

数字创新网络嵌入与关键核心技术攻关

杨震宁, 袁梓晋

【摘要】 关键核心技术攻坚战的突破需要多元创新主体的通力合作。数字技术发展所创造的机会窗口中,新兴的数字创新网络能否推动中国企业成功突破关键核心技术难题,进而实现技术赶超?为回答这一问题,本文利用数字专利数据构建数字创新网络,基于A股制造业上市公司数据,考察了数字创新网络对关键核心技术创新的影响。研究发现:数字创新网络嵌入促进了企业关键核心技术创新,一系列稳健性检验与内生性分析后结论依然成立。机制分析表明,数字创新网络通过知识边界跨越效应、数据要素整合效应、商业模式创新效应提高企业关键核心技术创新绩效。异质性分析表明,嵌入数字创新网络的效果与制度、资源、产业特征相关。当地方政府对数字技术关注度较高时,数字创新网络对关键核心技术创新的促进作用更强。管理者数字知识与企业技术通用性也是数字创新网络推动企业关键核心技术创新的重要边界条件。此外,数字创新网络对所属行业产品迭代速度快、追赶位置落后行业的企业关键核心技术创新正向影响更明显。本文揭示了数字创新网络嵌入对企业关键核心技术创新的作用机制,同时明确了企业利用数字创新网络开展关键核心技术攻关的边界条件。

【关键词】 数字创新网络; 关键核心技术创新; 知识生产; 后发企业

【中图分类号】 F272 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-480X(2025)05-0156-18

一、引言

2025年《政府工作报告》指出,要充分发挥新型举国体制优势,强化关键核心技术攻关和前沿性、颠覆性技术研发,加快组织实施和超前布局重大科技项目。当前,数字创新已成为经济社会发展的技术引擎与重塑国际竞争格局的重要推手。在此背景下,如何顺应数字创新趋势,抢占全球制造业新一轮竞争制高点以赶超前沿技术水平,是建设制造强国、推进高水平科技自立自强的关键议题。为此,中国政府聚焦数字技术领域,加强对产业发展与技术创新的战略部署。例如,国务院印发的《数字中国建设整体布局规划》强调,要构筑自立自强的数字技术创新体系,加强企业主导的产

【收稿日期】 2024-04-16

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目“数字化转型背景下中国企业的开放式创新网络:过程模式、影响机制与平衡效应”(批准号72172035)。

【作者简介】 杨震宁,对外经济贸易大学国际商学院教授,博士生导师,管理学博士;袁梓晋,对外经济贸易大学国际商学院硕士研究生。通讯作者:袁梓晋,电子邮箱:202310330932@uibe.edu.cn。感谢对外经济贸易大学研究生科研创新项目“中国企业数字创新网络嵌入的影响研究”的支持。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,文责自负。

学研深度融合。企业作为创新主体需积极参与数字技术合作,通过嵌入数字创新网络加快形成新的开放创新模式,盘活创新资源。然而,目前许多企业仍然依赖传统的创新网络开展研发活动,创新资源分散、合作效率低下及重复研发等问题突出,导致创新体系整体效能偏低,不利于激发企业关键核心技术创新的潜能。相比传统创新网络,数字创新网络更有利于企业高效地运用数字技术,集成整合数字创新资源,搭建数实结合的多主体创新合作关系,塑造新的技术竞争优势。基于此,本文在把握中国企业现实创新难题与数字中国宏观政策规划的基础上,提出并尝试回答以下研究问题:数字创新网络嵌入能否有效推动中国企业关键核心技术创新?

为探究上述问题,本文以数字技术这一基本概念为出发点,回顾了与本文紧密相关的企业数字技术创新及数字化转型文献。已有研究认为,数字创新指企业依托数字技术提供新的产品服务、组织流程及商业模式的过程与结果(刘洋等, 2020),即数字创新不仅用于描述创新过程中的数字技术嵌入现象,也用于刻画数字化创新成果(Nambisan et al., 2017)。基于中国企业的实证研究利用数字专利数据,从多个视角检验了企业数字创新的重要作用,如推动企业技术进步(黄勃等, 2023; 罗佳等, 2023; 黄先海与高亚兴, 2023)、提升企业市场价值(陶锋等, 2023; 周鹏等, 2024)、增强企业盈利能力(Liu et al., 2023)等。部分文献也从创新应用角度分析了数字技术对后发企业技术追赶与关键核心技术创新的积极作用(冯启良等, 2025)。这些研究揭示了数字创新对企业发展的战略意义,为数字技术创新赋能中国企业转型升级提供了理论支撑。不过,既有研究主要聚焦单个企业层面的数字创新,仅有少数研究考虑到网络层面组织间的数字创新合作需求、行为及其潜在影响(余传鹏等, 2024; 孟凡生等, 2024)。数字创新网络是由企业与用户、高校、政府、其他企业等分布式外部主体开展数字技术研发合作所形成的多元创新网络。有研究指出,数字技术正在不断创造新的组织间创新协作机会,企业数字创新形式也将持续向开放式的生态网络合作演化(Bailey et al., 2022),这意味着从新兴网络关系的视角考察组织的技术演进动态,符合数字化背景下的创新理论与实践发展趋势。

与本文研究问题密切相关的文献还包括中国情境下的关键核心技术创新研究。现有研究从多个层面探讨了影响关键核心技术创新的举措,包括政府引导基金(吴超鹏与严泽浩, 2023)、实施数字产业集群政策(师磊等, 2025)、设立重点实验室(郑世林等, 2024)、重视知识组合逻辑(徐霞等, 2024)等。这些研究还表明,关键核心技术创新活动具有复杂性、系统性、多层级、高风险以及长耗时等特征,加之新兴市场企业往往面临技术与市场的双重制约,难以接触到最先进的科技资源,面临较高的主流市场壁垒,在内部知识资源与创新能力上处于劣势地位(Mathews, 2002),这决定了基于生态网络的开放创新合作在关键核心技术攻关任务中的重要地位。开放式创新范式强调企业不能与外部环境割裂开来,应主动与外部知识主体建立广泛的互动合作关系,在创新协作过程中吸收知识,获取重要的技术与商业化资源(Chesbrough, 2003)。这一视角被广泛运用于关键核心技术创新研究中,已有文献讨论了联盟(Vanhaverbeke et al., 2009)、产学研联合(欧阳桃花与曾德麟, 2021)、创新生态系统(宋娟等, 2023)等各类载体中网络关系及资源的积极作用。然而,技术周期的纵深演进带来知识总量快速增长,同时呈现出碎片化的分布格局。与此同时,数字技术的嵌入引致创新网络主体、结构、运行等方面发生显著变化,对企业传统的创新战略形成冲击,涌现出具有数字化特征的创新网络形式(鲁若愚等, 2021)。在此背景下,后发企业如何制定数字创新战略以实现技术的跨越式发展,亟待解答。

数字技术与网络关系的高度融合使数字创新突破了传统情境下的网络约束。例如,在网络底层技术方面,数字技术是一系列信息、计算、沟通和连接技术的组合(Vial, 2019),同时扮演了网络节点

内容与连接工具的角色(Lyytinen et al., 2016)。数字技术的嵌入极大地降低了网络中的沟通成本,提高了成员间的信息共享效率,赋予创新网络更强的连通性与异质性。组织也拥有更多自主设计联结与控制机制的权力,能够实现强弱连接的柔性转化,改变了传统网络的连接方式;在网络资源属性方面,数字创新网络中的资源以数据为基本流通形式,数据的标准化与技术的可重复编程性相结合,加速了创新要素的开放流动,扩大了创新资源的共享空间,进而增强网络的正外部性(Yoo et al., 2010);在网络创新活动方面,数字创新活动兼具收敛与自生长的性质,可以动态地跨越以及延展创新边界,为网络引入更多的异质性创新主体和知识内容。因此,数字创新网络中的技术创新扩散并不会导致同质化,而是通过知识的迭代更新保证创新动力的可持续性(Boland et al., 2007)。这些数字创新网络优势表明,构建成熟的数字创新网络以集成多元创新资源,发挥具有追赶导向的数字创新体系优势(曲永义, 2022),将是中国企业突破技术封锁、实现技术赶超的重要突破口。

基于对已有文献的梳理,目前还存在以下理论缺口:①已有研究在探究企业技术进步中的数字化动因时,往往忽视了数字创新组织模式上的差异,未能直接考察数字创新网络的作用。理论上,Nambisan et al.(2017)指出,构建数字创新联合体才能整合拥有不同目标与能力的创新者,进而实现颠覆式创新。实践中,华为、海尔等中国企业正在积极打造数字化、智能化的创新合作网络,以此赶超国际前沿技术水平。但多数研究集中于检验企业自身数字技术应用或创新水平对企业生产率增长的作用,对于网络化的数字技术创新现象关注明显不足。②一些定性研究探讨了数字创新网络的特点与类型(Lyytinen et al., 2016; Svahn et al., 2017),关注点主要集中在数字创新网络嵌入所引发的常规创新效应,如数字创新网络对新产品开发绩效(余传鹏等, 2024)与组织转型(孟凡生等, 2024)的影响。然而,关键核心技术创新不同于常规创新活动,其具有战略上的紧迫性与技术上的复杂性、系统性,这导致对数字创新网络是否以及如何影响关键核心技术创新绩效的认识尚不明晰。③既有的关键核心技术创新前因文献剖析了传统网络的积极作用,对于数字技术发展所引致的网络模式与知识生产过程变迁的研究则相对欠缺。因此,关键核心技术创新研究亟须考虑数字创新网络兴起的影响,才能更深入地完善数字时代的技术创新理论,为中国企业的技术攻关行动提供新的理论启示。

本文在现有研究的基础上,利用企业数字专利合作申请人数据,构建2013—2021年中国制造业上市公司的数字创新网络,检验数字创新网络嵌入对后发企业关键核心技术创新的影响。研究表明,数字创新网络嵌入重塑了企业知识生产的过程与配置,推动了企业关键核心技术创新,这一结论在稳健性检验与内生性分析后依然成立。在此基础上,本文遵循“网络嵌入—知识生产—创新绩效”的思路进行机制分析,发现数字创新网络嵌入通过知识边界跨越解决知识总量制约问题,借助数据要素整合优化知识生产效率,通过商业模式创新破解知识生产获利难题,从而促进中国企业关键核心技术创新。异质性分析表明,政府数字技术关注度较高时,数字创新网络能更有效地推动关键核心技术创新。高管数字知识与企业技术通用性也是数字创新网络发挥创新突破效应的关键边界条件。此外,在行业产品迭代速度快、行业技术追赶位置相对落后的情境下,数字创新网络嵌入的积极作用更加显著。

本文的边际贡献体现在:①从开放式创新网络视角切入,深化了数字化背景下创新网络组织模式与创新绩效的关系研究。由于数字创新天然地存在“分布”与“组合”的张力(Yoo et al., 2010),鲜有研究严格区分不同的数字创新组织模式,因此,容易忽视数字创新网络对企业技术水平所产生的影响。本文利用中国制造业上市公司数据开展实证分析,开拓了开放式创新网络视角下的数字创新研究,在微观层面为数字创新网络嵌入对新兴市场企业技术能力产生的深刻影响提供了经验证据。②针对中国企业如何实现技术突破这一关键议题,拓展了关键核心技术创新的影响因素研究。

随着中美科技博弈愈演愈烈,美国等西方国家推行脱钩逻辑,通过制定“实体清单”等手段实施科技制裁,破坏了传统的创新网络生态,严重干扰了中国企业的技术赶超进程。因此,运用系统性思维把握数字创新时代的机会窗口,寻找中国企业技术突破的新动能显得尤为紧迫。基于此,本文创新性地将数字创新网络引入关键核心技术攻关研究,有助于揭示数字化背景下中国企业的技术突破规律。研究结论对现有关键核心技术创新的驱动因素文献形成补充,丰富了创新网络嵌入与后发企业技术突破关系的研究。③数字创新网络虽然受到研究人员与实践者的广泛关注,但助推后发企业关键核心技术创新的过程仍然处于“黑箱”状态。基于此,本文演绎分析了数字创新网络嵌入对企业知识生产过程的重构机理,利用大样本专利数据进一步验证了数字化背景下“网络嵌入—知识生产—创新绩效”模型的有效性,从而厘清了数字创新网络嵌入对后发企业关键核心技术创新的赋能机制,深化了对后发企业创新网络嵌入战略效果的解释。

二、理论分析

关键核心技术是指对经济体中产业与技术系统的发展全局具有重大影响的一系列技术,具有明显的独占性,往往难以被替代或模仿(徐霞等, 2024)。唯有攻关关键核心技术,才能保证一国的创新生态体系避免“卡脖子”困境。大量事实与研究均表明,在技术水平整体落后的新兴经济体中,关键核心技术创新要求企业主动嵌入合作网络,形成多元化的知识体系,克服知识生产的资源与效率劣势(宋娟等, 2023)。当前,智能设施迅速重塑组织网络关系(Bharadwaj et al., 2013),企业逐渐适应了以数字技术为核心创新手段的高度互联型创新模式(Boland et al., 2007;安同良等, 2023)。数字创新网络本质上是以数字型通用技术为基础的知识生产网络,分布式创新主体在网络中进行创新知识的生产、组合及传递(McCarthy et al., 2025)。因此,在嵌入数字创新网络后,关键核心技术创新可视为在数字创新网络中进行知识生产的过程。根据熊彼特“创新即要素重组”的原理(Schumpeter, 1934)与知识基础观(Grant, 1996),上述网络化的知识生产过程可以简化为:①在启动阶段,企业以数字创新网络作为分配创新资源的制度安排(Freeman, 1991),扩大知识元素的获取范围,形成知识基础。②在开发与执行阶段,企业运用在网络交互中形成的数字化搜寻与组合能力,利用数字化生产要素提高知识生产效率。③在利用阶段,由各创新主体协同构建获利机制,以获取创新激励的正向反馈,从而完成连贯的知识生产过程。以此为切入点,数字创新网络嵌入会引致企业知识生产过程中资源获取、生产效率、获利机制三方面的变革,进而塑造其关键核心技术创新绩效。

在资源获取方面,数字创新网络嵌入为关键核心技术创新提供了必要的知识基础。关键核心技术创新不同于常规技术创新,其所需的异质性知识资源不仅总量大,且往往横跨多个学科领域,由极其分散的创新主体所掌握,与这种知识获取任务相匹配的是灵活、松散的创新结构。数字创新网络突破了传统网络垂直整合的刚性结构限制(Pagani, 2013),形成“人人都是发明家”的分布式创新布局。并且,数字技术支持网络成员平等地享有创新机会和权利(Yoo et al., 2010),每个个体都能成为新一轮创新活动的发起者,从而产生了前所未有的创新自主性。这就为大范围的知识共享与转移创造了有利的结构性条件。对于个体而言,发明家在数字创新网络的声誉激励机制和兴趣爱好双重驱动下,积极参与知识共享活动,并从中积累了先进的技术经验与知识(Lyytinen et al., 2016)。对于企业而言,数字创新网络是其与科研机构等创新角色互动的技术系统,嵌入网络的企业必须主动参与数字技术的扩散与改进,这类技术互动扩大了企业获取关键知识资源的范围,也提高了知识交流的

频次。因此,数字创新网络在企业关键核心技术创新活动中发挥了知识资源获取功能。

在生产效率方面,数据是数字创新网络中知识生产的基本要素,新生产要素的应用会改变既定的知识重组流程,有利于提高关键核心技术领域的知识转化与整合效率。关键核心技术问题通常多层相嵌,结构复杂,且研发窗口极其受限,在攻关时间上具有紧迫性。相比传统网络,数字创新网络在面对上述问题时表现出更强的知识生产效率优势。企业嵌入数字创新网络后,数字技术合作频率上升,知识等创新资源被储存于海量的数据要素中(余传鹏等, 2024),倒逼企业调整研发模式与战略部署以迅速运用数据资源,并从网络中把握市场需求与技术缺口。由于数据是知识的数字记录,具有动态非竞争性与灵活的权属特性,能产生广泛的溢出效应,网络中的多元创新主体就可以同时通过重新编程从中提取新的研发信息,进一步快速搜寻互补的关键核心知识节点。这一过程加快企业脱离组织惯性约束,形成更敏捷的知识编排能力,降低对固有技术路径的依赖与远距离知识搜寻的成本,从而提高了关键核心技术领域的知识生产效率。

在获利机制方面,数字创新网络嵌入有助于企业重构知识获利机制,获取关键核心技术创新激励。如果企业只关注关键核心技术创新中的技术性因素,不仅容易造成应用场景的匮乏,还可能因激励缺失而中断创新进程(Teece, 2010)。数字创新网络为知识生产成果的商业化提供了重要的价值空间(Henfridsson et al., 2018)。在数字创新网络中,企业与异质性的创新主体建立联系的同时,还与网络内的愿景、概念和技术原型等大量非人类因素共同演化(Jarrahi and Sawyer, 2019)。复杂、动态的知识生产过程催生了多样化的价值创造与分配需求,促使企业不断地搜索互补性资产,重构、验证新的商业模式。在生产侧,企业与合作伙伴搭建双向交互的沟通渠道与信任机制,共同重组数字创新资源以服务于多样化的价值主张,增加技术差异化的可能性(Svahn et al., 2017);在需求侧,企业可传递数字创新知识,生成下游产品服务的反馈图景,以此优化关键核心技术组合。基于上述分析,本文提出:

假说 1:数字创新网络嵌入促进关键核心技术创新。

企业在深入参与数字创新网络的知识生产过程中需要知识资源、知识生产方式、知识获利机制的共同嵌入。基于数字创新网络的结构特性,嵌入网络的企业开发了大量跨边界角色,通过跨越知识边界获取技术攻关所需的知识基础;基于数字创新网络的功能特性,企业利用数据要素,构建新的知识生产方式,提高了关键核心技术领域的知识重组效率;基于数字创新网络的治理需求,企业迭代验证新的商业模式,协调网络利益相关者关系,达成创新获利。由此,本文分别从知识边界跨越、数据要素整合、商业模式创新三方面分析数字创新网络嵌入对企业开展关键核心技术创新的影响机制。

数字创新网络嵌入促进企业跨越知识边界,扩大用于关键核心技术攻关的知识资源空间。企业嵌入数字创新网络后,创新合作方式迅速重构,促进了创意与知识虚拟社区的生成(Boland et al., 2007),通过打造良好的创新氛围与设施条件,吸引不同领域的研发人员集聚,提高了知识边界跨越及多样化知识组合的可能性。过去,传统创新网络中的隐性知识往往只能通过实地观察与模仿获取。而在数字创新网络中,组织间知识传递突破了时空限制(Cozzolino et al., 2018),数字创新合作加速了跨边界隐性知识的流动(Faraj et al., 2016),明显降低了隐性知识学习的成本与壁垒。不仅如此,数字创新网络中的创新主体建立了共同的语言与符号系统以转化跨学科知识,传递技术信号(McCarthy et al., 2025)。企业还能基于网络中的权力动态,选择性地关注关键的外部知识组件,从而快速定位知识堵点的位置,据此识别关键核心技术领域的知识重组机会。总之,后发企业嵌入数字创新网络,提高了其知识边界跨越行为的频次,弥补了关键核心技术创新的知识基础劣势,进而

形成创新追赶能力(刘洋等, 2013)。因此,本文提出:

假说2:数字创新网络嵌入通过知识边界跨越促进关键核心技术创新。

数字创新网络嵌入也有助于企业整合数据要素,优化关键核心技术攻关模式。Yoo et al. (2010)指出,数据在格式上表现为同质化,可以被标准化地存储、处理与传输。数字创新活动涉及整合不同来源与类型的数据,企业嵌入数字创新网络的范围越广,连接的异质性数字合作伙伴越多,就能通过合作开发数字化产品服务以共享更多差异化数据资源(Nambisan et al., 2017)。这扩大了企业所能获得的潜在数据要素规模,有效防止企业数据资源趋向于冗余化,倒逼企业提高从海量数据中提取关键知识的能力。相比未嵌入数字创新网络的企业,网络内的竞争压力会强化企业利用数据要素的意愿,促使企业学习其他数字创新主体的数据整合经验,增强自身数据资源价值的开发能力(余传鹏等, 2024),转向数据驱动的知识生产方式。此外,由于即时数据中承载了大量消费者的创意知识与体验信息,企业通过与其他主体共同开发数据资源,从中衍生的个性信息与知识组合,可进一步用于调整研发流程。现有研究表明,数据资源可以降低企业创新决策的不确定性(李唐等, 2020),改善创新模式。可见,后发企业在嵌入数字创新网络的基础上整合数据要素,有助于突破固有关键核心技术攻关模式的约束。因此,本文提出:

假说3:数字创新网络嵌入通过数据要素整合促进关键核心技术创新。

企业还可以利用数字创新网络创造新的商业模式,提高关键核心技术创新价值。商业模式创新指企业在价值创造、主张与获取方式上的创新,涉及对关键商业元素与整体商业架构逻辑的重新设计(Menter et al., 2024)。一方面,数字创新网络兴起重构了企业的注意力焦点,将价值创造的重心由企业内部转向外部利益相关者。这种转变刺激企业与网络中各类利益相关者进行知识互动,打破知识获取的惯性,从而为理解和探索新的商业解决方案提供契机(Li et al., 2022)。当利益相关者的价值主张改变时,这种变化也经由数字创新协作活动传导至焦点企业,促使企业调整价值主张。另一方面,企业可以利用数字创新网络资源扩大价值连接的数量和范围(Henfridsson et al., 2018),识别潜在的新用户群体,进而通过商业模式创新开发新兴市场需求。研究表明,商业模式创新不仅能增强企业的研发获利能力,提高关键核心技术攻关的经济激励,保证关键核心技术创新的持续性(杏稼龙与吴福象, 2023),还能强化企业技术路线的灵活性,改善对关键核心技术机会的开发效率(吴晓波等, 2021)。因此,本文提出:

假说4:数字创新网络嵌入通过商业模式创新促进关键核心技术创新。

三、研究设计

1. 数据来源与样本选择

本文选取2013—2021年中国制造业上市公司作为实证样本,时间区间的选择理由主要在于:一方面,2013年,中国数字经济发展进入成熟期,新的数字化商业模式涌现,传统企业数字化转型提速。此后,许多企业开始布局数字技术创新领域,开展相应的研发合作,这为本文观测数字创新网络的形成及影响提供了理想的研究样本。另一方面,考虑到中国专利从申请到公开一般需要耗时18个月及以上,为了减少未公开的专利申请对研究结果的系统性偏差,本文的研究时段截至2021年。本文主要的上市公司财务与治理数据来源于CSMAR数据库、CNRDS数据库及Wind数据库,主要的专利数据来源于国家知识产权局专利数据库。为保证实证研究的严谨性,本文剔除了ST处理、数据严重缺失或有误、仅有一年观测值的样本公司。同时,为了缓解“天生数字化”造成的

偏差,本文剔除了计算机、通信和其他电子设备制造业以及仪器仪表制造业样本,最终获得 12228 个样本观测值。

2. 模型设定与变量说明

为检验数字创新网络嵌入与企业关键核心技术创新之间的关系,本文构建如下模型:

$$innovation_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 degree_{i,t} + \alpha_2 Control_{i,t} + FE + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中, $innovation_{i,t}$ 为 t 年 i 企业的关键核心技术创新水平, α_0 为常数项, $degree_{i,t}$ 为 t 年 i 企业嵌入数字创新网络的水平, $Control_{i,t}$ 为控制变量, FE 为年份、个体、地区固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 为误差项,本文将稳健标准误聚类到个体层面。

(1)被解释变量:关键核心技术创新。现有企业层面关键核心技术创新的测度方法较为丰富,其共同点是利用企业专利申请刻画关键核心技术创新水平。考虑到本文的研究样本是中国制造业上市公司,参照郑世林等(2024)的做法,以国家制造强国建设战略委员会公布的《产业基础创新发展目录(2021年版)》作为判断依据,收集、整理与目录中披露的关键核心技术领域关键词相对应的IPC号,利用IPC号识别企业当年申请的关键核心技术专利,并且进行加总,以此表征关键核心技术创新绩效。同时,本文还基于目录中的关键核心技术领域文本关键词,再次识别企业当年申请的关键核心技术专利,用于本文的稳健性检验。

(2)解释变量:数字创新网络。数字创新网络的构建是本文的重难点之一。目前专利合作数据已被广泛运用于创新网络研究(Shipilov and Gawer, 2020;安同良等, 2023;孟凡生等, 2024)。相比于专利引用及发明人信息,借助专利申请人合作信息能更清晰地展示企业在创新合作的位置结构,也能够较准确地描述企业与多个外部创新主体开展数字创新合作的现象。因此,本文利用专利申请数据构建上市公司的数字创新网络。本文收集了2009—2021年的上市公司的专利申请数据,包括专利公开号、申请日、IPC号、申请人等信息,以此开展网络分析。具体而言,首先综合运用专利分类号检索和专利文本分析识别属于数字技术创新的专利。参照陶锋等(2023)的方法,基于《数字经济核心产业分类与国际专利分类参照关系表(2023)》,形成属于数字技术创新领域的IPC小组代码,以此识别出企业的数字创新专利。在此基础上,保留两位及以上专利申请人的专利数据,形成一份包含“专利申请号—所有申请人”对应关系的数字技术创新合作数据。需要说明的是,为了刻画企业与多元化创新主体的数字创新网络关系,本文将企业、高校、研究机构、个人发明家、协会、政府机关、医院等申请人均纳入数字创新网络的构建中。^①

一般而言,创新网络具有相对的稳定性(Shipilov and Gawer, 2020),创新合作关系通常会持续存在而非立即解除,因此,本文选择5年时间窗($t-4-t$)构建企业数字创新网络,将原始的数字技术创新合作关系数据转化为无向“0—1”矩阵,完成2013—2021年上市公司数字创新网络构建工作。之后,计算网络程度中心度指标。程度中心度($degree$)指与企业有直接联系的实体个数,由合作者个数加总得到,表示为 $degree = \sum_j X_{ji}$, i 为企业自身, j 为其他实体,若 i 与 j 存在直接的合作关系,则 X_{ji} 取1,否则为0。该指标最直观地反映了企业参与数字创新网络的水平。

(3)控制变量:本文选取了企业性质、财务风险、企业规模、盈利能力、企业价值、企业年龄、董事会规模、独董比例、两职合一、股权集中度作为控制变量,同时在回归中控制了年份效应、个体效应和地区效应。此外,为了减少异方差影响,所有主要连续变量均做取对数处理。

^① 专利示例参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

四、实证结果及分析

1. 中国上市公司数字创新网络特征事实描述

在开展回归分析之前,本文利用非数字专利合作数据(以 IPC 号是否涉及数字知识元素为依据)构建了上市公司传统创新网络,通过网络比较,对中国上市公司数字创新网络的数量与结构特征进行初步刻画。据本文统计,中国上市公司数字创新网络内的节点数从 2013 年的 1987 个增长到 2021 年的 3746 个,网络边数由 4732 条增长到 9310 条。截至 2021 年,上市公司的传统创新网络内节点数为 5357 个,网络边数为 13632 条,因此,虽然越来越多企业、高校、研究机构及个体发明家等知识主体加入数字创新网络,使中国上市公司数字创新网络规模呈现不断增长的趋势,但在绝对节点数量和网络边数方面,数字创新网络尚未超越传统创新网络。不过,相比传统创新网络,数字创新网络在网络结构方面具备更多优势。例如,数字创新网络的网络密度为 0.0006,高于传统创新网络密度(0.0004),表现出相对更稠密的网络结构。从网络的连通性看,数字创新网络直径为 15,网络连通度为 0.2094,传统创新网络直径为 16,网络连通度为 0.1922。显然,数字创新网络的整体连通性更强,创新信息与知识资源在网络节点之间传输的速度更快,搜寻新的创新合作伙伴的难度也相应降低。另外,数字创新网络也体现出明显的去中心化的创新布局特征。根据统计,传统创新网络的网络中心势达到 0.0544,而数字创新网络的中心势则较低,仅为 0.0397,表明数字创新网络内资源配置更加灵活,网络成员的自主性更强,有利于形成“人人都是发明家”的创新格局。总体而言,上市公司数字创新网络目前具有较强的扩张潜力,在网络效率与布局方面表现出一定的优越性。

表 1 传统创新网络与数字创新网络的网络指标

	传统创新网络(2021 年)	数字创新网络(2021 年)
网络节点(个)	5357	3746
网络边数(条)	13632	9310
网络密度	0.0004	0.0006
网络直径	16	15
网络连通度	0.1922	0.2094
网络中心势	0.0544	0.0397

2. 描述性统计与相关性分析

由变量描述性统计的结果可知,企业关键核心技术创新(*innovation*)均值为 0.6455,标准差为 1.1012,表明中国大多数上市制造企业的关键核心技术创新水平较低,整体的关键核心技术研发活跃度有待提高,并且企业间技术水平波动较大,既有领先企业掌握了一系列关键核心技术,也有大量企业尚未能实现技术突破。企业数字创新网络嵌入(*degree*)的均值为 0.1920,标准差为 0.4637,表明现阶段中国制造业企业嵌入数字创新网络的水平参差不齐,一些核心企业占据网络中心地位,部分企业则处于网络边缘或者尚未参与数字创新网络。总体来看,描述性统计结果与相关研究基本一致。相关性分析的结果显示,关键核心技术创新与数字创新网络的相关系数为 0.3040($p < 0.01$),初步表明二者存在正相关关系。相关性分析结果也说明,本文回归模型不存在严重的共线性问题。^①

① 描述性分析及相关性分析结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

3. 基准回归结果

为了检验本文提出的核心假说,本文根据式(1)对企业数字创新网络嵌入的影响展开分析。表2列示了主效应检验的结果。第(1)列在未加入控制变量及未控制固定效应的情况下,数字创新网络的回归系数为0.7220($p<0.01$);第(2)、(3)列依次加入控制变量、控制年份与地区固定效应,回归结果显示,数字创新网络的回归系数显著为正;第(4)列进一步控制了个体效应,结果表明,数字创新网络嵌入显著正向影响企业关键核心技术创新,即数字创新网络嵌入水平越高,数字创新合作者越多,企业关键核心技术创新绩效越好,假说1得以验证。

表 2 主效应检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.7220*** (0.0628)	0.5228*** (0.0493)	0.4673*** (0.0488)	0.1132*** (0.0352)
<i>control</i>	否	是	是	是
年份固定效应	否	否	是	是
地区固定效应	否	否	是	是
个体固定效应	否	否	否	是
常数项	0.5069*** (0.0198)	-2.4382*** (0.4805)	-2.2386*** (0.4740)	-1.2521* (0.7540)
观测值	12228	12228	12228	12228
调整后 R ²	0.092	0.215	0.247	0.650

注: *、**和***分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平,括号内的数值为聚类到企业层面的标准误,以下各表同。后续回归分析均控制年份、地区、个体固定效应。

4. 稳健性检验与内生性讨论

为了保证结论的稳健性,本文采取以下方法进行稳健性检验:①替换解释变量。本文测量了企业数字创新网络的中介中心度指标,重新进行回归分析。②替换被解释变量。本文参考郑世林等(2024)的做法,更换关键核心技术创新的衡量方法再次进行回归分析。具体而言,利用《产业基础创新发展目录(2021年版)》披露的关键核心领域技术关键词,对企业历年申请专利的专利摘要进行文本分析,从而识别并汇总企业当年申请的关键核心技术专利。③前置被解释变量。本文对被解释变量进行前置处理,即以企业在 $t+1$ 期的关键核心技术专利申请数量作为被解释变量开展回归分析。④排除其他技术创新网络的影响。本文在基准回归部分分析了数字创新网络对企业关键核心技术创新的影响,但仍然难以排除其他技术领域创新网络的干扰,例如,嵌入数字创新网络的企业可能同时嵌入传统技术创新网络,此时容易遗漏传统创新网络的影响。为此,本文利用上市公司专利合作申请数据,筛选出未包含数字专利分类号的专利申请信息,以此构建传统技术创新网络,在基准回归的基础上,进一步加入传统技术创新网络作为控制变量。⑤调整标准误聚类层级。考虑到标准误的聚类层级也会影响回归结果的稳健性,本文将标准误聚类层级调整至行业与地区,重新进行回归。经过上述一系列稳健性检验后,本文核心结论仍然成立,即数字创新网络嵌入对企业关键核心技术创新具有显著的正向影响。

同时,本文采取以下策略缓解内生性问题:①工具变量法。在探究数字创新网络嵌入与企业关键核心技术创新之间的关系时,可能受到逆向因果、遗漏变量等内生性问题的干扰。一方面,关键核心

技术水平高的制造业企业往往可能搭建更多数字创新合作关系,从而提高数字创新网络的嵌入水平,导致反向因果;另一方面,影响制造业企业关键核心技术创新的因素较多,仍然存在遗漏变量问题。为了缓解上述内生性问题,本文尝试在基准回归的基础上引入工具变量。由于本文聚焦于探讨数字创新网络对企业关键核心技术创新的影响,要寻找一个同时满足相关性、外生性、排他性要求的工具变量难度较大,因此,借鉴李唐等(2020)的做法,构建 *Lewbel* 工具变量,利用企业数字创新网络与所属行业和省份数字创新网络均值差额的三次方作为工具变量。工具变量回归结果显示,在第一阶段回归中工具变量的系数显著为正,即工具变量正向影响企业数字创新网络。在第二阶段回归中,解释变量数字创新网络的估计系数仍显著为正,并且通过了不可识别检验与弱工具变量检验。②PSM-DID。虽然本文已经采用工具变量法在一定程度上缓解了数字创新网络与关键核心技术创新之间的内生性问题,但仍可能存在不可观测的遗漏变量等内生性问题,影响结论的准确性。本文进一步应用 PSM-DID 缓解上述内生性问题,采用倾向得分匹配法进行控制组样本筛选,以至少有过一次数字创新合作经历的企业为处理组,以不曾参与数字创新合作的企业为控制组,进行 1:1 最近邻匹配,基准模型中的所有控制变量为匹配变量。完成匹配之后,筛选出 6706 个样本进行双重差分模型检验,将企业首次嵌入数字创新网络设定为一次冲击(*treat*),当年及之后的年份 *post* 取值 1,并控制年份、地区和个体效应,回归结果显示,嵌入数字创新网络冲击(*did*)的估计系数显著为正。可见,在考虑不可观测的遗漏变量带来的内生性问题后,数字创新网络仍能促进企业关键核心技术创新。①

5. 机制检验

本部分根据上文提出的知识边界跨越机制、数据要素整合机制、商业模式创新机制,构建如下机制检验模型:

$$mechanism_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 degree_{i,t} + \alpha_2 Control_{i,t} + FE + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$innovation_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 degree_{i,t} + \beta_2 mechanism_{i,t} + \beta_3 Control_{i,t} + FE + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

其中, *mechanism_{i,t}* 指本文所检验的机制变量,其他变量均与基准回归相同。

(1)知识边界跨越机制。本文理论分析提出,企业嵌入数字创新网络后,能够高效跨越知识边界,吸收不同来源的异质性知识,为后发企业关键核心技术创新提供知识基础。为了检验知识边界跨越机制,本文利用企业专利申请的 IPC 号信息刻画边界跨越行为。①沿用赫芬达尔指数的计算方法,计算公式为: $boundary1 = 1 - \sum \phi^2$, 其中, ϕ^2 是企业当年归属于某项 IPC 号的专利占有所有专利比重的平方值,该计算方法可以直观地描述企业当年创新活动所涉及技术领域的分散程度,体现了其知识边界跨越的强度(*boundary1*)。②采取动态的追踪方法,利用企业过去五年申请专利所包含的 IPC 小类号构建知识池,以企业当年申请专利所涉及新 IPC 小类号的数量作为知识边界跨越的另一个指标(*boundary2*)。由表 3 第(1)、(3)列回归结果可知,数字创新网络嵌入对企业的知识边界跨越行为具有显著的正向影响,第(2)、(4)列在基准回归的基础上加入机制变量,发现企业知识边界跨越在 1% 的显著性水平上对关键核心技术创新绩效存在正向影响,表明知识边界跨越是数字创新网络推动关键核心技术创新的重要机制之一,验证了假说 2。

(2)数据要素整合机制。本文提出,企业嵌入数字创新网络后,会主动整合丰富的数据资源,利用数据要素调整知识生产模式,赋能关键核心技术攻关。为此,本文参考何瑛等(2024)的做法,分别设置机制变量 *data1* 和 *data2*。①提取制造业上市公司年报文本,计算“数据存储”“数据采集”“数据开发”“数据平台”“数据资源”等关键词的词频,加总后生成数据要素整合的代理变量 *data1*,这一

① 稳健性检验与内生性分析结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

表 3 机制检验:知识边界跨越				
	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>boundry1</i>	<i>innovation</i>	<i>boundry2</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.0225*** (0.0063)	0.1108*** (0.0351)	0.1441*** (0.0296)	0.1028*** (0.0351)
<i>boundry1</i>		0.1064*** (0.0355)		
<i>boundry2</i>				0.0722*** (0.0125)
<i>control</i>	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
常数项	0.1041 (0.1555)	-1.2632* (0.7516)	1.8112** (0.7106)	-1.3829* (0.7483)
观测值	12228	12228	12228	12228
调整后 R ²	0.412	0.650	0.494	0.652

测度方法能克服当前财务数据的局限,较好地刻画企业数据要素整合的水平及变化过程。②手工检索企业是否设立或应用财务共享中心、信息系统、数据中台等,形成数据要素整合的另一代理变量 *data2*。表 4 列示了机制检验结果,由第(1)、(3)列可知,数字创新网络对企业数据要素整合水平存在显著的正向影响,第(2)、(4)列在基准回归的基础上,加入机制变量,结果表明数据要素整合显著提高了企业关键核心技术创新绩效,验证了假说 3。

表 4 机制检验:数据要素整合				
	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>data1</i>	<i>innovation</i>	<i>data2</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.0516* (0.0276)	0.1119*** (0.0351)	0.0703** (0.0306)	0.1103*** (0.0352)
<i>data1</i>		0.0256** (0.0126)		
<i>data2</i>				0.0414*** (0.0150)
<i>control</i>	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
常数项	0.9949 (0.7348)	-1.2777* (0.7545)	-0.6994 (0.7342)	-1.2232 (0.7533)
观测值	12228	12228	12228	12228
调整后 R ²	0.597	0.650	0.498	0.650

(3)商业模式创新机制。除了知识边界跨越与数据要素整合以外,数字创新网络嵌入还推动企业设计新的商业模式,为企业技术突破提供商业化支持,从而助力关键核心技术创新。由于商业模式创新现象较为复杂,涵盖要素众多,很难直接进行量化。①本文参考杏稼龙和吴福象(2023)、周鹏等(2024)的做法,基于数字化背景下商业模式创新的内涵及相关特征,统计上市公司管理层讨论与分析

文本中的“商业智能”“商业信息”“入局”“进军”等词频,这在一定程度上反映了企业商业模式创新的意愿与强度,以此作为代理变量 *bmi1*。②筛选出企业当年属于 G06Q 小类下的专利,作为商业模式创新的另一代理变量 *bmi2*。该分类号对应商业、管理或行政等领域的通信技术,同时还包括与商业、管理相关的系统或方法,能在一定程度上体现企业商业模式创新的水平。表 5 列示了机制检验的结果,第(1)、(3)列表明,数字创新网络嵌入对商业模式创新有显著的正向影响,第(2)、(4)列在基准回归基础上,加入了机制变量,结果显示,商业模式创新促进了企业关键核心技术创新,验证了假说 4。

表 5 机制检验:商业模式创新

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>bmi1</i>	<i>innovation</i>	<i>bmi2</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.0421*** (0.0151)	0.1108*** (0.0350)	0.0615*** (0.0169)	0.0882*** (0.0339)
<i>bmi1</i>		0.0568*** (0.0210)		
<i>bmi2</i>				0.4065*** (0.0499)
<i>control</i>	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
常数项	4.3968*** (0.4454)	-1.5020* (0.7679)	0.1376 (0.2221)	-1.3081* (0.7468)
观测值	12228	12228	12228	12228
调整后 R ²	0.783	0.650	0.456	0.655

6. 异质性分析

战略三脚架 (Strategy Tripod) 表明,企业战略是在综合的制度、资源、产业情境下制定并实施的,网络嵌入的效果往往取决于一系列重要的边界条件 (Peng et al., 2009)。例如,余传鹏等 (2024) 发现组织柔性增强了数字创新网络关系嵌入与新产品开发绩效之间的正向关系。因此,本文参考战略三脚架的分析方法,尝试从制度环境、组织资源、产业动态三方面展开异质性分析,以明确数字创新网络嵌入影响企业关键核心技术创新的重要边界条件。

(1) 政府数字技术关注异质性。在新兴经济体中,以政府政策为代表的制度因素对企业战略效果具有很强的解释力。尤其在中国情境下,地方政府对新兴技术与经济形态的关注度往往存在较大的异质性。就政府对数字技术的关注而言,由于注意力是一种稀缺资源,政府数字技术关注度反映了该地区在发展过程中对数字技术的重视程度。因此,政府可以向外界释放出支持数字技术创新与应用的信号,从而引导地区的创新资源配置。一方面,这将激励更多创新主体参与数字创新,为企业提供更多潜在的数字技术合作机会;另一方面,更强的数字技术注意力会促使政府加大对地区数字基础设施建设的投资力度,同时完善数字技术创新的相关制度,为企业利用数字创新网络提高关键核心技术能力创造良好的外部条件。本文收集 2013—2021 年各省份的政府工作报告,以数字技术相关的词频衡量政府数字技术关注度,并基于年度样本中位数划分较高政府数字技术关注组与较低政府数字技术关注组,进行分组检验。表 6 第(1)、(2)列表明,在政府数字技术关注度更高时,数字创新网络促进了企业关键核心技术创新,而在政府数字技术关注度较低时,上述正向影响则有所削弱。因此,地方政府的数字技术关注是数字创新网络推动关键核心技术创新的重要制度条件。

(2) 技术通用程度异质性。在开放式创新活动中,企业自身的技术资源特征会放大或削弱网络

嵌入的效果。当企业与其他创新主体存在数字技术联结时,丰富的通用技术资源能扩大主体间的技术合作领域,提高知识兼容性,减少重复研发成本,从而优化企业的关键核心技术攻关效率。因此,本文认为,如果企业掌握了大量的通用技术资源,则数字创新网络嵌入对关键核心技术创新的促进效果能得到增强。反之,当核心企业的技术通用性较低时,其对网络内其他创新主体的辐射作用减弱,难以有效发挥数字创新网络的知识聚合优势。为此,本文计算每一项专利*i*前向引用的专利分类号*j*大组所占比重并取平方值,用1减去上述比重平方值得到专利通用性指数,并以中位数方式映射到企业层面,指数越大,表明知识扩散越广,技术通用性越高,被用于不同领域知识组合的可能性越高。表6第(3)、(4)列分别列示了不同技术通用性条件下数字创新网络的估计系数,结果表明只有在企业自身的技术通用性较高时,数字创新网络嵌入才能有效促进关键核心技术创新。

(3)管理者数字知识异质性。高管的知识背景与管理视野对于优化后发企业运用战略资源的效果至关重要。具有数字知识基础的管理者,通常对数字技术发展的路线和要素有着深入的理解,更善于把握数字创新合作机会,并且能够相对准确地判断数字合作伙伴的互补性。因此,本文预期在高管掌握更多数字知识的企业中,数字创新网络对企业关键核心技术创新的促进作用更显著。考虑到求学或工作是塑造个人知识结构和思维的关键阶段,因此,本文以企业高管是否有过数字技术相关的专业或工作背景为依据,进行分组回归。表6第(5)列表明,在管理者具有较高数字知识水平的企业中,数字创新网络有效促进了企业关键核心技术创新,而第(6)列回归结果表明,管理者数字知识水平较低的企业中,数字创新网络对企业关键核心技术创新的影响并不显著。分组回归的结果符合本文预期。

表6 异质性分析(一)

	政府数字技术关注		企业技术通用性		高管数字知识	
	(1)高	(2)低	(3)高	(4)低	(5)高	(6)低
	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.1717*** (0.0500)	0.0985* (0.0540)	0.1313*** (0.0465)	0.0655 (0.0524)	0.1221*** (0.0437)	0.0742 (0.0631)
<i>control</i>	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
常数项	-1.1737 (1.1487)	-1.1016 (0.9699)	-0.2588 (1.3268)	-1.0309 (0.8903)	-0.6779 (0.9977)	-2.9098* (1.5024)
观测值	5246	6646	5795	5896	7963	3942
调整后 R ²	0.665	0.654	0.652	0.552	0.662	0.639

(4)行业产品迭代速度异质性。随着数字经济发展,数字技术的可供性、可重新编程性、数据同质性等特征为创新提速创造了可能性(Yoo et al., 2010),不断涌现的个性化需求也倒逼企业加快创新速度,否则产品创新所带来的竞争优势将会转瞬即逝。一些行业受到数字技术与跨界竞争的冲击较大,产品迭代速度加快,会引发更激烈的产品创新竞争。处于这类行业的企业,为了适应竞争压力、缓解研发不确定性,可能将更多创新资源投入数字化合作中,更重视灵活利用数字创新网络资源突破“卡脖子”技术,以满足客户需求。据此,本文推测,行业产品迭代速度的加快,将有利于企业更充分地运用数字创新网络资源,进而提升关键核心技术创新绩效。本文以CSMAR数据库的行业新产品开发数为依据,根据年度行业产品迭代速度中位数划分高、低两组。分组回归结果如表7

第(1)、(2)列所示,当行业产品迭代速度较高时,数字创新网络嵌入对关键核心技术创新的影响显著为正,而当产品迭代速度较低时,上述影响则不显著。

(5)行业追赶位置异质性。目前,中国企业整体仍然处于对世界领先技术水平的追赶阶段,其技术突破过程还会受到国家及行业层面整体技术追赶周期的制约。相比于国内起步较早、发展相对成熟的行业,处于追赶型或新兴产业的企业会面临更大的技术与市场不确定性,嵌入数字创新网络则有利于这些企业承接技术扩散、吸收全球知识资源,从而快速实现关键核心技术突破。Mao et al.(2021)定义了成熟型、追赶型及新兴型三类行业,成熟型行业是指技术水平在国内外均处于成熟阶段的行业;追赶型行业是指中国处于萌芽或上升阶段,而世界技术处于前沿阶段的行业;新兴型行业是指在中国与世界技术均处于萌芽及上升阶段的行业,如涉及生物技术、通信设备等领域的行业。考虑到近年频发的发达国家新兴技术封锁与知识围堵行为,中国战略新兴行业与国际先进技术水平仍存在较大差距,本文将追赶型及新兴型行业归入追赶位置相对落后类别,而成熟型行业则归入追赶位置相对领先的类别,以此进行分组回归。表7第(3)、(4)列回归结果表明,在追赶位置相对落后的行业中,数字创新网络提高了企业关键核心技术创新绩效,在追赶位置相对领先的行业中,上述作用则不显著。

表 7 异质性分析(二)

	行业产品迭代速度		行业追赶位置	
	(1)高	(2)低	(3)落后	(4)领先
	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>	<i>innovation</i>
<i>degree</i>	0.1529*** (0.0476)	-0.0012 (0.0470)	0.1209*** (0.0385)	0.0825 (0.0789)
<i>control</i>	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
常数项	-0.1688 (1.2106)	-1.7338** (0.8521)	-0.8960 (0.9782)	-2.0950* (1.1152)
观测值	6048	6105	8531	3579
调整后 R ²	0.658	0.608	0.661	0.572

五、结论与政策启示

本文基于数字专利合作申请数据,使用社会网络分析方法,构建2013—2021年中国上市企业数字创新网络,实证检验数字创新网络嵌入对中国制造业企业关键核心技术创新的积极影响,并进一步考察其作用机制及情境因素。研究发现,数字创新网络嵌入显著推动中国企业关键核心技术创新。本文使用了替换解释变量与被解释变量、排除传统创新网络的影响、工具变量法、PSM-DID等一系列稳健性检验和内生性分析方法后,这一研究结论依然成立。机制分析发现,数字创新网络嵌入重构了企业的知识生产全过程,通过知识边界跨越效应、数据要素整合效应、商业模式创新效应提高企业的关键核心技术创新绩效。从异质性分析结果看,嵌入数字创新网络的效果因制度、资源、产业特征而异。地方政府的数字技术关注度强化了数字创新网络嵌入的积极影响。数字创新网络嵌入对关键核心技术创新绩效的促进作用仅在高管具备丰富的数字知识、自身技术通用性较高的企业样本中成立。相比产品迭代速度低与追赶位置领先的行业,数字创新网络对所属行业产品迭代速度高以及追赶位置落后的企业影响更明显。结合上述结论,本文提出如下启示:

(1)企业应主动布局数字技术创新网络,加快形成关键核心技术协同攻关优势。本文研究结论

表明,嵌入数字创新网络有助于后发企业实现在关键核心技术领域的追赶。数字创新网络嵌入的水平越高,数字研发合作者数量越多,企业的关键核心技术创新表现越好。因此,中国企业需及时调整开放式创新战略,适应新兴的创新合作范式。在选择研发方向与合作形式时,企业应提高数字技术创新在研发计划中的比重,灵活运用数字型联盟合作、研发平台乃至开源社区等方式,迅速搭建数字创新网络架构,共享关键技术信息。在配置创新资源时,企业需考虑到数字创新网络连通性强、去中心化的特征,采取优先提高数字创新网络嵌入广度的资源配置策略。企业既要与大量高校、研究院、互补企业、政府等开展数字创新合作,也要保持同个体发明家与消费者群体的数字创新联系,充分发挥网络优势,塑造面向关键核心技术攻关的资源与能力基础。

(2)企业可基于数字创新网络开展跨界研发,提高数据要素利用水平,优化商业模式设计。在跨界创新方面,企业可依托数字创新网络,开发跨界知识接口,集聚不同行业、技术领域的研发机构与发明人员,扩大企业知识库,快速定位技术攻关所需的跨学科知识来源。例如,百度借助 Apollo 平台搭建数字化创新网络,与汽车企业跨界合作,实现了自动驾驶技术突破。在要素革新方面,企业应当在多边数字创新合作中建立高效透明的数据共享机制,学习合作者的数据管理经验,将数据要素与传统生产要素相结合,发挥出数据的乘数效应。在商业模式方面,企业要善于捕捉数字创新网络中涌现的新技术与新市场机会,大胆试错,与时俱进地调整商业模式设计,为技术能力的提升创造正向的价值反馈。

(3)政府要加快国家创新生态体系建设,引导中国企业嵌入数字创新网络,进而破解中国制造业大而不强的难题。根据本文整理的中国制造业上市企业数字创新网络数据,虽然数字创新网络已在中国兴起,且网络规模不断发展壮大,但仍有不少企业未能主动地嵌入数字创新网络。一方面,部分企业可能出于对研发合作中的知识产权泄露或科技伦理风险等担忧,继续保持“各自为战”的数字创新模式;另一方面,企业还可能受限于技术复杂性等门槛因素,难以接触到具备互补性知识的数字创新合作伙伴。针对这些问题,政府应持续完善数字经济领域的知识产权保护制度,推进落实相应的数字技术监管举措,破除数据要素流通障碍,扮演好数字经济背景下的制度供给者角色。同时,地方政府也要发挥数字创新网络的“桥梁”作用,提高对域内企业数字创新的关注度,通过政企合作与基金引导等方式,推动数字创新中的“政产学研用”合作落地。

(4)政府应着力于资源供给与制度设计,优化企业技术创新的外部环境。本文发现,在特定的企业资源与行业条件下,虽然部分企业嵌入了数字创新网络,但其关键核心技术创新绩效并未得到明显改善。例如,当企业管理者缺乏数字化知识时,数字创新网络嵌入的影响并不显著。在成熟型行业或产品迭代速度较慢的行业中,数字创新网络嵌入无法有效推动企业关键核心技术创新。为此,政府应制定配套政策,充分释放企业在数字研发合作中的创新活力。一是实施更符合数字经济与技术发展趋势的人才政策,引进更多优秀的科技型人才,为企业输送更多具备开放式的数字创新战略思维与视野的管理者。二是与行业协会展开合作,规范行业的研发竞争环境,形成良好的行业产品迭代模式,为发挥数字创新网络的积极作用创造有利的行业条件。三是搭建企业经验交流与学习平台,缓解部分行业中企业缺乏数字创新合作经验的问题。可见,政府应当多措并举,引导企业通过数字创新合作,突破技术难题,推进关键核心技术追赶进程。

[参考文献]

- [1]安同良,魏婕,姜舸.基于复杂网络的中国企业互联式创新[J].中国社会科学,2023,(10):24-43.
- [2]冯启良,安琪,方炜.数字技术赋能中国高技术制造企业关键核心技术创新的影响研究[J].管理学报,2025,(4):

- 690-699.
- [3]何瑛,陈丽丽,杜亚光.数据资产化能否缓解“专精特新”中小企业融资约束[J].中国工业经济,2024,(8):154-173.
- [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]黄先海,高亚兴.数实产业技术融合与企业全要素生产率——基于中国企业专利信息的研究[J].中国工业经济,2023,(11):118-136.
- [6]李唐,李青,陈楚霞.数据管理能力对企业生产率的影响效应——来自中国企业—劳动力匹配调查的新发现[J].中国工业经济,2020,(6):174-192.
- [7]刘洋,董久钰,魏江.数字创新管理:理论框架与未来研究[J].管理世界,2020,(7):198-217.
- [8]刘洋,魏江,江诗松.后发企业如何进行创新追赶?——研发网络边界拓展的视角[J].管理世界,2013,(3):96-110.
- [9]鲁若愚,周阳,丁奕文,周冬梅,冯旭.企业创新网络:溯源、演化与研究展望[J].管理世界,2021,(1):217-233.
- [10]罗佳,张蛟蛟,李科.数字技术创新如何驱动制造业企业全要素生产率?——来自上市公司专利数据的证据[J].财经研究,2023,(2):95-109.
- [11]孟凡生,赵艳,冯耀辉,辛凯.人工智能专利网络对企业智能化发展的影响[J].科研管理,2024,(7):118-126.
- [12]欧阳桃花,曾德麟.拨云见日——揭示中国盾构机技术赶超的艰辛与辉煌[J].管理世界,2021,(8):194-207.
- [13]曲永义.数字创新的组织基础与中国异质性[J].管理世界,2022,(10):158-174.
- [14]师磊,阳镇,钱贵明.数字产业集群政策与关键核心技术突破式创新[J].中国工业经济,2025,(1):100-117.
- [15]宋娟,谭劲松,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,2023,(5):4-17.
- [16]陶锋,朱盼,邱楚芝,王欣然.数字技术创新对企业市场价值的影响研究[J].数量经济技术经济研究,2023,(5):68-91.
- [17]吴超鹏,严泽浩.政府基金引导与企业核心技术突破:机制与效应[J].经济研究,2023,(6):137-154.
- [18]吴晓波,张馨月,沈华杰.商业模式创新视角下我国半导体产业“突围”之路[J].管理世界,2021,(3):123-136.
- [19]杏稼龙,吴福象.商业模式创新赋能企业关键核心技术突破:内在机制与经验证据[J].研究与发展管理,2023,(6):112-124.
- [20]徐霞,赵明明,吴福象.企业技术网络结构与关键核心技术创新速度——基于组合创新逻辑[J].中国工业经济,2024,(9):100-117.
- [21]余传鹏,黎展锋,林春培,廖杨月.数字创新网络嵌入对制造企业新产品开发绩效的影响研究[J].管理世界,2024,(5):154-176.
- [22]郑世林,汉馨语,郭锡栋,张子盈.国家战略科技力量与企业关键核心技术突破——来自国家和省级重点实验室的证据[J].中国工业经济,2024,(9):62-80.
- [23]周鹏,王卓,谭常春,宋敏.数字技术创新的价值——基于并购视角和机器学习方法的分析[J].中国工业经济,2024,(2):137-154.
- [24]Bailey, D. E., S. Faraj, P. J. Hinds, P. M. Leonardi, and G. von Krogh. We Are All Theorists of Technology Now: A Relational Perspective on Emerging Technology and Organizing[J]. Organization Science, 2022, 33(1): 1-18.
- [25]Bharadwaj, A., O. A. El Sawy, P. A. Pavlou, and N. Venkatraman. Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights[J]. MIS Quarterly, 2013, 37(2): 471-482.
- [26]Boland, Jr R. J., K. Lyytinen, and Y. Yoo. Wakes of Innovation in Project Networks: The Case of Digital 3-D Representations in Architecture, Engineering, and Construction[J]. Organization Science, 2007, 18(4): 631-647.
- [27]Chesbrough, H. W. Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology[M]. Boston: Harvard Business Press, 2003.
- [28]Cozzolino, A., G. Verona, and F. T. Rothaermel. Unpacking the Disruption Process: New Technology, Business

- Models, and Incumbent Adaptation[J]. *Journal of Management Studies*, 2018, 55(7): 1166–1202.
- [29] Faraj, S., G. von Krogh, E. Monteiro, and K. R. Lakhani. Online Community as Space for Knowledge Flows[J]. *Information Systems Research*, 2016, 27(4): 668–684.
- [30] Freeman, C. Networks of Innovators: A Synthesis of Research Issues[J]. *Research Policy*, 1991, 20(5): 499–514.
- [31] Grant, R. M. Toward a Knowledge-Based Theory of the Firm[J]. *Strategic Management Journal*, 1996, 17(S2): 109–122.
- [32] Henfridsson, O., J. Nandhakumar., H. Scarbrough., and N. Panourgias. Recombination in the Open-Ended Value Landscape of Digital Innovation[J]. *Information and Organization*, 2018, 28(2): 89–100.
- [33] Jarrahi, M. H., and S. Sawyer. Networks of Innovation: The Sociotechnical Assemblage of Tabletop Computing[J]. *Research Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.repolx.2018.100001>, 2019.
- [34] Li, L., W. Zhu, L. Wei, and S. Yang. How Can Digital Collaboration Capability Boost Service Innovation? Evidence from the Information Technology Industry[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121830>, 2022.
- [35] Liu, Y., J. Dong, L. Mei, and R. Shen. Digital Innovation and Performance of Manufacturing Firms: An Affordance Perspective[J]. *Technovation*, <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102458>, 2023.
- [36] Lyytinen, K., Y. Yoo, and Jr. R. J. Boland. Digital Product Innovation within Four Classes of Innovation Networks[J]. *Information Systems Journal*, 2016, 26(1): 47–75.
- [37] Mao, J., S. Tang, Z. Xiao, and Q. Zhi. Industrial Policy Intensity, Technological Change, and Productivity Growth: Evidence from China[J]. *Research Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104287>, 2021.
- [38] Mathews, J. A. Competitive Advantages of the Latecomer Firm: A Resource-Based Account of Industrial Catch-Up Strategies[J]. *Asia Pacific Journal of Management*, 2002, 19: 467–488.
- [39] McCarthy, S., P. O’Raghallaigh, C. Kelleher, and F. Adam. A Socio-Cognitive Perspective of Knowledge Integration in Digital Innovation Networks [J]. *Journal of Strategic Information Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2024.101871>, 2025.
- [40] Menter, M., L. Göcke, and C. Zeeb. The Organizational Impact of Business Model Innovation: Assessing the Person-Organization Fit[J]. *Journal of Management Studies*, 2024, 61(3): 926–967.
- [41] Nambisan, S., K. Lyytinen, A. Majchrzak, and M. song. Digital Innovation Management: Reinventing Innovation Management Research in a Digital World[J]. *MIS Quarterly*, 2017, 41(1): 223–238.
- [42] Pagani, M. Digital Business Strategy and Value Creation: Framing the Dynamic Cycle of Control Points [J]. *MIS Quarterly*, 2013, 37(2): 617–632.
- [43] Peng, M. W., L. Sun, B. Pinkham, and H. Chen. The Institution-Based View as a Third Leg for a Strategy Tripod[J]. *Academy of Management Perspectives*, 2009, 23(3): 63–81.
- [44] Schumpeter, J. A. *The Theory of Economic Development*[M]. Boston: Harvard University Press, 1934.
- [45] Shipilov, A., and A. Gawer. Integrating Research on Interorganizational Networks and Ecosystems[J]. *Academy of Management Annals*, 2020, 14(1): 92–121.
- [46] Svahn, F., L. Mathiassen, and R. Lindgren. Embracing Digital Innovation in Incumbent Firms[J]. *MIS Quarterly*, 2017, 41(1): 239–254.
- [47] Teece, D. J. Business Models, Business Strategy and Innovation[J]. *Long Range Planning*, 2010, 43(2–3): 172–194.
- [48] Vanhaverbeke, W., V. Gilsing, B. Beerkens, and G. Duysters. The Role of Alliance Network Redundancy in the Creation of Core and Non-Core Technologies[J]. *Journal of Management Studies*, 2009, 46(2): 215–244.
- [49] Vial, G. Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda[J]. *Journal of Strategic Information Systems*, 2019, 28(2): 13–66.
- [50] Yoo, Y., O. Henfridsson, and K. Lyytinen. Research Commentary—The New Organizing Logic of Digital Innovation: An Agenda for Information Systems Research[J]. *Information Systems Research*, 2010, 21(4): 724–735.

Digital Innovation Network Embedding and Key Core Technology Breakthroughs

YANG Zhen-ning, YUAN Zi-jin

(Business School, University of International Business and Economics)

Abstract: Digital technologies are rapidly reshaping the landscape of global technological competition, creating a window of opportunity for latecomers' catch-up. Network embedding has emerged as a critical strategy for firms to integrate innovation resources and seize opportunities. Many firms are seeking to optimize R&D models by embedding them into digital innovation networks. Compared to conventional innovation networks, digital innovation networks exhibit stronger advantages in terms of underlying technologies, resource attributes, and innovation activities. Additionally, the tasks of developing key core technologies are becoming more complex, urgent, and risky. This raises a question: Can the digital innovation networks drive Chinese firms to innovate in key core technologies? This issue is vital to China's pursuit of technological self-reliance and modernization, and warrants in-depth research.

This study collects data on digital patent applications from A-share listed firms to construct digital innovation networks from 2013 to 2021 using social network analysis. A comparative analysis between conventional and digital innovation networks reveals that although the size of the digital innovation network is smaller, it shows advantages in terms of network density, connectivity, and decentralization. This paper empirically tests the impact of digital innovation network embedding on key core technology innovation using the sample of listed manufacturing firms. This paper finds that digital innovation network embedding promotes performance in innovation in key core technologies. The mechanism analysis shows that digital innovation networks restructure firms' knowledge production processes. In terms of knowledge resources, they help firms transcend knowledge boundaries and compensate for knowledge-based disadvantages. In terms of production methods, they encourage the integration of data elements to enhance efficiency. In terms of value capture, they facilitate business model innovation and improve innovation incentives. Furthermore, the positive effect is stronger when local governments place greater emphasis on digital technologies. Additionally, managerial digital literacy and firms' technological generality serve as boundary conditions. In industries with rapid product iteration and a more catch-up-oriented position, the positive impact is more pronounced.

This paper investigates the role of digital innovation network embedding in fostering key core technological innovation. On one hand, it expands research on the patterns and outcomes of digital innovation. On the other hand, focusing on the challenges of key core technology innovation, it reveals, from the perspective of open innovation networks, the driving forces behind such innovation under digital transformation. The findings suggest that Chinese firms should actively engage in digital collaboration and leverage innovation networks to pursue joint breakthroughs. The government should accelerate the construction of a national innovation ecosystem and guide more firms into digital innovation networks, thus creating a favorable institutional environment for technological catch-up.

Keywords: digital innovation network; key core technology innovation; knowledge production; latecomer

JEL Classification: M10 O31 O14

[责任编辑:李鹏]