

新质生产力形成的微观机制与空间演化

——基于集聚外部性的计算实验

薛 领 马业婷 赵 威 孙欣彤

摘要:新质生产力是驱动经济高质量发展的核心动力,其形成不仅依赖技术进步,更依赖知识溢出、资源共享与要素匹配等空间外部性所形成的动态反馈过程。然而,现有研究对于不同类型外部性如何通过企业微观行为影响区域生产效率演化与空间结构形成,仍缺乏系统解释。本文突破新古典一般均衡框架,基于动态非均衡视角,融合空间经济学与复杂系统理论,构建多主体(agent)计算实验模型。借鉴遗传算法思想,以基因编码方式刻画企业知识结构演化,识别学习、共享与匹配三类外部性对区域生产效率的差异化作用。研究发现,学习外部性产生“拉高效应”;共享与匹配外部性分别引致“局部集聚”与“加速—饱和效应”;学习和共享协同产生“倍增效应”;三类外部性共同作用呈现“叠加效应”。本文从微观行为机制与动态仿真层面揭示了外部性驱动新质生产力空间生成的作用路径,为因地制宜发展新质生产力、优化区域经济布局提供了可量化的理论依据与政策参考。

关键词:新质生产力 集聚外部性 空间经济学 基于 agent 的计算实验 遗传算法

中图分类号:F061.5

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2026)09-0018-15

一、问题提出与相关研究

“新质生产力”的提出标志着中国经济发展从传统要素驱动逐步转向创新驱动与高质量发展阶段,也反映了国家发展逻辑由规模扩张向效率提升、结构优化与动力转换的深层转变。与传统生产力形态不同,新质生产力由技术革命性突破、生产要素创新性配置、产业深度转型升级而催生,以劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的跃升为基本内涵,以全要素生产率大幅度提升为核心标志^[1]。在这一过程中,创新资源、企业与人才并非静态分布,而是在空间上持续流动、重组与集聚。因此,新质生产力的形成不仅是技术进步过程,更是一个伴随企业迁移、知识扩散与空间结构重构的动态空间演化过程^[2]。

现有关于新质生产力的研究主要围绕内涵界定、影响因素及效应评估三大方向展开。在内涵层面,较为一致的观点认为,新质生产力是一种以创新为主导、兼具高科技、高效能、高质量特征的先进生产力质态^[3-4],其核心标志是全要素生产率提升^[5-6],本质体现为劳动者、劳动资料、劳动对象及其优化组合的系统

收稿日期:2026-03-02;修回日期:2026-08-24

基金项目:国家社会科学基金重点项目“新时代实施区域协调发展战略研究”(22AZD043)

作者简介:薛 领 北京大学政府管理学院教授、博士生导师,北京,100871;

马业婷 北京大学政府管理学院博士研究生,通信作者;

赵 威 北京大学政府管理学院博士研究生;

孙欣彤 北京大学政府管理学院博士研究生。

作者感谢审稿快线专家的评审意见。

性跃升^[7]。影响因素研究覆盖宏观与微观两个层面:宏观上强调市场需求、创新生态系统与科技体制机制的支撑作用^[8],微观上则关注高素质人才、技术积累、资本投入与制度保障等要素的协同演化^[9-10]。在测度方面,研究已从省份和地区尺度^[11]逐步延伸至企业级指标体系^[12-13],为实证分析提供了基础支撑。尽管这些研究为理解新质生产力提供了框架,但仍存在两方面明显不足:一是偏重宏观战略阐述与静态指标测度,缺乏对新质生产力“微观生成机制”的动态刻画,难以揭示知识学习、要素重组和企业迁移相互作用的微观生成过程,也无法捕捉由微观决策涌现出的宏观复杂现象;二是较少区分学习、共享与匹配外部性的独立作用及其交互关系,对空间维度关注不足,因而难以解释区域效率差异和空间结构如何由企业主体互动动态涌现。

新质生产力的形成并不仅仅是技术进步的结果^[14],更是知识、技术、劳动力、资本等生产要素在空间中的持续重组、创新升级与动态优化过程^[15]。其中,劳动者、劳动资料与劳动对象的“质变”,不仅来源于技术突破本身,更来源于不同要素之间新的空间组合关系与生产组织方式重构。自马歇尔(Marshall)提出以来,集聚外部性被视为区域经济增长的重要来源^[16],格莱泽与戈特利布(Glaeser & Gottlieb)将其归纳为知识流动成本、劳动力流动成本和货物运输成本的节约^[17]。迪朗东与普加(Duranton & Puga)则将其精炼为学习、匹配和共享三类微观机制^[18]。具体而言,学习促进知识溢出、技能提升与技术创新^[19],从而直接提升了生产效率,匹配优化高端要素配置并提高协同效率^[20],共享依托基础设施和生产性服务的规模经济降低创新成本^[21]。三类机制通过重塑劳动者、劳动资料与劳动对象的组合关系及生产组织方式,共同构成新质生产力空间生成与演化的微观基础。

围绕知识溢出与学习外部性,新经济增长理论(NGT)与新经济地理学(NEG)已将知识资本、知识扩散和知识分子流动等引入空间增长框架^[22-25],但多将知识溢出处理为地区资本存量的外部效应,难以刻画企业通过学习实现创新、技术进步并影响空间分布决策的微观机制,也较少同时识别三类外部性的净效应与协同效应。新质生产力的形成具有主体异质性、非线性和路径依赖等特征,传统均衡模型对此存在局限。复杂经济学为突破上述局限提供了可能^[26]。从复杂系统视角看,经济系统更像一个具有生命特征的演化系统,所有新知识和新技术均来源于既有知识的组合、变异与扩散^[27-28]。基于 agent 的计算经济学(ACE)通过“自下而上”的建模方法,可以模拟异质性企业的学习、适应和创新过程^[29]。同时,遗传算法(GA)可刻画技术演进与知识创新过程^[30]。将 ACE 与 GA 结合,可为新质生产力形成的“微观黑箱”提供方法论工具。

基于上述逻辑,本文构建包含企业、居民与空间区域的两区域 agent 计算实验模型,将企业生产效率变化视为新质生产力形成过程中的微观表征,将区域企业平均生产效率与空间结构演化视为其空间表征。模型采用二进制基因编码刻画企业异质性知识结构,通过空间邻近和技术邻近下的知识交叉模拟学习机制,以集聚引致的固定成本下降和资源适配效率提升^[31]分别刻画共享与匹配机制。企业依据利润变化进行迁移,迁移又反向改变区域知识环境与效率演化路径。计算实验通过“开关”机制设置不同情景,试图回答以下三个问题:第一,学习、共享与匹配三类外部性如何影响企业知识更新与生产效率演化?第二,企业效率变化如何通过利润机制影响企业迁移与空间重组?第三,企业迁移与空间重组又如何进一步改变区域知识环境,并推动新质生产力空间格局的动态形成?

本文的主要贡献可概括为四点。第一,从空间经济视角将新质生产力理解为企业知识积累、成本降低和资源配置效率改善的区域表现,揭示其与企业迁移及空间重组的联系。第二,借助二进制基因编码和知识位点交叉、吸收与更新,实现知识溢出过程的可计算表达。第三,将新经济地理学核心思想与 agent 建模结合,将学习、共享与匹配外部性分别转化为知识更新、固定成本变化和资源配置效率改善等行为规则。第四,揭示三类外部性通过影响企业效率、迁移和区域知识环境形成的反馈机制,以及多重外部性叠加所产生的动态强化效应。

二、理论建模与分析框架

(一) 新经济地理分析框架

企业家是技术创新与知识扩散的重要载体。本文在传统新经济地理框架中引入可跨区流动的企业家知识资本,使企业知识积累、利润差异和区位选择共同决定区域生产效率与空间结构。模型设有两个区域,区域1和区域2;两种生产要素,普通劳动力和知识资本。其中,普通劳动力为不可跨区域流动的要素,每个区域的劳动力数量为 $L_r(r=1,2)$,假设普通劳动力的单位工资为 w_L 。知识资本作为另一种生产要素,属于企业家,企业家可以跨区域流动,每个区域企业家的数量为 $H_r(r=1,2)$,世界的总企业家数量为 $H=H_1+H_2$,假设所有的企业家具有相同的初始知识水平 h_0 ,企业家的知识水平随时间 t 增长,但受本地和另外一个区域的知识影响,即存在知识溢出效应。企业家根据两个地区的实际收益差进行区域选择。

1. 消费部门

假设代表性消费者的即期效用函数为不变替代弹性系数(CES)形式,反映多样化产品的需求偏好:

$$U_r(t) = \left[\int_{i \in \Omega} c_{ir}(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

其中, c_{ir} 是区域 r 消费者对产品 i 的消费量, Ω 表示所有可消费的产品集合。 σ 是替代弹性,反映不同产品之间的替代程度($\sigma > 1$)。代表性消费者的跨期效用函数为:

$$U_r(0) = \int_0^{\infty} e^{-\vartheta t} \ln[U_r(t)] dt \quad (2)$$

其中, ϑ 表示消费者的效用折现率,即时间偏好率, $\vartheta > 0$ 。

每个消费者的预算为 E_r ,也就是消费者在时间 t 的支出,预算约束为:

$$E_r(t) = \sum_{i \in \Omega} p_{ir}(t) c_{ir}(t) \quad (3)$$

其中, p_i 是消费者购买产品 i 的价格。在给定预算 E_r 下,代表性消费者对每种产品的需求函数为:

$$c_r(t) = \frac{E_r(t)}{p_r(t)^{\sigma} P_r(t)^{1-\sigma}} \quad (4)$$

其中, P_r 是区域 r 的价格指数,反映了本地和跨区域不同种类产品的价格,表达式为:

$$P_r = \left[\int_{i \in \Omega_1} p_i^{1-\sigma} di + \int_{j \in \Omega_2} (\tau p_j)^{1-\sigma} dj \right]^{\frac{1}{1-\sigma}} \quad (5)$$

消费者实际效用由名义工资和价格指数共同决定。因此,区域1消费者的迁移规则为:

$$Move_{1 \rightarrow 2} = 1, \text{ 当 } \frac{V_2 - V_1}{V_1} > \xi \quad (6)$$

其中, V_2 表示消费者迁移到区域2的实际效用, V_1 表示消费者迁移前在区域1的实际效用, ξ 表示高技术劳动力的迁移成本。

2. 生产部门

企业在垄断竞争市场中生产差异化产品。企业知识水平越高,边际成本越低。设企业边际成本为:

$$m_{ir}(t) = \frac{\kappa}{e(h)_{ir}^{\varphi} + 1} \quad (7)$$

其中, $\kappa > 0$, $\varphi > 0$ 。企业知识资本 h 越多,企业生产效率 e 越高,边际成本越低。

企业采用CES垄断竞争下的成本加成定价,即 $p_r(t) = \frac{\sigma}{\sigma-1} m_{ir}(t)$ 。产品在跨区域的运输中,存在一定

的运输成本 τ , 意味着运输 τ 单位的产品, 只有 1 单位到达目的地。则区域 1 企业的总供给为:

$$x_{i1}(t) = c_{i1}(t) + \tau c_{i2}(t) = \frac{E_1(t)}{p_{i1}(t)^\sigma P_1(t)^{1-\sigma}} + \frac{\tau E_2(t)}{[\tau p_{i2}(t)]^\sigma P_1(t)^{1-\sigma}} \quad (8)$$

同理可得区域 2 企业的总供给。

企业利润为:

$$\pi_{ir}(t) = p_{ir}(t)x_{ir}(t) - F_{ir}(t) - m_i x_{ir}(t) \quad (9)$$

其中, F_{ir} 为固定成本。

企业会比较当前区位利润与迁往另一地区后的预期利润, 区域 1 企业迁移规则为:

$$Move_{1 \rightarrow 2} = 1, \text{ 当 } \frac{\pi_i^2 - \pi_i^1}{\pi_i^1} > \lambda \text{ 时} \quad (10)$$

其中, π_i^1 为企业在区域 1 的利润, π_i^2 为企业在区域 2 的利润, λ 为迁移概率。

(二) 引入外部性的分析框架

1. 学习外部性: 知识溢出与企业生产效率演化

学习外部性主要刻画企业通过空间邻近与技术邻近实现知识交换与知识更新的过程。在传统新经济地理模型中, 企业生产效率通常被视为外生给定, 而本文进一步将企业知识水平视为动态演化变量, 企业生产效率并非固定不变, 而是在企业互动过程中不断更新与演化。

企业知识水平 h_i 不再是外生给定, 企业知识积累表示为:

$$h_i^{t+1} = h_i^t + S_{ij}^t \quad (11)$$

其中, S_{ij}^t 表示企业 i 从企业 j 获得的知识溢出。

知识溢出并不会在所有企业之间无条件发生, 而是受到空间距离与技术距离的共同约束。企业之间的知识交换具有明显的空间衰减特征。设企业间知识溢出概率为:

$$S_{ij} = \left(\frac{h_i h_j}{d_{ij}^2 + \varepsilon} \right)^\rho I(|F_i - F_j| \leq \delta) \quad (12)$$

其中, d_{ij} 表示企业间空间距离, ε 为极小值, ρ 表示知识溢出对知识水平和空间距离的敏感程度。该式表明: 企业知识水平越高、空间距离越近, 知识交换越容易发生。

进一步地, 本文借鉴复杂经济学与遗传算法思想, 将企业知识结构表示为二进制基因编码: $G_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in}), g_{ik} \in \{0, 1\}$, 企业知识水平为该二进制编码转化后的十进制值:

$$h_i = \sum_{k=1}^n g_{ik} 2^{n-k} \quad (13)$$

当知识溢出发生时, 企业之间通过“基因交叉”实现知识更新。若企业 i 在某一知识位点缺失知识, 而企业 j 拥有该知识, 则企业 i 会吸收对应知识位点。

$$g_{ik}^{t+1} = \begin{cases} 1, & \text{当 } g_{ik}^t = 0 \text{ 且 } g_{jk}^t = 1 \text{ 时} \\ g_{ik}^t, & \text{其他} \end{cases} \quad (14)$$

2. 共享外部性: 成本节约与空间集聚

随着更多企业进入同一区域, 企业之间可以共同使用部分知识资源和基础设施, 从而降低单个企业所需承担的固定成本^[32]。设区域 r 企业数量为 N_r , 世界企业数量为 N , 区域企业占比为 $s_r = \frac{N_r}{N}$ 。企业固定成本可表示为:

$$F_{ir} = \frac{\bar{F}}{\sigma N [\delta_r s_r + \delta_s (1 - s_r)]} \quad (15)$$

其中, δ_r 表示本地共享外部性强度, δ_s 表示跨区域共享外部性强度。当本地企业数量增加时, $\frac{\partial F_{ir}}{\partial N_r} < 0$, 即企业集聚越强, 单个企业固定成本越低。因此, 共享外部性并不直接创造新知识, 而是通过降低企业固定成本提高企业利润水平, 并强化企业向核心区集聚的动力, 为新质生产力的涌现创造环境条件。

3. 匹配外部性: 要素适配与局部协同

匹配状态受到局部空间环境影响。当企业周围存在更多适配性企业、技术人才和专业服务时, 企业更容易形成有效匹配, 从而提高生产组织效率与资源配置效率^[33]。因此, 企业之间只有在局部空间范围内, 才可能形成有效知识接触、资源共享与要素协同。匹配条件为 $d_{ij} < \bar{d}$ 。其中, d_{ij} 为企业间空间距离; $\bar{d}$ 为局部空间匹配阈值。匹配机制本身并不创造新的技术知识, 而是通过改善企业与劳动力、技术资源以及专业服务之间的适配关系, 提高组织协同效率和资源配置效率, 使企业既有知识、技能与技术能力得到更充分的发挥^[34]。因此, 匹配机制提升的是企业已有知识资本的利用效率, 而非知识资本本身的扩张。

上述理论分析为后续计算实验提供了微观主体的行为规则和经济学依据。消费者效用最大化决定居民的消费与迁移行为, 企业利润最大化决定企业的定价、生产和区位选择, 而学习、共享与匹配三类外部性则分别作用于企业知识存量、固定成本和知识利用效率。由于这些微观行为之间存在持续的空间互动、动态反馈和路径依赖, 仅依靠理论模型难以进一步刻画其动态演化过程。因此, 本文进一步构建基于 agent 的计算实验模型, 将上述理论机程序化, 并通过企业与居民等微观主体的持续交互, 模拟区域生产效率演化和空间结构重组过程, 从而揭示新质生产力形成的动态演化规律。

三、基于 agent 的建模

(一) agent 属性及行为规则

计算实验将理论框架中的需求、定价、利润、迁移以及学习、共享和匹配关系转化为居民 agent 与企业 agent 的状态变量和行为规则。模型由两个区域及居民、企业两类主体构成: 居民依据实际效用迁移, 企业依据利润差异迁移; 企业知识、成本和区位随局部互动更新, 区域平均生产效率与企业分布由此内生演化。与传统均衡模型不同, 本文不再假定经济系统能够自动收敛于某一稳定均衡状态, 而是将区域经济系统视为由大量异质性主体相互作用形成的复杂演化系统。在该系统中, 企业并非完全理性的代表性主体, 而是具有异质性知识结构、有限理性和空间迁移能力的微观决策主体; 区域空间结构也并非外生给定, 而是在企业知识学习、利润变化和迁移行为作用下逐步演化形成。

1. 企业 agent 行为规则

(1) 企业 agent 生产行为。企业作为生产主体, 其行为遵循理论模型中的利润最大化原则。在每个模拟周期内, 企业依次执行以下决策序列。首先, 企业根据垄断竞争的市场结构, 采用成本加成定价法。其次, 企业基于两区域的市场数据计算其产品面临的总需求。该需求函数源自 CES 效用函数, 综合考虑了本地市场需求和来自另一区域的、需承担冰山贸易成本 τ 的进口需求。最后, 企业进行利润核算, 利润为产品销售收入减去总成本。

(2) 企业成本的表达。企业 agent 的生产和区位信息参考薛领等^[35]的研究, 设计 3 个“基因”片段。“基因 1”表示企业生产成本的二进制编码, 固定成本是企业 agent 间进行交流和知识溢出的指示器, 该基因片段越相似, 企业 agent 的生产技术越接近, 知识交流和溢出的可能性越大。“基因 2”表示企业知识总量的二进制编码, 知识总量越多, 企业 agent 的边际成本越小, 企业 agent 知识总量的计算方法是将企业“基因 2”的二进制编码转为十进制的数值。因此, 企业 agent 的“基因 2”每个点位的“1”值越多, 企业 agent 的知识总量越大, 企业 agent 的边际成本就越小, 适应度越高, 生产效率越高。“基因 3”表示企业生产区位的二值变量, 区

位编码 0 和 1 分别表示区域 a 和区域 b,以体现知识溢出的空间性。企业 agent 间的知识创新和溢出基于双方三个基因片段的相似度进行。以区域 a 和区域 b 中随机一个企业 agent 为例,其染色体组合如下:

区域 a 随机企业 agent 为 1010011-1001011-0

区域 b 随机企业 agent 为 0111101-1101010-1

此时“基因 2”的长度是固定的 7 位二进制编码,也就是说,当企业的知识总量达到 127 时(此时编码为“1111111”)就不会再继续增长。为突破此限制,本文在企业编码的所有位点均为 1 时,对企业 agent“基因 2”的长度进行重新编码,即企业有一定概率将编码长度增加 1 位,在下个二进制编码中,首位为 1,其余为 0 和 1 的随机变量。

(3)企业 agent 跨区域迁移设定。企业 agent 会将当期利润与同期另一区域中具有相同生产效率的企业的利润进行对比,而不是另一区域整个市场的平均利润,若当期和预期的利润差高于企业跨区域的迁移成本,企业具有搬迁意愿,并在下一期决定搬迁。现实当中企业的空间区位选择过程,存在一定的空间重置成本。考虑有两种体现空间成本的方式:一是设置每一期企业允许进行迁移的概率,例如 0.1,意味着十个企业中有有一个可以进行迁移;二是设置每一期企业迁移所需要支付的成本。本文采用第一种方法,即限制每期企业迁移的概率。

2. 集聚外部性规则设定

(1)学习外部性规则。从复杂经济学的视角看,知识具有可重构性、流动性和递归性^[31]。同时,知识是可以进化的,因此企业间知识溢出所带来的技术进步是知识在适应过程中的不断组合和技术的持续迭代,可以通过知识编码对这一过程加以实现^[30]。图 1 展示的是两个企业进行知识交换和溢出的过程。两个企业随机选择相同的点位进行基因交叉,同时保留了自身的原有知识,自身基因片段上的 0 转变为 1,通过基因交换,企业的知识总量实现了提升。

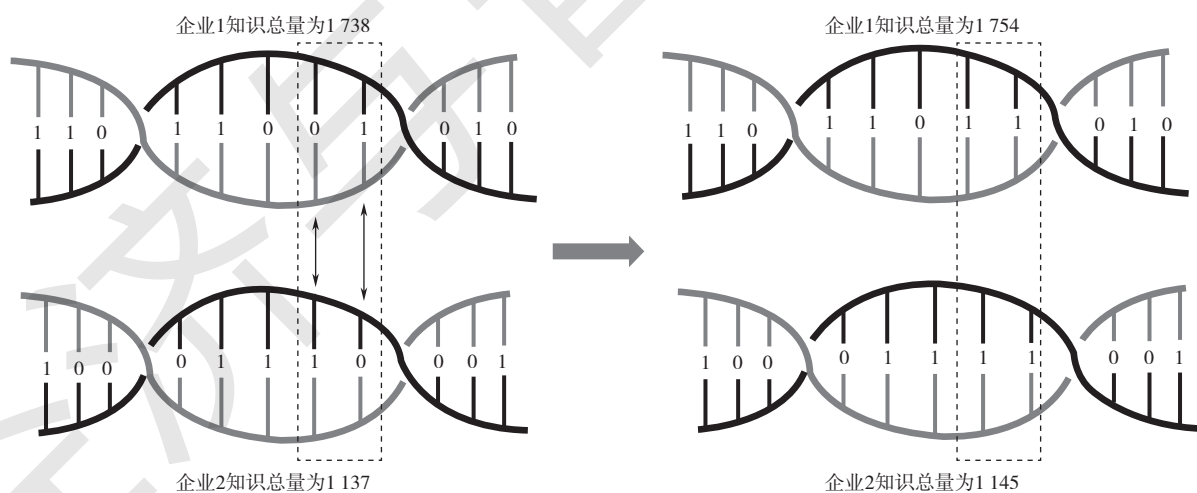


图 1 二进制的企业知识结构编码和知识溢出

现实中并不是所有企业 agent 都能进行知识交换,这种局部知识位点交换具有偶然性,并与企业 agent 间的地理临近程度以及知识结构的相似性相关。首先,在同一区域随机选取 3 个企业,体现企业间交换的空间临近性和偶然性。其次,选取 3 个企业中知识总量最高的企业作为父辈企业,体现高效率企业知识溢出能力更强的特点。最终,企业 agent 间能否进行知识交换并执行交叉算子,则由其固定成本(基因片段 1)代表的生产技术结构决定。这里将两个企业 agent 的基因片段 2 的十进制数值相减,若得到的差的绝对值小于 63(固定成本最大差值的一半),则认为这两个企业 agent 的生产技术结构相似,可以执行交叉算子,产生知

识溢出。反之,不执行交叉算子,也就不产生知识溢出。

(2)共享外部性规则。共享外部性源自企业在一定范围内集聚所带来的地区层面的规模效应,因此,本文将企业固定成本设置为内生变量,使其受到产业集聚程度的显著影响。固定成本的计算同时考虑了本地集聚与跨区域集聚的共享效应,通过调整本地与跨区域共享效应参数的相对大小,可以模拟不同空间范围内共享外部性的作用强度,从而更精准地揭示其在促进新质生产力形成中的微观路径,具体公式遵循新经济地理学理论中的设置。

(3)匹配外部性规则。匹配外部性涉及劳动市场和企业之间的匹配。本文将劳动力分为“传统产业-高技能”“传统产业-低技能”“新兴产业-高技能”“新兴产业-低技能”四类,企业分为“高固定成本-高边际成本”“高固定成本-低边际成本”“低固定成本-高边际成本”“低固定成本-低边际成本”四类,并设定传统产业的劳动力与高固定成本企业匹配,高技能劳动力与低边际成本企业匹配。企业会在特定的范围内按照自身劳动力需求进行劳动力搜寻,成功匹配使组织协同和既有知识利用效率提高10%,错配则使当期效率下降10%,并使错配的劳动力在下一期重新进入劳动力市场。为统一状态转移结构,模型将这种效率变化映射到企业有效知识状态,但不将其解释为新知识创造。

在计算实验中,为保持学习、共享与匹配三种机制在统一状态变量下进行比较,本文采用企业知识状态作为统一载体。对于学习外部性,该状态变量表示知识创造;共享外部性对应资源配置效率改善,匹配外部性则对应已有知识利用效率的提升。因此,不同机制作用于同一状态变量,并不意味着其经济学内涵相同,而是为了保证计算实验模型具有统一的状态转移结构。

(二)参数设置

初始状态设置为对称的两区域,参考薛领等^[35]的实验参数设置(见表1),居民数量分别为1 000,两地工人 agent 工资遵循均值为50的帕累托分布,企业 agent 数量均为300。模型的参数中,工业产品替代弹性 $\sigma=3$;运输成本系数 $\tau=2.1$;居民迁移概率为1%;企业迁移概率为1%。参数敏感性检验表明,数值大小只会影响曲线的平滑程度和数量级大小,不会影响结论,因此本文对此只设置一组相同的参数。除此之外,企业 agent 的初始固定成本服从均值为64,方差为40的正态分布,知识总量服从均值为100,方差为50的正态分布,均转成初始长度为7位的二进制基因编码。

表1 参数设定

参数名称	区域 a	区域 b
初始居民数量	1 000	1 000
初始工资均值 w_H	50	50
初始工资方差	10	10
初始企业(家)数量 H_i	300	300
初始固定成本均值	64	64
初始固定成本方差	40	40
初始知识总量均值 h_0	100	100
初始知识总量方差	50	50
工业产品替代弹性 σ	3	
运输成本系数 τ	2.1	
居民迁移概率 ξ	1%	
企业迁移概率 λ	1%	

(三)知识溢出与企业知识演化验证

对企业知识结构的编码以及知识溢出过程的刻画是两区域 ACE 模型的核心所在,其有效性验证成为模型是否真实反映“知识驱动型集聚”动态的核心判据^[36]。基于此,本文分别从微观知识交换机制与宏观知识演化过程两个层面,对模型中的知识溢出机制进行验证。在微观层面,本文选取不同类型企业 agent,对企业之间知识交换过程进行测试(结果见表2)。表2表明,只有同时满足空间邻近、技术邻近和编码长度条件的企业才能发生知识交换,交叉后知识总量单调增加。进一步,为了深入考察模型的动态特征及企业知识演化机理,本文在单次模拟中随机选取

一个企业并跟踪其知识总量的变化过程,其生产效率随知识吸收呈阶段性跃升,而非机械线性增长。因此,模型中出现的“跳跃式”知识增长不仅符合知识创新的现实特征,也进一步说明本文所构建的知识溢出机制能够较好刻画企业知识学习、技术演化与新质生产力形成过程中的非线性动态特征。上述结果在微观层面验证了基于知识溢出的企业动态演化路径的合理性与有效性。

表 2 知识溢出机制测试结果

测试企业组	企业编号	固定成本二进制	知识总量二进制	知识溢出是否有效
1	company 2013	0001111	1000101	无效
	company 2024	1011111	1010111	
2	company 2037	111101	1100001	无效
	company 2065	110101	10100101	
3	company 2048	1001101	10110110	有效
	company 2005	1000101	10101011	

四、计算实验与结果分析

为识别三类外部性的独立作用与协同作用,模型设置学习、共享和匹配三个机制“开关”(见表 3)。实验一关闭全部外部性,目的是识别内部规模经济单独作用下企业迁移、空间集聚与区域生产效率演化的基本特征,并为后续外部性机制实验提供比较基准;实验二至实验四分别仅开启学习、共享和匹配“开关”,识别其净效应;实验五同时开启学习与共享“开关”,考察知识创造与成本节约的协同作用;实验六同时开启三类机制,用于考察新质生产力空间生成过程中知识创新、要素重组与空间集聚之间的动态协同机制。需要说明的是,不同外部性组合会影响企业迁移、居民迁移以及区域空间重组过程,因此各实验中企业和居民停止迁移所对应的模拟期数并不一致。由于不同实验对应的终止期数不同,各实验图所展示的数值主要用于描述各自演化结果。

表 3 实验设置

实验序号	学习(知识溢出)	共享	匹配
实验一	关	关	关
实验二	开	关	关
实验三	关	开	关
实验四	关	关	开
实验五	开	开	关
实验六	开	开	开

(一) 实验一:关闭所有外部性开关,呈现“内生性集聚效应”

实验一作为基准情景,关闭了学习、共享与匹配三类外部性机制,仅保留企业内部规模经济作用,旨在剥离外部规模经济影响,从而考察仅依赖内部规模报酬递增时空间经济系统的演化特征。实验结果如图 2 所示。结果显示,即使在不存在学习、共享与匹配等外部性条件下,空间经济系统仍会出现明显的空间集聚趋势。部分企业先是向市场规模较大、需求条件较好的区域迁移,企业迁移又进一步扩大当地市场规模和产品供给能力,从而吸引更多企业继续进入,最终形成显著的核心-边缘结构。

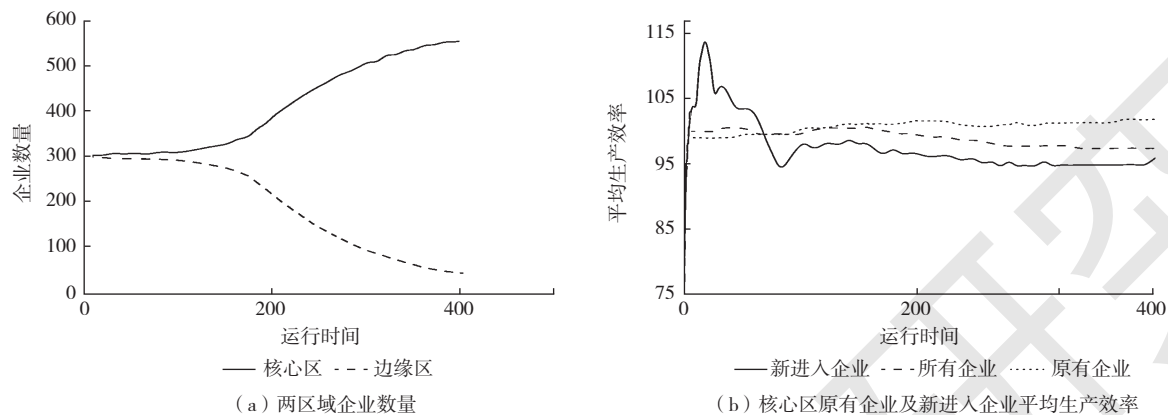


图 2 实验一:内部规模经济驱动的自发集聚

基准实验表明,内部规模经济可通过本地市场效应和价格指数效应形成自我强化的核心-边缘结构。然而,由于没有外部规模经济的作用,企业的生产效率不会变化,核心地区生产效率的提高仅仅是不同效率企业的迁移所致,前期受到高效率企业迁入的拉高作用,本质上是一种“存量重组”效应,而非“增量创造”过程。从长期来看,内部规模经济所引致的集聚路径,虽然能够解释经济活动的空间集中现象,但难以解释区域生产效率的持续跃升,更无法支撑新质生产力形成所要求的知识创新、技术突破与要素质态升级。这一基准结论为后续引入各类外部性实验提供了必要的对比基线。

(二) 实验二:打开“学习”开关,生产效率存在“拉高效应”

实验二在基准模型的基础上,单独开启了“学习”外部性开关,仅考虑企业 agent 之间的知识溢出过程,以考察知识交换如何影响企业生产效率演化、空间迁移与区域空间结构形成,实验结果见图 3。

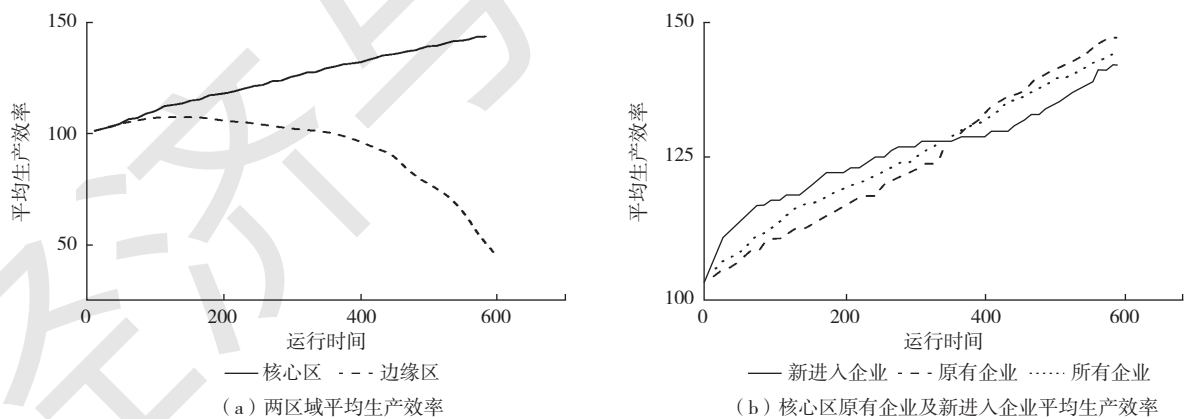


图 3 实验二:学习外部性提高核心区生产效率

在实验的早期阶段,高效率企业倾向于先进入核心区。根据“新”新经济地理理论,高效率企业因其较高的初始生产效率和较强的市场竞争力,更可能选择集聚在知识密集的区域,以最大化其生产效率优势和市场接近性。这种“自我选择”机制导致了核心区在早期的生产效率快速提升,呈现“拉高效应”。由于知识溢出概率随企业知识水平提高而增加,核心区内部的知识交换频率也明显提升,从而强化了高效率企业之间的知识学习与技术扩散。随着时间的推移,低效率企业开始追随性地进入核心区,导致地区整体生产效

率的增速放缓,出现“拉低效应”。然而,与实验一中的空间重组不同,此时低效率企业进入核心区并不只是简单改变区域企业构成,而是通过空间邻近获得了与高效率企业进行知识交换的机会。低效率企业能够通过模仿和吸收高效率企业所拥有的知识位点,实现自身知识结构更新与生产效率提升,逐渐融入核心区域的知识网络与现代产业体系。但是,这种知识驱动的集聚表现出强烈的空间不对称性。随着高效率企业、知识资源和人才持续向核心区域集中,核心区形成了更强的知识交换环境与学习网络,而边缘区域由于高效率企业流失,知识交换频率逐渐下降,区域生产效率增速放缓。这种差异说明,学习外部性不仅能够强化核心区域生产效率增长,同时也可能扩大区域间发展差距。

与实验一相比,实验二区域生产效率提升不再仅来源于高效率企业迁移所形成的“存量重组”,而开始表现为企业知识增长所带来的“增量创造”。这一过程揭示了知识溢出在新质生产力形成中的重要作用,即新质生产力的形成来源于企业知识结构持续更新与技术能力不断跃迁。

(三) 实验三:打开“共享”开关,形成“局部集聚效应”

实验三中,研究聚焦于共享外部性的净效应。实验结果(见图4)显示,核心区由于其高度集聚的企业和优越的基础设施,成为高效率企业的首选地,这些企业通过集聚共享城市资源,能够有效降低运营成本,实现规模经济,进一步提升其效率和生产力。随着高效率企业的集聚和地区内基础设施的完善,位于边缘区的中低效率企业也搬迁至核心区,在共享外部性作用下实现收益增加。与实验二中的学习机制不同,共享外部性并不会直接改变企业知识结构,也不会推动企业生产效率发生持续性跃迁。在整个模拟过程中,企业生产效率变化主要来自不同类型的企业的空间重组,而不是企业自身知识水平的增长。这意味着,共享机制虽然能够提高区域资源配置效率,并通过降低固定成本强化空间集聚,从而为后续知识学习与技术演化创造条件,但其对新质生产力形成的作用更多体现为“空间赋能”而非“知识创造”。

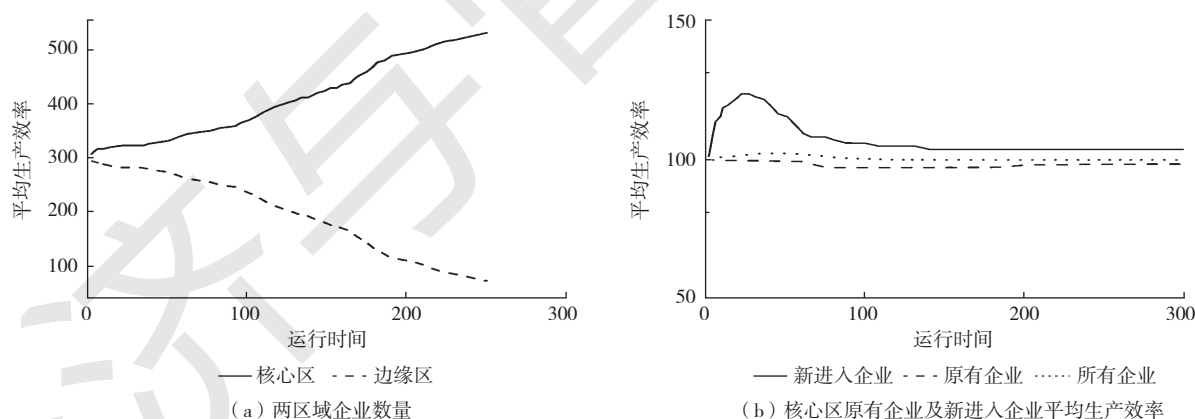


图4 实验三:共享外部性引致局部集聚

(四) 实验四:打开“匹配”开关,呈现“加速—饱和效应”

在第四个实验中,本研究专注于分析匹配外部性对区域经济结构和生产效率的影响(结果见图5)。匹配外部性涉及劳动力和企业之间的双向匹配,即企业在寻找合适的劳动力时,劳动力同样在寻找合适的雇主。这一情景排除了学习效应和共享效应,专注探究劳动力匹配效率如何影响企业的生产效率和地区的经济发展。图5显示,匹配外部性显著促进了核心-边缘(C-P)结构的形成。其核心机制在于,核心区通过集聚大量企业和劳动力,形成了一个大型的劳动力市场,使得企业有更高的概率匹配到合适的劳动力,使已有知识、技能和技术能力得到更加充分的发挥,从而释放企业既有生产潜力,最终表现为生产效率提高和边际成本下降。

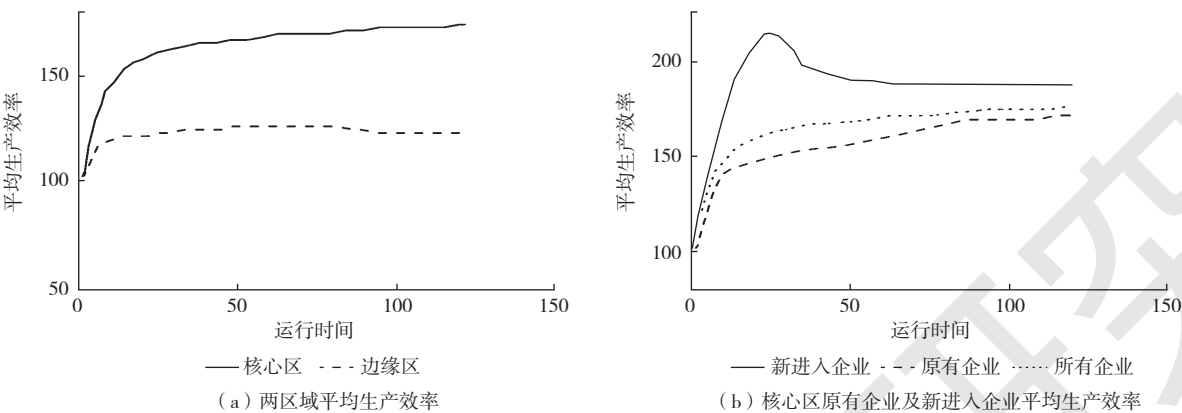


图5 实验四:匹配机制加速提升生产效率与生产效率饱和效应

然而,这种基于匹配的生产效率提升具有其局限性。一旦劳动力和企业之间达到一定的匹配饱和度,即大多数企业已经找到了合适的劳动力,而可用的劳动力也基本得到合理配置,地区生产效率的增长将趋于稳定。此时,匹配外部性单独作用下的生产效率提升将不再显著,地区经济增长的动力逐渐减弱。这一结果表明,匹配外部性能够降低要素错配,提高局部协同效率,并在短期内快速释放区域生产潜力,但其本身并不会像知识学习机制那样持续推动企业知识创造与技术跃迁。从新质生产力的形成角度看,匹配外部性更类似于一种空间赋能机制,能够通过优化企业与劳动力之间的适配关系,提高资源配置效率并强化空间集聚,但其作用更多体现为对既有生产能力的释放,而不是新知识和新技术的创造。

(五)实验五:同时打开“学习”和“共享”开关,形成“倍增效应”

学习机制通过促进信息与技术知识流动,加快企业间的知识传播,使企业能够通过观察、模仿以及知识基因的交叉与变异,探索新的技术组合;共享外部性则依托实验室、共性技术平台和专业服务等共享资源,降低企业知识探索与技术创新的成本。图6显示了当学习机制与共享机制同时存在时,区域生产效率增长速度明显快于单独开启任一机制时的情形,核心区域生产效率呈现出更强的累积增长趋势。新进入的企业虽然初始时对地区生产效率的贡献较小,但它们很快就能从周围成熟企业的知识溢出中受益,迅速提高自己的生产效率。这种现象在核心区形成了一个自我增强的正反馈循环,即更多的知识和资源共享吸引更多企业进入,这又进一步增强了区域的集聚效应和整体竞争力。由此可见,知识溢出拓展了创新的可能性边界,资源共享增强了企业触及这一边界的能力与意愿,二者具有明显的协同强化作用。

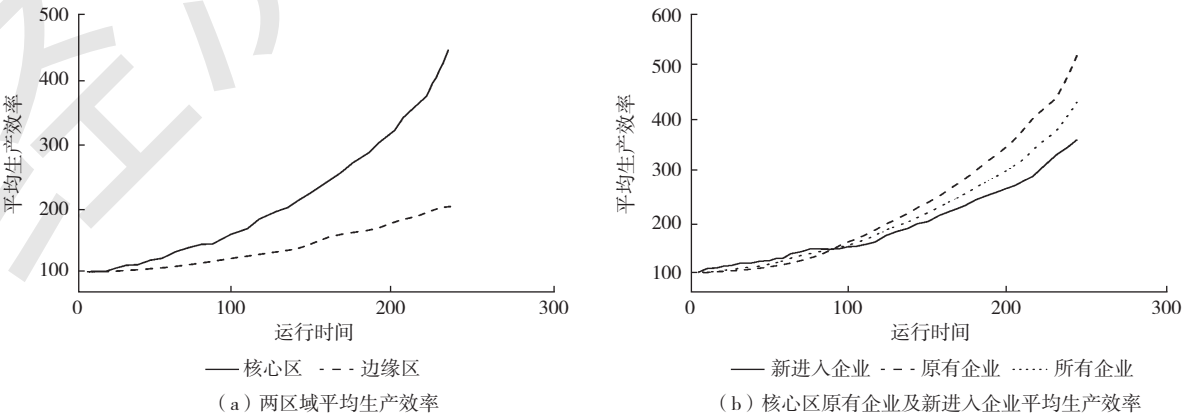


图6 实验五:学习和共享的协同放大效应

值得注意的是,在“学习”与“共享”外部性协同作用的实验情景下,边缘区企业的生产效率实现了显著提升。机制在于边缘区内部也启动了企业间的知识溢出与成本分摊过程。同时,核心区的知识创新活动会不可避免地产生空间外溢,部分编码化知识、技术标准以及管理经验会随着贸易、人员流动或信息传播扩散至边缘区。这一发现表明,边缘区完全可立足自身比较优势与区域条件,通过强化内部“学习”与“共享”的协同机制,构建局部竞争优势。这不仅有助于在核心增长极之外培育新的发展动力,也为更广泛区域的协同升级提供了可能,从而为新质生产力在全国范围内的普遍形成与扩散探索出一条具有实践意义的路径。

(六) 实验六:同时打开3种外部性“开关”,呈现“叠加效应”

图7显示了当三类外部性同时存在时,核心区域生产效率提升速度明显快于前述所有实验情景,并呈现出更强的累积增长趋势。在模型运行初期,匹配外部性首先发挥作用。随着企业和劳动力向核心区域集聚,区域内部资源配置效率迅速提高,企业能够更容易获得适配的劳动力与生产资源,从而在短期内快速提高生产效率。与此同时,高效率企业进一步向核心区迁移,使核心区域平均生产效率迅速上升。随着核心区域企业密度进一步提高,学习外部性与共享外部性开始持续强化这一过程。一方面,企业之间更加频繁的空间接触提高了知识交换概率,企业能够通过知识位点交叉与知识重组不断更新知识结构,从而推动生产效率持续跃迁;另一方面,共享机制进一步降低企业创新与生产成本,使企业能够以更低的固定成本参与知识探索与技术学习过程。在这一阶段,即使后期进入的企业效率低于原有企业,也能在“低成本运营”和“高概率知识获取”的双重赋能下,较快实现知识积累与技术追赶。实验六揭示了新质生产力是多重外部性共同作用下的动态演化结果,在学习、共享和匹配三者共同作用下,区域经济系统开始形成持续性的知识积累、技术跃迁与空间重组过程。

然而,实验结果也表明,多重外部性协同所形成的强大集聚,会进一步强化区域间发展不平衡。随着高效率企业、知识资源和高技能劳动力持续向核心区域集中,边缘区域企业数量与知识交换频率逐渐下降,区域平均生产效率相对降低。尽管知识溢出仍然存在一定空间扩散效应,但由于关键企业与高质量劳动力流失,边缘区域难以形成与核心区相同强度的知识学习网络和资源共享环境,因此其生产效率呈现下降趋势。这种情况显示,在自由市场条件下,三类外部性协同所形成的强大集聚,会不可避免地导致区域间不平衡的扩大,核心区的内生性增长在特定阶段可能以边缘区的结构性衰退为代价。

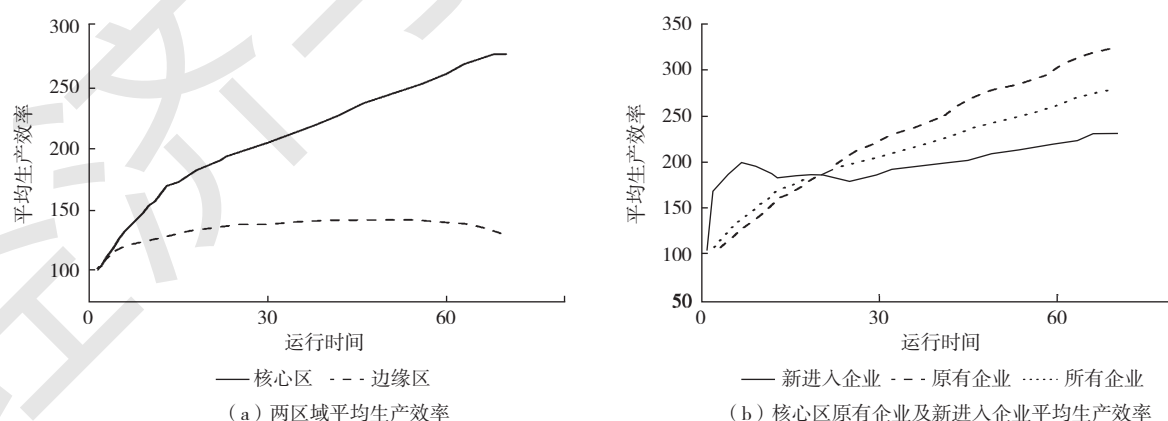


图7 实验六:三类外部性协同加速集聚与生产效率提升

由于知识交叉、企业迁移和空间演化包含随机过程,本文对各组情景分别进行100次蒙特卡洛重复模拟,并调整初始随机种子、迁移概率、知识邻近阈值和运输成本。各核心指标的均值路径与基准实验一致,95%置信区间总体较窄:学习的持续增效、共享的集聚赋能、匹配的加速一饱和以及多机制协同等结论均未改变。这说明主要发现来自模型内生机制,而非单次随机实现或特定参数取值。

五、结论与建议

本文以新质生产力的空间生成过程为研究对象,针对传统新古典一般均衡框架难以刻画异质性主体互动、知识溢出动态反馈与空间演化过程的问题,构建了融合新经济地理学、agent建模与遗传算法的计算实验框架。相较于把生产效率作为外生参数或仅观察静态均衡,本文以二进制知识编码和局部交叉实现知识溢出的可计算表达,并借助机制“开关”识别不同集聚外部性的独立效应与协同效应。

研究表明:学习外部性通过知识溢出与知识重组推动企业知识结构持续更新,不断“拉高”生产效率前沿,使区域生产效率增长由空间重组转向知识驱动型增长,促进新质生产力动态跃迁。共享外部性则通过降低固定成本强化企业空间集聚,为知识学习与技术创新提供低成本的空间载体。匹配外部性能够通过改善资源配置效率快速提升区域生产效率,但其增长效应存在明显的“饱和”特征。进一步地,当学习、共享与匹配三类外部性共同作用时,企业知识更新、成本下降与资源优化配置之间形成显著协同效应,区域生产效率增长不再主要依赖企业迁移,而逐渐表现为知识积累、技术跃迁与空间集聚共同驱动的内生增长过程。与此同时,在学习与共享协同情境下,边缘区也可立足自身条件,通过内部知识共享与成本分摊实现生产效率跃升,特别是产业内的知识溢出,更有利于边缘区域形成持续性的技术积累过程。

本文从主体行为与动态仿真视角,揭示了集聚外部性推动新质生产力形成与空间演化的微观机制,为落实党的二十届四中全会提出的“加快高水平科技自立自强,引领发展新质生产力”战略部署提供了学理解释,也为“十五五”时期因地制宜发展新质生产力、完善区域创新体系与优化重大生产力布局提供了计算实验层面的机制参考。基于上述研究结论,本文提出以下政策建议:

第一,建设“动态知识创新区”,以科技创新和产业创新深度融合为导向,强化知识溢出的多尺度传导。新质生产力源于科技创新、落脚于产业创新,其形成依赖于知识在空间上的持续扩散与重组。围绕学习外部性这一核心机制,应在重点城市与区域中心布局动态知识创新区,共建实验室和联合研发平台,提升科研成果向产业端转化的效率。与传统园区不同,该区域应建立敏捷的政策动态评估与反馈机制,其目标不仅是促进知识溢出,更要引导这些知识流定向服务于“改造提升传统产业、培育壮大新兴产业、布局建设未来产业”的现代化产业体系构建。

第二,构建“跨区域的知识共享平台”,提升资源共享与制度协同水平。共享外部性有助于拓展新质生产力的空间作用范围,降低区域间创新壁垒。应加快推进技术产权跨区流转、数据要素高效配置与高端人才柔性流动,打通全国统一大市场中的机制“堵点”,保障知识、技术、数据等新型生产要素能按市场规律优化组合。政府可牵头建立线上线下联动的共享机制,通过跨区域技术论坛、创新竞赛与对接活动,激发多元主体参与协同创新,重点完善“技术产权跨区流转”“数据要素空间适配”与“新型劳动者跨域配置”等新制度安排,构建支持科技创新和产业创新的体制机制,形成与之相适应的新型生产关系。

第三,实施“要素匹配工程”,以推动劳动要素素质跃升和结构优化为重点。一方面,通过动态监测识别前沿产业的技能缺口,定向培养引领技术突破的知识型、技术型复杂劳动者;另一方面,提供大规模、定制化的职业培训与再教育,重点赋能劳动者掌握适应数智时代的新科技知识和技能,培育新型简单劳动者。鼓励政府、企业、高校共建课程体系与实训基地,完善培训效果评估与反馈机制,为新质生产力提供高质量的人力资本支撑。

第四,推动“三类外部性系统集成”,因地制宜构建融合促进的新型区域创新生态。学习、匹配与共享外部性的协同发力,是新质生产力实现系统性跃升的关键。政策设计应从单一激励转向多机制联动,这要求因地制宜,根据不同区域的比较优势设计差异化的集成方案。在科技创新资源富集的地区,政策应更注重强化知识溢出的深度与广度,以促进颠覆性技术与前沿技术的突破;在传统制造业产业基础雄厚的地区,则应更侧重推动要素的精准匹配与高效共享,以赋能传统产业的深度转型升级。通过促进知识流动、要素共享与人才匹配,推动知识转化为产业竞争力、要素实现优化配置、人才释放创新潜能,形成三类外部性协同

放大的聚合效应。这也是与新质生产力发展相适应的新型生产关系在空间上的具体体现。

参考文献:

- [1] 习近平. 发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点[J]. 求是, 2024(11): 4-8.
- [2] 张林忆, 黄志高. 技术、空间与生态: 数字经济赋能新质生产力的逻辑探析[J]. 经济学家, 2024(8): 35-44.
- [3] 尹西明, 苏雅欣, 陈泰伦, 等. 场景驱动: 产业智能化加速新质生产力发展的逻辑与路径研究[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(6): 1070-1081.
- [4] 周文, 许凌云. 再论新质生产力: 认识误区、形成条件与实现路径[J]. 改革, 2024(3): 26-37.
- [5] 韩文龙, 陈航. 未来产业投入增长机制与新质生产力培育[J]. 经济学动态, 2025(6): 5-21.
- [6] 蒋永穆. 新质生产力理论对马克思主义生产力理论的继承和发展[J]. 经济学动态, 2025(5): 5-18.
- [7] 董庆前. 中国新质生产力发展水平测度、时空演变及收敛性研究[J]. 中国软科学, 2024(8): 178-188.
- [8] 任保平. 生产力现代化转型形成新质生产力的逻辑[J]. 经济研究, 2024, 59(3): 12-19.
- [9] 马银琦, 许志通, 张天雪. 高等教育资源配置何以成为推动新质生产力发展的引擎: 基于 2012—2021 年省级面板数据的实证分析[J]. 中国高教研究, 2024(8): 23-31.
- [10] 魏崇辉. 新质生产力的基本意涵、历史演进与实践路径[J]. 理论与改革, 2023(6): 25-38.
- [11] 郭精军, 马小雯, 谢雁. 中国新质生产力的区域差异、形成机理与空间收敛性研究[J]. 经济问题探索, 2025(10): 23-42.
- [12] 张浩, 张文凌. 资本要素协同赋能企业新质生产力发展: 基于耐心资本权益属性差异视角[J]. 学习与实践, 2025(10): 48-61.
- [13] 蒋永穆, 乔张媛. 新质生产力发展评价指标体系构建[J]. 经济体制改革, 2024(3): 5-15.
- [14] 盛朝迅. 以科技创新为引领促进新质生产力发展[J]. 改革, 2025(8): 77-86.
- [15] 杨开忠. 以优化新质生产力布局为中心推动新区域协调发展: 新发展阶段和十五五时期区域协调发展战略思路[J]. 区域经济评论, 2024(3): 37-45.
- [16] Marshall A. Principles of economics: an introductory volume[M]. 8th ed. New York: Macmillan, 1920.
- [17] Glaeser E L, Gottlieb J D. The wealth of cities: agglomeration economies and spatial equilibrium in the United States[J]. Journal of Economic Literature, 2009, 47(4): 983-1028.
- [18] Duranton G, Puga D. The growth of cities[J]. Handbook of Economic Growth, 2014, 2: 781-853.
- [19] 赵亚楠, 谢永平. 核心企业知识溢出对创新网络成员新质生产力的影响[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(1): 1-9.
- [20] 柏培文, 林诗怡. 新质生产力背景下产业数字化与劳动力技能匹配[J]. 经济学动态, 2025(10): 37-56.
- [21] 沈坤荣, 王灿. 以新型基础设施建设推动新质生产力发展[J]. 经济学动态, 2025(3): 22-35.
- [22] Puga D. The magnitude and causes of agglomeration economies[J]. Journal of Regional Science, 2010, 50(1): 203-219.
- [23] Berliant M, Fujita M. Knowledge creation as a square dance on the Hilbert cube[J]. International Economic Review, 2008, 49(4): 1251-1295.
- [24] 赵佩佩, 江曼琦. 城市群中心城市知识溢出与创新外部性[J]. 经济与管理研究, 2025, 46(8): 76-94.
- [25] 刘威, 杨开忠, 董亚宁. 知识溢出对空间经济的影响机理: 一个新空间经济学模型[J]. 经济学动态, 2025(4): 106-125.
- [26] 江成, 张燕燕, 聂丽君. 新质生产力引领京津冀产业协同发展的路径研究: 基于复杂系统理论的视角[J]. 首都经济贸易大学学报, 2025, 27(6): 29-37.
- [27] Arthur W B. Complexity and the economy[M]. Oxford: Oxford University Press, 2014.
- [28] Axtell R L, Farmer J D. Agent-based modeling in economics and finance: past, present, and future[J]. Journal of Economic Literature, 2025, 63(1): 197-287.
- [29] Tesfatsion L. Agent-based computational economics: a constructive approach to economic theory[J]. Handbook of Computational Economics, 2006, 2: 831-880.
- [30] Goldberg D E. The design of innovation: lessons from and for competent genetic algorithms[M]. New York: Springer, 2002.
- [31] 朱世婧. 数字产业集群政策是否推动了区域创新合作?: 基于生产性与非生产性关联视角[J]. 经济与管理研究, 2026, 47(8): 136-151.
- [32] Holtermann L, Hundt C, Steeger J, et al. The utilization of cluster externalities and recessionary shocks[J]. Industrial and Corporate Change, 2021, 30(1): 19-43.
- [33] Chen B. Downstream competition and upstream labor market matching[J]. International Journal of Game Theory, 2019, 48(4): 1055-1085.
- [34] 朱晨, 王泽凯, 张抗私. 新质生产力何以赋能劳动者高质量就业? [J]. 首都经济贸易大学学报, 2025, 27(3): 3-19.
- [35] 薛领, 彭志斌, 赵威. 空间集聚和知识溢出的微观机理与动态模拟[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2023, 20(1): 18-26.
- [36] Glaeser E L. Learning in cities[J]. Journal of Urban Economics, 1999, 46(2): 254-277.

Micro-Mechanisms and Spatial Evolution of New Quality Productive Forces Formation —A Computational Experiment Based on Agglomeration Externalities

XUE Ling, MA Yeting, ZHAO Wei, SUN Xintong
(Peking University, Beijing 100871)

Abstract: New quality productive forces (NQPFs) spur high-quality economic development, characterized by the synergistic evolution of factor upgrading, technical innovation, spatial restructuring, and new production forms. Their formation rests on technical progress and dynamic feedback from spatial externalities, such as knowledge spillovers, resource sharing, and factor matching. However, existing research still lacks a systematic explanation of how each externality shapes regional efficiency and spatial configurations through firm behavior.

Moving beyond the neoclassical general equilibrium framework, this paper adopts a dynamic disequilibrium perspective and integrates spatial economics with complex systems theory to develop a two-region, multi-agent computational-experimental model incorporating a genetic algorithm. The model simulates learning through binary genetic encoding and the crossover, absorption, and updating of knowledge loci; characterizes sharing through the decline in fixed costs induced by an increase in the number of firms; and captures matching through the local alignment of firms, labor, technology, and services. Separate switches set different scenarios and identify the net and joint effects of the three types of externalities in varied combinations.

The findings are as follows. First, learning externalities renew firm knowledge through spillovers and recombination, lifting the efficiency frontier. Firms entering core regions catch up by recombining knowledge, shifting regional efficiency growth from spatial change to knowledge-led growth and driving a dynamic leap in NQPFs. Second, sharing externalities cut fixed costs and reinforce firm agglomeration. Rather than directly creating knowledge, they provide a low-cost spatial base for learning and innovation. Third, matching externalities quickly raise regional efficiency by improving the use of labor, technology, and services. Fourth, when all types of externalities work together, knowledge renewal, lower costs, and better allocation reinforce one another. Regional efficiency growth becomes an endogenous process driven by knowledge accumulation, technical upgrading, and spatial agglomeration. Fifth, learning and sharing raise efficiency in peripheral regions through internal knowledge exchange and cost sharing. Multiple externalities can extend growth gains from core to peripheral regions, but strong agglomeration effects may still widen regional gaps.

Based on these conclusions, this paper proposes the following recommendations. Policy tools should shift from single measures to differentiated packages. Core regions should build dynamic knowledge innovation zones and common technology platforms to deepen links between technical and industrial innovation. Peripheral regions should build local learning and sharing networks around their own strengths and strengthen ties with core nodes. Cross-region platforms should support orderly flows of knowledge, data, and talent, providing better services to improve factor matching. This paper maps the micro-level pathway through which externalities shape the spatial formation of NQPFs and gives measurable support and policy guidance for place-based growth and a better regional economic layout.

Keywords: new quality productive forces; agglomeration externality; spatial economics; agent-based computational experiment; genetic algorithm

编校:姜 莱