

# 数字产业集群政策与关键核心技术突破式创新

师磊, 阳镇, 钱贵明

**[摘要]** 加快数字关键核心技术突破式创新是形成数字经济国际竞争力以及迈向高水平科技自立自强的必由之路。然而,集群视角下数字关键核心技术突破式创新的机理尚不清晰。本文立足数字产业集群视角,探究数字关键核心技术突破式创新的作用机制,将数字产业集群试点政策视为准自然实验,探析其对数字关键核心技术领域突破式创新的作用机制与路径。研究表明,数字产业集群政策促进了数字关键核心技术突破式创新,这一作用有赖于集群内主体间协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制。在路径分析方面,数字产业集群政策通过协同专业化创新路径发挥作用的效应约为43.54%,数字技术扩散路径效应约为26.18%,数字创新要素配置效率提升路径效应约为16.60%。异质性分析发现,对于经济活跃度与数字经济发展活跃度较高的地区以及数字基础设施相对完善的地区而言,数字产业集群政策的作用效果更好。进一步地,供应链关联与集群政策之间发挥互补性作用,二者形成相互渗透的合力促进数字关键核心技术突破式创新;创新链关联与集群政策之间体现为替代作用,对于创新链关联强度较弱的地区,政策作用效果更明显。

**[关键词]** 数字关键核心技术; 突破式创新; 数字产业集群政策; 协同专业化

**[中图分类号]** F263 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-480X(2025)01-0100-18

## 一、引言

党的二十大报告指出,要集聚力量进行原创性引领性科技攻关,坚决打赢关键核心技术攻坚战。当前,关键核心技术创新已成为国际战略博弈主要战场,世界各国围绕前沿科技领域进行了空前激烈的竞争,借助关键核心技术创新重构技术体系、塑造国家竞争新优势(陈劲等,2020;王一鸣,2020)。随着前沿技术频繁迭代、快速升级,特别是随着以移动互联网、云计算等为代表的新型数字化服务与应用技术不断成熟,创新主体借助数字技术实现了高效性、精确性、可靠性的全方位拓展,数字关键核心技术领域的技术复杂程度日益攀升。数字产业的壮大使得跨区域知识收集、处理、传输和应

**[收稿日期]** 2024-07-21

**[基金项目]** 国家社会科学基金重点项目“支撑企业新质生产力形成的创新模式与创新政策研究”(批准号24AGL018);中国博士后基金特别资助项目“供应链重塑背景下企业关键核心技术突破的机制及路径研究”(批准号2024T170404)。

**[作者简介]** 师磊,南京财经大学经济学院讲师,南京大学经济学院博士后,经济学博士;阳镇,中国社会科学院工业经济研究所副研究员,清华大学技术创新研究中心兼职研究员,管理学博士;钱贵明,南京大学经济学院博士研究生。通讯作者:钱贵明,电子邮箱:guimingqian2024@163.com。感谢中国社会科学院学科登峰战略企业管理优势学科建设项目的支持。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

用变得异常便捷,基于信息、数据、知识与技术等要素的创新活动彻底由单一创新主体主导演化为多创新主体共同参与、跨区域资源互补的群体性活动。在这种情况下,创新不再是单个主体的工作,而是需要来自公共部门、私营部门等众多主体共同发挥作用,通过彼此资源互补融入创新网络的形式开展创新活动。单一经济主体在某技术领域的技术突破已不足以为其提供持续支撑性力量,团队协作成为关键核心技术创新的必要条件。团队协作可以突破单项技术领域的创新边界,通过互联化弥补技术缺失的问题(阳镇和王文娜,2024),有助于提升团队整体的创新要素配置效率与质量,为关键核心技术突破提供更大可能。

以数字技术、产品和服务为核心的数字产业集群,不仅是新兴的创新型产业集群,而且在数字经济时代,其主导各产业领域的技术水准,形成了技术集群。数字产业集群发展对创新特别是数字关键核心技术突破式创新具有积极带动作用。借助集群内数字公共基础设施,创新主体可以实现数据资源开放共享、多主体同步进行技术迭代、多领域知识与技术交叉融合,为关键核心技术突破式创新持续赋能。鉴于此,企业、科研院所、研发机构等创新主体可以快速精准获取必要信息,及时解构具有复杂知识与技术结构的前沿关键核心技术。不同创新主体在多领域多元化技术同步进行迭代共享、相互交叉关联地协作下,共同攻克多层次嵌套、多领域交融的前沿复杂关键核心技术。与此同时,在强大技术溢出效应的作用下,数字产业集群的地理边界不断扩张,“虹吸”并促进集群所在地其他企业与研发机构开展创新活动,各类经济主体以低成本解构生产与创新活动,赋能其提升研发创新要素配置效率,从而驱动集群所在地的区域性创新(金杨华等,2023)。

中华人民共和国科学技术部(简称科技部)于2013年起启动了创新型集群试点培育工作,其中不乏大量数字产业集群。集群试点培育政策旨在以集群内骨干企业为引领、促进各经济主体协同创新,最终发挥集群力量提升创新成效。在政府支持的作用下,以集群内企业为主构建了区域创新网络,各经济主体有效实现了价值共创,并营造了良好的区域生态系统,不断提升区域创新绩效(Jacobides et al., 2018)。数字产业集群的培育、发展与壮大,为创新主体突破关键核心技术提供了坚实的团队协作基础。因此,深入探究数字产业集群对数字关键核心技术突破式创新的内在作用机理与路径,评估数字产业集群试点政策作用效力,为突破关键核心技术、进一步加强“数字中国”建设以实现创新引领提供重要启示。

现有研究从集群试点政策对区域创新要素利用效率、全要素生产率和创新水平等方面展开了大量探讨,但是缺乏关于集群政策是否有助于数字关键核心技术突破式创新的讨论。为了系统探索数字产业集群试点政策对集群所属区域数字关键核心技术突破式创新的影响机理、作用机制与政策作用路径,本文展开了系统性研究。基于2000—2021年区县层面数据,本文借助科技部2013年起先后三批公示的创新型产业集群试点地区,并依据文本识别法从上述试点地区中识别出数字产业集群,将集群试点视为数字产业集群政策的准自然实验,采用交错双重差分模型(Staggered DID)剖析了数字产业集群试点政策对地区数字关键核心技术突破式创新的影响。在此基础上,本文还基于知识基础理论与协同创新理论,剖析了数字产业集群试点政策对数字关键核心技术突破式创新的作用机制,并进一步探析了在供应链关联与创新链关联的情形下所衍生的技术能力跃迁效应。

本文的边际贡献在于三个方面:①弥补了现有文献对数字产业集群政策作用评估方面的缺失,特别是数字产业集群政策对数字关键核心技术突破式创新的影响。本文聚焦于对数字产业集群政策的评估,丰富了对集群政策的讨论,通过探析数字产业集群政策是否有助于数字关键核心技术突破式创新,揭示出缘何当前国际竞争是围绕关键核心技术领域的竞争、为何从产品竞争过渡到集群竞争,这对于打赢关键核心技术攻坚战提供了重要政策启示。②剖析了数字产业集群政策对关键

核心技术突破式创新的具体作用机制。结合数字产业集群特征,本文从创新主体协同专业化、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升视角,剖析了数字产业集群政策发挥作用的经济机制,厘清了数字集群政策的作用机理与作用路径。③基于对“围绕产业链部署创新链,围绕创新链布局产业链”的现实考量,本文考虑了产业链供应链关联和创新链关联与数字产业集群政策的耦合作用,从生产活动与创新活动双重视角分析数字产业集群政策对于数字关键核心技术突破式创新的促进效应。从技术补链、融合强链视角探讨了攻克产业关键核心技术所需要的产业链、供应链、创新链以及产业集群的合力作用,为数字关键核心技术突破式创新所需要的政策组合研究提供了拓展性思路。在丰富现有研究的基础上,本文对于系统考察数字产业集群政策、全面解析数字关键核心技术突破式创新而言,具有重要的参考与启示意义。

## 二、文献回顾、政策背景与理论分析

### 1. 文献回顾

与本文相关的研究主要涉及两类文献。第一类文献聚焦关键核心技术以及关键核心技术创新。对关键核心技术内涵的研讨分别从知识基础、技术组件或技术部件、技术体系、技术类型等多种研究视角展开。其中,知识基础观主要聚焦关键核心技术的复杂性知识属性,技术组件或技术部件视角主要聚焦关键核心技术的内在构造属性,技术体系与技术类型视角主要聚焦关键核心技术的通用性、共性技术以及市场颠覆性。可以看出,关键核心技术具备明显的知识复杂性、体系多元性以及类型丰富性等特征,因此,加快攻克关键核心技术依赖于微观企业层面的创新战略与模式建构,也依赖于有效的产业创新政策支持。对关键核心技术突破式创新的研究主要基于企业主体、创新生态以及创新政策等视角,不同视角下的关键核心技术突破机制具有明显的差异性。关键核心技术是面向企业核心技术创新战略、市场竞争战略、产业竞争战略的一类技术,对于一国的企业、产业在创新竞争过程中获得优势地位具有决定性作用(陈劲等,2020)。第二类文献聚焦产业集群政策。产业集群政策是一系列促进集群发展的政策集合,包括对特色产业企业的财政补贴、税收减免,对创新活动进行研发补贴、加强知识产权保护,为企业发展提供融资便利化条件,还包括人才引进、培育创业孵化项目、建立完善的技术交易市场等政府优惠政策工具(王缉慈,2001)。以集群带动经济发展的理念已成为世界各国政策制定者的共识,各级政府纷纷采用集群政策推进本国或本地区产业集群的发展。出于产业升级、结构转型等驱动经济发展等目的,以产业集群为抓手促进产业技术变革或产业创新生态系统建设成为政府制定相关产业政策与创新政策的重要内容之一。通过集群政策推动集群内企业、研发机构、金融机构和公共部门等主体紧密联系,促进知识、技术等创新要素在集群内充分流动,能够有效提升集群的创新能力。

从产业集群政策对创新活动的影响看,集群政策发挥作用主要在于能够有效缓解创新活动的市场失灵问题。一般而言,由于技术与知识存在普遍的溢出效应,致使创新的私人回报与社会回报之间存在差额,且社会回报不被创新者占有,从而带来研发创新方面的市场失灵问题(Griliches, 1992)。产业集群政策能通过促进各个创新主体间多种形式的交流互动将技术与知识溢出在产业集群中内部化,系统性解决由创新外部性导致的市场失灵问题(David et al., 2000)。同时,产业集群政策还可以通过促进集群内各经济主体的协作降低其不确定性,从而促进创新。借助产业集群政策,政府可以通过不断释放积极的认证、审查等政策信号,强化集群内各经济主体的发展信心、降低信息获取成本、缓解不同主体间信息不对称问题等,有效促进试点地区的创新活力(王刚刚等,

2017)。

此外,集群政策是促进各级各类企业协同创新的重要政策工具。陈劲等(2020)指出,由于关键核心技术具有高度复杂性、多层次嵌套性、多领域融合性等技术特征,从而需要政府支持龙头企业发挥其技术引领优势的作用,以带动中小企业协作创新。通过加强产业技术创新规划与顶层设计,集群建设的重要内容是构建以技术创新为目的的产学研协同创新体系,不断完善社会支撑条件,营造良好创新生态系统,激发企业、科研院所等研发主体创新热情,最终提高技术与知识创新服务水平,促进共性技术的研发(谭劲松等,2022)。

## 2. 政策背景

国务院于2012年颁布了《国务院关于进一步支持小型微型企业健康发展的意见》(国发〔2012〕14号),提出要“促进产业集群转型升级”“大力发展县域经济”“开展创新型产业集群试点建设工作”。为促进产业集群创新发展,科技部于2013年印发了《创新型产业集群试点认定管理办法》(国科发火〔2013〕230号)。科技部于2013年认定了中关村科技园、天津北辰科技园等29个国家级创新型产业集群。在渐进式推进产业集群试点的实践过程中,科技部分别于2013年、2014年和2017年先后认定了以信息技术、数字新媒体和数字安防等为主导产业的共61个创新型产业集群,分布在22个省份54个城市,其中,数字产业集群24个,分布于22个城市。

随着产业集群试点建设深入推进,各地纷纷制定了促进集群产业发展的政策措施,不断建立并完善与集群产业链相关联的研发设计、创业孵化、技术交易、投融资和知识产权等服务机构,以及科研院所和教育培训等机构,并逐步建立了政府引导下的集群产业链协同机制。从产业集群建设成效看,集群试点关键核心技术的专利授权量不断增加。通过对比集群试点与非试点地区的关键核心技术专利数量可以看出,<sup>①</sup>二者的专利授权量均呈现不断上升的趋势。但是,集群试点政策实施后,试点与非试点地区在关键核心技术领域的专利数量差距日益扩大,揭示出产业集群试点政策可能对地区数字关键核心突破式技术创新具有显著的促进作用。

## 3. 理论分析

从数字产业集群政策具体实践看,各地区政府为构筑数字产业集群提供了多种数字基础设施,为营造数字化创新生态系统提供了相应的数字监管、促进要素共享与协作创新等方面的制度支撑和环境保障。从创新主体的创新协同视角看,基于专业化能力协同创新是保障数字产业集群内创新主体开展关键核心技术突破式创新的能力基础。政府通过支持合作研发项目、建立公共数字实验室、建设数字共享平台等数字公共基础设施,强化创新主体之间以及其与客户之间进行正式或非正式交流互动,使得在较低互动成本环境下,经济主体间可以及时共享大量信息、知识、技术与数据。借助数字公共基础设施,数字产业集群内企业通过数字化手段精确搜寻、匹配其所需信息,及时做出产品和技术调整以响应市场需求,降低技术与商业方面的不确定性(Fujita,2007)。

数字产业集群政策不仅提升了单个创新主体专业化创新能力,也促进了主体间协同创新(王宇婷和易加斌,2023)。对于关键核心技术突破式创新而言,需要多领域多学科的多种技术交互融合来实现,不同细分技术领域的专业化技术与知识间的互补协作,是关键核心技术突破式创新能力提升的重要机制。通过对数字平台、数字算法等数字基础设施的利用,创新主体之间能够快速构建较为稳定的技术关联,以己之所长进行互补性专业化技术分工与创新(白俊红和卞元超,2015)。基于知识技术的专业化分工促使集群内越来越多经济主体有更强的动机进行协作创新,创新团队内各

<sup>①</sup> 集群试点与非试点地区的关键核心技术专利数量参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

创新主体之间通过协同解构创新环节、筛选和识别有利于自身核心技术创新的信息等方式进行技术分工与协作(Vial, 2019)。由此激发各级各类企业形成“作战团队”进行突破式创新,以攻克关键核心领域“卡脖子”技术。

从技术扩散角度看,数字产业集群政策能够加大对集群内部知识产权保护及运用,这一举措促进了集群内数字技术溢出与扩散。数字产业集群所在地政府定期开展行业间、产业间的专利态势分析,同时开展科技创新活动知识产权的分析评议,建立数字产业集群的知识产权信息服务网络,为集群内企业开展知识产权质押、知识创新交流等科技创新活动提供全方位服务。基于集群政策提供的制度环境,集群内各创新主体在共享协作式研发创新活动过程中,大量隐性知识汇聚于集群之内,促使企业间技术联系不断强化,丰富的数字技术知识可演化出多种新型排列组合并在集群内扩散,为研发创新提供广阔空间。通过对交流互动溢出的经验等零散隐性知识进行快速收集、梳理归类、编码与加工处理,提高了创新主体信息资源的动态重组能力,使创新主体在搜索—开发—重组的路径上实现创新突破。

此外,从数字关键核心技术突破式创新所需的要素看,数字关键核心技术依赖的创新要素不仅是建立在人才、资本、技术以及数据等要素基础上,更依赖于各类创新性生产要素配置效率的优化提升。集群政策通过建立覆盖创新研发、软化孵化、市场应用等多环节的资金支持体系,汇聚并整合各级各类创新资源与要素。在人才与技术要素方面,可以通过加大对高层次人才的引进,降低产业集群范围内创新主体的人才获取成本,强化集群范围内创新型人才集聚吸引力以及流动率。在数据要素方面,集群政策主要通过建立数据交易中心,加快数据要素在集群内集聚和流通交易,以提升数据要素在集群内的配置效率。特别地,数字产业集群政策不仅强调各类生产要素与资源在特定空间内集聚,更强调在特定空间范围内,各类创新主体充分共享集群内的数字创新要素,从而推动集群内数字关键核心技术突破式创新能力的提升。由此可见,在数字产业集群政策作用下,县域范围内各类创新主体能够深化数字创新资源要素的有效利用和提升创新要素配置效率。这意味着,数字产业集群政策驱动创新要素配置效率提升成为集群内企业数字关键核心技术突破式创新的重要机制。基于此,本文提出:

假说:数字产业集群政策能够促进数字关键核心技术突破式创新能力提升,且政策通过协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制发挥作用。

### 三、研究设计

#### 1. 实证模型构建

本文参照沈坤荣等(2024)的研究,构建如下双向固定效应的交错双重差分模型检验数字产业集群试点政策对地区数字关键核心技术突破式创新的影响:

$$KeyTech_{ct} = \alpha + \tau Treat_c \times Post_t + \theta X + \delta_c + \sigma_t + \varepsilon_{ct} \quad (1)$$

其中, $c$ 表示第 $c$ 个数字产业集群, $t$ 表示年份。 $KeyTech_{ct}$ 为结果变量,即各集群的数字关键核心技术突破式创新。 $X$ 表示一系列控制变量。 $\delta_c$ 、 $\sigma_t$ 和 $\varepsilon_{ct}$ 分别为地区固定效应、年份固定效应和残差项。

#### 2. 数据来源

本文所使用的数据来源如下:①数字产业集群政策,使用科技部2013—2017年公布的三轮创新型产业集群试点区县。参照陶长琪和丁煜(2022)构建的数字经济关键词词库,本文依据该词库从创

新型产业集群试点中筛选出数字产业集群试点区县,最终得到24个数字产业集群。②发明专利数据,采用国家知识产权局通过形式审查的发明专利数据。③区县层面的控制变量数据,来源相关年份《中国城市统计年鉴》。由于集群试点涉及24个区县,为了更好地探析实验组与对照组之间的区别,本文将研究样本选定为与集群试点属于同一地级市的所有区县,共计435个区县。

### 3. 变量说明

(1)被解释变量:数字关键核心技术突破式创新。数字关键核心技术突破式创新能力的量化研究需要先锁定关键核心技术范围。基于现有研究的做法,本文从区县层面的发明专利着手,通过确定数字关键核心技术领域、测度数字关键核心技术突破式创新这两个步骤完成对被解释变量的设计。①确定数字关键核心技术领域。国家知识产权局发布的《关键数字技术专利分类体系(2023)》确定了7个关键核心技术领域共计585项技术分支。本文基于该分类体系以及《国际专利分类与国民经济行业分类参照关系表(2018)》,使用专利四位码进行匹配,锁定属于数字关键核心技术领域的专利。②测度数字关键核心技术突破式创新。Kelly et al.(2021)基于专利的重要程度以及其与以往专利的相似程度测度了技术突破式创新能力。本文基于该研究方法,通过对数字关键核心技术领域发明专利的技术新颖性与技术重要性进行测度,以衡量数字产业集群所在地的关键核心技术突破式创新:

$$KeyTech_{pt} = \sum_{\omega} \left( \frac{TF_{p\sigma} \times TF_{\sigma\tau}}{\|TF_{p\sigma}\| \|TF_{\sigma\tau}\|} \right) / \sum_{\omega} \left( \frac{TF_{pt} \times TF_{qt}}{\|TF_{pt}\| \|TF_{qt}\|} \right) \quad (2)$$

其中,  $KeyTech_{pt}$  表示企业在数字关键核心技术领域中专利  $p$  的突破能力;  $\sum_{\omega} \left( \frac{TF_{p\sigma} \times TF_{\sigma\tau}}{\|TF_{p\sigma}\| \|TF_{\sigma\tau}\|} \right)$  表示专利  $p$  在数字关键核心技术领域  $\omega$  中的前向相似度,  $\sum_{\omega} \left( \frac{TF_{pt} \times TF_{qt}}{\|TF_{pt}\| \|TF_{qt}\|} \right)$  为该项专利的后向相似度。相似度的计算依据专利  $p$  与其他专利的余弦相似度,若两项专利在技术领域  $\omega$  中的完全重叠,其相似度为1,否则为0。  $TF_{pt}$  表示技术领域  $\omega$  对于专利  $p$  的重要程度,其计算方法如下:

$$TF_{pt} = \sum_{\omega} \left[ \log \left( \frac{Patents_{\omega t}}{Patents_t} \right)^{-1} \times \frac{c_{\rho\omega t}}{c_{pt}} \right] \quad (3)$$

其中,  $TF_{pt}$  表示在第  $t$  年的一项专利  $p$  当中,其IPC所涉及的关键核心技术领域  $c_{\rho\omega t}$  占该项专利涉及所有领域  $c_{pt}$  的比例。  $Patents_{\omega t}$  表示截至第  $t$  年包含有关键核心技术领域  $\omega$  的专利数量,  $Patents_t$  表示截至第  $t$  年所有专利数量。  $(Patents_{\omega t}/Patents_t)^{-1}$  表示截至第  $t$  年,包含技术领域  $\omega$  的专利数量  $Patents_{\omega t}$  占总专利数  $Patents_t$  比重的倒数,该项数值越高,表示在所有专利中技术领域  $\omega$  的出现频率越低。  $c_{\rho\omega t}/c_{pt}$  越高,表明在第  $t$  年,技术领域  $\omega$  对于专利  $p$  而言出现的频率越大。因此,对于一项专利  $p$  而言,若其拥有较高的  $TF_{pt}$  值,说明技术领域  $\omega$  不常出现于其他专利中,但是频繁出现于该专利中,即该项专利是技术领域  $\omega$  中的一项重要专利。据此,本文对数字关键核心技术突破式创新进行了测度。

(2)核心解释变量:数字产业集群试点政策。本文设定  $Treat$  为数字产业集群试点政策实施变量,若某区县为数字产业集群示范试点地区,则将该县区视为处理组地区,且  $Treat$  取值1;反之则视为对照组地区,  $Treat$  取值0。  $Post$  为示范试点批准年份变量,若某地区当年被批准为示范试点地区,则该地区在该年及以后的年份取值1,否则取值0。

(3)控制变量。区县行政区域面积( $Area$ ),使用《中国城市统计年鉴》中提供的行政区域土地面

积(平方千米)的对数值度量;区县经济发展水平( $Pgdp$ ),使用人均GDP的对数值度量;区县人口密度( $Population$ ),使用年末总人口(万人)的对数值度量;区县工业化进程( $Industrilazion$ ),采用工业总产值占区县GDP比重度量;政府干预程度( $Government$ ),使用政府支出占区县GDP比重度量;产业集聚程度( $Agglomeration$ ),采用区县制造业就业密度(单位面积就业人数)占其地级市制造业就业人数比值来反映。<sup>①</sup>

## 四、实证分析

### 1. 基准回归

为探究数字产业集群政策对数字关键核心技术突破式创新的影响,本文使用包含双向固定效应的交错双重差分方法对式(1)回归,表1汇报了基准回归结果。其中,第(1)列为仅包含控制地区与年份固定效应的回归结果,第(2)列为进一步纳入控制变量的回归结果。为剔除极端值影响,本文进一步对数字关键核心技术突破式创新进行5%缩尾,缩尾后的回归结果见第(3)列。同时,由于影响数字关键核心技术突破式创新的因素众多,可能会带来变量间反向因果的影响,为此,本文对地区数字关键核心技术突破式创新做前置一期的处理,回归结果如第(4)列所示。上述回归结果表明,数字产业集群政策促进了数字关键核心技术突破式创新,且这一基准回归结果稳健可信。<sup>②</sup>

表1 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>KeyTech</i>	<i>KeyTech</i>	<i>KeyTech</i>	<i>KeyTech</i>
$Treat \times Post$	5.2924*** (1.1025)	4.6533*** (1.0585)	4.4137*** (0.8724)	4.4788*** (1.0243)
常数项	4.0484*** (0.0804)	-110.8053*** (23.4747)	-163.5855*** (17.2255)	-119.0215*** (22.5051)
控制变量	否	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
样本量	9570	9570	9347	9130
调整R <sup>2</sup>	0.3934	0.4111	0.4349	0.4117

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著;括号内汇报了稳健标准误。以下各表同。

### 2. 稳健性检验<sup>③</sup>

(1) 平行趋势检验。基于双重差分法进行研究的一个重要应用前提在于政策实施前对照组与实验组不存在系统性差异,本文借鉴Megavock(2021)的做法,通过构建距离政策实施年份的相对时间虚拟变量做事件研究以开展平行趋势检验:

$$KeyTech_{ct} = \alpha + \sum_{l=-4}^5 \tau_l Treat_c \times Post_l + \theta X + \delta_c + \sigma_t + \varepsilon_{ct} \quad (4)$$

其中, $l$ 表示数字产业集群试点地区的相对处理年份,参考常见做法,本文将窗口期 $l$ 设定为政策实施前4期至政策实施后5期之间。以此为基础,本文绘制了实验组与对照组地区数字关键核心

① 主要变量的描述性统计参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 控制变量回归结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 稳健性检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

技术突破式创新的变化趋势曲线,以对比两组样本的差异。为避免构造相对年份虚拟变量导致的陷阱,本文选取政策实施的前一年作为基准组。基于事件分析法可以看出,在政策实施前实验组和对照组的系数估计值在0值上下波动,且不存在统计意义上的差异。这说明,本文的基准回归满足平行趋势的前提,可以认为基准回归结果可信。

(2)更换被解释变量。参考现有研究的做法,本文使用数字关键核心领域的专利数量和专利质量作为数字关键核心技术突破式创新的代理变量。对于专利质量而言,本文以剔除自引用后的专利被引用次数为度量指标。通常,一项专利的被引用次数越高,说明该项专利蕴含的技术知识基础越坚实,可以反映出该专利对后续专利的贡献度和市场价值(龙小宁等,2023)。对于数字关键核心技术领域专利的数量与质量的测度,本文均进行了加1后取对数处理。

(3)控制区县数字经济发展水平。为确保基准回归中估计系数 $\tau$ 能够更精准反映数字产业集群政策的作用力度,本文从区县层面的固定电话用户数、移动电话用户数和互联网宽带接入用户数三个维度,运用主成分分析法测度了研究样本中各区县数字经济发展指数,用以作为地区数字经济发展水平的代理变量,并将其纳入基准方程中的控制变量组。

(4)控制高维固定效应。虽然本文在基准回归中控制了区县固定效应和年份固定效应,但有可能忽略区县层面其他的影响因素。本文通过生成时间趋势项的方式,在基准回归中纳入区县一年份固定效应,以缓解混杂因素的影响。

(5)使用堆叠双重差分法重新估计。在不同实验组之间或不同年份试点政策事件之间,处理效应并不完全相同,因此,可能会导致基准回归中所得到的估计系数 $\tau$ 存在偏误。为检验实证策略的稳健性,本文进一步使用包含双向固定效应的堆叠双重差分法(Stacked DID)回归策略,重新进行实证检验。

(6)排除其他政策干扰。为避免各地区受到其他政策而造成对基准回归估计结果的干扰,本文收集了区县层面关于促进数字经济发展方面的经济政策,并从以下两个方面展开研究:①2013年中国发布了“宽带中国”战略实施方案,以数字公共基础设施建设为未来产业和技术创新提供支持条件。本文收集并整理了2014—2016年“宽带中国”示范城市名单,通过引入“宽带中国”示范城市虚拟变量与本文核心解释变量的交互项,以控制该项政策可能带来的影响。②自2012年起,中国陆续发布三批“智慧城市”建设试点,“智慧城市”建设试点地区精确到区县层面,本文收集并整理了2012—2014年“智慧城市”试点地区,同样通过引入该虚拟变量与核心解释变量的交互项,以控制该项政策可能带来的影响。

(7)使用三重差分法(DDD)估计政策净效应。为了更精准获得数字产业集群政策净效应,本文使用三重差分法进行估计。基于2013—2017年共三轮“创新型产业集群试点”政策,从中选择非数字产业集群试点区县构建第二组处理组与对照组。使用 $Group$ 表示第二对控制组和对照组,对于属于创新型产业集群试点的区县,赋值1,否则赋值0。对于非数字产业集群而言,其不受数字产业集群政策试点政策影响,此时第二对控制组和对照组的差异只来源于其他政策的影响,由此可以得到数字产业集群政策试点的净效应。

(8)剔除样本。①考虑到在本文研究的样本范围内包含了4个直辖市,这些地区在经济发展水平、数字化基础设施完善程度、创新活跃度等方面与其他地区存在较大发展差异,可能会造成回归结果存在一定的偏误。为此,本文通过剔除直辖市方式,对基准回归进行稳健性检验。②为探索区域创新发展新模式、提升区域竞争力,国家批准了上海市浦东新区等12个国家综合配套改革的试验区,上述改革试验在金融发展、创新发展等方面与本文研究样本内的其他地区存在较大差异,通过剔除上述综合配套改革试验区方式,再次对基准实证方程进行回归。③同时将直辖市和综合配



套改革试验区的样本剔除,并再次回归。

通过上述系列稳健性检验结果可以看出,数字产业集群政策对地区数字关键核心技术突破式创新的影响均在1%的水平上显著为正,表明本文的基准回归结果稳健可信。

### 3. 内生性分析<sup>①</sup>

(1)反事实模拟。为进一步确认数字产业集群政策促进数字关键核心技术突破式创新能力提升的因果关系成立,本文进行了反事实模拟。基于数字产业集群试点地区的批准年份:2013年、2014年和2017年,分别依据区县数字关键核心技术突破式创新由大到小排名,等比例生成数字产业集群试点区县,并将此视为反事实处理组,基于基准实证方程进行回归。结果揭示了不管是按照年份分别进行回归还是同时对三个年份反事实组的回归,回归结果均不显著。这表明,新生成的数字产业集群试点政策对数字关键核心技术突破式创新没有显著影响,证实本文的因果逻辑成立。

(2)基于双重稳健估计的政策内生性检验。Callaway and Sant'Anna(2021)指出,在使用多期双重固定效应的双重差分模型时存在一定的估计偏误,即在本文的基准回归中,不同年份试点区县不仅会将以往非试点区县视为对照组,还会将此前成为试点的区县视为对照组,从而导致估计结果产生偏误。为缓解这一问题,本文基于双重稳健估计模型,依据2013年、2014年和2017年设立的数字产业集群试点区县重新进行估计。

(3)基于合成双重差分法(Synthetic Difference-in-Differences, SDID)的政策内生性检验。考虑到在数字产业集群政策的实施过程中,试点地区选择以及试点时间选取具有一定程度的非随机性,导致本文所研究的问题在一定程度上具有内生性。为了进一步缓解数字产业集群政策的内生性问题,本文借鉴Arkhangelsky et al.(2019)所提出的SDID法进行检验。

上述内生性检验结果显示,在考虑数字产业集群政策内生性问题的情况下,本文的实证研究通过了内生性检验,说明本文基准回归结果是可信的,并证实了本文的假说。

## 五、数字产业集群政策的作用机制分析

### 1. 作用机制分析

本文在理论分析部分分别从知识基础理论和协同创新理论的视角提出,数字产业集群政策通过协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升的机制对地区数字关键核心技术突破式创新构成影响。为检验上述作用机制,本文设定如下实证模型:

$$Mechanism_{ct}^j = \alpha + \tau Treat_c \times Post_t + \theta X + \delta_c + \sigma_t + \varphi_{ct} \quad (5)$$

$$KeyTech_{ct} = \alpha + \beta Mechanism_{ct}^j + \tau' Treat_c \times Post_t + \theta X + \delta_c + \sigma_t + \mu_{ct} \quad (6)$$

其中, $Mechanism_{ct}^j$ ( $j = 1, 2, 3$ )表示分别为协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制变量。

对于协同专业化创新机制(*Cospecialize*)而言,Clemente et al.(2022)在探讨欧洲一体化过程中各成员国在行业层面的共同创新程度时,指出协同创新的本质在于共同专业化,并强调由专业化分工积累了知识和技术,从而促进经济增长。本文认为在数字产业集群内,协同专业化不仅体现于跨行业、跨链条的协作创新,与此同时,相互协作的创新主体之间通过多学科、多领域的技术合作,不断提升其本领域范围内的技术专业程度。因此,本文在Clemente et al.(2022)的基础上,测度了数字

<sup>①</sup> 内生性检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

产业集群的协同专业化创新程度。<sup>①</sup>

对于数字技术扩散机制(Diffusion)而言,参考常见做法,本文使用集群一年份层面的专利引用信息表征不同数字产业集群内数字技术的扩散水平(Acemoglu et al., 2022)。本文使用地区层面专利申请数据的四位码依据《数字经济核心产业分类与国际专利分类参照关系表(2023)》,确定包含数字技术的专利。在此基础上,本文使用同一产业集群内申请的专利数据所引用的该集群内数字技术专利的数量除以该专利所有引用专利数量,并以此作为集群内数字技术扩散的代理变量。

对于数字创新要素配置效率提升机制(Efficiency)而言,在集群政策的支持下,数字产业集群内汇聚着大量的科学研究人员、研发资本投资以及数据要素,基于上述创新要素,集群内各创新主体创新活跃度不断攀升,特别是基于数据要素的运用,集群的数字创新要素配置效率得以提升。参考师磊和彭子晨(2024)的做法,本文将上述数字创新要素视为创新活动的投入要素,将专利申请数量作为创新产出,并使用数据包络分析法测度数字产业集群的数字创新要素配置效率。

基于此,本文对协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制进行实证检验,回归结果见表2。结果显示,数字产业集群政策对协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升的影响均显著为正,表明数字产业集群政策促进了集群内协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升。上述结果初步证实集群协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升作用机制成立。

表2 政策作用机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Cospecialize</i>	<i>KeyTech</i>	<i>Diffusion</i>	<i>KeyTech</i>	<i>Efficiency</i>	<i>KeyTech</i>
<i>Treat</i> × <i>Post</i>	0.2118** (0.1004)	3.6681*** (0.8279)	0.0277*** (0.0106)	4.1785*** (1.0288)	0.0172*** (0.0053)	4.5366*** (1.0603)
<i>Cospecialize</i>		4.6515*** (0.1189)				
<i>Diffusion</i>				17.1611*** (0.7836)		
<i>Efficiency</i>						6.7887*** (2.1882)
常数项	-30.1704*** (2.1854)	29.5314 (20.0398)	-4.5775*** (0.2688)	-32.2502 (23.3373)	-3.4317*** (0.1566)	-87.5082*** (22.0535)
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	9570	9570	9570	9570	9570	9570
调整 R <sup>2</sup>	0.5266	0.6295	0.7021	0.4483	0.8703	0.4125

## 2. 作用路径分析

(1)作用机制的有效性检验。为检验本文所提出的集群协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率机制的有效性,本文参考Guo et al.(2022)的方法对上述机制的有效性进行检

① 协同专业化机制的测度方法参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

验,具体思路为:通过单个机制的显著性来检验单个机制的有效性,并在此基础上,通过考察上述三条机制同时作用的联合显著性,以检验机制的联合有效性。检验结果显示,<sup>①</sup>对于协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率而言,不论是上述机制变量的单独检验,还是多个机制变量的联合检验,均显著拒绝作用机制变量等于0的原假设,说明上述作用机制显著异于0。即上述作用机制是有效的,这为后续进行系列机制检验以及数字产业集群政策的作用路径分析提供了基础。

(2)政策作用机制的因果路径分析。为了进一步考察数字产业集群政策的具体作用路径,本文借鉴 Zhou and Yamamoto(2023)提出的平均处理效应分解思路,在 Rubin 框架下对数字产业集群政策通过协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制促进数字关键核心技术突破式创新的作用路径进行分析。

基于前文对作用机制的分析可以看出,数字产业集群政策的作用依赖于集群协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升机制。为了进行作用机制的路径分析,需要对上述机制进行先后顺序的划分,本文假设在逻辑上存在着协同专业化、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率的先后顺序。此时,平均处理效应可表示如下:

$$ATE = E\left[ Y(1, Cospecialize(T)), Diffusion(T, Cospecialize(T)), Efficiency(T, Cospecialize(T), Diffusion(T)) - Y(0, Cospecialize(T), Diffusion(T, Cospecialize(T)), Efficiency(T, Cospecialize(T), Diffusion(T))) \right] \quad (7)$$

通过对上述平均处理效应 ATE 进行变形处理,得到平均处理效应分解中分别包含数字产业集群政策的直接效应(Policy → KeyTech)<sup>②</sup>、政策通过协同专业化创新对数字关键核心技术突破式创新影响的间接效应(Policy → Cospecialize → KeyTech)、通过数字技术扩散机制对数字关键核心技术突破式创新影响的间接效应(Policy → Diffusion → KeyTech)、通过数字创新要素配置效率提升对数字关键核心技术突破式创新影响的效应(Policy → Efficiency → KeyTech)。本文基于插补加权估计法进行因果效应分解,并使用贝叶斯叠加回归树模型进行估计。

表3汇报了数字产业集群政策的平均总效应、对数字关键核心技术突破式创新的直接效应及其通过协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升的路径效应,以及各作用机制所遵循路径的效用力度占比。可以看出,数字产业集群政策对数字关键核心技术突破式创新的直接效应约占总效应的13.68%,通过协同专业化机制的复合链式路径效应(约43.54%)强于数字技术扩散的路径效应(约26.18%),也强于通过数字创新要素配置效率提升的路径效应(约16.60%)。上述路径分析说明,数字产业集群政策的间接效应大部分通过链式复合效应传递。

表3 作用路径分解

数字产业集群政策的作用路径	系数值	占比(%)
平均总效应	1.8494***	100.0000
数字产业集群政策 → 协同专业化创新 → 数字关键核心技术创新	0.8051***	43.5370
数字产业集群政策 → 数字技术扩散 → 数字关键核心技术创新	0.4840***	26.1763
数字产业集群政策 → 数字创新要素配置效率提升 → 数字关键核心技术创新	0.3071***	16.6036
直接效应:数字产业集群政策 → 数字关键核心技术创新	0.2532***	13.6831

① 作用机制的有效性检验结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 为区分传导机制作用路径,→表示直接路径,~表示间接路径。

## 六、进一步讨论

### 1. 异质性分析

前文论述了数字产业集群政策对数字关键核心技术突破式创新的促进性影响,但影响力度可能会由于区域间存在着异质性特征而发生变化。因此,本文从如下三个方面做异质性分析。

(1) 地区间经济活跃度异质性。在本文研究的样本中,不乏经济发展水平和经济活跃度较高的区县,也包含经济活跃度较低的区县。经济活跃度的差异不仅能够揭示出地区需求层面的差异,也可以揭示不同地区间在生产能力与技术能力之间的差异,这些差异可能会导致同样的政策产生不同的政策效果。对于地区经济活跃度而言,现有学者认为,夜间灯光数据是一个能够较好反映地区经济发展的有效指标,其可以同时捕捉市场性与非市场性的经济活动,且比GDP更真实地揭示地区经济活跃度状况。因此,本文将使用夜间灯光数据作为区县经济活跃度的代理变量,数据来自Harvard Dataverse,该数据库提供了地区各个像元上的非缺失像元数,每像素的夜间灯光数据取值范围在0—79之间,数值越大说明该区经济活跃度越高。借鉴上述研究方法,本文利用ArcGIS软件将夜间灯光数据匹配至中国区县约1平方千米的单位栅格的行政区域范围内。为探讨地区经济活跃度的异质性,本文计算各地区夜间灯光数据的中位数,将夜间灯光数值低于中位数的地区赋值为0,反之赋值为1,从而将研究样本区分为两组,并分别回归,结果如表4第(1)、(2)列所示。对于经济活跃度较高的地区而言,数字产业集群政策在1%的水平上显著为正,促进数字关键核心技术突破式创新,然而对于经济活跃度较低的地区而言,集群政策的作用效果并不显著。

表4 异质性分析结果

变量	经济活跃度		数字经济发展活跃度		数字基础设施完善度	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	低	高	低	高	低	高
<i>Treat × Post</i>	-0.1817 (0.8968)	3.9040** (1.1601)	0.9971 (1.2874)	4.7643*** (1.3200)	-0.7763 (0.4940)	6.0232*** (1.2705)
常数项	-5.6565 (9.3826)	-464.6877*** (82.9261)	6.9110 (7.5469)	-285.6191*** (49.4362)	38.8052*** (8.0624)	-243.1617*** (42.7350)
控制变量	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
样本量	4577	4964	3822	5731	3939	5617
调整R <sup>2</sup>	0.7923	0.4083	0.5019	0.4019	0.8159	0.4543
经验P值	-4.0863***		1.6051***		-6.8002***	

(2) 数字经济发展活跃度异质性。数字产业集群的作用与地区企业数字经济发展的热情与活跃度息息相关。对于积极谋求数字化发展的地区而言,数字产业集群政策的实施将会为该地区的产业数字化转型以及借助数字技术手段进行创新活动提供支持和动力,政策的作用效果也将会大幅提升。相反,对于没有数字经济发展意愿的地区而言,尽管政府对数字产业集群的支持力度很大,但政策难以有效促进地区发展,也难以带动这些地区创新,政策的作用效果将会大打折扣。因此,本文依据各地区数字经济发展热情对研究样本进行划分。具体而言,本文采用各区县当年开通

微博的企业数量作为地区数字经济发展热情或活跃度的代理变量。选取该变量的原因在于,通过微博这一数字平台,区县内企业可以更好地与市场互动,有助于提升品牌知名度,拓宽开展经济活动的渠道。同样,基于该变量为各区县的数字经济发展活跃度进行哑变量赋值,并分组回归,结果如表4第(3)、(4)列所示。结果表明,对于数字经济发展活跃度较高的地区而言,数字产业集群政策的作用效果在1%的水平上显著为正,且回归系数约为4.76,高于全样本回归结果。

(3)数字基础设施完善度异质性。数字基础设施完善度直接决定了一个地区可以在多大程度和范围内进行信息搜寻、整合与处理的能力,同时也直接影响高等院校、科研院所等机构与企业之间交流成本和交易成本。换言之,数字基础设施完善度是地区知识溢出大小的重要影响因素之一。由此可知,地区间数字基础设施完善程度的差异将会导致对数字产业集群政策的消化力度产生差异。借鉴黄勃等(2023)的做法,本文使用各区县宽带接入用户数与年末总户数的比值作为地区数字基础设施完善度的代理变量,据此将本文的研究样本区分为数字基础设施完善程度高、低两组,并分别回归,结果如表4第(5)、(6)列所示。从回归结果可以看出,对于数字基础设施完善程度较高的地区而言,数字产业集群政策的作用在1%的水平上显著为正,并且回归系数值约为6.02,远大于基准回归结果的4.65,这也揭示出数字基础设施对于政策发挥作用的重要性。

## 2. 拓展性分析:供应链关联与创新链关联

科技创新活动尤其是关键核心技术领域的创新活动,越来越依靠多经济主体之间的协作(陈强远等,2024)。从创新想法到投入研发、再到成果与技术的产业化应用,在这一过程中,各环节都需要不同经济主体之间不断进行交流与互动。生产性投入产出联系、研发性投入产出联系以及集群内主体间联系,成为不同视角下汇聚并促进经济主体间展开协作的重要机制途径。各种交流与互动途径均为数字关键核心技术突破式创新提供支撑和动力。因此,本文进一步探讨了供应链关联和创新链关联的视域下数字产业集群政策的作用效果。

对于供应链关联而言,从以企业为主体的创新活动看,企业创新资源的获取在很大程度上依赖于企业所处供应链上的合作伙伴,这是因为信息、知识与社会资源在供应链上企业之间存在强大的溢出效应。供应链溢出效应是以异质性资源为特征的溢出,这种跨行业的异质性资源获取成为企业边界扩张、提升竞争能力、掌控核心技术能力和关键性资源的重要途径。此外,供应链上的互动关系已成为企业创新乃至产生突破式创新的重要抓手,其体现为如下两个方面:一方面,位于供应链上游的供应商企业需立足于客户的站位视角,对客户的创新需求做出积极回应,此时供应商需要不断对自身核心技术迭代升级、重塑其技术与产品架构,以满足客户需求;另一方面,作为客户而言,其往往可以同时众多供应商所提供的产品中进行选择,客户可以在第一时间感知来自供应商的大量异质性技术、资源和信息,有助于激发客户不断更新技术、开发新产品以赢得竞争优势。上述供应商和客户的关系不仅能单独激发某个企业进行创新,还能激发供应商与客户协作创新,尤其是当供应商与客户在较近的地理范围内,这一协作创新促进效应更为强烈(Choi et al., 2020)。

从创新链关联看,高等院校、科研院所等机构是基础性研究与创新的源头,其处于创新链的上游,而企业更多地偏向于应用技术创新,一般处于创新链的下游(Pavitt, 1984)。在数字经济飞速发展背景下,其互联性与无边界性特征为企业提供了良好的资源获取环境和技术更新的便利化条件,致使多元化技术与信息交融成为创新的必要条件之一。开放式创新快速取代“孤岛式”创新,并成为当前创新活动的主要方式,促使创新链关联愈发紧密,各种创新要素与资源在创新链上的互动过程中不断被共享、匹配与整合。无论是研发机构还是企业,均可以通过技术与知识的交流互动获得精准匹配的资源,获得创新困境中的最佳解决方案。在可以不断获取新知识、新技术、新资源的创

新链环境中,企业不断向核心且前沿的技术领域迈进(李雪松等,2022)。

供应链关联与创新链关联本就具备创新能力提升效应。在数字产业集群政策的作用下,地区数字产业集群发展不断壮大,甚至在全国范围内具有示范引领作用。因此,当一个地区建立了数字产业集群,其数字技术、数字产品和数字服务将构成强大的向心力,促使本地区范围内的研究机构、企业等经济主体向该集群靠拢,借助这一向心力,促使新的供应链联系与创新链联系形成,或者促使原有的供应链联系与创新链联系变得更加紧密。总而言之,围绕该集群,经济主体间的关系将会得到重塑,可以在更大范围和程度上激发创新活力,促进数字关键核心技术突破式创新。

据此,本文构建了地区供应链关联强度与创新链关联强度指标。对于供应链关联强度而言,本文参考巫强和姚雨秀(2023)的做法,采用各地区工商企业当年在本地区范围内前五大供应商采购和向前五大客户销售的比例均值作为企业供应链关联强度,对该地区范围内所有企业层面的供应链关联强度再次取均值,得到该地区供应链关联强度。对于创新链关联强度而言,依据 Pavitt (1984)的做法,基于行业视角,本文按照创新来源和模式将所有行业划分为具有创新上下游关联的四类行业:以科学为基础的行业、专业化供应商行业、规模密集型行业和供应商主导型行业。根据上述四类行业的授权专利引用数据计算地区创新链关联强度。同样地,采用引用本地区创新链上下游专利的比例均值,再对该地区所有行业专利的上下游引用比例计算均值,得到该地区的创新链关联强度。

依据上述对于地区层面供应链关联强度(*SupplyChain*)和创新链关联强度(*InnovationChain*)的指标计算,本文分别将其与数字产业集群政策的交互项代替基准回归中的数字产业集群政策变量,并同样控制地区和年份固定效应进行回归。

表5分别汇报了供应链关联、创新链关联分别与数字产业集群政策交互的回归结果。从回归结果看,数字产业集群政策的主效应均显著为正。从供应链关联看,供应链关联强度与数字产业集

表5 拓展性分析结果

变量	(1)	(2)
	供应链关联	创新链关联
<i>Treat × Post</i>	2.4699** (1.1916)	4.8706*** (1.0494)
<i>Treat × Post × SupplyChain</i>	6.7921*** (2.2032)	
<i>SupplyChain</i>	-0.1006 (0.4803)	
<i>Treat × Post × InnovationChain</i>		-31.8635* (18.9465)
<i>InnovationChain</i>		7.9179*** (2.2966)
常数项	-107.4681*** (23.4755)	-114.8314*** (23.6881)
控制变量	是	是
地区固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
样本量	9570	9570
调整 R <sup>2</sup>	0.4146	0.4121

群政策的交互项在1%的水平上显著为正,表明供应链关联与集群政策对数字关键核心技术突破式创新存在互补作用,集群政策强化了供应链关联强度,从而促进数字关键核心技术突破式创新。供应链关联强度也对集群政策作用具有强化作用,在这一相互支撑强化的作用下促进地区数字关键核心技术突破式创新。从创新链关联看,创新链关联强度与数字产业集群政策的交互项在10%的水平上显著为负,表明创新链关联与集群政策之间存在着对数字关键核心技术突破式创新的替代作用。但是,单独看创新链关联的影响,创新链关联强度对数字关键核心技术突破式创新在1%的水平上显著为正,且回归系数值远大于数字产业集群政策的回归系数,说明创新链关联对数字关键核心技术突破式创新的影响更为重要。创新链关联的整体回归结果表明,对于创新链关联强度越强的地区,数字产业集群政策发挥作用的空間越小,政策的促进效应越低;反之,对于创新链关联强度较弱的地区,数字产业集群政策的作用效果越好。

## 七、结论与政策启示

数字经济的飞速发展驱动着产业技术革新,在全球范围内引发了技术浪潮。创新驱动下如何借助数字经济发展赋能关键核心技术突破式创新,受到各国的重点关注。本文以数字产业集群政策为切入点,依循“数字产业集群政策—数字产业集群运行与发展—数字关键核心技术突破式创新”的逻辑主线,从集群内主体间协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升的角度探讨数字产业集群政策对数字关键核心技术突破式创新的影响,解构了政策作用路径,并基于供应链关联与创新链关联的现实考量,探讨数字产业集群政策的具体作用效果。基于数字产业集群政策作用机制及路径分解的角度,以数字产业集群现实发展的事实为基础,量化评估了数字产业集群政策的作用力度,为数字产业集群发展、提升数字产业集群国际竞争力、攻克关键核心技术等层面提供了重要启示。

本文的研究结果显示,数字产业集群试点政策促进了数字关键核心技术突破式创新,并且政策的解释力度达到21.10%。实现这一政策效果的主要机制在于集群政策促进集群内各创新主体间协同专业化创新、数字技术扩散以及数字创新要素配置效率提升,进而促进数字关键核心技术突破式创新。异质性分析表明,对于经济活跃度更高、数字经济活跃度更高以及数字基础设施更完善的地区,数字产业集群政策的作用更强。此外,基于供应链关联与创新链关联视角的分析表明,供应链关联与数字产业集群政策对促进数字关键核心技术突破式创新发挥互补作用,创新链关联与数字产业集群政策则发挥替代作用。基于本文的研究结论,得到如下政策启示。

(1)立足数字核心产业高质量发展的现实需求,聚焦数字产业集群中的数字关键核心技术突破式创新的堵点与卡点,进一步出台丰富数字产业集群政策内容和政策工具。集群政策的优势在于系统性,其作用对象不仅限于骨干企业,还涉及中小微企业、高等院校、科研机构以及风险投资机构和相关金融机构。借助集群政策不仅可以有效促进各级各类企业高质量发展,还能通过公共实验室、共享平台等最大限度激发知识与技术的溢出、实现互联互通,不断促进创新主体向核心、前沿的技术领域迈进。为此,需要不断建设并完善试点地区的共享平台、搭建大数据中心,建立健全完善的数据交易市场,同时在营造开放共享的政策环境下,出台一系列知识产权等保护制度,以更好地激发各类创新主体的研发热情与创新能力。

(2)立足数字产业政策夯实面向数字产业集群内的产业基础设施环境,以强化数字产业集群内创新主体专业能力协同为重点优化产业基础设施空间布局。促进多领域、多学科、多行业

的各类创新主体协同专业化是实现数字关键核心技术突破式创新的重要路径。数字产业基础设施包括各类产业技术创新平台、数据平台以及共性技术研究平台等各类产业平台,在数字浪潮席卷全球的态势下,前沿领域的技术更迭愈发频繁,以数字产业中的平台建设、数字技术服务为抓手,促进多领域多行业借助数字化手段,促进产业链上研发创新、生产制造与客户服务等各环节共享数据、共享产品与技术的应用场景。营造有利于产业链上下游多行业共同迭代技术、共同实现技术与产品创新的政策环境,从而促进多主体在关键核心技术领域的创新实现协同突破。

(3)强化数字产业集群内细分产业链核心主体的牵引能力和带动扩散能力,特别是发挥数字产业链链主企业在数字产业集群内的正向知识溢出与技术扩散能力,强化数字产业集群内各类大中小企业的要素融通能力建设。重点鼓励细分产业链核心主体牵引搭建产业大数据平台,充分吸引各类中小企业和其他创新主体加入其中,构建激励相容的运行机制,充分保障产业公共数据的共享性和私人数据交易的市场属性,形成面向产业集群范围内各类创新主体的要素获取、要素交易、要素流动与利益分配机制。重点支持集群内创新主体联合组建产业数字共性技术研发平台,发挥数字共性技术的高度溢出性和公共性对数字产业集群内各类创新主体开展关键核心技术攻关突破的支撑效应,降低产业创新主体数字关键核心技术创新攻关的“基础技术”“元技术”等获取学习成本。

(4)数字基础设施建设应以数字产业集群为中心,不断向本地区其他区县扩散。在促进数字产业集群发展的过程中,大量共享实验室、公共数字平台等数字公共基础设施的建设为集群内各经济主体提供了有益帮助。相较于本地区集群外部的其他区县,集群内的数字公共基础设施更具前沿性与先进性,并且在对这些设施设备的使用过程中,需要不断进行升级改造。因此,集群内能高效带动多主体协同发展的数字基础设施经过升级改造后,应及时向集群外的区县开放,从而在更大范围内促进地区间各行各业更平衡、更协调发展。

#### 〔参考文献〕

- 〔1〕白俊红,卞元超.政府支持是否促进了产学研协同创新[J].统计研究,2015,(11):43-50.
- 〔2〕陈劲,阳镇,朱子钦.“十四五”时期“卡脖子”技术的破解:识别框架、战略转向与突破路径[J].改革,2020,(12):5-15.
- 〔3〕陈强远,殷赏,程芸倩,孙久文.围绕创新链布局产业链:基于中关村科技园周边新企业进入的分析[J].中国工业经济,2024,(1):75-92.
- 〔4〕黄勃,李海彤,刘俊岐,雷敬华.数字技术创新与中国企业高质量发展——来自企业数字专利的证据[J].经济研究,2023,(3):97-115.
- 〔5〕金杨华,施荣荣,吴波,王节祥.产业集群赋能平台从何而来:功能开发与信任构建共演的视角[J].管理世界,2023,(5):127-145.
- 〔6〕龙小宁,刘灵子,张靖.企业合作研发模式对创新质量的影响——基于中国专利数据的实证研究[J].中国工业经济,2023,(10):174-192.
- 〔7〕李雪松,党琳,赵宸宇.数字化转型、融入全球创新网络与创新绩效[J].中国工业经济,2022,(10):43-61.
- 〔8〕沈坤荣,乔刚,林剑威.智能制造政策与中国企业高质量发展[J].数量经济技术经济研究,2024,(2):5-25.
- 〔9〕师磊,彭子晨.企业数字化转型对其创新要素配置效率的影响——基于熊彼特创新范式的分析框架[J].中国农村经济,2024,(4):99-119.
- 〔10〕谭劲松,宋娟,王可欣,赵晓阳,仲淑欣.创新生态系统视角下核心企业突破关键核心技术“卡脖子”——以中国高速列车牵引系统为例[J].南开管理评论,2022,(2):1-28.



- [11]陶长琪,丁煜.数字经济政策如何影响制造业企业创新——基于适宜性供给的视角[J].当代财经,2022,(3):16-27.
- [12]王刚刚,谢富纪,贾友.补贴政策激励机制的重新审视——基于外部融资激励机制的考察[J].中国工业经济,2017,(2):60-78.
- [13]王缉慈.创新的空间—产业集群与区域发展[M].北京:北京大学出版社,2001.
- [14]王一鸣.百年大变局、高质量发展与构建新发展格局[J].管理世界,2020,(12):1-13.
- [15]王宇婷,易加斌.数字经济产业园区企业网络嵌入、数字化能力与开放式创新[J].技术经济,2023,(10):81-93.
- [16]巫强,姚雨秀.企业数字化转型与供应链配置:集中化还是多元化[J].中国工业经济,2023,(8):99-117.
- [17]阳镇,王文娜.产业链链主视角下的关键核心技术突破:角色适配性、模式选择与推进体系[J].改革,2024,(9):100-114.
- [18]Acemoglu, D., U. Akcigit, and M. C. Alp. Radical and Incremental Innovation: The Roles of Firms, Managers, and Innovators[J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2022, 14(3): 199-249.
- [19]Arkhangelsky, D., S. Athey, D. A. Hirshberg, G. W. Imbens, and S. Wager. Synthetic Difference in Differences[R]. National Bureau of Economic Research, 2019.
- [20]Callaway, B., and P. H. C. Sant'Anna. Difference-in-Differences with Multiple Time Periods [J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 200-230.
- [21]Choi, E. W., Ö. Özer, and Y. Zheng. Network Trust and Trust Behaviors among Executives in Supply Chain Interactions[J]. *Management Science*, 2020, 66(12):5823-5849.
- [22]Clemente, R. D., B. Lengyel, L. F. Andersson, and R. Eriksson. Understanding European Integration with Bipartite Networks of Comparative Advantage[J]. *PNAS Nexus*, 2022, 1(5):1-10.
- [23]David, P., B. H. Hall, and A. A. Toole. Is Public R&D Complement or Substitute for Private R&D? A Review of the Econometric Evidence[J]. *Research Policy*, 2000, 29(4-5):497-529.
- [24]Fujita, M. The Development of Regional Integration in East Asia: From the Viewpoint of Spatial Economics [J]. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 2007, 19(1):2-20.
- [25]Griliches, Z. The Search of R&D Spillovers[J]. *Scandinavian Journal of Economics*, 1992, 94(1):29-47.
- [26]Guo, X., R. Li, J. Liu, and M. Zeng. High-Dimensional Mediation Analysis for Selecting DNA Methylation Loci Mediating Childhood Trauma and Cortisol Stress Reactivity[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 2022, 117(539):1110-1121.
- [27]Jacobides, M. G., C. Cennamo, and A. Gawer. Towards a Theory of Ecosystems[J]. *Strategic Management Journal*, 2018, 39(8): 2255-2276.
- [28]Kelly, B., D. Papanikolaou, A. Seru, and M. Taddy. Measuring Technological Innovation over the Long Run [J]. *American Economic Review: Insights*, 2021, 23(3):303-320.
- [29]Megavock, T. Here Waits the Bride? The Effect of Ethiopia's Child Marriage Law [J]. *Journal of Development Economics*, <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2020.102580>, 2021.
- [30]Pavitt, K. Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory[J]. *Research Policy*, 1984, 13(6):343-374.
- [31]Vial, G. Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda[J]. *Journal of Strategic Information Systems*, 2019, 28(2),18-144.
- [32]Zhou, X., and T. Yamamoto. Tracing Causal Paths from Experimental and Observational Data[J]. *Journal of Politics*, 2023, 85(1), 250-265.

## Digital Industrial Cluster Policy and Radical Innovation in Key Core Technologies

SHI Lei<sup>1,2</sup>, YANG Zhen<sup>3</sup>, QIAN Gui-ming<sup>2</sup>

(1. School of Economics, Nanjing University of Finance & Economics;

2. School of Economics, Nanjing University;

3. Institute of Industrial Economics, CASS)

**Abstract:** At present, radical innovation in key core digital technologies has become the main field of the international strategic game, and various countries have carried out unprecedented fierce competition in the field of frontier technologies. The expansion of the digital industry has made cross-regional knowledge collection, processing, transmission, and application extremely convenient. Innovation activities based on elements such as information, data, knowledge, and technology have completely evolved from a single innovation entity to a group activity in which multiple innovation entities participate and cross-regional resources complement each other. Such team collaboration can break through the innovation boundary of a single technology field, make up for the lack of technology through interconnection, improve the efficiency and quality of the allocation of innovation factors of the whole team, and provide a greater possibility for radical innovation in key core digital technologies.

From the perspective of the digital industry cluster, this paper explores the mechanism and path of radical innovation in key core digital technologies. In terms of the mechanism of action, this study supports the role of the digital industrial cluster policy through the economic mechanism of promoting the collaborative specialization among innovation agents within the cluster, the diffusion of digital technology, and the improvement of the allocation efficiency of innovation factors. In terms of path analysis, the effect of digital industry cluster policy through the collaborative specialization path is about 43.54%, the effect of the digital technology diffusion path is about 26.18%, and the effect of improving the efficiency of the innovation factor allocation path is about 16.60%.

Furthermore, for regions with higher economic activity and digital economic development, and regions with relatively good digital infrastructure, the effect of digital industrial cluster policy is better. Based on the realistic consideration of “layout innovation chain around the industrial chain, and layout industry chain around the innovation chain”, this paper empirically finds that the supply chain correlation and digital cluster policy play a complementary role, and the two form an interpenetrating force to promote the radical innovation in key core digital technologies. The relationship between innovation chain association and cluster policy is a substitute effect. For regions with weak innovation chain association, the policy effect is more obvious.

Therefore, it is necessary to consider the actual needs for high-quality development of core digital industries, focus on the difficulties of radical innovation in key core digital technologies in digital industrial clusters, and further introduce rich policy tools for digital industrial clusters. It is necessary to strengthen the professional ability coordination among innovation subjects in the digital industry cluster to optimize the spatial layout of industrial infrastructure, promote the traction and diffusion abilities of the core body of the subdivided industrial chain, and strengthen the factor integration capacity building of large, small, and medium-sized enterprises in the digital industrial cluster. Finally, the construction of digital infrastructure should be centered on digital industrial clusters and continue to spread to other districts and counties in the region.

**Keywords:** key core digital technologies; radical innovation; digital industrial cluster policy; collaborative specialization

**JEL Classification:** L21 O14 R12

[责任编辑:崔志新]