

基于 AHP 的 DRASTIC 模型对莱州地区 地下水脆弱性研究

杨宁,陶志斌,高松,王元峰,于林弘

山东省第三地质矿产勘查院,山东烟台,264004

内容提要:地下水脆弱性评价是作为地质环境评价的一部分,目前国内外已有众多研究,并提出多种评价模型,其中以 DRASTIC 方法模型使用最为广泛。AHP(层次分析法)是一种层次权重决策分析方法,综合专家经验与理论数据,可以实现定性与定量二者有效的统一结合,更真实客观的反映研究区评价结果。文中以莱州地区为研究区,在全面调查区内的地质条件、水文地质条件、地形地貌、气象等实际情况的基础上,利用 AHP 法对目前使用的 DRASTIC 方法模型进行改进。对原模型中的 7 个参数进行权重重新取值,然后建立一套符合研究区的地下水脆弱性模型,并进行评价分区,最终绘制了地下水脆弱性分区图。

关键词:莱州地区;地下水脆弱性;AHP;DRASTIC 模型;权重

“地下水脆弱性”一词由来已久,最初是在 1968 年由 Margat(Vrba et al., 1994)首次提出,在其后的二十几年里,又由许多学者从不同的角度提出不同的定义(Sun Caizhi et al., 1999, 2000; Jiang Guihua, 2002)。Vrba 等将其概括为:脆弱性是地下水系统的固有属性,它依赖于系统对人类和自然影响的敏感程度(Zhang Lijun, 2006; Xia Xuejun et al., 2011)。地下水脆弱性有多种评价方法(Zhang Xin et al., 2010),其中 DRASTIC 评价指标体系法(Dai Wei et al., 2012)是目前应用最广泛的方法,它是由美国环境保护署(EPA)(Aller et al., 1987)于 1987 年提出的,已在地下水防污性能编图工作中发挥了重要作用(Zuo Haifeng et al., 2008)。20 世纪 90 年代我国开始引进该方法,大量学者参与到该方法的研究中,并在全国多处地方得到应用。

莱州市地处渤海湾,海洋渔业十分发达,是我国主要的黄金产地,同时也是我国北方石材出口基地。近年来随着城市的不断发展,人口不断增加,用水量与日俱增,同时来自工矿企业和人类日常生活排放废弃物的污染日益增多,使原本就脆弱的地下水环

境日益恶化。据此,本文根据研究区内的实际情况,选择基于 AHP(层次分析)技术(Li Shaofei et al., 2008; Yu Xiangqian et al., 2012)的 DRASTIC 指标体系法对研究区的地下水环境进行脆弱性评价。依据评价结果,可为研究区预防地下水污染,保护地下水环境提供科学依据(Li Aijun et al., 2015)。

1 研究区概况

研究区位于山东省莱州市,气候属暖温带季风型大陆型气候,四季分明。地势总体趋势南高北低,东高西低,地势较为平坦,地形坡度一般为 $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$,最大坡角约 23° 。研究区发育地层主要有古元古界粉子山群、古近系和第四系(Chi Peixing et al., 1994)。根据地下水赋存条件和水理性质等,将本幅地下水划分为:松散岩类孔隙含水岩组(Zhu Zihui, 2010)、碳酸盐岩类岩溶裂隙含水岩组、碎屑岩类孔隙裂隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组四种类型。

2 地下水脆弱性评价

本文运用基于 AHP 的 DRASTIC 法,突破了

注:本文为山东省国土资源厅 2013 年度省地质勘查项目“山东省 1:5 万区域水文地质调查(莱州市、平里店、道头幅)”(编号鲁勘字(2013)76 号)资助成果。

收稿日期:2019-07-23;改回日期:2019-08-12;责任编辑:周健。

作者简介:杨宁,女,1987 年生。工程师,主要从事水工环地质等方面工作。Email:yangning@sddksd.com。通讯作者:于林弘,女,1985 年生。工程师,主要从事水工环地质等方面工作。Email:yulinhong305@163.com。

引用本文:杨宁,陶志斌,高松,王元峰,于林弘. 2019. 基于 AHP 的 DRASTIC 模型对莱州地区地下水脆弱性研究. 地质学报, 93(s1): 133~137, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019220.
Yang Ning, Tao Zhibin, Gao Song, Wang Yuanfeng, Yu Linhong. 2019. Study of groundwater vulnerability in Laizhou using AHP-based DRASTIC model. Acta Geologica Sinica, 93(s1): 133~137.

原 DRASTIC 方法中各参数权重一成不变的局限性,本次仍然选用原方法中影响地下水脆弱性的 7 个因子 (Zhong Zuoshen, 2005; Qu Wenbin et al., 2007; Xi Xu, 2015; Yuan Chunhong et al., 2017): 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)。首先选用层次分析法利用方根法确定各评价参数的权重,然后根据每个参数的评分体系进行加权求和,最终对地下水脆弱性分区评价。

2.1 评价参数权重

依据 DRASTIC 模型中已有的 7 个评价指标,将承压参数进行分析比较,构建成为两两因素的比

较判断矩阵,判断矩阵中各元素表示评价因素 P_i 对 P_j 为相对重要性标度。

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} & P_{26} & P_{27} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} & P_{36} & P_{37} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} & P_{46} & P_{47} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} & P_{56} & P_{57} \\ P_{61} & P_{62} & P_{63} & P_{64} & P_{65} & P_{66} & P_{67} \\ P_{71} & P_{72} & P_{73} & P_{74} & P_{75} & P_{76} & P_{77} \end{bmatrix}$$

计算判断矩阵中每一行元素的乘积: $M_i = \prod_{j=1}^7 P_{ij} (i, j = 1, 2, \cdots 7)$ 。

计算 7 次方根: $\overline{W}_i = \sqrt[7]{M_i}$ 。

对所得向量 $\overline{W} = [\overline{W}_1, \overline{W}_2, \cdots \overline{W}_7]^T$ 进行归一化处理 (Han Li et al., 2004), 得到各参数的权重见表 1。

表 1 AHP 法求取 DRASTIC 指标体系各评价参数权重

Table 1 The weight of each evaluation parameter of DRASTIC index system using AHP							
评价参数	地下水位埋深 D (m)	净补给量 R (mm)	含水层介质 类型 A	土壤介质 类型 S	地形坡度 T (%)	包气带介质 类型 I	含水层渗透系数 C (m/d)
权重 (ω)	0.213	0.069	0.202	0.114	0.036	0.193	0.174

为了检验本次判断矩阵求出的权重是否合理,对本次判断矩阵进行一致性检验,因本次使用矩阵属于 7 阶矩阵,故 RI 取 1.32。矩阵的随机一致性比例 CR 检验公式为: $CR = CI / RI$, 得出本次 $CI = 0.0320$, 证明矩阵总有完全一致性,说明所取权重分配是合理的。

2.2 评价参数评分

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)。DRASTIC 指标的范围 (类别) 和评分见表 2。

根据 DRASTIC 指标体系方法的评分标准,结合本次研究区的实际情况,各评价参数空间分布描

表 2 DRASTIC 指标的范围 (类型) 和评分

Table 2 Range (type) and rating of the DRASTIC indicator													
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/黏土/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	胀缩性黏土	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、黏土互层	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	黏质壤土	3			玄武岩	9		
				玄武岩	9	腐殖土	2			岩溶灰岩	10		
				岩溶灰岩	10	非胀缩性黏土	1						

述如下:

(1)地下水埋深(D):研究区内松散岩类孔隙水水位埋深在 3.37~31.41 m,整体自东至西松散岩类孔隙水水位埋深逐渐变大;基岩裂隙水水位埋深 14.84~15.32 m 之间。评分为 7、5、3、1。

(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 27.57~105.54 mm。其评分为 1、3、6 三个值。

(3)含水层介质类型(A):王河、苏郭河、南阳河、大刘家河河谷及两侧含水层岩性为中、粗砂,其评分为 8,基岩出露区含水层主要为风化层,评分为 4。

(4)土壤介质类型(S):在第四系分布区内,河道及其一级阶地土壤主要为砂层,其评分为 9,在河流二级阶地处土壤主要为砂质壤土,其评分为 6,大部分第四系地区为耕地,其土壤主要为壤土和粉砂质壤土,评分为 5 和 4;基岩出露区除个别区域为岩石直接裸露区,其评分为 10,其他地区均有植被覆盖,包括农田、果园和森林,土壤类型为黏质壤土和腐殖土,评分为 3 和 2。

(5)地形坡度(T):牛蹄山和毛家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):王河、苏郭河、南阳河、大刘家河河谷及两侧包气带岩性为中、粗砂,其评分为 8,山前平原包气带岩性多为粉砂、粉质黏土,其评分为 3,第四系其他地区包气带岩性为砂砾石与粉土、黏土互层,其评分为 6;基岩出露区,其评分为 4。

(7)含水层渗透系数(C):基岩裂隙含水岩组,渗透系数一般小于 4 m/d,其评分为 1;王河、苏郭河、南阳河、大刘家河河谷及两侧含水层,渗透系数一般在 10~30m/d 之间,评分为 2 和 4。

2.3 脆弱性评价

利用 DRASTIC 原有计算公式,根据本次采用 AHP 求得的参数权重,得到本次加权求和公式为:

DRASTIC 指标 = 0.213 D + 0.069 R + 0.202 A + 0.114 S + 0.036 T + 0.193 I + 0.174 C

根据评价参数评分取值和本次加权求和公式,得到本次地下水脆弱性初步级别分值为 1~10(表 3),结合研究区的具体情况,将级别分值进行整合,得到最终研究区地下水脆弱性级别与污染程度对应关系见表 4。

表 3 地下水脆弱性初步级别

Table 3 Preliminary level of groundwater vulnerability

级别分值	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
脆弱性	极低	很低	较低	略低	稍低	稍高	略高	较高	很高	极高

表 4 整合后地下水脆弱性级别与受污染程度对应表

Table 4 Correspondence table between groundwater vulnerability level and pollution degree after integration

级别分值	<2	2~4	4~7	7~9	>9
脆弱性	低	较低	中等	较高	高
受污染程度	难污染	较难污染	中等易污染	较易污染	易污染

根据上述 DRASTIC 评价方法,用 MAPGIS 作为计算工具,通过叠加计算得到 229 个评价分区,将 7 个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,最终得到 DRASTIC 级别值为 2.638~7.147,根据表 4 形成综合评价结果见图 1。

在研究区内第四系分布区内,经评价大范围为地下水脆弱性中等,其中各河流及其附近区域以及沿海地区,地下水脆弱性较高;在基岩分布区内,经评价为地下水脆弱性较低。

本次评价结果与研究区内地下水水质监测结果是基本一致的,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脆弱性较高和

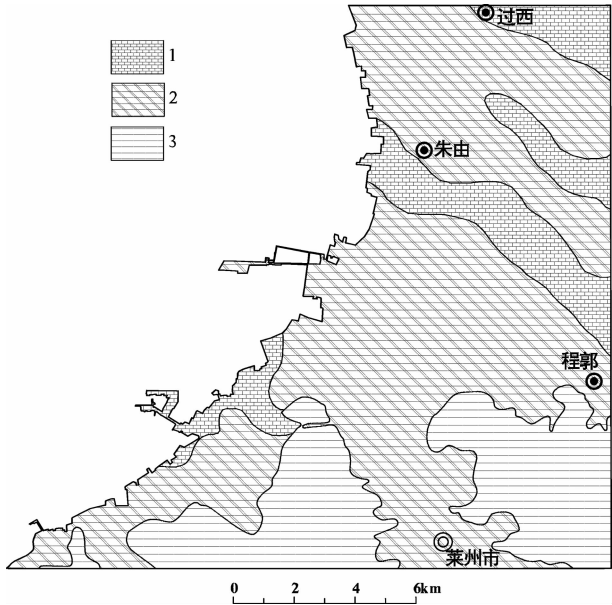


图 1 莱州地下水脆弱性分区图

Fig. 1 Groundwater vulnerability map of Laizhou area

1—脆弱性较高;2—脆弱性中等;3—脆弱性较低
1—High vulnerability;2—medium vulnerability;3—low vulnerability

中等区内。基岩裂隙水水质良好,位于地下水脆弱性较低区内。

3 结语

(1)本次基于 AHP 的 DRASTIC 体系相对于以往 DRASTIC 体系来说更能够体现研究区现状,以往 DRASTIC 体系采用固定的权重进行评价分级,而本次根据研究区实际情况确定权重,更能切实反映研究区内各评价参数对地下水脆弱性的影响,可以更好的指导当地有关部门针对地下水资源保护进行合理的开发利用。

(2)本次虽采用基于 AHP 的 DRASTIC 体系对莱州市地区地下水脆弱性进行评价,但仍具有 DRASTIC 的局限性,得出的评价结果只是一个相对的结论,当采用其他方法进行评价时,评价结果会出现部分不同。

References

- Aller L T, Bennet T, Lehr J H, Petty R J. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. U. S. Environmental Protection Agency, Ada (Oklahoma), U. S. A.
- Chi Peixing, Luan Hengyan. 1994. On the division and correlation of the Cenozoic lithostratigraphic units in Shandong Province. Shandong Land and Resources, (b06):70~86 (in Chinese with English abstract).
- Dai Wei, Xiao Changlai, Liang Xiujuan. 2012. Application of set pair analysis based on DRASTIC in groundwater vulnerability assessment. Water Saving Irrigation, (8):50~52 (in Chinese with English abstract).
- Han Li, Mei Qiang, Lu Yumei, Ji Min. 2004. Analysis and study on AHP-fuzzy comprehensive evaluation. China Safety Science Journal, 14(7):86~89 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Guihua. 2002. The development of study on groundwater vulnerability. World Geology, 21(1):33~38 (in Chinese with English abstract).
- Li Aijun, Zhang Feng. 2015. Groundwater vulnerability assessment in the hilly and mountain area of Shandong Province based on DRASTIC. Shandong Land and Resources, (5):62~66 (in Chinese with English abstract).
- Li Shaofei, Sun Shuhong, Wang Yong. 2008. Application of the method for fuzzy assessment of aquifer vulnerability based on DRASTIC. Hydrogeology & Engineering Geology, (3):112~117 (in Chinese with English abstract).
- Qu Wenbin, Wang Xinbao, Qian Long, Wang Zelong. 2007. Frangibility evaluation of the ground water in Shijiazhuang City. Hydrogeology & Engineering Geology, 34(6):6~9 (in Chinese with English abstract).
- Sun Caizhi, Pan Jun. 1999. Concept and assessment of groundwater vulnerability and its future prospect. Advances in Water Science, 10(4):444~449 (in Chinese with English abstract).
- Sun Caizhi, Lin Shanshan. 2000. Review of ground water vulnerability concept and assessment. Jilin Geology, (1):30~36 (in Chinese with English abstract).
- Vrba J, Zaporozec A. 1994. Guidebook on mapping groundwater vulnerability. International Contributions to Hydrogeology, 16.
- Xi Xu. 2015. Assessment of groundwater vulnerability in the Lower Liaoning River Plain based on DRASTIC model and uncertain theory. Liaoning Normal University (in Chinese with English

abstract).

- Xia Xuejun, Zhang Baojian, Bai Fuying, Qi Lin. 2011. Vulnerability of the groundwater environment in Tai'an City by the method of DRASTIC. Shandong Land and Resources, 27(2):25~28 (in Chinese with English abstract).
- Yu Xiangqian, Li Yunfeng, Zhao Yiping, Liu Di. 2012. A method of combined weight distribution for groundwater vulnerability assessment based on DRASTIC. Earth and Environment, 40(4):568~572 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Chunhong, Wang Yang, Jiao Lixiang. 2017. Assessment of groundwater vulnerability in Jinan northern based on DRASTIC. Shandong Land and Resources, (04):44~49 (in Chinese with English abstract).
- Zuo Haifeng, Wei Jiahua, Wang Guangqian. 2008. Methoe of determining factor weights for groundwater vulnerability assessment. Water Resources Protection, 24(2):22~33 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Lijun. 2006. Review on groundwater vulnerability and risk assessment. Hydrogeology & Engineering Geology, (6):113~119 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xin, Jiang Xiaodong, Zhang Long. 2010. Methods and research progress of groundwater vulnerability assessment. Geology and Resources, 19(3):253~258 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Zihui. 2010. Study on the hydrogeological condition evolution characteristics in Shandong Province. Shandong University of Science and Technology (in Chinese with English abstract).
- Zhong Zuoshen. 2005. A discussion of groundwater vulnerability assessment methods. Earth Science Frontiers, 12(Supp 1):3~13 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 迟培星, 栾恒彦. 1994. 山东省新生代岩石地层清理意见. 山东国土资源, (b06):70~86.
- 代维, 肖长来, 梁秀娟. 2012. 基于 DRASTIC 的集对分析在地下水脆弱性评价中的应用. 节水灌溉, (8):50~52.
- 韩利, 梅强, 陆玉梅, 季敏. 2004. AHP-模糊综合评价方法的分析与研究. 中国安全科学学报, 14(7):86~89.
- 姜桂华. 2002. 地下水脆弱性研究进展. 世界地质, 21(1):33~38.
- 李爱军, 张丰. 2015. 基于 DRASTIC 的山东省丘陵山区地下水防污性能评价. 山东国土资源, (5):62~66.
- 李绍飞, 孙书洪, 王勇. 2008. 基于 DRASTIC 的含水层脆弱性模糊评价方法与应用. 水文地质工程地质, (3):112~117.
- 曲文斌, 王欣宝, 钱龙, 王泽龙. 2007. 石家庄城市区地下水脆弱性评价研究. 水文地质工程地质, 34(6):6~9.
- 孙才志, 潘俊. 1999. 地下水脆弱性的概念、评价方法与研究前景. 水科学进展, 10(4):444~449.
- 孙才志, 林山杉. 2000. 地下水脆弱性概念的发展过程与评价现状及研究前景. 吉林地质, (1):30~36.
- 奚旭. 2015. 基于 DRASTIC 与不确定性理论的下辽河平原浅层地下水脆弱性评价. 辽宁师范大学.
- 夏学军, 张保健, 白福英, 亓麟. 2011. 基于 DRASTIC 指标体系法的泰安市地下水脆弱性研究. 山东国土资源, 27(2):25~28.
- 于向前, 李云峰, 赵义平, 刘迪. 2012. 基于 DRASTIC 的地下水防污性能评价组合权重分配方法. 地球与环境, 40(4):568~572.
- 袁春鸿, 王阳, 焦丽香. 2017. 基于 DRASTIC 的济南北跨城区浅层地下水防污性能评价. 山东国土资源, (04):44~49.
- 左海凤, 魏加华, 王光谦. 2008. DRASTIC 地下水防污性能评价因子赋权. 水资源保护, 24(2):22~33.
- 张丽君. 2006. 地下水脆弱性和风险性评价研究进展综述. 水文地质工程地质, (6):113~119.
- 张昕, 蒋晓东, 张龙. 2010. 地下水脆弱性评价方法与研究进展. 地质与资源, 19(3):253~258.
- 祝子惠. 2010. 山东省水文地质条件演化规律研究. 山东科技大学.
- 钟佐梁. 2005. 地下水防污性能评价方法探讨. 地质学前沿, 12(S1):3~13.

**Study of groundwater vulnerability in Laizhou using
AHP-based DRASTIC model**

YANG Ning, TAO Zhibin, GAO Song, WANG Yuanfeng, YU Linhong*

No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai, Shandong, 264000

** Corresponding author: yulinhong305@163.com*

Abstract

Groundwater vulnerability assessment is part of geological environment assessment. At present, there are many studies at home and abroad, and a variety of evaluation models are proposed, among which the DRASTIC method model is the most widely used. AHP (Analytic Hierarchy Process) is a hierarchical weighted decision analysis method. Combining expert experience with theoretical data, it can achieve an effective combination of qualitative and quantitative, and more realistic and objective reflection of the evaluation results of the study area. In this paper, the Laizhou area is used as the research area. Based on the geological conditions, hydrogeological conditions, topography and meteorology of the comprehensive investigation area, the DRASTIC method model currently used is improved by the AHP method. The weights of the seven parameters in the original model were re-valued, and then a groundwater vulnerability model conforming to the study area was established, and the evaluation was divided. Finally, the groundwater vulnerability map was drawn.

Key words: Laizhou area; groundwater vulnerability; analytic hierarchy process; DRASTIC model; weights