



中国城市创新产出空间格局及影响因素

——来自285个城市面板数据的检验

马静^{1,2} 邓宏兵^{1,2} 蔡爱新^{1,2}

(1. 中国地质大学(武汉)经济管理学院,武汉 430074;

2. 湖北省区域创新能力监测与分析软科学研究基地,武汉 430074)

摘要:基于地理空间二、三本性,构建地理距离空间权重矩阵与创新网络空间权重矩阵,对比不同空间权重矩阵下2006—2014年中国大陆285个地级及以上城市创新产出的时空演化特征;构建静态与动态空间面板杜宾模型,对比分析不同城市空间关系下影响中国城市创新产出的主要因素及空间知识溢出效应。结果显示:中国城市创新空间格局呈现出相似创新水平城市空间集聚与多创新中心网络化空间结构特征,在知识生产过程中不能忽视知识空间溢出效应对城市创新产出与空间格局的影响。知识存量对城市创新产出具有促进作用,科技资本的投入对创新产出的促进作用大于科技劳动力的投入。因地制宜,因城施策,合理地进行交通基础设施、信息化、人力资本的投入与建设,借助空间溢出效应实现中国创新驱动战略目标与协同创新发展的空间格局。

关键词:城市创新产出;空间格局;知识生产;空间知识溢出;空间计量

中图分类号:F061.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-0241(2017)10-0012-14

0 引言

2016年8月8日,国务院正式印发《“十三五”国家科技创新规划》,标志着十三五时期实现我国创新型国家建设战略目标已进入了攻坚阶段。城市作为区域经济社会发展的中心是国家经济产出最重要的基地,也是各类创新要素和资源的集聚地。城市创新的发展成为了创新型国家建设在具体领域和地区的深化,是建设国家创新体系的基础和重要支撑,是推动国家创新驱动发展“三步走”战略目标重要引擎。城市是国家的创新中心,大多数新专利与新发明都是从城市产生^[1],城市利用集聚经济效应降低了创新成本,提高了创新效率并驱动城市经济持续增长与繁荣^[2]。Griliches提出的知识产出模型认为知识与技术进步可以提高创新产出^[3]。Glaeser等, Hen-

derson等均证明了知识生产要素具有特殊属性,地理空间的邻近性影响知识溢出,并扩大了城市创新的空间差异,进而影响创新产出的分布格局^[4-5]。自Krugman将地理空间因素纳入生产函数中以来^[6],相继的研究也开始证明一个地区的经济增长不仅依赖于当地的创新活动,同时也依赖于通过知识空间溢出来获得其他地区技术成果的能力。

一个城市的创新产出不仅受城市科技投入、经济、政治、文化、交通等因素的影响,也受到城市空间相互作用所产生的知识溢出效应的作用,进而影响城市创新的空间分布,带来更大范围的经济格局的改变^[7]。知识的存量、经济发展、集聚经济等对创新产出具有重要影响,同时新经济地理学理论证明,知识创新存在明显的空间溢出效应,不仅提高了城市

收稿日期:2017-01-22

基金项目:2014年国家社会科学基金项目(14BSH028)

第一作者简介:马静(1988—),女,宁夏银川人,中国地质大学(武汉)经济管理学院,博士研究生,研究方向:区域经济与城市创新。

通信作者:邓宏兵, denghongbing_2005@126.com

创新的产出而且加速了城市创新之间的相互作用,影响着城市创新产出的空间分布格局。

城市创新产出的空间格局是创新活动在城市地域空间的投影,也是未来经济增长趋势的空间表现。首先探析中国城市创新产出空间格局演化特征,探讨主要因素及其空间知识溢出效应对中国城市创新产出与空间分布格局的影响,以期更深入地把握中国城市创新发展规律,提高创新效率,促进城市间的协同创新,实现建设创新型国家战略的目标。

1 中国城市创新产出空间特征与演化

1.1 数据来源

研究数据选择2006—2014年285个城市的发明专利申请受理数作为衡量每个城市的创新产出水平的指标,格里利兹(Griliches)认为专利数据在很长时间内都被作为创新与技术变革的重要技术来源,虽然专利数据不能全面反映每个城市的创新能力与创新质量^[8],但是可以提供地区发明与创新的信息,且专利申请受理量受授权机构审查约束较小,比专利授权更具有时效性并较容易获得,采用专利申请量作为创新的代理指标与创新产出指标也频繁出现在相关文献中^[9-10]。同时弗里德曼和佛罗里达(Feldman and Florida)验证了专利指标与创新之间存在高度的相关性($r=0.934$)^[11]。专利属于私人(显性知识),发明专利可以提供一些关于创新的地理信息,专利的空间分布可以提供关于区域创新程度的有价值的信息^[12]。根据国家知识产权局对专利的定义,将专利分为发明专利,实用新型专利与外观设计三种类型。在三种专利类型中,发明专利更能反映一个区域长期的科技创新基础与创新水平,本文采用各城市发明专利申请受理量作为城市创新产出的指标来分析中国城市创新的时空分布特征。由于目前尚无完整研究时段内所有地级市的专利数据统计资料,本文所用的2006—2014年城市发明专利数据均来源于中华人民共和国国家知识产权局(SIPO)专利检索系统^①,检索方式以各地级市名称作为申请(专利权)

人检索词,公开(公告)日为研究时段,发明类型为“中国发明专利”,生成检索公式进行检索^②。

1.2 研究方法

探索性空间数据分析(ESDA)。探索性空间数据分析方法是空间经济学统计方法之一,可以很好地描述空间分布的特征,测度空间相关性程度以及识别非典型性的观测变量。运用Moran's I 测度城市创新产出的全局空间自相关程度,Moran's I 的计算可用公式(1)表示:

$$I_i = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式中: x_i 和 x_j 表示区域要素属性在相邻空间单元上的发明专利申请受理量, \bar{x} 为均值; n 为空间单元总数, w_{ij} 为空间权重矩阵,本文分别采用距离倒数的平方空间权重矩阵与引力模型构建的创新网络空间权重矩阵反映各城市创新的空间关系。

为进一步识别异常值,采用局部空间自相关,即局部Moran's I_i ,也称为LISA(local indicator of spatial association)度量城市 i 与它邻近城市之间的创新关联程度^[13],识别各个城市与其他城市创新的空间溢出特征。城市 i 的局部Moran's I_i 用来公式(2)表示:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^n w_{ij} z_j, (i \neq j) \quad (2)$$

式中: z_i 和 z_j 为空间单元 i 和 j 标准化后的观测值, w_{ij} 是行标准化的空间权重矩阵。计算出 I_i 后还需要对其进行统计检验,以确定 I_i 所反映的空间关系是否显著。对局部空间自相关的统计检验一般采用 Z 统计量。当 $Z(I_i) > +1.96$ 或 $Z(I_i) < -1.96$ 时,说明该城市创新产出的空间相关性显著,通过了置信度95%的检验。

1.3 研究结果

1.3.1 中国城市创新的空间分布特征

运用GIS10.0把2006—2014年间285个全国地级及以上的主要年份高于全国发明专利申请受理量平均水平的城市分布进行可视化表征(见图1),总体

①中华人民共和国国家知识产权局(SIPO) <http://www.sipo.gov.cn/zhfwpt/zljs/>

②公开(公告)日=?AND 申请(专利权)人=(?)AND 发明类型=("I")AND 公开国=(CN)

上看高于全国发明专利申请受理量平均水平的城市多集中于各省会城市与区域中心城市。发明专利申请受理量高于全国平均水平的城市多位于我国东部地区,2006年有36个城市高于全国发明专利申请受理量的平均水平136件,其中东部地区城市占23个,中部地区分布有7个城市,西部地区分布有6个城市。2010年有30个城市高于全国发明专利申请受理量的平均水平600件,其中东部地区占有20个城市,中部地区占有6个城市,西部地区分布有4个城市。2014年有45个城市高于全国发明专利申请受理量的平均水平1372件,其中东部地区分布30个城市,中部地区分布为9个城市,西部地区分布为6个城市。

GIS空间分析中核密度分析法可以反映一种空间点位分布的相对集中程度,为清晰刻画中国城市创新产出的空间集聚特征,运用Arcgis10.0软件计算绘制中国城市创新产出的核密度图。可以看出2006年创新活动热点城市集中在京津冀城市群、长三角城市群与珠三角城市群等沿海大都市区域中,以及中部地区的武汉市。2010年以上海市为创新极核的长三角城市群创新活动辐射范围逐渐增大,已逐步形成了连片的创新城市群。深圳市逐渐成为珠三角城市群的创新极核城市,西部的西安市与重庆市悄然崛起。2014年以北京市、上海市、深圳市为创

新极核的京津冀、长三角与珠三角城市群创新热点区的辐射范围加大,长三角城市群创新扩散现象较为明显,邻近上海市的苏州市、南通市等因受到邻近创新极核的影响,创新发展迅猛。以深圳市为创新极核的珠三角城市群,带动周边的中山市、东莞市等中小型城市扩大了城市群的创新范围。东北地区的哈尔滨市、大连市与青岛市,以及中部地区的武汉市,西部地区的西安市、重庆市、成都市在2014年成为具有辐射带动作用创新热点城市。2006—2014年中国城市创新活动的热点区辐射范围逐渐扩大,并逐年呈现出以各省会城市与区域中心城市为创新极核的多中心城市创新网络空间发展格局。

1.3.2 中国城市创新空间格局演化特征

运用Moran's I 对中国城市创新空间相关性进行检验之前,首先需要构造各城市间的空间关系权重矩阵 w_{ij} 。由于所研究的地理单元是285个地级及以上城市,选择Anselin提出的距离的倒数平方空间矩阵来说明城市之间的创新相互作用受距离的增加而衰减的影响^[13]。(公式3)

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (3)$$

式中： d_{ij} 为2个城市中心的欧式距离,运用Arc-

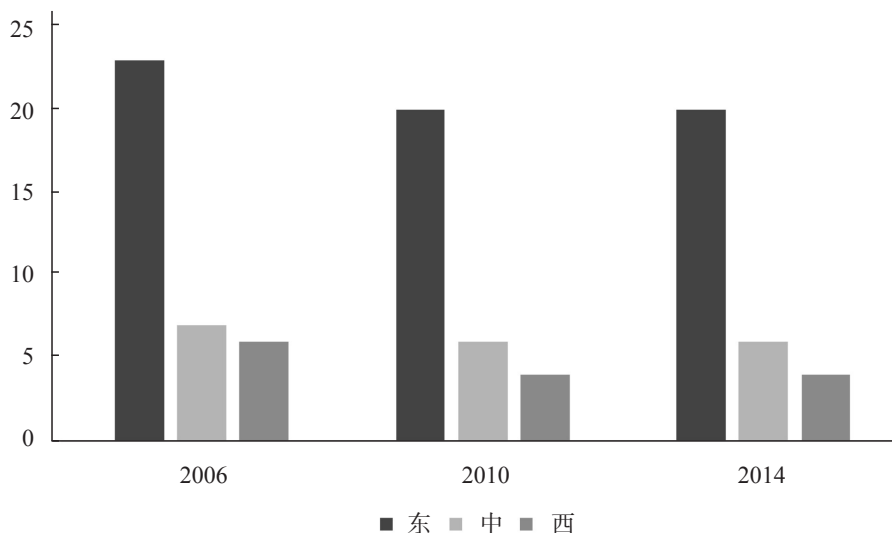


图1 高于全国发明专利受理量平均水平城市区域分布图

gis10.2 测量得到。

不仅仅是地理邻近性导致两地域单元之间空间的相互作用与知识的空间溢出,两个城市通过人流、物流、信息流之间的相互往来所产生的经济关系也会产生知识溢出效应,这类知识溢出效应来源于地理空间二、三本性驱动下,即便利的交通基础设施、发达的信息化程度提高了城市之间人流、信息流等创新要素的流动所带来的空间相互作用^[14]。借鉴 Lim 对解释美国城市创新活动空间相关性所建立的权重矩阵^[15],即认为城市 i 与城市 j 之间的知识创新的相互作用与两个城市之间的创新总量与邻近效应相关,即技术邻近空间权重矩阵(公式 4)。

$$w_{ij} = \begin{cases} k \frac{Q_i Q_j}{d_{ij}^2}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (4)$$

式中: Q_i 与 Q_j 分别表示城市 i 与城市 j 的创新强度, Q_i 与 Q_j 分别用 2006—2014 年每万从业人员发明专利申请受理量平均数来表示。 d_{ij} 表示两个城市中心之间的欧式距离,运用 Arcgis10.0 测度, k 为调整参数为 1000。权重矩阵(公式 4)类似于空间相互作用的引力模型,也称为创新网络空间权重矩阵。

全局 Moran's I 可以显示 2006—2014 年城市创新产出空间关联性。2006—2014 年中国 285 个地级

及以上城市空间 Moran's I 显著大于 0,存在高度空间正相关性,相似创新水平的城市在空间上存在创新联系,并且基于动态创新网络空间权重矩阵的城市创新产出空间关联性显著大于基于地理距离空间权重矩阵的城市创新产出空间关联性。2013 年后中国城市创新产出的空间 Moran's I 均呈现下降的趋势,城市创新正相关空间集聚与空间联系逐渐减弱。(见表 1)

基于距离邻近空间关系矩阵下形成的 2006 年、2010 年、2014 年中国城市创新空间关联特征,表现出高一高与高一低创新产出水平集聚的两种空间关联特征(见表 2),天津市与北京市之间,以上海为首的长三角城市群城市之间以及 2010 年形成的以深圳为首的珠三角城市群城市之间均呈现显著的高一高集聚的空间格局。长三角地区、珠三角地区高一高集聚的态势较为明显,重庆市、西安市在 2014 年与邻近城市之间的创新呈现出显著的高一低集聚的空间格局,重庆市、西安市逐渐发展为创新极核城市并对周边城市产生了显著的极化效应。在地理距离限制下,中国城市创新产出格局形成了以城市群为区域范围的集聚态势,地理距离的限制加速了城市创新的空间集聚格局的形成,扩大了区域之间的创新差异。

表 1 中国城市创新产出 Moran's I

权重矩阵	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
静态距离空间权重矩阵 Moran's I	0.020	0.023	0.028	0.031	0.047	0.066	0.085	0.095	0.087
p 值	0.049	0.044	0.017	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
动态创新网络空间权重矩阵 Moran's I	0.081	0.080	0.075	0.066	0.100	0.147	0.190	0.205	0.181
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表 2 地理距离空间权重矩阵下中国城市创新产出空间关联特征

项目	2006	2010	2014
空间关联特征高一高	北京市、天津市、 苏州市、上海市	北京市、天津市、苏州市、上海 市、无锡市、南通市、广州市、 东莞市、深圳市	北京市、天津市、苏州市、上海市、无锡 市、南通市、常州市、南京市、宁波市、广 州市、深圳市
关联特征高一低			重庆市、西安市

在动态创新网络空间矩阵下,具有显著创新空间关联的城市主要以发达沿海城市与各区域中心城市为主,通过现代化的基础设施与信息化逐渐克服了地理距离的限制,呈现出高一高创新关联城市创新空间组织形式。值得注意,要素的自由流动虽然会加速创新中心城市的相互来往,但在其过程中也会对处在西北部边缘地区的城市产生负面的空间知识溢出效应,呈现低—高关联态势(见表3)。处在西北部边缘且邻近于创新中心的城市,由于经济实力的不足与较低的创新水平,受邻近创新中心的知识外溢影响,致使自身知识创新要素流失,创新水平降低。只考虑地理空间限制的中国城市创新格局呈现极化的空间集聚格局,而在知识与全球化时代,完善的交通基础设施与发达的信息化水平将使中国城市创新呈现出多创新中心的网络化空间发展格局。

3 中国城市创新产出的影响因素

3.1 模型的构建与变量选择

知识生产过程是指知识创新,也就是科学发现与技术发明的过程^[16]。Griliches 提出了知识产出模型^[3],Jaffe, Audretsch 等也考虑到知识溢出对创新产出的影响^[17-18]。改进 Griliches 的知识生产函数框架,

将空间因素纳入到了知识生产模型中^[4],使研究范围扩展到了空间区域。综合现有研究认为知识创新产出受到研发投入的资本、劳动力以及现有知识存量的影响。参照 Romer-Jones 知识生产函数建立城市创新影响因素的基本模型:

$$\dot{A} = BK_A^\beta L_A^\gamma A^\alpha \quad (5)$$

式中: \dot{A} 为新产出的知识, K_A 和 L_A 为研发部门的资本投入和劳动力投入, A 为知识存量, B 为转移参数且 $B > 0$, $0 < \alpha < 1$, $\beta, \gamma \geq 0$, 因为知识创新产出具有时间滞后性,所以借鉴 Romer-Jones 知识生产函数建立如下的柯布—道格拉斯城市知识生产函数^[19]:

$$P_{it} = e^{a_0} K_{i,t}^{a_1} L_{i,t}^{a_2} A_{i,t}^{a_3} Z^{a_4} e^{\varepsilon_{i,t}-\theta} \quad (6)$$

式中: P_{it} 表示知识生产的产出,考虑到知识生产周期,把第 t 年的产出看作是第 $t + 1$ 年的知识生产的结果。 $K_{i,t}$ 表示各个城市研发知识资本的投入, $K_{i,t}$ 为各城市市辖区的年度科技经费支出(万元)。 $L_{i,t}$ 表示各城市市辖区知识研发劳动力的投入,用各城市的科技活动人员(万人)来表示。由于知识分为显性知识与隐性知识,参照邓明,钱争鸣等人的研究,将发明专利申请受理量作为知识存量 $A_{i,t}$,采用永续盘存法对城市的知识存量进行计算^[20-21]:

表3 创新网络空间权重矩阵下中国城市创新产出空间关联特征

项目	2006	2010	2014
空间关联特征高一高	天津市、北京市、上海市、苏州市、南京市、杭州市、大连市、沈阳市、哈尔滨市、广州市、深圳市、宁波市、武汉市、青岛市、西安市、长春市、重庆市(17个)	天津市、北京市、苏州市、上海市、南京市、杭州市、无锡市、深圳市、宁波市、广州市、东莞市、南通市、大连市、哈尔滨市、中山市、青岛市、西安市、常州市、重庆市、沈阳市、武汉市(21个)	苏州市、天津市、上海市、北京市、无锡市、青岛市、宁波市、南京市、深圳市、南通市、杭州市、广州市、常州市、东莞市、大连市、合肥市、西安市、重庆市、哈尔滨市、珠海市、芜湖市、中山市、成都市、武汉市、沈阳市、济南市(26个)
关联特征高一低	嘉峪关市、酒泉市、巴彦淖尔市、呼伦贝尔市、盐城市、呼和浩特市、朝阳市、葫芦岛市、泰州市、乌兰察布市、赤峰市、沧州市、张家口、廊坊市、嘉兴市、舟山市(19个)	张掖市、嘉峪关市、拉萨市、酒泉市、乌鲁木齐市、榆林市、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、通辽市、呼伦贝尔市、包头市、衡水市、朝阳市、朔州市、葫芦岛市、呼和浩特市、大同市、沧州市、乌兰察布市、赤峰市、廊坊市、舟山市、承德市、张家口(24个)	临汾市、银川市、张掖市、延安市、嘉峪关市、酒泉市、黑河市、乌鲁木齐市、日照市、拉萨市、淮安市、榆林市、鄂尔多斯市、巴彦淖尔市、通辽市、东营市、呼伦贝尔市、包头市、衡水市、朝阳市、朔州市、呼和浩特市、葫芦岛市、秦皇岛市、乌兰察布市、赤峰市、沧州市、大同市、舟山、廊坊市、承德市、张家口市(32个)

$$\begin{aligned}
 A_{i,t} &= (1 - \tau) A_{i,t-1} + P_{t-1} \\
 &= (1 - \tau) A_{i,t-1} + P_{t-1} = \dots \\
 &= (1 - \tau)^t A_1 + \sum_{i=1}^{t-1} (1 - \tau)^{t-i} P_{t-i}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

式中： A_1 为基期的知识存量。

$$A_1 = \frac{P_1}{g + \tau}
 \tag{8}$$

式中： g 为 P_t 年各年份的增长率的算术平均，知识的折旧率 τ 参考邓明，钱争鸣的方法将技术的平均使用年限 14 年的倒数 0.0714 作为折旧率 τ 的取值代入公式 (7)、(8) 中^[20-21]，利用各城市的发明专利申请受理量得到 2006—2014 年中国 285 个城市的知识存量 $A_{i,t}$ 。 Z_{it} 为影响知识产出的控制变量的集合。

$$Z_{i,t} = (ILQ_{i,t}, Klb s_{i,t}, H_{i,t}, Mp_{i,t}, Transportation_{i,t}, Internet_{i,t})$$

$ILQ_{i,t}$ 与 $Klb s_{i,t}$ 分别表示传统工业产业集聚与知识密集型产业集聚对创新产出的影响，产业集聚可以为面对面交流提供便利性从而促进知识溢出的产生，提高创新产出。本文借鉴 Feldman 和 Audretsch 对集聚的解释与定义^[22]，采用区位熵测度产业集聚程度。

$$ILQ_{ij} = \left(\frac{P_{ij}}{P_i} \right) / \left(\frac{P_j}{P} \right)
 \tag{9}$$

式中： P_{ij} 表示 i 城市第二产业的就业人员， P_i 表示 i 城市的所有就业人员， P 表示中国从业人员总和。

知识密集型服务业可以促进企业之间的知识交换与扩散，并且偏爱聚集于大都市^[23]，是城市产业结构调整的领头羊，也是城市产业升级的重要推动力量，为城市创新提供资金和设备的支撑^[24]。本文依据我国 2002 年修订的《国民经济行业分类》(GB/T4754-2002) 第三产业统计门类，结合相关文献研究^[25-26]，选择信息传输、计算机服务和软件业从业人员数(万人)，金融业从业人员数(万人)，租赁和商业服务业从业人员数(万人)，科研、技术服务和地质勘查业从业人员数(万人)，教育业从业人员数(万人)，运用区位熵测度各城市基于知识型产业的空间集聚水平。

$$KLO_{ij} = \left(\frac{KP_{ij}}{P_i} \right) / \left(\frac{KP_j}{P} \right)
 \tag{10}$$

式中： KP_{ij} 表示 i 城市知识密集型服务业的从业人数， P_i 表示 i 城市的所有从业人员数量； KP_j 表示中国所有城市知识密集型服务业的从业人员数量， P

表示中国所有城市从业人员数量。

H_{it} 为各个城市的人力资本，Lucas 强调人力资本是增长的发动机^[27]，并通过提高创新效率与创新扩散促进经济增长。人力资本作为城市创新吸收能力的重要因素，对吸收知识溢出和促进二次创新具有重要的作用^[28]。人力资本的测度主要有 Barro 和 Lee 的平均受教育年份、入学率、教育经费、受教育人数占总人口比重、平均受教育年限等^[29]。考虑数据的可获得性，参考王志鹏、李子奈的方法，选择每年在校人数当中的普通高等学校和中等学校在校人数比例来近似人力资本水平^[30]：

$$H_{i,t} = Mid_{i,t} \frac{10}{Pop_{i,t}} + Hig_{i,t} \frac{15}{Pop_{i,t}}
 \tag{11}$$

式中： $Mid_{i,t}$ 与 $Hig_{i,t}$ 以及 $Pop_{i,t}$ 分别代表中学在校人数、普通高校在校人数以及年末城市人口总数。

$Mp_{i,t}$ 为市场潜能，最早是由 Harris 提出，市场潜能越大的区域，同市场的距离越近，本身的市场规模也就会越大^[31]。Krugman 的新经济地理论提出的市场潜能理论中强调市场潜能越大，对周边产品的需求就越大，也意味着该城市发展对周边城市具有较强带动作用^[6]。创新型城市出现在经济转型升级的时代，经济规模总量对城市创新具有重要的促进作用，较多文献也表明创新驱动阶段多出现在人均 GDP 超过一万美元的城市。因此推断外部市场潜力需求不仅对周边城市经济发展有重要作用，也很可能对城市创新空间溢出及城市创新差异产生影响。按照 Harris 的方法，市场潜能可以表示^[31]：

$$MP_{it} = \sum_i \frac{Y_i}{d_{ij}}
 \tag{12}$$

式中： MP_{it} 为 i 城市的市场潜能，以各城市的 GDP 总量衡量各城市的经济规模，运用 ArcGIS10.0 测算各城市之间的距离 d_{ij} ，得到市场潜力指数。

$Transportation_{i,t}$ 为城市 i 的交通便利性指数。空间知识溢出不仅受地理距离的影响，交通便利性作为克鲁格曼强调的地理第二本性对城市创新产出与城市创新差异也会产生一定的影响。根据数据的可获得性，选择 3 小时城市间铁路可达性作为各城市交通便利性的衡量指标，以铁路速度为 90km/h，计算铁

路的时间成本为 0.67^[32],运用成本距离计算最大范围为 180km,即三小时城市间可达性重叠的区域。用城市行政界限进行区分,得到各个城市行政界限范围内铁路 3 小时可达面积,记为 M_i 。

运用城市的每天铁路客货运输量作为交通可达性的一部分,得出研究城市铁路的日客货运输量 T_i ,分别对 M_i 与 T_i 进行标准化带入城市交通可达规模等级 A_i 。

$$A_i = m M_i + n T_i \quad (13)$$

式中: m 、 n 分别为 3 小时城市铁路交通可达性和每日铁路客货运输量比重,分别取 $m = 0.6$, $n = 0.4$ 。求出各城市最终的交通可达规模等级 A_i 。

$Internet_{i,t}$ 为各城市的信息化指数,主要考虑第三地理本性对城市创新产出的影响,具体可以从通信、网络的硬件基础设施等方面进行衡量^[33]。因特网的普及可以使城市获取大量外部信息,帮助城市或企业克服时空限制,本文采用国际互联网用户数(户)作为衡量各个城市信息化的程度。

对公式(6)两边取对数可以得到线性形式的知识生产函数:

$$\ln P_{i,t+1} = \alpha^0 B + \alpha_1 \ln K_{i,t} + \alpha_2 \ln L_{i,t} + \alpha_3 \ln A_{i,t} + \beta \ln Z_{i,t} \quad (14)$$

式中: α^0 、 α_1 、 α_2 、 α_3 、 β 为各变量的弹性系数,也是待估参数; B 为常数表示生产要素综合利用能力。

本文认为除了知识生产投入等一些经济活动因素会对城市创新产出产生影响,空间相互作用所产生的空间溢出也会对城市创新产生影响,对基础模型(14)进行改进,建立空间杜宾模型,加入空间因素探讨城市创新产出的影响因素回归模型(15):

$$\begin{aligned} \ln P_{i,t+1} = & \theta_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln P_{j,t+1} + \theta_2 \ln K_{i,t} + \theta_3 \ln L_{i,t} + \\ & \theta_4 \ln A_{i,t} + \varphi_e \ln Z_{i,t} + \tilde{\theta}_2 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln K_{i,t} + \\ & \tilde{\theta}_3 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln L_{i,t} + \tilde{\theta}_4 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln A_{i,t} + \\ & \tilde{\varphi}_{nw} \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln Z_{n,i,t} + \tilde{\varepsilon} \end{aligned} \quad (15)$$

3.2 回归结果分析

运用 2006—2014 年的面板数据建立空间杜宾模

型,根据 Elhorst 提出的空间面板模型的检验步骤^[34],判断空间杜宾模型的类型,选出最优模型。首先确定城市知识创新产出是否存在空间效应。上文计算 2006—2014 年在地理邻近空间权重矩阵与城市创新网络空间权重矩阵下,城市创新产出的空间 Moran's I 显著大于 0,存在正的空间相关性,说明城市创新产出基本存在空间效应。其次判断其存在空间效应的类型,采用空间滞后误差拉格朗日检验(LM tests for spatial lag and spatial error model)与稳健性空间滞后误差拉格朗日检验(robust LM tests for spatial lag and spatial error model),判断是空间滞后效应还是空间误差效应。接着运用拉格朗日检验个体固定效应与时间固定效应的显著性来判断模型采用个体固定效应还是时间固定效应。最后运用 Hausman 检验来判断面板模型采用固定效应还是随机效应。

首先分别对不含空间效应的面板模型进行估计,包括混合效应、个体固定效应、时期固定效应、个体时期双固定效应四种类型,并通过 LM 检验和 LR 检验判断空间效应的形式,最后通过 Hausman 检验判定是固定效应还是随机效应。对标准的面板模型采用 OLS 估计,对于含空间面板的模型采用 ML 方法估计,所有计算通过 Matlab2012 完成(见表 4)。

通过表 4 显示空间滞后与空间误差的 LM 检验和稳健性 LM 检验大都通过了显著性检验,说明不仅存在空间相关性,还存在空间异质性。同时空间效应不能完全通过空间滞后项与空间误差项来解释,采用空间杜宾模型用来检验假设是合理的。使用 LR 检验选择模型发现个体固定效应的 LR 值 820.3450 ($P = 0.0000$),时间固定效应的 LR 值为 43.4155 ($P = 0.0000$)。模型的 Hausman 检验值为 132.4881 ($P = 0.000$),因此选取个体时间双固定空间面板杜宾模型对假设进行检验,得出回归结果(见表 5)。

从表 5 可以看出基于距离邻近的空间权重矩阵(模型 II)以及基于创新网络空间权重矩阵(模型 I)的城市创新产出的滞后项均显著为正,可以验证中国城市创新产出存在较强的空间知识溢出效应,是造成城市创新集聚与空间差异的主要原因。基于地

表 4 标准面板模型估计结果

解释变量	混合效应模型	个体固定效应模型	时期固定效应模型	双固定效应模型
研发部门的资本投入 K	0.413*** (8.357)	0.106 (1.588)	0.274*** (4.862)	0.127 (1.515)
研发部门的劳动力投入 L	0.218 (1.442)	0.465** (2.031)	0.272* (1.820)	0.383* (1.664)
可测度的知识存量 A	0.745*** (17.304)	-0.340*** (-4.097)	0.664*** (15.112)	-0.565*** (-6.145)
产业集聚指数 ILQ	0.466*** (3.587)	-0.352 (-1.399)	0.710*** (5.461)	-0.215 (-0.215)
知识密集型产业集聚指数 KLQ	0.021 (0.092)	-0.136 (-0.949)	0.015 (0.065)	0.015 (0.065)
人力资本 H	0.276** (2.245)	0.103 (0.440)	0.359** (2.968)	0.131 (0.563)
市场潜力 MP	0.649*** (6.663)	4.571*** (17.169)	0.526*** (5.457)	2.025*** (3.890)
交通便利性 $Transportation$	0.042 (0.531)	0.007 (0.057)	0.107 (1.373)	-0.052 (-0.424)
信息化程度 $Internet$	-0.0004* (-1.765)	-0.0007* (-2.952)	-0.001*** (-4.324)	-0.001*** (-4.518)
R^2	0.587	0.371	0.523	0.032
σ^2	5.999	4.254	5.760	4.183
空间滞后 LM 检验	137.665***	71.210***	36.688***	43.214***
空间滞后稳健 LM 检验	45.074***	21.978***	2.2867	9.092***
空间误差 LM 检验	109.491***	51.265***	49.9119***	37.729***
空间误差稳健 LM 检验	16.901**	2.032	15.510***	3.606*

注:括号中为 t 值*,**,***分别表示在 10%,5%与 1%的显著性水平上通过假设检验,下同

理距离的城市创新产出的空间滞后项系数大于基于城市创新网络的空间滞后项系数,地理邻近性对周围城市创新产出仍然存在较大的影响,是形成城市创新空间集聚现象的主要原因;静态的固定效应空间面板模型既没有考虑个体或时间的异质问题,也没有考虑城市创新的动态变化特征,以及模型变量之间存在潜在的内生性的问题,导致系数估计有偏和不可靠^[35]。

动态空间面板模型既考虑了个体时间序列相关性,又考虑了个体空间序列相关性,同时处理了个体及时间的固定效应问题。建立动态面板的空间杜宾模型,检验知识生产中城市创新产出是否存在空间相互影响,并对影响城市创新产出的因素进行探讨。

$$\begin{aligned}
 \ln(P_{i,t+1}) = & \alpha^0 + \theta \ln P_{i,t} + \rho_0 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(P_{i,t}) + \alpha_1 \ln(k_{i,t}) + \\
 & \alpha_2 \ln(L_{i,t}) + \alpha_3 \ln(ILQ_{i,t}) + \alpha_4 \ln(Klbs_{i,t}) + \\
 & \alpha_5 \ln(H_{i,t}) + \alpha_6 \ln(Mp_{i,t}) + \\
 & \alpha_7 \ln(Transportation_{i,t}) + \alpha_8 \ln(Internet_{i,t}) + \\
 & \rho_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(K_{i,t}) + \rho_2 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(L_{i,t}) + \\
 & \rho_3 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(ILQ_{i,t}) + \rho_4 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(Klbs_{i,t}) + \\
 & \rho_5 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(H_{i,t}) + \rho_6 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(Mp_{i,t}) + \\
 & \rho_7 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(Transportation_{i,t}) + \\
 & \rho_8 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln(Internet_{i,t}) + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{16}$$

式中: α^0 为常数项,系数 θ 反映城市创新产出的动态

表5 个体时期双固定静态空间面板杜宾模型估计结果

静态空间面板杜宾模型	模型 I	模型 II	静态空间面板杜宾模型	模型 I	模型 II
ρ (空间滞后项)	0.301*** (5.576)	0.254*** (5.540)	$W \times L$	1.385 (0.191)	-0.151 (0.881)
研发部门的资本投入 K	0.086 (1.011)	0.104 (1.157)	$W \times A$	-0.593* (-1.771)	-0.023 (-0.047)
研发部门的劳动力投入 L	0.340 (1.485)	0.404* (1.653)	$W \times ILQ$	-1.847 (-1.598)	-1.785 (-1.250)
可测度的知识存量 A	-0.504*** (-5.300)	-0.542*** (-5.394)	$W \times KLQ$	-0.363 (-0.322)	-0.548 (-0.489)
产业集聚指数 ILQ	-0.142 (-0.568)	-0.164 (-0.614)	$W \times H$	-1.053 (-1.073)	0.663 (0.633)
知识密集型产业集聚指数 KLQ	0.136 (0.584)	0.079 (0.321)	$W \times MP$	-2.359 (-1.438)	-0.030 (-0.019)
人力资本 H	0.149 (0.648)	0.136 (0.553)	$W \times Transportation$	-0.446 (-0.961)	-1.142*** (-3.023)
市场潜力 MP	1.901*** (3.225)	1.875*** (3.063)	$W \times Internet$	0.872 (-1.961)	-0.0003 (-0.645)
交通便利性 $Transportation$	0.004 (0.031)	0.002 (0.988)	$LOGL$	-5441.798	-5460.998
信息化程度 $Internet$	0.397*** (-3.180)	-0.001 (-3.588)	σ^2	4.056	4.642
$W \times K$	1.007*** (2.870)	0.404 (0.840)	R^2	0.719	0.716
			空间滞后 Wald 检验	18.678**	14.214
			空间滞后 LR 检验	18.439**	20.090**
			空间误差 Wald 检验	22.561***	17.148**
			空间误差 LR 检验	22.283***	13.987

特征, ρ_0 是城市创新产出的空间滞后系数, μ_i 是城市的个体效应, ν_i 是城市的固定效应, ε_{it} 服从均值为 0、方差为 σ^2 的独立同分布随机误差向量, 其余变量表述与静态空间面板模型一致。由于动态空间面板模型加入了因变量的时间滞后项 $Y_{i,t-1}$, $Y_{i,t-1}$ 与空间个体效应的 μ_i 相关, 不符合回归分析的经典假设。为了解决这个问题, 采用差分 GMM 的方法将 $Y_{i,t-1}$ 作为工具变量, 通过对模型的一阶差分消除空间个体效应, 然后基于矩条件得到一阶差分 GMM 估计量, 差分的变量将因变量的滞后项及自变量的滞后项作为其工具变量。但是因为差分 GMM 估计量容易受弱工具变量的影响而得到有偏的估计, 因此采用 Arellano-Bover 和 Blundell-Bond 提出的系统 GMM (System GMM) 估计方法, 在差分 GMM 的方法上引入了水平方程并建立差分回归方程, 通过增加差分

变量的滞后期作为水平方程相应变量的工具变量, 提高了方程估计结果的有效性^[36-37]。本文中知识存量、研发部门资本投入以及研发部门劳动力的投入对城市创新产出存在内生性, 同时将空间效应作为影响因素纳入模型中, 其创新网络空间权重矩阵也会在城市创新产出的空间面板回归模型中存在内生性问题, 为了解决这个问题本文采用知识生产投入的三个主要解释变量: 知识存量 A 、研发部门资本投入、研发部门的劳动力投入 L , 作为回归模型的内生性变量代入 GMM 系统面板模型中, 得到工具变量对城市产出空间面板模型进行回归, 得到表 6 结果。

表 6 显示了中国城市知识创新产出的系统 GMM 动态面板空间杜宾模型的回归结果, 残差项一阶序列不相关, 但二阶序列相关。Sargan 过度识别检验表明系统 GMM 模型不存在模型误设问题, 选取的工具

变量满足外生性要求。取城市创新产出的滞后一期作为影响城市创新产出的动态因素得到以下结果：静态空间面板模型(模型Ⅲ)的空间滞后系数要远大于动态空间面板模型(模型Ⅳ)的空间滞后系数,因为存在权重矩阵内生性问题,静态空间模型高估了城市创新产出的空间效应。动态空间面板模型的回归解决了变量之间内生性的问题,使回归结果更加稳定与准确。所以系统 GMM 模型比固定效应的静态面板模型更可靠。

无论是在只考虑距离倒数的空间权重矩阵下,还是在城市创新网络空间权重下,城市创新产出的空间滞后系数(空间相关系数)均为显著的正值。即可以证明中国城市创新之间存在空间知识溢出效应,一个城市的创新产出受到周边城市以及创新水平相似城市的正向影响,周边城市的创新产出提高

1%,本城市创新产出将会提高 0.5%,具有创新联系城市的创新产出提高 1%,本城市创新产出将会提高 0.38%。可以说明当下中国城市创新产出依然较多受到地理空间距离的影响,不能忽略地理距离的空间知识溢出效应对城市创新产出的影响。城市创新生产是一个动态的发展过程,但是当期创新产出对下一期的城市创新产出具有显著的负向作用,前一期的城市创新产出实际会过多遏制城市自主创新能力,企业人才容易产生搭便车行为,习惯沿用以前的技术创新,而丧失自主创新能力。在城市知识生产投入中,研发部门的资本投入、劳动力投入以及知识积累均对城市创新产出具有正向的带动作用,在两个空间关系权重矩阵下,科技人员投入的产出弹性要低于科技活动经费投入的产出弹性。相关研究也给予了相似的结果,因为中国城市科技人员的激励

表 6 系统 GMM 动态空间面板杜宾模型

变量	模型Ⅲ	模型Ⅳ	变量	模型Ⅲ	模型Ⅳ
θ 动态因素	-0.006** (-2.100)	-0.005** (-2.072)	$W \times A$	0.087 (1.263)	0.015 (0.749)
ρ (空间滞后项)	0.056*** (3.162)	0.038*** (2.821)	$W \times ILQ$	-1.104*** (-6.781)	-1.785 (-1.250)
研发部门的资本投入 K	0.240*** (11.912)	0.219*** (10.762)	$W \times KLQ$	-0.608*** (-3.061)	0.179 (1.132)
研发部门的劳动力投入 L	0.1621*** (3.803)	0.195*** (4.742)	$W \times H$	-0.392** (-2.573)	-0.266** (-2.252)
知识存量 A	0.686*** (49.912)	0.697*** (49.421)	$W \times MP$	0.941*** (5.492)	0.910*** (5.772)
产业集聚指数 ILQ	0.540*** (10.08)	0.564*** (10.79)	$W \times Transportation$	-0.569*** (-4.276)	-0.657*** (-5.442)
知识密集型产业集聚指数 KLQ	-0.129*** (-3.253)	0.163*** (0.321)	$W \times Internet$	0.041 (0.271)	0.017 (0.112)
人力资本 H	0.200*** (4.543)	0.201*** (4.701)	常数项	-6.694*** (-3.742)	-2.963** (-2.321)
市场潜力 MP	0.280*** (6.182)	0.266*** (6.222)	$LOGL$	-5028.079	-5027.700
交通便利性 $Transportation$	0.045* (1.842)	0.021 (0.852)	σ^2	2.466	2.481
信息化程度 $Internet$	0.156*** (3.712)	0.187 (4.532)	R^2	0.914	0.912
$W \times K$	0.320*** (3.623)	-0.032 (-0.563)	Sargan 过度识别检验	167.869	173.582
$W \times L$	0.015 (0.061)	-0.359** (-2.081)	LM-error 面板检验	0.078	2.545
			稳健的 LM-error 面板检验	56.183**	24.741***
			LM-lag 面板检验	0.315	1.385
			稳健的 LM-lag 面板检验	56.421***	23.58***

机制不灵活,科技人员的生产效率较低;同时也存在我国科技经费的投入不足,成为导致科研人员的科技生产效率低的原因。2014年285个城市市辖区中R&D经费支出1801.74亿元,占285个城市市辖区的GDP总值的2%,较少的科技经费投入遏制了城市中科技人员的创新潜力与能力,加大科研经费投入是提高城市创新产出的重要手段。同时知识的积累对城市创新产出具有较强的促进作用,弹性系数要远大于科技资本与人力资本的投入,知识创新仍然是一个长时期积累的过程,具有较高知识积累的城市在城市创新方面具有相对较强的优势,更容易产生新的知识。

从控制变量对城市创新产出的影响中可以看出中国的城市创新产出仍然依赖于专业化的产业集聚,基于知识密集型服务业的集聚效应反而会对城市创新产出产生负面作用。这与魏守华、时省等的结论相似^[38-39],针对发达国家与创新型城市,知识密集型服务业可以促进城市创新产出的提高,而对于发展中国家和一般城市,知识密集型服务业的集聚对城市创新的促进作用需要具备较为完善与较为优越的创新环境以及较强的人力资本水平,当下中国城市创新产出仍需要借助专业化产业集聚的知识溢出效应提高城市创新产出。人力资本与市场规模均对城市创新产出具有较强的促进作用,是提高城市创新产出的重要影响因素。城市的交通便利性对城市创新产出具有负面作用,说明中国城市知识的吸收能力较为薄弱,提高城市的交通便利性容易造成城市创新要素与人才的流失,造成自身创新水平下降。信息技术是知识经济的重要标志,因特网的迅速普及可以使城市获得大量有用的外部信息,可以帮助城市克服时空限制,降低创新成本,加大互联网等信息化基础设施的建设有利于提高城市创新产出。

考虑空间作用下,在距离邻近性的空间关系知识生产过程中,加大对周边城市知识资本的投入对本城市创新产出具有正向的作用;而在城市创新网络空间关系下,加大与其具有相似创新水平的科技劳动力的投入会对该城市的创新产出起到抑制作

用,中国城市间知识创新的竞争要大于城市间知识创新的协同。在只考虑距离邻近矩阵的影响下,加大邻近城市的产业集聚与知识密集型服务业的集聚,对本城市的创新产出会造成负面影响,而对相似创新水平的城市影响不显著。如果加大对相似创新水平城市的人力资本投入,会提高具有创新联系的城市之间的竞争性。城市间的交通可达性的提高会对本城市的创新产出产生负面的影响,交通的可达性为科技人才用脚去选择城市提供了便利性,城市间的交通便利性会拉大城市间创新差距。周边城市或创新水平相似城市的互联网与信息化水平的提高对本城市影响较小,但互联网信息化的城市创新的空间溢出效应弹性指数为正,也许未来随着互联网、信息化水平、大数据、人工智能水平地提高,科技人才,创新企业不再借助交通工具就可以获取创新资源,以数据的流动来获得知识的空间溢出效应,提高城市间的协同创新水平。

4 结论与启示

本文在基于2个不同空间关系权重矩阵的基础上探讨中国城市创新的空间演化格局,并且加入空间因素,构建静态与动态面板数据空间杜宾回归模型,对中国285个城市创新空间格局与创新产出的影响因素进行实证研究,得出以下结论。

第一,在只考虑地理距离的城市创新空间关系下,中国城市创新呈现高一高集聚与高一低极化,创新空间差异较为明显的创新空间格局;但随着全球化与知识经济时代的来临,创新规模较大的城市会克服地理距离倾向于与相似创新水平的城市进行创新合作,在城市创新网络空间关系下,中国城市创新空间格局形成了高一高创新联系,高一低影响的多创新中心的网络化的城市创新空间格局。

第二,城市创新是一个动态的知识产出过程,第一期创新成果会抑制城市的自主创新能力,但是知识的存量会对城市创新产生长期的促进作用;知识的资本投入对城市创新产生的促进作用大于知识的劳动力投入,加强R&D的投入是未来促进城市内部创新的主要手段。

第三,现阶段中国城市创新水平的提高依然依靠专业化集聚所产生的知识溢出效应,而基于知识密集服务业的多样化集聚模式较适用于创新规模较大的少数创新发达城市。城市的人力资本、信息化程度与市场规模均是提高城市创新的影响因素,城市间的交通可达性对城市创新影响不显著,并呈现负面影响趋势。

第四,城市与城市间的空间相互作用所产生的空间知识溢出效应也会影响城市的创新产出,并且是产生城市创新空间差异的主要原因,依然不能忽略地理空间距离产生的空间知识溢出效应对城市创新产出的影响。地理邻近的城市要加大科研资本的投入才能获得空间知识溢出效应,提高自身创新的产出。而创新规模较大的城市需要加大科技人力的投入,才可以从创新网络中获得空间知识溢出效应,提高城市的创新水平。产业的集聚、人力资本水平与城市间的可达性所产生的空间溢出效应均会拉大城市间的创新差异,致使中国城市创新之间基本呈现竞争的空间格局,中国城市创新空间差异是不可避免的,但需要因地制宜,具有不同的空间溢出效应特征的城市,应制定不同的政策措施,从而合理利用空间溢出效应,提高城市间的协同创新能力。本文以发明专利申请受理量作为衡量中国城市创新产出的指标,虽然该指标可以提供中国城市创新产出空间分布的若干信息,但不能综合反映城市的科技转化能力与技术创新能力,也是本文的不足以及今后数据需要完善的地方。

创新的发展需要基于雄厚的经济基础,中国在城市创新建设中仍然要以经济建设为中心,因为所有发达的经济体都会接触到相似的科学技术,不能因为“创新”而创新。同时不同城市的政策也决定了其在利用相同技术时所产生的经济发展结果并不相同,因城施策,制定好符合城市发展规律与现状的创新政策至关重要。

参考文献

- [1] Marceau J. Innovation in the city and innovative cities[J]. Special Edition of Innovation: Management, Policy and Practice, 2008,10(2/3):136-145.
- [2] Carlino G A. Knowledge spillovers: Cities' role in the new economy[J]. Business Review, 2001,7(Q4):17-26.
- [3] Griliches Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth[J]. Bell Journal of Economics, 1979,10(1):92-116.
- [4] Glaeser E L, Shleifer A. Growth in cities[J]. Journal of Political Economy, 1992,100(6):1126-1152.
- [5] Black D, Henderson V. A theory of urban growth[J]. Journal of Political Economy, 1999,107(2):252-284.
- [6] Krugman P R. Geography and Trade[M]. Cambridge: MIT Press, 1991.
- [7] 李国平,王春杨. 我国省域创新产出的空间特征和时空演化:基于探索性空间数据分析的实证[J]. 地理研究,2012,31(1):95-106.
- [8] Griliches Z. Patent statistics as economic indicators[J]. Journal of Economic Literature, 1991,28(28):1661-1707.
- [9] Jaffe A B. Technological opportunity and spillovers of R—D: Evidence from firms' patents, profits and market value[J]. American Economic Review, 1986,76(5):984-1001.
- [10] Bottazzi L, Peri G. Innovation and spillovers in regions: Evidence from European patent data[J]. European Economic Review, 2003,47(4):687-710.
- [11] Feldman M P, Florida R. The geographic sources of innovation: Technological infrastructure and product innovation in the United States[J]. Annals of the Association of American Geographers, 1994,84(2):210-229.
- [12] 张玉明,李凯. 省际区域创新产出的空间相关性研究[J]. 科学学研究,2008,26(3):659-665.
- [13] Anselin L. Local indicators of spatial association: Lisa[J]. Geographical Analysis, 1995,27(2):93-115.
- [14] 夏海斌,王铮. 中国大陆空间结构分异的进化[J]. 地理研究,2012,31(12):2123-2138.
- [15] Lim U. The spatial distribution of innovative activity in US metropolitan areas: Evidence from patent data[J]. Journal of Regional Analysis and Policy, 2003,33(2):97-98.
- [16] 邓明,钱争鸣. 我国省际知识存量、知识生产与知识空间溢出[J]. 数量经济技术经济研究,2009(5):42-53.

- [17] Jaffe A B. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value[J]. *American Economic Review*, 1986, 76(5): 984-1001.
- [18] Drejer I, Audretsch D B and A R Thurik(Eds): Innovation, industry, evolution and employment[J]. *BTW-Bulletin*, 2001,13(2):13-15.
- [19] Romer P M. Endogenous technological change[J]. *Levines Working Paper Archive*, 1989,98(98):71-102.
- [20] 邓明,钱争鸣. 我国省际知识存量、知识生产与知识的空间溢出[J]. *数量经济技术经济研究*,2009(05):42-53.
- [21] 邓明,钱争鸣. 我国省际知识生产及其空间溢出的动态时变特征:基于 Spatial SUR 模型的经验分析[J]. *数理统计与管理*,2013,32(04):571-585.
- [22] Feldman M P, Audretsch D B. Innovation in cities: Science-based diversity, specialization and localized competition[J]. *European Economic Review*, 1998,43(2): 409-429.
- [23] 吴艳,高汝熹,陈跃刚. 知识密集型服务业特征及空间布局研究[J]. *经济体制改革*,2007(1):162-165.
- [24] 魏江,胡胜蓉. 知识密集型服务业创新范式[M]. 北京:科学出版社,2007.
- [25] 孙友霞,熊励,韩昌玲. 我国知识密集型服务业创新能力实证研究[J]. *科技进步与对策*,2010,27(12):67-72.
- [26] 王国顺,张凡,郑准. 我国知识密集型服务业的空间集聚水平及影响因素:基于288个城市数据的实证研究[J]. *经济地理*,2016,36(4):106-112.
- [27] Lucas R E. On the mechanics of economic development[J]. *Journal of Monetary Economics*, 1988,22(1):3-42.
- [28] 李平,崔喜君,刘建. 中国自主创新中研发资本投入产出绩效分析:兼论人力资本和知识产权保护的影响[J]. *中国社会科学*,2007(2):32-42.
- [29] Barro R J, Lee J W. Sources of economic growth[J]. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 1994,40(1):1-46.
- [30] 王志鹏,李子奈. 外商直接投资、外溢效应与内生经济增长[J]. *世界经济文汇*,2004(3):23-33.
- [31] Harris C D. The market as a factor in the localization of industry in the United States[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1954,44(4): 315-348.
- [32] 马晓蕾,马延吉. 基于GIS的中国地级及以上城市交通可达性与经济发展水平关系分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2016,30(4):8-13.
- [33] 夏海斌,王铮. 中国大陆空间结构分异的进化[J]. *地理研究*,2012,31(12):2123-2138.
- [34] J·保罗·埃尔霍斯特,埃尔霍斯特,肖光恩. 空间计量经济学:从横截面数据到空间面板[M]. 北京:中国人民大学出版社,2015.
- [35] 虞义华. 空间计量经济学理论及其在中国的实践应用[M]. 北京:经济科学出版社,2015.
- [36] Arellano M, Bover O. Another look at instrumental variable estimation of error component models[J]. *Journal of Econometrics*, 1990,68(1):29-51.
- [37] Blundell R, Bond S, Meghir C. Econometric models of company investment[M] // *The Econometrics of Panel Data*. Springer, Netherlands: 1996.
- [38] 魏守华. 国家创新能力的影响因素:兼评近期中国创新能力演变的特征[J]. *南京大学学报(哲学·人文科学·社会科学)*,2008,45(3):30-36.
- [39] 时省,王腊芳,赵定涛. KIBS集聚、区域创新及人力资本门槛效应[J]. *系统工程*,2014(3):18-25.

Analysis on City Innovation Output of Space–Time Distribution Pattern and Influential Factors in China: Empirical Analysis of 285 Cities in China

MA Jing^{1,2}, DENG Hongbing^{1,2}, CAI Aixin^{1,2}

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. Institutes of Soft Science on Regional Innovation Capacity Monitoring and Analysis, Wuhan 430074, China)

Abstract: Building the geographic neighboring and innovation network weighting matrix to explore the innovation spatial pattern of 285 cities in China. Using the static and dynamic spatial penal regression mode to test the influential factors on cities' innovation. The results show that the spatial pattern of city innovation in China show a knowledge polycentric and networked spatial pattern of cities' innovation in China. Spatial knowledge spillovers and knowledge base play an important role on cities' innovation, the input of knowledge capital can make much more innovation than the knowledge physical. The spatial spillovers of process in knowledge production can either enlarge the spatial difference or balance the spatial variation, we should take different strategy to different city's status quo to realize the aim of Innovation-driven strategy synergistic in China.

Key words: city innovation output; spatial pattern; knowledge production; spatial knowledge spillovers; spatial econometrics