

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.02.012

# 邢台山前倾斜平原区孔隙水脆弱性评价

王占辉,姜正义,徐素娟,谭俊

(河北省地矿局第十一地质大队水环处,河北邢台 054000)

**摘要** 利用 DRASTIC 模型和 MAPGIS 叠加技术,并采用层次分析法,构建地下水脆弱性评价系统,将该评价系统应用于邢台市山前倾斜平原区孔隙水脆弱性评价。结果表明,评价结果与实际情况比较吻合。

**关键词** 地下水;脆弱性评价;DRASTIC 模型;MAPGIS;层次分析法

中图分类号:P641.136 文献标识码:A 文章编号:1004-6933(2012)02-0050-04

## Assessment of vulnerability of pore water in piedmont sloping plain in Xingtai City

WANG Zhan-hui, JIANG Zheng-yi, XU Su-juan, TAN Jun

(Water Environment Department, Eleventh Geological Brigade,  
Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources, Xingtai 054000, China)

**Abstract**: The DRASTIC model and the superposition technique of MAPGIS were employed to construct the groundwater vulnerability assessment system using the analytic hierarchy process method. This system was applied to the assessment of vulnerability of pore water in the piedmont sloping plain in Xingtai City. The results show a good agreement with the actual situation.

**Key words**: groundwater; vulnerability assessment; DRASTIC model; MAPGIS; analytic hierarchy process

在邢台市百里工业经济带的规划与建设过程中,为了经济发展与水资源的利用和保护相协调,人与自然和谐相处,邢台市有关部门开展了百里工业经济带地质环境的调查与评价工作,而地下水的脆弱性评价是其中一项重要的工作。本研究利用 DRASTIC 模型和 MAPGIS 叠加技术,并采用层次分析法,评价邢台市山前倾斜平原区孔隙水的脆弱性。

### 1 DRASTIC 模型简介

DRASTIC 模型是目前评价地下水系统脆弱性的主要方法之一<sup>[1-3]</sup>。

DRASTIC 模型共考虑如下 7 个指标<sup>[4]</sup>:①地下水埋深( $D$ );②含水层净补给量( $R$ );③含水层岩性( $A$ );④土壤类型( $S$ );⑤地形坡度( $T$ );⑥包气带影响( $I$ );⑦含水层渗透系数( $C$ )。根据每个指标对脆弱

性影响的重要性赋予其一个相应的权重<sup>[5]</sup>,地下水脆弱性指数为以上 7 项指标的加权总和,其计算公式为

$$D_r = \sum_{j=1}^7 (W_j R_j) \quad (1)$$

式中: $D_r$ 为地下水脆弱性指数; $W_j$ 为因子 $j$ 的权重; $R_j$ 为因子 $j$ 的得分。

一般来说,脆弱性指数的值越大,地下水系统脆弱性越高,地下水越容易遭受污染。但地下水脆弱性指数提供的仅是相对概念,并不代表地下水遭受污染的绝对数值。

### 2 研究区水文地质环境

邢台市山前倾斜平原的孔隙水含水层的水平方向岩性,由西向东,由卵石、砾石逐渐变为粗砂、中砂,局部还有中细砂、细粉砂,含水层由厚变薄,层数

变多,具有富水性由冲洪积扇轴部向其边缘减弱的规律,而孔隙水含水层的垂直方向岩性,由上到下,全新统较薄,一般透水不含水,上更新统为本区的主要含水层(局部疏干),又称为浅层水,岩性以底部卵砾石、粗砂为主,局部为中细砂,中更新统和下更新统的岩性以中粗砂为主,局部为中细砂,且多呈风化状、含黏土质较多,富水性较差。

邢台市山前倾斜平原孔隙水的主要补给来源是大气降雨直接入渗、汛期河流地表水(或水库弃水)渗漏和西部基岩地下水侧向径流。另外,在局部灰岩浅埋区,第四系含水层直接覆盖于灰岩之上而构成“天窗”,孔隙水接受岩溶水的顶托补给。由于近年岩溶水水位继续下降,顶托补给量较小或消失,以至出现了反向补给。受地形及补给与排泄的控制,地下水接受补给后,总的径流趋势为由山前向平原缓慢运移,水力坡度小于1%,而排泄以人工开采和向下游平原区径流为主。

### 3 地下水脆弱性评价

#### 3.1 评价程序

邢台市山前倾斜平原区孔隙水脆弱性评价程序见图1。

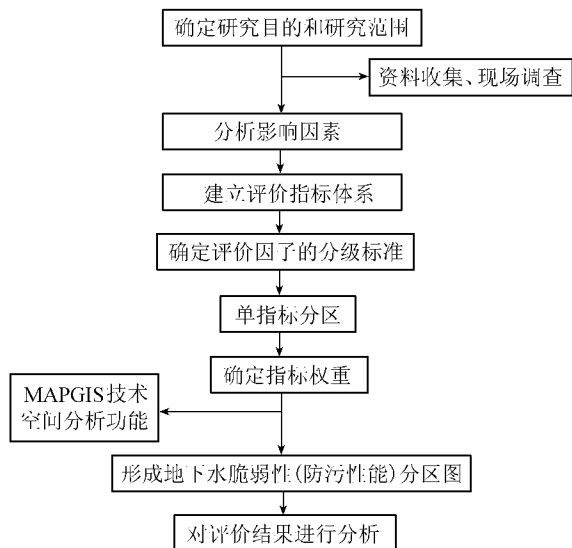


图1 邢台市山前倾斜平原区孔隙水脆弱性评价程序

#### 3.2 评价指标体系的构建及其评分

本次评价采用 DRASTIC 模型固定的 7 项指标作为评价的指标体系。赋值时除含水层的净补给量用降雨入渗补给量代替外,其他指标因子均按照 DRASTIC 模型赋值。

对于初值为定性评价的因子,如含水层介质、土壤介质和包气带岩性,分别按照评估区的具体情况划分等级,并根据经验排序给出相应的评分值。对于初值为定量评价的因子,如地下水埋深、降雨入渗补给

量、地形坡度、含水层渗透系数,首先对其相应的原始数据进行统计分析,根据数据所在的范围划分等级区间,取评分范围的中间值作为划分等级标准,再采用分值内插法对给定的评价因子数据进行计算,取得其对应的评分值。各评价因子评分标准见表1。

表1 地下水脆弱性评价指标参数评分标准

评价因子	范围	评分	评价因子	类型	评分
地下水埋深(m)	≤10	6	含水层岩性	以卵砾石为主	10
	10~15	4		以粗砂含砾为主	8
	15~20	3		以粗砂为主	6
	20~25	2		以中砂为主	5
	>25	1		以细砂为主	4
降水入渗补给量(mm/a)	≤100	3	土壤类型	裸露、洪积	10
	100~125	4		冲积	9
	125~150	5		冲积、洪积	6
	150~175	6		风积	3
	>175	7		冰积、残坡积、坡洪积	1
地形坡度(°)	0~2	10	包气带介质类型影响	卵砾石	10
	2~6	8		粗砂	8
	6~12	5		中砂	7
含水层渗透系数(m/d)	>400	10		细砂	6
	300~400	8		粉砂	4
	200~300	6		粉土	3
	100~200	4		粉质黏土	2
	50~100	2		黏土	1
	1~50	1			

#### 3.3 单指标分区

根据 DRASTIC 模型指标体系中的指标分级标准和评分值,对邢台市山前平原孔隙水的赋存区进行单指标分区,利用 MAPGIS 输入编辑功能完成各单指标的分区图,分区图有:地下水位埋深分区图、降水入渗补给量分区图、含水层岩性分区图、土壤介质类型分区图、地形坡度分区图、包气带介质类型影响分区图、含水层渗透系数分区图。

#### 3.4 确定评价指标权重

a. 权重  $W_j$  的确定方法。层次分析法是通过指标间的两两对比<sup>[6]</sup>来描述因素之间的相对重要程度。衡量相对重要的差别采用 1~5 比率标度法(表2),从而形成一个判断矩阵,然后求解判断矩阵的特征向量,即可获得各指标的权重。权重  $W_j$  需进行随机一致性检验。

表2 两两对比的判断标度

标度	含义
1	两因素相比,具有同样重要性
2	两因素相比,其中一个稍微重要些
3	两因素相比,其中一个明显重要
4	两因素相比,其中一个强烈重要
5	两因素相比,其中一个极端重要
倒数	若因素甲与因素乙相比的标度为 $i$ ,则乙比甲的标度为 $1/i$

b. 权重的判断矩阵。按照各指标  $D$ 、 $R$ 、 $A$ 、 $S$ 、 $T$ 、 $I$ 、 $C$  的顺序,通过两两对比构造出权重判断矩阵  $Y$  如下:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & 4 & \frac{1}{2} & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & \frac{1}{3} & 1 \\ \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & \frac{1}{4} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{5} & \frac{1}{3} \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 1 & 3 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & 2 & 3 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

采用几何平均法计算判断矩阵的权重。首先计算判断矩阵  $Y$  各行各个元素  $y_i$  的乘积,计算乘积的  $n$  次方根,然后对向量进行归一化处理,该向量即为所求权重向量,结果为  $\{0.268, 0.165, 0.099, 0.06, 0.04, 0.268, 0.099\}$ 。

c. 一致性检验。一致性检验公式为

$$CR = CI/RI \quad CI = (\lambda_{\max} - n)(n - 1) \quad (2)$$

式中:  $CR$  为随机一致性比率;  $CI$  为一致性指标;  $\lambda_{\max}$  为最大特征根;  $n$  为矩阵阶数;  $RI$  为平均随机一致性指标(取值见表 3)。

表 3 平均随机一致性指标取值表

矩阵阶数( $n$ )	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均随机一致性指标值( $RI$ )	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

判断矩阵的最大特征根  $\lambda_{\max}$  为 7.0905,经过计算一致性指标  $CI = 0.0151$ ,随机一致性比率  $CR = 0.0114$ ,小于 0.1,因此,所获得的权重值是合理的。

### 3.5 评价分区

采用 MAPGIS 的空间分析功能,将得到的各单指标分区图按图 2 的过程分层叠加起来,共得到 593 个评价单元。经计算,各评价单元的脆弱性指数最小为 50,最大为 176,在该区间将脆弱性指数分为 5 个等级,各等级所对应的分区及其评分值见表 4。按照同等级评价单元进行合并的原则进行分区,得到研究区的孔隙水固有脆弱性分区图(图 3)。

表 4 地下水固有脆弱性分级表

固有脆弱性分级	对应分区	评分分值
I	极低脆弱性区	$50 \leq D_r \leq 75$
II	低脆弱性区	$75 < D_r \leq 100$
III	中等脆弱性区	$100 < D_r \leq 125$
IV	高脆弱性区	$125 < D_r \leq 150$
V	极高脆弱性区	$150 < D_r \leq 176$

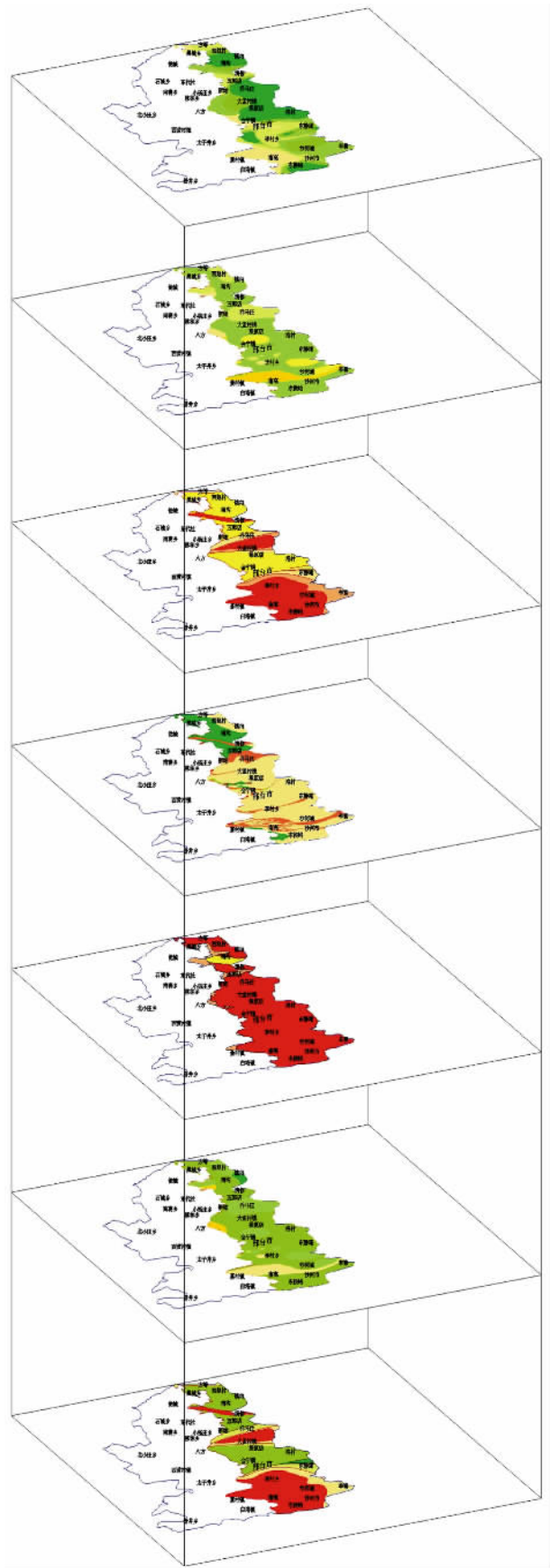


图 2 各分区图的叠加过程

### 3.6 分析评价结果

对评价结果进行统计,得到评价范围内孔隙水固有脆弱性各个分区的面积,见表 5。

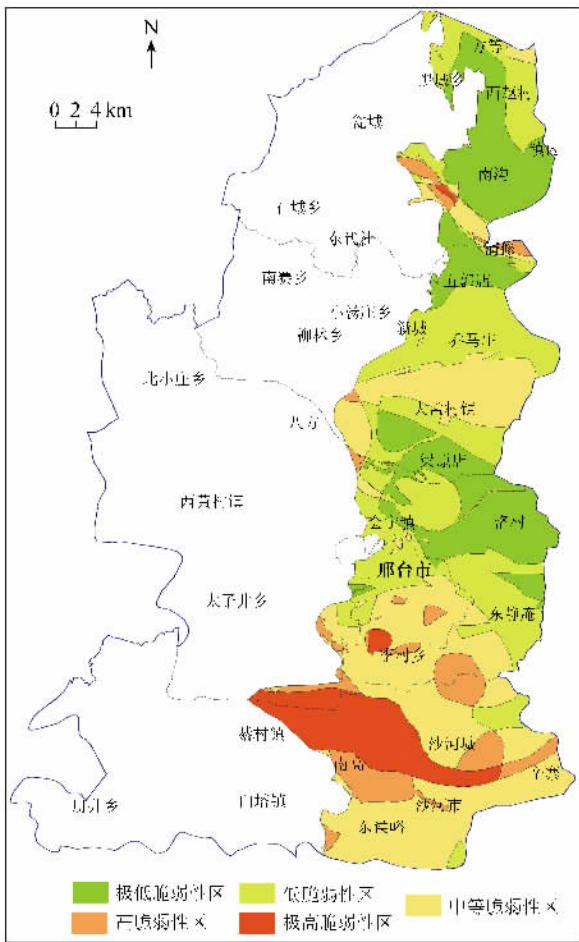


图3 邢台市山前平原区孔隙水脆弱性分区图

表5 邢台市山前平原区脆弱性分区面积情况

孔隙水脆弱性分区	统计面积/km <sup>2</sup>	占孔隙水区总面积的比例/%
极低脆弱性区 (I)	261.03	21.86
低脆弱性区 (II)	337.72	28.29
中等脆弱性区 (III)	402.05	33.68
高脆弱性区 (IV)	93.57	7.84
极高脆弱性区 (V)	99.49	8.33

由表5和图3可以看出:①研究区近84%的面积为脆弱性极低到中等的区域,分布较为广泛,该区域远离河道和河漫滩,地下水的防护条件较好,不易遭受污染;②研究区内仅约16%的面积为脆弱性高到极高的区域,其中,高脆弱性区主要分布在邢台、沙河和临城境内,仅极小部分区域分布在内丘;邢台市境内的高脆弱性区包括达活泉、百泉泉域、白马河在西羊村西北一带的河床和七里河河床中、上游及其河漫滩和一级阶地地区;沙河境内的高脆弱性区主要为沙河河漫滩和一级阶地地区。极高脆弱性区主要分布在沙河河床、河漫滩及其冲洪积扇间地带,也有小区域分布在邢台市和临城县;邢台市的极高脆弱性区分布在七里河的李村—贾村段河床、河漫滩和一级阶地地区;临城县的极高脆弱性区分布在氐河在解村—北程村段的河床、河漫滩和一级阶地地区。

高脆弱性区和极高脆弱性区的地下水防护条件很差,该区域内的孔隙水极易遭受污染,因此,高脆弱性区和极高脆弱性区是地下水保护的重点区域,应高度重视。

#### 4 结 语

将MAPGIS技术和层次分析法与DRASTIC模型相结合,形成了地下水脆弱性评价的新体系,将该评价体系应用于邢台市山前倾斜平原区孔隙水的脆弱性评价,结果表明,评价结果与实际情况吻合较好。

但是,本次评价应用的是DRASTIC模型固有的指标和参数,只考虑了地质环境、地形、地貌、水文等天然条件对含水层脆弱性的影响,而没有考虑人为活动的影响,具有一定的局限性。

#### 参考文献:

- [1] 杨旭东,李伟,马学军.模糊评价法在沧州市区地下水脆弱性评价中的应用[J].安全与环境工程,2006,13(2):9-12.
- [2] 曾庆雨,田文英,王言鑫.基于复合权重-GIS的下辽河平原地下水脆弱性评价[J].水利水电科技进展,2009,29(2):23-26.
- [3] 彭稳,裴建国.岩溶含水层脆弱性评价方法探讨[J].水资源保护,2010,26(6):9-15.
- [4] 杨庆,栾茂田.地下水易污性评价方法:DRASTIC指标体系[J].水文地质工程地质,1999(2):4-9.
- [5] ALLER I, BENNET T, LEHR J H, et al. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydro-geologic settings[R]. Philadelphia: Pennsylvania State University, 1987.
- [6] 陈学群.莱州市地下水脆弱性评价研究[D].济南:山东大学,2006.

(收稿日期 2011-03-30 编辑 彭桃英)

