· 解析评价 ·

doi: 10.3969/j.issn.1674-6732.2013.06.012

未确知测度模型在城市环境空气质量评价中的应用

李力争[1], 李淑民[1], 张晓郁[1], 赵立娜[2]
(1. 唐山市环境监测中心站, 河北　唐山　063000; 2. 唐山市曹妃甸新区环境保护局, 河北　唐山　063000)

摘　要: 基于环境空气的信息不确定性特点, 运用未确知数学理论, 建立了城市环境空气质量评价的未确知测度模型。根据未确知测度的大小, 确定样本所属的质量级别及样本间的优劣排序。以唐山市为例, 运用所建模型对其环境空气质量状况进行了评价。研究表明, 未确知测度模型对于多指标的城市空气质量评价, 理论上是可行的, 结果是可信的。

关键词: 未确知测度; 空气质量; 综合评价
中图分类号: X823　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1674-6732(2013)-06-0038-04

The Application of Uncertain Measure Model in the Air Quality Appraisal of Urban Environment

LI Li-zheng[1], LI Shu-ming[1], ZHANG Xiao-yu[1], ZHAO Li-na[2]
(1. Tangshan Environmental Monitoring Central Station, Tangshan, Hebei 063000, China; 2. Caofeidian New District Environmental Protection Bureau of Tangshan, Tangshan, Hebei 063000, China)

ABSTRACT: Based on the information uncertainty of air environment, the uncertain measure model in the air quality appraisal of urban environment is established with uncertain math theory. The model will determine the mass level and quality of selected samples according to the uncertainty. The model was applied to appraise the air quality in Tangshan as an example. The example analysis indicated that the multi-object air quality appraisal of urban environment using the uncertain model is theoretically feasible and the measured results are credible.

KEY WORDS: unknown measure weight; air quality; comprehensive assessment

目前, 环境空气质量的评价方法主要有数理统计法和质量指数法。这些方法的特点是简明扼要, 可综合概括总环境质量, 但其缺点是无法在同一等级环境空气质量下对空气质量优劣作出判断。近年来, 有学者将未确知测度理论应用于环境质量评价中, 提出采用未确知测度模型综合评价方法评价环境质量[1-4], 克服了以往在环境质量综合评价中, 由于模糊集的"取大"、"取小"运算造成的信息损失, 应用确定污染指标权重的新方法, 使评价分级更合理。基于环境空气的信息不确定性特点, 运用未确知数学理论, 建立了城市环境空气质量评价的未确知测度模型。根据未确知测度的大小, 确定样本所属的质量级别及样本间的优劣排序。该方法还可用于区域内不同环境监测点或者不同的区域环境之间大气环境质量的优劣评价比较。

1　未确知测度评价模型

设某评价对象 X 有 n 个, 则评价对象空间 $X = (\chi_1, \chi_2, \cdots, \chi_n)$。对于每个评价的对象 $x_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 有 m 个单项评价指标空间, 即 $I = \{I_1, I_2, \cdots, I_m\}$, 则 x_i 可表示为 m 维向量 $\chi_1 = (\chi_{i1}, \chi_{i2}, \cdots, \chi_{im})$, 其中, χ_{ij} 表示研究对象关于评价指标 I_j 的测量值。对于每个子项 $\chi_{ij} (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$, 假设有 P 个评价等级 $(c_1, c_2, \cdots, c_p)$, 则评价空间记为 U, 则有 $U = (c_1, c_2, \cdots, c_p)$。设 $c_k (k = 1, 2, \cdots, p)$ 为第 k 级评价等级, 且 k 级比 $k+1$ 级膨胀等级"高", 记为 $c_k > c_{k+1}$。若满足 $c_1 > c_2 > \cdots > c_k$, 则称 $(c_1, c_2, \cdots, c_p)$ 是评价空间 U 的一个有序分割类[5]。

收稿日期: 2012-06-01; **修订日期:** 2013-07-02
作者简介: 李力争(1954—), 男, 高级工程师, 大学, 从事环境监测与环境规划工作。

1.1 单指标未确知测度评价矩阵

令 $\mu_{ijk} = \mu(\chi_{ij} \in c_k)$，表示测量值 χ_{ij} 属于第 k 个评价等级和 c_k 程度，且要求满足：

$$0 \leqslant \mu(\chi_{ij} \in c_k) \leqslant 1,\ i = 1,2,\cdots,n;\ j = 1,2,\cdots,m; k = 1,2,\cdots,p \tag{1}$$

$$\mu(\chi_{ij} \in U) = 1,\ i = 1,2,\cdots,n; j = 1,2,\cdots,m \tag{2}$$

$$\mu(\chi_{ij} \in \bigcup_{l=1}^{k} c_l) = \sum_{l=1}^{k} \mu(\chi_{ij} \in c_l),\ k = 1,2,\cdots,p \tag{3}$$

式(1)称为“非负有界性”，式(2)称为“归一性”，式(3)称为“可加性”。其中“归一性”和“可加性”这两条十分重要，因为不满足“归一性”和“可加性”的度量结果在理论上是不可信的。满足式(1)~(3)称为未确知测度，简称测度。称矩阵为单指标测度评价矩阵，且有：

$$(\mu_{ijk})_{m\times p} = \begin{bmatrix} \mu_{i11} & \mu_{i12} & \cdots & \mu_{i1p} \\ \mu_{i21} & \mu_{i22} & \cdots & \mu_{i2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{im1} & \mu_{im2} & \cdots & \mu_{imp} \end{bmatrix},\ i = 1,2,\cdots,n \tag{4}$$

该矩阵的第 j 个行向量 $(\mu_{j1}, \mu_{j2}, \cdots \mu_{jp})$ 为 χ_{ij} 的单指标测度评价向量。

1.2 指标权重

设 W_i 表示测量指标 I_j 相对其他评价指标重要程度，要求 W_i 满足：

$$0 \leqslant W_i \leqslant 1, \sum_{i=1}^{m} W_i = 1 \tag{5}$$

称 W_i 为 I_j 的权重，称向量 $W_i = (w_1, w_2, \cdots, w_m)$ 为指标权重向量，根据熵确定权重值，定义熵值：

$$W_i = 1 + (1/\mathrm{Log}K) \sum_{k=1}^{K} \mu_{ijk} \mathrm{Log} \mu_{ijk} \tag{6}$$

式中：K——评价级别项目；μ_{ijk}——单属性测度。W_i 的大小反映 I_j 重要程度。因此定义 I_j 属性的权重 W_{ij} 为：

$$W_{ij} = \mu_{ij} / \sum_{j=1}^{m} \mu_{ij},\ j = 1,2,\cdots,m; i = 1,2,\cdots,n \tag{7}$$

式中：m——参与评价的属性数目，每个指标中 m 个属性权重之和为1。因矩阵(4)已知，可由(6)(7)求出各指标权重 W_{ij}。由已知属性权重 W_{ij} 和单属性测度矩阵 μ_{ijk}，可得到多属性 $0 \leqslant \mu(\chi_{ij} \in c_k) \leqslant 1$，综合测度 μ_{ik}。

1.3 多指标未确知测度评价矩阵

令 $\mu_{ik} = \mu(\chi_i \in c_k)$ 为评价样本 x_i 属于第 k 个评价等级 c_k 的程度，则有

$$\mu_{ik} = \sum_{j=1}^{m} w_j \mu_{ijk},\ i = 1,2,\cdots,n; k = 1,2,\cdots,p \tag{8}$$

由于 $0 \leqslant \mu_{ik} \leqslant 1$，并且

$$\sum_{k=1}^{p} \mu_{ik} = \sum_{k=1}^{p} \sum_{j=1}^{m} W_j \mu_{ijk} = \sum_{j=1}^{m} \left(\sum_{k=1}^{p} \mu_{ijk} \right) W_j = 1$$

所以 μ_{ijk} 是未确知测度，称矩阵为目标综合测度评价矩阵，称 $(\mu_{i1}, \mu_{i2}, \cdots, \mu_{ip})$ 为 x_i 的多指标未确知测度评价向量。称矩阵

$$(\mu_{ik})_{n\times p} = \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \cdots & \mu_{1p} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \cdots & \mu_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{n1} & \mu_{n2} & \cdots & \mu_{np} \end{bmatrix} \tag{9}$$

为多指标未确知测度评价矩阵。

1.4 置信度识别准则

因 $\{R_1, R_2, \cdots, R_P\}$ 是评价空间 U 的一个有序分割类，这时最大隶属识别准则不适用。为此采用置信度准则：设 λ 为置信度，取值范围通常为 $\lambda > 0.5$，常取 $\lambda = 0.6$ 或 0.7，当 $R_1 > R_2 > \cdots > R_P$ 时，其识别模型为：

$$k_i = \min\left\{k : \sum_{s=1}^{k} v_{is}(R_i) \geqslant \delta, 1 \leqslant k \leqslant p\right\} \tag{10}$$

取 k 值直到满足上式，则认为 φ_i 属于 k_i 类或 R_{ki} 级别。

1.5 评价结果识别排序

根据综合测度矩阵 μ_{ik}，对评价对象 $\chi_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 进行识别和排序。由于评价类别 $\{c_1, c_2, \cdots, c_k\}$ 的有序性，用最大测度识别 χ_i 的类别是不合理的，因此引入置信度识别准则。

若 $\{c_1, c_2, \cdots, c_k\}$ 满足 $C_i > C_{i+1} (i = 1,2,\cdots, k-1)$，对置信度 $\lambda (0.5 < \lambda \leqslant 1)$ 计算：

$$K_i = \min\{K: \sum_{l=1}^{K} \mu_{il}(C_1)\} \geq \lambda,\quad 1 \leq k \leq K \tag{11}$$

则认为χ_i 属于 c_{ki}类,从而可以确定χ_i 的评价标准等级。为了对χ_i 排序,用下述评分准则计算:

$$q_{xi} = \sum_{k=1}^{k} n_k \mu_{ijk}(c_k) \tag{12}$$

$$(\mu_3)_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0.85 & 0.15 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(\mu_4)_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.367 & 0.633 & 0 \\ 0 & 0.95 & 0.05 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

当 $c_1 > c_2 > \cdots > c_k$ 时,n_k 可按公差为 -1 的等差数列取值,根据分值 q_{xi}的大小对χ_i 进行比较排序,使得χ_i 指标评价分级更精确、更合理。

2 应用实例

根据《唐山市环境质量报告书(2006—2010年)》中的数据[6],利用依据未确知测度理论建立的未确知测度评价模型,对唐山市近 5 年的城市环境空气质量进行综合评价。表 1 是唐山市 2006—2010 年环境空气中污染物监测数据,表 2 为评价标准。

表 1　环境空气污染物监测数据　　mg/m³

评价样品	评价指标				
	PM_{10}	SO_2	NO_2	CO	O_3
χ_1(2006)	0.089	0.078	0.043	3.31	0.044
χ_2(2007)	0.082	0.071	0.047	3.81	0.053
χ_3(2008)	0.082	0.066	0.031	3.85	0.057
χ_4(2009)	0.078	0.062	0.031	3.62	0.054
χ_5(2010)	0.084	0.057	0.029	3.77	0.051

表 2　环境空气质量评价标准

评价属性 I_j	评价等级		
	一级	二级	三级
$I_1:PM_{10}$	0.04	0.10	0.15
$I_2:SO_2$	0.02	0.06	0.10
$I_3:NO_2$	0.04	0.08	0.08
I_4:CO	4.00	4.00	6.00
$I_5:O_3$	0.16	0.20	0.20

2.1 建立单属性测度矩阵

依据表 1、表 2 和(4)式求得χ_i 的单指标未确知测度评价矩阵χ_{ij}:

$$(\mu_1)_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.183 & 0.817 & 0 \\ 0 & 0.55 & 0.45 \\ 0 & 0.925 & 0.075 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(\mu_2)_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.7 & 0 \\ 0 & 0.725 & 0.275 \\ 0 & 0.825 & 0.175 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(\mu_5)_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.267 & 0.733 & 0 \\ 0.075 & 0.925 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2 属性权重的确定

根据公式(6)(7)确定评价指标χ_i($I = 1,2,3,4,5$)的属性权重向量:

$W_{1j} = (0.153,0.101,0.206,0.270,0.270)$

$W_{2j} = (0.127,0.133,0.166,0.287,0.287)$

$W_{3j} = (0.110,0.152,0.246,0.246,0.246)$

$W_{4j} = (0.095,0.194,0.237,0.237,0.237)$

$W_{5j} = (0.112,0.180,0.236,0.236,0.236)$

2.3 综合测度评价矩阵

根据(9)式,求得多属性综合测度评价矩阵 μ_{ik} 为:

$$(\mu_{ik})_{5\times3} = \begin{bmatrix} 0.568 & 0.371 & 0.061 \\ 0.612 & 0.322 & 0.066 \\ 0.771 & 0.206 & 0.023 \\ 0.746 & 0.244 & 0.01 \\ 0.751 & 0.249 & 0 \end{bmatrix}$$

2.4 评价结果

根据 μ_{ik} 和公式(11),确定 $\lambda = 0.6$,χ_i 属于 c_{ki} 类,从而判定所分析因子 $\chi_i(I = 1,2,3,4,5)$ 所属的评价标准等级。

χ_1:$0.568 + 0.371 > 0.6, K = 2$

χ_2:$0.612 > 0.6, K = 1$

χ_3:$0.771 > 0.6, K = 1$

χ_4:$0.746 > 0.6, K = 1$

χ_5:$0.751 > 0.6, K = 1$

可见,χ_1 评为二级标准;其他均为一级标准,但略有差异。

将环境空气质量标准 C_1、C_2、C_3 进行评分,$n_1 = 3, n_2 = 2, n_3 = 1$

代入(12)式求得评价指标排序为:

$q_{xi}(i = 1,2,3,4,5) = (2.507, 2.546, 2.748, 2.736, 2.751)$,其环境质量由好到差排序为:$\chi_5 > \chi_3 > \chi_4 > \chi_2 > \chi_1$。

2.5 评价结果分析

根据以上数据,利用未确知测度评价法与姚氏综合指数法评价唐山市城市环境空气质量结果比较见表3,表明两种评价方法获得的结果基本相符。由评价结果可知:唐山市城市环境空气质量除2006年处于二级水平外,其他年份均处于一级水平,与唐山市城市环境空气质量实际相符。从实测值看,唐山市城市环境空气中主要污染物 PM_{10} 始终接近二级水平,SO_2 呈下降趋势,从接近三级水平下降到接近二级水平,城市环境空气质量略有好转。

表3 两种综合评价方法结果比较

评价对象	未确知测度评价法		姚氏综合指数法	
	分值	等级	综合污染指数	环境质量水平
χ_1	2.507	二级	1.059	中污染
χ_2	2.546	一级	1.018	中污染
χ_3	2.748	一级	0.931	轻污染
χ_4	2.736	一级	0.882	轻污染
χ_5	2.751	一级	0.840	轻污染
排序	$\chi_5 > \chi_3 > \chi_4 > \chi_2 > \chi_1$		$\chi_1 > \chi_2 > \chi_3 > \chi_4 > \chi_5$	

需要注意的是,利用未确知测度评价法评价2007年数据时,其分值为2.546,等级为一级;用姚氏综合指数法评价时环境质量水平为中污染。究其原因,主要是该方法注意了评价空间的“有序性”,给出了比较合理的排序、置信度识别准则和排序评分准则,这是其他综合评价方法所欠缺的。

3 结语

由于环境质量评价的对象空间是“有序”的,因此,建立在未确知测度空间基础上的未确知测度评价更适合于环境质量综合评价。研究表明,未确知测度评价模型是城市环境空气质量综合评价的简单而实用的模型。

[参考文献]

[1] 刘开第,庞彦军,孙光勇.城市环境质量未确知测度[J].系统工程与实践,1999(12).

[2] 余健,余丽萍,朱嘉,等.基于未确知测度理论的高速公路交通安全气象影响评价体系[J].气象科技,2007(6).

[3] 刘哲,张江山,许丽忠,等.山仔水库周边乡镇生态质量未确知测度评价[J].环境科学与技术,2006(10).

[4] 史飞,严力蛟.未确知测度模型在城市生态系统健康评价中的应用研究[J].科技通报,2007(4).

[5] 北京:李祚泳,丁晶,彭荔红,等.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社.

[6] 唐山市环境质量报告书(2006—2010年)[Z].