

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2016.06.013

# 基于熵权物元分析的科技成果评价模型及应用

张立军, 赵芳芳

(湖南大学金融与统计学院, 湖南长沙 410079)

**摘要:** 通过总结与比较现有科技成果评价方法, 提出一种将熵权与物元分析模型相结合的科技成果评价模型。该模型采用熵权法对评价指标进行客观赋权, 避免了主观因素的影响; 此外, 采用物元分析法构建科技成果评价模型, 解决了科技成果专家评议模糊性结果的合成问题。实证分析表明, 该模型应用于科技成果评价具有实用性和可操作性。

**关键词:** 科技成果; 综合评价; 物元分析; 熵权

中图分类号: G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2016) 06-0063-04

## Application for Technological Achievements Evaluations Model Based on Entropy Weight and Matter - element Analysis

ZHANG Lijun, ZHAO Fangfang

(College of Finance and Statistics, Hunan University, Changsha 410079, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the evaluation methods used in technological achievements at present, a method that combines entropy weigh and matter - element analysis model was put forward. On the one hand, the entropy weight method for objective empowerment can reduce the influence of subjective factors; on the other hand, using the matter - element analysis method to construct scientific and technological achievements evaluation model can better deal with the fuzziness of the evaluation results. The actual example shows that this method has applicability and practicability.

**Key words:** technological achievements; comprehensive evaluation; matter - element analysis; entropy weight

科技成果评价是根据评价机构的目的和要求, 按照科学的评价方法和工作程序, 组织评审专家对成果的创新水平、实际应用和经济效益等方面予以客观判断与比较。科技成果评价作为我国科技工作的重要组成部分, 是激励科研人员创新、保护其创新积极性的关键环节, 对推动科技发展、实施人才和创新战略具有重要意义<sup>[1]</sup>。在我国科技评价实践中, 目前普遍采用评审专家委员会制度, 通过专家群对所规定的指标进行经验化、定性化判断的方式来完成评价工作<sup>[2]</sup>。现行的科技评价体系还存在一些问题, 如评审专家的主观随意性, 评价制度、方法不完善, 评审过程缺乏监督等, 使评价结果受到一定程度的质疑<sup>[3]</sup>。因此, 促使科技成果评价过程规范化、评价方法科学化, 已成为科技管理工作的迫切任务, 研究科学的评价方法, 更为客观、公正地反映科技成果的真实水平, 在当前具有重要的理论与现实意义。

### 1 文献综述

近年来, 我国科技成果评价呈现以需求为导向、立足科技成果转化、科技成果分类评价、评价模式

多元化等新趋势<sup>[4]</sup>。在科技成果评价方法上, 国内学者在该领域内开展了广泛研究, 其中多目标综合评价方法如层次分析法、灰色理论、数据包络分析法、模糊综合评价法等发展迅速, 例如: 李云飞<sup>[5]</sup>基于层次分析法并综合多位不同领域的专家意见, 构建了关于技术开发、软科学研究和社会公益的三类科技成果的评价指标体系; 袁瑞钊等<sup>[6]</sup>将 DEA 方法应用于应用技术类科技成果评价中, 避免了主观确定权重的缺陷, 且运用该方法进行综合评价时不需要对输入输出指标进行无量纲化处理; 刘康明<sup>[7]</sup>通过分析目前科技成果评价方法的不足, 借助模糊数学理论分别建立了适用于非确定性问题的单层次和多层次模糊数学评价模型; 周宏<sup>[8]</sup>运用 BP 神经网络方法实现了高校科技成果转化评价体系的构建, 这种方法有一定的自适应性, 有利于弱化权重确定中的人为因素; 张立军等<sup>[9]</sup>通过分析科技成果评价指标之间的相互关系, 运用路径分析方法基础计算指标权重, 构建了基于路径系数权重的科技奖励评价模型; 王瑛等<sup>[10]</sup>运用结构方程模型, 从定性与定量两个方面对科技成果奖励综合评价指标体

收稿日期: 2015-03-25, 修回日期: 2015-07-18

基金项目: 国家社会科学基金规划项目“面板数据综合评价方法及应用研究”(14BTJ003)

系进行了改进和论证,以减少由专家决策所带来的  
人为因素的影响;胡宗义等<sup>[11]</sup>采用 L-R 型三角模  
糊数表示科技成果定性评价信息,提出了一种各分  
量都为三角模糊数的模糊矢量的比较方法——模糊  
灰色关联分析法,有效解决了专家小组不确定语义  
评价结果的量化问题。

以上方法为科技成果评价提供了很好的思路和  
依据,本文根据科技成果评价的特点提出一种新的  
评价方法。首先,由于科技成果评价工作是由专家  
群体来进行的,其评判结果不是用一个精确的数字  
来描述,而是采用等级如“优、良、中、差”表  
示,具有一定的模糊性,本文采用物元分析法构建  
科技成果评价模型,较好地解决了评判结果为定序  
变量时的模糊性问题;其次,现行的科技成果评价  
采用主观赋权方法,随意性较大,导致评价结果不  
能完全反映科技成果的客观水平,本文采用熵权法  
对评价指标进行客观赋权,并在此基础上提出一种  
将熵权与物元分析模型相结合的科技成果评价方法,  
将定性指标科学地定量化,使科技成果评价结果更  
为客观与合理。

## 2 基于熵权的物元分析模型

物元分析是我国学者蔡文教授等在 1983 年提出  
的一种新的多元数据量化分析方法。物元分析法  
的基础是物元模型、关联函数理论以及可拓集合,是  
用以研究如何处理难题的人脑思维模型,能够有效  
解决信息处理中的模糊不相容问题<sup>[12]</sup>。通过物元分  
析建立模型,将抽象的复杂问题形象化,利用这些  
模型结合基本理论进行研究,并应用到可能出现大  
量不相容问题的复杂领域。运用物元分析可以讨论  
不属于经典子集而能转化为经典子集的元素,构建  
关于待评价项目的多指标性能参数的评价模型,利  
用模型得到评价结果,并用数值将评价结果表示出  
来,从而使评价对象的综合水平得以完整反映。

### 2.1 基本物元

物元分析理论的基础是物元,所谓物元,是指  
以有序三元组作为描述事物的基本元, $R$  表示物元,  
 $N$  表示事物, $C$  表示特征, $X$  表示  $N$  关于  $C$  的量值,  
其表达式为<sup>[13]</sup>:

$$R = (N C X)$$

如果用  $n$  个特征  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$  及其对应  
的  $n$  个量值  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  来描述一个事物  
 $N$ , 则称它为  $n$  维物元,用矩阵表示为:

$$R = \begin{bmatrix} N & C_1 & X_1 \\ & C_2 & X_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 2.2 确定经典域和节域

在基本物元的基础上,通过式 (1) 的变换确

定经典域,变换过程见式 (2):

$$R_j = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & X_{1j} \\ & C_2 & X_{2j} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & [a_{1j}, b_{1j}] \\ & C_2 & [a_{2j}, b_{2j}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{nj}, b_{nj}] \end{bmatrix} \quad (2)$$

式 (2) 运用到评价科技成果项目,则  $N_j$  表示  
各个不同等级的待评项目, $C_i$  为相应的评价指标,  
 $X_{ij}$  为待评项目  $N_j$  关于评价指标  $C_i$  所确定的可取值  
范围,  $[a_{ij}, b_{ij}]$  称为经典域。确定节域的计算公  
式为:

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & X_{1p} \\ & C_2 & X_{2p} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{np} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & [a_{1p}, b_{1p}] \\ & C_2 & [a_{2p}, b_{2p}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{np}, b_{np}] \end{bmatrix} \quad (3)$$

在表达式 (3) 中,  $N_p$  为各个不同等级待评项  
目的全体,  $X_{ip}$  为  $N_p$  关于  $C_i$  的取值范围,  $[a_{ip}, b_{ip}]$   
称为节域。

### 2.3 计算关联度

物元分析评价模型的核心是通过构造关联函数  
计算隶属度来评价项目所属等级,实际上就是通过  
待评项目各指标关于各评价等级的归属程度,使经  
典数学中定性描述的“属于”和“不属于”扩展为  
定量描述,以表征指标间的层次关系,即各个评价  
指标的关联函数值可由可拓学中距的定义及初等关  
联函数来确定。某点  $x_i$  到经典域区间  $X_{ij}$  和节域区  
间  $X_{ip}$  的距分别为:

$$\rho(x_i, X_{ij}) = \left| x_i - \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{ij} - a_{ij}) = \begin{cases} a_{ij} - x_i & x_i \leq \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \\ x_i - b_{ij} & x_i > \frac{a_{ij} + b_{ij}}{2} \end{cases}$$

$$\rho(x_i, X_{ip}) = \left| x_i - \frac{a_{ip} + b_{ip}}{2} \right| - \frac{1}{2}(b_{ip} - a_{ip}) = \begin{cases} a_{ip} - x_i & x_i \leq \frac{a_{ip} + b_{ip}}{2} \\ x_i - b_{ip} & x_i > \frac{a_{ip} + b_{ip}}{2} \end{cases}$$

通过距的定义计算关联函数,进一步确定待评  
价物元的单项指标所属等级的定量程度,关联函数  
的计算公式为:

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_i, X_{ij})}{\rho(x_i, X_{ip}) - \rho(x_i, X_{ij})} & x_i \notin X_{ij} \\ -\frac{\rho(x_i, X_{ij})}{|X_{ij}|} & x_i \in X_{ij} \end{cases} \quad (4)$$

### 2.4 根据熵值法确定评价指标权重

熵表示的是体系的混乱的程度,提出后最初被  
应用在热力学上,之后被申农引入信息论,现已广  
泛应用于控制工程、天体物理、生命科学、社会经

济等领域。熵的基本原理是：熵值的大小直接反映了其所处状态的变异程度，如果某指标的信息熵值越大，就表明该指标的变异程度越小，包含的信息量越小，对综合评价的影响越小，则其权重也应越小；反之，如果某个指标的信息熵值越小，就表明该指标值的变异程度越大，包含的信息量就越大，对综合评价的影响就越大，则应赋予越大的权重<sup>[14]</sup>。在信息论中，信息熵用以度量系统无序化程度，而信息则是系统有序程度的一种度量方式，熵值和信息的符号相反、绝对值相等。公式如下：

$$E(x) = -\sum_{i=1}^m p(x_i) \ln p(x_i) \quad (5)$$

熵值法就是利用熵的概念，根据各指标所提供信息的大小来确定各个指标的权重系数的方法。熵值法的计算步骤如下：

(1) 将各个指标同度量化，计算第  $j$  项指标下第  $i$  个被评价对象的指标值的比重  $p_{ij}$ ：

$$p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$$

(2) 计算第  $j$  项指标的熵值  $e_j$ ：

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}$$

式中， $n$  为指标个数，若设  $k = 1/\ln(m)$ ， $m$  为评价单位的个数，于是有  $0 \leq e_j \leq 1$ 。

(3) 计算第  $j$  项指标的差异性系数  $g_j$ ，并进行归一化处理。第  $i$  个被评价对象的第  $j$  项指标  $x_{ij}$  的差异性越大，熵值就  $e_j$  越小，表明该指标对于各被评价对象有越大的代表性；反之，差异性越小时， $e_j$  越大，该项指标对于各被评价对象的代表性越小。据此，定义差异性系数：

$$g_j = 1 - e_j$$

当  $g$  越大时，指标越重要。对  $g$  进行归一化处理得：

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

### 2.5 计算综合关联系数及综合评价价值

运用熵值法对各指标进行赋权，并计算待评物元的综合关联系数，计算公式如下：

$$K_j(x) = \sum_{i=1}^n w_i K_j(x_i) \quad (7)$$

式 (7) 中， $K_j(x_i)$  表示各指标的关联系数； $w_i$  表示通过熵权法确定的各指标权重； $K_j$  表示待评物元的综合关联系数。

通过式 (7) 得到评价指标的综合关联系数，该系数是一个  $n$  维行向量，根据最大隶属度原则，其中最大的关联系数所对应的等级就是该待评项目的的评价结果。这样，通过综合关联系数可以确定各个待评项目的评价等级。

一般物元分析模型的评价结果只能得到粗略的分类等级，无法得到一个具体的综合评价并对待评对象进行排序，若将评价等级  $N_j$  赋予相应的分值，并将其作为列向量 ( $D$ ) 与综合关联系数综合，那么，科技成果的评价结果将是一个明确的代数值  $Q$ ，例如：令  $D = (1, 2, 3, \dots, n)^T$ ，则某项科技成果的最终评价值为： $Q = B \times D$ 。

### 3 实证分析

现有 24 项科技成果（国家科学技术进步奖技术开发类项目），有 25 位评审专家对其进行综合评价，评价指标体系如表 1 所示。

表 1 科技成果评价指标体系（技术开发项目）

评价指标	指标代码	评分方法
创新程度	A	专家评议采用 5 等级制评判方法
先进程度	B	
推广、应用程度	C	
已获社会、生态、环境效益	D	
对科技进步的推动作用	E	

专家分别根据 5 个指标的优劣程度打分，每个指标的评判结果分为 5 个等级，分别为“很差”、“较差”、“中等”、“较好”、“很好”。将待评价的 24 项科技成果分别记为  $X_1, X_2, \dots, X_{24}$ 。

#### 3.1 计算待评物元的关联系数

以其中的科技成果项目  $X_1$  为例，建立物元评价模型进行评价分析。首先根据专家评价的数据资料建立物元模型的经典域和节域：

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & C_1 & X_{11} \\ & C_2 & X_{21} \\ & C_3 & X_{31} \\ & C_4 & X_{41} \\ & C_5 & X_{51} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & C_1 & [0,1] \\ & C_2 & [0,1] \\ & C_3 & [0,1] \\ & C_4 & [0,1] \\ & C_5 & [0,1] \end{bmatrix}$$

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & X_{1p} \\ & C_2 & X_{2p} \\ & C_3 & X_{3p} \\ & C_4 & X_{4p} \\ & C_5 & X_{5p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & [0,5] \\ & C_2 & [0,5] \\ & C_3 & [0,5] \\ & C_4 & [0,5] \\ & C_5 & [0,5] \end{bmatrix}$$

然后根据式 (4) 中关联函数计算方法计算项目  $X_1$  各指标的关联系数，并将其进行标准化处理，结果如表 2 所示。

表 2 项目  $X_1$  关联系数标准化计算结果

指标	项目 $X_1$ 各指标的标准化关联系数				
	很差	较差	中等	较好	很好
A	0.080	0.143	0.196	0.314	0.188
B	0.092	0.096	0.215	0.382	0.212
C	0.109	0.086	0.321	0.417	0.224
D	0.013	0.161	0.268	0.312	0.207
E	0.117	0.114	0.275	0.367	0.196

#### 3.2 计算指标权重并确定综合关联系数

根据熵权的计算方法, 由式 (6) 计算各评价指标的权重, 结果如表 3 所示。

表 3 熵值赋权法计算的参评项目各指标权重

指标	$-\sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}$	$e_j$	$1 - e_j$	$W_j$
A	2.547	0.849	0.151	0.21
B	2.613	0.871	0.129	0.16
C	2.550	0.850	0.150	0.20
D	2.448	0.816	0.184	0.24
E	2.568	0.856	0.144	0.19

运用熵值法计算的各指标权重为:  $W(A, B, C, D, E) = (0.21, 0.16, 0.20, 0.24, 0.19)$ , 再根据公式 (7) 计算得出项目  $X_1$  的综合关联系数矩阵:

$$B = (0.078 \ 7 \ 0.122 \ 9 \ 0.256 \ 3 \ 0.355 \ 1 \ 0.205 \ 1)$$

由此得出科技成果项目  $X_1$  的最大隶属度为 0.355 1, 则隶属评价等级为“较好”, 即从技术的创新程度、推广应用度、先进程度、对科技进步的推动作用、已获社会生态环境效益等 5 个方面综合评价项目  $X_1$  的等级结果为“较好”。

### 3.3 计算各项的最终评价值并进行排序

设定评语“很差”得分为 1, “较差”得分为 2, “中等”得分为 3, “较好”得分为 4, “很好”得分为 5, 则考核评分在评判集上列向量为:  $D = (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)^T$ 。由项目  $X_1$  的综合关联系数矩阵与该向量相乘后可得该项科技成果评价的综合得分:

$$Q = B \times D = (0.0787 \ 0.1229 \ 0.2563 \ 0.3551 \ 0.2051) \times (1 \ 2 \ 3 \ 4 \ 5)^T = 3.5393$$

根据以上方法对其余 23 项科技成果进行评价, 将各参评项目按照评分大小进行排序, 结果如表 4 所示。

表 4 基于熵权物元分析法的参评项目评价得分和排序

项目	得分	排序	项目	得分	排序
$X_1$	3.539 3	18	$X_{13}$	3.383 3	19
$X_2$	3.218 8	20	$X_{14}$	3.938 8	10
$X_3$	3.103 9	21	$X_{15}$	4.102 9	8
$X_4$	2.877 7	24	$X_{16}$	3.809 3	12
$X_5$	2.962 9	23	$X_{17}$	4.732 2	1
$X_6$	4.244 1	7	$X_{18}$	4.409 8	4
$X_7$	3.574 3	17	$X_{19}$	3.698 5	14
$X_8$	4.529 4	3	$X_{20}$	3.584 8	16
$X_9$	4.672 0	2	$X_{21}$	3.620 7	15
$X_{10}$	4.306 5	6	$X_{22}$	3.918 8	11
$X_{11}$	3.705 6	13	$X_{23}$	3.082 9	22
$X_{12}$	4.389 8	5	$X_{24}$	4.087 2	9

注:  $X_i$  为 24 个被评价项目中第  $i$  个项目的代码

## 4 结论

科技成果评价属于多指标 (因素) 综合评价问题, 常规的评价模型采用主观赋权方法确定指标权重, 具有一定的随意性; 此外, 由于专家评判结果

通常存在一定程度的不确定性, 如对技术的先进程度、推广应用程度以及创新程度等指标的评价都难以用具体的数值来体现, 而是采用定序变量表示, 所以一般的统计评价方法难以进行处理。针对以上问题, 本文构建了基于熵权的物元分析评价模型, 有效地解决了以上问题, 该评价模型具有以下特点:

(1) 运用熵值法进行赋权。熵权法是一种客观赋权方法, 其权重信息来源于专家对各项目的评分数据。运用熵权法进行客观赋权能减少主观因素的影响, 得到更为科学的评价结果。

(2) 运用物元分析处理模糊性。物元分析模型运用关联系数将评价项目各个指标评价的等级结果定量化表示, 并通过矩阵处理得出项目的最终评价值, 有效解决了科技成果评价结果的模糊性问题。

总之, 对于科技成果评价中存在的多指标、主观性以及模糊性等问题, 基于熵权物元分析的评价模型能够较好地进行处理, 因此, 它是综合评价科技成果的一种有效方法。从实证过程及结果来看, 该方法简明易懂, 具有较强的可操作性与实用性。

### 参考文献:

- [1] 胡卫娜. 科技成果评价: 在转型中探索 [J]. 中国科技奖励, 2011 (5): 52-53
- [2] 姜颖. 中外科技成果评价比较及启示 [J]. 宁波大学学报 (教育科学版), 2009 (2): 79-83
- [3] 陈晓芳. 科技成果评价体系分析 [J]. 中国高校科技, 2012 (Z1): 31-32
- [4] 王明明, 申赵. 我国科技成果评价新趋势及启示 [J]. 知识经济, 2013 (4): 62
- [5] 李云飞. 科技成果评价指标体系研究 [J]. 乐山师范学院学报, 2014 (5): 9-43
- [6] 袁瑞钊, 孙利辉. DEA 方法在应用技术类科技成果评价中的应用 [J]. 青岛大学学报 (自然科学版), 2013 (3): 87-90
- [7] 刘康明. 一种基于模糊数学的科技成果评价系统模型研究 [J]. 河南科技, 2014 (9): 197-198
- [8] 周宏. 基于 BP 神经网络的高校科技成果转化的综合评价 [J]. 统计与决策, 2009 (17): 79-81
- [9] 张立军, 邹琦. 基于路径系数权重的科技成果奖励评价模型 [J]. 科技管理研究, 2008 (5): 102-103
- [10] 王瑛, 郝国杰. 科技成果奖励指标体系新构想 [J]. 科技管理研究, 2009 (8): 120-122
- [11] 胡宗义, 钱健, 刘亦文. 基于模糊灰色关联分析法的科技奖励评价 [J]. 统计与决策, 2009 (11): 152-154
- [12] 廖志高, 徐玖平. 基于物元法的动态综合评价原理研究 [J]. 广西工学院学报, 2013 (4): 11-20
- [13] 蔡文. 物元模型及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994: 134-138
- [14] 郭秀英. 区间数指标权重确定的熵值法改进 [J]. 统计与决策, 2012 (17): 32-34

作者简介: 张立军 (1971—), 男, 湖南邵东人, 副教授, 博士, 系主任, 主要研究方向为经济统计与综合评价方法。赵芳芳 (1988—), 女, 河北晋州人, 研究生, 主要研究方向为经济统计。