

模糊数学法在区域环境影响评价中的应用研究

史聆聆 鞠美庭 李智 陈敏

(南开大学环境科学与工程学院 天津 300071)

摘要: 本文通过对环境质量指标的综合分析,确定了模糊综合评价方法,并将其应用到某区域环境质量评价中。结果表明,该方法较传统的方法能提供更多的信息,从而提高了评价结果的科学性。

关键词: 模糊数学 综合评价 环境质量

Application of regional Environmental Impact Assessment with fuzzy mathematics method

SHI Ling-ling JU Mei-ting LI Zhi CHEN Min

(College of Environmental Science and Engineering, NanKai University, Tianjin 300071)

Abstract: This paper analyzes environmental quality index, confirms fuzzy comprehensive evaluation method, and applies it to regional environmental quality assessment. The results reveal that this method can provide more information than the traditional methods, and make the assessment conclusion more scientific.

Key words: Fuzzy mathematics; Comprehensive evaluation; Environmental quality

1.引言

环境影响评价是强化环境管理的有效手段,对确定经济发展方向和保护环境等一系列重大决策起重要作用。但是,人类活动对环境系统的影响极为复杂。首先,环境系统领域中存在大量具有模糊性质的事物、现象或概念等。例如环境影响的“大”与“小”、污染物浓度的“高”与“低”、方案的“优”与“劣”等均无法用确定的界限加以划分^[1];其次,传统的环境质量评价方法大都采用综合指数法,在选定评价因子后,根据各评价因子的监测值和环境质量标准的某一级标准值相比较计算单因子指数,再按一定方法计算环境质量综合污染指数,依综合污染指数数值的大小人为地进行环境质量分级,评价环境质量状况是清洁、轻污染、还是严重污染,这种方法具有一定的主观性;再次,影响因子与环境因素之间的因果关系以及影响因子与影响因子之间的相互影响均十分复杂,在影响的识别和度量上存在模糊性;最后,经过各种单项及综合运算之后,对环境影响给出一个结论,但由于环境质量的变

化是连续的，因此，对环境影响的评价结论也存在模糊性。

模糊数学把数学的应用范围从精确现象扩展到模糊现象，吸取了人脑识别和判断问题的模糊特点，利用隶属程度来描述差异的中介过渡状态，为处理带有模糊性（模糊概念、模糊信息、人的经验、偏好和信念）的决策问题提供了有实用价值的手段，为区域环境综合整治提供以水、大气、环境噪声等三个环境因素的总体环境质量评价的依据，从而提高了评价结果的科学性。本文试用模糊数学方法，在单因素环境质量评价的基础上，对总体环境质量综合评价的探讨，并以某区域为例，对该区域大气、地表水和噪声的测定资料进行模糊综合评价，供讨论。

2.模糊综合评价原理

目前环境影响模糊评价主要包括：单因子模糊评价、多级模糊综合评价和模糊关系方程与模糊逻辑等。其中单因子模糊评价程序较为简单，应用也较为广泛。多级模糊综合评价是先对初级水平因素进行评价，然后按层次由低向高逐级进行综合评价，最后给出各级评价的综合结论。但这两种方法均存在一些缺陷，有人将模糊综合评判与经典大气质量综合指数法的优点相结合，得到改进的多级模糊评价。模糊关系方程与模糊逻辑在国外应用较为广泛。下面是模糊综合评价的基本原理概述^[2]。

设某个环境因素有 n 个因子，由 n 个因子构成评价因子集 u ，则 $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ，通常各个因子的重要程度不一样，因此，对每个因子 u_i 赋予一个相应的权值 a_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 构成权重集：

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

$$\text{且 } \sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad a_i \geq 0$$

又设 m 个评价等级构成普通评价集：

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_m\}$$

元素 V_j ($j = 1, 2, \dots, m$) 是各种可能的评价结果，可以是模糊的，也可以是明确的，但它们相对于 V 关系是明确的。

从一个因子 u_i 出发进行评价，以确定评价对象对评价集元素 V_j 的隶属程度 r_{ij} ，称为单因子模糊评价。对第 i 个因子 u_i 评价的结果 R_i 称为单因子模糊评价集，它是 V 上的一个模糊子集。

$$\tilde{R}_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$$

那么将各单因子评价集作为行，可得到单因子评价矩阵：

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

单因子模糊评价仅能反映一个因子对评价对象的影响，未能反映所有因子的综合影响。

所以，必须综合考虑所有因子的影响，单因素模糊评价即可表示为：

$$\tilde{B} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = (a_1, a_2, \dots, a_n) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (1)$$

$$b_j = \bigvee_{i=1}^n (a_i \wedge r_{ij}) \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

式(2)中，“ \wedge ”、“ \vee ”分别为“取小”算子、“取大”算子。

设某个环境有 L 个环境因素，由其构成总体环境质量综合评价因素集 U ， $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$ ， L 个环境因素的权重 $\tilde{X} = (X_1, X_2, \dots, X_L)$ ，若确定了模糊矩阵 \tilde{R} ，

于是总体环境质量模糊综合评价模型为：

$$\tilde{Y} = \tilde{X} \circ \tilde{R} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m) \quad (3)$$

式(3)中： \tilde{Y} 为区域环境质量综合评价结果； \tilde{X} 为因素权重集； \circ 为复合运算符号； \tilde{R} 是由单因素综合评价结果构成的总体环境质量综合评价的模糊矩阵，如果有 L 个环境因素，应分别对单个因素环境质量模糊综合评价后，由 L 组模糊综合评价结果组成。

3.应用实例

现以某地区为例说明模糊综合评价的应用。表 1 所示的是该地区的环境指标的监测值，包括地表水、大气和昼间噪声三种环境因素。因此，可设立该区域总体环境质量评价因素集 U ， $U = \{\text{地表水、大气、昼间噪声}\}$ 。

表 1 某区域环境指标的监测值

环境因素	环境指标统计均值			
	大气 (mg/m ³)		PM ₁₀	SO ₂
		0.082	0.025	0.022
地表水 (mg/L)	COD _{cr}	石油类	氨氮	BOD ₅

	95	0.25	6.00	15.05
噪声 (dB)	道路 1	道路 2	道路 3	区域环境
	77.1	72.4	78.6	54.0

根据各环境因素的监测指标,可以得到单要素的评价集,包括:大气的环境因子集 $u_1 = \{\text{总悬浮颗粒、} PM_{10}、SO_2、NO_x\}$;地表水的环境因子集 $u_2 = \{COD_{cr}、\text{石油类、氨氮、} BOD_5\}$;该区域周围被道路所包围,故其噪声的因子集 $u_3 = \{\text{道路1、道路2、道路3、区域环境}\}$ 。分别将大气、地表水、昼间噪声环境质量划分为 5 个等级,构成各自的评价集。

3.1 单因素评价

3.1.1 建立评价集。本文只选取了某区域三个重要的环境因素:大气、地表水和噪声,并把环境质量分成 5 个等级:清洁、尚清洁、轻污染、中污染和重污染。表 2 列出了各项因子不同等级对应的限值。

表 2 环境质量分级^[3]

因素	因子	清洁	尚清洁	轻污染	中污染	重污染
		1	2	3	4	5
大气 (mg/m ³)	PM ₁₀	0.050	0.150	0.350	0.420	0.500
	SO ₂	0.050	0.150	0.800	1.600	2.100
	NO _x	0.080	0.120	0.280	0.565	0.750
地表水 (mg/L)	COD _{cr}	15	15	20	30	40
	石油类	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0
	氨氮	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0
	BOD ₅	3	3	4	6	10
噪声 (dB)	道路 1	50	60	70	80	90
	道路 2	50	60	70	80	90
	道路 3	50	60	70	80	90
	区域环境	25	35	45	55	65

3.1.2 建立隶属函数。环境污染程度是一个模糊的概念,环境质量分级也是模糊的,用隶属函数来划分界限,相对其他方法来说较为合理。

$$r_{i1} = \begin{cases} 1 & C_i < S_{i1} \\ \frac{C_i - S_{i1}}{S_{i2} - S_{i1}} & S_{i1} \leq C_i \leq S_{i2} \\ 0 & C_i \geq S_{i2} \end{cases} \quad (4)$$

$$r_{ij} = \begin{cases} 1 & C_i \leq S_{ij-1}, C_i \leq S_{ij+1} \\ \frac{C_i - S_{ij-1}}{S_{ij} - S_{ij-1}} & S_{ij-1} < C_i < S_{ij} \\ \frac{C_i - S_{ij+1}}{S_{ij+1} - S_{ij}} & S_{ij} < C_i < S_{ij+1} \end{cases} \quad (5)$$

$$r_{i5} = \begin{cases} 0 & C_i = S_{i4} \\ \frac{C_i - S_{i4}}{S_{i5} - S_{i4}} & S_{i4} < C_i \leq S_{i5} \\ 1 & C_i > S_{i5} \end{cases} \quad (6)$$

式(4)~(6)中, C_i 为第 i 种因子实测浓度值; S_{ij} 为第 i 种因子第 j 级标准值。

根据公式(4)~(6), 可以计算出各因子相对于各自评价集的隶属度。表3~表5分别列出了大气、地表水以及噪声相对于各自环境质量分级(即单因子环境评价集)的隶属度。

表3 某区域大气环境中各污染因子的隶属度与权重

因子	隶属度					权重	归一化权重
	1	2	3	4	5		
PM ₁₀	0.68	0.32	0	0	0	0.2789	0.7604
SO ₂	1	0	0	0	0	0.0266	0.0725
NO _x	1	0	0	0	0	0.0613	0.1671

表4 某区域地表水环境中各污染因子的隶属度与权重

因子	隶属度					权重	归一化权重
	1	2	3	4	5		
COD _{cr}	0	0	0	0	1	3.96	0.2946
石油类	0	0	0.56	0.44	0	0.7576	0.0564

氨氮	0	0	0	0	1	5.83	0.4338
BOD ₅	0	0	0	0	1	2.89	0.2150

表 5 某区域噪声环境中的隶属度与权重

因子	隶属度					权重	归一化权重
	1	2	3	4	5		
道路 1	0	0	0.29	0.71	0	1.10	0.2444
道路 2	0	0	0.76	0.24	0	1.10	0.2444
道路 3	0	0	0.14	0.86	0	1.10	0.2444
区域环境	0	0	0.10	0.90	0	1.2	0.2667

3.1.3 计算权重。各因子权值计算可采用式 (7)。

$$a_i = \frac{c_i}{s_i} \quad (7)$$

$$s_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij} \quad (8)$$

式 (8) 中 s_i 为多级浓度标准值的平均值, s_{ij} 为第 i 种污染物第 j 级的标准值。表 3 ~ 表 5 分别列出了该区域大气、地表水以及噪声因子的权重以及归一化权重。

3.1.4 单因素评价结果

按照单因素评价公式 (1), 进行大气、地表水和噪声的单因子评价, 结果如下:

$$B_{\text{大气}} = (0.7604, 0.0725, 0.1671) \begin{bmatrix} 0.68 & 0.32 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = (0.68, 0.32, 0, 0, 0)$$

同理可得:

$$B_{\text{地表水}} = (0, 0, 0.0564, 0.0564, 0.4338)$$

$$B_{\text{噪声}} = (0, 0, 0.2444, 0.2667, 0)$$

由上述计算结果表明, 该区域的大气环境属于清洁型, 地表水环境受到重污染, 噪声也受到中度污染。但地表水环境对轻污染和中污染的隶属度均为 0.0564, 出现此种现象的原因可能是由于在计算中使用“ \wedge ”(取小)“ \vee ”(取大)算子, 突出了极值的作用, 导致部分信息丢失。

3.2 模糊综合评价

进行模糊综合评价,首先应当建立起各要素(因子)之间的权重关系。本文采用公式计数法进行要素赋权,公式^[4]如下:

$$A = \sqrt{\frac{\max(\frac{C_i}{S_{i3}}) + (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_{i3}})^2}{2}} \quad (9)$$

式(9)中 $\max(\frac{C_i}{S_{i3}})$ 为最大超标项的超标倍数。

依据表1和表2的数据计算,得出的A经过归一化处理后,得到各环境因素的权重为:

$$A = (A_1, A_2, A_3) = (0.066, 0.726, 0.208)$$

将单因素评价结果对五个质量等级的隶属度依次排列,得出矩阵R:

$$R = \begin{bmatrix} 0.68 & 0.32 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0564 & 0.0564 & 0.4338 \\ 0 & 0 & 0.2444 & 0.2667 & 0 \end{bmatrix}$$

考虑到三个环境因素的影响程度不同,采用模糊综合评价模型可得:

$$M = A \circ R = (0.066, 0.066, 0.208, 0.208, 0.4318)$$

由上述评价结果可知,隶属度最大的是0.4318,表明该区域的环境受到严重污染。

4. 结语

多级模糊综合评价方法相对于传统的环境影响评价方法具有一定合理性和科学性,但是如果隶属函数建立不当,权重函数设置不合理,也会造成评价结果不准确。因此,运用模糊综合评价方法需要慎重。

参考文献

- [1] 马风才.项目环境影响模糊评价理论与应用研究.博士学位论文
- [2] 奚旦立.环境监测.北京:高等教育出版社,1995
- [3] 姜宏.空气质量和空气污染指数.中国计量,2003(5)
- [4] 刘绮.广义模糊综合二级评判方法在区域环评中的应用.辽宁城乡环境科技,1999(2)

作者简介:史聆聆(1981—),女,河南信阳人;南开大学环境科学与工程学院在读研究生,主要从事环境规划管理与环境影响评价方面的研究。

联系方式:南开大学环境科学与工程学院,300071;

TEL:(022)23506446

Email:nkaspla@hotmail.com