

链式生产网络、需求驱动与链式创新溢出

余丽丽, 铁 瑛

【摘要】 随着社会分工的细化和部门间技术交叉的兴起,创新溢出将不再局限于行业内或直接关联行业间,其在复杂生产网络中的可能性边界获得了巨大的拓展。本文在链式生产网络中提出并界定了“链式创新溢出”概念,纠正既有框架对创新溢出的严重低估,并重新探讨创新溢出的影响因素及关键路径。本文首次构建了包含创新溢出占用的投入产出模型,手工匹配并生成专利的“生产行业—使用行业”概率表,结合国家统计局最新发布的中国投入产出数据,在2002—2020年的长序列观察窗口内对链式创新溢出开展系统研究。结果发现:链式创新溢出始终是创新直接溢出的2倍以上,这表明既有框架对创新溢出的低估程度高达1倍以上;经济形势向好时,链式创新溢出规模上升主要来自规模扩张引起的最终需求变动,反之,则来自创新强度上升所造成的创新溢出完全占用系数提升;链式创新产业内溢出主要集中于技术“自我迭代”更快的中高技术制造业和建筑业,而产业间溢出的关键产业路径主要表现为建筑、卫生、专用设备、汽车以及通信设备等行业的最终需求对通用和专用设备、金属制品等行业的技术和收益溢出。本文的研究从完善国内生产网络、推进产业间战略合作研发、以科技创新推动产业创新等三个方面为建设中国现代化产业体系和推动经济高质量发展提供政策性思考。

【关键词】 链式生产网络; 链式创新溢出; 需求驱动创新; 产业关联; 技术溢出

【中图分类号】 F424 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1006-480X(2025)07-0100-19

一、引言

“创新究竟有多重要”,是理论界与政策界长期关注并持续探讨的经典问题之一。虽然创新对经济增长和社会发展的关键作用得到了广泛认可,但伴随社会分工的细化和链式生产网络的兴起,现有评估框架因产业间技术关联因素的缺失仍然可能严重低估了创新沿生产网络所发生的正向溢出。一方面,这导致决策者难以全面掌控创新的全局贡献,可能产生不容忽视的效率损失;另

【收稿日期】 2024-10-28

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目“全球价值链重构背景下链式生产网络中的创新链溢出研究”(批准号72473097);国家自然科学基金面上项目“中国出口贸易的‘稳’与‘进’:微观基础、宏观实现与对策探讨”(批准号72273087);国家自然科学基金青年项目“全面对外开放与区域协调发展的影响机理、效应评估及政策研究”(批准号72103129)。

【作者简介】 余丽丽,上海对外经贸大学国际经贸研究所副研究员,经济学博士;铁瑛,上海财经大学商学院教授,博士生导师,经济学博士。通讯作者:铁瑛,电子邮箱:tieyingx@foxmail.com。感谢陈爱贞、李志远和陈鸣提出的建设性意见,感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵建议,文责自负。

一方面,关键技术环节缺失的重大潜在危害更容易被忽视,这不仅对产业链的整体安全造成威胁,可能影响中国现代化产业体系建设的步伐。基于此,在分工高度细化且产业间广泛关联的复杂生产网络中准确界定和评估创新的直接影响和间接外溢,对于完善创新激励政策、实现产业链和创新链深度融合、推进中国式现代化具有重要的现实意义。本文尝试在一般均衡分析思路下,基于生产网络中复杂产业关联视角,界定、识别并引入行业间技术关联,通过在复杂生产网络中区分直接与间接的产业关联,完善对最终需求引致创新溢出的准确评估方案,提出并刻画“链式创新溢出”。本文不仅拓展和修正了投入产出评估框架中技术溢出的理论外延与概念边界,有效校正了对创新溢出的低估,而且为“以科技创新引领现代化产业体系建设”这一重大经济任务提供了理论基础和政策内涵。

图 1 以光刻机为典型案例,简要刻画了链式创新溢出的产业路径,并与传统的直接溢出评估方案进行直观对比。光刻机突破看似是一个独立的技术问题,而汽车和智能家居看似是两个与之不相关的最终需求品,但伴随最终需求的升级,如汽车的自动驾驶、智能纠偏功能以及家居的智能化、自动化需求等,对智能控制器提出了更高要求,这需要微控制芯片技术的支持,而这从根本上依赖于光刻机技术的突破。更重要的是,光刻机技术将不仅沿上述单一溢出路线影响汽车行业,还会溢出影响设备制造,通过发动机等零部件、配件再次间接影响汽车行业。换言之,在复杂生产网络中,特定需求行业不仅会通过直接的投入产出关系与其他行业联结,还会基于生产环节分工与更多的行业形成间接的产业关联(Acemoglu and Azar, 2020),从而形成多行业、多产业链交织的网络结构,即“链式生产网络”(Chain Production Network)。行业之间本身就存在着广泛且直接的技术关联(Cai and Li, 2019),当特定需求行业引发特定供给行业的生产投入调整时,特定供给行业还将对特定需求行业产生技术溢出。基于此,链式生产网络中最终需求引发的行业间的创新联系及其影响,可以理解为创新沿着链式生产网络的溢出,本文将其界定为“链式创新溢出”(Innovation Spillover in Chain Production Network)。已有评估框架大多较好地刻画了产业间的直接关联,即图 1 中直接连接的模块,却普遍忽视了复杂生产网络关系中的间接产业关联,这正是造成对创新溢出严重低估的核心原因。只有在链式生产网络中考察,才能够客观评估间接产业关联对创新溢出及绩效改进的“乘数效应”(刘维刚, 2022),从而更好地理解和识别“需求驱动创新”的产业路径。

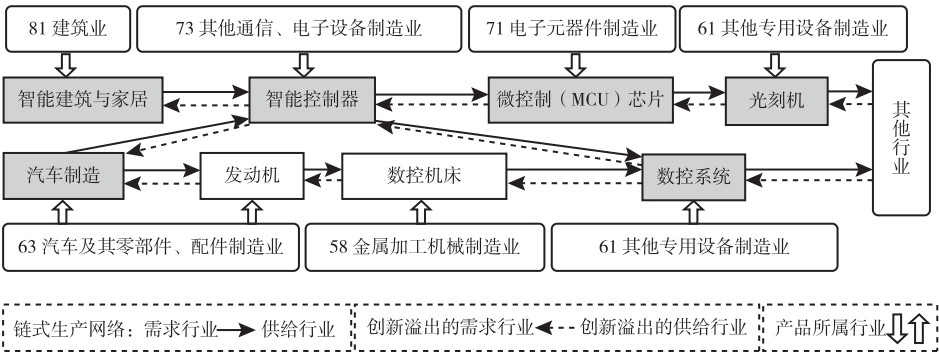


图 1 链式生产网络中链式创新溢出的产业路径：一个简要结构案例

注：数字对应行业代码。

图1所刻画的简要案例凸显了既有评估框架的三点重要缺憾:一是以包群和廖赛男(2023)为代表的微观主体视角的研究,虽然精准识别了生产网络中间接供应链联系的技术溢出,但局限于企业间点对点的局部均衡分析,难以纳入产品分工引致的更为本质的行业间技术溢出,也就难以捕捉全局性的一般均衡效应;二是以Cai and Li(2019)为代表的传统评估方案,虽然基于专利引用成功地量化了行业间的技术联系,然而,这一评估策略极易受到专利引用偏好的严重干扰^①,反而忽视了行业间技术溢出更为本质的原因,即固有的技术联系(Mann and Püttmann, 2023);三是在链式生产网络中,技术溢出不仅存在于直接的行业联系中(Cai and Li, 2019),还广泛存在于间接的产业关联中(Eslava et al., 2015),甚至伴随分工细化,沿着生产链条进行延展,即Acemoglu and Azar(2020)所指出的,生产网络中无限轮次的产业关联所产生的累积放大效应。

因此,只有基于链式生产网络界定的链式创新溢出才能够有效纠正既有框架对创新溢出的严重低估,要实现这一目标需要在如下四个方面做出重点突破:一是基于“生产—使用”策略,准确识别行业间的创新溢出关系。创新几乎都不是孤立发生的,一个行业的创新也往往不会局限于仅在本行业使用,当行业A生产的创新被行业B使用时,就意味着行业A的创新对行业B产生了直接溢出,这种以“生产—使用”策略识别行业间技术溢出关系更为直接准确,也可以更关注技术本身的来源及用途,明显优于传统识别方案所依赖的专利引用关系。二是将行业间创新溢出引入投入产出分析框架。本文的链式创新溢出有别于传统创新溢出的关键在于刻画行业之间的完全技术关联,而非仅停留在直接技术关联。而要基于复杂网络思想,在一般均衡视角下区分产业间的直接和间接关联,最为适用的分析工具是投入—产出模型(Input—Output Model)。本文需要将行业间创新溢出关系作为生产活动中的创新溢出占用模块,构建链式生产网络中链式创新溢出效应研究的基础模型框架。结合行业间创新溢出的识别策略,本文所构建的包含创新溢出占用的投入—产出模型能够有效匹配链式创新溢出的两大基础性特征:①行业间技术溢出关系刻画的是特定行业技术创新活动中使用的、来自其他不同行业的技术创新投入;②完美兼容涵盖间接产业关联的链式生产网络,有效刻画行业间的技术溢出关系的乘数效应。三是以最终需求作为观察链式创新溢出的逻辑出发点。链式创新溢出本质上是最终需求引发的生产活动中,行业间直接技术联系经产业关联而被迅速放大的技术和收益影响。而链式生产网络的关键特性在于行业间的复杂投入产出关联,在此框架下实现创新溢出的量化评估需要一个涵盖投入产出行为的清晰逻辑起点,行业的最终需求是唯一适配这一要求的驱动因素,以此作为起点可以将需求驱动、产业分工、技术联系等多重因素融于同一框架进行综合评估。而且,在投入产出分析框架中,创新也被天然地锁定为需求驱动,而非技术的内部驱动,这有效排除了技术的自身更迭发展所造成的估算偏误。四是以不同外部条件下的效应分解和路径分析作为链式创新溢出的政策落脚点。链式生产网络中交错复杂的产业关联,一方面会促进最终需求引致的技术创新在关键供给部门“堆叠”,另一方面在受到负面冲击时,经交错复杂的产业关联传导,也可能导致全产业链的技术崩塌和需求受挫。因此,本文从收益溢出角度引入专利的增加值率,并以创新直接溢出带来的增加值关联作为创新的直接收益溢出,以链式创新溢出带来的增加值关联作为链式创新收益溢出。最后,综合技术溢出和收益溢出两个视角,

① 专利引用偏好导致其难以真实刻画行业间创新的“生产—使用”关系。一方面,专利引用往往被识别为知识流动,而非技术生产和使用的直接联系。例如,汽车制造商可能会在“车内外结构”创新中使用“电子终端设备固定装置”的技术专利,但很少会直接引用相关的技术创新专利。另一方面,专利质量(Akcigit et al., 2016)、行政边界(陈志远等, 2025)、企业性质(叶静怡等, 2019)、行业技术迭代差异(叶初升和孙薇, 2023)等因素都会造成显著的专利引用偏好,从而产生测度误差。

系统识别链式创新溢出的驱动因素及关键“需求—供给”产业路径。这不仅有助于明确复杂生产网络下创新溢出变化的具体原因,为完善和保障国内生产和技术网络提供指引,而且有助于厘清创新溢出的具体路径,为围绕产业链探讨创新突破及成本分摊提供思路,以及从需求侧和供给侧对技术链和产业链加强风险预警并提供防控策略。

综上,本文尝试在链式生产网络中重新界定和评估创新的溢出效应,识别链式创新溢出,厘清其影响因素,识别其产业路径特征,并提出针对性的政策思考。本文的边际贡献如下:①基于链式生产网络思想,以创新溢出占用模块的形式将行业间技术联系引入投入产出模型,提出和界定了“链式创新溢出”的概念内涵。已有文献大多基于局部均衡视角关注企业间供需网络及技术溢出联系(包群和廖赛男,2023)或行业之间的直接技术外溢(Cai and Li,2019),而忽视了复杂生产网络的间接产业关联(Acemoglu and Azar,2020),以及对创新溢出传导带来的乘数作用,严重低估了创新溢出效应。本文的研究不仅为一般均衡视角下评估技术溢出相关问题提供了有益的尝试思路,而且将投入产出分析应用范围拓展至复杂网络的创新联系问题,为相关研究的进一步探讨提供了基础的分析框架。②借鉴 Mann and Püttmann(2023)的思路,以“生产—使用”为核心识别了行业间的技术关联,首次构建了中国行业间的专利使用概率表,从而基于专利技术固有的生产和使用联系,刻画了中国行业间技术的投入产出联系,有效改进了传统识别策略依赖专利引用所产生的诸多不足。③研究结论具有丰富的政策内涵。本文结论将从根本上修正对创新价值的普遍低估,激发政府管理部门对技术创新激励机制的重新思考和设计,有助于从产业间战略研发合作和研发成本分担的角度推进探索创新的多产业、多部门协同机制。

二、文献综述

1. 链式生产网络中的技术溢出与经济增长

技术溢出对经济增长的影响始终是一项重要议题。为了识别技术溢出对企业绩效的影响,Bloom et al.(2013)通过理论推演和经验证据发现,技术溢出效应占主导地位,并导致研发的社会回报至少是私人回报的两倍。之后,针对技术溢出带来的正向外部性,学者们基于企业间上下游联系进行了一系列的理论探讨。从理论逻辑看,上游供应商的技术创新将刺激下游厂商的多样化产品创新,提升市场竞争力和消费者福利(Basker and Simcoe,2021);同时,为了降低成本、提升技术和产品质量,下游厂商通常会选择积极与上游供应商进行合作,促进供应商技术与自身产品技术需求相适应(Chang,2013)。供应链上下游关联作为技术溢出的重要渠道在实证研究中也得到了证实(杨金玉等,2022)。

企业间上下游关系并不仅限于直接互动这一种形式,还可能存在以下情形:企业A是企业B的上游供应商,企业B是企业C的上游供应商,由此,企业A与企业C之间通过企业B形成了间接的上下游关系,而这种链式“供给—需求”关系是普遍存在的,并且对于刻画生产分割越发细化的企业间上下游关系和技术效应更为合适。包群和廖赛男(2023)是近期最具代表性的研究,识别了国内生产网络中的间接出口企业,探讨了知识传递、规模收益以及质量提升,对间接出口企业全要素生产率提高产生的外溢影响,并对负向需求冲击的上游传染效应进行了估计,从微观企业层面对国内生产网络中的技术溢出效应研究做出尝试与突破。但这种局限于“企业A—企业B”,或者“企业A—企业C”的点对点供需关系及技术溢出,容易忽视产品分工引致的更为本质的行业间技术溢出效应(Cai and Li,2019),以及无限轮次的产业关联对技术溢出所产生的累积放大效应(Acemoglu and

Azar, 2020; 刘维刚, 2022)。

技术溢出广泛存在于所有行业,但不同行业之间的技术溢出程度存在明显差异。Cai and Li (2019)认为,行业间技术溢出差异与技术可应用性密切相关,一般均衡条件下,行业间技术溢出或技术联系将决定各部门的研发投入,并解释了行业间的研发强度和经济增长差异。遗憾的是,他们以专利引用数据构建的行业间技术联系(或溢出)仍局限于行业间技术的直接投入产出关系,尚未涉及生产网络中强供需关系行业之间的创新联动(Chang, 2013),以及间接供需关系行业之间的创新联系(Eslava et al., 2015)。这不仅会低估当前复杂生产网络下行业间的技术溢出效应,更为关键的是,还会导致整个经济系统对骤然遭受的负面冲击毫无预警。

综上,现有研究可能严重低估技术溢出效应,而这种认知缺憾的补充和修正需要寻找新的分析框架和识别策略。在生产网络中综合识别和评估累积的技术溢出效应,需着力解决三大关键技术问题:一是克服专利引用偏好带来的评估偏误,借助行业间固有的技术联系识别技术溢出关系;二是构建包含内生生产网络的测度框架,纳入行业间技术溢出模块;三是基于复杂生产网络厘清具体而关键的“需求—供给”技术溢出路径。

2. 链式生产网络中创新的需求驱动及溢出效应

Schmookler(1966)指出,企业进行技术创新的本质是逐利,而逐利的基本要求就是与需求的适配性,即“需求驱动创新”。当不确定性广泛存在时,每个企业都面临着异质且不确定的需求偏好(Berman et al., 2019),企业创新决策就需要对基于每个时期的需求进行学习 and 信念更新,从而实现技术革新和产品质量改进(胡翠等, 2015)。

Schumpeter(1939)关于经济周期与技术创新的经典理论——“创造性破坏”,本质上也是需求学习影响企业创新行为选择的逻辑思路。“创造性破坏”理论认为,企业创新行为调整取决于经济周期中研发投入成本和机会成本(销售利润)之间的权衡。根据“创造性破坏”理论,企业需要密切关注和把握宏观经济周期波动以及所处行业的周期性波动,并及时调整其创新策略(Manso et al., 2023)。显然,上述研究主要局限于企业创新动态对最终品消费需求的适配性,忽视了生产网络中企业技术创新对下游产品生产过程中的需求学习,及其对企业创新行为的影响。

在生产网络视角下,为满足市场需求,企业既可能提供最终品,也可能提供中间品(Alfaro et al., 2019)。这意味着企业既需要对最终品需求进行学习,还需要对中间品需求进行学习,以实现技术改进和质量提升,这一基于上下游产业之间的投入产出关系正是全球价值链研究的重点之一。基于此,部分学者开始探讨中国企业基于产业链学习所产生的创新动态调整,但相关研究主要从投入产出框架测度的生产链位置、依赖度或长度等“物理距离”出发,探讨企业的创新模式选择、数字化转型或创新水平等(陈爱贞等, 2021; 范合君等, 2023),大多局限于简约式估计的局部均衡分析,缺乏基于供需协同系统的全局讨论。刘维刚(2022)虽然从内生生产网络的一般均衡角度,探讨了生产投入结构变动对企业创新的效应及作用机制,但相关研究仍局限于供给侧调整带来的企业创新变化,缺乏关于“最终需求—技术供给(溢出)”的协同视角。

综上,能够详细刻画生产网络中最终需求驱动、经直接和间接产业关联形成全部生产活动的投入产出模型展现出独特的优势,成为本文评估链式创新溢出效应的工具基础。然而,投入产出模型要应用于链式创新溢出的评估,仍需突破理论和技术的双重难题:①如何基于生产网络理论,解构出链式生产网络及链式创新溢出,并从理论逻辑和数据同构角度,打开投入产出模型作为创新溢出评估工具的“黑箱”;②如何在理论演绎的基础上,在投入产出模型框架中实现经济循环过程与技术

联系过程的有效联结,厘清链式创新溢出效应、驱动因素及具体路径。

3. 链式生产网络中的技术溢出与研发成本分摊

技术溢出通常不是刻意的、主动的,而是技术外部性的结果和市场不完善的体现。基于开放式创新理念的企业研发合作,本质是将技术外部性代入市场的一种途径,以帮助企业共同应对日益复杂的技术变革,分摊高额的研发成本,分散研发风险(龙小宁等,2023)。关于中国的相关研究基本表明了企业研发合作与创新绩效之间的正相关关系,但这也受到市场整合能力和行业开放程度的影响,因此,关于企业合作创新“合理边界”的讨论是必要的。

为了系统地厘清企业间研发合作的影响机制及效应,König et al.(2019)构建了关于研发联盟网络的理论模型,发现企业参与研发合作将面临来自技术溢出效应与产品竞争效应之间的权衡,前者反映了研发合作对产出和利润的积极影响,后者则反映了竞争和市场窃取效应的消极影响。在复杂的研发网络中,企业不仅向其直接合作伙伴产生技术溢出,还会间接地对与其相连的其他企业产生技术溢出,这表明研发联盟网络中企业间复杂联系将导致技术溢出效应明显放大。在生产网络中,这种市场扭曲的放大效应主要表现为,后向需求的复杂关联引致的市场扭曲效应在上游部门的“堆叠”(Liu,2019)。基于此,本文认为,在生产网络中探讨技术溢出以及研发成本分摊机制,重点在于需要围绕产业链的技术溢出方向,引导跨行业且具有紧密产业关联的企业间进行研发合作,以缓解市场失灵及其产生的资源配置损失。

针对中国在基础零部件、基础工艺、关键基础材料等领域存在的诸多“卡脖子”问题,以及通过产业关联对下游产业累积的负面影响,黄群慧(2021)提出构建供给侧结构性改革与需求侧管理有效协同的宏观调控政策体系,以及竞争政策与产业政策有效协同的技术创新政策体系是必要且合理的。因此,需要从实证角度对生产网络中技术溢出效应及其“需求—供给”产业路径进行识别和刻画,从而对技术溢出的相关研究进行补充,这对于生产网络中技术溢出的研发成本分摊机制设计具有重要的理论意义。

三、理论演绎、数据同构与模型实践

1. 理论演绎:链式创新溢出的形成逻辑与理论基础

生产网络的复杂化是当今社会精细化分工的突出表现,也是有待于理论诠释和经验考察的热点问题。Acemoglu and Azar(2020)是新近刻画复杂生产网络形成的代表性研究,从生产过程中投入组合的变化阐释了生产网络的形成和变化,与本文探讨经济系统中最终需求驱动的行业间创新溢出问题的思路高度契合,也为本文基于“投入—产出”分析框架的具体识别策略提供了扎实的理论基础。然而,Acemoglu and Azar(2020)刻画的生产网络是高度抽象的,而且其仍然关注行业间直接投入产出关系,难以剥离出分工深化过程中不同生产阶段所形成的、包含直接和间接的行业间投入产出联系,即“产业链”。因此,本文尝试以 Acemoglu and Azar(2020)的研究为基线框架,进一步探索生产网络中的“链式”结构,以实现既有理论的拓展。

沿袭 Acemoglu and Azar(2020)的理论前提,本文假设存在一个包含 n 部门的经济系统,每个部门的生产活动需要投入劳动力和中间品,其中,劳动力是必要的生产要素。进一步地,将最终需求引致生产活动中涉及的中间品传递过程记作最终需求产品的“生产阶段”,并将只依赖劳动力要素以直接满足最终品需求的生产活动记作“第0生产阶段”,涉及1次中间品投入以满足最终品需求的生产活动记作“第1生产阶段”,依此类推。那么,如图2所示,最终需求引致的生产活动可以细分为

第 $0, 1, 2, \dots, t$ 个生产阶段,而每个生产阶段涉及的产业链条数分别为 $n, n^2, n^3, \dots, n^{(t+1)}$,即分工精细化所产生的“链式”生产网络结构。

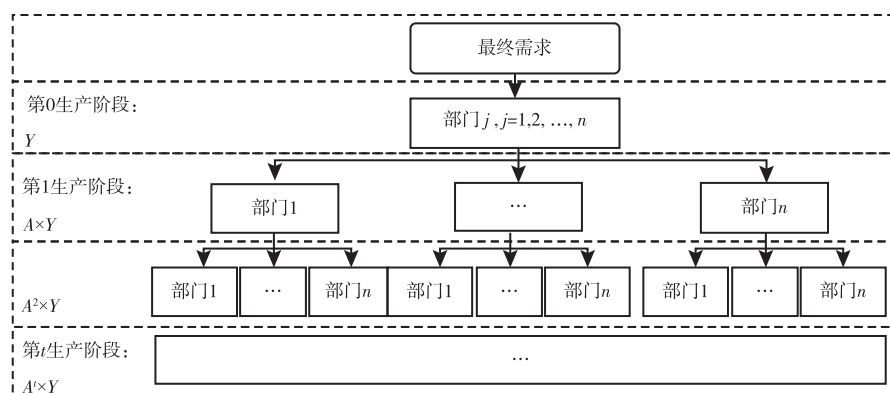


图2 生产网络中的“链式”结构

注:A表示刻画行业间直接投入产出联系的直接消耗系数矩阵,Y表示最终需求。

在链式生产网络中,最终需求驱动的创新溢出将有可能沿着生产链条得到极大的延展,并形成较之创新直接溢出的累积放大效应。当不考虑复杂生产网络时,行业间直接创新溢出可以表示为 j 部门创新活动所需的来自 i 部门的创新投入 p_{ij} ;在链式生产网络下, j 部门最终需求驱动 i 部门的创新溢出,可以表示为 j 部门最终需求驱动经所有生产活动的创新使用而引致的 i 部门的创新溢出 $pl_{ij}y_j$,远大于直接创新溢出 p_{ij} 的内涵。具体地, j 部门最终需求不仅会通过“第0生产阶段”直接激发 i 部门的技术创新($pio_{ij}pint_{ij}y_j$),形成最终需求驱动的技术供给行业的“创新直接溢出”,还会通过“第 t 生产阶段($t \geq 1$)”激发与其具有间接产业联系的 i 部门的技术创新($\sum_i \sum_j pio_{ij}pint_{ij}a_{is}a_{sj}y_j, t=2$),形成最终需求驱动的间接创新溢出。 $pio_{ij}=p_{ij}/\sum_j p_{ij}$ 表示 j 部门创新活动中来自 i 部门创新投入的概率, $pint_{ij}$ 表示 j 部门生产活动伴随的创新强度, a_{sj} 表示 j 部门生产活动中来自 s 部门的中间投入, y_j 表示 j 部门的最终需求; pio_{ij} 、 $pint_{ij}$ 、 a_{is} 的定义同上。

显然,最终需求驱动下创新溢出沿着生产链条的延展过程,与投入产出模型中最终需求引致的生产过程展开相一致,即行业间(链式)创新溢出的表达形式与传统的投入产出表具有高度同构性。^①只有构建出包含生产网络“链式”结构的分析框架,才能够客观剖析创新溢出的具体路径,证实传统“创新直接溢出”对创新价值的严重低估,并从最终需求驱动的包含直接和间接产业关联的生产链条出发,重新界定和评估经济系统中的创新溢出问题,即“链式创新溢出”。

2. 数据同构:拓展至包含创新溢出占用的投入产出表

创新溢出(直接或链式)基本结构与投入产出数据的高度同构性,为本文基于投入产出框架识别链式创新溢出提供了重要的数据条件。其中,链式创新溢出相当于在最终需求驱动的直接和间接生产活动中,进一步嵌入行业间直接创新溢出联系。为此,本文在理论演绎的基础上构建了包含创新溢出占用的投入产出表(见表1),并以此实现经济循环流量过程与行业间创新溢出流量过程的联结,为进一步搭建链式创新溢出效应的评估框架奠定基础。

^① 链式创新溢出的延展及其与投入产出表的同构性,参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

表1 包含创新溢出占用的投入产出表:基本结构

		部门1	...	部门n	出口	国内最终使用	进口	误差项	总产出
投入产出表	部门1	z_{11}	...	z_{1n}	e_1	d_1	m_1	r_1	x_1
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	部门n	z_{n1}	...	z_{nn}	e_n	d_n	m_n	r_n	x_n
	增加值	va_1	...	va_n					
总投入		x_1	...	x_n					
		部门1	...	部门n					
创新溢出/ 占用	部门1	p_{11}	...	p_{1n}					
	⋮	⋮	⋮	⋮					
	部门n	p_{n1}	...	p_{nn}					

如表1所示,本文以 n 部门为例,尝试在常规投入产出表的第3象限粘贴对应的创新溢出占用表,拓展并构建了包含创新溢出占用的投入产出表。从行向看, z_{ij} 、 e_i 、 d_i 分别表示中间品使用、出口和国内最终使用, m_i 、 r_i 分别表示进口和误差项,总产出 $x_i=\sum_j z_{ij}+e_i+d_i-m_i+r_i$ 刻画了需求端平衡;从列向看, z_{ij} 、 va_j 分别表示中间投入和增加值,总投入 $x_j=\sum_i z_{ij}+v_j$ 刻画了投入端平衡;从创新溢出占用表看, p_{ij} 刻画了 j 部门生产创新活动中使用的来自 i 部门生产的创新投入。由此,创新溢出直接占用系数可以表示为 $pa_{ij}=p_{ij}/x_j$,表示 j 部门单位产出所占用来自 i 部门的直接创新投入,其所有元素构成的矩阵记作 PA ;类似地,创新溢出完全占用系数可以表示为 $pl_{ij}=\sum_k pa_{ik}l_{kj}$,即经链式生产网络传导, j 部门单位需求所引发的来自 i 部门的完全创新投入,其所有元素构成的矩阵记作 PL ,其中, $i,j\in(1,2,3,\dots,n)$, l_{kj} 为里昂惕夫逆矩阵 L 中的元素,完整刻画了最终需求驱动的垂直专业化分工特性。进一步将创新溢出的直接占用系数改写为: $pa_{ij}=(p_{ij}/p_j)\times(p_j/x_j)=pio_{ij}pint_j$ 。其中, pio_{ij} 表示 j 部门创新活动中使用的来自 i 部门创新的概率,即中国技术创新的行业间直接投入产出联系,其所有元素构成的矩阵记作 PIO ; p_j 表示 j 部门创新总使用,以特定行业专利使用数($PATENT$)填充,其所有元素构成的矩阵记作 $PATENT$; $pint_j$ 表示 j 行业单位产出的创新使用强度,其所有元素构成的向量记作 $PINT$ 。至此,实现数据与模型的完美衔接。

3.模型实践:链式创新溢出效应的评估框架

前文从理论演绎和数据同构两个维度论证了,在基础的投入产出模型中嵌入创新溢出占用模块是搭建链式创新溢出效应评估框架的科学选择。具体评估框架的搭建过程如下:

(1)为论证最终需求驱动的链式创新溢出所产生的累积放大效应,从技术(专利数)溢出和收益(增加值)溢出两个角度,搭建创新直接溢出和链式创新溢出的评估框架。从专利数代表的技术溢出看, j 部门最终需求引致的 i 部门创新直接溢出可以表示为 $ppa_{ij}=pa_{ij}(d_j+e_j-m_j)=pio_{ij}pint_j(d_j+e_j-m_j)$,引入包含间接产业关联的链式创新溢出可以表示为 $ppl_{ij}=pl_{ij}(d_j+e_j-m_j)=\sum_k pa_{ik}l_{kj}(d_j+e_j-m_j)=\sum_k pio_{ik}pint_kl_{kj}(d_j+e_j-m_j)$,其中, $y_j=d_j+e_j-m_j$ 表示以国内消费与净出口之和刻画的最终需求,其所有元素构成的向量记作 Y 。从增加值代表的收益溢出看, j 部门最终需求引致的 i 部门创新直接收益溢出表示为 $vpa_{ij}=vpa_{ij}y_j=vpio_{ij}pint_jy_j$,引入包含间接产业关联的链式创新收益溢出就可表示为 $vpl_{ij}=vpl_{ij}y_j=v_i\sum_k pio_{ik}pint_kl_{kj}y_j$ 。其中, $v_i=va_i/pm_i$ 表示特定部门 i 单位创新所产生的增加值收益,即“专利的增加值率”,其所有元素构成的向量记作 V ; pm_i 为特定行业专利生产数,其所有元素构成的向量记作 PM 。为进一步明确链式创新溢出放大效应的主要来源,本文从产业关联角度区分(直接或链式)创新的产业内($i=j$)溢出和产业间($i\neq j$)溢出。简便起见,一般均衡条件下链式创新溢出的评估框架统一可

以表示为矩阵形式。^①

(2)为探讨链式创新溢出效应变动的驱动因素,搭建链式创新溢出阶梯式结构分解分析(Hierarchical Structural Decomposition Analysis, HSDA)框架。从第一层分解看,链式创新溢出变动可以分解为:最终需求不变时创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新溢出变动(ΔPL),以及创新溢出完全占用系数不变时,最终需求变动引致的链式创新溢出变动(ΔY)。从第二层分解看,创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新溢出变动(ΔPL),可以继续分解为其他因素不变时,创新溢出的直接产业关联变动(ΔPIO)、创新强度变动($\Delta PINT$)或垂直专业化分工效应变动(ΔL)引致的链式创新溢出变动。同时,最终需求变动引致的链式创新溢出变动(ΔY),可以继续分解为其他因素不变时,最终需求结构变动(ΔYsh)或最终需求规模变动(ΔYt)引致的链式创新溢出变动。沿袭同样的思路,可以对链式创新收益溢出的驱动因素进行逐层分解。^②

四、专利行业间“生产—使用”的测度策略与数据特征

1. 数据来源及说明

本文使用的主要数据及其来源如下^③:①基于国家知识产权局网站手工搜集并整理得到的2002—2020年中国企业专利数据库;②Mann and Püttmann(2023)提供的基于美国标准产业分类体系构建的国际专利分类(International Patent Classification, IPC)的“生产行业—使用行业”概率表;③国家统计局公布的2002年、2007年、2012年、2017年、2018年和2020年中国竞争型投入产出表。其中,前两者主要用于构建本文投入产出模型中的创新溢出占用模块,后者则用于构建中国投入产出模型的主体部分。

2. 专利行业间“生产—使用”对照表的构建

(1)构建中国国民经济行业分类体系下IPC分类的“生产行业—使用行业”概率表。^④

(2)测度技术创新的行业间直接投入产出联系。其过程如下:①将中国国民经济行业分类体系下IPC分类的“生产行业—使用行业”概率表区分为IPC分类的“生产行业”概率表与IPC分类的“使用行业”概率表(见表2),并通过IPC对两者进行交叉匹配,得到“IPC—使用行业—生产行业”概率表,如表3所示。②按照IPC分类,将每一年中国企业专利数据与“IPC—使用行业—生产行业”三维关系概率表进行匹配,并将每一年中国企业专利数据中特定专利(IPC)数量,乘以特定IPC出现在特定行业的概率($tCusefrq$),得到特定专利在特定行业的总使用($tCuse$)。③将特定专利在特定行业的总使用($tCuse$),乘以特定行业中使用的特定专利来自特定行业生产的概率($tCmfgfrq$),得到特定行业中使用的特定专利来自特定行业生产的数量($tCmfg$)。至此,本文得到基于中国企业专利数据库调整的“IPC—使用行业—生产行业”流量表。在此基础上,加总得到“使用行业(PATENT)—生产行业(PM)”的专利投入流量表,并由此计算特定行业使用专利中来自任一行业的比值,即中国技术创新的行业间直接投入产出联系(PIO)。^⑤

① 链式创新溢出评估框架的矩阵表达参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 链式创新溢出效应HSDA分解的基本描述参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 数据的基本处理及部门映射说明参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

④ 构建过程参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

⑤ 中国技术创新的行业间直接投入产出联系参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

表 2 区分 IPC 分类的“生产行业”或“使用行业”概率表

区分 IPC 分类的“使用行业”概率表			区分 IPC 分类的“生产行业”概率表		
IPC	使用行业	$tCusefrq$	IPC	生产行业	$tCmfgfrq$
A01B	0111	0.0674400	A01B	0111	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A01B	1492	0	A01B	1492	0.0014340
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A01B	2419	0.0000727	A01B	2419	0.0005264
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
A01B	9290	0.0029070	A01B	9290	0

表 3 国民经济行业分类体系下“IPC—使用行业—生产行业”三维关系概率表

IPC	使用行业	$tCusefrq$	生产行业	$tCmfgfrq$	IPC	使用行业	$tCusefrq$	生产行业	$tCmfgfrq$
A01B	0111	0.06744	0111	0	A01B	2419	0.0000727	0111	0
A01B	0111	0.06744	⋮	⋮	A01B	2419	0.0000727	⋮	⋮
A01B	0111	0.06744	1492	0.0014340	A01B	2419	0.0000727	1492	0.0014340
A01B	0111	0.06744	⋮	⋮	A01B	2419	0.0000727	⋮	⋮
A01B	0111	0.06744	2419	0.0005264	A01B	2419	0.0000727	2419	0.0005264
A01B	0111	0.06744	⋮	⋮	A01B	2419	0.0000727	⋮	⋮
A01B	0111	0.06744	9290	0	A01B	2419	0.0000727	9290	0
A01B	⋮	⋮	⋮	⋮	A01B	⋮	⋮	⋮	⋮
A01B	1492	0	0111	0	A01B	9290	0.0029070	0111	0
A01B	1492	0	⋮	⋮	A01B	9290	0.0029070	⋮	⋮
A01B	1492	0	1492	0.0014340	A01B	9290	0.0029070	1492	0.0014340
A01B	1492	0	⋮	⋮	A01B	9290	0.0029070	⋮	⋮
A01B	1492	0	2419	0.0005264	A01B	9290	0.0029070	2419	0.0005264
A01B	1492	0	⋮	⋮	A01B	9290	0.0029070	⋮	⋮
A01B	1492	0	9290	0	A01B	9290	0.0029070	9290	0
A01B	⋮	⋮	⋮	⋮					

最后,手动构建和核对 2002 年国民经济行业分类与中国投入产出数据库 110 部门之间的匹配关系,将基于中国企业专利数据库得到的特定行业专利使用总数($PATENT$)、专利生产总数(PM)以及技术创新的行业间直接投入产出联系(PIO),与中国投入产出数据库进行联结,由此构成本文模型构建的数据库基础。

五、实证结果分析

1. 链式创新溢出效应的基准测度与评估结果

表 4 分别从专利和增加值两个角度展示了基准的测度结果。结果表明:①链式创新(收益)溢出始终是创新直接(收益)溢出的 2 倍以上。②2002—2020 年中国创新直接(收益)溢出与链式创新(收益)溢出均呈现快速上升趋势,年平均增长率分别高达 24.16%(8.47%)和 24.54%(8.84%)。其

中,中国创新直接溢出与链式创新溢出的年均增长率呈现顺周期特点,而中国创新收益溢出和链式创新收益溢出的年均增长始终呈现下降趋势。③中国创新直接收益溢出与链式创新收益溢出的上升趋势,在2017—2020年间逐步放缓。基于上述结果,本文可以获得以下重要信息:仅考虑产业间一次联系的创新直接(收益)溢出,将忽视链式生产网络中复杂产业关联的完全联系,从而造成对技术溢出和收益溢出的严重低估,其低估程度高达1倍以上;21世纪以来,中国的科技创新能力不断提升,且不同行业之间的创新成果存在着紧密联系,并形成行业间的多维溢出;④经济发展带来的(链式)创新溢出势必会对实际利得产生影响,但其对收益溢出的影响并不是无限制的,会随着专利增加值率的逐渐下降而趋于平稳。此外,稳健性讨论发现,专利类型和模糊行业映射的策略选择不会对基准评估结果造成值得关注的挑战。⑤

表 4 创新直接溢出与链式创新溢出:2002—2020 年

年份	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	创新直接溢出		链式创新溢出		比值	创新直接收益溢出		链式创新收益溢出		比值
	规模 (万项)	增长率 (%)	规模 (万项)	增长率 (%)		规模 (万亿元)	增长率 (%)	规模 (万亿元)	增长率 (%)	
2002	2.4211	—	5.3818	—	2.2229	2.7202	—	5.9235	—	2.1776
2007	6.1485	20.4904	13.9915	21.0562	2.2756	5.0662	13.2444	11.4413	14.0722	2.2583
2012	25.5237	32.9336	57.4618	32.6487	2.2513	7.3183	7.6329	16.6047	7.7336	2.2689
2017	40.2662	9.5467	96.8796	11.0122	2.4060	10.1896	6.8437	23.9094	7.5642	2.3464
2018	61.3535	52.3698	146.3070	51.0193	2.3847	10.7183	5.1888	24.8597	3.9747	2.3194
2020	119.0458	39.2955	279.5049	38.2172	2.3479	11.7569	4.7330	27.2078	4.6162	2.3142

注:第(1)列和第(3)列分别表示创新直接溢出或链式创新溢出的规模,第(2)列和第(4)列分别表示各时期内创新直接溢出或链式创新溢出的复合年均增长率;类似地,第(6)列和第(8)列分别表示创新直接收益溢出或链式创新收益溢出的规模,第(7)列和第(9)列分别表示各时期内创新直接收益溢出或链式创新收益溢出的复合年均增长率。第(5)列等于链式创新溢出(第(3)列)与创新直接溢出(第(1)列)的比值,第(10)列等于链式创新收益溢出(第(8)列)与创新直接收益溢出(第(6)列)的比值。

2. 链式创新溢出的驱动因素

表 5 展示了链式创新溢出变动的第一层分解结果,可以发现:①各个时期内中国链式创新溢出及产业内或产业间溢出均呈现上升趋势,其中,2017—2018 年、2018—2020 年实现了飞跃式增长,其年平均增长规模超过前面任一五年期的总变化,产业间溢出构成了中国链式创新溢出的主要来源;②最终需求对链式创新溢出变动的影响呈现明显的“顺周期”性③,符合“链式生产网络中最终

① 创新溢出的产业内或产业间分解,参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。
② 稳健性分析结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。
③ 具体表现为:2002—2007 年加入世界贸易组织初期最终需求的快速扩张,成为链式创新溢出上升的主导因素;2007—2012 年国际金融危机席卷下,中国经历了外部需求低迷带来的经济降温风险,也经历了世界经济恢复带来的外贸复苏机遇,此时最终需求仍保持平稳增长,解释了链式创新溢出约 34.61%—41.02% 的增长;2012—2017 年中国经济进入增速放缓的“新常态”时期,此时链式创新溢出的增加幅度放缓,但仍然呈现出最终需求变化主导的特征(产业内溢出除外);2017—2018 年、2018—2020 年,中国链式创新溢出呈现快速上升趋势,同时中国面临着较严格的环保督察(2017 年)、人民币升值等难题,此时最终需求对链式创新溢出的拉动作用明显下降,贡献度均不足 20%。

需求驱动下各生产阶段主动或被迫进行技术革新,从而产生创新溢出”这一基本逻辑;③创新溢出完全占用系数所刻画创新溢出与产业融合,与最终需求对链式创新溢出变动的影响彼此消长,伴随经济周期,没有持续占优的驱动因素。①

表 5 链式创新溢出变动的第一层分解

Panel A:链式创新溢出变动	2002—2007	2007—2012	2012—2017	2017—2018	2018—2020
链式创新溢出变动(万项)	8.6097	43.4703	39.4178	49.4273	133.1979
—创新溢出完全占用系数变动的贡献度(%)	26.3275	59.5390	26.1520	83.2411	87.1641
—最终需求变动的贡献度(%)	73.6725	40.4610	73.8480	16.7589	12.8359
Panel B:链式创新产业内溢出变动	2002—2007	2007—2012	2012—2017	2017—2018	2018—2020
链式创新产业内溢出变动(万项)	0.7701	3.7844	2.6882	4.2096	10.5025
—创新溢出完全占用系数变动的贡献度(%)	14.5979	65.3910	57.2027	80.4949	89.8007
—最终需求变动的贡献度(%)	85.4021	34.6090	42.7973	19.5051	10.1993
Panel C:链式创新产业间溢出变动	2002—2007	2007—2012	2012—2017	2017—2018	2018—2020
链式创新产业间溢出变动(万项)	7.8396	39.6859	36.7296	45.2178	122.6955
—创新溢出完全占用系数变动的贡献度(%)	27.4798	58.9809	23.8794	83.4968	86.9384
—最终需求变动的贡献度(%)	72.5202	41.0191	76.1206	16.5032	13.0616

结合理论和现实,可以更好地理解宏观经济波动中链式创新溢出变动的影响因素。当经济处于上行期时,消费、投资、出口等需求全面增长,企业更倾向于通过“需求学习效应”,进行横向扩张获得规模经济,并以需求倒逼跨行业的技术创新,进而促进整个生产网络中的链式创新溢出。例如,2020年后比亚迪的需求快速扩张,促进电池行业从三元锂电转向磷酸铁锂路线,理想、蔚来等新势力效仿自研电驱系统,推动供应链企业(如宁德时代、汇川技术)开放模块化合作,实现需求引致的跨行业创新溢出。当经济处于下行期时,需求不确定性和衰退加剧,企业更倾向于遵循“创造性破坏”理论,进行颠覆性创新重建竞争优势,并通过纵向分工促进跨行业技术联系,进而促进整个生产网络中的链式创新溢出。例如,华为在2020年芯片断供冲击下,推出鸿蒙 OS(HarmonyOS),完成操作系统突破,鸿蒙开源吸引了美的、格力接入智能家居协议,推动 WPS、高德等软件适配,实现基于垂直专业化引致的跨行业创新溢出。

表6展示了链式创新溢出变动的第二层分解结果。其中,创新溢出与产业关联融合紧密程度(以创新溢出完全占用系数刻画)对链式创新溢出变动的影响,如表6的Panel A、C、E所示。结果显示:①创新溢出与产业关联融合的影响主要被需求行业自身的创新使用强度所驱动,这意味着创新投入密集型行业才更可能通过行业间创新联系激发其他行业创新;②创新溢出的直接产业关联的贡献较弱;③2007年之后,垂直专业化分工的驱动作用持续为负,这很可能是由于国内生产活动中劳动收入份额提高所致。上述发现表明,创新溢出的直接产业关联以及(国内)垂直专业化分工固然是实现链式创新溢出及其乘数效应的基础,但并不是关键的影响因素,其作用在于通过行业间创

① 具体表现为:最终需求变动占主导时,创新溢出完全占用系数变动的贡献退居其次;最终需求变动处于弱势时(2007—2012年、2017—2018年、2018—2020年),创新溢出与产业关联融合更紧密,创新溢出完全占用系数变动对链式创新溢出变动的促进作用更大,这在中美贸易摩擦后更为明显。

新和生产联系,激发了需求行业自身创新使用强度带来的创新溢出效应。例如,华为作为全球领先的通信设备与智能终端制造商,其5G研发的技术溢出已显著地体现在制造业、医疗和教育等需求行业,这些行业依赖5G的低时延、高带宽和VR等性能,加大了自主研发和创新使用强度。因此,即使5G技术与制造业、医疗和教育等行业的技术或生产之间的联系轻微减弱,需求行业创新使用强度的提升仍能通过跨行业技术重组持续放大链式创新溢出效应。

表 6 链式创新溢出变动的第二层分解

Panel A: 创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新溢出变动	2002— 2007	2007— 2012	2012— 2017	2017— 2018	2018— 2020
创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新溢出变动(万项)	2.2667	25.8818	10.3085	41.1439	116.1007
—创新溢出的直接产业关联变动的贡献度(%)	9.9508	8.3433	0.2410	0.9437	1.2742
—创新强度变动的贡献度(%)	65.6701	92.9763	128.6620	105.6313	99.4214
—垂直专业化分工变动的贡献度(%)	24.3791	-1.3196	-28.9030	-6.5750	-0.6957
Panel B: 最终需求变动引致的链式创新溢出变动	2002— 2007	2007— 2012	2012— 2017	2017— 2018	2018— 2020
最终需求变动引致的链式创新溢出变动(万项)	6.3430	17.5885	29.1093	8.2835	17.0972
—最终需求结构变动的贡献度(%)	19.0433	17.2121	-11.2721	-4.1615	-7.3854
—最终需求规模变动的贡献度(%)	80.9567	82.7879	111.2721	104.1615	107.3854
Panel C: 创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新产业内溢出变动	2002— 2007	2007— 2012	2012— 2017	2017— 2018	2018— 2020
创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新产业内溢出变动(万项)	0.1124	2.4747	1.5377	3.3885	9.4313
—创新溢出的直接产业关联变动的贡献度(%)	-1.8333	1.4268	1.6452	-3.2434	2.5765
—创新强度变动的贡献度(%)	74.9974	92.5160	102.5859	104.7776	97.5752
—垂直专业化分工变动的贡献度(%)	26.8359	6.0572	-4.2311	-1.5342	-0.1517
Panel D: 最终需求变动引致的链式创新产业内溢出变动	2002— 2007	2007— 2012	2012— 2017	2017— 2018	2018— 2020
最终需求变动引致的链式创新产业内溢出变动(万项)	0.6577	1.3097	1.1505	0.8211	1.0712
—最终需求结构变动的贡献度(%)	32.7274	8.8730	-121.3211	14.1712	-31.3580
—最终需求规模变动的贡献度(%)	67.2726	91.1270	221.3211	85.8288	131.3580
Panel E: 创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新产业间溢出变动	2002— 2007年	2007— 2012年	2012— 2017年	2017— 2018年	2018— 2020年
创新溢出完全占用系数变动引致的链式创新产业间溢出变动(万项)	2.1543	23.4071	8.7708	37.7554	106.6695
—创新溢出的直接产业关联变动的贡献度(%)	10.5658	9.0745	-0.0052	1.3194	1.1591
—创新强度变动的贡献度(%)	65.1834	93.0250	133.2337	105.7080	99.5847
—垂直专业化分工变动的贡献度(%)	24.2509	-2.0995	-33.2285	-7.0274	-0.7438
Panel F: 最终需求变动引致的链式创新产业间溢出变动	2002— 2007	2007— 2012	2012— 2017	2017— 2018	2018— 2020
最终需求变动引致的链式创新产业间溢出变动(万项)	5.6853	16.2788	27.9588	7.4624	16.0260
—最终需求结构变动的贡献度(%)	17.4602	17.8830	-6.7437	-6.1787	-5.7831
—最终需求规模变动的贡献度(%)	82.5398	82.1170	106.7437	106.1787	105.7831

此外,最终需求变动对链式创新溢出变动的影响,如表6的Panel B、D、F所示。最终需求结构变动相当于标准化后的最终需求变动,其在2012—2020年之后主要表现为:引致链式创新溢出的关键部门在经济体中的占比下降(如建筑业),从而对最终需求变动引致的链式创新溢出上升呈现微弱的负向影响。但由于最终需求规模始终呈现扩张态势,规模在最终需求引致的影响中始终是占优的驱动因素。现实中,阿里、华为的云计算技术就很好地反映了这一点,云计算最初主要服务于互联网企业,但伴随技术的完善、扩散以及需求的转移,原本高度需求的互联网企业占比开始下降,而来自原本低需求强度的制造业、医疗、能源等行业的新兴需求爆发。因此,在需求结构发生转移但需求规模占优时,最终需求驱动的链式创新溢出仍呈现扩张趋势。

在引入专利增加值率后,本文发现链式创新收益溢出及其驱动因素分解均发生了一些值得关注的变化^①:一是由于技术迭代、竞争加剧等因素,特定行业专利的增加值率将快速下降,2017—2018年、2018—2020年中国链式创新收益溢出的上升幅度明显放缓,通信设备制造业就是发生上述现象的典型行业。例如,如4G和5G的全面推进和应用,使得拥有3G网络全部核心技术专利的高通失去优势,其专利许可费逐年递减;全球5G标准必要专利持有者数量的上升及其带来的竞争加剧,导致单台设备的专利费呈现下降趋势。二是以创新溢出完全占用系数所刻画创新溢出与产业融合的整体影响和变化趋势变化不大,但创新溢出的直接产业关联基本呈现微弱的负贡献,这很可能是由于行业间直接创新联系变弱的部门集中于专利增加值收益率较高的部门。例如,华为5G通信标准与芯片设计的技术闭环,导致其与外部行业间的直接创新联系变弱,但华为极具稀缺性的专利组合仍使其相关研发获得高增加值回报。三是2017年之后,链式创新产业内和产业间收益溢出变动中,最终需求的贡献均为负,而这主要来自最终需求结构的调整,表明创新强度更高行业在最终需求中的比例下降,或能够引致更高专利增加值率行业创新溢出的行业在最终需求中的比例下降。例如,受全球需求疲软和国产替代受阻等因素,2023年中芯国际(SMIC)为代表的半导体行业在最终需求中的比例出现下降,同时其下游的智能电子设备面临着市场饱和压力,从而导致最终需求对链式创新产业内和产业间收益溢出的贡献为负。

六、进一步分析:链式创新溢出的关键产业路径

本部分尝试基于“需求—供给”的产业链角度,识别链式创新溢出的关键产业路径特征,^②为前文的发现提供直观的解释。具体而言,一方面,本文区分和识别了链式创新产业内溢出的关键产业分布;另一方面,本文抓取了链式创新产业间溢出的关键产业路径特征。所得结论不仅可以明确更可能通过最终需求激发自身的技术创新及收益提升的行业,还能够发现更可能通过最终需求激发其他行业的技术创新并带来收益溢出的行业,完整厘清链式创新溢出效应的关键产业路径。

从技术溢出看^③,自身最终需求激发产业内溢出的关键部门主要集中在其他通用设备制造业(59)、其他专用设备制造业(61)、汽车及其零部件配件制造业(63)、其他电气机械及器材制造业(68)、通信设备制造业(69)、电子计算机制造业(70)等,这表明设备、电子、汽车等中高技术制造业的最终需求将通过投入产出关联,不断改进自身的技术方法,从而实现技术创新的自我迭代及正向溢出。从收益溢出

① 链式创新收益溢出的HSDA分解结果参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

② 链式创新溢出关键路径的识别过程参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

③ 链式创新产业内(收益)溢出的关键产业分布参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

看,自身最终需求激发产业内收益溢出的关键部门主要集中在其他通用设备制造业(59)、其他专用设备制造业(61)、汽车及其零部件配件制造业(63)、通信设备制造业(69)、电子计算机制造业(70)、建筑业(81)等,这表明上述部门的最终需求通过投入产出关联,不仅实现了技术创新的自我迭代,还产生了明显的增加值溢出。其中,其他电气机械及器材制造业(68)最终需求对自身具有明显的技术溢出,收益溢出则并不突出;建筑业(81)最终需求对自身的技术溢出并不突出,但收益溢出则十分明显,这可能与中国城市化快速发展进程中建筑业蓬勃发展及其伴随的技术收益率更高有关。

如图3所示,链式创新产业间溢出的关键路径主要表现为建筑业(81)、卫生事业(105)、其他专用设备制造业(61)、汽车及其零部件配件制造业(63)、通信设备制造业(69)、其他通信设备制造业(59)等部门的最终需求拉动,对其他专用设备制造业(61)、其他通用设备制造业(59)、其他电气机械及器材制造业(68)、仪器仪表制造业(74)、金属制品(56)、金属加工机械制造业(58)等部门的技术溢出。综上,可得如下重要结论:①建筑业具有产业关联度高、带动性强和辐射范围广等特点,在关键产业路径中,其最终需求能够促进超过20个行业的创新溢出。因此,保障建筑业平稳健康发展将是政府管理部门需要努力达成的目标。②(其他)通信设备制造业最终需求对产业间溢出的拉动效应提升,分别于2007年、2012年进入关键产业路径前5名之列。③设备制造业(通用设备、专用设备制造)决定了“制造升级”“智能制造”的具体水平,其技术创新能够促进超过二十个行业的最终需求(升级)。因此,在提升产业链自主可控水平、迈向“智能制造”的背景下,紧抓通用设备自主可控、把握专用设备技术变革,是中国以科技创新引领现代化体系建设、加快需求提质升级、实

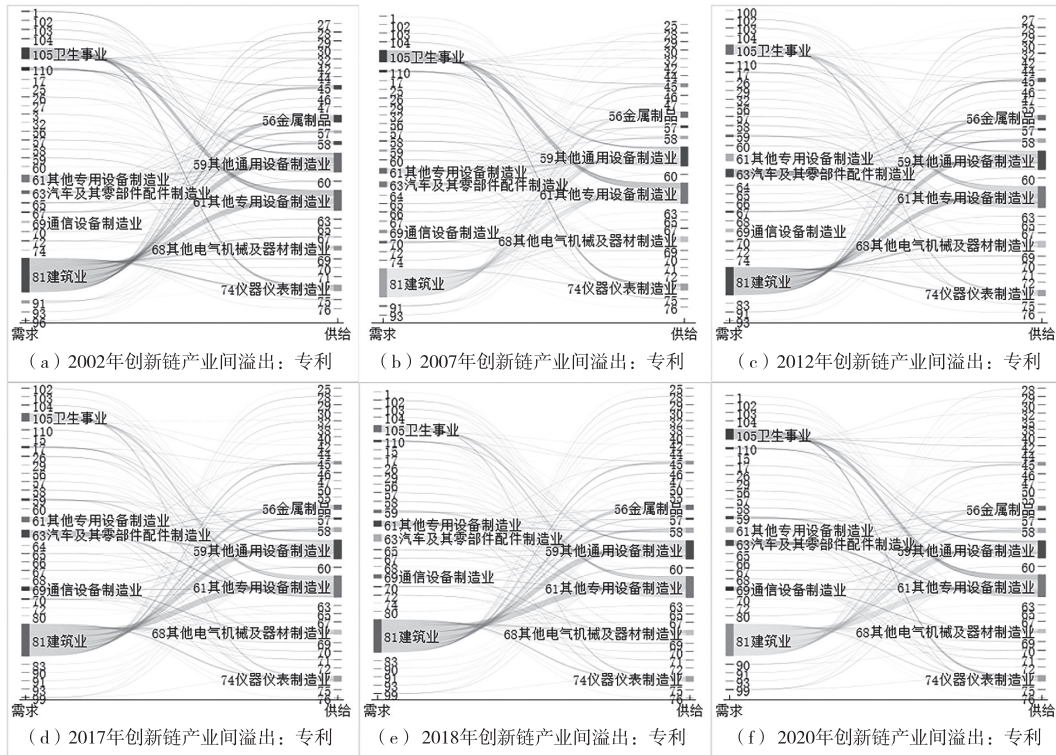


图3 链式创新产业间溢出的关键产业路径识别:专利(单位:万项)

注:本文通过设置阈值将各年份链式创新产业间溢出的关键产业路径聚焦为121条,其引致的链式创新产业间溢出的平均占比高达53.21%,表明关键产业路径对整体样本具有很强的代表性。除关键部门外,所有的部门信息均以代码代替。“需求”表示最终需求部门,“供给”表示初始供给部门。

现高质量发展的重要途径。此外,设备制造业处于产业链中游位置,其技术创新不仅对国民经济各部门的最终需求具有提质升级的作用,其技术创新还将受益于金属加工机械制造业、仪器仪表制造业、金属制品、其他电气机械及器材制造业等部门的创新溢出,这也再次反映了在链式生产网络下探讨创新溢出效应的合理性和科学性。

链式创新产业间收益溢出关键路径的需求部门分布与链式创新产业间溢出关键路径的需求部门分布基本一致,且更为集中,而链式创新产业间收益溢出关键路径的供给部门分布则更为分散,这主要是创新溢出各个供给部门的专利收益率异质性所致。^①比较发现:①在链式创新收益溢出的关键产业路径识别中,建筑业对国民经济各行业的辐射和拉动效应更为明显,其最终需求能够促进超过40个行业的增加值溢出,这可能是由于部分技术创新程度或数量并不突出的行业创新的收益率反而更高,同时进一步表明保障建筑业平稳健康发展对整个国民经济中各行业的技术创新及其增加值溢出具有重要的现实意义。②设备制造业作为技术创新供给部门,其增加值溢出不及专利溢出,而金属制品、废品废料、水泥石灰和石膏制造业作为技术创新供给部门,其增加值溢出则高于专利溢出。这指向了以下两种可能:①中国设备制造业面临着“大而不强”的困境,尤其在中高端设备制造方面还存在一定的技术瓶颈,从而导致现行的技术创新的增加值收益率不高;②金属制品、废品废料、水泥石灰和石膏制造业更大程度上属于“适配性”技术创新,而非“变革式”技术创新,其专利溢出主要是为了满足最终产品的需求,具有创新难度较低、数量较少且收益更高的特征。综上,本文建议:政府管理部门应结合不同技术创新供给部门的异质性,提供有针对性的科技创新支持,从制度层面上通过细节补充来完善国家创新体系。

七、结论与政策启示

伴随社会分工的深化,传统的创新溢出评估体系已经无法适应新兴的复杂链式生产网络,因此造成对创新价值的严重低估。为解决这一问题,本文基于链式生产网络中最终需求驱动的复杂产业网络和技术关联视角,提出并界定了“链式创新溢出”,在传统的直接溢出效应之外纳入链式传导的间接溢出效应。本文构建了一个包含创新溢出占用的新型投入产出分析框架,综合匹配各项最新研究数据集,从技术溢出和收益溢出两个维度,基于2002—2020年的长观察窗口对链式创新溢出的影响效应、驱动因素以及产业路径进行了系统评估、分析和识别。

基准评估结果表明,无论从技术溢出还是收益溢出看,链式创新溢出均是传统直接溢出的2倍以上,这表明现有评估框架对间接产业关联的遗漏至少造成了对创新溢出1倍以上的低估。因素分解发现,在经济形势向好时期,链式创新溢出规模上升主要来自规模扩张引起的最终需求变动,反之,则来自创新强度上升所造成的创新溢出完全占用系数提升。不同于链式创新溢出规模的快速提升,链式创新收益溢出规模提升的幅度相对有限,这主要是最终需求变动和创新溢出完全占用系数提升带来的促进作用,很大程度上被专利增加值率的快速下降抵消所致。创新溢出的产业路径分析结果显示:产业内溢出的关键产业路径主要集中于设备、电子、汽车等技术自我迭代更快的中高技术制造业,而产业内收益溢出的关键产业路径还包括建筑业,这主要与其引致的技术收益率更高有关;产业间溢出的关键产业路径表明,建筑业作为链式创新溢出的关键需求部门,具有产业关联度高、带动性强和辐射范围广等特点;通用设备、专用设备作为主要生产设备和技术供给部门,

^① 链式创新产业间收益溢出的关键产业路径识别参见《中国工业经济》网站(ciejournal.ajcass.com)附件。

其技术创新的收益率并不高,面临着“大而不强”的困境,而金属制品、废品废料等“适配性”技术创新的技术溢出程度相对较低,但收益溢出则相对更高。本文的研究结论为新时期中国以科技创新引领现代化产业体系建设提供了丰富且有益的政策启示:

(1)建成匹配分工深化细化特点的技术创新激励体系,鼓励推进产业间战略合作研发机制的探索。本文研究表明,在链式生产网络中,创新的潜在价值更大,其正外部性更强,也因此更容易发生“公地悲剧”。链式生产网络中,产业之间通过“最终需求—初始供给”存在紧密的创新关联,这为技术创新激励体系的设计提供了新思路 and 方向。同时,链式创新溢出的产业路径还有明显的集中趋势,主要表现为建筑业、卫生事业、其他专用设备制造业、汽车及其零部件配件制造业,以及通信设备制造业的最终需求,对其他通用设备制造业、其他专用设备制造业、金属制品等的技术溢出和收益溢出。因此,需要探索建立一种覆盖行业间关联、推进行业间合作研发机制的新型技术创新激励体系。具体建议如下:针对产业间强烈的供求关系,一方面可以从供给端着眼,重点支持对其他行业产品创新和最终需求具有关键联动作用的通用设备制造业和专用设备制造业。例如,在长三角产业链创新链融合的背景下,中国科学院、江苏省连云港市和上海市协同攻关就是一个典型范例,这次科研攻关合作建设了“高效低碳燃气轮机试验装置”,从而实现对航空、电力、船舶等产业的技术溢出并促进其自主发展。另一方面,可以从供需关系着手,利用专精特新企业支持政策,重点推进供需行业的龙头企业与专精特新中小企业之间加强产业链、供应链和创新链合作,联合开展技术攻关,解决行业关键共性难题。例如,宁德时代作为“国家先进制造业集群”试点企业就发挥了非常好的作用,其通过与国家级专精特新“小巨人”德方纳米共建“新型锂电材料联合实验室”,成功开发纳米级磷酸铁锂材料,将电池能量密度提升15%。

(2)稳需求、保供给、防范和缓解风险,以保障和完善国内生产网络。在当前贸易保护主义上升、外部需求疲软的环境下,中国必须充分发挥国内超大规模市场优势,通过畅通国内大循环、提高供给能力,为经济发展增添动力,这离不开完善且成熟的国内生产网络。国内生产网络是一个需求和供给相互影响、相互作用、相互促进,形成产业间分工和联系的过程。要保障和完善国内生产网络需从以下方面着手:①面对需求收缩压力,应特别重视稳定建筑业的需求,并加快培育新需求模式。例如,通过绿色建筑技术推广、智能建造与数字化转型结合、城市更新与乡村振兴融合、国际化市场开拓、建筑与医疗跨行业合作等路径,培育和发展建筑业新模式和新业态,实现全产业链的稳定和突破。②保证和提升供给对需求的适配性,这不仅需要以强大的生产能力确保产业链供应链的安全性,还需要以供给侧结构性改革,强化和提高供给质量。例如,为满足消费者对智能家居产品的需求升级,将人工智能等新一代信息技术融入产品设计,不断丰富和拓展新的应用场景,以新产品改造并提升传统产业。③综合以金融支持、技术突破、数字经济发展、统一大市场构建等多种手段,打出防范和缓解风险的组合拳,进一步保障和完善国内生产网络。

(3)将产业政策目标聚焦重点技术领域,实现以科技创新推动产业创新,引领中国现代化产业体系建设。本文研究表明,通用或专用设备制造等领域的技术革新将通过链式生产网络对其他产业产生强有力的技术和收益溢出,同时,市场缺陷会对这些基础生产设备部门产生极高的创新扭曲(Liu, 2019)。此外,当前通用、专用设备制造业均面临严苛的技术封锁,这不仅对中国产业链供应链安全构成了威胁,而且会辐射至整个生产网络的方方面面,影响中国经济的整体宏观运行和增长。因此,为缓解链式生产网络中技术外部性带来的市场失灵,突破外部技术封锁,扎实推进中国现代化产业体系建设的战略,政府应对技术溢出供给最为有力的基础设备部门给予研发补贴并采取相配套的创新激励产业政策倾斜。

〔参考文献〕

- 〔1〕包群,廖赛男.国内生产网络与间接出口外溢:基于客户—供应商关系的证据[J].管理世界,2023,(8):20-45.
- 〔2〕陈爱贞,陈凤兰,何诚颖.产业链关联与企业创新[J].中国工业经济,2021,(9):80-98.
- 〔3〕陈志远,于皓,张杰.中国知识溢出本地化的行政边界效应研究[J].中国工业经济,2025,(1):81-99.
- 〔4〕范合君,吴婷,何思锦.企业数字化的产业链联动效应研究[J].中国工业经济,2023,(3):115-132.
- 〔5〕胡翠,林发勤,唐宜红.基于“贸易引致学习”的出口获益研究[J].经济研究,2015,(3):172-186.
- 〔6〕黄群慧.新发展格局的理论逻辑、战略内涵与政策体系——基于经济现代化的视角[J].经济研究,2021,(4):4-23.
- 〔7〕刘维刚.生产投入结构变动与企业创新:基于生产网络内生化的分析[J].经济研究,2022,(4):50-67.
- 〔8〕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.
- 〔9〕杨金玉,彭秋萍,葛震霆.数字化转型的客户传染效应——供应商创新视角[J].中国工业经济,2022,(8):156-174.
- 〔10〕叶初升,孙薇.中国“科技创新困境”再审视:技术创新质量的新视角[J].世界经济,2023,(8):80-107.
- 〔11〕叶静怡,林佳,张鹏飞,曹思未.中国国有企业的独特作用:基于知识溢出的视角[J].经济研究,2019,(6):40-54.
- 〔12〕Acemoglu, D., and P. D. Azar. Endogenous Production Networks[J]. *Econometrica*, 2020, 88(1): 33-82.
- 〔13〕Akcigit, U., S. Baslandze, and S. Stantcheva. Taxation and the International Mobility of Inventors [J]. *American Economic Review*, 2016, 106(10): 2930-2981.
- 〔14〕Alfaro, L., D. Chor, P. Antras, and P. Conconi. Internalizing Global Value Chains: A Firm-level Analysis [J]. *Journal of Political Economy*, 2019, 127(2): 508-559.
- 〔15〕Basker, E., and T. Simcoe. Upstream, Downstream: Diffusion and Impacts of the Universal Product Code [J]. *Journal of Political Economy*, 2021, 129(4): 1252-1286.
- 〔16〕Berman, N., V. Rebeyrol, and V. Vicard. Demand Learning and Firm Dynamics: Evidence from Exporters [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2019, 101(1): 91-106.
- 〔17〕Bloom, N., M. Schankerman, and J. Van Reenen. Identifying Technology Spillovers and Product Market Rivalry [J]. *Econometrica*, 2013, 81(4): 1347-1393.
- 〔18〕Cai, J., and N. Li. Growth through Inter-Sectoral Knowledge Linkages [J]. *Review of Economic Studies*, 2019, 86(5): 1827-1866.
- 〔19〕Chang, A. C. Inter-Industry Strategic R&D and Supplier-Demander Relationships [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2013, 95(2): 491-499.
- 〔20〕Eslava, M., A. C. Fieler, and D. Y. Xu. (Indirect) Input Linkages [J]. *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 2015, 105(5): 662-666.
- 〔21〕König, M., X. D. Liu, and Y. Zenou. R&D Networks: Theory, Empirics, and Policy Implications [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2019, 101(3): 476-491.
- 〔22〕Liu, E. Industrial Policies in Production Networks [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2019, 134(4): 1883-1948.
- 〔23〕Mann, K., and L. Püttmann. Benign Effects of Automation: New Evidence from Patent Texts [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2023, 105(3): 562-579.
- 〔24〕Manso, G, B. Balsmeier, and L. Fleming. Heterogeneous Innovation Over the Business Cycle [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2023, 105(5): 1224-1236.
- 〔25〕Schmookler, J. *Invention and Economic Growth* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1966.
- 〔26〕Schumpeter, J. *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process* [M]. New York: McGraw-Hill, 1939.

Chain Production Networks, Demand-Driven, and Chain Innovation Spillovers

YU Li-li¹, TIE Ying²

(1. Institute of International Business, Shanghai University of International Business and Economics;

2. College of Business, Shanghai University of Finance and Economics)

Abstract: The potential boundaries of innovation spillovers within complex production networks have expanded significantly. This paper introduces and defines the concept of “chain innovation spillovers” to reassess inter-industry technological spillovers in such networks. It addresses the substantial underestimation of spillovers in existing frameworks and reexamines their drivers, key industries, and transmission pathways from this new perspective.

Using data from the 2002—2020 Chinese Enterprise Patent Database, the US Technology Input-Output Table, and China’s Input-Output Database, this paper constructs an innovative input-output model that incorporates the appropriation of innovation spillovers to systematically analyze chain-based innovation spillovers. The key findings are as follows. Firstly, chain spillovers are consistently more than twice as large as direct innovation spillovers, indicating that existing frameworks underestimate spillovers by over 100%. Secondly, in periods of economic expansion, the growth in chain spillovers is mainly driven by increased final demand. In contrast, during downturns, it stems from greater innovation intensity, reflected in higher utilization of innovation spillovers. Thirdly, intra-industry chain spillovers are concentrated in medium- and high-tech manufacturing and construction, while key inter-industry pathways are driven by final demand in sectors such as construction, healthcare, specialized equipment, automotive, and communications, generating spillovers to general and specialized equipment and metal products industries.

The findings suggest that China should focus on building a technology innovation incentive system aligned with the increasingly specialized division of labor. It is essential to bolster demand, ensure supply, and manage risks to strengthen and stabilize domestic production networks. Industrial policy should prioritize key technological fields to drive industrial innovation through technological advancement, thereby accelerating the modernization of China’s industrial system. The paper’s key contributions are as follows. Firstly, it proposes and constructs an evaluation framework for innovation spillovers in chain production networks, addressing the underestimation of spillover effects in existing literature and offering a foundational framework from a general equilibrium perspective. Secondly, it is the first to develop an inter-industry patent usage probability table for China, capturing technological input-output relationships across industries and overcoming key limitations of citation-based identification methods. Thirdly, it encourages multi-industry, multi-agency collaboration in innovation through strategic R&D partnerships and cross-industry cost-sharing mechanisms.

Keywords: chain production networks; chain innovation spillovers; demand-driven innovation; industry linkages; technological spillovers

JEL Classification: C67 L52 O33

[责任编辑:李鹏]