

# 地下水环境质量评价的一种新方法——集对分析法

## A New Method to Assess the Environmental Quality of Underground Water - Set Pair Analysis

陆 洲 马 涛

(沈阳市新城子区环境保护监测站 沈阳 110121)

**摘要** 提出了一种新的地下水环境质量评价模型——集对分析法。该方法是一种处理不确定性问题的理论,其模型数学表达简单,物理意义明确,所含意义深远。研究结果表明:集对分析法简便易行,评价结果准确,在环境质量综合评价中具有广泛的实用价值。

**关键词** 地下水 环境评价 集对分析法

**Abstract** In this paper a new method to assess the environmental quality of underground water - set pair analysis is provided. The method is applied to uncertain problems, whose mathematic mode is easy, physical meaning is definite. The studied results show that the set pair analysis is easy to operate, and its assessing results is accurate and the practical value is extensive.

**Key words** Underground Water Environmental Assessment Set Pair Analysis

### 1 引言

地下水是人类主要的饮用水源。随着人口的增加和城市的发展,工业废水和生活污水排放量的逐年增多,地表水的严重污染,地下水的严重超采,这些都会对地下水的水质产生不同程度的污染。为了保护 and 合理开发地下水资源,需要对地下水环境质量作出可靠的评价。

目前,地下水环境质量评价的数学模型很多,如单项组分评价法和综合评价法,模糊综合评判法、灰色聚类法等。综合评价法结构简单,计算方便,但只能得出污染程度的结论,不能确定所评价的地下水究竟为哪类水质。模糊综合评判法和灰色聚类法均考虑到环境的灰色性,但当污染物的浓度分布过于离散时,由于白化函数包括的污染范围窄,就有可能导致评价错误。

本文提出采用集对分析法(Set Pair Analysis)对地下水进行分析评价。由于地下水水质的多因子综合评价与水质等级间复杂的非线性关系,以及

水体污染的随机性和模糊性,因此难以建立一个统一的评价模型。集对分析法正是一种用于统一处理模糊、随机、中介和信息不完全所致的不确定性系统的理论和方法。其特点是把不确定性与确定性作为一个既确定又不确定的同异反系统进行分析 and 数学处理。因此,将这种新的分析方法用于地下水环境质量评价是合理的、可行的。

### 2 集对分析法的评价方法

水质评价过程实际上是具有确定性评价标准与评价因子权重的不确定性相结合的决策过程。而集对分析法提供了一个处理确定性与不确定性的较好方法。在集对分析中,将确定性分成“同一”与“对立”两个方面,将不确定性称为“异”,从同、异、反三个方面分析事物,认为同、异、反三者互相联系、互相影响、相互制约,又在一定条件下的互相转化,而且可以用  $\mu = a + bi + cj$  这样的一个式子来描述不确定性。这里,  $\mu$  为联系度,对于一个具体问题即是联系度的概念;  $a$  为同一度,  $b$  为差异

收稿日期:2004 - 11 - 19

作者简介:陆洲(1974 - ),女,辽宁沈阳人,工程师。

度,  $c$  为对立度;  $i$  为差异度系数, 在  $[-1, 1]$  中取值,  $i$  取 -1 与 1 都是确定性的, 随着  $i \rightarrow 0$ , 不确定性明显增加;  $j$  为对立度系数, 取 -1。

通过构造确定联系度的白化函数, 获得各个指标对应于某个评价级别的联系度, 再计算出相应于该评价级别的平均联系度, 最后根据最大原则确定评价对象属于何类。

2.1 联系度的确定

现假设水质评价级别有五级, 本文将水质污染重于 V 类的统算为 V 类。若污染因子  $i$  处于相邻的评价级别中, 其确定方法如下:

(1) 污染因子  $i$  处于 I 级时,

$$\mu_{i1} = \begin{cases} 1 & X \in [0, S_{i(1)}] \\ 1 + \frac{2(X - S_{i(1)})}{S_{i(1)} - S_{i(2)}} & X \in [S_{i(1)}, S_{i(2)}] \\ -1 & X \in [S_{i(2)} + \infty] \end{cases} \quad (1)$$

(2) 污染因子  $i$  处于 II 级时,

$$\mu_{i2} = \begin{cases} 1 & X \in [0, S_{i(2)}] \\ 1 + \frac{2(X - S_{i(2)})}{S_{i(2)} - S_{i(3)}} & X \in [S_{i(2)}, S_{i(3)}] \\ -1 & X \in [S_{i(3)} + \infty] \end{cases} \quad (2)$$

(3) 当污染因子  $i$  处于 III 级时,

$$\mu_{i3} = \begin{cases} 1 & X \in [S_{i(2)}, S_{i(3)}] \\ 1 + \frac{2(X - S_{i(3)})}{S_{i(3)} - S_{i(4)}} & X \in [S_{i(3)}, S_{i(4)}] \\ 1 + \frac{2(X - S_{i(2)})}{S_{i(2)} - S_{i(1)}} & X \in [S_{i(1)}, S_{i(2)}] \\ -1 & X \in [0, S_{i(1)}] \text{ 或 } X \in [S_{i(4)} + \infty] \end{cases} \quad (3)$$

$\mu_{i4}$  的确定形式同  $\mu_{i3}$

(4) 当污染因子  $i$  处于 V 级时。

$$\mu_{i5} = \begin{cases} 1 & X \in [S_{i(4)}, S_{i(5)}] \\ 1 + \frac{2(X - S_{i(4)})}{S_{i(4)} - S_{i(3)}} & X \in [S_{i(3)}, S_{i(4)}] \\ -1 & X \in [0, S_{i(3)}] \text{ 或 } X \in [S_{i(5)} + \infty] \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $X$  ——污染因子  $i$  的实测值:

$S_{i(1)}, S_{i(2)}, S_{i(3)}, S_{i(4)}, S_{i(5)}$  ——各污染因子评价级别的限值;

$\mu_{i1}, \mu_{i2}, \mu_{i3}, \mu_{i4}, \mu_{i5}$  ——各监测点污染因子对各评价标准的联系度。

2.2 求平均联系度

平均联系度是通过求得各个指标相对于各个级别的联系度后, 把它们相加并取其算术平均值。它反映了各评价对象与各污染级别之间的亲疏关系。平均联系度的计算公式如下:

$$\overline{\mu_j} = \frac{1}{n} \sum_i \mu_{ij} \quad (5)$$

式中:  $\overline{\mu_j}$  ——评价对象关于级别  $j$  的平均联系度。

2.3 按最大原则确定评价对象属于何类

对某一评价对象而言, 平均联系度最大者所对应的污染级别, 即为该对象的最终污染评价级别。其计算公式如下:

$$\delta_j = \max\{\overline{\mu_j}\} \quad (6)$$

式中:  $\delta_j$  ——评价对象所属污染级别。

3 应用实例

下面以沈阳市新城子区某年地下水监测概况为例, 进一步说明应用集对分析法进行水质评价。根据出水地层、水质和地下水化学特征, 取总硬度、氯化物、硫酸盐、高锰酸盐指数、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮作为水质指标。

沈阳市新城子区某年地下水监测结果见表 1。

按照国家地下水环境质量标准 GB/ T14848 — 93, 地下水水质划分为 5 个污染级别。具体污染分类标准见表 2。

首先, 将各测点的污染因子代入联系度表达式 (1)、(2)、(3)、(4) 式中, 计算出各污染物相应于各污染级别的联系度; 并由平均联系度公式 (5) 计算出各监测点的平均联系度; 最后利用公式 (6) 判断出各监测点的最终污染评价级别。评价结果见表 3 所示。

4 比较与分析

为了便于比较, 对同一事例用模糊综合评判方法和灰色聚类方法进行水质评价, 评价的结果见表 4。



表 1 沈阳市新城子区某年地下水监测结果 / mg · L<sup>-1</sup>

| 测 点     | 项 目 |     |     |        |       |        |        |
|---------|-----|-----|-----|--------|-------|--------|--------|
|         | 总硬度 | 氯化物 | 硫酸盐 | 高锰酸盐指数 | 氨氮    | 亚硝酸盐氮  | 硝酸盐氮   |
| 新城子区政府  | 195 | 40  | 22  | 1. 1   | 0. 01 | 0. 007 | 0. 50  |
| 八 间 房   | 374 | 159 | 65  | 3. 0   | 0. 22 | 0. 019 | 12. 36 |
| 石佛寺灌区   | 387 | 186 | 109 | 2. 6   | 0. 18 | 0. 041 | 3. 43  |
| 财落知青造纸厂 | 286 | 46  | 85  | 1. 5   | 0. 16 | 0. 016 | 0. 01  |

表 2 地下水环境质量分类标准 / mg · L<sup>-1</sup>

| 级 别 | 项 目   |       |       |        |        |         |       |
|-----|-------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|
|     | 总硬度   | 氯化物   | 硫酸盐   | 高锰酸盐指数 | 氨氮     | 亚硝酸盐氮   | 硝酸盐氮  |
| I   | ≤150  | ≤50   | ≤50   | ≤1. 0  | ≤0. 02 | ≤0. 001 | ≤2. 0 |
| II  | ≤300  | ≤150  | ≤150  | ≤2. 0  | ≤0. 02 | ≤0. 01  | ≤5. 0 |
| III | ≤450  | ≤250  | ≤250  | ≤3. 0  | ≤0. 2  | ≤0. 02  | ≤20   |
| IV  | ≤550  | ≤350  | ≤350  | ≤10    | ≤0. 5  | ≤0. 1   | ≤30   |
| V   | > 550 | > 350 | > 350 | > 10   | > 0. 5 | > 0. 1  | > 30  |

表 3 各监测点的平均联系度计算结果及评价结果

| 监 测 点   | 平均联系度    |          |          |          |    | 平均等级 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----|------|
|         | I        | II       | III      | IV       | V  |      |
| 新城子区政府  | 0. 6953  | 1        | -0. 6953 | -1       | -1 | II   |
| 八 间 房   | -0. 7571 | -0. 1354 | 0. 7381  | 0. 1354  | -1 | III  |
| 石佛寺灌区   | -0. 7467 | 0. 0203  | 0. 6717  | -0. 0203 | -1 | III  |
| 财落知青造纸厂 | -0. 0733 | 0. 6063  | 0. 0733  | -0. 6063 | -1 | II   |

表 4 各测点多种评价结果比较

| 测点      | 集对分析法 | 模糊综合评判法 | 灰色聚类法 |
|---------|-------|---------|-------|
| 新城子区政府  | II    | I       | I     |
| 八 间 房   | III   | II      | II    |
| 石佛寺灌区   | III   | II      | II    |
| 财落知青造纸厂 | II    | II      | II    |

从表 4 不同方法的评价结果看,不同评价方法评价结果有些差异。新城子区政府点位 7 项指标虽然有 4 项指标处于地下水 I 级范围内,仅总硬度、高锰酸盐指数指标在地下水 I、II 级标准之间,但 4 项中有 3 项非常接近 I 级的评价标准,综合分析认为,II 级的评价结论也是可行的,八间房点位 7 项指标分别处于 III、III、II、III、III、II 和 II 级,因此该点位判定为 II 级比判定为 I 级合理;石佛寺灌区点位的 7 项指标分别处于 III、III、III、II、III、IV 和 I 级中,因此该点位评为 II 级是合理的;财落知青造纸厂点位的各方法评价结果是一致的。

集对分析法和模糊综合评判法,灰色聚类法判定结果产生差异的原因为:模糊综合评判法和灰色

聚类法的计算结果大多是一些离散的水质等级,是半定量化的,无法进一步描述水质等级之间的过渡性;在实践中有时会出现污染物浓度增加而评价级别反而降低(污染程度变轻的现象),评价结果的精度较粗。集对分析法中联系度的确定基本与上述两种方法中的白化函数确定相似,但其跨越区间大,可延伸至[-1,1],这样就避免上述情况的发生。

综上所述,可以认为集对分析法对各点的分析结果基本是合理正确的,集对分析法用于地下水质量综合评价是可行的。

### 5 结论

通过建立地下水环境质量集对分析法综合评价模型,将集对分析法应用于地下水环境质量综合评价,这既是对集对分析法应用领域的拓展,也是对地下水环境质量综合评价新方法的探讨。

集对分析法应用于地下水环境质量的综合评价,步骤简洁,评价结果准确、客观、全面,信息利用率高,实例分析表明该方法是行之有效的。