

水资源水质评价方法分析与进展

郭劲松 王 红 龙腾锐

(重庆建筑大学城建学院, 重庆 400045)

摘 要 对国内外众多的水质评价方法的特点进行了归类分析和比较研究, 指出各方法的适用条件和适用范围, 提出了设计合理的水质评价模式的特征要求以及今后的研究方向和发展趋势。

关键词 水质评价 数学模式

水环境质量包括水质、水生生物和底质三部分的质量。水质现状评价是水环境质量评价的一个方面, 是计算水环境容量和对水资源系统进行规划的基础, 有其独特的重要性。影响环境水质的因素既有物质的, 也有非物质的(如标准、法规等)。而在这些因素中, 物质的浓度、数量、强度、时间延续长短等的影响都不尽相同, 故水质评价是一项很复杂的综合工作。一般地水质现状评价包括: 确定评价范围、资料调查评估、确定评价参数、建立评价模式、进行模拟计算、给出评价结论等六个步骤。可见, 某一水域水质污染的状况应从三方面来评定: 一是污染强度, 即水中污染物的浓度和它们的影响效应; 二是污染范围, 即在水域中各种污染强度所影响的范围; 三是污染历时, 即在水域中各种污染强度所持续的时间。只有能同时反映这三方面内容的水质评价方法才较理想。自 60 年代以来, 国内外就不断有文献讨论水质评价的方法并已开发出几十种。本文对其中 30 多种典型的方法归类划分为单指数法、分级评分法、函数评价法、概率统计法、综合指数法和其他方法等, 并对其优缺点进行了分析讨论。

1 水质评价数学模式综合分析

1.1 单指数法

这类模式以 C_i/S_i 为基本单元, 经过算术平均、加权平均、连乘及指数等数学运算得到一个综合指数来评价水质。这种方法在环境质量评价的初期曾应用较多, 表 1 给出了按上述运算构造的几种典型模式。在这些模式中, 由于求平均或求权重值或求单指数的方式不同, 又发展了许多亚方法。例如, P_{ij} 按公式 $P_{ij} =$

$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{C_i}{L_{ij \max}}\right)^2 + \left(\frac{C_i}{L_{ij \text{平均}}}\right)^2}$ 求得, 则广州水质指数法与美国内梅罗法是一致的。若上式根号内的指数按废水指数与水体质量指数平方求和而得, 则为苏联的英哈伯尔水质指数法。可见, 这些方法不外乎是均权或加权迭加的模式。它的缺点是: 均权迭加后的水质指数忽略少数超标污染项目及环境富集残存大的污染项目对水环境影响更大的特征; 加权迭加需要确定合适的权重, 而确定合适的权重在污染项对环境贡献大小及作用机理不十分清楚的情况下是十分困难的; 内梅罗指数的计算实质上是由水中污染物的相对污染值中的最大值决定的, 使评价的污染状况偏重。而半集均方差模式既通过算术均值又考虑了每分项目水环境质量的影响, 也对分指数中的较大值给予较大的权重, 值得推荐。单指数法模式计算简单, 方便易行, 在污染物浓度不大或对水质评价要求不高的情况时可以使用。

1.2 分级评分法

这类模式用实测值(或经转换的值)与划分出的水质等级进行比较打分, 再综合各项目得分值进行水质评价。其具有代表性的方法如表 2 所示:

这类模式克服了单指数法用 C_i/S_i 为基本单元划分水质的局限性, 较单指数法进了一步。但最初分级要求以毒理学为依据, 难以做到。中国环境监测总站提出的分级评分法是国家环保总局的推荐方法。由于毒物浓度的增长与所产生的毒理效应不都呈线型关系, 此法超过地面水环境质量标准的后三级标准是根据其毒性特点决定的, 一定程度上弥补了上述缺点。但这一方法由于数学模式上的不连续性, 导致了在尚未评价污染等级的条件下, 对介于 III、IV 类水质情况评价的困难, 甚至偏差。而 ICV 指数法则将污染指数法与分级评分法进行有机结合, 引进质量变异系数, 更能反映实际变动的情况。国外研究分级评分法很多都将权重结合到评分中去考虑, 如表 2 中的方法 4, 比均权法又有其

收稿日期: 1999—08—02

作者简介: 郭劲松, 男, 35 岁, 副教授, 1985 年毕业于重庆建筑大学, 主要从事污水处理与水污染控制的科研与教学。

国家自然科学基金资助(Na. 59778021)

表 1 国内外几种单指数模式

1. 综合污染指数	$k = \sum_{i=1}^n w_i C_i$	W_i : 污染权重值 C_i : 地面水中各污染物的浓度
2. 水质质量指数	$P = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{oi}}$	C_i : 各污染物的实测含量 C_{oi} : 各污染物的地面水最高允许标准
3. 广州水质指数	$P_M = \frac{nk}{\sum_{j=1}^n W_j P_{Ij}}$ $P_{Ij} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{C_i}{C_{sj}} \right)_{\max}^2 + \left(\frac{C_i}{C_{sj}} \right)_{\text{平均}}^2}$	W_j : 类指数的加权值 C_i : 测定项目的实测值 C_{sj} : 测定项目的标准值 n : 类项目的数目 k : k 为常数, 视类指数(n)而定
4. 半集均方差模式(青岛环科所)	$WQI = \bar{P} + S_h$ $S_h = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m (p_j - \bar{p})^2}{m}}$	WQI : 水质指数 $\bar{P}$: 分指数的算术均值 S_h : 半集均方差 p_j : 大于中位数半集的分指数 m : 大于中位数半集的分指数个数
5. 水质指数(苏联)	$I = \left(\sum_{i=1}^n r W_i \right) \prod_{i=1}^n \phi(W_i, r_i)$	i : 水质指数 r_i : 第 i 种指标的加权值 W_i : 第 i 种指标的分级评价 ϕ : 在某指标超标时, 降低指数值的“惩罚”函数

表 2 分级评分法代表模式

1. 分级评分法 (中国环境监测总站 蒋小玉)	参数属 1-3 级时, 表示为 $\sum_{p=1}^3 a_i$ 参数中有超过第三级的级别范围时, 以其中水质最差的参数级别作为定级依据, 表示为 $\sum_{i=1}^n a_i$ $P_{\max}(N_i)$	
2. ICV 指数评分法 (上海川沙 徐建平)	计算单一项目的 ICV 值 $ICV = I + CV$ (I 为单项质量指数, CV 为单项质量变异系数) 根据指数值参照表评分, 计算接近评分级别 写出监测断面的数学模式: $S = \sum_{i=1}^n l_{10} \sum_{j=1}^n l_8 \sum_{k=1}^n l_6 \sum_{l=1}^n l_4 \sum_{m=1}^n l_2$ 划分水质质量及污染级别, 写出污染表达式 $SPN - X$ S : 监测总相数 PN : 污染级别(N 级) X : 在 S 相中超过三级质量标准的项数	
3. Prati	依据主要参数, 将地表水水质分级 将每种水质参数的浓度实测值转化为新的无量纲值 将各参数值加和平均, 得综合分级指数	
4. Ross:	$WOI = \frac{\sum \text{评分值}}{\sum \text{权重值}}$	

表 3 函数评价法代表模式

1. 污染程度函数(哈工大 吴文芳 周定)	$a = \max \{b_m (1 < m < n)\}$ $b_m = \left(\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m d_k \right) \cdot \frac{1}{e_n}$	e_n : m 种污染因素的联合污染最高允许标准 d_k : 把根据各种污染物的实测值求得的几种污染程度函数值按大小排列, 得 $d_1, d_2, \dots, d_n$
2. 水质保证率法(水利部准委会瞿志敏)	$c_i = \left(\sum_{j=1}^m C_{ij}/m + \sum_{j=1}^n C_{ij}/n + \dots \right) / R$ 据 C_i 对水质进行单项分级, 再综合分级 计算各级水质在总测次数中的比率 计算分级保证率	

优越性。但总的来讲, 在划分水质级别时, 根据同一分级标准值来进行划分不符合水质分级的客观模糊性, 故这类方法只适合于粗略的水质评价, 在进行大范围的统一水质评价时可考虑作用。

1.3 函数评价法

表 3 所示为函数评价法的代表模式, 这类模式将

水质函数与水质评价结合起来, 理论上是进步的。污染程度函数法可反映各污染因素的综合影响, 但将严重污染参数对环境的影响过分夸大。水质保证率法计算复杂, 研究还不够成熟和深入, 距推广应用尚有一定距离。这类模式方法较少, 适用于较深入的水质评价。

1.4 概率统计法

表 4 概率统计法代表模式

1. 概率法(北京大学 关伯仁)	计算累积频率 $P = \frac{m}{n+1} \times 100\%$ 做出经验频率曲线图 直接从图上查出各种污染物在各种概率下的频率值 运用按污染物浓度进行分级的指数综合评分	
2. 数学期望、方差法(重庆环保局 徐淑碧)	$Q_i = \sum_{j=1}^k w_j p_j \text{ 且 } \sum_{j=1}^k w_j = 1$ $\sigma^2 = \sum_{j=1}^k w_j p_j^2 - Q_i^2$	Q_i ——随机变量 p_j 的数学期望 σ^2 ——随机变量 p_j 的方差 w_j ——各污染因子的权重系数
3. 标准二阶矩法(吉林省环保所张益智)	$V_{ij}^2 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_i)^2}$ $V_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ij}^2}$	V_{ij} 截面 i 污染物的标准二阶矩

这类模式是目前能表征各污染强度出现历时唯一可行的方法。水域水体污染强度受水文流量系列及污染物排放因素的影响较大,故水质监测结果具有随机性,此法有充分的理论基础。监测数据至少大于 30 个,就能较准确地反映水域的时空污染情况。数学期望、方差法和标准二阶矩法都是不错的选择,若能对合理加权进行深入研究,应是水质评价较先进的方法。

1.5 综合指数法

国内目前对这类模式研究较多,主要包括模糊数学法、灰色聚类法、信息论法等几类。这类方法推导严谨,计算较复杂,评价结果更接近实际。由于水环境污染程度与水质分级相互联系并存在模糊性,而水质变化是连续的,模糊数学法在理论上可行,弥补了本文前述模式的不足。模糊数学法的关键是构造隶属函数或矩阵以及权重矩阵。其典型代表有:模糊综合评判法、Hamming 贴近度法、模糊概率法等。模糊综合评判法是根据各污染的超标情况进行加权,但污染物毒性与浓度不成简单的比例关系,这种加权方法不一定符合实际;隶属函数的选择也仍在探讨中。但就目前的研究水平而言,此法发展得较成熟,评价结果切合实际,不失为较佳选择。Hamming 贴近度法用 Hamming 距离的概念描述两个模糊子集之间的靠近程度。模糊概率综合评价法将经典的指数法与模糊数学方法结合起来,模糊综合指数法将概率统计与模糊数学结合起来,这些方法的应用前景也是非常好的。

灰色理论应用于水质评价是一个较新的发展方向。灰色评价法也是“加权平均型”的综合评价法,信息利用率和精度都较高。在灰色聚类法基础上,又有人提出了灰色关联度法和灰色模式识别模型。冯玉国运用广义加权距离建立了灰色理论模型,使灰色理论的应用日益进步。而黄璋等提出的距离聚类法和模糊聚类法有许多新意但还不成熟,探讨还有待深入;信息论法

试图将信息量的计算与交流等引入水质评价领域,但在目前其模式的物理意义不太明确。

总的来讲,综合指数法抓住了水质分级、水体质量变化的不确定性,更贴近水体质量评价的本质,优于前类模式,有广阔的应用前景,适于作深入的水质研究。

2 水质评价合理模式与今后发展趋势的讨论

2.1 水环境质量评价的目的是为政府水环境质量管理目标的实现提供管理工具和决策支持。因此,如何针对水域的具体情况,选择有代表性的评价参数及监测项目,使评价能较真实地、准确地反映客观实际,而参数选取不能太多以致计算过于复杂,仍是今后需继续研究的问题。另一方面,评价模式的开发,还应考虑到两方面的要求:应考虑到环境标准的发展,应当考虑到政府根据社会、经济和科学技术的发展,不断提出与之相适应的环境管理目标的要求。因此,良好的方法应是模式本身的灵活性与可持续开发性相统一,以适应评价为决策管理服务之功能。

2.2 鉴于水环境系统自身存在着模糊性、灰色性以及水质监测结果存在的随机特征,对水资源水质进行随机分析、模糊分析和灰色分析有其充分的思想理论基础。概率统计法、灰色聚类法等方法将继续深入研究使之日趋成熟,使之成为水质评价的有力工具。

2.3 计算机和通讯技术的迅猛发展,使快速、准确、系统、直观地评价预报水环境质量与水污染源、水环境质量随时间变化等更接近真实状况下的水污染状况和进行动态数据交换成为可能。因此,深入研究和完善概率评价方法及发展利用地理信息系统(GIS)作为数据库的可视化载体是今后应重点努力的方向。

2.4 水环境质量评价的准确性、可靠性及问题本身的不确定性和高度非线性性,是对现有理论、结构、方法

(下转第 9 页)

表 7 白化函数值表

测 点	月份	SO ₂				NO _x				TSP			
		一级	二级	三级	四级	一级	二级	三级	四级	一级	二级	三级	四级
电力 管理站	1 月	4 00	3 11	2 60	2 07	4 00	3 22	2 72	2 15	0 00	0 00	1 84	3 54
	4 月	4 00	3 02	2 52	2 01	4 00	3 23	2 73	2 15	0 00	0 00	4 00	3 00
	7 月	4 00	3 32	2 79	2 19	4 00	3 18	2 68	2 12	0 53	3 93	3 34	3 06
	10 月	4 00	3 14	2 63	2 08	4 00	3 21	2 71	2 14	2 67	3 67	3 10	2 40
建工技校	1 月	4 00	3 31	2 78	2 18	2 80	3 65	3 06	2 43	0 00	0 00	3 36	3 16
	4 月	4 00	3 23	2 71	2 14	4 00	3 38	2 88	2 25	0 00	0 00	2 08	3 48
	7 月	4 00	3 07	2 57	2 04	4 00	3 35	2 85	2 23	0 00	3 40	3 49	2 66
	10 月	4 00	3 32	2 79	2 19	4 00	3 22	2 72	2 15	2 13	3 73	3 49	2 44

3 结论

3 1 修正后的灰色系统聚类法已克服了常规灰色系统聚类法在环境质量评价中由于某一污染物严重超标而引起的评价结果产生很大偏差的缺点,使得灰色系统聚类法更适于环境质量评价工作。

3 2 修正后的灰色系统聚类法仍保持常规灰色系统聚类法评价结果的客观性和合理性的优点。因为环境质量级别的差异在中介过渡时,必然显现出亦此亦彼性,而没有严格的绝对分明的界限,只是随着污染物浓度的增加逐步引起环境级别质上的变化,而灰色系统聚类模型的评价结果正是反映某环境质量属于各个环境级别的隶属度。

3 3 修正后的灰色系统聚类法在评价海安县城镇大气环境中较好地符合实际情况:在灰色系统聚类评价

价修正模型的评价过程中,可以发现各级环境质量中的隶属度都含有很大的 TSP 白化函数贡献值,与海安县城镇大气污染的首要问题是 TSP 污染问题的实际情况相符合。

3 4 修正后的灰色系统聚类法对于三个以上指标的环境质量评价,也能体现出该方法的优点。对复合污染物采用多因子综合评价,聚类权重参照各因子的明显危害浓度阈值^[4]进行确定。

4 参考文献

- 1 卢崇飞. 环境数理统计学应用及程序. 高等教育出版社, 1988, 54
- 2 劳期团. 环境污染灰色聚类法. 环境科学研究, 1998, 3(1): 6
- 3 海安县环境年鉴. 1997, 66
- 4 大气环境标准工作手册. 国家环保局科技标准司, 1996, 261~ 298

× × × × × × × × × × × × × × × × × × × × ×

(上接第 3 页)

和层次的极大挑战。人工神经网络是 80 年代迅速崛起的一门非线性科学,它力图模拟人脑的一些特征,如自适应性、自组织性和容错能力等,来对事物进行分析判断的一种计算技术,已在医疗诊断、自动控制领域取得了较好的应用效果。在水质评价领域的应用,国内也有刘国东等人进行了初步的尝试。由于人工神经网络模拟人类的思维方式,对事物的判断、分类不需要预先建立某种模式,只根据事物的本质特征,采用直观的推理判断,使评价结果更具客观性,精度也较好。因此,这种新方法值得进一步深入研究,笔者所在课题组也正在从事这方面的研究。

3 结束语

水环境质量评价作为掌握环境状况和环境管理的基础,除了应针对具体问题展开工作外,尚需充分注意到以下三方面: (1) 国家、地方环境法规、标准和管理目标的要求; (2) 计算机与通讯技术的迅猛发展; (3) 计算技术、地球空间技术和计算机图形技术的最新动向与成果等,对今后评价方法和学科发展的深刻影响。而发展快速、准确、系统、直观、实时的评价方法尚有大量亟待研究的问题。

Analysis and Development of Water Quality Evaluation Method

Guo Jinsong, Wang Hong, Long Tengrui

(Faculty of Urban Construction, Chongqing Jianzhu University, Chongqing 400045)

Abstract This paper classifies and analyses many water quality evaluation methods. A rational evaluation model is recommended. The paper also points out the development direction and trend in the future.

Key words: Water quality evaluation, Mathematical model