



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

不同评价方法在地下水源水质评价中的应用——以天津市为例

赵兴华, 李泽利, 贾冰莹, 王亚舒, 肖传宁, 高锴, 梅鹏蔚, 张震

引用本文:

赵兴华, 李泽利, 贾冰莹, 等. 不同评价方法在地下水源水质评价中的应用——以天津市为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 686–692.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0422>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

玛纳斯河流域耕地利用潜力评价

张丽, 盛建东, 蒋平安

农业资源与环境学报. 2015(4): 338–342 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0071>

基于SWAP模型的耕地-盐荒地-沙丘-海子水盐动态分析

曾揭峰, 刘霞, 李就好, 夏玉红, 王丽萍

农业资源与环境学报. 2018, 35(6): 540–549 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0226>

节水改造对沈乌灌域不同地貌浅层地下水埋深的影响

韩天凯, 丁雪华, 潘春洋, 刘月

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 620–629 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0352>

基于SDI校正指数的滨海平原盐渍化生态风险评价

潘肖燕, 崔江慧, 杨江燕, 关瑜, 孟泽, 刘田书, 门明新, 陈影

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 709–718 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0286>

玛纳斯河流域土壤盐渍化影响因素研究

郑琦, 王海江, 李万涛, 余露, 邵奇

农业资源与环境学报. 2016, 33(3): 214–220 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0263>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

赵兴华, 李泽利, 贾冰莹, 等. 不同评价方法在地下水水质评价中的应用——以天津市为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 686–692.

ZHAO Xing-hua, LI Ze-li, JIA Bing-ying, et al. Application of different methods for quality evaluation of groundwater drinking water sources: A case study of Tianjin[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(4): 686–692.



开放科学 OSID

不同评价方法在地下水水质评价中的应用 ——以天津市为例

赵兴华^{1,2}, 李泽利¹, 贾冰莹³, 王亚舒^{1,2}, 肖传宁⁴, 高锴¹, 梅鹏蔚¹, 张震^{1*}

(1. 天津市生态环境监测中心, 天津 300191; 2. 天津天滨瑞成环境技术工程有限公司, 天津 300191; 3. 南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071; 4. 天津市勘察设计院集团有限公司, 天津 300191)

摘要:为明确地下水水质空间变化及其主要影响指标,在天津市5个市辖区地下水源地设置202个采样点,于2018年枯水期和平水期在各点位采集水样并分析各水质指标,分别采用单因子评价法、主成分分析法和水质指标赋值法等3种评价方法,解析地下水水质空间变化并进行排名。结果表明:天津市地下水源地主要指标有9项超标,分别为氟化物、pH、钠、菌落总数、色、氯化物、耗氧量、硝酸盐氮和硫酸盐,且多数指标受地质因素影响。不同评价方法对地下水水质评价结果略有不同,总体而言,宁河区 and 蓟州区地下水水质相对较好,武清区、北辰区和静海区水质相对较差。研究表明,采用水质指标赋值法的评价结果具有问题导向性,更能反映农村地下水源地实际情况。同时,地质因素对地下水水质的影响不可避免,结合当前乡镇级水源管理工作,针对水源水质特点,建议安装净水工艺设施以提升饮用水安全保障水平。

关键词:地下水源地;单因子评价法;主成分分析法;水质指标赋值法;天津

中图分类号:S322

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)04-0686-07

doi: 10.13254/j.jare.2020.0422

Application of different methods for quality evaluation of groundwater drinking water sources: A case study of Tianjin

ZHAO Xing-hua^{1,2}, LI Ze-li¹, JIA Bing-ying³, WANG Ya-shu^{1,2}, XIAO Chuan-ning⁴, GAO Kai¹, MEI Peng-yu¹, ZHANG Zhen^{1*}

(1. Tianjin Eco-Environmental Monitoring Center, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Tianbin Ruicheng Environmental Technology and Engineering Co., Ltd., Tianjin 300191, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 4. Tianjin Survey Design Institute Group Co., Ltd., Tianjin 300191, China)

Abstract: In order to determine the spatial variation and main influencing factors of groundwater drinking water quality, a total of 202 sampling sites were studied across all the groundwater drinking water sources in five districts of Tianjin. Water samples were collected at each sampling site during the low water period and high water period in 2018, and water quality parameters were analyzed. Single factor assessment, principal component analysis, and water quality index valuation were used to identify the spatial variation and assess the water quality. The results of different evaluation methods for groundwater drinking water quality were slightly different. There were some differences among the regions in Tianjin. Overall, the water quality of rural groundwater drinking water sources in the Ninghe District and Jizhou District was better than that in Wuqing District, Beichen District, and Jinghai District. There were nine main indicators of groundwater quality in Tianjin, namely fluoride, pH, sodium, bacterial count, chroma, chlorine, oxygen consumption, nitrate nitrogen, and

收稿日期: 2020-08-12 录用日期: 2020-12-25

作者简介: 赵兴华(1990—), 男, 河北邢台人, 硕士, 工程师, 从事饮用水保护与评估研究。E-mail: xinghua0404@163.com

*通信作者: 张震 E-mail: water_temc@163.com

基金项目: 天津滨海工业带废水污染控制与生态修复综合示范项目(2017ZX07107)

Project supported: Comprehensive Demonstration Project of Waste Water Pollution Control and Ecological Restoration of Seashore Industrial in Tianjin (2017ZX07107)

sulfate, and most were affected by geological factors. The results of the water quality index valuation could better reflect the actual situation of rural groundwater drinking water quality. The influence of geological factors on groundwater was inevitable. Combined with the current management of township-level drinking water sources and the characteristics of water quality, the safety of drinking water should be improved through the installation of water purification facilities.

Keywords: groundwater; single factor assessment; principal component analysis; water quality index valuation; Tianjin

地下水是水资源的重要组成部分,地下水环境质量的优劣直接关系到城市的环境保护、经济建设和居民生活等一系列问题^[1]。地下水质量是水岩作用和人类活动双重动力的结果^[2],所以地下水质量是自然因素和人为因素的集合表现。开展地下水环境质量评价意义在于掌握地下水污染现状、成因、范围和程度,系统地对水文地质问题作出定量评价和描述。

地下水环境是一个复杂系统,存在许多不确定性因素,在水质评价中,评价指标和评价方法的合理选择对地下水水质评价结果具有至关重要的作用^[3-4]。目前地下水水质评价方法较多,各种评价方法各有特点。按照水质级别的确定原则,可分为确定性方法和不确定性方法:确定性方法有单因子评价法、综合指数法、分级评分法等,其特点是原理清晰,计算简便,但评价结果偏于概况,如单因子评价方法操作较为简单,是各种综合评价方法的根本,使用最为广泛,但仅反映最差因子状况;不确定性方法有主成分分析法、模糊评价法、灰色理论法等,其分析过程结合数学理论和计算机技术,可进行大量运算并处理较复杂问题,评价结果更加真实客观,但因理论复杂,适用性较差,如主成分分析法计算过程繁琐,需进行数据统计分析,但其能根据评价因子贡献率进行赋值,避免了主观性^[5],然而不太适用于时间尺度比较。

天津市在开展地下水源保护工作中,提出了水质指标赋值法的评价方法,该方法不仅可以评估单指标对评价结果的影响,同时考虑区域地质条件对地下水的潜在影响,以保证评价结果更符合地下水水质实际情况。为了更为客观、科学地反映水体水质状况,通常将几种方法相结合来对水体水质进行评价。本研究通过在天津市地下水源地设置监测点,全面监测水源地水质因子,分别采用单因子评价法、主成分分析法和水质指标赋值法^[6-7]对地下水源水质进行评价和比较,旨在为天津市农村地下水源水质管理工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

天津地处华北平原北部,东临渤海、北依燕山,位

于海河下游,原为海洋,4 000多年前在黄河泥沙作用下形成冲积平原,之后因运河而兴。根据天津市水务局统计结果,天津市共有 205 个地下水型水源,主要分布于北辰区、武清区、静海区、宁河区和蓟州区,根据地下水源埋藏条件,除蓟州区水源为孔隙水外,其余各区水源均为深层承压水。地下水源每年总取水量为 3 035.8 万 t,总服务人口为 104.9 万,占天津市总人口的 7%(表 1)。

表 1 天津市地下水源基本信息
Table 1 Basic information of groundwater drinking water sources in Tianjin

行政区 District	水源地数量 Quantity of water sources	供水量 Water supply/10 ⁴ t	服务人口数量 Service population/10 ⁴
宁河区	58	373.2	14.3
武清区	52	762.0	29.5
北辰区	41	313.0	13.9
静海区	30	1 425.6	42.4
蓟州区	24	162.0	4.8
合计	205	3 035.8	104.9

1.2 采样点设置

根据水源地在用情况,共设置 202 个采样点。原则上每个水源地设置 1 个监测点,对于存在多口井的水源,优先选择取水量较大的水井作为监测点,各采样点具体位置分布情况见图 1。

1.3 监测指标

本研究于 2018 年每半年(丰水期、枯水期)对各水源地依据《地下水环境监测技术规范》(HJ/T 164—2004)^[8]采集水样,分析指标为色、pH、溶解性总固体、总硬度、硫酸盐、氯化物、耗氧量、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、氟化物、氰化物、挥发酚、铜、锌、六价铬、汞、砷、硒、镉、铅、钠和菌落总数等 23 项。各指标分析方法详见《生活饮用水标准检验方法》(GB/T 5750.4—12—2006)。

1.4 评价方法

1.4.1 单因子评价法

单因子评价法是指所评价污染物实测值与水环境质量标准值的比值,采用单因子评价法可直观地筛

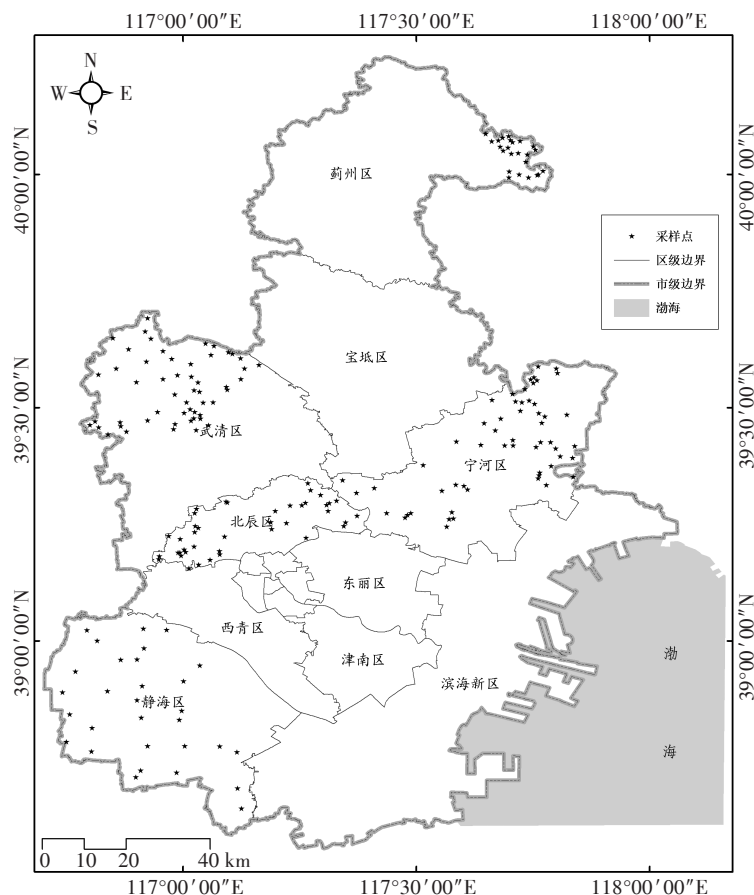


图1 采样点位示意图

Figure 1 Sketchmap of the sampling sites

选出水环境中超标污染物,并显示超标污染物的超标倍数^[9]。其表达式为:

$$I_i = C_i / C_0 \quad (1)$$

式中: I_i 为污染因子 i 的评分值; C_i 为污染因子 i 的实测值, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; C_0 为《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)中Ⅲ类水质标准限值, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.4.2 主成分分析法

主成分分析法是利用降维法,在众多指标中筛选出最能代表完整信息的指标,且所含的信息互不重复的一种方法。这种方法既可以保留原始数据的主要信息,又使得各指标之间彼此不相关。而与原始变量相比,综合指标可以在研究复杂的环境问题时更容易抓住主要矛盾,目前,主成分分析法已经广泛应用于评价指标的选择及环境质量评价研究中^[10]。

1.4.3 水质指标赋值法

水质指标赋值法即通过对不同水质指标赋予一定分值进行评价。该方法综合考虑区域地下水水质状况^[11]、天津市区域地质特点^[12]以及专家评分结果,对地下水水质指标进行分类,并赋予一定分值。最终

将地下水水质指标分为三类:第一类为原生指标,即受地质因素影响指标;第二类为一般指标,即通过预处理工艺可消除的指标;第三类为污染指标,即重金属指标、毒理学指标、有机污染指标或其他可能受人为因素影响的指标等。在计算过程中,首先根据《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)中Ⅲ类水质标准限值,采用单因子评价法确定超标指标,若所有指标均达标,赋值100,其次根据超标指标所属分类分别对水源水质状况进行赋分,若存在2类或以上指标超标,原则上取最低赋分值。指标分类及赋分情况见表2。

1.4.4 数据分析处理

单因子评价、水质指标赋值等采用Excel软件计算,主成分分析在SPSS软件中进行。

2 结果与分析

2.1 单因子评价分析

依据单因子水质评价结果,天津市地下水源主要超标指标有9项,分别为氟化物、pH、钠、菌落总数、色、氯化物、耗氧量、硝酸盐氮和硫酸盐。不同区域之

间超标情况有所差异,宁河区、武清区、北辰区、静海区和蓟州区超标指标数量分别为3、5、5、6项和3项(表3)。根据达标率排名,先后顺序依次为蓟州区、宁河区、武清区、静海区和北辰区。

2.2 主成分分析

天津市202个地下水源的监测结果如表4所示,其中未列举出的氰化物和挥发酚等2项指标均未检出。由表4可知,根据主成分分析的前提条件,选择

表2 水质指标分类与赋分

Table 2 Water quality index classification and scores

分类 Classification	赋分 Score	指标 Index	数量 Quality
原生指标	70	pH、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、氟化物、总硬度、钠	7
一般指标	40	色、菌落总数	2
污染指标	0	铜、锌、镉、铅、砷、氰化物、硒、汞、六价铬、挥发酚、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮、耗氧量	14

表3 单因子评价结果及达标率排名

Table 3 The result of single factor assessment and district ranking

行政区 District	超标指标(超标率) Indexes of exceed the standard(rate)	达标率排名 Rank
宁河区	氟化物(21.4%)、菌落总数(8.9%)、pH(5.4%)	2
武清区	色(33.3%)、耗氧量(17.6%)、氟化物(13.7%)、菌落总数(11.8%)、钠(7.8%)	3
北辰区	氟化物(100%)、pH(56.1%)、钠(19.5%)、菌落总数(7.3%)、耗氧量(2.4%)	5
静海区	氟化物(73.3%)、钠(40.0%)、氯化物(36.7%)、硫酸盐(6.7%)、菌落总数(6.7%)、pH(3.3%)	4
蓟州区	硝酸盐氮(16.7%)、氟化物(8.3%)、菌落总数(8.3%)	1

表4 地下水源水质指标统计

Table 4 Statistics of groundwater sources quality indexes

指标 Index	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Average value	标准差 Standard deviation	检出率 Detection rate/%
色	5.00L	25.00	7.09	4.80	21.90
pH	7.14	8.74	8.21	0.30	100.00
总硬度/(mg·L ⁻¹)	2.70	407.00	75.20	75.89	100.00
溶解性总固体/(mg·L ⁻¹)	25.00	969.50	401.68	171.40	100.00
硫酸盐/(mg·L ⁻¹)	0.76	519.50	36.78	53.31	100.00
氯化物/(mg·L ⁻¹)	8.35	469.50	65.60	80.21	100.00
铜/(mg·L ⁻¹)	0.04L	0.05	0.02	0.02	25.25
锌/(mg·L ⁻¹)	0.01L	0.05	0.01	0.01	26.73
耗氧量/(mg·L ⁻¹)	0.12	5.16	1.16	0.94	100.00
氨氮/(mg·L ⁻¹)	0.025L	0.468	0.13	0.14	78.71
钠/(mg·L ⁻¹)	7.09	379.50	135.13	73.63	100.00
菌落总数/(CFU·mL ⁻¹)	0	290.00	36.94	49.83	90.10
亚硝酸盐氮/(mg·L ⁻¹)	0.001L	0.074	0.00	0.01	14.36
硝酸盐氮/(mg·L ⁻¹)	0.20L	24.00	1.18	3.78	32.18
氟化物/(mg·L ⁻¹)	0.20	5.16	1.52	1.24	100.00
汞/(mg·L ⁻¹)	0.000 1L	0.000 8	0.00	0.00	25.25
砷/(mg·L ⁻¹)	0.001L	0.010	0.01	0.00	84.65
硒/(mg·L ⁻¹)	0.001L	0.004	0.00	0.00	20.79
镉/(mg·L ⁻¹)	0.000 05L	0.000 55	0.00	0.00	20.30
六价铬/(mg·L ⁻¹)	0.004L	0.007	0.00	0.00	2.97
铅/(mg·L ⁻¹)	0.002 5L	0.003 0	0.00	0.00	20.30

注:最小值列中“L”代表未检出,其前面数值代表方法检出限。

Note:“L” indicates not detected, and the value in front of it represents the detection limit of the method.

pH、总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、耗氧量、钠、氟化物、色、菌落总数和硝酸盐氮等11项指标,采用其年均值进行主成分分析。

首先,对202个地下水源的11项指标进行分析评价,在SPSS中将原始数据进行标准化,得到标准化的检测数据表,据此求得相关的数据矩阵(表5)。

其次,利用选出的11项指标在SPSS中求解主成分分析的荷载值、特征值及贡献率等。KMO检验值为0.679>0.6,说明适合进行主成分分析^[13],其分析结果如表6所示。所选的11项指标累计贡献率达80.059%,说明4个主成分基本包含了原始数据提供的信息总量。根据表6主成分荷载值结果:pH、总硬度、钠、氟化物和硝酸盐氮等5项指标与主成分一(PC1)有较高相关性,溶解性总固体、硫酸盐和氯化物等3项指标与主成分二(PC2)有较高相关性,与主成分一、主成分二有较高相关性的指标主要为部分无机物指标或溶解性离子,其累计贡献率为51.793%;色和耗氧量2项指标与主成分三(PC3)有较高相关性,为物理指标和有机物指标,其贡献率为18.236%;菌落总数与主成分四(PC4)有较高相关性,为生物性指标,其贡献率为10.031%。

最后,根据求解出的主成分荷载值、特征值及标准化后的监测数据,得出主成分表达式(2)~(5)及综合评价函数表达式(6),最终求得各地下水源的主成分得分(F_i)和综合得分(F),见表7。

$$F_1=0.104x_1+0.424x_2-0.381x_3+0.306x_4+0.019x_5+0.262x_6+0.138x_7+0.498x_8-0.025x_9+0.335x_{10}-0.349x_{11} \quad (2)$$

$$F_2=-0.026x_1-0.22x_2+0.375x_3+0.461x_4+0.481x_5+0.464x_6-0.111x_7+0.184x_8+0.068x_9+0.009x_{10}+0.317x_{11} \quad (3)$$

$$F_3=0.628x_1-0.193x_2+0.08x_3+0.158x_4-0.181x_5-0.056x_6+0.604x_7+0.085x_8+0.255x_9-0.244x_{10}+0.064x_{11} \quad (4)$$

$$F_4=0.005x_1+0.001x_2+0.222x_3+0.219x_4-0.342x_5-0.197x_6+0.167x_7+0.08x_8-0.661x_9+0.372x_{10}+0.37x_{11} \quad (5)$$

$$F=0.371F_1+0.276F_2+0.228F_3+0.125F_4 \quad (6)$$

式中: $x_1 \sim x_{11}$ 依次为表5中所列举指标。

表6 主成分荷载值、特征值、贡献率及累计贡献率
Table 6 Load values, characteristic values, contribution rate and cumulative contribution rate of principal component

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4
色	0.188	-0.040	0.890	0.005
pH	0.766	-0.343	-0.273	0.001
总硬度	-0.688	0.585	0.113	0.233
溶解性总固体	0.554	0.718	0.224	0.230
硫酸盐	0.035	0.749	-0.257	-0.359
氯化物	0.474	0.723	-0.079	-0.207
耗氧量	0.249	-0.173	0.856	0.175
钠	0.901	0.286	0.121	0.084
菌落总数	-0.045	0.106	0.361	-0.694
氟化物	0.605	0.014	-0.345	0.391
硝酸盐氮	-0.631	0.494	0.090	0.389
特征值	3.269	2.428	2.006	1.103
贡献率/%	29.722	22.071	18.236	10.031
累计贡献率/%	29.722	51.793	70.029	80.059

表5 标准化数据的相关系数(r)矩阵

Table 5 The correlation coefficient(r) matrix of the standardized data

指标 Index	色 Chroma	pH	总硬度 Total hardness	溶解性总固体 Total dissolved solids	硫酸盐 Sulfate	氯化物 Chlorine	耗氧量 Oxygen consumption	钠 Sodium	菌落总数 Bacterial count	氟化物 Fluoride	硝酸盐氮 Nitrate nitrogen
色	1.000	-0.074	-0.061	0.239	-0.192	0.004	0.717	0.240	0.206	-0.202	-0.082
pH	-0.074	1.000	-0.701	0.117	-0.125	0.094	0.037	0.514	-0.097	0.547	-0.564
总硬度	-0.061	-0.701	1.000	0.124	0.295	0.006	-0.120	-0.446	0.045	-0.280	0.779
溶解性总固体	0.239	0.117	0.124	1.000	0.380	0.671	0.232	0.740	0.024	0.362	0.107
硫酸盐	-0.192	-0.125	0.295	0.380	1.000	0.539	-0.321	0.137	0.139	0.007	0.149
氯化物	0.004	0.094	0.006	0.671	0.539	1.000	-0.141	0.620	0.034	0.093	-0.062
耗氧量	0.717	0.037	-0.120	0.232	-0.321	-0.141	1.000	0.269	0.163	-0.057	-0.108
钠	0.240	0.514	-0.446	0.740	0.137	0.620	0.269	1.000	-0.038	0.479	-0.369
菌落总数	0.206	-0.097	0.045	0.024	0.139	0.034	0.163	-0.038	1.000	-0.136	-0.011
氟化物	-0.202	0.547	-0.280	0.362	0.007	0.093	-0.057	0.479	-0.136	1.000	-0.207
硝酸盐氮	-0.082	-0.564	0.779	0.107	0.149	-0.062	-0.108	-0.369	-0.011	-0.207	1.000

由表7看出,静海区综合得分最高,水质最差,其次为武清区。由各主成分得分结果可以看出,静海区 F_1 和 F_2 得分较高,说明该区域水质受一些无机物指标或溶解性离子指标影响较大。武清区 F_3 得分较高,说明该区域水质受物理指标和有机物指标影响较大,上述结果与该区域实际情况(表3中超标率)较为相符。

2.3 水质指标赋值法

根据表2中水质指标分类及赋分结果,对各地地下水进行评分,评分越高,水质越好。由表8可以看出,评分结果由高到低依次为宁河区>蓟州区>静海区>北辰区>武清区,其中宁河区和蓟州区评分分值较高,说明该区域总体水质较好,静海区评分分值居中,武清区和北辰区评分结果较低,说明该区域总体水质较差。

3 讨论

通过以上3种评价方法对天津市地下水源水质进行分析,比较和总结了其各自的优缺点和适用条件。

单因子评价法较为简单,操作性强,能够快速确定地下水源超标指标,对于单个指标有较好的评价意义,但若对全部指标进行单因子评价,则评价结果过于保守^[14],因此在实际工作中,如何合理选择评价指标对水质进行科学评价,仍是亟待解决的难题。天津市地质特点为中部区域地带地下承压水氟含量本底

值高^[12],使得北辰区因受氟化物指标影响,水源达标率最低。若直接用于水质评价管理,则显得过于保守。因此单因子评价法更适用于评价易受外界环境影响且波动幅度较大的指标。

主成分分析法可以在保留绝大部分信息的情况下用少数几个综合指标代替原指标进行分析。本研究案例中,主成分分析法将11个水质指标简化为4个主成分,解释了80.059%的结果,可以较为客观反映地下水源水质的基本情况。同时各主成分的权数为其贡献率,这样确定权数较为客观、合理,克服了某些评价方法中人为确定权数的缺陷。但其仅适用于评价大范围数据,难以对少量或单组数据进行评价,且无法确定水质类别,不能单独应用在水质评价管理中。

水质指标赋值法在应用于地下水评价时,能够综合考虑地质因素影响及每个指标对结果的影响,可以实现定性判断,同时强调了污染指标对结果的影响,弱化了本底指标的影响程度,使得评价结果更符合实际情况,更适合运用于水源地保护及管理中。例如在对北辰区和静海区水质评价中,降低了氟化物、pH、钠等本底指标对结果的影响。但其缺点为指标分类及赋值的确定受主观影响较大,在进行较大区域水质评价时客观公正性较差。

3种水质评价方法的结果显示,水质指标赋值法具有单因子评价法的优点,能够定性分析水质现状,同时考虑地质因素对地下水存在的客观影响,以赋值形式实现定量分析,评价结果更能反映水体的非客观因素影响程度,使得评价结果具备问题导向性。同时水质指标赋值法中指标分类方法及分类结果与李文攀等^[14]和王昭等^[11]的研究或统计结果相似。但是水质指标赋值法受限于指标赋值,易受主观因素的影响,因此在其应用时,建议采用主成分分析法对其结果进行验证,保证评价结果的科学性。

4 结论

(1)单因子评价结果表明,各区地下水源水质达标率排名先后顺序依次为蓟州区、宁河区、武清区、静海区和北辰区;主成分分析综合评价结果显示,各区地下水源水质由好到差依次为蓟州区、宁河区、北辰区、武清区和静海区;水质指标赋值法评价结果显示,各区地下水源水质状况由优到劣依次为宁河区、蓟州区、静海区、北辰区和武清区。

(2)3种评价方法共同显示,天津市区域之间水质超标指标有所差异,但总体而言宁河区和蓟州区地

表7 地下水源水质主成分分析法综合评价结果

Table 7 The comprehensive evaluation results of groundwater sources by principal component analysis

行政区 District	因子得分 Factor score					排名 Rank
	F_1	F_2	F_3	F_4	F	
宁河区	-0.664	-1.094	-0.609	-0.406	-0.738	2
武清区	0.412	-0.106	1.734	-0.021	0.516	4
北辰区	1.657	-0.390	-0.642	0.764	0.457	3
静海区	1.106	1.585	-0.923	-0.741	0.544	5
蓟州区	-3.541	1.462	-0.011	0.614	-0.837	1

表8 地下水源水质指标赋值法评价结果

Table 8 The evaluation results of groundwater sources by index valuation

行政区 District	得分 Score	排名 Rank
宁河区	87.68	1
武清区	64.71	5
北辰区	66.10	4
静海区	74.00	3
蓟州区	81.53	2

下水源水质相对较好,武清区、北辰区和静海区水质较差。

(3)单因子评价法较为简单,操作性强,能够快速确定地下水源超标指标,对于单个指标有较好的评价意义,但评价结果过于保守;主成分分析法可以较为客观地反映地下水源水质的基本情况,但难以对少量或单组数据进行评价,且不能确定水质类别;水质指标赋值法具有单因子评价法的优点,同时可降低地质因素对评价结果的影响,评价结果更加具备问题导向性,但易受主观因素的影响,需辅以其他方法对其评价结果进行验证。

(4)地质及人为因素对地下水源水质的影响不可避免,为保障饮水安全,建议根据水质评价结果,针对水源水质特点,安装净水工艺设施,提升饮用水安全保障水平。

参考文献:

- [1] 薛伟峰,褚莹倩,刘强,等.主成分分析和模糊综合评价法在大连市地下水水质评价中的应用研究[J].辽宁大学学报(自然科学版),2020,47(3):218-226. XUE Wei-feng, CHU Ying-qian, LIU Qiang, et al. Groundwater quality assessment in Dalian based on principal component analysis and fuzzy comprehensive evaluation[J]. *Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition)*, 2020, 47(3): 218-226.
- [2] 费宇红,张兆吉,郭春燕,等.区域地下水质量评价及影响因素识别方法研究——以华北平原为例[J].地球学报,2014,35(2):131-138. FEI Yu-hong, ZHANG Zhao-ji, GUO Chun-yan, et al. Research on the method for evaluation and influence factors identification of regional groundwater quality: A case study of the North China Plain [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2014, 35(2): 131-138.
- [3] 张文平,李博,王先庆,等. GIS与PCA-RSR模型在地下水水质评价中的应用[J]. 人民长江, 2020, 51(7): 46-51. ZHANG Wen-ping, LI Bo, WANG Xian-qing, et al. Application of GIS and PCA-RSR model in groundwater quality evaluation[J]. *Yangtze River*, 2020, 51(7): 46-51.
- [4] 倪天翔,冯柳.地下水水质评价中两类内梅罗指数法修正方法的对比分析及应用研究[J].地下水,2018,40(6):8-11. NI Tian-xiang, FENG Liu. Comparison and analysis of two kinds of correction of Nemereow index method in groundwater quality evaluation and their application[J]. *Ground Water*, 2018, 40(6): 8-11.
- [5] 夏凡,胡圣,龚治娟,等.不同水质评价方法的应用比较研究——以丹江口水库入库河流为例[J].人民长江,2017,48(17):11-24. XIA Fan, HU Sheng, GONG Zhi-juan, et al. Comparative study on application of different water quality evaluation methods: A case study of
- inflow rivers in Danjiangkou reservoir area[J]. *Yangtze River*, 2017, 48(17): 11-24.
- [6] Wang J, Liu G, Liu H, et al. Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and a water quality assessment in the middle reaches of Huaihe River, Anhui, China[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 583: 421-431.
- [7] Anoushirvan M B, Saeed M, Mohsen E, et al. Water quality assessment of the most important dam (Latyan dam) in Tehran, Iran[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25: 29227-29239.
- [8] 国家环境保护总局.地下水环境监测技术规范: HJ/T 164—2004 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2005. State Environmental Protection Administration. Technical specifications for environmental monitoring of groundwater: HJ/T 164—2004[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.
- [9] 宋日文.单因子评价法和改进的灰色关联度在水质评价中的应用[J].陕西水利,2018,212(3):109-113. SONG Ri-wen. Application of single factor evaluation method and improved grey correlation degree in the water quality evaluation[J]. *Shaanxi Water Resources*, 2018, 212(3): 109-113.
- [10] 刘宪斌,刘占广,郭伟华.基于主成分分析和水质标识指数的天津地区主要河流水质评价[J].生态与农村环境学报,2011,27(4):27-31. LIU Xian-bin, LIU Zhan-guang, GUO Wei-hua. Water quality assessment of main rivers in Tianjin based on principal component analysis and water quality identification index[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(4): 27-31.
- [11] 王昭,石建省,张兆吉,等.关于饮用地下水水质评价标准的探讨——以华北平原地下水水质调查结果为例[J].地球学报,2009,30(5):659-664. WANG Zhao, SHI Jian-sheng, ZHANG Zhao-ji, et al. A tentative discussion on the assessment standards of groundwater quality: A case study of the groundwater quality in the North China Plain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(5): 659-664.
- [12] 天津市地质矿产局,天津市地质环境图集[M].北京:地质出版社,2004:52-67. Tianjin Bureau of Geology and Minerals Exploration, Tianjin geological environment atlas[M]. Beijing: Geological Press, 2004: 52-67.
- [13] 洪慧,李娟,汪洋,等.基于统计学方法的地下水水质评价与成因分析——以齐齐哈尔市为例[J].环境工程技术学报,2019,9(4):432-439. HONG Hui, LI Juan, WANG Yang, et al. Groundwater quality evaluation and causes analysis based on statistical methods: Taking Qiqihar City as an example[J]. *Journal of Environmental Engineering Technology*, 2019, 9(4): 432-439.
- [14] 李文攀,朱擎,李东一,等.集中式饮用水水源地水质评价方法研究[J].中国环境监测,2015,31(1):24-27. LI Wen-pan, ZHU Qing, LI Dong-yi, et al. The study of assessment method of centralized source water[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2015, 31(1): 24-27.