

# 地下水综合指数评价法

## ——起始污染指数及其应用

邹 国 强

(山东省地质矿产局第-地质大队)

**提要** 本文在分析了现有的综合指数评价公式之后,提出了一种新的评价公式——起始污染指数,该公式易于识别地下水轻微的污染,能较真实地反映出地下水污染状况,对地下水的防护与治理起到了积极的作用。最后以泰安市的污染状况为例,进行了不同评价公式的应用对比。

### 一、问题的提出

综合指数评价法是地下水质量评价的重要方法之一。该方法具有直观、简单易行之优点,但由于地下水质量评价的研究还处于发展之中,综合指数评价公式显得不很成熟,亦不够完善。

目前,对地下水质量评价大多是以国家饮用水标准为基础,如中山大学提出的水质质量指数评价公式:

$$P_I = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{bi}} \quad \dots\dots (1)^{1)}$$

式中  $P_I$  ——水质质量指数;  
 $C_i$  ——某污染物实测浓度(毫克/升);  
 $C_{bi}$  ——某污染物国家饮用水标准(毫克/升);  
 $n$  ——参加评价的污染物总数。

依据国家饮用水标准进行地下水的污染评价有一定的弊病。这是因为:其一,地下水是否污染与人的可否饮用不能等同视之;其二,饮用水标准可随人们的认识水平、研究程度的提高而改变,亦可视不同地区的实际情况而变动;其三,地下水从未污染到严重污染要经过一个由量变到质变的完整过程,而公式却将该过程分割开来。

地矿部水工所在评价沈阳市地下水质量时,曾提出一种综合污染指数:

1) 为方便起见,对全文所引公式符号进行了统一。

$$P_1 = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{X_{oi}} \lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}} \quad \dots\dots (2)$$

式中  $X_{oi}$ ——某污染物的污染起始值(毫克/升)；

$\sum C_b$ ——调查中所有污染物饮用水标准总和(毫克/升)；

其余符号同前。

上式中  $\frac{C_i}{X_{oi}}$ ——表明某水井中某污染物的异常情况， $\lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}}$ ——称之为该种污染物对人体

的健康效应影响系数或损害系数。公式(2)以地下水的污染起始值做为评价标准，有助于研究地下水污染的全过程，相对(1)式或许要合理些。

在实践中可以发现：(1)、(2)两式均有其共同的弱点。这一点可利用(1)式举例说明之：某样本污染物含量酚=0、砷=0、氰化物=0、六价铬=0.10毫克/升，直观感觉，该样本所代表的地下水已遭受严重污染，因六价铬已是饮用水标准的两倍，但代入(1)式：

$$P_1 = \frac{1}{4} \left( 0 + 0 + 0 + \frac{0.10}{0.05} \right) = 0.5$$

由结果反映的地下水质量处于良好状态，事实被歪曲了。其原因在于未受污染的低含量离子或化合物参与平均计算，抹杀了较大值的污染作用，从而削弱了地下水的污染程度，造成误判。这是浓度不同的(污染与未污染的)多种因子参与平均计算的必然结果。众所周知，一个地区地下水质量、污染程度是难以用单一因子进行评价的，这是因为污染源种类很多，使得地下水中污染物迥异。因此，采用多因子综合评价实为必要，只是如何消除未污染的评价因子参与平均计算时的影响是其关键。

## 二、起始污染指数

导出起始污染指数要涉及三个术语，即：背景值、平景值和污染起始值。笔者认为有必要重新阐明各自的含义。地下水背景值系指未受人为因素影响或影响较轻地区(背景区)地下水基本的化学组成。背景值包括一个数值区间，因为背景区中空间位置的不同，地下水化学组成则会有所变化(受外界诸如岩性等条件的变化而变化)。换句话说，背景区中有关离子或化合物含量可以是波动的，其波动值均属背景值范畴。背景区中有关离子或化合物含量的平均值即为平景值，数学上称为众值。污染起始值则是背景区中的最大值。污染起始值一般采用下式求得：

$$X_{oi} = \bar{X}_i + 2S \quad \dots\dots (3)$$

其中

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_i)^2}{n-1}}$$

式中  $\bar{x}_i$  ——地下水平景值，即背景区中某评价因子的平均含量（毫克/升），  
 $S$  ——标准差，  
 $x_i$  ——背景区中某评价因子的实测值（毫克/升），  
 $n$  ——背景区中某评价因子的取样总数。

正确评价地下水的污染，应立足于污染起始值，特别是在建立多因子的综合评价公式时，要充分考虑到这一点。当一个地区的污染起始值确定以后，如果某因子的监测值大于其污染起始值，不论其他因子之监测值是如何的低，应该说，样本所代表的地下水已遭受了污染。

污染物的不同对人体的损害程度亦不同，这便要涉及到污染物的权重问题。国家饮用水标准值的大小，基本是以人体的适应能力而确定的，因而以此确定污染物的权重是个方向。

基于以上论述，导出了起始污染指数评价公式，其表达式如下：

$$P_T = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{X_{oi}} \omega_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

其中 
$$\omega_i = \lg \frac{\sum C_b}{C_{bi}} / \sum_{j=1}^n \lg \frac{\sum C}{C_{bj}}$$

式中  $P_T$  ——起始污染指数， $> 1$  表明地下水已受污染， $\leq 1$  未受污染。

$T_i$  ——第*i*评价因子的监测浓度（毫克/升），当该浓度小于污染起始值且其他任一评价因子监测浓度大于污染起始值时， $T_i$ 取 $X_{oi}$ ；

$X_{oi}$  ——第*i*评价因子之污染起始值（毫克/升）；

$\omega_i$  ——第*i*评价因子之权重；

$\sum C_b$  ——评价因子饮用水标准总和（毫克/升）；

$C_{bi}$ 、 $C_{bj}$  ——第*i*或*j*评价因子的饮用水标准（毫克/升）；

$n$  ——评价因子总数。

(4)式中， $T_i$ 要视情况或代入实测值，或代入污染起始值，通常该种处理不会人为抬高地下水的污染程度，这是由于背景值包括一个数值区间，而污染起始值是该区间的上限，因未脱离背景值范畴，水的性质不会改变。相反， $T_i$ 有选择地代入只会有利于对水质的正确评判。

如不采用加权平均方法而采用算术平均值时，起始污染指数公式变为：

$$P_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{X_{oi}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

应用(4)或(5)式时，只要条件允许，监测离子或化合物参与评价的个数一般不受限制，参加的愈多，所得结论愈会准确可靠，而不象其他综合指数公式一样，参与评价的因子要经过筛选。

### 三、应用实例

以泰安市1985年地下水监测资料进行岩溶水水质评价。该市以城区的深层岩溶含水系统作为供水目的层。由于大量开采地下水，使岩溶水由原始的承压状态变为面积几与城区相同的无压状态。在已污染的浅层地下水的垂直补给作用下（主要补给源），岩溶水已普遍遭受了程度不同的污染。

本文试用（4）式及（1）式分别进行评价，以示起始污染指数与水质质量指数两种评价公式的优劣。根据本区的污染状况，照顾（1）式的使用特点，选择 $C_r^{+6}$ 、 $NO_3^- - N$ 、硬度、矿化度四项因子参与评价。评价钻孔24个，水质监测结果见表1。该四项评价因子的污染起始值及饮用水标准见表2。

#### 1. 评价分级

##### （1）起始污染指数分级及其特征

$P_T > 11.5$ 为重度污染孔，微量元素（ $C_r^{+6}$ ）超标，或常量组分严重超标； $11.5 \geq P_T > 2.0$ 为中度污染孔，微量元素检出，常量组分超标； $2.0 \geq P_T > 1.4$ 为轻度污染孔，常量组分超标； $1.4 \geq P_T > 1$ 为微污染孔，常量组分大于污染起始值，一般无超标； $P_T \leq 1$ 为未污染孔。

表1 水质监测结果

| 评价因子     |            | 评价因子         |       |     |          | 评价因子       |              | 评价因子  |      |
|----------|------------|--------------|-------|-----|----------|------------|--------------|-------|------|
| 浓度(mg/l) | $C_r^{+6}$ | $NO_3^- - N$ | 硬度    | 矿化度 | 浓度(mg/l) | $C_r^{+6}$ | $NO_3^- - N$ | 硬度    | 矿化度  |
| 孔号       |            |              |       |     | 孔号       |            |              |       |      |
| 03       |            | 7.07         | 147.6 | 497 | 59       | 0.011      | 29.26        | 334.1 | 1060 |
| 07       | 0.021      | 24.95        | 251.2 | 814 | 69       |            | 3.39         | 233.9 | 727  |
| 08       |            | 17.71        | 257.1 | 826 | 75       |            | 11.67        | 156.6 | 536  |
| 10       |            | 9.32         | 204.3 | 671 | 76       |            | 5.40         | 117.2 | 380  |
| 11       |            | 6.78         | 110.5 | 382 | 85       | 0.05       | 11.25        | 169.2 | 539  |
| 14       |            | 8.11         | 154.2 | 451 | 90       | 0.015      | 14.81        | 196.4 | 474  |
| 24       |            | 9.69         | 199.8 | 617 | 94       |            | 16.62        | 24.96 | 789  |
| 34       |            | 2.42         | 111.1 | 392 | 102      | 0.50       | 10.34        | 197.6 | 709  |
| 35       |            | 1.00         | 164.8 | 527 | 114      |            | 8.81         | 149.2 | 456  |
| 43       |            | 4.58         | 149.7 | 503 | 130      |            | 19.78        | 175.5 | 567  |
| 48       |            | 4.34         | 102.2 | 338 | 145      | 0.063      | 12.17        | 156.6 | 529  |
| 49       |            | 4.61         | 132.9 | 440 | 163      |            | 20.78        | 229.3 | 675  |

表2 污染起始值及饮用水标准

| 评价因子<br>浓度(mg/l) | $Cr^{+6}$ | $NO_3^- - N$ | 硬度    | 矿化度  |
|------------------|-----------|--------------|-------|------|
| 污染起始值            | 0.0029    | 7.14         | 175.9 | 398  |
| 饮用水标准            | 0.05      | 20           | 250   | 1000 |

## (2) 水质质量指数评价分级

$P_I > 1$  重度污染孔;  $1 \geq P_I \geq 0.5$  轻度污染孔;  $P_I < 0.5$  未污染孔。

## 2、评价结果及其分析

评价结果见表3。

表3 水质评价结果

| $P_T$ |  |     | $P_T$ |  |     |
|-------|--|-----|-------|--|-----|
| 级 别   | 孔 号  | 孔 数 | 级 别   | 孔 号                                    | 孔 数 |
| 重度污染  | 102, 145                                       | 2   | 重度污染  | 102, 59                                | 2   |
| 中度污染  | 07, 59, 90, 85                                 | 4   | 轻度污染  | 07, 08, 90, 94, 130,                   | 8   |
| 轻度污染  | 08, 130, 163                                   | 3   |       | 145, 163, 85                           |     |
| 微 污 染 | 03, 10, 14, 24, 35, 43,<br>49, 69, 75, 94, 114 | 11  | 未 污 染 | 03, 10, 11, 14, 24,                    | 14  |
| 未 污 染 | 11, 34, 48, 76                                 | 4   |       | 34, 35, 43, 48, 49,<br>69, 75, 76, 114 |     |

由表3可以看出, 59孔、145孔污染程度的归属, 两种方法有所分歧。表1提供的监测资料表明, 59孔常量组分超标, 但 $Cr^{+6}$ 并未超标, 145孔 $Cr^{+6}$ 含量已超标, 为国家饮用水标准的1.36倍, 就其对人体的危害程度而言, 145孔应略高一筹, 59孔划为中度污染孔是合理的。将145孔划为轻度污染孔显然是水质质量指数评价的一种误判。

此外, 两种方法最大的不同在于, 起始污染指数法所划的11个微污染孔有10个被水质质量指数法视为未污染孔。由表1可见这10个孔均有1~3项常量组分不同程度的超过了污染起始值, 意即这些孔已受到了污染, 只是污染程度轻微。将此类钻孔划为微污染孔, 对于泰安市的地下水污染研究, 地下水的防护与治理是十分有利的。

值得一提的是, 被起始污染指数法划为未污染的4个钻孔, 分布在岩溶地下水降落漏斗外侧的承压区, 或靠近未受污染的侧向补给源一侧, 其余污染孔均分布在无压区。评判结果与环境水文地质条件相符。

## 四、结束语

地下水综合评价指数是多种评价因子总体特征的反映, 污染较重的因子不应为其他

因子含量的多寡所影响。起始污染指数评价公式能够消除未污染的评价因子参与平均计算时的影响，突出污染因子，较真实地反映出地下水污染状况，特别是对于识别地下水轻微污染的灵敏性极高。地下水的污染以“1”划界， $> 1$ 即为污染，可以避免因人的认识水平、资料的多寡而产生对水质的误判。该公式最大的优点在于能够将地下水污染全过程——由污染到严重污染较好地联系起来，对地下水的防护与治理起到了一定的积极作用。

起始污染指数评价法曾应用于1987年《泰安市环境、水文、工程地质综合勘察报告》，应用效果较好，在此整理出来，以求完善。由于笔者水平有限，不当之处在所难免，敬请批评指正。

SYNTHETIC INDICES APPROACH FOR THE  
EVALUATION OF GROUNDWATER—INITIAL  
POLLUTION INDEX AND ITS APPLICATION

Zou Guoqiang

*(The First Geological Brigade, Shandong  
Bureau of Geology and Mineral Resources)*

Abstract

In this paper, by analyzing the evaluation formula of synthetic indices currently used, the author proposed a new evaluation formula—for the calculation of initial index. By using this formula even slight pollution of groundwater can be easily identified and the pollution state of groundwater can be actually demonstrated which would play an active role in the protection of groundwater and in its treatment.

Finally a comparison was made between the two formulae in their applications in the groundwater evaluation by taking the pollution state of Tai'an City as an example.