

基于改进 ANP 和 MEE 的河流生态修复后评估研究

董晓军¹, 徐昕², 董壮², 林城福³, 刘飞²

(1. 江苏省江都水利工程管理处, 扬州 225000; 2. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098; 3. 河海大学 土木与交通学院, 南京 210098)

摘要: 针对河流的生态效应、经济可行性和综合利用3方面效应, 构建了基于网络分析法(ANP)的河流生态修复后评估指标体系模型。采用最优置信区间理论对其进行改进, 以提升专家咨询的准确性, 并与传统的河流生态修复后评估模型——层次分析法(AHP)进行比对。结果表明: 在河流生态修复后评估这一科学决策上, 基于 ANP 建立的评估模型更加全面且客观, 是较 AHP 更为准确的模型; 引入物元可拓法(MEE)将该评估模型应用到某生态防洪堤生态修复工程4个典型年份的综合评估中, 其生态修复工程的作用明显, 河流生态系统得到较大改善并具有良好的自我维持能力。

关键词: 河流生态修复; 评估模型; 网络分析法; 最优置信区间; 物元可拓法

中图分类号: X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)03-0122-06

Assessment of river ecological restoration based on improved ANP and MEE

DONG Xiaojun¹, XU Xin², DONG Zhuang², LIN Chengfu³, LIU Fei²

(1. Jiangdu Water Conservancy Project Management Office in Jiangsu Province, Yangzhou 225000, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. College of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Aimed at the three effects of ecology, economic feasibility and comprehensive utilization of river, the paper constructed an index system model of assessment after river ecological restoration based on analytic network process (ANP). It used the best confidence interval theory to improve the model so as to elevate the accuracy of expert advice, and compared the model with the traditional evaluation model after river ecosystem restoration - Analytic Hierarchy Process (AHP). The results show that on the scientific decision-making of assessment after river ecosystem restoration, the model built on ANP is more comprehensive and objective, and is more accurate than the AHP model. It introduced matter-element extension method (MEE) to apply the evaluation model to the comprehensive evaluation of a typical ecological flood ecological restoration project in four typical years. The results indicated that the role of the ecological restoration project is obvious and the river ecosystem has been greatly improved and has good self-sustainability.

Key words: ecological restoration of river; evaluation model; ANP(analytic network process); best confidence interval; MEE

河流生态系统指河流水体的生态系统, 是陆地与海洋联系的纽带, 在生物圈的物质循环中起着重要作用。近年来大量水利工程的建设, 严重影响着天然河流的水文地貌条件, 并对河流及其周边环境造成巨大影响。随着河流生态环境的破坏日益加剧, 生态修复已成为一个涉及内容较广、影响因素较多的跨领域研究热点, 当前我国关于河流生态修

复研究的重点在于如何高效地选用生态修复措施, 却往往忽视了生态修复工程建立后对生态环境的影响。随着生活条件的不断改善和对河流生态整治重要性认识的提高, 人们对河流综合功能的实现提出了越来越高的要求, 为了实现经济社会可持续发展、人与自然和谐共处, 以及充分发挥河流的生态、经济、娱乐等价值, 研究如何对河流生态修复效果进行

收稿日期: 2015-09-29; 修回日期: 2016-01-13

作者简介: 董晓军(1973-), 男, 江苏淮安人, 大学学历, 高级工程师, 主要从事水利工程建设、工程管理方面的工作。

通讯作者: 董壮(1973-), 男, 天津人, 博士, 讲师, 研究方向为计算流体力学、环境水力学。

后评估具有重要的现实意义。当前河流生态修复评估模型大多采用层次分析法,以专家主观价值为判断准则,对各指标赋权的原则是每个指标的重要程度,此类方法不需要原始数据且求解简单,可以充分体现评估者的意向,但专家的认识和经验将直接影响各项指标的合理性,导致评估结果颇为主观。本文引用网络分析法来建立评估模型,并以最优置信区间的理念对其进行改进,增加专家主观价值的可信度,以获取不同指标的贡献度大小,通过物元可拓模型展开河流生态修复效果后评估研究,并通过已建实际工程对模型进行了验证。对比层次分析法,在评估效果方面,改进的网络分析法更加准确、客观,且物元可拓模型具有不必人为考虑分类指标的优势,不失为河流生态修复评估的一类新方法。

1 改进的网络分析法

ANP (Analytic Network Process), 又称网络分析法,是 Satty T. L. 教授于 1994 年提出的,基于层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 发展而成的一种应用系统分析全面解决问题的方法^[1]。比对 AHP 运算步骤,本文提出的改进 ANP 在求解科学决策问题时步骤如下^[2]:

1.1 提出和分析问题

分析问题就是指对于需要决策的问题,分析出影响该决策问题的各方面因素,以及各因素是否独立,是否存在联系的问题,在网络层次结构里,系统的每一个元素或者元素组彼此之间可能都会产生影响,对于河流生态修复评估这一研究问题,需要的就是要确立河流生态修复后各方面运行效应对应的评估指标,并分析各指标之间的相互影响关系。

1.2 建立网络结构

在构建完河流生态修复的评估指标体系后,需要将评估指标体系进行层次的划分,构造控制层次结构,按照评估指标的突出特点、评估指标的易获取程度以及最能反映运行效益这 3 个方面出发。网络分析法包括控制层和网络层两个部分,网络层中的元素在控制层的作用下依次比较,其中目标为河流生态修复评估体系,控制层包括 3 个方面,分别是:生态效应、经济可行性和综合利用效应;网络层包括 16 个子指标,以此初步构成了河流生态修复评估体系的网络结构。

1.3 构造超矩阵

进行两两比对,构造超矩阵,包括未加权超矩阵、加权超矩阵及极限超矩阵。

河流生态修复评估的研究过程中涉及到可持续发展理论、生态理论、环境理论以及影响评估相关的概念等,属于多领域、交叉学科的研究。因此,在运用德尔菲法 (Delphi) 对体系内的评估指标进行评分时,拟定的专家主要从事水利、环境、生态以及与河流生态治理相关研究人员,设计 35 份调查问卷向专家进行咨询,参与调查问卷的专家会进行两轮打分,首先确定 16 个指标体系中相互影响的指标,即填写评估指标相互关系调查表;第二轮采用 1~9 标度法对各指标进行对比打分。经过筛选,33 份专家答卷有效,合格率为 94%。

由于专家在对比打分过程中有一定的主观性,本文为了避免人的主观能动,采用专家均值置信区间法,优化问卷结论的客观性。专家均值置信区间法运算步骤如下:

(1) 确定专家评估结论均值,即:

$$X_{mean} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n} \quad (1)$$

式中: p_i 为第 i 位专家的评估数值; n 为有效问卷数。

(2) 设置一个置信区间,置信区间的取值不宜过大,会降低专家调查的有效性;置信区间的取值也不宜过小,过小会降低专家调查的准确性。1~9 标度法中分值最大为 9,分值最小为 1/9,鉴于河流生态修复评估的多面性和复杂性,本文采用两个数值的二次平均作为置信区间,即置信区间为 $[-2.28, 2.28]$

(3) 在构造 ANP 判断矩阵的过程中,将专家评估值与评估均值进行比较,剔除两者差值超过置信区间的专家评估值,并构造判断矩阵。

1.4 运算求解

求解超矩阵,超矩阵的最大特征值对应的特征向量就是权向量。

2 河流生态修复评估模型的建立

2.1 模型构建

河流生态修复评估是本模型的总目标,它是对生态修复工程运行后该河段区域周边的生态环境、居住人群、社会经济综合效应进行评估,以生态效应、经济可行性效应和综合利用效应为主的系统效应展开。总结前人的研究成果,每一个指标对应河流生态修复后发挥的单项效益。建立的河流生态修复后评估模型如表 1 所示。

为了使评估结果便于分析,参考多种评判方式,将河流生态修复评估分为 4 个等级,河流生态修复评估等级为: I 类:表明河流生态修复运行效应优

良; II类:表明河流生态修复运行效应一般; III类:表明河流生态修复运行效应较差; IV类:表明河流生态修复运行效应极差。基于网络分析法建立的河流生态修复评估模型,通过超级决策软件(Super Deci-

sions)建立网络结构模型^[3](如图1),此窗口可以简洁表明元素组之间的相互关系,与AHP不同的是,不仅位于相同控制层的元素存在作用,甚至在不同控制层下元素之间的相互影响也可以得到响应^[4]。

表1 河流生态修复评估模型

总目标	控制层	网络层	指标含义
河流生态修复评价模型	A 生态效应	A ₁ 藻类多样性	藻类的属(种)数,属(种)数越大,水体受污染的程度越轻
		A ₂ 鱼类多样性	鱼类种类的改变状况能够反映河流生态修复工程对河流鱼类的影响程度
		A ₃ 结构稳定性	河岸带乔木、灌木和草本植物等组成层次结构
		A ₄ 纵向贯通性	表征河流自身的连续性及河岸带植被是否连续还是断裂,是否密布还是分散
		A ₅ 水域流域状况	与河流的自净能力强弱、各流速层动植物的种类数量有较好的相关性
		A ₆ 植被覆盖率	对水土保持及生物保护等方面起着重要作用
	B 经济可行性	B ₁ 公众满意度	公众对评价河流景观、美学价值及其他综合服务功能的满意程度
		B ₂ 区域失业率	反映出河流生态修复工程对区域劳动力的影响作用
		B ₃ 周边居民健康状况	生态修复工程前后周边人群平均寿命或发病率等因素做定性判断
		B ₄ 环保投资环境	吸引环境保护等投资资金状况
		B ₅ 护岸形式	反映了护岸形式对河流生态整治工程运行效应的相关性
	C 综合利用效益	C ₁ 河流景观效应	河流的景色美观程度与河流景观开发的相关性
		C ₂ 防洪工程状况	防洪工程的等级
		C ₃ 水资源开发利用	水资源开发量占流域水资源总量的百分数
		C ₄ 通航保证率	反映区域河流通航能力的一个指标
		C ₅ 娱乐休闲价值	人体与精神的舒适度,居民亲近自然的价值

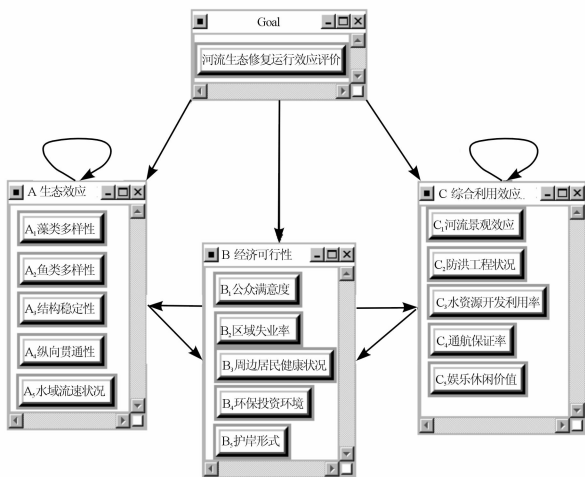


图1 Super decisions 软件模拟河流生态修复模型网络结构

2.2 权重比对

鉴于网络分析法计算繁杂,本文利用 Super Decisions 软件来简化其运算过程,得到元素组对目标层的综合权重,如表2所示,将两组权重进行比较,得到图2。

通过对比得到的权重,基本规律如下:

(1) AHP 计算得到的权重变化比较均匀平缓,无法明显区分各指标之间的相对重要性指标。

(2) 本文仅分析 ANP 对应的全局权重排序: $A_2 > C_2 > A_4 > A_6 > A_3 > A_5 > C_4 > A_1 > C_3 > C_1 > B_2 >$

$C_5 > B_1 > B_5 > B_3 > B_4$,经济可行性效应对应的子指标均排序靠后,生态效应和综合利用效应在社会经济高速发展的今天占有越来越重要作用,人类应更加重视生态环境的保护和综合利用效应的发挥;当前以鱼类栖息地模拟来评估河流生态修复成为热点^[5],前三位的分别是 A₂(鱼类多样性)、C₂(防洪工程状况)和 A₄(纵向贯通性),可见鱼类多样性指标在河流修复评估中占有重要地位,ANP 的峰值的对应指标正是 A₂(鱼类多样性),权重值为 0.17,符合当前研究趋势,AHP 的峰值的对应指标是 C₂(防洪工程状况)和 A₄(纵向贯通性),权重值为 0.12。

(3) AHP 对应的指标 A₂(鱼类多样性)权重值仅为 0.10,较 ANP 计算得到的权重值误差高达 70%,并且从整体权重值上分析,AHP 对应的单项指标权重值与 ANP 方法下的权重值吻合甚少,均存在一定的误差,进一步证明了在赋权问题上,ANP 更具有灵活性和适用性。

3 物元可拓模型

物元可拓模型^[6]是由我国学者蔡文研究员等创立的新学科,是与数学,信息论,系统论,控制论等相类似的横断学科,用于研究事物拓展的可能性,并

以此解决不相容问题。从 1983 年首次提出,经历 20 多年的研究,发展到目前,已形成一套比较完整的理论体系。物元可拓模型的基本理论是可拓论,可拓论的逻辑细胞为物元,即用“事物名称、特征、

量值”组成的有序三元组。可拓论的基本思想即是用物元描述事物,并分析和探究这些物元及其变化规律。根据可拓论构建河流生态修复后评估的物元模型,主要步骤如下。

表 2 不同评价指标的权重

指标	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
AHP	0.07	0.10	0.09	0.12	0.07	0.10	0.02	0.06	0.04	0.02	0.02	0.04	0.12	0.05	0.07	0.03
ANP	0.06	0.17	0.08	0.09	0.06	0.08	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05	0.10	0.05	0.06	0.04

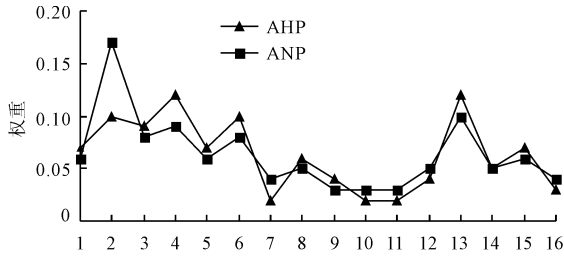


图 2 AHP 和 ANP 指标权重比较图

3.1 建立河流生态修复物元矩阵

河流生态修复物元可用有序三元组 $R = (M, C, X)$ 来表示,其中 M 表示河流生态修复, C 表示河流生态修复特征, X 为特征 C 所对应的量值,若 M 有 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 及对应的量值 X_1, X_2, \dots, X_n 。则河流生态修复物元矩阵可表示为:

$$R = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M & C_1 & X_1 \\ & C_2 & X_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_n \end{pmatrix} \quad (2)$$

式中: R 为 n 维河流生态修复物元; R_i 为 R 的分物元。

3.2 确定经典域和节域物元矩阵

河流生态修复的经典域物元矩阵 R_j 可表示为:

$$R_j(M_j, C, X_j) = \begin{pmatrix} M_j & C_1 & X_{j1} \\ & C_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{jn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_j & C_1 & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & C_2 & (a_{j2}, b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $M_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 为河流生态修复评估标准的第 j 个等级, $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为河流生态修复评估指标体系中的第 i 项指标; X_i 为关于 C_i 的量值,即各评估指标对应的实测值。区间 $X_{ji} = [a_{ji}, b_{ji}]$ 为第 j 个等级下 C_i 的对应量值范围。

河流生态修复的节域物元矩阵 R_p 可表示如下

$$R_p(M_p, C, X_p) = \begin{pmatrix} M_p & C_1 & X_{p1} \\ & C_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{pn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_p & C_1 & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2 & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: M_p 为全体评估等级,区间 $X_{pi} = [a_{pi}, b_{pi}]$ 为全体评估等级下 C_i 的对应量值范围,由定义可知 $X_j \subset X_p$ 。

3.3 关联度的确定

由可拓集合论可知关联度 $K_j(x_i)$ 的计算公式如下:

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_i, X_{ji})}{|X_{ji}|}, & x_i \in X_{ji} \\ \frac{\rho(x_i, X_{ji})}{\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{ji})}, & x_i \notin X_{ji} \end{cases} \quad (5)$$

其中:

$$\rho(x_i, X_{ji}) = |x_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji})| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) = \begin{cases} a_{ji} - x_i, & x_i \leq \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \\ x_i - b_{ji}, & x_i > \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \end{cases} \quad (6)$$

$$\rho(x_i, X_{pi}) = |x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi})| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) = \begin{cases} a_{pi} - x_i, & x_i \leq \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \\ x_i - b_{pi}, & x_i > \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \end{cases} \quad (7)$$

$$|X_{ji}| = |a_{ji} - b_{ji}| \quad (8)$$

式中: $\rho(x_i, X_{ji})$ 为点 x_i 到经典域区间 $X_{ji} = [a_{ji}, b_{ji}]$ 的距离; $\rho(x_i, X_{pi})$ 为点 x_i 到节域区间 $X_{pi} = [a_{pi}, b_{pi}]$

$b_{pi}]$ 的距离。

3.4 确定待评对象对于各评估等级的综合关联度

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i K_j(x_i) \quad (9)$$

式中: $K_j(P_0)$ 为待评对象 P_0 属于第 j 级的综合关联度。

3.5 待评对象的评定等级

如果 $K_j = \max\{K_j(P_0)\} (j = 1, 2, \dots, m)$, 则 P_0 的等级为第 j 级。 $K_j(P_0)$ 的数值表示待评对象符合某等级范围的隶属程度, 当 $K_j(P_0)$ 的值在不同范围时, 具有不同的含义。依据最大关联度原则, 即最大关联度所对应的评估等级为物元对象实际的评估等级。

4 工程实例评估

邕江为珠江流域西江支流郁江自西向东流经南宁市及邕宁区河段的别称, 上起江西乡宋村的左、右江汇合点, 下止邕宁区与横县交界的六景乡道庄村。邕江水量充沛, 航运条件好, 为南宁市重要城市用水源, 干支流航运畅通, 被称为南宁市的母亲河, 全长 133.8 km, 其上游总集水面积 73 728 km², 多年平均年径流量 418 × 10⁸ m³, 年均流量 1 292 m³/s, 最大流量达 20 610 m³/s, 最枯流量仅为 95.7 m³/s, 多年平均含沙量 0.24 kg/m³, 平均侵蚀模数 95.7 t/km²。某生态防洪堤项目全长 42.176 km, 北岸工程岸长 20.915 km, 南岸工程岸长 21.261 km, 河滩经过园林绿化、并修建休闲场所, 河岸建有防洪堤, 项目总投资约 64.29 × 10⁸ 元, 于 2004 年底建成。本文研究数据资料来自于《中国统计年鉴》(2000 - 2010)、

《广西统计年鉴》(2000 - 2010)、《广西省水资源公报》以及南宁市相关水利部门, 选用 2000 s、2005 s、2008 s 以及 2010s 作为经典年份进行评估, 以上年份涵盖了生态修复工程建立前、建立中以及建成后三方面的动态效益, 具有很强的可比性^[7]。根据《中国地表水环境质量标准》、《中华人民共和国环境保护法》以及《环境影响评估技术导则与标准》等已有的国家、行业、地方或国际标准, 将评估指标进行一致化处理^[8-9], 从而确定评估标准, 本工程的评价指标计算结果如下:

$$R_{01} = \left\{ \begin{array}{l} \text{I } A_1 \quad (4.5 \sim 6) \\ A_2 \quad (12 \sim 18) \\ A_3 \quad (75 \sim 100) \\ A_4 \quad (12 \sim 18) \\ A_5 \quad (40 \sim 50) \\ A_6 \quad (75 \sim 100) \\ B_1 \quad (75 \sim 100) \\ B_2 \quad (0 \sim 3) \\ B_3 \quad (75 \sim 100) \\ B_4 \quad (75 \sim 100) \\ B_5 \quad (75 \sim 100) \\ C_1 \quad (75 \sim 100) \\ C_2 \quad (75 \sim 100) \\ C_3 \quad (54 \sim 60) \\ C_4 \quad (95 \sim 100) \\ C_5 \quad (75 \sim 100) \end{array} \right. \quad R_{02} = \left\{ \begin{array}{l} \text{II } A_1 \quad (3 \sim 4.5) \\ A_2 \quad (8 \sim 12) \\ A_3 \quad (50 \sim 75) \\ A_4 \quad (12 \sim 18) \\ A_5 \quad (3 \sim 12) \\ A_6 \quad (30 \sim 40) \\ B_1 \quad (50 \sim 75) \\ B_2 \quad (3 \sim 5) \\ B_3 \quad (50 \sim 75) \\ B_4 \quad (50 \sim 75) \\ B_5 \quad (50 \sim 75) \\ C_1 \quad (50 \sim 75) \\ C_2 \quad (50 \sim 75) \\ C_3 \quad (45 \sim 54) \\ C_4 \quad (80 \sim 90) \\ C_5 \quad (50 \sim 75) \end{array} \right.$$

$$R_{03} = \left\{ \begin{array}{l} \text{III } A_1 \quad (1.5 \sim 3) \\ A_2 \quad (3 \sim 8) \\ A_3 \quad (25 \sim 50) \\ A_4 \quad (3 \sim 12) \\ A_5 \quad (3 \sim 12) \\ A_6 \quad (30 \sim 40) \\ B_1 \quad (40 \sim 50) \\ B_2 \quad (25 \sim 50) \\ B_3 \quad (5 \sim 8) \\ B_4 \quad (25 \sim 50) \\ B_5 \quad (25 \sim 50) \\ C_1 \quad (25 \sim 50) \\ C_2 \quad (25 \sim 50) \\ C_3 \quad (35 \sim 45) \\ C_4 \quad (50 \sim 80) \\ C_5 \quad (25 \sim 50) \end{array} \right. \quad R_{04} = \left\{ \begin{array}{l} \text{IV } A_1 \quad (0.8 \sim 1.5) \\ A_2 \quad (0 \sim 3) \\ A_3 \quad (0 \sim 25) \\ A_4 \quad (0 \sim 3) \\ A_5 \quad (0 \sim 3) \\ A_6 \quad (25 \sim 40) \\ B_1 \quad (0 \sim 25) \\ B_2 \quad (8 \sim 10) \\ B_3 \quad (0 \sim 25) \\ B_4 \quad (0 \sim 25) \\ B_5 \quad (0 \sim 25) \\ C_1 \quad (0 \sim 25) \\ C_2 \quad (0 \sim 25) \\ C_3 \quad (25 \sim 35) \\ C_4 \quad (30 \sim 50) \\ C_5 \quad (0 \sim 25) \end{array} \right. \quad R_p = \left\{ \begin{array}{l} M_p A_1 \quad (0.8 \sim 6) \\ A_2 \quad (0 \sim 18) \\ A_3 \quad (0 \sim 100) \\ A_4 \quad (0 \sim 18) \\ A_5 \quad (0 \sim 18) \\ A_6 \quad (25 \sim 50) \\ B_1 \quad (0 \sim 100) \\ B_2 \quad (0 \sim 10) \\ B_3 \quad (0 \sim 100) \\ B_4 \quad (0 \sim 100) \\ B_5 \quad (0 \sim 100) \\ C_1 \quad (0 \sim 100) \\ C_2 \quad (0 \sim 100) \\ C_3 \quad (25 \sim 60) \\ C_4 \quad (30 \sim 100) \\ C_5 \quad (0 \sim 100) \end{array} \right.$$

将评价指标的实测值代入式(5)~式(8),得到关联度,结果见表3:

表3 典型年份综合关联度

年份	综合关联度				等级
	I	II	III	IV	
2000	-0.353	-0.083	-0.057	0.150	IV
2005	-0.346	-0.054	0.110	-0.318	III
2008	-0.513	-0.044	-0.119	-0.409	II
2010	-0.308	0.200	-0.100	-0.400	I

根据综合评估结果,主要结论如下:

在未采取生态修复工程措施前,河流生态系统状况急剧恶化,已达到“极差”(IV等)水平。通过采取生态修复措施:将垂直墙以及部分硬质护坡进行绿化,在消落带建立水生植物带^[10],在河道纵向位置布置垂直绿化带、土质岸坡绿化带等,2005年生态修复后效益开始逐渐发挥,并在2008年生态修复工程的作用发挥显著,达到“一般”(II)水平;通过分析2010年综合关联度:在现代化建设进程中,随着对河流生态系统健康的重视,人均区域生产总值大幅提升,河流健康生态修复的经济投入和力度加大,人与自然的和谐相处,使河流生态修复工程的作用日益凸显,并得到保持和发展。

5 结论

(1) ANP应用网络结构替代层次结构,充分考虑各指标之间的相互影响和依存关系,与系统工程和科学决策的问题特点相符,所以ANP应具有更广阔的应用前景。但是用ANP评估河流生态修复的后评估的研究甚少,本文仅作为探索性尝试,并希望在今后的研究中逐步完善。

(2) 河流生态修复工程是人类探索并与自然和谐相处的工程活动。本文在对评估指标的选取依据主要有:已有的国家法规或者国际标准、参考同类工程的通用标准;以上均缺乏的情况下,会组织相关领域的专家商讨决定,通过此类方法获取研究数据,本身具有部分主观性,所以还需要更深入的研究,使评估理论体系更为客观。

(3) 本文采用物元可拓模型对河流生态修复进行评估,评估结果合理客观,可拓物元分析具有不必人为考虑分类指标的优势,可以自动解决不同指标

之间的相互作用问题,且计算简单;由于河流生态修复涉及的评估指标较多,受数据资料的限制,无法一一纳入评估指标体系,此外,评估标准量值范围的界定也需要进一步研究和完善,但作为一种研究方法的探讨,本文为河流生态修复后评估提供了新的思路和研究方向。

(4) 从我国基本国情出发,河流生态修复评估应当同时考虑地方经济发展水平的差异、流域自然环境的特点以及季节气候的变换,因地制宜地选取河流生态修复评估的标准以及权重,即河流生态修复评估应因“河”而异、因“时”而异。本文对河流生态修复评估体系进行了初步的探索,当然基于ANP评估河流生态修复的成功与否还有待通过实践去检验与完善。在以后的研究中应重视河流生态修复评估指标的选取,科学客观地确立指标间的相互影响,合理运用生态整治工程的运行效益,维护河流生态健康。

参考文献:

- [1] 张捍东,严钟,方大春. 应用ANP的Shapley值法动态联盟利益分配策略[J]. 系统工程学报,2009,24(2): 205-211.
- [2] 梁东花. 基于网络分析法的云南省小城镇污水处理工艺的评估研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2014.
- [3] 周振民,刘海滢,张青. 基于ANP的河流健康评估指标体系研究[J]. 中国农村水利水电,2011(9): 57-60
- [4] 田平,孙宏才,徐关尧. 关于AHP与ANP的比较和分析[C]//. 决策科学与评估——中国系统工程学会决策科学专业委员会第八届学术年会论文集,北京:知识产权出版社,2009:4-7
- [5] 郝增超,尚松浩. 基于栖息地模拟的河道生态需水量多目标评估方法及其应用[J]. 水利学报,2008,39(5): 557-561.
- [6] 徐昕,董壮. 改进的物元分析模型在河流健康评价中的应用[J]. 水资源与水工程学报,2015,26(6): 88-93+100.
- [7] 陈柏全. 广西河流生态整治模式及工程运行效应评估研究[D]. 南宁:广西大学,2010.
- [8] 胡孟春,张永春,唐晓燕,等. 城市河道近自然修复评估体系与方法及其在镇江古运河的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2): 187-195.
- [9] 蔡楠,杨扬,方建德,等. 基于层次分析法的城市河流生态修复评估[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(9): 1092-1098.
- [10] 肖继波,张立钦,曹玉成. 温州北山河黑臭河水治理工程[J]. 中国给水排水,2007,23(12): 51-53.