



# Credit Risk Evaluation of Chip Manufacturing Listed Companies Based on Fermatean Fuzzy VIKOR Method

Yu-tong Luo<sup>1,2</sup>, Mu Zhang<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Big Data Application and Economics, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang (550025), Guizhou, China

<sup>2</sup> Guizhou Institution for Technology Innovation & Entrepreneurship Investment, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang (550025), Guizhou, China

\*Corresponding author. Email: zhangmu01@163.com

## ABSTRACT

China's chip manufacturing technology has made great strides forward, and the study of credit risk of chip manufacturing listed companies can better perceive their risk status and provide more valuable decision-making information for both companies and investors. In response to the existing fuzzy language interpretation space is insufficient, this paper proposes a credit risk evaluation method based on Fermatean fuzzy VIKOR method. And the effectiveness of this method is demonstrated by example with the credit risk of chip manufacturing enterprises. First, the entropy weight method is applied to determine the attribute weight coefficients. Then, the decision matrix is evaluated by experts, and this evaluation needs to satisfy the Fermatean fuzzy constraint. Then, the VIKOR method is applied to rank the credit merits of the company in the Fermatean fuzzy environment. Finally, the Fermatean fuzzy and Pythagorean fuzzy VIKOR methods are compared. The results show that the Fermatean fuzzy VIKOR method has better differentiation and stronger credit risk assessment ability.

**Keywords:** Fermatean Fuzzy, VIKOR, The Entropy Weight Method, Credit Risk Assessment.

## 基于 Fermatean 模糊 VIKOR 法的芯片制造上市公司信用风险评价研究

罗宇彤<sup>1,2</sup>, 张目<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 贵州财经大学 大数据应用与经济学院, 中国 贵州 贵阳 550025

<sup>2</sup> 贵州财经大学 贵州科技创新创业投资研究院, 中国 贵州 贵阳 550025

\* 通讯作者. 电子邮箱: zhangmu01@163.com

## 摘要

我国芯片制造技术大跨步向前, 对芯片制造上市公司的信用风险研究能更好地感知其风险状态, 为企业和投资者双方提供更有价值的决策信息。针对现有模糊语言解释空间不足的现象, 本文提出了基于 Fermatean 模糊 VIKOR 法的信用风险评价方法。并以芯片制造企业的信用风险为例, 实例证明了本方法的有效性。首先, 运用熵权法确定属性权重系数。然后, 由专家评估出决策矩阵, 且该评价需满足 Fermatean 模糊约束。接着, 在 Fermatean 模糊的环境下运用 VIKOR 方法对公司信用优劣进行排序。最后, 对 Fermatean 模糊和勾股模糊的 VIKOR 法进行了对比。结果显示 Fermatean 模糊 VIKOR 法的区分度更好, 具有更强的信用风险评估能力。

**关键字:** Fermatean 模糊, VIKOR, 熵权法, 信用风险评价。

## 1. 引言

当前中国各行各业正在加快产业升级和数字化转型, 5G、人工智能、边缘计算等新一代信息技术的集成应用为芯片产业带来了广阔的前景。我国的芯片制造技术在大跨步向前迈进, 追求精益求精。芯片制造型企业有着研发剪集度高、创新剪效率高、人员素质高的独特优势, 但也需更多的研发资金投入。对芯片制造上市公司信用风险评价研究将能更好的衡量芯片制造企业的风险状态, 为企业和投资者提供更有价值的决策信息, 以提高市场交易的有效性和精准性。

目前针对上市公司信用风险评价的研究方法种类众多。最为传统的是专家方法, 例如较著名的“5C”要素分析法。其次是较早期使用的一些信用评分模型, 如 z-score (Altman<sup>[1]</sup>, 1968)、偏最小二乘法 (魏秋萍<sup>[2]</sup>2012)、多元线性判别模型 (张成虎<sup>[3]</sup>, 2009) 等。以及通过数理统计原理和大数据技术建立模型, 以分值的形式衡量其信用风险的大小, 例如 Logit 模型、神经网络方法等。随着技术的广泛应用, 越来越多的学者利用机器学习的方法进行信用风险评价, 例如基于 BPNN-LDAMCE 的信用评级模型 (杨莲<sup>[4]</sup>2022)、基于跳跃-扩散 KMV 模型的信用风险评估 (王佳<sup>[5]</sup>, 2022)、基于 ANN 和 DNN 的信用风险综合预测 (Mahbobi<sup>[6]</sup>, 2021) 等。

另一些研究者尝试运用模糊分析法和综合评价法解决信用风险评价中的多属性决策 (MCDM) 问题。这些研究者认为, 模糊的评价语言将更多包含人进行决策时的犹豫情感, 将更加准确反应每次决策时的不同程度情感变化。李德清<sup>[7]</sup> (2017) 将勾股模糊集的距离测度运用在了多属性决策问题中; 贺晓宇<sup>[8]</sup> (2020) 运用 TOPSIS 方法对评审专家信用进行评价; Roy<sup>[9]</sup> (2022) 运用模糊-TOPSIS-Sort-C 改进了传统 TOPSIS 方法的信用评级排序环节, 提升了评价模型的有效性和真实性。

而本文所提出的基于 Fermatean 模糊 VIKOR 的信用风险评价方法, 是对运用模糊集和综合评级方法基础上的改进和创新。在目前已有的研究中, 大多采用的是直觉模糊集和勾股模糊集, De<sup>[10]</sup> (2019) 和 Khan<sup>[11]</sup> (2018) 采用直觉模糊层次分析法和勾股模糊集 VIKOR 法对多属性决策问题进行研究。而这两种模糊集对决策评价的描述精度和范围还不够广, 难以满足对决策评价进行刻画的准确性需求。Senapati<sup>[12]</sup> (2019) 提出的费马模糊集很好的弥补这一空白, 扩展了对决策评价描述的不确定性范围。本文提出的基于 Fermatean 模糊 VIKOR 的信用风险评价方法将对芯片制造企业的信用进行更加准确的描述。希望本文对上市公司信用风险评价的研究及结论对相关单位衡量企业信用具有一定的帮助。

## 2. 预备知识

### 2.1. 相关定义

定义 1(Zedah<sup>[13]</sup>, 1965) 设  $X$  为论域,  $A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid 0 \leq \mu_A(x) \leq 1, x \in X \}$  称为  $X$  上的一个模糊集, 其中  $\mu_A(x)$  表示  $X$  中元素  $x$  属于  $A$  的隶属度。

定义 2(Atanassov<sup>[14]</sup>, 1986) 设  $X$  为论域,  $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid 0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1, x \in X \}$  称为  $X$  上的一个直觉模糊集, 其中  $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$ ,  $\nu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$  为  $X$  上的模糊集。  $\mu_A(x)$  和  $\nu_A(x)$  分别表示  $X$  上元素  $x$  属于  $A$  的隶属度和非隶属度。

定义 3(Yager<sup>[15]</sup>, 2013) 设  $X$  为论域, 则称三元组  $A = \{ \langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle \mid x \in X \}$  为毕达哥拉斯模糊集,  $\mu_A(x)$  和  $\nu_A(x)$  表示  $X$  上元素  $x$  属于  $A$  的隶属度和非隶属度,  $\forall x \in X, \mu_A(x), \nu_A(x) \in [0, 1], \mu_A(x)^2 + \nu_A(x)^2 \leq 1$ 。

定义 4(Senapati<sup>[12]</sup>, 2019) 设  $X$  为论域,  $F = \{ \langle x, \alpha_F(x), \beta_F(x) \rangle \mid x \in X \}$  称为  $X$  上的一个 Fermatean 模糊集 (FFS)。其中  $\alpha_F(x): X \rightarrow [0, 1]$  且  $\beta_F(x): X \rightarrow [0, 1]$ 。同时对于所有的  $x \in X$ , 要满足  $0 \leq (\alpha_F(x))^3 + (\beta_F(x))^3 \leq 1$ 。  $\alpha_F(x)$  和  $\beta_F(x)$  表示元素  $x$  属于  $F$  的隶属度和非隶属度。

对  $\forall$  FFS  $F$  和  $x \in X$ ,  $\pi_F(x) = \sqrt[3]{1 - (\alpha_F(x))^3 - (\beta_F(x))^3}$ ,  $\pi_F(x)$  表示元素  $x$  属于  $F$  的不确定度或犹豫度。为了简单起见, 我们将使用符号  $F = (\alpha_F, \beta_F)$  表示 FFS  $F = \{ \langle x, \alpha_F(x), \beta_F(x) \rangle \mid x \in X \}$ 。

Fermatean 模糊集是在勾股模糊集上的拓展。勾股模糊集要求隶属度和非隶属度的平方和介于 0 到 1 之间, 而 Fermatean 模糊集需要隶属度和非隶属度的立方和介于 0 到 1 之间。因此 Fermatean 模糊集将能包含的信息内容更多, 使得决策评价的不确定性或犹豫度得到更充分的表达。例如, 当某个备选方案满足某项属性条件的隶属度为 0.8, 其非隶属度为 0.7, 则对于直觉模糊集  $0.8 + 0.7 > 1$  不满足条件, 对于勾股模糊集  $0.8^2 + 0.7^2 > 1$  不满足条件, 此时可以用 Fermatean 模糊集  $0.8^3 + 0.7^3 < 1$  满足条件。

定义 5(Senapati<sup>[12]</sup>, 2019) 令  $F = (\alpha_F, \beta_F)$  为 Fermatean 模糊集, 则  $F$  的得分函数表示为公式 1:

$$\text{Score}(F) = \alpha_F^3 - \beta_F^3 \quad (1)$$

对于任意的 FFS  $F = (\alpha_F, \beta_F)$ ,  $\text{Score}(F) \in [-1, 1]$ 。

### 2.2. 传统 VIKOR 方法的基本思想

VIKOR 是一种多准则决策方法, 侧重于从一组备选方案中进行排序和选择, 对多属性之间具有冲突的问题确定折衷解决方案, 从而帮助决策者达成最终解决方案。设  $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  为  $m$  个备选方案集,  $\{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  为  $n$  个冲突属性集。设  $(w_1, w_2, \dots, w_n)$  为属

性的权重向量, 表示决策者认为属性的相对重要性, 且  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。设  $f_{ij}$  为备选方案  $A_i$  相对于属性  $C_j$  的评价值。VIKOR 使用  $L_p^-$  度量, 见公式 2。  $f_j^* = \max_i f_{ij}$ ,  $f_j^- = \min_i f_{ij}$  是第  $j$  个指标的正理想解和负理想解。

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^n \left[ \frac{w_j (f_j^* - f_{ij})}{f_j^* - f_j^-} \right]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, 1 \leq p \leq \infty, i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

### 2.3. 熵权法

本文采用熵权法确定属性的权重向量(朱喜安<sup>[16]</sup>, 2015), 具体步骤如下:

步骤 1 根据公式 3, 计算第  $i$  个评价对象在第  $j$  个评价指标上的指标值比值。

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \quad (3)$$

步骤 2 根据公式 4, 计算第  $j$  个评价指标熵权。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), 0 \leq e_j \leq 1 \quad (4)$$

步骤 3 根据公式 5, 计算  $x_j$  的差异系数。

$$g_j = 1 - e_j \quad (5)$$

步骤 4 根据公式 6, 确定权重系数。

$$w_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}, j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

我们假定所有评价指标均为正指标, 对于负指标通过标准化转为正指标。若为中间型指标  $\{x_i\}$ , 且最佳的数值为  $x_{best}$ , 则根据公式 7-8 转为正指标。

$$M = \max \{|x_i - x_{best}|\} \quad (7)$$

$$\hat{x}_i = 1 - \frac{|x_i - x_{best}|}{M} \quad (8)$$

### 3. FERMATEAN 模糊 VIKOR 方法的多属性决策

本文中, 我们将 VIKOR 方法扩展到 Fermatean 模糊集 (FFS)。该方法扩展了模糊语言的表达空间, 增加了评价者偏好、想法和专业方面的知识表达自由。在决策者无法精确地确定其偏好的情况下, 能为决策者提供群体最大效用和个人最小遗憾的折衷决策方案。Fermatean 模糊 VIKOR 法是基于最大化相对贴近度的思想, 通过熵权法确定最佳属性权重来解决多属性决策 (MADM) 问题。其具体步骤如下:

步骤 1 构建决策矩阵。决策矩阵中的元素体现了备选方案对各属性的评价信息, 首先构建 Fermatean 模糊决策矩阵。

设有  $m$  个备选方案  $X_i (i = 1, 2, \dots, m)$ ,  $n$  个评价属性

$C_j (j = 1, 2, \dots, n)$  和  $n$  个权重  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , 且  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。每个备选方案  $X_i$  对属性  $C_j$  评价信息为  $C_j(X_i) = (u_{ij}, v_{ij})$ , 其中隶属度  $u_{ij}$  为决策矩阵中备选方案  $X_i$  满足属性  $C_j$  的程度, 非隶属度  $v_{ij}$  为备选方案  $X_i$  不满足  $C_j$  的程度。构建 Fermatean 模糊决策矩阵  $R = (C_j(X_i))_{m \times n}$ , 见公式 9。对  $\forall u_{ij}, v_{ij}$ , 需满足  $0 \leq u_{ij}^3 + v_{ij}^3 \leq 1$ 。

$$R = (C_j(X_i))_{m \times n} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ X_1 & (u_{11}, v_{11}) & (u_{12}, v_{12}) & \dots & (u_{1n}, v_{1n}) \\ X_2 & (u_{21}, v_{21}) & (u_{22}, v_{22}) & \dots & (u_{2n}, v_{2n}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_m & (u_{m1}, v_{m1}) & (u_{m2}, v_{m2}) & \dots & (u_{mn}, v_{mn}) \end{matrix} \quad (9)$$

步骤 2 根据公式 10 计算每个评价的得分  $X_{ij}$ 。

$$X_{ij} = u_{ij}^3 - v_{ij}^3 \quad (10)$$

步骤 3 确定正理想解和负理想解。  $X^+$  和  $X^-$  分别表示 Fermatean 模糊决策正理想解 (FFPIS) 和负理想解 (FFNIS)。最好的方案要离 FFPIS 最近, 离 FFNIS 最远, 通过公式 11-12 计算得  $X^+$  和  $X^-$ 。

$$X^+ = \begin{cases} \max_i \langle \text{score}(C_j(X_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n, \\ \text{如果 } X_i \text{ 是效益型属性} \\ \min_i \langle \text{score}(C_j(X_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n, \\ \text{如果 } X_i \text{ 是成本型属性} \end{cases} = \{X_1^+, X_2^+, \dots, X_n^+\} \quad (11)$$

$$X^- = \begin{cases} \min_i \langle \text{score}(C_j(X_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n, \\ \text{如果 } X_i \text{ 是效益型属性} \\ \max_i \langle \text{score}(C_j(X_i)) \rangle | j = 1, 2, \dots, n, \\ \text{如果 } X_i \text{ 是成本型属性} \end{cases} = \{X_1^-, X_2^-, \dots, X_n^-\} \quad (12)$$

步骤 4 根据公式 13 和公式 14 计算最大群体效益值  $S_i$  和最小个体遗憾值  $R_i$ 。  $S_i$  是加权归一化的曼哈顿距离,  $R_i$  是加权归一化的切比雪夫距离。

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

$$R_i = \max_j w_j \left( \frac{x_j^+ - x_{ij}}{x_j^+ - x_j^-} \right), i = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

步骤 5 根据公式 15-17 计算利益比率值  $Q_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 。

$$Q_i = v \frac{S_i - S^+}{S^- - S^+} + (1 - v) \frac{R_i - R^+}{R^- - R^+} \quad (15)$$

$$S^+ = \max_i S_i; S^- = \min_i S_i \quad (16)$$

$$R^+ = \max_i R_i; R^- = \min_i R_i \quad (17)$$

其中, 参数  $v \in (0,1)$  为折衷系数。当  $v > 0.5$  时, 表示以最大群体效用为策略依据; 当  $v < 0.5$  时, 以最小个体后悔效用为决策依据; 通常取  $v = 0.5$ 。我们可以理解为 Fermatean 模糊折衷测度集成了两部分: 前一部分是群体效用的距离; 后一部分是个人遗憾的距离。Fermatean 模糊折衷测度的值越小, 备选方案就越优越, 上市公司信用就越好。所以我们需要在  $Q_i (i=1,2,\dots,m)$  之间选择值最小的一个。

步骤 6: 根据  $S_i, R_i$  和  $Q_i$  升序排列备选方案  $X_i$ 。

步骤 7: 按  $Q$  值升序排列, 如果备选方案  $X'$  排名第一, 并满足以下两个条件, 确定其为折衷方案:

条件 1 可接受决策:  $Q(X'') - Q(X') \geq \frac{1}{m-1}$ , 其中  $X''$  是在  $Q$  值升序排列中排名第二的备选方案。

条件 2 可接受决策的稳定性: 备选方案  $X''$  必须至少在  $S_i, R_i$  其中之一排名第一。

如果备选方案  $X'$  同时满足条件 1 和 2, 则其为最佳方案; 如果不满足条件 2, 则  $\{X', X''\}$  为其折衷解集; 如果不满足条件 1, 则  $\{X', X'', \dots, X^m\}$  为其折衷解集, 其中, 由  $Q(X^m) - Q(X') < \frac{1}{m-1}$  确定  $m$  的最大值。

## 4. 实例分析

研究基于 Fermatean 模糊 VIKOR 法的上市公司信用风险评价时, 将所选的样本企业作为备选方案, 将所筛选的评价指标作为属性条件。在专家对相关企业是否满足某项指标的隶属度和非隶属度进行评价时, 该隶属度和非隶属度需满足 Fermatean 模糊数的约束条件。Fermatean 模糊数的环境下, 将能更好的反映出评价者评价时即肯定又犹豫的心态。同时, 运用 VIKOR 法对公司信用进行评价, 能够有效缓解不同评价指标之间相互冲突, 使得评价者得出折衷方案。

### 4.1. 样本选择与数据来源

在芯片企业的供产销过程中, 属于制造环节的主要是 PCB 和分立器件业务。本文将上市芯片企业中业务主要是这两个环节的企业分为芯片制造企业。根据同花顺的概念板块和行业板块分类, 选择所属概念是芯片, 所属行业是 PCB 或分立器件的企业。样本公司数据来自 CSMAR 和 CCER。选择 2020 年上市的芯片制造企业, 其中 10 家企业作为有效样本。

### 4.2. 指标选取

本文参考中国工商银行企业信用评价指标体系, 结合芯片制造公司作为科技型企业的点, 从定性和定量, 选择了 8 个二级指标和 18 个三级指标, 确定了每个指标是属于效益型、成本型还是中间型。

对中间型指标运用公式 7-8 转为效益型。再将所有指标标准化, 去除量纲影响。最后通过熵权法, 确定 18 个指标的权重系数。具体指标数据详见表 1。

表 1 (指标选取)

一级指标	二级指标	三级指标	指标编号	指标类型	权重
定量指标	偿债能力	流动比率	X1	中间型	2.18%
		速动比率	X2	中间型	2.20%
		资产负债率	X3	成本型	4.71%
	盈利能力	流动资产周转率	X4	效益型	4.82%
		固定资产周转	X5	效益型	4.73%
		总资产周转率	X6	效益型	4.12%
	营运能力	销售毛利率	X7	效益型	6.46%
		净资产收益率	X8	效益型	5.65%
		总资产净利率	X9	效益型	4.60%
	成长能力	净利润增长率	X10	效益型	3.84%
		主营业务收入增长率	X11	效益型	2.73%
		主营业务利润增长率	X12	效益型	4.56%
定性指标	科技创新能力	研发费用	X13	效益型	12.64%
		无形资产增长率	X14	效益型	4.76%
		发明专利申请公布数	X15	效益型	11.05%
	公司治理因素	外部独立董事规模	X16	效益型	10.95%
		股权结构因素	前十大股东的持股比例	X17	效益型
	企业规模	企业总资产对数	X18	效益型	5.62%

### 4.3. 芯片制造上市公司信用风险评价研究

步骤 1 将指标数据标准化后, 我们邀请行业专家使用 Fermatean 模糊数对公司的每项指标进行评估, 从而构建 Fermatean 模糊决策矩阵, 如表 2:

步骤 2 根据公式 1 确定每个 Fermatean 模糊数的得分, 结果见表 3。

步骤 3 根据公式 11-12 确定正负理想解。

$$X^+ = \left\{ \begin{array}{l} 0.45, 0.48, 0.45, 0.54, -0.32, 0.54, 0.51, 0.5, 0.43, \\ 0.39, 0.46, 0.41, 0.38, 0.4, 0.54, 0.37, -0.04, 0.37 \end{array} \right\}$$

$$X^- = \left\{ \begin{array}{l} -0.67, -0.43, -0.49, -0.68, -0.71, -0.5, -0.59, -0.59, -0.63 \\ -0.62, -0.35, -0.55, -0.68, -0.49, -0.71, -0.71, -0.69, -0.58 \end{array} \right\}$$

步骤 4 根据公式 13, 14 计算  $S_i$  和  $R_i$ 。令  $v = 0.5$ , 根据公式 15-17 计算利益比率值  $Q_i$ 。得到结果表 4。

步骤 5 确定折衷方案。表 5  $Q_i$  最小的是 002916。

表 2 (Fermatean 模糊决策矩阵)

指标	002079	002463	002916	300046	300373
X1	(0.76,0.62)	(0.84,0.53)	(0.82,0.63)	(0.67,0.61)	(0.85,0.55)
X2	(0.73,0.62)	(0.85,0.61)	(0.85,0.52)	(0.67,0.61)	(0.83,0.48)
X3	(0.69,0.73)	(0.48,0.84)	(0.32,0.79)	(0.76,0.66)	(0.56,0.73)
X4	(0.51,0.68)	(0.7,0.75)	(0.85,0.43)	(0.32,0.76)	(0.63,0.68)
X5	(0.41,0.74)	(0.29,0.8)	(0.25,0.69)	(0.35,0.85)	(0.28,0.75)
X6	(0.78,0.69)	(0.82,0.49)	(0.85,0.43)	(0.48,0.77)	(0.67,0.73)
X7	(0.2,0.77)	(0.42,0.7)	(0.33,0.84)	(0.34,0.86)	(0.48,0.85)
X8	(0.34,0.73)	(0.85,0.48)	(0.84,0.59)	(0.32,0.82)	(0.54,0.66)
X9	(0.39,0.77)	(0.83,0.53)	(0.64,0.71)	(0.35,0.88)	(0.58,0.73)
X10	(0.5,0.66)	(0.63,0.69)	(0.65,0.72)	(0.29,0.86)	(0.85,0.61)
X11	(0.45,0.7)	(0.52,0.66)	(0.55,0.69)	(0.83,0.51)	(0.75,0.68)
X12	(0.5,0.66)	(0.61,0.73)	(0.65,0.63)	(0.3,0.83)	(0.85,0.59)
X13	(0.26,0.7)	(0.53,0.77)	(0.85,0.62)	(0.2,0.8)	(0.3,0.83)
X14	(0.32,0.69)	(0.37,0.72)	(0.44,0.83)	(0.37,0.72)	(0.45,0.75)
X15	(0.29,0.77)	(0.24,0.9)	(0.85,0.43)	(0.2,0.8)	(0.48,0.75)
X16	(0.54,0.83)	(0.2,0.73)	(0.2,0.83)	(0.35,0.78)	(0.54,0.75)
X17	(0.29,0.73)	(0.35,0.88)	(0.55,0.78)	(0.25,0.84)	(0.48,0.75)
X18	(0.44,0.83)	(0.78,0.71)	(0.85,0.63)	(0.2,0.77)	(0.54,0.77)

指标	300623	300739	300831	600360	603290
X1	(0.73,0.61)	(0.79,0.63)	(0.2,0.88)	(0.83,0.58)	(0.58,0.65)
X2	(0.67,0.65)	(0.76,0.68)	(0.2,0.76)	(0.84,0.49)	(0.61,0.79)
X3	(0.77,0.6)	(0.36,0.72)	(0.85,0.55)	(0.26,0.7)	(0.71,0.63)
X4	(0.3,0.89)	(0.44,0.68)	(0.2,0.74)	(0.28,0.87)	(0.53,0.66)
X5	(0.23,0.9)	(0.26,0.89)	(0.2,0.9)	(0.23,0.89)	(0.36,0.8)
X6	(0.38,0.78)	(0.53,0.83)	(0.2,0.78)	(0.28,0.8)	(0.82,0.51)
X7	(0.76,0.58)	(0.38,0.74)	(0.85,0.47)	(0.21,0.79)	(0.44,0.78)
X8	(0.51,0.75)	(0.46,0.7)	(0.31,0.7)	(0.23,0.85)	(0.8,0.56)
X9	(0.61,0.67)	(0.44,0.73)	(0.36,0.74)	(0.22,0.74)	(0.85,0.57)
X10	(0.79,0.5)	(0.57,0.63)	(0.42,0.77)	(0.45,0.83)	(0.74,0.61)
X11	(0.85,0.54)	(0.56,0.64)	(0.2,0.71)	(0.51,0.69)	(0.68,0.76)
X12	(0.78,0.57)	(0.57,0.66)	(0.37,0.83)	(0.44,0.69)	(0.77,0.59)
X13	(0.25,0.76)	(0.24,0.82)	(0.2,0.85)	(0.25,0.88)	(0.26,0.71)
X14	(0.69,0.72)	(0.85,0.6)	(0.2,0.78)	(0.38,0.8)	(0.38,0.74)
X15	(0.24,0.82)	(0.23,0.71)	(0.23,0.9)	(0.37,0.73)	(0.26,0.77)
X16	(0.2,0.8)	(0.54,0.68)	(0.2,0.9)	(0.85,0.63)	(0.54,0.72)
X17	(0.48,0.73)	(0.59,0.63)	(0.6,0.71)	(0.2,0.89)	(0.61,0.7)
X18	(0.48,0.67)	(0.47,0.66)	(0.21,0.84)	(0.68,0.58)	(0.31,0.81)

对于条件 1 而言, Q 值中排第一的 002916 和排第二的 603290, 满足  $Q(300739) - Q(002916) \geq \frac{1}{10-1}$ 。对于条件 2 而言, 002916 的  $S_i$  排行第一, 满足条件 2。002916 同时满足条件 1 和 2, 002916 为最佳的折衷方案, 即 002916 芯片制造公司的信用风险评价是其中最好的, 信用风险是最低的。

观察 002916 的各项评价指标, 发现该企业的流动比率和速动比率非常接近 2 和 1, 资产负债率为 46.86%, 远低于临界值 75%, 可见 002916 的短期偿债能力较强。且其流动资产周转率、固定资产周转率、总资产周转率分别为 1.95, 2.15 和 0.88, 远超一般企业的 0.8 次, 该企业的长期偿债能力比较强劲。企业的各项盈利能力和成长能力在 10 家企业中

表 3 (Fermatean 模糊数得分)

指标	002079	002463	002916	300046	300373
X1	0.2	0.44	0.31	0.08	0.45
X2	0.15	0.39	0.48	0.08	0.46
X3	-0.05	-0.49	-0.46	0.15	-0.21
X4	-0.19	-0.08	0.54	-0.4	-0.06
X5	-0.33	-0.49	-0.32	-0.56	-0.4
X6	0.15	0.44	0.54	-0.35	-0.08
X7	-0.44	-0.28	-0.55	-0.59	-0.51
X8	-0.34	0.5	0.39	-0.52	-0.14
X9	-0.4	0.42	-0.1	-0.63	-0.19
X10	-0.16	-0.08	-0.1	-0.62	0.39
X11	-0.25	-0.15	-0.16	0.44	0.1
X12	-0.16	-0.16	0.03	-0.55	0.41
X13	-0.33	-0.3	0.38	-0.5	-0.55
X14	-0.29	-0.33	-0.49	-0.33	-0.33
X15	-0.44	-0.7	0.54	-0.5	-0.31
X16	-0.42	-0.38	-0.56	-0.42	-0.27
X17	-0.37	-0.63	-0.31	-0.59	-0.31
X18	-0.49	0.12	0.37	-0.44	-0.31

指标	300623	300739	300831	600360	603290
X1	0.16	0.25	-0.67	0.37	-0.08
X2	0.03	0.12	-0.43	0.47	-0.26
X3	0.24	-0.33	0.45	-0.33	0.1
X4	-0.68	-0.23	-0.39	-0.64	-0.14
X5	-0.71	-0.7	-0.71	-0.68	-0.47
X6	-0.42	-0.42	-0.46	-0.5	0.42
X7	0.24	-0.35	0.51	-0.48	-0.39
X8	-0.3	-0.24	-0.31	-0.59	0.34
X9	-0.07	-0.31	-0.37	-0.39	0.43
X10	0.37	-0.07	-0.39	-0.48	0.18
X11	0.46	-0.08	-0.35	-0.2	-0.13
X12	0.29	-0.11	-0.53	-0.24	0.26
X13	-0.43	-0.53	-0.6	-0.68	-0.35
X14	-0.04	0.4	-0.46	-0.46	-0.35
X15	-0.53	-0.34	-0.71	-0.34	-0.45
X16	-0.5	-0.16	-0.71	0.37	-0.22
X17	-0.28	-0.04	-0.15	-0.69	-0.11
X18	-0.19	-0.19	-0.58	0.12	-0.5

排名靠前。对权重较大的研发费用, 002916 在 10 家企业中排名第一。同时该企业 2020 年申请专利 116 项, 远超其他芯片制造企业。说明该企业非常重视科研投入, 且得到了不错的技术产出, 获得了比较好的盈利水平。因此 002916 是一家有发展潜力的企业, 其信用水平确实高于同类企业, 信用风险较低。

### 5. FERMATEAN 模糊 VIKOR 法与勾股模糊 VIKOR 法的比较

Fermatean 模糊数是对勾股模糊数的扩展和延伸, Fermatean 模糊集扩展了评价信息所能包含的范围, 使得评价者具有更多的犹豫评价空间。我们认为使用 Fermatean 模糊的 VIKOR 法应比基于勾股模糊的 VIKOR 法更加灵敏, 对信用风险评价的区分更加明显。

表 4 (评价结果)

股票代码	Si	Ri	Qi	排名
002079	0.65	0.09	0.34	3
002463	0.57	0.11	0.54	5
002916	0.36	0.09	0.09	1
300046	0.78	0.11	0.72	8
300373	0.57	0.11	0.55	6
300623	0.6	0.1	0.41	4
300739	0.62	0.11	0.58	7
300831	0.79	0.12	0.89	9
600360	0.72	0.13	0.91	10
603290	0.52	0.09	0.2	2

基于上述实例分析,本文通过区分度指标比较 Fermatean 模糊和勾股模糊 VIKOR 法的优劣程度。计算任意两两方案之间区分度的平均值,结果见表 5。

表 5 (方法比较)

评价方法	平均区分度
Fermatean 模糊 VIKOR 法	47.34%
勾股模糊 VIKOR 法	40.01%

## 6. 结论

本文提出了一种基于 Fermatean 模糊 VIKOR 法的上市公司信用风险评价方法。该方法扩展了模糊语言的表达空间,增加了评价者的表达空间。在决策者无法精确地确定其偏好的情况下,为决策者提供群体最大效用和个人最小遗憾的折衷决策方案。对相互冲突的指标能够更恰当地运用模糊语言进行表达,对上市公司信用风险评价研究具有一定帮助。本文用熵权法计算权重。发现对芯片制造企业,非财务指标占比较重。科创能力、公司治理、股权结构和公司规模仅 6 项共占比 43.27%;而 12 项财务指标共占比 56.73%。其中,企业的科技创新能力占比超过 20%。相关金融机构在对其进行信用风险评估时,需重点关注企业的科技创新能力和非财务指标。最后,与勾股模糊相比,扩展了表达空间的 Fermatean 模糊 VIKOR 法对信用风险评价具有更好的评估能力,其信用风险评估结果更准确和可靠。

## 致谢

本研究得到国家自然科学基金地区项目“基于文本信息的科技型中小企业信用风险识别机理研究”(71861003)的资助。

## 参考文献

- [1] Altman, E. I. Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy[J]. The journal of finance, 1968, 23(4), 589-609.
- [2] 魏秋萍,张景肖.基于偏最小二乘方法的信用评分模型[J].统计与决策,2012(10):4-6.

- [3] 张成虎,李育林,吴鸣.基于判别分析的个人信用评分模型研究与实证分析[J].大连理工大学学报(社会科学版),2009,30(01):6-10.
- [4] 杨莲,石宝峰,迟国泰,董轶哲.非均衡数据下基于 BPNN-LDAMCE 的信用评级模型设计及应用[J].数量经济技术经济研究,2022,39(03):152-169.
- [5] 王佳,曹琼予.基于跳跃-扩散 KMV 模型的上市公司信用风险评估[J].技术经济,2022,41(01):160-168.
- [6] Mahbobi M, Kimiagari S, Vasudevan M. Credit risk classification: an integrated predictive accuracy algorithm using artificial and deep neural networks[J]. Annals of Operations Research. 2021 Jul 1:1-29.
- [7] 李德清,曾文艺,尹乾.勾股模糊集的距离测度及其在多属性决策中的应用[J].控制与决策,2017,32(10):1817-1823.
- [8] 贺晓宇.基于 TOPSIS 的科技项目评审专家信用评级模型研究[J].科技管理研究,2020,40(03):32-38.
- [9] Kumar Roy P, Shaw K, Ishizaka A. Developing an integrated fuzzy credit rating system for SMEs using fuzzy-BWM and fuzzy-TOPSIS-Sort-C[J]. Annals of Operations Research. 2022 Apr 30:1-33.
- [10] De G, Tan Z, Li M, Huang L, Wang Q, Li H. A credit risk evaluation based on intuitionistic fuzzy set theory for the sustainable development of electricity retailing companies in China[J]. Energy Science & Engineering. 2019 Dec;7(6):2825-41.
- [11] Khan M S A, Abdullah S, Ali A, et al. An extension of VIKOR method for multi-attribute decision-making under Pythagorean hesitant fuzzy setting[J]. Granular Computing, 2019, 4(3):421-434.
- [12] Senapati T, Yager RR. Fermatean fuzzy sets[J]. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2020 Feb;11(2):663-74.
- [13] Zadeh L A. Fuzzy sets[J]. Information & Control, 1965, 8(3):338-353.
- [14] Atanassov K T. Intuitionistic fuzzy sets[J]. Fuzzy Sets & Systems, 1986, 20(1):87-96.
- [15] Yager RR. Pythagorean fuzzy subsets[C]. In 2013 joint IFSA world congress and NAFIPS annual meeting (IFSA/NAFIPS) 2013 Jun 24 (pp. 57-61). IEEE.
- [16] 朱喜安,魏国栋.熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J].统计与决策,2015(02):12-15.

**Open Access** This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.

