DOI:10.3969/j.issn.1003-9511.2010.04.003

基于三角模糊数层次分析法的城市防洪工程后评价研究

吴婷婷,方国华

(河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:根据一般水利建设项目后评价的要求,结合城市防洪工程后评价的特点建立了城市防洪工程后评价指标体系。针对城市防洪工程后评价指标多为定性指标的特点,将三角模糊数层次分析法引入城市防洪工程后评价中,在采用三角模糊数表征专家的判断信息的基础上得出综合评价结果,并以某城市防洪工程后评价为例,介绍了该方法的具体应用过程。

关键词:城市防洪工程;后评价;三角模糊数;层次分析法

中图分类号:X43;F224 文献标识码:A 文章编号:1003-9511(2010)04-0011-04

城市防洪工程后评价是对项目的实施过程、经济效益、社会经济环境影响、移民工程和可持续发展等方面进行全过程全方位的评价[1]。通过对项目活动实践的总结,确定项目预期的目标是否达到,项目或规划是否合理有效,项目的主要效益指标是否实现;通过分析评价找出成败的原因,总结经验教训;并通过及时有效的信息反馈,为未来新项目的决策和提高完善投资决策管理水平提出建议,同时也为后评价项目实施运营中出现的问题提出改进建议,从而达到提高投资效益的目的[2]。

城市防洪工程后评价是一个多因素、多层次的系统,且评价指标多为定性指标,评价多是基于专家的经验和个人判断。层次分析法(analytic hierarchy process,以下简称 AHP)是一种将定量和定性相结合的系统化、结构化决策方法[3],其核心是将决策者的经验判断定量化,从而为决策者提供以定量形式表达的决策参考依据,特别适用于多目标因素结构复杂、缺乏必要数据和需要将经验判断定量化的情况。但是 AHP 法在构造判断矩阵时没有考虑到人的判断的模糊性,同时在一致性检验时过于复杂,实用度不高[4],如果把模糊数学的方法引入 AHP 判断矩阵构造中,可以在充分考虑个人判断的模糊性基础上使判断矩阵的构造更加合理,同时避免了一致性检验这一步骤,这种模糊 AHP 的方法被称为三角模糊数层次分析法[5]。据此可将三角模糊数层次分析法引入城市防洪工程后评价,使评价结果更加科学合理。

1 城市防洪工程后评价内容及评价指标体系

1.1 评价内容

城市防洪工程后评价内容包括过程评价、经济效益评价、影响评价和可持续性评价 4 个方面。

a. 过程评价。对项目的立项决策、勘察设计、施工、运行和管理整个过程进行全面的回顾总结并在此基础上得出评价结论。过程评价的目的在于找出项目成功及失败的原因,从而吸取经验或教训。

b. 经济效益评价。由于城市防洪工程属于社会公益性质的水利建设项目,故只进行国民经济评价,即以实际发生数据和以此为基础的预测数据为依据,从国家整体角度出发,采用影子价格,计算项目对国民经济的贡献,分析项目的经济效益、效果和对社会的影响,评价项目在宏观经济上的合理性。

c. 影响评价。分析项目建成后对社会、环境等方面的影响。社会影响评价包括分析项目对社会稳定的贡献、对社会经济发展的贡献、与社会的相互适应性等方面。环境影响评价包括项目对环境产生的有利影响和不利影响等。

d. 可持续性评价。主要分析项目在未来能否有效延续下去,并达到预期目标,也就是评价项目能否良性运行。包括对项目是否能持续发挥效益进行分析评价,作出判断,提出项目持续发挥效益必须具备的内部条件、外部条件和需要采取的措施。

作者简介:吴婷婷(1986—),女,北京人,硕士研究生,主要从事水利规划、水利经济等方面的研究。

1.2　城市防洪工程后评价指标体系

为实现从不同方面、不同层次上对城市防洪工程作出科学合理的后评价，结合一般水利建设项目后评价的内容及城市防洪工程的特点，经过筛选、推敲，同时参考《水利工程建设项目后评价报告编制规程》的规定，结合专家意见构建包括过程评价、经济效益评价、影响评价、可持续性评价 4 大类共 12 个指标的 3 层评价指标体系（图 1）。

- 城市防洪工程后评价
  - 过程评价指标 B_1
    - 立项决策过程指标
    - 勘察设计过程指标
    - 工程按时完工率
    - 工程验收质量合格率
    - 生产运行效果
  - 经济效益评价指标 B_2
    - 工程防洪效益
    - 国民经济评价指标
  - 影响评价指标 B_3
    - 移民安置情况
    - 社会影响
    - 环境影响
  - 可持续性评价指标 B_4
    - 内部条件对项目可持续性的影响
    - 外部条件对项目可持续性的影响

图 1　城市防洪工程后评价指标体系

2　三角模糊数层次分析法

2.1　构造模糊判断矩阵

三角模糊数运算规则[6]如下：设 $M_1=(l_1,m_1,u_1)$，$M_2=(l_2,m_2,u_2)$为三角模糊数，①加法运算：

$$M_1+M_2=(l_1+l_2,m_1+m_2,u_1+u_2)$$

②乘法运算：

$$M_1\cdot M_2=(l_1l_2,m_1m_2,u_1u_2)$$

③倒数运算：设 $M=(l,m,u)$，则

$$M^{-1}=\left(\frac{1}{u},\frac{1}{m},\frac{1}{l}\right)$$

通过对同一层的各元素进行比较，得出对于上一层元素本层元素的相对重要性，并按选取的标度对每一层各因素的相对重要性用数值形式给出判断，并写成矩阵形式，即判断矩阵，记为：

$$\boldsymbol{R}=(r_{ij})_{n\times n} \tag{1}$$

当指标 i 比 j 重要时，令 $r_{ij}=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})$是一个三角模糊数，$l_{ij}$，$u_{ij}$为该三角模糊数的上下界[4]。$m_{ij}$表示指标 i 比 j 的相对重要程度，采用 AHP 法中的 1～9 标度法表示，具体含义见表 2。当指标 i 没有 j 重要时，令 $r_{ji}=(l_{ji},m_{ji},u_{ji})$为一个三角模糊数，$l_{ji}$，$u_{ji}$为该三角模糊数的上下界，$m_{ji}$的取值见表 1。

当指标 i 比 j 重要时，令 $\alpha=m_{ij}-l_{ij}$，$\beta=u_{ij}-m_{ij}$，当 $0<\alpha,\beta<\frac{1}{2}$，模糊度过小，没有完全反映人们认识上的模糊性。当 $\alpha,\beta>1$ 时，模糊度过大，置

表 1　判断矩阵标度及含义

标度	含义
1	两个元素相比，一个元素与另一个元素同样重要
3	两个元素相比，一个元素比另一个元素稍微重要
5	两个元素相比，一个元素比另一个元素明显重要
7	两个元素相比，一个元素比另一个元素强烈重要
9	两个元素相比，一个元素比另一个元素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值

信度减小，当$\frac{1}{2}<\alpha,\beta<1$，得出的结果比较理想[7]。对 r_{ji}有：

$$r_{ji}=r_{ij}^{-1}=(1/u_{ij},1/m_{ij},1/l_{ij})\quad（当\ r_{ji}\ 存在时）\tag{2}$$

2.2　计算评价指标的综合重要度

令三角模糊数 M_i 表示模糊判断矩阵中第 i 个评价指标相对于其他所有评价指标的综合重要程度值，M_{Ei}^j为第 i 个评价指标相对于第 j 个评价指标的重要程度，即 $M_{Ei}^j=r_{ij}$，则：

$$M_i=\sum_{j=1}^{n}M_{Ei}^j\cdot\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}M_{Ei}^j\right)^{-1}\quad i,j=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

2.3　计算评价指标的归一化权重值

令 $M_1=(l_1,m_1,u_1)$，$M_2=(l_2,m_2,u_2)$，令 $P(M_1\geqslant M_2)$表示三角模糊数 $M_1\geqslant M_2$ 的可能性，$P(M\geqslant M_1,M_2,\cdots,M_k)$表示三角模糊数 M 大于 k 个三角模糊数 M_i（$i=1,2,\cdots,k$）的可能性，令 $d'(B_i)$表示一个评价指标优于其他评价指标的纯测量度，可知，当 $m_1<m_2$ 时，

$$P(M_1\geqslant M_2)=\begin{cases}\dfrac{l_2-u_1}{(m_1-u_1)-(m_2-l_2)} & l_2<u_1\\ 0 & l_2\geqslant u_1\end{cases} \tag{4}$$

当 $m_1>m_2$ 时，

$$P(M_1\geqslant M_2)=1 \tag{5}$$

$$d'(B_i)=P(M_i\geqslant M_1,M_2,\cdots,M_{i-1},M_{i+1},\cdots,M_n)=\min P(M_i\geqslant M_k) \tag{6}$$

其中 $k=1,2,\cdots,n$，$k\neq i$。

可以得到所有评价指标的权重向量为

$$W'=(d'(B_1),d'(B_2),\cdots,d'(B_n))^{\mathrm{T}} \tag{7}$$

归一化处理后，可以得出评价指标的归一化权重值：

$$\boldsymbol{W}=(d(B_1),d(B_2),\cdots,d(B_n))^{\mathrm{T}} \tag{8}$$

其中：

$$d(B_i)=\frac{d'(B_1)}{d'(B_1)+d'(B_2)+\cdots+d'(B_n)}\quad(i=1,2,\cdots,n)$$

2.4　计算总体目标的评价值

对评价指标进行分级，并赋予相应的分数，根据专家对每个评价指标给出的分数及指标权重求出目

标的评价值：

$$M = \sum_{i=1}^{n} m_i \cdot d(B_i) = m_1 \cdot d(B_1) + m_2 \cdot d(B_2) + \cdots + m_n \cdot d(B_n)$$

其中：$m_i(i=1,2,\cdots,n)$为各评价指标的得分数。

3 实例应用

对我国南方某城市防洪工程进行后评价，选择3位对该城市防洪工程情况非常熟悉的专家对其进行评价，为简化计算，只选取一级评价指标进行计算。

a. 根据3位专家的评价，建立模糊判断矩阵，如表2所示。

表2 一级评价指标的模糊判断矩阵

模糊判断矩阵	B_1	B_2	B_3	B_4
B_1	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(3/2,2,8/3) (7/3,3,15/4) (5/4,2,14/5)	(1/2,1,7/4) (4/3,2,5/2) (1/4,1,8/5)	(5/24,1/4,4/13) (5/19,1/3,4/9) (3/14,1/4,3/10)
B_2	(3/8,1/2,2/3) (4/15,1/3,3/7) (5/14,1/2,4/5)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(4/3,2,5/2) (4/3,2,11/4) (3/2,2,17/6)	(4/3,2,8/3) (1/3,1,3/2) (1/2,1,5/3)
B_3	(4/7,1,1/2) (2/5,1/2,3/4) (5/8,1,4)	(2/5,1/2,3/4) (4/11,1/2,3/4) (6/17,1/2,2/3)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)	(13/4,4,24/5) (7/4,5,29/5) (7/2,4,19/4)
B_4	(3/4,4,24/5) (9/4,3,19/5) (10/3,4,14/3)	(3/8,1/2,3/4) (2/3,1,3) (3/5,1,2)	(5/24,1/4,4/13) (5/29,1/5,4/17) (4/19,1/4,2/7)	(1,1,1) (1,1,1) (1,1,1)

对3位专家的评价值求平均，得

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & (1.694,2.333,3.072) & (0.694,1.333,1.950) & (0.229,0.278,0.351) \\ (0.333,0.444,0.632) & (1,1,1) & (1.389,2,2.694) & (0.722,1.333,1.944) \\ (0.532,0.833,2.250) & (0.372,0.5,0.722) & (1,1,1) & (3.667,4.333,5.117) \\ (2.944,3.667,4.422) & (0.547,0.833,1.917) & (0.197,0.233,0.276) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$M_E = ((3.617,4.944,6.373) \quad (3.444,4.778,6.271) \quad (5.571,6.667,9.089) \quad (4.689,5.733,7.615))$$

b. 由公式(3)计算得到每个指标的综合重要度：

$$M_1 = (3.617,4.944,6.373) \cdot \left(\frac{1}{29.348},\frac{1}{22.122},\frac{1}{17.321}\right) = (0.123,0.224,0.368)$$

$$M_2 = (3.444,4.778,6.271) \cdot \left(\frac{1}{29.348},\frac{1}{22.122},\frac{1}{17.321}\right) = (0.117,0.216,0.362)$$

$$M_3 = (5.571,6.667,9.089) \cdot \left(\frac{1}{29.348},\frac{1}{22.122},\frac{1}{17.321}\right) = (0.190,0.301,0.525)$$

$$M_4 = (4.689,5.733,7.615) \cdot \left(\frac{1}{29.348},\frac{1}{22.122},\frac{1}{17.321}\right) = (0.160,0.259,0.440)$$

c. 由公式(4)、(5)可以计算得出每个评价指标优于其他指标的纯测量度：

$$P(B_1 \geqslant B_2) = 1$$

$$P(B_1 \geqslant B_3) = \frac{0.190 - 0.368}{(0.224 - 0.368) - (0.301 - 0.190)} = 0.696$$

$$P(B_1 \geqslant B_4) = \frac{0.160 - 0.368}{(0.224 - 0.368) - (0.259 - 0.160)} = 0.854$$

同理可得

$$P(B_2 \geqslant B_1) = 0.969$$
$$P(B_2 \geqslant B_3) = 0.669$$
$$P(B_2 \geqslant B_4) = 0.824$$
$$P(B_3 \geqslant B_1) = 1$$
$$P(B_3 \geqslant B_2) = 1$$
$$P(B_3 \geqslant B_4) = 1$$
$$P(B_4 \geqslant B_1) = 1$$
$$P(B_4 \geqslant B_2) = 1$$
$$P(B_4 \geqslant B_3) = 0.856$$

由公式(6)可得每个评价指标的权重

$$d'(B_1) = P(M_1 \geqslant M_2,M_3,M_4) = \min(1,0.696,0.854) = 0.696$$

$$d'(B_2) = P(M_2 \geqslant M_1, M_3, M_4) = \min(0.969, 0.669, 0.824) = 0.669$$

$$d'(B_3) = P(M_3 \geqslant M_1, M_2, M_4) = \min(1, 1, 1) = 1$$

$$d'(B_4) = P(M_4 \geqslant M_1, M_2, M_3) = \min(1, 1, 0.856) = 0.856$$

经过公式(8)归一化处理，得到各一级指标的权重值为

$$W = \left(\frac{0.696}{3.220}, \frac{0.669}{3.220}, \frac{1}{3.220}, \frac{0.856}{3.220}\right) = (0.216, 0.208, 0.311, 0.266)$$

各二级指标的权重可按上述步骤和方法计算得到。

d. 计算后评价的总体评价值。将二级评价指标按优劣等级划分为 4 个等级："优"、"良"、"中"、"差"，分别赋值 4，3，2，1 分，指标等级介于两相邻等级之间的，相应评分为 3.5，2.5，1.5 分。根据专家对各二级指标的评价得分及相应权重即可求得相应的一级指标得分，再根据各一级指标的权重即可求得总体得分，对照相应的等级即可得出后评价的最终结果。

$$M = \sum_{i=1}^{4} Q_i \cdot w_i = w_1 \cdot Q_1 + w_2 \cdot Q_2 + w_3 \cdot Q_3 + w_4 \cdot Q_4$$

其中，$w_i\ (i = 1, 2, 3, 4)$ 为各一级评价指标权重，$Q_i\ (i = 1, 2, 3, 4)$ 为各一级评价指标的得分，其取值依赖于下一层相应二级指标的权重和得分。

4 结 论

根据一般水利建设项目后评价的内容，结合城市防洪工程后评价的特点构建了一套城市防洪工程后评价指标体系。由于城市防洪工程后评价问题是一个由众多因素构成的多层次问题，且评价指标多为定性指标，评价多是依赖专家的个人判断，笔者运用三角模糊层次分析法来计算评价指标的权重值，有效地克服了评价中专家的主管臆断带来的弊端，增强了后评价的科学合理性，使评价结果具有较高的实际参考价值。

参考文献：

[1] 詹敏利，陈驰. 多变量综合评价法在水利工程后评价中的应用[J]. 人民长江，2009，40(19)：100-103.

[2] 张三力. 项目后评价[M]. 北京：清华大学出版社，1998.

[3] SATTY T L. How to make a decision：the analytical hierachy process[J]. European Journal of Operational Research，1990(48)：9-26.

[4] 程蟒，廖新建，朱晓民，等. 基于三角模糊数层次分析法的彩铃业服务质量评价[J]. 重庆邮电大学学报：自然科学版，2008，20(1)：94-99.

[5] 常大勇，张丽丽. 经济管理中的模糊数学方法[M]. 北京：北京经济学院出版社，1995：24-28.

[6] LOARGOVEN VAN，PEDRUL Z W. A fuzzy extension of Satty's priority theory[J]. Fuzzy Sets and System，1983，11(1)：229-241.

[7] ZHU Ke-jun，YU Jing，CHANG Da-yong. A discussion on extent analysis method and applications of fuzzy AHP[J]. European Journal of Operational Research，1999，116：450-456.

（收稿日期：2010-04-12 编辑：徐广生）

（上接第 4 页）

b. 在水资源量统计方面，水资源量统计宜采用现行传统方法。主要有两个原因：①尽管水资源资产账户反映了二元水循环模式下的水资源存量及其变化，但是通常在各类水资源指标分析中所涉及的水资源量均指可更新的水量，而不是水资源存量，并且河流、土壤水、地下水存量难以量化；②尽管广义水资源的概念及其评价方法已在部分流域得到了初步应用，但该方法在许多方面还需要进一步完善，因此，在自然资产存量核算中，也应以水资源总量作为实物量，通过水资源估价实现价值量核算。

随着我国水资源环境经济核算体系和水资源监测手段的完善，通过将水资源信息和经济信息进行综合，可以客观地分析和评价不同行业、不同部门的用水需求和效率，统一协调生产、生活和生态用水；综合分析水资源对国民经济的贡献以及经济社会发展对水资源和水环境的影响，正确评价水资源对经济社会可持续发展的保障能力。

参考文献：

[1] 王浩，陈敏建，秦大庸，等. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州：黄河水利出版社，2003.

[2] 王浩，王建华，秦大庸，等. 现代水资源评价及水资源学学科体系研究[J]. 地球科学进展，2002，17(1)：12-17.

[3] 甘泓，高敏雪. 创建我国水资源环境经济核算体系的基础和思路[J]. 中国水利，2008(17)：1-5.

[4] 高敏雪，许健，周景博. 综合环境经济核算：基本理论与中国应用[M]. 北京：经济科学出版社，2007.

[5] United Nations Statistics Division. System of environmental-economic accounting for water[R]. New York：United Nations Statistics Division，2006.

[6] 中国水资源环境经济核算研究课题组. 中国水资源环境经济核算研究总报告[R]. 北京：中国水利水电科学研究院，2009.

（收稿日期：2010-01-25 编辑：张志琴）