

# 区域协同视角下城市群科技创新 与经济产出效率时空分异研究 ——以武汉城市圈为例

危怀安 平霁<sup>1</sup>

(华中科技大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430070)

**【摘要】:** 城市群区域协同发展格局对城市群中心城市和其它成员城市科技创新、经济产出均产生巨大影响。运用 DEA 模型, 对 2007-2016 年武汉城市圈 9 个城市科技创新和经济产出两个阶段效率进行测算, 发现武汉城市圈两个阶段的科技创新效率时空分异明显, 成员城市和中心城市效率差距呈现先缩小后扩大趋势, 制约了城市圈整体效率提高。鉴于此, 应在城市圈未来发展中, 不断强化区域协同政策效用, 持续优化中心城市与成员城市科技资源配置, 合理规划科技发展空间布局, 推动区域科技创新和经济产出效率整体提高。

**【关键词】:** 区域协同 城市群 DEA 模型 效率评价 时空分异

**【中图分类号】:** F292 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-7348(2019)11-0040-06

## 0 引言

创新是引领发展的第一动力。习近平总书记在两院院士大会上指出, 要优化和强化技术创新体系顶层设计, 加快转变政府科技管理职能。新时代经济发展质量与效率提升离不开创新驱动的支撑作用。根据《国家创新指数报告 2016-2017》, 目前我国万名研究人员发明专利授权数排名世界第 3, 2017 年国家创新指数上升到世界第 17 位, 科技创新及创新经济产出正逐渐成为我国经济发展和社会改革的重要动力<sup>[1]</sup>。科技创新活动以科技投入要素为物质基础, 作用于区域经济发展, 即区域科技投入要素配置状况会直接影响到区域经济发展质量。因科技创新与经济产出机制具有阶段性和复杂性特征, 创新和转化效率受到投入要素、技术水平、市场需求等多方面影响, 区域协同视角下的科技创新和经济产出活动成为创新发展的新要求<sup>[2]</sup>。在此背景下, 探索城市群科技创新和经济产出效率的时空分异特征, 以及影响区域科技创新可持续发展的关键因素, 对于理解城市群不同层级城市科技创新与经济产出相互作用机制, 助推区域经济高质量发展具有重要意义。

近年来, 学术界已对国家科技创新效率给予了较多关注, 并取得了一定研究成果。樊华等<sup>[3]</sup>、刘杰等<sup>[4]</sup>、王双进等<sup>[5]</sup>分别对我国科技投入产出效率展开研究, 并基于实证研究结果对相应城市群或单个省市提出科技创新发展建议。区域科技创新效率评价是区域科技创新研究的重要内容之一<sup>[6]</sup>。在区域科技效率评价对象方面, 越来越多的学者将以核心城市为中心的增长极作为效率评价的研究对象。睢党臣等<sup>[7]</sup>基于新丝绸之路经济带的特殊性, 通过测算经济带城市科技投入出口效率, 强调了区域科技管理的重要

**作者简介:** 危怀安(1965-), 男, 湖南华容人, 博士, 华中科技大学公共管理学院副院长、教授、博士生导师, 研究方向为科技政策、科技管理; 平霁(1994-), 女, 湖北仙桃人, 华中科技大学公共管理学院硕士研究生, 研究方向为科技政策、科技管理。

**基金项目:** 湖北省技术创新专项软科学重点项目(2018ADC005)。

性;岳海鸥等<sup>[8]</sup>将研究重点放在城市群发展极的科技创新上,探求对象城市群科技投入产出效率在纵向时间维的动态发展趋势。

基于多投入多产出数据、客观性较强的DEA模型被国内外学者广泛运用于各领域的效率评价研究中。例如,Berger等<sup>[9]</sup>运用DEA模型测算了21个国家的金融机构组织效率,评价结果为机构政策制定、绩效改进提供了参考;Hollingsworth<sup>[10]</sup>采用DEA方法测算卫生服务效率,对比公共与私人卫生服务的有效性;Mahdilo等<sup>[11]</sup>将效率指标分解为技术、生态、环境效率对现代钢铁供应商进行评价。国内部分学者根据研究重心的不同,运用C<sup>2</sup>R模型、CCR模型、BCC模型分析科技创新活动效率<sup>[12-14]</sup>,还有一部分学者采用改进的DEA模型,如DEA-Tobit两步法、DEA-Malmquist指数法、Bootstrap-DEA计量模型、超DEA模型等<sup>[15-17]</sup>展开研究。但这些研究方法将科技创新效率评价过程视为一个整体,未考虑到科技创新内部结构的复杂性。为克服这一方法缺陷,近年来相关研究多采用两阶段DEA模型或三阶段DEA模型:一方面,构建科技创新中间产出阶段,以提高科技创新效率评价精度;另一方面,完善科技创新末端评价过程,将科技创新分为科技创新阶段和经济产出阶段进行测算<sup>[18-20]</sup>。

以上研究成果在研究内容、研究对象和效率测算方法方面为本文提供了重要参考,但是既有研究大多关注大型组团城市群区域整体科技创新效率变化或省域间科技创新能力对比,聚焦于城市群内部中心城市与成员城市科技创新效率交互影响及效率空间分异的研究较少<sup>[21]</sup>。基于此,本文基于协同视角,采用DEA模型对武汉“1+8”城市圈2007-2016年科技创新和经济产出两个阶段效率进行测算,分析其时空分异特征,探索城市群中心城市与成员城市科技创新效率变化过程,旨在加深对城市群城市科技创新交互作用机制的理解,为我国区域科技创新协同发展,尤其是城市群科技创新效率提升提供参考和支持。

## 1 研究设计

### 1.1 数据包络分析(Data Envelopment Analysis,DEA)

本文基于DEA模型对武汉市城市圈科技创新和经济产出两阶段效率进行测度。DEA模型是由美国运筹学家Charnes等<sup>[22]</sup>基于决策偏好提出的一种评价方法,以投入和产出作为评价指标,将其投影到DEA前沿面上,进而对每一个决策单元(Decision Making Units,DMU)进行相对效率评价。DEA模型主要分为基于规模报酬不变假设的CCR模型和基于规模报酬可变的BCC模型。其中,BCC模型在规模报酬可变的假设下同时对决策单元的综合效率和纯技术效率进行测量,更能反映出决策单元相对效率影响因素。本文选择DEA-BCC模型进行效率评价,假设在n个决策单元中,均有i种投入和r种产出,有:

$$\begin{aligned}
 \min \theta & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \geq \theta x_{jk} \\
 s.t. & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \theta y_{rk} \\
 & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \quad \lambda \geq 0 \\
 & \quad i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned}$$

其中, $\theta$  ( $0 \leq \theta \leq 1$ )为决策单元效率, $\theta$ 值越高,说明该决策单元相对其它单元的投入产出效率更高。进一步地,BCC模型定义 $s^+$ 、 $s^-$ 为松弛变量和剩余变量,以测算决策单元DEA是否有效,有:

$$\begin{aligned}
\min \theta & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{jk} \\
s.t. & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = \theta y_{rk} \\
& \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
& \quad \lambda \geq 0; s^+ \geq 0; s^- \geq 0 \\
& \quad i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, n
\end{aligned}$$

若  $\theta=1, s^+=0, s^-=0$ , 则决策单元为 DEA 有效; 若  $\theta < 1$ , 则决策单元为非 DEA 有效。

### 1.2 基于 DEA 模型的两阶段产出链

本文采取基于 DEA 模型的两阶段产出链方法, 同时测算武汉城市圈科技创新产和经济产出两阶段效率。

如图 1 所示, 第一阶段为科技创新阶段, 通过投入科技要素, 获得科技创新成果, 其中  $X$  为科技要素投入,  $Y$  为科技创新产出; 科技创新第二阶段为经济产出阶段, 科技创新产出经过转化推动区域经济发展, 其中  $Y$  为科技创新产出, 是经济产出阶段的投入,  $Z$  是经济产出输出。由于科技创新阶段到经济产出阶段在时间上存在一定迟滞性, 因此本文分别选取  $t$  年和  $t+1$  年的数据对两个阶段进行测算, 即第一阶段选择 2007-2016 年武汉城市圈相关数据, 第二阶段选择 2008-2017 年武汉城市圈相关数据, 如图 1 所示。

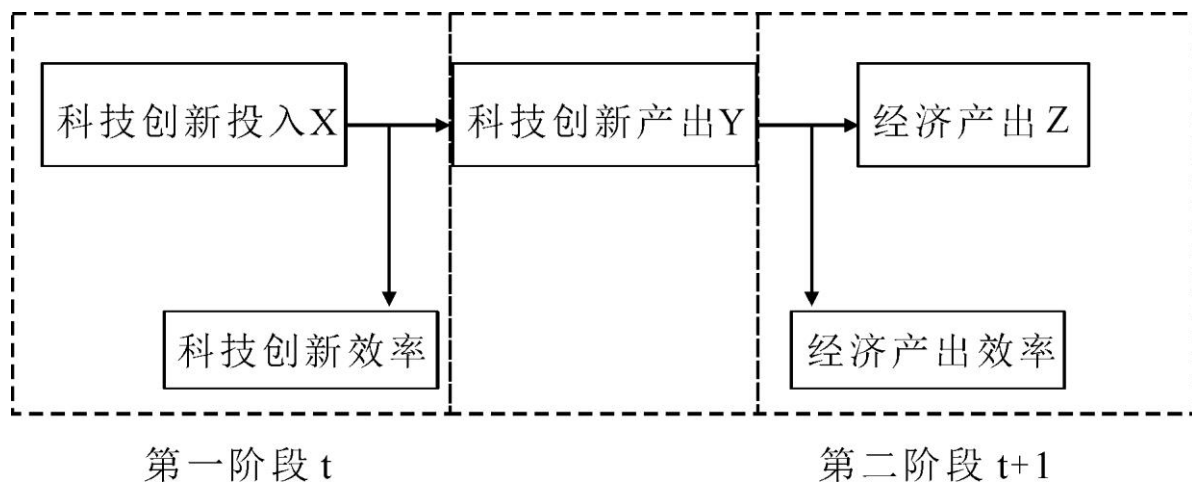


图 1 基于 DEA 模型的科技创新两阶段产出链

### 1.3 基于两阶段产出链的评价指标选取

DEA 模型的投入产出指标根据研究目的、指标间非强相关以及可获得性和科学性等要求选取。科技创新投入一般从人力、物力和财力 3 个方面进行评价; 科技创新产出一般从高新技术产业发展和创新成果等方面进行评价; 经济产出一般从生产总值和税收等方面进行评价。本文基于已有研究成果<sup>[23-24]</sup>, 根据研究区域科技和经济发展状况以及数据可获得性, 选取两阶段三组变量的研

究指标如表 1 所示。

表 1 武汉城市圈科技创新与经济产出效率评价指标

| 科技创新投入 X               | 科技创新产出 Y             | 经济产出输出 Z          |
|------------------------|----------------------|-------------------|
| 财政科技支出 $X_1$ (万元)      | 高新技术产业增加值 $Y_1$ (亿元) | 地区生产总值 $Z_1$ (亿元) |
| 从事科技人员数量 $X_2$ (人)     | 新产品开发项目数 $Y_2$ (个)   | 政府税收 $Z_2$ (亿元)   |
| 企业 R&D 内部经费 $X_3$ (万元) | 专利授权量 $Y_3$ (件)      | 固定资产投资 $Z_3$ (亿元) |

由于 DEA 模型要求决策单元数量不小于投入和产出量指标之和的两倍,而本文两个阶段共有 6 组指标,因此同时选取湖北省武汉市和其它 12 个地市的数据进行测算,但最终结果只针对武汉城市圈 9 个城市的 DEA 效率进行分析。以上指标数据来源于《湖北统计年鉴》(2008-2017)、《湖北省各地市 2017 年国民经济和社会发展统计公报》。

## 2 武汉城市圈效率时空分异特征

### 2.1 武汉城市圈效率时序变化

根据上述模型和数据计算武汉城市圈 9 个城市 2007-2016 年科技创新与经济产出两阶段综合效率和纯技术效率值,城市圈科技创新和经济产出两阶段效率变化呈现出阶段性特征(见图 2)。

在科技创新阶段,一方面,武汉市城市圈综合效率呈现出先上升后下降的特征:效率值从 2007 年的 0.837 上升到 2011 年的 0.957,然后下降到 2016 年的 0.660;中心城市和城市圈整体综合效率值变动基本一致,但发生变化的时间节点不同。中心城市综合效率值持续上升并于 2014 年攀升至最大值 1,其后迅速下降至 2016 年的 0.767。另一方面,城市圈纯技术效率则呈现出先下降后回升的特征:城市圈纯技术效率值从 2007 年的 0.994 下降到 2015 年的 0.746,2016 年回升到 0.850;中心城市始终保持在最大值 1。

在经济产出阶段,武汉市城市圈综合效率先下降后上升,与前一阶段呈现出相反的变化趋势:从 2007 年的 0.692 下降到 2009 年的 0.523,之后持续上升,于 2016 年达到阶段性最大值 0.856;中心城市效率变化与城市圈一致,但始终维持在较低区间。在纯技术效率方面,城市圈效率呈现出波动上升趋势,中心城市效率仍始终保持在最大值。

### 2.2 中心城市和成员城市效率差值变化

由图 3 可以看出,两个阶段中心城市和成员城市差值变化存在明显差异。在科技创新阶段,初期成员城市综合效率值高于中心城市,随着时间推移,成员城市效率值被中心城市反超且二者效率差值不断扩大,最大差值接近 0.2。2015 年以后,成员城市与中心城市效率差值逐渐缩小;成员城市和中心城市的纯技术效率差值变动与综合效率差值变动基本一致。在经济产出阶段,成员城市综合效率远高于中心城市,2007-2016 年间两者差值始终维持在 0.375~0.558 之间。与之相反,成员城市的纯技术效率低于中心城市,但是两者差值相对较小。

### 2.3 武汉城市圈效率空间变化

武汉城市圈是以武汉市为中心,与周边 8 个成员城市共同构成的近圆形城市群,城市圈在不同阶段的效率空间分布不一致,同一阶段综合效率和纯技术效率空间分布基本一致。在科技创新阶段,成员城市效率空间分布呈现东西高、南北低的特点。武汉市西侧的天门、潜江、仙桃三市和东侧的黄石、黄冈、鄂州三市效率值明显高于北侧的孝感和南侧的咸宁;在经济产出阶段,成员城市效率空间分布则以东南较低为特征,武汉市东南侧的鄂州、黄石和咸宁三市效率明显低于西北其它 5 个成员城市。

### 3 武汉城市圈效率时空分异分析

#### 3.1 城市圈协同政策持续性不足

自 2007 年以来,武汉城市圈出台协同发展政策特别是科技协同政策,助力区域科技创新以及创新环境改善,城市圈中心城市与成员城市科技与经济状况协同发展,中心城市武汉作为整个城市圈经济发展“龙头”对区域科技创新起到了良好的辐射与带动作用,2007-2011 年,整个城市圈综合效率持续提高,成员城市与中心城市效率差值不断缩小。2011 年后,城市圈综合效率值下降。随着“两型社会”试验区的发展和初期协同政策的持续性不足,成员城市与中心城市经济地位差异逐渐显现,在科技要素投入、科技人才培养、社会资本引入以及技术市场建设等方面脱节。2012 年后,科技创新效率差值不断扩大,阻碍了城市圈整体科技效率提高,制约了中心城市发展,导致 2014 年后整个城市圈科技创新效率呈不断下滑趋势。

#### 3.2 城市圈内城市资源配置强度差异明显

中心城市武汉作为湖北省会城市,在科技资源吸纳、知识价值创造等方面拥有得天独厚的优势。市内集聚大量高等院校和科研院所,科技人员与成果转化人员数量多,技术专利丰富,成果转化潜能较大,为中心城市科技创新提供了有力的技术支持。武汉市纯技术效率始终保持在最高值,在科技创新阶段相较成员城市处于绝对领先地位。因科技要素在中心城市与成员城市间的双向流动,2015 年之后成员城市与中心城市效率差值逐渐缩小。从 2013 年开始,武汉城铁进入高速发展阶段,2013 年开通武咸城铁,2014 年开通武黄城铁,2016 年开通武孝城铁,交通运输体系不断优化,加速了区域科技投入要素流动。

与此同时,中心城市在经济产出阶段的综合效率明显低于成员城市和整个城市圈效率值。中心城市科技创新成果突出,但经济产出效率较低,原因在于中心城市在广泛吸收、集聚科技资源的同时,忽视了科技资源利用效率最大化的问题。虽掌握大量成果、专利资源,但有些科研成果很难与市场日益增长的技术需求相匹配,导致很多具有转化潜能的技术专利、成果未能得到转化;各方主体特别是成果转化人员的动力不足,阻碍了科技成果在第二阶段商品化、产业化效率提升,科技进步没有发挥对经济发展应有的贡献作用。整个城市圈范围内的科技资源过于向中心城市集中,产出效率不足导致中心城市科技创新和经济产出两阶段发展不均衡,而成员城市虽然经济产出纯技术效率不高,但是与其科技创要素投入和产出水平相一致,综合效率相对较高。

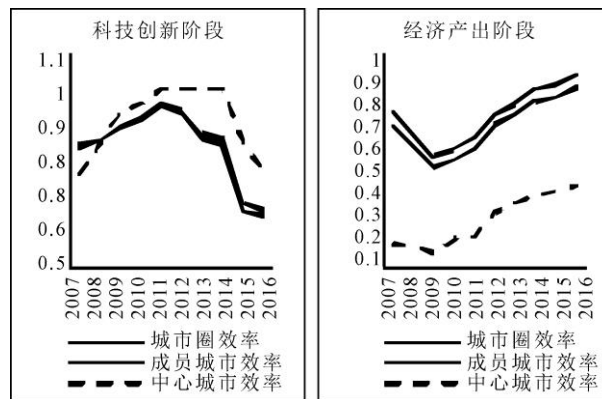


图 2 两阶段综合效率变化

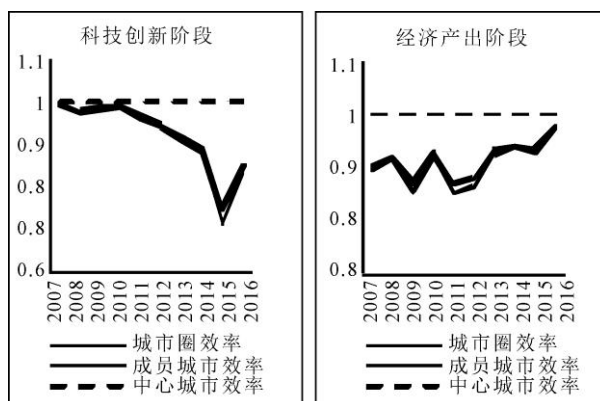


图3 两阶段纯技术效率变化

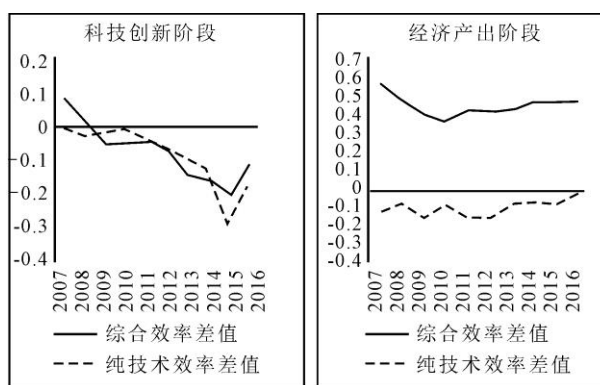


图4 成员城市与中心城市效率差值变化

### 3.3 中心城市辐射效应不断变化

中心城市与成员城市协同发展的同时也相互影响。瑞典经济学家 Gurmar Myrdal<sup>[25]</sup>提出“扩散效应”和“回波效应”，描述了经济活动区域不同中心之间的影响，中心城市的扩散效应强于回波效应时，会对周边成员城市发展起到带动作用；反之，当中心城市的扩散效应弱于回波效应时，成员城市发展将受到中心城市阻碍。在初期城市圈协同发展要求下，武汉城市圈对中心城市和成员城市科技投入要素进行分配，将扩散效应保持在较高的水平，表现为2007-2014年中心城市综合效率快速上升后，带动成员城市和整个城市圈效率提高；随着时间推移，由于中心城市拥有优于成员城市的资源要素投入环境和科技创新氛围，科技人才、社会资本、关键技术等科技要素不断流向中心城市，使得回波效应不断增强并超过扩散效应，表现为2014-2016年成员城市效率呈下降趋势。

### 3.4 中心城市科技产业布局空间带动作用显著

武汉市的东湖新技术开发区、武汉经济技术开发区、临空港经济技术开发区均为国家级开发区，分别位于武汉市的东侧、西侧和西北侧，而城市圈科技创新效率东西高、南北低的特征与武汉市科技产业空间布局存在一致性，城市圈中越靠近中心城市高新技术区域或核心经济发展区域的成员城市科技创新效率越高。城市圈东西两侧成员城市接壤国家级开发区，并建有高新技术开发区对接中心城市的开发区，如东侧鄂州高新技术产业园区，重点发展机械制造和现代物流等产业，西侧仙桃高新技术产业园区主要布局生物医药、新材料和新能源等行业，对于中心城市开发区产业链条起到了补充并承接部分职能的作用，有助于在与

中心城市产学研合作中提高科技创新能力,提升成员城市科技创新效率。

## 4 结语

### 4.1 研究结论

本文运用 DEA 模型测算了 2007-2016 年武汉城市圈中心城市和成员城市科技创新与经济产出两个阶段效率值,并对其时空分异特征进行分析,得出下列结论:

(1) 武汉城市圈自 2007 年成为“两型社会”建设试验区以来,城市圈协同发展规划政策对各城市科技创新和经济发展起到了显著推动作用,但存在政策效应随时间推移逐渐减弱的问题,限制了科技创新效率进一步提高。

(2) 武汉城市圈科技创新与经济产出效率值时空分异明显,表现为不同阶段城市圈城市效率值变化特征明显、同一阶段城市圈综合效率和纯技术效率变化特征明显,以及城市圈内中心城市和成员城市间效率差值变化特征明显。

(3) 城市圈协同发展有利于城市圈内部各层级城市科技创新和经济产出效率提高,城市圈协同发展效应减弱则会阻碍整个城市圈效率值的长期增长。城市圈科技创新与经济产出效率值时空分异特征主要受到科技发展协同政策效应持续性、城市圈内城市间科技投入要素分配强度、中心城市和成员城市间相互作用与中心城市科技产业空间布局等影响。

### 4.2 政策建议

城市群协同发展是一个不断变化和演进的过程,应根据不同层级城市科技创新动态给予政策支持,注重持续强化协同政策的效力,合理分配城市圈科技要素,避免整个城市群区域科技发展失衡。基于上述研究结论,提出以下政策建议:

(1) 中心城市应着力提高科技资源优化配置与成果转化效率。在完善科技法律法规的基础上,加强地方科技管理配套政策落地,科技研发与成果转化应充分围绕市场技术需求展开,并加大对科技创新链上各方主体的激励力度,特别是提高科技成果转化管理服务人员的积极性,引导科技成果向现实价值转化,提高科技资源优化配置与成果转化效率,进而强化科技对地方经济的带动作用。

(2) 成员城市应加大科研与科技投入力度。成员城市应制定专一性优惠政策与普惠性政策,二者互为补充,根据武汉城市圈对不同城市的产业布局与规划方向,加大对产业承接的科技政策倾斜力度;利用中心城市对成员城市在科技研发与成果转化方面的辐射带动作用,与周边城市积极开展产学研合作,缩小与中心城市的差距;加大科技资源投入力度,抑制中心城市回波效应对自身的影响,提高科技创新效率。

(3) 协同推动科技成果推广应用和产业化进程,优化以市场为导向的科技创新体系。落实创新主体收益分配政策改革,提高科研人员奖励报酬比重的同时,将技术转移机构与人员纳入激励范围,共同推动科研成果商品化、产业化进程;特别注意中心城市与成员城市科技创新协同发展,引导科技中介服务机构以市场需求为导向,实行市场化的“政产学研金”运营模式;加强地方技术经纪人培训,强化技术转移人员专业技能,以充分挖掘企业真实技术需求,提高与技术供给方对接效率;鼓励成员城市成立技术转移机构分中心,通过制定科学的机构绩效考核体系,强化分中心与中心城市机构的工作联系。

### 4.3 研究展望

本文对城市群中心城市和成员城市在科技创新与经济产出两个阶段的相对效率进行评价,探索了城市群在某一时间段内的

---

时空分异特征,并针对城市群区域科技协同发展给出了相应的政策优化建议,但在具体研究过程中仍存在不足:首先,因武汉城市圈的特殊性,本文测算的是以单一城市为核心的城市群科技相对效率,因此政策建议可能缺乏完整性;其次,虽借助产出链两阶段思想,分阶段对研究对象进行评价,但分析手段较为单一;最后,因开放数据获取不足,数据库需及时更新以支持效率评价与分析。因此,为弥补以上研究缺陷,后续研究可基于最新科技统计数据拓宽研究范围,严格遵循两阶段或三阶段 DEA 评价方法,运用其它定量手段如 t 检验法,对影响城市群各城市相对科技效率的重要指标进行萃取,并提出针对性的对策建议,以进一步推进城市群科技协同研究。

#### 参考文献:

- [1]中国科学技术发展战略研究院. 国家创新指数报告(2016-2017)图解[EB/OL]. <http://www.casted.org.cn/channel/news/info/6336>, 2017-8-18.
- [2]中华人民共和国科学技术部. 国家创新指数报告(2016-2017)[EB/OL]. <http://www.most.gov.cn/cxdc/cxdcpjbg/201710/P020171027321781250072.pdf>, 2018-6-7.
- [3]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.
- [4]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.
- [5]王双进,李新刚. 京津冀高技术产业 R&D 活动效率测度[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(5):52-59.
- [6]刘亮. 区域协同背景下长三角科技创新协同发展战略思路研究[J]. 上海经济, 2017(4):75-81.
- [7]睢党臣,董玉迪. 中国新丝绸之路经济带科技效率的测度及分解——基于 DEA-Malmquist 指数的方法[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(5):19-23.
- [8]岳海鸥,张彦奇,吕芳芳,等. 山东省会城市群经济圈科技投入与产出评价体系研究[J]. 中国科技资源导刊, 2016, 48(5):19-26.
- [9]BERGERAN, HUMPHREYDB. Efficiency of financial institutions:international survey and directions for future research[J]. European Journal of Operational Research, 1997, 98(2):175-212.
- [10]HOLLINGSWORTHB. The measurement of efficiency and productivity of health service delivery[J]. Health Economics, 2008, 17(10):1107-1128.
- [11]MAHDILOOM, SAENRF, LEEK. Technical, environmental and eco-efficiency measurement for supplier selection:an extension and application of data envelopment analysis[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 168: 279-289.
- [12]李涛. 资源约束下中国碳减排与经济增长的双赢绩效研究——基于非径向 DEA 方法 RAM 模型的测度[J]. 经济学(季刊), 2013, 12(2):667-692.
- [13]何砚,赵弘. 京津冀城市可持续发展效率动态测评及比较研究——基于超效率 CCR-DEA 模型和 Malmquist 指数的度量[J].

---

工业技术经济, 2017, 36(11):29-36.

[14]徐巧玲. 科技投入产出的相对效率评价研究——基于 DEA 的 BCC 模型与 SE-CCR 模型的分析[J]. 科技管理研究, 2014, 34(1):66-70.

[15]陈国生, 杨凤鸣, 陈晓亮, 等. 基于 Bootstrap-DEA 方法的中国科技资源配置效率空间差异研究[J]. 经济地理, 2014, 34(11):36-42.

[16]李娟, 李建强, 吉中贵, 等. 基于超 DEA 模型的成都市城市土地利用效率评价[J]. 资源与产业, 2010, 12(2):40-45.

[17]张建清, 张岚, 王嵩, 等. 基于 DPSIR-DEA 模型的区域可持续发展效率测度及分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11):1-9.

[18]冯志军, 陈伟. 中国高技术产业研发创新效率研究——基于资源约束型两阶段 DEA 模型的新视角[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(5):1202-1212.

[19]乔元波, 王砚羽. 基于三阶段 DEA-Windows 分析的中国省域创新效率评价[J]. 科学学与科学技术管理, 2017, 38(1):88-97.

[20]龚锋. 地方公共安全服务供给效率评估——基于四阶段 DEA 和 Bootstrapped DEA 的实证研究[J]. 管理世界, 2008(4):80-90.

[21]毛良虎, 姜莹. 长江经济带区域创新效率及空间差异研究[J]. 华东经济管理, 2016, 30(8):73-78.

[22]CHARNESA, COOPER WW, RHODESE. Measuring efficiency of decision-making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.

[23]徐蒙, 王文亮, 沙德春. 基于灰色 DEA 模型的河南省科技创新投入产出效率研究[J]. 河南科学, 2018, 36(1):118-123.

[24]刘志华, 李林, 姜郁文. 我国区域科技协同创新绩效评价模型及实证研究[J]. 管理学报, 2014, 11(06):861-868.

[25] GUNNARM, PAULAM, VANP. Economic theory and underdeveloped regions[J]. International Affairs, 1971, 34(3):361.