

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.03.012

基于 ANP-FCE 模型的水电工程环境影响评价

张青, 路金喜, 刘智奇

(河北农业大学 城乡建设学院, 河北保定 071000)

摘要: 针对水电工程环境影响评价体系中各指标间相互影响的特点, 将网络层次分析法(ANP)和模糊综合评价法(FCE)相结合, 对水电工程环境影响进行综合评价。首先根据网络层次分析法(ANP)构建水电工程环境影响评价的网络结构模型, 确定所有评价指标的权重, 该方法克服了以往运用层次分析法(AHP)确定指标权重不能反映指标之间相互影响关系的弊端; 然后引入模糊综合评价(FCE)的思想和方法对水电工程环境影响进行评价, 提出水电工程环境影响评价的 ANP-FCE 模型。对我国北方某水电工程进行实例分析的结果显示, 该评价模型合理、有效。

关键词: 网络层次分析法(ANP); 模糊综合评价(FCE); Super Decisions 软件; 环境影响评价; 水电工程

中图分类号: TV212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)03-0453-04

Environmental impact assessment of hydropower project based on ANP-FCE model

ZHANG Qing, LU Jinxi, LIU Zhiqi

(College of Urban and Rural Construction, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: There is interaction between each index in the environmental impact assessment system of the hydropower project. Analytic network process(ANP) and fuzzy comprehensive evaluation(FCE) were used to perform the comprehensive evaluation of the environmental impact of hydropower project. First, the network structure model for the environmental impact assessment of hydropower project was developed based on ANP and the weights of all evaluation indexes were determined. This method overcomes the disadvantage of not reflecting the interaction between the indexes using the analytic hierarchy process(AHP). Then, the theory and method of FCE were introduced to perform the environmental impact assessment of hydropower project, and the ANP-FCE model to evaluate environmental impact of hydropower project was proposed. Finally, the model was applied to a hydropower project in north China and the results suggested the evaluation model is reasonable and effective.

Key words: analytic hierarchy process(ANP); fuzzy comprehensive evaluation(FCE); Super Decisions software; environmental impact assessment; hydropower project

社会上经济快速发展使得水资源短缺问题越来越严重, 从而引发各种自然灾害以及工农业用水困难等问题。为解决这一难题, 许多国家开始兴建水利工程。然而, 任何工程的兴建都会对环境带来一定的影响。美国最早在 1969 年提出了环境影响评价的概念和制度^[1], 加拿大、日本、埃及等国家在 20 世纪 70-80 年代也对此进行了深入的研究^[2,3]。我国在 1989 年也开始实行了《水利工程环境影响评价规范》。

水电工程是一个复杂的大系统, 影响水电工程环境的因素有很多, 这些因素之间又相互联系, 很难用精确的标准来衡量或界定, 因此对水电工程环境影响评价工作带来困难。为此, 本文拟利用网络层次分析法(Analytic Network Process, ANP)确定相互影响的各指标权重, 利用模糊综合

评价法(FCE)评价各指标, 更以便真实准确地反映水电工程环境影响的实际情况, 从而对影响水电工程环境的不确定性因素进行定量分析。

1 ANP-FCE 评价方法

1.1 ANP 网络结构模型

网络层次分析法是层次分析法的扩展, 主要针对的是决策问题的结构具有依赖性和反馈性的情况。ANP 的典型结构由两大部分组成: 第一部分为网络控制层, 包括目标及决策准则, 每个准则支配的不是一个简单的元素而是一个相互依存、反馈的网络结构, 所有准则彼此独立只受目标元素的支配。控制层可以没有准则只有一个目标。第二部分为

收稿日期: 2014-05-16 修回日期: 2015-04-01 网络出版时间: 2015-05-13

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150513.1514.006.html>

作者简介: 张青(1988-), 女, 邢台南官人, 主要从事水资源规划管理与水环境方面研究。E-mail: d781346377@126.com

通讯作者: 路金喜(1957-), 男, 教授, 主要从事水资源规划管理与水环境方面研究。E-mail: lu8885622@sohu.com

网络层,它是由若干互不隶属、互不独立的元素集组成的相互影响的网络结构^[4](图 1)。

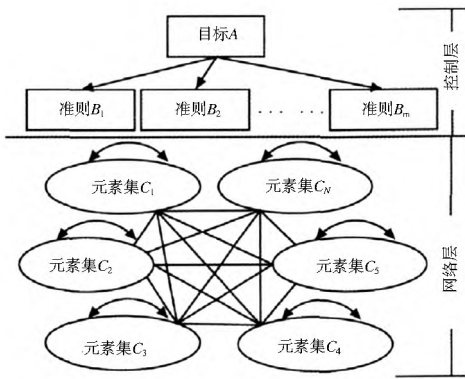


图 1 典型的 ANP 结构

Fig. 1 Typical structure of ANP

1.2 ANP 与 AHP 的异同

AHP 是 ANP 的基础,两种方法的共同之处是都面对无结构和半结构的决策问题,涉及的领域也都是无法用数学模型精确描述的复杂系统。AHP 解决的是同一层次或不同层次中任意俩元素之间不存在从属和支配关系且同一层次元素内部独立的递阶层次结构。但是,实际生活中很多指标体系都是网络结构形式。ANP 正是为解决这种复杂的网络结构问题而形成的一种系统决策方法。ANP 的网络层次结构相对于 AHP 递阶层次结构更为灵活,既考虑到元素间的内部依存性又考虑到元素集之间的外部依存性^[5]。所以,如果系统中的某些元素集不仅相互影响而且元素集中每个元素又受其他元素的影响,则应用 ANP 法求解更为合理,结果更加可信。

1.3 ANP 法的确权步骤

(1) 分析问题。分析方法类似于 AHP^[6,8]。

(2) 构造 ANP 网络结构。分析并表示各项指标之间的联系,如图 1 所示元素组与元素之间的联系。

(3) 构造 ANP 判断矩阵。通过专家咨询,对存在联系的各项元素组运用 1~9 标度法^[9]进行两两判断,得出元素组间的比较矩阵。

(4) 根据所求得比较矩阵计算元素组相对权重,按顺序构造超矩阵并进行归一化处理,得到加权超矩阵。

(5) 对加权超矩阵进行幂方的极限计算,然后进行综合排序,得出各个元素组或者元素相对于总目标的综合权重并进行一致性检验。

ANP 法求解超矩阵是非常复杂的过程,工作量极大,可以借助 Super Decisions^[10,11] 软件进行计算。

1.4 ANP-FCE 评价模型的建立

(1) 确定评价体系的元素集 ($U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$) 和评语集 ($V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$)。本文拟定水电工程环境影响评价集为: $V = \{v_1/\text{很大正面影响}, v_2/\text{较大正面影响}, v_3/\text{一般影响}, v_4/\text{较差负面影响}, v_5/\text{很差负面影响}\}$ 。

(2) 对单因素进行模糊评判,建立模糊评价矩阵 R 如下:

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: r_{ij} 可通过模糊统计方法求得,即 $r_{ij} = f_{ij} / \sum_{j=1}^n f_{ij}$, 其中 f_{ij} 为第 i 个因素被评为第 j 个评语等级 v_j 的总次数。通过 ANP 确定各指标的权重 $W = [w_1, w_2, \dots, w_m]$, 其中 $0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

(3) 将 W 与 R 运用模糊算子进行运算,最终得到模糊综合评价结果。本文选用加权平均算子 $M(\cdot, +)$ 来计算,即 $b_j = \sum_{i=1}^m w_i r_{ij}, j = 1, 2, \dots, n$ 。可将模糊综合评价结果按照一定的标准转化为分值,通过分析、排序,使判断结果的信息更加清晰,从而对被评价对象做出最终的判定^[12]。

2 实例分析

2.1 评价指标体系的建立

以我国北方某水电工程为例,该工程具有防洪、发电、航运、灌溉等综合效益,对经济、社会、环境影响深远。本文对环境影响因素进行识别和分类。在初步拟定综合评价指标体系后,设计相应的调查问卷,邀请相关领域的专家,对环境影响评价指标体系的结构进行筛选、优化、修改和完善并确定指标之间的相互影响关系,建立水电工程环境影响评价指标体系,见表 1。

表 1 水电工程环境影响评价指标体系

Tab. 1 The environmental impact evaluation index system of hydropower project

目标	准则	网络层
水电工程环境影响评价指标体系 (W)	生态环境 (A)	自然保护区 (A1)
		水土污染 (A2)
		植被损失 (A3)
		土地利用变化 (A4)
		农业生态 (A5)
社会环境 (B)	社会环境 (B)	水资源开发利用 (B1)
		人群健康 (B2)
		社会经济 (B3)
		库区移民及环境容量 (B4)
自然环境 (C)	自然环境 (C)	局地气候 (C1)
		固体废物 (C2)
		噪声环境 (C3)
		水质 (C4)
		水沙情势 (C5)

2.2 指标权重的确定

根据表,运用 ANP 法来构造评价指标体系的网络结构模型。以控制层的准则指标为判断标准,将存在联系的各指标进行两两比较判断,判断矩阵的一致性比率 CR 均小于 0.1 即通过一致性检验。在 Super Decisions 软件中,采用 1~9 标度法对存在关系的各指标构成的两两判断矩阵进行打分(图 2)。

根据图 3 中各元素集指标权重及其一致性检验结果可知,各元素集指标判断矩阵的一致性检验结果为 $0.0000 < 0.1$, 该矩阵满足一致性要求,是可以接受的。图 4 为 Super Decisions 软件输出的各元素指标权重及其极限。由于上述极限收敛且唯一,因此所得权重为稳定权重。



图2 评价指标两两判断矩阵打分界面示例

Fig.2 Scoring interface of judgement matrix of the evaluation indexes

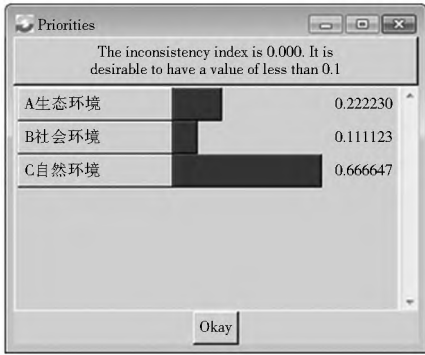


图3 各元素集指标权重及其一致性检验结果

Fig.3 Index weight of each element set and its consistency check

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	A1 自然保护区	0.38601	0.155634
No Icon	A2 水土污染	0.17870	0.072050
No Icon	A3 植被损失	0.19823	0.079922
No Icon	A4 土地利用变化	0.11635	0.046909
No Icon	A5 农业生态	0.12071	0.048670
No Icon	B1 水资源开发利用率	0.41862	0.082027
No Icon	B2 人群健康	0.29459	0.057724
No Icon	B3 社会经济	0.17506	0.034301
No Icon	B4 库区移民及环境容量	0.11173	0.021792
No Icon	C1 局地气候	0.09133	0.036613
No Icon	C2 固体废物	0.27890	0.111803
No Icon	C3 噪声环境	0.02503	0.010034
No Icon	C4 水质	0.32483	0.130217
No Icon	C5 水沙情势	0.27990	0.112206
No Icon	环境影响综合评价	0.00000	0.000000

图4 各元素指标权重及其极限

Fig.4 Index weight of each element and its limits

2.3 模糊矩阵建立及模糊综合评价

该水电工程中各因素对评价目标的影响程度用隶属度来表示。通过30个专家对水电工程环境影响进行评判,按照很大正面影响、较大正面影响、一般影响、较差负面影响、很差负面影响对应5、4、3、2、1分评分标准对评价指标评分,结果见表2。然后,利用模糊统计方法求得模糊隶属度(表3)。

选用加权平均型的 $M(\cdot, +)$ 算子进行模糊运算,求得该水电工程的环境影响综合评价向量 $B_U = W_U, R_U = [0.1869 \ 0.3589 \ 0.2644 \ 0.1836 \ 0.0062]$ 。

评价结果在5个等级的隶属度中,0.3589的数值最大,根据最大隶属度原则,该水电工程环境影响的综合隶属度值为0.3589,评语值为“较大正面影响”。水电工程对环境有

表2 各子因素的评价结果

Tab.2 Evaluation results of each factor

指标	评价结果				
	很大正面影响	较大正面影响	一般影响	较大负面影响	很大负面影响
A1	2	2	2	23	0
A2	3	15	8	4	0
A3	2	5	3	20	0
A4	12	12	3	3	0
A5	3	19	5	3	0
B1	10	12	5	3	0
B2	15	14	1	0	0
B3	6	8	15	1	0
B4	0	20	8	2	0
C1	3	13	13	1	0
C2	0	6	20	4	0
C3	12	14	1	3	0
C4	7	12	5	6	0
C5	10	15	4	0	1

表3 各子因素的隶属度

Tab.3 Membership of each factor

指标	隶属度				
A1	0.0670	0.0670	0.1000	0.7667	0.0000
A2	0.1000	0.5000	0.2667	0.1333	0.0000
A3	0.0670	0.1667	0.1000	0.6667	0.0000
A4	0.4000	0.4000	0.1000	0.1000	0.0000
A5	0.1000	0.6333	0.1667	0.1000	0.0000
B1	0.3333	0.4000	0.1667	0.1000	0.0000
B2	0.5000	0.4667	0.0333	0.0000	0.0000
B3	0.2000	0.2667	0.5000	0.0333	0.0000
B4	0.0000	0.6667	0.2667	0.0667	0.0000
C1	0.1000	0.4333	0.4333	0.0333	0.0000
C2	0.0000	0.2000	0.6667	0.1333	0.0000
C3	0.4000	0.4667	0.0333	0.1000	0.0000
C4	0.2333	0.4000	0.1667	0.2000	0.0000
C5	0.3333	0.5000	0.1333	0.0000	0.0333

很大正面影响的比例占到18.69%,该水电工程对环境有正面影响的比例为81.02%,对环境有负面影响的比例仅占18.98%。

设评语集 $V = \{\text{很大正面影响、较大正面影响、一般影响、较大负面影响、很大负面影响}\} = \{100, 80, 60, 40, 0\}$ 。据此,将一级评价指标的评价结果(表4)转化为分值进行总排序,结果见表5。

表4 一级指标评价结果

Tab.4 The first grade evaluation results

指标	评价结果				
	很大正面影响	较大正面影响	一般影响	较大负面影响	很大负面影响
A	0.1156	0.2713	0.1378	0.4756	0
B	0.3218	0.4261	0.197	0.0552	0
C	0.1882	0.3769	0.3178	0.1077	0.0093

表 5 各指标的分值排序结果

Tab. 5 The score ranking results of each index

指标	A	B	C
分值	60.556	80.296	72.348
排序	3	1	2

由表 5 可知, A(社会环境) 指标排第一, 得分 80.296, 说明水电工程对社会环境较有利; B(自然环境) 指标排第二, 得分 72.34, 处于较大正面影响和一般影响之间; C(生态环境) 指标为 60 分左右, 对环境无有利影响。

从总体上看, 该水电工程对环境影响的总分为 72.61 分, 接近 80 分的较大正面影响水平, 结果符合实际情况, 说明该评价模型有效。

3 结语

ANP 网络层次分析法求指标权重综合考虑了各指标之间的依存性和反馈性, 比 AHP 求指标权重更贴切实际, 更具有灵活性, 求得结果更加可信。随着 Super Decisions 软件的推出, 大大减少了计算量, 简化了计算过程。本文所建立的 ANP-FCE 评价模型, 利用 ANP 求得指标权重、利用 FCE 进行评价方法大大减少了主观判断带来的影响, 获得较为科学合理的评价结果。但是, 水电工程环境影响评价因素众多, 对于某些因素的评价是根据有关专家的多年经验, 有主观因素的影响, 没有精确的标准去衡量。因此, 在以后的评价过程中, 对于如何建立客观的评价体系还需要进一步的完善。

参考文献(References):

- [1] 方子云. 关于水资源工程环境影响评价的国外动态[J]. 水资源保护, 1989(1): 17-23. (FANG Ziyun. Abroad on environmental impact assessment of water resources project[J]. Water Resources Protection, 1989(1): 17-23. (in Chinese))
- [2] 洪一平. 加拿大水利工程环境影响评价[J]. 水资源保护, 1989(4): 57-60. (HONG Yiping. Canadian water conservancy project environmental impact assessment[J]. Water Resources Protection, 1989(4): 57-60. (in Chinese))
- [3] 吴国昌. 日本水资源开发利用与保护[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991. (WU Guochang. The development and utilization of water resources in Japan[M]. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1991. (in Chinese))
- [4] 念其锋, 施式亮, 李润求. 煤矿瓦斯爆炸危险性的 ANP-SPA 评价模型及应用[J]. 科技导报, 2003, 31(23): 40-44. (NIAN Qifeng, SHI Shiliang, LI Runqiu. Coal mine gas explosion hazard of ANP-SPA evaluation model and its application[J]. Science and Technology Leader, 2003, 31(23): 40-44. (in Chinese))
- [5] 孙宏才, 田平, 王莲芬. 网络层次分析法与决策科学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 148-162. (SUN Hongcai, TIAN Ping, WANG Lianfen. Network analytic hierarchy process and decision science[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2011: 148-162. (in Chinese))
- [6] 宋强, 黄丽. 用 AHP 推求思林水电工程环境影响评价中的因子权重[J]. 环境保护科学, 1990, 51(1): 27-30. (SONG Qiang, HUANG Li. Using AHP derive the factor weights of silin hydropower project environmental impact assessment[J]. Journal of Environmental Science, Ploidy, 1990, 51(1): 27-30. (in Chinese))
- [7] 周方涛. 基于 AHP-DEA 方法的区域科技创业人才生态系统评价研究[J]. 管理工程与经济, 2013, 27(1): 8-12. (ZHOU Fangtao. DEA based on AHP method of regional science and technology entrepreneurial talent ecosystem assessment study[J]. Journal of management engineering frown, 2013, 27(1): 8-12. (in Chinese))
- [8] 欧阳靖雯, 王月明, 张现乐, 等. 基于 AHP-模糊综合评价的风险分析及 MATLAB 应用[J]. 2012, 32(2): 280-283. (OUYANG Jingwen, WANG Yue-ming, ZHANG Xianle, et al. Based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation of risk analysis and MATLAB application[J]. 2012, 32(2): 280-283. (in Chinese))
- [9] 朱国宇, 黄川友, 华国春. 层次分析法在水环境规划中的应用[J]. 东北水利水电, 2003, 21(4): F7. (ZHU Guoyu, HUANG Chuanyou, HUA Guochun. Analytic hierarchy process(AHP) in the application of water environmental planning[J]. Journal of Northeast Water Resources and Hydropower, 2003, 21(4): F7. (in Chinese))
- [10] 欧立雄, 卢青, 郭彦君. 应用 ANP 的企业信息系统选型决策研究[J]. 现代制造工程, 2009(6): 23-26. (OU Lixiong, LU Qing, GUO Yanjun. Application of ANP, the enterprise information system selection decision research[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2009(6): 23-26. (in Chinese))
- [11] 刘睿, 余建星, 孙宏才, 等. 基于 ANP 的超级决策软件介绍及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003(8): 141-143. (LIU Rui, YU Jianxing, SUN Hongcai, et al. Based on the ANP super decision software is introduced and its application[J]. Journal of Systems Engineering Theory and Practice, 2003(8): 141-143. (in Chinese))
- [12] 周黎莎, 于新华. 基于网络层次分析法的电力客户满意度模糊综合评价[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 191-197. (ZHOU Lisha, YU Xinhua. Analytic hierarchy process(AHP) based on network of electric power customer satisfaction fuzzy comprehensive evaluation[J]. Power Grid Technology, 2009(17): 191-197. (in Chinese))