



基于 DRASTIC 的济南北跨新城区 浅层地下水防污性能评价

袁春鸿¹, 王阳¹, 焦丽香²

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 中国建筑材料工业地质勘查中心山东总队, 山东 济南 250100)

摘要:该文根据济南北跨新城区浅层地下水水文地质条件,对 DRASTIC 模型评价因子进行了适当改进,选取含水层埋深、有效降水入渗量、含水层介质类型、包气带介质类型、地形坡度、粘性土厚度、含水层渗透系数作为评价因子,在研究区 1:5 万工程地质图的基础上,按照 4 km×4 km 方格的形式将研究区划分 57 个单元,最后用加权法计算地下水防污性综合指标,把研究区分为防污性较差区和防污性中等区。

关键词: DRASTIC 模型; 浅层地下水; 防污性能评价; 北跨新城区; 济南

中图分类号: X824

文献标识码: B

引文格式:袁春鸿,王阳,焦丽香.基于 DRASTIC 的济南北跨新城区浅层地下水防污性能评价[J].山东国土资源,2017,33(4):41-46. YUAN Chunhong, WANG Yang, JIAO Lixiang. Assessment of Groundwater Vulnerability in Jinan Northern Based on DRASTIC[J]. Shandong Land and Resources, 2017,33(4):41-46.

济南北跨新城区地处济南市中北部,在行政区划上隶属济南市天桥区、历城区和济阳县,面积 885 km²。浅层孔隙地下水是该区主要的生活用水水源,区内的太平水源地、沟杨水源地、青宁水源地、崔寨水源地和济阳煤矿水源地均为浅层孔隙水源地,所以地下水资源的开发和保护关系到北跨新城区经济和社会的可持续发展^①。随着城市建设的发展,工业“三废”、生活污水、农药化肥等污染源不断增多,浅层孔隙水水质极易恶化,地下水一旦污染,水质难以恢复。因此,地下水防治应以预防为主,开展地下水防污性能评价可为地下水水质保护提供参考依据^[1-2]。

1 济南北跨新城区自然地理及水文地质条件

1.1 自然地理

济南北跨新城区地处鲁中低山丘陵与鲁北平原交接地带,地势南高北低,地貌类型由南向北依次为山间平原、山前倾斜平原和黄河冲积平原(图 1)。

研究区多年平均降水量 586.9 mm,年最大降水量 1 064.5 mm(1964 年),年最小降水量 342.85 mm(1968 年)。

区内地表水系较发育,有黄河、小清河、齐济河、牧马河、大寺河、垛石河 6 条河流,黄河和小清河为主要过境河流。

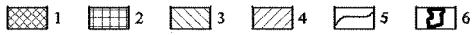
1.2 水文地质条件

研究区的含水岩组分为松散岩类孔隙含水岩组、碳酸盐岩类裂隙含水岩组和基岩裂隙含水岩组 3 种类型^[1]。其中松散岩类孔隙水是区内主要地下水类型,按其在 500 m 以浅深度内含水层垂向、水平方向上的变化特征,分为浅层潜水—微承压水、中层承压水和深层承压水。根据矿化度及主要化学成分在垂向上的变化及分布,以矿化度 3 g/L 为临界值,矿化度大于 3 g/L 即为咸水,矿化度 2~3 g/L 为微咸水,矿化度小于 2 g/L 为淡水,划分为浅层淡水、中层咸水和深层淡水。将咸淡水在垂向上分布与地下水类型相结合,划分为浅层潜水—微承压水、中层

收稿日期:2016-08-24;修订日期:2017-02-06;编辑:曹丽丽

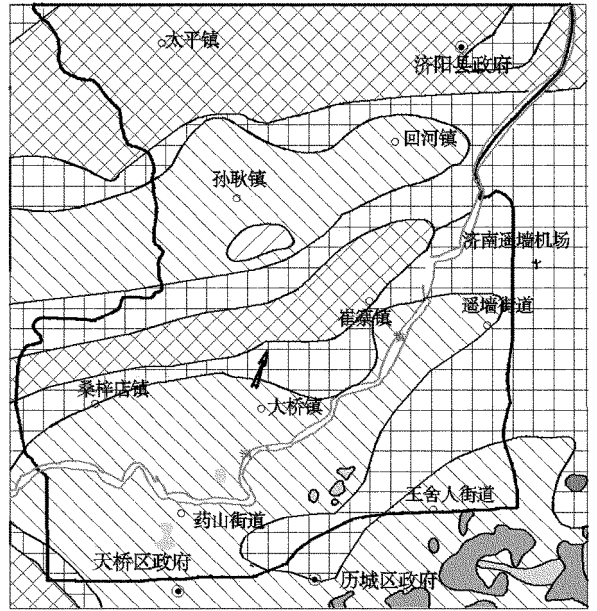
作者简介:袁春鸿(1979—),女,山东曹县人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:58076206@qq.com

①山东省地矿工程勘察院,袁春鸿,于世林,孙斌等,山东省济南北跨新城区城市地质调查报告,2015年。



1—丘陵;2—山间平原;3—山前倾斜平原;4—黄河冲积平原;
5—形态类型界线;6—研究区范围

图 1 研究区地貌类型图



1—孔隙水单井涌水量 1000~3000m³/d;2—孔隙水单井涌水量 500~1000m³/d;3—孔隙水单井涌水量 <500m³/d;4—咸水分布区;5—碎屑岩类裂隙岩溶水;6—碳酸盐岩类裂隙岩溶水;7—基岩裂隙水;8—地下水类型界线;9—第四系孔隙地下水流向

图 2 研究区孔隙水富水性分区图

承压咸水和深层淡水,该文仅研究浅层潜水—微承压水(图 2)。

1.2.1 山间平原地段

含水层单一而不稳定,岩性主要为含钙质结核的黄土状粘质砂土夹砂砾、砾石、碎石层,均呈透镜状,宽度窄、厚度薄,一般小于 5 m。径流条件好,透水性强,蓄水能力差,故富水性较弱,单井涌水量一般小于 500 m³/d。水位埋深 5~12 m。地下水水质良好,为重碳酸盐型水,矿化度小于 1 g/L。除接受大气降水补给外,其周围基岩地下水的径流及上游地表水的渗入也是其重要补给源。该地下水水力坡度大,径流条件好,流向与地形坡向及沟谷发育方向一致。

1.2.2 山前倾斜平原地段

含水层岩性主要为中、粗砂及砂砾石,由南向北,含水层由单一变为多层,单层厚度,由厚变薄,颗粒由粗变细,富水性由弱渐强,单井涌水量一般为 500~1 000 m³/d。水位年变幅 2~4 m。矿化度一般小于 1.5 g/L,水化学类型多为重碳酸硫酸钙型或重碳酸硫酸钙镁型水。大气降水为主要补给来源,水力坡度一般在(1~5)×10⁻³,以蒸发和地下径流排泄为主。

1.2.3 黄河冲积平原地段

(1)黄河冲积层古河道带孔隙水。研究区有两条古河道带,自西南向东北分别斜贯研究区的中部和北部边缘(图 3),水量丰富;两古河道中间为古河道间带,水量贫乏。

邓家营—石庙—靳家庄—青宁—沟杨家古河道带:位于冲积平原最南部,最宽处 6 km,最窄处 2 km。浅层淡水底界面起伏较大,埋深一般 20~50 m,含水层多集中于 35 m 以上,有一层主要含水层,岩性以粉细砂为主,顶底板埋深在 22~32 m 之间,单层厚度 3.7~12.20 m。在青宁附近,含水层厚度大于 10 m,其他地段含水层厚度小于 10 m,在邓家营—石庙—靳家庄—青宁段单井涌水量 1 000~3 000 m³/d,其他地段 500~1 000 m³/d。矿化度一般小于 2.0 g/L,地下水化学类型多为重碳酸硫酸盐型水,阳离子较为复杂。

蔡家庄—太平镇—庙廊—济阳县古河道带:位于工作区北部。该段淡水底界面埋深一般在 20~50 m,马营以东大于 50 m,并逐渐过渡到全淡水区。50 m 深度内有 1~2 层含水层,岩性以细砂及中细砂为



1—古河道界线;2—研究区范围
图3 研究区古河道分布示意图

主,顶板埋深 8.5~19.00 m,底板埋深 10.10~28.20 m,单层厚度 1.60~11.0 m,水位埋深一般 2~4 m。富水性较强,单井涌水量 1 000~3 000 m³/d。矿化度一般 1~2 g/L,水化学类型以重碳酸钠镁型为主,阳离子较为复杂。

(2)黄河冲积层古河道间带孔隙水。位于两条古河道之间,分布于孙耿镇—回河镇、朱家庙—尹家一带。浅层淡水底界面埋藏较浅,淡水厚度较薄,小于 20 m。含水层岩性多为粉砂或粉细砂,含水层埋藏不稳定,层次多,单层厚度 0~4.2 m。水位埋深 2~4 m,水位年变幅小于 2 m,富水性较弱,单井涌水量小于 500 m³/d。水质较差,地下水矿化度 1~2 g/L,水化学类型复杂,属重碳酸氯化物型水。

黄河冲积平原地下水补给来源主要为大气降水。地下水总的运动方向与古河道延展方向一致,自西南向东北缓慢径流,水力坡度大部分小于 1‰。地下水的排泄以垂直蒸发为主。

2 DRASTIC 评价方法

地下水防污性能是指地下水受到外界物质污染的难易程度。该文据《地下水污染地质调查评价规范》(DD2008-1)规定,采用 DRASTIC^[2-4]评价济南北跨新城区地下水防污性能。

DRASTIC 评价方法是由美国环境保护局(USE-

PA)和美国水井协会(NWWA)综合了 40 多位水文地质学专家的经验,于 1985 年合作开发的,是宏观尺度上大范围区域地下水防污性能评价的经验模型。首先被美国 40 个县采用,应用于具有不同水文地质条件的地区,之后,不少水文地质学家将其用于更大范围水文地质单元的地下水防污性能评价,并对该系统进行了补充和完善,可以适用各种不同的水文地质条件^[5-10]。

DRASTIC 模型的基本思想是:影响含水层脆弱性的内因是水文地质单元的物理特性,允许用不同的反映含水层介质及其特征的水文地质参数来综合反映含水层的防污性能。DRASTIC 评价模型由含水层埋深、净补给量、含水层介质类型、土壤介质类型、地形坡度、包气带介质类型和含水层渗透系数 7 个水文地质指标构成^[3-4]。根据各因子对地下水污染可能影响的大小,对其进行权重赋值(1~5),权重 1 被认为对地下水污染可能影响最低级,5 被认为是最高级。同时,用指标值量化各评价因子对地下水污染的可能影响,最后用加权方式计算综合指标值,即 DRASTIC 地下水防污性综合指标。DRASTIC 值越大,防污性越差,地下水越容易受污染。

DRASTIC 方法表达式为:

$$DRASTIC = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

式中: D —含水层埋深, R —净补给量, A —含水层介质类型, S —土壤介质类型, T —地形坡度, I —包气带介质类型, C —含水层渗透系数; $Dr, Rr, Ar, Sr, Tr, Ir, Cr$ 分别为各因子的分级值, $Dw, Rw, Aw, Sw, Tw, Iw, Cw$ 分别为各因子的权重值,各类分级值和权重值可通过查相应的指标因子评分表及权重表确定。

3 济南北跨新城区地下水防污性能评价

3.1 评价单元的划分

在研究区 1:5 万工程地质图的基础上,结合钻孔分布情况,按照 4 km×4 km 方格的形式进行单元格划分,共划分 57 个单元,每个单元均为有钻孔控制的独立评价单元。

3.2 评价因子

2006 年 2 月,中国地质调查局针对“全国地下水资源及环境问题调查评价”项目专门制定了《地下水脆弱性评价技术要求》,对 DRASTIC 模型评分体系进行了改进,各指标的权重分别为: D —5; R —

4;A—3;S—2;T—1;I—5;C—3。在此基础上,以有效降水入渗量代替净补给量,以粘性土厚度代替渗流区介质类型,以包气带介质类型代替土壤介质类型。

3.3 权重的确定

由国内外大量实验综合,并借鉴 DRASTIC 方法提供给定的 7 项指标不同的权重,按照 $\bar{W} = (w_1, w_2, \dots, w_7)$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 的要求,归一化后得到指标权重。防污性的归一化权重 W_i 为 $\bar{W} = (0.22, 0.17, 0.13, 0.09, 0.04, 0.22, 0.13)$ 。

3.4 各指标的选取

(1)含水层埋深。如果是潜水含水层,由地下水位确定含水层埋深,该文以“山东省济南北跨新城区城市地质调查项目”工程勘察钻孔施工时的水位埋深作为含水层埋深(表 1)。

表 1 各评价单元含水层埋深值(m)

评价单元	埋深	评价单元	埋深	评价单元	埋深
1	3.36	20	3.67	39	3.71
2	3.80	21	2.96	40	3.89
3	3.25	22	3.80	41	2.34
4	3.89	23	4.71	42	4.73
5	3.40	24	3.65	43	3.28
6	4.26	25	3.54	44	2.16
7	3.77	26	2.17	45	2.26
8	3.14	27	2.95	46	6.58
9	3.67	28	5.12	47	7.42
10	3.36	29	4.69	48	1.46
11	3.80	30	2.87	49	5.19
12	2.02	31	3.11	50	4.38
13	3.52	32	3.04	51	2.15
14	3.03	33	2.69	52	2.19
15	3.72	34	2.71	53	1.92
16	4.33	35	3.82	54	2.11
17	5.85	36	4.15	55	1.98
18	7.96	37	2.73	56	1.96
19	3.06	38	3.38	57	2.29

(2)有效降水入渗量。根据《1:20 万区域水文地质调查报告(章丘幅、禹城幅)》,山前地带降水入渗系数取 0.4,古河道带取 0.36,古河道间带取 0.34,降水量取济南地区 1956—2010 年多年平均降雨量 703.43 mm。

(3)含水层介质类型。在含水层单一区,使用基岩面作为评价底界进行统计计算;在含水层多层区,为了对比和便于统计分析,选取 50 m 为统计底界。

(4)包气带介质类型。介质类型不同,透水性差别较大,对于单层砂卵砾石区,透水性能就偏好,防污性能偏差,评分较高,相应的多层砂区,评分较低。

(5)地形坡度。地形坡度的变化也是山前区域较为明显的特点之一。地形坡度越小,越有利于水流的汇集,增大了补给地下水的可能性。

(6)粘性土厚度。根据包气带中粘性土分层厚度,计算出一个包气带累计粘性土厚度值,衡量包气带中各种介质对污染物的影响。厚度越大,防污性能越好,评分越低。该文评价单元粘性土厚度来源于“山东省济南北跨新城区城市地质调查项目”工程勘察钻孔(表 2)。

表 2 各评价单元粘性土厚度(m)

评价单元	厚度	评价单元	厚度	评价单元	厚度
1	0	20	0	39	0.71
2	0	21	0	40	0
3	0.35	22	0	41	0
4	0	23	0	42	0
5	0	24	0	43	0
6	0	25	0	44	0
7	0	26	0	45	0
8	0	27	0	46	1.90
9	0	28	1.62	47	0
10	0	29	1.49	48	0
11	0.90	30	0	49	0
12	0	31	0	50	0
13	1.22	32	0	51	0
14	0.13	33	0	52	0
15	0.52	34	0	53	0
16	0.93	35	1.80	54	0
17	0.70	36	0	55	0
18	1.10	37	0	56	0
19	0	38	0.08	57	0

(7)含水层渗透系数。新指标体系综合考虑含水层介质岩性以及含水层渗透系数两项的影响,利用综合渗透系数来反映含水层在地下水固有脆弱性中的作用。用每种岩性的厚度在含水介质总厚度的比例,乘上其相应的经验渗透系数(表 3),加权求和,计算出含水层(包含弱透水介质在内)的一个综合渗透系数(表 4)。

3.5 地下水防污性能评价结果

DRASTIC 模型计算结果采用平均分级,取 0~2 为好区,2~4 为较好区,4~6 为中等区,6~8 为较差区,8~10 为差区。评价区内防污性结果在 5.545~6.82 之间(表 5),分为防污性中等区和防污性较差(图 4),没有防污性能好的区域。

表 3 经验渗透系数

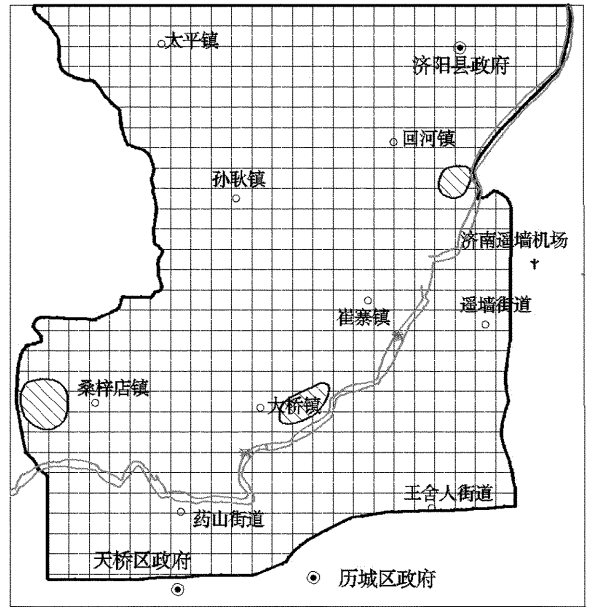
岩性	渗透系数(m/d)	岩性	渗透系数(m/d)
粘土	0.001	细砂	7
粉质粘土	0.02	中砂	20
粉土	0.2	粗砂	25
粉砂	3	砂砾石	47.5
粉细砂	6.5	卵砾石	80

表 4 各评价单元综合渗透系数 (m/d)

评价单元	系数	评价单元	系数	评价单元	系数
1	2.00	20	0.51	39	0.04
2	1.78	21	0.44	40	0.04
3	1.16	22	1.63	41	0.06
4	0.91	23	1.09	42	1.17
5	0.95	24	1.99	43	0.37
6	0.12	25	0.03	44	0.76
7	0.53	26	0.56	45	0.06
8	1.59	27	0.70	46	3.30
9	0.80	28	0.73	47	0.84
10	0.80	29	1.32	48	0.03
11	1.48	30	0.39	49	0.03
12	0.95	31	0.65	50	0.05
13	0.07	32	0.66	51	0.03
14	0.06	33	2.37	52	0.04
15	0.07	34	2.02	53	0.04
16	0.07	35	0.06	54	0.04
17	0.04	36	0.05	55	0.04
18	0.05	37	0.82	56	0.05
19	0.88	38	0.04	57	0.03

表 5 地下水防污性能评价结果

评价单元	综合评价值	评价单元	综合评价值	评价单元	综合评价值
1	6.82	20	6.82	39	6.21
2	6.82	21	6.82	40	6.56
3	6.73	22	6.82	41	6.56
4	6.82	23	6.82	42	6.60
5	6.82	24	6.82	43	6.82
6	6.82	25	6.56	44	6.82
7	6.82	26	6.82	45	6.56
8	6.82	27	6.82	46	5.805
9	6.82	28	5.85	47	6.38
10	6.82	29	6.02	48	6.78
11	6.51	30	6.82	49	6.51
12	6.82	31	6.82	50	6.65
13	6.03	32	6.82	51	6.65
14	6.47	33	6.82	52	6.69
15	6.25	34	6.82	53	6.73
16	6.25	35	5.81	54	6.57
17	6.075	36	6.56	55	6.65
18	5.545	37	6.82	56	6.65
19	6.82	38	6.47	57	6.69



1—防污性较差区;2—防污性中等区;3—防污性分区界线;4—研究区范围

图 4 地下水防污性评价分区图

防污性中等区在区内呈点状分布,位于姚吕村附近、沟杨村周边和大桥镇韩家庄附近, DRASTIC 指标值在 5.545~5.81 之间,防污性能中等,地下水位埋深 3.82~7.96 m,有效降雨入渗量 186~197 mm,含水层介质类型粉土、粉细砂,包气带介质以双层、三层结构为主,地形坡度 0.3×10^{-3} ,粘性土厚度 1.10~1.90 m,含水层渗透系数 0.054 m/d。

防污性较差区在工作区内大面积分布, DRASTIC 指标值在 6.02~6.82 之间,地下水位埋深 1.46~6.58 m,有效降雨入渗量 186~219 mm,含水层介质类型粉土、粉细砂,包气带介质以单层、双层结构为主,地形坡度 $(0.3 \sim 10) \times 10^{-3}$,粘性土厚度 0~1.49 m,含水层渗透系数 0.03~2.37 m/d。

4 结论

(1) 该文在借鉴国内外研究经验和 DRASTIC 评价模型的基础上^[11-21],针对济南北跨地区黄河冲积平原水文地质条件的特点,对 DRASTIC 模型中的净补给量、渗流区介质类型和土壤介质类型 3 个指标进行了适当改进,将研究区分为地下水防污性中等区和较差区,没有防污性能好的区域。

(2) 形成了地下水防污性能评价分区图,客观

地反映了天然条件下济南北跨地区浅层地下水系统的防污性能,为北跨地区地下水资源保护提供了有价值的参考信息。

参考文献:

- [1] 陈葆仁.人类活动对地下水的影响[J].水文地质工程地质,1996,(2):1-4.
- [2] 中国地质调查局地质调查技术标准(DD2008-1)《地下水污染地质调查评价规范》[S].中国地质调查局.
- [3] 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.
- [4] 姜志群,朱元牲.地下水污染敏感性评价中的 DRASTIC 法的应用[J].河海大学学报,2001,29(2):100-103.
- [5] 董亮,朱荫涓,胡勤海,等.应用 DRASTIC 模型评价西湖流域地下水污染风险[J].应用生态学报,2002,13(2):217-220.
- [6] 刘淑芬,郭永海.区域地下水防污性能评价方法及其在河北平原的应用[J].河北地质学院院报,1996,(19):1.
- [7] 杨庆,栾茂田,崇金著,等.DRASTIC 指标体系法在大连市地下水易污性评价中的应用[J].大连理工大学学报,1999,35(9):684-688.
- [8] 姜志群,朱元生.地下水污染敏感性评价中 DRASTIC 法的应用[J].河海大学学报,2001,29(2):100-103.
- [9] 周惠成,王国利.基本 DRASTIC 模型含水层易污性模糊综合评价[J].大连理工大学学报,2001,41(2):212-215.
- [10] 张泰丽,冯小铭,刘红樱,等.基于 DRASTIC 的丽水市地下水防污性能评价[J].地球与环境,2012,40(1):115-120.
- [11] 左海风,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.
- [12] 孟宪萌,束龙仓,卢耀如.基于熵权的改进 DRASTIC 模型在地下水脆弱性评价中的应用[J].水利学报,2007,38(1):94-99.
- [13] 杨贵芳,姜月华,李云.基于 DRASTIC 模型的城市地下水脆弱性评价综述[J].地下水,2012,34(1):5-8.
- [14] 王维琦,杜新强,吕航,等.基于 GIS 的 DRASTIC 模型评价延吉市河谷地区地下水脆弱性[J].节水灌溉,2013,10:44-48.
- [15] 张珍,温忠辉,鲁程鹏,等.改进的 DRASTIC 地下水脆弱性评价模型及应用[J].水资源保护,2014,30(6):13-18.
- [16] 郑羽中,马润则,胡滨,等.DRASTIC 模型在贵州省毕节地段浅层地下水脆弱性评价中的应用[J].四川建材,2014,40(5):89-91.
- [17] 郭正法.基于改进的 DRASTIC 泗阳城区浅层地下水防污性能评价[J].西部探矿工程,2015,1:92-94.
- [18] 张中祥,张海林,罗斐.DRASTIC 模型在地下水水源地安全性评价中的应用[J].山东国土资源,2011,27(8):19-22.
- [19] 李爱军,张丰.基于 DRASTIC 的山东省丘陵山区地下水防污性能评价[J].山东国土资源,2015,31(5):62-66.
- [20] James W M. GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1994,60(9):618-627.
- [21] Kim Y J, Hamm S Y. Assessment of the Potential for Groundwater Contamination Using the DRASTIC/EGIS Technique, Cheongju area, South Korea [J]. Hydrogeology Journal, 1999, (7): 227-235.

Assessment of Groundwater Vulnerability in Jinan Northern Based on DRASTIC

YUAN Chunhong¹, WANG Yang¹, JIAO Lixiang²

(1. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Brigade of China National Geological Exploration Center of Building Materials Industry, Shandong Jinan 250100, China)

Abstract: According to shallow groundwater hydrogeological conditions in Jinan Northern, improve evaluation factors of DRASTIC model, select aquifer buried depth, effective quantity of rainfall infiltration, aquifer medium type, medium type, terrain slope belt, cohesive soil thickness, permeability coefficient as evaluation factors, on the basis of the 1:50000 engineering geological map, according to the form of 4 km x 4 km squares will divide the study area into 57 units, the integrated index of groundwater vulnerability was calculated by the weighted method. The evaluation results is that the study area is divided to poor area and medium area.

Key words: Northern; DRASTIC model; shallow groundwater; vulnerability assessment