DOI:10.3969/j.issn.1003-9511.2010.04.002

基于 ANP-FCE 的水利建设项目可持续能力评价研究

葛 冰[1],陈 岩[2],郑垂勇[3]

(1.河海大学商学院,江苏 南京 210098;2.南京林业大学经管院,江苏 南京 210037;
3.河海大学东部资源环境发展研究中心,江苏 南京 210098)

摘要:介绍了 ANP-FCE 方法,构建了基于 ANP-FCE 的评价模型,并利用该模型对我国"十五"重点建设项目"临淮岗洪水控制工程"进行了可持续能力评价。结果表明,临淮岗洪水控制工程可持续能力属较强可持续和强可持续的占 80%左右,但还存在一定的弱可持续现象。

关键词:水利建设项目;可持续性评价;工程安全;网络分析法;模糊综合评价法
中图分类号:F407.9 文献标识码:A 文章编号:1003-9511(2010)04-0005-06

1 问题的提出

20 世纪 90 年代中期提出的项目可持续性评价,是建设项目后评价体系中较新的内容。世界银行将项目的持续性视为援助项目成败的关键之一,要求对项目的可持续性单独进行分析和评价。建设项目后评价主要包括 4 个方面的内容,项目持续性评价是其中一项重要的内容。项目可持续性评价在后评价中属于前瞻性评价,通过分析项目运营过程中的内外部影响因素和条件,预测其未来发展趋势,对工程的安全持续运行具有重要意义。

近几年一些学者也在理论上对项目可持续性评价的指标体系和评价方法进行了研究。余敬[1]以系统论为基石,构建出以"发展力"和"协调力"为两大支撑功能的自然资源可持续发展评价指标体系;黄德春等[2]把可持续发展理论作为投资项目持续性后评价的理论基础,构建了基于可持续发展战略的效益概念新内涵、效益指标体系、持续性后评价方程,并进行了实证研究;王建军等[3]从社会、环境、运营、管理等几个方面建立了 18 个评价指标,并选用 DAGF(即德尔斐法、层次分析法、灰色关联法[4-5]、模糊综合评判法 4 种方法的综合)算法进行项目可持续性评价;邓志国等[6]研究了重大建设项目可持续性评价的内容、指标和评价方法;邱化蛟等[7]在分析农业可持续性评价指标体系研究现状的基础上,总结了已有的指标体系在指标的选择、计算等方面的经验教训和对生产实践的启示,并研究了动态指标权重的计算方法。笔者在前人研究的基础之上,采用网络分析法(ANP)和模糊综合评价法(FCE)相结合的方法进行水利建设项目可持续能力评价。

2 ANP-FCE 及基于 ANP-FCE 的评价模型

2.1 ANP-FCE

ANP-FCE 是网络分析法(ANP)和模糊综合评价法(FCE)的集成。层次分析法(AHP)是由美国著名的管理决策与运筹学家 Thomas 于 1980 年研究建立的。20 世纪 80 年代中期,Saaty[8]又提出了反馈 AHP,这就是 ANP 的前身。1996 年 Saaty[9]在 ISAHP-IV 上较为系统地提出了 ANP。AHP 的核心是将系统划分层次且只考虑上层元素对下层元素的支配作用,同一层次中的元素被认为是彼此独立的,这种递阶层次结构虽然给处理系统问题带来了方便,但同时也限制了它在复杂决策问题中的应用。许多实际问题中,各层次内部元素往往是互相依存的,低层元素对高层元素亦有支配作用,即存在反馈,ANP 正是适应这种需要,由 AHP 延伸发展而来的系统决策方法。

a. ANP 结构。ANP 首先将系统元素分为 2 部分。第 1 部分称为控制层,包括问题目标及决策准则。所有的决策准则均被认为是彼此独立的,且只受目标元素支配,控制层中可以没有决策准则,但至少有一个目标,控制层中每个准则的权重均可通过传统 AHP 获得[10]。第 2 部分为网络层,由所有受控制层支配的元素组组成,元素组由受其控制的元素

作者简介:葛冰(1970—),男,江苏兴化人,博士研究生,主要从事技术经济管理的理论与应用研究。

组成，元素之间和元素组之间相互依存、互为反馈，构成相互影响的网络结构。一个完整的网络由多个子网络组成，一个子网络由多个元素组组成，一个元素组由多个元素组成。图 1 就是一个典型的 ANP 结构。

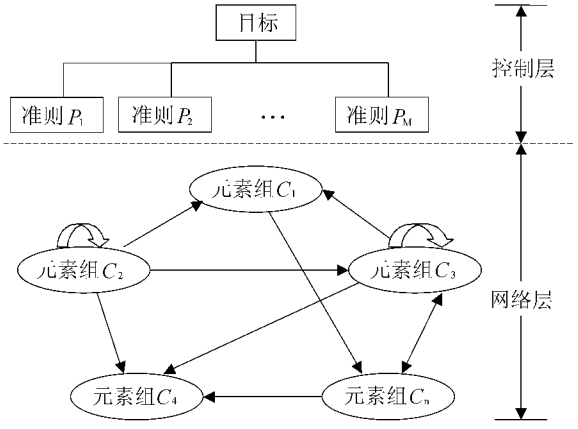

图 1　典型的 ANP 结构

ANP 结构中元素之间的关系不再是层次关系，而是网络结构。通常网络结构中存在源点节点、汇点节点、中间节点这 3 类节点，网络中的节点表示一个元素或元素组。

b. ANP 结构的超矩阵与加权超矩阵。设 ANP 的控制层中有元素 $P_1, P_2, \cdots, P_m$，网络层中有元素组 $C_1, C_2, \cdots, C_N$，其中元素组 C_i 中有元素 $e_{i1}, e_{i2}, \cdots, e_{in_i}$。以控制层元素 $P_s(s = 1, 2, \cdots, m)$ 为准则，以 C_j 中元素 $e_{j1}, e_{j2}, \cdots, e_{jn_j}$ 为次准则，元素组 C_i 中的元素按对 C_j 中的元素的影响力大小进行间接优势度比较，得出归一化特征向量 $w_{i1}^{(j1)}$，依次进行比较，直到得出 $w_{in_1}^{(jl)}$。根据一致性检验结果，如果上述特征向量满足相容性条件，那么这些特征向量就是网络元素排序的向量，同理，可以得到相对于其他元素的排序向量，得到一个矩阵为：

$$\boldsymbol{W}_{ij} = \begin{bmatrix} w_{i1}^{(j1)} & \cdots & w_{i1}^{(jn_1)} \\ \square & & \square \\ w_{in_1}^{(j1)} & \cdots & w_{in_1}^{(jn_1)} \end{bmatrix}$$

这里的 W_{ij} 的列向量就是 C_i 中元素 $e_{i1}, e_{i2}, \cdots, e_{in_i}$ 对 C_j 中元素 $e_{j1}, e_{j2}, \cdots, e_{jn_j}$ 的影响程度排序向量。若 C_j 中元素不受 C_i 中元素影响，则 $W_{ij} = 0$。这样获得最终超矩阵 W：

$$\boldsymbol{W} = \begin{bmatrix} W_{11} & \cdots & W_{1N} \\ \square & & \square \\ W_{N1} & \cdots & W_{NN} \end{bmatrix}$$

这样的超矩阵共有 m 个，它们都是非负矩阵。超矩阵的子块 W_{ij} 是列归一化的，但 W 却不是列归一化的。以 P_s 为准则，对 P_s 下各组元素对准则 C_j $(j = 1, 2, \cdots, N)$ 的重要性进行比较。与 C_j 无关的元素组对应的排序向量为零，由此得一个加权矩阵：

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1N} \\ \square & & \square \\ a_{N1} & \cdots & a_{NN} \end{bmatrix}$$

对超矩阵 W 的元素加权，得 $\overline{W} = \overline{W}_{ij}$，其中

$$\overline{W}_{ij} = a_{ij} W_{ij}$$

$$(i = 1, 2, \cdots, N, j = 1, 2, \cdots, N)$$

$\overline{W}$ 就为加权超矩阵，其列和为 1，称为列随，即矩阵。为简单起见，以下的超矩阵都是加权超矩阵，并仍用符号 W 表示。

c. 极限相对排序向量。设超矩阵 W 的元素为 $\overline{W}_{ij}$，则 $\overline{W}_{ij}$ 的大小反映了元素 i 对元素 j 的一步优势度。i 对 j 的优势度还可用 $\sum_{k=1}^{N} W_{ik} W_{kj}$ 得到，称为二步优势度，它就是 W^2 的元素，W^2 是列归一化的。当 $W^{\infty} = \lim_{t \to \infty} w^t$ 存在时，W^{∞} 的第 j 列就是 P_s 下网络层中各元素对于元素 j 的极限相对排序向量。

2.2　ANP-FCE 评价模型

ANP-FCE 评价模型中，模糊综合评价法是在网络分析法的基础上进行的，两者相辅相成，共同提高了评价的可靠性与有效性。ANP-FCE 评价模型如图 2 所示。

3　实证分析

采用 ANP-FCE 的评价模型对“十五”期间我国重点建设项目“临淮岗洪水控制工程”进行可持续能力评价。

3.1　工程概况

临淮岗洪水控制工程是国家“十五”重点建设项目，是 1991 年国务院确定的 19 项治淮骨干工程之一，总投资 22.67 亿元，于 2001 年 12 月开工建设，2006 年 11 月建成。临淮岗洪水控制工程跨河南、安徽 2 省，涉及固始、霍邱、颍上、阜南 4 县，主体工程位于淮干中游正阳关以上 28 km 处，地处安徽省霍邱县与颍上县交界处，集水面积 4.22 万 km^2。临淮岗洪水控制工程建成后，将与上游的山区水库、中游的行蓄洪区、各类堤防以及茨淮新河、怀洪新河等工程构成淮河中游综合防洪体系，主要任务是调蓄洪水，削减洪峰，使淮河中游正阳关以下主要防洪保护区防洪标准由不足 50 年一遇提高到 100 年一遇，确保淮北大堤和沿淮重要工矿、城市等安全。

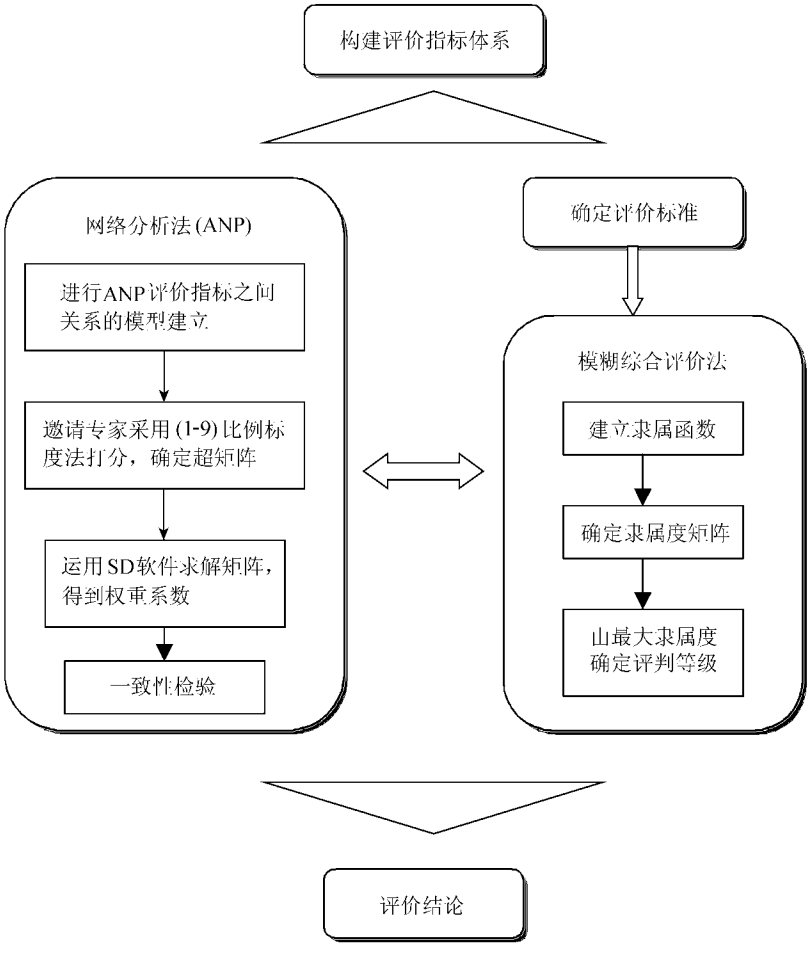

图2　ANP-FCE 评价模型

3.2　项目可持续能力评价

建设项目可持续能力评价就是对建设项目在后评价时点上的可持续能力状态进行分析，以便对不可持续或弱可持续的建设项目采取相应对策。

3.2.1　指标的设置

根据临淮岗洪水控制工程的特点，建立如表 1 所示的评价指标体系。

3.2.2　运用 ANP 确定可持续性指标权重

ANP 计算是 ANP 应用的瓶颈，其计算的复杂性严重阻碍 ANP 的实际应用。2001 年美国推出了超级决策软件(super decision，以下简称 SD)，该软件基于 ANP 理论，成功地将 ANP 的计算程序化，是 ANP 强大的计算工具，为 ANP 的推广奠定了基础。笔者使用 SD 软件进行权重计算。

a. ANP 模型的构建和指标之间的关系。构建确定水利建设项目可持续性评价指标权重的 ANP 模型见图 3。各指标之间的关系见表 2。

b. 应用专家打分法，对各指标之间的优势度进行打分。SD 软件提供的打分界面见图 4。

打分包括多指标之间的比较，有很多个打分界面，这里不一一列出。

c. 指标相对于总目标的权重及一致性检验。每一步打分都要通过一致性检验，即 $\lambda < 0.1$，由于篇幅的关系这里不一一列出。指标权重及一致性检验结果见图 5。

d. 临淮岗洪水控制工程可持续能力评价指标权重的计算。由 ANP 的计算软件 SD 计算出的临淮岗洪水控制工程可持续能力评价指标权重的结果见表 3。

3.2.3　运用模糊综合评价法评价临淮岗洪水控制工程可持续能力

a. 采用专家打分法获得定性指标评语集。邀请专家根据定性指标评价等级标准，对临淮岗洪水控制工程可持续能力定性指标进行打分，采用百分制统计法统计专家意见，最终得到定性指标的评语集。如，邀请 10 位专家对临淮岗洪水控制工程的“工程技术先进性 $B2$”进行打分，有 2 位专家认为“基本可持续”，那么用 2 除以专家总数 10，得到“基本可持续”的隶属度为 0.2；5 位专家认为较强可持续，3 位专家认为强可持续，则较强可持续隶属度和强可持续隶属度分别为 0.5 和 0.3。汇总得到“工程技术先进性 $B2$”的模糊评价矩阵为 [0 0 0.2 0.5 0.3]。同理计算其他指标。

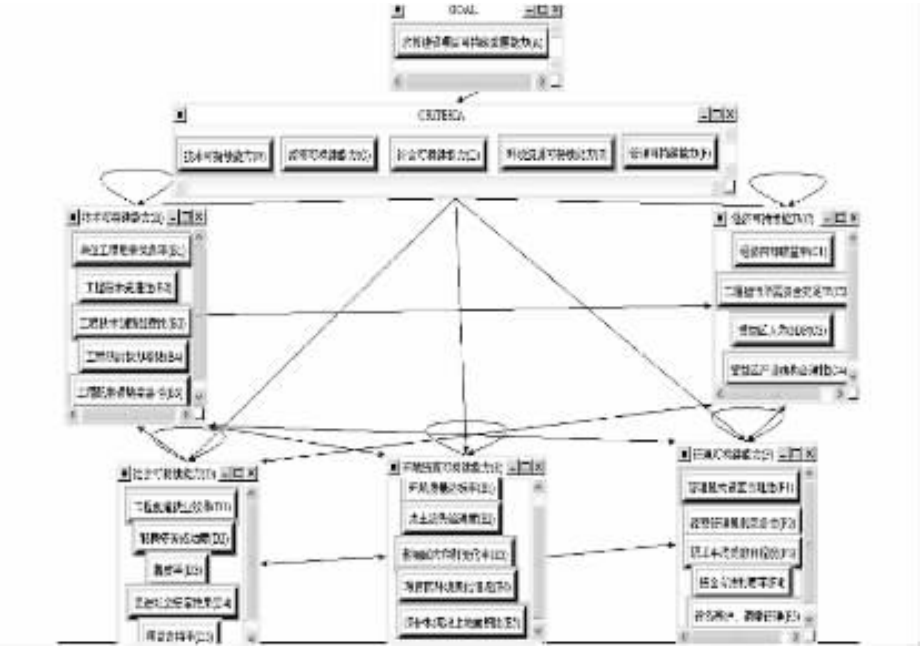

图 3　确定水利建设项目可持续能力评价指标权重的 ANP 模型

表 1　临淮岗洪水控制工程可持续能力评价指标体系

综合评价目标	评价准则	单项指标	指标特征
水利建设项目可持续性综合评价	技术可持续能力指标(*B*)	*B*1 单位工程质量优良率	反映工程质量的好坏对工程可持续性的支持
		*B*2 工程技术先进性	反映工程技术的先进性对工程可持续性的支持
		*B*3 工程技术创新益费比	反映工程技术创新的经济特性
		*B*4 工程除害兴利能力(灌溉能力指数、水力发电能力指数、城镇供水能力指数、水土保持能力指数)	反映工程除害兴利的能力(根据不同类型的水利建设项目选择不同的指标)
		*B*5 工程配套设施完备性	反映工程持续运行所需配套设施的完备性
	经济可持续能力指标(*C*)	*C*1 经济内部收益率(公益性项目)财务内部收益率(竞争性项目)	反映项目对国民经济的贡献(反映项目的实际盈利能力)
		*C*2 工程运行所需资金充足率	反映资金的充足情况对工程运行管理的支持
		*C*3 受益区人均 GDP	反映工程项目对受益区人民生活水平的影响
		*C*4 受益区产业结构合理性	反映工程项目对受益区经济产业结构的影响
	社会可持续能力指标(*D*)	*D*1 工程创造的就业效果	反映工程为社会提供的就业机会
		*D*2 移民安置成功度	反映工程移民的安置效果好坏
		*D*3 脱贫率	反映工程项目对于贫困和弱视群体的保护
		*D*4 促进社会安定效果	反映工程项目对社会安定、政治稳定的促进作用
		*D*5 项目支持率	通过群众对项目的支持情况反映工程的社会效果
	环境资源可持续能力指标(*E*)	*E*1 环境质量达标率	反映项目对周围的环境造成的影响
		*E*2 水土流失治理度	反映项目的水土保持措施对项目区水土流失控制情况
		*E*3 影响区内种群变化率	反映项目的建设对影响区内生物的影响情况
		*E*4 项目区环境美化情况	反映项目对周围环境的美化的影响
		*E*5 自然资源利用情况(防洪项目:保护和占地面积比;灌溉和供水项目:水量利用率增量;水力发电项目:水能资源利用率增量)	反映项目对土地和水资源等自然资源的有效利用情况
	管理可持续能力指标(*F*)	*F*1 管理机构设置合理性	反映工程建设和运营中管理机构的设置对工程可持续性的影响
		*F*2 经营管理机制完备性	反映工程的管理机制对工程运行持续管理的支持
		*F*3 职工平均受教育程度	反映工程的管理人员的文化素质情况
		*F*4 资金有效管理情况	反映工程运行管理单位对资金的管理效率
		*F*5 设备养护、调度管理	反映工程运行管理单位对工程设备的管理情况

图 4　SD 软件专家打分界面

图 5　指标权重及一致性检验

表 2　各指标之间的关系

评价指标	与指标关联的指标
*B*1	*B*2, *F*1, *F*2
*B*2	*B*1, *B*3, *E*1, *F*1, *F*2, *F*3
*B*3	*B*2
*B*4	*B*1, *B*2, *B*5, *E*2, *E*5, *F*5
*B*5	*C*1, *C*2, *F*2, *F*4
*C*1	*F*2
*C*2	*C*1, *F*2, *F*4, *F*5
*C*3	*C*4, *D*1, *D*3
*C*4	*D*2
*D*1	*B*2
*D*2	*C*3, *C*4, *D*5
*D*3	*D*1, *D*2, *D*4
*D*4	*C*3, *C*4, *D*1, *D*2, *D*3, *D*5
*D*5	*B*4, *D*1, *D*2, *D*3, *D*4, *E*3, *E*4
*E*1	*B*2, *F*2
*E*2	*B*2, *F*2
*E*3	*E*1, *E*2
*E*4	*B*2, *F*2, *D*5
*E*5	*B*2
*F*4	*F*2, *C*2
*F*5	*B*5, *F*2, *F*3, *F*4

b. 由隶属度函数计算定量指标评语集。这里以“单位工程质量优良率 *B*1”评语集的确定为例来说明定量指标隶属度的确立过程。首先，运用隶属度计算公式来计算隶属度函数。笔者采用可持续发展评价中广泛应用的半梯形和梯形分布函数作为隶属度函数，具体方法如下：

表 3　临淮岗洪水控制工程可持续能力指标权重

可持续能力评价指标	权重
单位工程质量优良率 *B*1	0.043 632
工程技术先进性 *B*2	0.187 223
工程技术创新益费比 *B*3	0.039 468
工程防洪能力指数 *B*4	0.029 627
工程配套设施完备性 *B*5	0.012 802
经济内部收益率 *C*1	0.009 887
工程运行所需资金充足率 *C*2	0.009 232
受益区人均 GDP *C*3	0.024 040
受益区产业结构合理性 *C*4	0.060 093
工程创造就业效果 *D*1	0.020 300
移民安置成功度 *D*2	0.098 903
脱贫率 *D*3	0.013 391
促进社会安定效果 *D*4	0.010 089
项目支持率 *D*5	0.070 270
环境质量达标率 *E*1	0.091 428
水土流失控制比 *E*2	0.012 491
影响区内种群变化率 *E*3	0.014 814
项目区环境美化情况 *E*4	0.014 814
保护和占地面积比 *E*5	0.006 246
管理机构设置合理性 *F*1	0.046 366
经营管理机制完备性 *F*2	0.140 437
职工平均受教育程度 *F*3	0.022 593
资金有效利用率 *F*4	0.008 196
设备养护调度管理 *F*5	0.013 659

设评价指标因素集 $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_m\}$，评价等级标准 $V = \{v_1, v_2, \cdots, v_n\}$，设 v_j 和 v_{j+1} 为相邻两级标准，且 $v_{j+1} > v_j$，则 v_j 级隶属函数为：

$$r_1 = \begin{cases} 1 & x_i \leqslant v_1 \\ \dfrac{v_2 - x_i}{v_2 - v_1} & v_1 < x_i < v_2 \\ 0 & x_i \geqslant v_2 \end{cases} \tag{1}$$

$$r_2 = \begin{cases} 1 - r_1 & v_1 < x_i \leqslant v_2 \\ \dfrac{v_3 - x_i}{v_3 - v_2} & v_2 < x_i < v_3 \\ 0 & x_i \leqslant v_1 \text{ 或 } x_i \geqslant v_3 \end{cases} \quad (2)$$

$$r_j = \begin{cases} 1 - r_{j-1} & v_{j-1} \leqslant x_i \leqslant v_j \\ \dfrac{v_{j+1} - x_i}{v_{j+1} - v_j} & v_j < x_i < v_{j+1} \\ 0 & x_i \leqslant v_{j-1} \text{ 或 } x_i \geqslant v_{j+1} \end{cases} \quad (3)$$

根据式(1)~式(3),计算评价指标 i 隶属于评价等级 j 的隶属度 r_{ij},生成隶属矩阵 $\boldsymbol{R}$:

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \square & & \square \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

单位工程质量优良率 $B1$ 的数值为 $x_1 = 96\%$,由本指标的定量指标评价标准定为 $V = \{0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0\}$,得到 $B1$ 评语集为 $\{0, 0, 0, 0.25, 0.75\}$,表示临淮岗洪水控制工程的"单位工程质量优良率"有 25% 的可能属于"较强可持续"水平,有 75% 的可能属于"强可持续"水平。按照上述步骤分别计算其他指标的隶属度,最终将隶属度汇总得到模糊隶属度评价矩阵 $\boldsymbol{R}$。

c. 模糊综合评价计算。模糊综合评价的计算公式为 $\boldsymbol{B} = \boldsymbol{AR}$($\boldsymbol{B}$ 为模糊综合评价结果,$\boldsymbol{A}$ 为 24 个指标的权重矩阵,$\boldsymbol{R}$ 为模糊隶属度评价矩阵)。按此公式对临淮岗洪水控制工程可持续能力进行计算,计算结果见表 4。表中,有 0.6% 的可能属于"弱可持续";有 20.4% 的可能属于"基本可持续";有 46.5% 的可能属于"较强可持续",有 32.4% 的可能属于"强可持续"。由于属于较强可持续的隶属度最大为 46.5%,可见,临淮岗洪水控制工程的可持续能力为"较强可持续"。

表 4 临淮岗洪水控制工程可持续能力评价结果

评价结果				
非可持续性	弱可持续性	基本可持续	较强可持续	强可持续
0	0.006009	0.20434	0.465321	0.324331

项目评价结果表明,临淮岗洪水控制工程可持续能力属较强可持续和强可持续的占 80% 左右,但还存在着一定的弱可持续现象。分析其原因,主要与临淮岗洪水控制工程受益区产业布局有关,建议相关部门调整受益区产业布局,使工程的可持续能力增强。

参考文献:

[1] 余敬.自然资源可持续发展模糊综合评价模型[J].技术经济与管理研究,2002(4):48-49.

[2] 黄德春,许长新.投资项目可持续发展后评价研究[J].软科学,2004(4):13-17.

[3] 王建军,严宝杰,陈宽民.高速公路建设项目后评价若干问题探讨[J].长安大学学报·社会科学版,2005(6):4-8.

[4] DENG Ju-long. Properties of relational space for Grey System [M]. Beijing:China Ocean Press,1988:88-134.

[5] ZHA Jin-mao. Grey relation matix analysis: Grey judgment model[J]. The Journal of Grey System,1995,45(4):34-67.

[6] 邓志国,綦振平.重大建设项目可持续性评价研究[J].山东工商学院学报,2004(5):78-81.

[7] 邱化蛟,常欣,程序,等.农业可持续性评价指标体系的现状分析与构建[J].中国农业科学,2005,38(4):736-745.

[8] SAATY T L. Multicriteria decision making [M]. Pittsburgh: RWS Publications, 1990:112-156.

[9] SAATY T L. Decision making with dependence and feedback [M]. Pittsburgh: RWS Publication,1996:26-67.

[10] 王莲芬.网络分析法(ANP)的理论与算法[J].系统工程理论与实践,2001(3):44-50.

(收稿日期:2009-12-23 编辑:彭桃英)

《水利水电科技进展》征订启事

(邮发代号:28-244, CN32-1439/TV, ISSN1006-7647, 双月刊,A4 开本)

《水利水电科技进展》由河海大学主办,是全国中文核心期刊,中国科技核心期刊,全国水利系统优秀期刊,华东地区优秀期刊,江苏省优秀期刊。主要刊登水科学、水工程、水资源、水环境、水管理方面的科技论文,主要栏目有水问题论坛、研究探讨、工程技术、水管理、专题综述、国外动态等,适合与水利、水电、水科学、水工程、水资源、水环境有关的科研、工程、管理人员以及大专院校师生阅读。

本刊由邮局发行,邮发代号:28-244,2011 年每期定价 10 元,全年 6 期共计 60 元。可在全国各地邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 《水利水电科技进展》编辑部

邮政编码:210098

电话/传真:025-83786335

E-mail:jz@hhu.edu.cn 或 jz1981@vip.163.com

http://kkb.hhu.edu.cn/jz/index_jz.htm