

基于模糊多准则群决策的可持续项目选择模型

任嵘嵘^{1,2,3}, 阎明凤⁴, 杨帮兴²

(1. 东北大学 工商管理学院, 沈阳 110819; 2. 东北大学秦皇岛分校 管理学院, 河北 秦皇岛 066004;
3. 河北省科普信息化工程技术研究中心, 河北 秦皇岛 066004; 4. 中国电信股份有限公司太原分公司, 太原 030000)

摘要:将模糊多准则群决策方法应用于可持续项目的选择决策中。首先构建可持续项目选择框架, 包括投资的经济、社会和环境的影响以及战略联盟、组织准备和投资风险六个评价准则。由于该框架的准则权重很难通过一组决策者不一致的偏好而确定, 所以, 运用乘法偏好关系和模糊偏好关系收集决策者对准则权重的偏好, 利用目标规划方法进行建模并确定各个准则的相对权重; 然后用模糊 TOPSIS 方法评估投资机会的适合程度。TOPSIS 方法是基于偏好比率的一种决策方法, 其中偏好比率运用于模糊数排序和模糊距离测量, 可以有效地计算出每个备选方案与理想方案的模糊距离, 从而根据距离判断其亲密系数, 并最终应用于最佳方案的抉择。最后, 以某投资集团的可持续投资项目选择问题为例进行分析, 验证了方法的有效性和可行性。

关键词:项目选择; TOPSIS; 目标规划; 偏好比率; 模糊距离; 模糊数

中图分类号: C934 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2019)09-0016-08

1 研究背景

经济发展越来越重视项目建设是否具备可持续发展前景, 所以, 尽管经济分析是经典投资评估决策过程中最常用的分析标准, 但是可持续性的相关定义认为投资项目中的经济、社会和环境的影响能够达到同时平衡将是一个现代发展的标准范式。经济、社会和环境效应的共同平衡在文学项目生命周期管理^[1]中被解释为可持续性。在可持续发展的定义中, 最广泛采用的和最经常引用的定义是布伦特兰委员会做出的定义, 即发展既要满足当代人的需求, 又不会对后代人满足其需要的能力造成损害。目前很多关于可持续性和可持续发展的定义, 但是大多数人认为, 可持续性概念旨在满足社会、环境和经济目标, 这些目标也被称为可持续发展的三个支柱。所以选择可持续性发展标准作为案例分析背景, 进一步分析和研究多准则群体决策方法, 并将其应用于可持续性发展的项目选择中是非常有价值的研究课题。

在多准则群体决策的研究中, 可能存在缺少项目资料、专家经验缺乏、多方信息不完整、主客观随机因素增加以及模糊性扩大等情况, 为了能够提高决策水平及效率, 就要尽可能避免由于个人因素所导致的错误决策。所以, 需要依赖于不同层次、不同

阅历的决策者、专家和学者, 共同组成一个多人决策群体, 做出决策方案^[2]。近年来相关研究主要集中在权重确定方法^[3]、一致性集结方法^[4]和排序方法^[5]的研究。由于人思维的模糊和不确定性, 专家群体给出的项目偏好信息也呈现模糊和不确定的特点, 所以模糊多准则群决策方法应用于项目选择问题有很广泛的应用前景^[6-9]。

项目选择过程通常花费很多精力于财务标准上^[10], 其中平衡计分卡可以从财务、客户、内部流程、学习与成长等方面来评估一个项目^[11]。项目的结果对社会、经济和环境有着长期和短期的影响。因此, 在项目选择问题中, 可持续发展的新标准得到了更多的关注, 其他对项目选择有深刻影响的标准主要包括战略联盟、投资风险、组织准备, 项目的微观和宏观经济影响也得到了部分关注^[12]。

虽然实际项目选择过程应包括所有上述提到的准则, 但是在以往关于项目选择的研究文献中, 却很少能用一个全面框架包含上述所提到的应当考虑的标准。此外, 在群体决策环境中, 不同的决策者可能对综合框架的准则有着不同的偏好, 这使得真实案例中的决策过程更加复杂。尽管在项目选择和资本投资的研究中已经提出了不同的方法, 但以下主要问题却很少能够被同时考虑。

收稿日期: 2019-06-21

作者简介:任嵘嵘(1975—), 女, 河北秦皇岛人, 东北大学秦皇岛分校科学教育研究中心主任, 副教授, 管理学博士, 硕士生导师, 研究方向: 决策分析与战略管理; (通讯作者)杨帮兴(1994—), 男, 安徽阜阳人, 东北大学秦皇岛分校硕士研究生, 研究方向: 企业战略管理。

首先,在以往的关于项目选择的研究中,较少考虑到风险、可持续性、组织和战略的全面框架。其次,项目选择的群体决策取向和资本投资问题并没有得到太大的关注。在群体决策过程应该考虑一些问题,主要的问题之一就是处理决策者对实际案例中所涉及的准则权重的不同意见和偏好,这会使准则权重的确定在存在不同想法的情况下更加困难。最后,准则的不确定性应该通过模糊集进行参数化解释,虽然这可以对现实生活问题的不确定性的建模过程产生帮助,但关联的方法应在模糊环境中加以适当运用。

鉴于此,本文应用一个基于目标规划和模糊 TOPSIS 的项目选择的方法。该方法构建出包含六个准则的全面评估框架,运用乘法偏好关系和模糊偏好关系收集专家组对准则的偏好,利用目标规划的方法求出多准则群体决策中各个准则的权重,然后,在偏好比率和有效模糊距离测量的基础上对模糊 TOPSIS 方法进行改进并加以运用。这种方法的特性更适合同现实案例中具有不确定性的项目选择问题。

2 构建可持续性项目选择的模型框架

2.1 框架综合标准

已有研究在进行项目选择时已经提出了不同的

标准,但却没有提出一个明确的框架,这个框架可以同时考虑到所有有效的财务和非财务标准、可持续发展的模式、投资风险、组织准备和战略主题。综合现有的文献综述,对投资机会的选择提出了一个包括财务和非财务因素的综合评价框架,主要有经济效益、社会效应、环境效应以及投资风险、战略联盟和组织准备。表 1 显示了提出的框架中所考虑的准则的含义。

表 1 可持续性项目选择中的标准

标准	解释描述
C1:经济效益(EF)	项目选择所产生的积极经济影响
C2:社会效应(SE)	项目实施直接产生的积极社会影响
C3:环境效应(EnE)	项目实施直接产生的正面环境影响
C4:投资风险(R)	项目实施的风险
C5:战略联盟(SA)	项目的组织战略联盟
C6:组织准备(OR)	项目实施的组织经验

2.2 语言术语和隶属度函数

因为上述标准是定性的,而且有大量的不确定性,所以需要通过模糊集参数化语言术语的方式应用到模拟这些不确定性中。表 2 总结了语言术语通过使用相关联的模糊数实现参数化,其中:(a)部分用来对备选方案在每个准则下进行评估;(b)部分是用来对准则进行成对比较。

表 2 语言术语和相关模糊数

(a)备选方案评定等级		(b)标准权重的比较		
语言术语	模糊集	语言术语	模糊集	精确数值
非常低(VL)	(0.1,0.2,0.3,0.4)	I1:具有同样重要性	(0.1,2)/(0.1,0.2)	1/0.1
		I2:相比稍重要	(1,2,3)/(0.1,0.2,0.3)	2/0.2
低(L)	(0.2,0.3,0.4,0.5)	I3:相比较重要	(2,3,4)/(0.2,0.3,0.4)	3/0.3
		I4:相比更重要	(3,4,5)/(0.3,0.4,0.5)	4/0.4
中等(M)	(0.4,0.5,0.6,0.7)	I5:相比明显重要	(4,5,6)/(0.4,0.5,0.6)	5/0.5
		I6:相比非常重要	(5,6,7)/(0.5,0.6,0.7)	6/0.6
高(H)	(0.6,0.7,0.8,0.9)	I7:相比相当重要	(6,7,8)/(0.6,0.7,0.8)	7/0.7
		I8:相比强烈重要	(7,8,9)/(0.7,0.8,0.9)	8/0.8
非常高(VH)	(0.7,0.8,0.9,1)	I9:相比及其重要	(8,9,10)/(0.8,0.9,1)	9/0.9

3 群体决策流程

多准则群体决策方法有两个主要阶段。在第一阶段中,根据决策者自身的偏好,通过目标规划建模程序求出评价准则的权重。以乘法偏好关系和模糊偏好关系两种形式对决策者关于准则的偏好成对进行比较。用目标规划的方式进行建模,以实现决策者偏好达到一致性最大化为目标,求出每个准则的权重^[13]。

对多准则决策进行计算。假设有 n 个备选方

案, m 个属性。搜集了 k 个不同的决策者按照表 1 给出的评价准则以及表 2 的(a)部分的语言术语对每个备选方案进行评估。 $\tilde{x}_{ij}^k$ 代表模糊集,表示第 k 个专家对第 i 个备选方案相对于第 j 个标准的评价,可以用式(1)进行表示。

$$\tilde{D}^k = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^k & \tilde{x}_{12}^k & \cdots & \tilde{x}_{1j}^k \\ \tilde{x}_{21}^k & \tilde{x}_{22}^k & \cdots & \tilde{x}_{2j}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1}^k & \tilde{x}_{i2}^k & \cdots & \tilde{x}_{ij}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

矩阵 $\tilde{D}^k$ 是第 k 个专家的模糊决策矩阵。式(1)

的 i 行和 j 列分别表示备选方案和评价准则,对专家的偏好进行合算统计,合算方式如式(2)所示。

$$\tilde{D} = \begin{pmatrix} \tilde{n}_{11} & \tilde{n}_{12} & \cdots & \tilde{n}_{1j} \\ \tilde{n}_{21} & \tilde{n}_{22} & \cdots & \tilde{n}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{n}_{i1} & \tilde{n}_{i2} & \cdots & \tilde{n}_{ij} \end{pmatrix},$$

$$\tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{n}_{ij}^1 + \tilde{n}_{ij}^2 + \cdots + \tilde{n}_{ij}^k}{k}. \quad (2)$$

通过这些假设,对多准则群体决策方法用以下步骤进行详细分析。

3.1 第一阶段:目标规划模型实现准则权重

在群体决策者的乘法偏好关系和模糊偏好关系的基础上,将目标规划模型用于计算各项准则的权重。值得注意的是,要求决策者以乘法偏好关系和模糊偏好关系两种方式对可持续投资项目的准则进行成对比较,通过比较,不一致的部分要求决策者进行修改。第 j 个专家的乘法偏好关系和模糊偏好关系的结果分别用式(3)和式(4)进行表示。

$$A_j = \begin{pmatrix} (a_{11})_j & (a_{12})_j & \cdots & (a_{1m})_j \\ (a_{21})_j & (a_{22})_j & \cdots & (a_{2m})_j \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{m1})_j & (a_{m2})_j & \cdots & (a_{mm})_j \end{pmatrix}. \quad (3)$$

其中: $(a_{ii})_j = 1, (a_{ki})_j = 1/(a_{ik})_j, (a_{ik})_j \neq 0, i, k = 1, \dots, m, i \neq k, j = 1, \dots, n_1$ 。

$$P_j = \begin{pmatrix} (p_{11})_j & (p_{12})_j & \cdots & (p_{1m})_j \\ (p_{21})_j & (p_{22})_j & \cdots & (p_{2m})_j \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (p_{m1})_j & (p_{m2})_j & \cdots & (p_{mm})_j \end{pmatrix}. \quad (4)$$

其中: $(p_{ii})_j = 0.5, (p_{ik})_j = [0, 1], (p_{ki})_j = 1 - (p_{ik})_j, i, k = 1, \dots, m, j = n_1 + 1, \dots, n$ 。

3.1.1 收集决策者对评估准则的偏好

假设可持续性项目选择的准则为 $c_i, i = 1, 2, \dots, m$, 各个准则的相对权重为 $w_i, \sum_{i=1}^m w_i = 1, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m$ 。关键在于如何在决策者提供的两种偏好关系的基础上确定每个准则的权重,实现决策者对准则权重的偏好达到最终一致性的目标。另一方面,准则的合成权重对于决策者的乘法偏好关系和模糊偏好关系必须有高度的一致性。分别用式(5)和式(6)来表示乘法偏好关系和模糊偏好关系的最优矩阵:

$$a_{ij}^{*l} = \frac{w_i}{w_j}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, m\}, l = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$p_{ij}^{*l} = \frac{w_i}{w_i + w_j}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, m\}, l = n_1 + 1, \dots, n. \quad (6)$$

决策者的偏好所确定每个准则的权重,用式(7)和式(8)计算:

$$a_{ij}^l \approx \frac{w_i}{w_j}, \forall i, j \in \{1, \dots, m\}, l = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$p_{ij}^l \approx \frac{w_i}{w_i + w_j}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, m\}, l = n_1 + 1, \dots, n. \quad (8)$$

3.1.2 建立目标规划模型

由上文可知, a_{ij}^l 和 w_i/w_j 之间存在偏差值,同样 p_{ij}^l 和 $w_i/(w_i + w_j)$ 之间也存在着偏差值,分别表示为式(9)和式(10)。 $q_{ij}^l(w)$ 和 $r_{ij}^l(w)$ 是关于 w_i 的函数:

$$q_{ij}^l(w) = w_i - a_{ij}^l \times w_j, i, j = 1, 2, \dots, m; l = 1, \dots, n; \quad (9)$$

$$r_{ij}^l(w) = w_i - p_{ij}^l(w_i + w_j), i, j = 1, \dots, m; l = n_1 + 1, \dots, n. \quad (10)$$

考虑到每个决策者的重要程度有所不同,给予上述偏差值 $q_{ij}^l(w)$ 和 $r_{ij}^l(w)$ 一个新的共同偏差值进行计算,并用 λ_l 来表示每个决策者不同的重要程度,如式(11)表示。

$$\varphi_{ij}(w) = \sum_{l=1}^{n_1} \lambda_l \times |w_i - a_{ij}^l w_j| + \sum_{l=n_1+1}^n \lambda_l \times |w_i - p_{ij}^l(w_i + w_j)|, i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j. \quad (11)$$

群体一致性的总偏差值由式(12)进行表示。

$$D(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \varphi_{ij}(w) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[\sum_{l=1}^{n_1} \lambda_l \times |w_i - a_{ij}^l w_j| + \sum_{l=n_1+1}^n \lambda_l \times |w_i - p_{ij}^l(w_i + w_j)| \right], i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j. \quad (12)$$

总偏差值 $D(w)$ 的值越小,群体一致性越高。为了使群体一致性更高, $\varphi_{ij}(w)$ 可以通过最小化评估每个准则的权重,下面的多准则约束优化模型的结果则可以满足上述要求:

$$\min \varphi_{ij}(w) = \sum_{l=1}^{n_1} \lambda_l \times |w_i - a_{ij}^l w_j| + \sum_{l=n_1+1}^n \lambda_l \times |w_i - p_{ij}^l(w_i + w_j)|, i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j; \quad (13)$$

$$s. t. \sum_{i=1}^m w_i = 1; \quad (14)$$

$$w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

模型(13)~模型(15)可以很容易地转换成线性目标规划模型(16)~模型(20), d_{ij}^+ 和 d_{ij}^- 分别代表正偏差值和负偏差值, α_{ij} 和 β_{ij} 代表着目标函数(16)中正偏差值和负偏差值的权重值。决策者可能会考虑到目标函数(16)中各片段之间的偏重关系。为了

简单起见,令 $\alpha_{ij} + \beta_{ij} = 1, i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j$ 。

$$\min \theta = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1, j \neq i}^m (\alpha_{ij} d_{ij}^+ + \beta_{ij} d_{ij}^-); \quad (16)$$

$$\text{s. t. } \sum_{l=1}^{n_1} \lambda_l \times (\omega_i - a_{ij}^l \omega_j) + \sum_{l=n_1+1}^n \lambda_l \times (\omega_i - p_{ij}^l (\omega_i + \omega_j)) - (d_{ij}^+ + d_{ij}^-) = 0, i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j; \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^m \omega_i = 1; \quad (18)$$

$$\omega_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; \quad (19)$$

$$d_{ij}^+ \geq 0, d_{ij}^- \geq 0, d_{ij}^+ \times d_{ij}^- = 0, i, j = 1, 2, \dots, m; i \neq j. \quad (20)$$

模型(16)~模型(20)可以很容易地通过现有的目标规划方法解决,通过乘法偏好关系和模糊偏好关系达到一个统一高度值的方式,可以生成一个权重向量 $W = (\omega_1, \dots, \omega_m)$,从而求得每个准则的权重值。

3.2 第二阶段:基于模糊 TOPSIS 算法的排序

模糊 TOPSIS 方法之间的主要差异主要体现在选择决策矩阵的规范化方法、确定模糊正理想方案和模糊负理想方案模糊数之间的距离计算。接下来对模糊 TOPSIS 方法的细节信息进行简单介绍^[13]。

3.2.1 偏好比率

偏好比率是一种排序方法, Mohammael 和 Soheil^[14]对模糊数进行逐点评估,并在每一点上用偏好比率对其进行排序。然后,对所有点的总体偏好进行计算。假设目标是对模糊数集 I 进行排序, N_i 是第 i 个模糊数,定义域是 $S_i, S_i \subset R$ 。 N_i 是由一个隶属函数 $(\mu_{N_i}(x), x \in S_i)$ 决定的,其中 $\mu_{N_i}(x) \in [0, 1], S_i = \{x, \mu_{N_i}(x) > 0\}$, 并且 $\Omega = \bigcup_{i=1}^n S_i, \Omega$ 是所有模糊数的定义域。换句话说,模糊数在 Ω 进行排序,为了对模糊数进行排序,假设它们的跨度是分离的,因为在这种情况下,排名是明确的。

模糊数通过偏好函数进行评估,在每个点 $\alpha (\alpha \in \Omega)$ 上,偏好函数定义如下:

$$G(\alpha) = \frac{\int_{\alpha}^U \mu(x) dx}{\int_L^U \mu(x) dx}. \quad (21)$$

偏好函数可以按照图 1 进行几何表示,如式(22)所示:

$$G(\alpha) = \frac{\alpha \text{ 和 } U \text{ 之间的面积}}{L \text{ 和 } U \text{ 之间的面积}}. \quad (22)$$

其中: $\mu(x)$ 是模糊数的隶属度函数; $L = \min\{x: x \in \Omega\}; U = \max\{x: x \in \Omega\}$ 。此函数有着和

$1-F(\alpha)$ 一样的定义,在概率论中, $F(\alpha) = P[X \leq \alpha]$ 是一个分布函数,在 $\alpha \in \Omega$ 中,让 $p(\alpha) = i$ 替换第 i 个最优的模糊数。因此 $p(\alpha) = i$, 如果 $G_i(\alpha) = \max\{G_i(\alpha), i \in I\}$, $G_i(\alpha)$ 是第 i 个模糊数的偏好函数。让 Ω_i 成为集合点,在这个点集中,第 i 个数是排名第一的,那么 $\Omega_i = \{\alpha \in \Omega, p(\alpha) = i\}$ 。

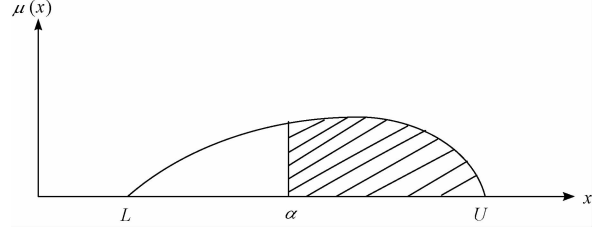


图 1 偏好函数的集合图形表示

定义 1: 对于第 i 个模糊数,偏好比率 $R(i)$ 是第 i 个模糊数在 Ω 中是最优选模糊数的百分比,如式(23)所示:

$$R(i) = \frac{|\Omega_i|}{|\Omega|}. \quad (23)$$

其中: $|\Omega_i|$ 和 $|\Omega|$ 分别是 Ω_i 和 Ω 的长度。

定义 2: (a) 定义,如果 $R(A) = R(B) = 0.5$, 那么两个模糊数 A 和 B 是偏好比率等价的。其中 $R(A)$ 和 $R(B)$ 分别是 A 和 B 的偏好比率。偏好比率等价如式(24)所示:

$$A \stackrel{PR}{=} B. \quad (24)$$

(b) 定义,如果 $k \times A \stackrel{PR}{=} B$, 那么说 k 是 A 关于 B 的等价乘数。

3.2.2 模糊距离测量

设定两个 GFNs 分别为 $\tilde{A}_1 = (\alpha_1, \alpha_2; \beta_1, \gamma_1)$ 和 $\tilde{A}_2 = (\alpha_3, \alpha_4; \beta_2, \gamma_2)$ 。因此,对于所有 $\alpha \in [0, 1]$, $\tilde{A}_1$ 和 $\tilde{A}_2$ 的 α -截集代表两个区间,分别是 $[\tilde{A}_1]_\alpha = [A_1^L(\alpha), A_1^R(\alpha)]$ 和 $[\tilde{A}_2]_\alpha = [A_2^L(\alpha), A_2^R(\alpha)]$ 。因为有可能通过它们的区别获得两个区间数之间的距离,所以采用区间距离运算,计算出区间 $[A_1^L(\alpha), A_1^R(\alpha)]$ 和 $[A_2^L(\alpha), A_2^R(\alpha)]$ 之间的距离,得到 $\tilde{A}_1$ 和 $\tilde{A}_2$ 之间的模糊距离。所以对于每一个 $\alpha \in [0, 1]$, $[\tilde{A}_1]_\alpha$ 和 $[\tilde{A}_2]_\alpha$ 之间的距离可以用下式来表示:

$$d(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2)_\alpha = \begin{cases} [\tilde{A}_1]_\alpha - [\tilde{A}_2]_\alpha, & \frac{A_1^L(1) + A_1^R(1)}{2} \geq \frac{A_2^L(1) + A_2^R(1)}{2} \\ [\tilde{A}_2]_\alpha - [\tilde{A}_1]_\alpha, & \frac{A_1^L(1) + A_1^R(1)}{2} < \frac{A_2^L(1) + A_2^R(1)}{2} \end{cases}. \quad (25)$$

考虑到两个符号,使 0 或 1 来表示变量值 λ , 则有:

$$[d_a^L, d_a^R] = \lambda[\tilde{A}_1]_a - [\tilde{A}_2]_a + (1-\lambda)[\tilde{A}_2]_a - [\tilde{A}_1]_a; \quad (26)$$

$$\lambda = \begin{cases} 1, \frac{A_1^L(1) + A_1^R(1)}{2} \geq \frac{A_2^L(1) + A_2^R(1)}{2} \\ 0, \frac{A_1^L(1) + A_1^R(1)}{2} < \frac{A_2^L(1) + A_2^R(1)}{2} \end{cases}; \quad (27)$$

$$d_a^L = \lambda[A_1^L(\alpha) - A_2^L(\alpha) + A_1^R(\alpha) - A_2^R(\alpha)] + [A_2^L(\alpha) - A_1^R(\alpha)]; \quad (28)$$

$$d_a^R = \lambda[A_1^L(\alpha) - A_2^L(\alpha) + A_1^R(\alpha) - A_2^R(\alpha)] + [A_2^R(\alpha) - A_1^L(\alpha)]. \quad (29)$$

因此,模糊数 $\tilde{A}_1$ 和 $\tilde{A}_2$ 之间的距离可以表示为:

$$\tilde{d}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = (d_{a=1}^L, d_{a=1}^R; \theta, \sigma). \quad (30)$$

模糊数有两个方法可以用于距离计算:

$$\tilde{d}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = (d_{a=1}^L, d_{a=1}^R; \theta, \sigma) = (b_2 - c_1, c_2 - b_1; \theta, \sigma); \quad (31)$$

$$\tilde{d}(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = (d_{a=1}^L, d_{a=1}^R; \theta, \sigma) = (b_1 - c_2, c_1 - b_2; \theta, \sigma). \quad (32)$$

θ 和 σ 分别表示为:

$$\theta = d_{a=1}^L - \max\left\{\int_0^1 d_a^L d\alpha, 0\right\}; \quad (33)$$

$$\sigma = \int_0^1 d_a^R d\alpha - d_{a=1}^R. \quad (34)$$

3.2.3 模糊 TOPSIS 运算方法

利用偏好比率和模糊距离测量开发了模糊 TOPSIS 方法。该算法的核心是基于模糊距离的测量和偏好比率。距离通过一个高效的模糊距离测量方法进行度量。因此,模糊数之间的距离也是模糊数,而不是一个精确值。这一点帮助本文所提出的算法能够更有效地模拟现实生活中的问题。此外,偏好比率将有效地应用于最后一步中各备选方案的模糊亲密系数的排列。偏好比率已经应用于以相对方式排列模糊数。通过过渡程序对偏好比率进行修改,使其更适应于操作混乱的模糊数,这个特性使得方法更加独特和强大。决策者的模糊决策矩阵, $\tilde{x}_{ij}^k$ 表示第 k 个专家对第 i 个备选方案相对于第 j 个标准的评价,各准则的权重已经通过调查问卷咨询决策者以模糊数的形式获得。

$$\tilde{D}^k = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11}^k & \tilde{x}_{12}^k & \cdots & \tilde{x}_{1j}^k \\ \tilde{x}_{21}^k & \tilde{x}_{22}^k & \cdots & \tilde{x}_{2j}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{i1}^k & \tilde{x}_{i2}^k & \cdots & \tilde{x}_{ij}^k \end{bmatrix}, \quad \tilde{W}^k = [\tilde{w}_1^k \tilde{w}_2^k \cdots \tilde{w}_j^k]. \quad (35)$$

对专家的偏好进行合算统计,合算方式如式(2)所示。

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{n}_{11} & \tilde{n}_{12} & \cdots & \tilde{n}_{1j} \\ \tilde{n}_{21} & \tilde{n}_{22} & \cdots & \tilde{n}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{n}_{i1} & \tilde{n}_{i2} & \cdots & \tilde{n}_{ij} \end{bmatrix}, \quad \tilde{n}_{ij} = \frac{\tilde{n}_{ij}^1 + \tilde{n}_{ij}^2 + \cdots + \tilde{n}_{ij}^k}{k}, \quad (36)$$

$$\tilde{W} = [\tilde{w}_1 \tilde{w}_2 \cdots \tilde{w}_j], \tilde{w}_j = \frac{\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \cdots + \tilde{w}_j^k}{k}. \quad (37)$$

步骤 1:为了使决策矩阵更好的表示,第一步采用柱状正常化。将归一化决策矩阵 $\tilde{N}$ 表示为。

$$\tilde{N} = \begin{bmatrix} \tilde{r}_{11} & \tilde{r}_{12} & \cdots & \tilde{r}_{1j} \\ \tilde{r}_{21} & \tilde{r}_{22} & \cdots & \tilde{r}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{r}_{i1} & \tilde{r}_{i2} & \cdots & \tilde{r}_{ij} \end{bmatrix}, \quad \tilde{r}_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{a_{ij}}{d_j^+}, \frac{b_{ij}}{d_j^+}, \frac{c_{ij}}{d_j^+}, \frac{d_{ij}}{d_j^+}\right), j \text{ 是收益属性} \\ \left(\frac{a_{ij}^-}{d_j^-}, \frac{a_{ij}^-}{c_{ij}}, \frac{a_{ij}^-}{b_{ij}}, \frac{a_{ij}^-}{d_{ij}^-}\right), \\ \quad j \text{ 是成本属性且 } d_j^+ \text{ 不为 } 0 \\ \left(1 - \frac{a_{ij}}{d_j^+}, 1 - \frac{b_{ij}}{d_j^+}, 1 - \frac{c_{ij}}{d_j^+}, 1 - \frac{d_{ij}}{d_j^+}\right), \\ \quad j \text{ 是成本属性且 } d_j^+ \text{ 为 } 0 \end{cases} \quad (38)$$

并且:

$$d_j^+ = \max(d_{ij}), a_{ij}^- = \min(a_{ij}), i = 1, 2, \cdots, m. \quad (39)$$

步骤 2:根据准则不同的权重,构造加权归一化决策矩阵为

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} & \cdots & \tilde{v}_{1j} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} & \cdots & \tilde{v}_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{v}_{i1} & \tilde{v}_{i2} & \cdots & \tilde{v}_{ij} \end{bmatrix}, \tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} (\times) w_j, i = 1, 2, \cdots, n, j = 1, 2, \cdots, m. \quad (40)$$

其中: $\tilde{v}_{ij}$ 是归一化的 TrFN 并在闭区间 $[0, 1]$ 内变化。

步骤 3:确定一个模糊正理想解决方案和一个模糊负理想解决方案,并分别命名为 S^+ 和 S^- :

$$S^+ = (\tilde{v}_{11}^+ \tilde{v}_{12}^+ \cdots \tilde{v}_{ij}^+). \quad (41)$$

$\tilde{v}_{ij}^+ = \max v_{ij} = (\max a_{ij}, \max b_{ij}, \max c_{ij}, \max d_{ij}), i = 1, 2, \cdots, m$, 如果 j 是收益属性;

$\tilde{v}_{ij}^+ = \min v_{ij} = (\min a_{ij}, \min b_{ij}, \min c_{ij}, \min d_{ij}), i = 1, 2, \cdots, m$, 如果 j 是成本属性。

$$S^- = (\tilde{v}_{11}^- \tilde{v}_{12}^- \cdots \tilde{v}_{ij}^-). \quad (42)$$

$\tilde{v}_{ij}^- = \min v_{ij} = (\min a_{ij}, \min b_{ij}, \min c_{ij}, \min d_{ij}), i = 1, 2, \cdots, m$, 如果 j 是收益属性;

$v_{ij}^- = \max v_{ij} = (\max a_{ij}, \max b_{ij}, \max c_{ij}, \max d_{ij}), i=1,2,\dots,m$, 如果 j 是成本属性。

步骤 4: 计算每一个备选方案与 S^+ 和 S^- 的模糊距离, 分别称这些距离为正理想模糊距离 (PFD) 和负理想模糊距离 (NFD)。

$$P\tilde{F}D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \tilde{d}(A_i, S^+)}, i=1,2,\dots,m; \quad (43)$$

$$N\tilde{F}D_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \tilde{d}(A_i, S^-)}, i=1,2,\dots,m. \quad (44)$$

步骤 5: 确定模糊亲密系数。

$$F\tilde{C}C_i = \frac{\tilde{d}(A_i, S^-)}{\tilde{d}(A_i, S^-) + \tilde{d}(A_i, S^+)} = \frac{N\tilde{F}D_i}{N\tilde{F}D_i + P\tilde{F}D_i}, i=1,2,\dots,m. \quad (45)$$

很显然, 无论 $F\tilde{C}C_i (i=1,2,\dots,m)$ 接近单位, 相关备选方案的效用是决策者制定决策考虑更多的一面, 但很显然 $F\tilde{C}C_i (i=1,2,\dots,m)$ 是模糊数, 它们被使用的偏好比率在一个区间内进行相对比较。

步骤 6: 求出关联到每个 $F\tilde{C}C_i (i=1,2,\dots,n)$ 的 $CC_i (i=1,2,\dots,n)$ 的精确值。

步骤 7: 对 $CC_i (i=1,2,\dots,n)$ 在非增长模式中进行排序, 选择最大 CC_i 的备选方案。

4 案例分析

4.1 某投资集团投资案例概述

某投资集团有限公司是山西省国资委监管企业山西省投资集团的控股公司之一。公司总部下设综合办公室、财务部、党群工作部、工程部、经营部, 下辖两个控股子公司和四个全资子公司。投资领域涉及: 粉煤灰加气混凝土砌块砖生产、建材销售、煤炭营销、工业和采矿设备销售、地板采暖设计和施工、房地产开发以及融资质押监管等领域。公司自成立以来, 坚持以科学发展观为统领, 持续加强员工队伍建设, 深化企业内部改革, 企业实力不断加强, 规模不断扩大, 建立起科学管理的现代企业制度, 形成了集团化、多元化、规模化的发展格局。公司坚持以和谐、进取、诚信、卓越为理念, 不断发展贸易, 充分发挥自身优势, 运筹帷幄, 科学规划, 积极拓展市场, 在山西省投资市场占据了重要领头位置。在国内市场享有较好的声誉, 树立了良好企业形象。随着公司的不断发展壮大, 业务量持续增加, 在资金有限的情况下, 公司需要对已经收到的商业计划项目进行评估选择, 选择最优项目进行投资, 从而获得最大的投资收益。值得注意的是, 在可持续性发展观念的环境下, 除了考虑项目本身的利益最大化的同时, 也要

考虑项目是否具有可持续发展的潜力和前景, 能够达到经济效益、环境影响和社会效应的发展平衡。当前公司拟对太原市基础水利建设进行投资, 有五个项目可供选择: 其中包括 A 公司的 WOT 项目 (A1)、B 公司供水收购项目 (A2)、C 公司水利工程改造项目 (A3)、D 公司污水处理项目 (A4)、E 公司水质监测项目 (A5)。

评价专家组成员一共 6 人, 均为山西省某投资集团有限公司太原分公司基础设施投资经营部和工程部的专家, 具有丰富的项目经验; 另外, 结合可持续发展标准和项目实施可行性等现实情况, 专家经讨论认为必要的评价准则为 C1 经济效益、C2 社会效应、C3 环境效应、C4 投资风险、C5 战略联盟、C6 组织准备。评价过程中, 六位专家给出五个备选投资项目的准则信息的基本语言短语采用 {VL=非常低, L=低, M=中等, H=高, VH=非常高} 的语言集合。

4.2 评估框架中各准则权重的确定

选择六位专家并且要求每个专家根据自己的偏好来评估准则的权重。专家集合为 $D = \{DM_1, DM_2, DM_3, DM_4, DM_5, DM_6\}$, 同时 6 位专家的权重是相等的。专家们自由地选择乘法偏好关系或模糊偏好关系, 让一组的 6 个专家在不同的准则下对 5 个备选方案进行评估, 专家们使用表 2 中 (a) 部分的语言术语, 通过式 (2) 进行计算所得出的上述专家对备选方案关于可持续性准则的评价的整合, 其中 k 取值为 6。假设每位专家观点的权重是相同的, 各自为 $\frac{1}{6}$ 。使用 Lingo 建立模型 (16)~模型 (20)。表 3 给出了准则的权重向量、群体共识偏差值和目标函数值。

4.3 运用模糊 TOPSIS 算法对备选方案进行排序

利用已经计算得出的准则权重, 运用模糊 TOPSIS 算法进行计算。首先通过式 (38) 将决策矩阵进行柱状正常化, 形成规范化决策矩阵。根据各个准则不同的权重, 可以在规范化决策矩阵的基础上对其进行加权, 得到规范化加权决策矩阵。在此基础上, 求出 5 个备选方案的模糊正理想方案和模糊负理想方案。由此, 得到每个方案的模糊正距离和模糊负距离, 在表 4 中进行表示。

通过式 (45), 计算得到各个方案的模糊亲密系数。在表 5 中进行表示。

求出每个方案的模糊亲密系数相关联的 K , 并对其进行排序, 在表 6 中表示。

4.4 排序结果分析

根据分析, 这五个项目的发展前景都非常乐观。

但是,一个公司的资金资源和人力资源都是有限的。在这种情况下,必须选择一个最佳投资项目。通过模糊 TOPSIS 算法,对现有的五项可持续性备选项目方案做出优先排序,按照其六个可持续发展指标下的综合评估,其排序顺序为 A 公司的 WOT 项目——D 公

司污水处理项目——B 公司供水收购项目——C 公司水利工程改造项目——E 公司水质监测项目。在当前某投资集团有限公司资金有限的情况下,按此排序,优先投资排序靠前的项目——A 公司的 WOT 项目。

表 3 目标规划建模结果

变量	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
准则	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6
权重	0.0206795	0.0672084	0.2227102	0.1067428	0.4665054	0.1161537
d_{ij}^+						
c_1	0	0	0	0	0	0.003115
c_2	0	0	0	0.004476	0	0
c_3	0.191902	0	0	0	0	0
c_4	0	0	0.041782	0	0	0.045247
c_5	0.423882	0	0	0	0	0
c_6	0	0	0	0	0	0
d_{ij}^-						
D_N						
c_1	0	0.003676	0.592277	0.002263	1.659581	0
c_2	0	0	0.055297	0	0.002157	0
c_3	0	0	0	0.182737	0.050318	0.225777
c_4	0.014481	0.10727	0	0	0.153873	0
c_5	0	0	0.091127	0	0	0.066023
c_6	0.018966	0.082951	0.046301	0.076033	0.155006	0
目标函数值=4.296518						

表 4 备选方案的模糊正距离和模糊负距离

正距离		负距离	
A1	(0.005,0.004,0.053,0.077)	A1	(0.006,0.547,0.844,0.992)
A2	(0.001,0.134,0.287,0.385)	A2	(0.008,0.395,0.632,0.751)
A3	(0,0.332,0.569,0.725)	A3	(0.156,0.18,0.366,0.459)
A4	(0.021,0.077,0.281,0.383)	A4	(0.042,0.396,0.693,0.841)
A5	(0.001,0.387,0.684,0.885)	A5	(0.047,0.103,0.273,0.358)

表 5 模糊亲密系数

A1	(0.0001,0.61,1.153,4724.738)
A2	(0.0001,0.43,1.196,3576.408)
A3	(0.0001,0.193,0.715,2187.886)
A4	(0.0001,0.407,1.463,4006.982)
A5	(0.0001,0.107,0.557,1706.616)

表 6 使用偏好比率对备选方案的最终排列

备选方案	1/K	K	排序
A1	1.000	1.000	1
A2	0.757	1.321	3
A3	0.463	2.160	4
A4	0.848	1.179	2
A5	0.361	2.770	5

5 结论

应用基于目标规划和改进的模糊 TOPSIS 算法的多准则决策方法于可持续项目的选择问题。该方法相比于过去研究的决策方法的优势在于其将目标规划方法与模糊 TOPSIS 方法进行结合,划分为两个主要阶段。在第一阶段中,六个决策者对多准则决策方法中的准则权重的计算有着直接的影响。通过语言术语以乘法偏好关系和模糊偏好关系两种方式收集决策者对准则权重的偏好,这些语言术语使用 TFNs 模糊集进行参数化。基于决策者对准则权重的不同偏好,使用目标规划模型计算标准权重。在这个阶段,目标规划模型利用决策者共识偏差值最小化的原理进行计算,从而求出各个准则的相对重要性。在第二阶段,在模糊距离测量和偏好比率的基础上,应用模糊 TOPSIS 算法。决策者需要使用参数化的语言术语对多准则决策问题中的备选方案在每个准则下做出评估,构成模糊决策矩阵。然后,决策者通过一种有效的模糊距离测量方法对模糊数之间的距离进行计算,得出最后的方案排序。以 XXX 投资集团的投资项目选择问题为例进行分析表明:得出的评估结果有着较高的认可度,证明了模糊多准则群体决策方法在实例建模中的实用性,

未来可考虑专家个体的行为特点对该模型进行进一步的研究。

参考文献

- [1] CARIN L, ALAN C B. Sustainable project life cycle management: the need to integrate life cycles in the manufacturing sector[J]. International Journal of Project Management, 2004, 23(2): 159-168.
- [2] 章恒全, 涂俊玮. 基于后悔理论的模糊多准则群决策方法[J]. 统计与决策, 2018, 34(7): 46-50.
- [3] 田帅辉, 刘宇. 中国电子商务与快递业复合系统协同度评价——基于熵权法[J]. 技术经济, 2018, 37(2): 85-90.
- [4] 张丽媛, 李涛. 三角模糊偏好下冲突型多属性群决策方法研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(2): 45-51.
- [5] DI M, CHENG S, LI Z. Ethylene cracking furnace TOPSIS energy efficiency evaluation method based on dynamic energy efficiency baselines[J]. Energy, 2018(5): 18-32.
- [6] 尹胜, 杨桢, 陈思翼. 基于改进模糊熵的区间直觉模糊多属性决策[J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(5): 1079-1084.
- [7] 曾守桢, 穆志民. 基于 Zhenyuan 积分的直觉模糊多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2018, 33(3): 542-548.
- [8] 李娜, 高雷阜, 王磊. 基于相对熵的区间 Pythagorean 模糊多属性 AQM 决策方法及其应用[J]. 运筹与管理, 2019, 28(1): 79-85.
- [9] LI X, WANG Y, YAN Q. Uncertain mean-variance model for dynamic project portfolio selection problem with divisibility[J]. Fuzzy Optimization and Decision Making, 2019(3): 37-56.
- [10] 郑欢, 白海龙. 工期-成本-环境多目标平衡问题及其在大型建设工程中的应用[J]. 技术经济, 2018, 37(4): 91-99.
- [11] GIUSEPPE I, GIUSEPPE S, ROBERTA S. Developing a Territory Balanced Scorecard approach to manage projects for local development: two case studies[J]. Land Use Policy, 2011, 29(3): 629-640.
- [12] EILAT H, GOLANY B, SHTUB A. R&D project evaluation: an integrated DEA and balanced scorecard approach[J]. Omega, 2006, 36(5): 895-912.
- [13] CHANDAN C, DEBJANI C. A fuzzy clustering methodology for linguistic opinions in group decision making[J]. Applied Soft Computing Journal, 2006, 7(3): 858-869.
- [14] MOHAMMAD M, SOHEIL S N. Ranking fuzzy numbers by preference ratio[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2001, 118(3): 429-436.

A Hybrid Fuzzy Multiple Criteria Group Decision Making Approach for Sustainable Project Selection

Ren Rongrong^{1,2,3}, Yan Mingfeng⁴, Yang Bangxing²

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110819, China;

2. School of Management, Northeastern University of Qinhuangdao, Qinhuangdao Hebei 066004, China;

3. Hebei Science and Technology Information Engineering Research Center, Qinhuangdao Hebei 066004, China;

4. Taiyuan Branch of China Telecom Co., Ltd., Taiyuan 030000, China)

Abstract: In this paper, fuzzy multi criteria group decision has been applied on sustainable project selection decisions. First, a comprehensive framework, including economic, social, and environmental effects of an investment, strategic alliance, organizational readiness, and risk of investment has been built for sustainable project selection. As the relative importance of the criteria of the proposed framework are hard to find through several conflictive preferences of a group of Decision Makers so, a goal programming has been supplied to this aim considering multiplicative and fuzzy preference relation. Then, a fuzzy TOPSIS method has been developed to assess the fitness of investment chances. TOPSIS method is based on preference rate, which is used for ranking fuzzy numbers and fuzzy distance measurement. So preference rate can effectively calculate the distance from each alternative to fuzzy ideal solution. According to the distance, we can know the fuzzy close coefficient, and finally choose the best solution applied. At last, Taking the investment project selection of XXX investment as an example, the validity and feasibility of the method are verified.

Keywords: project selection ;TOPSIS; goal planning; preferences ratio; fuzzy distance;fuzzy set