

我国各地区科技资源配置的相对有效性研究

张倩伟¹, 甄苓²

(1.中国人民大学经济学院, 北京市 100872; 2.中国农业大学理学院, 北京市 100083)

摘要: 本文运用基于超效率的数据包络分析 (DEA) 方法, 利用变量相关性理论建立评价指标体系, 对我国各地区科技资源配置的相对有效性进行研究, 并根据聚类分析法对各地区的配置效率进行分类, 指出了各类地区在科技资源配置方面存在的优点与不足, 并有针对性地提出了建议, 有利于把握我国科技资源配置方面在整体上存在的问题, 审视相应的政策安排。

关键词: 科技资源配置; 数据包络分析方法; 聚类分析

中图分类号: F127

文献标识码: A

文章编号: 1007-8266(2008)04-0034-04

科学技术作为第一生产力对经济发展起着首要的变革作用。现代科技已广泛渗透到经济活动的各个层面, 使经济规模和速度迅速增长, 同时也使经济结构、劳动结构、产业结构和经营方式等发生着变化。因此, 提高科技资源的配置效率有利于加快科技创新, 提高综合国力, 顺应社会发展需求, 符合可持续发展的科学发展观。

广义的科技资源是指能够直接或间接推动科技进步从而促进经济发展的一切资源, 包括一般意义的劳动、专门从事科学研究的人员、资金、科学技术存量、信息、环境等, 可分为科技人力资源、科技财力资源、科技物力资源、科技信息资源、科技组织资源、科技环境资源六个组成要素。^[1]

对各地区科技资源配置的相对有效性进行研究是一个综合评价问题, 目前采用较多的方法是模型评价法。该方法通过一定的数学模型 (或算法) 将被评价事物的多个指标信息综合起来, 合成“一个整体性的综合评价指标, 由此反映被评价事物的整体状况。”合成“过程中的一个重要步骤是根据指标的重要性赋予各指标权重。数据包络分析 (Data Envelopment Analysis, DEA) 作为一种非参数估计法, 无需建立因变量与解释变量之间的函数关系, 可直接利用线性规划理论建立最优化模型, 由模型确立各变量的权重系数。该方法不仅避免了人为因素的影响, 而且能够根据不同模型的特点提供更多的管理信息。为此, 本文选用 DEA 方法对科技资源配置的相对有效性进行研究, 并通过变量相关性理论确定评价指标体系。

一、数据包络分析理论与模型

1. 数据包络分析理论方法简介。数据包络分析是使用数学规划模型评价具有多输入特别是多输出的同类型部门或单位 (称为决策单元 Decision Making Units, DMU) 间相对有效性的非参数统计估计方法, 它不需要事先给定变量之

间的函数关系, 可直接根据各决策单元 (DMU) 的输入输出数据, 利用数据包络分析模型判断各决策单元是否为数据包络分析有效, 即判断决策单元是否位于生产可能集的生产前沿面上, 而各指标的权重可由数据包络分析模型的最优解来确定。数据包络分析方法既避免了主观赋权法的人为因素影响, 又无需像参数估计方法 (如主成分分析法、因子分析法、熵值法等) 那样要找出变量之间的函数关系。因此, 数据包络分析方法在综合评价方面具有独特的优势。

2. DEA 模型 C²R 和 BC²。1978 年查恩斯 (A.Charnes)、库伯 (W.W.Cooper) 和罗兹 (E.Rhodes) 建立了第一个数据包络分析模型。之后, 随着数据包络分析应用领域的拓展, DEA 模型也在不断扩充和完善。目前, 最具有代表性的经典模型有四个: C²R 模型、BC² 模型、FG 模型和 ST 模型。由于 BC² 模型可以包含规模收益递增、不变和递减三种情况, 能够描述生产前沿面的更多管理信息, 在此我们选用 BC² 模型, 并借助 C²R 模型给出判定规模收益的充分必要条件。

假设共有 n 个决策单元, 每个决策单元有 m 种投入 $x_j \in E_+^m$ 和 s 种产出 $y_j \in E_+^s$, $x_j \in (x_{1j}, \dots, x_{mj})^T$, $y_j = (y_{1j}, \dots, y_{sj})^T$ 。其中 x_{ij} 为第 j 个决策单元的第 i 种投入, y_{rj} 为第 j 个决策单元 DMU _{j} 的第 r 种产出。为方便起见, 第 j_0 个被评价决策单元记为 DMU₀, 投入产出向量记为 (x_0, y_0) 。DMU₀ 对应的输出 (C²R) 和 (BC²) 模型为:

$$(D) \begin{cases} \max z = z^0 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq x_{i0} \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \geq y_{r0} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n \end{cases}$$

生产可能集为：

$$T = \left\{ (x, y) \mid \sum_{j=1}^n x_{ij} x_j, \sum_{j=1}^n y_{ij} y_j, \sum_{j=1}^n \theta_j = 1, \theta_j \geq 0, j=1, \dots, n \right\}$$

为取值 0 或 1 的参数， $\theta_j=0$ 表示 (C^2R) 模型， $\theta_j=1$ 表示 (BC^2) 模型。

定义 1 若线性规划 (D) 的最优值 $z^0=1$ ，则称 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效；若线性规划 (D) 的最优值 $z^0>1$ ，则称 DMU_{j_0} 为非弱 DEA 有效。

模型 (D) 的经济含义为：保持投入 x_0 不变的情况下，产出最多可以扩大多少倍。若产出不可以扩大 ($z^0=1$)，则表明 DMU_{j_0} 已在生产可能集的生产前沿面上，故为弱 DEA 有效；若产出可以扩大 ($z^0>1$)，则表明 DMU_{j_0} 在生产可能集的内部，从而为非弱 DEA 有效。

3. 非弱 DEA 有效决策单元的改进。对不在前沿面上的非弱 DEA 有效 (BC^2) 的决策单元 DMU_{j_0} ，可通过下面的模型给予改进。

$$(D') \begin{cases} \max (\hat{e}^T s + e^T s^*) = V_0 \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} + s_j = x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_{ij} - s_j^* = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \theta_j = 1 \\ \theta_j \geq 0, s_j^* \geq 0, s_j \geq 0, j=1, \dots, n \end{cases}$$

定义 2 设 θ^0, s^{*0}, s^0 为 (D') 的最优解，令 $\hat{x}_0 = x_0 - s^0, \hat{y}_0 = y_0 + s^{*0}$ ，称 (\hat{x}_0, \hat{y}_0) 为 DMU_{j_0} 在生产可能集 T_{BC^2} 的生产前沿面上的“投影”。

将非弱 DEA 有效 (BC^2) 的决策单元 DMU_{j_0} 的投入向量减少 s^0 ，产出向量增加 s^{*0} 后，原决策单元便可由非弱 DEA 有效变为弱 DEA 有效。

记 $a_{ij} = s_{ij}^0/x_{ij}, r_{ij} = s_{ij}^{*0}/y_{ij}$ ，则 a_{ij} 为 DMU_{j_0} 的第 i 种投入的投入冗余率， r_{ij} 为 DMU_{j_0} 的第 r 种产出的产出不足率。通过比较一个系统在不同年份的投入冗余率和产出不足率，可以动态反映该系统尚需改进和已经改善的方面，而分析系统在同一时期内的投入冗余率和产出不足率则可对系统内各决策单元进行横向比较。

4. 规模收益的判定。对规模收益状况研究的实质是讨论投入的规模状态，应在保持投入不变的情况下进行分析。因此，使用输出数据包络分析模型是合理的。我们利用 (C^2R) 模型给出判定决策单元规模收益的充要条件。

定理 1：设 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效 (BC^2) 且 θ^0, z^0 为 (D_{C^2R}) 的最优解^[2]，则：

- (1) DMU_{j_0} 规模收益递增 $\Leftrightarrow z^0 > 1$ 且 $\sum_{j=1}^n \theta_j^0 < 1$ ；
- (2) DMU_{j_0} 规模收益不变 $\Leftrightarrow z^0 = 1$ ；
- (3) DMU_{j_0} 规模收益递减 $\Leftrightarrow z^0 > 1$ 且 $\sum_{j=1}^n \theta_j^0 > 1$ 。

在此应注意 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效 (BC^2) 的前提条件不可少，否则上述定理不一定成立。对于非弱 DEA 有效 (BC^2) 的决策单元 DMU_{j_0} ，在保持投入不变的情况下，向 T_{BC^2} 前沿面做投影，投影的规模收益状况与原决策单元的相一致。

二、我国各地区科技资源配置相对有效性的实证分析

1. 输入输出指标的确定及数据的选取。在运用数据包络分析方法时，建立科学的指标体系是研究工作成功的基础。现有文献中一般使用定性方法建立评价指标体系，难免存在指标间的相关性，而相关性往往影响评价结果。本文将定性和定量方法结合起来，在我国科技进步检测指标的基础之上，运用统计学中变量相关性理论来建立评价指标体系，投入指标之间以及产出指标之间要相对独立，以体现各种投入的代表性，尽量减少评价指标，增强模型的评价能力。^{[3],[4]} 基于此，我们选取投入指标为：研发 R&D 科工人数（投入 1）、研发经费支出（投入 2）和地方政府科技拨款（投入 3）；产出指标为：发明专利授权量（产出 1）、技术市场合同成交额（产出 2）、科技论文数（产出 3）和高科技产业规模以上企业增加值（产出 4）。投入指标分别体现了科技人力资源投入、科技财力资源投入和地方政府的支持力度；产出指标的前三项体现了科技直接产出成果，后一项体现了科技转化情况。

本文的数据来源于中国科技统计年鉴，由于西藏数据有缺失，我们选取了除西藏以外的 30 个省、市、自治区为研究对象。考虑到科技资源投入与产出之间存在滞后性，我们选取 2004 年的数据为投入指标，2005 年数据为产出指标。

利用 MATLAB 求解线性规划问题，可以得到 2004 年我国各地区科技资源配置的相对效率值、投入冗余率以及各地区的规模收益状况，如表 1 所示。

2. 基于超效率模型 (BC^2) 的聚类分析。在 (D_{BC^2}) 约束条件中将被评价的决策单元去除，得到的模型即为超效率 SE- (BC^2) 模型，将该模型的最优值记为 z' 。超效率 DEA 模型能够对位于生产前沿面上、将效率值为 1 的决策单元作进一步区分，对于非弱 DEA 有效的决策单元则不会改变其原有的效率值，从而可对所有决策单元按超效率大小给予完全排序。^{[5],[6]}

最优分割法是根据离差平方和对有序样品进行聚类的方法。本文先按照模型的效率值将各地区进行排序，其结果见表 1 第 2 列。在给出聚类数目后，可依据 z' 的大小通过最优分割法求出分割点，对各地区进行聚类分析^[7]，聚类结果见表 1 第 4 列。由于该方法是用最优分割理论寻找最优分割点从而进行聚类，因此比人为给定聚类标准更客观。

3. 评价结果分析。根据表 1 提供的信息，我们按照聚

表 1 我国各地区科技资源配置相对有效性的 DEA 评价结果

排序	地区	分类	1/Z ⁰	1/Z ¹	规模收益	投入冗余率%			产出不足率%			
						投入 1	投入 2	投入 3	产出 1	产出 2	产出 3	产出 4
1	北京	1	1.0000	2.5310	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	陕西	2	1.0000	1.6911	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	广东	2	1.0000	1.6320	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	云南	2	1.0000	1.6289	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	江苏	2	1.0000	1.5599	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	上海	2	1.0000	1.5553	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	湖北	3	1.0000	1.3855	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	天津	3	1.0000	1.3124	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	新疆	3	1.0000	1.2856	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	重庆	3	1.0000	1.2074	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	青海	3	1.0000	1.1800	递增	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	贵州	3	1.0000	1.1106	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	内蒙古	3	1.0000	1.0674	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	湖南	3	1.0000	1.0260	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	海南	3	1.0000	1.0000	不变	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	吉林	3	0.9980	0.9980	递增	13.31	0.00	0.00	0.00	0.82	1.92	0.00
17	广西	3	0.9631	0.9631	递减	31.20	0.00	21.64	24.46	0.00	5.69	0.00
18	甘肃	3	0.9267	0.9267	递增	8.13	0.00	0.00	25.61	0.00	8.13	72.19
19	河南	4	0.8112	0.8112	递减	6.41	0.00	25.08	54.85	0.32	24.77	16.35
20	安徽	4	0.8017	0.8017	递增	0.00	23.43	0.00	57.83	0.25	24.24	73.70
21	浙江	4	0.7971	0.7971	递减	0.00	0.00	37.14	24.45	0.51	37.88	26.67
22	山西	4	0.7834	0.7834	递增	0.00	0.00	27.76	8.55	3.04	89.94	190.03
23	福建	4	0.7819	0.7819	递增	0.00	0.00	3.01	110.10	0.26	84.41	0.00
24	黑龙江	4	0.7643	0.7643	递减	23.89	0.00	39.36	13.49	0.89	48.34	32.56
25	山东	4	0.7638	0.7638	递减	0.00	2.64	0.00	62.28	0.19	34.38	0.00
26	四川	4	0.7466	0.7466	递增	0.00	0.00	0.00	42.97	1.11	58.57	0.00
27	辽宁	4	0.7234	0.7234	递减	0.00	0.00	11.46	36.18	0.32	62.49	126.02
28	宁夏	4	0.7063	0.7063	递增	23.82	0.00	0.00	21.25	0.27	85.84	96.77
29	江西	4	0.6572	0.6572	递增	0.00	0.00	2.02	97.35	0.23	105.12	0.00
30	河北	4	0.6069	0.6069	递减	0.00	0.00	19.67	51.54	0.93	74.59	51.17

注：按照 Farrell(1957) 技术效率概念，^[8] 输出 DEA 模型的最优值恰好是 Farrell 技术效率的倒数，所以我们采用 z^0 和 z^1 的倒数形式来表示各地区的相对有效性。

类的结果，分别从地域分布、规模状态及投入冗余和产出不足角度对我国各地区科技资源配置相对有效性进行分析。

(1) 首都北京市的相对效率值最高且遥遥领先于其他地区，故单独作为一类。北京市处于规模收益不变且投入冗余率和产出不足率均为 0 的状态。北京市的研发经费支出为 317.33 亿元，研发科工人数为 13.18 万人，均居全国首位，发明专利授权量、技术市场合同成交额以及科技论文数也居全国第一。这说明作为高科技企业和人才的聚集地，北京市充分有效地利用了科技资源，并且处于高投入高产出的

的良好发展阶段，起到了模范带头作用。

(2) 根据聚类划分，属于第二类的地区有 5 个，分别是陕西省、广东省、云南省、江苏省和上海市。这 5 个地区均处于规模收益不变状态且投入冗余率和产出不足率为 0。作为西部地区的陕西省，其科技资源配置的相对效率仅次于北京市，居全国第 2。从投入角度来看，陕西省的各项投入均低于广东省、江苏省、上海市三个东部地区，尤其地方政府科技拨款这一项是第二类的 5 个地区中最低的，就产出而言，该省的各项产出均低于同类的三个东部地区。这表明陕西省的科技资源配置处于低投入低产出状态，但是该省能够充分发挥各项投入的利用价值，做到人尽其才，物尽其用，从而使相对效率居于第二类之首。因此，陕西省科技资源高效率配置的管理模式可以作为其他西部省市学习的典范。

(3) 第三类的省市共有 12 个，东、中、西部地区分别占 3 个、4 个和 5 个。其中，大部分地区处于规模收益不变状态，只有青海、吉林、甘肃三省规模收益递增，广西壮族自治区则为规模收益递减。从投入冗余率和产出不足率来看，规模收益不变的地区这两项均为 0。青海省虽然处于规模收益递增状态，但这两项也为 0，说明青海省这一弱 DEA 有效地区的投入产出已达到合理状态，如若能够扩大投入规模，则会收到更好的效果。吉林省和甘肃省规模收益递增，但两省的研发科工人数均有冗余，因此两省

应先按照相应比例精简从事研发的科工人数，使本省达到弱 DEA 有效状态，然后再适当增加投入，以提高科技资源配置的效率。对于规模收益递减的广西壮族自治区，其研发科工人数和地方政府科技拨款两项投入都出现冗余，故该地区应合理分配科工人员，有效利用政府拨款，并通过制定有利于科技发展的政策措施，加强内部协调，增加发明专利授权量和科技论文数来提高本地区的配置效率。

(4) 最后一类包含的地区有 12 个，这些地区的效率值范围由 0.607 到 0.811，与全国其他地区相比较低。在这 12

个地区中,东、中部地区各占5个,西部地区有两个,规模收益递增和递减的地区均为6个,中东部地区除福建省外均为递减,而两个西部地区则都处于递增状态。需要指出的是,浙江省、山东省这两个东部沿海经济发达地区,其科技资源配置的相对效率却分居全国第21位和第25位,与其在全国的经济地位不相符,导致这一结果的并非投入不足,而是投入过剩。浙江省地方政府科技拨款仅次于广东省和上海市,居全国第3,但该项投入的冗余率却为37.14%;山东省的研发经费支出低于北京市、江苏省、广东省和上海市,居全国第5位,但冗余率为2.64%。因此,这两个省应该加强地方科技拨款和研发经费支出的管理和规划,提高经费投入的使用效率。福建省和山西省均处于规模收益递增状态,两省虽然地方政府拨款均出现冗余,但福建省发明专利授权量的产出不足率为110.1%,而山西省高科技产业规模以上企业增加值的不足率竟高达190.03%。因此,两省在缩减地方政府科技拨款后应加大整体投入力度,福建省要对科技创新、发明创造给予足够重视,山西省则应对高科技企业给予大力扶持。

三、结论

经过上述分析,得出以下结论:

1. 从DEA有效性角度看,在被评价的30个地区中,有15个地区是弱DEA有效的,东部、西部平分秋色,各占6个。这说明西部地区与东部地区相比,虽然经济基础较弱,但在西部大开发政策的指引下,西部地区科技资源的利用效率得到了很大提高。

2. 在非DEA有效性的地区,大都出现投入冗余和产出不足并存的现象,并且这些地区的规模收益处于递增或递减状态。就地域分布而言,非DEA有效的地区中,位于东部地区的规模收益状况大都递减,而中西部地区大都处于递增状态。这说明非DEA有效地区的投入过剩并非投入数量的绝对过剩,而是由于投入结构不合理、利用率低所造成的相对过剩。对于规模收益递增的非DEA有效地区,应加

大投入力度,改进管理模式,提高资源的相对利用效率;对规模收益递减的非DEA有效地区,则应稳定现有投入规模,对冗余投入进行合理调配,并根据评价结果调整产出方向,弥补产出不足,使其达到有效状态。

* 本文系国家自然科学基金项目《最优化与数据挖掘》项目编号:70531040)及山东省社会科学重点规划项目《最优化哲学研究》项目编号:06JDB075)的部分成果。

参考文献:

[1]周寄中.科技资源论[M].西安:陕西人民教育出版社,1999:43-50.

[2]魏权龄.数据包络分析[M].北京:科学出版社,2004:146-148.

[3]方开泰.实用多元统计分析[M].上海:华东师范大学出版社,1989:291-292.

[4]Banker R.D.,Charnes A.,Cooper W.W.,Swartz J.,Thomas D. An introduction to Data Envelopment Analysis with some of its models and their users[J].Research in Government and Nonprofit Accounting, 1980(5):125-163.

[5]Andersen P.,Petersen N. C. A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis [J].Management Science,1993(10):1261-1264.

[6]Xue M.,Harker P. T. Note:Ranking DMUs with infeasible super-efficiency DEA models[J].Management Science,2002(5):705-710.

[7]李果,王立明.对DEA聚类方法的一种改进[J].预测,1999(4):66-67.

[8]Farrell M. J. The Measurement of Production Efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society,1957(120):253-281.

[作者简介]张倩倩(1981-),女,山东省曲阜市人,中国人民大学经济学院博士生,主要研究方向为数据包络分析、最优化理论与算法;甄葵(1964-),女,辽宁省沈阳市人,中国农业大学理学院数学系副教授,主要研究方向为数据包络分析、双层规划等。

责任编辑:孙志伟

Research on Relative Validity of Region's S&T Resource Allocation

ZHANG Qian-wei and ZHEN Ling

(Economic School, Renmin University of China, Beijing, 100872, China)

Abstract: In this paper, the theory of super data envelopment analysis was applied in the evaluation of relative validity of region's S&T resource allocation. The evaluation index system was elected with the application of the variable relativity theory, and based on cluster analysis, we gave the classification of region's allocation validity. Furthermore, the evaluated results were analyzed, and the corresponding countermeasures and suggestions were proposed.

Key words: allocation of S&T resources; DEA method; cluster analysis