

建设甘肃大地,改造山河,整治环境,一要靠科学,不做违背自然规律的事;二要总结前人正反两方面经验,让童山重新披上绿装,

把沙漠改造成为绿洲,一个环境优美、经济繁荣的新甘肃定会出现。

计算环境质量综合指数的混合加权模式

林 宗 振

(暨 南 大 学)

五十年代以来,研究环境质量问题的已逐渐为全世界各国所重视。六十年代以来,开始用“环境质量综合指数”定量地表示环境质量情况。七十年代以来,这项工作进展很快,并提出了许多不同的计算综合指数的数学模式。这些模式各有优缺点,都还未能十分完善地表达出环境质量的优劣。诚如唐永鑫教授所指出的一样^[1],这些数学模式所共有的弱点是“某种污染物的浓度很高,远超过标准,其它污染物浓度较低,算出的综合指数不高。另一种情况,所有污染物因子浓度均较高,但未超过容许浓度,而综合指数值反而较高”。

本文所提出的混合加权模式能克服上述弱点。并证明了当各污染物的浓度不超过容许标准时,则综合指数一定不超过容许标准1;当各污染物的浓度中只要有一种浓度超过了容许标准,则综合指数也一定超过容许标准1。

一、评几种主要的常用数学模式

我们对下面几种主要的常用数学模式作一简单的评述,并指出其共同的缺陷所在。

1. 加权均值

$$PI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i p_i$$

其中 PI 表示综合指数,分指数 $p_i = \frac{c_i}{c_{0i}}$

实测浓度 ω_i 为加于 p_i 的权,满足 $\sum_{i=1}^n \omega_i =$
标准值

1. 这些符号在本文中具有相同的意义。当 $\omega_i = 1$ 时, $i = 1, 2, \dots, n$, 则

$$PI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$$

即为算术平均值。我国北京西郊,官厅水库,南京市和江苏沿海港河口海区等环境质量评价都采用这种模式。这种模式合理与否,完全取决于 ω_i 的选取是否合理。对这一点已有专门的论述^[2]。在此我们仅举一个简单的例子

$$x = (2, 0, 0)$$

$$\omega_1 = 1, \omega_2 = 0, \omega_3 = 0$$

来说明尽管有一个分指数 $x_1 = 2$ 浓度很高,超过了标准值,但综合指数只是 $\frac{2}{3} = 0.66$,不算高。所以加权均值不能使综合指数完善地反映环境质量的实际情况。

2. Nemerow 指数

$$PI = \sqrt{\frac{(c_i/c_{0i})^2 + (\max_i c_i/c_{0i})^2}{2}}$$

这一模式是 Nemerow 提出的^[3]。它的优点是突出了最大污染浓度对环境质量的影

响^[4]，但它的缺点也正在于此。如对两个环境

$$x_1 = (0.4, 1.2, 0.4, 0.6, 0.3, 0.1)$$

$$x_2 = (0.3, 1.2, 0.2, 1.1, 0.1, 0.1)$$

按照环境科学的一般常识， x_1 的环境质量要比 x_2 的好^[2]。但 x_1 、 x_2 却有相同的 Nemerow 指数：0.92。这不仅证实了 Nemerow 指数无法区分 x_1 与 x_2 环境质量的优劣，而且也说明了虽然 x_2 环境中有一个分指数 $x_{22} = 1.2$ ， $x_{24} = 1.1$ 都超过了标准值，但其 Nemerow 指数仍在标准值之下，不能反映 x_2 的真实污染情况。

3. 分指数平方和方根

$$PI = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2}$$

有不少文章都提到这一模式，如 [2]、[4]、[5]、[6]、[7] 等。似乎认为这一模式比较理想。文 [4] 还特别把这一模式与均值模式、Nemerow 指数进行了对比。在一定的条件下，这一模式确实比较好。但我们将指出在另一些条件下，Nemerow 指数要显得比分指数平方和方根法来得优越。举个简单的例子

$$x_1 = (0.707, 0.707, 0.477)$$

$$x_2 = (1.1, 0, 0)$$

据环境科学的一般知识， x_1 的环境质量要比 x_2 的好。然而按照本方法计算结果有 $PI(x_1) = PI(x_2) = 1.1$ ，无法分辨。但按照 Nemerow 指数计算结果有 $PI(x_1) = 0.442 < PI(x_2) = 0.672$ ，清楚地表明了 x_1 的环境质量要比 x_2 的好。本例也指明了用 $PI = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2}$ 来给出环境质量的综合指数同样是不理想的，也具有相同的缺陷。这是因为对各分指数均在标准值之下的 $x_1 = (0.707, 0.707, 0.477)$ 所获得的综合指数却偏高 $PI = 1.1$ 。

以上三种计算环境质量综合指数的数学模式，经常被用于对水、土、气的综合评价中。

在某种特定的环境中，使用这些公式尚能获得一些合理的结果。然而从理论上来说，所有这些公式都欠完善，有改进的必要。为此，曾作了一些尝试^[8]，想用二个指数 (E, σ) 来表示环境质量的好坏，其中 E 为期望值， σ 为方差值。可惜也缺乏一般性的论证。简单说来文 [6] 提出的模式为

$$E(p_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j p_j$$

$$\sigma^2(p_i) = E(p_i - E(p_i))^2 \\ = E(p_i^2) - E^2(p_i)$$

$$= \sum_{j=1}^n \omega_j p_j^2 \\ - \left(\sum_{j=1}^n \omega_j p_j \right)^2$$

并提出了一个报警限： $E \leq 0.8, \sigma^2 \leq 0.04$ 。只要 E, σ^2 中有一个值超过了限定值 0.8 或 0.04 时，就要报警。在特定的环境中，用二个指数报警有优越性。但仔细分析，不难看出用 (E, σ) 来表示环境质量的不足之处。在 [8] 所举之例中有二个环境 (B)、(C) 如下表

表 1 环境 (B) 与 (C) 的比较

状况	大气 $\omega_1 = 0.6$	水质 $\omega_2 + \omega_3 = 0.2$	噪声 $\omega_4 = 0.2$	$E(p_i)$	$\sigma^2(p_i)$
(B)	0.8	0.8	1.5	0.94	0.04
(C)	0.5	0.6	1.5	0.72	0.15

按常理 (C) 的环境质量要比 (B) 的略好些，但照 [6] 的计算结果也不能区别 (B)、(C) 之优劣。因为由表可见 $E_B = 0.94, \sigma_B^2 = 0.04$ ； $E_C = 0.72, \sigma_C^2 = 0.15$ 中各有一个指数 $E_B = 0.94, \sigma_C^2 = 0.15$ 超过了限定值。所以必须同时报警。由于 $\sigma_C^2 = 0.15$ 远远大于 0.04，而

* 原文公式

$$\sigma^2(p_i) = \sum_{j=1}^n \omega_j p_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n \omega_j p_j \right)^2$$

是错的。

$E_B = 0.94$ 只略大于 0.8, 所以会得出 (C) 比 (B) 更恶劣的错觉。更不用说当另外选取一组 ω_i 时, 计算结果将会离实际更远了,

二、混合加权模式

为了克服上述几种常用数学模式所共有的缺陷, 本文提出混合加权模式如下:

$$PI = \sum_1 \omega_{i1} p_i + \sum_2 \omega_{i2} p_i \quad (1)$$

其中 $\sum_1$ 是对诸 $p_i > 1$ 求和; $\sum_2$ 是对一切 p_i 求和, 而 $\omega_{i1} = \frac{p_i}{\sum_1 p_i}, p_i > 1; \omega_{i2} = \frac{p_i}{\sum_2 p_i}$, 一切 p_i .

首先, 不难知道 $\sum_1 \omega_{i1} = 1, \sum_2 \omega_{i2} = 1$. 所以 ω_{i1}, ω_{i2} 组成权系数.

其次, 若诸 p_i 中有某个 $p_{i_0} > 1$, 则

$$PI = \frac{\sum_1 p_i^2}{\sum_1 p_i} + \frac{\sum_2 p_i^2}{\sum_2 p_i} > \frac{\sum_1 p_i}{\sum_1 p_i} + \frac{\sum_2 p_i^2}{\sum_2 p_i} > 1;$$

若诸 $p_i \leq 1$, 一切 i , 则 $PI \leq 1$, 这是因为

$$PI = \frac{\sum_2 p_i^2}{\sum_2 p_i} \leq \frac{\sum_2 p_i}{\sum_2 p_i} = 1.$$

这就一般地证明了用混合加权模式去计算环境质量的综合指数, 决不会产生前面各公式共有的通病。从而保证了用综合指数来表示各种环境质量的可靠性。

再次, 混合加权模式对各种环境质量有较灵敏的分辨率。例如, 对用平方和方根法无法分辨的

$$x_1 = (0.707, 0.707, 0.447)$$

$$x_2 = (1.1, 0, 0)$$

用混合加权模式则能清楚地分辨, 因为

$$PI_1 = \frac{1.2}{1.86} = 0.64 < PI_2 = 1.1$$

表示环境 x_1 的质量比环境 x_2 的好, 与实情相符。又如, 用 Nemerow 指数无法分辨的

$$x_1 = (0.4, 1.2, 0.4, 0.6, 0.3, 0.1)$$

$$x_2 = (0.3, 1.2, 0.2, 1.1, 0.1, 0.1)$$

用混合加权模式就能分辨。这是因为

$$\begin{aligned} PI_1 &= \frac{(1.2)^2}{1.2} \\ &+ \{ (0.4)^2 + (1.2)^2 + (0.4)^2 \\ &+ (0.6)^2 + (0.3)^2 + (0.1)^2 \} / \\ &(0.4 + 1.2 + 0.4 + 0.6 + 0.3 \\ &+ 0.1) \\ &= 1.2 + \frac{2.22}{3} = 1.94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PI_2 &= \frac{(1.2)^2 + (1.1)^2}{1.2 + 1.1} \\ &+ \{ (0.3)^2 + (1.2)^2 + (0.2)^2 \\ &+ (1.1)^2 + (0.1)^2 + (0.1)^2 \} / 3 \\ &= 1.15 + 0.93 = 2.08 \end{aligned}$$

显然 $PI_1 < PI_2$, 从而灵敏地区分出 x_1 的环境质量比 x_2 的好, 与实际相符。再如, 在文 [8] 中用双指数 (E, σ^2) 无法分辨的 (B), (C) 二环境质量, 用混合加权模式也能分辨。这是因为

$$\begin{aligned} PI_B &= 1.5 + \frac{(0.8)^2 \times 2 + (1.5)^2}{3.1} \\ &= 2.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PI_C &= 1.5 + \frac{(0.5)^2 + (0.6)^2 + (1.5)^2}{2.6} \\ &= 2.60 \end{aligned}$$

由于 $PI_B > PI_C$, 所以 (C) 的环境质量比 (B) 的好。通过这些例子, 我们已清楚地看到了混合加权模式具有较高的分辨率。

下面应用混合加权模式对 1979 年嘉陵江重庆下段大溪沟断面水质监测数据进行计算, 所得结果与实际相符。(表 2) 说明 7—11

表 2 大溪沟断面各月水质指数计算结果

p_i 月份 \ 项目	氨	汞	六价铬	酚	综合 指数
7	0.020	0.70	0.040	0.4	0.562
8	0.060	0.50	0.018	0.2	0.419
9	0.020	0.30	0.028	0.2	0.239
10	0.008	0.50	0.040	0.3	0.403
11	0.004	0.20	0.022	0.4	0.320

月份的水质全属正常范围。按文 [9] 计算结果 (下转第 84 页)

表 2 水样 DO 调整理论计算值与实测值对比

水温 (°C)	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
调氧压力 $p_r(\text{mmHg})$	-238	-212	-186	-160	-134	-107	-81	-53	-26	4	27	56	86	75	75
DO 理论值 (mg/l)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.53	8.50	8.50	8.50	8.08	7.84
DO 实测值 (mg/l)	8.76	8.73	8.58	8.60	8.56	8.51	8.49	8.44	8.46	8.30	8.31	8.28	8.24	8.08	7.62
ΔDO (mg/l)	+0.26	+0.23	+0.08	+0.10	+0.06	+0.01	-0.01	-0.06	-0.04	-0.23	-0.19	-0.22	-0.26	0.00	-0.22

注：水样：自来水；气压：730mmHg；分析时间：1983.9.26

表 3 调 DO 后水样内部氧分布均匀性试验

单位：mg/l

组别	测定时间	DO 测定值						$\text{DO} \delta_{n-1}$
I	83.9.12	8.31	8.30	8.31	8.31	8.32	8.31	0.01
II	83.9.14	8.42	8.43	8.47	8.42	8.42	8.43	0.12
III	83.9.22	7.93	7.93	7.93	7.93	7.92	7.93	0.00
IV	83.10.6	8.37	8.37	8.39	8.39	8.37	8.38	0.01

在生化培养箱内事先放入一盆已调温至培养温度的水，欲进培养箱培养的水样量是不大

(上接第69页)

果，7，8，10 三个月份的水质属污染范畴，需报警，与实际不符。

承蒙齐雨藻副教授对本文手稿提出了宝贵意见，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 唐永鑫，环境科学，(2)，71(1979)。

的，而且溶解氧瓶体积又小，可先放入盆中水浴 20 分钟后再移出培养。

我们采用这种调氧方法与原有调氧方法分别作了测定沱江河水、生活污水、工业废水、葡萄糖-谷氨酸标样的 20°C BOD₅ 测定对比试验，其测定结果经 F 检验和 t 检验，无显著性差异。测定葡萄糖-谷氨酸标样的结果与国内外验证结果相符合，说明此调氧方法可用。

[2] 刘多森，环境科学研究与进展，325 页，科学出版社，1980 年。

[3] Nemerow, N. L., *Scientific Stream Pollution Analysis*, 1974.

[4] 申葆诚，徐国义，环境科学，2(4)，57(1981)。

[5] 刘多森，环境科学，2(2)，71(1981)。

[6] 姚志麒，环境科学，(2)，37(1979)。

[7] 曹洪法，许嘉琳，环境科学，(4)，32(1979)。

[8] 熊广政，裘小松，环境科学，1(4)，53(1980)。

[9] 徐淑碧，环境科学，2(5)，65(1981)。

福州市印刷厂印铁含苯废气治理工程通过技术鉴定

福州市印刷厂在印铁涂料加工过程中经常排出含有甲苯、丁醇、醋酸丁酯、环己酮等成分的废气，污染周围环境。航天工业部 511 研究所、中国科学院环境化学研究所和福州市印刷厂共同研制治理该废气的设备。这项设备于 1983 年 12 月至 1984 年 12 月投入试运行，废气中各组成成分净化率均在 95% 以上。经测试表明，车间内空气达到《工业企业设计卫生标准》。

该项治理工程包括废气收集、催化燃烧装置和余热回收利用三大部分，具有投资少(与国外进口设备相比)、运转费用低(包括价格低廉的贱金属氧化物催化剂)及节约能源的特点。该装置采用远红外加热催化床，自动控制程度较高。83922 型贱金属催化剂起燃温度低，净化效率高，抗污性能好，价格低。该工程技术已于 1984 年 12 月 28 日通过鉴定。

(本刊讯)