改进层次分析法与模糊综合评价的耦合模型 在水质评价中的应用

Application of IAHP Coupling with Fuzzy Comprehensive Evaluation Method in Water Quality Evaluation

田红,杨昉婧

(环境保护部南京环境科学研究所 自然保护与生物多样性研究室 南京 210042)

摘要 对传统的层次分析法进行了改进,利用0.1~0.9五标度建立互补型的模糊判断矩阵,并把和行归一法或方根法与特征向量法结合使用,提出了改进的层次分析法与模糊综合评价的耦合模型,并将该模型应用于吴淞江(苏州段)水环境质量评价中。对评价结果的最大隶属度原则进行了改进,采用加权平均原则对评价结果综合评判与排序。

关键词 层次分析法 权重 模糊综合评价方法 隶属度

Abstract In this paper, the traditional AHP was improved using 0.1 - 0.9 five scaling establish complementary fuzzy judgment matrix, and combining the row vectors sum uniformization method or the square root with the eigenvector method, and proposed a model of Fuzzy Comprehensive Evaluation Method coupling with IAHP Method. The model has been used in Wusong River (Suzhou Section) Water Quality Evaluation. Evaluation results of the largest membership grade in principle were improved. The results were comprehensively evaluated and arranged by using the principle of weighted average.

Key words Analytical Hierarchy Process Weight Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Membership Grade

作为定性分析和定量分析综合集成的一种常用方法,模糊综合评价^[1]已得到广泛应用。在环境科学中也有许多模糊性的现象,如果选用模糊数学的方法对其进行分析,分析结果将会更科学、更合理。Saaty T L^[2]提出的层次分析法 (Analytic Hierarchy Process - AHP) 能将定性问题定量化,它将人们对复杂系统的思维过程数学化,将人的主观判断为主的定性分析进行定量化,将各种判断要素之间的差异数值化,帮助人们保持思维过程的一致性,它适用于复杂的模糊综合评价系统,是目前一种被广泛应用的确定权重的方法。

国外学者 Tanino T^[3], 1984 年最先进行模糊层

次分析法 (FAHP) 的研究; 1996 年杜栋^[4] 在国内首先引入模糊学的思想, 建立了基于模糊一致矩阵的 FAHP 的最初模型, 1997 年徐泽水^[5] 在文中提出了两个检验一致性的标准 δ 与 σ , 但因所选用的诱导矩阵缺乏实际意义, 该检验方法没有得到推广; 建立目的规划模型对模糊判断矩阵进行一致性修正, 在修正过程中可针对不同的决策者使用不同的调整参数, 但我们发现, 调整后的判断矩阵并不能保证思维的一致性, 计算量很大, 计算结果过于粗糙^[6]。在评价因素很多时, 很难用该方法得出结果, 因此该方法在实际应用中未被广泛采用。

收稿日期: 2010-08-07

作者简介: 田红 (1984-), 女, 助理工程师。研究方向: 环境影响评价。

在上述研究的基础上,本文对 AHP 法进行了改进,得到改进的层次分析法与模糊数学法的耦合模型。改进的层次分析法(IAHP)^[7]采用了易于被决策者掌握的 0.1~0.9 五标度,构建了模糊一致性判断矩阵,把方根法与特征向量法结合使用,并给出了其简洁实用的叠代算法。将该模型用于吴淞江苏州段

水环境质量评价中,证明其合理性。

1 改进的层次分析法与模糊综合评价的耦合模型

1.1 IAHP 的原理

(1)利用五标度法,五标度的含义见表 1。

表 1 五标度的含义

标度	含义
0.1	表示甲元素绝对没有乙元素重要
0.3	表示甲元素明显没有乙元素重要
0.5	表示甲元素与乙元素同样重要
0.7	表示甲元素明显重要于乙元素
0.9	表示甲元素绝对重要于乙元素
0.2,0.4,0.6,0.8	上述两相邻判断的中间值
互补	因素 i 与 j 比较得 a_{ij} , 则因素 j 与 i 比较得判断 $a_{ji} = 1 - a_{ij}$

建立互补型的模糊判断矩阵, $F = (f_{ij})_{n \times n}$, 称其为优先判断矩阵。

(2)求行和 $r_i = \sum_{j=1}^n f_{ij}$, 并利用转换公式 $r_{ij} = \frac{r_i - r_j}{2(n-1)} + 0.5$ 将模糊判断矩阵 $F = (f_{ij})_{n \times n}$ 改造为模糊一致性判断矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 。

(3)利用方根 $w^{(0)} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$

$$= \left[\frac{\sqrt{\prod_{i=1}^n e_{1j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\prod_{i=1}^n e_{ij}}}, \frac{\sqrt{\prod_{i=1}^n e_{2j}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\prod_{i=1}^n e_{ij}}}, \dots, \frac{\sqrt{\prod_{i=1}^n e_{nj}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{\prod_{i=1}^n e_{ij}}} \right]^T$$

求得排序向量。

(4)利用转换公式 $e_{ij} = r_{ij}/r_{ji}$ 将互补型判断矩阵 $R = (r_{ij})_{n \times n}$ 变为互反型矩阵 $E = (e_{ij})_{n \times n}$ 。

(5)以排序向量 $w^{(0)}$ 作为特征值法的叠代初值 v_0 , 利用叠代求解方程 $E_{n \times n} V = \lambda_{\max} V_{n \times 1}$ 进一步求精度较高的排序向量 $w^{(k)}$, 其算法步骤为:

①输入比较矩阵 $E_{n \times n}$, 绝对误差限 ϵ , 最大迭代次数 N ;

②输入特征向量初值 $V_0 = V_0(v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n})^T$, 并求 V_0 的无穷范数; $\|V_0\|_{\infty} = \max\{v_{01}, v_{02}, \dots, v_{0n}\}$;

③利用叠代公式 $\begin{cases} \bar{y}_k = V_k / \|V_k\|_{\infty} \\ V_{k+1} = E\bar{y}_k \end{cases}$ 求特征向量 V_{k+1} ;

④判断:若 $1 - \|V_{k+1}\|_{\infty} - \|V_k\|_{\infty} < \epsilon$, 则 $\|V_{k+1}\|_{\infty}$ 即为最大特征值 $\lambda_{\max}$, 将 V_{k+1} 进行归一化处理后,得:

$$V_{k+1} = \left[\frac{V_{k+1,1}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \frac{V_{k+1,2}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}}, \dots, \frac{V_{k+1,n}}{\sum_{i=1}^n V_{k+1,i}} \right]^T$$

即为目标权重向量,叠代结束,否则,以

$$V_k = \frac{V_{k+1}}{\|V_{k+1}\|_{\infty}} = \left(\frac{v_{k+1,1}}{\|V_{k+1}\|_{\infty}}, \frac{v_{k+1,2}}{\|V_{k+1}\|_{\infty}}, \dots, \frac{v_{k+1,n}}{\|V_{k+1}\|_{\infty}} \right)^T$$

作为新初值,再次叠代。

1.2 改进的层次分析法与模糊综合评价的耦合方法

本文基于 2 中的第(4)步进行了改进,即 1.1 中步骤(1)~(5)的所示方法,继而提出了改进层次分析法与模糊综合评价的耦合模型。

该模型采用的 0.1~0.9 五标度属于互补型标度,符合人们的思维逻辑,由优先判断矩阵改造而成的模糊一致性矩阵满足一致性条件,无需再进行一致性检验。提出的将方根法与乘幂法结合使用,可有效地解决收敛速度和精度问题,并且计算结果与实际情况较为吻合。

2 算例分析

本文以吴淞江苏州段水环境质量现状评价为

例,说明基于改进的层次分析法的模糊综合评价 综合评价结果向量,见表 2。
在水环境质量方面的应用。得出其他断面的模糊

表 2 吴淞江各监测断面隶属度水质级别计算结果

断面名称	无量纲 B					级别
	I	II	III	IV	V	
杨湾港闸前 6.5km 处	0.1951	0	0.2485	0.2979	0.2666	IV
拟建第二污水处理厂排出口	0.2488	0.0943	0.1861	0.3059	0.1648	IV
车坊旺浜	0.2279	0.1121	0.3272	0.3325	0	IV
澄湖湖口 1	0.1905	0.2021	0.3381	0.1817	0.0865	III
吴淞江桑田	0.1995	0.1344	0.2767	0.1788	0.2106	III
金鸡湖斜塘口	0.1985	0.1826	0.1788	0.1363	0.3036	V
独墅湖湖口	0.1779	0.0244	0.2182	0.2830	0.2966	V
澄湖湖口 2	0.2069	0.1765	0.2594	0.2011	0.1563	III
胜浦江圩	0.2087	0.1032	0.1733	0.1700	0.3448	V

实际中最常用的方法是最大隶属度原则,但此方法的使用是有条件的,存在有效性问题,可能会得出不合理的评价结果。本文采用加权平均原则求隶属等级的方法,对于多个被评事物并可以依据其等级位置进行排序。

加权评价法计算公式为:

$$B^* = \frac{\sum_{j=1}^m b_{kj}^k}{\sum_{j=1}^m b_j^k}$$

采用加权评价原则对上述 9 个监测断面的评价结果进行分析,得到各个断面的 $B^* (k=2)$ 分别为 3.596, 3.067, 2.979, 2.718, 3.109, 3.421, 3.775, 2.867, 3.728。对 9 个监测断面的水质由差到好的排序依次是:独墅湖湖口、胜浦江圩、杨湾港闸前 6.5 km 处、金鸡湖斜塘口、吴淞江桑田、拟建第二污水处理厂排出口、车坊旺浜、澄湖湖口 2、澄湖湖口 1。可见,所有断面的综合排序与所判断的水质级别相吻合,与实际情况相符,说明层次分析法与模糊综合评价相耦合在水环境质量评价中取得良好的效果。

3 结论

(1)本文采用改进的层次分析法与模糊综合评价的耦合模型对吴淞江苏州段水环境现状进行评价,提高了模糊综合评价结果的准确性,使其更具有通用性和实用性。IAHP 法采用的 0.1 ~ 0.9

五标度属于互补型标度,符合人们的思维逻辑,由优先判断矩阵改造而成的模糊一致性矩阵满足一致性条件,无需再进行一致性检验。提出的将方根法与乘法法结合使用,可有效地解决收敛速度和精度问题,精度提高至 0.00001,并且计算结果与实际情况较为吻合。

(2)基于改进的层次分次法与模糊综合评价的耦合模型在水环境质量综合评价与评价研究中得以应用,效果较好。并渴望在环境质量评价的其他领域得以推广应用。

参考文献

- [1] 陈永义,刘云丰,王培庄.综合评价的数学模型[J].模糊数学,1983,(1):61-69.
- [2] SAATY TL[美],许树柏等译.层次分析法[M].北京:煤炭工业出版社,1998.
- [3] Tanino T. Fuzzy preference orderings in group decision making[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1984,(12):117-131.
- [4] 杜 栋.基于 DEA 模型的模糊综合评判方法[A]. 第八届中国青年运筹信息管理学者大会论文集 Z[C], 2006.
- [5] 徐泽水.一种改进的模糊一致性判断矩阵构造方法[J].应用数学与计算数学学报,1997,11(2):62-67.
- [6] 孙昭旭,邱莞华,韩 敏,等.一种模糊判断矩阵的互补一致性修正方法[J].系统工程,2005,23(4):101-104.
- [7] 徐泽水. AHP 中两类标度的关系研究[J].系统工程理论与实践,1997,(7):97-101.