

熵权灰色关联的科技投入产出效率评价模型

史常亮 金彦平

(北京林业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 在构建科技投入产出综合指标体系的基础上, 提出了一个基于熵权和灰色关联分析的科技投入产出效率评价模型。该模型应用熵权法确定各评价指标的客观权重, 克服了原始灰色关联中指标平权和专家赋值的不足。同时, 熵权法与灰色关联分析法相结合充分利用了各指标的全部信息, 且充分发挥了灰色关联适合具有一定灰度小样本事件的优势。最后通过实例验证了该模型的有效性和适用性。

关键词: 科技投入; 科技产出; 科技效率评价; 投入产出指标体系; 灰色关联分析; 熵权法

中图分类号: C32

文献标识码: A

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2013.06.002

Model of Evaluation on the Efficiency of the Input and Output of Science and Technology Based on Entropy and Gray Relevant

Shi Changliang, Jin Yanping

(Economy and Management School, Beijing Forestry University, Beijing 100083)

Abstract: We propose a new model of evaluation on the efficiency of the input and output of science and technology based on entropy and gray relevant analysis. Entropy is used to determine the weight of assessment indicators, which remedy the insufficiency of average index weight and experts assigned index weight in original grey correlation. The combination of entropy weight with grey correlation analysis can fully utilize overall information of each index and give full play to the superiority of grey correlation that it is suitable for small sample events with a certain gray level. Finally, an example is used to prove the model is effective and applicable.

Keywords: S&T input, S&T output, science and technology capability assessment, input-output system, gray relevant analysis, entropy

1 引言

在经济全球化、一体化的时代背景下, 区域科技的重要性日益突出, 被认为是提升国家创新能力和国际竞争力的重要基础。各省市为了获得竞争优势和经济社会的持续发展, 都在努力加大对科技研究的投入力度。随着对科技的投入力度的不断加大, 人们自然会更加关心这些投入的投资效果问题, 也就是关注科学技术的产出问题。科技投入产出效率无疑成为科技效率评价的关键环节。实际上, 目前国内对于区域科技效率评价的大多数研究

都是基于这个角度开展的^[1-6]。

在区域科技投入产出效率综合评价研究中, 一个关键部分就是评价指标, 这又涉及两方面的工作: 一是评价指标体系的构建, 二是指标权重的确定。其中, 评价指标体系是进行区域科技投入产出效率分析的基础, 它的合理性与科学性对分析结果有着非常重要的影响。从笔者掌握的文献来看, 目前国内大多数研究者都将评价的重点放在R&D活动投入产出的效率上, 并没有将科技资源投入进行细分, 也未对科技成果的产生、扩散、商品化和产业发展进行评价^[7]。而就评价方法而言, 尽管生产函

第一作者简介: 史常亮(1988—), 男, 北京林业大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 农业经济管理。

收稿日期: 2013年7月3日。

数法^[8]、级差地租法^[9]、指数法^[10]和非参数法(主要是DEA法^[11])都有所应用,但这些方法的不足和缺陷却常常被忽略,如生产函数法在假设市场完全竞争、难以评价单期数据等方面存在着局限性;级差地租法由于科技内涵不准确,也存在难以评价单一对象的问题;应用DEA方法研究科技投入产出效率尽管近年来国内极为流行,但也存在不少问题,如,常常不加区分地混用绝对和相对指标,只局限于报告期的效率研究,得出效率后很少有深层次的特征研究等。

为了能够从总体上描述一个地区的科技投入产出效率,指标体系综合评价法是一种常见的方法。但如何对各指标进行赋权也是该方法的一大难点。常用的层次分析法^[12]由于其主观性较强而在一定程度上影响了评价结果。由于体现科技投入和产出效率的诸多因素的不确定性或不完全性,该评价体系成为一个灰色系统。因此,本文提出了一种新的评价思路:通过灰色关联分析将各评价指标的原始数据转化为灰色关联系数。同时,在各指标权重的问题上采用了熵值法,其主要依赖于评价指标的实际数据,克服了主观因素的影响。在此基础上,计算加权灰色关联度来测度评价对象的科技投入、产出水平,并计算其科技投入产出效率。

2 评价指标体系

指标体系的科学建立,是评估工作成功的基础。为保证评价结果的全面、准确和客观,在遵从科学性、可比性、可行性3个原则的基础上,本文从科技投入和科技产出两个层面构建了陕西省科技投入产出效率的评价指标体系(表1)。

首先,科技投入是指全社会为支持科技活动而

进行的人力、经费、软硬件环境等各种资源的社会配置。本文中的科技投入指标主要从人力资源、研发机构资源和资金投入资源3个方面考虑。(1)科技人力资源,是指实际从事或有潜力从事系统性科学和技术知识的产生、发展、传播和应用活动的人力资源,这里仅包括科技活动人员和R&D人员。(2)研发机构资源:是在区内设立的独立或非独立的具有自主研发能力的技术创新组织载体,包括科学院、研究院、研究所等科研单位以及企业研发部门和大专院校。(3)科技财力投入:是支持开展科技活动的资金投入,在监测中,常常用到全社会人均科技经费支出、科技经费、R&D投入相当于GDP的比例、地方财政科技拨款、企业技术开发经费、工业技术改造实际投资额等指标。

其次,科技投入的根本目的在于创造更多的科技成果。因此,对科技产出的追踪是衡量一个地区科技发展政策实施效果的最终评判依据。科技产出指的是通过科技活动所产生的各种形式的结果,主要包括科技成果产出和高新技术产业化两个方面的内容:(1)科技成果产出:是指通过研究活动取得具有学术意义或实用价值的创造性结果,主要包括科技论文、专利技术和科技成果。(2)高新技术产业化:是指高技术成果在技术开发和产品开发的基础上,逐步商品化、产业化和国际化的发展过程。该项内容主要是通过技术成果成交额、新产品销售收入、高新技术产业增加值及其占工业增加值的比重4个指标加以衡量。

3 模型构建

应用灰色关联度分析方法进行综合评价的基本思想是:从样本(被评价对象)中确定一个理想化的最优样本,并以此为参考序列,通过计算各样本

表1 科技活动投入产出评价指标体系

目标层	准则层	方案层	目标层	准则层	方案层
科技活动投入	科技人力投入 X_1	科技活动人员投入强度 X_{11}	科技活动产出	专利授权 X_4	发明专利 X_{41}
		R&D活动人员投入强度 X_{12}			实用新型专利 X_{42}
	研发机构资源 X_2	科研院所 X_{21}			外观设计专利 X_{43}
		企业研发部门 X_{22}		获奖成果 X_5	国家级奖 X_{51}
		大专院校 X_{23}			省部级奖 X_{52}
	科技财力投入 X_3	人均科技经费支出 X_{31}		科技论文 X_6	国外主要检索工具收录的论文 X_{61}
		科技经费占GDP比重 X_{32}			中文科技期刊刊登的科技论文 X_{62}
		R&D经费占GDP比重 X_{33}		高新技术 X_7	技术市场成交合同金额 X_{71}
		科技三项财政拨款比率 X_{34}			新产品销售收入 X_{72}
		企业技术开发经费投入强度 X_{35}			高新技术产业增加值 X_{73}
		工业技术改造投资比率 X_{36}			X_{73} 占工业增加值的比重 X_{74}

序列与该序列的关联度，对评价对象做出综合比较和排序。下面以科技活动投入为例，具体步骤如下。

假设在灰色系统 S 中具有 $m(m > 1)$ 个参评单元，设 $i(i = 1, 2, \dots, m)$ 为所有参评对象的序号，再设科技活动投入的指标共有 $n(n > 1)$ 个， $k(k = 1, 2, \dots, n)$ 为评价指标的序号。那么， v_{ik} 就是第 i 年的第 k 个评价指标的评价值。

确定参考序列和比较序列。根据各评价指标的经济含义，取每个指标的最优值（此处的最优值即为最大值）组成参考序列 $V_0 = \{V_{01}, V_{02}, \dots, V_{0n}\}$ 。比较序列 $V_i = \{V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{in}\}(i = 1, 2, \dots, m)$ 就是系统 S 中的第 i 个参评单元。

评价指标之间的计量单位和数量级一般来说是不同的，即指标间存在不可公度性，这就使得各指标的综合汇总没有实际意义。采用初值化法对各指标值进行无量纲化处理。把无量纲化后的序列 $X_0 = \{X_{01}, X_{02}, \dots, X_{0n}\}$ 作为参考序列， $X_i = \{X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}\}$ 作为比较序列，利用式(1)计算关联系数：

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\min_k \min_i |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \times \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|} + \frac{\rho \times \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \times \max_k \max_i |X_0(k) - X_i(k)|} \quad (1)$$

在式(1)中， ρ 为分辨系数， $0 < \rho < 1$ ， ρ 越大，分辨率就越高，一般采用 $\rho = 0.5$ 。从而得到下面的关联系数矩阵：

$$E = (\xi_{0i}(k))_{m \times n} = \begin{bmatrix} \xi_{01}(1) & \xi_{01}(2) & \dots & \xi_{01}(n) \\ \xi_{02}(1) & \xi_{02}(2) & \dots & \xi_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \xi_{0m}(1) & \xi_{0m}(2) & \dots & \xi_{0m}(n) \end{bmatrix} \quad (2)$$

在式(2)中， $\xi_{0i}(k)$ 为第 i 个参评对象在第 k 项指标属性上与参考序列的关联系数。

灰色关联理论原理是取关联系数的算术平均值为关联度，这对于评价对象的考察属性较少且同层各属性程度差异不大的情况是适用的。但是，由于本模型对科技活动投入水平的综合评价是从3个一级指标、11个二级指标来测度的，指标多，且同层各指标对科技投入活动水平测度的重要程度是有较大差异的。因此，必须区分各指标度的计算权重乘以关联系数得到加权关联度。本文采用客观赋权法中的熵值法，依据指标所包含信息量的大小来确定方案层各指标的权重。设原始评价矩阵 $V = (v_{ik})_{m \times n}$ ，其

关联系数矩阵 $E = (\xi_{ik})_{m \times n}$ ， ξ_{ik} 表示第 i 个参评对象在第 k 项指标属性上的表现值。用 e_k 表示所有 m 个参评对象对第 k 项指标属性的贡献总量：

$$e_k = -K \sum_{i=1}^m P_{ik} \ln P_{ik} \quad (3)$$

在式(3)中， $P_{ik} = \xi_{ik} / \sum_{i=1}^m \xi_{ik}$ 表示第 i 个参评对象在第 k 项指标属性上的贡献度；常数 K 可取值为：

$K = 1/\ln m$ ，以保证 $0 \leq e_k \leq 1$ 。

定义 d_k 为第 k 项指标属性下各方案贡献度的一致性程度， $d_k = 1 - e_k$ ，则各指标属性权重 w_k 可表达为：

$$w_k = (w_1, w_2, \dots, w_n) = d_k / \sum_{k=1}^n d_k \quad (4)$$

最后，计算加权关联度向量，得出评价结果。根据上述方法得到： w_k 为第 k 项指标的权重 $k = (1, 2, \dots, n)$ ， $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 表示权重向量，则参评对象科技投入水平 R_{1m} 在方案层指标集相对于最高层指标上的加权关联度向量计算公式为：

$$R_{1m} = w_k^1 \cdot \xi_{0i}(k)_{m \times n} = (w_1^1, w_2^1, \dots, w_n^1) \cdot \begin{bmatrix} \xi_{01}(1) & \xi_{01}(2) & \dots & \xi_{01}(n) \\ \xi_{02}(1) & \xi_{02}(2) & \dots & \xi_{02}(n) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \xi_{0m}(1) & \xi_{0m}(2) & \dots & \xi_{0m}(n) \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

这样，就得到了各个参评对象在方案层指标集相对于最高层指标上的加权关联度向量。依据关联度向量中各分量的大小进行排序，关联度的大小顺序即为各参评对象的科技投入综合水平的排序。

科技产出水平 R_{2m} 的计算与科技投入水平 R_{1m} 相同，不再重复说明。通过编制科技投入水平指数、科技产出水平指数，并以科技产出水平指数除以科技投入水平指数就可以得到历年的科技投入产出效率。由于科技投入产出具有滞后效应，所以在计算投入产出效率时必须考虑滞后期。在时间序列中，一般滞后变量选1~3期较多，考虑到科技投入产出的实际情况，这里根据经验估计滞后期选择1期。因此，科技投入产出效率的计算公式为：

$$R_m = 100 \times R_{2,m} / R_{1,m-1} \quad (6)$$

其中， R_m 为第 m 年的科技投入产出效率； $R_{2,m}$ 为第 m 年的科技产出水平指数； $R_{1,m-1}$ 为第 $m-1$ 年的科技投入水平指数。

4 案例研究

本文以陕西省为分析实例，样本考察期设定为

最近10年,即2001–2010年。2001年至2010年的数据是目前陕西省统计局以及国家统计局对外公布的最新数据,最贴近当前的科技发展现实,数据说明力较强。同时,这10年的年度数据,也能够较好地反映陕西省当前一定时期的科技效益状况。用于分析的基础数据主要来源于2001–2011年的《陕西统计年鉴》与《中国统计年鉴》,部分来自于2001–2011年的《中国科技统计年鉴》。

根据前面建立的基于灰色关联分析法和熵值法的科技投入产出效率评价模型,以科技投入为例,对陕西省科技投入水平的综合评价,可以按如下主要步骤进行。

4.1 构建科技投入水平评价增广矩阵

根据科技活动投入产出评价指标体系,查找和计算陕西省2001–2010年的科技投入指标数据值,然后从中选出各项指标的最大值组成参考序列 V_0 ,原来的11项指标组成比较序列 $V_i(i=1,2,\dots,11)$,从而得到2001–2010年陕西省科技投入水平评价的增广矩阵 V 。同时,为了使各指标之间可以相互比较,运用初值化法对上述各指标进行无量纲化处

理,最终得到如表2所示的规格化评价增广矩阵 X 。

4.2 计算关联系数矩阵

把规格化后的序列 X_0 作为参考序列, $X_i(i=1,2,\dots,11)$ 作为比较序列,利用公式(1)可计算出关联系数,并得到表3所示的关联系数矩阵 $E=(\xi_{ik})_{m \times n}$ 。

4.3 利用熵值法计算方案层指标的权重

按综合评价模型中熵值法的计算步骤,利用式(3)和式(4)对关联系数矩阵 $E=(\xi_{ik})_{m \times n}$ 计算最优权重向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_{11})$,结果如表4所示。表4同时还给出了利用熵值法确定的科技产出水平方案层各指标的权重。

4.4 计算加权关联度向量,得到科技投入产出效率

按照式(5),计算加权关联度向量,即为表示陕西省2001–2010年科技投入水平的综合评价指标。类似地,可计算出陕西省2001–2010年科技产出水平的综合评价指标。进一步利用式(6),可计算出陕西省近10年的科技投入产出效率,如表5所示。从表5中数据可以看出,近10年来,陕西省科技投入产出效率有明显提升,该结果与文献[7]的研究结论基本相同。由此证明此方法应用在科技投

表2 2001–2010年陕西省科技投入水平评价增广矩阵表

年份	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
2001	1.064	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2002	1.240	0.958	1.072	0.843	1.255	1.270	1.053	1.097	1.111	1.279	0.965	0.844
2003	2.826	0.964	0.960	0.871	1.521	1.506	1.247	1.293	1.037	1.410	1.018	1.895
2004	4.674	0.943	0.868	1.105	1.811	1.878	1.668	1.767	1.074	1.484	0.903	1.694
2005	3.953	0.990	0.950	1.394	1.462	2.111	1.753	1.806	0.889	1.911	0.938	0.956
2006	3.113	1.028	1.053	1.431	2.029	2.213	1.922	1.868	0.852	1.945	1.106	2.190
2007	2.733	1.054	1.152	1.758	2.460	2.343	2.292	2.171	0.852	2.461	1.115	1.222
2008	1.111	1.046	1.146	2.082	3.065	2.969	2.882	2.330	0.778	2.722	1.646	7.274
2009	2.763	1.061	1.205	2.622	4.091	3.624	3.113	2.593	0.852	2.763	1.000	1.094
2010	1.646	1.064	1.240	2.826	4.674	3.953	2.987	2.733	1.000	2.639	1.186	6.112

表3 2001–2010年陕西省科技投入水平关联系数矩阵表

年份	ξ_{01}	ξ_{02}	ξ_{03}	ξ_{04}	ξ_{05}	ξ_{06}	ξ_{07}	ξ_{08}	ξ_{09}	ξ_{010}	ξ_{011}
2001	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
2002	0.763	0.742	0.785	0.711	0.708	0.745	0.737	0.735	0.707	0.762	0.785
2003	0.762	0.762	0.780	0.669	0.672	0.712	0.704	0.748	0.686	0.752	0.619
2004	0.766	0.780	0.736	0.630	0.621	0.649	0.636	0.742	0.675	0.773	0.645
2005	0.757	0.764	0.689	0.678	0.593	0.637	0.630	0.776	0.617	0.767	0.763
2006	0.750	0.745	0.683	0.603	0.582	0.616	0.623	0.783	0.613	0.736	0.585
2007	0.745	0.728	0.637	0.556	0.568	0.573	0.587	0.783	0.556	0.734	0.716
2008	0.747	0.729	0.597	0.501	0.509	0.517	0.569	0.798	0.531	0.652	0.298
2009	0.744	0.719	0.540	0.430	0.460	0.497	0.543	0.783	0.527	0.755	0.738
2010	0.743	0.713	0.522	0.397	0.438	0.508	0.530	0.755	0.539	0.722	0.335

表4 方案层对目标层的权重

评价指标	代号	权重	评价指标	代号	权重
科技活动人员投入强度	X_{11}	0.082	发明专利	X_{41}	0.114
R&D活动人员投入强度	X_{12}	0.083	实用新型专利	X_{42}	0.086
科研院所	X_{21}	0.090	外观设计专利	X_{43}	0.090
企业研发部门	X_{22}	0.099	国家级奖	X_{51}	0.077
大专院校	X_{23}	0.094	省部级奖	X_{52}	0.077
人均科技经费支出	X_{31}	0.092	国外主要检索工具收录的论文	X_{61}	0.098
科技经费占GDP比重	X_{32}	0.088	中文科技期刊刊登的科技论文	X_{62}	0.092
R&D经费占GDP比重	X_{33}	0.083	技术市场成交合同金额	X_{71}	0.090
科技三项财政拨款比率	X_{34}	0.089	新产品销售收入	X_{72}	0.103
企业技术开发经费投入强度	X_{35}	0.083	高新技术产业增加值	X_{73}	0.098
工业技术改造投资比率	X_{36}	0.117	X_{73} 占工业增加值的比重	X_{74}	0.077

表5 陕西省2001-2010年科技投入产出效率

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
科技产出水平	0.755	0.744	0.711	0.691	0.697	0.660	0.651	0.573	0.609	0.551
科技投入水平	0.869	0.852	0.826	0.787	0.774	0.731	0.683	0.651	0.589	0.516
科技投入产出效率	——	0.886	0.901	0.903	0.893	0.953	0.965	1.000	0.973	1.182

入产出效率的评价中合理可行。

5 结语

科技投入产出效率评估需要统筹考虑多目标的属性，其评价方法和准则至今尚未达到十分成熟。本文将基于灰色关联分析法和熵值法的评价模型应用于对科技投入产出效率的综合评价中，引入熵值法计算权重系数，可以有效地解决评价指标较多且同层各指标重要程度差异较大的问题，为更合理地选择科技投入产出效率评价方法提供了一条新的途径。相较而言，该综合评价模型具有如下优点。

一是，评价模型将科技投入产出评价视为灰色系统，在考虑到评价指标数据的不完全性和不确定性的基础上，通过对部分已知信息的生成、开发，实现对现实世界的确切描述和认识，较过去用过的方法更为客观，更加符合实际。

二是，评价模型运用熵值法来确定评价指标的权重，克服了主观因素的影响，具有很强的合理性，进一步提高了综合评价结果的准确性。

三是，该评价模型思路清晰，且计算方便，可操作性较强。

参考文献

[1] 徐蓓,范纯增.地区科技投入产出效率的测度与评价

[J].科技管理研究,2010(7):38-40.
[2] 陈燕武.福建省科技投入产出效率评价——基于超效率模型和Malmquist指数的实证研究[J].科技和产业,2011,11(1):40-44.
[3] 刘杰,谭清美.科技投入产出效率评价模型的改进研究——以江苏省为例[J].科学管理研究,2011,29(1):106-109.
[4] 谢友才,张红辉.区域科技投入产出效率的DEA视窗分析[J].研究与发展管理,2007,19(3):85-92.
[5] 于静霞,刘玲利.我国省际科技投入产出效率评价[J].工业技术经济,2007,26(9):134-137.
[6] 张前荣.我国省域科技投入产出效率的实证分析[J].南京师大学报:社会科学版,2009(1):59-63.
[7] 王军生,李帆.陕西科技投入效益的评价研究[J].西安财经学院学报,2013(2):117-121.
[8] 李兵,王铮,李刚强.我国科技投入对经济增长贡献的实证研究[J].科学学研究,2009,27(2):196-201.
[9] 张聪明.级差地租的新发现及其启示[J].开发研究,1997(2):58-59.
[10] 连燕化,石兵,刘学英,等.国家科学技术投入与产出评价[J].中国软科学,2002(1):28-31.
[11] 孙善侠,范纯增,史清华.我国科技投入产出效率的测度与评价[J].上海管理科学,2008(1):65-68.
[12] 陆建芳,戴炳鑫.科技投入产出效率评估[J].科技通报,2009,25(2):243-247.