



中国城市科技研发效率的时空演变与影响因素

康海媛¹ 孙焱林² 李先玲¹

(1. 中南民族大学 经济学院, 武汉 430074; 2. 华中科技大学 经济学院, 武汉 430074)

摘要:采用 Global Malmquist 生产率指数方法, 测算 1997 年—2014 年中国 204 个城市科技研发效率, 分析其空间差异和时间演变特点, 建立空间面板杜宾模型, 实证检验各种影响因素。结果显示: 中国城市科技研发效率较低, 样本期间发生剧烈波动而缓慢上升; 城市科技研发效率的空间聚集特征逐渐增强, 高效率区域主要聚集在东部沿海地带, 低效率区域主要分布在东北与西北地区; 四大经济区域的城市科技研发效率由高到低依次为东部、中部、西部、东北, 十大城市群的科技研发效率最高的是山东半岛, 最低的是辽中南; 产业结构对城市科技研发效率产生显著正向影响, 经济发展水平、对外开放程度分别对城市科技研发效率产生显著负向、正向的空间溢出效应。

关键词:城市; 科技研发效率; Global Malmquist 指数; 探索性空间数据分析; 空间面板杜宾模型

中图分类号: C939.G311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-0241(2018)04-0062-12

0 引言

随着中国新型城镇化号角吹响, 城市无疑将成为未来中国经济的主体。城市的可持续发展, 离不开科技创新。科技创新活动发展的速度与质量, 决定城市的未来。因此, 从城市层面研究科技效率在国家城镇化发展的战略背景下具有重大意义。

城市科技效率研究是区域科技效率研究的组成部分。探讨科技资源配置效率的区域特征, 是实现一个国家或地区科技资源整合与规划的基础性工作。依据评价单元尺度不同, 国内外学者从国家层面、省域层面、城市层面展开对区域科技资源配置效率的研究。

在国家层面的科技效率研究中, 学者们致力于设计出国家科技创新效率的评价体系^[1-2], 并应用于现实中。Wang 和 Huang 研究 30 个国家的科技研发效率, 发现少于一半的国家在研发活动中完全有效率, 超过 2/3 的国家正处于规模报酬递增阶段^[3]。

Kostoff 比较中美两国的科技绩效, 发现 2002—2007 年间美国科研成果质量领先于中国^[4]。许陈生测算 9 个国家的科技创新效率, 结果显示中国未达到有效状态, 与日本、德国有明显差距^[5]。安培浚等发现自 2013 年起中国成为仅次于美国的第二大高质量科研论文产出国, 在 2010、2011 年中国成为全球专利申请量第一的国家, 但专利授权量却不及日本和美国^[6]。

在省域层面的科技效率研究中, Thomas 等评估美国 50 个州和哥伦比亚特区的研发效率, 发现在 2004—2008 年期间, 只有 14 个州的研发效率出现正的增长, 验证了“美国悖论”, 即美国研发效率缓慢下降^[7]。在国内各省份科技效率比较中, 王元地等得到全国科技效率最高的省份为北京、上海、广东, 最低省份为青海、内蒙古、宁夏^[8]。Chen 等评价中国省级地区的研发效率, 发现 2006—2010 年期间, 浙江是研发效率最高的省份, 其次是上海和甘肃^[9]。大部分研究结果显示, 经济发达的东部地区科技效率高于经

收稿日期: 2017-03-09

基金项目: 国家社科基金一般项目(14BMZ074)

第一作者简介: 康海媛(1978—), 女, 黑龙江牡丹江人, 中南民族大学讲师, 经济学博士, 研究方向: 数量经济、统计学。

通信作者: 康海媛, khy_2002@163.com

济欠发达的中西部地区^[10-13],且东部与中西部地区的科技创新效率差距进一步加大^[14]。但也存在一些分歧,如陈国生等研究结果显示中部的科技资源配置效率大于东部与西部^[15]。

在城市层面的科技效率研究中,范斐等发现全国城市科技资源配置平均效率一直较低,且呈现逐年递减趋势^[16]。盛彦文和马延吉发现东北地区科技高效率城市集中于辽中南和哈长城市群^[17]。对于单个城市而言,重庆市科技全要素生产率较高^[18],上海不同行业间存在大量科技资源配置无效率情况^[19]。

综上所述,学者们对科技效率的研究还存在以下有待完善的地方:一是缺乏城市维度科技效率的研究,大部分以省域或国家数据为主;二是科技效率的DEA测算方法都是基于当期技术集的,所得效率不满足传递性,不适合进行时间上的纵向比较;三是缺乏对科技效率的空间建模分析,较少深入探讨科技效率的影响机制。

因此,本文将从以下方面完善:一是选择中国204个地级以上城市作为研究对象,扩展科技效率的研究视野;二是采用基于全域技术集的Global Malmquist生产率指数方法测算城市科技研发效率,所得效率值满足传递性,适合进行不同年份的比较,优化DEA方法在科技绩效评价中的应用;三是建立空间杜宾模型,深入揭示城市科技效率的影响机制,为促进城市科技创新事业发展提供新思路。

1 研究方法 with 数据说明

现有运用DEA测算科技创新效率的文献,大致采用以下三种方法:第一种,基于当期技术集的DEA方法,如Wang和Huang^[3]、范斐等^[16];第二种,基于当期技术集采用两阶段链式DEA方法,如冯锋等^[20];第三种,采用跨时期DEA,应用基于全域技术集的Global Malmquist生产率指数,如Cazares等^[21]。本文采用第三种方法,计算得到的效率水平值为城市科技行业的全要素生产率,能综合反映该行业的投入产出情况,且不同年份的效率水平值可以进行比较。

1.1 Global Malmquist 指数方法

由于根据当期生产可能性集合不能构建具有传递性的生产率指数,针对这一问题,Pastor和Knox Lovell通过构建由所有决策单元的所有时期数据所形成的全域生产可能性集合,提出Global Malmquist生产率指数^[22]。本文假设一个城市为一个决策单元,每一年为一个时期,各城市使用L种投入 $x = (x_1, x_2, \dots, x_L) \in R_+^L$,得到M种产出 $y = (y_1, y_2, \dots, y_M) \in R_+^M$ 。利用K个城市第t期的投入和产出值可构造出t时刻的当期生产可能性集合 $P^t(x^t) = \{(y^t) : x^t \text{生产}(y^t)\}$, $t = 1, 2, \dots, T$,进一步,根据Pastor和Knox Lovell利用K个城市、T个时期所有投入和产出值构造出全域生产可能性集合^[22] $P^c(x) = P^1(x^1) \cup P^2(x^2) \cup \dots \cup P^T(x^T)$ 。

本文构造产出导向的产量距离函数 $D^c(x^t, y^t)$,通过式(1)求解:

$$D^c(x^t, y^t) = \max \beta$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{i=1}^T \sum_{n=1}^K z_i^t x_{in}^t \leq x_n^t, n = 1, \dots, N \\ \sum_{i=1}^T \sum_{m=1}^M z_i^t y_{im}^t \geq \beta y_m^t, m = 1, \dots, M \\ z_i^t \geq 0, i = 1, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

本研究利用全域生产可能性集合计算得出的全域技术效率GTE,它可分解为技术效率TE与前沿技术水平BPG,见式(2):

$$GTE^c(x^t, y^t) = TE^c(x^t, y^t) \times BPG^c(x^t, y^t) \quad (2)$$

其中GTE为根据全域生产可能性集合计算的技术效率,为科技行业的全要素生产率,即为本文讨论的科技研发效率,TE为根据当期生产可能性集合计算的技术效率,BPG为当期生产可能集合与全域生产可能性集合的最佳技术前沿差距。

在式(2)基础上,本研究得到Global Malmquist生产率指数式(3),GM指数表示科技行业全要素生产率的变化率。

$$GM(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D^c(x^t, y^t)}{D^c(x^{t+1}, y^{t+1})} = \frac{GTE^c(x^{t+1}, y^{t+1})}{GTE^c(x^t, y^t)} \quad (3)$$

1.2 指标选取与数据说明

本文借鉴欧阳峣和陈琦建立的创新体系效率评价的两阶段模型^[23],从科技创新过程角度,把城市科技活动分为科技研发活动与科技转化活动。对于城市科技研发效率的内涵及投入产出指标选择,如表1所示。

关于科技研发活动的投入指标,本文从人力、物力投入角度,选择科研、技术服务行业人员数与城市财政支出中的科学事业费支出。根据联合国科教文组织的定义,科技研究和活动包括基础研究、应用研究和试验发展。因此,关于科技研发活动的产出指标,本文从基于企业为主体致力于应用研究的技术创新角度和基于高校、科研机构为主体致力于基础研究的知识创新角度来选择^[24],采用各城市发明专利数作为技术创新角度的产出指标,采用各城市发表的中文论文数、英文论文数作为知识创新角度的产出指标^[16]。由于选择城市维度数据,在很多省域数据研究文献中普遍采用的技术市场成交额、高新技术产品产值等产出指标,数据无法完整得到,因而在产出指标中未选择。鉴于科技创新活动由投入到产出的过程具有一定的时滞性,所以沿用常规处理方法,本文把科技研发过程的时滞设为1年,投入指标时间段为1997—2014年,对应的产出指标时间段为1998—2015年。

2 城市科技研发效率的时空演变分析

2.1 中国城市科技研发效率的统计描述

运用Deap2.1软件,采用基于Global Malmquist指数的数据包络分析法对中国204个地级以上城市18年间的科技研发效率进行测算,得到各城市不同

年份科技研发效率,均值统计如表2所示。

由表2可知,科技研发效率最高的6个城市为合肥、保定、聊城、湘潭、苏州、南京。总体来看,中国城市科技研发活动的投入产出效率较低,18年来204个城市科技研发效率均值为0.2156,有待进行效率提升方面的相关改革。由于本文选择基础研究科研产出指标稍多(指中文、英文论文数),这就可以解释为什么合肥在所有城市中科技研发效率最高,因为合肥有中国科学技术大学等高水平理工科院校,且中国科学院也在合肥设有多个研究机构。

2.2 探索性空间数据分析(ESDA)

(1) 全局空间关系变化。通过计算18年来的Moran's I指数发现(见表3),其指数值虽然较低,但从2001年开始出现明显上升趋势。2001年是一个转折点,其Moran's I指数值为负,分布呈现空间离散状态;从2001年后,指数值为正且不断上升,空间相关性与空间聚集特征逐渐增强,因而适合对城市研发效率进行空间建模分析。

(2) 局部空间关系变化。由表4可知,在2014年的204个城市中,33个城市属科技研发“高效型”城市集合(高一高),例如潍坊、南通、盐城、嘉兴等东南沿海城市;8个城市属研发“低效型”城市集合(低—低),如丹东、辽源、包头、乌鲁木齐、乌海等东北与西北地区的城市;20个城市属“山谷型”分布特点(低—高),即自身效率低且被相邻高效率城市包围,包括唐山、沧州、宁波、衢州等城市;7个城市属“山峰型”分布特点(高一低),即自身效率高且被相邻低效率城市包围,有长春、沈阳、西安、兰州、昆明等城市。

本文利用Geoda软件计算了1997、2014年城市

表1 城市科技研发效率内涵的界定及投入产出指标

城市科技效率	效率的内涵	投入产出指标		
		阶段	指标	数据来源
科技研发效率	创新活动主体运用一定的创新资源,在政策或研发驱动模式下,实现一定的科技创新产出,即科技要素投入 →科技要素产出的过程	科技要素投入	科学事业费支出	《中国城市统计年鉴》
			科研综合技术服务人员	《中国城市统计年鉴》
		科技要素产出	中文论文数	《中国期刊网》检索
			英文论文数	Web of Science数据库
	发明专利数	《中国期刊网》检索		

表2 中国204个城市科技研发效率均值统计(1997—2014)

城市	效率	城市	效率	城市	效率	城市	效率	城市	效率	城市	效率
北京	0.299	朝阳	0.035	湖州	0.283	东营	0.301	株洲	0.167	攀枝花	0.121
天津	0.202	长春	0.487	绍兴	0.246	烟台	0.230	湘潭	0.575	泸州	0.167
石家庄	0.186	吉林	0.120	金华	0.385	潍坊	0.217	衡阳	0.298	德阳	0.117
唐山	0.244	四平	0.259	衢州	0.229	济宁	0.172	邵阳	0.160	绵阳	0.120
秦皇岛	0.389	辽源	0.084	合肥	0.689	泰安	0.268	岳阳	0.220	广元	0.130
邯郸	0.162	通化	0.107	芜湖	0.241	威海	0.428	常德	0.163	遂宁	0.161
邢台	0.156	白城	0.071	蚌埠	0.233	日照	0.210	益阳	0.149	内江	0.126
保定	0.635	哈尔滨	0.386	淮南	0.278	临沂	0.246	郴州	0.089	乐山	0.147
张家口	0.139	齐齐哈尔	0.188	马鞍山	0.220	德州	0.279	永州	0.141	南充	0.302
承德	0.196	鸡西	0.181	淮北	0.319	聊城	0.634	怀化	0.193	宜宾	0.147
沧州	0.101	鹤岗	0.242	铜陵	0.208	郑州	0.231	广州	0.232	贵阳	0.138
廊坊	0.129	双鸭山	0.165	安庆	0.186	开封	0.419	韶关	0.138	六盘水	0.104
衡水	0.152	大庆	0.171	黄山	0.145	洛阳	0.152	深圳	0.300	遵义	0.239
太原	0.201	伊春	0.074	滁州	0.250	平顶山	0.154	珠海	0.103	昆明	0.210
大同	0.119	佳木斯	0.251	阜阳	0.240	安阳	0.299	佛山	0.171	曲靖	0.261
阳泉	0.099	七台河	0.107	宿州	0.217	鹤壁	0.190	江门	0.143	玉溪	0.243
长治	0.135	牡丹江	0.196	福州	0.209	新乡	0.350	湛江	0.257	西安	0.504
晋城	0.124	黑河	0.156	厦门	0.377	焦作	0.385	茂名	0.183	铜川	0.067
呼和浩特	0.157	上海	0.207	莆田	0.143	濮阳	0.186	肇庆	0.119	宝鸡	0.111
包头	0.089	南京	0.534	三明	0.142	许昌	0.152	惠州	0.138	咸阳	0.242
乌海	0.064	无锡	0.223	泉州	0.216	漯河	0.229	梅州	0.101	渭南	0.370
赤峰	0.258	徐州	0.382	漳州	0.198	三门峡	0.120	东莞	0.208	延安	0.316
沈阳	0.222	常州	0.220	南平	0.423	南阳	0.165	南宁	0.157	汉中	0.355
大连	0.446	苏州	0.557	龙岩	0.097	商丘	0.228	柳州	0.176	兰州	0.422
鞍山	0.164	南通	0.339	南昌	0.279	信阳	0.154	桂林	0.320	嘉峪关	0.211
抚顺	0.079	连云港	0.162	景德镇	0.084	武汉	0.464	梧州	0.125	金昌	0.427
本溪	0.075	淮安	0.313	萍乡	0.065	黄石	0.186	北海	0.139	白银	0.127
丹东	0.069	盐城	0.367	九江	0.109	十堰	0.237	钦州	0.155	天水	0.134
锦州	0.188	扬州	0.329	新余	0.175	宜昌	0.146	玉林	0.238	西宁	0.177
营口	0.052	镇江	0.285	鹰潭	0.073	襄樊	0.084	海口	0.153	银川	0.136
阜新	0.122	杭州	0.437	济南	0.456	鄂州	0.085	三亚	0.103	石嘴山	0.138
辽阳	0.083	宁波	0.174	青岛	0.416	孝感	0.146	重庆	0.183	吴忠	0.120
盘锦	0.110	温州	0.236	淄博	0.206	荆州	0.218	成都	0.389	乌鲁木齐	0.108
铁岭	0.056	嘉兴	0.142	枣庄	0.187	长沙	0.448	自贡	0.111	克拉玛依	0.083

表3 中国城市研发效率Moran's I估计值

年份	1997	2000	2001	2002	2003	2005	2007	2009	2010	2011	2014
Moran's I	0.051	0.044	-0.018	0.033	0.036	0.051	0.063	0.057	0.081	0.120	0.136

科技研发效率的局域空间关联指数 G_i ,用高的 G_i 指数表示城市科技效率高值的集聚区(热点区),低的 G_i 指数表示城市科技效率低值的集聚区(冷点区),来描述中国城市研发效率空间格局的冷热点变化。从1997—2014年期间,城市科技效率热点区域空间位置变化不大,主要聚集在东部沿海地带(河北—山东—江苏—浙江),热点城市数目有部分增加,呈现出向中部扩散的趋势。具体来看,1997年热点区域

还包括少量西部城市,如西安、宝鸡、铜川,到2014年,这些西部城市都被排除出热点区域,热点区域的空间集聚特征更加明显。科技效率的冷点区域城市个数明显减少,空间分布更加分散,其中南方的冷点城市个数大幅减少,最终冷点城市主要分布在东北与西北地区。如在1997年南部沿海地带(福建、广东、广西)有很多研发效率低的冷点城市,到2014年这些冷点城市都被排除在冷点区域外。

2.3 区域比较

下面将比较四大经济区域与十大城市群的城市科技研发效率。

2.3.1 四大经济区域

按照四大经济区域的划分范围,本文计算四大区域的科技研发效率均值,结果如表5所示。

四大经济区域的城市科技研发效率分布梯度由高到低为东部>中部>西部>东北地区,这与大多数科技效率的区域比较结果相一致。魏守华和吴贵生^[10]、俞立平等^[11]、范斐等^[12]、樊华和周德群研究证实了科技资源配置效率东高西低的分布特点^[25],且东部与中西部的效率差距在扩大^[14,16]。原因在于,区域的高水平大学、科研院所及高技术企业数量越多,研发产出就越多,效率越高。据统计,在112所“211工程”高校中,东部地区的211高校达到50所以上,西部地区只有20多所,东北只有11所,呈现出东部、中部集中,西部、北部等边缘地带分散的空间分布特征,985高校的空间分布格局与211高校类似;再看科研院所的分布,中国科学院的117个科研院所中,位于北京市的科研院所数量占总体的36.7%,上海占8.5%,其次是江苏、湖北、广东和陕西,这6省市占总数的67.5%^[26],而6省市中大部分位于东部或中部地区。

2.3.2 十大城市群

十大城市群科技研发效率排序见表6。由表6可知,山东半岛、长三角城市群为科技研发效率最高的

2个城市群,该结论与范斐等认为两者属于科技资源配置高效率集聚区相一致^[16]。山东半岛的科技研发效率最高,源于其较高的经济发展水平与雄厚的教育软实力,2014年山东省高等院校数量居全国第二位,总量GDP全国排名第三。再进一步比较三大核心城市群,长三角的科技研发效率最高,其次是京津冀,效率最低的是珠三角,该结论与王蓓等^[27]、苑清敏和申婷婷结论相矛盾^[28],但与冯锋等^[20]、李鸿禧和迟国泰的基本结论相一致^[29]。2种相反结论的焦点在于对珠三角科技研发效率的评价。从研究机构数量比较,如长三角所在的华东地区211高校密度最大,而京津冀所处的华北地区211高校最多,达到32所,珠三角所在的华南地区,211高校最少,仅8所,部分导致珠三角科技研发效率低于其他两者。川渝、辽中南城市群科技研发效率最低,该结论与范斐等^[16]、李鸿禧和迟国泰结论相一致^[29]。

2.4 中国城市科技研发效率的趋势变化

样本期间中国城市科技研发效率剧烈波动而后缓慢上升,从1997年的0.1484上涨到2014年的0.2140,中间经历了2次大的波动,第一次出现在2000—2002年期间,第二次出现在2006—2009年期间(见图1)。第一次波动的原因主要有:首先,从1998年开始中国科学院组织实施“知识创新工程”计划,调整科技布局并裁剪人员,使科技要素投入数量与结构发生变化;同样作为创新主体之一的大型国

表4 2014年中国城市科技研发效率空间聚集表

局部空间关系类型	包含城市
高效型(高一高)	潍坊、南通、盐城、嘉兴、衡水、聊城、安阳、济南、泰安、临沂、日照、新乡、开封、商丘、徐州、宿州、淮北、蚌埠、阜阳、信阳、安庆、滁州、合肥、马鞍山、南京、芜湖、常州、无锡、苏州、湖州、杭州、金华、镇江
低效型(低—低)	丹东、辽源、包头、乌鲁木齐、乌海、四平、通化、梅州
山谷型(低—高)	唐山、沧州、宁波、衢州、东营、淄博、德州、邯郸、濮阳、鹤壁、济宁、枣庄、许昌、连云港、淮安、扬州、淮南、绍兴、黄山、景德镇
山峰型(高一低)	长春、沈阳、西安、兰州、昆明、阜新、延安

表5 四大经济区域城市科技研发效率均值统计(1997—2014)

四大区域	效率均值	最大值	最小值
东部	0.2528	保定、聊城、苏州	龙岩、梅州、沧州
中部	0.2152	合肥、湘潭、武汉	萍乡、鹰潭、景德镇
西部	0.1946	西安、金昌、兰州	乌海、铜川、克拉玛依
东北	0.1648	长春、大连、哈尔滨	朝阳、营口、铁岭

有企业,上世纪90年代末也经历一场轰轰烈烈的改革;另外,从当时宏观环境来看,1998—2002年期间我国正经历一场通货紧缩,宏观经济波动将影响科技效率。

表6 十大城市群科技研发效率均值统计排序(1997—2014)

城市群	科技研发效率		
	效率均值	最高城市	最低城市
山东半岛	0.318 0	聊城	济宁
长三角	0.301 8	苏州	嘉兴
关中	0.259 0	西安	铜川
中原	0.251 1	开封	洛阳
京津冀	0.230 0	保定	沧州
海峡西岸	0.225 7	厦门	龙岩
长江中游	0.219 8	武汉	鄂州
珠三角	0.176 6	深圳	珠海
川渝	0.174 8	成都	自贡
辽中南	0.138 8	大连	营口

第二次波动主要受相关政策的影响。2006年国务院发布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》,对我国未来的科技发展做出了全面部署,各级地方政府在科技事业方面加大支持力度,城市平均科技经费支出由2006年3 980万元,迅速增加至2007年的25 816万元(见图2),增加了5.5倍,而科研产出由于具有时滞性,短期不会大幅增加,因而使2006年以后的研发效率出现下降。

3 城市科技研发效率影响因素分析

3.1 空间面板模型的设定与选取

3.1.1 模型设定

本文借鉴以往研究视角并结合数据可得性,建立如下城市科技研发效率影响因素的空间面板杜宾模型(SPDM)(见式4)。本文采用空间面板杜宾模型(SPDM)建模,是因为该模型既能全面分析因变量、

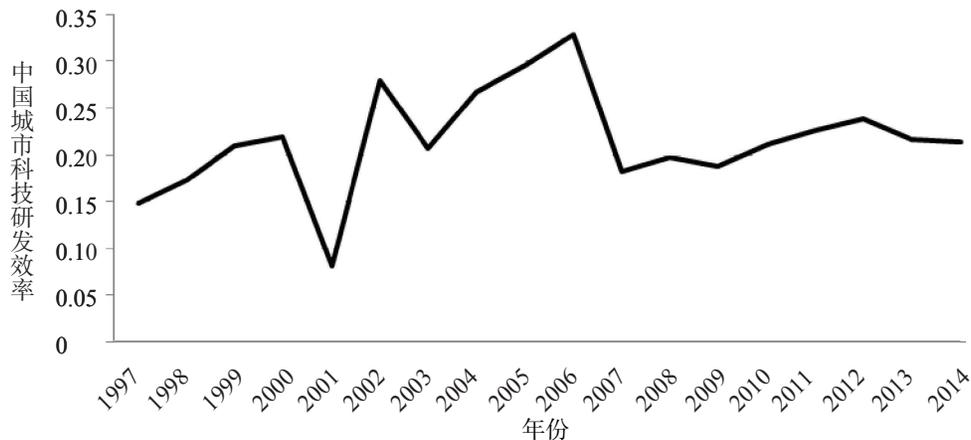


图1 中国城市科技研发效率趋势图(1997—2014)

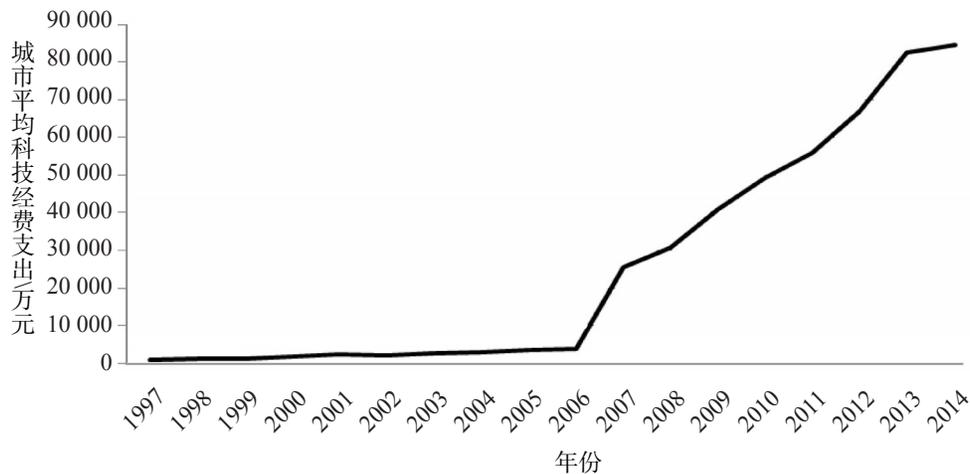


图2 中国城市科学事业费支出变化趋势(1997—2014)

数据来源:《中国城市统计年鉴(1998—2015)》

自变量的空间相关性,还可识别因变量受本地区与其他地区的影响,且杜宾模型是所有空间计量模型中唯一能够产生无偏估计量的模型^[30],同时本文在后续检验中呈现的结果也支持这一选择。

$$ec_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \rho \sum_{j=1}^N W_{ij} ec_{jt} + \theta \sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt} + v_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

ec_{it} 代表第 i 城市在 t 时间的科技研发效率; X_{it} 代表 1×5 维的解释变量集,包括产业结构 $stru$ 、对外开放度 fed 、高等教育发展水平 edu 、政府教育投入力度 gov 、经济发展水平 $lnpgdp$, β 为解释变量集的系数向量; W_{ij} 代表了 $N \times N$ 的空间权重矩阵中第 i 行第 j 列的元素, N 为城市个数; $\sum_{j=1}^N W_{ij} ec_{jt}$ 为科技研发效率的空间滞后项,其系数 ρ 代表了第 i 个城市的相邻城市科技研发效率对该城市科技研发效率的影响; $\sum_{j=1}^N W_{ij} X_{jt}$ 为解释变量集的空间滞后项,其系数 θ 代表了相邻城市的解释变量对第 i 个城市科技研发效率的影响。本文假定被解释变量与解释变量的权重矩阵相同;扰动项 ε_{it} 均值为 0,方差为常数; v_i 与 λ_t 分别为空间效应与时间效应。

本文定义空间权重矩阵的方法为有限距离法,其方法采用距离阈值来定义权重。借鉴柯善咨和姚德龙以及胡煜和李红昌的研究^[31-32],本文选择距离阈值为 200 公里 ($d_{max} = 200$ 公里) 来构造空间权重矩阵,对于城市 i ,若 $d_{ij} \leq 200$, $W_{ij} = 1$; 若 $d_{ij} > 200$, $W_{ij} = 0$ 。本文中城市间距离的计算借鉴柯善咨和姚德龙^[31],同时参考在 Boston Colledge 网站上关于中国城市空间距离的计算。

3.1.2 直接效应与间接效应

由于 SPDM 考虑了空间交互效应,此时 ρ 和 θ 等系数对被解释变量的边际效应可以分解为直接效应和间接效应。直接效应是指某一城市的解释变量影响自身被解释变量的程度。间接效应(即溢出效应)表示某个城市解释变量影响所有其他相邻城市被解释变量的程度。

3.1.3 变量说明与数据来源

本文构建的城市科技研发效率影响因素模型包含如下解释变量:(1) 产业结构 ($stru$),用第二产业占 GDP 比重表示;(2) 对外开放程度 (fed),用实际使用外资额除以 GDP 表示;(3) 高等教育发展规模 (edu),用每万人中高等学校在校生数表示;(4) 政府教育投入力度 (gov),用教育支出除以政府财政总支出比重表示;(5) 经济发展水平 ($lnpgdp$),用人均 GDP 的对数形式来表示。被解释变量为前面通过 DEA 计算得到的各城市科技研发效率 ec 。

基于前面对城市科技研发效率的时间趋势分析,发现在 2005—2006 年期间出现趋势的反转等剧烈变化,因此本文把研究样本分成 2 部分,即 2001—2005 年为估计的第一个时间段,2006—2014 年为估计的第二个时间段,可对比在 2 个不同时段下各影响因素作用的差异。

3.2 计量结果分析

3.2.1 模型设定检验

下面本文将采用 2 种方法对模型的设定形式进行检验:第一种采用 LM 检验,用来判断模型形式是采用空间滞后模型还是空间误差模型。第二种采用 LR 检验,该检验可判别空间固定效应、时间固定效应以及双固定效应的显著性。表 7 给出了 LM 检验与 LR 检验的结果,综合 2 个不同时段 LM、Robust LM 检验结果来看,LM 检验结果一致,均支持建立杜宾模型,Robust LM 检验结果则出现分歧,考虑到 SPDM 是一个更一般的模型,且是所有空间计量模型中唯一能够产生无偏估计量的模型,本文采用空间杜宾模型进行建模与估计。

LR 检验的结果均显示在 1% 的置信水平下拒绝了原假设,说明模型应采用双向固定效应模型,即同时包含时间、空间固定效应。如果变量间存在空间交互效应时,模型(IV)的估计结果将是有偏的,应当采用考虑空间交互效应的杜宾模型(SPDM)来进行估计。

3.2.2 空间面板杜宾模型的估计

本文将空间权重矩阵导入 Stata12.0 软件中,

并利用软件对城市科技研发效率的空间影响效应进行实证检验,两时段样本下的 Hausman 检验结果都为拒绝原假设,说明空间 SPDM 应采用固定效应形式。

从表 8 的回归结果可以看出,在 2001—2005 年期间,科技效率、经济发展水平的空间滞后项是显著的,在 2006—2014 年期间,科技效率的空间滞后项是显著的,由于 SPDM 模型中考虑了空间交互效应,因此要通过直接效应、间接效应和总效应来反映和解释。

表 9 给出两时段空间面板杜宾模型的直接效应与溢出效应。从直接效应来看,2 个时间段下的产业结构对城市研发效率均产生显著正向影响,但影响程度在减弱。样本城市的第二产业比重均值在 1997—2011 年期间呈现波动性上升,到 2011 年达到峰值 54.5%,随后缓慢下降至 2014 年的 50.2%。在第二产业比重增加阶段,资金、技术、人才的聚集增加科技产出量,会对科技效率产生显著正向促进作用,但伴随该比重逐渐降低,该促进作用将会逐渐减弱。

高等教育发展规模在 2001—2005 年期间与城市研发效率成显著正相关关系,这一结论与刘和东、樊华和周德群结论相一致^[25,33],但在 2006—2014 年期间两者则无显著相关关系。自高等教育改革以来,高

校招生规模逐年扩大,在高校规模扩张初期,学生、老师等人力资本的增加会带来较高的科技产出边际效应,但随着规模持续扩大,边际效应逐渐递减,规模效应逐渐消失。

政府教育投入力度与城市科技效率呈现由正转负的显著相关关系,教育支出占财政支出比重从 2001—2007 年处于缓慢上升阶段,由 2001 年的 13.8% 上升到 2007 年的 19.9%,此时体现教育投入对科技产出正向促进作用,之后则处于平稳略降状态,此时教育投入对科技产出边际效应递减,甚至为负。

从间接效应来看,在 2001—2005 年期间,经济发展水平对城市科技研发效率产生显著负向的空间溢出效应,表明一个城市的人均 GDP 增加 1%,相邻城市的研发效率分别平均下降 0.104 9%,出现“邻里竞争效应”,即意味着当一个地区经济发展水平越高,越有能力增加科技投入,改善科技基础设施条件,就能够吸引更多高素质人才,对相邻城市就会产生科技要素的挤出效应,使相邻城市科技效率降低。

在 2006—2014 年期间,对外开放程度对城市科技研发效率产生显著正向的空间溢出效应,表明一个城市的对外开放水平增长 1%,相邻城市的科技效率分别平均上升 4.202 6%。当一个城市通过扩大外

表 7 模型选择的检验结果

类别	模型 (I) 混合效应		模型 (II) 空间固定效应		模型 (III) 时间固定效应		模型 (IV) 时间和空间固定效应	
	2001—2005							
LM (lag) test	141.762	(0.00) ***	287.891	(0.00) ***	16.935	(0.00) ***	11.082	(0.00) ***
Robust LM (lag) test	19.214	(0.00) ***	43.468	(0.00) ***	1.221	(0.27)	2.697	(0.10)
LM (error) test	123.131	(0.00) ***	244.575	(0.00) ***	15.992	(0.00) ***	9.409	(0.00) ***
Robust LM (error) test	0.618	(0.43)	0.153	(0.69)	0.278	(0.60)	1.024	(0.31)
LR Spatial fixed effects test			740.44	(0.00) ***				
LR Time fixed effects test			192.79	(0.00) ***				
类别	2006—2014							
LM (lag) test	110.314	(0.00) ***	211.174	(0.00) ***	45.677	(0.00) ***	18.627	(0.00) ***
Robust LM (lag) test	0.017	(0.89)	1.111	(0.29)	0.324	(0.57)	2.833	(0.09) *
LM (error) test	120.416	(0.00) ***	210.088	(0.00) ***	48.026	(0.00) ***	17.803	(0.00) ***
Robust LM (error) test	10.118	(0.00) ***	0.025	(0.87)	2.673	(0.10)	2.009	(0.15)
LR Spatial fixed effects test			1861.53	(0.00) ***				
LR Time fixed effects test			134.60	(0.00) ***				

资引入规模来提升地方经济、提高生产技术水平时,相邻城市的管理者同样会通过一些优惠政策来吸引外资,促进经济发展,产生“邻里模仿”现象,使相邻城市利用外来资本、技术的机会增加,会促进相关技术领域科技效率上升。如郭庆宾和方齐云得出基于贸易渠道和外国直接投资渠道的溢出效应均对我国的技术进步产生促进作用^[34],陈永广等发现跨国公司在华研发的空间集聚产生了较强的知识溢出效应^[35]。

4 研究结论

本文采用Global Malmquist生产率指数方法,测算1997—2014年中国204个城市科技研发效率,分析其空间差异和时间演变特点,建立空间面板杜宾

模型,实证检验各种影响因素。主要结论有:

中国城市科技研发效率较低,样本期间发生剧烈波动而缓慢上升;城市科技研发效率的空间聚集特征逐渐增强,高效率区域主要聚集在东部沿海地带,低效率区域主要分布在东北与西北地区;四大经济区域的城市科技研发效率由高到低依次为东部、中部、西部、东北,十大城市群的科技研发效率最高的是山东半岛,最低的是辽中南;产业结构对城市科技研发效率产生显著正向影响,高等教育发展规模的影响力逐渐消失,政府教育投入力度则由显著的正向影响转为负向影响,经济发展水平、对外开放程度分别对城市科技研发效率产生显著负向、正向的空间溢出效应。

表8 空间面板杜宾模型的估计

变量	2001—2005		2006—2014	
	系数	(t值)	系数	(t值)
<i>stru</i>	0.002 6	(0.00) ***	0.000 7	(0.10)
<i>fed</i>	1.975 7	(0.15)	3.017 1	(0.13)
<i>edu</i>	0.000 2	(0.00) ***	0.000 1	(0.29)
<i>gov</i>	0.171 2	(0.06) *	-0.045 9	(0.09) *
<i>ln pgdp</i>	-0.016 9	(0.36)	-0.026 7	(0.06) *
<i>Wec</i>	0.224 1	(0.02) **	0.306 5	(0.00) ***
<i>Wstru</i>	0.003 1	(0.10)	0.000 6	(0.53)
<i>Wfed</i>	4.977 1	(0.14)	4.457 2	(0.19)
<i>Wedu</i>	0.000 1	(0.99)	0.000 1	(0.44)
<i>Wgov</i>	-0.177 6	(0.25)	0.058 1	(0.43)
<i>W ln pgdp</i>	-0.106 5	(0.00) ***	-0.003 7	(0.88)
Wald spatial lag test	10.51	(0.06) *	3.05	(0.69)
Wald spatial error test	10.04	(0.07) *	2.27	(0.81)
Hausman test	11.18	(0.02) **	18.90	(0.00) ***

注:*表示在10%的置信水平下显著,**表示在5%的置信水平下显著,***表示在1%的置信水平下显著,下同

表9 SPDM的直接效应和溢出效应

变量	Direct effects		Indirect effects		Total effects	
	系数	(t值)	系数	(t值)	系数	(t值)
2001—2005						
<i>stru</i>	0.002 6	(0.00) ***	0.003 0	(0.14)	0.005 6	(0.00) ***
<i>fed</i>	2.070 0	(0.17)	4.584 1	(0.16)	6.654 1	(0.07) *
<i>edu</i>	0.000 2	(0.00) ***	-0.000 1	(0.88)	0.000 2	(0.00) ***
<i>gov</i>	0.171 4	(0.04) **	-0.182 3	(0.24)	-0.010 9	(0.94)
<i>ln pgdp</i>	-0.012 8	(0.47)	-0.104 9	(0.01) **	-0.117 7	(0.01) **
2006—2014						
<i>stru</i>	0.000 7	(0.05) *	0.000 6	(0.56)	-0.002 4	(0.18)
<i>fed</i>	3.162 2	(0.15)	4.202 6	(0.09) *	7.364 8	(0.05) *
<i>edu</i>	0.000 1	(0.30)	0.000 1	(0.50)	0.000 1	(0.32)
<i>gov</i>	-0.046 1	(0.08) *	0.057 1	(0.46)	0.011 0	(0.88)
<i>ln pgdp</i>	-0.023 9	(0.10)	-0.003 2	(0.91)	-0.027 1	(0.35)

上述结论引起关于中国城市科技发展问题的反思:

第一,从区域与空间分布比较结果看,经济发达的东部沿海地区科技研发效率高,而经济落后的东北与西北地区效率低,这种科技效率差距势必加剧经济发展的不平衡,阻碍国家区域经济协调发展政策目标的实现。因而,国家要加大对东北与西北地区科技经费投入,加强对现有科技人员的技能培训,通过一些专项政策吸引更多的科技人才流入东北与西北地区,逐步缩小区域间的科技与经济差距。

第二,城市科技研发效率的空间聚集特征逐渐增强,呈现群状分布特征,符合城市化后期阶段“城市群”与“城市圈”概念的兴起与发展。因此,在这个发展趋势下,应提高城市群内部科技资源的流动与共享,促进城市群的科技与经济一体化,有效提高科技资源配置效率。

第三,高等教育发展规模对城市科技研发效率影响逐渐消失,说明从提高研发效率层面讲,高校人力规模不宜继续扩大,而应注重提高人力资本质量。

第四,政府教育投入力度的影响由正转负,提醒我国在稳步提升教育支出总量的同时,需要进一步加强教育支出应用领域的调整,应侧重对人力资本、技术等软实力方面进行投资。

总之,每个城市在基础研究或应用研究方面都具有不同的比较优势。通过对城市科技研发效率进行评价,再结合自身优势分析,将有助于每个城市科学制定科技事业发展规划,有利于研发资源的合理配置,从而进一步提高城市的科技效率与经济增长。

参考文献

- [1] Matei M M, Aldea A. Ranking national innovation systems according to their technical efficiency[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012,62(1):968-974.
- [2] Mahroum S, Al-Saleh Y. Towards a functional framework for measuring national innovation efficacy[J]. Technovation, 2013,33(10):320-332.
- [3] Wang E C, Huang W. Relative efficiency of R&D activities: A cross-country study accounting for environmental factors in the DEA approach[J]. Research Policy, 2007,36(2):260-273.
- [4] Kostoff R N. Comparison of China/USA science and technology performance[J]. Journal of Informetrics, 2008,2(4):354-363.
- [5] 许陈生. 国家科技创新的效率与生产力[J]. 科技管理研究,2008(1):5-8.
- [6] 安培浚,张志强,张树良,等. 近十年主要国家科技投入与科技绩效评价分析[J]. 世界科技研究与发展,2017,39(1):68-74.
- [7] Thomas V J, Sharma S, Jain S K. Using patents and publications to assess R&D efficiency in the states of the USA[J]. World Patent Information, 2011,33(1):4-10.
- [8] 王元地,潘雄锋,杨越. 中国地方政府科技投入效率的空间外溢效应研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(12):125-130.
- [9] Chen K, Kou M, Fu X. Evaluation of multi-period regional R&D efficiency: An application of dynamic DEA to China's regional R&D systems[J]. Omega, 2017,74(1):1-12.
- [10] 魏守华,吴贵生. 区域科技资源配置效率研究[J]. 科学学研究,2005,23(4):467-473.
- [11] 俞立平,熊德平,武夷山. 中国地区科技效率的组合测度研究[J]. 科学学研究,2011,29(8):1141-1146.
- [12] 范斐,杜德斌,李恒. 区域科技资源配置效率及比较优势分析[J]. 科学学研究,2012,30(8):1198-1205.
- [13] 范斐,张建清,杨刚强,等. 环境约束下区域科技资源配置效率的空间溢出效应研究[J]. 中国软科学,2016(4):71-80.
- [14] 乔元波,王砚羽. 基于三阶段DEA-Window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(1):88-97.
- [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] 范斐,杜德斌,李恒,等. 中国地级以上城市科技资源配置

- 效率的时空格局[J]. 地理学报,2013,68(10):1331-1343.
- [17] 盛彦文,马延吉. 东北三省科技资源产出效率及经济贡献:基于34个地级城市的面板数据[J]. 中国科学院大学学报,2016,33(5):632-640.
- [18] 徐小钦,黄馨,梁彭勇. 基于DEA与Malmquist指数法的区域科技创新效率评价:以重庆市为例[J]. 数理统计与管理,2009,28(6):974-985.
- [19] 李嬛. 上海市科技资源配置效率评估及优化路径研究[J]. 上海经济研究,2015(9):103-111.
- [20] 冯锋,马雷,张雷勇. 两阶段链视角下我国科技投入产出链效率研究:基于高技术产业17个子行业数据[J]. 科学与科学技术管理,2011,32(10):21-34.
- [21] Cruz-Cázares C, Bayona-Sáez C, García-Marco T. You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency[J]. Research Policy, 2013,42(6/7):1239-1250.
- [22] Pastor J T, Knox-Lovell C A. A global malmquist productivity index[J]. Economics Letters, 2005,88(2): 266-271.
- [23] 欧阳晓,陈琦. “金砖国家”创新体系的技术效率与单因素效率评价[J]. 数量经济技术经济,2015(5):71-85.
- [24] 陶雪飞. 城市科技创新综合能力评价指标体系及实证研究[J]. 经济地理,2013(10):16-19.
- [25] 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] 胡浩,葛岳静,陈鑫弘. 基于地域差异分析的高等院校与科研院所科教协同发展研究[J]. 经济地理,2013,33(11): 7-14.
- [27] 王蓓,刘卫东,陆大道. 中国大都市区科技资源配置效率研究:以京津冀、长三角和珠三角地区为例[J]. 地理科学进展,2011,30(10):1233-1239.
- [28] 苑清敏,申婷婷. 基于科技资源配置效率的城市群联动效应研究[J]. 统计与决策,2016(21):96-99.
- [29] 李鸿禧,迟国泰. 基于DEA-t检验的以企业为主体的科技创新效率评价[J]. 中国管理科学,2016,24(11):109-119.
- [30] Lesage J P, Pace R K. Introduction to Spatial Econometrics[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [31] 柯善咨,姚德龙. 工业集聚与城市劳动生产率的因果关系和决定因素[J]. 数量经济技术经济研究,2008(12):3-14.
- [32] 胡煜,李红昌. 交通枢纽等级的测度及其空间溢出效应:基于中国城市面板数据的空间计量分析[J]. 中国工业经济,2015(5):32-43.
- [33] 刘和东. 中国区域研发效率及其影响因素研究:基于随机前沿函数的实证分析[J]. 科学学研究,2011(4):548-556.
- [34] 郭庆宾,方齐云. 国外研究与开发(R&D)之溢出效果:基于我国1985-2005年的经验研究[J]. 国际贸易问题, 2009(4):87-92.
- [35] 陈永广,韩伯棠,程嘉许. 经济危机下基于行业的企业研发空间聚集知识溢出研究[J]. 科学与科学技术管理, 2012(3):57-61.

Spatial and Temporal Evolution and Influencing Factors of Urban R&D Efficiency in China

KANG Haiyuan¹, SUN Yanlin², LI Xianling¹

(1. School of Economics, South-Central University For Nationalities, Wuhan 430074, China;

2. School of Economics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Using global malmquist productivity index method, we estimate the R&D efficiency of 204 Chinese cities from 1997 to 2014, and analyze the characteristics of spatial and temporal evolution, then establish a spatial panel Durbin model, empirically testing various influencing factors. The results showed that the R&D efficiency of city in China was low, which fluctuated severely and increased slowly in the sample period; Spatial aggregation characteristics of urban R&D efficiency gradually increased, the higher efficiency regions mainly gathered in the eastern coastal zone, the lower efficiency areas mainly distributed in the Northeast and North West areas; The R&D efficiency order from high to the low within four major economic regions was the eastern, the middle, the west and the northeast, the city group with highest efficiency among the ten big city groups was Shandong Peninsula, and the city group with lowest efficiency was south Liaoning. The industrial structure had a significant positive influence on the efficiency, the level of economic development and opening degree respectively had significant negative and positive spatial spillover affected on the efficiency.

Key words: city; R&D efficiency; global malmquist index; exploratory spatial data analysis; spatial panel Durbin model