

济南地区岩溶地下水污染程度评价

薄克庭, 蔡有兄

(山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

摘要:岩溶水环境背景值(污染起始值)是确定岩溶水污染程度的主要参数。通过 2013 年济南地区岩溶地下水水质资料与济南地区岩溶水环境地质背景值对比分析及综合评价,反映了济南地区岩溶地下水水质污染变化情况。该文地下水污染综合评价是根据以往不同年份的水质资料进行对比评价的,评价结果存在一定的局限性和不全面性,但基本能够反映济南地区岩溶地下水污染程度的总体情况。

关键词:岩溶水;评价;污染程度;济南市

中图分类号:X523

文献标识码:B

引文格式:薄克庭,蔡有兄.济南地区岩溶地下水污染程度评价[J].山东国土资源,2016,32(3):51-55. BO Keting, CAI Youxiong. Evaluation on Groundwater Pollution Degree in Jinan Karst Area[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(3): 51-55.

济南市地下水污染主要始于 20 世纪 70 年代末,最初主要以农业污染为主,但污染程度不高,地下水中仅有硝酸盐检出。80 年代中期以来,工业化、城市化进程的加快造成地下水中工业污染物和生活污染物的检出,地下水污染程度开始逐渐加大,且有愈演愈烈之势。污染的主要特点由早期的点状污染向线状污染和面状污染演化,浅层污染向深层污染推进^[1]。造成地下水污染的原因是多方面的,但城市生活垃圾是济南地区地下水环境最主要的污染源^[2]。另外,农业对地下水质的影响长期以来没有得到足够重视,农业中大量使用化学农药在地下水中慢慢积累,对地下水也构成极大危害。

1 岩溶水环境背景值的确定

岩溶水环境背景值(污染起始值)是确定岩溶水污染程度的主要参数,也是岩溶水水质评价的基础^[2]。济南地区自 20 世纪 50 年代以来,各水文地质单元岩溶水研究程度参差不齐,个别单元水质基础资料相对较少,到 2000 年以后才有基本能反映单元内水质的分析资料。该次收集了平阴水文地质单元(2002 年)、长清—孝里铺水文地质单元(1987

年)、济南泉域水文地质单元(1982—1989 年)、白龙泉域(1988—1990 年)、明水泉域(2003 年)水质资料作为该次研究岩溶水环境的背景值。

2 评价项目

选取 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , F^- , NO_3^- , 可溶性 SiO_2 、总硬度、矿化度、pH 值共计 13 项参与岩溶地下水污染程度评价。

3 评价方法

3.1 单因子评价

单因子评价是通过计算单因子污染指数,根据污染指数分级划分污染等级。计算公式为^[3]:

$$P_i = \frac{C_i}{C_{oi}}$$

式中: P_i —地下水中污染物 i 的污染指数; C_i —污染物 i 的实测浓度(mg/L); C_{oi} —地下水中污染物 i 的背景值(mg/L);

当 $P_i < 1$ 时为未污染, $P_i > 1$ 时为污染,具体计算结果见表 1。

收稿日期:2015-05-14;修订日期:2015-07-27;编辑:陶卫卫

作者简介:薄克庭(1972—),男,山东邹城人,工程师,主要从事水工环和桩基施工工作;E-mail:bocaiyu_2009@sina.com

①山东省地质矿产局八〇一水文地质工程地质大队(山东省地矿工程勘察院前身),济南地区优质地下水供水水文地质调查,2014 年。

表 1 岩溶地下水单因子污染指数计算结果

序号	编号	位置	$K^+ + Na^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	F^-	NO_3^-	可溶性 SiO_2	总硬度	矿化度	pH
1	黑显	黑虎泉显示屏	2.16	1.41	1.51	1.38	3.16	1.18	0.63	1.87	1.14	1.30	1.13	1.03
2	趵显	趵突泉公园内	1.78	1.48	1.47	1.56	3.16	1.4	1.54	2.36	1.29	1.33	1.07	1.05
3	潭 1	五龙潭公园内	4.92	1.27	2.06	3.58	5.39	0.98	1.57	2.34	0.94	1.31	1.56	1.06
4	珍 1	珍珠泉内大泉池	2.29	1.42	1.65	2.35	3.92	1.19	1.50	2.86	0.85	1.34	1.46	0.95
5	E9	王舍人办事处义和村	18.43	2.54	2.30	19.68	17.99	1.20		1.56	1.35	2.28	4.54	1.01
6	C8	东郊 69 号交运集团气修场内	0.91	1.30	1.47	1.36	1.07	1.29		1.95		1.21	1.31	1.06
7	JD3	历城区郭店镇武家村西北	0.99	1.10	1.22	1.95	1.62	0.69	1.20	2.20	1.06	1.03	1.05	1.10
8	港 15	历城区港沟镇港沟村西	0.94	1.22	1.27	1.65	2.82	0.99	1.36	2.69	1.16	1.11	1.19	1.02
9	A2-30	市中区十六里河兴隆村	0.71	4.03	0.47	0.91	3.30	0.93	0.25	5.58	1.34	1.23	1.29	0.99
10	282	市中区十六里河大涧东	0.84	1.69	1.18	1.46	6.73	1.05		6.65	1.29	1.38	2.07	1.09
11	南康 1	市中区十六里河南康村	0.48	1.34	1.41	0.99	1.63	1.15	0.66	2.68	1.08	1.23	1.26	1.09
12	北曹 2	章丘市曹范镇北曹范东	0.75	1.46	1.46	1.04	2.44	1.22	5.55	2.64	1.12	1.31	1.42	0.99
13	彩 1	历城区彩石中学	1.00	1.65	1.45	1.01	2.64	1.24		20.14		1.45	1.18	1.07
14	J108	市中区党家庄小白庄	0.65	1.67	1.43	1.51	4.34	1.13	0.25	4.24	0.98	1.46	1.46	1.02
15	CX15	长清区城关镇西关村西门里(北大井)	1.38	1.06	1.72	1.33	1.50	1.02	0.52	1.36	1.13	1.10	1.11	1.03
16	辛 1	长清孝里镇西辛村(西路边)	0.35	2.00	0.24	1.59	3.20	0.63	1.00	2.18	1.78	0.95	0.86	1.03
17	C26	长清孝里镇广里村	0.19	12.69		1.17	5.27	1.19	0.16	26.53		1.91	2.77	1.00
18	C7	长清区归德镇国庄水厂	1.76	1.25	1.10	1.75	2.05	1.06	2.50	1.65	1.22	1.10	1.20	0.94
19	CX4	长清区归德镇胜利村	2.02	1.75	1.21	2.94	4.16	0.85	0.88	18.38	0.99	1.46	1.60	1.01
20	CX5	长清区归德镇前刘村	2.96	2.50	2.17	3.36	2.64	1.29		12.40		2.19	2.34	0.94
21	CX7	长清区归德镇庄楼村	1.4	1.64	1.58	1.35	2.26	1.17	0.63	9.03	1.82	1.48	1.59	1.07
22	T101	长清区孝里镇后楚村	1.37	2.17	3.13	2.40	5.67	1.25	0.75	8.92	1.26	2.11	2.15	1.00
23	C22	长清区孝里镇胡林村	0.60	1.66	1.98	1.01	3.38	1.16	0.33	7.38	1.63	1.57	1.45	1.07
24	C31	长清区双泉乡段店村	0.64	2.26	2.76	1.41	2.88	1.05		6.44		2.14	1.49	1.04
25	C32	东阿县下码头水源地	0.86	1.60	1.26	1.86	2.01	1.35				1.43	1.43	0.97
26	ZG4	齐河县赵官镇葛庄村	0.58	4.43	1.11	0.64	1.44	1.03		0.41		0.99	0.99	1.08
27	165	长清区归德镇前胡庄村	0.45	3.29	4.62	7.6	11.29	1.50				3.24	3.16	0.99
28	黄 29	市中区七贤街道井家沟	6.12	2.07	1.60	3.70	13.71	1.18		5.00	1.24	1.79	2.81	0.99
29	峨 9	槐荫区担山屯村骨头王餐馆中	1.12	1.23	1.36	1.73	8.17	1.01	0.67	2.05	1.36	1.14	1.20	1.06
30	大辛庄	历下区大辛庄	0.34	3.04	1.03	1.72	0.81	1.85			0.45	1.84	2.08	1.03
31	政 1	历下区 801 仓库	1.80	1.52	1.59	1.93	1.23	1.25	1.20	5.18	0.93	1.39	1.48	1.0
32	D1	历下区地矿家园	1.60	1.31	1.22	1.29	1.76	0.99	1.40	3.46	2.20	1.28	1.27	1.05
33	埠村	章丘市埠村镇煤矿医院	0.81	1.32	1.32	0.54	3.74	1.01	1.11	1.52	1.00	1.20	1.27	1.04
34	孙村	高新区孙村镇孙村	1.15	0.98	1.00	1.94	1.12	0.82		1.93		0.90	1.07	
35	西神武	历城区港沟镇西神武村	0.85	1.30	1.26	0.67	6.5	0.95	0.5	1.10	1.24	1.17	1.18	1.05
36	ZG7	齐河县马集镇红堂村	0.09	0.56	0.44	0.13	0.06	2.41				0.51	0.43	1.05
37	T99	长清区孝里镇洼里村	0.11	0.71	0.29	0.18	0.12	0.54		0.51		0.46	0.45	1.06
38	CC6	长清区归德镇长孝一号水源地	1.23	1.81	1.45	2.01	4.01	1.11	0.88	12.72	1.06	1.56	1.65	0.97
39	YZ20	长清区归德镇中心卫生院	0.80	1.32	2.14	1.51	3.00	1.16				1.32	1.43	1.04
40	YZ2	淄川区岭子镇河洼源地	0.34	1.04	1.38	1.11	1.06	1.04	0.29	3.06	0.73	1.12		1.01
41	YZ6	平阴县东阿镇南市村	0.16	0.62	0.61	0.14	0.94	0.76						
42	YZ10	东阿县铜城街道东八里堂村北 500 m	1.00	1.02	1.16	1.00	1.11	1.01				1.06	1.03	1.03
43	230	平阴县安城镇望山口村	0.49	29.97	1.41	1.87	2.76	0.99				2.15	1.96	1.01
44	刁 1	平阴县玫瑰镇刁山坡				1.10	1.26			1.42		1.14	1.11	
45	YZ22	章丘市文祖镇黄露泉村	0.88	1.00	1.00	3.00	4.91	1.24		4.65		1.62	1.87	0.99
46	YZ23	章丘市文祖镇马家峪村	0.80	1.46	0.98	1.65	2.20	0.98		2.78		1.18	1.27	1.01
47	YZ26	章丘市明水街道办事处眼明泉		0.99	1.02	2.03	0.69	1.00		3.32		1.00	1.27	1.01
48	KC1	长清区平安店镇北汝村	0.67	1.21	1.29	1.19	5.40	0.82	0.67	2.46	0.92	1.11	1.06	1.07
49	YZ33	峨眉山山水水源地	0.80	1.28	1.18	1.77	2.12	1.02	0.62	14.59	2.02	1.80	1.80	1.04
50	YZ34	大杨庄水源地	0.59	0.95	11.33	1.24	0.78	0.91	1.53	1.19	1.59	0.95	0.95	1.07
51	YZ35	腊山水源地		1.39	1.47	1.56	2.39	1.19						
52	古 12	古城水源地	2.38	0.90	0.60	2.93	3.98	0.84	4.00	1.23	1.51	1.16	1.16	1.06
53	A2-5	冷水沟水厂	0.84	1.26	1.24	3.00	1.25	0.97		3.70	1.91	1.14	1.67	1.12
54	YZ38	桥子李水源地	0.71	0.95	1.06	0.99	0.71	0.97		1.02			0.96	1.04
55	长清 1	长清水源地				0.88	0.98			1.55		1.05	1.00	

从表 1 可以看出,20 世纪 80 年代济南地区岩溶地下水主要离子含量和 2013 年相比, $K^+ + Na^+$ 离子含量王舍人办事处义和村增加了 18.43 倍、七贤街道井家沟增加了 6.12 倍、五龙潭增加了 4.92

倍,黑虎泉、珍珠泉、古城水源地、归德镇胜利村和前刘村分别增加了 2 倍多,其余地段 $K^+ + Na^+$ 含量总体变化相对较小。

另外,与 20 世纪 80 年代相比,离子含量变化最

大的为 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 。 SO_4^{2-} 含量增加最大的地段为王舍人办事处义和村,增加倍数为 17.99 倍,其次七贤街道井家沟 13.71 倍、归德镇前胡庄村 11.29 倍,还有十六里河大涧东、孝里镇后楚村、七贤街道井家沟、平安店镇北汝村、五龙潭和孝里镇广里村地段 SO_4^{2-} 含量均增加了 5 倍以上。以上 SO_4^{2-} 含量增加倍数较大的地段也是 NO_3^- 含量增加明显的地段,如孝里镇广里村 NO_3^- 增加倍数最大为 26.53 倍,其次为彩石中学 20.14 倍,归德镇胜利村 18.38 倍、峨眉山水源地 14.59 倍、长清区归德镇长孝一号水源地 12.72 倍和归德镇前刘村 12.40 倍。其余地段岩溶地下水中 NO_3^- 含量也有不同程度的增加。

通过计算,以上 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 含量增加倍数较大的地段,岩溶地下水水质已遭受到了不同程度的污染,并达到了Ⅳ类水水质,如长清区孝里镇广里村、胡林村、归德镇前胡、党家庄镇陡沟、十六里河街道大涧沟、七贤街道井家沟、邵而庄、黑虎泉等地段,对这些地段要加大地下水水质监管力度,查明水质污染的来源,并进行污染处理,直到污染逐渐消除。

3.2 综合评价

综合评价是将水样各项单因子污染评价等级比对应后,规定以其中污染等级最高因子的等级划分结果作为该水样点的地下水污染综合评价结果。

综合污染指数进行多因子评价,计算公式为^[4]:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

式中: P —地下水综合污染指数; n —污染物种类数; P_i —地下水中污染物 i 的污染指数。

4 污染程度分级及综合评价

根据污染物组分的污染种类数量及其综合污染指数,依据表 2 对岩溶地下水进行污染程度分级,具体分级结果见表 3。

表 2 地下水污染程度分级

污染程度	综合污染指数	分级说明
未污染	<1	污染物均为超标
轻污染	1~2	污染物一般不超标
中度污染	2~3	一般有 1~2 项污染物超标
重污染	3~5	多种污染物超标,超标倍数不大
严重污染	5~10	多种污染物超标,个别超标 5 倍
极严重污染	>10	多种污染物超标,个别标 10 倍

表 3 岩溶地下水污染程度

序号	编号	位置	综合污染指数	污染程度
1	黑显	黑虎泉显示屏	1.49	轻污染
2	趵显	趵突泉公园内	1.60	轻污染
3	潭 1	五龙潭公园内	2.25	中度污染
4	珍 1	珍珠泉内大泉池	1.82	轻污染
5	E9	王舍人办事处义和村	6.63	严重污染
6	C8	东郊 69 号交运集团气修场内	1.29	轻污染
7	JD3	历城区郭店镇武家村西北	1.27	轻污染
8	港 15	历城区港沟镇港沟村西	1.45	轻污染
9	A2-30	市中区十六里河兴隆村	1.75	轻污染
10	282	市中区十六里河大涧东	2.31	中度污染
11	南康 1	市中区十六里河南康村	1.25	轻污染
12	北曹 2	章丘市曹范镇北曹范东	1.78	轻污染
13	彩 1	历城区彩石中学	3.28	重污染
14	J108	市中区党家庄小白庄	1.68	轻污染
15	CX15	长清区城关镇西关村西门里(北大井)	1.19	轻污染
16	辛 1	长清孝里镇西辛村(西路边)	1.32	轻污染
17	C26	长清区孝里镇广里村	5.29	严重污染
18	C7	长清区归德镇国庄水厂	1.47	轻污染
19	CX4	长清区归德镇胜利村	3.10	重污染
20	CX5	长清区归德镇前刘村	3.28	重污染
21	CX7	长清区归德镇庄楼村	2.09	轻污染
22	T101	长清区孝里镇后楚村	2.68	中度污染
23	C22	长清区孝里镇胡林村	1.94	轻污染
24	C31	长清区双泉乡段店村	2.21	中度污染
25	C32	东阿县下码头水源地	0.67	未污染
26	ZG4	齐河县赵官镇葛庄村	1.27	轻污染
27	165	长清区归德镇前胡庄村	3.01	重污染
28	黄 29	市中区七贤街道井家沟	3.66	重污染
29	峨 9	槐荫区担山屯村骨头王餐馆中	1.84	轻污染
30	大辛庄	历下区大辛庄	1.42	轻污染
31	政 1	历下区 801 仓库	1.71	轻污染
32	D1	历下区地矿家园	1.57	轻污染
33	埠村	章丘市埠村镇煤矿医院	1.32	轻污染
34	孙村	高新区孙村镇孙村	1.21	轻污染
35	西神武	历城区港沟镇西神武村	1.48	轻污染
36	ZG7	齐河县马集镇红堂村	0.63	未污染
37	T99	长清区孝里镇洼里村	0.44	未污染
38	CC6	长清区归德镇长孝一号水源地	2.54	中度污染
39	YZ20	长清区归德镇中心医院	1.52	轻污染
40	YZ2	淄川区岭子镇河洼源地	1.11	轻污染
41	YZ6	平阴县东阿镇南市村	0.54	未污染
42	YZ10	东阿县铜城街道东八里堂村北 500 m	1.05	轻污染
43	230	平阴县安城镇望山口村	4.73	重污染
44	刁 1	平阴县玫瑰镇刁山坡	1.21	轻污染
45	YZ22	章丘市文祖镇黄露泉村	2.12	中度污染
46	YZ23	章丘市文祖镇马家峪村	1.43	轻污染
47	YZ26	章丘市明水街道办事处眼明泉	1.23	轻污染
48	KC1	长清区平安店镇北汝村	1.49	轻污染
49	YZ33	峨眉山水源地	2.50	中度污染
50	YZ34	大杨庄水源地	1.92	轻污染
51	YZ35	腊山水源地	1.60	轻污染
52	古 12	古城水源地	1.81	轻污染
53	A2-5	冷水沟水厂	1.51	轻污染
54	YZ38	桥子李水源地	0.93	未污染
55	长清 1	长清水源地	1.09	轻污染

地下水污染是一个十分复杂的水文地质环境地质问题,它不仅与污染源、污染类型、排污量大小有

关,其污染途径和污染机理严格受地形地貌、水文气象、地质构造、地层岩性、污染源分布等因素制约。根据上述评价方法,通过各评价指标污染指数计算,

将济南地区岩溶地下水污染综合评价为未污染区、轻污染区、中度污染区、重污染区和严重污染区 5 个级别(图 1)。

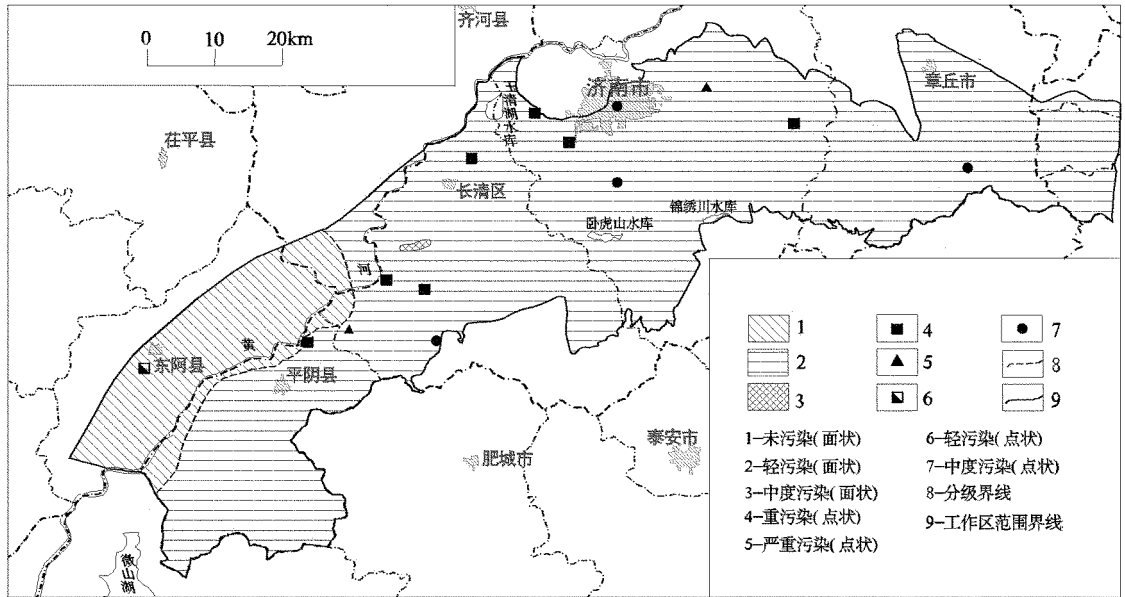


图 1 济南地区岩溶水污染程度分级图

4.1 未污染

该区分布在黄河以北的东阿县地区,第四纪覆盖层厚 50~100 m,地形平坦,岩溶含水层受上覆第四纪地层的保护,基本不受地表污染。岩溶地下水各离子含量接近区域背景值,地下水处于未污染状态。

4.2 轻污染

广泛分布于工作区。主要表现在常规离子如 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子与总硬度、矿化度稍高于区域背景值,无其他污染。该区与未污染区相比,由于地形地貌、地层结构和地下水补、径、排条件发生了变化,地下水受到轻微污染。

4.3 中度污染

主要点状分布于峨眉山水源地、市中区十六里河大涧沟、五龙潭以及章丘市的黄露泉,还有归德镇曹楼、后刘官庄、后平村一带,部分离子超标倍数较多。地下水化学类型较复杂,由于个别地段含水层埋藏较浅且无良好隔水层,人类工程活动频繁,地下水污染较严重。

4.4 重污染

主要点状分布于平阴县安城镇望山口村、长清

区归德镇胜利村、前刘村、前胡庄村、历城区彩石中学以及市中区七贤街道井家沟。主要表现在常规离子超标较多, Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、总硬度、矿化度超标倍数较多,水化学类型复杂,水化学类型以 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca}$ 、 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型为主,受含水层岩性和人类活动的影响,地下水污染严重。

4.5 严重污染

主要点状分布于长清区孝里镇广里村、历城区王舍人办事处义和村。其中义和村 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 与 20 世纪八九十年代相比超标严重,超标倍数分别为 18.43、19.68 和 17.99;广里村 Ca^{2+} 、 NO_3^- 超标倍数分别为 12.69 和 26.53。说明严重污染区地下水已遭受到人类工程活动的影响,水质污染极其严重,污染源主要为生活垃圾、工业废水以及农药污染等。

5 结语

(1)通过岩溶水污染程度综合评价,可以看出济南地区 2013 年岩溶地下水水质与 20 世纪七八十年代以及 20 世纪初相比,已遭受到了不同程度的污染,污染项目增幅明显且范围最广的为硫酸盐和硝酸盐。黄河以北地区由于第四纪覆盖层较厚,地下

水没有遭受到污染,水质接近背景值。另外除个别地段人类工程活动频繁,地下水已出现点状重污染或严重污染以外,其余地区地下水水质比背景值稍高,为较轻污染。因此,对区内地下水水质要加大监管力度,对污染的地下水要及时处理,使济南地区广大居民喝上优质的岩溶地下水。

(2)该次地下水污染综合评价是根据以往不同年份的水质资料进行对比评价的,评价结果存在一定的局限性和不全面性,但能够反映济南地区岩溶地下水污染的总体情况。

参考文献:

- [1] 徐建国,张中祥,杨丽芝,等.典型水文地质问题[A]//山东省重大水文地质问题[C].济南.山东科学技术出版社,2014:93-1116.
- [2] 高明志,尚宇宁,高明玲,等.济南市九曲垃圾场对地下水环境影响研究[A]//山东省环境地质文集[C].北京.地质出版社,2007:114-117.
- [3] 郭高轩,辛宝东,刘文成,等.我国地下水环境背景值研究综述[J].水文地质工程地质,2010,37(2):95-98.
- [4] DD2008-01.地下水污染地质调查评价规范[S].
- [5] 邹国强.地下水综合指数评价法[J].山东地质,1989,5(1):88-93.

Evaluation on Groundwater Pollution Degree in Jinan Karst Area

BO Keting, CAI Youxiong

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014 ,China)

Abstract: The background value of karst water environment is the main parameter to determine the degree of water pollution. Through comparative analysis and evaluation on quality and environmental and geological background of karst water in 2013 in Jinan city, quality pollution situation of karst groundwater has been reflected. The comprehensive assessment of ground water pollution is carried out according to previous evaluation. Although the evaluation results have certain limitations and incompleteness, it can basically reflect the overall situation of pollution degree of Jinan karst groundwater.

Key words: Karst water; evaluation; pollution degree; Jinan city

Key words: Water filling factors; predication of water inflow; long and narrow adit method; big well method; Dagaozhuang iron deposit; Dongping county