

我国各地区高技术产业投入产出效率综合评价

容美平, 王斌会

(暨南大学 经济学院, 广东 广州 510632)

摘 要: 根据我国 30 个省(市/区)2007 年高技术产业的相关投入产出数据指标, 基于因子分析和数据包络分析(DEA)方法, 对比分析了各个地区的高技术产业的投入产出技术效率、投入产出比例。分析结果表明, 东部地区在高技术产业的投入产出数量上占有绝对优势, 但是投入存在着大量冗余, 而中西部地区的投入产出数量相对不足。因此, 应当调整我国高技术产业的区域投入结构, 加强东部地区与中西部地区的高技术产业在技术、资金、人才上的融合。

关键词: 高技术产业; 投入产出效率; DEA; 技术效率

中图分类号: F276.44

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2010)14-0025-04

0 引言

改革开放以来, 特别是 20 世纪 90 年代以来, 通过实施重点基础研究, 863、科技攻关、火炬、星火等科技发展战略, 以及国家重大科学工程建设和国家重点工业实验室等一系列活动, 我国科技工作形成了比较完整的科学研究与开发体系, 使整体的科技水平位居发展中国家前列。科学技术作为第一生产力在经济中的作用越来越显著, 区域发展的不平衡问题越来越多地源于科学技术方面的差距。同时科技的发展也为落后地区的追赶提供了捷径, 科技的发展将是促进我国区域经济发展, 缩小区域经济差距的最为重要的方式^[1]。

1 研究方法

本文将高科技产业作为一个投入产出系统进行研究, 该系统是一个多投入、多产出的系统, 需要研究的投入产出效率也是一种相对效率, 因此本文采用 DEA 方法, 度量各地区的投入产出的技术有效性, 获得相应的效率评价。

根据已有研究对高科技产业进行绩效评价的指标体系, 结合《2008 年中国科技统计年鉴》等数据来源、DEA 方法本身对数据的要求, 采用因子分析方法进行降维处理, 确定投入和产出指标, 并主要采用 DEA 方法, 测度各地区高科技产业投入及产出的技术效率, 研究高科技产业投入的技术有效性。参考因子分析所得的投入产出排名以及 DEA 效率综合排名的比较, 分析高投入高产出的有效性与低投入低产出的有效性的差别。

1.1 因子分析法

因子分析是数据压缩的一种多变量分析方法。它把众多的指标综合成几个为数较少的公共指标, 这些指标即因子指标。因子分析模型将各变量之间的协方差用几个公因子加一个特殊因子来表示。对于经过标准化的变量, 初始因子分析模型可以用公式表示:

$$x_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + \varepsilon_i, i=1, 2, \dots, n$$

其中: x_i 为实际变量; a_{ij} 为第 i 个变量在第 j 个主因子上的载荷。载荷越大, 则说明第 i 个变量与第 j 个主因子的关系越密切; F_j 为公共因子; ε_i 为特殊因子。

对因子载荷矩阵的估计方法有多种, 最常用的是主成分法。因子分析的目的是将多个变量简化为数量较少的因子, 以便进行进一步分析。在这种情况下, 需要将因子表示为主变量的线性组合:

$$F_j = b_{j1}x_1 + b_{j2}x_2 + \dots + b_{jm}x_m, j=1, 2, \dots, m$$

上式称为因子得分函数, 可以用来计算每个因子的得分。以各因子的方差贡献率为权重, 由各因子得分的线性组合得到综合得分:

$$F = (w_1F_1 + w_2F_2 + \dots + w_mF_m) / \sum_{i=1}^m w_i$$

其中, w_i 为因子的方差贡献率。

该模型有两个特点: 变量经过标准化处理, 模型不受量纲影响; 因子载荷不是唯一的, 可以通过因子轴的旋转, 使新的因子具有更鲜明的实际意义^[2]。

1.2 数据包络分析(DEA)

DEA 方法是一种非参数、对多投入多产出决策单元进行相对效率评价的计量经济方法。它根据一组输入输出观

收稿日期: 2009-08-13

基金项目: 广东省软课题项目(2008A070200004)

作者简介: 容美平(1985-), 女, 湖南邵阳人, 暨南大学经济学院硕士研究生, 研究方向为金融计量模型与分析; 王斌会(1965-), 男, 陕西陇县人, 博士, 暨南大学经济学院教授、博士生导师, 研究方向为统计学和数量经济学。

测值来估计有效生产的前沿面，并以此为基础进行多目标综合评价。

技术效率(Technical Efficiency, TE)衡量技术在稳定使用(即没有技术创新)过程中,生产者获得最大产出的能力,表示生产者的生产活动接近其生产边界(最大产出)的程度,即反映了生产者利用现有技术的有效程度^[3]。本文由固定规模报酬下的基于投入的 CCR 模型求得。若技术效率值为 $TE < 1$, 则可以在产出不变的情况下,以 $1-TE$ 的比例减少要素投入量。下面介绍本文测算效率值的 DEA 模型——基于投入的 CCR 模型。

设有 n 个决策单元(Decision Making Unit, DMU), 每个决策单元都有 m 种投入指标 X 和 s 种产出指标 Y , 用 X_{ij} 表示第 j 个 DMU 的第 i 种投入量, Y_{rj} 表示第 j 个 DMU 的第 r 种产出量, 分别记投入向量 $(X_{1j}, X_{2j}, \dots, X_{mj})^T = X_j$, 产出向量 $(Y_{1j}, Y_{2j}, \dots, Y_{sj})^T = Y_j$ 。利用 DEA 的思想, 我们构造线性规划模型:

$$\begin{aligned} \text{Min } q &= V_0 \\ \text{s.t. } & \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq q X_{j_0} \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_{j_0} \\ & \lambda_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

这个模型构造出某个虚拟的 DMU, 其投入量是 $\sum_{j=1}^n \lambda_j X_j$, 产出量是 $\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j$, $\lambda_j \geq 0 (j=1, 2, \dots, n)$ 是权重。这个 DMU 可以用来评价第 j_0 个 DMU 的相对效率。因为从约束条件来看, 我们求解的是在产出不小于第 j_0 个 DMU 的条件下 ($\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_{j_0}$), 尽可能小的投入量 ($\text{Min } q, \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq q X_{j_0}$)。 q 值为 1, 说明无法通过权重组合使得在产出不减少的情况下投入减少, 故第 j_0 个 DMU 有效。否则就存在权重组合的 q 值小于 1 的虚构 DMU, 可以用更少的投入达到同样甚至更多的产出^[4]。

2 各地区大中型工业企业效率评价分析

2.1 投入、产出指标选择

对于评价高科技产业的效率而言, 影响因素众多, 关系错综复杂, 评价指标的选择非常重要。

从高技术产业的生产来看, 首先, 要素投入中劳动力投入对任何一个产业的生产都是很重要的, 对于高技术产业而言, 劳动力的素质显得尤其重要。劳动力的素质越高, 掌握的技术能力和技术创新能力就越强, 对生产的促进作用就越大, 故而 R&D 人员全时当量可以作为一个评价指标。其次, R&D 经费投入反映了一个产业或者一个企业对技术创新的重视程度, 是技术进步的基础。一般来讲, 一个产业越重视技术进步, 对 R&D 的经费投入就会越多。关于资金的有效使用及项目的实施情况, 所有的技术和智力成果都必须有资金的支持才能够转化为经济效益, 因而科技机构经费和 R&D 项目经费也是影响其效率的一个重要因素。最后, 技术进步本身对高技术产业的发展有着很大的影响, 也是影响高技术产业效率的一个因素。目前引进

外资和西方先进技术对我国高技术产业的发展起到了十分重要的作用, 但是具有自主知识产权的技术进步才是支持生产率增长的持续性因素, 因而消化吸收经费、技术改造经费与购买技术经费、引进技术经费的比例, 也能反映高技术产业的投入效率情况^[5]。

从高技术产业的产出来看, 总产值反映了整个行业经营活动的总成果, 是产出的主要衡量指标, 而新产品产值从一定程度上体现了 R&D 经费、技术进步的应用水平, 它们的比值反映了高技术产业不同于其它产业创新的特点。主营业务收入是指企业在报告期内生产的成品、自制半成品和工业性劳务取得的收入, 是产品的销售收入和提供劳务等主要经营业务取得的业务总额, 反映本年度内高技术产业经营业绩成果, 有利于调动企业的投资方向和行为、合理配置社会资源。新产品的销售与主营业务的比例反映了研发活动带来的创新效应, 高新技术科技项目数的增加也是产业技术效益的表现。从企业到产业, 科技项目的一次次成功必将推动新项目的发展, 使整个产业的研发项目总数持续增加, 并且其上升的快慢程度能反映出技术效益的大小。拥有发明专利数和专利申请数作为间接效益指标, 可以反映企业获得并持续获得垄断利润的能力。对各地区高技术产业效率进行评价的指标如表 1 所示。

表 1 投入产出评价指标

投入指标	产出指标
科技机构经费(万元)	科技项目数
企业科技机构数(个)	新产品开发项目数
有科技活动的企业数	专利申请
R&D人员全时当量(人年)	拥有发明专利数
R&D经费(万元)	新产品产值占工业总产值的比例
R&D项目经费(万元)	新产品销售收入占主营业务收入比例
引进购买与改造消化吸收经费比值	
开发新产品经费占科技活动经费支出比例	

2.2 样本选择及数据来源

由于高技术产业高收益、高带动性等特点, 现阶段我国各个省、市、自治区都在加大力度发展高技术产业, 并将其作为经济发展的增长点。为了便于对各个地区的发展情况及高技术产业的资源利用效率进行比较、分析, 本文将我国 30 个省、市、自治区看作同类型的决策单元(由于缺少西藏的数据, 所以在决策单元中去掉了西藏自治区)。从《中国科技统计年鉴》(2008)中选取各个符合上述高技术产业产出效益综合效率评价指标体系的原始数据进行计算, 分别对投入指标和产出指标作因子分析, 由因子得分结果进行 DEA 效率评价。

2.3 因子分析结果

为了便于对潜在因子进行解释, 在分析过程中采用了最大方差正交旋转法, 旋转后公因子负载重新进行分配, 使公因子负载系数向更大或更小方向变化。因子分析所使用的计算机软件为 Qstat。投入、产出指标旋转后的因子载荷如表 2、表 3 所示。

原有的 8 个投入指标经主成分提取两个因子后的累积方

表 2 投入指标旋转后的因子载荷

投入指标	cFactor1	cFactor2
科技机构经费(万元)	0.976 1	-0.027 5
企业科技机构数(个)	0.955 1	-0.024 9
有科技活动的企业数	0.932 4	-0.026 4
R&D人员全时当量(人年)	0.961 6	-0.051 0
R&D经费(万元)	0.990 5	-0.025 5
R&D项目经费(万元)	0.989 9	-0.023 7
引进购买与改造消化吸收经费比值	-0.043 6	0.831 4
开发新产品经费占科技活动经费支出比例	0.290 8	0.719 4

表 3 产出指标旋转后的因子载荷

产出指标	rFactor1	rFactor2
科技项目数	0.943 9	0.006 1
新产品开发项目数	0.923 9	-0.066 7
专利申请	0.831 5	-0.418 1
拥有发明专利数	0.899 4	-0.273 6
新产品产值占工业总产值的比例	0.360 2	0.923 7
新产品销售收入占主营业务收入比例	0.340 4	0.930 8

差贡献率为 86.5%，原有的 6 个产出指标经主成分分析法提取两个因子后的累积方差贡献率达到 91%。这样新提取的 4 个因子可以代表原有的 14 个指标进行下一步的 DEA 方法的投入产出效率分析。设提取的 2 个投入指标因子为 cFactor1、cFactor2，2 个产出指标因子为：rFactor1、rFactor2。根据每个因子的在各个指标上载荷的大小，可分为：cFactor1 科技研究投入因子；cFactor2 新产品投入因子；rFactor1 专利技术产出因子；rFactor2 新产品产出因子。

根据因子分析的结果，分别得到各个地区投入和产出的综合排名，如表 4 所示。

表 4 投入产出综合排名

	投入综合排名	产出综合排名		投入综合排名	产出综合排名
广东	1	1	重庆	16	13
江苏	2	5	吉林	17	23
浙江	3	10	青海	18	28
山东	4	9	辽宁	19	14
上海	5	7	江西	20	18
北京	6	2	湖南	21	24
福建	7	8	河北	22	22
四川	8	3	广西	23	25
天津	9	4	安徽	24	19
陕西	10	6	甘肃	25	27
海南	11	30	山西	26	17
河南	12	20	宁夏	27	11
湖北	13	16	内蒙古	28	29
黑龙江	14	21	新疆	29	12
贵州	15	15	云南	30	26

(1)高技术产业投入和产出排名靠前的地区有：广东、江苏、浙江、上海、山东、北京、福建、天津、四川、陕西，几乎全为我国东部地区经济较发达地区；高投入造就高产出，科技发展与经济发展水平有着密切的相关性。投入和产出都排名较后的地区有：云南、内蒙古、山西、甘肃、安徽、广西、河北、湖南、青海、吉林，这些地区全部处于中西部地区；低投入造就低产出。

(2)投入相对产出排名靠前的地区有：上海、江苏、浙江、山东、河北、海南、河南、湖北、黑龙江、吉林、青海、湖

南，大部分都位于我国的东中部地区，可以认为一定的投入没有获得相应的产出，投入似乎出现冗余。但高科技产业的投入产出具有一定的时滞性，投入冗余的部分是用于后续发展还是形成资源浪费，还要看 DEA 效率评价的情况。产出相对投入排名靠前的地区有：北京、天津、四川、陕西、重庆、辽宁、江西、安徽、山西、宁夏、新疆，其中大部分都位于中西部地区，相对少的投入却获得了较高的产出，投入产出效率较高，当前科技产出的情况较好，至少当前的资源效率较高。但是考虑到高技术产业的独特特点，它对基础的投入要求较高，产出相对科技投入具有一定的滞后性，因而目前较低的投入显然不利于以后的高技术产业发展。

为了更好地体现投入产出之间的效率关系，弥补因子分析的不足，下面用 DEA 方法对上述 4 个因子进行综合效率评价分析。

2.4 高科技产业的投入产出效率的数据包络分析

前面应用因子分析法对投入指标和产出指标分别进行了数据压缩，提取了 2 个投入指标因子和 2 个产出指标因子，以全国 30 个省(区/市)作为决策单元(DMU)。这些指标因子有一些为负值，但 DEA 中的投入与产出均要求为正值，为此我们对所有指标样本值进行统计数据处理。设某一指标为 Y，其最大值为 a，最小值为 b，则处理后的样本值为：

$$Y^* = 0.1 + 0.9 * (Y - b) / (a - b)$$

利用基于投入的 CCR 模型，求解相应的数学规划问题，对各决策单元的投入产出技术有效性进行评价，得到其技术效率值。DEA 的计算结果采用 R 语言软件得到^[6]，计算结果如表 5 所示，其中投入与产出因子指标排名根据前面因子分析的结果得到，而技术效率值根据 DEA 分析结果得到。

从表 5，我们发现，北京、天津、广东、四川、宁夏、新疆 6 个省的的高科技产业的投入产出是 DEA 有效的，其余 25 个地区均未达到 DEA 有效。

在 DEA 有效的区域中：宁夏和新疆是低投入低产出的 DEA 有效，宁夏和新疆在产出指标的专利技术产出因子上的排名处在全国的最末两位。这个因子在科技项目数、新产品开发项目数、专利申请和拥有发明专利数上的因子载荷达到了 90%。获得的专利、商标等知识产权是企业能获得垄断利润的保证，反映了一个地区无形资产的竞争力，而科技项目和新产品开发项目则反映了一个地区能否保持其科技实力，生产出更多带有附加值的产品，迅速占领市场。这说明虽然宁夏和新疆目前达到了 DEA 有效，但是高科技产业的发展需要持续的创新投资，因而这两个地区的高技术产业缺少后续发展的实力；北京、天津、广东、四川是高投入高产出的 DEA 有效。但是四川的科技投入很大一部分是国防科技，故而虽然高科技产业投入产出效率高，但是对该地区的经济发展促进作用不强。而北京、天津、广东是高投入高产出型，经济发展水平和科技发展水平相当，经济与科技相互促进，产生了良性循环。首先，广东、北京和四川在新产品投入上的排名相对其在科技研究投入上的排名较后，尤其是广东，在专利技术产出因子和新产品产出因子上形成了强烈反差，说明该省倾向于引进和

表5 各地区高科技产业投入产出效率评价汇总

	科技研究 投入	新产品 投入	专利技术 产出	新产品 产出	技术效 率值
北京	7	12	3	1	1
天津	15	2	7	3	1
河北	16	23	14	24	0.716 713
山西	23	26	28	10	0.770 037
内蒙古	26	25	24	29	0.651 07
辽宁	12	29	12	12	0.904 988
吉林	21	7	18	22	0.646 248
黑龙江	19	6	17	21	0.627 535
上海	4	16	5	11	0.774 62
江苏	2	13	2	18	0.727 353
浙江	3	5	9	16	0.509 507
安徽	17	27	23	13	0.693 983
福建	9	3	13	6	0.720 443
江西	13	24	11	19	0.725 742
山东	5	9	8	9	0.608 462
河南	11	14	15	17	0.602 572
湖北	10	21	16	14	0.619 297
湖南	20	18	26	20	0.568 628
广东	1	10	1	25	1
广西	22	20	19	23	0.654 368
海南	30	1	25	30	0.904 404
重庆	14	11	22	7	0.738 555
四川	6	15	4	2	1
贵州	18	8	10	15	0.770 662
云南	24	30	20	26	0.899 629
陕西	8	17	6	8	0.911 999
甘肃	25	19	21	27	0.668 663
青海	29	4	27	28	0.613 315
宁夏	27	22	29	4	1
新疆	28	28	30	5	1

购买技术,但是在技术改造和引进消化吸收方面重视不够,新产品开发的经费投入也比较少,技术效益有待向经济效益转化;其次,广东、北京、四川在产出指标的专利技术产出因子上的排名处在全国的前4名以内,而宁夏和新疆处在最末两位,两大阵营在科技项目数、新产品开发项目数、专利申请和拥有发明专利数等产出指标上形成了鲜明对比。我们可以预见,广东、北京、四川地区在未来的高技术产业发展上后劲十足,只要加强技术效益向经济效益的转化,就能促进高技术产业的发展;再次,北京和四川是地区高技术产业发展的最好典范,将两个投入因子的比例保持在这两个地区的水平上,就能获得两个因子上较高的产出。广东和天津需要调整其投入的比例,以达到更合理的资源配置水平,实现高技术产业的持续稳定增长。

对于非DEA有效的地区,各地区的DEA有效值大多只集中在50%~80%之间,有效性较差。它们形成非DEA有效的原因各不相同:上海、江苏、浙江、山东、湖北、河南、辽宁、安徽、江西高投入较低产出的生产模型,造成了生产要素投入冗余,这些地区大部分在科技研究投入和专利技术产出因子上的排名比较靠前,与新产品的投入和产出因子形成了较大落差,说明这些省(市/区)较重视科技的基础性投入,为后续发展做好了准备,但是知识向技术的转化需要时间,产出具有一定滞后性,投入目前还未显现在经济绩效上。这些地区具有无形资产的竞争力,未来能生产出更多带

有附加值的高技术新产品,迅速占领市场,加强其高技术产业在全国的实力;山西、内蒙古、黑龙江、重庆、广西、云南、甘肃、青海、安徽、吉林、湖南、湖北、海南、贵州处于低投入低产出地区,有一些中西部地区省(市、区)的投入与产出不一致。这些地区与上海等地区相反,在科技研究投入和专利技术产出因子上的排名都比较落后,相对更重视新产品投入和产出,不具备高技术产业发展的基础技术研究支撑,尽管目前有些地区的产出水平相对来说较高,但是后续动力不足,没有可持续发展的源泉。借助中部崛起、西部大开发的历史机遇,中西部地区应当加大投资力度以促进高技术产业的发展。

3 结束语

我国高科技产业的发展,存在着显著的地区差异。这种差异不仅表现在东、中、西部地区差异上,也表现在各个省(市、区)之间。关于高科技产业的投入,东部沿海地区较高,西北部地区最低,中部省份、西南地区以及东北地区处于中间状态。这种高科技产业的聚集分布,与我国各个地区的经济发展水平是非常匹配的,这说明经济发展水平对高科技产业的带动作用是最主要的。

虽然东部地区高科技产业的投入与产出在数量上均远远超过了中、西部地区,但是其总体上却未达到效率最优,存在大量的投入冗余。根据经济学生产理论的分析,投入和产出的比例处在一定的区间才是最佳的资源配置状态,若各种生产要素不能合理配置,那么就不能达到产出的最大化。从全国范围来讲,这对高科技产业和经济的发展是很不利的。因而,东部地区如广东、上海、天津、浙江、江苏、山东、福建、重庆等省(市)目前在科技研究的投入上与新产品研发投入存在着落差,要提高这些省(市)的高科技产业投入产出效益,就应当制定相关的政策,优化产业结构,减少资源浪费,调整投入比例,以增加高科技产业的投入产出效率。还应当增加对中西部地区高技术产业的投入,尽可能多地吸引东部地区的技术、资金、人才,加强东部地区的技术扩散效应,惠及中西部地区。这样我国高技术产业的投入产出效益才会更高,高技术产业的发展才会进一步得到提升。

参考文献:

- [1] 王贤文.中国区域科技发展差异的实证研究[D].大连:大连理工大学,2007.
- [2] 那静.科技能力投入产出数据包络分析[D].昆明:云南大学,2004.
- [3] 陈仁权.基于DEA理论的企业效率评价及其影响因素研究[D].南京:江苏大学,2007.
- [4] 魏权龄.数据包络分析[M].北京:科学出版社,2004:56-89.
- [5] 李莎.我国高新技术产业R&D成本效益评价研究[D].南京:南京航空航天大学,2007.
- [6] 王斌会.R语言统计分析软件教程[M].北京:中国教育文化出版社,2007:130-150.

(责任编辑:万贤贤)