

中国东部沿海五大城市群创新效率、影响因素 及空间溢出效应

盛彦文¹, 骆华松², 宋金平¹, 赵金丽³, 张学波⁴

(1. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875; 2. 云南师范大学中国西南地缘环境与边疆发展协同创新中心, 昆明 650500; 3. 山东师范大学地理与环境学院, 济南 250358; 4. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 日照 276826)

摘要: 作为经济发展的战略核心区域, 东部沿海城市群的创新效率关系到创新驱动发展战略的实施和创新型国家建设。基于东部沿海五大城市群创新投入和产出面板数据, 引入随机前沿生产函数测度 2001—2015 年五大城市群的创新效率, 并利用空间 Durbin 模型定量分析创新效率的空间溢出效应。结果表明: ① 2001 年以来, 五大城市群的创新效率均呈现稳定增长的趋势; ② 京津冀创新效率增长缓慢, 山东半岛城市群创新效率的提升幅度最大, 长三角创新效率的提升幅度和均值仅次于山东半岛和京津冀城市群, 而城市群核心城市虽然创新资源投入较多, 但创新效率偏低; ③ 经济发展水平、集聚经济、外商投资、劳动力素质、政府资助、基础设施、产业结构和高新技术产业对城市群创新效率有直接作用和溢出效应。

关键词: 创新效率; 随机前沿生产函数; 空间溢出效应; 空间 Durbin 模型; 东部沿海城市群
DOI: 10.11821/dlyj020181124

1 引言

进入新常态以后, 通过科技创新, 转变过去长期以来依赖要素投入的粗放式经济发展模式, 提高资源利用效率、增强产业竞争力、提升经济发展质量成为中国社会经济发展的重要战略选择^[1]。近年来, 在创新驱动和创新型国家建设战略下, 中国创新资源投入力度不断加大。但是创新是一个多要素投入转化为产出的非线性复杂过程, 创新资源的投入并不意味着新技术的产出^[2,3]。因此, 创新资源的优化配置对经济发展的转型升级和国家创新水平的有效提升具有重要意义。

作为表征创新资源投入产出关系的重要指标, 创新效率不仅反映了区域对创新资源的配置情况, 也体现了区域创新系统的运行水平和质量^[4,5], 是制定区域创新发展战略的重要基础。对于创新效率, 国内外学者从国家^[6]、区域^[7,8]、行业^[9,10]以及企业^[11]等不同层面出发, 评价和分析了创新效率及其时空演化特征, 并围绕创新效率的内涵^[3]、测度指标^[12]、测度方法^[13,14]、影响因素^[4,12-16]和空间溢出效应^[17]等主题进行了广泛的研究。作为国家参与国际竞争和分工的全新地域单元^[18], 以及人才、资金等创新资源的聚集地和技术创新的“孵化器”^[19], 城市群对创新资源的配置能力直接关系到创新驱动战略的实施和创新型国

收稿日期: 2018-10-16; 修订日期: 2019-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41271132); 中国西南地缘环境与边疆发展协同创新中心开放课题

作者简介: 盛彦文 (1990-), 男, 湖南株洲人, 博士研究生, 研究方向为城市与区域发展。

E-mail: shengyanwen31@163.com

通讯作者: 宋金平 (1968-), 男, 山东平邑人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为经济地理学。

E-mail: jinpinsong@163.com

家建设,因此,城市群的创新效率受到学界广泛关注。在借鉴国内外研究成果的基础上,国内学者从人力和资本投入两个方面出发,以R&D人员投入和R&D经费支出表征城市群的创新投入,以专利数量、科技论文数和新产品销售收入等指标表征城市群创新产出,从省区^[20]、城市^[21,22]、行业^[23]及创新主体^[24]等多个层面对城市群创新效率进行了评价。但在创新资源的投入指标选择上,已有研究忽略了创新资源的持续性、增值性和可继承性特征^[25],缺少对创新投入存量指标的关注。并且由于基础数据难以获得,以城市尺度为评价单元的城市群创新效率研究主要集中于长三角城市群,而以省区为评价单元的城市群创新效率研究则忽视了城市群内城市之间创新资源投入的不均衡性;另外,由于在处理多投入和多产出的效率测度上具有优势,数据包络分析法(DEA)被广泛应用于城市群创新效率的测度中^[21,22],DEA虽然不需要对投入和产出之间的函数关系进行预先设定,但对测量误差的忽略会影响创新效率测度的准确性与稳定性,而随机前沿生产函数(SFA)是在事先构造的生产函数上完成对观测单元效率的测度,同时提供相应的统计检验值,在避免测量误差和统计干扰上具有优势^[10]。总体来看,研究结果表明城市群的创新效率具有较大的提升空间,并且在城市群内和城市群之间,创新效率均存在显著的区域差异^[20-22]。城市群内城市的创新效率不仅受到本地相关因素的影响,还会受到城市群内邻近城市的溢出效应影响:一方面,通过城市之间商品和贸易等产业链的联系、劳动力和人才等要素的区际流动、企业和大学等不同创新主体之间的交流合作等渠道^[26,27],创新知识会在城市之间扩散和溢出,从而影响城市的创新及其创新效率^[12];另一方面,创新效率会受到城市本身经济发展水平、产业结构、劳动力素质等因素的影响,而各影响因素通过城市之间的产业联系、经济合作、要素流动和学习交流,会对城市群内邻近城市产生“虹吸效应”“涓滴效应”以及“示范效应”,影响邻近城市要素投入、经济发展、产业结构、人才数量等因素的规模和配置,进而影响邻近城市的创新效率。而城市群作为依托发达的交通通信等基础设施网络,形成的空间组织紧凑、经济联系紧密的高度一体化的城市群体^[28],城市群内各城市之间人才和资金等创新资源的流动、产业的合作、产学研的创新交流将更为频繁。并且,知识的溢出不仅会受到空间距离的限制,也会受到价值观、文化和制度等认知差距的限制^[29],城市群内城市之间长期的交流和合作有利于减少这种认知上的差距。因此,在城市群内,城市之间的空间溢出效应将会更为显著,这不仅会影响城市的创新,更会影响其创新效率,而以往学者鲜有关注城市群内创新效率及其影响因素的空间溢出效应。

东部沿海五大城市群处于中国社会经济发展的战略核心区^[28],是全国创新资源的主要使用者、技术创新的主要生产者。2015年,五大城市群的R&D经费和R&D人员投入占全国的比重达62.04%和58.38%,专利申请授权数占全国专利总数的比例也达58.42%。《国家新型城镇化规划(2014—2020)》和“十三五”规划都明确提出东部地区城市群要集聚创新要素,增强创新能力,提升国际竞争力,打造具有国际影响力的创新高地,在全国社会经济发展中发挥支撑和引领作用。基于此,本文以东部沿海五大城市群为研究区域,通过采用随机前沿生产函数和空间计量模型,定量测度和研究东部沿海五大城市群创新效率及其时空演化规律,识别和分析城市群创新效率的空间溢出效应和影响因素,为城市群科技创新发展战略的制定和创新资源的优化配置提供参考。

2 研究方法 with 数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 随机前沿生产函数模型 根据随机前沿生产函数的基本原理^[30,31],基于柯布-道格拉

斯知识生产函数对数形式, 构建创新投入产出随机前沿生产函数模型:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln x_{jit} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

$$u_{it} = u_i \exp[-\eta(t-T)]$$

式中: y_{it} 表示 i 城市 t 年的创新产出; x_{jit} 表示第 j 个投入变量; $v_{it} - u_{it}$ 为复合结构的误差项, v_{it} 和 u_{it} 相互独立, 其中 v_{it} 服从 $N(0, \sigma_v^2)$ 的独立同分布, u_{it} 为技术非效率项, 服从非负截尾正态分布; β_0 为截距项; β_j 为待估参数, 表示各投入变量的产出弹性; η 表示时间因素对技术非效率项 u_{it} 的影响, 当 $\eta > 0$ 时, 创新效率随着时间的推移而提高。

2.1.2 空间计量模型 根据前文分析, 本文引入空间计量模型分析城市群内创新效率及其影响因素在城市之间的空间溢出效应, 模型如下^[32]:

$$y_{it} = \alpha + \rho \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} y_{jt} + Z_{it} \phi + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_{jt} + m_{it} \quad (2)$$

$$m_{it} = \lambda \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} m_{jt} + \varepsilon_{it}$$

式中: m_{it} 为随机误差项, 服从独立同分布; W_{ij} 表示一个 $n \times n$ 的空间权重矩阵; Z_{it} 为解释变量; ρ 为空间自回归系数, 表示内生交互效应, 即被解释变量的空间溢出效应; θ 为待估参数, 表示外生交互效应, 反映了解释变量的空间溢出效应; λ 为空间自相关系数, 表示误差项之间的交互效应。由于本文的研究目的在于分析城市群内城市的创新效率及其影响因素的空间溢出效应, 因此本文主要关注是否能够选择包含内生和外生交互效应的空间 Durbin 模型 (SDM)。

同时, 为了对城市群内创新效率的空间溢出效应进行系统考察, 本文构建以下 3 个空间权重矩阵: 首先是地理距离权重矩阵 (W_{dis}), 以探讨空间距离对城市群空间溢出效应的影响, 其元素 w_{ij} 为同一城市群内 2 个城市之间地理距离的倒数平方, 通过经纬度计算得到。城市之间经济发展水平的差距越小, 城市之间在制度、文化和价值观上的差异就越小, 创新发展战略就越相似, 因而构建经济距离权重矩阵 (W_{eco}), 其元素 w_{ij} 为同一城市群内 2 个城市的人均 GDP 差值的绝对值倒数。然而, 2 个城市在空间距离上的接近或经济发展水平上的相似并不意味紧密的社会经济联系、创新合作与交流, 因此借鉴地理学中的引力模型, 构建表征城市社会经济相互作用的权重矩阵 (W_{gra}), 其元素 w_{ij} 为同一个城市群内 2 个城市的地理距离平方的倒数乘以 2 个城市人均 GDP 乘积。

2.2 变量选取

在创新资源的投入上, 财力和人力创新资源的投入是城市群开展创新活动的基础和先决条件。由于已有知识的积累也会对创新活动产生显著影响^[33], 因此 R&D 资本存量也是创新活动的一个重要投入^[9]。据此, 本文选择 R&D 内部经费支出 (K)、R&D 人员全时当量 (L) 和 R&D 资本存量 (KS) 来表征城市群创新财力、人力和存量资源投入。其中 R&D 资本存量通过永续盘存法测得, 在核算 R&D 资本存量前, 已参照“R&D 支出价格指数”^[34]将 R&D 内部经费支出平减为 2000 年的不变价格。在实际的科技研发活动中, 创新资源的投入与创新产出之间存在一定的滞后, 本文将滞后的时间设定为 1 年。在创新产出上, 根据随机前沿生产函数模型的特点以及数据的可获得性, 本文选择专利申请授权数来衡量城市群的创新产出。

在影响因素上, 根据已有相关研究^[4,12-16], 本文选择经济发展水平 (GDP)、集聚经济

(*URB*)、外商投资 (*FDI*)、政府支持 (*GOV*)、劳动力素质 (*LAB*)、基础设施建设 (*BAS*)、产业结构 (*INDU*) 和高技术产业 (*HIGH*) 7个变量。具体而言,以人均GDP表征城市经济发展水平,以城市人口密度表征城市集聚经济,以外商投资实际使用外资额占GDP比例表征外商投资水平,以财政支出中科学技术支出占比表征政府支持水平,以每百万人中高等学校在校生人数表示劳动力素质,以地区邮电业务总量占GDP比例表征城市基础设施建设,以第二产业增加值占GDP比例表征城市产业结构,以高新区主营业务收入表征高技术产业发展水平。

2.3 研究范围与数据来源

根据方创琳等对中国城市群的相关研究成果,东部沿海五大城市群包括京津冀、长三角和珠三角3个重点建设的国家级城市群,山东半岛和海峡西岸2个重要的区域性城市群,覆盖北京、天津、河北、山东、上海、浙江、江苏、福建和广东8个省和直辖市,共计59个城市(不包括香港特别行政区和澳门特别行政区)(图1)^[28]。依据该研究结果,山东半岛城市群的范围从2006年初期规划的8个地市扩展至济南、青岛等13个地市。本文的数据来源于《中国科技统计年鉴》(2001—2016年)、《中国城市统计年鉴》(2001—2016年)、《中国统计年鉴》(2001—2016年)、《福建科技年鉴》(2001—2016年)、《山东科技统计年鉴》(2001—2016年)以及河北、浙江、江苏和广东省统计局和科技厅。

根据方创琳等对中国城市群的相关研究成果,东部沿海五大城市群包括京津冀、长三角和珠三角3个重点建设的国家级城市群,山东半岛和海峡西岸2个重要的区域性城市群,覆盖北京、天津、河北、山东、上海、浙江、江苏、福建和广东8个省和直辖市,共计59个城市(不包括香港特别行政区和澳门特别行政区)(图1)^[28]。依据该研究结果,山东半岛城市群的范围从2006年初期规划的8个地市扩展至济南、青岛等13个地市。本文的数据来源于《中国科技统计年鉴》(2001—2016年)、《中国城市统计年鉴》(2001—2016年)、《中国统计年鉴》(2001—2016年)、《福建科技年鉴》(2001—2016年)、《山东科技统计年鉴》(2001—2016年)以及河北、浙江、江苏和广东省统计局和科技厅。

3 结果分析

3.1 随机前沿生产函数模型估计与参数检验

基于2000—2015年东部沿海五大城市群59个城市的创新投入和创新产出数据,利用Frontier 4.1软件对五大城市群2001—2015年的创新效率进行估算(表1)。从模型的检验结果来看,5个城市群的 γ 值、 σ^2 值和单边似然比检验值(*LR*)均通过显著性水平检验,表明采用SFA模型估计各城市群地区的创新效率具有科学性和合理性,无效率项对各城市群的创新生产具有显著的影响。

从R&D人员、R&D内部经费支出和R&D资本存量3个投入要素的产出弹性来看,R&D内部经费支出和存量比R&D人员投入具有更高的边际产出弹性,这表明资本要素的投入和积累在城市群的创新发展中起主要作用,城市群创新产出的增长主要依赖于大规模资本要素的投入。科技人力资源投入的贡献作用并不显著,其原因可能是东部沿海五大城市群作为全国科技人力资源的主要集聚区,虽然R&D人员数量快速增长,但人均

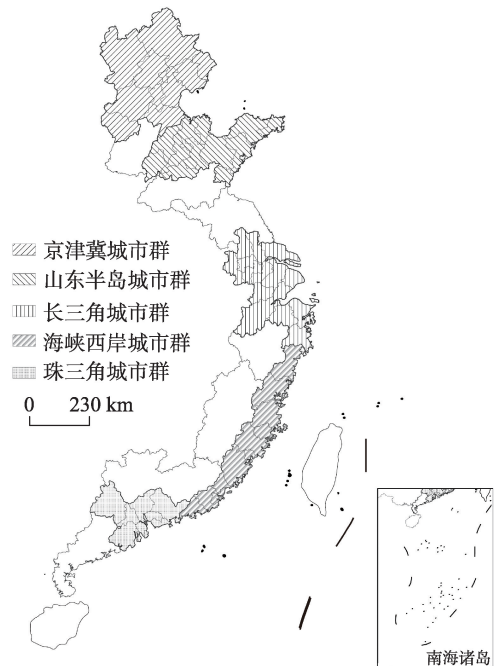


图1 东部沿海五大城市群59个城市空间示意图

Fig. 1 Spatial diagram of five major urban agglomerations and their 59 cities in eastern coastal area of China

注:基于国家测绘地理信息局标准地图服务系统的标准底图(审图号:GS(2016)1569号)制作,底图无修改。

表1 随机前沿生产函数估计结果

Tab. 1 Estimation of stochastic frontier production function

	京津冀城市群	山东半岛城市群	长三角城市群	海峡西岸城市群	珠三角城市群
常数项	-1.547 (-4.424)***	3.439 (1.012)	-3.041 (-2.408)**	0.051 (0.071)	1.288 (3.769)***
LnL	0.028 (0.675)	0.229 (2.158)**	0.315 (1.892)*	0.182 (1.450)	0.071 (0.980)
LnK	0.462 (4.639)***	0.413 (3.848)***	0.233 (1.258)	0.204 (1.702)*	0.309 (4.190)***
LnKS	0.295 (3.337)***	-0.145 (-0.671)	0.492 (3.133)***	0.384 (3.612)***	0.283 (4.961)***
σ^2	0.590 (2.263)**	0.587 (2.694)***	0.587 (2.397)**	0.889 (2.704)***	0.697 (2.083)**
γ	0.828 (10.476)***	0.733 (1.792)*	0.767 (7.909)***	0.700 (6.227)***	0.939 (30.471)***
η	0.019 (2.197)**	0.102 (2.949)***	0.070 (3.600)***	0.059 (5.010)***	0.050 (9.568)***
LR	95.828***	68.592***	231.125***	144.006***	229.821***

注: **、*、'分别表示1%、5%、10%的显著性水平; $\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2$ 。

研发经费在15年间仅增长0.316万元,较低的人均研发经费在一定程度上造成了城市群地区R&D人员的浪费,阻碍了科技人力资源投入作用的发挥。同时,3个投入要素的产出弹性系数在城市群之间也存在明显的差异,R&D人员投入和R&D资本存量的弹性系数在长三角城市群最高,而R&D内部经费支出在京津冀城市群具有较高的边际产出弹性。

3.2 城市群创新效率测度结果

根据公式(1)求得东部沿海五大城市群59个城市2001—2015年的创新效率(图2)。为进一步分析城市群创新效率的时空演化特征,将5个城市群的59个城市在“十五”“十一五”“十二五”期间的创新效率均值划分为低效率(0~0.183),中低效率(0.184~0.366),中效率(0.367~0.549),中高效率(0.550~0.732)和高效率(0.733~1)5个等级,绘制东部沿海城市群城市创新效率阶段统计图(图3)和空间格局图(图4)。

如图2所示,东部沿海五大城市群的创新效率平均值从2001年的0.291增长为2015年的0.557,提升幅度达91.4%,呈现显著且稳定增长的趋势,但创新产出与创新资源投入之间仍具有一定差距,创新效率有较大提升空间。从城市群层面来看,五大城市群的创新效率存在显著的群际和群内差异。京津冀城市群创新效率一直处于领先地位,但增长相对缓慢,在研究期内的平均增长率仅为

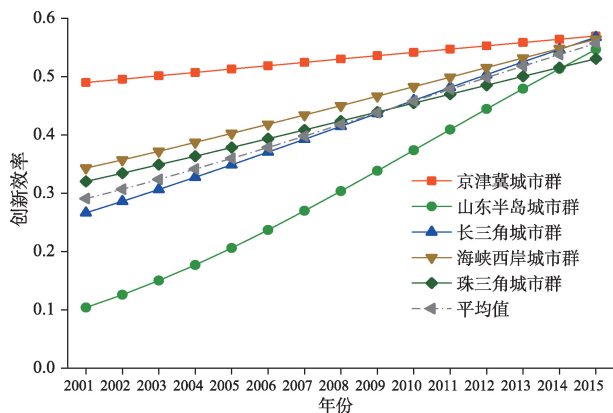


图2 2001—2015年东部沿海五大城市群创新效率均值

Fig. 2 Average innovation efficiency in five major urban agglomerations in eastern coastal area of China

1.08%，群内各城市的创新效率变化也相对较小，表现出“中效率城市显著增加，中低效率城市显著减少”的特征（图3）。山东半岛城市群创新效率虽然在研究初期较低，但提升幅度最大，从2001年的0.104增长至2015年的0.546，年均增长率达12.69%，城市群创新资源的合理配置与使用能力得到显著提升，城市创新效率的阶段分布则从“低多高少”的金字塔形结构转变为“高、低效率城市少，中效率城市多”的橄榄型结构，群内差异不断减小。长三角城市群创新效率从2001年的0.266增长至2015年的0.567，增幅达113%，到2015年，创新效率均值仅次于京津冀城市群，群内各城市的创新效率阶段分布呈现“低效率和中低效率城市显著减少，中效率和高效城市显著增加”的特征。海峡西岸和珠三角城市群创新效率虽然在初期较高，但是在研究期内仅分别增长0.221和0.210，年均增长率为3.62%和3.67%，仅高于京津冀城市群，尤其是珠三角城市群，其创新效率从2009年开始低于五大城市群平均水平，到2015年，创新效率均值处于五大城市群末位。在阶段分布上，海峡西岸城市群表现出“低效率城市显著减少，中效率城市增加”的特点，但中低效率和高效率城市占比较高，珠三角城市群则呈现“低效率城市显著减少、中低效率城市较多、中高效率城市增加”的特征。两个城市群内部的创新效率差异显著，“短板”效应明显，导致城市群整体创新效率增长缓慢。

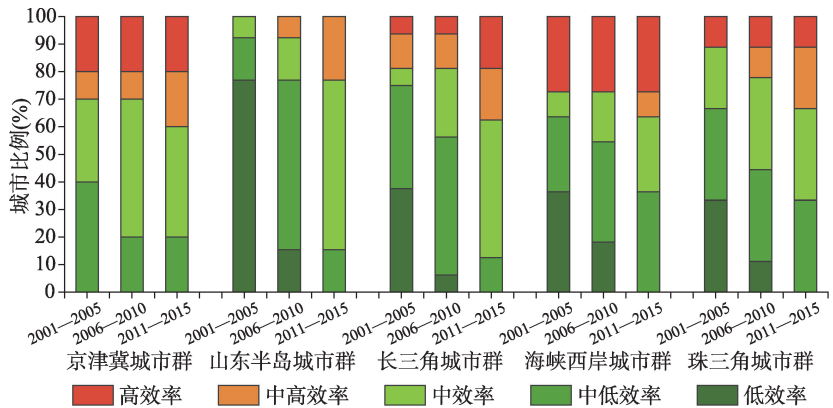


图3 东部沿海五大城市群城市创新效率结构

Fig. 3 Innovation efficiency structure in five major urban agglomerations in eastern coastal area of China

“低多高少”的金字塔形结构转变为“高、低效率城市少，中效率城市多”的橄榄型结构，群内差异不断减小。长三角城市群创新效率从2001年的0.266增长至2015年的0.567，增幅达113%，到2015年，创新效率均值仅次于京津冀城市群，群内各城市的创新效率阶段分布呈现“低效率和中低效率城市显著减少，中效率和高效城市显著增加”的特征。海峡西岸和珠三角城市群创新效率虽然在初期较高，但是在研究期内仅分别增长0.221和0.210，年均增长率为3.62%和3.67%，仅高于京津冀城市群，尤其是珠三角城市群，其创新效率从2009年开始低于五大城市群平均水平，到2015年，创新效率均值处于五大城市群末位。在阶段分布上，海峡西岸城市群表现出“低效率城市显著减少，中效率城市增加”的特点，但中低效率和高效率城市占比较高，珠三角城市群则呈现“低效率城市显著减少、中低效率城市较多、中高效率城市增加”的特征。两个城市群内部的创新效率差异显著，“短板”效应明显，导致城市群整体创新效率增长缓慢。

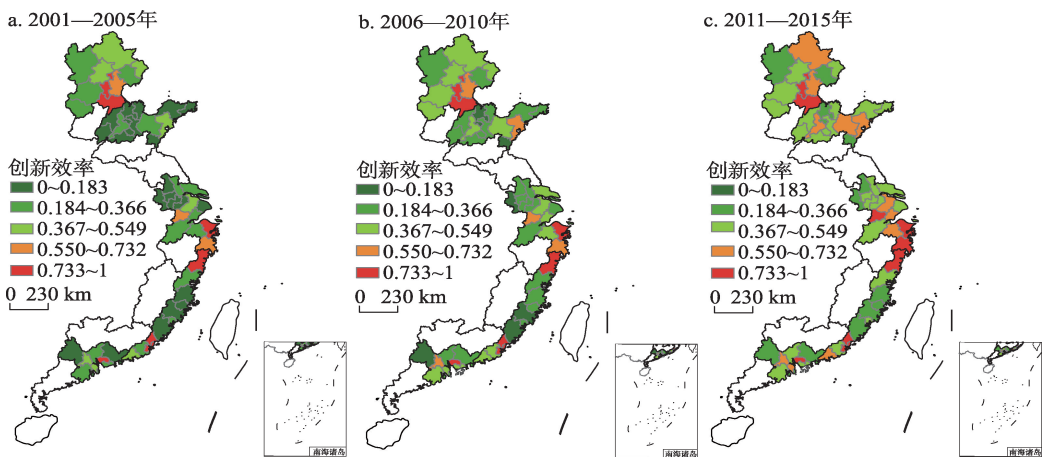


图4 “十五”到“十二五”中国东部沿海五大城市群内城市创新效率空间格局

Fig. 4 Spatial pattern of innovation efficiency in five major urban agglomerations in eastern coastal area of China
注：基于国家测绘地理信息局标准地图服务系统的标准底图（审图号：GS(2016)1569号）制作，底图无修改。

从图4可以看出, 东部沿海五大城市群内创新效率显示出不同的空间演化特征。京津冀城市群创新效率从“十五”期间的“以廊坊、沧州和天津为中心, 从东南向西北递减”演变为“以承德-沧州为轴线, 向东西两侧递减”的空间格局。山东半岛城市群创新效率的空间分布则相对稳定, 呈现“以两个中高效率城市为中心(青岛和潍坊, 济南), 中效率城市群环绕分布”的格局。长三角城市群创新效率的空间格局则由“从东南沿海向西北内陆递减的格局”演变为“沿苏州-湖州-宁波-泰州的‘S’型高值区向东西两侧递减”。海峡西岸城市群创新效率的空间分布从“十五”期间的“低效率城市群沿海岸带分布”演变为“中低效率城市群沿海岸带分布”的格局。珠三角城市群创新效率的空间分布变化较小, 表现为从珠江入海口两侧向内陆递减的格局。

3.3 创新资源投入与创新效率叠加分析

在创新型国家和创新型城市建设驱动下, 城市群和城市都不断加大创新研发投入, 但是资源的过度投入可能会导致冗余, 最终影响对投入资源的配置使用效率, 而即使具有较强的资源利用和配置能力, 创新资源投入规模的不足可能会抑制城市的创新发展。因此, 为了进一步分析各城市群和城市的创新资源投入和效率的特点, 本文将R&D内部经费支出、R&D人员投入和R&D资本存量投入3个指标标准化后综合集成为创新资源投入指标与创新效率叠加, 将59个城市分成九类投入-效率类型(图5)。

(1) 北京、上海、南京、广州等8个创新资源投入较高的城市中, 除天津和青岛属于“中投入、高/中效率”型城市外, 其余6个城市在“十五”期间属于“高投入、中/低效率”或“中投入、低效率”型城市。此类城市主要属于长三角、珠三角和京津冀城市群中社会经济发展水平较高的核心城市, 虽然创新资源投入较多, 但对创新资源的利用效率偏低。其原因可能在于: 一方面, 从随机前沿生产函数的估计结果来看(表1), 对于5个城市群地区, 3个投入要素的产出弹性系数之和均小于1, 这表明5个城市群在创新资源投入与创新产出过程中存在规模报酬递减, 因此在创新资源高投入的核心城市, 投入与产出之间的比例失衡影响了其创新效率; 另一方面, 创新主体的多元化是中国区域创新系统的一个重要特征^[35], 东部沿海地区更是重点高校和科研院所的聚集区, 因此

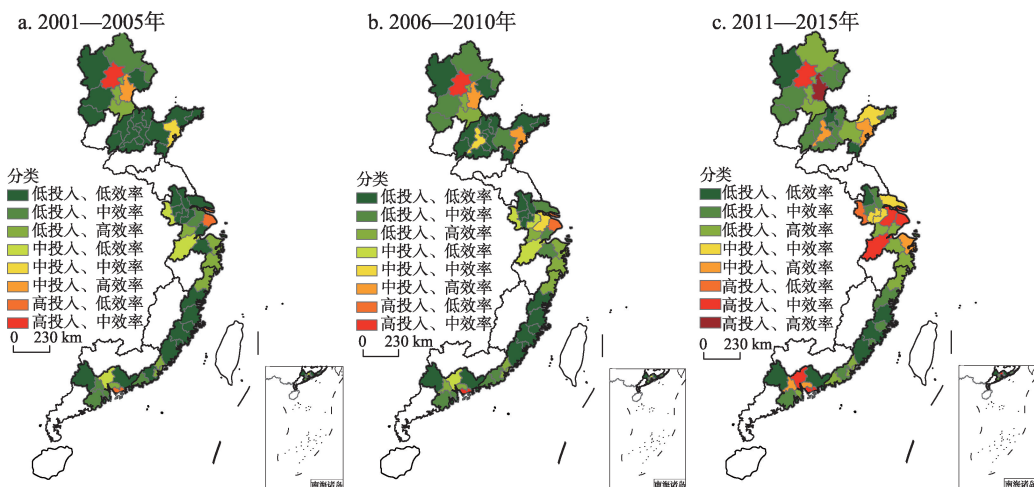


图5 创新资源投入和创新效率叠加分类格局图

Fig. 5 Classification of innovation resources and innovation efficiency in five major urban agglomerations in eastern coastal area of China

注: 基于国家测绘地理信息局标准地图服务系统的标准底图(审图号: GS(2016)1569号)制作, 底图无修改。

不包含“论文”等创新产出的测度使得这些城市的创新效率在一定程度上被低估。其中杭州、广州、深圳和上海在继续加大创新资源投入的同时,对创新资源的使用效率也不断提升,到“十二五”期间转为“高投入、中效率”型城市。

(2) 秦皇岛、中山、苏州等7个城市和东莞、温州等9个城市在“十五”期间分别属于“低投入、中效率”和“低投入、高效率”型城市。此类型城市集中于京津冀、长三角、海峡西岸和珠三角城市群,主要特点是具有较强地将创新资源投入转化为创新产出的能力,创新效率较高。其中中山、承德等城市创新效率持续改善,到“十二五”期间转化为“低投入、中效率”或“低投入、高效率”城市。而佛山、苏州、宁波和东莞4个城市在加大对创新研发活动投入的同时,进一步优化对创新资源要素的配置,后转为“中投入、高效率”和“高投入、高效率”型城市。

(3) 惠州、肇庆、厦门和唐山等35个城市在“十五”期间属于创新资源投入较少、创新效率较低的“低投入、低效率”型城市,此类型城市主要集中于山东半岛、长三角和海峡西岸城市群,占城市总数的一半以上。其中惠州、肇庆等10个城市无论是创新资源的投入,还是对投入资源的转化能力,都没有得到显著改善和提升,在研究期内一直处于“低投入、低效率”状态,是城市群中创新能力较弱的城市。厦门、泰州、绍兴等20个城市虽然科技创新资源投入一直较少,但通过对科技资源的优化配置,创新产出增加,创新效率得到有效提升,到“十二五”期间转为“低投入、中/高效率”型城市。无锡、常州和济南等5个山东半岛和长三角城市群城市创新资源投入和创新效率都不断提高,在“十二五”期间转为“中投入、中/高效率”型城市。

3.4 城市群创新效率影响因素及空间溢出效应分析

3.4.1 空间计量模型检验与选择 在进行空间溢出效应估计前,首先需要利用LM-lag和LM-err,以及R-LM-lag和R-LM-err法对空间滞后和空间误差两个模型进行检验。结果如表2所示,在地理距离、经济距离和引力模型三种空间权重矩阵下,4个参数均在1%或5%水平下显著,这表明可以考虑空间Durbin模型。Hausman检验结果显示在三种空间权重矩阵下,均当选择具有固定效应的空间Durbin模型。Wald-lag test、LR-lag test、Wald-err test和LR-err test 4个参数均在1%水平下显著,进一步表明应当选择包含内生和外生交互效应的空间Durbin模型。

3.4.2 创新效率的空间溢出效应 从空间维度上看(表3),空间自回归系数(ρ)在三

表2 空间计量模型检验
Tab. 2 Spatial econometric model test

	地理距离权重矩阵		经济距离权重矩阵		相互作用权重矩阵	
		P值		P值		P值
LM-lag test	36.636	0.000	11.511	0.001	21.600	0.000
R-LM-lag test	34.102	0.000	14.833	0.000	25.371	0.000
LM-err-test	14.040	0.000	3.817	0.051	6.425	0.011
R-LM-err-test	11.505	0.001	7.138	0.008	10.195	0.001
Moran's <i>I</i>	0.087	0.000	0.052	0.033	0.060	0.006
Wald-lag test	261.209	0.000	58.481	0.000	270.393	0.000
LR-lag test	232.302	0.000	52.387	0.000	237.997	0.000
Wald-err test	210.702	0.000	136.845	0.000	232.282	0.000
LR-err test	249.412	0.000	279.729	0.000	254.098	0.000
Hausman test	613.427	0.000	60.083	0.000	698.885	0.000

种空间权重矩阵下均在1%或5%水平上显著为正,这显示出创新效率在城市群内存在显著的内生交互效应。城市群内高度发达的基础网络设施,紧密的产业贸易联系,城市之间长期合作所形成的在制度、文化和价值观上的相似性,为城市之间的人才、信息和资金等创新资源的自由流动提供了便利,促进了创新资源和隐性知识在城市群内的扩散和溢出,有助于实现创新资源在城市群内的优化配置,城市群内邻近城市的创新效率每提升1%,本地城市的创新效率会增长0.128%、0.759%和0.093%。

3.4.3 影响因素的直接效应与间接效应分析 当存在空间溢出效应时,某个影响因素的变化不仅会影响本地城市创新效率的变化,同时也会对邻近城市的创新效率产生影响,并通过循环反馈作用引起一些列调整和变化。LeSage等进一步把影响分解为直接效应和间接效应^[6]:对本地城市创新效率的影响为直接效应,对邻近地区创新效率的影响为间接效应,即空间溢出效应。

由表4可知,在三种空间权重矩阵下,经济发展对本地城市的创新效率提升均具有显著积极作用。这表明城市的经济发展水平越高,创新研发活动的资金就越有保障,创新需求也就越大,创新效率就会越高。同时,本地城市的经济发展会对城市群内经济发展相似的城市产生积极的“示范效应”和“竞争效应”,激励周围城市加大创新研发的投入和提高创新效率,以在激烈的市场竞争中获得机会。

集聚经济在地理距离和相互作用权重矩阵下都显示出对本地城市和城市群内邻近城市创新效率的积极影响。集聚经济通过促进竞争与合作、创新资源的共享,激发创新动

表3 空间Durbin模型估计结果

Tab. 3 Estimation results of SDM

	地理距离权重矩阵		经济距离权重矩阵		相互作用权重矩阵	
		t-statistic		t-statistic		t-statistic
Ln GDP	0.153	(9.711)***	-0.001	(-0.156)	0.160	(10.126)***
Ln URB	0.060	(5.060)***	-0.009	(-2.873)***	0.067	(5.777)***
Ln FDI	-0.001	(-0.130)	-0.004	(-2.173)**	-0.003	(-0.301)
Ln GOV	0.008	(0.661)	0.005	(2.820)***	0.008	(0.711)
Ln LAB	-0.037	(-4.129)***	-0.005	(-1.422)	-0.044	(-4.875)***
Ln BAS	0.093	(5.996)***	0.003	(1.409)	0.088	(5.715)***
Ln INDU	0.154	(3.955)***	0.012	(1.068)	0.129	(3.334)***
Ln HIGH	-0.016	(-6.366)***	-0.003	(-4.416)***	-0.015	(-6.025)***
W · Ln GDP	0.015	(0.613)	0.043	(4.709)***	-0.025	(-1.097)
W · Ln URB	0.071	(3.996)***	-0.003	(-0.546)	0.071	(3.924)***
W · Ln FDI	-0.086	(-6.560)***	-0.012	(-3.557)***	-0.099	(-7.269)***
W · Ln GOV	-0.017	(-1.128)	-0.009	(-4.121)***	-0.012	(-0.833)
W · Ln LAB	-0.035	(-2.244)**	-0.008	(-1.520)	-0.044	(-2.740)***
W · Ln BAS	-0.038	(-1.646)	0.001	(0.302)	-0.024	(-1.117)
W · Ln INDU	-0.637	(-10.921)***	-0.012	(-0.746)	-0.510	(-9.585)***
W · Ln HIGH	0.003	(0.482)	0.001	(1.417)	0.011	(1.904)*
ρ	0.128	(2.899)***	0.759	(45.847)***	0.093	(2.129)**
R ²	0.426		0.992		0.423	
log-likelihood	269.199		2047.535		267.893	

注: **、*、'分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

表4 直接效应与间接效应估计

Tab. 4 The estimation of direct effect and indirect effect

	地理距离权重矩阵		经济距离权重矩阵		相互作用权重矩阵	
	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应
Ln <i>GDP</i>	0.154 (9.846) ^{***}	0.040 (1.518)	0.019 (2.462) ^{**}	0.156 (8.015) ^{***}	0.160 (10.187) ^{***}	-0.011 (-0.454)
Ln <i>URB</i>	0.062 (5.421) ^{***}	0.088 (5.010) ^{***}	-0.014 (-3.026) ^{***}	-0.036 (-1.731) [*]	0.069 (5.883) ^{***}	0.083 (4.491) ^{***}
Ln <i>FDI</i>	-0.004 (-0.450)	-0.096 (-7.005) ^{***}	-0.011 (-4.139) ^{***}	-0.054 (-4.472) ^{***}	-0.005 (-0.577)	-0.108 (-7.518) ^{***}
Ln <i>GOV</i>	0.007 (0.570)	-0.018 (-1.060)	0.003 (1.607)	-0.019 (-3.457) ^{***}	0.008 (0.706)	-0.013 (-0.833)
Ln <i>LAB</i>	-0.038 (-4.239) ^{***}	-0.045 (-2.701) ^{***}	-0.010 (-2.493) ^{***}	-0.041 (-2.536) ^{***}	-0.045 (-4.829) ^{***}	-0.052 (-3.081) ^{***}
Ln <i>BAS</i>	0.092 (5.995) ^{***}	-0.030 (-1.241)	0.005 (1.520)	0.013 (0.864)	0.088 (5.817) ^{***}	-0.016 (-0.756)
Ln <i>INDU</i>	0.135 (3.568) ^{***}	-0.689 (-10.891) ^{***}	0.011 (0.752)	-0.012 (-0.209)	0.118 (3.041) ^{***}	-0.540 (-9.604) ^{***}
Ln <i>HIGH</i>	-0.016 (-6.457) ^{***}	0.001 (0.111)	-0.003 (-3.351) ^{***}	-0.002 (-0.516)	-0.015 (-5.778) ^{***}	0.011 (1.641)

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

力，降低创新成本，加快知识的扩散和溢出，从而提高创新资源的配置效率。而本地城市集聚水平的提高所产生的正外部性能够通过城市群内发达的交通网络和社会经济联系向周围城市溢出，有效促进城市群内邻近和联系密切城市的创新效率提高。

外商投资在三种空间权重矩阵下都显示出对本地城市和周围城市创新效率的显著负面影响。一般来说，外商投资在弥补地区研发资金投入不足的同时，还能够带来先进的技术、管理经验和人才等正外部性，促进企业创新效率的有效提高^[15]。但是从研究结果来看，外商投资的增加显著限制了沿海城市群城市创新效率的提升。其原因可能是，作为较早改革开放和引进外资的地区，长期以来以劳动密集型制造业为主的外商投资对区域的溢出效应日益减弱，尤其是跨国公司凭借其在资金技术上的优势对国内企业产生的“挤压效应”，造成国内企业资金和人才的流失，最终导致本土企业自主创新能力的下降。而且，在区域竞争的压力下，城市之间对FDI存在盲目引进的现象，本地城市外商投资的增加更刺激了周围城市对FDI规模的重视和对其质量的忽视，因此创新效率也没有得到提升。

政府资助在三种空间权重矩阵中都显示出对创新效率积极但不显著的作用。理论上，政府资金投入能够通过“杠杆效应”，促进企业技术研发活动的开展，但是同时可能会挤出企业的研发投入，从而抑制企业技术研发活动^[17]。对于东部沿海五大城市群来说，政府资金支持对企业创新活动的“杠杆效应”并不显著。作为市场化程度较高的地区，政府的研发投入并不是五个城市群地区研发资金的主要来源，在2015年，除北京和上海外，天津、江苏、浙江、和广东等沿海省份R&D经费中政府资金的占比均远低于全国0.264的平均水平，政府对创新研发活动的干预十分有限。但是本地城市的政府资助对城市群内经济发展相似的城市创新效率有显著的负面作用，这一结果同样可以用负面

“示范效应”来予以解释: 政府加大对创新研发的支持, 会刺激与其有竞争关系的城市也加大对研发活动的支持力度, 从而“挤出”更有效率的企业资金, 抑制创新效率的提高。

劳动者素质的提高在三种空间权重矩阵下都显示出对本地和邻近城市创新效率显著的负面影响。理论上, 劳动者的素质越高, 对创新资源的使用和对先进技术的消化吸收、再创造能力就越高, 企业的创新能力和创新效率能够得到显著提升。但是劳动力素质的提升虽然能够提高企业的创新能力和创新效率, 但随之而来的是劳动力成本的增加, 这不仅会占据企业的研发投入, 并且由于研发人员的科研能力缺乏弹性^[7], 进而抑制企业创新效率的提升。

基础设施在三种空间权重矩阵下都显示出对创新效率的积极影响, 虽然在经济距离矩阵中不具有统计意义。同时, 基础设施对城市群内邻近城市的创新效率会产生显著的消极影响。基础设施的完善不仅能为创新研发活动提供物质保障和配套服务, 并且交通、通讯等基础设施还能够有效促进信息、资金等创新资源要素在区域之间的共享和溢出。虽然本地基础设施的发展对周围城市的“负溢出”效应并不显著, 但也在一定程度上反映了基础设施建设加速了创新资源的流失, 尤其是促进了发达地区对落后地区的“虹吸效应”, 因此“被溢出”的周围城市创新活动受到负面影响。

第二产业占比的提高对城市创新效率的增长具有显著地积极影响, 但是对城市群内周围城市的溢出效应为负。产业结构调整的本质是包括创新资源要素在内的生产要素从低生产率部门流向高生产率部门的过程, 创新资源要素在部门和空间上的重置也必然会导致创新产出发生变化^[38]。对于处于工业化后期的沿海五大城市群来说, 工业化的进一步发展和产业转型升级对技术创新的需求有效刺激了企业加大对科技研发的投入和创新水平的提高。但是在产业分工的背景下, 第二产业占比的提高意味着本地城市能够通过城市群内发达的基础网络和紧密的贸易联系, 承接和吸收周围邻近城市的市场需求以及生产要素, 最终导致邻近城市的创新需求减弱和创新要素流失, 创新效率降低。而高技术产业的发展会对本地城市创新效率产生显著的负作用, 其原因可能在于专利数量不能完全反映高技术产业的创新绩效^[7,14]。

3.5 稳健性分析

为了保证研究结果的稳健性, 本文首先基于三种空间权重矩阵对空间滞后模型(SAR)和空间误差模型(SEM)2个模型进行了估计(表5), 其次, 将因变量滞后1期再进行空间空间Durbin模型的估计(表5中的4列、7列、10列), 并得到相应的直接效应和间接效应的估计结果(表6), 两次检验结果显示创新效率的空间溢出效应, 以及各解释变量的系数符号和显著性并没有发生较大变化, 这表明前文的结论是稳健的。

4 结论

(1) 2001—2015年, 东部沿海五大城市群的创新效率呈现逐年优化的趋势, 但仍有较大提升空间。其中, 京津冀城市群创新效率呈现领先但增长缓慢的特点; 山东半岛城市群创新效率较低但增速最快; 长三角城市群创新效率增长较快, 中效率、中高效率和高效率城市显著增多; 海峡西岸城市群创新效率相对较高, 但群内差异较大; 珠三角城市群对创新资源的配置能力改善幅度较小, 中低效率城市占比较高, “短板”效应显著。

(2) 创新资源投入和创新效率的叠加分析表明, 京津冀、长三角和珠三角城市群中的核心城市虽然创新资源投入较多, 但创新效率较低, 这部分城市未来应注意适当调整创新资源的投入规模; 具有较高创新效率的“低投入、中/高效率”型城市则应当加大创

表5 空间滞后、空间误差及因变量滞后一期的空间Durbin模型回归结果

Tab. 5 Estimation results of SAR, SEM and SDM with one-year-lagged dependent variable

	地理距离权重矩阵			经济距离权重矩阵			相互作用权重矩阵		
	SAR	SEM	SDM	SAR	SEM	SDM	SAR	SEM	SDM
Ln GDP	0.087***	0.090***	0.155***	0.009	-0.004	-0.005	0.109***	0.114***	0.162***
Ln URB	0.043***	0.044***	0.055***	-0.005*	-0.006**	-0.007**	0.1***	0.098***	0.062***
Ln FDI	-0.044***	-0.045***	0.001	-0.005***	-0.002	-0.004**	-0.037***	-0.032***	-0.001
Ln GOV	0.022**	0.029***	0.006	0.004**	0.006***	0.006***	0.013	0.012	0.007
Ln LAB	-0.046***	-0.047***	-0.039***	-0.003	-0.003	-0.001	-0.036***	-0.037***	-0.045***
Ln BAS	0.048***	0.051***	0.09***	0.003	0.002	0.002	0.1***	0.108***	0.085***
Ln INDU	-0.165***	-0.152***	0.16***	0.02*	0.013	0.029**	0.13***	0.151***	0.134***
Ln HIGH	-0.007**	-0.007**	-0.015***	-0.003***	-0.003***	-0.003***	-0.013***	-0.014***	-0.015***
W · Ln GDP			0.008			0.061***			-0.033
W · Ln URB			0.069***			-0.006			0.069***
W · Ln FDI			-0.088***			-0.014***			-0.102***
W · Ln GOV			-0.013			-0.008***			-0.009
W · Ln LAB			-0.035**			-0.003			-0.043***
W · Ln BAS			-0.04*			0.001			-0.023
W · Ln INDU			-0.608***			-0.001			-0.483***
W · Ln HIGH			0.004			-0.001			0.012**
ρ	0.215***		0.130***	0.783***		0.757***	0.153***		0.093***
λ		0.173***			0.8***			0.156***	
R-squared	0.259	0.220	0.413	0.992	0.969	0.993	0.327	0.308	0.412
log-likelihood	153.021	144.501	256.275	2035.774	2034.869	1975.161	197.734	195.529	256.076

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

表6 因变量滞后一期的空间Durbin模型直接效应与间接效应估计

Tab. 6 The estimation of direct effect and indirect effect of SDM with one-year-lagged dependent variable

	地理距离权重矩阵		经济距离权重矩阵		相互作用权重矩阵	
	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应
Ln GDP	0.157***	0.031	0.161***	-0.020	0.023**	0.209***
Ln URB	0.058***	0.085***	0.063***	0.081***	-0.013**	-0.043*
Ln FDI	-0.003	-0.098***	-0.004	-0.110***	-0.012***	-0.062***
Ln GOV	0.006	-0.015	0.007	-0.009	0.004	-0.015
Ln LAB	-0.040***	-0.045**	-0.046***	-0.050***	-0.002	-0.011
Ln BAS	0.090***	-0.033	0.084***	-0.016	0.003	0.006
Ln INDU	0.141***	-0.657***	0.125***	-0.507***	0.038**	0.071
Ln HIGH	-0.016***	0.002	-0.015***	0.012	-0.005***	-0.011**

注：***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

新资源的投入，提高城市的创新能力；“低投入、低效率”型城市是城市群内创新能力较弱的地区，这部分城市应当在加大研发投入的同时，加强对资源的利用转换能力。

(3) 基于空间Durbin模型的空间计量分析结果表明，创新效率在东部沿海五大城市群内存在显著且积极的空间溢出效应，并且，经济发展水平、人口密度、外商投资、劳动力素质等因素不仅会影响本地城市的创新效率，也会对城市群内的邻近城市产生溢出

效应。据此, 本文认为东部沿海五大城市群应当进一步加强城市群内城市之间的交流合作, 充分发挥城市群协同创新的积极作用, 同时提高外商投资质量、优化政府研发投入结构、合理配置人力资本投入、防止产业过度空心化, 最终实现对创新资源的优化配置。

本文以城市为评价尺度, 测度与分析东部沿海五大城市群的创新效率及其时空演化特征, 有助于更为全面、客观地把握城市群创新资源的配置水平和存在的问题, 为城市群创新资源的优化配置及创新发展提供科学的借鉴。从空间相互作用的角度出发, 探讨东部沿海五大城市群内城市之间创新效率及其影响因素的空间溢出效应, 有助于理解城市群内城市之间的相互作用对创新资源配置的影响及作用机制, 为促进城市群的协同创新提供参考。与此同时, 作为一个多种要素相互作用且高度一体化的系统, 城市群内城市之间的关系复杂, 资源要素的流动频繁, 因此, 如何细致刻画城市群内城市之间的相互作用对城市群创新及创新效率的影响, 进一步厘清城市群协同创新对创新效率的作用机制, 促进城市群创新水平的提高, 将是未来研究的重点。

参考文献(References)

- [1] 白俊红, 王林东. 创新驱动是否促进了经济增长质量的提升?. 科学学研究, 2016, 34(11): 1725-1735. [Bai Junhong, Wang Lindong. Does the innovation driven promote the improvement of economic growth quality? Studies in Science of Science, 2016, 34(11): 1725-1735.]
- [2] Tidd J, Bessant J, Pavitt K. *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [3] Cruz-Cázares C, Bayona-Sáez C, García-Marco T. You can't manage right what you can't measure well: Technological innovation efficiency. *Research Policy*, 2013, 42(6-7): 1239-1250.
- [4] Fritsch M, Slavtchev V. Determinants of the efficiency of regional innovation systems. *Regional Studies*, 2011, 45(7): 905-918.
- [5] Sharma S, Thomas V J. Inter-country R&D efficiency analysis: An application of data envelopment analysis. *Scientometrics*, 2008, 76(3): 483-501.
- [6] Guan J, Chen K. Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 2012, 41(1): 102-115.
- [7] Bai J. On regional innovation efficiency: Evidence from panel data of China's different provinces. *Regional Studies*, 2013, 47(5): 773-788.
- [8] Fritsch M. Cooperation and the efficiency of regional R&D activities. *Cambridge Journal of Economics*, 2004, 28(6): 829-846.
- [9] Guan J, Chen K. Measuring the innovation production process: A cross-region empirical study of China's high-tech innovations. *Technovation*, 2010, 30(5-6): 348-358.
- [10] 朱有为, 徐康宁. 中国高技术产业研发效率的实证研究. 中国工业经济, 2006, (11): 38-45. [Zhu Youwei, Xu Kangning. The empirical research on R&D efficiency of Chinese high-tech industries. *China Industrial Economics*, 2006, (11): 38-45.]
- [11] 董晓庆, 赵坚, 袁朋伟. 国有企业创新效率损失研究. 中国工业经济, 2014, (2): 97-108. [Dong Xiaoqing, Zhao Jian, Yuan Pengwei. Research on innovation efficiency loss of state-owned enterprises. *China Industrial Economics*, 2014, (2): 97-108.]
- [12] 白俊红, 蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效. 经济研究, 2015, (7): 174-187. [Bai Junhong, Jiang Fuxin. Synergy innovation, spatial correlation and regional innovation performance. *Economic Research Journal*, 2015, (7): 174-187.]
- [13] Chen K, Kou M. Staged efficiency and its determinants of regional innovation systems: A two-step analytical procedure. *The Annals of Regional Science*, 2014, 52(2): 627-657.
- [14] 李习保. 区域创新环境对创新活动效率影响的实证研究. 数量经济技术经济研究, 2007, (8): 13-24. [Li Xibao. An empirical analysis of the effect of institutional factors on regional innovation performance. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2007, (8): 13-24.]
- [15] 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. 科学学研究, 2011, 29(4): 548-556. [Liu Hedong. Research on regional R & D efficiency and its influencing factors: Empirical analysis based on Stochastic

- Frontier Function. *Studies in Science of Science*, 2011, 29(4): 548-556.]
- [16] Broekel T. Do cooperative research and development (R&D) subsidies stimulate regional innovation efficiency?. Evidence from Germany. *Regional Studies*, 2015, 49(7): 1087-1110.
- [17] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应. *中国工业经济*, 2015, (1): 32-44. [Zhao Zengyao, Zhang Xiaobo, Sheng Neng. Multidimensional spillover effect of regional cooperative innovation efficiency. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 32-44.]
- [18] 方创琳, 王振波, 马海涛. 中国城市群形成发育规律的理论认知与地理学贡献. *地理学报*, 2018, 73(4): 651-665. [Fang Chuanglin, Wang Zhenbo, Ma Haitao. The theoretical cognition of the development law of China's urban agglomeration and academic contribution. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 651-665.]
- [19] Lakshmanan T R, Anderson W P, Song Y. Rise of Megalopolis as A Mega Knowledge Region: Interaction of Innovation in Transport, Information, Production and Organizations. Heidelberg: Springer, 2015.
- [20] 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. *地理科学进展*, 2011, 30(10): 1233-1239. [Wang Bei, Liu Weidong, Lu Dadao. Allocation efficiency of science and technology resources in Jing-Jin-Ji, Yangtze River Delta and Pearl River Delta regions. *Progress in Geography*, 2011, 30(10): 1233-1239.]
- [21] 曹贤忠, 曾刚, 邹琳. 长三角城市群R&D资源投入产出效率分析及空间分异. *经济地理*, 2015, 35(1): 104-111. [Cao Xianzhong, Zeng Gang, Zou Lin. Spatial differentiation of input-output efficiency of R&D resources in case of Yangtze River Delta Urban Agglomeration. *Economic Geography*, 2015, 35(1): 104-111.]
- [22] 朱贻文, 曾刚, 邹琳, 等. 长江经济带区域创新绩效时空特征分析. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(12): 1954-1962. [Zhu Yiwen, Zeng Gang, Zou Lin, et al. Spatial feature of regional innovation performance in Yangtze economic zone. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(12): 1954-1962.]
- [23] 魏守华, 姜宁, 吴贵生. 内生创新努力、本土技术溢出与长三角高技术产业创新绩效. *中国工业经济*, 2009, (2): 25-34. [Wei Shouhua, Jiang Ning, Wu Guisheng. Endogenous R&D effort, indigenous technological spillovers and innovative performance of high-tech industry in the Yangtze River Delta in China. *China Industrial Economics*, 2009, (2): 25-34.]
- [24] 胡曙虹, 杜德斌, 游小珺, 等. 中国“成长三角”区域高校知识创新绩效的时空演化分析. *经济地理*, 2014, 34(10): 15-22. [Hu Shuhong, Du Debin, You Xiaojun, et al. Spatial-temporal evolution analysis on knowledge innovation performance of universities in China's "Growth Triangle Regions". *Economic Geography*, 2014, 34(10): 15-22.]
- [25] 刘玲利. 科技资源配置理论与配置效率研究. 长春: 吉林大学博士学位论文, 2007. [Liu Linli. Research on allocation theory and allocation efficiency of science and technology resources. Changchun: Doctoral Dissertation of Jilin University, 2007.]
- [26] 陈傲, 柳卸林, 程鹏. 空间知识溢出影响因素的作用机制. *科学学研究*, 2011, 29(6): 883-889. [Chen Ao, Liu Xielin, Cheng Peng. Research on mechanisms of the influential factors of spatial knowledge spill-off. *Studies in Science of Science*, 2011, 29(6): 883-889.]
- [27] 赵勇, 白永秀. 知识溢出: 一个文献综述. *经济研究*, 2009, (1): 144-156. [Zhao Yong, Bai Yongxiu. Knowledge spillovers: A Survey of the literature. *Economic Research Journal*, 2009, (1): 144-156.]
- [28] 方创琳, 鲍超, 马海涛. 2016中国城市群发展报告. 北京: 科学出版社, 2016. [Fang Chuanglin, Bao Chao, Ma Haitao. 2016 China's Urban Agglomeration Development Report. Beijing: Science Press, 2016.]
- [29] Boschma R. Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, 2005, 39(1): 61-74.
- [30] Aigner D, Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37.
- [31] Battese G E, Coelli T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1-2): 153-169.
- [32] Elhorst J P. Matlab software for spatial panels. *International Regional Science Review*, 2015, 37(3): 389-405.
- [33] Romer P M. Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5): 71-102.
- [34] 朱平芳, 徐伟民. 政府的科技激励政策对大中型工业企业R&D投入及其专利产出的影响: 上海市的实证研究. *经济研究*, 2003, (6): 45-53. [Zhu Pingfang, Xu Weimin. On the impact of government's S&T incentive policy on the R&D input and its patent output of large and medium-sized industrial enterprises in Shanghai. *Economic Research Journal*, 2003, (6): 45-53.]
- [35] 余冬筠, 金祥荣. 创新主体的创新效率区域比较研究. *科研管理*, 2014, 35(3): 51-57. [Yu Dongyun, Jin Xiangrong. Innovation efficiency evaluation of the innovation subjects and their regional difference. *Science Research Management*, 2014, 35(3): 51-57.]

- [36] LeSage J, Pace R K. Introduction to Spatial Econometrics. New York: Chapman and Hall/CRC, 2009.
- [37] 李伟, 余翔, 蔡立胜. 政府科技投入、知识产权保护与企业研发投入. 科学学研究, 2016, 34(3): 357-365. [Li Wei, Yu Xiang, Cai Lisheng. Study on the relationship between government R&D investment, intellectual property right protection and enterprises R&D investment. Studies in Science of Science, 2016, 34(3): 357-365.]
- [38] 王鹏, 赵捷. 产业结构调整与区域创新互动关系研究: 基于我国2002—2008年的省际数据. 产业经济研究, 2011, (4): 53-60. [Wang Peng, Zhao Jie. A study of the interaction mechanism of industrial restructuring and regional innovation: Based on the provincial data of China between 2002-2008. Industrial Economics Research, 2011, (4): 53-60.]

Evaluation, influencing factors and spatial spillover of innovation efficiency in five major urban agglomerations in coastal China

SHENG Yanwen¹, LUO Huasong², SONG Jinping¹, ZHAO Jinli³, ZAHNG Xuebo⁴

(1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Collaborative Innovation Center for Geopolitical Setting of Southwest China and Borderland Development, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 3. College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan 250358, China; 4. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao 276826, Shandong, China)

Abstract: As the strategic core regions of national economic development, the urban agglomerations in the eastern coastal area of China has played a critical role in the implementation of innovation-driven development strategy and construction of the innovative country. Based on the dataset of innovation input and output spanning the 2001-2015 period, the SFA method and spatial Durbin model are applied to measure and examine the innovation efficiency and its influencing factors and spatial spillover effect in the five major urban agglomerations. Our results suggest that the innovation efficiency of five major urban agglomerations showed a steady increase over the studied period. Among the five urban agglomerations, the innovation efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei region rises slowly while that of Shandong Peninsula has increased relatively fast. The growth rate and average of innovation efficiency in the Yangtze River Delta fell behind the Shandong Peninsula and Beijing-Tianjin-Hebei region. Meanwhile, innovation efficiency in core cities of urban agglomerations is low, although they have high-input in innovation resources. Moreover, there is a significantly positive spatial spillover effect of innovation efficiency between cities in the five urban agglomerations. Economic development, agglomeration economies, FDI, the quality of labor force, the financial support by government, infrastructure, secondary industrial ratio and high-tech industries have direct and indirect effects on innovation efficiency in the urban agglomerations.

Keywords: innovation efficiency; SFA; spatial spillover effect; spatial Durbin model; urban agglomerations of eastern coastal area of China