

# 水利工程对生态环境影响后评价研究 ——以石头河水利工程为例

胥开芬

(盐城市建湖县恒济水利管理服务站, 江苏 盐城 224700)

**摘要:** 通过水利工程对生态环境后评价研究, 为水利工程生态环境管理提供科学的决策依据, 具有重要的科学意义和应用价值。针对水利工程对生态环境影响, 结合 3 种方法, 建立了 FME-AHP 模型(模糊物元-层次分析法耦合模型)。最后, 以石头河水利工程为例, 结合石头河水库的实际概况, 应用 FME-AHP 模型对石头河水库对生态环境影响进行后评价。

**关键词:** 水利工程; 生态环境; 评价体系; FME-AHP 模型

中图分类号: X321

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839 (2018) 10-0054-08

## Post-evaluation study on the impact of water conservancy projects on the ecological environment——Taking the Stone River water conservancy project as an example

XU Kaifen

(Hengji Water Management Service Station of Jianhu County, Yancheng 224700, Jiangsu)

**Abstract:** It is of important scientific significance and application value to provide scientific decision-making basis for the ecological environment management of water conservancy projects through the research on ecological environment post-evaluation by water conservancy project. In view of the impact of water conservancy projects on the ecological environment, the FME-AHP model (fuzzy matter-AHP coupling model) was established combined with 3 methods. Finally, taking the Stone River water conservancy project as an example, combined with the actual situation of the Stone River reservoir, the FME-AHP model was used to evaluate the impact of the Stone River reservoir on the ecological environment.

**Key words:** water conservancy project; ecological environment; evaluation system; FME-AHP model

### 1 概述

无论是从国民经济发展还是从农业生产视角来说, 水利都有非常重要的价值。而且水利工程项目的建设, 对推动国家经济稳定发展和构建和谐社会也有非常重要的保障意义。虽然水资源可再生, 但就当前人类可利用的水资源情况来看, 水资源依然十分紧张。目前, 我国水资源总量储备较为丰富, 但是人均水资源占有较少, 且分布不均, 为

此也带来了一系列问题<sup>[1]</sup>。由于这些问题的存在, 给我国经济的发展带来了一定制约。考虑到水资源人均占有量低及当前水资源对于经济发展、人类生存的重要意义, 促使我们必须合理进行水资源利用及兴建水利工程。

当水利工程为人们带来巨大的社会和经济效益的同时, 河流的自然地理特征也正发生着改变, 河流的生态服务功能、流域的生态环境状况不可

收稿日期: 2018-03-08

作者简介: 胥开芬 (1977—), 女, 本科, 工程师, 主要从事水利工程管理及河道治理规划工作。

避免地遭到破坏。水利工程的兴建常常是以牺牲其他资源为代价<sup>[2-5]</sup>。水利工程作为国民经济的基础产业,是综合性的工程项目,往往涵盖了防洪、发电、供水、灌溉、除涝、治渍、水土保持、养殖、通航以及旅游等多项功能,具有其他工程项目无法比拟的社会性。水利工程对生态环境的影响是十分复杂的问题,涉及资源与环境、经济与社会、文化与道德等诸多领域。生态环境影响后评价是研究人类建设水利工程所产生的一系列生态环境变化以及对生态系统所产生的影响<sup>[6-7]</sup>。对已建成水利工程的生态环境影响后评价研究,总结水利工程规划设计、施工管理以及运行过程中的经验教训,分析水利工程建设对生态环境的影响,对工程建成后的科学调度与运行等提出建议,达到将水利工程对环境和生态的影响降到最低程度的目标,为保持水利工程项目本身可持续发展反馈信息,以及为新建项目决策管理提供支撑,具有重要科学价值和现实意义。

## 2 FME-AHP 耦合评价模型

本文是通过 3 种方法耦合的评价模型来对水利工程环境影响进行评价的,即模糊识别评价模型、物元评价法以及层次分析法 3 种方法建立的模型,建模流程如下:

(1) 首先要进行水利工程生态环境影响后评价指标体系的构建,同时要实现生态环境复合物元获取。

进行自然、社会生态环境物元构建的方式如下:

$$R^k = \begin{bmatrix} & C_1 & C_2 & & C_n \\ M, & x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中  $n$  维物元即公式里的  $R^k$ , 取值情况应该有  $k=1, 2$ 。1、2 即对应自然、社会生态环境物元。物元特征情况用  $C_1, C_2 \dots C_n$  表述,对应的特征值为  $x_1, x_2 \dots x_n$ 。系统内共计有  $n$  个指标。

(2) 评价等级标准构建方式。

对于评价等级设定来说,划分模式主要有:

情况一: 如果仅有  $K$  个门限值, 即  $S_1, S_2, \dots S_k$ , 那么在这里, 不同门限值即对应等级聚类中心。

情况二: 门限值的数量若是  $K+1$  个门限值, 如  $S_1, S_{K+1}$ , 此时门限值区间内对应某一等级, 也就是说  $[S_{i-1}, S_i]$ ; 具体在表 1 里做出了详细的表述。

论文研究是基于第二种评价划分来研究的。基于石头河流域现状, 以及国内外在进行生态环境评价等级方面的划分标准设立, 水利工程就生态环境影响情况, 对于指标的标准确立, 设定了 1 ~ 5 共计 5 个等级, 分别描述的是不利、较不利、无影响以及较有利、有利共计 5 个评价标准。详细的评价等级及对应的判定标准在表 2 里进行了阐述。

(3) 进行隶属度函数界定, 从而完成对子系统内不同指标隶属度值的计算<sup>[8]</sup>。

对应的计算公式应该是:

$$f(x) = \exp\left(-\left(\frac{x-a}{b}\right)^2\right) \quad (2)$$

$$a = \frac{S_k + S_{k+1}}{2}, b = 0.6006(S_{k+1} - S_k), \text{ 对应处于第}$$

$k$  等级处存在  $S_{k+1}, S_k$ , 二者描述的是在该位置处对应的上、下限值。

(4) 进行子系统模糊隶属度复合物元的建立, 针对自然、社会生态环境子系统, 实现其指标相对 5 个等级模糊隶属度复合物元的构建。

具体的构建方式如下列公式所描述:

表 1 评价等级标准

等级	1	2	...	$K-1$	$K$
指标等级标准 (情况一)	$S_1$	$S_2$	...	$S_{k-1}$	$S_k$
指标等级标准 (情况二)	$S_1 \sim S_2$	$S_2 \sim S_3$	...	$S_{k-1} \sim S_k$	$S_k \sim S_{k+1}$

表 2 评价指标等级划分标准

影响程度	不利 (1 级)	较不利 (2 级)	无影响 (3 级)	较有利 (4 级)	有利 (5 级)
分值	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100

$$R_{nm}^k = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & \dots & M_m \\ C_1 & u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1m} \\ C_2 & u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_n & u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

在式(3)里,存在指标  $R_{nm}^k$ ,其代表的是在子系统内,不同指标就5个等级对应模糊隶属度复合物元。取值情况应该有  $k=1, 2, 1, 2$  即对应自然、社会生态环境物元。第  $i$  个等级记为  $M_i$ ,对应的取值则有  $i=1, 2, \dots, m, m=5$ ;第  $j$  项对应的特征用  $C_j$  来进行描述,  $j=1, 2, \dots, n$ ,这里的  $n$  描述的是在不同子系统里共计存在的指标数量。同时  $u_{ij}$  描述的是第  $j$  项指标隶属于第  $i$  等级的模糊隶属度值。

(5)对于子系统不同指标权重的计算是采取 AHP 法来实现的。

运用专家打分,结合不同子系统内指标采取两两对比的方式,基于 AHP 法就能够实现对不同子系统内存在指标权重的计算,则有  $W^k(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ,此时应该有  $k=1, 2, 1, 2$  即对应自然、社会生态环境物元,这里的  $n$  描述的是在不同子系统里共计存在的指标数量。

(6)实现对不同子系统隶属度值的计算,在此基础上完成生态环境系统模糊隶属度复合物元的构建。

论文在研究中,计算方式为求积、加和。采取这种计算方式能获得更高的精准度。公式应该是:

$$H_i^k = \sum_{j=1}^n R_{ji}^k \times W_j^k \quad (4)$$

式中:  $H_i^k$  代表的是位于第  $k$  位置子系统在第  $i$  等级对应的隶属度值,取值为  $i=1, 2, \dots, 5$ 。  $W_j^k$  描述的是处于子系统里不同指标的对应权重,此时应该有  $k=1, 2, 1, 2$  即对应自然、社会生态环境物元,  $j=1, 2, \dots, n$ 。

基于此实现对生态环境系统模糊隶属度复合物元的构建,对应的公式是:

$$H = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H^1 & H_1^1 & H_2^1 & H_3^1 & H_4^1 & H_5^1 \\ H^2 & H_1^2 & H_2^2 & H_3^2 & H_4^2 & H_5^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中:  $H^k$  描述的是生态环境系统模糊隶属度复合物元,  $k=1, 2, 1, 2$  即对应自然、社会生态环

境物元。

(7)实现对不同子系统权重计算,采用 AHP 法进行。

运用专家打分,结合不同子系统内指标采取两两对比的方式,基于 AHP 法就能够实现对不同子系统内存在指标权重的计算,即  $W(w_1, w_2)$ 。

(8)就生态环境系统对5个等级加权隶属度值计算,从而实现生态环境系统加权模糊隶属度物元的构建。

论文在研究上,计算方式为求积、加和。公式为:

$$H_i = \sum_{k=1}^2 H_i^k \times W_k \quad (6)$$

式中:  $H_i$  代表的是生态环境系统对第  $i$  等级隶属度值,对应取值情况为  $i=1, 2, \dots, 5$ 。子系统权重用  $W_k$  描述,此时应该有  $k=1, 2, 1, 2$  即对应自然、社会生态环境物元。

基于此我们可以实现加权模糊隶属度物元的构建,对应公式是:

$$H = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H & H_1 & H_2 & H_3 & H_4 & H_5 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$H_i$  代表的是生态环境系统对第  $i$  等级隶属度值,对应取值为  $i=1, 2, \dots, 5$ 。

基于对  $H_i$  大小的比对,最终获取对应等级情况。在比对的过程中,其对应的最大隶属度,实际上就是水利工程就生态环境影响的等级程度。

(9)综合评价等级。

通过  $H_i$  大小的比对,最终获取对应等级情况。在比对的过程中,其对应的最大隶属度,实际上就是水利工程对生态环境影响的等级程度。

在进行影响程度等级的计算上,亦可借助以下公式展开:

$$G = \sum_{i=1}^m i \times \frac{H_i}{\sum_{i=1}^m H_i} \quad (8)$$

归属的等级用  $G$  来描述,等级的数量为  $m$ 。在本文研究中,  $m$  取值是5。

### 3 应用实例

基于本文提出的模型:模糊物元-层次分析耦合模型,接下来将结合石头河水库对生态环境的影响情况展开具体的影响分析和研究。

3.1 研究区概况

石头河水库在进行项目构建过程中,涵盖了大坝枢纽的构建、水电站以及输水渠道等项目的综合构建。经过项目建设,整个水库对应的水域面积以及库容量分别为 320 万 m<sup>2</sup>、1.47 亿 m<sup>3</sup>,其中有效以及滞洪库容分别为 1.2 亿 m<sup>3</sup>、0.31 亿 m<sup>3</sup>。该水库能够实现 2.7 亿 m<sup>3</sup> 的年调蓄水量。为此,该水库的建设对于日常城镇用水供应、灌溉、发电以及水产养殖等方面都有重要的价值。

3.2 构建石头河流域生态环境系统物元

基于本文所提及的指标体系构建,实现石头河流域生态环境系统物元的构建。通过大量的资料整理和分析,基于设定的指标采取专家评分,从而获取到表 3 中所描述的结果信息。

其中  $R^1$ 、 $R^2$  则指代的为自然、社会生态环境子系统分别对应的物元。

3.3 建立评价等级标准

基于石头河生态环境的分析,以及国内外在进行生态环境评价等级方面的划分标准设立,水利工程就生态环境影响情况,本文在进行等级标准的界定上最终确立采取百分制计算。对于指标的标准确立,设定了 1 ~ 5 共计 5 个等级,分别描述的是不利、较不利、无影响以及较有利、有利共计 5 个评价标准。详细的评价等级及对应的判定标准在表 4 里进行了阐述。

3.4 AHP 法确定权重

立足本文最终确立的相应评价指标,充分参考专家给出的意见,本文在进行子系统内部不同

表 3 水利工程对生态环境影响后评价指标特征值

系统	子系统	指标层	指标特征值
生态环境系统	自然生态环境子系统	水库淹没 $C_1$	30
		气候影响 $C_2$	50
		净化环境 $C_3$	85
		河道冲刷 $C_4$	45
		泥沙淤积 $C_5$	50
		库岸稳定 $C_6$	40
		回水影响 $C_7$	55
		水土流失 $C_8$	50
		对河口和邻近流域的影响 $C_9$	55
		对生物资源的影响 $C_{10}$	35
	社会生态环境子系统	人口迁移 $C_{11}$	40
		自然疫源病影响 $C_{12}$	45
		供水影响 $C_{13}$	95
		防洪效益 $C_{14}$	95
		对自然景观和名胜古迹的影响 $C_{15}$	40
		对渔业的影响 $C_{16}$	75

基于表 3,可进行自然、社会生态环境子系统物元的构建,对应的构建方程分别为:

$$R^1 = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_3 & C_4 & C_5 & C_6 & C_7 & C_8 & C_9 & C_{10} \\ M & 30 & 50 & 85 & 45 & 50 & 40 & 55 & 50 & 35 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ M & 40 & 45 & 95 & 95 & 40 & 75 \end{bmatrix} \quad (10)$$

指标权重的计算上,应用 AHP 法实现。

基于专家对两两相对重要性的评估,在表 5、表 6 里分别结合最终获取的自然、社会生态环境子系统不同指标对应的判断矩阵情况,以及 AHP 法赋权情况进行了描述。

为此,我们能够实现对自然、社会生态环境子系统对应指标  $C_1 \sim C_{10}$  及  $C_{11} \sim C_{16}$  的权重获取,

表 4 石头河流域生态环境系统评价指标对应等级及界定标准

指标	不利 ( 1 级 )	较不利 ( 2 级 )	无影响 ( 3 级 )	较有利 ( 4 级 )	有利 ( 5 级 )
$C_1$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_2$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_3$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_4$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_5$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_6$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_7$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_8$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_9$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{10}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{11}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{12}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{13}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{14}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{15}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100
$C_{16}$	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100

表 5 自然生态环境子系统不同指标构造矩阵及对应的权重信息

指标	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	权重
$C_1$	1	9	8	7	6	7	3	4	2	5	0.2935
$C_2$	1/9	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1/7	1/6	1/8	1/5	0.0167
$C_3$	1/8	2	1	1/2	1/3	1/2	1/6	1/5	1/7	1/4	0.0225
$C_4$	1/7	3	2	1	1/2	1	1/5	1/4	1/6	1/3	0.0327
$C_5$	1/6	4	3	2	1	2	1/4	1/3	1/5	1/2	0.0492
$C_6$	1/7	3	2	1	1/2	1	1/5	1/4	1/6	1/3	0.0327
$C_7$	1/3	7	6	5	4	5	1	2	1/2	1/3	0.1269
$C_8$	1/4	6	5	4	3	4	1/2	1	1/3	2	0.1073
$C_9$	1/2	8	7	6	5	6	2	3	1	4	0.2137
$C_{10}$	1/5	5	4	3	2	3	3	1/2	1/4	1	0.1047



表 6 社会生态环境子系统不同指标构造矩阵及对应的权重信息

指标	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$	权重
$C_{11}$	1	8	3	4	5	6	0.4476
$C_{12}$	1/8	1	1/6	1/5	1/4	1/3	0.0318
$C_{13}$	1/3	6	1	2	3	4	0.2216
$C_{14}$	1/4	5	1/2	1	2	3	0.1444
$C_{15}$	1/5	4	1/3	1/2	1	2	0.0932
$C_{16}$	1/6	3	1/4	1/3	1/2	1	0.0614

结果分别为:

$W_1=(0.2935, 0.0167, 0.0225, 0.0327, 0.0492, 0.0327, 0.1269, 0.1073, 0.2137, 0.1047)$

$W_2=(0.4476, 0.0318, 0.2216, 0.1444, 0.0932, 0.0614)$

借助 AHP 方法能够尽可能降低主观性, 实现客观的描述。考虑到决策者本身认知存在一定主观程度, 为此需要就实际问题成对比较矩阵进行一致性检验, 具体的实现流程为:

(1) 进行一致性指标  $CI$  的获取

$CI$  值所描述的是判断矩阵  $A$  对应的非一致性严重性, 其结果可借助下列公式获取:

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$$

(11)

在式 (11) 中, 判断矩阵维数用  $n$  进行描述。

(2) 计算相应的平均随机一致性指标  $RI$

在进行平均随机一致性指标值的获取上, 一般是基于查表来获得。在本文研究里, 对于该值的获取, 是借助许树伯的 1 ~ 10 阶平均随机一致性指标查询而得。具体查表结果在表 7 里进行了呈现。

表 7 1 ~ 10 阶平均随机一致性指标表

$n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$RI$	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

(3) 计算一致性比例  $CR$

结合两个指标  $CI$ 、 $RI$  实现对随机一致性比  $CR$  的获取, 对应的计算公式为:

$$CR=\frac{CI}{RI}$$

(12)

通常来说, 如果通过计算获得的结果是  $CR < 0.1$ , 那么此时则可知矩阵能够与  $CR$  契合。若最终获取的计算结果是  $CR \geq 0.1$ , 则二者不相符, 此时需要进行指标的进一步修正, 直至最终获取的计算结果符合  $CR < 0.1$ 。

运用 Matlab 工具展开计算, 可知自然生态环境子系统对应判断矩阵最大特征值应该是  $\lambda_{\max}=10.6915$ , 将该值代入公式, 最终得到  $CI=0.0768$ , 通过对表 5 的查询, 如果  $n=10$ , 则  $RI=1.49$ , 此时可知一致性比例  $CR=0.0516 < 0.1$ , 能够符合一致性检验。

对于社会生态环境子系统而言, 其对应的判断矩阵最大特征值应该是  $\lambda_{\max}=6.2091$ ,  $CI=0.0418$ , 基于表 5 的查阅结果, 如果  $n=6$ , 此时可知  $RI=1.24$ , 那么最终获取的结果为  $CR=0.0337 < 0.1$ , 能够契合一致性检验。

3.5 构建子系统模糊隶属度物元

在进行计算时, 基于正态型隶属度函数, 就自然、社会生态环境子系统里存在的不同指标对应等级的隶属度值情况进行了计算, 具体的计算公式是:

$$f(x)=\exp(-(\frac{x-a}{b})^2)$$

(13)

式中:  $a=\frac{S_k+S_{k+1}}{2}$ ,  $b=0.6006(S_{k+1}-S_k)$ ,  $S_{k+1}$ ,  $S_k$

两个指标代表的是处于第  $k$  等级位置处对应的上、下限值。

编程应用 Matlab 进行, 从而可实现如表 8、表 9 描述的不同指标隶属度值情况。

就同指标而言, 其隶属 5 个等级对应隶属度

值最终求和应该刚好为 1, 为此通过归一化处理最终即可获得表 10、表 11 中描述的结果信息。

结合表 10、表 11, 获取自然以及社会生态环

表 8 自然生态环境子系统不同指标隶属度对对应值

指标	不利 (1 级)	较不利 (2 级)	无影响 (3 级)	较有利 (4 级)	有利 (5 级)
C <sub>1</sub>	0.0625	1.0000	0.0625	0.0000	0.0000
C <sub>2</sub>	0.0000	0.0625	1.0000	0.0625	0.0000
C <sub>3</sub>	0.0000	0.0000	0.0002	0.2103	0.8409
C <sub>4</sub>	0.0002	0.2103	0.8409	0.0131	0.0000
C <sub>5</sub>	0.0000	0.0625	1.0000	0.0625	0.0000
C <sub>6</sub>	0.0020	0.5000	0.5000	0.0020	0.0000
C <sub>7</sub>	0.0000	0.0131	0.8409	0.2103	0.0002
C <sub>8</sub>	0.0000	0.0625	1.0000	0.0625	0.0000
C <sub>9</sub>	0.0000	0.0131	0.8409	0.2103	0.0002
C <sub>10</sub>	0.0131	0.8409	0.2103	0.0002	0.0000

表 9 社会生态环境子系统不同指标隶属度对应值

指标	不利 (1 级)	较不利 (2 级)	无影响 (3 级)	较有利 (4 级)	有利 (5 级)
C <sub>11</sub>	0.0020	0.5000	0.5000	0.0020	0.0000
C <sub>12</sub>	0.0002	0.2103	0.8409	0.0131	0.0000
C <sub>13</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0131	0.8409
C <sub>14</sub>	0.0000	0.0000	0.0000	0.0131	0.8409
C <sub>15</sub>	0.0020	0.5000	0.5000	0.0020	0.0000
C <sub>16</sub>	0.0000	0.0000	0.0131	0.8409	0.2103

表 10 自然生态环境子系统不同指标归一化隶属度对应值

指标	不利 (1 级)	较不利 (2 级)	无影响 (3 级)	较有利 (4 级)	有利 (5 级)
C <sub>1</sub>	0.0556	0.8888	0.0556	0.0000	0.0000
C <sub>2</sub>	0.0000	0.0556	0.8888	0.0556	0.0000
C <sub>3</sub>	0.0000	0.0000	0.0002	0.2000	0.7998
C <sub>4</sub>	0.0003	0.1975	0.7899	0.0123	0.0000
C <sub>5</sub>	0.0000	0.0556	0.8888	0.0556	0.0000
C <sub>6</sub>	0.0019	0.4981	0.4981	0.0019	0.0000
C <sub>7</sub>	0.0000	0.0123	0.7899	0.1976	0.0002
C <sub>8</sub>	0.0000	0.0556	0.8888	0.0556	0.0000
C <sub>9</sub>	0.0000	0.0123	0.07899	0.1976	0.0002
C <sub>10</sub>	0.0123	0.7899	0.1976	0.0002	0.0000

表 11 社会生态环境子系统不同指标归一化隶属度对应值

指标	不利 (1 级)	较不利 (2 级)	无影响 (3 级)	较有利 (4 级)	有利 (5 级)
$C_{11}$	0.0019	0.4981	0.4981	0.0019	0.0000
$C_{12}$	0.0002	0.1976	0.7899	0.0123	0.0000
$C_{13}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0154	0.9846
$C_{14}$	0.0000	0.0000	0.0000	0.0154	0.9846
$C_{15}$	0.0019	0.4981	0.4981	0.0019	0.0000
$C_{16}$	0.0000	0.0000	0.0124	0.7901	0.1975

境各自子系统分别对应的模糊隶属度复合物元, 如下:

$$R^1 = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ C_1 & 0.0556 & 0.8888 & 0.0556 & 0.0000 & 0.0000 \\ C_2 & 0.0000 & 0.0556 & 0.8888 & 0.0556 & 0.0000 \\ C_3 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0002 & 0.2000 & 0.7998 \\ C_4 & 0.0003 & 0.1975 & 0.7899 & 0.0123 & 0.0000 \\ C_5 & 0.0000 & 0.0556 & 0.8888 & 0.0556 & 0.0000 \\ C_6 & 0.0019 & 0.4981 & 0.4981 & 0.0019 & 0.0000 \\ C_7 & 0.0000 & 0.0123 & 0.7899 & 0.1976 & 0.0002 \\ C_8 & 0.0000 & 0.0556 & 0.8888 & 0.0556 & 0.0000 \\ C_9 & 0.0000 & 0.0123 & 0.7899 & 0.1976 & 0.0002 \\ C_{10} & 0.0002 & 0.7899 & 0.1976 & 0.0002 & 0.0000 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$R^2 = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ C_{11} & 0.0019 & 0.4981 & 0.4981 & 0.0019 & 0.0000 \\ C_{12} & 0.0002 & 0.1976 & 0.7899 & 0.0123 & 0.0000 \\ C_{13} & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0154 & 0.9846 \\ C_{14} & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0154 & 0.9846 \\ C_{15} & 0.0019 & 0.4981 & 0.04981 & 0.0019 & 0.0000 \\ C_{16} & 0.0000 & 0.0000 & 0.0124 & 0.7901 & 0.1975 \end{bmatrix} \quad (15)$$

在上述的公式里, 用  $R^1$ 、 $R^2$  分别进行自然以及社会生态环境子系统对应的模糊隶属度复合物元。

在权重计算上运营的是 AHP 法, 最终获取到自然以及社会生态环境子系统对应的权重向量用  $W_1$ 、 $W_2$  描述, 则:

$$W_1 = (0.2935, 0.0167, 0.0225, 0.0327, 0.0492, 0.0327, 0.1269, 0.1073, 0.2137, 0.1047)$$

$$W_2 = (0.4476, 0.0318, 0.2216, 0.1444, 0.0932, 0.0614)$$

结合公式进行加权计算, 最终获得自然生态环境子系统模糊隶属度物元, 具体的计算公式是:

$$H^1 = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H & 0.0177 & 0.3802 & 0.5021 & 0.0819 & 0.0181 \end{bmatrix} \quad (16)$$

同理可获取社会生态环境子系统模糊隶属度物元, 计算式为:

$$H^2 = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H & 0.0011 & 0.2756 & 0.2952 & 0.0556 & 0.3725 \end{bmatrix} \quad (17)$$

在上述的公式里, 两个指标  $H^1$ 、 $H^2$  分别代表自然、社会生态环境子系统模糊隶属度物元。

3.6 构建生态环境系统模糊隶属度物元

结合上面的公式, 可获取生态环境系统模糊隶属度复合物元, 表达式为:

$$H = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H & 0.0177 & 0.3802 & 0.5021 & 0.0819 & 0.0181 \\ & 0.0011 & 0.2756 & 0.2952 & 0.0556 & 0.3725 \end{bmatrix} \quad (18)$$

通过 AHP 权重赋值, 可知生态环境系统子系统权重  $W = (0.6667, 0.3333)$ 。

同时, 能够获取生态环境系统模糊隶属度物元, 表达式为:

$$H = \begin{bmatrix} & M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ H & 0.0122 & 0.3453 & 0.4332 & 0.0731 & 0.1362 \end{bmatrix} \quad (19)$$

3.7 评价结果分析

结合上文里的公式, 自然、社会生态环境子系统对生态环境的影响分别是第三、第五等级, 分别代表的是基本无影响以及存在有利影响。同时基于公式可就生态环境系统对不同等级的隶属情况做出判定。通过计算得到, 第三、第二等级对应最大隶属度值分别是 0.4332、0.3453, 代表的是石头河水库对生态环境影响为第三等级, 同时略微偏向第二等级。

(下转第 65 页)



（上接第 61 页）

## 4 结语

本文提出了模糊物元－层次分析耦合模型（FME-AHP 模型），并建立了石头河流域生态环境系统复合物元和评价等级标准，且根据 AHP 赋权法确定自然生态环子系统以及社会生态环境子系统中各指标的权重，以及两个子系统对生态环境系统的权重。通过采用正态型隶属度函数，计算子系统中各指标对 5 个等级的隶属度，建立子系统模糊隶属度复合物元，通过对各指标以及子系统进行加权平均计算，得到石头河流域生态环境系统模糊隶属度物元，从而根据模糊隶属度的大小来确定石头河水库对生态环境的影响程度，结果表明石头河水库对生态环境的影响处于第三等级（无影响），并偏向于第二等级（有较不利影响）。

### 参考文献：

- [1] 于陶. 水利建设项目持续性后评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [2] 张东亚. 水利水电工程对鱼类的影响及保护措施 [J]. 水资源保护, 2011, 27 (5): 75-77.
- [3] 王智阳. 水利工程的生态环境影响及调控措施 [J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2011, 23 (4): 7-9.
- [4] 曹永强. 水利水电工程建设对生态环境的影响分析 [J]. 人民黄河, 2005, 27 (1): 56-58.
- [5] 王翠文. 水电站工程的生态环境影响评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [6] 潘峰. 模糊物元模型在区域水资源可持续利用综合评价中的应用 [J]. 水科学进展, 2013, 14 (3): 271-275.
- [7] 张慧玲. 水电投资项目后评价理论与实践研究 [D]. 北京: 华东电力大学, 2008.
- [8] 王季方, 卢正鼎. 模糊控制中隶属度函数的确定方法 [J]. 河南科学, 2010, 18 (4): 348-351.