

# 基于层次分析法的大连市地下水 环境质量评价

孙大明

(辽宁省大连水文局, 辽宁 大连 116023)

**【摘要】** 本文基于层次分析法(AHP),建立了大连市地下水环境质量评价模型,并应用其对大连市8个地下水水质监测断面进行评价。评价结果表明,地下水质量与实际情况基本符合。层次分析法引入权重处理评价因子,综合考虑了各个评价因子对水环境质量的贡献,评价结果能全面反映水体污染的综合情况,具有较好的实用性,可以为环境决策提供比较有效的辅助决策信息,对于水环境保护和实现可持续发展具有重要意义。

**【关键词】** 层次分析法(AHP);地下水;评价

中图分类号: TV221

文献标识码: A

文章编号: 2096-0131(2017)02-0075-04

## Evaluation of groundwater environmental quality in Dalian based on analytic hierarchy process

SUN Daming

(Liaoning Dalian Hydrology Bureau, Dalian 116023, China)

**Abstract:** In the paper, Dalian groundwater environmental quality evaluation model is established based on the analytic hierarchy process (AHP). The model is applied for evaluating eight groundwater quality monitoring sections in Dalian. Evaluation results show that groundwater quality conforms to the actual situation basically. Weight processing evaluation factor is introduced in analytic hierarchy process (AHP). The contribution of all evaluation factors on water environment quality is considered comprehensively. The evaluation results can reflect overall situation of water pollution comprehensively with better practicability. More efficient auxiliary decision-making information can be provided for environment decision-making. The paper has important significance for protecting water environment and realizing sustainable development.

**Key words:** analytic hierarchy process (AHP); groundwater; evaluation

### 1 引言

中国北方很多地区,地下水一直被作为饮用水水源。然而随着工业的快速发展和城市化进程的加快,工业废水、生活废污水、废弃物等日益增多以及处置不够合理,致使地下水污染日趋严重。因此,需要进行地下水环境质量评价,及时掌握城市发展、地下水开发利

用带来的地下水水质变化,为控制地下水污染、制定城市水资源政策提供科学依据。本文基于大连市地下水水质监测数据,采用层次分析法,对大连市地下水环境质量进行了综合评价。

### 2 层次分析法简述

层次分析法(AHP-analysis hierarchy process)是由

美国匹茨堡大学教授萨蒂在1977年第一届国际数学建模会议上首次提出的一种定性分析和定量分析相结合的解决问题的方法<sup>[1]</sup>。其特点是通过把复杂问题层次化分解,建立一个具有相互内在联系以及隶属关系的层次结构模型,最终把问题归结为最下层(方案层)相对于最上层(目标层)的权重值确定及排序问题。层次分析法是一种定性和定量相结合的评价方法,与其他评价方法相比具有较强的逻辑性、实用性、系统性和准确性。

层次分析法一般分为三个步骤:建立一个多层次的递阶结构模型;构造两两比较的判断矩阵,并进行一致性检验;计算各层元素对系统目标的合成权重,进行总排序,以确定递阶结构图中最下层各个元素在总目标中的重要程度。

### 3 水环境质量评价中层次分析法的应用

选取总硬度、溶解性总固体、氯化物、铁、硝酸盐氮、氨氮作为评价指标,应用层次分析法对大连市地下水水质的污染状况进行评价,各个断面监测数据详见表1。

表1 大连市地下水 2015 年水质监测数据

监测断面	总硬度	溶解性总固体	氯化物	铁	硝酸盐氮	氨氮
兴民	386	690.0	92.7	0.05	19.1	0.044
付家	430	726.5	86.6	0.08	28.1	0.109
二十里	285	405.4	47.4	0.01	20.7	0.02
黄旗	206	343.0	43.0	0.01	7.58	0.041
苏家	833	1454.5	212	0.02	32.2	0.047
尹家	331	529.5	118	0.01	9.79	0.094
南鹤鸣嘴	457	807.5	164	0.07	15.4	0.097
小黑石	526	1008.5	249	0.09	20.6	0.033

注 各评价因子浓度单位,mg/L

#### 3.1 建立层次结构模型

将地下水环境质量作为层次分析的目标层(A),评价指标总硬度(以CaCO<sub>3</sub>计)、溶解性总固体、氯化物、铁、硝酸盐氮、氨氮等作为准则层(B<sub>i</sub>),水质类别作为方案层(C<sub>i</sub>),根据这三个层次建立大连市地下水环

境质量层次结构模型(见图1)。

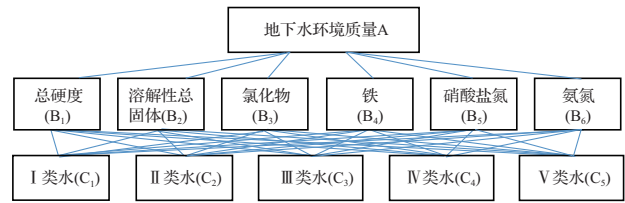


图1 大连市地下水环境质量评价层次分析结构

#### 3.2 构造判断矩阵及一致性检验

##### 3.2.1 构造判断矩阵(A-B)及一致性检验

以二十里监测断面为例,用所选断面各污染物评价指标的单因子指数两两比值<sup>[2]</sup>作为判断矩阵的元素,即可得到二十里控制断面(A)及评价指标(B<sub>i</sub>)的判断矩阵(A-B),见表2。

表2 构造 A-B 层重要度判断矩阵

二十里(A)	总硬度(B <sub>1</sub> )	溶解性总固体(B <sub>2</sub> )	氯化物(B <sub>3</sub> )	铁(B <sub>4</sub> )	硝酸盐氮(B <sub>5</sub> )	氨氮(B <sub>6</sub> )	权重值 W <sub>i</sub>
总硬度(B <sub>1</sub> )	1.00	1.56	3.34	19.00	0.61	6.67	0.26
溶解性总固体(B <sub>2</sub> )	0.64	1.00	2.14	12.16	0.39	4.27	0.17
氯化物(B <sub>3</sub> )	0.30	0.47	1.00	5.69	0.18	2.00	0.08
铁(B <sub>4</sub> )	0.05	0.08	0.18	1.00	0.03	0.35	0.01
硝酸盐氮(B <sub>5</sub> )	1.63	2.55	5.46	31.25	1.00	10.90	0.43
氨氮(B <sub>6</sub> )	0.15	0.23	0.50	2.85	0.09	1.00	0.04

经计算(A-B)矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max} = 6$ 。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6 - 6}{6 - 1} = 0$$

$$(A-B) \text{ 矩阵的随机一致性比例 } CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0}{1.26} =$$

$0 < 0.1$ , 其中平均随机一致性比例(RI)由表3查得。由于  $CR < 0.1$ , 因此(A-B)矩阵具有满意的一致性,矩阵符合要求。

表3 平均随机一致性指标(RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46

### 3.2.2 构造(B<sub>i</sub>-C)矩阵及一致性检验

用评价因子浓度与其对应的各个水环境质量级别的标准值的差值的倒数作为标度<sup>[3]</sup>,构造各评价级别的相对重要性的两两比较判断矩阵(B<sub>i</sub>-C),见表4~表9。

表4 构造总硬度(B<sub>1</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>1</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	0.11	1.22	1.96	2.33	0.08
II类(C <sub>2</sub> )	9.01	1.00	11.00	17.67	21.00	0.77
III类(C <sub>3</sub> )	0.82	0.09	1.00	1.61	1.91	0.07
IV类(C <sub>4</sub> )	0.51	0.06	0.62	1.00	1.19	0.04
V类(C <sub>5</sub> )	0.43	0.05	0.52	0.84	1.00	0.04

表5 构造溶解性总固体(B<sub>2</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>2</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	0.90	5.64	15.13	19.87	0.42
II类(C <sub>2</sub> )	1.11	1.00	6.28	16.86	22.14	0.46
III类(C <sub>3</sub> )	0.18	0.16	1.00	2.68	3.52	0.07
IV类(C <sub>4</sub> )	0.07	0.06	0.37	1.00	1.31	0.03
V类(C <sub>5</sub> )	0.05	0.04	0.28	0.76	1.00	0.02

表6 构造氯化物(B<sub>3</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>3</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	39.46	77.92	116.40	154.90	0.95
II类(C <sub>2</sub> )	0.02	1.00	1.98	2.95	3.92	0.02
III类(C <sub>3</sub> )	0.01	0.51	1.00	1.49	1.99	0.01
IV类(C <sub>4</sub> )	0.01	0.34	0.67	1.00	1.33	0.01
V类(C <sub>5</sub> )	0.01	0.26	0.50	0.75	1.00	0.01

表7 构造铁(B<sub>4</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>4</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	2.11	3.22	16.56	27.67	0.53
II类(C <sub>2</sub> )	0.47	1.00	1.53	7.84	13.10	0.25
III类(C <sub>3</sub> )	0.31	0.66	1.00	5.14	8.59	0.16
IV类(C <sub>4</sub> )	0.06	0.13	0.20	1.00	1.67	0.03
V类(C <sub>5</sub> )	0.04	0.08	0.12	0.59	1.00	0.02

表8 构造硝酸盐氮(B<sub>5</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>5</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	0.84	0.04	0.50	1.57	0.03
II类(C <sub>2</sub> )	1.19	1.00	0.04	0.59	1.87	0.04
III类(C <sub>3</sub> )	27.03	22.22	1.00	13.29	41.86	0.85
IV类(C <sub>4</sub> )	2.01	1.69	0.08	1.00	3.15	0.06
V类(C <sub>5</sub> )	0.64	0.54	0.02	0.32	1.00	0.02

表9 构造氨氮(B<sub>6</sub>-C)权重判断矩阵

B <sub>6</sub>	I类 (C <sub>1</sub> )	II类 (C <sub>2</sub> )	III类 (C <sub>3</sub> )	IV类 (C <sub>4</sub> )	V类 (C <sub>5</sub> )	W <sub>i</sub>
I类(C <sub>1</sub> )	1.00	1.00	181.00	481.00	1481.00	0.50
II类(C <sub>2</sub> )	1.00	1.00	181.00	481.00	1481.00	0.50
III类(C <sub>3</sub> )	0.01	0.01	1.00	2.66	8.18	0.00
IV类(C <sub>4</sub> )	0.00	0.00	0.39	1.00	3.08	0.00
V类(C <sub>5</sub> )	0.00	0.00	0.12	0.32	1.00	0.00

经计算得,表4~表9的矩阵随机一致性比例CR均小于0.10,都具有满意的一致性。

### 3.3 水环境质量级别总排序的确定

二十里监测断面地下水环境质量层次总排序结果见表10。由表10可知总排序1号对应的水质类别为III类(C<sub>3</sub>),所以二十里监测断面的水质类别为III类,满足地下水环境质量要求的适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水。

表10 二十里监测断面地下水环境质量层次总排序

层次	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	层次 权值	总排 序
I类(C <sub>1</sub> )	0.08	0.42	0.95	0.53	0.03	0.50	0.21	3
II类(C <sub>2</sub> )	0.77	0.46	0.02	0.25	0.04	0.50	0.32	2
III类(C <sub>3</sub> )	0.07	0.07	0.01	0.16	0.85	0.00	0.40	1
IV类(C <sub>4</sub> )	0.04	0.03	0.01	0.03	0.06	0.00	0.04	4
V类(C <sub>5</sub> )	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	5

用同样的计算过程得到兴民、付家、黄旗、苏家、尹家、南鸦嘴、小黑石7个监测断面的地下水环境质量层次总排序,见表11。

表 11 大连市地下水其他各监测断面水环境质量层次总排序

水质类别	兴民		付家		黄旗		苏家		尹家		南鹤嘴		小黑石	
	层次权值	排序	层次权值	排序	层次权值	排序	层次权值	排序	层次权值	排序	层次权值	排序	层次权值	排序
I类	0.20	3	0.19	3	0.52	1	0.11	5	0.20	2	0.16	3	0.09	3
II类	0.26	2	0.18	4	0.32	2	0.15	4	0.54	1	0.27	2	0.05	5
III类	0.42	1	0.31	1	0.08	3	0.23	2	0.15	3	0.45	1	0.65	1
IV类	0.08	4	0.28	2	0.05	4	0.34	1	0.07	4	0.08	4	0.16	2
V类	0.05	5	0.05	5	0.03	5	0.16	3	0.04	5	0.04	5	0.05	4

由表 11 可知,层次分析评价法得到兴民监测断面水质类别为 III 类;付家水质类别为 III 类;黄旗监测断面水质为 I 类;苏家断面水质为 IV 类,总硬度和硝酸盐氮超标;尹家监测断面水质类别为 II 类;南鹤嘴断面为 III 类水;小黑石监测断面水质类别为 III 类。

#### 4 基于内梅罗指数法的大连市地下水环境质量评价

用内梅罗指数法对大连市地下水各监测断面水环境质量进行评价结果见表 12。从表 12 中可以看出,运

用内梅罗指数法得到的兴民和尹家监测断面水质较好(III类),付家、二十里、南鹤嘴和小黑石 4 个监测断面水质较差(IV类),苏家监测断面水质极差(V类),黄旗监测断面水质良好(II类)。

基于内梅罗指数法的综合评价,数学运算过程方便简洁,物理概念清晰。但该方法存在两点不足:一是最大污染因子的作用过分突出。计算公式中引入最大污染因子( $F_{max}$ ),导致参与评价的污染因子中,即使只有一项指标偏高,而其余各项指标均值较低,也会使综合评分值偏高。二是没有考虑权重的影响。计算过程

表 12 基于内梅罗指数法的大连市地下水环境质量评价结果

监测断面	单项组分评价结果						内梅罗指数法结果
	总硬度	溶解性总固体	氯化物	铁	硝酸盐氮	氨氮	
兴民	III	III	II	I	III	III	III
付家	III	III	II	I	IV	III	IV
二十里	II	II	I	I	IV	I	IV
黄旗	II	II	I	I	III	III	II
苏家	V	IV	III	I	V	III	V
尹家	III	III	II	I	III	III	III
南鹤嘴	IV	III	III	I	III	III	IV
小黑石	IV	IV	III	I	IV	III	IV

仅采用算术平均值,将各污染因子对水质评价的贡献同等对待,而事实上如果考虑不同评价因子对环境的毒理性、降解难易程度以及去除性难易等因素,那么同处一个质量级别的不同污染因子的  $F_i$  值应区别对待<sup>[4]</sup>。

从图 2 可以看出,基于层次分析法获得的大连市地下水各监测断面综合水质评价结果相对于内梅罗指数评价法,水质类别整体提高,其中苏家监测断面水质

类别由 V 类提升至 IV 类;兴民、付家、二十里、南鹤嘴和小黑石水质类别由 IV 类提升至 III 类;尹家监测断面从 III 类水提升至 II 类水;黄旗监测断面由 II 类水提升至 I 类水标准。用层次分析法评价的 8 个地下水监测断面,只有苏家监测断面水质没有达到地下水环境质量标准中的 III 类水标准,超标污染因子是总硬度和硝酸盐氮,其余 7 个断面水环境质量均达到饮用水标准。(下转第 56 页)

### 3.3 完善工业用水节水专业门类标准体系,强化工业用水节水管理与信息化技术标准

与工业节能标准数量相比,工业节水标准显得更少。这远远不能满足新时期工业用水节水事业工作的需要。因此,要根据未来工业用水节水工作的目标和任务,以及已有的工业用水节水科研成果和实践经验,完善工业用水节水专业门类标准体系,强化工业用水节水管理与信息化方面的技术标准,如加快节水型工业园区评价导则、用水定额编制技术导则的编制,修订水资源管理信息代码编制规定等。

同时应加紧修订发布时间已超过10年以上的、不能适应工业用水节水发展的技术标准,如取水许可技术考核与管理考通则1998年发布至今尚未修订过,这一类相关标准具有全行业指导性,对于行业的可持续高质量发展起着重要的作用,应尽快修订发布。取水定额方面尽快编制尚缺工业品种和产品种类的取水定额,如采矿业、木材加工业、炼焦、农药、橡胶塑料制品业、金属制品业、汽车制造业等;加快修订酒精制造等取水定额等。

### 3.4 加强工业用水节水标准的宣贯工作

在完善工业用水节水专业门类标准体系的基础

(上接第78页)

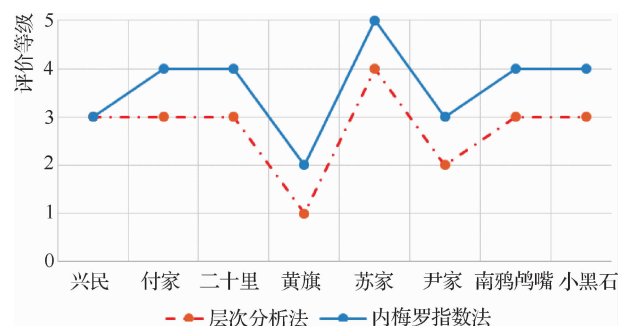


图2 不同水质评价方法的评价结果

## 5 结论

本文研究了层次分析法在大连市地下水环境质量评价中的应用,评价结果表明:苏家监测断面水质类为IV类;兴民、付家、二十里、南鸦鸰嘴和小黑石水质类别为III类;尹家监测断面水质类别为II类水;黄旗监测断

上,要加大工业用水节水标准的宣传和贯彻力度,使之准确、及时、完整地传达到生产者、管理者和消费者之中,让社会全面了解、认识和领悟标准的内涵,并按照标准要求组织生产、管理和使用合格的节水产品和设备,逐步提高社会的标准意识、质量意识、节水意识,确保工业用水节水标准的普及应用,使其发挥应有的作用。

通过工业用水节水标准的宣贯工作,促进工业领域加大节水工作力度,加强工业取水定额管理,提高工业企业用水效率,让整个社会都成为标准的使用者和受益者。◆

### 参考文献

- [1] 张继群,陈莹,李贵宝.工业用水定额总论[M].北京:中国质检出版社、中国标准出版社,2014.
- [2] 白雪,孙静,朱春雁.工业节水基础与管理国家标准实施指南[M].北京:中国质检出版社、中国标准出版社,2013.
- [3] 水利部国际合作与科技司.水利技术标准体系表[M].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [4] 陈雷.实行最严格的水资源管理制度[C]//《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》辅导读本.北京:人民出版社,2015:188-195.

面为I类水。除苏家外,其余7个监测断面水质均未超过地下水环境质量标准中的III类水标准。将该评价结果同内梅罗指数综合评价法进行比较,发现层次分析法采用变化的权重来处理评价因子,考虑了全部评价因子对水环境质量的贡献,各个评价参数之间相互联系,因而能全面反映水体污染的综合情况。◆

### 参考文献

- [1] 朱波,张辉.层次分析法在水利水电工程后评价工作中的应用[J].水利建设与管理,2009(1):9-11.
- [2] 朱国宇,黄川友,华国春.层次分析法在水环境规划中的应用[J].东北水利水电,2003,21(4):1-2.
- [3] 苏德林,武斌,沈晋.水环境质量评价中的层次分析法[J].哈尔滨工业大学学报,1997,29(5):105-107.
- [4] 刘石.地下水质量评价方法的探讨[D].北京:中国地质大学,2006.