

# 城市群中心城市知识溢出与创新外部性

赵佩佩 江曼琦

**内容提要:**在日益强调城市群中心城市辐射带动作用的背景下,如何发挥中心城市创新外部性和提高非中心城市创新效率是城市群发展新质生产力面临的重要问题。本文基于新经济地理框架,构建能够分离城市群中心城市和非中心城市知识溢出和吸收能力行为的理论模型,考察城市群中心城市知识溢出及其产生的创新外部性效果,并对中国18个主要城市群进行实证分析。结果表明,中国城市群中心城市知识溢出能够提高非中心城市创新水平,中心城市知识溢出主要通过增加企业收益、强化研发投入、推动技术集聚等方式来提高非中心城市创新水平,非中心城市的吸收能力、城市间交通便利程度和城市群市场化水平在其中起积极作用。异质性分析结果显示,在市场化程度高、城市距离较短、创新基础设施完善、空间功能分工协调、多中心化发展、产业结构先进的城市群中,其中心城市强化知识溢出能更高效地提升非中心城市创新水平。基于研究结论,本文从优化城市职能分工、强化城市间联通、构筑城市群产业链等角度提出政策建议。

**关键词:**城市群 知识溢出 吸收能力 创新 创新外部性 协调发展

**中图分类号:**F061.5

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-7636(2025)08-0076-19

## 一、问题提出

“十一五”规划中,建设城市群上升为国家战略。经过多年发展,中国主要城市群<sup>①</sup>承载全国78%的人口,贡献超80%的国内生产总值(GDP),对区域发展的引擎带动作用愈发明显。进入新发展阶段后,过往的粗放型发展方式难以为继,迫切要求中国经济以新质生产力为抓手,实现由高速增长向高质量发展转型。新古典增长理论和内生增长理论都认为经济长期增长来源于创新与技术进步<sup>[1-2]</sup>。党的二十大强调“以城市群、都市圈为依托构建大中小城市协调发展格局”,党的二十届三中全会指出“引导大中小城市和小城镇协调发展”,这些论述对于推动产业、人口和各项生产要素向优势空间集聚,形成以城市群为主要载体的增长动力源,具有重要的指导意义。城市群作为高质量发展的主战场,在新发展阶段的定位逐渐由经济中心向创新高地转变<sup>[3]</sup>,因此必须高度关注城市群创新内涵,明确城市群创新发展路径,全面激发城市群创新活

收稿日期:2024-09-26;修回日期:2025-05-06

基金项目:重庆市社会科学规划青年项目“数字经济赋能重庆新质生产力的内在机理、效应评估与路径优化研究”(2024NDQN037);重庆市教育科学规划重点课题“重庆高校科技成果转化现状及政策支持研究”(K24YD2080082)

作者简介:赵佩佩 南开大学经济学院博士研究生,天津,300071;

江曼琦 南开大学经济学院/经济行为与政策模拟实验室教授、博士生导师,通信作者。

①“主要城市群”是指《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》提出的19个城市群。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

力,推动国家创新驱动发展战略和城市群战略齐头并进。

城市群是指由地域上相近的不同规模等级和功能类型的一系列城市形成的空间组织紧凑、经济联系紧密的城市群体。城市群的特点在于以一个或者两个超大或特大城市作为地区经济中心,大中小城市各具优势和互补性<sup>[4]</sup>。中国城市群中心城市具有绝对的创新产出优势,中心城市在2007—2022年发明专利授权量和人均发明专利授权量均远超非中心城市<sup>①</sup>,但在此期间非中心城市发明专利授权量占比从23.46%提升到34.46%,与中心城市的人均专利授权量的差距缩小,体现了非中心城市创新产出速度不断提升的特点,因此中心城市和非中心城市在创新领域的互动以及产生的效果成为关乎城市群整体创新能力提升的重要问题。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》提出“以中心城市和城市群等经济发展优势区域为重点……带动全国经济效率整体提升”。中心城市承担着城市群知识溢出中心功能,提升城市群整体创新能力的有效手段之一就是充分利用知识溢出的正外部性,因此关注城市群中心城市知识溢出的创新带动作用对于实现区域创新协调发展目标具有重要意义。

创新活动往往先在中心城市产生,再由中心城市向外围地区扩散辐射<sup>[5]</sup>。有学者认为以省会、经济强劲城市为代表的中心城市在创新合作和知识传播中处于中心位置<sup>[6-7]</sup>,但也有学者认为集聚会加剧中心城市对非中心城市的虹吸效应,产生更为严重的区域分化<sup>[8-9]</sup>。由于中心城市与边缘城市发展不平衡,中心城市利用技术进步、知识要素集聚的循环累积和路径依赖优势,不断剥夺边缘城市的创新价值<sup>[10]</sup>。虽然中心城市“强势”发展在一定程度上会削弱非中心城市对创新资源的吸引和利用,但总体来看,中心城市知识溢出极大地减少了非中心城市原始创新成本,若非中心城市能有效地吸收中心城市知识溢出,则对缩小城市间创新能力差异有积极影响。学界普遍认为有三大知识溢出机制。一是知识人才流动。人才流动带来的知识交流与互动被认为是产生溢出效应和推动城市创新能力提升的主要动力<sup>[11-12]</sup>。二是商品流通。贸易品是物化型技术知识外溢的一种重要传递渠道,技术落后地区往往通过进口高技术商品来进行模仿创新<sup>[13-14]</sup>。三是研发合作。创新活动风险大、周期长,故产学研结合已经成为一大发展趋势,通过经济主体之间横向或者纵向产业链领域的创新合作,知识要素可以在参与合作的主体间流动<sup>[15-16]</sup>。对于非中心城市而言,吸收能力是影响知识溢出效应发挥作用的关键因素,其核心在于经济主体如何从外部获取资源并实现有效学习和转化应用<sup>[17-18]</sup>,其主要受知识本身的复杂程度以及经济主体自身的研发投入<sup>[19-20]</sup>、人力资本、技术差距等因素的影响<sup>[21-25]</sup>。部分学者将吸收能力视为外生变量进行测度<sup>[10,26]</sup>。在吸收能力作用于知识溢出的方式上,交互效应<sup>[13,27]</sup>和门槛效应<sup>[28-29]</sup>已得到较为充分的论证,论证结果表明知识溢出的外部性效果会随经济主体吸收能力的改变而变化。

通过对相关文献的回顾,发现过往研究存在四方面的不足。第一,对知识溢出产生的创新提升效应研究不充分。早期全国整体创新能力偏弱,知识总量和溢出能力有限,故多数研究着眼于外国直接投资(FDI)活动所产生的知识溢出及其带来的后果。第二,对城市群知识溢出的外部性研究不足,尤其是对城市群中心城市主导的知识溢出所产生的正向外部性研究不足。第三,对不同类型知识溢出所产生的差异化效果讨论不足,由于知识有显隐性之分,城市群中心城市知识溢出也应分类讨论其对非中心城市所带来的创新影响。第四,对如何通过政策干预来优化城市群知识溢出和提高中心城市创新外部性的研究较少。随着中国自主创新能力不断提升,多数城市群已积累大量知识,具备了研究城市群内部知识溢出和创新产出关系的

① 目前对城市群中心城市和非中心城市并无统一说法,本文提及的城市群中心城市主要指自“十三五”以来重点规划的19个城市群中的国家中心城市、计划单列市和经济实力强劲的省会城市,而非中心城市则是指除中心城市外的其他地级市。

基础,因此着眼于中国城市群内部创新要素流动的研究势在必行。

本文将聚焦中国城市群中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的影响并进行理论探讨和实证分析,边际贡献主要有三点。一是构建可分离溢出中心城市对以吸收知识为主的非中心城市的知识溢出效应的理论模型,并系统分析中心城市知识溢出在非中心城市产生的企业收益提升、研发投入强化、技术集聚效应,以及非中心城市吸收能力、城市群交通便利程度和市场化水平所起的交互作用。二是根据知识溢出的不同载体,将知识分为显性知识和隐性知识,讨论中心城市不同类型知识溢出对非中心城市产生的创新外部性影响。三是讨论了市场化程度、国家创新型试点城市建设、城市群空间功能分工、单/多中心发展方式等城市群特征对于中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的差异化影响,为推动中心城市与非中心城市创新协同发展提供城市群层面建设的优化路径。

## 二、理论分析与研究假设

本文提出一个以城市群中心城市为知识溢出中心,非中心城市通过自身知识吸收能力来利用中心城市知识溢出以推动本地创新产出的理论模型。在关于知识溢出如何影响创新产出的问题上,伊顿和埃克斯坦(Eaton & Eckstein, 1997)、布莱克和亨德森(Black & Henderson, 1999)通过将内生增长理论中的人力资本积累模型与城市经济学研究框架相结合开展了一系列理论研究<sup>[30-31]</sup>。他们将人才流动作为知识溢出的载体,认为人力资本的外部性是导致城市创新发展的重要原因。本文借鉴该做法,将知识溢出与人力资本流动相结合。通过理论回顾发现,过往理论研究多关注知识在区域或城市间的相互流动或对称流动,未能分离溢出中心城市对以吸收知识为主的非中心城市的知识溢出效应,也未能将非中心城市对知识的吸收能力纳入模型,而城市群中心城市往往具有绝对创新优势,并且对非中心城市单向溢出知识,因此本文将重点对该现象进行理论分析。

考虑一个由两城市两部门单要素构成的城市群,其中中心城市为 $S$ ,非中心城市为 $NS$ 。两部门分别为传统产品部门 $A$ 和创新产品部门 $M$ ,借鉴克鲁格曼(Krugman, 1991)的新经济地理(NEG)模型设定<sup>[32]</sup>,两部门均以劳动力 $L$ 为唯一投入要素。传统产品部门具有规模报酬不变和完全竞争特点,以劳动力要素 $L_A$ 作为唯一可变生产投入。创新产品部门生产差异化产品,具有规模报酬递增和垄断竞争市场结构。创新产品部门使用劳动力要素 $L_M$ ,分为固定劳动力要素投入和可变劳动力要素投入两部分。劳动力要素从中心城市向非中心城市的流动需要考虑迁移成本 $\tau$  ( $0 < \tau < 1$ ),市场一体化程度越高或者交通网络越完善,迁移成本越低。另外,劳动力迁移的驱动因素在于可获得的效用大小。知识溢出主要作用于人力资本,可以通过对劳动力要素的替代来影响生产成本。为简化分析,假定所有产品在城市群贸易时不存在贸易成本,也不存在冰山成本。

### (一) 消费者与生产者行为

#### 1. 消费者行为

消费者消费传统产品和创新产品,效用函数为C-D函数形式,其中,创新产品的消费总量以常数替代弹性(CES)形式表示,此时代表性消费者效用函数形式为:

$$U = (1 - \alpha) \ln A + \alpha \ln M, 0 < \alpha < 1 \quad (1)$$

其中,

$$M = \left[ \int_0^{n^S + n^{NS}} m(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \sigma > 1 \quad (2)$$

式(1)中, $A$ 为城市群中代表性消费者消费传统产品数量, $M$ 为消费创新产品数量, $\alpha$ 表示创新产品占

两类产品的消费比重,  $(n^S + n^{NS})$  为中心城市和非中心城市创新产品种类数总和,  $m(i)$  为消费者对第  $i$  种创新产品的需求量,  $\sigma$  为不同创新产品之间替代弹性。CES 形式表明消费者对于多样性创新产品更为偏爱。

假设消费者收入  $y$  全部用于消费两种产品,  $P_A$  为传统产品价格,  $P_M$  为创新产品价格, 则消费者预算约束为:

$$P_A A + P_M M = P_A A + M \left[ \int_0^{n^S + n^{NS}} p(i)^{1-\sigma} di \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} = y \quad (3)$$

当传统产品为计价物时, 利用消费者效用式(1)一式(2)和预算约束式(3)进行最优化求解, 可以得到代表性消费者对传统产品和创新产品的需求函数, 分别为:

$$\begin{cases} A = \frac{(1-\alpha)y}{P_A} \\ M = \frac{\alpha y}{P_M} \end{cases} \quad (4)$$

## 2. 生产者行为

假设有传统产品和创新产品两部门, 传统产品部门使用  $l_A$  单位劳动力要素, 单位劳动力要素投入价格为  $w_A$ , 由于传统产品部门具有规模报酬不变且完全竞争市场的特点, 设定传统产品市场价格为  $P_A = l_A w_A$ 。在不考虑效用的情况下, 劳动力从中心城市向非中心城市迁移的条件为两类城市劳动报酬相等; 在考虑存在的迁移成本  $\tau$  的基础上, 1 单位劳动力从中心城市迁往非中心城市需要获得  $1+\tau$  的收入, 即当存在  $w_A^S = w_A^{NS}(\tau + 1)$  关系时, 两类城市的劳动力要素价格完全相等。为简化分析, 令中心城市劳动力要素价格为 1, 即  $w_A^S = w_A^{NS}(\tau + 1) = 1$ , 非中心城市劳动力要素价格为  $w_A^{NS} = 1/(\tau + 1)$ 。此外, 由于传统产品部门具有完全竞争市场特点, 产品在城市群中无冰山运输成本, 两类城市的传统产品价格相等, 有  $P_A^S = P_A^{NS}$  关系, 由此可得  $P_A^S = l_A^S w_A^S = l_A^{NS} w_A^{NS} = P_A^{NS}$ , 即迁移成本  $\tau$  能够影响非中心城市传统产品生产所需劳动力要素数量为:

$$l_A^{NS} = (1 + \tau) l_A^S \quad (5)$$

在创新产品部门中, 参考藤田和莫里(Fujita & Mori, 2005)<sup>[33]</sup>的研究, 将创新产品部门的劳动力投入量  $L_M$  分为固定投入和可变投入两部分, 即  $L_M(q_i) = C_M + l_M q_i$ , 其中  $C_M$  为创新产品部门固定劳动力投入要素,  $q_i$  为创新产品产量,  $l_M$  为创新产品部门使用的单位可变劳动力投入要素。与非创新产品部门相同, 创新产品部门也存在劳动力从中心城市向非中心城市流动的现象, 迁移成本  $\tau$  影响非中心城市生产创新产品所需的劳动力数量, 为简化分析, 仅可变生产要素部分会受到迁移成本投入影响, 即存在  $l_M^{NS} = (1 + \tau) l_M^S$ 。

假设中心城市为知识溢出城市, 而非中心城市为知识吸收城市, 根据内生增长理论, 知识溢出主要作用于人力资本, 中心城市劳动力资源向非中心城市流动过程中传播知识, 故本文引入知识溢出系数  $\gamma$  ( $0 < \gamma < 1$ ), 并将之作用于非中心城市创新产品部门劳动力要素  $l_M(q_i^{NS})$ , 同样仅可变生产要素会受到知识溢出效应投入影响, 中心城市溢出效应的增强可以减少非中心城市可变劳动力要素投入, 即随着  $\gamma$  增大, 非中心城市可变劳动力要素投入  $l_M^{NS} q_i$  减少。非中心城市创新产品部门劳动力要素需求为:

$$L_M(q_i^{NS}) = C_M + l_M^S q_i^{NS} (1 - \gamma) (1 + \tau) \quad (6)$$

基于以上设定, 非中心城市创新产品部门代表性企业生产成本  $Z_M(q_i^{NS})$  为:

$$Z_M(q_i^{NS}) = [C_M + l_M^S q_i^{NS} (1 - \gamma) (1 + \tau)] w_M^{NS} \quad (7)$$

从式(7)可知, 当其他因素不变时, 知识溢出系数越大, 非中心城市企业借助知识要素开展生产的成本就越低。考虑劳动力从中心城市向非中心城市迁移的成本, 为简化分析, 同样令中心城市劳动力要素价格

为1,中心城市和非中心城市创新产品部门劳动力成本之间的关系为  $w_M^S = w_M^{NS}(\tau + 1) = 1$ , 非中心城市的创新产品部门代表性企业利润函数为:

$$\pi(q_i^{NS}) = P_i^{NS}(q_i^{NS})q_i^{NS} - [C_M + l_M^S q_i^{NS}(1 - \gamma)(1 + \tau)]w_M^{NS} \quad (8)$$

创新产品部门为垄断竞争市场结构,在企业利润最大化和零利润条件下,非中心城市代表性企业创新产品生产价格和产量分别为:

$$\begin{cases} P_i^{NS} = \frac{\sigma}{\sigma - 1} l_M^S (1 - \gamma) \\ q_i^{NS} = \frac{(\sigma - 1)C_M}{l_M^S (1 - \gamma)(1 + \tau)} \end{cases} \quad (9)$$

由  $\partial q_i / \partial \gamma > 0$  可知,知识溢出系数  $\gamma$  与创新产品产量  $q_i^{NS}$  之间呈正向变动关系,说明中心城市的知识溢出水平越高,越有利于非中心城市企业创新产出水平提升。假设城市群非中心城市共有  $N^{NS}$  家创新产品生产企业,则非中心城市创新产品总产量为  $[(\sigma - 1)C_M / l_M^S (1 - \gamma)(1 + \tau)] \times N^{NS}$ 。根据以上分析,本文提出假设1。

假设1:中心城市的知识溢出对非中心城市创新产出提升具有推动作用。

本文在理论模型假设中提出知识溢出主要作用于人力资本,通过对劳动力要素的替代降低创新产品部门成本,从而提高创新产品产量,体现了知识溢出具有降低知识吸收方生产成本的重要效果。“一个企业从其他企业的研发活动中获利,但无须支付对方研发成本”是布兰施泰特(Branstetter,1998)<sup>[34]</sup>对知识溢出做出的经典定义,而成本的降低会直接影响企业创新行为。首先,创新行为存在极大的不确定性,往往需要大量资金<sup>[35]</sup>,而利用中心城市的知识溢出可以提高非中心城市企业整体利润水平,并且能通过协作过程,共担成本、降低风险和提升收益<sup>[20]</sup>。其次,企业收益提升后不仅具有更强的研究积极性,也拥有更多可投入创新活动的资金。为更好地吸收中心城市知识溢出,非中心城市还利用技术集聚效应来提高自身接收外界知识的能力,而在自身技术投入与创新产出的共同作用下,城市创新水平得到不断提升<sup>[36]</sup>。由此,本文进一步提出假设2。

假设2:城市群中心城市知识溢出可以通过企业收益提升效应、研发投入强化效应、技术集聚效应来提高非中心城市创新水平。

## (二) 劳动力市场出清和产品市场均衡

进一步分析城市群中心城市创新产品总产量。假设中心城市的生产行为不受知识溢出影响,仅依靠自身具有绝对优势的劳动力要素投入进行创新产品生产,也不存在劳动力流动的迁移成本,在企业利润最大化和零利润条件下,代表性企业的创新产品生产价格和产量分别为  $P_i^S = [\sigma / (\sigma - 1)] \times l_M^S$  和  $q_i^S = (\sigma - 1)C_M / l_M^S$ , 假设中心城市共有  $N^S$  家创新产品生产企业,则中心城市创新产品总产量为  $[(\sigma - 1)C_M / l_M^S] \times N^S$ 。

创新产品生产中,非中心城市代表性企业产量如式(10)所示,结合式(7)可得非中心城市代表性企业劳动力要素需求量为  $L_M(q_i^{NS}) = \sigma C_M$ , 则非中心城市创新产品部门对劳动力要素总需求量为  $\sigma C_M N^{NS}$ , 同理中心城市创新产品部门的总劳动力要素需求量为  $\sigma C_M N^S$ 。假设单位化城市群劳动力数量,则初始时城市群劳动力要素总量为1,其中中心城市和非中心城市传统产品部门使用的劳动力要素数量为  $L_A^S + L_A^{NS}$ , 创新产品部门使用的劳动力要素数量为  $\sigma C_M N^{NS} + \sigma C_M N^S$ 。由于迁移成本仅会影响劳动力要素在中心城市和非中心城市的流动,不会影响城市群整体劳动力要素数量,城市群劳动力要素数量仅会受知识溢出水平的影响,且在知识由中心城市向非中心城市溢出过程中受到非中心城市吸收能力的影响。令非中心城市知识吸收能力为  $\lambda$ , 则在吸收能力影响下知识溢出系数关系变为  $(1 - \gamma)\lambda$ , 并作用于可变劳动力比重  $l$ 。由此可知,城

市群中劳动力要素市场出清时有:

$$1 - (1 - \gamma)\lambda l = L_A^S + L_A^{NS} + \sigma C_M(N^S + N^{NS}) \quad (10)$$

城市群中心城市和非中心城市生产传统产品所使用的劳动力数量分别为  $L_A^S$ 、 $L_A^{NS}$ , 由于生产每单位传统产品的可变成本及售价均为 1, 产品总产出为  $L_A^S + L_A^{NS}$ 。由式(4)可得传统产品市场需求为  $(1 - \alpha)y$ , 令  $y^*$  表示均衡时消费者收入, 由此可得传统产品市场供需平衡时的均衡结果为:

$$L_A^S + L_A^{NS} = (1 - \alpha)y^* \quad (11)$$

结合对产品市场的分析可知, 在创新产品市场上, 城市群中心城市和非中心城市创新产品产量之和为  $\frac{(\sigma-1)C_M}{l_M^S} \left[ N^S + \frac{N^{NS}}{(1-\gamma)(1+\tau)} \right]$ , 达到均衡时, 创新产品总供给等于市场需求, 即满足以下关系:

$$\frac{(\sigma-1)C_M}{l_M^S} \left[ N^S + \frac{N^{NS}}{(1-\gamma)(1+\tau)} \right] = \frac{\alpha y^*}{P_M} \quad (12)$$

### (三) 知识溢出与非中心城市的知识吸收能力

考虑两城市在知识溢出和吸收能力作用下的劳动力要素间接效用水平变化的情况。初始情况下, 由于中心城市经济发展水平更高, 中心城市和非中心城市的劳动力要素间接效用必然为  $V_L^S > V_L^{NS}$ , 假设二者之间存在  $F = V_L^S - V_L^{NS}$  关系,  $F$  为两类城市的劳动力要素间接效用之差。由式(3)和式(4)可得到消费者间接效用函数为:

$$V(y, P_A, P_M) = (1 - \alpha)\ln(1 - \alpha) + \alpha\ln\alpha + \ln y - (1 - \alpha)\ln P_A - \alpha\ln P_M \quad (13)$$

假设中心城市劳动者收入水平为  $y^S = G^S$ , 该收入仅与劳动生产率有关, 而非中心城市劳动力收入不仅与当地劳动生产率有关, 且受到中心城市知识溢出水平和自身吸收能力影响, 设非中心城市的收入水平为  $y^{NS} = G^{NS} + \lambda\gamma G^{NS}$ ,  $\lambda$  ( $\lambda > 0$ ) 为吸收能力指数,  $\lambda$  越大则说明非中心城市吸收能力越强, 劳动力单位时间产出效率越高, 因此劳动者收入水平越高。将两个城市劳动者收入水平代入式(13)后计算  $F = V_L^S - V_L^{NS}$ , 得到:

$$F = \ln G^S - \ln[G^{NS}(1 + \lambda\gamma)] \quad (14)$$

若中心城市和非中心城市劳动力要素间接效用存在差异, 则会导致劳动力要素在城市间流动, 故仅在  $F = 0$  时能够达到均衡状态, 此时有  $\ln G^S = \ln[G^{NS}(1 + \lambda\gamma)]$ , 即存在  $G^S = G^{NS}(1 + \lambda\gamma)$  关系。将均衡时城市群整体消费者收入  $y = G^S + G^{NS} + \lambda\gamma G^{NS}$  代入式(12), 再结合式(9)中零利润条件下非中心城市代表性企业创新产品产出数量  $q_i^{NS} = (\sigma - 1)C_M/l_M^S(1 - \gamma)(1 + \tau)$ , 并将知识溢出系数  $\gamma$  视为恒定, 则非中心城市创新产品产出与中心城市知识溢出的关系如下:

$$N^* q_i^* = \frac{\alpha G^* (2 + \lambda\gamma^*)}{P_M [(1 - \gamma^*)(1 + \tau) + 1]} \quad (15)$$

将  $P_i^{NS} = \sigma / (\sigma - 1) \times l_M^S(1 - \gamma)$  代入式(15), 可得到创新产品产出为:

$$N^* q_i^* = \frac{\alpha G^* (2 + \lambda\gamma^*) (\sigma - 1)}{\sigma [(1 - \gamma^*)^2 (1 + \tau) - \gamma + 1] l_M^S} \quad (16)$$

由式(16)可知, 在非中心城市, 吸收能力  $\lambda$  正向影响城市创新产品总产量, 且通过影响中心城市的知识溢出乘数  $\gamma^*$  对创新产品总量产生影响。由此, 本文提出假设 3。

假设 3: 非中心城市知识吸收能力越强, 中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的正向影响就越大。

从知识溢出本身出发, 城市之间的研发合作、劳动力流动、贸易活动等均是知识溢出的主要途径, 而以上因素离不开城市群自身交通基础设施建设和市场交易成本的降低, 这也是影响城市群经济效率的重要因

素<sup>[4,37]</sup>。由此,本文提出假设4。

假设4:城市群内交通便利程度和市场化水平能够正向影响中心城市知识溢出与非中心城市创新产出之间的关系。

### 三、模型设定和变量选择

#### (一) 模型构建

基于理论分析,设定以下模型实证检验城市群中心城市知识溢出对非中心城市创新产出带来的影响:

$$y_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 spill_{i,t} + \mathbf{X}'_{i,t} \boldsymbol{\alpha} + \rho_i + \theta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (17)$$

其中,  $i$  表示城市,  $t$  表示年份。 $y_{i,t}$  为被解释变量,即城市群中非中心城市创新产出水平。 $spill_{i,t}$  为解释变量,即城市群中心城市知识溢出程度。 $\mathbf{X}'_{i,t}$  表示控制变量向量,  $\rho_i$  为城市固定效应,  $\theta_t$  为时间固定效应,  $\varepsilon_{i,t}$  表示独立同分布的误差项,以式(17)验证本文假设1。

设定以下模型进行机制检验:

$$MV_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 spill_{i,t} + \mathbf{X}'_{i,t} \boldsymbol{\gamma} + \rho_i + \theta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (18)$$

其中,  $MV_{i,t}$  为机制变量,表示中心城市知识溢出对非中心城市带来的降低成本、技术集聚、研发增强三项机制。

本文进一步检验非中心城市知识吸收能力、城市群交通便利程度和市场化水平在中心城市知识溢出影响非中心城市创新产出过程中带来的交互效果。另外,交互变量的引用可以缓解反向因果一类的内生性问题<sup>[38-39]</sup>,以增强研究结论的可信度,设定模型如下:

$$y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 spill_{i,t} + \beta_2 moder_{i,t} + \beta_3 (spill_{i,t} \times moder_{i,t}) + \mathbf{X}'_{i,t} \boldsymbol{\beta} + \rho_i + \theta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (19)$$

其中,  $moder_{i,t}$  为交互变量。本文将对核心变量和交互变量进行中心化处理以使回归系数具有更直观的含义<sup>[39]</sup>。本文对变量取对数处理,考虑到数据分布平滑性,对小于1的变量加1后再取对数。

#### (二) 数据说明和描述性统计分析

本文研究的城市群范围为“十四五”规划中公布的18个城市群(天山北坡城市群因数据缺失较多,因此不列入本文实证分析范围),共计211个样本城市。根据是否直辖市、省会城市、副省级城市,选择31个城市作为城市群中心城市。若城市群中仅有单一中心城市,则该城市为城市群知识溢出中心,其余城市为知识吸收城市;若城市群中有超过一个中心城市,则根据中心城市与非中心城市之间的地理质心距离来匹配知识溢出-吸收城市对。按照以上匹配规则,共形成180个城市对。由于2006年“十一五”规划首次提出城市群发展战略,本文研究起始时间设定为2007年;考虑到数据可得性,本文研究年份范围为2007—2021年。本文的研究变量设定如下。

##### 1. 被解释变量:非中心城市创新产出

专利数据是衡量创新产出较为常见的指标<sup>[40]</sup>。本文主要利用人均专利授权量( $aperpatlc$ )衡量非中心城市创新产出水平(件/万人),专利数据均源于上海经禾信息技术有限公司中国研究数据服务平台(CNRDS)。除专利数据外,考虑到创业行为与城市创新水平具有较强的关系,本文以非中心城市新增私营企业数( $firm$ )表示创新水平,新增私营企业数来源于以国家企业信用信息公示系统为数据源的天眼查数据库。

##### 2. 解释变量:中心城市知识溢出

存量研发投入是较为常见的用于衡量知识存量的指标,而知识存量作为知识溢出的重要基础常被用于

表示知识溢出<sup>[26,41-42]</sup>,本文也采用这一指标来表示城市群中心城市知识溢出水平。按照永续盘存法计算城市的存量研发投入,折旧率为 15%。城市研发投入数据来源于《中国城市统计年鉴》中地方财政一般预算内支出的科技支出部分(亿元),由于年鉴中从 2001 年起较为全面披露全市地方政府预算内收支及科技和教育支出相关数据,累计存量研发投入的起始年份为 2001 年。考虑到专利也是知识溢出的重要载体<sup>[20]</sup>,本文还将利用中心城市存量专利授权件数(*spatlc*)进行稳健性分析。在计算中心城市存量专利授权量时需要考虑专利失效情况,根据中国法律规定,发明专利有效期为 20 年,实用新型和外观专利有效期为 10 年,由于本文的研究时间跨度为 2007—2021 年,在不考虑中间年份专利失效的前提下,将 2001 年后授权的发明专利和 2011 年后授权的实用新型和外观专利数据进行累计,同样采用永续盘存法,以 15% 的折旧率进行存量数据计算,并将三类专利授权数据逐年加总以获得总体的存量专利授权量数据。

### 3. 机制变量

#### (1) 企业收益提升效应

由于尚无城市层面全部企业创造收益相关数据,考虑到工业企业是重要的创新主体,本文以规模以上工业企业利税总额(*profit*)来表示企业收益创造能力,数据来源于《中国城市统计年鉴》。

#### (2) 研发投入强化效应

目前尚无城市层面研发投入数据,因此利用历年《中国科技统计年鉴》公布的省级规模以上工业企业研发投入与地市级多个经济社会指标占该省份比重进行对比匹配,形成城市层面企业研发投入数据(*rdi*)。

#### (3) 技术集聚效应

参考白俊红等(2022)<sup>[36]</sup>的做法,以式(20)表示非中心城市技术集聚水平(*tecag*):

$$tecag_{i,t} = \frac{gover\_tech_{i,t} \times 0.5}{per\_patent_{i,t} \times 0.5} \quad (20)$$

其中,*gover\_tech<sub>i,t</sub>*表示地方政府科学技术支出占预算总支出的比重,*per\_patent<sub>i,t</sub>*表示人均专利申请量标准化值水平。

### 4. 交互变量

#### (1) 非中心城市吸收能力

本文选取以下三个变量来表示非中心城市知识吸收能力。一是非中心城市研发水平。由理论分析可知,知识吸收能力与城市研发水平具有极大关联。科恩和利文索尔(Cohen & Levinthal, 1989)的研究表明,研发努力程度不仅可以提升创新主体自身技术水平,也有利于创新主体吸收外部知识<sup>[21]</sup>。研发投入水平是衡量吸收能力较为常见的指标<sup>[41]</sup>,故本文采用城市群非中心城市当年研发投入(*ordinv*)表示该城市知识吸收能力。二是非中心城市劳动力流动水平。人力资本是实现知识吸收的主体,因此本文以剔除因自然增长因素后城市人口变动总数中带来的人口机械变动来表示劳动力流动率(*flow*)。三是中心城市与非中心城市的技术差距。在众多文献中技术差距(*gap*)也对吸收能力具有较大的影响。一方面,技术差距表示潜在的学习机会,在国际贸易理论领域,若贸易双方之间技术差距越大,则接收方可借鉴吸收的知识就越多<sup>[24]</sup>;另一方面,若贸易双方之间技术差距过大,则落后方不具备吸收学习知识的先决条件<sup>[43]</sup>。本文利用技术差距作为第三个表征吸收能力的指标。借鉴本哈比卜和施皮格尔(Benhabib & Spiegel, 1994)、恩格尔布雷希彻(Engelbrecht, 1996)<sup>[44-45]</sup>关于技术差距的研究,利用式(21)计算城市群非中心城市与中心城市的技术差距:

$$GAP_{i,t} = \frac{\max T_{c,t} - T_{i,t}}{T_{i,t}} \quad (21)$$

其中,  $GAP_{i,t}$  表示  $t$  年  $i$  非中心城市与所在城市群中心城市技术差距,  $\max T_{c,t}$  表示城市群中心城市技术水平;  $T_{i,t}$  为城市群非中心城市技术水平, 以城市群中心城市与非中心城市人均专利授权量表示技术水平。

### (2) 城市群交通便利程度

以城市群中心城市到非中心城市之间的最短车辆驾驶距离(*road*) 衡量城市群交通便利程度。利用网站 OpenStreetMap 导出中国路网数据, 裁剪出 18 个城市群路网图层, 以城市地理质心之间的驾车距离作为计算标准。

### (3) 城市群市场化水平

本文参考相关文献选取城市层面市场化指数作为交互变量<sup>[46-47]</sup>。将市场化指数结合较为常见的以国内生产总值(GDP)与政府预算比值来表示市场化程度的做法进行对照和差值补充。将城市群中心城市和非中心城市市场化指数(*market*) 交乘纳入模型进行检验。

## 5. 其他控制变量

根据已有研究, 选取如下控制变量。经济发展水平(*pgdp*), 以人均 GDP(万元/人)表示。其他非中心城市知识溢出(*ucspill*), 城市群非中心城市不仅会受到中心城市知识溢出的影响, 同样也会受到周边非中心城市知识溢出的影响, 因此需要控制其他非中心城市的创新外部性。计算方式上, 本文首先加总该城市群其他非中心城市的存量研发投入, 再利用空间杜宾模型(SDM) 计算出在空间权重矩阵影响下该城市群知识溢出对创新产出的影响弹性系数, 将二者乘积用于表示该城市群其他非中心城市知识溢出控制变量。劳动要素成本(*awage*), 以职工平均工资水平(万元)表示。金融市场水平(*load*), 以年末金融机构贷款余额占 GDP 的比重表示。产业结构(*ser*), 以第三产业增加值占 GDP 比重表示。对外经济(*fidi*), 以当年实际使用外资数占 GDP 的比重表示。劳动力数量(*lab*), 以年末单位从业人员(万人)表示。通信与网络水平(*intnet*), 以城市群中心城市和非中心城市邮电业务总金额乘积(亿元)表示。财政水平(*fince*), 以地方财政一般预算内收支比表示。以上数据均来自历年《中国城市统计年鉴》。

## 6. 描述性统计

主要变量描述性统计结果见表 1。其中, 城市群中心城市在人均专利授权、研发投入、劳动力数量、人均 GDP、工资水平等多个指标上具有较大优势; 中心城市具有城市群研发创新和经济发展中心特质, 具有知识溢出中心功能。

表 1 主要变量描述性统计结果

符号	非中心城市			中心城市			全样本		
	样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差	样本量	均值	标准差
<i>aperpatlc</i>	2 700	10.543 6	24.146 4	465	29.172 8	45.427 8	3 165	13.281 5	29.044 6
<i>srdinv</i>	2 700	21.736 7	48.563 6	465	180.067 0	356.276 5	3 165	44.998 5	154.173 4
<i>pgdp</i>	2 700	4.721 6	3.253 3	465	7.867 9	3.719 3	3 165	5.184 1	3.507 1
<i>awage</i>	2 700	4.970 5	2.258 9	465	6.761 7	3.247 9	3 165	5.232 2	2.509 2
<i>load</i>	2 700	0.822 3	0.469 4	465	1.903 7	0.728 5	3 165	0.981 2	0.642 2
<i>ser</i>	2 700	38.618 4	8.535 2	465	53.882 1	9.221 6	3 165	40.857 5	10.187 4
<i>fidi</i>	2 700	0.279 6	0.283 5	465	0.468 6	0.334 5	3 165	0.308 0	0.299 3
<i>lab</i>	2 700	42.979 2	35.590 9	465	194.983 4	180.836 2	3 165	65.311 6	93.664 6
<i>intnet</i>	2 700	37.220 2	46.306 3	465	199.618 6	243.128 3	3 165	61.102 3	117.536 6
<i>fince</i>	2 700	0.466 2	0.210 1	465	0.721 2	0.175 5	3 165	0.503 6	0.224 3

## 四、实证结果与分析

### (一) 基准回归

基准回归结果如表 2 所示。列(1)表明中心城市存量研发投入对非中心城市创新产出具有正向影响,且中心城市存量研发投入提升 1%,非中心城市创新产出增加 0.109 8%,结果符合假设 1。列(2)和列(3)则是分别以非中心城市专利授权总量和新增私营企业数量为被解释变量的回归结果,结果均表明中心城市知识溢出对非中心城市具有创新外部性。

表 2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
<i>srdinv</i>	0.109 8** (0.053 9)	0.202 2** (0.077 9)	0.171 0*** (0.056 7)
<i>pgdp</i>	0.228 2*** (0.077 0)	0.644 8*** (0.106 2)	0.155 7** (0.068 8)
<i>ucspill</i>	0.165 7*** (0.025 9)	0.037 4 (0.043 1)	-0.048 7 (0.031 9)
<i>awage</i>	0.130 8*** (0.040 1)	0.067 3 (0.057 8)	-0.009 6 (0.043 8)
<i>load</i>	0.145 9* (0.080 9)	0.390 3*** (0.145 8)	0.130 6 (0.081 4)
<i>ser</i>	0.948 6* (0.529 0)	0.306 2 (0.746 3)	-0.010 6 (0.511 4)
<i>fdi</i>	-0.013 4 (0.010 5)	0.008 9 (0.016 9)	0.036 2*** (0.011 1)
<i>lab</i>	0.061 5 (0.043 1)	0.062 4 (0.069 0)	-0.005 5 (0.045 2)
<i>intnet</i>	0.008 2 (0.009 1)	0.027 3** (0.011 3)	0.030 6** (0.013 7)
<i>fince</i>	-0.212 9 (0.202 0)	-0.034 9 (0.277 4)	0.811 4*** (0.263 9)
常数项	-4.269 0*** (1.078 4)	-3.841 5** (1.596 3)	3.963 8*** (1.116 5)
城市固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
样本量	0.960 9	0.959 7	0.951 2
<i>R</i> <sup>2</sup>	2 700	2 700	2 700

注:列(1)—列(3)的被解释变量分别为 *aperpatlc*、*apatlc* 和 *firm*。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%的水平下显著,括号内为聚类稳健标准误,后表同。

### (二) 内生性分析

为了确保回归结果可靠,采取工具变量法进行内生性分析。从工具变量选取的排他性和相关性特点出发,以中心城市历史研发情况作为知识溢出水平的工具变量,选择城市群中心城市 1989 年专利申请量进行工具变量分析。从工具变量相关性来看,专利数据是较为理想的用于表示知识溢出水平的代理变量<sup>[10,48]</sup>。早期中心城市专利申请或专利授权行为是后期形成知识存量的重要基础,也影响后期中心城市知识溢出水平,满足工具变量相关性要求。从排他性来看,早年城市群尚未形成,城市之间劳动力流动、分工协作等活动受到户籍、交通、市场分割、网络通信不发达等因素限制,中心城市早年申请或授权专利难以直接影响非中心城市创新行为,因此中心城市 1989 年专利申请量基本满足工具变量排他性要求。由于 1989 年专利申请量并非时变量,需要引入随时间变化的变量构造面板工具变量<sup>[49]</sup>,本文引入中心城市邮政业务总量构造时变工具变量,以 *IV* 表示。

表 3 是分别以非中心城市人均专利授权量、专利授权总量、新增私营企业数为被解释变量的工具变量回归结果。第一阶段回归系数为正,且在 1%水平下显著,并且工具变量不存在识别不足、弱工具变量等问题。由此表明中心城市知识溢出

能够带来正向的创新外部性,基准回归结果稳健。

表3 工具变量检验回归结果

变量	<i>aperpatlc</i>		<i>apatlc</i>		<i>firm</i>	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>IV</i>	0.228 0*** (0.017 2)		0.228 0*** (0.017 2)		0.228 0*** (0.017 2)	
<i>srdinv</i>		0.481 4*** (0.029 4)		0.781 4*** (0.037 7)		0.624 7*** (0.027 0)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Kleibergen-Paap rk LM	235.291 0***		235.291 0***		235.291 0***	
Kleibergen-Paap rk Wald F	175.805 0		175.805 0		175.805 0	
样本量	2 700	2 700	2 700	2 700	2 700	2 700

注:Stock-Yogo 弱工具变量识别检验在 10%水平下临界值为 16.380 0。

### (三) 知识分类讨论

本文进一步地将知识以显性、隐性进行类型划分。隐性知识一般根植于个体中,通过人才之间的流动和交流进行传播,而显性知识的载体往往是学术论文或者专利引用<sup>[20]</sup>,因此本文以城市群中心城市研发人员数(*rdp*)作为隐性知识溢出的代理变量,利用历年《中国科技统计年鉴》公布的省级规模以上工业企业研发人员数与地市级多个经济社会指标占该省份比重数据进行对比匹配获取相关数据。目前城市层面全量的专利引用数据较难获取,因此本文以中心城市和非中心城市上市公司之间的专利转移量(*ptran*)表示隐性知识。以每万人专利授权量为被解释变量的回归结果如表4所示。回归结果表明,中心城市隐性知识溢出增加1%,非中心城市创新产出水平提升0.227 1%,不仅高于显性知识的溢出系数,也高于基准回归中知识溢出的回归系数,说明隐性知识溢出具有较强的创新外部性。

表4 中心城市显隐性知识溢出影响回归结果

变量	(1)	(2)
<i>rdp</i>	0.227 1*** (0.056 8)	
<i>ptran</i>		0.020 6** (0.009 2)
常数项	-5.001 9*** (1.069 0)	-3.016 6*** (1.007 5)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
样本量	2 700	2 700
$R^2$	0.961 6	0.960 8

### (四) 稳健性检验

#### 1. 替换核心变量

基准回归和工具变量回归中已替换被解释变量进行分析,因此本部分将替换核心解释变量。将原以15%折旧率计算的存量研发投入以10%(*srdinv10*)、5%(*srdinv5*)折旧率计算,结果如表5列(1)、列(2)所示。表5列(3)和列(4)分别是将原解释变量替换为城市群中心城市存量研发投入占比(*srdinvp*)、存量专利授权量(*spatlc*)进行回归的结果。替换核心变量的结果表明回归结果稳健。

表 5 更换核心变量的回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>srdinv</i> 10	0.106 1* (0.058 7)			
<i>srdinv</i> 5		0.108 4* (0.063 1)		
<i>srdinv</i> p			8.353 3*** (2.103 0)	
<i>spatl</i> c				0.319 4*** (0.066 1)
常数项	-4.269 4*** (1.103 0)	-4.325 2*** (1.124 7)	-3.199 5*** (0.988 8)	-5.744 3*** (1.056 3)
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	2 700	2 700	2 700	2 700
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.960 8	0.960 8	0.961 7	0.962 1

2. 样本子区间模型估计

剔除部分年份数据进行样本子区间模型估计。剔除国际金融危机发生时期 2007—2008 年样本数据进行回归分析,结果如表 6 列(1)所示。剔除新冠疫情发生后 2020—2021 年的样本数据,结果如表 6 列(2)所示。回归结果表明基准回归结果稳健。

3. 改变中心城市样本

分别以城市群中心城市与非中心城市地理质心之间的最短驾车距离和驾车时间来匹配溢出-吸收城市对。如表 6 列(3)和列(4)所示,回归结果同样表明本文核心结论稳健。

表 6 样本子区间模型和改变中心城市样本回归结果

变量	样本子区间估计		改变中心城市样本	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>srdinv</i>	0.089 4* (0.053 4)	0.154 0** (0.064 4)	0.109 9** (0.054 0)	0.110 1** (0.054 0)
常数项	-3.669 1*** (1.200 6)	-5.582 5*** (1.183 1)	-4.268 6*** (1.078 4)	-4.271 6*** (1.078 3)
控制变量	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
样本量	2 340	2 340	2 700	2 700
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.965 8	0.957 5	0.960 9	0.960 9

注:列(1)为剔除金融危机发生时期样本后的回归结果,列(2)为剔除新冠疫情样本后的回归结果,列(3)是以最短驾车距离确定中心城市后的回归结果,列(4)是以驾车时间确定中心城市后的回归结果。

### (五) 异质性分析

#### 1. 市场化程度异质性分析

借鉴较为常见的市场化指数研究<sup>[46-47]</sup>,以城市群内城市平均市场化程度进行分组回归。回归结果如表7所示,结果表明高市场化程度城市群中心城市知识溢出的正向影响非中心城市创新产出,而低市场化程度城市群对非中心城市创新产出无影响。因此,提升市场化程度,理顺政府与市场关系对于发挥中心城市知识溢出的正向外部性具有积极作用。

#### 2. 与中心城市的距离异质性分析

本文以城市群非中心城市与中心城市的地理质心距离作为异质性划分标准进行检验,回归结果如表7所示。结果表明,距离城市群中心城市更近的非中心城市能够更好地接收到知识溢出,由此也能带来更高的创新产出,而距离中心城市较远的城市回归系数较小且不显著。

#### 3. 国家创新型试点城市异质性分析

国家创新型城市试点政策是实施创新驱动发展战略过程中的重要渐进式改革<sup>[36]</sup>,该政策的实施目标在于通过建设创新型城市以提高自主创新能力。按照是否为国家创新型试点城市进行分类的回归结果如表7所示,城市群中心城市的知识溢出对于试点的非中心城市带来的创新产出回归系数高达0.2943,表明创新型试点城市建设不仅有利于城市本身创新水平的提升,也有利于更好地利用中心城市知识溢出。

表7 市场化程度、城市距离、国家创新型试点城市异质性分析回归结果

变量	市场化程度		与中心城市的距离		国家创新型试点	
	高	低	近	远	试点城市	非试点城市
<i>srdinv</i>	0.1959** (0.0834)	0.0112 (0.0668)	0.2033*** (0.0719)	0.0239 (0.0822)	0.2943* (0.1512)	0.0407 (0.0524)
常数项	-2.7840* (1.6170)	-6.4889*** (1.4008)	-6.1143*** (1.4592)	-4.0373** (1.5678)	-3.0237 (2.2608)	-4.1386*** (1.2356)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	1380	1320	1350	1350	600	2100
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.9713	0.9428	0.9642	0.9584	0.9679	0.9479

#### 4. 城市群空间功能分工异质性分析

明确各城市分工定位,不仅有利于形成功能互补的产业协作关系,也能够避免出现产业趋同现象和水平重复建设,高效汲取知识溢出带来的正向外部性,故本文以城市群空间功能分工程度进行异质性分析。借鉴刘胜等(2019)、赵勇和白永秀(2012)<sup>[50-51]</sup>的经验,以式(22)计算城市群功能分工指数:

$$division_{i,t} = \frac{\sum_{k=1}^N L_{iks,t} / \sum_{k=1}^N L_{ikp,t}}{\sum_{k=1}^N \sum_{k=1}^M L_{iks,t} / \sum_{k=1}^N \sum_{k=1}^M L_{ikp,t}} \quad (22)$$

其中,  $\sum_{k=1}^N L_{iks,t}$  表示  $t$  时期  $i$  城市所有科技型服务业从业人员数量,  $\sum_{k=1}^N L_{ikp,t}$  是  $t$  时期  $i$  城市所有制造业从业人员数量;  $\sum_{k=1}^N \sum_{s=1}^M L_{iks,t}$  表示  $t$  时期全国所有科技型服务业从业人员数量,  $\sum_{k=1}^N \sum_{p=1}^M L_{ikp,t}$  是  $t$  时期全国所有制造业从业人员数量,  $k = 1, 2, \dots, N$  表示城市中产业,  $s$  是科技型服务业从业人员,  $p$  是制造业从业人员。科技型服务业包括科学研究和技术服务业, 金融业, 租赁和商务服务业, 科学研究、技术服务业和地质勘探业, 信息传输计算机服务和软件业从业人员, 而制造业包括制造业, 采矿业, 电力、燃气及水的生产和供应业从业人员。由表 8 可知, 高分工程度城市群的回归系数为 0.200 1, 且在 1% 水平下显著, 说明城市群空间功能分工越完善, 越有利于发挥中心城市的知识溢出外部性。

### 5. 多中心和单中心城市群异质性分析

按照城市群中心城市数量分成多中心城市和单中心城市群两类进行异质性分析(京津冀、长三角、珠三角、长江中游、成渝、粤闽浙沿海、辽中南、哈长、山东半岛为多中心城市群)。表 8 的回归结果表明, 多中心城市群中心城市知识溢出正向影响非中心城市创新产出。因此, 加强多中心集聚是优化城市群空间结构和非中心城市“规模借用”, 激发城市创新活力的重要手段<sup>[20]</sup>。

### 6. 产业结构异质性分析

以城市群产业结构为异质性特征进行分析, 将 18 个城市群按照第三产业增加值占 GDP 比重进行分组。如表 8 所示, 高第三产业占比城市群中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的带动作用更强, 表明城市群产业结构优化升级对于提高中心城市知识溢出创新外部性具有积极作用。

表 8 城市群功能分工、中心城市数量、产业结构异质性分析回归结果

变量	城市群空间功能分工		多中心和单中心城市		产业结构	
	高分工程度	低分工程度	多中心城市	单中心城市	高第三产业占比	低第三产业占比
<i>srdinv</i>	0.200 1*** (0.062 4)	0.105 3 (0.071 8)	0.239 0*** (0.062 9)	-0.034 2 (0.089 5)	0.178 0** (0.075 9)	0.055 8 (0.058 1)
常数项	-6.482 1*** (1.425 0)	-1.722 6 (1.309 5)	-8.154 4*** (1.248 4)	2.021 4 (1.464 2)	-2.234 6 (1.734 3)	-5.528 9*** (1.420 9)
城市固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本量	1 560	1 140	1 815	885	1 110	1 590
$R^2$	0.965 0	0.946 8	0.963 3	0.933 3	0.968 1	0.943 2

### (六) 企业收益提升效应、研发投入强化效应、技术集聚效应机制检验

以式(18)进行机制检验的结果如表 9 所示。企业收益提升效应(*profit*)检验结果表明, 城市群中心城市知识溢出水平提升 1%, 非中心城市企业收益提升 0.073 7%, 非中心城市企业在创新外部性的影响下获取更高利润, 由此也能将更多要素资源投入创新活动。研发投入强化效应(*rdi*)检验结果表明, 城市群中心城市知识溢出水平提升, 能够正向影响非中心城市企业研发投入, 而企业作为创新主体, 其研发投入提升也有利于提升城市创新水平。技术集聚效应(*tacag*)检验结果表明, 城市群中心城市知识溢出能够提升非中心城市技术集聚水平, 即有利于壮大城市科技投入和增加创新产出, 而技术集聚水平的提升也有利于增强城市整

体创新水平。以上回归结果验证了假设 2。

表 9 机制检验回归结果

变量	<i>profit</i>	<i>rdi</i>	<i>tacag</i>
<i>srdinv</i>	0.073 7** (0.036 8)	0.086 6* (0.051 1)	0.202 2** (0.077 9)
常数项	10.257 0*** (1.035 0)	6.002 2*** (0.985 3)	-4.534 2*** (1.596 2)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
$R^2$	0.981 7	0.976 4	0.959 7
样本量	2 700	2 700	2 700

(七) 交互作用检验

1. 非中心城市吸收能力的交互作用

以式(19)对假设 3 进行验证的结果如表 10 所示,列(1)为以城市群非中心城市自身研发水平为吸收能力交互变量的回归结果,说明城市群非中心城市自身研发投入水平越高,越有利于通过吸收中心城市的知识溢出来提升自身创新能力。列(2)则是以劳动力流动为吸收能力交互变量的回归结果,说明劳动力流动越频繁,中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的正向影响越明显。列(3)以中心城市与非中心城市技术差距为吸收能力交互变量的回归结果中,交互项的回归系数为 0.019 2,表明中心城市与非中心城市之间技术差距越大,潜在学习机会越多,非中心城市借鉴中心城市的知识也会相应越多,该结论与国际贸易领域所论证的技术差距与吸收能力具有正向关系的结果一致<sup>[24]</sup>,但是技术差距对非中心城市创新产出的回归系数为-0.234 4,在一定程度上说明过大的技术差距本身不利于非中心城市创新水平提升,但吸收能力机制能够有效缓解其负面影响。以上回归结果验证了假设 3。

表 10 吸收能力交互效应回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
<i>srdinv</i>	0.100 3* (0.052 5)	0.114 3** (0.054 4)	0.107 7** (0.050 9)
<i>ordinv</i>	0.087 0*** (0.022 2)		
<i>srdinv</i> × <i>ordinv</i>	0.021 7*** (0.007 6)		
<i>flow</i>		0.573 6** (0.283 1)	
<i>srdinv</i> × <i>flow</i>		0.579 5*** (0.207 3)	
<i>gap</i>			-0.234 4*** (0.034 3)
<i>srdinv</i> × <i>gap</i>			0.019 2** (0.008 7)
常数项	-3.820 7*** (0.979 1)	-4.558 0*** (1.070 1)	-5.492 8*** (1.018 8)
控制变量	控制	控制	控制
城市固定效应	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制
样本量	2 700	2 700	2 700
$R^2$	0.962 7	0.961 2	0.959 6

## 2. 城市群交通便利程度、市场化水平的交互效应

以城市群中心城市和非中心城市最短交通距离为交互变量的回归结果如表 11 所示,交互项的回归系数显著为正,说明缩短城市之间的最短交通距离有利于中心城市知识溢出对非中心城市创新产出带来正向影响。进一步考察城市群市场化水平的交互作用,如表 11 的回归结果所示,城市群市场化程度提升能够正向促进中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的影响程度。回归结果验证了假设 4。

表 11 城市群交通便利程度、市场化水平交互效应回归结果

变量	(1)	(2)
<i>srdiv</i>	0.090 3 <sup>*</sup> (0.053 1)	0.117 1 <sup>**</sup> (0.053 3)
<i>road</i>	0.146 5 (0.448 6)	
<i>srdiv</i> × <i>road</i>	-0.025 1 <sup>**</sup> (0.011 9)	
<i>market</i>		0.132 2 (0.208 6)
<i>srdiv</i> × <i>market</i>		0.099 8 <sup>*</sup> (0.057 7)
常数项	-4.962 5 <sup>***</sup> (0.979 1)	-4.516 0 <sup>***</sup> (1.056 3)
控制变量	控制	控制
城市固定效应	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
样本量	2 700	2 700
$R^2$	0.961 2	0.961 1

## 五、研究结论与政策建议

发挥中心城市知识溢出作用是提升城市群整体创新能力的重要手段。本文基于 2007—2021 年城市群数据,研究表明,中心城市知识溢出对非中心城市创新产出提升具有积极作用,其中隐性知识溢出具有更强的创新外部性;中心城市知识溢出通过降低非中心城市企业生产运营成本、强化研发投入、推动技术集聚来提升非中心城市创新水平;非中心城市的吸收能力对中心城市知识溢出具有交互作用;城市之间的交通便利程度、城市群市场化水平能够正向影响中心城市知识溢出对非中心城市创新产出的作用;国家创新型试点城市越多、城市群空间功能分工程度高、多中心、第三产业占比高的城市群里,中心城市知识溢出的创新外部性更强。

根据本文研究结论,提出以下三方面的政策建议。一是优化城市职能分工,推动产业有序转移。增强

中心城市高端产业功能,强化科技创新、信息传输、金融等环节的发展,形成高端制造业和生产性服务业为主导的产业结构。要推动中心城市低端制造业或产业链非核心环节有序向周边城市转移,形成城市群中心城市与非中心城市特色鲜明、优势互补的发展格局。非中心城市要提高产业承接能力,夯实制造与服务基础,充分利用自身生产经营成本较低优势,不断强化产业配套措施和出台具有吸引力的招商政策,积极承接城市群中心城市的产业转移。二是完善城市群基础设施“硬联通”,推动规则机制“软联通”。城市群应该加强以轨道交通、高速公路为骨架的多层次快速交通网建设,逐步实现都市区1小时通勤,城市群2小时通达的目标。此外,还需加强城市群网络通信覆盖和数字基础设施互联互通水平,在城市群中推行“一张网”实践,统筹城市网络、算力资源、物联网等,推动城市群数据要素互联互通。三是构筑城市群区级产业链,加强城市间创新合作。首先,城市群要延长产业链、提升创新链、拓展供应链,中心城市要将更多周边城市纳入自身产业布局,以产业协作促进城市群一体化发展。其次,要充分利用城市群知识溢出机制,通过发展高技术服务业,如科技中介服务和知识产权保护服务等,促进知识技术在城市群中流动。

#### 参考文献:

- [1] SOLOW R M. Technical change and the aggregate production function[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3): 312-320.
- [2] ROMER P M. Capital, labor, and productivity[J]. *Brookings Papers on Economic Activity: Microeconomics*, 1990, 1990: 337-367.
- [3] 马海涛,徐植钫,江凯乐. 中国城市群技术知识多中心性演化特征及创新效应[J]. *地理学报*, 2023, 78(2): 273-292.
- [4] 李培鑫,张学良. 城市群集聚空间外部性与劳动力工资溢价[J]. *管理世界*, 2021, 37(11): 121-136.
- [5] FRIEDMANN J. *Regional development policy: a case study of Venezuela*[M]. Cambridge: MIT Press, 1966.
- [6] 吕拉昌,李勇. 基于城市创新职能的中国创新城市空间体系[J]. *地理学报*, 2010, 65(2): 177-190.
- [7] 牛欣,陈向东. 城市间创新联系及创新网络空间结构研究[J]. *管理学报*, 2013, 10(4): 575-582.
- [8] DURANTON G, PUGA D. From sectoral to functional urban specialisation[J]. *Journal of Urban Economics*, 2005, 57(2): 343-370.
- [9] 范剑勇. 产业集聚与地区间劳动生产率差异[J]. *经济研究*, 2006(11): 72-81.
- [10] 朱丰毅,桂文林. 粤港澳区域知识溢出与经济增长[J]. *数量经济技术经济研究*, 2022, 39(3): 44-65.
- [11] AUDRETSCH D B, FELDMAN M P. Knowledge spillovers and the geography of innovation[J]. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 2004, 4: 2713-2739.
- [12] 郑江淮,章激扬. 全球高技术发明人才地理:技术中心度与多中心外围式变迁[J]. *经济与管理研究*, 2023, 44(1): 3-24.
- [13] 诸竹君,黄先海,王毅. 外资进入与中国式创新双低困境破解[J]. *经济研究*, 2020, 55(5): 99-115.
- [14] 张毅,王军. 自由贸易试验区设立对城市创新能力的影响[J]. *首都经济贸易大学学报*, 2024, 26(4): 68-82.
- [15] COMBES P P. Economic structure and local growth: France, 1984-1993[J]. *Journal of Urban Economics*, 2000, 47(3): 329-355.
- [16] 余泳泽,刘大勇. 我国区域创新效率的空间外溢效应与价值链外溢效应——创新价值链视角下的多维空间面板模型研究[J]. *管理世界*, 2013(7): 6-20.
- [17] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation[J]. *Administrative Science Quarterly*, 1990, 35(1): 128-152.
- [18] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Fortune favors the prepared firm[J]. *Management Science*, 1994, 40(2): 227-251.
- [19] JENSEN M B, JOHNSON B, LORENZ E, et al. Forms of knowledge and modes of innovation[J]. *Research Policy*, 2007, 36(5): 680-693.
- [20] 魏守华,顾佳佳,姜悦. 知识溢出、吸收能力与经济绩效的研究述评[J]. *现代经济探讨*, 2017(9): 123-132.
- [21] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Innovation and learning: the two faces of R&D[J]. *The Economic Journal*, 1989, 99(397): 569-596.
- [22] OH J M. Absorptive capacity, technology spillovers, and the cross-section of stock returns[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2017, 85: 146-164.

- [23] 谢建国,周露昭. 进口贸易、吸收能力与国际 R&D 技术溢出:中国省区面板数据的研究[J]. 世界经济,2009,32(9):68-81.
- [24] CASTELLANI D, ZANFEI A. Technology gaps, absorptive capacity and the impact of inward investments on productivity of European firms[J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 2003, 12(6): 555-576.
- [25] 孙早,许薛璐. 前沿技术差距与科学研究的创新效应——基础研究与应用研究谁扮演了更重要的角色[J]. 中国工业经济,2017(3):5-23.
- [26] LYCHAGIN S. Spillovers, absorptive capacity and agglomeration[J]. *Journal of Urban Economics*, 2016, 96: 17-35.
- [27] 王军,常红. 知识溢出、吸收能力与经济增长——基于调节效应的检验[J]. 经济与管理研究,2020,41(9):12-28.
- [28] GIRMA S. Absorptive capacity and productivity spillovers from FDI: a threshold regression analysis[J]. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 2005, 67(3): 281-306.
- [29] 李史恒,屈小娥. 中国对“一带一路”沿线国家 OFDI 的绿色生产率增长效应——基于吸收能力和制度环境的实证检验[J]. 经济问题探索, 2024(1):121-137.
- [30] EATON B, ECKSTEIN O. Cities and growth: theory and evidence from France and Japan[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 1997, 27(4/5): 443-474.
- [31] BLACK D, HENDERSON V. A theory of urban growth[J]. *Journal of Political Economy*, 1999, 107(2): 252-284.
- [32] KRUGMAN P. Increasing returns and economic geography[J]. *Journal of Political Economy*, 1991, 99(3): 483-499.
- [33] FUJITA M, MORI T. Transport development and the evolution of economic geography[J]. *Portuguese Economic Journal*, 2005, 4(2): 129-156.
- [34] BRANSTETTER L G. Looking for international knowledge spillovers: a review of the literature with suggestions for new approaches[J]. *Annales d'Économie et de Statistique*, 1998, 49/50: 517-540.
- [35] HOTTENROTT H, PETERS B. Innovative capability and financing constraints for innovation: more money, more innovation? [J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2012, 94(4): 1126-1142.
- [36] 白俊红,张艺璇,卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济,2022(6): 61-78.
- [37] 唐为. 要素市场一体化与城市群经济的发展——基于微观企业数据的分析[J]. 经济学(季刊),2021,21(1):1-22.
- [38] PAGANO P, SCHIVARDI F. Firm size distribution and growth[J]. *The Scandinavian Journal of Economics*, 2003, 105(2): 255-274.
- [39] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济,2022(5):100-120.
- [40] 陈晓华,周琼,刘慧. 生产性服务业与制造业协同集聚对城市创新的影响研究[J]. 首都经济贸易大学学报,2024,26(2):48-63.
- [41] 张云,赵富森. 国际技术溢出、吸收能力对高技术产业自主创新影响的研究[J]. 财经研究,2017,43(3):94-106.
- [42] 郑安邦,冯华. 数据流空间视角下知识溢出的内生经济增长机制[J]. 经济与管理研究,2024,45(2):3-20.
- [43] KOKKO A, TANSINI R, ZEJAN M C. Local technological capability and productivity spillovers from FDI in the Uruguayan manufacturing sector[J]. *The Journal of Development Studies*, 1996, 32(4): 602-611.
- [44] BENHABIB J, SPIEGEL M M. The role of human capital in economic development: evidence from aggregate cross-country data[J]. *Journal of Monetary Economics*, 1994, 34(2): 143-173.
- [45] ENGELBRECHT H J. International R&D spillovers, human capital and productivity in OECD economies: an empirical investigation[J]. *European Economic Review*, 1997, 41(8): 1479-1488.
- [46] 樊纲,王小鲁,马光荣. 中国市场化进程对经济增长的贡献[J]. 经济研究,2011,46(9):4-16.
- [47] WANG H L, QIAN C L. Corporate philanthropy and corporate financial performance: the roles of stakeholder response and political access[J]. *Academy of Management Journal*, 2011, 54(6): 1159-1181.
- [48] 王雅洁,张森. 中国省域知识溢出对区域创新的影响研究——基于吸收能力的视角[J]. 华东经济管理,2020,34(8):44-54.
- [49] NUNN N, QIAN N. US food aid and civil conflict[J]. *American Economic Review*, 2014, 104(6): 1630-1666.
- [50] 刘胜,顾乃华,李文秀,等. 城市群空间功能分工与制造业企业成长——兼议城市群高质量发展的政策红利[J]. 产业经济研究,2019(3): 52-62.
- [51] 赵勇,白永秀. 中国城市群功能分工测度与分析[J]. 中国工业经济,2012(11):18-30.

## Knowledge Spillover and Innovation Externality of Central Cities in City Clusters

ZHAO Peipei, JIANG Manqi

(Nankai University, Tianjin 300071)

**Abstract:** Against the background of growing emphasis on the radiating and driving roles of central cities in city clusters, the knowledge spillover of central cities can greatly reduce the original innovation costs of non-central cities. If non-central cities can effectively absorb the knowledge spillover of central cities, it will have a positive impact on narrowing the innovation capability gap between cities. Therefore, how to leverage the innovation externality of central cities and improve the innovation efficiency of non-central cities is a crucial issue for the development of new quality productive forces in city clusters, and is also of great significance for achieving the goal of coordinated regional innovation development.

This paper constructs a theoretical model based on the new economic geography framework that can separate the knowledge spillover and absorptive capacities of central and non-central cities in city clusters. This model illustrates the innovation externality effect generated by the knowledge spillover of central cities in city clusters, as well as the moderating roles played by absorptive capacity, transportation convenience, and marketization level. Using the data of R&D investment and patent output of 18 major city clusters in China from 2007 to 2021, the findings reveal that the knowledge spillover of central cities in city clusters can enhance the innovation output of non-central cities. The improvement in the absorptive capacity of non-central cities, the transportation convenience between central and non-central cities, and the higher marketization level of city clusters can amplify the knowledge spillover externality of central cities. The knowledge spillover from central cities primarily enhances the innovative output of non-central cities through three mechanisms: increasing firm profits or reducing production costs, strengthening R&D investment, and promoting technological agglomeration. Heterogeneity analysis reveals that city clusters with a high level of marketization, a short distance between their central and non-central cities, complete innovation infrastructure, coordinated spatial functional division of labor, polycentric spatial structure, and optimized industrial structures can make better use of the knowledge spillover of central cities to boost the innovation output of non-central cities.

The conclusions of this paper offer valuable implications for strengthening the knowledge spillover of central cities, guiding the formation of innovation echelons among cities of different sizes, and enhancing the innovation capability of city clusters. Finally, this paper puts forward policy suggestions from three aspects: optimizing the division of urban functions and promoting the orderly transfer of industries, improving the infrastructure construction of city clusters to facilitate communication between central and non-central cities, and constructing industrial chains with city clusters and strengthening urban innovation collaboration.

**Keywords:** city cluster; knowledge spillover; absorptive capacity; innovation; innovation externality; coordinated development

责任编辑:宛恬伊