

水利水电项目经济风险的模糊分析方法

吴泽宁¹, 索丽生¹, 王海政²

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098;
2. 黄河水利委员会勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要 针对水利水电项目经济评价中存在着众多模糊不确定因素的客观实际, 分析了影响经济风险的模糊不确定性因素的特点, 引入了模糊事件及模糊概率的概念、表达式和计算方法, 研究了基于模糊不确定性的水利水电项目经济风险分析方法和风险评价指标. 结合实例对方法进行验证, 并与分析技术法的结果进行了对比分析, 结果表明方法是可行的.

关键词 不确定性 模糊不确定性 经济风险 水利水电工程

中图分类号 F403.7 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2003)03-0276-05

经济评价对水利水电项目的科学决策起着重要的作用. 工作实践证明, 在水利水电项目经济评价中, 存在着众多的不确定性因素, 这些不确定性因素必将导致项目的经济风险. 为了提高决策的科学性和正确性, 研究水利水电工程项目经济风险分析方法具有重要的理论和实践意义.

通常水利水电工程经济风险分析, 主要是把影响经济评价指标的不确定性因素视为随机变量, 用概率统计的理论和方法来实现. 常用的方法可归为“模拟统计法”和“分析技术法”两类^[1~4]. “模拟统计法”中具有代表性的方法是蒙特卡洛法, 它是根据统计数据或经验判断分析拟定概率分布曲线, 从不确定性概率分布中, 产生符合该不确定性概率分布特性的随机数值序列, 作为输入变量序列进行模拟试验^[5], 进而分析确定经济风险分析指标. “分析技术法”是在影响因素变化幅度及其概率分布确定的基础上, 分析计算评价指标概率分布的方法. 这种方法适用于不确定性因素较少, 且容易确定概率分布的项目. 然而, 在水利水电项目经济分析中, 除随机不确定性外, 还存在着大量的模糊不确定性. 因此, 本文将模糊集理论和水利水电项目不确定性特点相结合, 探讨基于模糊不确定性的水利水电项目经济风险分析方法, 以求丰富水利水电项目经济风险分析的手段.

1 水利水电项目经济评价中的不确定性

1.1 随机不确定性和模糊不确定性

模糊性和随机性都是不确定性的体现^[5,6], 但它们又有本质区别. 随机不确定性事件本身有明确的含义, 只是由于事件发生的条件不充分, 使得在条件和事件之间不可能出现决定的因果关系, 因而在事件是否出现上表现出不确定性, 也称为随机性. 比如, 某水利水电工程项目投资增加 20% 的概率是 0.3, 表示投资增加 20% 这个事件发生的条件不充分, 这时投资可能增加 20% 也可能不增加 20% (随机事件), 但投资增加 20% 的概率是 0.3, 使得投资增加 20% 事件发生与不发生二者之间不可能出现确定的因果关系. 对这类不确定性产生的经济风险, 可用概率统计方法进行分析^[4].

模糊不确定性是指事物是否符合某个概念上表现出的一种不确定性, 这种因为概念外延的模糊而造成不确定性即为模糊性. 比如, 某水利工程项目效益减少 10% 的可能性是 0.2 左右, 0.2 左右的概念本身具有模糊性. 模糊性是排中律的一种破缺, 模糊数学是从对模糊性的研究中去寻求和确立广义的排中律——反映了模糊概念对事物的联系和制约的隶属规律. 可见, 对这类不确定性产生的经济风险, 可用模糊数学的理论和方法进行处理.

1.2 水利水电项目模糊不确定性分析

水利水电项目经济评价中,模糊不确定性主要表现在以下几个方面:对投资、工期和效益等不确定性变化的情况不能精确估计.由于项目经济评价涉及的不确定性因素多且复杂,要得到诸如投资增加 20% 的概率是 0.3 的结果存在一定的困难.影响水利水电工程系统的径流与负荷等,由于受自然和人工等多因素的复合作用,各种影响和相互作用关系难以精确描述.经济评价计算中涉及有限样本代替无限样本和以过去代替将来而造成的不确定性,分析中所用的简化、假定产生的与实际之间差异的不确定性,决策人经验与偏好本身具有模糊性等等.显见,在水利水电项目经济评价中,模糊不确定性因素是普遍存在的,这说明了探讨模糊不确定性产生的经济风险分析方法是必要的.

2 模糊事件的模糊概率

为便于研究,考虑模糊不确定性的水利水电项目经济风险分析方法,引入了模糊事件、模糊概率、模糊事件的模糊概率等概念及其运算法则^[6].

2.1 模糊事件的概率

如果一个事件 $\tilde{A}$ 是模糊的,而它的概率值是普通实数,则称其为模糊事件 $\tilde{A}$ 的普通概率,记为 $P(\tilde{A})$. 设论域 X 上的模糊事件 $\tilde{A}$ 的隶属函数为 $\mu_{\tilde{A}}(x)$,则模糊事件 $\tilde{A}$ 的概率为

$$P(\tilde{A}) = \int_X \mu_{\tilde{A}}(x) f(x) dx \tag{1}$$

式中 $f(x)$ 为 X 的概率密度函数.

2.2 事件的模糊概率

概率论是用 $[0, 1]$ 中的一个数表达事件出现的可能性,如投资增加 20% 的概率是 0.4. 在实际工作中,有时难以给出事件出现概率的精确值,但可用语言概率表示.如投资增加 20% 的概率接近于 0.4. 接近于 0.4 称为事件的模糊概率(语言概率).

定义 1 给定由代表基本事件的元素 $\omega_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 组成的集合 Ω , 即论域 $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n\}$, 论域 $X \subset [0, 1], X = \{0, 0.1, \dots, 0.9, 1\}$, 在 $P(X)$ 上确定一个概率语言变量系 ϵ , 在 ϵ 中指定概率语言序列 $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n \in \epsilon$, 使 $P(\omega_i) = \pi_i (i = 1, 2, \dots, n)$, 设事件 $A = \bigcup_{1 \leq i \leq n} \omega_i$, 则事件 A 的语言概率定义为

$$P(A) = a_1 \pi_1 + a_2 \pi_2 + \dots + a_n \pi_n \tag{2}$$

其中

$$a_i = \begin{cases} 1 & \omega_i \in A \\ 0 & \omega_i \notin A \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

2.3 模糊事件的模糊概率

在客观实际中,用概率语言表示模糊事件的模糊概率是常见的.比如,“某水利水电项目投资增加 20% 左右的可能性接近于 0.5”、“某水利水电项目投资增加很大的可能性是有的”,都是用概率语言描述模糊事件的.定义模糊事件 $\tilde{A}$ 的模糊概率为

$$P(\tilde{A}) = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(\omega_i) \pi_i \tag{4}$$

式中 $\mu_{\tilde{A}}(\omega_i)$ 为 $\tilde{A}$ 在 Ω 上的隶属函数.

3 基于模糊不确定性的水利水电项目经济风险分析方法

针对影响因素服从离散型概率分布的情况,讨论基于模糊不确定性的水利经济风险分析方法.

3.1 风险辨识

风险辨识是从系统观点出发,从错综复杂的关系中找出因素间的本质联系,在众多的影响中抓主要因素.水利水电项目经济风险因素较多,为便于研究与说明,将其综合分类为投资(费用)、效益(损益)和工期,其它影响因素可通过一定方法处理为这 3 个因素.

3.2 建立模糊不确定性因素变化幅度的隶属函数

根据有关规范和实际工作经验,可设风险因素数值变化论域为 $\Omega = \{-30\%, -25\%, \dots, -5\%, 0\%,$

+ 5% ,... ,+ 25% ,+ 30% } ,论域中的数值表示不确定性因素在设计值基础上的增减比例。

不同人对同一模糊概念外延的理解是有差异的 ,为了充分发挥决策者的主观能动性 ,尽可能建立符合客观实际的隶属函数 ,在项目有关研究和统计分析的基础上 ,可采用德尔菲法 ,邀请有关专家对[增大][偏大][不变][偏少][减少]等模糊语言给出在论域 Ω 上分明集的隶属函数 ,并采用专家直接评判的算术平均作为结果。如对水利建设项目投资增减所建立的模糊语言变量为

$$\begin{aligned} [\text{投资增大}] (\omega_i) &= \sum_{i=1}^n \frac{A_1(\omega_i)}{\omega_i} & [\text{投资偏大}] (\omega_i) &= \sum_{i=1}^n \frac{A_2(\omega_i)}{\omega_i} & [\text{投资不变}] (\omega_i) &= \sum_{i=1}^n \frac{A_3(\omega_i)}{\omega_i} \\ [\text{投资偏小}] (\omega_i) &= \sum_{i=1}^n \frac{A_4(\omega_i)}{\omega_i} & [\text{投资减少}] (\omega_i) &= \sum_{i=1}^n \frac{A_5(\omega_i)}{\omega_i} \end{aligned}$$

式中 1 2 3 4 5 分别表示模糊语言变量的序号 ,同理可建立效益和工期增减的模糊语言变量的隶属函数。

3.3 建立模糊不确定性因素的模糊概率隶属函数

用“投资增大 20% 左右的可能性接近于 0.3”、“效益减少 15% 左右的几率大概是 0.2”、“工期延长 1 ~ 2 a 的可能性约是 0.5 左右”等语言描述经济风险分析中的不确定性的概率更符合决策判断的实际。因此 ,要研究模糊概率隶属函数。

仍设论域为 Ω ,又设论域 $X \subset [0 , 1]$, $X = \{ 0 , 0.05 , 0.10 , \dots , 0.95 , 1 \}$,在 $F(X)$ 上确定 3 个概率语言变量系 $\epsilon_1 , \epsilon_2 , \epsilon_3$,分别代表投资费用、效益、工期的语言概率值空间 ,并分别指定概率语言序列 : $A\pi_1 , A\pi_2 , \dots , A\pi_n \in \epsilon_1 ; B\pi_1 , B\pi_2 , \dots , B\pi_n \in \epsilon_2 ; C\pi_1 , C\pi_2 , \dots , C\pi_n \in \epsilon_3$,使 $P_A(\omega_i) = A\pi_i , P_B(\omega_i) = B\pi_i , P_C(\omega_i) = C\pi_i , i = 1 , 2 , \dots , n$ 。

设 $A\pi_i , B\pi_i , C\pi_i$ 表示[接近于 x_i] ,根据工程实际情况和专家经验判断 ,建立某水利水电工程项目投资的语言隶属函数(效益、工期的语言隶属函数可仿此建立)为

$$P_A(\omega_i) = A\pi_i = [\text{接近于 } x_i] = \frac{0.7}{x_i - 0.05} + \frac{1.0}{x_i} + \frac{0.7}{x_i + 0.05} \tag{5}$$

3.4 模糊不确定性因素的模糊概率

设 $A_j , B_j , C_j (j = 1 , 2 , 3 , 4 , 5)$ 分别表示增大、偏大、不变、偏小、减少)代表投资、效益、工期变化的模糊不确定性 ,不同变化幅度值的隶属函数分别为 $\mu_{A_j}(\omega_i) , \mu_{B_j}(\omega_i) , \mu_{C_j}(\omega_i)$,由式(4)模糊不确定因素投资的模糊概率

$$P(A_j) = \sum_{i=1}^n \mu_{A_j}(\omega_i) \cdot A\pi_i \quad j = 1 , 2 , 3 , 4 , 5 \tag{6}$$

效益、工期的模糊概率依此类推 ,求出模糊概率后 ,依据最大隶属原则选择隶属度最大的概率作为模糊不确定性因素的模糊概率。如计算结果 $P(A_j) = \frac{0.8}{0.32} + \frac{1.0}{0.48} + \frac{0.8}{0.28}$,则该不确定性因素在 j 状态下的模糊概率为 0.48。

3.5 基于隶属度的模糊不确定性因素的期望值

在概率论中概率可定义为权重 ,根据查德的研究 ,依据隶属函数的含义 ,在模糊集合论中隶属度也可定义为权重 ,这样模糊事件 $[\underline{AA}]$ 隶属函数为 $\underline{AA}(\omega_i)$ 的数学期望(变化值) :

$$E[\omega_i | \underline{AA}] = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \underline{AA}(\omega_i) / \left(\sum_{i=1}^n \underline{AA}(\omega_i) \right) \tag{7}$$

3.6 水利水电项目经济风险评价指标

在求得模糊不确定因素的期望值和模糊概率后 ,选用期望经济净现值、风险率、风险损失(表示某个风险投资方案的可能损失值 ,定义为投资乘以失败概率) 、风险收益(代表投资方案的可能盈利值 ,定义为期望净现值乘以投资成功的概率) 、风险益损比、风险度(相当于概率论中的变差系数) 等作为项目的经济风险指标。

4 应用研究

某综合利用水利水电工程 ,在可行性研究中 ,设计工期为 7 a ,设计投资为 180 亿元 ,建成后预估年效益为 28 亿元。考虑该工程属规划阶段 ,影响工程经济效益发挥的不确定因素较多 ,需进行经济风险分析。以下运用本文提出的方法对其经济风险进行分析。

4.1 建立模糊不确定性因素变幅的隶属函数

视该工程投资、效益和工期为模糊不确定性因素,并将其作为离散型变量处理.根据工程的实际情况,参考有关规范,并结合专家经验,确定投资和效益在设计基础上的增减变化论域 $\Omega_1 = \Omega_2 = \{-30\%, -25\%, \dots, -5\%, 0\%, +5\%, \dots, +25\%, +30\%\}$,以及效益与投资变化的隶属函数:

$$[\text{增大}] = \frac{1.0}{+30\%} + \frac{1.0}{+25\%} + \frac{0.8}{+20\%} + \frac{0.6}{+15\%} + \frac{0.3}{+10\%}$$
$$[\text{偏大}] = \frac{0.2}{+20\%} + \frac{0.4}{+15\%} + \frac{0.7}{+10\%} + \frac{0.8}{+5\%}$$
$$[\text{不变}] = \frac{0.2}{+5\%} + \frac{1.0}{0\%} + \frac{0.2}{-5\%}$$
$$[\text{偏小}] = \frac{0.2}{-20\%} + \frac{0.4}{-15\%} + \frac{0.7}{-10\%} + \frac{0.8}{-5\%}$$
$$[\text{减少}] = \frac{1.0}{-30\%} + \frac{1.0}{-25\%} + \frac{0.8}{-20\%} + \frac{0.6}{-15\%} + \frac{0.3}{-10\%}$$

在工期变化论域 $\Omega_3 = \{5\text{ a}, 6\text{ a}, 7\text{ a}, 8\text{ a}, 9\text{ a}\}$ 上,分析确定工期变化的隶属函数:

$$[\text{延长}] = \frac{1.0}{9\text{ a}} + \frac{0.1}{8\text{ a}} \quad [\text{稍长}] = \frac{0.9}{8\text{ a}} \quad [\text{不变}] = \frac{1.0}{7\text{ a}} \quad [\text{稍短}] = \frac{0.9}{6\text{ a}} \quad [\text{缩短}] = \frac{0.1}{6\text{ a}} + \frac{1.0}{5\text{ a}}$$

4.2 建立模糊概率的隶属函数

选用投资变化 +30% ,+25% ,-15% ,-20% ,-25% ,-30% 的语言概率为[接近于 0.05],其余变化幅度的语言概率为[接近于 0.10];效益变化 +30% ,+25% ,+20% ,+15% ,+10% ,-30% 语言概率为[接近于 0.05],其余变化幅度的语言概率为[接近于 0.10];工期 5 a 语言概率为[接近于 0.10],工期 6 a ,8 a ,9 a 语言概率为[接近于 0.20],工期 7 a 语言概率为[接近于 0.30].

4.3 求解模糊语言(事件)的模糊概率

按照公式(6)计算得到投资 [增大] [偏大] [不变] [偏小] [减少] 的模糊概率,并按照隶属度最大原则,确定模糊概率.同理,可确定效益和工期变化的模糊概率.模糊不确定性的模糊概率计算结果见表 1.

4.4 模糊不确定性因素的数学期望值

由模糊不确定性因素变幅及其相应概率的隶属函数,用式(7)计算模糊不确定性因素的期望值得到各不确定性因素 [增大] [偏大] [不变] [偏小] [减少] 的期望值如表 1.

4.5 分析计算经济风险指标

由表 1 的概率和期望值得到该工程的经济风险指标.为进行比较,同时用分析技术法计算了该工程的经济风险指标见表 2.

由表 2 看出,用本文提出的分析方法计算,该工程的期望净现值达到 28.89 亿元,效益是比较大的,也有可能产生 9.02 亿元的风险损失;风险率和风险度分别为 12.70% 和 0.83,表明该工程的经济风险也是较大的,在工程建设和运行中必须进行科学的控制和管理.同时可看出,模糊分析法计算的经济风险大于分析技术法计算的经济风险,这是因为考虑风险因素的模糊性后,判断值(语言变量)都要向外延伸的结果,也反映了模糊不确定性对项目经济风险的影响.

表 1 模糊不确定因素的模糊概率及其期望值

Table 1 Fuzzy probability and expected value of fuzzy uncertainty factors

语言 变量	模糊概率			期望值(增减倍数)		
	工期/a	投资	效益	工期/a	投资	效益
增大	0.24	0.27	0.185	9	1.23	1.23
偏大	0.16	0.21	0.145	8	1.10	1.10
不变	0.30	0.14	0.140	7	1.00	1.00
偏小	0.16	0.18	0.210	6	0.90	0.90
减少	0.14	0.20	0.320	5	0.77	0.77

注:工期语言变量的期望值进行了取整运算.

表 2 经济风险指标计算结果

Table 2 Calculated results of economic risk indexes

风险指标	期望经济净现值 /亿元	风险损失 /亿元	风险收益 /亿元	风险损益比	风险率(ENPV<0) /%	风险度
模糊分析法*	28.89	9.02	25.22	2.80	12.70	0.83
分析技术法	29.86	4.05	28.15	6.94	5.72	0.69

* 本文提出的分析方法.

5 结 语

传统的水利经济评价风险分析方法,缺乏对影响经济风险因素模糊性的认识,以至于得出的经济风险分析结果与实际情况不尽相符.研究表明:(a)在水利工程经济风险中存在大量的模糊不确定性,而现行规范所推荐的方法与理论不宜计算其对经济风险的影响.(b)本文在模糊不确定性分析的基础上,应用模糊数学描述各类模糊不确定因素,并通过模糊集合运算,分析模糊不确定性对经济风险的影响是可行的.(c)基于模糊不确定性的水利水电工程经济风险分析方法具有一定的探索性,研究方法有待于在工程实践中不断改进与完善,同时也清楚地看到开展模糊不确定性对经济风险影响研究的必要性、可能性与合理性.(d)虽然本文所提出的经济风险分析方法是针对水利水电建设项目而言的,但亦可将其推广应用于其它建设项目的经济风险分析中.

参考文献:

- [1] 王忠法,黄建和,邱忠恩.风险分析方法与三峡工程投资风险分折[J].人民长江,1997,28(1):4—6.
- [2] 麻荣永,陆章全.水利工程灌溉效益风险分析[J].广西大学学报,1999,24(1):31—33.
- [3] 左其亭,吴泽宁.模糊风险计算模型及应用研究[J].郑州工业大学学报,2001,22(3):78—80.
- [4] 王丽萍,傅湘.洪灾风险及经济分析[M].武汉:武汉水利电力大学出版社,1999.28—57.
- [5] 郭仲伟.风险分析与决策[M].北京:机械工业出版社,1987.54—66.
- [6] 许仁忠.模糊数学及其在经济管理中的应用[M].成都:西南财经大学出版社,1987.319—366.

Fuzzy analysis method for economic risk of water resources and hydropower projects

WU Ze-ning¹, SUO Li-sheng¹, WANG Hai-zheng²

- (1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;
2. Reconnaissance, Planning, Design, and Research Institute, YRCC, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: Aiming at the fact that many fuzzy uncertainty factors exist in the economic evaluation of water resources and hydropower projects, an analysis is made on the characteristics of the fuzzy uncertainty factors that affect the economic risk. Then the concept of and calculating method for the fuzzy probability of fuzzy events are introduced into the study of the fuzzy uncertainty-based economic risk analysis method and risk evaluation indexes for water resources and hydropower projects. In combination with a practical project, the feasibility of the method is verified by a comparison of the calculated results in this paper with those obtained by the technical analysis method.

Key words: uncertainty; fuzzy uncertainty; economic risk; water resources and hydropower project