

文章编号:1007-6492(2001)03-0009-05

交互式多目标决策方法及其应用

贺北方¹, 周 丽¹, 王海政¹, 王效宇², 贺晓菊², 武 奇²

(1. 郑州大学环境与水利学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南黄河工程局, 河南 郑州 450045)

摘 要: 在 ELECTRE 法的基础上, 融入了目的规划和理想点的思路, 增加了能使指标进行整体优劣比较的距离矩阵; 建立了体现社会、经济、生态环境协调持续发展的指标体系, 用层次分析法 (AHP) 确定指标权重, 用集值统计法确定定性指标评价值, 减少了决策的任意性, 使多目标决策与综合评价更为严谨有序。用 C 语言编制了计算程序, 实现了多目标决策评价的快速计算。在决策过程中, 决策者与分析者可以反复对话, 充分体现了人机交互的特点, 并能接受主观与客观输入, 可进行个体与群体决策, 凡属方案间可比的多目标决策问题均可适用, 扩充了多目标决策评价的应用范围。

关键词: 多目标; 群决策; 交互式; 综合评价; 矩阵

中图分类号: C 934

文献标识码: A

0 引言

交互式多目标决策技术, 是分析者与决策者在求解过程中不断进行对话, 反复交换意见, 以使决策者的意见体现在决策过程中, 可处理更为广泛的决策问题。因此, 交互式多目标评价决策技术很受决策者的欢迎, 是决策领域中一种常用方法。

ELECTRE 方法是一种多指标、多方案的排序方法^[1], 它主要通过方案间的两两比较, 从而形成优先度矩阵和低劣度矩阵, 并利用阈值确定方案的优劣关系。本文在 ELECTRE 方法的基础上, 引进目的规划的思想, 注重分析方案指标总体与理想方案的远近程度, 并将个体决策与群决策有机结合, 形成一种交互式多目标群决策方法。文中针对复杂系统的特点, 用 C 语言进行软件设计, 并以某大型水利工程多目标综合评价为实例, 对交互式多目标决策技术进行了深入研究。

1 交互式多目标综合评价的原理方法

1.1 评价指标体系的建立

在进行复杂系统的综合评价时, 首先应确定评价指标体系, 并根据各评价指标的特点和属性, 将其划分为若干层次, 建立递阶层次结构。根据社会经济可持续发展的战略思想, 评价指标必须包

括能反映可持续发展的社会、经济、生态环境指标; 评价准则应以三者的协调发展和可持续性为准绳。

1.2 定性指标的量化方法

评价指标可划分为定量指标及定性指标两类。对于定量指标, 可根据资料计算; 对于可以定量分析, 但很难准确计算的指标, 或只能定性分析的指标, 采用了集值统计^[2]方法。

记 $[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]$ 为第 k 个评价者对评价指标 c_i 的评价区间, 则 n 个评价专家给出 n 个评价区间形成一个集值统计序列: $[u_1^{(1)}, u_2^{(1)}], [u_1^{(2)}, u_2^{(2)}], \dots, [u_1^{(n)}, u_2^{(n)}]$ 。这 n 个子集叠在一起便形成一种分布, 称 $\bar{x}(u)$ 为样本落影函数

$$\bar{x}(u) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \chi[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]^{(u)} \quad (1)$$

式中,

$$\chi[u_1^{(k)}, u_2^{(k)}]^{(u)} = \begin{cases} 1 & (u_1^{(k)} \leq u \leq u_2^{(k)}) \\ 0 & (\text{其他}) \end{cases}$$

指标 c_i 的评价值 \bar{u} 取为

$$\bar{u} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n [(u_2^{(k)})^2 - (u_1^{(k)})^2] / \sum_{k=1}^n [u_2^{(k)} - u_1^{(k)}] \quad (2)$$

1.3 评价矩阵及无量纲评价矩阵

记 $i = 1, 2, \dots, n_c$ 为评价指标, $j = 1, 2, \dots, m_a$

收稿日期: 2001-05-07; 修订日期: 2001-06-20

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目 (004041000)

作者简介: 贺北方 (1940-), 男, 河南省长葛市人, 郑州大学教授, 主要从事水资源系统分析及大系统多目标决策方面的研究。

为评价对象(方案); $e(i, j)$ 为第 j 个方案第 i 个评价指标的评价值,称 $E = (e(i, j))_{n_e \times m_e}$ 为评价矩阵.因各评价指标间的不可公度性(量纲不同),各方案间无法直接进行优劣比较,因此,必须对评价矩阵 E 进行无量纲化处理,使评价矩阵 E 转化为无量纲矩阵 Z .

评价指标的无量纲化处理可采用灰色系统理论中的效果测度^[3],或按矢量区间 $[S_{\min}, S_{\max}]$ 处理.

对于越大越好的指标

$$z(i, j) = S_{\min} + \frac{e(i, j) - \min_j e(i, j)}{\max_j e(i, j) - \min_j e(i, j)} \times (S_{\max} - S_{\min}); \quad (3)$$

对于越小越好的指标

$$z(i, j) = S_{\max} - \frac{e(i, j) - \min_j e(i, j)}{\max_j e(i, j) - \min_j e(i, j)} \times (S_{\max} - S_{\min}); \quad (4)$$

对于以某适当值 e_0 为佳的指标

$$z(i, j) = S_{\max} - \frac{|e(i, j) - e_0|}{|e(i, j) - e_0| + e_0} \times (S_{\max} - S_{\min}), \quad (5)$$

式中: $z(i, j) \in [S_{\min}, S_{\max}]$, S_{\min}, S_{\max} 由决策者在决策过程中给定.在决策过程中允许决策者引入新方案,增加或删除部分指标.

根据式(3)~(5),可将评价矩阵 $E = (e(i, j))_{n_e \times m_e}$ 转化为无量纲矩阵 $Z = (z(i, j))_{n_e \times m_e}$.

1.4 评价方案优劣的尺度

在评价比较方案优劣时,采用优先度矩阵、低劣度矩阵、距离矩阵、劣指标数矩阵作为比较尺度.

1.4.1 优先度矩阵 CM

记优先度矩阵 $CM = (cm(k, j))_{m_e \times m_e}$,式中, $cm(k, j)$ 为优先度,它表示 a_k 方案优于(或不劣于) a_j 方案的满意程度

$$cm(k, j) = \sum_{i \in pc(k, j)} w_i / \sum_{i=1}^{n_e} w_i. \quad (6)$$

式中: w_i 为指标 c_i 的权重,采用层次分析法(AHP)求得; $pc(k, j)$ 表示 a_k 方案优于或等于 a_j 方案的指标集,即

$$pc(k, j) = \{c_i | (a_k > a_j) \cup (a_k \sim a_j)\}. \quad (7)$$

式中:“>”表示方案间的优于关系;“~”表示方案间的等于关系.显然, $cm(k, j) \in [0, 1]$.

1.4.2 低劣度矩阵 DM

低劣度矩阵 $DM = (dm(k, j))_{m_e \times m_e}$,式中, $dm(k, j)$ 为低劣度,它表示 a_k 方案劣于 a_j 方案的最大程度.

$$dm(k, j) = \frac{\max_{i \in pc'(k, j)} [z(i, j) - z(i, k)] + \max_{i \in pc'(k, j)} [z(i, k) - z(i, j)]}{2}. \quad (8)$$

式中: $pc'(k, j) = \{c_i | a_j > a_k\} \cup (a_j \sim a_k)$,表示 a_k 方案劣于 a_j 方案的指标集; $dm(k, j) \in [0, 1]$.

1.4.3 距离矩阵 DL

ELECTRE法是通过方案间的两两比较,形成优先度矩阵和低劣度矩阵,并依此进行方案排序,但该方法未对所有指标进行整体优劣比较.为弥补这一缺陷,采用目的规划(或近似理想点法)的思路,引入距离矩阵 $DL = (dl(k, j))_{m_e \times m_e}$.

设 a_k^* 为理想方案,该方案的各评价指标均取评价矩阵 Z 中各指标的最大值.定义

$$ds(i, j) = z(i, j) / \max_j z(i, j), \quad (9)$$

则 $ds(i, k^*) = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n_e$).

任一方案 a_j 距离理想方案 a_k^* 的远近程度可用下式计算

$$L(j) = \left\{ \sum_{i=1}^{n_e} w_i^p [ds(i, k^*) - ds(i, j)]^p \right\}^{\frac{1}{p}} \quad (j = 1, 2, \dots, m_e). \quad (10)$$

式中: w_i 为 c_i 指标的权重; p 值一般取1或2,或由决策者的喜好决定.

$$dl(k, j) = L(j) - L(k) \quad (k, j = 1, 2, \dots, m_e). \quad (11)$$

式中: $dl(k, j)$ 表示 a_k 方案较 a_j 方案更接近理想方案的程度, $dl(k, j) \in [-1, 1]$.

1.4.4 劣指标数矩阵 NS

劣指标数矩阵 $NS = (ns(k, j))_{m_e \times m_e}$, $ns(k, j)$ 表示 a_k 方案劣于 a_j 方案的指标个数,即

$$ns(k, j) = \sum_{i \in pc'(k, j)} c_i. \quad (12)$$

显然, $0 \leq ns(k, j) \leq n_e$.

1.5 产生有向图

在计算出优先度矩阵 CM 、低劣度矩阵 DM 、距离矩阵 DL 和劣指标数矩阵 NS 之后,由决策者通过人机对话选择阈值——强阈值和弱阈值,从而可产生反映方案间优劣关系的有向图(优先图).有向图中的节点表示方案,箭头指向表示方案间的优劣关系.

1.5.1 选择强阈值与弱阈值

强阈值(cms, dms, dls, nss)和弱阈值(cmw, dmw, dlw, nsw),可通过人机对话选择.先在阈值范围内给出较高要求的阈值,若屏幕上提示没解,则可适当降低阈值,直到第一次有解,这样便选定了强阈值.然后在此基础上放宽要求定出弱阈值.

1.5.2 产生强优先图 NDS 和弱优先图 NDW

强阈值产生强优先图 NDS,它表示决策者要求较高水平的优先度、低劣度、对理想方案的接近程度和劣指标数,并在此条件下获得方案间的强优先关系.

强优先化图 NDS 为

$$a_k >^+ a_j \Leftrightarrow \{ (cm(k, j) \geq cms) \cap (dm(k, j) \leq dms) \cap (dl(k, j) \geq dls) \cap (ns(k, j) \leq nss) \}.$$

式中: $a_k >^+ a_j$ 表示 a_k 方案强优先于 a_j 方案.

弱阈值产生弱优先图 NDW,它表示决策者愿意接受的最低要求及其方案间的弱优先关系.弱优先化图 NDW 为

$$a_k >^- a_j \Leftrightarrow \{ (cm(k, j) \geq cmw) \cap (dm(k, j) \leq dmw) \cap (dl(k, j) \geq dlw) \cap (ns(k, j) \leq nsw) \}.$$

式中: $a_k >^- a_j$ 表示 a_k 方案弱优先于 a_j 方案.

用节点表示方案,用有向弧连接具有强优先关系的节点,形成强优先图 NDS;用有向弧连接具有弱优先关系的节点,形成弱优先图 NDW;

1.6 方案优劣排序

方案排序分正向排序和反向排序,并以两种排序值的均值作为最终排序结果.

1.6.1 正向排序

(1) 记 t 为当前迭代次数,令 $Y(t)$ 表示第 t 步指向图中的节点(即方案集).在强优先图 NDS 中,找出所有没有前枝的节点,即没有有向弧指向的节点.该节点将对应于非劣方案.其集合记为 $A(t)$.

(2) 在弱优先图 NDW 中,找出两端点都在 $A(t)$ 中且没有前枝的节点,该节点将对应于非劣方案,其集合记为 $B(t)$. $B(t)$ 中的节点 k 的优先序为当前迭代次数 t ,即方案 a_k 的正向排序 $O'(a_k) = t$.

(3) 将 $B(t)$ 中的节点以及从这些节点发出的枝从强图和弱图中抹去,得到 $Y(t+1) = Y(t) - B(t)$,即消除了排在第一位的方案.

(4) 用 $Y(t+1)$ 代替 $Y(t)$,按上述步骤进行下一次迭代.如此反复,直到所有节点都从强图和

弱图中抹去,则迭代终止.

1.6.2 反向排序

反向排序是作为前向排序的补充,其步骤如下:

(1) 将强图(NDS)和弱图(NDW)图中枝的箭头反向.

(2) 将反向后的强图和弱图按类似正向排序的方法进行排序,求得各方案的优先序为 $p(a_k)$.

(3) 方案 a_k 的反向排序

$$O''(a_k) = 1 + \max_k p(a_k) - p(a_k).$$

1.6.3 最终排序

以正向排序和反向排序的均值,作为最终排序,即

$$O(a_k) = \frac{O'(a_k) + O''(a_k)}{2}. \quad (13)$$

2 交互式多目标评价决策软件设计

鉴于 C 语言具有高效、简洁、灵活等特点,本文采用了 C 语言进行软件设计.根据交互式多目标评价决策问题的特点,设计时将决策者的意见尽可能体现在决策过程中,充分体现人机交互的特点.而且,软件具有通用性、适用性.该软件分五大模块:

(1) 建立评价指标体系及递阶层次结构模型,运用层次分析法(AHP)计算指标权重.

(2) 用集值统计原理确定定性指标评价价值,建立评价矩阵及无量纲矩阵.

(3) 计算优先度矩阵 CM 、低劣度矩阵 DM 、距离矩阵 DL 和劣指标数矩阵 NS .

(4) 产生有向图.人机交互选择强阈值生成强优先图 NDS;选择弱阈值,生成弱优先图 NDW.

(5) 排序计算.包括正向排序、反向排序及最终排序,输出排序结果.各模块具有相对独立性,运用灵活方便.

3 应用实例

某大型水利工程正常蓄水位有 5 个可行方案,方案集 $A = \{1, 2, 3, 4, 5\}$.综合评价指标体系、层次结构、各评价方案的评价指标值如表 1 所示.表中定性指标及难以定量的指标($C_5, C_6, C_{14}, C_{15}, C_{16}$)采用了集值统计方法确定,并以 1, 2, 3, 4, 5 个等级进行描述,其中 1 表示最低等级;5 表示程度最高;2, 3, 4 分别为中间等级;0 表示没有影响.

表 1 综合评价指标体系及各方案的评价指标值

Table 1 Comprehensive evaluation indicator system and the indicators's values of some schemes

分类	指标	指标序号	方案①	方案②	方案③	方案④	方案⑤	权重
社会	淹没固定资产原值/亿元	c_1	2.1	1.8	2.6	5.9	3.7	0.1282
	淹没耕地面积/万公顷	c_2	65	58	83	235	115	0.0473
	永久性移民人数/万人	c_3	21.4	12.1	30.3	68.5	44.4	0.0838
	临时性移民人数/万人	c_4	7.1	3.6	9.8	18.3	12.4	0.0558
	各综合部门间矛盾	c_5	4	4.3	3.1	1.7	1.0	0.1349
风险	工程建设风险	c_6	2	1	3	5	4	0.0884
经济	总投资/亿元	c_7	43.58	40.34	49.31	65.32	51.38	0.0199
	投资占水电基建投资比	c_8	0.4	0.38	0.43	0.62	0.48	0.0326
	工程净效益/亿元	c_9	4.102	1.543	3.819	5.696	6.173	0.0437
	防洪正效益/亿 m^3	c_{10}	62	49	74	186	128	0.0563
	航运正效益/km	c_{11}	310	250	360	420	380	0.0297
	收益费用比	c_{12}	1.107	1.051	1.08	1.096	1.121	0.0884
	投资回收期/年	c_{13}	5.1	6.32	4.85	4.87	4.53	0.0251
生态	对生态环境影响	c_{14}	2	1	3	5	4	0.0287
技术	泥沙淤积	c_{15}	3	2	4	1	5	0.0791
	施工期通航	c_{16}	2	1	3	5	4	0.0581

将表中数据输入程序中运行,可计算出优先度矩阵 CM ,低劣度矩阵 DM ,距离矩阵 LM ,劣指标数矩阵 NS ,通过人机交互选择强阈值(0.63, 0.5, 0, 6)和弱阈值(0.57, 0.6, 0, 8),得出强优先图和弱优先图,如图 1,2 所示。

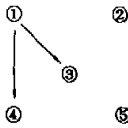


图 1 强优先图

Fig.1 Strong priority chart

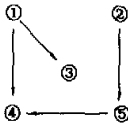


图 2 弱优先图

Fig.2 weak priority chart

进行正向排序和反向排序,输出的最终排序结果如表 2.该水利工程 5 个可行方案的排序为 ②,①,⑤,③,④,即第②个方案最佳。

表 2 方案排序结果

Table 2 Ranking result of the schemes

方案	①	②	③	④	⑤
正向排序	1	1	2	3	2
反向排序	2	1	3	3	2
总排序	1.5	1	2.5	3	2

4 结束语

本文对复杂系统的多目标决策与综合评价进行了系统研究,编制了计算机应用软件,并用于水资源系统工程规划实践^[4].该交互式多目标决策评价方法,具有如下特点:

(1) 以可持续发展为基础建立综合评价指标体系,使多目标决策与综合评价更为科学。

(2) 用层次分析法确定指标权重,用集值统计确定定性指标评价价值,减少了决策的任意性。

(3) 编制了计算机应用程序,实现了交互式多目标决策与综合评价的快速计算.该应用程序人机交互,界面友好,能同时接受客观与主观输入.在决策过程中,决策者与分析者反复对话,使决策结果更符合实际。

(4) 在 ELECTRE 法的基础上,融入了目的规划和理想点的思路,增加了距离矩阵、劣指标数矩阵,并区分强优先和弱优先,整个排序择优过程严谨有序,且便于使用^[5]。

(5) 可以进行个体和群体决策,扩充了应用范围,适用性广,凡属方案间可比的多指(目)标决策问题均可适用。

参考文献:

[1] 冯尚友.多目标决策的理论方法与应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
[2] 席酉民.大型工程决策[M].贵阳:贵州人民出版社,1988.

- [3] 贺北方,刘正才.灰色系统理论方法与应用[M].北京:气象出版社,1995.
- [4] 贺北方,张金泉,刘正才.水库灌区优化调度与管理[M].郑州:黄河水利出版社,1996.
- [5] 王海政,周丽,贺北方.水利水电工程投资方案排序与选择的模型研究[J].郑州工业大学学报,2001,22(1):56-60.

Method and Application of the Interactive Multi - objective Decision Making

HE Bei - fang¹, ZHOU Li¹, WANG Hai - zheng¹, WANG Xiao - yu², HE Xiao - ju², WU Qi²

(1. College of environmental & Hydraulic engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Huanghe Engineering Bureau of Henan, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: Based on ELECTRE Method, the ideas of aim plan and ideal point have been taken into account. The distance matrix, which can make a whole comparison of indicators is added. The indicator system has also been set up, which can embody the harmonious and sustainable development of society economics and environment. Using the Analytic Hierarchy Process to determine the weight of indicators, and the concentrative value statistics to determine the qualitative indicators' assessment value, which can decrease the random of decision and make the multi - objective decision and comprehensive assessment more precise. The program programmed with C Language can realize the rapid calculation of multi - objective assessment. During the process of decision - making, the decision - maker and analyst can communicate with each other, which embodies the features of interaction between human being and computers. All the multi - objective decision - making problems in which the schemes can be compared, are applicable and enlarge the range of multi - objective decision - making.

Key words: multi - objective; group decision; interactive; comprehensive evaluation; matrix

《SCI》扩充版收录我国(不含港、澳、台地区)科技期刊情况

《北京科技大学学报》(MMM 英文版)、《材料科学技术》(英文版)、《大气科学进展》(英文版)、《代数集刊》(英文版)、《地球物理学报》、《地质学报》(英文版)、《分析化学》、《钢铁研究学报》(英文版)、《高等学校化学学报》、《高等学校化学研究》(英文版)、《高分子科学》(英文版)、《高分子学报》、《高能物理与核物理》、《固体力学学报》(英文版)、《光谱学与光谱分析》、《红外与毫米波学报》、《化学学报》、《计算数学》(英文版)、《结构化学》、《科学通报》(英文版)、《理论物理通讯》(英文版)、《力学学报》(英文版)、《生物化学与生物物理进展》、《生物化学与生物物理学报》、《生物医学与环境科学》(英文版)、《世界胃肠病学杂志》(英文版)、《数学年刊》B 辑(英文版)、《数学物理学报》(英文版)、《数学学报》(英文版)、《无机材料学报》、《无机化学学报》、《武汉工业大学学报》——材料科学版(英文版)、《物理化学学报》、《物理学报》、《物理学报》——海外版、《稀土学报》(英文版)、《稀有金属材料与工程》、《应用数学和力学》(英文版)、《有机化学》、《植物学报》、《中国海洋工程》(英文版)、《中国化学》(英文版)、《中国化学工程学报》(英文版)、《中国化学快报》(英文版)、《中国科学》A 辑(英文版)、《中国科学》B 辑(英文版)、《中国科学》C 辑(英文版)、《中国科学》D 辑(英文版)、《中国科学》E 辑(英文版)、《中国文学》(英文版)、《中国物理快报》(英文版)、《中国药理学报》、《中国有色金属学报》(英文版)、《中华医学杂志》(英文版)、《自然科学进展》(英文版)。