

· 解析评价 ·

doi:10.3969/j.issn.1674-6732.2010.01.011

基于 AHP 的密闭环境空气质量评价模型及其应用

张文渊, 陈建华, 贾铭椿, 张 凯

(海军工程大学船舶与动力学院, 湖北 武汉 430033)

摘要:针对指数法在评价密闭环境空气质量中存在评价因素单一,不能反映多种污染物对空气环境质量的综合影响等缺点,结合模糊数学的原理与方法,对密闭环境空气质量进行评价。采用层次分析法赋权,按最大隶属原则,通过模糊数学模型对某密闭环境空气质量进行综合评价,评价结果较科学地反映了空气质量的真实状况。

关键词:空气质量;密闭环境;模糊数学法;层次分析法

中图分类号:X823

文献标识码:A

文章编号:1674-6732(2010)-01-0044-03

AHP - based Closed Environment Air Quality Assessment Model and its Application

ZHANG Wen-yuan, CHEN Jian-hua, JIA Ming-chun, ZHANG Kai

(College of Naval Architecture and Power, Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033, China)

ABSTRACT: Exponential approach to closed environment air quality assessment in most cases, is incapable of portraying the overall impact of multi - pollutants on air quality in closed environment air quality assessment due to the simplicity of the assessment factors involved. A fuzzy approach with the analytic hierarchy process and maximum membership grading, was applied to the assessment of the air quality in closed environment. It's concluded that the outcome from the assessment had truly portrayed the real conditions of the air quality.

KEY WORDS: air quality; closed environment; fuzzy math method; analytic hierarchy process (AHP)

密闭环境空气质量评价是按一定的评价标准和评价方法对某封闭区域的空气质量进行分析、评价和预测。目前,空气质量评价方法很多,常用的是综合污染指数法和专家打分评价法^[1]。但是在各种情况的评价过程中,由于评价因素较多,没有明确的指标,从而使评价带有某种倾向,不具有客观性,使综合评价结果具有一定的偏差。特别是在实际密闭环境中,人类活动和设备运行对密闭环境空气质量的影响较为复杂,综合效应难以确定。为得到合理的空气环境质量评价结果,近年来人们越来越多地引入模糊理论来处理这种过渡性的渐变问题^[2]。运用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 来确定各因素的权重,建立模糊综合评价的模型,从而得到更具客观性的评价结果^[3]。

1 模糊数学模型的建立

1.1 建立评价空间,确立评价集和因素集

(1) 建立评价对象的因素集合 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。

(2) 建立评价集合 (评价标准分级集合) $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 。

(3) 找出因素集合 U 和评价集合 V 之间的模糊关系矩阵 $R: U \times V \rightarrow [0, 1]$, 于是 (U, V, R) 构成一个综合评价空间。

1.2 单因子评价, 确定隶属矩阵 R

对因素集的监测结果向量 (x_1, x_2, \dots, x_n) 须首先确定每一因子对各级标准的隶属度, 然后构造隶属矩阵 R 。设环境空气质量分为 m 个级别, 则 $V = \{I, II, \dots, m\}$, 假定隶属度为线性函数, 用 x_i 表示环境要素的第 i 种污染物的实测值, x_i 对于空气环境质量等级 j 的隶属函数可以写成如下形式^[4]:

当 $j=1$ 时,

$$R(x) = \begin{cases} 1 & (x < s_{i,j}) \\ \frac{s_{i,j+1} - x}{s_{i,j+1} - s_{i,j}} & (s_{i,j} \leq x \leq s_{i,j+1}) \\ 0 & (x > s_{i,j+1}) \end{cases} \quad (1)$$

收稿日期:2009-07-26; 修订日期:2009-08-28

作者简介: 张文渊(1986—), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为环境工程。

当 $j=2,3,\dots,m-1$ 时,

$$R(x) = \begin{cases} 0 & (x < s_{i,j-1}; x > s_{i,j+1}) \\ \frac{x - s_{i,j-1}}{s_{i,j} - s_{i,j-1}} & (s_{i,j-1} \leq x \leq s_{i,j}) \\ \frac{s_{i,j+1} - x}{s_{i,j+1} - s_{i,j}} & (s_{i,j} \leq x \leq s_{i,j+1}) \end{cases} \quad (2)$$

当 $j=m$ 时,

$$R(x) = \begin{cases} 1 & (x < s_{i,j}) \\ \frac{s_{i,j+1} - x}{s_{i,j+1} - s_{i,j}} & (s_{i,j} \leq x \leq s_{i,j+1}) \\ 0 & (x > s_{i,j+1}) \end{cases} \quad (3)$$

式中, n ——评价的污染因子个数; m ——空气质量级别数; $s_{i,j}$ ——某一样品的第 i 种污染因子第 j 级的标准浓度。

由此可得因子对各级空气质量的隶属度矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R_{11}(x) & \cdots & R_{1m}(x) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ R_{n1}(x) & \cdots & R_{nm}(x) \end{bmatrix}$$

1.3 层次分析法赋权 A

利用 SAATY 建议的 1~9 比例标度法构造两两比较判断矩阵, 存在 $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$ 关系, 则称这个矩阵具有完全一致性, 它的最大特征根所对应的特征向量就能给出指标的相对重要次序, 将其正交化后就是所求的权重向量^[5]。

其中:

$$\bar{A}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \text{ 权重 } A_i = \bar{A}_i / \sum_{i=1}^n \bar{A}_i \quad (4)$$

通过计算最大特征值 λ_{\max} 、一致性指标 C. I. 和一致性比率 C. R., 以此来检查上面建立的比较矩阵的一致性是否符合要求。

1.4 模糊综合评价模型

确定模糊矩阵 R 及各因素的权重 A 后, 通过其复合运算 $U = A \cdot R$, 则可得到总体环境质量的模糊综合评价模型。模糊运算方法有很多种, 这里采用“ \cdot ”和“ \oplus ”算子, 记作 $M(\cdot, \oplus)$ 。在此模型中, 由于对各因子作归一化处理, 所以运算 \oplus 蜕化为一般的实数加法^[6]。且此模型在决定各因素的评价对等级的隶属度时, 考虑了所有因素的影响, 运算更为精细。则 U 中的元素为 $U_{ij} = \min(1, \sum_{k=1}^n a_{ik} \cdot b_{kj}) = \min\{1, [(a_{i1} \cdot b_{1j}) (+) (a_{i2} \cdot b_{2j}) \oplus \cdots (+) (a_{in} \cdot b_{jn})]\}$

2 模糊数学法在密闭环境中的应用实例

2.1 某密闭环境空气质量评价监测情况

在对密闭环境空气质量进行评价时, 将选取对人体的危害程度等级不同的各污染物作为评价对象, 选取采样点的原始数据经过统计整理后采用相对值(实测浓度平均值与允许浓度的比值)进行模糊处理, 见表 1。

表 1 采样项目质量浓度分指数

采样点值	苯	汞	甲醛	CO	SO ₂	NO ₂	NH ₃	CO ₂
1#	5.71	33.6	12.5	5.12	0.02	4.60	0.11	3.60
2#	2.50	12.5	0.89	3.41	2.89	5.87	0.54	2.40
3#	1.98	22.5	4.11	4.55	4.95	7.61	1.09	3.60
平均值	3.40	22.87	5.83	4.36	2.62	6.03	0.58	3.2

参照密闭环境的容许浓度和应急容许浓度^[7,8], 依据密闭环境空气质量对在其工作和生活的人员的允许规定时间, 定义密闭环境空气质量等级分指数为密闭环境空气质量评价参数各应急容许浓度与该密闭环境允许浓度的比值, 将密闭环境的空气质量等级分为 4 个等级^[9], 分别代表空气质量状况中的清洁、轻污染、中污染和重污染 4 个水平。即评价集 $V = \{I, II, III, IV\}$ 。密闭环境空气质量等级划分标准分指数见表 2。

表 2 密闭环境空气质量等级划分标准分指数

等级值	苯	汞	甲醛	CO	SO ₂	NO ₂	NH ₃	CO ₂
I级	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
II级	6.00	42.86	13.33	8.70	13.00	6.67	3.55	3.00
III级	13.00	51.14	26.67	21.74	26.00	20.00	5.12	4.00
IV级	20.00	142.86	40.00	39.00	40.08	41.20	8.00	4.50

2.2 计算各因素的隶属度和权重值

运用公式(1)、(2)、(3)即可以得到各单因素对 I, II, III, IV 级隶属度, 见表 3。

表 3 单因子评价结果

等级隶属度	苯	汞	甲醛	CO	SO ₂	NO ₂	NH ₃	CO ₂
I级(清洁)	0.37	0.40	0.28	0.55	0.73	0.15	0.97	0.075
II级(轻污染)	0.63	0.60	0.72	0.45	0.27	0.82	0.03	0.475
III级(中污染)	0	0	0	0	0	0.03	0	0.450
IV级(重污染)	0	0	0	0	0	0	0	0

运用比例度法构造两两比较矩阵,并通过公式 (4)可得到各因素的权值,见表4。

表4 各因素权值

	苯	汞	甲醛	CO	SO ₂	NO ₂	NH ₃	CO ₂	\bar{A}_i	A_i
苯	1	1	2	2	3	3	5	5	1.529 819	0.182 618
汞	1	1	2	2	3	3	5	5	1.529 819	0.182 618
甲醛	1/2	1/2	1	1	3/2	3/2	5/2	5/2	1.081 746	0.129 131
CO	1/2	1/2	1	1	3/2	3/2	5/2	5/2	1.081 746	0.129 131
SO ₂	1/3	1/3	2/3	2/3	1	1	5/3	5/3	0.883 242	0.105 435
NO ₂	1/3	1/3	2/3	2/3	1	1	5/3	5/3	0.883 242	0.105 435
NH ₃	1/4	1/5	2/5	2/5	3/5	3/5	1	1	0.693 764	0.082 816
CO ₂	1/4	1/5	2/5	2/5	3/5	3/5	1	1	0.693 764	0.082 816

运用公式计算最大特征值 $\lambda_{max} = 7.35$,一致性指标 $C. I. = 0.09$,查表得到一致性指标 $R. I. = 1.41$,计算出一致性比率 $C. R. = 0.07^{[9]}$ 。可知 $C. I.$ 和 $C. R.$ 均小于 0.1,代表矩阵符合满意水平。

2.3 模糊综合评判

在得到关系矩阵和权值后即可运用模糊评判模型对密闭环境空气质量进行综合评判:

$$U = A \cdot R = \begin{pmatrix} 0.183 \\ 0.183 \\ 0.129 \\ 0.129 \\ 0.105 \\ 0.105 \\ 0.083 \\ 0.083 \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} 0.37 & 0.63 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0.28 & 0.72 & 0 & 0 \\ 0.55 & 0.45 & 0 & 0 \\ 0.73 & 0.27 & 0 & 0 \\ 0.15 & 0.82 & 0.03 & 0 \\ 0.97 & 0.03 & 0 & 0 \\ 0.075 & 0.475 & 0.45 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.427 \\ 0.532 \\ 0.041 \\ 0 \end{pmatrix}^T$$

由此可见,此密闭环境空气质量综合评定结果为该空气环境质量对 I, II, III, IV 级的隶属度分别为 0.427, 0.532, 0.041, 0,根据最大隶属原则综合评定为二级标准(轻污染)。

3 结语

利用模糊数学法建立密闭环境空气质量评判

的评价模型,通过层次分析法(AHP)确定权重系数,得到此密闭环境空气质量综合评定结果为 II 级标准(轻污染)。用模糊数学法采用隶属度函数描述密闭环境空气质量状况,不仅能得出空气环境质量级别,还能反映各种污染物的隶属情况,提高了评价的科学性,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的不准确,因此在实际应用中需要进一步完善,以建立更科学合理的模型和评价方法。

[参考文献]

- [1] 王国平. 空气污染指数的简捷计算方法[J]. 城市环境,2000(6):40-41.
- [2] 冯德意,楼世博,林命周,等. 模糊数学方法与应用[M]. 北京:地震出版社,1998:74-75.
- [3] 张阳. 基于模糊理论与层次分析法的网络教学学习评价研究[D]. 长沙:湖南大学,2006.
- [4] 杨英. 模糊数学法在大气环境质量评价中的应用方法探讨[J]. 合肥工业大学学报,2005(6):34-36.
- [5] SAATY T L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York:Mc-Graw Hill,1980.
- [6] 王新洲,史文中,王树良. 模糊空间信息处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003:129-132.
- [7] GJB/11A-98,密闭环境容许浓度[S].
- [8] GJB/4129-2000,密闭环境应急容许浓度[S].
- [9] 孙忠为,陈建华,贾铭椿. 模糊综合评判密闭环境空气质量的方法研究[J]. 化学工程,2008(6):61-63.