

环境质量评价数学模型述评

吴 俊

(旅大市环境科学研究所)

环境质量评价数学模型的研究,国际上开始于六十年代,我国从七十年代开始,近年来发展很快。本文就国内外环境质量评价中,几种主要数学模型,谈几点粗浅看法和在实际工作中的体会。

一、国外环境质量评价中几种主要数学模型

国外环境质量评价数学模型的研究最先是从小气开始的,相继建立了水质及区域整体环境指数系统和影响评价系统数学模型。近年来针对人类环境问题的研究,提出建立“全球数学模型”,试图把世界性的主要影响因素(包括环境污染)之间的复杂关系用数学模型表达出来。环境质量评价中几种主要数学模型介绍如下:

1. 格林(Green)于1966年提出大气污染评价数学模型

$$I_1 = a_1 S^{b_1} = 84.0 \text{ SO}_2^{0.431}$$

$$I_2 = a_2 C^{b_2} = 26.6 C^{0.576}$$

$$I = \frac{1}{2} (I_1 + I_2) = 0.5 (84.0 \text{ SO}_2^{0.431} + 26.6 C^{0.576})$$

式中: I_1 为 SO_2 污染指数; I_2 为 COH 污染指数; I 为大气综合污染指数; S 为 SO_2 实测平均浓度; C 为实测平均烟雾系数(COH 单位/1000英尺); a_1, a_2, b_1, b_2 为系数和指数。

2. 橡树岭大气质量指数(ORAQI)数学模型

$$\text{ORAQI} = \left[5.7 \sum_{i=1}^5 \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \right]^{1.37}$$

式中: 5 为评价参数的个数; 5.7, 1.37 为系数

和指数; C_i 为第 i 种污染物的实测浓度; S_i 为美国环境保护局制定的第 i 种污染物的大气质量标准值。

这一模式由美国原子能委员会橡树岭国立实验室于1971年提出。它所选择的评价参数为 CO 、 SO_2 、 NO_2 、氯化剂和颗粒物五项污染物,并根据大气的背景浓度和标准限定的最高浓度计算式中的系数和指数。包含多种污染物是这一数学模型的优点,因此使用比较方便,适用于环境质量较好的地区。

3. 奥克里季大气质量评价指数数学模型

奥克里季指数 =

$$\left[39.02 \sum_{i=1}^3 \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \right]^{0.967}$$

式中: C_i 为第 i 种污染物的实测浓度; S_i 为第 i 种污染物的卫生标准。

4. 密特大气质量指数(MAQI)数学模型

$$\text{MAQI} = \sqrt{I_c^2 + I_s^2 + I_p^2 + I_n^2 + I_o^2}$$

式中: I 为各污染物分指数,其各下标含义如下: c 为 CO ; s 为 SO_2 ; p 为颗粒物; n 为 NO_2 ; o 为氧化剂。

这一模式由美国环境质量委员会委托密特公司研究提出,采用美国大气质量二级标准作为评价标准,它适用于评价大气质量长期变化。

5. 白勃考大气质量指数(PINDEX)数学模型

$$\text{PINDEX} = \text{PM} + \text{SOX} + \text{NOX} + \text{CO} + \text{OOO}$$

式中: PM 为颗粒物分指数; SOX 为硫氧化物分指数; NOX 为氮氧化物分指数; CO 为氧化碳分指数; OOO 为氧化剂分指数。

白勃考于1971年提出这一数学模型,其特点是从计算的PINDEX值,可以将各大城市的污染水平进行比较,而且从分指数比例可以分析每个城市的污染物,同时根据一个城市或地区每天主要污染物的实测浓度,可以计算每日的PINDEX值,以评价大气总体污染水平的逐日变化。应用这一数学模型,必须掌握上述五种污染物以及碳氢化合物的实测浓度。

6. 加拿大大气质量综合指数 (Ia) 数学模型

$$I_a = \left[\frac{5(I_{sp})^2 + 3(I_{reg})^2 + 2(I_{ie})^2}{10} \right]^2$$

$$I_{sp} = \left[\frac{1}{5} (0.51^2_{PM} + 0.51^2_{COH} + I^2_{SO_2} + I^2_{SO_2} + I^2_{CO} + I^2_{OX} + I^2_{NOX}) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_{reg} = \frac{V_n}{2V_a}$$

式中: I_{sp} 为全国特定大气污染物指数; I_{reg} 为城市大气质量指数; V_n 为某地机场平均能见度; V_a 为远离主要城市, 很少受大气污染影响的基准能见度。

$$I_{ie} = \left[\frac{(I_{ieSO_2})^2 + (I_{iePM^2})}{2} \right]$$

式中: I_{ie} 为全国工业排放量指数; I_{ieSO_2} 为全国平均 SO_2 工业排放量指数; I_{iePM^2} 为全国颗粒物工业排放量指数。

7. 内梅罗 (N. L. Nemerow) 指数数学模型

$$PI = \sum_{i=1}^3 W_i PI_j \quad (1)$$

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})^2_{\text{最大}} + (C_i/L_{ij})^2_{\text{平均}}}{2}} \quad (2)$$

$$DO(C_i/L_{ij}) = \frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - L_{im}} \quad (3)$$

$$pH \text{ 值}(C_i/L_{ij}) = \frac{C_i - L_{ij}}{L_{ij\text{最大值}} - L_{ij}} \quad (4)$$

式中: PI 为水质总污染指数; PI_j 为水质指标;

W_i 为水的第 i 种用途的加权系数; C_i 为第 i 种参数的实测值; C_{ij} 为第 i 种参数第 j 种水用途的标准值; C_{im} 为饱和溶解氧的数值; $\overline{L_{ij}}$ 为第 i 种参数第 j 种水用途的标准值的平均值。

美国叙拉古大学内梅罗教授于1974年出版的《Scientific Stream Pollution Analysis》一书中, 提出上述水质污染指数数学模型, 其主要特点是考虑到污染物中浓度最大值与规定浓度值可以进行比较, 可是 PI_j 实际上是由最大值所决定的, 这一事实为北京大学关伯仁教授分析验证了大量实测资料所证明。DO 和 pH 值评价数学模型也由德意志联邦共和国专家金士博博士等提出修正意见。

8. R. M. Brown 等于1976年提出水质评价数学模型

$$WQI = \sum_{i=1}^M W_i q_i$$

式中: WQI 为水质综合污染指数; W_i 为水质参数权值 (根据专家意见确定); q_i 为水质各分指数。

9. 日本大阪府整体环境质量综合评价基本方法

日本大阪府以 SO_2 、交通强度、噪声、粉尘、BOD 为评价参数。根据大阪府居民对环境污染的反映, 确定各参数的污染程度, 用多元回归分析求得各项污染参数的权值 SO_2 为 10.4, 交通量强度为 10.4, 噪声为 9.2, 粉尘为 9.1, BOD 为 5.8。并将评价区域划分成若干个环境单元, 根据权值和参数值求出各环境单元综合评价值, 按其值大小进行等级划分和绘制环境质量综合评价图。

美国以格林和橡树岭等大气环境质量数学模型的问世, 而成为世界上最先提出环境质量数学模型的国家; 日本以大阪府整体环境质量数学模型的提出为许多国家进行整体环境质量评价所仿效和借鉴。

从国外的发展趋势来看, 环境质量数学模型不仅已经由单因子单要素外推到区域环境, 而且正向着环境系统模式化方向发展, 并有人提出了建立“全球数学模型”的大胆设想。

二、国内环境质量评价 主要数学模型

七十年代以来,我国环境质量评价研究工作发展很快,取得了不少成功的经验,创造了不少符合当地自然状况和区域特点的环境质量数学模型,简述如下:

1. 大海大气环境质量数学模型

$$I_1 = \sqrt{\max\left(\frac{C_1}{S_1}, \frac{C_2}{S_2}, \dots, \frac{C_k}{S_k}\right) \left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \frac{C_i}{S_i}\right)}$$

式中: I_1 为大气质量指数; C_i 为污染物实测浓度; S_i 为评价标准。

这一数学模型由上海第一医学院姚志麒教授提出,该式适用于评价几个污染物不同影响下的大气质量,但未作分级不利于比较。

2. 沈阳大气质量指数数学模型

$$I_{\text{沈}} = \left[\alpha \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \right]^{\beta}$$

式中: i 为污染物编号; n 为污染物个数; C_i 为第 i 种污染物的日平均浓度; S_i 为第 i 种污染物的日平均最高允许浓度; α , β 为系数和指数。

3. 北京西郊环境质量数学模型

$$P_i = \frac{C_i}{C_{is}} \quad (1)$$

$$E = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

$$E_{\text{综合}} = E_{\text{地下水}} + E_{\text{地面水}} + E_{\text{大气}} + E_{\text{土壤}} \quad (3)$$

式中: E 为环境质量系数; P_i 为第 i 种污染物的污染指数; C_{is} 为污染物的评价标准; C_i 为污染物的实测浓度; n 为污染物种类数。

式中 E 值的推求方法是在已作出各单项因子和单项环境要素如大气、地面水、土壤的环境质量评价图的基础上,采用微分面积叠加法求得各部分的综合系数(污染指数)。

4. 南京城区环境质量评价数学模型

$$NKQI = \sum_{i=1}^K M_i P_i$$

式中: K 为污染物或环境要素数量; M_i 为污染物或环境要素权值; P_i 为污染物或环境要素污染指数。

南京城区环境质量评价数学模型的特点是进行了两次加权,第一次加权在评价各单项环境要素污染程度时,对各种污染物进行加权;第二次是在评价南京城区总体环境时,对各环境要素进行加权,其加权的方法是以人民来信来访所反映的意见为依据,如大气为60%,噪声为20%,地面水为10%。

5. 上海黄浦江水质有机污染综合评价数学模型

$$A = \frac{BOD_1}{BOD_0} + \frac{COD_1}{COD_0} + \frac{NH_3-N_1}{NH_3-N_0} - \frac{DO_1}{DO_0} \quad (1)$$

$$\text{污染指数} = \frac{\text{氨氮实测值}}{\text{溶解氧饱和百分数} + 0.4} \quad (2)$$

式中: A 为水质有机污染综合评价指标; BOD_1 、 COD_1 、 NH_3-N_1 、 DO_1 为各污染物实测值; BOD_0 、 COD_0 、 NH_3-N_0 、 DO_0 为各污染物评价标准; 0.4 为经验系数。

(2) 式为上海自来水公司根据长期实际观察积累的经验,结合氨氮与溶解氧饱和百分率之间的相互关系提出的公式。

6. 珠江口环境质量数学模型

$$Q_i = \frac{P_{ia1} + P_{ib1} + P_{ic1} + \dots + P_{in1}}{n_1} \times 70\% + \frac{P_{ia2} + P_{ib2} + P_{ic2} + \dots + P_{in2}}{n_2} \times 30\% \quad (1)$$

$$Q = Q_{\text{水质}} \times 30\% + Q_{\text{底质}} \times 30\% + Q_{\text{生物}} \times 40\% \quad (2)$$

式中: $P_{ia1} \dots P_{in1}$ 为一级污染因子; $P_{ia2} \dots P_{in2}$ 为二级污染因子; n_1 , n_2 分别为一级、二级污染因子个数; Q_i 为某环境要素综合评价指数; Q 为珠江口水域环境质量指数。

7. 大连湾海域环境质量数学模型

$$P_i = \frac{C_i}{C_0} \quad (1)$$

$$P_i = \frac{C_{im} - C_i}{C_{im} - C_0} \quad (2)$$

$$P_i = \frac{C_i - \bar{C}}{C_{in} - \bar{C}} \quad (3)$$

$$P_k = \sum_{i=1}^n P_i K_i \quad (4)$$

$$K_i = \frac{\frac{1}{W_i}}{\sum \frac{1}{W_i}} \quad (5)$$

$$W_i = \frac{C_0 - C_s}{C_s} \quad (6)$$

$$P_{\text{总}} = P_{\text{水}1} K_{\text{水}1} + P_{\text{水}2} K_{\text{水}2} + P_{\text{底}} K_{\text{底}} + P_{\text{生}} K_{\text{生}} \quad (7)$$

$$K_{\text{某要素}} = \frac{P_{\text{某要素}}}{\sum P_{\text{某要素}}} \quad (8)$$

式中: P_i 为单因子污染指数; C_i 为单因子实测浓度; C_0 为单因子评价标准; C_{im} 为评价环境中 DO 理论上最大值; C_{in} 为 pH 最大允许值; $\bar{C}$ 为评价标准均值; P_k 为某环境要素污染指数; K_i 为某单项污染因子权系数; W_i 为环境对某污染因子的可容纳量; $P_{\text{总}}$ 为大连湾海域环境总污染指数; K 为某环境要素权系数 ($K_{\text{水}1}$ 为海水中毒物指标权系数, $K_{\text{底}}$ 为底栖生物权系数, $K_{\text{生}}$ 为底栖生物权系数)。

以上 (1) 式用于评价各单项污染因子; (2) 式用于评价 DO 和透明度; (3) 式用于评价 pH 值; (4) 式用于评价各单项环境要素; (7) 式用于评价大连湾海域总体环境质量; (5), (6), (8) 式用于推算权系数。

推算单项污染因子权系数的理论根据是, 认为环境对某种污染物可容纳量越大, 某种污染物对环境的威胁越小, 从而权系数也小, 即可纳量与权值为反相关。而各单项环境要素权值的标准是, 以其指数大小为依据, 指数与权值是正相关。

8. 东海环境质量数学模型

$$F_i = \sum_{i=1}^n W_i A_i = W_1 A_1 + W_2 A_2 + \dots W_n A_n \quad (1)$$

$$P = \sum_{i=1}^n W_i F_i = W_1 F_1 + W_2 F_2 + \dots W_n F_n \quad (2)$$

式中: F_i 为单项环境要素综合评价指数; W_i 为某污染物或环境要素权值; A_i 为某污染物污染指数; P 为某环境单元多因素综合评价指数。

式中各污染权重值, 根据其毒性在环境中稳定程度、积蓄程度、生物的富集程度而定, 各环境要素权值水质为 60%, 底质为 40%。

上述各种数学模型都能在特定范围内得到应用, 成为反映本区域环境质量的有效工具。

三、几点体会

看来, 指数法是目前国内外环境质量评价中广泛研究和应用的一种方法。尽管其数学模型的表现形式多种多样, 但都是以无量纲指数作为说明环境污染状况的手段, 以污染指数的大小来反映某污染物对环境的影响程度, 以综合污染指数表达环境的质量状况和确定环境质量等级。

用数学的观点不难看出, 上述环境质量指数数学模型多以较长系列的试验, 监测数据通过统计处理和数学分析建立起来的半经验分析模型, 从形式上大体可分为两种类型, 一类是幂函数模型, 另一类是线性模型。大气环境质量数学模型属于第一类, 如本文所介绍的格林、橡树岭、奥克里季等; 水质和整体环境质量数学模型属于第二类。

幂函数模型中的关键是系数和幂指数的确定; 线性模型中的关键是权值问题。确定幂函数模型中的系数和指数的方法, 大体是首先确定指数的尺度, 如美国橡树岭国立实验室规定指数的尺度是: 当大气中污染物的浓度相当于未受污染的背景浓度时, RAQI 等于 10; 当各污染物达到相应的标准时, RAQI 等于 100, 而算得系数为 5.7, 指数为 1.37。应用此类数学模型,

应根据本地区具体条件,重新推算系数和指数,沈阳市大气专题协作组在这方面取得了很好的经验,他们以橡树岭指数模型为基础,采用群众熟悉的百分制的形式规定:当以各项污染浓度为背景值时,指数 I 为100;当以各污染物浓度为明显危害浓度时, I 为20,由此列出两个联立方程组,算得系数 α 值为 1.12×10^{-5} ,指数 β 值为 -0.40 。

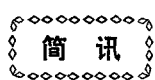
线性模型中环境质量指数的计算方法有简单的加和,有算术平均,有几何平均,也有加权平均。权值是综合评价中颇受重视而且研究较多的问题,也是长期以来一直处于讨论中的问题。目前,国内外大多数环境质量研究者主张,在组合时应根据不同污染物和环境要素对环境的危害、在整体环境中的地位以及与人类的密切关系,赋与其不同的权值。南京城区环境质量评价中两次加权的做法,为许多人所引用,但关于权值的确定方法,有的人认为一个科学的、合理的、客观存在的权值,应该是在进行了多种污染物联合作用的毒理学试验,了解了污染物之间的拮抗、加成和协同作用以后才能确定的,可是这些一时是很难做到的。目前对权值的确定,可以说是百花齐放、方法各异,但绝大多数是人为规定的,这就难免存在一定程度的主观任意性。在大连湾海域的环境质量评价方法的研究中,为使评价方法较比客观些,用环境中各种污染物的基准值结合评价标准,推算出环境可容纳量与环境污染的关系,并通过环境可容纳量的倒数推算出各污染物在环境要素中的权值,获得较好的效果。与此同时,对如何较客观地确定各环境要素的权值也做了初步尝试与探讨。它是以各环境要素污染指数的大小为依据来进行推算的,使加权组合后得出的总体环境质量指数,基本反映出该海域的实际污染状况和污染特征。

从数学的观点来看,环境质量问题上实际上是污染物在多层次、多介质、多元体系中物质运动的变化规律,是一种非线性参数分配系统。严格说来,应该由非线性抛物线偏微分方程给以控制,可是目前国内外环境质量指数数学模型

多是线性模型,这是值得注意和深入探讨的。

另外也可以看出,上述环境质量指数数学模型,都是以评价参数和评价标准为依据而建立起来的。因此,正确的选择评价参数和评价标准,是关系到所建立的数学模型的代表性、有效性以及模型是否成功的关键。我国现行的环境质量标准,看来是不够全善的,由于标准不够健全,各地在进行环境质量评价时,只好通过查阅有关资料酌情规定,再加上各地所采用的数学手段的不同,使所建立的数学模型有很大的局限性,不仅使区域之间的环境质量不易比较,而且给评价大范围环境质量,进行大范围组合带来困难。从发展趋势看,环境质量评价的范围越来越广,逐渐由各个区域扩大到全国,甚至全球。因此制定有科学依据的、适用的评价标准,建立统一的评价方法,寻求环境质量最佳数学模型,是广大环境科学工作者今后继续深入研究的重要课题。

环境质量数学模型的大量涌现,表明随着环境科学的发展,近代数学在环境科学中的应用日趋广泛和深入。相信随着研究工作的深入,环境科学不仅有可能产生一门环境质量学而且有可能产生一个重要分枝——环境数学及环境统计学。



中国动物学会贝类学会学术 讨论会在广州召开

中国动物学会贝类学会学术讨论会于1981年9月11—15日在广州召开。会议共收到138篇论文,进行了学术报告。有些论文对贝类的起源、演化、分类、迁移、区系、古生态等方面提出了新见解,为编写中国动物志增添了新资料;有些是总结了贝类学研究对推动我国珍珠养殖发展的成就;另外相当数量的论文指出了贝类生态学研究对促进海水、淡水贝类养殖及指示水域污染所起的作用。代表们对论文及报告进行了热烈的评论。

会议代表讨论了“中国动物学会贝类学会章程”;选举产生了“中国动物学会贝类学会”第一届理事会。

(岑作贵)