

文章编号:1004-8227(2011)01-0107-04

基于 AHP-FUZZY 方法的锦屏一级水库 生态系统服务功能综合评价

陈秀铜^{1,2}, 李璐³

(1. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072; 2. 二滩水电开发有限责任公司, 四川 成都 610051;
3. 西南石油大学建筑工程学院, 四川 成都 610500)

摘要:水利工程的生态系统服务功能涉及影响因素众多,各因素间相互关联、逻辑关系复杂,但往往具有层次结构。每个因素对系统服务功能贡献的大小有其自身属性所决定的确定性,但实际度量中又表现为模糊性特征,针对常用替代方法(如市场价值法、机会成本法、影子工程法、旅行费用法、防护费用法等)评价生态系统服务功能的缺点,将系统工程决策方法和模糊数学评价方法有机结合,提出了一种层次分析-模糊数学(AHP-FUZZY)水库生态系统服务功能综合评价方法,该方法较全面地考虑了水库生态系统服务功能的多种影响因素,避免了仅考虑少数几种判据所带来的局限性,同时通过层次结构分析较为客观地给出了各种影响因素的影响度值,为提高水库生态系统服务功能综合评价的可靠性创造了条件。

关键词:层次分析-模糊数学方法;生态系统服务功能;水库
文献标识码:A

生态系统服务功能是指从生态系统中获取的效益。生态系统服务功能的来源既包括自然生态系统,也包括人类改造的生态系统,生态系统服务功能包含了生态系统为人类提供的直接的和间接的、有形的和无形的效益^[1]。正确认识生态系统服务功能的价值有利于增强人们的生态意识,合理制定开发政策,实施可持续发展。

生态系统服务功能的价值评价,即生态价值的鉴别、量化和货币化都很困难,目前还没有关于生态价值成熟的定价方法,多是采用一些替代方法进行计算,如市场价值法、机会成本法、影子工程法、旅行费用法、防护费用法等^[2~4]。但由于不同人对参数选择的差异,所得结果往往差异很大。

水利工程的生态系统服务功能涉及影响因素众多,各因素间相互关联、逻辑关系复杂,但往往具有层次结构。每个因素对系统服务功能贡献的大小有其自身属性所决定的确定性,但实际度量中又表现为模糊性特征,因此,本文采用层次分析-模糊数学(AHP-FUZZY)综合评价方法来评价水利工程的生态系统服务功能。

1 AHP-FUZZY 方法的基本原理

1.1 层次分析法(AHP)^[5]

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)是美国著名的运筹学家 Satty 等人在 20 世纪 70 年代提出的一种定性分析与定量分析相结合的多准则决策方法。这一方法的特点,是在对复杂决策问题的影响因素以及内在关系等进行深入分析之后,构建一个多层次结构模型,然后利用较少的定量信息,把决策的思维过程数学化,从而为求解多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题,提供一种简便的决策方法。具体地说,它是指将决策问题的有关元素分解成目标、准则、方案等层次,用一定标度对人的主观判断进行客观量化,在此基础上进行定性分析和定量分析的一种决策方法。它把人的思维过程层次化、数量化,并用数学为分析、决策、预报或者控制提供定量的依据。它尤其适合于人的定性判断起重要作用的、对决策结果难于直接准确计量的场合。运用 AHP 进行决策时,大体可以分为 4 个

收稿日期:2010-01-27;修回日期:2010-04-01

基金项目:国家自然科学基金重点项目“雅砻江水电开发联合研究”(50639070)

作者简介:陈秀铜(1976~),男,湖北省利川人,博士研究生,主要从事生态水工方面的研究。E-mail:chenxiutong@gmail.com

步骤进行:(1)分析系统中各因素之间的关系,建立系统的递阶层次结构;(2)对同一层次各元素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵;(3)层次单排序及一致性检验;(4)层次总排序及一致性检验。

1.2 模糊综合评价(FUZZY)^[6]

模糊综合评价方法是在模糊数学环境下,考虑多种因素的影响,为了某种目的对一事物做出综合决策方法。它的特点在于,评判逐对象进行,对被评价对象有唯一的评价值,不受被评价对象所处对象集合的影响。综合评价的目的是要从对象集中选出优胜对象,所以还需要将所有对象的评价结果进行排序。所以,模糊综合评价法也将针对批判对象的全体,根据所给条件,给每一个对象赋予一个非负实数——评价指标,再据此排序择优。

模糊综合评价是根据已经给出的评价标准及各评价因素的实测值,首先进行单因素评价,形成单因素模糊关系矩阵 R ;再确定每个因素对评价目标贡献的大小,即权值集合 ω ,经过模糊变换得到对事物作出评价的评判集 B ,即:

$$B = \omega R \quad (1)$$

式中 $B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$, B_n 为评价对象第 n 评价级别的隶属度。最后根据最大隶属度原则,确定事物的最终评判结果。

1.3 AHP-FUZZY 综合评价过程

进行综合评价时,确定各因素对评价目标的权值非常关键,以往都采用由专家评分的办法给出,存在很多主观因素。而采用 AHP 法对生态系统服务功能的各种影响因素和判据进行层次分析,建立层次结构模型,确定各因素和判据权值进行一致性检验,直到符合一致性检验的要求,将权值分析结果应用模糊评价中。用 AHP-FUZZY 方法对生态系统服务功能评价方法,可使评价结果更具客观性和可信性,图 1 为 AHP-FUZZY 综合评价框架图。

2 生态系统服务功能综合评价过程

锦屏一级水电站位于四川省盐源县、木里县交界的雅砻江干流,是雅砻江水能资源最富集的中下游河段五级水电开发中的第一级。电站规模巨大,主要任务是发电,结合汛期蓄水兼有减轻长江中下游防洪负担的作用。正常蓄水位 1 880.00 m,总库容 77.6 亿 m^3 ,调节库容 49.1 亿 m^3 ,为年调节水库。

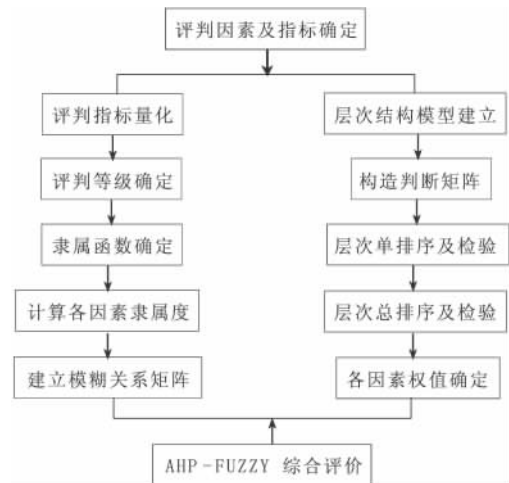


图 1 AHP-FUZZY 综合评价过程框架图

Fig. 1 Comprehensive Evaluation Process with AHP-FUZZY

对水利水电工程的经济效益和生态功能进行综合评价,既能满足了人类社会对电力、防洪、供水等需求,又能兼顾河流生态系统健康与可持续性需求的目标。水利水电工程建设的后评估,对于工程的经济效益与工程建成后的生态功能进行综合评价,以确定是否需要河流生态修复或是否需要放弃某些经济利益换取生态功能,比如进行水库生态调度时放弃一定的发电效益换取河流生态功能改善。

进行经济效益与生态功能的综合评价时,需要建立一套指标体系并且力求评价定量化。本文针对锦屏一级水库的具体情况,确定了水库生态系统服务功能综合评价分为 4 个层次,即目标层 A,准则层 B(共 4 类因子),指标层 C(共 14 个因素),方案层(共 3 个决策方案),建立的层次结构如图 2 所示。

综合每一层次各因素两两之间相对于上一层次的影响程度的重要性,从而构成判断矩阵如表 1~表 5 所示。

根据上面的分析,通过层次分析法,得到了在准则层和目标层对 3 个决策方案(不建水库、常规调度和生态调度)的评定。在此基础上,采用二级模糊综合评判方法对水库的生态效应进行综合评判,其中,第一级因素集权重向量采用表 1 的权重,第二级因素级权重向量采用表 2~表 5 的权重。根据专家对两个决策方案的单因素评议结果,经过统计计算构成模糊评判矩阵,如表 6 所示。

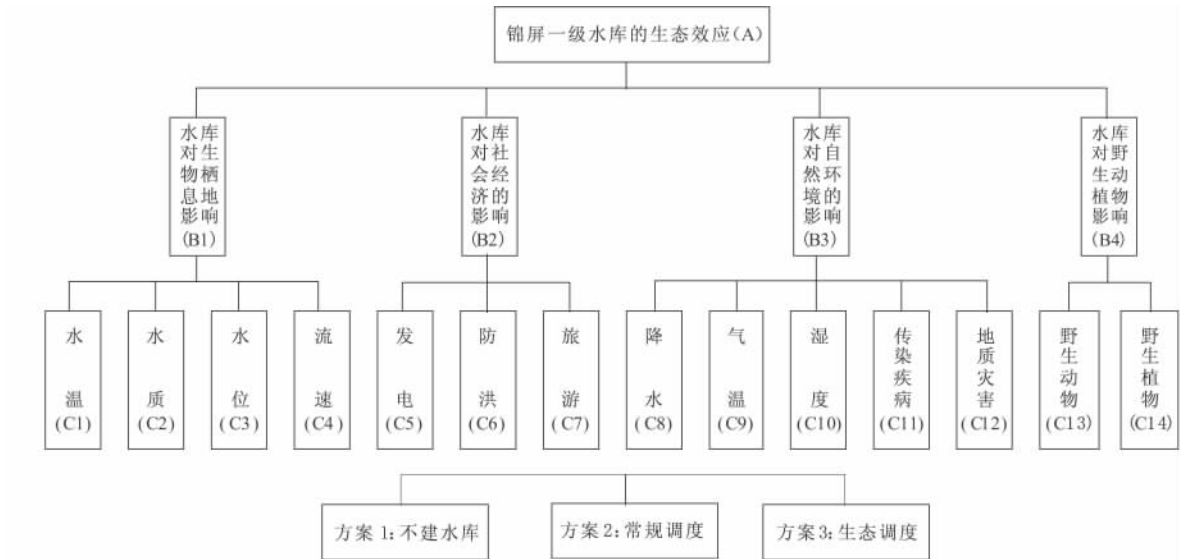


图 2 水库生态效应的层次结构图

Fig. 2 AHP of Reservoir Ecological Effects

表 1 A-B 判断矩阵

Tab. 1 A-B Comparison Matrix

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	ω
B ₁	1	2	3	4	0.45
B ₂	1/2	1	2	3	0.29
B ₃	1/3	1/2	1	2	0.17
B ₄	1/4	1/3	1/2	1	0.09

表 2 B₁-C 判断矩阵

Tab. 2 B₁-C Comparison Matrix

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	ω
C ₁	1	2	3	4	0.45
C ₂	1/2	1	2	3	0.29
C ₃	1/3	1/2	1	2	0.17
C ₄	1/4	1/3	1/2	1	0.09

表 3 B₂-C 判断矩阵

Tab. 3 B₂-C Comparison Matrix

B ₂	C ₅	C ₆	C ₇	ω
C ₅	1	2	3	0.53
C ₆	1/2	1	2	0.31
C ₇	1/3	1/2	1	0.16

表 4 B₃-C 判断矩阵

Tab. 4 B₃-C Comparison Matrix

B ₃	C ₈	C ₉	C ₁₀	C ₁₁	C ₁₂	ω
C ₈	1	1	1	1/2	1/2	0.14
C ₉	1	1	1	1/2	1/2	0.14
C ₁₀	1	1	1	1/2	1/2	0.14
C ₁₁	2	2	2	1	1	0.29
C ₁₂	2	2	2	1	1	0.29

表 5 B₄-C 判断矩阵

Tab. 5 B₄-C Comparison Matrix

B ₄	C ₁₃	C ₁₄	ω
C ₁₃	1	2	0.67
C ₁₄	1/2	1	0.33

表 6 模糊评判矩阵

Tab. 6 Fuzzy Evaluation Matrix

第一因素集	第一因素集权重	第二因素集	第二因素集权重	评价集		
				方案 1	方案 2	方案 3
水库对生物栖息地影响(B ₁)	0.45	水温(C ₁)	0.45	0.45	0.15	0.40
		水质(C ₂)	0.29	0.40	0.25	0.35
		流速(C ₃)	0.17	0.35	0.30	0.35
		水位(C ₄)	0.09	0.40	0.30	0.30
水库对社会经济的影响(B ₂)	0.29	发电(C ₅)	0.53	0.05	0.50	0.45
		防洪(C ₆)	0.31	0.10	0.45	0.45
		旅游(C ₇)	0.16	0.05	0.45	0.50
水库对自然环境的影响(B ₃)	0.17	降水(C ₈)	0.14	0.20	0.40	0.40
		气温(C ₉)	0.14	0.30	0.35	0.35
		湿度(C ₁₀)	0.14	0.30	0.35	0.35
		疾病(C ₁₁)	0.29	0.40	0.30	0.30
		灾害(C ₁₂)	0.29	0.40	0.30	0.30
水库对野生动植物影响(B ₄)	0.09	动物(C ₁₃)	0.67	0.40	0.25	0.35
		植物(C ₁₄)	0.33	0.40	0.30	0.30

对第二级因素 4 个子集分别进行单因素模糊评判,对第一个子集,取权重向量 $\omega_1 = [0.45, 0.29, 0.17, 0.09]$,单因素评价矩阵为 R_1 , R_1 具体值为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.45 & 0.15 & 0.40 \\ 0.40 & 0.25 & 0.35 \\ 0.35 & 0.30 & 0.35 \\ 0.40 & 0.30 & 0.30 \end{bmatrix}$$

考虑到评价中尽可能反映各因素的综合作用,模糊矩阵运算采用加权平均模型,得到第一个子集的综合评判模糊集为:

$$B_1' = \omega_1 R_1 = [0.41, 0.22, 0.37]$$

同理,可得其它 3 个子集的综合评判模糊集为:

$$B_2' = \omega_2 R_2 = [0.07, 0.48, 0.45]$$

$$B_3' = \omega_3 R_3 = [0.34, 0.33, 0.33]$$

$$B_4' = \omega_4 R_4 = [0.40, 0.27, 0.33]$$

对第一级因素进行综合模糊评判。权重向量为 $\omega = [0.45, 0.29, 0.17, 0.09]$, 由上面一级模糊的评判结果组成二级模糊综合评判的评判矩阵 R , R 具体值如下:

$$R = \begin{bmatrix} B_1' \\ B_2' \\ B_3' \\ B_4' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.41 & 0.22 & 0.37 \\ 0.07 & 0.48 & 0.45 \\ 0.34 & 0.33 & 0.33 \\ 0.40 & 0.27 & 0.33 \end{bmatrix}$$

综合评判模糊集为: $B = \omega R = [0.30, 0.32, 0.38]$ 。计算结果表明, 方案 3 的隶属度最大, 说明锦屏一级水电站应采取适当生态调度措施, 以发挥其在改善生态系统效应中的作用, 进行生态调度。

3 结论

河流上修建水库将对河流生态系统服务功能产生显著影响, 这种影响既包括正面影响, 也包括负面影响。关注这些影响将有利于人们在修建水库和水库运行的过程中尽可能减少不利影响, 对保护河流生态系统服务功能的正常发挥具有重要意义^[7~9]。保持河流生态系统健康, 使河流生态系统服务功能得到正常发挥, 是实现可持续发展的一个重要目标, 也是水库建设决策中应考虑的必要因素之一。

本文将系统工程决策方法和模糊数学评价方法有机结合, 提出了一种层次分析法-模糊数学水库生

态系统服务功能综合评价方法, 对生态系统服务功能影响因素及其判据之间的关系进行分类评价, 并构造各影响因素之间相互作用的层次结构模型。AHP-FUZZY 综合评价方法是一种多指标、多因素、多判据的生态系统服务功能评价方法, 综合考虑了影响生态系统服务功能的多种因素, 避免了仅考虑少数几种判据所带来的局限性, 同时通过层次结构分析方法较为客观地给出了各种影响因素的影响程度值, 为提高综合预测评价的可靠性创造了条件。

参考文献:

- [1] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [2] 吴玲玲, 陆健健, 董春富, 等. 长江口湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(5): 411~416.
- [3] 刘青, 胡振鹏. 东江源区生态系统服务功能经济价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(4): 532~536.
- [4] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 等. 南水北调东线水源地保护区生态建设的生态经济效益评估模糊数学方法及其应用[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(3): 384~387.
- [5] 赵焕臣. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [6] 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2006.
- [7] 吴阿娜, 车越, 杨凯. 基于内容分析法的河流健康内涵及表征[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(6): 932~937.
- [8] 杨红, 袁政涛, 刘健, 等. 上海隧桥工程海域生态系统健康的初步评价[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(11): 1032~1036.
- [9] 唐涛, 渠晓东, 蔡庆华, 等. 河流生态系统管理研究——以香溪河为例[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(6): 595~598.

COMPREHENSIVE EVALUATION OF ECOSYSTEM SERVICE FUNCTION OF JINPING-I RESERVOIR BASED ON AHP-FUZZY METHOD

CHEN Xiu-tong^{1,2}, LI Lu³

(1. School of Water Resource and Hydropower, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. Ertan Hydropower Development Company, Ltd, Chengdu 610051, China; 3. College of Civil Engineering and Architecture Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

Abstract: Ecosystem service functions of hydropower project involves in many factors. The various factors are interrelated, and logical relationships are very complex, but they often have a hierarchical structure. Each of these factors contributing to the system service function has its own attributes; however, it performs the fuzzy characteristics in the actual measurement. Aim at the shortcomings of commonly used alternative evaluation methods (such as market value, opportunity cost, shadow project method, travel cost method, protection cost method, etc.), this paper put forward a new AHP-FUZZY method by combining analytic hierarchy process and fuzzy programming. Many kinds of factors were considered in the method, avoiding the limitations of only a few criteria to consider. At the same time, a more objective affecting degree value was given through the hierarchical structure analysis. It would improve the reliability of reservoir ecosystem services function comprehensive evaluation.

Key words: AHP-FUZZY method; ecosystem service function; reservoir