

文章编号 :1007-649X(2001)01-0056-05

水利水电工程投资方案排序与选择的模型研究

王海政,周 丽,贺北方

(郑州大学水利与环境工程学院 河南 郑州 450002)

摘 要 :水利水电工程投资项目优选包括方案排序与选择两个相关联的部分 ,根据该类问题特点 ,将其概化为“ 无约束方案排队问题 ”和“ 有约束方案选择问题 ” ,并相应提出了基于层次分析和熵权的逼近于理想解排序模型与多目标模糊整数规划模型 .实例研究表明 ,将方案选择的多目标决策问题分为两个步骤来研究是非常必要的 ,对方案优选进行多目标定量分析更是今后的发展方向 .
关键词 :层次分析 ;熵 ;理想解 ;排序 ;多目标 ;模糊整数规划 ;优选
中图分类号 :TV 212.5 文献标识码 :A

0 引言

水利水电投资方案的选择一般包括两个部分 :①首先进行方案的综合评价 ,将各待选方案通过一定的综合评价模型来计算评价指标 ,进行优劣排队 ,为进一步选定方案提供方案信息 ;②在方案技术经济指标综合评价的基础上考虑一些外部影响或约束 ,如方案投资要求 ,选择方案所能提供的资金、资源等约束 ,研究多方案的选择 .第一步可以理解为方案本身综合评价及一定偏好准则下的排队(“ 无约束方案排队问题 ”) ,第二步是在第一步的基础上考虑外界条件影响和制约下研究方案的选定问题(“ 有约束方案选择问题 ”) .

第一步的广义“ 无约束方案排队问题 ”主要侧重于方案之间的相对优劣关系的判断 ,各方案之间并没有相互之间的制约关系 ,其评判的依据主要侧重于对影响方案的各指标重要性的权衡 .本文拟建立基于权重确定的、逼近于理想解的排序模型 .第二步的广义“ 有约束方案选择问题 ”是在第一步研究的基础上 ,研究影响方案选择的内外因素之间的动态约束关系 ,是资源约束下的优化问题 ,用数学规划方法解决较为方便 ,尤其是运用混合整数规划方法更为有效 .考虑到问题的多目标属性及其约束或目标的模糊性 ,本文建立了多目标模糊混合整数

1 多方案排序的综合评价模型

“ 无约束方案排队问题 ”的研究思路是 :①确定评价目标 ,构造递阶层次结构 .②将“ 主观权重 ”和“ 客观权重 ”相结合求得综合权重 .③建立基于权重的、逼近于理想解的排序模型 ,对方案进行排序 .

1.1 开发排序优选的递阶层次结构

针对开发方案的影响因素 ,结合问题的特点和要求 ,按照决策准则和因素间的相互关系 ,将评价因素按不同层次分解 ,构造递阶层次结构图 .

1.2 评价指标权重推求

方案的优劣排序 ,不但要注重方案本身的客观数据与其所固有的决策信息 ,而且决策者的主观因素与判断也是不可忽视的因素 .因此 ,一种好的决策方法应同时考虑主、客观两方面因素 .本文拟将层次分析法中的权重确定与信息论中的熵权系数法结合 ,实现优势互补 ,以求合理确定权重 .

1.2.1 基于层次分析法的“ 主观权重 ”^[1]

“ 主观权重 ”的推求 ,是采用德尔菲法与层次分析法相结合 ,将评价指标按重要性作成对比较 ,记第 i 个指标对第 j 个指标的相对重要性为 a_{ij} ,并近似地认为是属性 i 的权 w_i 和属性 j 的权 w_j 的比 w_i/w_j . n 个指标成对比较的结果用判断矩阵 A 表示 ,即

收稿日期 2000-11-02 ;修订日期 2000-12-23

基金项目 国家重点基础研究规划项目(G199904360805)

作者简介 :王海政(1971-)男 ,河南省息县人 ,郑州工业大学硕士研究生 ,工程师 ,主要从事工程经济及水资源系统规划等方面的研究 .

$$A = (a_{ij})_{n \times n} \approx (w_i/w_j)_{n \times n}.$$

如果决策人对 a_{ij} ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$) 的估计一致, 则有 $a_{ij} = 1/a_{ji}$, $a_{ij} = a_{ik}a_{kj}$; 如果决策人对 a_{ij} 的估计不一致, 则 $a_{ij} \approx w_i/w_j$; “ \approx ”表示左右两侧近似相等. 一般 $a_{ij}w_j - w_i$ 的值并不为 0, 但可以选择一组权 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 使误差平方和为最小, 即

$$\min \{z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}w_j - w_i)^2\}, \quad (1)$$

上式中的权 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ 受约束于 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

如用拉格朗日乘子法解此有约束的优化问题, 则拉格朗日函数为

$$L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_{ij}w_j - w_i)^2 + \lambda \left(\sum_{i=1}^n w_i - 1 \right), \quad (2)$$

将上式对 w_l 微分, 得到

$$\frac{\partial L}{\partial w_l} = \sum_{i=1}^n (a_{il}w_l - w_i)a_{il} - \sum_{j=1}^n (a_{lj}w_j - w_l) + \lambda = 0 \quad (l = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

上式与权重归一化条件构成 $n+1$ 个非齐次线性方程组, 求得一组唯一的解 $\lambda, w_1, w_2, \dots, w_n$.

1.2.2 基于熵权系数法的“客观权重”^[2,3]

熵是系统状态(随机事件)不确定性或信息量的一种度量. 信息论中量度信息的基本出发点, 是把获得的信息用以消除不确定性, 因此信息数量的大小可以用被消除的不确定性的多少来表示. 如果同一指标 b_j 下各方案的属性值 a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n$) 相差较大, 则反映该指标在综合评价中比较重要, 指标传输给决策者的信息较多. 因此, 可以根据各指标传输给决策者信息量的大小来确定指标的权重.

当系统处于 n 种不同状态, 每种状态出现的概率为 P_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) 时, 该系统的熵为

$$E = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i, \quad (4)$$

P_i 满足 $\sum_{i=1}^n P_i = 1$.

根据熵的性质求解评价指标的“客观权重”, 其一般过程如下: 设用 n 个评价指标决策评价 m 个待选方案, X_{ik} 是待选方案 k 的评价指标 i 的估计值; X_i^* 是评价指标的理想值, 其大小因评价指标特性不同而异; 定义 X_{ik} 与 X_i^* 的接近度并记为 D_{ik} , 将 D_{ik} 进行归一化处理后为 d_{ik} .

根据熵的定义, 用 n 个评价指标评价 m 个待选方案的熵 E 为

$$E = - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m d_{ik} \ln d_{ik}. \quad (5)$$

因评价指标两两相对重要性与待选方案其他指标无关, 则熵转化为 $E = - \sum_{i=1}^n d_i \ln d_i$, $d_i = \sum_{k=1}^m d_{ik}$. 这样, 评价指标 i 对待选方案决策评价的相对重要性的不确定性可由下列的条件熵来度量:

$$E = - \sum_{k=1}^m \frac{d_{ik}}{d_i} \ln \frac{d_{ik}}{d_i}. \quad (6)$$

由熵的极值性可知, d_{ik}/d_i ($k = 1, 2, \dots, m$) 越接近相等, 条件熵就越大, 评价指标对待选方案评价的不确定性也就越大. 当其相等时条件熵最大, 即 $E_{\max} = \ln m$. 用 E_{\max} 对上式进行归一化处理, 得到表征评价指标 i 的评价决策重要性的熵值

$$\epsilon(d_i) = - \frac{1}{\ln m} \sum_{k=1}^m \frac{d_{ik}}{d_i} \ln \frac{d_{ik}}{d_i}. \quad (7)$$

由 $\epsilon(d_i)$ 确定评价指标 i 的评价权值 θ_i 为

$$\theta_i = \frac{1}{n - E_e} [1 - \epsilon(d_i)], \quad (8)$$

式中: $E_e = \sum_{i=1}^n \epsilon(d_i)$, 且 $0 \leq \theta_i \leq 1$, $\sum_{i=1}^n \theta_i = 1$.

评价权值 θ_i 取决于待选方案组的固有信息, 因此, 同一个评价决策指标对于不同待选方案组会有不同的评价权值 θ_i .

利用熵确定权重与层次分析法确定权重, 其出发点和理论基础均不同, 前者是从各指标传输给决策者的信息量多少出发, 依据的是信息论; 后者是由决策者分析评价, 包含的人为主观色彩较浓厚, 理论基础是决策论. 由此可见, 两种方法各有优点, 科学地确定权重方法应采用算术平均值作为评价的权重.

1.3 建立逼近于理想解的加权排序模型

逼近于理想解的排序方法是借助于多目标决策问题的“理想解”和“负理想解”去排序. 所谓理想解是设想最好解(方案), 其属性值都达到各候选方案的最好值; 而负理想解则相反. 原有方案集一般并没有这种理想解和负理想解, 但若将实际解与理想解和负理想解作比较, 如其中有一个解最靠近理想解, 同时又远离负理想解, 这个解即是方案集中最好解, 用这种方法可将所有方案排序.

设 n 个方案和 m 个属性的决策问题, 采用加权欧几里得范数作为距离测度, 解 y^i 到理想解 y^* 欧氏距离

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^m [w_j (y_{ij} - y_j^*)]^2},$$

$(i = 1, 2, \dots, n).$ (9)

式中： y_{ij} 是解 y^i 的第 j 个分量； y_j^* 是理想解 y^* 第 j 个分量.类似地，可定义解 y^i 对负理想解 y^- 的距离

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m [w_j (y_{ij} - y_j^-)^2]},$$
$$(i = 1, 2, \dots, n),$$
 (10)

定义某一解 y^i 对理想解相对接近度为

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-},$$
$$(0 \leq C_i^* \leq 1, i = 1, 2, \dots, n).$$
 (11)

因此，如果 y^i 为理想解 y^* ，则 C_i^* 为1；如果 y^i 为负理想解 y^- ，则 $C_i^* = 0$.一般方案 C_i^* 值为0~1， C_i^* 值愈接近1，则相应方案愈应排前.

2 方案优选的多目标模糊整数规划模型

2.1 研究问题与对策

在方案选择中，常遇到的问题是约束或目标函数具有模糊性，可建立模糊0-1整数规划模型.鉴于方案优选常涉及多个优化准则，使得要追求的最优目标常有多，要同时使多个目标函数都达到最优值往往是不可能的，这就需要提出某种折衷的方法，使各目标函数都相对地达到最优值.针对该问题的特点，将多目标函数模糊化，从而导出一个新混合整数规划问题.

2.2 多目标模糊整数规划模型

多目标模糊整数规划^[4]模型可表述为以下的矩阵形式：

$$\max(\min) S \cong CX, \quad (12)$$

$$AX \leq (\geq) B; \quad 0 \leq X \leq 1,$$

其中： S 为表示目标函数列向量； \leq 为表示一种弹性约束，可读作“近似不大于”； A, C 分别表示约束条件系数、目标函数系数矩阵； B, X 为分别为资源向量、决策向量，决策分量取值为0或1.

多目标模糊整数规划模型解法^[5]分两步.

(1) 求解各目标函数最优值：对于每一个目标函数 $S_i = \sum_{j=1}^m C_{ij}x_j$ 在约束条件下可分别求其最优值：

$$S_i^* = \max \{ S_i \mid S_i = \sum_{j=1}^m C_{ij}x_j, AX \leq (\geq) B \},$$
 (13)

其解法可参见文献[5]；对于有些类型的约束条件也可以将模糊约束集合转化为普通约束集合.

(2) 建立模糊目标集的隶属函数：对于每一

个最优值 S_i^* ，根据研究问题的特点和要求，给出一个反映各目标重要程度的伸缩性指标（敏感性指标） $d_i > 0$ ，其值愈小目标函数 S_i 就愈重要，相应地可得到一个模糊目标集 \tilde{G}_i ，其隶属函数为

$$\mu_{\tilde{G}_i}(x) = g_i \left(\sum_{j=1}^m c_{ij}x_j \right) = \begin{cases} 0; & \left(\sum_{j=1}^m c_{ij}x_j < S_i^* - d_i \right), \\ 1 - \frac{1}{d_i} \left(S_i - \sum_{j=1}^m c_{ij}x_j \right); & (S_i^* - d_i \leq \sum_{j=1}^m c_{ij}x_j < S_i^*), \\ 1; & \left(S_i^* \leq \sum_{j=1}^m c_{ij}x_j \right), \end{cases}$$
 (14)

记 $\tilde{G} = \tilde{G}_1 \cap \tilde{G}_2 \cap \tilde{G}_3 \cap \dots \cap \tilde{G}_r$ 是对应于多目标函数模糊化后的模糊目标集.

(3) 建立模糊约束的隶属函数：模糊约束的隶属函数定义为

$$\mu_{\tilde{A}_i}(x) = \begin{cases} 1; & \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}x_j < b_i \right), \\ 1 - \frac{1}{dd_i} \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}x_j - b_i \right); & (b_i < \sum_{j=1}^m a_{ij}x_j \leq b_i + dd_i), \\ 0; & \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}x_j > b_i + dd_i \right), \end{cases}$$
 (15)

记 $\tilde{A} = \tilde{A}_1 \cap \tilde{A}_2 \cap \tilde{A}_3 \cap \dots \cap \tilde{A}_n$ 是模糊约束集.其中： $b_i, dd_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 分别为约束界限、约束条件的最大允许偏差.

(4) 确定模糊判决集：取模糊约束集 \tilde{A} 与模糊多目标集 \tilde{G} 的交集 $\tilde{D} = \tilde{A} \cap \tilde{G}$ 作为模糊判决集.

(5) 求模糊最优解：按照最大隶属度原则，求 $x^* \in X$ ，使得

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max_{x \in X} [\mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{G}}(x)].$$
 (16)

则 $x^* \in X$ 就是多目标函数在模糊约束条件下的模糊最优解.

为了便于求解上述多目标模糊整数规划问题的模糊最优解，可以按下列方法将模糊整数规划问题转化成为普通的整数规划问题.由上式得：

$$\mu_{\tilde{D}}(x^*) = \max_{x \in X} [\mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{G}}(x)] = \max [\lambda \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \lambda, \mu_{\tilde{G}}(x) \geq \lambda; \lambda > 0],$$
 (17)

将 λ 看作变量，转化为求解满足上述要求的使得 λ 极大化的问题，从而导出一个新的普通整

数规划问题.在约束为

$$\begin{cases} 1 - \frac{1}{d_k} \left(S_k^* - \sum_{j=1}^m c_{kj} x_j \right) \geq \lambda \quad , \\ 1 - \frac{1}{dd_i} \left(\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j - b_i \right) \geq \lambda \quad , \\ x_j \text{ 取 } 0 \text{ 或 } 1 \text{ 的整数 } \lambda \geq 0 \quad , \\ i = 1 \ 2 \ \dots \ m ; k = 1 \ 2 \ \dots \ r \end{cases}$$

的条件下,求

$$\lambda^* = \max(\lambda) \quad (18)$$

用分枝定界解法、割平面解法、隐枚举法等可求解出其最优解 $\{x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*, \lambda^*\}$.

3 实例研究

某地区水电局拟对辖区内规划的 9 座小水电

表 1 投资方案的评价指标无量纲化值

Table 1 Non – dimension index

方案序号	资金支出	净现值	内部收益率	回收期	经济寿命	投资信誉
方案 1	0.8780	0.1385	0.5791	0.6716	0.4279	0.2442
方案 2	0.1195	0.2308	0.2424	0.5224	0.7264	0.7093
方案 3	0.9275	0.2308	0.9158	0.9701	0.0299	0.4767
方案 4	0.9934	0.1692	0.7138	0.8209	0.2289	0.0116
方案 5	0.0536	0.9385	0.4444	0.0746	0.8259	0.2442
方案 6	0.9275	0.0769	0.5791	0.5224	0.5274	0.9419
方案 7	0.2679	0.1385	0.0404	0.371	0.6269	0.7093
方案 8	0.4823	0.0154	0.0404	0.2239	0.9254	0.9419
方案 9	0.7791	0.0769	0.7811	0.8209	0.4279	0.4767

表 2 权重计算表

Table 2 Weight calculation

项目	资金支出	净现值	内部收益率	回收期	经济寿命	投资信誉
层次分析权重	0.1518	0.2938	0.2108	0.1236	0.1087	0.1113
基于熵的权重	0.1479	0.3301	0.1666	0.1017	0.1118	0.1419
综合平均权重	0.1499	0.3119	0.1887	0.1126	0.1103	0.1266

3.3 求相对接近度——方案排序

根据 9 个方案的隶属度、权重、理想解和负理想解,计算方案 1 ~ 方案 9 对理想解的相对接近度分别为 0.3982 0.3376 0.5011 0.4322 0.5930 , 0.4334 0.2766 0.3230 0.4253. 按前面的模型计算,方案 1 ~ 方案 9 的优劣序号分别为 6 7 2 4 , 1 3 9 8 5 ,即方案 5 排序最前,方案 7 排序最后.

3.4 建立多目标模糊整数规划模型——优选开发方案

若投资资金总额为 900 万元,通过挖潜,可再增加 300 万元以内的投资资金,总人机工时消耗为 400 万个工时左右,最多不得超过 100 万个工时.以收益额最大、选择工程数目最多、相对接近度为价值系数的目标最大选择方案.

进行投资方案的排序与选择.以 6 个评价指标决策 9 个小水电投资方案.在排序的基础上,引入反映方案优劣的综合评价指标,以利润指标作为价值系数建立目标函数,并考虑使兴建的小水电数目最多,以研究方案的排序与优选问题.

3.1 指标无量纲化

表 1 给出了各投资方案的评价指标估计值(无量纲化的指标)^[6].

3.2 指标权重推求

采用层次分析法与德尔菲法相结合,邀请熟悉情况的专家和学者,按 1 ~ 9 比率标度对指标进行两两比较判断,构造判断矩阵.然后按最小二乘法计算权向量,并进行无量纲化,结果见表 2.

3.4.1 建立多目标模糊整数规划模型

以方案兴建与否(1 0)作为决策变量,建立多目标模糊 0 – 1 整数规划模型如下

$$\begin{cases} \max S_1 = C_1^* x_1 + C_2^* x_2 + C_3^* x_3 + C_4^* x_4 + \\ \quad C_5^* x_5 + C_6^* x_6 + C_7^* x_7 + C_8^* x_8 + C_9^* x_9 ; \\ \max S_2 = 140x_1 + 300x_2 + 130x_3 + 110x_4 + \\ \quad 530x_5 + 100x_6 + 320x_7 + 210x_8 + 120x_9 ; \\ \max S_3 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + \\ \quad x_7 + x_8 + x_9 , \end{cases}$$

式中 $C_i^*(i = 1 \ 2 \ \dots \ 9)$ 表示各方案相对理想解的接近度,其值分别为 0.3982 0.3376 0.5011 , 0.4322 0.5930 0.4334 0.2766 0.3230 0.4253. 约束条件为

$$\begin{cases} 120x_1 + 540x_2 + 60x_3 + 60x_4 + 300x_5 + \\ \quad 60x_6 + 480x_7 + 360x_8 + 180x_9 \leq 1200 ; \\ 100x_1 + 160x_2 + 130x_3 + 90x_4 + 190x_5 + \\ \quad 140x_6 + 70x_7 + 150x_8 + 80x_9 \leq 500 ; \\ 120x_1 + 540x_2 + 60x_3 + 60x_4 + 300x_5 + \\ \quad 60x_6 + 480x_7 + 360x_8 + 180x_9 \geq 900 ; \\ 100x_1 + 160x_2 + 130x_3 + 90x_4 + 190x_5 + \\ \quad 140x_6 + 70x_7 + 150x_8 + 80x_9 \geq 400 ; \\ x_j = 0,1, \quad (j = 1,2,3,\dots,9). \end{cases}$$

3.4.2 求解多目标模糊整数规划模型

(1)解普通整数规划问题 :在约束条件下对应于每一个目标函数

$$\begin{cases} \max S_1 = C_1^* x_1 + C_2^* x_2 + C_3^* x_3 + C_4^* x_4 + \\ \quad C_5^* x_5 + C_6^* x_6 + C_7^* x_7 + C_8^* x_8 + C_9^* x_9 ; \\ \max S_2 = 140x_1 + 300x_2 + 130x_3 + 110x_4 + \\ \quad 530x_5 + 100x_6 + 320x_7 + 210x_8 + 120x_9 ; \\ \max S_3 = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + \\ \quad x_7 + x_8 + x_9 , \end{cases}$$

分别求出其极大值为 : $S_1^* = 2.0334$, $S_2^* = 1110$, $S_3^* = 5$.

(2)解普通混合整数规划问题 :对于每一个最优值 ,适当给出一个反映目标重要性程度的伸缩性指标 , $d_1 = 0.4$, $d_2 = 150.0$, $d_3 = 1.0$,可将多目标模糊优化求解问题 ,转化为混合整数规划问题 .其普通目标函数为

$$\max S = \lambda ,$$

其中 λ 表示原多目标模糊整数规划问题的最优解的隶属度(可能度) .

在约束条件下 ,求解上述混合整数规划模型 ,得到最优决策向量为

$$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, \lambda)^T = (1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T.$$

原问题的最佳解为 $(1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1)^T$,表示优选的投资方案为 :方案 1、方案 3、方案 4、方案 7、方案 9.

4 结束语

针对水利建设投资项目排序与选择的特点 ,本文提出将其分为两大部分研究 ,即“无约束方案排队问题”和“有约束方案选择问题” .该方法全面考虑了方案排序的多因素、多指标、多目标的特点及指标的要求 ,概念清晰 ,逻辑严密.

参考文献 :

[1] 陈 珽 .决策分析 [M].北京 :科学出版社 ,1987.
[2] 张世英 ,张文泉 ,王京芹 .技术经济预测与决策 [M].天津 :天津大学出版社 ,1994.
[3] 王 梅 ,王恒栋 ,周之豪 .信息论与水利建设项目的灰色系统评价 [J].河海大学学报 ,1997(5) :46 - 51.
[4] 钱颂迪 .运筹学 [M].北京 :清华大学出版社 ,1990.
[5] 阎家杰 ,赵万忠 ,迟风起 ,等 .模糊数学基础及应用初阶 [M].郑州 :河南教育出版社 ,1993.
[6] 贺北方 ,吴泽宁 ,杨建水 .复杂系统的灰色综合评估研究 [J].郑州工业大学学报 ,1999 20(1) :46 - 49.

Study on Models for Sorting and Selecting Hydraulic and Hydroelectric Engineering Investment Project

WANG Hai - zheng , ZHOU Li , HE Bei - fang

(College of Hydraulic & Environmental Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract :With an aim at hydraulic and hydroelectric engineering investment project involving a couple of logical correlated parts , this paper summarizes as non - restraint project lined up and restraint project selected which base on the characteristics of this kind of problems and puts forward an approach to ideal solution sequence model based on arrangement analysis and entropy weights and multi - objective fuzzy integer programming . By studying example , method mentioned summed up multi - objective project selected as a couple of study step which is very necessary , at the same time we also noticed that multi - objective quantitative analysis on scheme optimum selecting is development trend for the future .

Key words :arrangement analysis ; entropy ; ideal solution ; sequence ; multi - objective ; fuzzy integer programming ; optimum selecting