

基于博弈论组合赋权和云模型的高校科技成果转化绩效评价研究

张 念¹, 徐建新², 桑秀丽³, 吕乘鸿¹

(1. 昆明理工大学 管理与经济学院, 昆明 650500; 2. 昆明理工大学 冶金与能源工程学院, 昆明 650500;
3. 昆明理工大学 云南产业发展研究院, 昆明 650500)

摘要:高校科技成果转化是我国高质量发展的重要新引擎,对其进行绩效评价的重要性日益凸显。面对评价过程中出现的不确定信息,引入云模型,提出了一种基于博弈论组合赋权和云模型的高校科技成果转化绩效评价模型,并采用 IKLCM(improved Kullback-Leibler divergence based on cloud model)法计算云相似度距离,得出评价结果。通过对西南地区 5 个省份的高校进行实证分析,结果表明,该模型综合考虑主客观因素,组合权重科学合理,绩效云模型评价能得到准确可靠的评价结果。

关键词:高校科技成果转化;绩效评价;云模型;博弈论;层次分析法;改进 CRITIC(criteria importance through inter-criteria correlation)法

中图分类号:G644 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)11-0098-08

在经济新常态的新时期发展背景下,科技成果转化在当今激烈的国际综合竞争力中发挥重要作用^[1]。高校作为科技成果转化提质增效的重要主体,其科技成果转化的绩效水平直接影响我国科技创新综合实力^[2]。高校科技成果转化具有多属性、多主体、多环节等特点,对其进行定量化的绩效综合评价,需要思考:一是不确定信息的转化及综合表达;二是模糊性和随机性的有效合成。

目前,国内外研究学者关于高校科技成果转化绩效的综合评价方法的研究丰富,较为常见的主要有模糊综合评价法、灰色系统综合评价法、数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)法、优劣解距离(techaique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)法等。陈辉等^[3]从转化条件、转化活动、转化成果三方面建立理工科高校科技成果转化绩效评价体系。李海刚等^[4]采用灰色综合评价法评价高校创新生态系统科技成果转化绩效。林超辉等^[5]通过变异系数法确定指标权重,并采用多准则妥协解排序(visekriterijumska optimizacija i kompromisno resenje, VIKOR)法对

地方高校科技成果转化发展性绩效进行评价。王虹燕和孙凤^[6]、钟卫和陈宝明^[7]、刘威和陈艾菊^[8]、阎为民和周飞跃^[9]从资源投入、成果产出、成果转化、转化环境等维度对样本高校的科技成果转化绩效进行评价。

以上方法为高校科技成果转化绩效研究奠定了基础,但研究考虑的因素大多集中于高校方的投入、产出,忽视了质量和综合绩效,造成评价信息的缺失,无法完整地表现评估的模糊性与随机性。组合赋权以其融合定性和定量两方面的优点,被广泛地应用于多属性决策问题^[10]、多指标综合评价^[11]等领域。云模型可以在兼顾随机性和模糊性的同时,很好地解决不确定信息处理的综合评价问题。

因此,提出一种基于博弈论组合权重和云模型的高校科技成果转化绩效评价模型,其中评价指标体系考虑多方主体并体现以质量、绩效、贡献为核心的导向^[12];权重设置方面运用基于博弈论的组合赋权方法,通过求解纳什均衡点得出融合主客观权重的组合权重值;再通过云模型实现对西南地区高

收稿日期:2023-01-14

基金项目:云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目“徐建新中青年学术和技术带头人后备人才”(2019HB004)。

作者简介:张念(1994—),女,河南驻马店人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向为数据挖掘、科技成果转化绩效评价;通信作者徐建新(1983—),男,山东青岛人,昆明理工大学冶金与能源工程学院,教授,研究方向为数据挖掘;桑秀丽(1980—),女,云南昆明人,昆明理工大学云南产业发展研究院,教授,研究方向为绩效评价;吕乘鸿(1998—),男,广西钦州人,昆明理工大学管理与经济学院,硕士研究生,研究方向为绩效评价。

校科技成果转化绩效的评价,为高校科技成果转化的绩效评价研究提高一个新的思路。

1 高校科技成果转化绩效评价指标体系构建

由于所处地域、自身实力、文化环境及技术要求等的差异,对不同地区的高校科技成果转化进行绩效评价,首先要建立科学全面的高校科技成果转化绩效评价指标体系。依据 GB/T 33450—2016、GB/T 39057—2020 等标准、相关机构研究报告和前人的研究成果^[13-16],初步构建出评价指标体系,再采用德尔菲法和实地调研对指标进行合理性验证,最终从政府支持力度、高校转化实力、市场发展潜力、科技成果质量、成果转化输出 5 个方面构建出包含 5 个一级指标(准则层)和 25 个二级指标(指标层)的高校科技成果转化绩效评价指标体系,如表 1 所示。

2 基于博弈论组合赋权和云模型的评价模型

2.1 基于博弈论的组合赋权

如何确定评价权重是综合评价模型中的关键步骤。评价指标权重的确定方法一般为主观和客

观赋权法。为保留两种方法的优势,拟采用主客观组合赋权法,主观赋权法采用层次分析法,客观赋权法采用改进的 CRITIC 法,并在二者基础上基于博弈论优化模型确定最终的组合指标权重。

2.1.1 层次分析法

层次分析法(analytic hierarchy process,AHP)采用较少的定量信息为多目标多准则决策问题提供解决思路^[17]。高校科技成果转化绩效评价体系具有明显的层级关系,属于多目标评价决策,因此采用 AHP 确定主观权重。

层次分析法的具体计算步骤如下:

- 1)构建层次结构模型,确定目标层、准则层和指标层。
- 2)构建同层次判断矩阵,根据专家打分法和 9 级标度方法^[18]建立判断矩阵。
- 3)进行矩阵的一致性检验。运用 MATLAB 软件求解判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max}$ 及其对应的特征向量 W ,根据 $\lambda_{\max}$ 计算出矩阵一致性指标 CI、一致性检验系数值 CR。当检验系数值 $CR < 0.1$ 时,即判断矩阵通过一致性检验,否则需对矩阵各评价指标的重要性进行修改并构造新的判断矩阵。

表 1 高校科技成果转化绩效评价指标体系

一级指标	二级指标	指标说明	指标特性
政府支持力度(U_1)	专项资金投入(U_{11})	政府建立的科技成果转化专项资金	定量
	知识产权保护(U_{12})	提供科技成果等知识产权保护措施程度	定性
	人才保障体系(U_{13})	对技术开发成果转化人才的激励引导程度	定性
	科技中介服务(U_{14})	搭建高校和企业、研究机构等合作的桥梁	定性
	区域经济环境(U_{15})	该省份的经济情况	定量
高校转化实力(U_2)	科技专业人才(U_{21})	R&D 成果应用及科技服务人员	定量
	专业化平台(U_{22})	研究与发展机构数量	定量
	科技研发经费(U_{23})	R&D 成果应用及科技服务项目经费	定量
	科技研发项目(U_{24})	R&D 成果应用及科技服务项目数量	定量
	科技交流(U_{25})	合作研究、国际学术交流活动	定量
市场发展潜力(U_3)	需求对接度(U_{31})	企业的需求是否与高校的科技成果研发进行有效对接	定性
	成果适应性(U_{32})	企业是否提供中试基地、资金	定性
	企业经费投入(U_{33})	企事业单位委托经费	定量
	校企合作度(U_{34})	企业与高校对技术进行工程化研究和中试实验的情况	定性
	高校的社会品牌(U_{35})	企业对高校所树立的社会形象的认可度	定性
科技成果质量(U_4)	技术先进性(U_{41})	关键技术及重要领域技术本身的先进性	定性
	技术成熟度(U_{42})	技术在国内外创新水平以及可行性	定性
	市场时效性(U_{43})	市场要素对新技术的评价情况	定性
	产学研成效(U_{44})	产学研项目提供的智力、技术等服务的成效	定性
	社会效益及贡献(U_{45})	成果转化产生的社会经济效益及其前景	定性
成果转化输出(U_5)	知识产权与专利(U_{51})	专利申请总量、专利授权总量、专利出售量	定量
	成果授奖(U_{52})	国家级、省部级科技进步奖数量	定量
	技术转让(U_{53})	技术转让合同数	定量
	学术影响力(U_{54})	学术论文总量、出版科技著作数	定量
	经济效益(U_{55})	专利出售收入、技术转让收入	定量

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = CI/RI \quad (2)$$

式中： $\lambda_{\max}$ 为最大特征根； n 为判断矩阵的阶数； CI 为一致性指标； RI 为对应的平均随机一致性指标； CR 为一致性检验系数。

4) 确定权重。判断矩阵通过一致性检验后，求解判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ 对应的特征向量，对其进行归一化数据处理，即为相应的权重值 φ_j 。

2.1.2 改进 CRITIC 法

CRITIC 是由学者 Diakoulaki 等^[19]于 1995 年提出的一种客观赋权法，相较于标准离差法和熵权法赋权更加客观^[20]，并对 CRITIC 方法进行两处改进：一是采用变异系数衡量指标的冲突性；二是计算各个指标相关性时，将 r_{ij} 变为 $|r_{ij}|$ 。

改进 CRITIC 法的具体计算步骤如下。

1) 构建评价指标集矩阵。假设有 n 个待评价对象，每个待评价对象有 p 个评价指标，形成评价矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ x_{12} & \cdots & x_{2p} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中： x_{np} 为第 n 个待评价对象的第 p 个评价指标的得分。

2) 数据无量纲处理。若采用标准化统一处理数据值，则所有指标的标准差将完全一致，指标间的变异性失去意义，因此拟采用正向化和逆向化数据处理法，不使用标准化处理。

正向化处理转换公式为

$$A = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

逆向化处理转换公式为

$$A = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (5)$$

式中： $X_{\min} = \min\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ ； $X_{\max} = \max\{x_{1j}, \dots, x_{nj}\}$ 。

3) 求解变异性。

$$\begin{cases} S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_{ij} - \bar{a}_j)^2}{n - 1}} \\ \bar{a}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \\ v_j = \frac{S_j}{\bar{a}_j} \end{cases} \quad (6)$$

式中： S_j 为指标得分的方差值； $\bar{a}_j$ 为指标得分的均

值； v_j 指标的变异系数。

4) 求解冲突性。

$$R_j = \sum_{i=1}^p (1 - |r_{ij}|) \quad (7)$$

式中： R_j 为评价指标 j 的冲突性； r_{ij} 为评价指标 i 、 j 的相关系数。

5) 求解指标包含的信息量。

$$C_j = v_j \times R_j \quad (8)$$

式中： C_j 为指标 j 的包含信息量， C_j 越大表明该指标包含的信息量越大。

6) 求解指标的客观权重值。

第 j 个评价指标的客观权重值 σ_j 为

$$\sigma_j = \frac{C_j}{\sum_{i=1}^p C_j} \quad (9)$$

式中： σ_j 为指标 j 的权重值。

2.1.3 组合赋权

博弈论是运筹学的一种重要方法，广泛应用于多主体、多目标决策问题^[21]。基于博弈论的组合优化权重模型，在主观、客观权重中间找到均衡点^[22]，实现权重的优化组合，使权重的设定更加科学合理。

假设通过 AHP 方法得到的主观权重记为 $\varphi_1 = (\varphi_{11}, \varphi_{12}, \dots, \varphi_{1n})$ ，通过改进的 CRITIC 法得到的客观权重记为 $\sigma_1 = (\sigma_{11}, \sigma_{12}, \dots, \sigma_{1n})$ ，确定各自的权重系数，由 φ_1 和 σ_1 的线性组合计算出最终的综合权重。

$$w = \alpha_1 \varphi_1^T + \alpha_2 \sigma_1^T \quad (10)$$

式中： α_1 为主观权重的系数； α_2 为客观权重的系数； φ_1 为主观权重值； σ_1 为客观权重值； w 为指标的权重。

借鉴博弈论求解纳什均衡点的思想，最优的权重组合即是使得权重和主客观权重的离差最小，因此构建决策模型的目标函数为

$$\begin{aligned} \text{Min}[f(x)] &= \text{Min}(\|w - \varphi_1^T\|_2 + \|w - \sigma_1^T\|_2) = \text{Min}(\|\alpha_1 \varphi_1^T + \alpha_2 \sigma_1^T - \varphi_1^T\|_2 + \|\alpha_1 \varphi_1^T + \alpha_2 \sigma_1^T - \sigma_1^T\|_2) \\ \text{s. t. } &\alpha_1 + \alpha_2 = 1 \end{aligned} \quad (11)$$

采用拉格朗日函数法求解目标函数的最小值

$$L(\alpha_1, \alpha_2, \lambda) = f(x) + \lambda(\alpha_1 + \alpha_2 - 1) \quad (12)$$

根据微分原理，对式(12)进行一阶导得 0 求解，得到：

$$\begin{bmatrix} \varphi_1 \varphi_1^T & \varphi_1 \sigma_1^T \\ \sigma_1 \varphi_1^T & \sigma_1 \sigma_1^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_1 \varphi_1^T \\ -\sigma_1 \sigma_1^T \end{bmatrix} \quad (13)$$

对系数 α_1 、 α_2 进行归一化处理，即得最优权重系数 α_1^* 、 α_2^* ，最终组合权重值为 w^* 。

$$w^* = \alpha_1^* \varphi_1^T + \alpha_2^* \sigma_1^T \tag{14}$$

式中： α_1^* 和 α_2^* 分别为经组合优化权重模型计算出的主观权重系数、客观权重系数； φ_1 和 σ_1 分别为主观权重值、客观权重值； w^* 为经组合优化权重模型计算出的权重值。

2.2 基于云模型的评价模型

2.2.1 云模型理论

针对认知的不确定性,学者李德毅等于 1995 年提出了云模型的概念,在兼顾随机性、模糊性的同时实现定性表达和定量表示之间的信息处理转换^[23]。云模型的定义是:假如 U 是一个定量的论域, C 是论域 U 上的定性概念,若数值 $x \in U$ 且 x 是 C 的一次随机实现,则 x 对 C 的隶属度 $\mu(x) \in [0,1]$ 是具有稳定倾向的随机数。

$$\mu(x):U \rightarrow [0,1], \forall x \in U, x \rightarrow \mu(x) \tag{15}$$

则 x 在 U 上的分布即称为云模型, x 即称为云滴。

云滴是不同定性表达在概率意义下的随机实现,同时云滴的不同分布可以得到不同的云模型^[24]。为了表示定性概念的整体特性,云模型通常用期望 Ex 、熵 En 和超熵 He 3 个数字特征来反映^[25]。云模型可以实现定性概念和定量表达的内外延双向转化,云模型的实现算法主要包括正向云生成和逆向云生成两类算法。

2.2.2 建立标准评价云

高校科技成果转化绩效评价结果的确定与评价的划分等级密切相关。依据专家建议和相应政策,按照 5 级标度法将高校科技成果转化极限评价等级划分为低、较低、中、较高、高 5 个等级,设定各指标的评分值范围为 $[2,10]$,数值越高,说明绩效越突出,科技成果转化成效越好。基于黄金分割率的定性变量云化方法和正向云发生器计算不同等级的云滴群的确定度,构建出标准评估云,设定各等级的云模型数字特征(Ex, En, He),中间评价等级取 $Ex=6.00, He=0.006\ 0$ 为其云模型参数,根据计算规则计算得出 5 个等级的具体数字特征值如表 2 所示,同时通过正向云发生器算法,云滴数量 N 取 1 500,构建出 5 个等级相应的标准评估云,如图 1 所示。

表 2 各绩效等级评价基准云模型数字特征

绩效等级	云模型数字特征
高(S_5)	(10,0.824 2,0.015 7)
较高(S_4)	(7.528 0,0.509 3,0.009 7)
中等(S_3)	(6,0.314 8,0.006 0)
较低(S_2)	(4.472 0,0.509 3,0.009 7)
低(S_1)	(2,0.824 2,0.015 7)

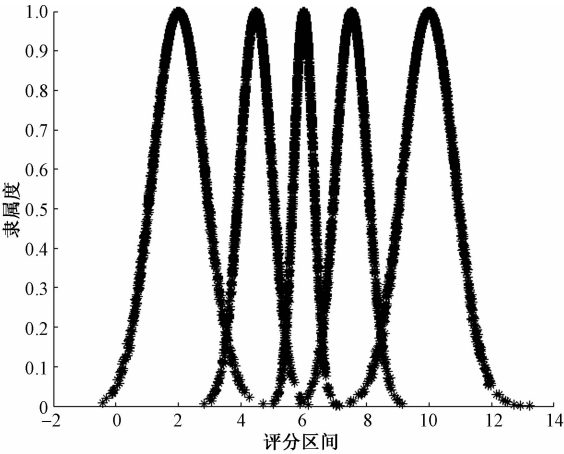


图 1 等级标准评估云

2.2.3 建立评价指标云

专家小组参考已有资料和评分标准,对高校科技成果转化绩效评价指标体系中的 25 个二级指标进行打分,运用 MATLAB 软件将打分转化为定量数据,通过云模型的逆向云发生器算法对二级指标的样本数据得分值进行运算,计算二级 25 个绩效评价指标的云模型数字特征值,具体算法如下。

输入: N 个样本点 $x_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 。

输出: 表示这 N 个样本的数字特征值(Ex, En, He)。

1) 计算出该组样本的样本均值 $\bar{X}$ 和方差 S^2 :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \tag{16}$$

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \tag{17}$$

2) 计算期望 Ex :

$$Ex = \bar{X} \tag{18}$$

3) 计算熵 En :

$$En = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - Ex| \tag{19}$$

4) 计算超熵 He 。考虑到可能会出现样本方差过小或者熵 En 的值过高而导致超熵 He 的平方值出现负数的情况,参考文献[26]对此处进行了改进。

$$He = \sqrt{|S^2 - En^2|} \tag{20}$$

2.2.4 建立综合评价云

根据逆向云发生器算法计算出二级指标的云数字特征(Ex, En, He),再代入浮动云算法的式(21)~式(23)计算出相应一级指标层(即准则层)的各维度指标和综合绩效值(即目标层)的云模型数字特征,通过正向云发生器,取 $N=1\ 500$,即得该区域的高校绩效评价的综合评价云。

$$E_x = \frac{Ex_1\omega_1 + Ex_2\omega_2 + \cdots + Ex_n\omega_n}{\omega_1 + \omega_2 + \cdots + \omega_n}$$

(21)

$$En = \frac{\omega_1^2En_1 + \omega_2^2En_2 + \cdots + \omega_n^2En_n}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2}$$

(22)

$$He = \frac{\omega_1^2He_1 + \omega_2^2He_2 + \cdots + \omega_n^2He_n}{\omega_1^2 + \omega_2^2 + \cdots + \omega_n^2}$$

(23)

式中： ω_n 为第 n 个指标的权重； Ex_n 为第 n 个指标的期望； En_n 为第 n 个指标的熵； He_n 为第 n 个指标的超熵。

2.2.5 计算云相似度距离

在将综合评价云和各等级标准云进行比较时，应综合考虑 3 个数字特征。龚艳冰等^[27] 定义了正太云的修正期望曲线，许昌林和王国胤^[28] 提出用 KL 散度 (Kullback-Leiber divenyence, KLD) (又称相对熵或信息散度) 来衡量两个云概念之间的分布差异，在二者基础上，杨力等^[29] 提出了 IKLCM 方法来计算云相似度距离，拟采用此方法即 IKLCM 进行度量云相似度距离。具体步骤如下。

1) 在转化绩效评价综合云中生成以 En 为期望、 He^2 为方差的一个正态随机数 $y_i = \text{NORM}(En, He^2)$ 。

2) 在转化绩效评价综合云中生成以 Ex 为期望， y_i^2 为方差的一个正态随机数 $x_i = \text{NORM}(Ex, y_i^2)$ 。

3) 将 x_i 代入绩效等级 k 的标准正态云，并计算 μ_i 为

$$\mu_i = \exp\left[-\frac{(x_i - Ex)^2}{2(En^2 + He^2)}\right]$$

(24)

4) 重复步骤 1)、步骤 2) 到 N 次，计算云距离、相似度，相似度 $\text{sim}_{i,j}$ 越大，综合评价等级隶属于该标准等级可能性越高。

$$D_{i,j} = \frac{1}{2}[(Ex_i - Ex_j)^2 + (\sigma_i^2 + \sigma_j^2)]\left(\frac{1}{\sigma_i^2} + \frac{1}{\sigma_j^2}\right) - 2$$

(25)

$$\text{sim}_{i,j} = \exp(-D_{i,j})$$

(26)

式中： $\sigma^2 = En^2 + He^2$ ； $\text{sim} \in [0, 1]$ 。

3 实证分析

以西南 6 个省份作为评价对象，其中西藏的部分指标原始数据为 0，为了更准确地进行西南地区的高校科技成果转化绩效评价的分析，因此选取广西、重庆、四川、贵州和云南这 5 个省份作为评价对象。建立高校科技成果转化绩效评价指标体系，二级指标层的数据来源于 2021 年的《高等学校科技统计资料汇编》《中国科技统计年鉴》《中国统计年鉴》以及这 5 个省份的《地方统计年鉴》等。高校科技成

果转化的过程有高校、政府、企业、社会等多方主体参与，因此分别邀请政府方、高校方、企业方从事高校科技成果转化相关领域的专家各 3、4、3 人组成专家小组，依据历史资料的数据和打分标准，对 5 个省份的二级指标进行打分，接着采用提出的博弈论—云模型综合评价模型对西南地区的高校科技成果转化绩效进行评价研究。

3.1 计算组合权重

专家小组分别对评价指标体系的二级指标和一级指标进行重要性打分，根据层次分析法通过 MATLAB 软件运算出 6 个判断矩阵的最大特征值和相对应的特征向量，判断通过一致性检验后，进行归一化处理得出主观权重值。

评价指标体系中的定量指标已通过历史数据资料获取，定性值通过专家打分获取，通过改进的 CRITIC 法，指标皆为正向指标，由式 (3)～式 (9) 运算得出客观权重值。根据博弈论纳什均衡原理，综合主客观权重，由公式 (10) 至公式 (14) 运算得出一级、二级指标的组合权重值，如表 3 所示。

表 3 评价指标体系的权重值

一级指标	组合最终权重	二级指标	组合最终权重
政府支持力度(U_1)	0.125 0	专项资金投入(U_{11})	0.051 2
		知识产权保护(U_{12})	0.029 7
		人才保障体系(U_{13})	0.022 3
		科技中介服务(U_{14})	0.012 7
		区域经济环境(U_{15})	0.038 1
高校转化实力(U_2)	0.195 6	科技专业人才(U_{21})	0.042 8
		专业化平台(U_{22})	0.014 9
		科技研发经费(U_{23})	0.088 4
		科技研发项目(U_{24})	0.032 9
		科技交流(U_{25})	0.025 6
市场发展潜力(U_3)	0.090 2	需求对接度(U_{31})	0.041 9
		成果适应性(U_{32})	0.024 5
		企业经费投入(U_{33})	0.020 2
		校企合作度(U_{34})	0.012 5
		高校的社会品牌(U_{35})	0.010 2
科技成果质量(U_4)	0.375 7	技术先进性(U_{41})	0.127 7
		技术成熟度(U_{42})	0.090 1
		市场时效性(U_{43})	0.054 7
		产学研成效(U_{44})	0.032 9
		社会效益及贡献(U_{45})	0.019 7
成果转化输出(U_5)	0.213 5	知识产权与专利(U_{51})	0.086 3
		成果授奖(U_{52})	0.033 4
		技术转让(U_{53})	0.045 4
		学术影响力(U_{54})	0.021 5
		经济效益(U_{55})	0.020 4

3.2 计算评价指标云

专家小组参考历史数据资料以及评分标准，通

过对表 3 中高校科技成果转化绩效评价的 25 个二级指标进行打分,通过逆向云发生器算法,由式(16)~式(20)计算得出二级绩效评价指标的各指标云数字特征。结合 3.1 节得出的二级指标权重值,代入式(21)~式(23)计算得出一级指标 5 个维度的各自的云数字特征,结果如表 4 所示。

表 4 评价指标体系的云数字特征值

一级指标	云数字特征	二级指标	云数字特征
政府支持力度(U_1)	(6.195 1,1.297 2,0.444 4)	专项资金投入(U_{11})	(5.4,1.854 9,0.695 9)
		知识产权保护(U_{12})	(7.4,0.902 4,0.332 7)
		人才保障体系(U_{13})	(6.04,0.711 9,0.257 3)
		科技中介服务(U_{14})	(5.76,1.644 3,0.464 6)
		区域经济环境(U_{15})	(6.56,0.691 8,0.119 9)
高校转化实力(U_2)	(5.990 7,1.858 3,0.264 2)	科技专业人才(U_{21})	(6.82,1.824 8,0.409 9)
		专业化平台(U_{22})	(5.4,1.102 9,0.289 1)
		科技研发经费(U_{23})	(5.6,1.905 0,0.214 1)
		科技研发项目(U_{24})	(6.3,1.704 5,0.283 5)
		科技交流(U_{25})	(5.9,1.905 0,0.413 3)
市场发展潜力(U_3)	(6.559 2,1.357 2,0.461 0)	需求对接度(U_{31})	(6.9,1.403 7,0.412 8)
		成果适应性(U_{32})	(6.5,1.002 7,0.494 7)
		企业经费投入(U_{33})	(6.2,1.05 6,0.716 5)
		校企合作度(U_{34})	(6.42,0.731 9,0.448 6)
		高校的社会品牌(U_{35})	(6.58,0.621 6,0.097 2)
科技成果质量(U_4)	(6.538 8,1.667 6,0.317 2)	技术先进性(U_{41})	(6.46,1.814 8,0.198 8)
		技术成熟度(U_{42})	(6.54,1.413 7,0.447 9)
		市场时效性(U_{43})	(6.46,1.644 3,0.579 6)
		产学研成效(U_{44})	(6.66,1.463 9,0.291 4)
		社会效益及贡献(U_{45})	(7.06,1.544 1,0.609 3)
成果转化输出(U_5)	(6.402 7,1.581 4,0.515 9)	知识产权与专利(U_{51})	(7.22,1.082 9,0.174 9)
		成果获奖(U_{52})	(6.16,1.664 4,1.238 1)
		技术转让(U_{53})	(5.48,3.228 5,1.271 4)
		学术影响力(U_{54})	(6.1,2.53 3,0.744 4)
		经济效益(U_{55})	(5.82,2.486 6,0.686 3)

3.3 计算综合评价云

通过一级指标权重值和一级指标的云数字特征,代入式(21)~式(23),可得出西南地区高校科技成果转化绩效综合值的云数字特征为(6.361 4,1.647 7,0.358 2),以此生成综合评价云图,并与各等级标准评价云对比,结果如图 2 所示。通过西南地区高校科技成果转化绩效综合值的云数字特征的结果可知, $E_x=6.361 4$ 可以得出西南地区高校科技成果转化绩效等级处于中等和较高之间; $E_n=1.647 7$ 可以得出西南地区五个省份之间的高校科技成果转化绩效等级波动较大,各省份之间存在一定差异; He/E_n 小于 1,表明该模型的评价结果雾化程度低、真实性较高。与标准评价云图对比分析,可大致地看出综合评价云位于中等云和较高云之间。

3.4 计算云相似度距离

采用 IKLCM 方法定量地计算综合云相似度距离,代入式(24)~式(26),可得出该西南地区高校科技成果转化绩效与较高等级标准云的相似度最

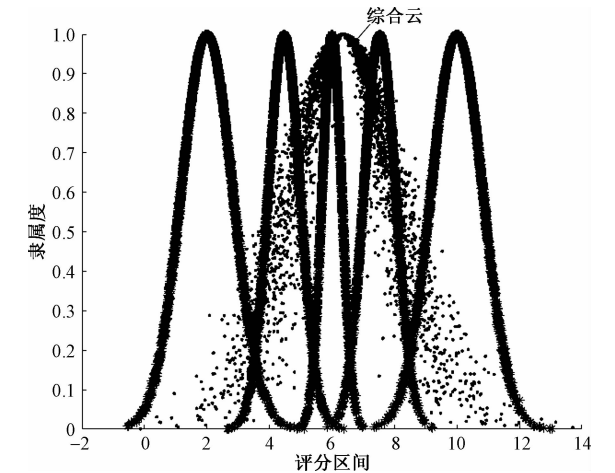


图 2 综合评价云

高,因而确定西南地区高校科技成果转化绩效等级为较高。通过代入数据对比分析 LICM (likeness comparing method)^[30]、KLDCM (Kullback-Leiber divergence based on clond model)^[28]、IKLCM^[29],计算结果如表 5 所示,发现 LICM 方法下综合绩效的隶属度等级区分不明显,KLDCM 方法可以区分综

表 5 不同测度云相似度距离的方法绩效所处等级对比

Sim	LICM	KLDCM	IKLCM
S, S_1	0.989 5	17.743 7	0.000 0
S, S_2	0.988 9	18.200 9	0.000 0
S, S_3	0.978 5	33.062 0	0.000 0
S, S_4	0.981 4	14.241 8	0.000 6
S, S_5	0.984 0	13.545 2	0.000 0

合绩效的分布,但是超熵 He 对分布结果影响波动较大;IKLCM 方法综合了以上方法的优点,克服了其不足之处,兼顾云的形状和距离,全面综合地考虑了三个数字特征的影响作用。

采用 IKLCM 方法测度云相似度距离时,可以得出综合云图和 5 个等级云图的相似度大小排序为 $Sim_{(S, S_4)} > Sim_{(S, S_3)} > Sim_{(S, S_2)} > Sim_{(S, S_5)} > Sim_{(S, S_1)}$ (表 5),虽然综合绩效值的 Ex 最为接近中等云,但是熵 En 和超熵 He 较大,说明 5 个省份内部之间的差异较大,相比于广西、贵州、云南这 3 个省份,四川和重庆表现较为突出。

4 结论

首先从政府支持力度、高校转化实力、市场发展潜力、科技成果质量、成果转化输出 5 个维度构建出高校科技成果转化绩效评价指标体系,接着通过博弈论组合赋权模型确定了指标权重,结合云模型构建出高校科技成果转化绩效综合评价模型,并通过实证分析并验证了该模型。结果表明:引入云模型运用到高校科技成果转化绩效评价中,可以很好地处理高校科技成果转化绩效评价过程中的不确定性信息问题,通过对比不同的测度云相似度距离的算法,更加准确地评价综合云所处等级状况,提高评价结果的精度。

参考文献

[1] 全国人民代表大会常务委员会. 全国人民代表大会常务委员会关于修改《中华人民共和国促进科技成果转化法》的决定[EB/OL]. (2015-08-30)[2021-09-13]. http://www.gov.cn/zhengce/2015-08/30/content_2922322.htm.

[2] 教育部. 教育部、国家知识产权局、科技部关于提升高等学校专利质量促进转化运用的若干意见[EB/OL]. (2020-02-03) [2021-09-03]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-02/21/content_5481750.htm.

[3] 陈辉,夏承鹏,段依竺,等. 基于总体相关系数法和综合指数法的高水平理工科高校科技成果转化绩效评价研究[J]. 科技管理研究,2021,41(23):65-71.

[4] 李海刚,茹少峰,张鹏. 高校创新生态系统科技成果转化绩效测度[J]. 统计与决策,2022,38(1):169-173.

[5] 林超辉,杨坚伟,陈辉,等. 地方高校科技成果转化发展性绩效评价研究——基于变异系数法与 VIKOR 法对 12 所

高校的分析[J]. 中国高校科技,2020(8):86-89.

[6] 王虹燕,孙凤. 长三角高校科技成果转化绩效评价与优化路径[J]. 中国高校科技,2020(3):8-11.

[7] 钟卫,陈宝明. 中国高校科技成果转化绩效评价研究[J]. 中国科技论坛,2018(4):41-49.

[8] 刘威,陈艾菊. 基于 ANP 的高校科技成果转化绩效评价[J]. 科技管理研究,2008(6):192-194.

[9] 阎为民,周飞跃. 高校科技成果转化绩效模糊评价方法研究[J]. 研究与发展管理,2006(6):129-133.

[10] 张玉,魏华波. 基于 CRITIC 的多属性决策组合赋权方法[J]. 统计与决策,2012(16):75-77.

[11] 谭玉叶,宋卫东,李铁一,等. 采矿方法优选多目标决策一致性组合权重研究及应用[J]. 北京科技大学学报,2014,36(8):1115-1122.

[12] 国务院. 国务院办公厅关于完善科技成果评价机制的指导意见[EB/OL]. [2021-07-16]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-08/02/content_5628987.htm.

[13] 赵公民,吕京芹,王仰东,等. 互联网背景下“双一流”高校科技成果转化效率研究[J]. 软科学,2021,35(8):45-50.

[14] 张高明,张善从. 基于全过程的高校科技成果转化能力研究[J]. 科技管理研究,2020,40(23):92-99.

[15] 刘霞,赵宇萱,范小军. 产教融合下高校科技成果转化效率评价研究[J]. 科技管理研究,2020,40(15):140-144.

[16] 徐丰伟,丁昱丹. 高校科技成果转化的关键界面因素及优化路径[J]. 中国高校科技,2020(4):90-93.

[17] 陈蔚,刘雪娇,夏莹杰. 基于层次分析法的车联网多因素信誉评价模型[J]. 浙江大学学报(工学版),2020,54(4):722-731.

[18] 刘林芽,秦佳良,刘全民,等. 高校科研绩效融合评价模型的构建及应用研究[J]. 教育学术月刊,2021(10):49-55.

[19] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems;the critic method [J]. Computers & Operations Research,1995,22(7):763-770.

[20] 罗宁,贺墨琳,高华,等. 基于改进的 AHP-CRITIC 组合赋权与可拓评估模型的配电网综合评价方法[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(16):86-96.

[21] 陈衍泰,陈国宏,李美娟. 应用合作博弈确定组合评价权重系数的方法研究[J]. 中国管理科学,2005(3):89-94.

[22] 王会东,何世繁,潘晓宏,等. 基于博弈论权重集化模型的多属性群决策 VIKOR 方法[J]. 统计与决策,2019,35(15):39-43.

[23] 李德毅,孟海军,史雪梅. 隶属云和隶属云发生器[J]. 计算机研究与发展,1995(6):15-20.

[24] 刘常昱,李德毅,杜鹤,等. 正态云模型的统计分析[J]. 信息与控制,2005(2):236-239,248.

[25] 刘常昱,李德毅,潘莉莉. 基于云模型的不确定性知识表示[J]. 计算机工程与应用,2004(2):32-35.

[26] 陈昊,李兵,刘常昱. 一种无确定度的逆向云算法[J]. 小型微型计算机系统,2015,36(3):544-549.

[27] 龚艳冰,徐绪堪,刘高峰. 基于正态云期望和方差距离的

语言型多属性决策方法研究[J]. 统计与信息论坛, 2021, 36(10):12-19.

[28] 许昌林, 王国胤. 正态云概念的漂移性度量及分析[J]. 计算机科学, 2014, 41(7):9-14, 51.

[29] 杨力, 秦红梅, 苏华文. 基于云模型和组合权重的 SCA-DA 系统安全风险评估研究[J]. 智能系统学报, 2022 (5):1-10.

[30] 张光卫, 李德毅, 李鹏, 等. 基于云模型的协同过滤推荐算法[J]. 软件学报, 2007(10):2403-241.

Research on the Performance Evaluation of University Science and Technology Achievement Transformation Based on Game Theory Portfolio Empowerment and Cloud Model

ZHANG Nian¹, XU Jianxin², SANG Xiuli³, LYU Chenghong¹

- (1. Faculty of Management and Economics, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Faculty of Metallurgy and Energy Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

3. Yunnan Institute of Industrial Development, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: The transformation of scientific and technological achievements in universities is an important new engine of high-quality development in China, and the importance of performance evaluation of it is increasingly prominent. In the face of the uncertain information appearing in the evaluation process, and a cloud model was introduced, a performance evaluation model for the transformation of scientific and technological achievements in universities based on game theory combination of empowerment and cloud model was proposed, and the IKLCM(improved Kullback-Leiber divergence base on cloud model) method was used to calculate the cloud similarity distance and derive the evaluation results. Through the example analysis of universities in five provinces and cities in southwest China, the results show that the model integrates the subjective and objective factors, the combination weights are scientific and reasonable, and the performance cloud model evaluation can get accurate and reliable evaluation results.

Keywords: transformation of scientific and technological achievements in universities; performance evaluation; cloud model; game theory; hierarchical analysis; improved CRITIC(criteria importance threugy intercriteria correlation) method