

【区域创新发展】

人工智能发展何以促进区域创新： 基于虚拟集聚和产业转型升级视角*

赵超 杨光

摘要:人工智能引领新一轮科技革命和产业变革,既集中体现技术迭代演进,又深刻改变创新模式与创新生态。基于2011—2022年中国城市面板数据,探讨人工智能发展对区域创新的作用机制与影响效应。研究发现:人工智能发展对区域创新水平有显著正向影响,并具有先增加后减小的门槛效应。进一步分析表明,虚拟集聚和产业转型升级是人工智能发展促进区域创新水平的中介影响机制,且两种机制均存在单一门槛,在跨过门槛值后,促进作用分别减弱和增强。人工智能发展对区域创新水平的促进作用存在区域异质性和要素禀赋异质性,促进作用在东部地区更强,在数据资源更丰富,数字基础设施建设更完善的地区更为明显。

关键词:人工智能发展;区域创新;虚拟集聚;产业转型升级;要素禀赋

中图分类号:F202 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5766(2025)04-0071-13 **收稿日期:**2025-05-11

***基金项目:**国家社会科学基金一般项目“数字经济赋能粤港澳大湾区协同创新发展的机理与路径研究”(23BJL114);广州市哲学社会科学规划2024年度课题“数据要素赋能新质生产力发展的机理、效应与推进策略研究”(2024GZGJ97)。

作者简介:赵超,男,中共广东省委党校校刊编辑部副主任、教授、硕士生导师,广东省习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心省委党校研究基地特约研究员(广州 510053)。

杨光,男,中共广东省委党校硕士研究生,通信作者(广州 510053)。

一、引言

在2024年全国两会期间,“人工智能+”首次被写入政府工作报告,深化大数据、人工智能等研发应用,开展“人工智能+”行动,打造具有国际竞争力的数字产业集群。2025年4月25日,习近平总书记在中共中央政治局集体学习时指出,人工智能作为引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,深刻改变人类生产生活方式;全面推进人工智能科技创新、产业发展和赋能应用,完善人工智能监管体制机制,牢牢掌握人工智能发展和治理主动权;以人工智能引领科研范式变革,加速各领域

科技创新突破。从人工智能到“人工智能+”的跨越,凸显了人工智能从辅助工具向创新引擎的角色转变,体现了人工智能技术从技术本身到与各行业深度融合,势必带来生产要素变革、产业组织形态变迁和产业转型升级。人工智能的发展也必然在不同层面重塑创新格局:在个体层面催动人机协同模式,重构知识工作者的基础创新能力;在企业层面触发创新价值网络拓扑重构,推动组织创新模式从线性流程向智能动态创新;在产业层面加速创新生态系统范式跃迁,形成技术—市场—制度的协同演化;在经济社会层面推动整个经济体系的结构变革,推动创新范式的体系性跨越。那么,既然人工智能发展与区域创新密切相关,就有必要对以

下问题进行更深入的讨论:人工智能发展对区域创新的影响效应是什么?具体的作用路径与影响机制又是什么?这种效应在不同区域和要素禀赋的条件下存在何种差异?本文将通过深入探讨人工智能发展对区域创新的作用、影响机制及不同维度异质性,对上述问题进行进一步的回答。

学界已关注到相关问题,并产出了一些有影响的文献,主要集中在两个方面。一方面是人工智能的经济影响,主要体现在以下三个方面。一是人工智能对劳动力市场的影响。Acemoglu 和 Restrepo (2020)认为人工智能的发展带来的是传统劳动力为机器所替代,出现“机器代人”现象,但也有学者认为替代作用产生的同时伴随着创造作用,两种作用共同决定影响效果(孔高文等,2020),引致就业结构优化调整和劳动收入的水平、份额和差距变动(钞小静等,2021;黄志等,2023)。二是人工智能对产业结构的影响。人工智能和实体经济的深度融合从而实现产业结构变革、促进传统产业向智能产业升级和产业结构服务化(师博,2020;王丽媛等,2024)。三是人工智能对经济增长的影响。学者探讨人工智能对经济增长的影响主要集中在技术进步视角和要素视角(杨光等,2020;林晨等,2020),认为人工智能可以助推经济高质量发展(师博,2020)。另一方面是人工智能带来的创新效应。在企业层面,学者们认为人工智能的应用和发展不仅对企业的创新水平和创新模式有促进作用(胡蓉宁等,2023;王钰等,2024;李玉花等,2024);还能优化企业创新环境(陈伟等,2024)。此外,也有学者关注到由于人工智能技术复杂性、市场需求的不确定性和路径依赖,致使人工智能对企业创新行为具有挤出效应(邵慰等,2024)。在区域层面,学者们认为人工智能能够显著提升区域创新能力和水平(陈伟等,2024),促进绿色创新水平和数字创新水平(崔伟,2024;岳书敬等,2023),推动本地产生数字红利,并且产业集聚和经济集聚是人工智能促进区域创新水平的实现路径(张金山等,2022;程名望等,2024)。

虽然现有研究就人工智能发展促进区域创新水平的讨论正在不断丰富,但本文与现有研究相比,可能的边际贡献体现在以下三点:首先,相较于此前大多从企业层面出发,本文从城市层面探讨人工智能发展与区域创新的关系。其次,尽管此前有

学者已关注到产业集聚和经济集聚作为人工智能发展对区域创新的影响机制(张金山等,2022;程名望等,2024),但是较少关注数字经济时代的产业组织新形态:虚拟集聚(王如玉等,2018)。另外,虽有学者关注到产业转型升级作为影响机制之一(张金山等,2022;崔伟,2024),但并未考虑到虚拟集聚和产业转型升级同时作为影响机制。因此,本文将虚拟集聚和产业转型升级同时纳入分析框架,并检验两种机制是否存在门槛效应,明晰了影响机制的最优作用区间,丰富了人工智能影响机制的研究。最后,针对不同区域和要素禀赋进行异质性分析,有助于深入理解人工智能发展对区域创新作用的差异,以期抢抓人工智能发展契机与更好地促进区域创新提供参考。

二、理论分析与假设提出

本部分从人工智能发展对区域创新水平的基本影响、影响机制和门槛效应三个方面就两者关系进行理论分析和假设提出。

(一)人工智能发展对区域创新水平的基本影响

作为新一代通用性技术的重要组成部分(张龙鹏等,2020),人工智能可以加速知识传播共享和提高研发效率,进而促进区域创新。

首先,人工智能优化知识网络的构建与利用,其与5G、物联网等技术的协同发展,推动了全球知识网络的泛在连接与智能应用。这必然加速知识在不同技术部门、不同地区的传播和共享(陈伟等,2024),显著提升知识的传播效率,并极大地拓宽知识的共享范围。个体知识技能通过溢出机制转化为群体共享资源,使得创新成果能够在不同领域间合作出现。这种效果的不断累积能够改造创新主体的创新方式,改善创新环境,降低创新成本。此外,以深度学习技术为代表的人工智能发展加速了隐性知识显性化的进程,不仅打破传统知识壁垒,还通过劳动技能提升(如学历与岗位结构优化)推动创新突破,形成“知识—技能—创新”的闭环。

其次,人工智能促进创新的核心在于有效提高研发效率(蔡跃洲等,2019)。一方面,人工智能替代了机械重复任务,极大地解放了科研人员的智力

资源,激发了其创新潜力;另一方面,人工智能通过对研发环节产生的大量数据进行分析处理和仿真模拟,可以降低研发环节中面临的需求不确定性,减少错误率和重复任务的无效消耗,并将传统“创意—实验—验证”的线性流程改造为多线程并行的敏捷创新模式。基于预测模型的优化策略有效配置了研发资源,显著缩短研发周期和提高研发项目成功率,完成对研发创新流程的优化。基于此,本文提出如下研究假设:

H1:人工智能发展促进区域创新水平的提高。

(二)人工智能发展对区域创新水平的影响机制

人工智能发展一方面是通过虚拟集聚这一新的产业组织形态,打破地理集聚的限制、增强虚拟空间和推动数实深度融合以更好地促进区域创新;另一方面是通过产业转型升级,带动传统产业智能化、新兴产业协同化和产业链重塑以更好地促进区域创新。

1.人工智能发展对区域创新的影响机制:虚拟集聚

《“十四五”数字经济发展规划》指出,探索发展跨越物理边界的“虚拟”产业园区和产业集群,加快产业资源虚拟化集聚、平台化运营和网络化协同,构建虚实结合的产业数字化新生态。集聚的向心力和分散的离心力两种力量的动态平衡塑造了区域经济的地理格局,随着数字经济时代的人工智能技术等颠覆性技术涌现,进一步影响了数字虚拟空间的“虚拟格局”,形成空间组织的新形态:虚拟集聚。虚拟集聚是以数据为关键要素(王如玉等,2018),具体而言,虚拟集聚作为人工智能发展促进区域创新的影响机制,主要从转换集聚空间、增强虚拟空间、推动数实深度融合三个方面发挥作用。

地理集聚与前三次工业革命相伴而生,强调实现生产的规模经济、产业链的前后向联系和劳动力市场的本地化匹配,以获得最大外部性。随着进一步的地理集聚,由于供给端受限于土地供给和劳动力供给的规模、需求端受制于工业技术所能实现的生产效率和环境端受限于交通拥堵和污染等因素带来的拥挤效应共同导致知识溢出囿于特定区域(苏玺鉴等,2023),中间投入品共享囿于特定产业环节,不利于创新活动和成果的进一步出现。而第

四次工业革命由人工智能主导,人工智能技术能将地理集聚的产业进行信息化升级,在从“位空间集聚”向“流空间集聚”演进的过程中(田霖等,2023),虚拟空间对地理空间和物理空间实际上达成了一定程度的替代。第一,较之传统地理集聚,人工智能发展通过虚拟集聚更为有效地缩短分工之间、产业之间的“距离”,要素的流动、配置和重组加快转向虚拟空间和网络空间,逐步摆脱对传统地理区位的依赖,进一步在人工智能技术的驱动下转向虚拟空间上的集聚,并迅速提升集聚外部性,规避地理空间过度集聚带来的拥塞效应(王媛玉,2023),促使位于经济发达地区的平台型企业专注在长尾市场以规模导向为策略的聚合,促使位于经济落后地区的中小企业专注在利基市场以深度导向为策略的聚焦,带动所处地区的研发和产品设计等环节的创新。第二,虚拟集聚作为产业组织的新形态,具有优于传统地理集聚的全链一体化和生产柔性化特征(王如玉等,2018),算力基础设施作为人工智能发展的核心要素之一,能够实现资源的高效配置,降低交易成本、协作成本和试错成本,通过对生产全流程在虚拟空间的映射,更易进行对生产的仿真模拟和消费的数据分析(巫强等,2024),使生产流程进一步明晰,释放研发人员的创新潜能。第三,借助虚拟集聚空间下的平台化组织,人工智能技术使得传统地理集聚下知识溢出所依赖的科层制加速消解,部门间信息流动的壁垒加速消除,创新资源所需的连接方式得以改变,有助于实现跨部门的协同创新(巫强等,2024)。

虽然虚拟集聚和地理集聚作用于不同空间,但是具有相似的作用逻辑,即都是为了获取MAR外部性和Jacobs外部性。所不同的是,具有强溢出性的人工智能可以更好地发挥技术可达性,是推动虚拟空间无垠性和主体无限扩容的关键要素(王如玉等,2018)。一方面,数字平台成为新的信息交换场所,人工智能的发展推动地理区域的信息映射到数字平台,完成对各类数据信息进行汇聚整合和挖掘分析,降低经济系统内部信息不对称性,虚拟集聚对虚拟空间的增益体现在能让高效共享和无限增值的数据流带动创新要素的高效流动(夏杰长等,2024),进一步推动创新要素向落后地区溢出,溢出效果的不断累积有助于降低落后地区的创新成本与风险(陶长琪等,2018)。另一方面,虚拟集聚推

动传统“线性范式”的产业内创新转变为产业间的“网络范式”和“生态范式”的创新(欧阳日辉, 2025)。人工智能使得知识共享能够从隐性经验传递转向显性数据驱动的精准扩散(如开源社区和协同设计平台),显著降低产业间交易成本,提升跨区域资源匹配效率(如智能合约自动执行降低信任成本),日益模糊原有的产业边界,加强产业间的融合趋势(如制造企业与服务提供商可以在虚拟空间完成高频互动)。

虚拟集聚并非与地理集聚相隔绝,相反,其与地理集聚的有机结合,是联动地理空间和虚拟空间的重要桥梁,更为显著地推动人工智能企业促进区域创新,进一步成为推动数实深度融合的重要手段。一方面,虚拟集聚通过强调创新效率,解决个性化需求,优化地理集聚。第一,传统地理集聚分为强调规模效应的专业化集聚和范围经济的多样化集聚,强调创新效率的虚拟集聚依托于人工智能技术与传统地理集聚进行有机结合有助于平衡创新的规模范围和效率,实现大规模、广范围和高效率的创新(王媛玉, 2023)。第二,传统地理集聚关注厂商的地理区位如何选择本质上是将视角聚焦在供给端,遵循福特制的创新方式。人工智能时代,虚拟集聚在带动厂商由刚性生产转向柔性生产,将需求端消费者和下游客户的个性化需求也纳入生产框架中,有助于统筹供给和需求市场,在满足大众市场和通用市场的标准化需求的过程中降低创新成本并提升创新效率,在满足长尾市场和利基市场的个性化需求的过程中拓宽创新广度。另一方面,地理集聚通过提供稳定的人工智能基础设施深化虚拟集聚(王媛玉, 2023)。地理集聚之前形成的实体基础设施(如工业园区、物流网络)通过数字化改造成为虚拟集聚平台。拓宽了虚拟空间的共享资源池,物理空间的数字化映射和共享设施的网络化接入为数实空间的互动交融提供了良好前提。基于此,本文提出如下研究假设:

H2a: 人工智能发展通过虚拟集聚促进区域创新水平的提高。

2. 人工智能发展对区域创新的影响机制: 产业转型升级

在人工智能对产业转型升级的影响方面,人工智能企业依赖于其技术的渗透扩散性和辐射协同性(郭艳冰等, 2022),能够与各产业深度融合,带动

产业转型升级。第一,带动传统产业智能化。人工智能技术的嵌入改变了原有的技术结构和生产方式(徐维祥等, 2025),传统产业利用智能化柔性生产线,促使生产流程日趋智能化,使资源得到更有效的配置,推进产业结构向智能化转变。第二,带动新兴产业协同化。人工智能企业是具有溢出带动性的头雁企业,人工智能技术促进传统产业智能化的同时,有助于突破产业边界,强化产业间的关联,形成产业间的融合,从而催生新兴产业,使处于共生的产业系统之中的产业实现增幅效应,进一步推动产业转型升级,形成跨界融合的智能经济形态(师博, 2020)。第三,带动产业链重塑。对于上游研发环节,人工智能技术通过数据互通、智能决策和动态响应,打破产业间的信息壁垒,实现资源高效交换和精准配置,完成从经验驱动到数据驱动的产业链重塑;对于下游销售与服务环节,传统销售以产品功能为中心,人工智能技术通过满足用户需求的场景化触发降低决策黏性,完成从交易导向到体验驱动的转型。

在产业转型升级对区域创新的影响效应方面,产业转型升级作为经济增长模式与发展模式转换的重要机制,在促进区域创新水平提升中扮演着关键角色。这一进程不仅涉及产业结构的动态调整与优化,更是对创新生态系统的全面重塑与重构(胡芳等, 2022)。伴随着地区产业转型升级的过程,不同地区通过政策引导,自身自然资源和产业基础得以更充分利用,降低产业研发创新过程的政策不确定性和政策风险,更好地促进区域创新。产业转型升级显著推动了革新链条的改进优化,加速了从模仿性创造到原创性创造的演变进程,推动了创造创新资源引入由数目扩张向品质提升的转换。这一进程成就突破了简单依托“导入、消化、吸收后再改革”的既有方法,完成了创新系统的改进与改进。经济部门转变与升级明显推动了技术创新资源的改进优化与有效调配,促使专业人才、财务资源、信息和科技等核心革新要素能够更为流畅地转移到拥有高产出发展潜力的新兴产业领域。该过程重构了要素配置机制,在传统产业背景下,有效地重塑了创新要素的静态分配模式(肖振红等, 2024),从而促进了创新资源的优化配置与高效利用。基于此,本文提出如下研究假设:

H2b:人工智能发展通过产业转型升级促进区域创新水平的提高。

(三)人工智能发展对区域创新水平的门槛效应

人工智能代表着区域颠覆性技术创新成果,并遵循摩尔定律式和梅特卡夫定律式的非线性增长曲线(何怀宏等,2018)。第一,将直接释放数据作为渗透性生产要素的网络外部性,加速知识解构和重组扩散,当突破知识的溢出阈值后,自组织的知识便呈现出新的结构特征以及更强的协同效应。第二,将以立体网络形式实现各创新要素的相互联系和作用,强化政产学研等创新主体间的非线性耦合度,形成空间有序的耗散结构,提升创新主体的动态适应能力和市场响应速度,推动创新成果的非线性涌现,实现技术、产品和市场的协同创新。但与此同时,不论是技术自身的非线性加速效应,还是创新主体的非线性耦合效应都既需要制度的同步优化,也需要与技术的协同演化,以进一步释放创新的潜力,制度的不匹配会抑制创新涌现,人工智能与区域创新的不平衡发展会导致与劳动力技能水平的不同步,造成人机不匹配(胡晟明等,2021)。因此,人工智能发展只有控制在适度的范围区间,形成“技术突破—制度适配—生态扩张”的开放有序系统,才能更好地促进区域创新水平的提升。基于此,本文提出如下研究假设:

H3:人工智能发展对区域创新水平的影响具有显著的门槛效应,且其对区域创新水平的促进作用呈现出先增加后减小的特征。

三、模型设定、指标构建和数据说明

基于上述理论分析,本节构建了人工智能发展、虚拟集聚和产业转型升级与区域创新水平之间关系的计量模型,并对相关变量进行说明与测度。

(一)模型设定

为了检验人工智能发展对区域创新水平的影响,本文基于全国271个城市,构建人工智能发展与区域创新水平的固定效应模型,模型方程如下:

$$Inn_{it} = \beta_0 + \beta_1 AI_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

在式(1)中, Inn_{it} 为第*i*个城市第*t*年的区域创新水平, AI_{it} 为第*i*个城市第*t*年的人工智能发展水平, X_{it} 为第*i*个城市第*t*年的控制变量, μ_i 和 δ_t 分别为

城市固定效应和时间固定效应, ε_{it} 为随机误差项。

(二)变量设定及指标构建

1.被解释变量

本文的被解释变量为区域创新水平(Inn)。借鉴邱国庆等(2022)的研究思路,使用专利授权量而非专利申请量来衡量区域创新水平,相较于后者,专利的授权量更能反映人工智能的市场供需关系,而非政策导向干预。

2.解释变量

本文的解释变量为人工智能发展(AI)。鉴于地级市层面的数据可得性,采用崔伟(2023)的研究思路,结合城市数据的可获得性,选择人工智能企业数量作为人工智能发展的代理变量。

3.控制变量

为尽量减少遗漏变量对估计结果所造成的影响,本文在借鉴现有研究的基础上(赵涛等,2020;白俊红等,2022)选取如下变量作为控制变量:城市经济密度(Eco),采用地区生产总值占行政区域土地面积比重来衡量;人力资本水平(Huc),采用每万人在校学生数衡量;科技教育支出(Edu),采用教育支出与科学技术支出之和衡量;财政收支比率(Fis),采用政府财政一般收入与政府财政一般支出的比值衡量;政府干预程度(Gov),采用政府财政一般支出与地区生产总值的比值衡量。

4.中介变量

本文的中介变量一为虚拟集聚(Va),借鉴段霞和张蔷薇(2023)的研究思路,本文以电子商务交易量代表虚拟集聚水平,并采用黄贇琳(2022)使用地级市快递业务量占本省快递业务量比重作为权重将省级数据分解为地级市电子商务交易量;二为产业转型升级(Ind),借鉴Yu(2021)的研究思路,产业转型升级=第一产业增加值占GDP比重×1+第二产业增加值占GDP比重×2+第三产业增加值占GDP比重。

(三)数据说明和描述性统计

本文的研究基于地级市层面的样本,其中毕节、铜仁和克拉玛依等城市由于存在数据缺失的问题予以剔除。故本文数据由2011—2022年中国271个直辖市和地级市组成,相关数据主要来源于EPS数据库《中国城市统计年鉴》《中国电子商务报告》以及各省市历年的统计年鉴等,各变量的描述性统计结果如表1所示。

表1 各变量描述性统计结果

指标属性	变量	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	<i>Inn</i>	3252	7.621	1.597	4.220	11.435
解释变量	<i>AI</i>	3252	4.859	1.796	1.386	9.710
中介变量	<i>Va</i>	3252	14.143	1.668	10.796	18.527
	<i>Ind</i>	3252	2.310	0.142	1.958	2.696
控制变量	<i>Eco</i>	3252	10.79	0.549	9.588	12.065
	<i>Huc</i>	3252	4.761	0.966	2.485	6.913
	<i>Edu</i>	3252	13.32	0.813	11.397	15.904
	<i>Fis</i>	3252	0.459	0.215	0.118	0.998
	<i>Gov</i>	3252	0.194	0.084	0.079	0.486

数据来源:作者计算。

四、实证结果及分析

本部分通过基准回归、稳健性检验和内生性检验得到实证结果并进行分析,并探究了人工智能发展影响区域创新水平的非线性关系、异质性和作用

路径及其最优作用区间。

(一)基准回归结果

由表2可知,无论是否加入控制变量,人工智能企业对区域创新水平均有显著的正向促进作用。其中,在不加入任何控制变量时,人工智能企业对区域绿色创新水平的影响系数为0.3309,在逐步加入控制变量的过程中,人工智能企业对区域创新水平的影响系数仍然显著为正,且系数在大体上呈逐步减小的趋势,表明所选取的控制变量较好地减小了估计偏差,直到加入所有控制变量时,影响系数为0.2720。所有控制变量对区域创新水平均为显著的正向影响。其中财政收支比率的系数最大,表明政府对科技发展的投入,可以引导资源的合理配置和地区的均衡发展,促进区域内科技成果的涌现和转化,进而促进区域创新水平的提高。此外,财政收支比率的作用除了体现在直接的资金支持,还体现在强大的宣示效应,引导形成市场行为主体的预期,强化其进行创新的动机。

表2 基准回归结果

变量	(1) <i>Inn</i>	(2) <i>Inn</i>	(3) <i>Inn</i>	(4) <i>Inn</i>	(5) <i>Inn</i>	(6) <i>Inn</i>
<i>AI</i>	0.3309*** (6.37)	0.2884*** (5.65)	0.2877*** (5.65)	0.2804*** (5.87)	0.2754*** (5.77)	0.2720*** (5.59)
<i>Eco</i>		0.2546*** (3.74)	0.2684*** (3.90)	0.1791** (2.48)	0.1407* (1.88)	0.2430*** (2.60)
<i>Huc</i>			0.0484*** (2.73)	0.0401** (2.33)	0.0378** (2.19)	0.0467*** (2.62)
<i>Edu</i>				0.2445*** (2.99)	0.2498*** (3.04)	0.2339*** (2.80)
<i>Fis</i>					0.3438* (1.87)	0.3922** (2.13)
<i>Gov</i>						0.8662* (1.85)
Constant	5.4659*** (31.46)	2.9555*** (4.02)	2.5929*** (3.38)	0.4574 (0.41)	0.6485 (0.58)	-0.4095 (-0.35)
City Fixed	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Year Fixed	YES	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	3252	3252	3252	3252	3252	3252
<i>R</i> ²	0.848	0.850	0.851	0.853	0.853	0.854

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的*t*值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

(二)稳健性检验

为保证前文结果的稳健,本文进行以下稳健性检验。第一,缩短样本考察区间,删减2020—2022

年数据对模型进行再一次估计,结果如表3的第(1)列所示,系数仍然显著为正,表明前文结果稳健;第二,对数据进行1%水平下的缩尾处理后再次进

行回归,结果如表3的第(2)列所示,系数仍然显著为正,表明前文结果稳健;第三,将被解释变量替换为专利申请量后再次进行回归,结果如表3的第(3)列所示,系数仍然显著为正,表明前文结果稳健;第四,考虑到直辖市在发展水平、政策支持等因素与其他地级市存在较大差异,将4个直辖市数据剔除后重新回归,结果如表3的第(4)列所示,系数仍然

显著为正,表明前文结果稳健;第五,考虑城市间经济、社会等多方面发展差异对基准回归结果产生干扰的可能性,故在基准回归基础上加入省份固定效应、省份和时间交互固定效应用以控制宏观环境引致的估计偏误(赵涛等,2020),结果如表3的第(5)列所示,系数仍然显著为正,表明前文结果稳健。进而假设H1得到验证。

表3 稳健性检验

变量	(1) 缩短区间 <i>Inn</i>	(2) 缩尾处理 <i>Inn</i>	(3) 替换被解释变量 <i>Innl</i>	(4) 剔除直辖市 <i>Inn</i>	(5) 高维固定 <i>Inn</i>
<i>AI</i>	0.4866*** (6.33)	0.3052*** (6.71)	0.2171*** (4.28)	0.2509*** (4.98)	0.1689*** (3.64)
<i>Constant</i>	-2.5456* (-1.91)	-0.9120 (-0.77)	-0.4923 (-0.43)	-0.2604 (-0.22)	0.3869 (0.33)
Control	YES	YES	YES	YES	YES
City Fixed	YES	YES	YES	YES	YES
Year Fixed	YES	YES	YES	YES	YES
Province Fixed	NO	NO	NO	NO	YES
Prov×Year Fixed	NO	NO	NO	NO	YES
<i>Obs</i>	2439	3252	3252	3204	3204
<i>R</i> ²	0.764	0.855	0.826	0.855	0.984

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的*t*值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

(三)内生性检验

本文所关注的人工智能企业与区域创新之间可能存在反向因果、遗漏变量和测量误差等造成的内生性问题。为进一步识别两者间的因果关系,本文使用工具变量(*IV*)和选择性偏误强度测量指标两种方法,对基准回归结果进行内生性处理。

一方面,使用互联网普及率作为工具变量,这是因为互联网作为传统通信技术和通信基础设施,会对后续的人工智能技术和基础设施的发展产生影响,但随着技术更迭和创新范式变迁,传统通信技术和基础设施对数字经济时代创新所产生的影响日渐衰微,基本满足排他性。表4的第(1)和(2)列的结果表明,在考虑内生性后,人工智能发展对提升区域创新的基准回归结论仍然成立,结果在1%水平下显著。对于原假设为工具变量识别不足的检验,Kleibergen-Paap rk的LM统计量*p*值为0.0000,显著拒绝原假设;对于原假设为工具变量为弱工具变量的检验,Kleibergen-Paap rk的Wald *F*统计量大于Stock-Yogo弱识别检验10%水平上的

临界值16.38。

另一方面,考虑到模型中遗漏变量可能导致的回归偏误,本文采用Altonji(2005)提出的选择性偏误强度测量指标(Selection-Ratio),该指标依据系数估计稳定性理论,通过不可观测变量影响与可观察变量影响的比值计算得到指标值,一般认为指标值大于1,模型变量选择合理,一定意义上认为回归结果不受遗漏变量的影响。回归结果如表4的第(3)列所示,在一定程度上缓解了内生性,遗漏变量问题可忽略,内生性检验支持人工智能企业发展促进区域创新这一结论。

(四)门槛模型回归结果

为了考察人工智能企业促进区域创新是否存在非线性关系,采用Hansen(1999)的研究方法,使用门槛回归模型进行检验,表达式如下:

$$Inn_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times I(AI_{it} \leq \gamma) + \beta_2 \times I(AI_{it} > \gamma) + \phi X_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中的 AI_{it} 不仅是核心解释变量,而且是门槛变量。 $I()$ 为指标函数,当括号内的条件满足时

表4 内生性检验结果

	(1)	(2)	(3)
<i>IV</i>	4.9145*** 14.53		
<i>AI</i>		0.6869*** 14.51	0.2720*** (5.59)
<i>Constant</i>	-27.9107*** -60.02	4.6413*** 2.97	-0.4095 (-0.35)
Control	YES	YES	YES
City Fixed	YES	YES	YES
Year Fixed	YES	YES	YES
Kleibergen-Paap rk LM Statistic		38.1075 0.0000	
Kleibergen-Paap rk Wald F Statistic		332.769 16.38	
Selection Ratio			3.1357
<i>Obs</i>	3252	3252	3252
<i>R</i> ²	0.795	0.828	0.854

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的*t*值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

取值为1,否则为0。

门槛模型的回归结果如表5的第(1)列所示,经过300次抽样后,人工智能发展对区域创新水平的门槛效应通过了双重门槛。可以看到,随着人工智能发展水平的提高,其对区域创新水平的效应表现出促进作用先边际递增后边际减小的非线性趋势,表明人工智能发展对区域创新水平的影响在人工智能发展水平处于不同区间并不相同,且在其发展水平处于较低水平时,促进作用较小;处于中间水平时,促进作用最大;处于较高水平时,促进作用开始下降。

可能的原因是人工智能发展赋能区域创新的过程中存在人工智能技术导入积累的阶段,人工智能发展水平提升对区域创新的促进作用源于技术积累、基础设施完善与政策支持强化的动态协同效应。随着人工智能技术从基础层向应用层深化,其对区域创新的赋能机制逐步从传统单一要素驱动转向数据要素驱动,并进行系统性生态重构,且在度过技术导入期后,算法优化与算力提升带来的边际效益递增效应愈发明显,使得创新主体能够更高效地处理复杂问题,缩短研发周期。此外,人工智

能基础设施完善不仅降低了创新活动的技术门槛,还通过数字孪生、智能决策支持等工具拓展了创新场景的边界。人工智能发展对区域创新的促进作用增强。

同时,也存在受限于人工智能技术成熟式微的阶段,随着人工智能核心技术迭代放缓,企业间同质化竞争加剧,区域间技术差距缩小,差异化创新难度增加。地方政府存在风险偏好下降的可能,为规避技术利维坦(Techno-Leviathan),对高风险创新项目进行限制。此外,中西部地区有可能在人工智能的发展过程中过于依赖技术引进路径和产业承接,外源型创新难以突破“低端锁定”,后期创新动能不足,人工智能发展对区域创新的促进作用减弱。进而假设H3得到验证。

表5 门槛模型回归结果

变量	(1) <i>AI</i>	(2) <i>Va</i>	(3) <i>Ind</i>
门槛值 <i>q</i> ₁	3.6636	15.6482	2.1637
门槛值 <i>q</i> ₂	6.1821		
<i>AI</i> × <i>I</i> (<i>Th</i> < <i>q</i> ₁)	0.389*** (16.70)	0.417*** (25.12)	0.344*** (17.64)
<i>AI</i> × <i>I</i> (<i>q</i> ₁ < <i>Th</i> ≤ <i>q</i> ₂)	0.422*** (21.98)	0.394*** (24.02)	0.400*** (24.70)
<i>AI</i> × <i>I</i> (<i>Th</i> ≥ <i>q</i> ₂)	0.403*** (23.57)		
Constant	-3.927*** (4.74)	-4.627*** (-5.61)	-3.769*** (-4.41)
Control	YES	YES	YES
City Fixed	YES	YES	YES
Year Fixed	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	3252	3252	3252
<i>R</i> ²	0.838	0.835	0.837

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的*t*值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

(五)机制检验

上文的分析表明,人工智能企业显著提升区域创新水平。进一步地,使用中介效应模型验证虚拟集聚和产业转型升级的中介作用,本文借鉴三阶段中介模型的做法,模型设定如下:

$$Inn_{it}=\alpha_0+\alpha_1AI_{it}+\alpha_2X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$M_{it}=\theta_0+\theta_1AI_{it}+\alpha_2X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$Inn_{it}=\eta_0+\eta_1AI_{it}+\eta_2M_{it}+\eta_3X_{it}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{it} \quad (5)$$

式(4)和式(5)中 M 表示中介变量,其他变量与前文一致。

利用式(3)—(5)进行机制检验,检验结果如表6所示。第(1)列为前文的基准回归结果。在第(2)列中,人工智能企业的系数在5%的水平上显著为正,说明人工智能发展对虚拟集聚的效应显著为正,表明人工智能发展显著提升了虚拟集聚水平,在第(3)列中,人工智能发展和虚拟集聚水平的系数在1%水平上显著为正,同时发现第(3)列中人工智能发展的系数与第(1)列的系数相比有所下降,这说明虚拟集聚在人工智能发展和区域创新水平之间发挥了部分中介作用,即人工智能发展能够通过提升虚拟集聚水平促进区域创新水平的提高。

同理,在第(4)列中,人工智能发展系数显著为正,说明人工智能发展可以显著促进产业转型升级,在第(5)列中,人工智能发展和产业转型升级的系数均在1%的水平上显著为正,说明人工智能发展可以通过促进产业转型升级进而提升区域创新水平。进而假设H2a和H2b得以验证。

为进一步探讨不同强度的中介变量在传导机制过程中的差异性,同样利用式(2)的门槛模型,将中介变量作为门槛变量,分析其在不同区间的作用强度差异和最优作用区间,结果如表5的第(2)、(3)列所示。两种机制均只通过单一门槛,且随着虚拟集聚水平和产业转型升级水平超越门槛值,在人工

智能发展促进区域创新的作用强度分别减弱和增强。可能的解释为,虚拟集聚与地理集聚关联紧密,地理分布上存在的极化也会在虚拟空间得到映射,反映了区域间数字基础设施和技术水平的客观差异并不能在虚拟空间消弭。虚拟空间的极化主要表现为对数字基础设施的依赖性强:虚拟集聚高度依赖互联网、云计算、大数据等技术平台。若区域数字基础设施薄弱,可能因网络延迟、数据存储能力不足等问题限制创新效率。因此,虚拟集聚要求网络和算力基础设施的适配,甚至是适度的超前布局。此外,虚拟集聚发挥促进作用需要不同主体间的高效协作,但技术整合和制度协同的要求较高。例如,虚拟集聚的演化路径有赖于技术嵌入和制度融合来缩短心理距离和空间距离,但这一过程需要完成对技术约束和组织障碍的克服。相较于虚拟集聚,产业转型升级的中介作用更强,可能的原因是,虚拟集聚主要实现针对新兴产业的“局部优化”,产业转型升级则是完成对全产业的“全局重塑”。产业转型升级不仅培育新兴业态,更通过技术渗透—要素升级—结构优化—制度适配的链式反应,更为深入地完成对区域创新底层逻辑的再造,成为不可或缺的中介载体。

(六)异质性检验

1.区域异质性

表7的第(1)—(3)列分别反映了东中西部人工

表6 中介效应模型回归结果

变量	(1) <i>Inn</i>	(2) <i>Va</i>	(3) <i>Inn</i>	(4) <i>Ind</i>	(5) <i>Inn</i>
<i>AI</i>	0.2720*** (5.59)	0.1607* (1.81)	0.2678*** (5.65)	0.0368*** (4.53)	0.2679*** (5.65)
<i>Va</i>			0.0494** (1.98)		
<i>Ind</i>					0.3314* (1.73)
Constant	-0.4095 (-0.35)	12.8351*** (7.19)	-1.0015 (-0.82)	1.8862*** (10.53)	-0.1390 (-0.12)
Control	YES	YES	YES	YES	YES
City Fixed	YES	YES	YES	YES	YES
Year Fixed	YES	YES	YES	YES	YES
<i>Obs</i>	3252	3252	3252	3252	3252
<i>R</i> ²	0.854	0.668	0.855	0.622	0.853

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的 t 值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

智能发展对区域创新促进作用的不同。其中东部中部促进作用显著,西部促进作用并不显著,且东部的促进作用更为明显。可能的原因有两个方面:一是技术资源与基础设施的梯度分布。东部地区凭借政策支持和市场化机制,汇聚了大量的人才、企业和研发机构,形成了完整的技术生态链。相对地,中西部地区在数据、融合和创新基础设施存在明显缺口,技术资源和基础设施在区域间的梯度分布,使得人工智能的创新效应在东中西部呈现出不同强度。二是产业适配与应用场景的区域差距。东部地区拥有发达的先进制造业和现代服务业集群,这些产业与人工智能技术的适配性较高,能够快速实现技术的渗透和扩散。同时,东部地区人工智能的应用场景相对丰富,差异化市场需求得到满足的同时刺激新一轮创新的涌现。而中西部地区传统产业占比较大,产业数字化基础相对薄弱,数据标准化程度低,工艺流程改造周期长难度大,与人工智能技术的适配性较低,使得人工智能的创新效应未能充分释放潜力。

2.要素禀赋异质性

数据资源和数字基础设施是人工智能发挥创新效应的前提基础和底层支撑。表7的第(4)―(5)列、第(6)―(7)列分别反映了数据要素异质和数字基础设施异质人工智能发展对区域创新促进作用的不同。在高数据资源和高数字基础设施的地区,人工智能发展对区域创新的促进作用更强。可能

的原因有三个方面:一是数据资源的流动与共享能够打破不同产业之间的信息壁垒,促进产业间的整合与合作增长。不同产业的数据相互融合,可以催生出新的商业模式和创新应用,为区域创新拓展出更广阔的空间。此外,数据资源可助力政府、企业以及科研机构等实现全面而精确的信息支撑,以便其展开智能化决策。二是数字基础设施的构建与优化是促成人工智能技术应用落地的必要支撑。这类设施契合了人工智能在海量数据存储、运算及传输方面的需求,保证了相关应用既能稳定运转又具备可靠的执行能力,借助这些设施的优势,创新主体能够在信息获取与处理的速度上获得显著提升,由此信息不对称对创新过程造成的干扰被最大程度地削减,沟通成本也随之降低,整体创新效率得以有效增加,在此基础上数字基础设施还能帮助参与者通过在线协作平台完成远程同步研发任务,从而大幅度压缩研发周期,提高成功率并催化整个区域创新体系的进化速度。三是数据资源与数字基础设施之间的协同效应值得重视。一方面,技术层面上数字基础设施通过打造承载环境构筑了数据流通的基础支撑,实现了区域内多方创新主体的数据高效流转并实现了共享目标且打破信息割裂的局面,推动知识扩散进入加速状态同时也促成创新活力的集体激发;另一方面,多样化与高质量特征的数据则进一步挖掘出了数字化底层设施的潜力,在复杂网络中催生出新价值链条和创新效能。

表7 异质性回归结果

变量	(1) 东部 <i>Inn</i>	(2) 中部 <i>Inn</i>	(3) 西部 <i>Inn</i>	(4) 高数据要素 <i>Inn</i>	(5) 低数据要素 <i>Inn</i>	(6) 高数字基础设施 <i>Inn</i>	(7) 低数字基础设施 <i>Inn</i>
<i>AI</i>	0.3171*** (3.98)	0.2835*** (3.90)	0.0392 (0.46)	0.2445*** (3.19)	0.2066*** (3.52)	0.2796*** (3.99)	0.2034*** (2.70)
Constant	-4.2050* (-1.90)	1.2414 (0.92)	4.8524** (2.30)	-1.3642 (-0.52)	0.3717 (0.27)	-2.3947 (-1.07)	0.8304 (0.56)
<i>Obs</i>	1200	1200	852	1534	1718	1270	1982
<i>R</i> ²	0.850	0.867	0.897	0.829	0.856	0.844	0.832

数据来源:作者计算。

注:括号内为稳健标准误下的*t*值,***、**和*分别表示在1%、5%和10%的水平下显著。

五、研究结论与启示

本文通过理论分析与实证检验探究人工智能

发展对区域创新水平的影响,得出以下结论:第一,人工智能企业发展对促进区域创新水平具有显著影响,且促进作用存在先增大后减弱的趋势。第二,虚拟集聚和产业转型升级在两者之间起到了中

介作用,并且中介作用都存在单一门槛,且在超过门槛值后分别呈现减弱和增强的正向中介效应。第三,人工智能企业发展对区域创新水平的影响存在空间异质性和要素禀赋异质性。

基于以上研究结论,为进一步促进区域创新水平,提出以下政策建议。

第一,持续加强对人工智能发展与创新的支持。首先,政府必须聚焦人工智能的战略地位,确立精准化的发展战略与规划框架,并形成清晰的愿景描绘,重点领域界定及实现路径设计,以引导各类创新资源加速流向该领域,进而促成全社会发展人工智能技术创新的良好生态氛围,同步将这一技术革新整合进国家的整体战略布局之中,谋求战略上的协同效应和资源共享格局。其次,政策支持也应走向全面系统化,重点是增加对基础研究领域的资金倾斜,成立专属科研专项基金用以激励高校、科研院所和企业投身于前沿课题的研发突破与核心技术创新攻坚克难环节,进而为人工智能发展提供必要的创新原动力,并构建支撑体系,以便促进更深层次的技术迭代和升级过程中所需的基础材料积累与关键技术节点突破。健全人工智能产业政策,借由税收减免,财政补助,政府订单等途径,激励企业扩大在人工智能领域研发投入和应用力度,推动人工智能产业集群的快速崛起,强化技术与实体经济间的融合程度并引领产业升级创新。再次,还要权衡供给型政策工具与其他类型的配套措施,提升政策组合的有效搭配,这不只涉及技术创新扶持政策,还需将市场需求刺激和生态体系优化纳入整体设计中,由此强化政策组合的协调度。在人工智能推动区域创新时,产业转型扮演重要角色,政府需要完善政策框架,推行税收减免、财政补助以及金融扶持等政策手段,激励企业增加在人工智能技术应用及产业升级方面的投入,从而助推整个经济生态朝着更高效的方向迈进,当然也需要平衡各类资源分配,以达到最优的协同效应。促进产业融合与创新已成为政府的核心职能之一,通过助推传统产业智能化升级,鼓励企业整合人工智能技术,以此推动生产流程、产品形态以及服务模式的全面智能化转型,同时需大力支持人工智能核心领域的发展,包括智能芯片、智能软件和智能机器人等方向的努力,借此探索新兴经济增长极。最后,应当强化产业协同创新,打通不同行业之间甚至上

下游产业链企业的合作渠道,激发联动效应,塑造产业集群化和生态化的创新体系框架结构。

第二,人工智能的发展很大程度上实现了产业组织形态和产业结构的重塑,因此政府应继续推动人工智能企业的虚拟集聚和产业转型升级,以更好地发挥二者的机制效应。一方面,虚拟集聚在人工智能激活区域创新潜能的过程中扮演关键角色,政策应向虚拟集聚的重点领域,发展目标等方面清晰规划,并提供包含税率减免或财政补贴的支持举措,激发企业的参与意愿。通过引导企业与科研机构等主体在虚拟集聚平台上互动合作,搭建高效沟通桥梁,实现资源共享与能力协同,构建创新驱动的硬性基础支持——例如孵化器或加速器,并强化这一平台建设,以提供优质的孵化空间和资源援助,促使虚拟手段下的协同创新环境更加稳固扎实。鉴于虚拟集聚的影响存在最佳区间,政府有必要确保安全与监管工作到位,构建起完善的虚拟集聚与人工智能安全保障体系,警惕并处理可能的安全隐患,同时加大对虚拟集聚相关活动的监管力度,保障其遵守法律法规与政策规定,定期开展评估优化工作,为虚拟集聚的良性与持续发展护航。另一方面,产业转型升级在人工智能促进区域创新的过程中具有重要作用,政府应完善税收减免、财政补助以及金融支撑等手段来激励企业深化人工智能技术的实际落地与产业转型投入。政府不仅应推动传统产业智能化改造,还应引导企业采纳人工智能技术以达成生产流程智慧化乃至产品及服务的智能革新,同时助力人工智能核心板块的发展,比如芯片设计智能化,软件系统迭代升级以及机器人自动化领域。此外,政府需要激发不同类别市场主体间的纵贯联系,并在产业链各节点上下功夫构建产业协同发展网络与共生的技术环境水平,以强化协同创新能力。

第三,各地区需因地制宜,实施差异化的“人工智能+”区域创新发展策略。一方面,在东中部地区,人工智能促进创新的速度更强,因此东中部地区应更注重发挥人工智能的头雁带动作用,通过打造人工智能创新示范园区,集中资源培育一批具有国际竞争力的人工智能企业和项目。同时加强与周边地区的产业协同,构建跨区域的人工智能创新产业链,推动区域创新一体化发展。此外,还应加大对人工智能基础研究的投入,联合高校和科研机

构建创新联盟,开展前沿技术攻关,提升区域创新能力。西部地区应紧抓人工智能发展契机,积极引导东中部人工智能企业向西部投资,主动承接东中部产业转移。同时,要完善科研激励机制与公平竞争环境,培育和吸引技术创新人才,以此增强区域技术创新水平,推动人工智能产业进步。另一方面,鉴于数据资源和数字基础设施在人工智能企业促进区域创新中的重要作用和异质效果,一是政府应健全数据开放共享制度,为人工智能算法测试训练提供充足的多维度高质量数据集。制定数据开放清单和共享标准,促进政务数据、公共数据等在保障安全和隐私的前提下向社会开放,为人工智能创新提供丰富的数据原料。同时,加强数据治理和安全管理,建立健全数据法律法规和监管机制,规范数据的采集、存储、使用和共享等环节,确保数据的合法安全和可靠,为人工智能创新营造良好的数据环境。二是政府应强化顶层设计,超前布局算力与通信网络体系,通过“东数西算”工程等优化算力资源配置,推动高性能计算中心与边缘节点协同,同时加速5G、F5G及未来6G网络部署,构建低延迟、高带宽的通信环境,提高其覆盖范围和质量,为人工智能的发展提供坚实的基础。三是政府应促进产业融合与应用,推动大数据、人工智能等新一代信息技术与各行业的深度融合应用,打造一批高质量的人工智能应用场景,如智慧城市、智慧医疗、智能制造等,为人工智能技术提供广阔的应用空间。

参考文献

- [1] 李强作的政府工作报告(摘登)[N].人民日报,2024-03-06(3).
- [2] D ACEMOGLU, P RESTREPO. Robots and jobs: Evidence from US labor markets [J]. Journal of political economy, 2020, 128(6): 2188—2244.
- [3] 孔高文,刘莎莎,孔东民.机器人与就业:基于行业与地区异质性的探索性分析[J].中国工业经济,2020(8).
- [4] 黄志,程翔.人工智能对劳动收入水平和收入差距的影响:理论解读与实证检验[J].经济理论与经济管理,2023(1).
- [5] 钞小静,周文慧.人工智能对劳动收入份额的影响研究:基于技能偏向性视角的理论阐释与实证检验[J].经济与管理研究,2021(2).
- [6] 师博.人工智能助推经济高质量发展的机理诠释[J].改革,2020(1).
- [7] 王丽媛,李繁荣.人工智能、产业结构服务化转型与劳动收入份额[J].经济问题,2024(8).
- [8] 杨光,侯钰.工业机器人的使用、技术升级与经济增长[J].中国工业经济,2020(10).
- [9] 林晨,陈小亮,陈伟泽,等.人工智能、经济增长与居民消费改善:资本结构优化的视角[J].中国工业经济,2020(2).
- [10] 胡蓉宁,王跃堂.人工智能的技术创新效应及其实现机制[J].江海学刊,2023(6).
- [11] 王钰,唐要家.人工智能应用如何影响企业创新宽度?[J].财经问题研究,2024(2).
- [12] 李玉花,林雨昕,李丹丹.人工智能技术应用如何影响企业创新[J].中国工业经济,2024(10).
- [13] 陈伟,邓堯,杨柏,等.人工智能能否赋能区域技术创新:创新环境的中介效应[J].科技进步与对策,2024(10).
- [14] 邵慰,刘嘉慧,曹可欣.人工智能如何影响了企业创新行为:基于资产专用性视角[J].南开经济研究,2024(9).
- [15] 程名望,褚羽舟.数据要素与人工智能技术融合能提升城市创新能力吗?[J].同济大学学报(社会科学版),2024(3).
- [16] 崔伟.人工智能促进绿色创新了吗?[J].科学决策,2024(4).
- [17] 岳书敬,董迪妮,赖晓冰.数字创新如何影响城市经济差距:“数字鸿沟”还是“数字红利”[J].财经科学,2023(9).
- [18] 张金山,崔学良.人工智能技术如何影响创新创业质量?——来自城市层面的经验证据[J].求是学刊,2022(5).
- [19] 王如玉,梁琦,李广乾.虚拟集聚:新一代信息技术与实体经济深度融合的空间组织新形态[J].管理世界,2018(2).
- [20] 张龙鹏,张双志.技术赋能:人工智能与产业融合发展的技术创新效应[J].财经科学,2020(6).
- [21] 蔡跃洲,陈楠.新技术革命下人工智能与高质量增长、高质量就业[J].数量经济技术经济研究,2019(5).
- [22] 苏玺鉴,胡安俊.人工智能的产业与区域渗透:态势、动力、模式与挑战[J].经济学家,2023(2).
- [23] 田霖,张仕杰.我国虚拟集聚水平测度、空间差异与收敛性研究[J].浙江大学学报(人文社会科学版),2023(7).
- [24] 王媛玉.虚拟集聚与地理集聚互动下的城市群空间重构:机制探索与实证分析[J].经济问题探索,2023(12).
- [25] 巫强,黄孚,汪沛.人工智能技术与企业创新绩效:兼论新质生产力的赋能作用[J].财经问题研究,2024(10).
- [26] 夏杰长,刘睿仪.数字产业集群创新网络的形成机制与发展模式研究[J].区域经济评论,2024(5).
- [27] 陶长琪,彭永樟.制度邻近下知识势能对区域技术创新效率的空间溢出效应[J].当代财经,2018(2).
- [28] 欧阳日辉.数字产业集群提升数字经济竞争力的逻辑与路径[J].广东社会科学,2025(1).
- [29] 郭艳冰,胡立君.人工智能、人力资本对产业结构升级的影响研究:来自中国30个省份的经验证据[J].软科学,2022(5).

- [30]徐维祥,牟雅倩,周建平,等.人工智能技术创新对产业链现代化的影响效应及作用机制[J/OL].科技进步与对策, 1—11 [2025-02-25].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20250122.0950.006.html>.
- [31]胡芳,周越桂,王慧敏.产业结构升级、技术创新与政府干预:基于2009—2018年省级数据的实证研究[J].理论观察,2022(3).
- [32]肖振红,谭睿,安芮,等.市场激励型环境规制与区域绿色创新效率:基于产业结构优化的中介作用和财政分权的调节作用[J].系统管理学报,2024(1).
- [33]何怀宏.奇点临近:福音还是噩耗:人工智能可能带来的最大挑战[J].探索与争鸣,2018(11).
- [34]胡晟明,王林辉,赵贺.人工智能应用、人机协作与劳动生产率[J].中国人口科学,2021(5).
- [35]邱国庆,杨志安,李静雯.税收分成激励能促进区域技术创新吗?[J].东北大学学报(社会科学版),2022(3).
- [36]赵涛,张智,梁上坤.数字经济、创业活跃度与高质量发展:来自中国城市的经验证据[J].管理世界,2020(10).
- [37]白俊红,陈新.数字经济、空间溢出效应与区域创新效率[J].研究与发展管理,2022(6).
- [38]段霞,张蔷薇.产业数字化、虚拟集聚与全要素生产率[J].西北师大学报(社会科学版),2023(1).
- [39]黄赟琳,秦淑悦,张雨朦.数字经济如何驱动制造业升级[J].经济管理,2022(4).
- [40]YU X, WANG P. Economic effects analysis of environmental regulation policy in the process of industrial structure upgrading: Evidence from Chinese provincial panel data [J]. Science of the total environment, 2021, 753: 142004.
- [41]J G ALTONJI, T E ELDER, C R TABER. Selection on observed and unobserved variables: Assessing the effectiveness of Catholic schools [J]. Journal of political economy, 2005, 113(1): 151—184.
- [42]B HANSEN. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference[J]. Journal of econometrics, 1999, 93(2): 345—368.

How the Development of Artificial Intelligence Promotes Regional Innovation: Based on the Perspective of Virtual Agglomeration and Industrial Transformation and Upgrading

Zhao Chao Yang Guang

Abstract: Artificial intelligence leads a new round of scientific and technological revolution and industrial transformation, which not only reflects the iterative evolution of technology, but also profoundly changes the innovation model and innovation ecology. Based on the panel data of Chinese cities from 2011 to 2022, this paper explores the mechanism and impact of artificial intelligence development on regional innovation. The results show that the development of artificial intelligence has a significant positive impact on the level of regional innovation, and has the effect of first marginal increase and then marginal decrease. Further analysis shows that virtual agglomeration and industrial transformation and upgrading are the mediating influence mechanisms of artificial intelligence development to promote regional innovation level, and there is a single threshold for both mechanisms, and the promotion effect is weakened and enhanced respectively after crossing the threshold. There are spatiotemporal heterogeneity and factor endowment heterogeneity in the promotion of AI development on regional innovation level: after 2016, the promotion effect is stronger in the eastern region, and more obvious in the regions with more abundant data resources and better digital infrastructure construction.

Key Words: Artificial Intelligence Development; Regional Innovation; Virtual Agglomeration; Industrial Transformation and Upgrading; Factor Endowment

(责任编辑:元小满)