

研究通讯

用污染程度函数判断环境质量的一种方法

吴文芳 周定

(哈尔滨工业大学)

一、引言

环境质量评价是环境科学中的一项关键课题。用加权平均值作为污染指数是人们常采用的一种方法,但这种方法尚存在一些局限性:其一,加权平均值的方法实质上是把每种污染因素的增长对环境构成的危害都看成是按固定不变的比例关系增加,这与实际情况未必一致;其二,加权平均的方法不能反映出某些污染物对环境的突出影响,有时算出的综合指数并不高,但由于某种污染物的浓度超过标准而构成了对环境的严重污染。因此,建立环境质量评价的数学模式,寻找一种能够客观地描述环境污染现状的方法仍然是环境科学领域中引人关注的问题。

本文在建立污染程度函数的基础上,提出建立评价环境污染状况的一种方法。通过对松花江佳木斯江段水质评价的实际验证表明这种方法是能够比较客观地反映环境污染状况的。

二、评价方法概述

本方法分以下四个步骤

1. 建立每种污染参数的污染程度函数

确定污染参数之后,建立每种污染参数的污染程度函数,这种污染程度函数在 $[0, \infty)$ 之间取值,未受污染时,取值为 0,受到重度污染时,取值为 1,其他各点均按符合重度污染的百分比取值,该函数取值超过 1 时,则认为该污染因素对环境构成的污染已超过重

度污染。建立各种污染参数的污染程度函数实际上起到了转换方程的作用,它不仅统一了各种污染物的量纲,而且实现了污染参数在不同情况下可以授以不同的“权”。

建立每种污染参数的污染程度函数之后,就需要确定联合污染的最高允许标准,其准则如下:

(1) 只要有一种污染参数达到重度污染,即该污染程度函数值达到或超过 1 时就认为联合污染已达到最高允许标准。

(2) 如果有两种或两种以上污染因素,那么就要考虑联合污染的效果,这时即使它们各自的污染程度函数都没有达到 1,但也可能会对环境构成严重污染,所以这时应该以小于 1 的平均值作为联合污染的最高允许标准。我们记 $e_m (e_m \leq 1)$ 为 m 种污染因素的联合污染最高允许标准, $m = 1, 2, \dots, n$, 它可以根据试验的结果或按人们的经验确定,其中当 $m = 1$ 时, $e_m = 1$ 。

2. 污染程度函数的字典序排列

对于 n 种污染因素,当我们考虑其中 m 种污染因素的联合作用时,其污染程度函数的平均值一共有 $\binom{m}{n}$ 个,但相应的联合污染最高允许标准由其中最大者所确定,为了减少不必要的计算,我们把根据各种污染参数的实测值求得的几种污染程度函数值 $C_1, C_2, \dots, C_n$, 按它们的大小进行排列为 $d_1, d_2, \dots, d_n$, 即:

$$d_i = \max\{C_i | 1 \leq i \leq n\}$$

$$d_2 = \max\{C_i | 1 \leq i \leq n, C_i \neq d_1\}$$

...

$$d_n = \max\{C_i | 1 \leq i \leq n, C_i \neq d_j, j = 1, 2, \dots, n-1\} \quad (1)$$

对于 m 种污染因素来说, 所求得各不相同的污染程度函数值的最大平均值显然就是 $d_1, d_2, \dots, d_m$ 的算术平均值. $m = 1, 2, 3, \dots, n$, 这种按大小进行排列的方法, 数学上称之为字典序排列.

3. 联合污染最高允许标准的规格化处理

在上述方法中, 当 m 不同时, 确定的联合污染最高允许标准的数值各不相同, 这样在描述环境的污染程度时很不方便, 为了得到统一的量纲, 我们需要对各种联合污染的最高允许标准进行规格化处理, 这种规格化处理可通过下面的公式进行:

$$b_m = \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_k \right) \cdot \frac{1}{c_m} \quad (2)$$

4. 求环境质量的综合污染指数

环境质量的综合污染指数公式如下:

$$a = \max\{b_m | 1 \leq m \leq n\} \quad (3)$$

当 $a \geq 1$ 时, 认为环境达到或超过了重度污染.

当 $a = 0$ 时, 认为环境未受污染.

当 $0 < a < 1$ 时, 亦可根据本地区情况自行划定其污染级别.

三、一种分段线性污染程度函数的简便表达式

通过污染的分段标准采用线性插值的方法是建立污染程度函数经常采用的一种方法. Charnes 和 Cooper^[1] 给出了一种分段线性函数的插值方法, 它同样可以方便地建立线性污染程度函数的表达式.

设污染程度函数在区间 $X_{r-1} \leq X \leq X_r$ 时的形式是 $C_i(X) = t_r X + S_r$, 其中 t_r 是斜率, S_r 是截距, 那么通过污染分级标准确定的插值点

$$(X_1, C_i(X_1)), (X_2, C_i(X_2)), \dots$$

$$(X_{N+1}, C_i(X_{N+1}))$$

的分段线性污染程度函数是:

$$C_i(X) = \sum_{j=1}^N a_j |X - X_j| + \beta X + \gamma \quad (4)$$

其中

$$a_j = \frac{1}{2} (t_{j+1} + t_j)$$

$$\beta = \frac{1}{2} (t_{N+1} + t_1)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} (S_{N+1} + S_1)$$

四、实 例

现以松花江佳木斯江段水质指标为例用污染程度函数判断环境质量, 该例考虑的五种污染因素, 其污染分级标准如下:

表 1 五种污染因素分级标准

指标	单位	I 级 水标准	II 级 水标准	III 级 水标准	IV 级 水标准	V 级 水标准
DO	mg/l	7.0	5.0	3.0	2.0	1.0
BOD ₅	mg/l	1.5	2.0	3.0	5.0	8.0
COD	mg/l	2.0	3.0	5.0	8.0	10.0
酚	mg/l	0.002	0.005	0.01	0.02	0.03
氨	mg/l	0.001	0.002	0.005	0.01	0.02

我们可以把 I 级水看作未受污染, 即污染程度函数取值为 0; 达到 V 级水标准看作受重度污染, 即污染程度函数值为 1; 由于按 5 类进行分级, 所以本例其他各级水的污染程度函数值分别取为 0.25, 0.5, 0.75. 我们可以通过上述分段线性函数的办法建立如下污染因素的污染程度函数 $C(X)$, 即:

(1)、DO

$$C_1(X) = \frac{1}{16} |X - 3| + \frac{1}{16} |X - 7| - \frac{1}{8} X + \frac{5}{8}$$

(2)、BOD₅

$$C_2(X) = \frac{1}{4} |X - 1.5| - \frac{1}{8} |X - 2| - \frac{1}{10} |X - 3|$$

$$-\frac{1}{48}|X-5| + \frac{1}{24}X - \frac{1}{6}$$

(3)、COD

$$\begin{aligned} C_3(X) = & \frac{1}{8}|X-2| \\ & -\frac{1}{16}|X-3| - \frac{1}{48}|X-5| \\ & + \frac{1}{48}|X-8| + \frac{1}{16}X - \frac{1}{8} \end{aligned}$$

(4)、酚

$$\begin{aligned} C_4(X) = & \frac{125}{3}|X-0.002| \\ & -\frac{50}{3}|X-0.005| - \frac{75}{4} \\ & \cdot |X-0.01| + \frac{25}{4}X + \frac{3}{16} \end{aligned}$$

(5)、氰

$$\begin{aligned} C_5(X) = & 125|X-0.001| \\ & -\frac{250}{3}|X-0.002| - \frac{50}{3} \\ & \cdot |X-0.005| - \frac{25}{2}|X-0.01| \\ & + \frac{25}{2}X + \frac{1}{4} \end{aligned}$$

我们采用本方法对松花江佳木斯江段进行了水质评价^[2], 我们得到的水质评价结果与松花江佳木斯江段的环境污染状况是一致的。

例如, 1980 年 2 月松花江佳木斯江段上游断面的 5 项水质的实测平均值为:

DO 4.04mg/l

BOD₅ 1.38mg/l

COD 11.69mg/l

酚 0.005 mg/l

氰 0.004 mg/l

通过上述污染程度函数的公式 (4) 计算求得污染程度函数分别为:

$$C_1(\text{DO}) = 0.37$$

$$C_2(\text{BOD}_5) = 0$$

$$C_3(\text{COD}) = 1.212$$

$$C_4(\text{酚}) = 0.25$$

$$C_5(\text{氰}) = 0.417$$

按字典序(1)式排列可得:

$$d_1 = 1.212, d_2 = 0.417, d_3 = 0.37,$$

$$d_4 = 0.25, d_5 = 0.$$

按公式 (2) 进行联合污染最高允许标准的规格化处理可得:

$$b_1 = 1.212, b_2 = 0.746, b_3 = 0.662,$$

$$b_4 = 0.599, b_5 = 0.509,$$

(本例中污染因素的联合最高允许标准 e_m 分别取为 $e_1 = 1, e_2 = 0.95, e_3 = 0.9, e_4 = 0.85, e_5 = 0.8$)

再按 (3) 式可得环境质量的综合污染指数:

$$\begin{aligned} a = & \max\{1.212, 0.746, 0.662, 0.599, 0.509\} \\ = & 1.212 \end{aligned}$$

由于 COD 的浓度远远超过标准, 已构成严重危害, 用本文提供的方法得到的污染指数为 $a=1.212$ 。但如果按加权平均的办法得到的综合污染指数可能并不高, 反映不出 COD 的突出影响, 由此可见, 该方法既可以反映单个污染参数或几个污染参数对环境的突出影响, 又可以反映各种污染因素的综合影响。

再如 1980 年 8 月佳木斯江段下游断面得出的污染程度函数值分别为 $C_1 = 0, C_2 = 0.716, C_3 = 0.724, C_4 = 0.30, C_5 = 0$, 而得到的综合污染指数是 $a = 0.759$, 分别大于 C_1 与 C_2 的污染程度函数值, 这种情况也是符合实际的, 因为两种污染程度大致相同的污染因素放在一起(在不考虑其累积, 加成作用下)所构成的危害总是比单纯的一种污染因素构成的危害要更大些, 这种客观实际情况在本文计算综合指数的方法中也可以得到反映。

参 考 文 献

- [1] Charnes, A. and Cooper, W. W., *Goal Programming and Multiple Objective Optimization*, *European Journal of Operational Research*, 1, 39—54 (1977).
- [2] 吴文芳等, 哈尔滨工业大学学报, 3, 90(1984).