

## 基于混合VIKOR方法的供应商选择决策模型

袁宇<sup>1,2</sup>, 关涛<sup>1</sup>, 闫相斌<sup>1</sup>, 李一军<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学管理学院, 哈尔滨 150001, 2. 哈尔滨理工大学管理学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 通过文献统计方法构建供应商选择评价准则体系. 针对主客观评价准则下多种数据类型混合的评价信息, 提出根据采集到的原始数据客观确定决策者和决策准则权重, 避免主观赋权带来的二次不确定性. 采用基于混合信息的VIKOR方法集结评价价值, 以克服数据类型的不可公度性和数据转换造成的信息损失. 从理论、数值实验和敏感性分析3个维度与TOPSIS方法进行对比, 表明了所提出方法在供应商选择决策过程中的特点和优势.

**关键词:** 供应商选择; 多准则群决策; 混合VIKOR方法; 直觉模糊数; 权重不确定

中图分类号: C934

文献标志码: A

## Based on hybrid VIKOR method decision making model for supplier selection

YUAN Yu<sup>1,2</sup>, GUAN Tao<sup>1</sup>, YAN Xiang-bin<sup>1</sup>, LI Yi-jun<sup>1</sup>

(1. School of Management, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. School of Management, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150001, China. Correspondent: YUAN Yu, E-mail: yy200704@126.com)

**Abstract:** The evaluation criteria system over the supplier selection problem is built through literature statistical methods, which can be identified as the subjective or the objective type. The evaluate ratings under the criteria are in the form of a variety of mixed data types. The weights of criterion and decision-makers(DM) are determined objectively based on the original collected evaluating information, which can effectively avoid the loss of information caused by the single data type, and can overcome the double uncertainty from DM's subjective judgment of the evaluating information and the weight information. The hybrid VIKOR method is used to construct the supplier selection evaluation model in order to deal with conflicting and non-commensurable criteria issue effectively, which can guarantee the minimum of individual regret, at the same time keeping the maximization of group utility. Finally, the comparison between the hybrid VIKOR method and TOPSIS method through theoretical analysis, numerical experiments and sensitivity analysis shows the effectiveness of the proposed method for supplier selection problem.

**Key words:** supplier selection; multi-criteria group decision making; hybrid VIKOR method; intuitionistic fuzzy number; weights uncertain

## 0 引言

供应商选择是供应链管理中的一项重要内容. 对于多数制造类企业而言, 销售额的60%以上用来采购原材料、零配件和辅料等, 其采购成本占产品总成本的70%以上. 合理地选择供应商能够帮助企业有效降低成本、增加管理柔性、提高企业核心竞争力<sup>[1]</sup>. 供应商选择作为采购企业供应链的一部分, 全面客观地对供应商择优, 并与优质供应商建立长期亲密合作关系, 能够有效降低采购风险, 使企业利益最大化.

目前, 国内外学者对供应商的选择进行了大量研究, 主要集中在两个方面: 一是供应商评价的标准和准则; 二是对供应商进行选择的方法和模型. De等<sup>[2]</sup>针对供应商选择框架进行了综述性研究, 其研究框架覆盖供应商选择过程中的各个阶段, 包括资格预审、评价准则构建和最终评价等. Shahadat<sup>[3]</sup>针对供应商选择问题设计了一种实证研究方案, 在结果数据分析的基础上, 给出了发展中国家采购执行代理选择供应商时经常采用的评价准则. Ho等<sup>[4]</sup>对78篇关于

收稿日期: 2012-12-08; 修回日期: 2013-07-10.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171065, 71171067); 黑龙江省自然科学基金项目(G201005).

作者简介: 袁宇(1983—), 女, 讲师, 博士, 从事决策理论与应用等研究; 李一军(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 从事信息管理、决策支持系统等研究.

多准则供应商选择问题的研究进行深入分析,对多准则决策方法的有效性和不足进行了综述,并探寻关注度较高的评价准则. 供应商选择的模型和方法研究主要集中在多准则决策法<sup>[5-6]</sup>、基于成本的方法<sup>[7]</sup>、实证概念方法<sup>[8]</sup>、数学规划<sup>[9-10]</sup>、模糊集理论<sup>[11-12]</sup>、人工智能方法<sup>[13-14]</sup>和上述方法的组合<sup>[15-16]</sup>等. 本文将侧重于供应商选择评价方法的研究.

供应商选择过程需要生产、质量、采购、物流等多个部门的共同参与,且需考虑众多评价要素的影响,其实质是多准则群决策问题的排序择优过程. 在评价过程中,决策者难以从众多潜在供应商中选择一个能够完全满足采购企业全部评价体系要求的供应商,因此,选择一个妥协解最优供应商更贴近实际的管理决策. 供应商选择评价体系包括主客观两大类评价准则,评价数据类型多样,决策信息为多种数据类型的混合,且数据彼此间存在不可公度性. 由于VIKOR方法在解决数据间不可公度性、获得妥协最优解方面具有较大优势,目前已有一些学者采用VIKOR方法对供应商选择进行研究. Sanayei等<sup>[17]</sup>针对语言变量表达的评价价值和权重信息,将语言变量转化为三角模糊数和梯形模糊数的形式,采用VIKOR方法结合模糊集理论对供应商进行选择. Shemshadi等<sup>[18]</sup>将语言变量转化为梯形模糊数,进一步通过转化机制变为精确数,采用Shannon熵权法客观赋权,应用拓展的VIKOR方法得到各潜在供应商的排序. 吴坚等<sup>[19]</sup>针对模糊决策环境下的绿色供应商选择问题,提出了评价信息和属性权重均以模糊语言形式给出的多属性决策方法,给出模糊语言的梯形模糊数表达,将梯形模糊数转化为精确实数,得到方案的排序向量.

通过上述分析可以看出,现有研究仍存在一些局限性: 1) 只使用单一评价价值类型,在供应商选择评价体系中忽略了客观评价信息,只考虑决策者给出的主观评价信息,供应商的评价信息应是主客观多种数据类型共存的混合型评价价值; 2) 需要决策者给出评价准则权重的精确值或取值范围,在权重信息完全已知或部分已知的理想条件下进行. 然而,在实际的决策过程中,这一要求对决策者而言很难做到,且权重值由决策者的主观判断给出,给决策结果带来了更多的不确定性(即评价价值与权重值的双重不确定性). 因此,探寻一种高效合理的决策者权重和准则权重完全未知的混合型多准则群决策(MCGDM)方法处理供应商选择决策问题尤为必要.

本文针对供应商选择决策中评价价值为混合型信息、决策者权重和准则权重难以确定的问题,提出一种权重信息未知环境下的、基于信任度函数和熵权变换的MCGDM方法,其核心在于如何仅通过决策

矩阵客观地确定决策者权重和评价准则权重,避免决策者主观判断评价信息和权重信息的双重不确定性. 针对混合类型评价信息的不可公度性,采用混合型VIKOR方法构建供应商选择评价模型,从众多潜在供应商中选择最优供应商. 最后通过与TOPSIS方法进行对比,表明了所提出方法在供应商选择决策过程中的优势.

## 1 供应商选择问题描述

在实际供应商选择决策中,往往由多方面专家组成小组,依据产品质量、价格、产品、物流、供应柔性等多个评价准则,共同对潜在供应商进行评价和择优,可抽象为如下形式的多准则群决策问题: 采购企业对于通过资格审查的潜在供应商  $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$ , 依据建立的评价准则  $C_j (j = 1, 2, \dots, m)$ , 由  $p$  个部门决策者分别对各潜在供应商进行客观数据收集和主观经验判断. 令  $\lambda_s$  为决策者  $D_s (s = 1, 2, \dots, p)$  的权重,  $\omega_j$  为评价准则  $C_j$  的权重. 多准则群决策问题可用矩阵形式表示为

$$U^s = (u_{ij}^s)_{n \times m} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} u_{11}^s & u_{12}^s & \cdots & u_{1m}^s \\ u_{21}^s & u_{22}^s & \cdots & u_{2m}^s \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{n1}^s & u_{n2}^s & \cdots & u_{nm}^s \end{bmatrix} \end{matrix}. \quad (1)$$

其中:  $u_{ij}^s$  为决策者  $D_s$  给出的针对潜在供应商  $A_i$  在评价准则  $C_j$  下的效果评价价值;  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, s = 1, 2, \dots, p$ .

由抽象表述可知,解决供应商选择决策问题的关键在于: 1) 选择供应商评价准则; 2) 依据评价准则对供应商进行评价; 3) 依据评价原始数据构建评价模型并选择最优供应商; 4) 通过敏感性分析确定准则权重的变化对评价结果的影响程度.

## 2 供应商选择评价准则的选取

20世纪60年代, Dickson<sup>[20]</sup>首次提出供应商评价问题,采用实证调查方法总结了23个评价准则. Weber等<sup>[21]</sup>以74篇文献为数据来源,采用统计分析的方法,从不同角度研究了Dickson提出的23种供应商评价准则,并在此基础上对包含的评价准则进行了重要性排序. 随着各种先进制造模式的应用和制造资源快速高效的集成,经济环境的变化使供应商选择的评价准则不断发展完善,本文在数据库ProQuest, WebofScience, ScienceDirect中以supplier selection为关键字,搜索出142篇文献,通过阅读整理,选取供应商评价准则完整、论述详细、整合效果较好的22篇文献<sup>[8,22-42]</sup>作为供应商评价准则发展的统计分析基础,如表1所示.

表1 供应商选择评价准则的选取与文献统计

重要性	2000年~2012年文献评价准则		Dickson和Webber评价准则	
	评价准则	文献数 占比/%	评价准则	文献数 占比/%
1	送货准时率	17 74	价格	61 80
2	质量	16 70	交货	44 58
3	综合能力	13 57	质量	40 53
4	财务状况	12 52	装备与能力	23 30
5	技术支持	11 48	地理位置	16 21
6	生产柔性	11 48	技术能力	15 20
7	服务质量	11 48	管理与组织	10 13
8	与供应商的关系	10 43	声誉与地位	8 11
9	产品价格	10 43	历史业绩	7 9
10	采购成本	10 43	财务状况	7 9
11	技术开发能力	9 39	维修服务	7 9
12	需求反应能力	9 39	态度	6 8
13	协作与沟通	7 30	运作控制	3 4
14	管理与组织	7 30	包装能力	3 4
15	环境适应性	6 26	遵循报价程序	2 3
16	以往业务量	6 26	沟通系统	2 3
17	地理位置	6 26	形象	2 3
18	声誉	5 22	劳工关系记录	2 3
19	专业技能	5 22	培训帮助	2 3
20	产品可靠性	4 17	互惠安排	2 3
21	生产设施和能	4 17	交易的迫切性	1 1
22	顾客拒绝率	3 13	以往业务量	1 1
23	配送网络业绩	3 13	担保与赔偿	0 0
24	未来生产能力	3 13		
25	价格稳定性	2 9		

由表1可见,在Webber的排序表中,价格、准时送货和质量3项准则在文献中出现频率较高,分别为80%,58%和53%;近期文献中,准时送货、质量和企业的综合能力分别占到74%,70%,57%,表明这3方面对于供应商的评价十分重要;早期研究中装备与能力、地理位置、技术能力、管理与组织、声誉与地位等评价准则在文献中的出现频率分别为30%,21%,20%,13%和11%,同时在这5项准则中,装备与能力在近期文献中通过供应商的综合能力体现,技术能力重要性排序变化不大,但地理位置的重要性有大幅度降低,这是因为第三方物流的发展对于供应商地理位置的要求有所降低。

表1中供应商评价准则包括主观评价准则和客观评价准则两类:主观评价准则根据决策者知识和经验对备选方案进行主观判断,如供应商的综合能力、生产柔性、与供应商的关系等;客观评价准则可以用精确数值或区间数表示,如产品价格、可靠性、顾客拒绝率等。主观评价准则又可细分为直觉模糊数(综合能力)和语言变量型(声誉)。表1进一步表明了供应商选择是一种混合型多准则决策问题。

### 3 供应商选择评价价值的确定

由供应商评价准则选取的复杂性和不可公度性可知,各准则下的评价价值不能完全用精确的数值表

达,其评价价值既有客观的统计数据,又有需要根据决策者知识经验给出的主观判断数据,采用精确数、区间数、直觉模糊数、语言变量多种数据形式能够更加准确地描述潜在在供应商的综合表现。

#### 3.1 评价价值为区间数的数据类型

区间数表征了决策过程定量数据的不确定性,能够对不确定的客观评价准则进行合理的描述。两个区间数的距离测度可以定义如下。

**定义1** 两个区间数  $a = [a^L, a^U]$ ,  $b = [b^L, b^U]$ ,  $a$  与  $b$  的距离为

$$d(a, b) = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(a^L - b^L)^2 + (a^U - b^U)^2}. \quad (2)$$

#### 3.2 评价价值为直觉模糊数的数据类型

由于采购企业决策者知识构成不同,工作经验有差异,或者因时间紧迫,经常会出现评价信息不确定的现象,即评价信息有一定的踌躇性(或犹豫性),如生产部门负责人对供应商产品质量十分了解,但对其采购成本可能知之不详,而在供应商选择问题上又需要其参与决策。此外,由于知识或数据缺乏,决策者在复杂和不确定环境下的数值判断能力受限,难以确定决策参数的准确值。直觉模糊集(IFSS)理论从隶属度和非隶属度两方面描述不确定信息,能够更好地刻画决策者评价信息的不确定性。

##### 3.2.1 直觉模糊数的定义

**定义2**<sup>[43]</sup> 设  $X$  为非空论域,  $X$  上的直觉模糊集定义为

$$A = \{(x, \mu_A(x), \gamma_A(x)) | x \in X\}.$$

其中:  $\mu_A(x)$  为元素  $x$  对于集合  $A$  的隶属度函数,  $\mu_A(x) : X \rightarrow [0, 1], x \in X \rightarrow \mu_A(x) \in [0, 1]$ ;  $\gamma_A(x)$  为元素  $x$  对于集合  $A$  的非隶属度函数,  $\gamma_A(x) : X \rightarrow [0, 1], x \in X \rightarrow \gamma_A(x) \in [0, 1]$ ; 对于任意  $x \in X, 0 \leq \mu_A(x) + \gamma_A(x) \leq 1$ .  $\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - \gamma_A(x)$  称作集合  $A$  的直觉模糊犹豫度,且  $0 \leq \pi_A(x) \leq 1$ . 非空论域  $X$  上的直觉模糊集全体记作  $\text{IFS}(X)$ .

特别地,称  $\alpha = (\mu_\alpha, \gamma_\alpha, \pi_\alpha)$  为直觉模糊数(IFN). 其中:  $\mu_\alpha \in [0, 1], \gamma_\alpha \in [0, 1], \mu_\alpha + \gamma_\alpha \leq 1, \pi_\alpha = 1 - \mu_\alpha - \gamma_\alpha, \alpha^+ = (1, 0, 0)$  和  $\alpha^- = (0, 1, 0)$  分别为最大直觉模糊数与最小直觉模糊数。

##### 3.2.2 IFNs 的距离测度

**定义3**<sup>[44-45]</sup> 任意两个直觉模糊数  $\alpha = (\mu_\alpha, \gamma_\alpha, \pi_\alpha)$  和  $\beta = (\mu_\beta, \gamma_\beta, \pi_\beta)$  的Euclidean距离为

$$d(\alpha, \beta) = \sqrt{\frac{1}{2} \{(\mu_\alpha - \mu_\beta)^2 + (\gamma_\alpha - \gamma_\beta)^2 + (\pi_\alpha - \pi_\beta)^2\}}. \quad (3)$$

### 3.3 评价值为语言变量的数据处理

语言变量是指以自然语言短语的形式表达, 决策者能够用简单熟悉的语言术语对备选方案进行定性判断, 更符合决策者的主观意愿. 语言变量类型通常采用转化的方式进行处理, 转化为三角模糊数或直觉模糊数, 转化标准统一. 本文将语言变量转化为 IFNs<sup>[46]</sup>, 其评估标度和相应的直觉模糊数如表 2 所示.

表 2 语言变量与 IFNs 间的转换

语言变量	标记	IFNs
极差/极低	EP/EL	(0.05,0.95,0.00)
非常差/非常低	VP/VL	(0.15,0.80,0.05)
差/低	P/L	(0.25,0.65,0.10)
偏差/偏低	MP/ML	(0.35,0.55,0.10)
一般/中等	F/M	(0.50,0.40,0.10)
偏好/偏高	MG/MH	(0.65,0.25,0.10)
好/高	G/H	(0.75,0.15,0.10)
非常好/非常高	VG/VH	(0.85,0.10,0.05)
极好/极高	EG/EH	(0.95,0.05,0.00)

## 4 基于 VIKOR 方法的 MCDM 评价模型

VIKOR 方法是一种折衷排序方法, 通过最大化群效用和最小化个体遗憾对有限决策方案进行折衷排序<sup>[47]</sup>. VIKOR 方法是多准则决策的有效工具, 用于以下情形: 1) 决策者不能或不知道如何准确表达其偏好; 2) 评价准则间存在冲突和不可公度 (测度单位不同); 3) 处理冲突问题的决策者能够接受妥协解方案.

### 4.1 VIKOR 方法

VIKOR 方法基于如下形式的  $L_p$ -测度:

$$L_{p,j} = \left\{ \sum_{j=1}^m [\omega_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)]^p \right\}^{1/p},$$

$$1 \leq p \leq \infty, j = 1, 2, \dots, m. \quad (4)$$

具体步骤如下.

Step 1: 确定理想和临界评价价值. 令各备选方案  $A_i (i = 1, 2, \dots, n)$  在相应评价准则  $C_j (j = 1, 2, \dots, m)$  下的评价值为  $f_{ij}$ , 分别用  $f_j^*$  和  $f_j^-$  表示最优和最差评价价值, 有

$$f_j^* = \max_i f_{ij}, f_j^- = \min_i f_{ij}, C_j \text{ 为效益型准则};$$

$$f_j^* = \min_i f_{ij}, f_j^- = \max_i f_{ij}, C_j \text{ 为成本型准则}.$$

Step 2: 计算  $S_i, R_i$  和  $Q_i$  的值, 有

$$S_i = \sum_{j=1}^m \omega_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-), \quad (5)$$

$$R_i = \max_j [\omega_j (f_j^* - f_{ij}) / (f_j^* - f_j^-)], \quad (6)$$

$$Q_i = v(S_i - S^*) / (S^- - S^*) + (1-v)(R_i - R^*) / (R^- - R^*). \quad (7)$$

其中:  $S_i$  为最大群体效用, 是  $L_{1,i}$  测度;  $R_i$  为最小个体遗憾, 是  $L_{\infty,i}$  测度;  $\omega_j$  为各评价准则的权重;  $S^* = \min_i S_i, S^- = \max_i S_i, R^* = \min_i R_i, R^- = \max_i R_i; v \in [0, 1]$  为决策机制系数,  $v > 0.5$  表示依据最大化群效用的决策机制进行决策,  $v < 0.5$  表示依据最小化个体遗憾的决策机制进行决策,  $v = 0.5$  表示依据决策者经协商达成共识的决策机制进行决策.

Step 3: 由  $S_i, R_i$  和  $Q_i$  三个排序列表对备选方案进行排序, 数值越小表示方案越优.

Step 4: 确定折衷方案, 按照  $Q_i$  值递增得到的排序为  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(J)}, \dots, A^{(n)}$ . 若  $A^{(1)}$  为最优方案且同时满足如下两个条件: 1)  $Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq DQ$ , 其中  $A^{(2)}$  为根据  $Q_i$  值排在第 2 位的方案, 且  $DQ = 1/(n-1)$ ; 2) 方案  $A^{(1)}$  依据  $S_i, R_i$  排序仍为最优方案. 则  $A^{(1)}$  在决策过程中是稳定的最优方案.

若以上两个条件不能同时成立, 则得到妥协解方案, 分为两种情况:

1) 若条件 2) 不满足, 则妥协解方案为  $A^{(1)}, A^{(2)}$ ;

2) 若条件 1) 不满足, 则妥协解方案为  $A^{(1)}, A^{(2)}, \dots, A^{(J)}$ , 其中  $A^{(J)}$  是由  $Q(A^{(J)}) - Q(A^{(1)}) < DQ$  确定最大化的  $J$  值.

### 4.2 VIKOR 与 TOPSIS 方法对比

VIKOR 方法采用集结函数  $Q$  表示与理想方案的接近程度. TOPSIS 方法引入两个参考点, 采用集结函数  $\xi_i = D_i^- / (D_i^* + D_i^-)$  表示距正理想方案越近距负理想方案越远的方案最优. 其中:  $D_i^*$  为  $A_i$  与理想方案的距离,  $D_i^-$  为与负理想方案的距离. 然而 TOPSIS 方法存在一定的局限性, 所有距正理想方案距离大于负理想方案的备选方案均优于距正负理想方案距离相等的方案.

若方案  $A_m$  与正负理想方案的距离相等, 即  $D_m^* = D_m^-$ ,  $\xi_m = 0.5$ , 则对于任意备选方案  $A_i$ , 只需满足  $D_i^- > D_i^*$ , 无论  $A_m$  距正理想方案的距离大小, 均得到  $A_i$  优于方案  $A_m$  的结论. 若  $D_i^- > D_i^*$  成立, 则  $D_i^- / (D_i^* + D_i^-) > 0.5$ , 即  $\xi_i > 0.5 = \xi_m$ , 方案  $A_i$  优于  $A_m$ , 无论  $D_i^*$  与  $D_m^*$  的大小关系, 即使  $D_i^* > D_m^*$ , 方案  $A_m$  与理想方案距离更近, 优先序排列中方案  $A_i$  仍排在  $A_m$  的前面, 如图 1 所示.

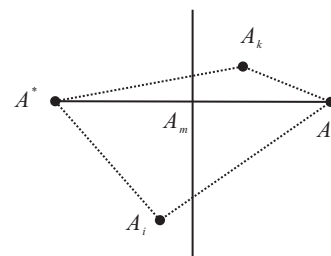


图 1 TOPSIS 方法局限性

由图1可见, 尽管  $A_m$  距理想方案  $A^*$  更近, 但若采用 TOPSIS 方法进行决策, 则会选择次优方案  $A_i$ . 可见, 利用 TOPSIS 方法得到的决策结果并不一定是距离理想方案最近的. 此外, 该方法没有考虑到备选方案距理想方案距离与负理想方案距离之间的相对重要性, 尽管这两个距离在决策中有至关重要的作用<sup>[47]</sup>. 另一方面, TOPSIS 方法更适用于风险规避型决策者, 希望决策带来最大化的利润同时, 要尽可能地规避风险; 而 VIKOR 方法更适用于决策者倾向于获取最大化利润的决策.

### 5 基于混合型VIKOR方法MCGDM模型

本文从采集到的潜在供应商原始评价信息出发, 由决策者给出的主观评价信息与决策者权重集结得到群评价信息; 然后与准则权重集结得到各潜在供应商的综合评价信息; 最后采用 VIKOR 方法对供应商进行排序择优, 并对决策方法进行准则权重的敏感性分析. 决策方法如图2所示, 具体决策步骤如下.

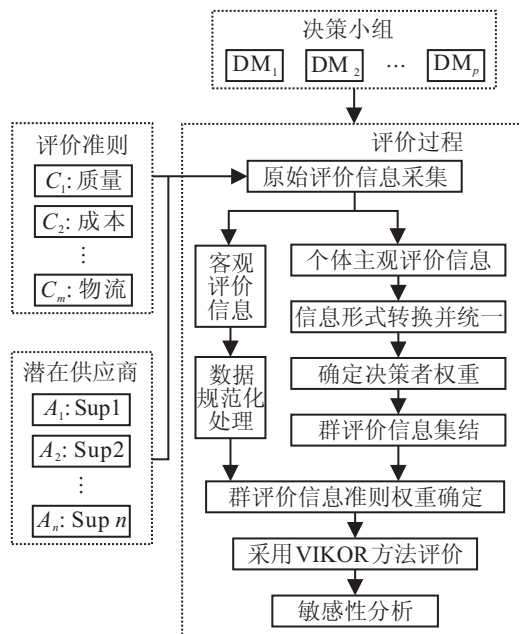


图2 供应商选择决策过程

**Step 1** 规范化数据信息. 考虑到供应商评价准则中包括主观评价准则和客观评价准则, 含有数值、区间数、直觉模糊数、语言变量的混合型评价数据, 需要对客观评价准则下的数值型和区间数型数据进行规范化处理.

1) 数值型数据. 原始评价数据  $u_{ij}$  经过规范化后记为  $r_{ij}$ , 有

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{u_{ij}}{\max_j u_{ij}}, & 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, u_{ij} \in B, \\ \frac{\min_j u_{ij}}{u_{ij}}, & 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, u_{ij} \in C. \end{cases} \quad (8)$$

其中:  $B$  为效益型准则集,  $C$  为成本型准则集.

2) 区间型数据. 区间数评价值  $[u_{ij}^L, u_{ij}^U]$  经规范化处理后记为  $[r_{ij}^L, r_{ij}^U]$ , 有

$$r_{ij}^L = \frac{u_{ij}^L}{\max_j u_{ij}^L}, r_{ij}^U = \frac{u_{ij}^U}{\max_j u_{ij}^U}, \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, [u_{ij}^L, u_{ij}^U] \in B; \quad (9)$$

$$r_{ij}^L = \frac{\min_j u_{ij}^L}{u_{ij}^U}, r_{ij}^U = \frac{\min_j u_{ij}^U}{u_{ij}^L}, \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, [u_{ij}^L, u_{ij}^U] \in C. \quad (10)$$

规范化后的数据取值范围均在  $[0,1]$  区间内, 消除了量纲的影响.

**Step 2** 确定决策者权重. 决策者在面对复杂决策问题时经常会出现犹豫不确定的现象, 给出含有犹豫度的评价信息. 对于决策者  $D_s$  而言, 评价信息中的犹豫度反应了其对方评价的不确定程度, 不确定程度越大, 其信任度越小, 客观权重应越小<sup>[48]</sup>. 由此, 根据信息熵原理建立信任函数并确定决策者客观权重, 定义决策者  $D_s$  的信任函数为  $B_s(\pi)$ , 客观权重为  $\lambda_s$ , 有

$$B_s(\pi) = -1 / \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi_{ij}^s \right) \ln \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \pi_{ij}^s \right), \quad (11)$$

$$\lambda_s = B_s(\pi) / \sum_{s=1}^p B_s(\pi). \quad (12)$$

**Step 3** 群决策信息集结. 式(11)和(12)得到的决策者权重  $\lambda_s$  与个体主观评价信息集结, 通过集结算子得到群评价矩阵. 令  $(\mu_{ij}^s, \gamma_{ij}^s, \pi_{ij}^s)$  为直觉模糊数和转化为直觉模糊数的语言变量型主观评价信息, 其群集结算子为

$$r_{ij} = \lambda_1 r_{ij}^1 \oplus \lambda_2 r_{ij}^2 \oplus \dots \oplus \lambda_s r_{ij}^s \oplus \dots \oplus \lambda_p r_{ij}^p = \left( 1 - \prod_{s=1}^p (1 - \mu_{ij}^s)^{\lambda_s}, \prod_{s=1}^p (\gamma_{ij}^s)^{\lambda_s}, \prod_{s=1}^p (1 - \mu_{ij}^s)^{\lambda_s} - \prod_{s=1}^p (\gamma_{ij}^s)^{\lambda_s} \right). \quad (13)$$

**Step 4** 确定各准则权重. 将群体评价矩阵信息与客观评价信息融合, 采用熵值法确定各评价准则的客观权重. 令  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$  为各评价准则的权重, 其中  $\omega_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ . 若所有备选方案在准则  $C_j$  下的综合评价价值与评价值的均值偏差越小, 则说明该评价准则对备选方案排序的作用越小; 反之作用越大<sup>[49]</sup>. 因此, 从对备选方案进行排序的角度考虑, 备选方案评价价值与均值偏差越大的准则应赋予越大的权重. 特别地, 若所有备选方案在准则  $C_j$  下的评价价值无差异, 则准则  $C_j$  对评价对象排序不起作用, 可令其权重为 0. 各备选方案在准

则  $C_j$  下的综合评价值的均值为

$$\tilde{r}_j = (r_{1j} \oplus r_{2j} \oplus \dots \oplus r_{ij} \oplus \dots \oplus r_{nj})/n = \begin{cases} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}, & r_{ij} \in I_1; \\ \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}^L, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ij}^U \right], & r_{ij} \in I_2; \\ \left( 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{ij})^{\frac{1}{n}}, \prod_{i=1}^n (\gamma_{ij})^{\frac{1}{n}}, \prod_{i=1}^n (1 - \mu_{ij})^{\frac{1}{n}} - \prod_{i=1}^n (\gamma_{ij})^{\frac{1}{n}} \right), & r_{ij} \in I_3. \end{cases} \quad (14)$$

其中:  $I_1$  为数值型评价价值,  $I_2$  为区间数型评价价值,  $I_3$  为直觉模糊数型评价价值. 准则  $C_j$  下的熵值为

$$e_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{d(r_{ij}, \tilde{r}_j)}{\sum_{i=1}^n d(r_{ij}, \tilde{r}_j)} \ln \left( \frac{d(r_{ij}, \tilde{r}_j)}{\sum_{i=1}^n d(r_{ij}, \tilde{r}_j)} \right) \right]. \quad (15)$$

由此得到各个准则的权重为

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{q=1}^m (1 - e_q)}, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (16)$$

**Step 5** 采用 VIKOR 方法对备选方案排序择优.

分别定义理想方案和临界方案为

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, \dots, f_j^*, \dots, f_m^*) = (\max r_{i1}, \max r_{i2}, \dots, \max r_{ij}, \dots, \max r_{im}), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (17)$$

$$f^- = (f_1^-, f_2^-, \dots, f_j^-, \dots, f_m^-) = (\min r_{i1}, \min r_{i2}, \dots, \min r_{ij}, \dots, \min r_{im}), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (18)$$

理想方案与临界方案的选取需要遵循前文各种数据类型(区间数, 直觉模糊数)比较规则. 分别计算  $S_i, R_i$  和  $Q_i$ , 有

$$S_i = \sum_{j=1}^m \omega_j \frac{d(f_j^*, r_{ij})}{d(f_j^*, f_j^-)}, \quad (19)$$

$$R_i = \max_j \left[ \omega_j \frac{d(f_j^*, r_{ij})}{d(f_j^*, f_j^-)} \right], \quad (20)$$

$$Q_i = v \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)}. \quad (21)$$

由  $S_i, R_i$  和  $Q_i$  的排序可知, 若方案  $A^{(1)}$  值最小, 且满足

$$Q(A^{(2)}) - Q(A^{(1)}) \geq 1/(n - 1), \quad (22)$$

则  $A^{(1)}$  为最优方案; 若不满足上述条件, 则得到相应的妥协解方案.

### 6 实例分析

某制造业企业, 在市场中欲寻找更具有竞争力的供应商作为其供应链中的组成部分. 具备供应能力的供应商数量较多, 先后经历资格预审、短期拜访、深度调研后, 确定 4 个潜在供应商 ( $A_1, A_2, A_3, A_4$ ). 由该企业质量部门 ( $D_1$ )、采购部门 ( $D_2$ )、物流部门 ( $D_3$ ) 组成决策小组对 4 个潜在供应商进行评价.

本文选用已有文献出现频率较高的 12 个准则作为企业供应商选择的评价标准, 见表 3. 表 3 中,  $B$  为效应型,  $C$  为成本型. 针对定量评价准则统计得到评价信息如表 4 所示. 针对定性评价准则决策者 (DM) 给出主观评价信息如表 5 所示.

表 3 供应商选择评价准则

评价准则	准则类型	数据类型	分类
送货准时率 $C_1$	定量	数值	$B$
质量 $C_2$	定性	语言	$B$
综合能力 $C_3$	定性	直觉模糊数	$B$
财务状况 $C_4$	定性	语言	$B$
技术支持 $C_5$	定性	直觉模糊数	$B$
生产柔性 $C_6$	定量	数值	$B$
服务质量 $C_7$	定性	语言	$B$
与供应商的关系 $C_8$	定性	语言	$B$
产品价格 $C_9$	定量	数值	$C$
采购成本 $C_{10}$	定量	区间数	$C$
技术开发能力 $C_{11}$	定性	直觉模糊数	$B$
需求反应能力 $C_{12}$	定性	直觉模糊数	$B$

表 4 某企业供应商的客观评价价值

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_1/\%$	85	95	90	88
$C_6/\%$	10	12	8	5
$C_9/\text{元}$	285	293	278	280
$C_{10}/\text{万元}$	[14,16]	[18,19]	[14,15]	[16,17]

表 5 某企业决策者给出的供应商主观评价价值

评价准则	$D_1$				$D_2$				$D_3$			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_2$	MG	VG	G	MG	VG	G	G	MG	G	G	MG	MG
$C_3$	(0.8,0.1)	(0.7,0.1)	(0.7,0.2)	(0.6,0.2)	(0.7,0.1)	(0.6,0.2)	(0.7,0.2)	(0.6,0.2)	(0.7,0.1)	(0.8,0.1)	(0.6,0.1)	(0.8,0.1)
$C_4$	G	G	MG	MG	MG	G	F	G	G	MG	VG	G
$C_5$	(0.5,0.4)	(0.6,0.3)	(0.7,0.2)	(0.7,0.2)	(0.6,0.1)	(0.7,0.1)	(0.6,0.2)	(0.7,0.1)	(0.6,0.2)	(0.6,0.2)	(0.7,0.1)	(0.7,0.1)
$C_7$	VG	G	VG	G	G	VG	VG	G	F	MG	MG	F
$C_8$	F	MG	MG	G	F	F	G	F	G	MG	MG	G
$C_{11}$	(0.6,0.1)	(0.5,0.4)	(0.5,0.5)	(0.6,0.4)	(0.5,0.3)	(0.7,0.1)	(0.4,0.2)	(0.5,0.2)	(0.6,0.1)	(0.5,0.3)	(0.5,0.2)	(0.6,0.2)
$C_{12}$	(0.8,0.2)	(0.8,0.1)	(0.9,0.1)	(0.8,0.2)	(0.9,0.1)	(0.8,0.1)	(0.7,0.2)	(0.8,0.1)	(0.7,0.1)	(0.8,0.1)	(0.7,0.1)	(0.7,0.2)

### 6.1 评价方案排序

利用本文的决策方法解决上述潜在供应商选择决策问题. 具体步骤如下.

**Step 1:** 将采集到的客观评价数据进行规范化处理. 利用式 (8)~(10) 分别对表 4 中数值型和区间数型数据进行规范化以消除量纲的影响, 得到规范化后的客观评价矩阵.

**Step 2:** 由决策者给出的主观评价信息确定决策者权重. 将语言变量转换为 IFNs (由表 2), 定性数据统一为 IFNs 形式, 再利用式 (11) 和 (12) 计算得到决策者的权重分别为  $\lambda_1 = 0.356, \lambda_2 = 0.324, \lambda_3 = 0.320$ .

**Step 3:** 个体评价信息集结. 将各决策者权重与个体评价信息集结, 由式 (13) 得到各潜在供应商的综合评价价值, 并与规范化的客观评价信息融合得到综合评价矩阵, 即最终决策矩阵, 有

	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$C_2$	(0.76, 0.16)	(0.79, 0.13)	(0.72, 0.18)	(0.65, 0.25)
$C_3$	(0.74, 0.10)	(0.71, 0.13)	(0.67, 0.16)	(0.68, 0.16)
$C_4$	(0.72, 0.18)	(0.72, 0.18)	(0.70, 0.22)	(0.72, 0.18)
$C_5$	(0.57, 0.20)	(0.64, 0.18)	(0.67, 0.16)	(0.70, 0.13)
$C_7$	(0.74, 0.18)	(0.76, 0.15)	(0.80, 0.13)	(0.69, 0.21)
$C_8$	(0.60, 0.29)	(0.61, 0.29)	(0.69, 0.21)	(0.69, 0.21)
$C_{11}$	(0.57, 0.21)	(0.58, 0.23)	(0.47, 0.28)	(0.57, 0.26)
$C_{12}$	(0.82, 0.13)	(0.80, 0.10)	(0.80, 0.13)	(0.77, 0.16)
$C_1$	0.90	1	0.95	0.93
$C_6$	0.83	1	0.67	0.42
$C_9$	0.98	0.95	1	0.99
$C_{10}$	[0.88, 1]	[0.74, 0.78]	[0.93, 1]	[0.82, 0.88]

**Step 4:** 确定各评价准则权重. 由式 (14) 计算各评价准则下的评价价值均值, 利用熵权法 (15) 和 (16) 结合各类数据类型的距离测度计算公式, 确定各评价准则的权重为

$$\omega = (0.056, 0.117, 0.141, 0.087, 0.132, 0.064, 0.113, 0.093, 0.073, 0.047, 0.049, 0.028).$$

**Step 5:** 采用 VIKOR 方法对潜在供应商进行排序择优, 综合评价矩阵的理想方案和临界方案分别为

$$f^* = ((0.79, 0.13), (0.74, 0.1), (0.72, 0.18), (0.70, 0.13), (0.80, 0.13), (0.69, 0.21), (0.57, 0.21), (0.8, 0.1), 1, 1, 0.95, [0.74, 0.78]),$$

$$f^- = ((0.65, 0.25), (0.67, 0.16), (0.7, 0.22), (0.57, 0.2), (0.69, 0.21), (0.6, 0.3), (0.47, 0.28), (0.77, 0.16), 0.89, 0.42, 1, [0.93, 1])).$$

由距离测度公式 (2) 和 (3), 结合式 (19)~(21), 令  $v = 0.5$ , 分别计算各备选方案的  $S_i, R_i$  和  $Q_i$  值, 如表 6 所示.

表 6 各潜在供应商的  $S, R, Q$  值

	潜在供应商			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$
$S$	0.448	0.234	0.607	0.612
$R$	0.087	0.062	0.141	0.132
$Q$	0.441	0.000	0.993	0.944

由  $Q_i$  值得到各潜在供应商的优先序为  $A_2 \succ A_1 \succ A_4 \succ A_3$ , 其中  $Q_i$  值最小的为供应商  $A_2$ . 判定所选方案是否满足评价准则  $C_1$  和  $C_2$ , 由式 (22) 可知,  $Q(A_2) - Q(A_1) = 0.44 > 1/3$ , 满足评价准则  $C_1$ , 且供应商  $A_2$  根据  $S_i, R_i$  排序仍为最优方案, 满足评价准则  $C_2$ , 因此, 供应商  $A_2$  在决策过程中是稳定的最优供应商.

### 6.2 敏感性分析

由原始评价信息客观地对各评价准则赋权, 权重发生变化时, 得到的供应商优先序是否发生变化? 发生怎样的变化? 通过敏感性分析, 可以确定评价准则权重的潜在变化会导致决策结果产生偏离, 这是有效利用模型和实施定量决策的关键<sup>[50]</sup>. 采用摄动法对评价准则权重进行敏感性分析, 即决策中的评价准则权重受到微小扰动后, 各潜在供应商优先序的相应变化.

评价准则  $C_j$  的初始权重为  $\omega_j$ , 经扰动后记为  $\omega'_j = \zeta\omega_j$ , 其中  $0 \leq \omega'_j \leq 1$ , 则参数  $\zeta$  的变化区间为  $0 \leq \zeta \leq 1/\omega_j$ . 由权重的归一性, 其余权重由于  $\omega_j$  的变化均相应发生改变, 记为  $\omega'_k = \phi\omega_k, k \neq j, k = 1, 2, \dots, m$ , 且满足

$$\omega'_j + \sum_{k \neq j, k=1}^m \omega'_k = 1 \Rightarrow \zeta\omega_j + \phi \sum_{k \neq j, k=1}^m \omega_k = 1. \quad (23)$$

求解得到  $\phi = (1 - \zeta\omega_j)/(1 - \omega_j)$ . 对于各评价准则权

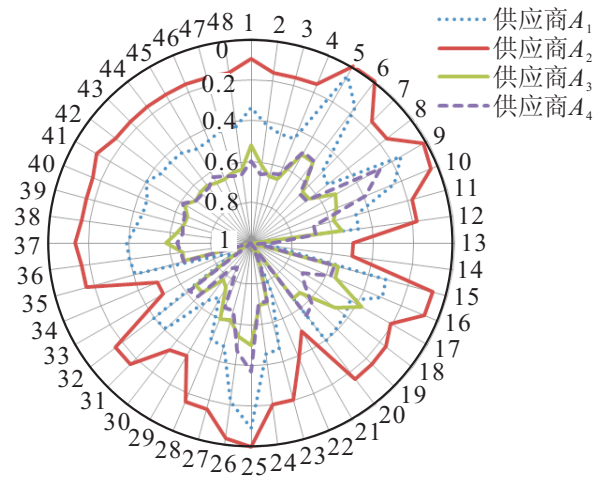


图 3 VIKOR 方法敏感性分析结果

重 $\omega_j$ , 当取不同的参数 $\zeta$ 时, 利用VIKOR方法得到相应的潜在供应商优先序. 分别对本文12个评价准则权重进行扰动,  $\zeta$ 依次取3, 2, 1/2, 1/3, 共进行48次实验, 得到如图3所示的敏感性分析结果.

由图3可见, 供应商 $A_2$ 的 $Q_i$ 值在48次实验中均为最小; 供应商 $A_3$ 有46次实验排在第2位(第13次和第17次实验排在后两位),  $A_3$ 较其他潜在供应商对于 $C_4, C_5$ 评价值的敏感性较高. 综上可见, 本文决策方法对评价值的改变相对不敏感, 在48次实验中只有2次(4.2%)供应商排序改变, 但最优决策供应商始终是 $A_2$ .

### 6.3 对比分析

采用TOPSIS方法对实例分析中规范化决策矩阵的数据进行决策, 并将两种方法得到的决策结果进行对比分析. 由集结函数 $\xi_i = D_i^- / (D_i^- + D_i^+)$ 对各潜在供应商进行排序, 其中 $D_i^+$ 为供应商 $A_i$ 与理想方案的加权距离,  $D_i^-$ 为 $A_i$ 与临界方案的加权距离, 由前文最终决策矩阵确定理想方案 $f^*$ 和临界方案 $f^-$ . 得到4个潜在供应商与理想方案的加权相对贴近度为

$$(\xi_1^+, \xi_2^+, \xi_3^+, \xi_4^+) = (0.5427, 0.8091, 0.4539, 0.3317).$$

由此得到供应商的优先序 $A_2 \succ A_1 \succ A_3 \succ A_4$ , 最佳供应商为 $A_2$ . 这一决策结果与VIKOR方法得到的最佳供应商均为 $A_2$ , 但供应商的优先序略有不同, 体现在对供应商 $A_3, A_4$ 的定位上. 第3.2节已从理论上分析了VIKOR方法较TOPSIS方法所具有的优势, 这里从仿真数据角度分析VIKOR方法的优势. 由决策准则权重 $\omega$ 中可见, 权重较大的准则分别为 $C_2, C_3, C_5, C_7$ , 这几个准则下 $A_4$ 的评价值远远优于 $A_3$ 的评价值, 而在其他准则下二者的评价值优劣区分不大, 因此从数据角度看 $A_4$ 优于 $A_3$ , 采用VIKOR方法得到的结果更为合理.

利用第5.2节的敏感性分析方法, 对TOPSIS得到的决策结果进行敏感性分析, 同样对于各评价准则权重 $\omega_j$ , 当取不同的参数 $\zeta$ 时, 得到相应的潜在供应商优先序. 分别对本文12个评价准则权重进行扰动,  $\zeta$ 依次取3, 2, 1/2, 1/3, 共进行48次实验, 得到如图4所示的敏感性分析结果.

由图4可见: 在48次实验中,  $A_2$ 一直为最优决策供应商, 但对于其他供应商优先序发生改变的次数较多; 供应商 $A_1$ 在48次实验中有5次排序发生变化, 不稳定性达到10.42%. 可以看出, 采用TOPSIS决策方法与VIKOR方法相比, 前者对评价值的改变相对敏感(VIKOR方法为4.2%, TOPSIS方法为10.4%).

综上所述, VIKOR方法在理论、数值实验和敏感

性分析中均表现出较TOPSIS方法更多的优势, 本文采用该方法处理不可公度的混合数据评价信息比传统的TOPSIS方法更合理, 因此得到的供应商选择决策结果更为可靠.

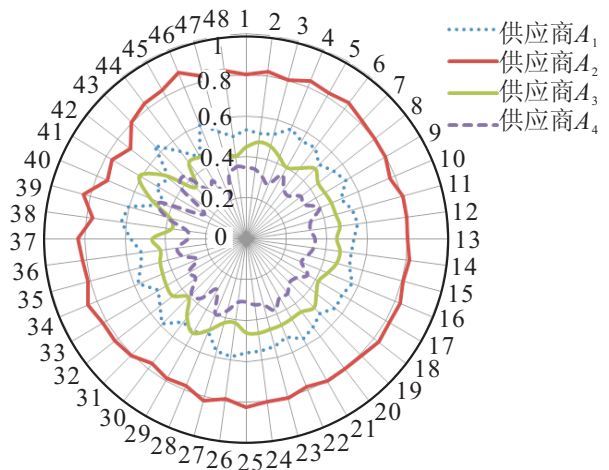


图4 TOPSIS方法敏感性分析结果

## 7 结论

本文在对供应商选择评价准则研究的基础上, 提取出已有文献中出现频率较高的评价准则, 针对各潜在供应商在评价准则下的评价值为多种数据类型混合, 定量准则下的评价值包括精确数、区间数, 定性准则下的评价值包括直觉模糊数、语言变量等, 提出了一种新的混合型多准则群决策方法. 将多种混合数据进行转换和规范化处理, 通过信任度函数结合熵权法分别对决策者和评价准则进行客观赋权, 并将直觉模糊集理论与VIKOR方法相结合构建评价模型. 所提出方法有效避免了不同形式信息转换为同一形式造成的信息损失, 克服了决策过程中的双重不确定性, 在追求群效用最大化的同时可以保证个体遗憾最小. 最后结合案例表明了评价准则和决策方法的有效性, 其敏感性分析结果表明所提出方法的稳定性较好.

### 参考文献(References)

- [1] Liao C N, Kao H P. An integrated fuzzy TOPSIS and mcgp approach to supplier selection in supply chain management[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(9): 10803-10811.
- [2] De Boer L, Labro E, Morlacchi P. A review of methods supporting supplier selection[J]. European J of Purchasing & Supply Management, 2001, 7(2): 75-89.
- [3] Shahadat K. Supplier choice criteria of executing agencies in developing countries[J]. Int J of Public Sector Management, 2003, 16(4): 261-285.
- [4] Ho W, Xu X, Dey P K. Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A

- literature review[J]. *European J of Operational Research*, 2010, 202(1): 16-24.
- [5] Vahdani B, Zandieh M. Selecting suppliers using a new fuzzy multiple criteria decision model: The fuzzy balancing and ranking method[J]. *Int J of Production Research*, 2010, 48(18): 5307-5326.
- [6] Seydel J. Supporting the paradigm shift in vendor selection: Multicriteria methods for sole-sourcing[J]. *Managerial Finance*, 2005, 31(3): 49-66.
- [7] Roodhooft F, Konings J. Vendor selection and evaluation an activity based costing approach[J]. *European J of Operational Research*, 1997, 96(1): 97-102.
- [8] Punniyamoorthy M, Mathiyalagan P, Parthiban P. A strategic model using structural equation modeling and fuzzy logic in supplier selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(1): 458-474.
- [9] Wu T, Shunk D, Blackhurst J. Aidea: A methodology for supplier evaluation and selection in a supplier-based manufacturing environment[J]. *Int J of Manufacturing Technology and Management*, 2007, 11(2): 174-192.
- [10] Karpak B, Kumcu E, Kasuganti R R. Purchasing materials in the supply chain: Managing a multi-objective task[J]. *European J of Purchasing & Supply Management*, 2001, 7(3): 209-216.
- [11] Wang J W, Cheng C H, Huang K C. Fuzzy hierarchical TOPSIS for supplier selection[J]. *Applied Soft Computing*, 2009, 9(1): 377-386.
- [12] Amid A, Ghodsypour S H, O'brien C. Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain[J]. *Int J of Production Economics*, 2006, 104(2): 394-407.
- [13] Choy K L, Lee W B, Lau H C W. A knowledge-based supplier intelligence retrieval system for outsource manufacturing[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2005, 18(1): 1-17.
- [14] Ding H, Benyoucef L, Xie X. A simulation optimization methodology for supplier selection problem[J]. *Int J of Computer Integrated Manufacturing*, 2005, 18(2/3): 210-224.
- [15] Ramanathan R. Supplier selection problem: Integrating dea with the approaches of total cost of ownership and ahp[J]. *Supply Chain Management: An Int J*, 2007, 12(4): 258-261.
- [16] Lau H C W, Lee C K M, Ho G T S. A performance benchmarking system to support supplier selection[J]. *Int J of Business Performance Management*, 2006, 8(2): 132-151.
- [17] Sanayei A, Farid Mousavi S, Yazdankhah A. Group decision making process for supplier selection with vikor under fuzzy environment[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(1): 24-30.
- [18] Shemshadi A, Shirazi H, Toreihi M. A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(10): 12160-12167.
- [19] 吴坚, 曹清玮, 李辉. 模糊环境决策下基于Cowa算子的绿色供应商选择方法[J]. *管理工程学报*, 2010, 24(3): 61-65.  
(Wu J, Cao Q W, Li H. A method for choosing green supplier based on Cowa operator under fuzzy linguistic decision-making[J]. *J of Industrial Engineering*, 2010, 24(3): 61-65.)
- [20] Dickson G W. An analysis of vendor selection systems and decisions[J]. *J of Purchasing*, 1966, 2(1): 5-17.
- [21] Weber C A, Current J R, Benton W C. Vendor selection criteria and methods[J]. *European J of Operational Research*, 1991, 50(1): 2-18.
- [22] Lam K C, Tao R, Lam M C K. A material supplier selection model for property developers using fuzzy principal component analysis[J]. *Automation in Construction*, 2010, 19(5): 608-618.
- [23] Khaleie S, Fasanghari M, Tavassoli E. Supplier selection using a novel intuitionist fuzzy clustering approach[J]. *Applied Soft Computing*, 2012, 12(6): 1741-1754.
- [24] Lee A H I. A fuzzy supplier selection model with the consideration of benefits, opportunities, costs and risks[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(2): 2879-2893.
- [25] Vahdani B, Iranmanesh S H, Mousavi S M. A locally linear neuro-fuzzy model for supplier selection in cosmetics industry[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2012, 36(10): 4714-4727.
- [26] Chang B, Hung H F. A study of using rst to create the supplier selection model and decision-making rules[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(12): 8284-8295.
- [27] Guneri A F, Yucel A, Ayyildiz G. An integrated fuzzy-Lp approach for a supplier selection problem in supply chain management[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(5): 9223-9228.
- [28] Sanayei A, Farid Mousavi S, Abdi M R. An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming[J]. *J of the Franklin Institute*, 2008, 345(7): 731-747.
- [29] Shen C Y, Yu K T. Enhancing the efficacy of supplier selection decision-making on the initial stage of new product development: A hybrid fuzzy approach considering the strategic and operational factors simultaneously[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(8): 11271-11281.

- [30] Chu T C, Varma R. Evaluating suppliers via a multiple levels multiple criteria decision making method under fuzzy environment[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 62(2): 653-660.
- [31] Kilincci O, Onal S A. Fuzzy ahp approach for supplier selection in a washing machine company[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(8): 9656-9664.
- [32] Ustun O, Demirtas E A. Multi-period lot-sizing with supplier selection using achievement scalarizing functions[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2008, 54(4): 918-931.
- [33] Chen L Y, Wang T C. Optimizing partners' choice in is/it outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR[J]. *Int J of Production Economics*, 2009, 120(1): 233-242.
- [34] Yang C C, Chen B S. Supplier selection using combined analytical hierarchy process and grey relational analysis[J]. *J of Manufacturing Technology Management*, 2006, 17(7): 926-941.
- [35] Wang G, Huang S H, Dismukes J P. Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology[J]. *Int J of Production Economics*, 2004, 91(1): 1-15.
- [36] Ebrahim R M, Razmi J, Haleh H. Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment[J]. *Advances in Engineering Software*, 2009, 40(9): 766-776.
- [37] Peng J. Selection of Logistics outsourcing service suppliers based on ahp[J]. *Energy Procedia*, 2012, 17(1): 595-601.
- [38] Zouggari A, Benyoucef L. Simulation based fuzzy TOPSIS approach for group multi-criteria supplier selection problem[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2012, 25(3): 507-519.
- [39] Guo X, Yuan Z, Tian B. Supplier selection based on hierarchical potential support vector machine[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3): 6978-6985.
- [40] Bhattacharya A, Geraghty J, Young P. Supplier selection paradigm: An integrated hierarchical qfd methodology under multiple-criteria environment[J]. *Applied Soft Computing*, 2010, 10(4): 1013-1027.
- [41] Chen Y H, Chao R J. Supplier selection using consistent fuzzy preference relations[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(3): 3233-3240.
- [42] Aydın Keskin G, İlhan S, Özkan C. The fuzzy art algorithm: A categorization method for supplier evaluation and selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2010, 37(2): 1235-1240.
- [43] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 1986, 20(1): 87-96.
- [44] Szmidt E, Kacprzyk J. Distances between intuitionistic fuzzy sets[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 114(3): 505-518.
- [45] Wang W, Xin X. Distance measure between intuitionistic fuzzy sets[J]. *Pattern Recognition Letters*, 2005, 26(13): 2063-2069.
- [46] Zhang S, Liu S. A gra-based intuitionistic fuzzy multi-criteria group decision making method for personnel selection[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(9): 11401-11405.
- [47] Opricovic S, Tzeng G H. Compromise solution by mcdm methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS[J]. *European J of Operational Research*, 2004, 156(2): 445-455.
- [48] Liang Chang-yong, Zhang En-qiao, Qi Xiao-wen, et al. A method of multi-attribute group decision making with incomplete hybrid assessment information[J]. *Chinese J of Management Science*, 2009, 17(4): 126-132.
- [49] Chen Y, Li B. Dynamic multi-attribute decision making model based on triangular intuitionistic fuzzy numbers[J]. *Scientia Iranica*, 2011, 18(2): 268-274.
- [50] Simanaviciene R, Ustinovichius L. Sensitivity analysis for multiple criteria decision making methods: TOPSIS and saw[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2010, 2(6): 7743-7744.

(责任编辑: 郑晓蕾)