

# 基于 DEA 方法的城市科技创新资本效率实证分析

邱奇, 郭佳欢

(北京交通大学 经济管理学院, 北京 100044)

**摘要:**为合理配置各地区的科技创新资本以及提升科技资本的效率,对城市科技创新资本的投入及产出效率方面的问题进行研究。选取中国 11 座区域中心城市作为评价对象,建立了以 R&D 投入经费支出和技术引进消化吸收为投入指标;以国内专利申请量、授权量及有效量为产出指标的指标体系;选取 DEA 效率评价模型作为主要研究手段,测度了 2017 年各城市科技创新资本投入产出资本效率,对结果进行综合分析及投影分析,对科技创新资本效率进行了实证评价。研究认为,区域中心城市的科技投入总量是不断增长的,但城市间科技创新投入产出差距显著;成都、西安和深圳处于 DEA 有效状态;重庆、北京、天津、上海、广州、武汉,南京及沈阳处于 DEA 严重无效的状态,无效原因包括科技创新资本投入未得到充分的利用,以及科技成果转化效率的低下等;应加强对先进技术和人才的引进,充分发挥企业的创新主体作用,增加科技创新资本的投入并优化配置,提升城市创新能力和资本竞争力等,实现城市间资源共享、优势互补的双赢战略政策。

**关键词:**科技创新;资本效率;DEA 效率评价模型;区域中心城市;投入产出;资本竞争力;共享  
**中图分类号:**F120.4      **文献标志码:**A      **文章编号:**1671-6248(2020)01-0083-10

## Empirical analysis of urban science and technology innovation capital efficiency based on DEA method

QIU Qi, GUO Jiahuan

(School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**Abstract:** In order to distribute and allocate the science and technology innovation capital in various regions in a rational manner and improve the efficiency of science and technology capital, as well as study the issues in the input and output efficiency of urban science and technology innovation capital, this

收稿日期:2019-07-09

基金项目:国家社会科学基金重大项目(16ZDA011)

作者简介:邱奇(1975-),男,江苏苏州人,副教授,管理学博士。

paper selects 11 regional central cities in China as the evaluation objects, and establishes an index system that takes R&D investment expenditure and technology introduction, digestion and absorption as input indicators, domestic patent applications, grants, and effective quantities as output indicators. The DEA efficiency evaluation model is adopted as the main research method in this paper, and the efficiency of science and technology innovation capital input and output capital in each city in 2017 is measured. The results are comprehensively analyzed and projected, while an empirical evaluation is conducted on the science and technology innovation capital efficiency. The study indicates that the total amount of science and technology input in the regional central cities is continuously increasing, but the gap in the input and output of science and technology innovation between cities is significant. Evaluation results show that Chengdu, Xi'an and Shenzhen are valid in the DEA method, while Chongqing, Beijing, Tianjin, Shanghai, Guangzhou, Wuhan, Nanjing and Shenyang are severely invalid in the DEA method. The reasons for invalidity include the insufficient use of capital input of science and technology innovation, and the low efficiency in the transformation of scientific and technological achievements, etc. The cities should increase the introduction of advanced technology and talents, give full play to the enterprises' capabilities as the subject of innovation, enhance the science and technology innovation capital input and optimize the allocation of capital, strengthen the innovative capabilities and capital competitiveness of cities, and aim to implement a win-win strategic policy of resource sharing and complementary advantages among cities.

**Key words:** technology innovation; capital efficiency; DEA efficiency evaluation model; regional central city; input and output; capital competitiveness; sharing

随着当今世界科学技术的迅猛发展,科技创新已经成为许多国家和地区经济发展的主要方式。城市是科技创新发展的主要聚集地,同时是经济社会发展繁荣的承接体。近年来,由于国家大力倡导发展新兴产业经济,导致以高科技产品创新为基础的产业数量逐年攀升。在这样的背景条件下,产生了许多高科技创新企业一味提高创新创业投入而忽略后续问题的现象,直接导致了科技创新企业整体的产出效率低下。而作为一个存在高风险因素的科技创新公司,其产出效率直接影响了该公司的风险管控及其核心竞争力。因此,在中国创新创业资源普遍紧张的宏观背景下,深入地研究区域中心城市科技创新企业的效率问题具有非常重要的理论和现实意义。

## 一、国内外研究概述

在区域中心城市科技效率研究方面,国内外

学者分别对其进行了研究。乔章凤等通过研究城市科技创新能力评价及实证研究,认为应该取长补短地制定城市科技创新发展的举措,削弱城市之间、区域之间的创新资源水平差距,帮扶中小企业自主创新,从而使得城市科技创新能力和经济维持稳定增长<sup>[1]</sup>。石先进等通过对区域工业企业资本效率研究,使用空间杜宾模型研究了政府规模对资本效率的影响,发现政府投资增加会显著抑制工业企业资本效率的提升,而政府消费增加对一般企业资本效率没有显著影响<sup>[2]</sup>。郑国洪通过对中国国家中心城市的创新效率水平进行测度,科学合理地评价了区域中心城市的创新效率水平,为城市建设提供决策依据,提出提升科技创新效率水平的途径和方法<sup>[3]</sup>。樊华以近5年的省级面板数据为例,应用VRS和DEA模型测量科技创新效率,并进行收敛性影响因素分析;实证表明,中国省市科技创新效率具有周期性波动特性,

高等教育发展水平以及观察期内工业结构、对外开放程度都对全国科技创新效率有正向影响作用,而政府影响则有相反作用<sup>[4]</sup>。陈敏等基于 10 年的省级面板数据,利用随机前沿距离函数分析了中国区域科技创新效率受金融中介的影响效果,研究发现,信贷规模与城市科技创新效率负相关,支持强度与科技创新效率正相关,并且存在区域差异,在对策方面,中国应该积极开展金融科技试点,提高金融中介支持科技创新的效率,缩小区域之间的差异<sup>[5]</sup>。周晓梅等认为城市拥有的专利质量和数量体现了该城市的科技实力,而城市运用专利制度的能力和水平反映了区域中心城市的核心竞争力,从专利的角度入手,构造城市科技创新能力的评价体系,使用因子分析法对 15 个副省级城市的专利进行实证研究,发现南方沿海地区的城市在创新活力和创新实力以及创新贡献力等要素方面享有一定的资源优势<sup>[6]</sup>。

在测定效率的模型选择上,樊华等通过运用 DEA 模型中的规模报酬可变模型测度了中国省市科技创新效率的收敛性影响因素,旨在发现城市科技创新效率具有周期性波动特征,东部地区效率高于中西部,西部地区的科技创新效率逐步赶超中部地区,对地区科技创新效率政策提供了参考<sup>[7]</sup>。王仁祥等通过研究中国的面板数据,运用因子分析和区位熵测算了中国金融集聚水平,同时用 DEA 模型测算了各省的科技创新效率,研究表明,金融聚集高低会对地区科技创新效率产生正向和反向的效应,人才储备和政府投入以及对外开放对科技创新效率具有正向效用,而基础设施建设则会对科技创新有抑制作用<sup>[8]</sup>。许楠在基于 DEA 与 SFA 模型的创新型城市科技创新效率的研究中,对城市科技创新效率进行测量,并对两种方法测度的创新型城市科技效率值排序,进行相关分析检验,结果显示两种方法测量出的创新效率在数值上有差异,但在效率排序上具有一致性<sup>[9]</sup>。宋维玮等从财力投入、人力投入以及新产品的产出和科技成果产出 4 个角度构建了高校科技创新效率评价体系,运用 DEA 分析方法,对全国

各地高校的科技创新效率进行评价,先进行了决策变量的选取,再从投入和产出两方面剖析了湖北省高校科技创新效率非有效的原因,并为提升湖北省高校创新科技效率提出了政策建议<sup>[10]</sup>。

本文以中国各大区域中心城市的科技创新企业作为研究对象,将科技创新企业运营状况作为评价其效率的重要指标,构建合理的评价指标体系,基于收集的研究数据,采用 DEA 模型作为城市科技创新资本效率测度的评价方法。

## 二、评价指标及模型构建

### (一)评价模型的选取

本文采用数据包络分析模型(Data Envelopment Analysis,以下简称 DEA)作为效率测评的评价方法,该模型可同时对多因素投入、多因素产出进行评价,并且评价结果具有一定的稳定性。采用 DEA 方法对科技创新公司的投入产出效率进行评价已经成为近几年行业中对效率测评研究领域的不二之选<sup>[11]</sup>。又由于区域中心城市的科技创新能力存在着明显的区域性差异,而不同城市科技创新的各项决策变量事实上存在着较大的发展差距。因此在分析结果的基础上,要结合各城市自身的情况,因地制宜制定各城市的发展战略,减小各城市之间由于科技创新资源配置不均而拉开的差距。

### (二)评价指标体系的选取

高科技是区域中心城市科技创新企业创新活动的重要载体,通过资本投入获得的科技创新成果可以为高科技公司带来可观的收益。评价高科技公司运营效率的指标主要包括科技资本的投入与科技创新的产出两部分。在科技资本投入方面,包含了企业利用自身资金技术来进行投资和通过引进外部资金技术来进行科技创新方面的投资。因此将资本投入分为 R&D 投入经费支出及技术引进消化吸收经费支出。这也体现了各企业利用资本进行科技创新投资的两类方式,一是利用自身资金

技术进行投资,二是通过引进外部资金技术来进行科技创新方面的投资。在科技创新成果的产出方面,发现一个地区的专利数量可以在一定程度上反映该地区的科技创新实力,于是将科技创新资本的产出以专利数量作为衡量标准,选取国内专利申请量、国内专利授权量及国内专利有效量作为科技创新产出指标。

R&D 投入经费支出是指研究与试验发展经费,指在科学领域方面的一定区域在统计年度内用于自身科技的基础研究、应用研究以及试验发展的经费支出;技术引进消化吸收经费支出是指科技创新企业为了引进、掌握及应用外来的科学技术而支付的经费部分;专利申请量是指报告年度内向专利部门提出的专利申请并被受理的件数;专利授权量是指报告年度内向专利部门提出的专利申请量中可以得到最终授权的一小部分;专利有效量是指在专利授权量中的专利权持续有效的数量,包含 3 个有效因素,分别为是否持续缴纳维持费、是否在保护期内以及是否被宣告无效<sup>[12]</sup>。

本文从投入和产出两个方面分别来评测中国 11 个区域中心城市的科技创新资本效率,具体评价指标如表 1 所示。指标  $X_1$ 、 $Y_{1-3}$  数据直接来源于中国科技统计年鉴, $X_1$ 、 $X_2$  指标的数据来源于城市占该省 GDP 比例计算得来的值。其中,  $X_1 = \frac{\text{城市 GDP}}{\text{省、直辖市 GDP}} \times \text{省、直辖市 R\&D 投入经费支出}$ 。  
 $X_2 = \frac{\text{城市 GDP}}{\text{省、直辖市 GDP}} \times \text{省、直辖市技术引进消化吸收经费支出}$ 。

(三)评价模型构建

现有科技创新效率的评测模型不一,其中 DEA 是一种用于评价具有多投入、多产出类型的决策单元是否有效的非参数方法,DEA 模型中最基本的两个模型分别是规模报酬可变的 BCC 模型和规模报酬不变的 CCR 模型<sup>[13]</sup>。DEA 模型即是从相对效率这一观点中发展运用而来的,本质是运用数学规划模型的方法,比较和分析同一类别决策单元的相对效率,实现对不同决策单元的综合分析。该方法在

表 1 区域科技创新效率评价指标<sup>[6]</sup>

指标	指标名称	计算方法	指标说明
投入指标	R&D 投入经费支出 ( $X_1$ )	R&D 经费中用于科学技术的支出总额,包含内部支出和外部支出	反映一个创新项目中用于投入于技术引进项目的费用
	技术引进消化吸收经费支出 ( $X_2$ )	R&D 经费中用于技术引进以及内部消化吸收费用	反映一个科技创新项目中用于内部技术消化吸收的费用
产出指标	国内专利申请量 ( $Y_1$ )	区域中心城市发明、实用新型、外观设计专利申请受理的总量	反映一个地区科技活动的产出水平
	国内专利授权量 ( $Y_2$ )	区域中心城市技术市场发明、实用新型、外观设计专利授权的总量	反映一个地区技术研发成果,同时显示该地区科技成果产出水平
	国内专利有效量 ( $Y_3$ )	地区区域市场专利有效的数量	反映一个地区科学研究的产出水平

相对效率评价方面具有一定优势,方法与其他的效率评测模型相比具有客观性,特别在评测多投入、多产出决策单元的时候存在相对于其他方法的绝对优势,由此被广泛运用于评价效率的实证案例中<sup>[11]</sup>。本文旨在分析区域中心城市科技创新资本投入与资本产出之间如何达到一个效率值点,所以选用 CCR 模型,可令每个决策单元的效率评价指数表示为

$$\max h_j = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad j = 1, 2, \dots, n \tag{1}$$

式中: $n$  表示事件中存在决策单元 (Decision Making Units, 以下简称 DMU) 的个数; $m$  表示用于评价的投入种类的指标总数, $s$  表示用于评价的产出指标的总数, $v_i$  为第  $i$  类决策单元投入的权重; $\mu_r$  为第  $r$  类型产出的权重。分别表示用于衡量投入产出每下降一单位所带来的科技创新资本效率的降低值。在一定时期内,将所观察到的  $n$  种决策单元的第  $j$  项投入和产出创造出的数量或质量分别记作  $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T, y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T, j = 1, 2, \dots, n$ ;第  $j$  种投入和产出的系数权重分别记作  $v_i (i = 1, 2, \dots, m), \mu_j (j = 1, 2, \dots, s)$ ,其中  $m$  表示用于评价的投入种类的指标总数, $s$  表示用于评价的产出指标的总数, $v_i$

为第  $i$  类决策单元投入的权重;  $\mu_r$  为第  $r$  类型产出的权重; 分别表示用于衡量投入产出每下降一单位所带来的科技创新资本效率的降低值。因此为了寻找使得第  $j$  个区域中心城市科技创新企业的评价效率达到最大值的一组产出和投入权重  $\mu$  和  $\nu$ , 最优解记为  $h_j$ , 即第  $j$  家区域中心城市科技创新企业的 CCR 效率值。由于在同一决策单位中, 一组投入产出效率值是不可能超过 100% 的, 故这个函数必须满足以下这样的约束条件

$$\frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij}} \leq 1.0 \quad (2)$$

式中: 若  $h_j = 1$ , 那么该决策单元在所有单元中相对效率最高, 是 DEA 有效的; 若  $h_j < 1$ , 那么表示该决策单元的效率还有待提高<sup>[14]</sup>。CCR 效率值又可被表述为综合效率(TE)或者是技术效率, 若加入了规模可变约束后, 上述式子可变为 BCC 模型, 即可得到纯技术效率(PTE), 根据公式  $SE = \frac{TE}{PTE}$ , 可得规模效率的值。规模效率是由于企业管理和技术因素影响下的生产效率, 纯技术效率是指由企业管理和技术因素影响的生生产效率。

为了用标准线性规划模式求解该线性规划方程式, 可对上述公式进行变形, 第  $j$  个决策变量的效率优化模型可以表示为

$$\max h_{j_0} = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj_0}}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij_0}} \quad (3)$$

$$s. t. \begin{cases} \frac{\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \\ \nu = (\nu_1, \nu_2, \dots, \nu_m)^T \geq 0 \\ \mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_s)^T \geq 0 \end{cases}$$

为方便后续计算, 这里令  $t = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij_0}}$ ,  $\mu_r = t \nu_r$ ,

$\omega_i = t \nu_i$ , 将式(3) 转化为线性规划模型可得

$$\max h_{j_0} = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj_0} \quad (4)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^m w_i x_{ij_0} = 1 \\ \mu_r, w_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s \end{cases}$$

改写成向量形式则有

$$\max h_{j_0} = \mu^T Y_0 \quad (5)$$

$$s. t. \begin{cases} \mu^T Y_j - w^T X_j \leq 0 \\ w^T X_0 = 1, j = 1, 2, \dots, n \\ w \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases}$$

根据上式, 可以得到 CCR 模型的对偶形式<sup>[25]</sup>

$$\min \theta$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^+ = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s^- = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ \theta \text{ 无约束}, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

假设上述问题存在线性规划的最优解为  $\lambda^-, s^-, \theta^-$ , 则存在如下结论:

第一, 若  $\theta^+ = 1$ , 且松弛变量  $s^+ = 0, s^- = 0$ , 则第  $j$  个决策单元为 DEA 有效, 且存在  $w^- > 0, \mu^- > 0$ , 存在最优解  $h_{j_0} = 1$  时, 决策变量投入产出为规模有效和技术有效<sup>[13]</sup>。

第二, 当存在投入或产出松弛变量大于零, 则此时存在线性规划的最优解为  $h_{j_0} = 1$  时, 称该决策单元为弱 DEA 有效, 不是技术有效或规模有效。

第三, 若  $\theta^+ < 1$ , 则此时决策单元不存在 DEA 有效, 此时投入产出既无技术有效, 也无规模有效。

第四, 若存在  $\lambda_j (j = 1, 2, \dots, n)$ , 使得  $\sum \lambda_j = 1$  成立, 则该决策单元的规模效率不变; 若不存在  $\lambda_j (j = 1, 2, \dots, n)$ , 使得  $\sum \lambda_j = 1$  成立, 则若

$\sum \lambda_j < 1$ ,那么该决策单元规模效率递增;若不存在  $\lambda_j(j = 1,2,\cdots,n)$  使得  $\sum \lambda_j = 1$  成立,则若  $\sum \lambda_j > 1$ ,存在该决策变量为规模效率递减。

三、实证分析

(一) 区域中心城市科技创新投入产出数据统计

选取全国 11 个区域中心城市科技创新相关数据进行实证分析。得出在科技投入以及专利产出类型下的 11 个区域中心城市的科技创新投入产出数据表,得到 2017 年全国 11 个区域中心城市的 R&D 投入经费支出( $X_1 = \frac{\text{城市 GDP}}{\text{省、直辖市 GDP}} \times \text{省、直辖市 R\&D 投入经费支出}$ )、技术引进消化吸收经费支出( $X_2 = \frac{\text{城市 GDP}}{\text{省、直辖市 GDP}} \times \text{省、直辖市技术引进消化吸收经费支出}$ )以及国内专利申请量( $Y_1$ )、国内专利授权量( $Y_2$ )、国内专利有效量( $Y_3$ )的数据,收集的具体数据如表 2 所示。

表 2 2017 年区域中心城市的科技创新投入产出情况

城市	科技投入量/万元		科技产出量		
	R&D 投入经费支出 $X_1$	技术引进消化吸收经费支出 $X_2$	国内专利申请量 $Y_1$	国内专利授权量 $Y_2$	国内专利有效量 $Y_3$
北京	17 502 157	31 548	185 928	106 948	494 941
天津	4 794 542	35 816	86 996	41 675	144 706
上海	13 008 108	28 945	131 740	72 806	329 442
广州	6 089 512	71 060	118 575	60 270	202 389
重庆	3 829 506	3 286	64 648	34 780	121 604
成都	2 569 378	4 600	113 984	41 091	134 168
武汉	2 726 259	9 964	49 726	25 528	99 004
西安	1 611 007	454	81 746	25 349	92 972
深圳	6 312 133	73 657	177 184	94 292	373 048
南京	3 198 940	12 272	75 591	32 225	120 100
沈阳	1 139 850	3 452	12 227	6 496	27 875

注:数据来源于《2018 年中国科技统计年鉴》。

(二) 综合评价与分析

1. 综合效率、技术效率和规模效率分析

通过运用 DEA 模型进行效率分析,2017 年 11 个区域中心城市科技创新效率的评价结果及分析结果见表 3。

表 3 2017 年区域中心城市科技创新效率评价结果

地区	综合效率	技术效率	规模效率	规模收益状态
北京	0.488	1.000	0.488	递减
天津	0.548	0.538	0.991	递减
上海	0.437	0.786	0.556	递减
广州	0.621	0.644	0.965	递减
重庆	0.574	0.955	0.600	递减
成都	1.000	1.000	1.000	不变
武汉	0.625	0.628	0.995	递增
西安	1.000	1.000	1.000	不变
深圳	1.000	1.000	1.000	不变
南京	0.647	0.649	0.997	递减
沈阳	0.421	1.000	0.421	递增

由表(3)可以得到 11 座区域中心城市的 3 类效率值,分别是综合效率、技术效率以及规模效率,可以看出,成都、西安和深圳这 3 个城市的科技创新资本效率处于 DEA 有效状态,在综合效率,技术效率以及规模效率上,效率值均为 1.000,属于有效的范围内。北京、天津、上海、广州、重庆、武汉、南京和沈阳都处于非 DEA 有效状态。导致 DEA 无效的原因有很多种,可能是资本的投入未获得充分的利用<sup>[15]</sup>,在产出过程中存在一些不合理的政策制度从而导致了产出效率的低下<sup>[16]</sup>,需要根据规模效益递增或是递减的情况做出下一步的分析。

从综合效率的结果可以看出,在 11 座区域中心城市中,综合效率最大值是 1.000,最小值是 0.421,平均值为 0.711。由分析可以得出,将综合效率值的大小  $\theta$  按如下两种情况进行分类:若决策变量的综合效率值符合  $0.711 \leq \theta < 1.000$ ,则称决策变量处于 DEA 轻微无效状态;若该决策变量满足  $\theta < 0.711$ ,则称该决策变量处于严重无效状态<sup>[17]</sup>,该城市的投入产出处于不均衡的状态<sup>[18]</sup>。由上表可以看出,在全国 11 座区域中心城市中,处于 DEA 有效状态的城市有成都、西安、深圳,占总城市数的 27%,而剩余 8 个城市均处于 DEA 严重无效的状态,从分析结果可以得出,存在很大一部分城市的

科技创新资本效率处于较低的水平。成都、西安和深圳 R&D 经费投入和专利产出方面的效率是很高的,所有投入得到充分的利用且获得了相应投入量的产出回报。只有当这几座城市同时提高科技经费的投入量才可以提升其各项资本活动的产出。

从技术效率的角度看,处于非 DEA 有效状态的 8 座城市中,北京和沈阳在技术效率方面是技术有效的,其余 6 座城市均为非技术有效,占到所有决策单元的 55%。各区域中心城市效率偏低,不同城市技术创新效率差异较大,技术创新效率由高至低依次为北京、成都、西安、深圳、沈阳、重庆、上海、南京、广州、武汉、天津。有些城市技术效率有效而规模效率无效,如北京。规模效率是导致技术创新效率较低的原因之一。

从规模效率来看,在 11 座区域中心城市中,存在 64% 的城市显示非规模有效,在表 3 中可以发现,但凡是非 DEA 有效的城市,在规模效率方面也一定无效,但技术效率方面却可能有效,可能无效。说明处于非 DEA 有效的城市产出效率低下是其规模效率的无效导致的<sup>[19]</sup>。从表 3 中可以看出,成都、西安、深圳处于规模收益不变的状态,表明这些地区的规模效益是经济的。而北京、天津、上海、广州、重庆和南京处于规模效率递减的阶段,说明其资本投入和产出的规模效益是不科学的,出现了科技创新投入资本过剩的情况,对比发现只有武汉和沈阳这两座城市处于规模收益递增的状态,此时适当增加资本投入会带来更多的产出。以上总体结果表明,处于非 DEA 有效的城市在科技创新资本投入方面存在投入量不足而导致效率偏低的情况。科技创新资本投入过少或许是导致这几座城市规模效率偏低的主要因素。

2. 投影分析

X 与 Y 产出和投入指标的松弛变量取值如表 4 所示。从投影分析结果可以看出,重庆在 R&D 投入经费支出上存在较大的经费冗余,天津、广州、武汉和南京在科技创新资本的技术引进消化吸收的经费支出方面同时存在或多或少的经费冗余情况,而剩余几座城市在此方面则不存在这方面的状况,表

明除了这几座城市以外的城市在 2017 年 R&D 经费支出及技术引进消化吸收方面的经费支出中,不存在经费冗余的情况,且目前的产出成果已经是当前所能产出效果的最大值<sup>[20]</sup>。

表 4 2017 年区域中心城市科技创新效率投影分析结果

地区	X <sub>1</sub> 可节约量	X <sub>2</sub> 可节约量	Y <sub>1</sub> 可增加量	Y <sub>2</sub> 可增加量	Y <sub>3</sub> 可增加量
北京	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
天津	0.000	10 069.202	24 047.777	0.000	0.000
上海	0.000	0.000	22 268.051	4 598.944	0.000
广州	0.000	16 232.512	18 192.647	0.000	17 895.417
重庆	1 244 240.156	0.000	35 092.125	0.000	0.000
成都	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
武汉	0.000	4 227.420	34 075.449	1 305.826	0.000
西安	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
深圳	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
南京	0.000	653.250	16 043.147	0.000	0.000
沈阳	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

从投入的角度上看,11 座城市之中有 5 座城市在 R&D 投入经费支出及科技创新资本的技术引进和消化吸收上的经费支出上存在较多的经费冗余情况,可看出,在 8 座 DEA 无效的城市中,各投入指标的相对冗余是导致各城市 DEA 无效的主要原因。联系规模效应分析结果可以得知,科技创新资本投入过少,会导致各指标投入比例不合理现象的存在<sup>[21]</sup>,直接影响了各区域中心城市 DEA 无效以及成为科技创新资本效率偏低的主要原因。

从产出的角度来看,几座城市在目前的投资水平下,天津、上海、广州、重庆、武汉和南京存在专利申请量的产出方面存在不足,上海和武汉在专利授权量产出方面存在不足,而广州在专利有效量产出方面不足,在现有的投入水平下,说明这几座城市在科技创新成果转化方面的无效状态比较严重,在科技创新成果产出效率方面表现较差。

(三) 实证结论

1. 科技创新资本规模与效率不协同

科技创新资本投入规模与技术产出规模较高的城市,其创新效率并不一定高。北京、上海作为中国科技创新规模最大的城市,其创新效率均不高。相较而言,创新规模较低的成都和西安创新效

率较高。这说明,科技创新资本效率的高低与规模大小并无直接关系,规模效应在创新资本转化中并不凸显。

### 2. 科技创新资本投入冗余区域差异显著

由投影分析的投入冗余来看,城市间创新资本投入冗余结构存在显著差异。广州、天津、武汉、南京为技术引进消化吸收经费支出冗余,且沿海开放程度高的城市,其冗余度更高,内陆城市冗余度较低。同时,重庆作为西部城市的代表,其技术引进消化吸收经费支出不存在冗余,R&D 投入经费支出冗余量较高。这反映出不同区域城市的创新资本投入冗余结构区域差异显著,东部城市技术引进消化吸收资本投入过多导致效率下降,西部地区自主创新的资本投入过多导致效率下降。进而,不同区域城市的创新资本投入优化侧重方向也应该有所差异。

### 3. 科技创新资本产出转化时滞效应突出

科技创新资本转化效率较低的城市,普遍表现为国内专利申请量这一产出的不足,而同时又表现为专利授权量或专利有效量不足的城市较少。这说明,科技创新资本投入向产出的转化更多并不是当年年度的转化,而是需要长期的过程。即长期趋势来看,科技创新资本投入与专利授权量及专利有效存量是一致的。

## 四、政策建议

### (一)从城市处于不同有效阶段角度的政策建议

第一,对于成都、西安、深圳这 3 座处于科技创新效率中等有效率阶段的城市,在科技创新产出方面,这 3 座城市的产出效率较高,其创新制度和政策的制定也较为合理,但仍需进一步调整和提高其资本转化的效率。应制定科技创新资本相关的政策措施,进一步实施区域科技发展战略,提高科技创新效率。

第二,对于北京、天津、南京和沈阳处于 DEA 低

等有效率阶段的城市,与其余城市相比,其在资本投入方面力度较大,但在产出效率方面仍然差强人意,需要在其科技创新成果研发实力上加强,加大引进高科技人才,大力发展高新技术产业在整个科技行业领域中的比重。对于存在的技术变动和规模变动效率值较低的情况,由于效率变动的低效容易导致综合效率值偏低,表明这些城市需要提升管理体制效率,优化经济增长结构,强化对外开放,提高经济全球化进程,培育中小企业的自主创新能力,提高科技创新资本效率,加强对先进技术的引进,提高制度管理水平,从而提高产出效率。

第三,对于上海、广州和重庆这类科技创新配置效率水平仍处于较低状态的城市,由于发现其尚且不能进行有效的配置资源,导致其科技资本的投入无法有效利用,应考查资本的空间配置效率,根据城市的特点制定适合自己的科技创新能力发展战略。而对于处于效率值较低的城市,需要进行制度化的改革,特别是在行政审批方面的效率改革<sup>[22]</sup>。对于技术效率和规模效率都存在的问题,需要大力培育高等教育人才,重点平衡政府科研经费投入的导向作用,深化国资企业改革,坚持企业的主体地位,充分发挥企业的创新主体作用,避免出现科研经费投入高而产出效率低的结果,提高科技资源使用率,优化配置环境,提高管理效率。

### (二)从科技资本投入和产出效率优化角度的建议及提升对策

由于各区域中心城市的科技创新投入都处于规模效益递增的事实,在不断提高科技创新投入的同时,应该注重科技创新效率的提升,提高各决策主体的管理水平以及科技资本的投入。由以上结论可知,为了提高各区域中心城市的科技创新效率,从科学技术与创新效率的投入、产出两个层面,提出以下优化建议。

第一,在科技创新资本投入层面,当前提高中国资本效率的最重要途径是实现资本的合理配置,调整产业结构,提高资源配置效率,转变经济增长方式,健全制度安排,采取因地制宜的发展战略模



式,充分发挥市场经济的主导地位,帮扶好中小企业的创新需求,提升其自身发展能力,维持中国经济发展一路向好的态势,应该充分发挥政府职能作用,强化政府政策引导和支持<sup>[23]</sup>。加强国家宏观调控政策、优化各城市技术创新环境,制定有益于技术创新的各类政策,实施相关措施,培育创新成果转化平台,建立有效的科技人才引进与激励系统,培育和完善高新技术产业的投资机会,完善科学技术创新的政策环境<sup>[24]</sup>。增加科技创新资本的投入并优化配置,加大 R&D 资本总量、R&D 人员全时当量、医疗支出以及教育支出,切实调整 R&D 经费投入强度,解决投入过少的问题,优化资源配置并提高技术创新规模效率,提高城市创新能力和城市的资本竞争力。

第二,在科技创新资本产出层面,效率变动的低效容易导致综合效率值的偏低。表明这些城市需要提升管理体制的效率<sup>[25]</sup>,首先需要对处于效率值较低的城市进行制度化的改革,特别是在行政审批方面的效率改革。其次,要对资本转化为成果的效率方面进行改革,如加大高科技产出以及科研发明确专利产品的宣传与奖励制度,强化产学研结合,提高科学技术创新利用率。加大技术引进、技术改造与技术吸收的资本投入,提高创新技术利用率与消化吸收速度。最后要注重人才的培养,不能一味地加大对产品的科技投入研发资本,鼓励和扶植中小企业的科技创新,给予适度和适量的帮助<sup>[25]</sup>,从而引领正确的科技发展方向,促进更多科技成果的转化,提升城市经济形象,不断促进城市科技和经济等方面的发展,实现资源共享、优势互补的双赢战略政策。

## 五、结语

本文通过研究国内 11 座区域中心城市科技创新资本的投入和产出效率问题,提出不同城市科技创新资本效率存在明显差异,分别从科技创新资本投入和产出层面提出相应优化政策,对于合理配置各地区的科技资源具有较强的实用价值,从一定意

义上来讲,通过提高各城市的科技创新资本效率,可以提升该地区的核心竞争力。

本研究的不足之处在于,由于数据获取等方面的原因,仅用专利申请量、授权量和产出量来作为产出指标,对区域中心城市的科技创新成果进行衡量,对于大多数高科技企业而言并不具有较强的测度能力,因此可能会对评价结果造成一定程度的影响。未来的研究工作将主要围绕高科技企业创新成果方面的评价问题展开,以期获得更加准确的测度结果。

## 参考文献:

- [1] 乔章凤,周志刚. 城市科技创新能力评价及实证研究[J]. 西安电子科技大学学报(社会科学版),2011,21(3):62-67.
- [2] 石先进,赵惠. 地方政府规模对工业企业资本效率的影响研究——基于空间面板模型回归的结果[J]. 宏观经济研究,2017(7):32-46.
- [3] 郑国洪. 国家中心城市创新效率比较与提升策略[J]. 河南社会科学,2017,25(4):38-43.
- [4] 樊华. 中国省际科技创新效率演化及影响因素实证研究[J]. 中国科技论坛,2010(12):36-42.
- [5] 陈敏,李建民. 金融中介对我国区域科技创新效率的影响研究——基于随机前沿的距离函数模型[J]. 中国科技论坛,2012(11):85-90.
- [6] 周晓梅,张岩,蔡晓卿,等. 基于专利视角的城市科技创新能力评价研究[J]. 青岛科技大学学报(社会科学版),2012,28(3):5-8.
- [7] 樊华,周德群. 中国省域科技创新效率演化及其影响因素研究[J]. 科研管理,2012,33(1):10-18,26.
- [8] 王仁祥,白旻. 金融集聚能够提升科技创新效率么?——来自中国的经验证据[J]. 经济问题探索,2017(1):139-148.
- [9] 许楠. 基于 SFA 与 DEA 模型的创新型城市科技创新效率实证研究[J]. 数学的实践与认识,2011,41(18):112-117.
- [10] 宋维玮,邹蔚. 湖北省高校科技创新效率评价研究[J]. 科研管理,2016,37(1):257-263.
- [11] 熊婵,买忆媛,何晓斌,等. 基于 DEA 方法的中国高科技创业企业运营效率研究[J]. 管理科学,2014,27

- (2):26-37.
- [12] 许罗丹,张媛. 基于 DEA 模型的中国省际生态效率测度与影响因素分析[J]. 河北经贸大学学报,2018,39(4):30-35.
- [13] Cook W D, Seiford L M. Data envelopment analysis (DEA) : thirty years on[J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 192(1): 1-17.
- [14] Danquah M, Amankwah-Amaoh J. Assessing the relationships between human capital, innovation and technology adoption: evidence from sub-Saharan Africa [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017 (122): 24-33.
- [15] Sabadie J A. Technological innovation, human capital and social change for sustainability. lessons learnt from the Industrial Technologies Theme of the EU's Research Framework Programme [J]. *Science of the Total Environment*, 2014(481): 668-673.
- [16] 湛泳,李珊. 金融发展、科技创新与智慧城市建设——基于信息化发展视角的分析[J]. 财经研究,2016,42(2):4-15.
- [17] 赵玉红,蔡元成,赵敏. 城市科技创新能力比较研究——以江苏省为例[J]. 华东经济管理,2013,27(12):162-166.
- [18] 张清海,张良强. 基于 DEA 方法的省域高校科技创新效率评价与分析[J]. 技术与创新管理,2015,36(3): 237-242.
- [19] 王珍珍,黄茂兴. 我国科技创新效率的实证研究——基于 DEA-Malmquist 模型和中国省际面板数据[J]. 技术经济,2013,32(10):55-61.
- [20] Garcia B C , Chavez D . Network-based innovation systems: a capital base for the Monterrey city-region, Mexico[J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(12):5636-5646.
- [21] 贺霞,韩天锡,张丽. 城市科技创新能力组合评价和贡献度分析[J]. 天津理工大学学报,2010,26(3): 30-34.
- [22] 郑鸣,段梅,陈福生. 中国银行业资本效率的实证分析[J]. 金融论坛,2013,18(4):32-40.
- [23] 郝金磊,姜诗尧. 健康人力资本、科技创新效率与经济增长[J]. 西安电子科技大学学报(社会科学版), 2016,26(1):52-58.
- [24] Li H C , Lee W C , Ko B T . What determines misallocation in innovation? a study of regional innovation in China [J]. *Journal of Macroeconomics*, 2017 ( 52 ): 221-237.
- [25] 丰志勇. 南京科技创新能力的国际比较[J]. 科技与经济,2008,21(6):18-20.