

基于 DRASTIC 指标体系法的 泰安市地下水脆弱性研究

夏学军¹, 张保健^{1,2}, 白福英¹, 孙艳丽¹, 亓麟³

(1. 山东省第一地质矿产勘查院, 山东 济南 250014; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044)

摘要:地下水脆弱性评价是地下水保护工作的核心内容之一, 针对泰安市的特点和区域特色, 利用 DRASTIC 方法, 选取地下水埋深、净补给量、含水层介质类型、土壤介质类型、地形坡度、包气带介质类型以及含水层渗透系数 7 个参数为评价指标, 对该地区的地下水脆弱性进行了定量评价, 将泰安市地下水的脆弱性分为脆弱性高、较高、中等和低 4 个等级, 并绘制了地下水脆弱性分区图, 对该地区今后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具有较重要的参考指导作用。

关键词:地下水脆弱性; DRASTIC; 指标体系法; 泰安市

中图分类号: X523

文献标识码: A

0 引言

地下水环境是人类环境的一个重要组成部分, 与人类生存密切相关。由于人类活动的长期影响, 特别随着城市人口的不断增长和都市化进程的加速发展, 使城市地下水环境表现出不断恶化的趋势, 不断恶化的地下水环境又反作用于人类本身, 不仅严重制约着经济的发展, 甚至危及人类的生命健康和财产安全。因此, 保护和改善地下水环境, 实现地下水资源可持续开发利用, 是目前及今后人类面临的重要任务。

泰安市位于山东省中部, 北依泰山, 南临大汶河, 构成山、城一体的旅游胜地。近几十年来, 随着城区人口的急剧增加和工农业的快速发展, 用水量与日俱增, 再加上来自工矿业“三废”以及人类生活废弃物的污染, 使非常脆弱的水环境亦随之恶化。鉴于此, 根据泰安市的实际情况, 采用目前国际上应用最为广泛和成功的 DRASTIC 指标体系法对研究区地下水进行脆弱性评价。

1 研究区概况

研究区三面环山包括泰安市泰山区和岱岳区, 总面积 2 086.77 km², 北部为东岳泰山, 主峰标高 1 545 m; 东南部为徂徕山, 主峰标高 1 027 m; 西部为低缓丘陵, 地形起伏; 东部为大汶河冲积平原, 地形平坦; 中部为泰山山前冲洪积平原, 自然地形坡降为 6/1000。该区属北温带半湿润大陆性季风气候, 多年平均降水量为 689.0 mm。大汶河为主干河流, 属季节性河流, 雨季洪水暴涨, 旱季流量骤减以至干枯, 多年平均径流量为 1.7 × 10⁶ m³/a。

研究区出露地层由老到新依次为: 新太古代泰山岩群变质岩系, 古生代寒武纪、奥陶纪碳酸盐岩、页岩, 古近纪含盐、膏粘土岩、砂岩, 第四纪冲洪积及坡积松散岩类。依据地下水的含水介质及赋存特征, 研究区含水岩层可划分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩类孔隙裂隙水及侵入岩-变质岩类裂隙水 4 类含水岩系。

2 地下水脆弱性评价方法

* 收稿日期: 2010-08-10; 修订日期: 2010-09-26; 编辑: 陶卫卫

作者简介: 夏学军(1955—), 男, 山东滕州人, 高级工程师, 主要从事矿产资源勘查与管理工作; E-mail: baojianzh@sohu.com。

2.1 评价方法选择

“地下水脆弱性”的术语是由法国水文地质学家 J. Margat 于 1968 年首先提出,但目前还尚未形成一个明确统一的地下水脆弱性的定义,水文地质学家们仍在对地下水脆弱性概念的内涵和外延进行探讨。国内有关地下水脆弱性研究始于 1996 年^[1]。美国环保署(USEPA)和国际水文地质协会(IAH)于 2000 年给地下水脆弱性下的定义是:地下水系统对人类或自然的有效敏感性。参数系统法中的 DRASTIC 评价标准是目前地下水脆弱性评价中应用最广泛的方法,它是由美国环境保护署(USEPA)于 1987 年提出的^[2],该文尝试用该方法对泰安市地下水脆弱性进行评价,旨在为该区地下水资源管理与保护提供借鉴。

2.2 DRASTIC 指标体系法及模型

DRASTIC 指标体系法的假设条件为:污染物由地表进入地下;污染物随降水入渗到地下水中;污染物随水流动;评价区面积不小于 40.5 km²^[3]。

该方法以地下水位埋深 D(Depth to Water)、净补给量 R(Net Recharge)、含水层介质类型 A(Aquifer Media)、土壤介质类型 S(Soil Media)、地形坡度 T(Topography)、包气带介质类型 I(Impact of the Vadose Zone Media)以及含水层渗透系数 C(Conductivity of the Aquifer) 7 个参数为评价指标^[4]。DRASTIC 指标通常用数字大小来表示,由 3 个部分组成:

权重、范围(类别)和评分。其意义分别为:①权重:每一个 DRASTIC 评价参数根据其对地下水防污性能的作用大小都被赋予一定的权重,权重值大小为 1~5,最重要的评价参数取 5,最不重要的评价参数取 1。各评价参数权重取值的大小结合具体的评价区域来选定,泰安市各 DRASTIC 评价参数权重值的大小见表 1。②范围(类别):对于每一个 DRASTIC 评价参数来说,由于其范围(类别)不同而对地下水防污性能的作用大小不同。③评分:每一个 DRASTIC 评价参数其评分取值范围为 1~10,分别对应于每个评价参数的变化范围(类别)。泰安市 DRASTIC 指标的范围(类别)和评分见表 2。

根据各个指标的变化范围及其内在属性进行评分,根据各个指标对地下水脆弱性影响程度给予权重赋值,再进行加权求和,即为地下水脆弱性指数,其值越大,地下水越脆弱。计算公式如下:
DRASTIC 指标 = D_ω + R_ω + A_ω + S_ω + T_ω + I_ω + C_ω
式中:r—评分;ω—权重。

按上述方法,结合研究区实际的地质、水文地质条件,将上述 7 种评价参数分别编制成单要素图,利用 MapGIS 的空间分析功能进行单要素叠加,最后形成综合评价结果图。

表 1 泰安市 DRASTIC 指标体系法各评价参数权重

评价参数	D	R	A	S	T	I	C
权重 ω	5	4	3	2	1	5	3

表 2 泰安市地下水脆弱性 DRASTIC 指标的范围(类别)和评分

地下水位埋深	净补给量	含水层介质类型	土壤介质类型	地形坡度	包气带介质类型	含水层渗透系数
范围(m) 评分	范围(mm) 评分	类型 评分	类型 评分	范围(%) 评分	类型 评分	范围(m/d) 评分
0~1.5 10	0~51 1	块状页岩 2	薄层或无/砾石 10	<2 10	承压层 1	0~4.1 1
1.5~4.6 9	51~102 3	变质岩/火成岩 3	砂层 9	2~6 9	粉砂/粘土/页岩 3	4.1~12.2 2
4.6~9.1 7	102~178 6	风化变质岩/火成岩 4	泥炭 8	6~12 5	变质岩/火成岩 4	12.2~28.5 4
9.1~15.2 5	178~254 8	冰碛层 5	胀缩性粘土 7	12~18 3	砂岩/灰岩 6	28.5~40.7 6
15.2~22.9 3	>254 9	层状砂岩、灰岩及页岩 6	砂质壤土 6	>18 1	层状砂岩、灰岩及页岩 6	40.7~81.5 8
22.9~30.5 2		块状砂岩 6	壤土 5		砂砾石与粉土、粘土互层 6	>81.5 10
>30.5 1		块状灰岩 6	粉砂质壤土 4		砂砾石 8	
		砂砾层 8	粘质壤土 3		玄武岩 9	
		玄武岩 9	腐殖土 2		岩溶灰岩 10	
		岩溶灰岩 10	非胀缩性粘土 1			

2.3 评价参数评分

根据 DRASTIC 指标体系方法的评分标准,结合研究区的实际情况,各评价参数空间分布描述如下:

(1) 地下水位埋深(D)。研究区地下水位埋深一般在 1.5~9 m 之间。城区南部、大汶口和山口镇一带局部大于 9 m,其评分为 5;泰山和徂徕山区地下水位埋深一般小于 4.6 m,其评分为 9;其他地区评分为 7。

(2) 净补给量(R)。考虑大气降水入渗和灌溉用水回渗等因素,计算得研究区净补给量为 71.2~467.8 mm。其评分为 3,6,8,9 四个值。

(3) 含水层介质类型(A)。大汶河河谷及两侧含水层岩性为中、粗砂夹卵砾石,其评分为 8;泰山和徂徕山区多为泰山岩群变质岩,其评分为 3;山前平原含水层多为粘土夹碎石,其他山区多为灰岩、白云岩及页岩,岩溶不甚发育,其评分为 6。

(4) 土壤介质类型(S)。泰山和徂徕山区土壤为薄层或无,其评分为 10;大汶河河谷及两侧土壤为砂层,其评分为 9;山前平原多为粘质壤土,其评分为 3;其他地区为砂质壤土,其评分为 6。

(5) 地形坡度(T)。泰山和徂徕山主峰及周边地区坡度较大,一般大于 18%,其评分为 1;其他低山丘陵区坡度一般在 6%~12% 之间,评分为 5;河谷和山前平原坡度小于 2%,评分为 10。

(6) 包气带介质类型(I)。大汶河河谷及两侧包气带岩性为中、粗砂夹卵砾石,其评分为 8;泰山和徂徕山区多为泰山岩群变质岩,其评分为 4;山前平原含水层多为粘土、粉土夹碎石,其他山区多为灰岩、白云岩及页岩,岩溶不甚发育,其评分为 6。

(7) 含水层渗透系数(C)。泰山和徂徕山区为基岩裂隙含水层,渗透系数一般小于 4 m/d,其评分为 1;大汶河河谷及两侧含水层为中、粗砂夹卵砾石,渗透系数一般大于 40 m/d,其评分为 8;山前平原含水层多为粘土、粉土夹碎石,其他山区多为灰岩、白云岩及页岩,岩溶不甚发育,渗透系数一般在 10~40 m/d 之间,评分为 4 和 6。

2.4 地下水脆弱性评价分区原则

结合泰安市影响地下水脆弱性的各指标的实际情况,确定评价分区划分为 4 个级别: DRASTIC 指标 ≥ 180 ,为地下水高脆弱性区,极易受污染; $150 \leq$ DRASTIC 指标 < 180 ,为地下水较高脆弱性区,易受

污染; $120 \leq$ DRASTIC 指标 < 150 ,为地下水中等脆弱性区,中等易污染; DRASTIC 指标 < 120 ,为地下水低脆弱性区,不易污染。

3 泰安市地下水脆弱性分区

根据 DRASTIC 指标体系方法和地下水的脆弱性划分原则,采用 MapGIS 6.7 计算机软件,对各评价参数的评分值叠加计算得出 35 个评价分区,其 DRASTIC 指标值为 104~197,共分为脆弱性高、较高、中等和低 4 个等级(图 1)。

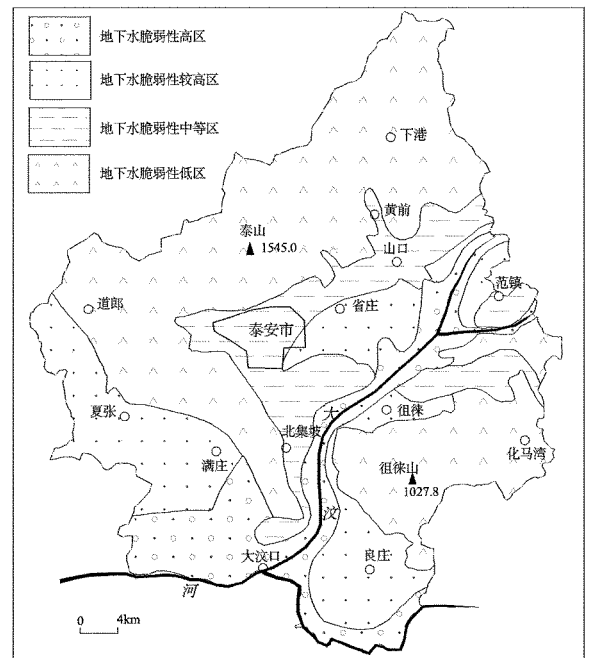


图1 泰安市地下水脆弱性评价分区图

由图 1 看出,泰安市地下水高脆弱性分区主要分布在大汶河河谷平原一带,面积 313 km²,占总面积的 15.0%;较高脆弱性分区主要分布在大汶河河谷平原两侧的冲洪积山前平原地带,面积 438.2 km²,占总面积的 21.0%;中等脆弱性分区主要分布在泰山、徂徕山山脚下的残坡积山前平原地带,面积 279.6 km²,占总面积的 13.4%;低脆弱性分区主要分布在泰山、徂徕山山区地带,面积 1 055.9 km²,占总面积的 50.6%。

评价结果与地下水水质监测结果是基本一致的,大汶河两岸的大汶口、房村、满庄、范镇、山口等地的部分第四系孔隙水的水质监测结果为极差和较差,而这些地段均位于地下水高或较高脆弱性分区内。泰山、徂徕山山区基岩裂隙水水质良好,属可供

饮用的优良水源,它们均位于低脆弱性。

4 结语

地下水脆弱性 DRASTIC 评价方法是一种相对的评价方法,它不会给出绝对的结论。它可以为区域土地利用计划的制定者和开发者提供有关该区域地下水资源保护的指导。该文采用 DRASTIC 评价方法对泰安市地下水脆弱性进行了评价,将泰安市地下水的脆弱性分为脆弱性高、较高、中等和低4个等级,评价结果表明:泰安市地下水最脆弱的地带为大汶河河谷平原一带。经与地下水水质监测资料对比,说明评价结果是比较可靠的。

但是,地下水脆弱性又分为固有脆弱性(Intrinsic Vulnerability)和特殊脆弱性(Specific Vulnerability)2类。前者指在天然状态下地下水系统对污染和人类开发利用所表现的内部固有的敏感属性,后者指地下水对某一特定污染源或人类活动的脆弱性^[5]。单纯评价地下水的固有脆弱性可以说明天然状态下地下水系统对污染和人类开发利用所表现的固有脆弱性,但是却经常出现地下水对某一特定污染源或人类活动的脆弱性表现更突出的现象。如根据地下水水质监测资料,在泰安市区南部和山口一带,虽然地下水水位埋藏较深,但也出现了地下水

水质较差的现象,这—是因为市区污水排放量大,二是由于过度开采地下水,形成一定规模的地下水降落漏斗,改变了原来天然的地下水流场形态,使污水向漏斗区下渗,而导致水质变差。这与随地下水埋深增大,DRASTIC 指标分值变小的趋势是矛盾的。因此,在以后的地下水脆弱性评价工作中广泛收集土地和地下水开发方式、强度和污染负荷等内容,将地下水的固有脆弱性和特殊脆弱性结合起来分析,也是地下水脆弱性评价的下一步发展方向。

参考文献:

- [1] 左海凤,魏加华,王光谦. DRASTIC 地下水防污性能评价因子赋权[J]. 水资源保护,2008,24(2):22-25.
- [2] AllerL., BennetT., LehrJ. H., PettyR., HeckettG. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. U. S. Environmental Protection Agency, Ada(Oklahoma), U. S. A. 1987.
- [3] 张保祥,万力, JADEJulawong. DRASTIC 地下水脆弱性评价方法及其应用——以泰国清迈盆地为例[J]. 水资源保护,2007,23(2):38-41.
- [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,1999,26(2):4-9.
- [5] 张丽君,刘树臣,贾跃明. 国外环境地质研究和工作的主要态势[J]. 水文地质工程地质,1999,26(6):1-5.

Study on Groundwater Vulnerability Based on DRASTIC Index System in Tai'an City

XIA Xuejun¹, ZHANG Baojian^{1,2}, BAI Fuying¹, SUN Yanli¹, QI Lin³

(1. No. 1 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250014, China; 2. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 3. China Water Conservancy and Hydropower Institute, Beijing 100044, China)

Abstract: Groundwater vulnerability assessment is the key of groundwater protection. Pointing to characteristics and regional characteristics in Tai'an city, by using DRASTIC method, selecting 7 parameters as the evaluation indicators, such as groundwater depth, net recharge, aquifer media, soil media types, terrain slope, media types of the vadose zone, and aquifer parameters of hydraulic conductivity, the quantitative evaluation of groundwater vulnerability in this region is carried out, the vulnerability of Tai'an city is divided into high, relative high, medium and low grades. Division mapping of groundwater vulnerability zoning has been made. It will provide some references for making policies in groundwater resources management, land use, environmental protection and urban planning.

Key words: Groundwater vulnerability; DRASTIC; Tai'an city