

## 基于层次分析法的地下水水质评价——以阿克苏市为例

王冬至<sup>1</sup>, 梁建辉<sup>2</sup> (1.河南省水文水资源局, 河南郑州 450003; 2.新疆喀什地区水文勘测局, 新疆喀什 844099)

**摘要** 基于层次分析法(AHP)建立了阿克苏市地下水环境质量评价模型,以阿克苏市16个水位监测井的水样数据为基础,对地下水环境质量的评估结果表明,水样中达Ⅲ类水质标准的占81.25%,其中优良和较好的水质占43.75%,而极差和较差的水质有18.75%。通过与F值评分法结果对比发现,层次分析法由于采用了变化的权重对评价因子进行处理,同时综合考虑了全部评价因子对水质的贡献与因子间的相互联系,因而能更全面有效地利用水样的监测数据,使评价结果比较符合实际的水质状况,为使评价结果更科学客观地反映出水体的实际情况,应根据实际的监测数据与评价目的合理地选择评价方法。

**关键词** 地下水;水质;层次分析法;F值评分法

中图分类号 X824 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)08-0080-06

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.08.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Evaluation of Groundwater Quality Based on Analytic Hierarchy Process—A Case Study of Aksu

WANG Dong-zhi<sup>1</sup>, LIANG Jian-hui<sup>2</sup> (1. Henan Provincial Bureau of Hydrology and Water Resources, Zhengzhou, Henan 450003; 2. Kashi Regional Hydrographic Survey Bureau in Xinjiang, Kashi, Xinjiang 844099)

**Abstract** Based on the analytic hierarchy process (AHP), the groundwater environmental quality evaluation model of Aksu City was established. Based on the data of 16 water level monitoring wells in Aksu City, the groundwater environmental quality evaluation results showed that 81.25% of the groundwater samples reached Class III water quality standard, among which 43.75% were good. And poor water quality was 18.75%. By comparing with the results of F-value scoring method, it was found that the AHP can make more comprehensive and effective use of the monitoring data of water samples and make the evaluation results more realistic because it adopted variable weights to deal with the evaluation factors and took into account the contribution of all the evaluation factors to water quality and the relationship between the factors. In order to reflect the actual situation of water body more scientifically and objectively, the evaluation method should be selected reasonably according to the actual monitoring data and the purpose of evaluation.

**Key words** Groundwater; Water quality; Analytic hierarchy process; F score method

地下水作为水循环系统中的重要构成成分,通常是水质较好、水源稳定的供水水源<sup>[1]</sup>,因此地下水的合理开发与利用是灌溉水资源的重要来源,更是现代农业可持续发展的保障,而水资源可持续开发利用的前提是水环境质量的定量化客观评价,这也是环境管理与决策的依据。目前,在水环境质量的综合评价中应用较多的主要有单因子评价法<sup>[2]</sup>、F值评价法<sup>[3]</sup>、层次分析法<sup>[4]</sup>、模糊综合评价法<sup>[5]</sup>、灰色关联评价法<sup>[6]</sup>和人工神经网络法<sup>[7]</sup>及综合污染标识指数法<sup>[8]</sup>等。其中,层次分析法,简称AHP法,该方法的特点是通过把问题进行层次化分解,首先将问题分解成若干子系统,按目标层、准则层和方案层建立一个层次结构模型,然后通过判断矩阵的建立与一致性检验得到各层的权重,再根据权重值确定最终排序,该方法与其他评价方法相比具有较好的逻辑性、系统性和准确性<sup>[4,9-10]</sup>。笔者采用层次分析法对阿克苏市16个观测井的地下水水质进行评价,并通过与普遍采用的F值评分法评价结果进行对比,分析不同方法的优缺点,以期为该市地下水资源合理开发与利用提供参考。

#### 1 层次分析法

层次分析法是一种层次化与系统化相结合的多目标决策分析方法,该方法基本思路为先按评价目的和问题的性质将各因素分解成阶梯状层次结构,对各层不同因素进行两两比较,构造出判断矩阵和一致性检验,再计算各层元素对目标的合成权重,最后进行总排序,确定最下层中的各元素在

总目标中的重要程度<sup>[11]</sup>。

**1.1 构建层次结构模型** 将地下水水质作为层次分析的目标层(A),将水质类别(I类、II类、III类、IV类、V类)作为准则层(B<sub>i</sub>),将水样监测指标pH、总硬度、总溶解性固形物、氯化物、氟化物、硫酸盐、氨氮和高锰酸盐指数作为方案层(C<sub>i</sub>),根据这3个层次建立阿克苏市地下水水质层次结构模型(图1)。

**1.2 构造判断矩阵** 判断矩阵构造之前,应先明确各个参评因子的标度,标度的确认顺序是从层次结构模型图的最底层由下至上<sup>[12]</sup>,即在递阶层次结构模型建立之后,假定以上一层次元素B<sub>i</sub>作为准则,而且对下一层次元素C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, …, C<sub>n</sub>有支配关系,则对于B<sub>i</sub>的2个元素C<sub>i</sub>和C<sub>j</sub>哪个更重要,重要程度则以数量表示出来,然后由这些数值作为矩阵中的元素,最后构成两两元素判别矩阵。

**1.3 判断矩阵一致性检验** 检验判断矩阵的一致性,是为能够反映出判断矩阵构造的合理性,首先要计算出判断矩阵的特征值与特征向量,然后再对判断矩阵进行一致性检验,计算公式为<sup>[9]</sup>:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

式中,CI为一致性检验指标; $\lambda_{\max}$ 为判断矩阵的最大特征值;n为判断矩阵的阶数。

检验随机一致性比率计算公式为:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

式中,CR为随机一致性比率,当CR<0.10时,则认为判断矩

阵满足一致性,否则应对判断矩阵进行修正,直到满足一致性要求;RI 为平均随机一致性指标。

## 2 结果与分析

根据阿克苏市 16 个观测井的水样数据,选取 pH、总硬

度、总溶解性固形物、氯化物、氟化物、硫酸盐、氨氮和高锰酸盐指数共 8 项评价指标,采用层次分析法和 F 值法对地下水水质进行评价,各观测点实测数据如表 1 所示。

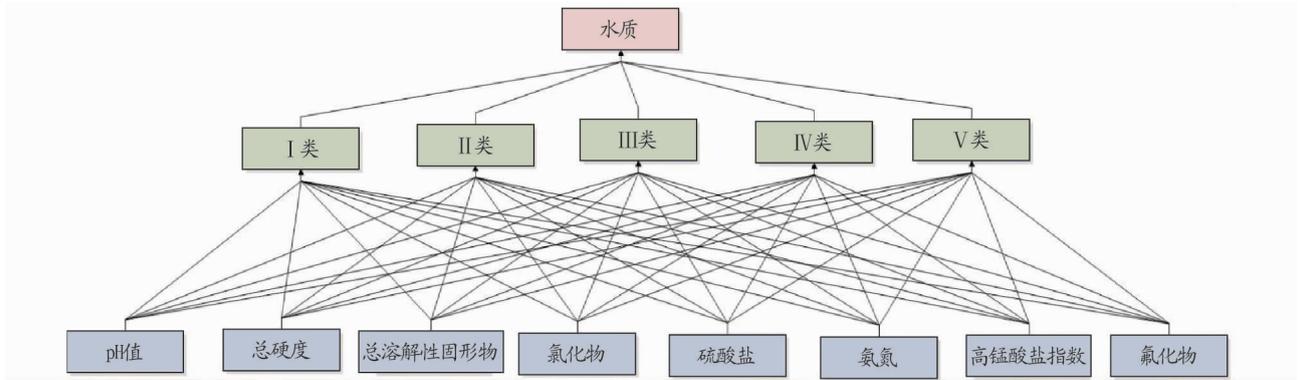


图 1 地下水水质评价层次结构模型

Fig.1 Hierarchical structure model for groundwater quality evaluation

表 1 样品中各评价指标的实测值

Table 1 The measured values of each evaluation index in the sample

观测井编号 Serial number of monitoring wells	pH	总硬度 Total hardness mg/L	总溶解性固形物 Total soluble solids//mg/L	氯化物 Chloride mg/L	硫酸盐 Sulfate mg/L	氨氮 Ammonia nitrogen mg/L	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen mg/L	氟化物 Fluoride mg/L
1	7.50	524.17	1 208.28	278.30	282.10	0.06	1.21	1.25
2	8.10	347.86	679.94	113.20	200.50	0.04	0.53	0.58
3	7.90	137.45	267.69	89.60	37.49	0.03	0.27	0.64
4	7.70	183.16	306.06	52.30	47.46	0.01	0.26	0.52
5	8.00	142.10	264.74	79.20	36.62	0.02	0.25	0.70
6	7.80	170.46	293.58	123.50	58.70	0.04	0.91	0.31
7	7.90	386.74	1 073.90	256.80	201.20	0.05	2.63	0.98
8	7.30	206.69	350.88	68.20	60.22	0.05	0.31	0.52
9	7.50	249.70	409.44	70.33	49.30	0.03	0.53	0.59
10	7.90	217.12	341.38	89.67	78.60	0.02	0.32	0.48
11	7.60	260.83	416.87	67.20	46.50	0.06	0.68	0.75
12	7.50	204.40	335.54	58.60	46.29	0.02	1.02	0.32
13	7.70	229.79	371.20	99.80	41.20	0.01	0.26	0.20
14	8.40	101.95	168.29	58.40	9.80	0.01	0.42	0.61
15	8.10	122.32	202.83	42.10	17.65	0.05	0.98	0.34
16	8.10	149.34	258.35	78.60	38.17	0.01	0.87	0.42

### 2.1 构造判断矩阵与一致性检验

2.1.1 构造(A-B)判断矩阵与一致性检验。以 1 号观测井为例,通过采用指数标度方法进行两两比较,确定各影响因

子的相对重要性并赋予标度值<sup>[12]</sup>,构造水质与水质类别的判断矩阵 A-B<sub>i</sub>(目标层-准则层),如表 2 所示。

表 2 构造 A-B 判断矩阵

Table 2 Constructing A-B judgement matrix

水质 Water quality	I 类(B <sub>1</sub> ) Type I	II 类(B <sub>2</sub> ) Type II	III 类(B <sub>3</sub> ) Type III	IV 类(B <sub>4</sub> ) Type IV	V 类(B <sub>5</sub> ) Type V
I 类(B <sub>1</sub> ) Type I	1.00	2.00	3.00	7.00	9.00
II 类(B <sub>2</sub> ) Type II	0.50	1.00	2.00	5.00	7.00
III 类(B <sub>3</sub> ) Type III	0.33	0.50	1.00	2.00	5.00
IV 类(B <sub>4</sub> ) Type IV	0.14	0.20	0.50	1.00	2.00
V 类(B <sub>5</sub> ) Type V	0.11	0.14	0.20	0.50	1.00

经计算判断矩阵 A-B 的最大特征值  $\lambda_{max} = 5.049 8$ ,由公

式(1)计算可得  $CI = (5.049 8 - 5) / (5 - 1) = 0.012 45$ ,由公式

(2) 计算得到  $CR = 0.012 \ 45 / 1.26 = 0.011 \ 1$ ,  $CR < 0.10$ , 因此矩阵 A-B 满足一致性要求。

**2.1.2 构造 (B<sub>1</sub>-C) 判断矩阵与一致性检验。** 用评价因子水

质类别与其对应的各个指标因子构造各水质类别的两两比较判断矩阵 (B<sub>1</sub>-C), 如表 3~7 所示。

表 3 构造水质 I 类 (B<sub>1</sub>-C) 判断矩阵  
Table 3 Constructing water quality type I (B<sub>1</sub>-C) judgement matrix

I 类 (B <sub>1</sub> ) Type I	氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	pH(C <sub>2</sub> )	总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen (C <sub>8</sub> )
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	1.00	0.20	0.20	0.50	0.33	0.33	0.33	0.33
pH(C <sub>2</sub> )	5.00	1.00	3.00	7.00	3.00	5.00	3.00	3.00
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	5.00	0.33	1.00	5.00	3.00	5.00	2.00	3.00
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	2.00	0.14	0.20	1.00	3.00	2.00	3.00	1.00
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	3.00	0.33	0.33	0.33	1.00	0.50	1.00	0.20
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	3.00	0.20	0.20	0.50	2.00	1.00	1.00	0.33
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	3.00	0.33	0.50	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	3.00	0.33	0.33	1.00	5.00	3.00	3.00	1.00

表 4 构造水质 II 类 (B<sub>2</sub>-C) 判断矩阵  
Table 4 Constructing water quality type II (B<sub>2</sub>-C) judgement matrix

II 类 (B <sub>2</sub> ) Type II	氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	pH(C <sub>2</sub> )	总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen (C <sub>8</sub> )
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	1.00	0.33	0.20	0.33	0.50	0.50	0.33	1.00
pH(C <sub>2</sub> )	3.00	1.00	3.00	4.00	3.00	4.00	3.00	5.00
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	5.00	0.33	1.00	3.00	6.00	5.00	3.00	3.00
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	3.00	0.25	0.33	1.00	3.00	6.00	5.00	4.00
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	2.00	0.33	0.17	0.33	1.00	1.00	1.00	0.33
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	2.00	0.25	0.20	0.17	1.00	1.00	0.50	0.33
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	3.00	0.33	0.33	0.20	1.00	2.00	1.00	0.50
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	1.00	0.20	0.33	0.25	3.00	3.00	2.00	1.00

表 5 构造水质 III 类 (B<sub>3</sub>-C) 判断矩阵  
Table 5 Constructing water quality type III (B<sub>3</sub>-C) judgement matrix

III 类 (B <sub>3</sub> ) Type III	氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	pH(C <sub>2</sub> )	总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen (C <sub>8</sub> )
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	1.00	0.50	0.33	0.50	1.00	0.50	1.00	3.00
pH(C <sub>2</sub> )	2.00	1.00	2.00	3.00	3.00	2.00	4.00	5.00
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	3.00	0.50	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	4.00
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	2.00	0.33	0.50	1.00	6.00	5.00	6.00	6.00
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	1.00	0.33	0.33	0.17	1.00	1.00	1.00	0.50
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	2.00	0.50	0.25	0.20	1.00	1.00	0.50	0.50
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	1.00	0.25	0.20	0.17	1.00	2.00	1.00	1.00
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	0.33	0.20	0.25	0.17	2.00	2.00	1.00	1.00

经计算,各矩阵随机一致性比率 CR 均小于 0.10,具有满意的一致性。

**2.2 确定水质类别总排序** 先对计算出的每一个评价因子相对于总目标水质评价的权重值进行层次总排序,再计算各层次所有因子对总目标相对重要性的层次权值,其 1 号观测

井水质指标的总排序结果见表 8。

同理可得到 2~16 号观测井的各监测指标相对于水质的权值和总排序,具体结果见表 9。从表中可以看出,在 2~16 号水质指标层次总排序中,前 6 项水质指标的排序均相同,权值从大到小分别为 pH、总硬度、总溶解性固形物、高锰酸

盐指数、氨氮和硫酸盐,而水质指标氟化物和氯化物的权值在所有水样中均排第 7 或第 8 位。从各水质指标权值上看,指标权值越大表明此指标对水质的影响越大,在所有水样的

指标权值中,pH、总硬度和总溶解性固形物的权值明显大于其他指标权值,说明在所有采样点中,pH、总硬度和总溶解性固形物含量对水质的影响最大,需优先控制该指标。

表 6 构造水质 IV 类 (B<sub>4</sub>-C) 判断矩阵Table 6 Constructing water quality type IV (B<sub>4</sub>-C) judgement matrix

IV 类 (B <sub>4</sub> ) Type IV	氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	pH (C <sub>2</sub> )	总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen (C <sub>8</sub> )
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	1.00	0.33	0.25	0.50	0.33	0.50	0.50	0.50
pH (C <sub>2</sub> )	3.00	1.00	4.00	6.00	6.00	4.00	3.00	2.00
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	4.00	0.25	1.00	3.00	3.00	4.00	3.00	2.00
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	2.00	0.17	0.33	1.00	2.00	4.00	4.00	4.00
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	3.00	0.17	0.33	0.50	1.00	0.50	0.50	1.00
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	2.00	0.25	0.25	0.25	2.00	1.00	1.00	1.00
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	2.00	0.33	0.33	0.25	2.00	1.00	1.00	1.00
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	2.00	0.50	0.25	0.25	1.00	1.00	1.00	1.00

表 7 构造水质 V 类 (B<sub>5</sub>-C) 判断矩阵Table 7 Constructing water quality type V (B<sub>5</sub>-C) judgement matrix

V 类 (B <sub>5</sub> ) Type V	氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	pH (C <sub>2</sub> )	总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	高锰酸盐指数 Ammonia nitrogen (C <sub>8</sub> )
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	1.00	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1.00	0.33
pH (C <sub>2</sub> )	2.00	1.00	3.00	4.00	3.00	4.00	5.00	3.00
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	2.00	0.33	1.00	4.00	3.00	4.00	3.00	3.00
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	2.00	0.25	0.25	1.00	2.00	3.00	4.00	3.00
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	1.00	0.33	0.33	0.50	1.00	0.33	0.50	0.33
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	1.00	0.25	0.25	0.33	3.00	1.00	1.00	0.33
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	1.00	0.20	0.33	0.25	2.00	1.00	1.00	0.33
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	3.00	0.33	0.33	0.33	3.00	3.00	3.00	1.00

表 8 1 号监测井水质指标层次总排序

Table 8 Total ranking of water quality indicators for monitoring well No.1

层次 Hierarchy	I 类 (B <sub>1</sub> )	II 类 (B <sub>2</sub> )	III 类 (B <sub>3</sub> )	IV 类 (B <sub>4</sub> )	V 类 (B <sub>5</sub> )	层次权值 Hierarchy	总排序 Total ranking
氟化物 Fluoride (C <sub>1</sub> )	0.033 6	0.044 9	0.079 0	0.045 4	0.067 0	0.045 8	8
pH (C <sub>2</sub> )	0.329 1	0.307 7	0.258 0	0.346 5	0.297 2	0.312 0	1
总硬度 Total hardness (C <sub>3</sub> )	0.224 4	0.229 2	0.218 1	0.189 9	0.214 6	0.222 0	2
总溶解性固形物 Total soluble solids (C <sub>4</sub> )	0.098 5	0.172 1	0.212 8	0.147 5	0.140 2	0.141 8	3
氯化物 Chloride (C <sub>5</sub> )	0.055 8	0.053 4	0.053 5	0.059 4	0.049 8	0.054 7	7
硫酸盐 Sulfate (C <sub>6</sub> )	0.061 1	0.044 5	0.062 7	0.066 0	0.061 2	0.056 9	6
氨氮 Ammonia nitrogen (C <sub>7</sub> )	0.065 5	0.066 5	0.058 1	0.071 0	0.054 6	0.064 6	5
高锰酸盐指数 Permanganate index (C <sub>8</sub> )	0.132 1	0.08 17	0.057 9	0.074 3	0.115 6	0.101 8	4

### 2.3 评价方法结果对比

利用各水样评价因子指标权重与各评价因子单项组分评价分值计算各监测点地下水质量综合得分<sup>[9,13]</sup>,计算公式为:

$$L = \sum_{i=1}^n w_i L_{e_i} \quad (3)$$

式中,  $L$  为地下水质量综合得分;  $w_i$  为各评价因子的权重;  $L_{e_i}$  为各评价因子单项组分评价分值。

由公式(3)计算得到各点地下水质量综合分值,再由层次分析法地下水质量级别划分标准对各点地下水质量进行分类,结果见表 9。从表中可看出,在 16 个监测点中,水质极差的有 2 处 (V 类),占 12.50%;较差 1 处 (IV 类),占 6.25%;较好的有 6 处 (III 类),占 37.50%;水质优良 (I 类) 的有 5 处,占 31.25%;水质良好 (II 类) 的共 2 处,占 12.50%,说明在阿克

苏市水质监测区域中有 81.25%的水源地的地下水水质达到了水环境质量标准中的Ⅲ类水标准,而 18.75%的地下水水质未达标。结合  $F$  值评分法结果可发现<sup>[14-15]</sup>, $F$  值评分法评价结果均为Ⅱ类和Ⅲ类,水质较好(表 9)。

表 9 各监测井水质指标层次总排序、综合得分与水质类别

Table 9 The total ranking and comprehensive score of water quality indicators in different monitoring wells and water quality categories

观测井编号 Serial number of monitoring wells	项目 Item	氟化物 Fluoride ( $C_1$ )	pH ( $C_2$ )	总硬度 Total hardness ( $C_3$ )	总溶解 性固形物 Total soluble solids( $C_4$ )	氯化物 Chloride ( $C_5$ )	硫酸盐 Sulfate ( $C_6$ )	氨氮 Ammonia nitrogen ( $C_7$ )	高锰酸 盐指数 Perma- nganate index ( $C_8$ )	综合 得分 Overall ratings	地下 水质量 Groundwater quality	层次分 析结果 Analytical analysis results	$F$ 值评 价结果 $F$ value evaluation result
1	层次权值	0.045 8	0.312 0	0.222 0	0.141 8	0.054 7	0.056 9	0.064 6	0.101 8	3.29	极差	V	Ⅲ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
2	层次权值	0.036 1	0.354 4	0.197 5	0.147 4	0.031 2	0.055 3	0.071 5	0.106 5	0.98	较差	IV	Ⅲ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
3	层次权值	0.029 6	0.371 4	0.190 5	0.150 1	0.036 1	0.055 0	0.064 2	0.103 1	0.16	优良	I	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
4	层次权值	0.036 0	0.367 5	0.194 1	0.147 9	0.037 1	0.056 6	0.064 1	0.096 6	0.45	良好	II	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
5	层次权值	0.038 0	0.334 0	0.208 6	0.165 8	0.036 5	0.051 1	0.071 5	0.094 7	0.18	优良	I	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
6	层次权值	0.04 25	0.355 6	0.204 4	0.157 2	0.045 2	0.051 6	0.060 9	0.082 6	0.45	良好	II	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
7	层次权值	0.040 9	0.332 5	0.206 2	0.169 0	0.045 4	0.050 8	0.067 0	0.088 0	2.13	极差	V	Ⅲ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
8	层次权值	0.041 4	0.302 3	0.209 9	0.191 4	0.039 6	0.054 8	0.070 4	0.090 3	0.65	较好	III	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
9	层次权值	0.040 9	0.323 1	0.216 6	0.168 7	0.046 9	0.050 9	0.071 0	0.082 0	0.58	较好	III	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
10	层次权值	0.043 9	0.321 0	0.217 9	0.169 0	0.048 6	0.054 2	0.063 5	0.081 9	0.64	较好	III	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
11	层次权值	0.044 0	0.312 3	0.233 8	0.159 7	0.047 5	0.059 6	0.060 1	0.083 0	0.59	较好	III	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
12	层次权值	0.051 8	0.316 0	0.222 9	0.158 0	0.054 2	0.060 4	0.062 5	0.074 1	0.68	较好	III	Ⅱ
	排序	8	1	2	3	7	6	5	4				
13	层次权值	0.055 7	0.304 1	0.218 8	0.163 6	0.055 1	0.060 5	0.066 4	0.078 8	0.55	较好	III	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
14	层次权值	0.050 2	0.299 3	0.233 3	0.161 0	0.049 4	0.065 5	0.063 7	0.077 8	0.15	优良	I	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
15	层次权值	0.048 8	0.299 8	0.225 3	0.166 9	0.048 1	0.062 4	0.068 6	0.080 0	0.25	优良	II	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				
16	层次权值	0.052 4	0.283 7	0.228 9	0.170 7	0.052 3	0.062 4	0.072 5	0.076 9	0.16	优良	I	Ⅱ
	排序	7	1	2	3	8	6	5	4				

从 2 种评价方法的结果中可发现,层次分析法结果中极差与较差的 3 处正好对应于  $F$  值评分法结果中的 3 处Ⅲ类水质,对这 3 处水样的水质指标进一步分析发现,该 3 处水样中的总硬度、总溶解性固形物和硫酸盐明显高于其他水样,而且在层次分析法中,在确定权重时突出了 pH、总硬度及总溶解性固形物对水质评价的贡献,而弱化了其他评价因子的影响,同时,在进行地下水质量评价的分析过程中,将专家打分法与层次分析法相结合,将人为主观判定与理性约束相结合,可使得地下水评价结果更符合水质实际情况,因此,层次分析法结果中含有Ⅳ类和Ⅴ类水质,而  $F$  值评价法尽管利用综合评分值,按单项指标所对应的分级标准确定水质类别,评价结果可以反映出水质整体状况,但此方法由于在单项指标上级别分类分明的局限,导致在评价结果中更加凸显了超标污染指标的级别,而且评价结果不连续,如表 9 中所示, $F$  值评分法评价结果只有Ⅱ类和Ⅲ类,而缺少Ⅰ类、Ⅳ类和Ⅴ类。

### 3 结论

利用阿克苏市 16 处监测井的水样数据,采用层次分析法对该市地下水水质进行评价,结果表明,水样中达Ⅲ类水质标准的占 81.25%,其中优良和好的水质占 43.75%,而极差和较差的水质有 18.75%,超过了国家地下水质量标准的Ⅲ类水标准<sup>[16]</sup>,将层次分析法评价结果与  $F$  值评分法评价结果进行比较发现,层次分析法结果中水质类别超标的 3 处正好与  $F$  值评分法评价结果中水质类别最高的 3 处(Ⅲ类)相对应,而且  $F$  值评分法结果中所有水样均满足国家地下水质量标准的Ⅲ类水标准,这主要是因为该方法按单项指标所对应的分级标准,利用综合评分值确定水质类别,但评价结果不连续,缺少Ⅰ类、Ⅳ类和Ⅴ类水质,而层次分析法因为利用专

家打分与层次分析相结合的方法,采用了变化的权重对评价因子进行处理,同时综合考虑了全部评价因子对水质的贡献与因子间的相互联系,因此能比较全面地反映出水环境质量的综合状况,使评价结果与实际更为符合,更具实用性。

### 参考文献

- [1] 张琳琳.新疆阿克苏某区域地下水水质评价及污染状况研究[J].地下水,2018,40(3):82-83.
- [2] 张小君,徐中民,宋晓渝,等.几种水环境质量评价方法在青海湖入湖河流中的应用[J].环境工程,2013,31(1):117-121.
- [3] 张新征,辛宝东,刘文臣,等.三种地下水水质评价方法的对比分析[J].水资源与水工程学报,2011,22(3):113-118.
- [4] 魏伟,岳丹丹,潘俊.基于层次分析的模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].供水技术,2015,9(5):8-12.
- [5] ZOU Q, ZHOU J Z, ZHOU C, et al. Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP[J]. Stochastic environmental research and risk assessment, 2013, 27(2): 525-546.
- [6] 杨永鹏,曾维特,王晓林,等.地下水质量综合评价方法研究:以海口市为例[J].地下水,2017,39(6):1-6.
- [7] 郭劲松.基于人工神经网络(ANN)的水质评价与水质模拟研究[D].重庆:重庆大学,2002.
- [8] 周森,李维刚,易灵.四种水质评价方法的特点分析与比较研究[J].环境科学与管理,2016,41(12):173-177.
- [9] 高宗军,董立志,许传杰,等.层次分析法在地下水质量评价中的应用[J].地下水,2014,36(3):49-50.
- [10] 郑兰香,杨程,李春光.基于层次分析法的抽水型水库水质评价[J].人民黄河,2014,36(10):81-83,88.
- [11] 孙大明.基于层次分析法的大连市地下水环境质量评价[J].水资源开发与管理,2017(2):75-78,56.
- [12] 孙乃泉,孙丽,杨咏梅.层次分析法在大庆市地质环境质量评价中的应用[J].地下水,2013,35(3):142-143.
- [13] 陈辉,顾建辉,李治源.不同水质评价方法在城市河道水质评价中的应用比较[J].苏州科技大学学报(工程技术版),2017,30(1):42-46.
- [14] 张亚丽,周扬,程真,等.不同水质评价方法在丹江口流域水质评价中应用比较[J].中国环境监测,2015,31(3):58-61.
- [15] 文冬光,林良俊,孙继朝,等.地下水水质标准:DJ/T 0290—2015[S].北京:中国地质大学出版社,2015.
- [16] 文冬光,孙继朝,何江涛,等.地下水质量标准:GB/T 14848—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.

(上接第 68 页)

淤积严重的河段全面清淤,保证径流顺畅;沿岸城镇垃圾要集中净化处理;流域内要建设污水处理厂,对工农业生产和生活污水集中处理;河道内垃圾彻底清理;河道两岸种植植被及经济型树木,形成植被缓冲带,在生态修复的同时产生部分收益;恢复和修复小兴凯湖周边湿地,尤其是要重点修复东北泡子的湿地功能。

**7.3.3 库滨沿岸带生态保护。**小兴凯湖南岸是长达 90 km 的湖岗,全部是砂质构成,将大兴凯湖和小兴凯湖分隔。应对小兴凯湖岗进行地质环境调查,查明湖岗现状、受破坏程度和保护现状。根据湖岗受侵蚀和破坏情况,对湖岗分区段进行防护治理,修复植被,保护天然湖岗屏障,逐步恢复小兴凯湖湖岗生态环境,保持区域生态系统的稳定,涵养区域水资源。

### 参考文献

- [1] JøRGENSEN S E, NIELSEN S N, MEJER H. Emergy, environ, exergy and ecological modelling[J]. Ecological modelling, 1995, 77(2/3): 99-109.
- [2] NAKANO S I. Lake Biwa and its environment: Eutrophication with special reference to P cycling[R]. 1996.
- [3] XU F L, JøRGENSEN S E, TAO S. Ecological indicators for assessing freshwater ecosystem health[J]. Ecological modelling, 1999, 116(1): 77-106.

- [4] 陈晓江.鄂尔多斯高原湖泊动态及其生态系统功能研究[D].内蒙古大学,2016.
- [5] 张晶晶.臭鳊湖鱼类群落及生态系统结构分析[D].合肥:安徽农业大学,2012.
- [6] 《全国主要湖泊、水库富营养化调查研究》课题组.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1987.
- [7] 佚名.国家环境保护总局、国家质量监督检验检疫总局发布地表水环境质量标准[J].中国环保产业,2002(6):5-6.
- [8] 吴亚男.呼伦湖生态系统健康评价及稳定阈值遥感分析[D].中国水利水电科学研究院,2013.
- [9] 冯丽红.乌梁素海生态健康评估[D].呼和浩特:内蒙古大学,2011.
- [10] 胡富林.我国最大的界湖——兴凯湖[J].黑龙江史志,2006(2):41,52.
- [11] MONING K J. Environmental policy performance indicators: A study on the development of indicators for environmental policy in the Netherlands[J]. Journal of the European academy of dermatology & venereology, 2008, 23(1): 109-110.
- [12] R DEVELOPMENTO CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing[J]. Computing, 2015, 1: 12-21.
- [13] 刘永,郭怀成,戴永立,等.湖泊生态系统健康评价方法研究[J].环境科学学报,2004,24(4):723-729.
- [14] 万美英,刘宝玲,蒋志伟.兴凯湖地区农业面源污染负荷分析[J].科技创新与应用,2013(20):5-6.
- [15] 朴德雄,王凤昆.兴凯湖水环境状况及其保护对策[J].湖泊科学,2011,23(2):196-202.
- [16] 伊文思. DR. 化肥手册[M]. 林荣新,译.北京:农业出版社,1984.
- [17] 李文庆.兴凯湖地区土地利用遥感监测及景观格局变化[D].长春:吉林大学,2013.