

文章编号:1006-7329(2003)01-0077-05

AHP法在水环境质量综合评价中的应用

柳 军

(重庆交通学院 河海建筑工程系, 重庆 400074)

摘要:介绍了AHP法(层次分析法)评价水环境质量的基本原理和方法步骤,并用该法对某水库多种水环境关联因素对水环境质量影响的重要性进行逐层比较和在此基础上的综合水质评价,说明了AHP法与其他定权方法相比,是一种简单而实用的多准则评价决策方法。

关键词:层次分析;水环境质量;综合评价

中图分类号:X131.2

文献标识码:A

层次分析法(Antalytical Hierarchy Process)是美国运筹学家T.L.Saaty于20世纪70年代提出的一种对复杂现象的决策思维进行系统化、模型化、数量化的方法^[1],又称为多层次权重分析决策法,即把复杂的问题,尤其是那些人的定性判断起重要作用的、难以精确定量的问题分解为不同的组成因素,将因素按不同层次聚集、组合,形成一个多层次的的分析结构模型,最后把系统分析归结为最低层相对于最高层的相对重要性权值的确定或相对优劣次序的排序问题。

1 基本原理和步骤

AHP法一般分为:①明确问题;②建立层次结构;③构造判断矩阵;④层次单排序和一致性检验;⑤层次总排序和一致性检验^[2]。以实例水库的水环境质量评价为例介绍如下:

1.1 明确问题

确定评价范围和评价目的、对象;进行评价因子的识别、筛选,从而确定评价因子和内容,明确各水质因子之间的相互关系。本文要评价的是某水库水环境综合质量,找出其富营养化影响因素并进行重要性排序,为污染控制和治理提供依据。

1.2 建立层次结构

根据对评价系统的初步分析,将其组成层次构筑成一个树状层次结构,一般可分为三个层次:目标层、指标层、策略层。目标层可分为总目标层和分目标层,例如,在区域生态环境质量评价中,社会-经济-自然复合生态系统可作为总目标层,可分解为自然生态环境和社会生态环境两个系统并以一定的指数表示。作为分目标层,在水环境质量综合评价中把水质作为目标层。指标层由可以直接度量的因素组成,例如,水环境质量可由地表水体质量、底泥质量、水生生态质量和富营养状况的多项指标组成。策略层(放案层)为最低层,即根据水环境质量组成确定的相关环境因子并通过因子分析、聚类分析等方法确定的主要的影响因子。

1.3 构造判断矩阵

* 收稿日期:2002-11-20

作者简介:柳 军(1972-),女,重庆人,讲师,主要从事环境工程研究。

在进行多因素、多目标的水环境质量评价中,既有定性因素,又有定量因素,还有许多模糊因素。各因素的重要程度不同,关联程度各异,只能根据经验和已有的资料进行判断,而因素较多时,这种判断很难做到准确。AHP法首先不把所有因素放在一起进行比较,而是通过对所有可能的组合进行两两成对相比较来确定这些因素在某个方面的优劣顺序,从而提高判断的精确性。

按 T.L.Saaty 建议的九级标度法进行量化比较(见表 1)。

表 1 9 级标度值及其含义

标 度	含 义
1	表示两个目标相比,同等重要
3	表示两个目标相比,一个目标比另一个目标稍微重要
5	表示两个目标相比,一个目标比另一个目标明显重要
7	表示两个目标相比,一个目标比另一个目标强烈重要
9	表示两个目标相比,一个目标比另一个目标极端重要
2,4	上述两相邻判断的中间值
6,8	
倒数	目标 i 与目标 j 比较判为 a_{ij} , 则目标 j 与目标 i 比较判为 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

按照以上标准,即可构造判断矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

其中元素 $a_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$ 是第 i 个因素的重要性与第 j 个因素的重要性之比。取 1~9 的整数及其倒数,显然

$$a_{ji} = 1/a_{ij}, \quad a_{ii} = 1$$

在环境质量评价系统中,对同一层次的数据必须给出统一的评价标准,这样,数据才有可比性。而判断矩阵的构造方法主要由专家讨论确定和专家调查确定,如 Delphi 法,智暴法(Brainstorming)等。评价的递阶结构和判断矩阵的建立是 AHP 法最重要的步骤。

1.4 层次单排序及一致性检验

层次单排序是根据判断矩阵计算对于上一层次某元素而言,本层次与之有联系的元素重要次序的权值,是本层次中所有元素对上一层次而言进行重要性排序的基础,实质是计算判别矩阵的最大特征根和相应的特征向量。本文用方根法计算方法如下:

1) 计算判断矩阵各行元素的积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

2) 计算 M_i 的 n 次根

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

3) 对向量 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ 正规化,得到特征向量 $W = [w_1, w_2, \dots, w_n]^T$

$$W_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$$

4) 计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} , 由矩阵理论可知其有最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}W_j}{W_i}$$

5) 一致性检验

判断矩阵 A 的一致性推求环境因子的权重的前提,作一致性检验需确定其一致性指标 CI , 平均随机一致性指标 RI (见表 2), 并通过 CI 与 RI 之比求出随机一致性比率。计算公式为:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}; \quad CR = \frac{CI}{RI}$$

当 $CR < 0.10$ 时, 认为判断矩阵具有满意的一致性, 否则需对判断矩阵进行调整。

表 2 不同阶数的 RI 值

阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

1.5 层次总排序及一致性检验

层次总排序需从上到下逐层按排序计算, 对于最高层下面的第二层, 其层次单排序即为总排序 (见表 3)。

表 3 层次总排序计算表

层次 A						
层次 B	A_1	A_2	...	A_m	B 层次总排序	
	a_1	a_2	...	a_m		
B_1	b_1^1	b_2^1	...	b_m^1	$\sum_1 a_i b_i^1$	
B_2	b_1^2	b_2^2	...	b_m^2	$\sum_1 a_i b_i^2$	
...	
B_n	b_1^n	b_2^n	...	b_m^n	$\sum_1 a_i b_i^n$	

显然, $\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_i b_j^i = 1$

总排序结果的一致性检验方法与层次单排序的类似。其计算公式为 $CR = CI/RI$ 。

2 水质评价层次分析法实例^[3-4]

以某水库水质为例, 其主要污染为有机污染。根据有关部门提供的 19 种主要污染因子, 可先分为 4 个指标层, 即地表水体质量、底泥质量、水生生态质量和富营养化状况; 再根据多年的监测数据平均值, 由专家法构造判断矩阵; 由统计分析法确定各自权重, 即可将其对水质污染的严重性进行排序了。

2.1 水库水质层次关系图 (图 1)

1) 各层次水质因子判断矩阵 (见表 4、5、6、7)

2) 如果已知以上四种因子权重 W 分别为地表水体质量 W_1 , 底泥质量 W_2 , 水生生态质量 W_3 及富营养状况 W_4 。

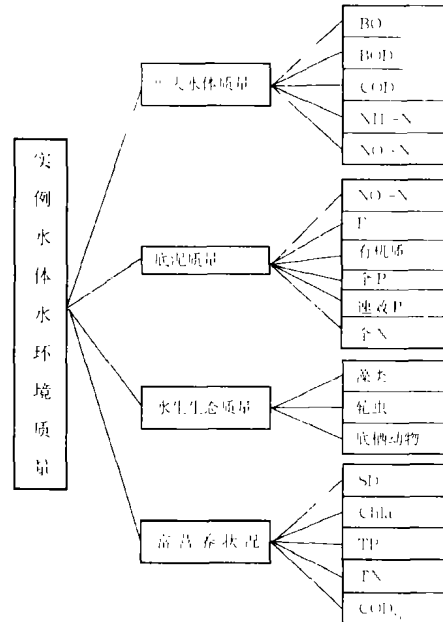


图 1 水库水质层次关系图

表 4 地表水体质量

	DO	BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₃ -N	NO ₃ -N	NO ₂ -N	F ⁻	检验
DO	1	1	1/5	1/4	1	1	1/3	0.061 0
BOD ₅	1	1	1/5	1/4	1	1	1/3	0.061 0
COD _{Cr}	5	5	1	2	5	5	3	0.355
NH ₃ -N	4	4	1/2	1	4	4	2	0.242
NO ₃ -N	1	1	1/5	1/4	1	1	1/3	0.061 0
NO ₂ -N	1	1	1/5	1/4	1	1	1/3	0.061 0
F ⁻	3	3	1/3	1/2	3	3	1	0.159

检验: $\lambda_{\max} = 7.062$; $RI = 1.32$; $CI = 0.010 33$; $CR = CI/RI = 0.007 83 < 0.10$

表 5 底泥质量

	有机质	全 P	速效 P	全 N	W	检验
有机质	1	3	1	1/2	0.239 5	$\lambda_{\max} = 4.020 6$ $RJ = 0.90$
全 P	1/3	1	1/3	1/4	0.088 2	
速效 P	1	3	1	1/2	0.239 5	
全 N	2	4	2	1	0.432 8	

$$CR = 0.007 6 < 0.10$$

表 6 水生生态质量

	藻类	轮虫	底栖动物	W	检验
藻类	1	2	1/3	0.238 5	$\lambda_{\max} = 3.018 3$ $RJ = 0.56$
轮虫	1/2	1	1/4	0.136 52	
底栖动物	3	4	1	0.625 0	

$$CR = 0.016 < 0.10$$

表 7 富营养状况

	SD	Chla	TP	TN	COD _{Mn}	W	检验
SD	1	1/3	1/3	1/4	1/2	0.073 5	$\lambda_{\max} = 5.281 4$ $RJ = 1.12$
Chla	3	1	1	1/2	2	0.215	
TP	3	1	1	1/2	2	0.215	
TN	4	2	2	1	3	0.375	
COD _{Mn}	2	1/2	1/2	1/3	1	0.126	

$$CR = 0.053 6 < 0.10$$

$$\begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.292 5 \\ 0.200 0 \\ 0.235 3 \\ 0.272 2 \end{bmatrix}$$

根据表 3 列出层次总排序计算结果如下表 8。

表 8 层次总排序计算结果

C_i	B_i				层次总 排序结果	序号
	$B_1(0.292 5)$	$B_2(0.200 0)$	$B_3(0.235 3)$	$B_4(0.272 2)$		
C_1	0.061 0	0	0	0	0.017 8	13
C_2	0.061 0	0	0	0	0.017 8	13
C_3	0.355	0	0	0	0.103 8	2
C_4	0.242	0	0	0	0.070 8	5
C_5	0.061 0	0	0	0	0.017 8	13
C_6	0.061 0	0	0	0	0.017 8	13
C_7	0.159	0	0	0	0.046 5	9
C_8	0	0.239 5	0	0	0.047 9	8
C_9	0	0.088 2	0	0	0.017 6	14
C_{10}	0	0.239 5	0	0	0.047 9	8
C_{11}	0	0.432 8	0	0	0.86 6	4
C_{12}	0	0	0.238 5	0	0.056 1	7
C_{13}	0	0	0.136 5	0	0.032 1	11
C_{14}	0	0	0.625 0	0	0.147	1
C_{15}	0	0	0	0.073 5	0.02	12
C_{16}	0	0	0	0.215	0.058 5	6
C_{17}	0	0	0	0.215	0.058 5	6
C_{18}	0	0	0	0.375	0.102	3
C_{19}	0	0	0	0.126	0.034 3	10

经计算得, $CR = 0.026 < 0.10$, 具有满意的一致性。从表 8 结果可看出, 该水库水体质量因子从差到好排序为底栖动物多样性因子, COD_{Cr} , TN, 底泥全 N, $NH_3 - N$, ...。根据这一排序结果, 我们即

可找到改善该水库水质的着手点,提高我们水污染控制和规划的效率,为定量决策提供了依据。

3 结论

本文以区域水环境的质量综合评价为例,介绍了 AHP 法的基本原理和方法步骤,说明该法是用一定标度把人的主观判断进行客观定量化而把定性问题进行定量分析的一种简单实用的多准则评价决策方法,可在区域生态环境总质量及其变化、自然保护区质量评价和社会经济环境综合决策分析等方面得到广泛应用。值得注意的是,由于两两比较的结果的主观性,权重系数可能随时间而改变,随专家价值观和偏见而发生变化,随各因子的取值范围改变及因不同专家评分而结果有异,这就需要在使用该方法进行因子比较时,应尽可能考虑到环境质量评价的各个方面,聘请所涉及到的各个领域的专家进行评估。

参考文献:

- [1] 王金山,谢家平.系统工程基础与应用[M].北京:地质出版社,1996.
- [2] 沈继红.数学建模[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,1998.
- [3] 陈晓宏.区域水环境评价与规划[M].广州:中山大学出版社,2001.
- [4] 夏军.区域水环境及生态环境质量评价[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,1999.

Application of AHP in Comprehensive Assessment of Water Environment Quality

LIU Jun

(Department of River and Ocean Engineering, Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400074, P. R. China)

Abstract: The fundamental theory and method for comprehensive assessment of water quality, using the Analytical Hierarchy Process (AHP) was introduced in this paper. Based on the method of AHP, the importance of multiple correlated factors of a reservoir on water quality was compared one by one, level by level and a comprehensive assessment of water quality was achieved. It is shown that the AHP method is a simple practical and multi-criterion one.

Keywords: AHP method; water quality; comprehensive assessment