的界限,可以将模糊聚类分析用于建立经验知识与理论模型结合的地下水易污性评价模型。

本系统中使用的是基于模糊等价关系的聚类方法。具体步骤是:利用 MapGIS 把评价指标进行叠加分析;对数据归一化处理;建立模糊相似矩阵;求出动态聚类图;根据动态聚类图对各分区进行易污性评价。

利用模糊聚类分析方法进行地下水易污性评价时没有考虑各指标权重(W_j)的影响,减少了人为主观影响因素,更符合客观实际情况。

2.4 系统实现方法

评价系统开发工具选用 Visual C++, 在 MapGIS 二次开发平台下采用类库开发方式完成。通过对 MapGIS 提供的多个可重用的基类的集成待用调用基类的属性和方法。这种开发方式相对 API 函数和控件开发方式,具有较强的灵活性,并且可以根据自己的要求进行扩充,开发出满足专业要求的评价系统^[6]。

2.5 主要特点

该评价系统(GW-VAS)的工程文件采用树状目录进行组织,从而可以清楚地描述和表达项目的内容。它具有通用性强、智能化程度高、与专业联系密切、系统稳定性好、维护方便和用户界面友好等优点。

该评价系统(GW-VAS)主要具有以下特点:①界面友好。采用主窗口与动态可停靠窗口相结合的整体界面,每一个窗口的功能和内容既相互独立又相互关联,大大提高了操作的方便性和快捷程度。②执行代码质量高。采用 Visual C++ 6.0 编写,与类库的开发语言一致,得到的执行程序速度快、稳定性好。③可扩展性强。采用彻底面向对象的编程方法,具有良好的可扩展性。④功能丰富。集成了目前国内外地下水易污性评价的多种方法,增强了评价结果的可靠性。

3 专业评价

从应用程序功能上看,本系统包含地下水易污性评价的各个方面,从图形录入、编辑到属性编辑、输出和地下水易污性评价的不同方法以及不同的格式(表格、图形)进行输出的全过程。

3.1 DRASTIC 评价方法

地下水易污性 DRASTIC 评价空间叠加分析过程包括空间数据叠加和属性叠加,叠加完成后即可按照分类标准对地下水易污性进行等级划分和评价,也可以进行属性分析和条件查询。地下水易污性评价 DRASTIC 评价方法的实现过程见图 2。

3.2 DRAMTICH 评价方法

权重评分法:地下水易污性 DRAMTICH 评价方法中的权重评分法的实现过程与 DRASTIC 方法类似,可参阅图 2。

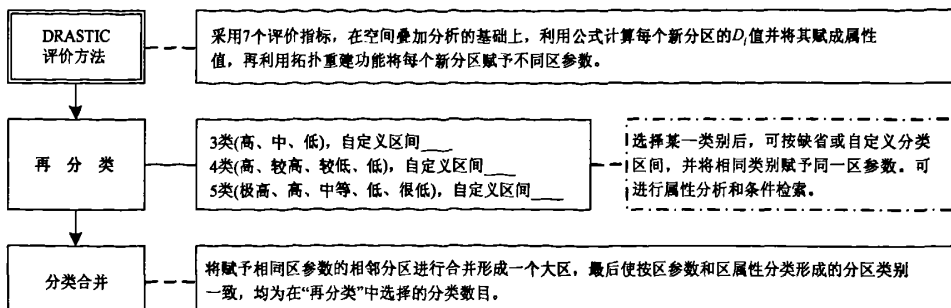


图2 地下水易污性评价 DRASTIC 方法流程框图(注:图中实线部分表示软件实现过程,虚线部分是其相应的解释)

Fig.2 Flow diagram of DRASTIC groundwater vulnerability assessment Method

熵权模糊优选评价方法:该方法是在 DRAMTICH 评价体系中各指标分区叠加结果基础上将各新分区的属性数据进行基于熵权的模糊优选评价,然后将评价结果(隶属度)返回给分区属性值,再利用此值对地下水易污性各分区进行再分类和评价。

模糊聚类分析方法:该方法是在 DRAMTICH 评价体系中各指标分区叠加结果基础上将各新分区的属性数据进行模糊聚类分析,给定适当 λ 值确定分类数量,然后根据聚类分析结果进行等级划分,在“再分类”选项中可对模糊聚类分析结果作适当调整。在模糊聚类分析中没有对各指标评分进行叠加的过程,亦即在聚类结果新分区的属性中不存在“总评分”项,因此该方法最终分类结果文件不能进行属性分析和条件查询。

4 应用实例

黄水河流域位于山东半岛北部,发源于栖霞市的主山,自东南向西北经龙口市境内流入渤海,流域内总的地形是东南高、西北低,南部为低山丘陵,北部为平原,平原面积约占 20%,南部最高点高程 450m。黄水河流域呈残叶状,南北长约 50km,东西宽约 30km,干流全长 55.43km,流域面积 1 034.5km²,包括 11 条一级支流。黄水河流域地理位置见图 3。

黄水河流域属暖温带半湿润季风型大陆性气候,多年平均降水量 613mm,降水量年内分配不均、年际变化大;在区域分布上,具有南部山区降水量较大、北部平原区降水量较小的特点。黄水河流域径流主要来源于大气降水,多年平均径流总量 $7\ 800 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。流域内有水库、塘坝 577 座,其中大型水库 1 座,总库容为 $1.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,兴利库容 $0.725 \times 10^8 \text{ m}^3$,死库容 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$,控制流域面积 328km²,具有多年调节功能;黄水河建有大型钢筋砼翻板拦河闸 7 座,一次性拦蓄水总

量 $606 \times 10^4 \text{ m}^3$;另外在黄水河下游建有地下水库 1 座。



图3 黄水河流域地理位置图

Fig.3 Location map of the Huangshui river

随着经济发展,需水量日益增加,从流域内大量提取地表水和地下水,破坏了水资源的供需平衡,导致了地下水位逐年下降,引发了河流断流、海水内侵等水环境的问题,对工业、农业和生活用水造成了很大影响。

黄水河流域地下水以大气降水及河川径流入渗补给为主,第四系孔隙水为主要地下水类型,广泛分布于黄水河中下游冲洪积平原、山前倾斜平原、滨海堆积及黄水河故道中,是地下水主要开采区,含水层由 Q_4^{al} 砾质粗砂、 Q_4^{m} 粗、中、细砂、 Q_3^{al+al} 砾质粗砂、 Q_2^{al+al} 中粗砂组成^[7]。选取黄水河中下游地区作为评价区,总面积为 319.97km²,占整个黄水河流域总面积的 30.9%。

针对黄水河流域的具体情况,利用基于 GIS 空间分析的权重评分法计算的黄水河中下游各分区地下水易污性 DRASTIC 评价方法总评分值在 32 ~ 227 之间;利用基于 GIS 的熵权模糊优选方法计算出的各分区隶属度值在 0.058 1 ~ 0.958 4 之间。两种易污性评价方法成果见图 4,结果对比情况见表 1。

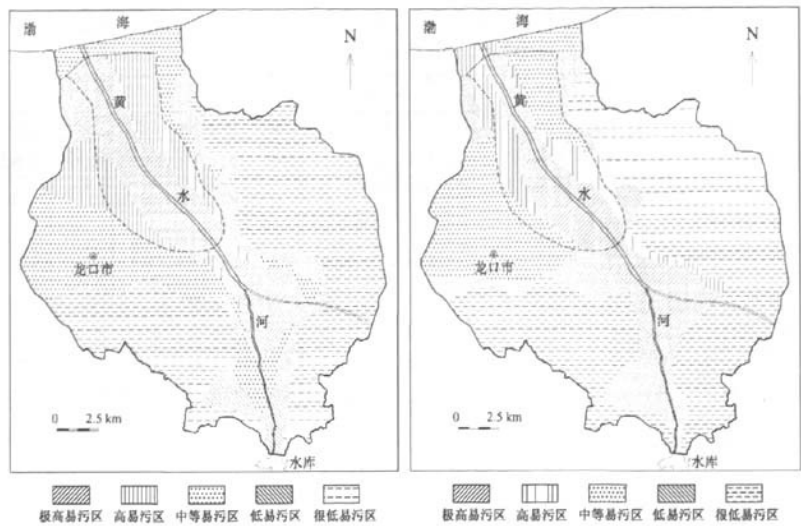


图 4 研究区地下水易污性 DRAMTICH 指标两种方法评价结果图

Fig.4 Groundwater vulnerable zones of the study area with DRAMTICH assessment indexes based on weight rating method(a) and entropy weight fuzzy optimization(b)

表 1 研究区地下水易污性 DRAMTICH 指标两种方法评价结果对比情况

Table 1 Comparison of the results of groundwater vulnerable zones of the study area with DRAMTICH assessment indexes based on weight rating method and entropy weight fuzzy optimization

评价指数		易污性程度	易污级别	地下水 易污染性	分区面积(%)	
权重评分法总评分	熵权模糊优选法隶属度				权重评分法	熵权模糊优选法
227 ~ 189	0.058 1 ~ 0.290 1	极高	I	极易	16.24	14.16
188 ~ 158	0.290 2 ~ 0.487 2	高	II	容易	14.49	7.90
157 ~ 111	0.487 3 ~ 0.688 2	中等	III	可能	16.94	18.07
110 ~ 72	0.688 3 ~ 0.823 4	低	IV	不易	9.61	10.68
71 ~ 32	0.823 5 ~ 0.958 4	很低	V	难	42.72	49.19

从图 4 和表 1 看出,两种评价方法的结果基本一致;整体看,黄河河中下游地区地下水易污性有从山前坡地到河流冲洪积平原愈来愈强的水平分带特征。

5 结语

运用 GIS 开发工具,结合地下水易污性评价的基本特性,对地下水易污性 DRASTIC 和 DRAMTICH 评价方法进行研究,建立了一套操作简便、通用性好、信息表达清楚、界面美观、系统组成结构合理、内容全面、可视化程度高、实用性强的地下水易污性评价系统(GW-VAS)。利用该系统可改变传统的地下水易污性评价模式,提高评价水平和工作效率,为地下水易污性评价提供重要的技术支撑和管理平台。

参考文献:

[1] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 北京:高等教育出版社,2007:266-287.

[2] Aller L, Bennett T, Lehr J, et al. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings [R]. National Water Well Association PB87 - 213914, EPA 600/2-87/035, 1987.

[3] 宫辉力,赵文吉,李小娟. 地下水地理信息系统:设计、开发与应用[M]. 北京:科学出版社,2006:64-74.

[4] 王国利,周惠成,张文国. 含水层易污染性评价的模糊优选方法[J]. 水利学报,2000,31(12):72-76.

[5] 荣跃,刘志斌,冯吉燕. 基于模糊聚类分析的地下水环境质量评价[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006,25(S1):309-311.

[6] 吴信才. 地理信息系统原理及方法[M]. 北京:电子工业出版社,2002:202-212.

[7] 张保祥. 黄水河流域地下水易污性评价与水源保护区划分研究[D]. 北京:中国地质大学,2006.

Groundwater vulnerability assessment system based on GIS

ZHANG Bao-xiang^{1,2}, ZHANG Xin-bin³, HUANG Qian², MENG Fan-hai⁴

(1. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Water Conservancy Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China;

3. Shandong Provincial Research Institute of Coal Geology Planning and Exploration, Tai'an 271000, China;

4. Longkou Water Authority Bureau, Longkou 265701, China)

Abstract: DRAMTICH, a groundwater vulnerability assessment index system is established based on MapGIS in this paper. The software (GW-VAS) for groundwater vulnerability assessment system, whose basic framework, main function, component parts, characteristics and usage are put forward in this paper, is set up on the basis of geographic information system MapGIS made in China. The other methods of groundwater vulnerability assessment, such as DRASTIC, are also used in the GW-VAS system. The assessment system becomes more objective, scientific and practical because it contains many other current-used groundwater vulnerability assessment methods. The Huangshuihe river catchment is taken as an example, in which the traditional weight rating method and entropy weight Fuzzy optimization were used. The results show that the system is of high applicability.

Key words: groundwater vulnerability; MapGIS; GW-VAS assessment system

责任编辑:汪美华,张若琳

(上接第 15 页)

Influence of parameters of a fault on coal mining above a confining aquifer

ZHANG Jun-feng¹, ZHANG Hua-ling¹, MENG Da¹, ZHANG Wan-huai², ZENG Jian-yong², WANG Dong-xi²

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Hebei Jinniu Energy Resources CO., LTD., Xingtai 054107, China)

Abstract: According to the theory of coupling of solid and fluid, the influence of fault step and dip angle on the stresses and deformations of coal layer and confining rock along with the pressure of pore water are numerically simulated by finite element method during the process of excavation above a confined aquifer. The mechanism of water inrush and the potential point of water inrush are explored. The distance of coal column for preventing water inrush is also analyzed quantitatively. The research results indicate that (1) fault-failure-type water inrush occurs more often than floor-failure-type water inrush under the existence of normal fault; (2) the influence of fault step and dip angle on the feature and position of water inrush is not evident, and water inrush may occur at both coal layer and the floor near working face; (3) the distance of coal column for preventing water inrush should be increased with the increase of fault step and dip angle. It is helpful in practical design of water inrush in coal mining.

Key words: fault; water inrush; coupling of solid and fluid; coal mining

责任编辑:汪美华,张若琳