

原始创新中科学研究与技术研发迭代机制研究

张昊男¹,王皓月¹,邢蕊¹,朱方伟^{1,2},高艳虹¹

(1. 大连理工大学经济管理学院,辽宁大连 116023;2. 中南财经政法大学,湖北武汉 430073)

摘要:原始创新中科学研究和技术研发作为关键组成和始点,其二者的正向反馈是保证创新可持续性的重要机制。尽管已有研究从知识流动角度证明了二者间的互通性,但缺乏关于其双向演进的实证检验。基于此,本研究聚焦新能源汽车产业,通过动态结构方程模型对42家企业2015-2024年10年间的论文和专利数据展开分析,以挖掘正反馈效应。结果显示:企业科学研究和技术研发互为因果且形成正反馈闭环;科学研究质量和技术研发广度在双向演进中发挥中介效应;合作强度(科研、技术)交叉调节双向迭代路径,证实了产学研合作在科研和技术转移间的知识补充效应。本研究证实了原始创新体系中科学研究与技术研发间持续互动和双向涌现的核心机制,为原始创新可持续性发展提供新的理论视角。

关键词:原始创新;科学研究;技术研发;产学研合作;新能源汽车

中图分类号:F273.1;F272.3

文献标识码:A

新一轮科技革命和产业变革深入演进使得国际科技竞争转向原始创新范畴^[1]。原始创新由重大科学发现及原理性技术创新主导,具有首创性、突破性和带动性,科学研究和技术研发作为其重要组成^[2]。乔尔·莫基尔指出,科学原理和实用技术发展的知识互通构筑持续创新^[3]。科学研究的新理念引领技术生产,技术研发中的关键卡点通过科学课题攻关,是原始创新推动产业升级并催生新产业的关键路径^[4]。新能源汽车产业2014-2024年从吸收引进到构建自主创新生态与研发体系^[5],其高速发展不仅依赖固态电池、永磁同步电机及智能座舱等核心技术突破,也归功于材料科学、电化学及人工智能等多领域科研力量协同推进。因此,探究原始创新体系下科学研究与技术研发的正反馈机制,对于实现可持续性创新和建设新质生产力具有重要意义。

强化原始创新下科学研究与技术研发的融合有利于实现基础、应用研究融合并缩短研发周期。研究表明,二者持续迭代正在推动我国科技创新体系从以技术布局向以产业布局演进;其正反馈形成的创新可持续性赋能原始创新到新型产业建设^[4,6]。此过程中,一科学发现是作为关键“触发

器”唤醒新技术发明或革新,实现关键核心技术突破^[7];另一方面复杂技术系统依赖高维、跨域及前沿的科学理论,会作为“孵化器”催生、检验和发展更多的科学研究^[8]。以新能源汽车中的一体化压铸技术为例,其源于2000年代初的机械材料中重大科学发现,直至2019年经由特斯拉与高校合作成功应用于Model Y生产。产业化过程中衍生的模具腐蚀与合金迁移等技术瓶颈,随后转化为新一轮科研攻关的重点课题。这一案例为探寻科学研究和技术样啊衔接及实现创新持续性提供了典型实证。

科学研究和技术研发的融合受产学研影响,随着协同创新组织模式发展,原始创新转向优势互补、研发分工的态势^[9,10],然而其格局对于如何加速单体企业内科学研究和技术研发双向流动的边界效应尚未揭示。现有研究多侧重于理论阐述,对反馈机制的连续性挖掘不足,转化机制的构建与实证检验仍存缺口^[11]。具体而言:一是缺乏对二者双向迭代的实证验证;二是基于知识视角的命题性与指令性知识交互机制尚不清晰^[12];三是合作强度对二者融合的调节效应有待检验。

为解析科学研究与技术研发的迭代机制,本研究选取42家新能源汽车企业在2015-2024年间的

收稿日期:2025-06-23;修回日期:2025-12-05

基金项目:国家社会科学基金一般项目(21BGL056)

作者简介:张昊男(2000-),男,博士研究生。王皓月(2000-),女,博士研究生。邢蕊(1983-),女,副教授,博士,通讯作者,E-mail: xingrui@dlut.edu.cn。朱方伟(1975-),男,教授,博士。高艳虹(2001-),女,硕士研究生。

科学研究和技术创新成果数据,运用动态结构方程模型(DSEM)系统论证二者的双向演化关系,为发展原始创新源头确认和可持续性提供保障,同时有助于促进科技驱动产业发展并培育新质生产力。

1 理论构建与假设提出

1.1 科学研究与技术研究的因果关系

企业在发展原始创新过程中高度依赖科学研究和技术研发,二者的反馈闭环有利于在夯实产业根技术的同时保证产业创新的连续性^[2]。从组成要素来看,科学研究包含基础研究、应用研究和工程试验,从事从新知识到原型研究的前段技术市场;技术研发实现工程技术、产品或工艺开发,将科学理论转为原型,为新业态发展奠定基础^[13]。既有研究从不同视角强调了科学研究与技术研发迭代的重要性,在原始创新体系下二者均可作为源头且互相依赖。首先,从研发进程来看,二者迭代打破了科学概念提出与工程试验的条线制束缚,缩短了研发周期,使得创新过程敏捷化、目标化及持续化^[14]。第二,从创新供需角度分析,科学研究和技术研发的闭环催生颠覆性洞见,科学研究形成的理论引领技术研发,技术研发中暴露的异常现象反馈形成了新的科学研究问题,促进技术前端市场与技术后端市场相结合^[11]。第三,从创新所需知识流动角度分析,科学研究形成的命题性知识和技术研发产生的指令性知识交互形成创新的“引擎循环”^①。命题性知识形成指令性知识的规范,又在指令性发展的过程中抽象而成^[15]。由此可见,科学研究与技术研发二者之间应存在双向正反馈,在“科学引领—技术创新—缺口发现—科研补齐”的迭代范式下相互演化下保证原始创新源头和可持续性,提出假设:

H1:企业科学研究强度与技术研发强度之间具有双向因果关系。

1.2 科学研究与技术研发的正反馈效应

企业的科学研究和技术研发间的互相迭代涌现是一个动态过程,科学研究中提出的新概念经充分理论论证、中试验证后才转向技术研发应用,因此技术研发产生滞后性^[16]。以新能源汽车固态电池为例,从科学概念提出到概念验证、中试验证及安全验证后才转向工程技术攻关开发。从科学研究到技术

研发的路径从科学概念提出,到概念验证、开发、生产制造的系统性创新活动,为技术研发提供了理论性依据和规范^[17]。已有研究发现,企业科学研究与技术研发的知识关联性对企业探索性创新具有促进作用,企业在专利中引用其已发表的科学出版物的比例越高,企业就越有可能产生更多的专利,企业的技术研发也会受益于对早期产生的科学知识的利用^[18]。科学研究能够通过知识溢出效应影响技术研发,科学与技术之间的知识关联对于企业提高创新水平具有重要作用^[19]。因此,企业的科学研究强度越高即科研成果产出规模越高,越为后续的技术研发奠定科学理念基础,提升技术研发强度。综上所述,本研究认为企业科学研究促进技术研发且具有滞后性,提出如下假设:

H2a:企业在 t_n 年科学研究强度与 t_{n+1} 年技术研发强度正相关。

反观技术研发过程中凝练成新的研究问题和科技攻关需求,反作用于推动科学研究探索。从研发目标来看,企业技术研发中形成了科学研究的靶向性,科学研究的落脚点应面向生产和经济发展,技术研发中形成的有序范畴科学攻关目标对于科学研究提升具有重要意义^[20]。从研发过程来看,技术研发生成原型的过程中往往伴随各种设计、工艺等难题,其中不乏跨域知识,当现存科学研究无法解决时形成研究空白,需要开展科学重大课题攻关予以解决^[21]。从研发结果看,通过技术研发实现原型开发除通过增大技术产出规模塑造壁垒外,还需对过程中产生的数据、知识和流程进行联合系统梳理提炼科学构念用于后续迭代,形成工程技术攻关开发与概念探索的有效闭环^[22]。例如,新能源车企在固态电池研发中平衡能量密度和安全性,定向催生了电解质界面成膜机理、锂枝晶生长抑制策略等科学研究问题。综上所述,企业技术研发强度越高,凝练科学研究问题的需求和可能性也越高,使得科学研究强度随后随之提升。提出假设如下:

H2b:企业在 t_n 年企业技术研发强度与 t_{n+1} 年科学研究强度正相关。

1.3 科学研究质量与技术研发广度的中介作用

企业科学研究质量表示科学研究在知识前沿性、方法论严谨性及战略关联性上所呈现的综合水平,覆盖专项科研攻关和跨域专项,衡量了在产业中

① 正如 Mokyr 所提出的“epistemic base + technical base”的互动机制。技术革命并非单点爆发,而是知识体系的长期协同积累。

的理论贡献力^[23]。通常来说,组织科学研究强度高,其所积累的命题性知识越丰富,也越容易凝练形成高水平、突破式的理论进展,科学研究质量也随其提升。科学研究质量代表了理论的权威性,在技术研发过程中提供了规范性、层次性和系统性指引^[24]。已有理论证实,组织通过科学研究形成的权威性理论体系对于实现突破式和渐进式技术创新具有积极影响^[25]。除此,科学研究质量较高的企业是由科学研究向技术研发溢出中敏捷筛选出核心信息并减少溢出性障碍。从知识融通角度来看,科学研究形成命题性知识逐渐积累、凝聚以提升质量,形成的科学原理经工程、产品及工艺研发需求会结合生产需求演化为指令性知识,以提升技术研发强度^[3,4]。科学研究质量决定了命题性知识精度,最终促进技术研发。综上,提出研究假设:

H3:企业科学研究质量在 t_n 年科学研究强度与 t_{n+1} 年技术研发强度中起正向中介作用。

H3a:企业科学研究强度与企业科学研究质量正相关。

H3b:企业 t_n 年的科学研究质量与 t_{n+1} 年的技术研发强度正相关。

企业技术研发广度表征固定周期内企业技术资源与研发活动所覆盖的、互异的技术领域或知识基的范畴与多样性程度^[26]。从产业链与创新链协同角度看,技术研发强度高的企业因核心技术及自主技术体系的建立形成重要产业地位,为了实现降本增效,企业逐步上下游拓展技术研发,技术研发广度得到强化^[27]。一个典型的例子如新能源车企和大型零部件厂商都在分头探索模块化域控技术^②。从知识流动角度分析,技术研发形成指令性知识;技术研发广度提升,知识系统的体系、边界都将得到延展^[28]。指令性知识从实践中形成,抽象形成新的科学问题,其边界越广,所提出的跨域科学问题需求、前沿性就越高,反馈促进科学研究。综上所述,本研究提出假设:

H4:企业技术研发广度在 t_n 年技术研发强度与 t_{n+1} 年科学研究强度中起正向中介作用。

H4a:企业技术研发强度与企业技术研发广度正相关。

H4b:企业 t_n 年的技术研发广度与 t_{n+1} 年的科

学研究强度正相关。

1.4 合作强度的边界效应

在原始创新体系中,产学研合作作为重要保障战略,企业通过与其他企业、高校、科研院所开展协同研发活动,基于知识、资源及市场的有效互动完成科研概念提炼、关键技术突破及原型研发等系列活动^[29]。合作强度表示企业在产学研中与多元主体间知识流动和资源互动程度,分为科研合作强度和技术合作强度。关于产学研协同创新的研究充分证实,多主体在科学研究与技术研发强度存在差异且彼此依赖形成互动关系。同时,知识具有溢出性和流动性,通过互补性合作能够实现双边知识强化^[30]。

由此可见,当企业科学研究水平较高时,采取技术研发合作能够有效缩短科学概念到原型开发的周期并降低研发风险。此阶段企业掌握核心知识基,需要互补性的工程、工艺及技术资源和科学概念对接^[31]。同时在技术合作中的外部知识吸收与企业的命题性知识融合,转为指令性知识,企业技术研发强度得以提升。

而当企业技术研发水平较高时,企业重视应用能力的培养,但同时桎梏于技术研发广度带来的知识碎片化问题,根技术领域缺乏科学理念支撑。同时,技术研发广度越高,带给企业的跨域性、系统性科学原理证明及课题攻关需求就越多。此时提升产学研科研合作强度,有利于调度外界资源实现关键科研问题的联合解决并吸纳外界知识和资源以提升企业自身的科学研究强度^[32]。综合上述假设,提出研究模型如图1所示。

H5:企业技术合作强度正向调节科学研究质量在企业 t_n 年科学研究强度到 t_{n+1} 年技术研发强度的中介作用。

H6:企业科研合作强度正向调节技术研发广度在企业 t_n 年技术研发强度到 t_{n+1} 年科学研究强度的中介作用。

2 样本选择与研究方法

2.1 样本选择

本研究鉴于以下三点选择新能源汽车领域中的

② 模块化域控技术是一种基于功能域重构汽车电子电气架构的集成化方案,将执行器(ECU)实现级联统一控制。当前整车企业(如特斯拉,向上游探索)和部件供应商(如博世,沿下游探索)域控技术。

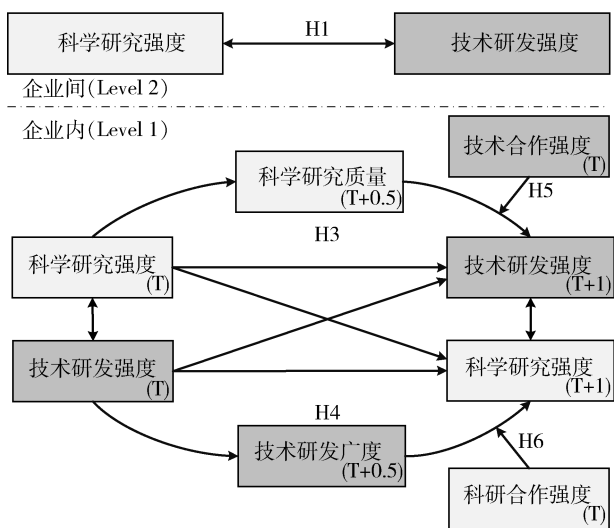


图 1 研究模型

Figure 1 Research model

整车制造企业和供应商企业作为样本:(1)近十年来新能源汽车领域得到快速发展,历经基础研究、应用研究、原型产品研制核心产品迭代。2025 年 10 月发布的《节能与新能源汽车技术路线图 3.0》中明确指出,中国将成为全球汽车科技原始创新策源地。整车原型设计为核心,其中科学研究和技术研发相互赋能,具有主题适配性。(2)行业覆盖传统制造与高新技术产业特性,创新态势良好且复杂生产系统依赖产学研合作,具有行业代表性。(3)新能源汽车行业中的企业具有区域集中性,整车制造企业和配套的供应商的数据获取具有易得性。

本研究通过中国汽车工业协会网站和 Xauto 网站等按照进行整车制造企业和供应商样本选择,综合考量行业适配性、代表性与数据易得性,遵循规模、存续、上市等标准筛选确定,初步选定 48 家企业样本。整车制造企业包括比亚迪、吉利、北京汽车等 28 家,后根据新能源汽车行业销售额补充新能源汽车供应商企业如宁德时代、潍柴集团等 20 家企业。剔除 2015 年后成立的企业及现有清产、并购整合的企业 4 家,未上市的企业 2 家,最终保留 42 个样本。对 2015 - 2024 年共 10 年有关论文和专利的数据进行收集,包含 115,293 个专利和 14,395 篇论文,用以表示科学研究和技术创新。参考 Loehlin^[33]对结构方程模型样本数量的要求,本研究中样本年对

(42 * 10 = 420) 对于结构方程模型 (DSEM) 来说满足数量要求。

2.2 变量测量

本研究聚焦企业与高校及科研院所之间的合作,针对企业科学研究和技术研发强度、科学研究质量、技术研发广度及合作强度(科研、技术)进行测定。为排除干扰,选取企业研发投入作为控制变量,经年报中提取并标准化后纳入。

企业科学研究相关变量包括科学研究强度、质量和合作强度,通过知网、WOS、Google Scholar 和 Scopus 查询企业论文后计算得到:(1)科学研究强度,表示企业在科研发展过程中的积累。基于研究常用方法^[34],本研究通过测定 $RA(i, j)$, 表示企业 i 在第 j 年发表的论文总数来表示;(2)科学研究质量,通过企业在科研科学研究过程中的成果质量来表示。参考以往研究统计影响因子表示科研质量^[9],本研究通过计算纳入 EI、SCI、JCR 分区中的文献总数衡量企业的科学研究质量,计为 $RAD(i, j)$;(3)科研合作强度,表示在科研上企业与高校和科研院所的合作程度。参考前人的研究^[35],计算 $RAP(i, j)$ 表示企业 i 在第 j 年共发论文的高校及科研院所数量。

企业技术研发相关变量包括企业技术研发强度、深度与合作强度,主要由专利衡量^[9]。整合 In-copat、德温特、知网等专利信息平台查询专利,对企业发表专利情况、合作情况和专利分布情况进行计算。结合 IPC 分类号,完成专利信息收集后,基于《中国汽车行业新能源转型战略白皮书》筛选保留相关技术成果^③。确定样本后,对技术研发相关变量展开测量计算:(1)技术研发强度:申请发明专利数量常用于评估企业的技术研发^[9],基于此计算 $RA(i, j)$, 表示企业 i 在第 j 年获得授权的专利数量,衡量技术研发强度;(2)技术研发广度:基于计算 Blau 异质性表示企业技术分布的结论^[36],本研究用以恒定技术研发广度,具体计算式为, m 表示企业 i 在第 j 年专利所覆盖的学科数, $RA(i, j, k)$ 表示企业 i 在第 j 年发表 k 学科的专利数;(3)技术合作强度:计算 $TAP(i, j)$ 表示企业 i 在第 j 年共发专利的高校及科研院所数量。

③ 《中国汽车行业新能源转型战略白皮书》第四部分——技术体系布局中指出,新能源汽车的知识产权体系主要覆盖 IPC 分类中的 B 部(运输作业;包括如 B60L 电动车辆动力装置)、H 部(电学;包括如 H01M 用于直接转变化学能为电能的方法或装置)、G 部(物理测量;包括如 G01M 机器或结构部件的静或动平衡的测试)和 F 部(机械工程;照明;加热;武器;爆破等)等发明专利。

2.3 研究方法

本研究通过采用 DSEM 处理时序数据,用来分析企业科学研究与技术研发间的双向迭代关系。DSEM 通过使用潜在的企业间均值中心化来超越经典的交叉标记面板模型优化数据集,将多层次数据分解为时不变的企业间(“特质样”)部分和时变的企业内(“状态样”)部分^[37]。相比于多水平模型,DSEM 强调变量在时间尺度上的动态变化过程并且将各变量的变异均分解为个体变异和时间变异进行解释^[38]。

本研究中,科学研究和技术研发相互演进且滞后性,基于 DSEM 分析高度适配。企业行为易随时间产生波动性,计算中控制残差方差效应值并纳入时间作为协变量构建回归模型,计算自回归效应和时间趋势效应,排除其干扰,确保变量间演化效度计算的准确性。本研究通过 R 4.4.3 和 Mplus 8.5 完成统计分析。

3 实证结果分析

3.1 主效应检验

首先,计算组内各变量的组内相关系数值 (ICC)。结果显示,选定变量的 ICC 值均高于 0.25,

证实各变量在企业间水平 (Level 2) 存在差异,应聚合到高阶展开分析。将样本中历年测量并标准化后的企业内变量聚合到企业间水平,并计算变量间相关性,结果如表 1 所示,覆盖计算变量的方差提取均值 (AVE) 及变量间的异质特征—单特征比率值 (HTMT) 和变量间相关系数。结果显示,研究模型中选定变量间均显著正相关,初步验证假设条件。除此,模型中变量的 AVE 均大于与其他变量的相关系数且各变量间 HTMT 值均小于 0.85,证实模型中变量具有良好的区分效度,证实了测度有效性。验证性因子分析结果显示,六因子模型拟合度显著优于其余因子模型,具有良好的结构效度 ($\chi^2 = 429.38$, $\chi^2/\text{df} = 1.875$, CFI = 0.962, TLI = 0.971, RMSEA = 0.043)。

效度检验通过后研究构建 DSEM,选择企业研发投入作为控制变量。在企业间水平上 (Level 2) 企业科学研究强度和技术研发强度之间的相关性和企业内水平上 (Level 1) 二者的的时序演进关系进行探究。假设 1 提出企业间科学研究强度与技术研发强度正相关。研究发现与假设一致,企业间水平上企业科学研究强度与技术研发强度之间的标准化效应值为 0.725 (95% CI = [0.206,0.993], $p < 0.001$)。综上所述,H1 得到证实。

表 1 变量间相关系数计算结果
Table 1 Calculation results of correlation coefficients between variables

研究变量	1	2	3	4	5	6	7
1 企业研发投入	0.934	0.552	0.571	0.384	0.351	0.336	0.401
2 技术研发强度	0.753***	0.942	0.524	0.497	0.338	0.602	0.339
3 科学研究强度	0.684***	0.324***	0.953	0.515	0.402	0.357	0.504
4 技术合作强度	0.251***	0.537***	0.438***	0.926	0.611	0.527	0.418
5 科研合作强度	0.206***	0.201***	0.457***	0.462***	0.923	0.498	0.704
6 技术研发广度	0.455***	0.336***	0.388***	0.561***	0.242***	0.937	0.282
7 科学研究质量	0.270***	0.304***	0.603***	0.206***	0.552***	0.113**	0.928

注释:N = 46,day = 10(纵向截面),* $p < 0.1$,** $p < 0.01$,*** $p < 0.001$ 。对角线粗体表示 AVE;左下角表示企业间水平上变量之间的相关性,双尾检验,;右上角斜体数值表示 HTMT,用于进行区分效度检验。

企业内水平上检验变量在时间尺度上的动态变化过程,分别对企业科学研究/技术研发强度(t_0)到技术研发/科学研究强度(t_1)的自回归效应和二者交叉滞后效应进行计算。首先,对于控制变量企业研发投入进行控制,计算企业研发投入(t_0)与科学研究强度(t_1)和技术研发强度(t_1)的效应值,其结

果分别为 0.034 (95% CI = [-0.056,0.174], $p > 0.05$) 和 0.104 (95% CI = [0.018,0.217], $p < 0.01$)。结果显示,企业研发投入在企业内水平上与下一年的技术研发强度显著正相关而与科学研究强度相关性不显著。合理解释为企业的研发投入多直接作用于工程技术攻关而非科学概念挖掘。控制

企业研发投入后,首先计算线性时间趋势,结果显示企业科学研究强度与技术研发强度均不显著,排除时间趋势效应影响,发生随机水平间效应协变。第二,计算自回归效应,结果显示,企业科学研究强度和技术研发强度的自回归标准化效应值分别为0.893和0.834(见图2)。第三,计算交叉滞后效应值,结果显示:企业科学研究强度(t_0)与技术研发强度(t_1)正相关,标准化效应值为0.176(95% CI = [0.076, 0.313], $p < 0.001$),假设 H2a 得证,企业科学研究积累会向技术研发转移。企业技术研发强度(t_0)与科学研究强度(t_1)正相关,标准化效应值为0.137(95% CI = [0.048, 0.217], $p < 0.001$),假设 H2b 得证,企业技术研发会反作用推动科学研究活动开展。

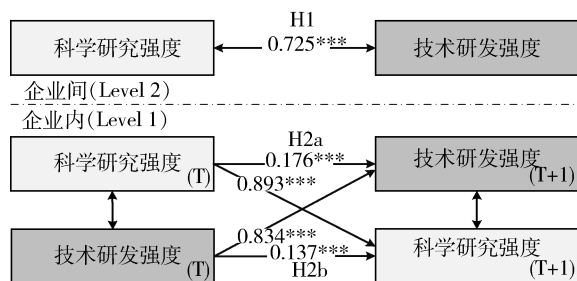


图2 DSEM 主效应结果

Figure 2 Main effect results of DSEM

3.2 中介效应检验

本研究进一步依据假设检验企业内科学研究与技术研发双向转移的中介机制,选定科学研究质量和技术研发广度分别作为中介变量。为排除整体性效应影响,本研究首先在企业间(Level 2)对“科学研究强度→科学研究质量→技术研发强度”和“技术研发强度→技术研发广度→科学研究强度”两条路径进行检验,结果显示间接效应值均不显著,分别是0.078(95% CI = [-0.014, 0.159], $p > 0.05$)和0.099(95% CI = [-0.008, 0.189], $p > 0.05$)。因此,企业间(Level 2)的科学研究质量和技术研发广度的中介效应不显著。

聚焦单体企业,在企业内(Level 1)重新检验计算两条路径的间接效应,结果如图3所示:(1)企业科学研究强度与科学研究质量显著正相关,标准化效应值为0.300(95% CI = [0.228, 0.371], $p < 0.001$),因此 H3a 得证。同时,企业科学研究质量

(t_0)对下一年的的技术研发强度(t_1)具有正向作用,标准化效应值为0.274(95% CI = [0.070, 0.647], $p < 0.001$),因此 H3b 得证。“科学研究强度(t_0)→科学研究质量($t_{0.5}$)→技术研发强度(t_1)”的标准化间接效应值为0.117(95% CI = [0.029, 0.190], $p < 0.001$),综上所述 H3 得证。(2)企业技术研发强度与技术研发广度显著正相关,标准化效应值为0.403(95% CI = [0.105, 0.781], $p < 0.001$),因此 H4a 得证。同时,企业技术研发广度(t_0)对下一年的科学研究强度(t_1)具有正向作用,标准化效应值为0.180(95% CI = [0.090, 0.247], $p < 0.001$),因此 H4b 得证。“技术研发强度(t_0)→技术研发广度($t_{0.5}$)→科学研究强度(t_1)”路径的标准化间接效应值为0.108(95% CI = [0.016, 0.163], $p < 0.01$),综上所述 H4 得证。

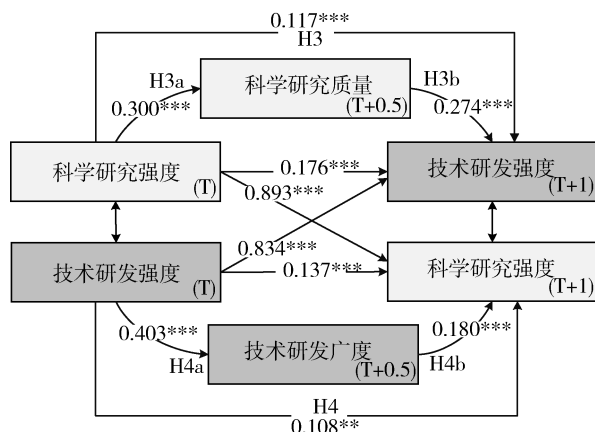


图3 DSEM 中介效应结果

Figure 3 Mediating effect results of DSEM

3.3 调节效应检验

最后引入合作强度(科研/技术)作为调节变量分别计算边界效应。由于合作强度通过由与企业合作的高校和研究院数量测得,作为一种储备资源促进知识流动,因此选择 t_0 时刻的合作强度计算其对企业“科学研究质量→技术研发强度”及“技术研发广度→科学研究强度”路径的调节作用。在加入科研合作强度和技术合作强度后,主效应仍然显著,“科学研究强度→技术研发强度”的标准化效应值为0.228(95% CI = [0.091, 0.562], $p < 0.001$);“技术研发广度→科学研究强度”效应值为0.202(95% CI = [0.102, 0.441], $p < 0.001$)。与未加入调节变量相比,科学研究与技术研发之间的双向

④ 参考 Bredehorst^[40], 这里 $t_{0.5}$ 和 t_0 都是同一时间节点,为了揭示动态转移效果,用 $t_{0.5}$ 表示。

演进效应增强。

在引入技术合作强度调节项后,企业科学研究质量与技术创新强度的效应值增大至 0.447(95% CI = [0.065,0.835], $p < 0.001$),“科学研究强度(t_0)→科学研究质量($t_{0.5}$)→技术研发强度(t_1)”路径间接效应值增大至 0.189(95% CI = [0.056,0.315], $p < 0.001$),且间接效应差异显著(effect = 0.097,95% CI = [0.029,0.141], $p = 0.004$)。由此可见,技术合作强度强化了企业内科学研究质量与技术研发强度的正相关关系,且强化了科学研究质量在科学研究强度和技术研发强度中的正向中介作用,H5 得证。

引入科研合作强度调节项后,企业技术研发广度与科学研究强度的效应值增大至 0.227(95% CI = [0.104,0.445], $p < 0.001$),“技术研发强度(t_0)→技术研发广度($t_{0.5}$)→科学研究强度(t_1)”的间接效应值增大至 0.155(95% CI = [0.057,0.223], $p < 0.001$),且间接效应差异显著(effect = 0.078,95% CI = [0.030,0.115], $p = 0.006$)。由

此可见,科研合作强度强化了企业内技术研发广度与科学研究强度的正相关关系,且强化了技术研发广度在技术研发强度和科学研究强度中的正向中介作用,H6 得证。调节效应结果如图 4 所示。至此,假设全部通过检验,效应值详细结果如表 2 所示。

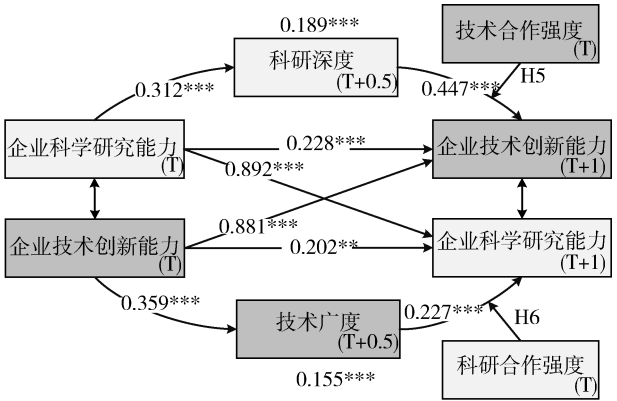


图4 合作强度 DSEM 调节效应结果
Figure 4 Moderating effect results of cooperation intensity in DSEM

表2 DSEM 效应值结果汇总
Table 2 Summary of effect size results for DSEM

关系	标准化系数结果		
	效应值	标准误差	95% 置信区间
直接效应 (Level 1)			
科学研究强度 (t_0)→技术研发强度 (t_1)	0.176	0.077	[0.076,0.313]
技术研发强度 (t_0)→科学研究强度 (t_1)	0.137	0.085	[0.048,0.217]
自回归效应 (Level 1)			
科学研究强度 (t_0)→科学研究强度 (t_1)	0.893	0.040	[0.802,0.954]
技术研发强度 (t_0)→技术研发强度 (t_1)	0.834	0.074	[0.670,0.960]
科学研究质量中介效应 (Level 1)			
科学研究强度 (t_0)→科学研究质 ($t_{0.5}$)	0.300	0.036	[0.228,0.371]
科学研究质量 ($t_{0.5}$)→技术研发强度 (t_1)	0.274	0.182	[0.070,0.647]
科学研究强度→科学研究质量→技术研发强度 (间接效应)	0.117	0.067	[0.029,0.190]
技术研发广度中介效应 (Level 1)			
技术研发强度 (t_0)→技术研发广度 ($t_{0.5}$)	0.403	0.230	[0.105,0.781]
技术研发广度 ($t_{0.5}$)→企业科学研究强度 (t_1)	0.180	0.104	[0.090,0.247]
技术研发强度→技术研发广度→科学研究强度 (间接效应)	0.108	0.085	[0.016,0.163]
技术合作强度调节效应 (Level 1)			
科学研究强度 (t_0)→科学研究质量 ($t_{0.5}$)	0.312	0.033	[0.087,0.582]
技术合作强度 (t_0) * 科学研究质量 ($t_{0.5}$)→技术研发强度 (t_1)	0.447	0.036	[0.065,0.835]
科学研究强度→科学研究质量→技术研发强度 (间接效应)	0.189	0.031	[0.056,0.315]

续表 2

关系	标准化系数结果		
	效应值	标准误差	95% 置信区间
科学研究强度→科学研究质量→技术研发强度(间接效应差异)	0.097	0.028	[0.029,0.141]
科研合作强度调节效应(Level 1)			
企业技术研发强度(t_0)→技术研发广度($t_{0.5}$)	0.359	0.048	[0.116,0.575]
科研合作强度(t_0) * 技术研发广度($t_{0.5}$)→科学研究强度(t_1)	0.227	0.064	[0.104,0.445]
技术研发强度→技术研发广度→科学研究强度(间接)	0.155	0.024	[0.057,0.223]
技术研发强度→技术研发广度→科学研究强度(间接效应差异)	0.078	0.024	[0.030,0.115]
企业间关联效应(Level 2)			
科学研究强度~技术研发强度	0.725	0.264	[0.206,0.993]
时间趋势效应(Level 1)			
时间→科学研究强度	0.008	0.016	[-0.005,0.018]
时间→技术研发强度	0.013	0.015	[-0.006,0.042]

4 结论与讨论

4.1 结果分析

本研究通过构建 DSEM 揭示了新能源汽车产业中科学研究和技术研发之间的双向迭代机制。研究提出的假设均得到证实,证明其二者作为原始创新的重要组成及始点,彼此间形成正反馈并有利于实现可持续性创新。研究结果证实:第一,企业的科学研究与技术研发之间相互演进,原始创新体系下二者相互作用实现了创新的可持续性和扩散性,在以往研究证实二者统一融合的基础上揭示了其间存在的正反馈效应。第二,科学研究质量和技术研发广度在企业科学研究和技术研发的双向演进过程中分别起到正向中介作用,从知识流动性视角揭示了其二者形成的命题性知识和指令性知识在演进中的介导作用。第三,本研究证实合作强度在科学研究和技术研发中的交叉正向调节效应,科研合作强度正向调节科学研究质量到技术创新强度的关系,技术合作强度正向调节技术研发广度到科学研究强度的关系。证实了产学研合作在单体企业中实现科学研究与技术研发演进的知识补充效应,对于促进知识流动、转移具有重要意义。

4.2 理论贡献

本研究具有三点理论贡献:首先,在原始创新体系下科学研究和技术研发作为重要组成,都可以作为原始创新的源头且二者间存在交互,本研究在此基础上证实了二者的正反馈效应,在促进原始创新

形成的基础上保证了其可持续性。第二,研究从知识流动角度揭示了二者间持续演进的机制,验证了科学研究质量和技术研发广度的中介效应,证实了其二者为代表的命题性知识和指令性知识的互相促进保证科学研究与技术研发的相互演化。第三,证实了产学研合作对于单体企业中科学研究与技术研发演进的赋能性边界作用。以往研究多关注产学研协同对于创新生态的建立效能,然而忽视其对于单体企业科学研究和技术研发演进的促进作用。本研究证实了其交叉正向调节效应,明确了外部互补性知识吸收对于企业促进科学研究和技术研发演化的作用。

4.3 实践启示

本研究基于原始创新体系验证了企业中科学研究与技术研发的正反馈效应,提供三点实践启示:首先,企业首先要重视自身科学研究与技术研发的基础性知识与技能积累。通过在公司内设置重大专项课题、提升研发投入或吸纳高技术人才的措施鼓励支持企业内部科研公关和技术研发。第二,企业要重视科技研究和技术研发中的演进,重视基础研究和应用研究并举。企业可通过自建实验室实现科研攻关并积极开展中试验证和原型开发,缩短科研概念提出到技术研发的窗口期;同时积极提炼研发中的歧义点、重难点形成科学研究问题予以转向解决。第三,企业应积极强化产学研广域合作并形成科学研究与技术研发的部署性分工。通过创新合作,吸收互补性外部知识促进科学研究和技术研发的无缝对接。

4.4 研究不足与展望

本研究重点围绕科学研究与技术研发的正反馈机制探寻动态演进效应,但仍存在四点不足,作为未来的研究重点。第一,本研究应产学研创新性选择中国企业中的新能源汽车行业中企业,但受单体产业特性限制,普适性未得到证实。后续研究重点围绕样本来源进行拓展,如查询德勤等数据库目录,比较不同产业下二者关系。第二,变量测度上以论文和专利的属性为主,虽然参考了国内外研究的主流作用,但值得强调的是科学研究和技术研发的范畴较大,在未来研究中应从系统论的视角进行考虑。第三,研究选择(科研/技术)合作强度作调节变量,但对于边界条件的讨论不够完善,后续研究中应重点关注如合作网络异质性、企业中心性、合作网络景和氛围等变量,丰富企业科学研究能力和技术创新能力之间演进转化的研究。第四,本研究及与原始创新体系中科学研究和技术研发作为重要组成且二者的正反馈促进原始创新的可持续性,但模型中原始创新的作用性不强,未来研究可重点关注二者正反馈强度对于关键核心技术突破即战略性新兴产业催生的效度检验。

参考文献:

- [1] 雷小苗. 新时代推进科技自立自强的路径研究[J]. 科学学研究, 2025, 43(2): 238-245. Lei X M. Research on the path of promoting technological independence and self strengthening in the new era [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(2): 238-245.
- [2] 朱子钦,李振东,赵晨,等. 学术创业驱动科技创新与产业创新深度融合的贯通机制研究——以智能计算领域为例[J]. 管理世界, 2025, 41(10): 167-192. Zhu Z Q, Li Z D, Zhao C, et al. Research on the linkage mechanism of academic entrepreneurship driving the deep integration of S&T innovation and industrial innovation: A case study in the field of intelligent computing [J]. Journal of Management World, 2025, 41(10): 167-192.
- [3] Mokyr J. Intellectual property rights, the industrial revolution, and the beginnings of modern economic growth [J]. American Economic Review, 2009, 99(2): 349-355.
- [4] 李柏洲,高硕. 企业合作型原始创新知识流动演化研究[J]. 科学学研究, 2019, 37(8): 1506-1516. Li B Z, Gao S. Research on evolution of knowledge flow of enterprise collaborative original innovation [J]. Studies in Science of Science, 2019, 37(8): 1506-1516.
- [5] 郭元源,秦武,吴亮,等. 产业“疾驰”何以可能? ——基于中国新能源汽车产业技术赶超的分析[J]. 科学学研究, 2025, 43(8): 1702-1714. Guo Y Y, Qin W, Wu L, et al. How is the “rapid progress” possible? —An analysis based on the technological catch-up in China’s new energy vehicle industry [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(8): 1702-1714.
- [6] Mokyr J. Technological inertia in economic history[J]. The Journal of Economic History, 1992, 52(2): 325-338.
- [7] Cardinal L B, Alessandri T M, Turner S F. Knowledge codifiability, resources, and science-based innovation [J]. Journal of Knowledge Management, 2001, 5(2): 195-204.
- [8] 田庆锋,易磊. 战略性新兴产业技术创新驱动新质生产力发展的组态研究[J]. 科研管理, 2025, 46(5): 23-34. Tian Q F, Yi L. Research on the configurations for the development of new quality productive forces driven by technological innovation in strategic emerging industries [J]. Science Research Management, 2025, 46(5): 23-34.
- [9] 朱卫杰,鲁若愚,韩武成,等. 科学驱动的技术创新绩效影响因素及演化路径[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 137-150. Zhu W J, Lu R Y, Han W C, et al. Impact factors and evolutionary pathways of scientific-driven technological innovation performance [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(1): 137-150.
- [10] 吴增源,杨航宇,王泽林,等. 创新联合体突破关键核心技术的知识增强机制——基于复杂产品系统情境[J]. 科学学研究, 2026, 44(3): 514-528. Wu Z Y, Yang H Y, Wang Z L, et al. The knowledge enhancement mechanism of innovation consortium for breaking through the key core technology in the context of complex products and systems [J]. Studies in Science of Science, 2026, 44(3): 514-528.
- [11] Ba Z, Liang Z. A novel approach to measuring science-technology linkage: From the perspective of knowledge network coupling [J]. Journal of Informetrics, 2021, 15(3): 101167.
- [12] 陈钰芬,邓怡. 基于科学/经验的创新何以驱动经济现代化? [J]. 科学学研究, 2025, 43(10): 2142-2154. Chen Y F, Deng Y. How can STI/DUI innovation drive economic modernization? [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(10): 2142-2154.
- [13] Brooks H. The relationship between science and tech-

- nology[J]. Research Policy, 1994, 23(5): 477–486.
- [14] 王美香, 陈智, 张耀伟, 等. 产业链与创新链融合闭环构建逻辑——基于万华化学的案例研究[J]. 科研管理, 2025, 46(1): 83–94. Wang M X, Chen Z, Zhang Y W, et al. Construction logic of the integrated closed-loop of industrial chain and innovation chain: A case study of Wanhua Chemical [J]. Science Research Management, 2025, 46(1): 83–94.
- [15] Gonzalez R V D, de Melo T M. The effects of organization context on knowledge exploration and exploitation [J]. Journal of Business Research, 2018, 90: 215–225.
- [16] Choi J U, Lee C Y. The differential effects of basic research on firm R&D productivity: The conditioning role of technological diversification [J]. Technovation, 2022, 118: 102559.
- [17] 李梦柯, 王芳. 产业创新的科学知识特征对中国技术追赶的影响[J]. 科研管理, 2024, 45(3): 10–19. Li M K, Wang F. Impact of scientific knowledge characteristics of industrial innovation on China's technological catch-up [J]. Science Research Management, 2024, 45(3): 10–19.
- [18] Chen X, Mao J, Ma Y, et al. The knowledge linkage between science and technology influences corporate technological innovation: Evidence from scientific publications and patents[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2024, 198: 122985.
- [19] 孟巧爽, 李乐逸, 王艺萌. 企业基础研究的知识溢出效应研究[J]. 科学学研究, 2025, 43(1): 91–102. Meng Q S, Li L Y, Wang Y M. A study on the knowledge spillover effect of enterprise basic research [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(1): 91–102.
- [20] Trunfio M, Campana S. Innovation in knowledge-based destination: Technology-driven vs. social-driven[J]. International Journal of Knowledge-Based Development, 2020, 11(2): 176–199.
- [21] 滕宇法, 卢现祥. 制造业企业技术创新与创新驱动发展困境[J]. 科研管理, 2023, 44(11): 124–133. Teng Y X, Lu X X. Technological innovation and innovation-driven development dilemma in manufacturing enterprises [J]. Science Research Management, 2023, 44(11): 124–133.
- [22] 胡海波, 毛纯兵, 陈劲, 等. 从攻关启动到市场应用: 关键核心技术替代式创新过程机制研究[J]. 南开管理评论, 2024, 27(8): 64–74. Hu H B, Mao C B, Chen J, et al. From initiation of technological breakthrough to market application: Research on the mechanism of alternative innovation process for key core technologies [J]. Nankai Business Review, 2024, 27(8): 64–74.
- [23] 吴菲菲, 李一苇, 苗红, 等. 中国重点技术领域基础研究成果转化效率评估[J]. 科学学研究, 2021, 39(12): 2160–2169. Wu F F, Li Y W, Miao H, et al. Assessment of transformation efficiency of basic research results of essential fields in China [J]. Studies in Science of Science, 2021, 39(12): 2160–2169.
- [24] Mannucci P V, Yong K. The differential impact of knowledge depth and knowledge breadth on creativity over individual careers [J]. Academy of Management Journal, 2018, 61(5): 1741–1763.
- [25] Esfandyarpour A, Arasti M R, Farazi M S, et al. From depth and breadth of knowledge to technological capability: A journey inside a firm's intellectual capital[J]. R&D Management, 2024, 54(4): 864–881.
- [26] 徐蕾, 李明贝. 技术多元化对创新绩效的双中介作用机理研究[J]. 科研管理, 2019, 40(5): 110–119. Xu L, Li M B. A research on the dual mediation mechanism of the impact of technological diversification on innovation performance [J]. Science Research Management, 2019, 40(5): 110–119.
- [27] Papazoglou M E, Spanos Y E. Bridging distant technological domains: A longitudinal study of the determinants of breadth of innovation diffusion[J]. Research Policy, 2018, 47(9): 1713–1728.
- [28] Chandra P, Dong A. The relation between knowledge accumulation and technical value in interdisciplinary technologies [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2018, 128: 235–244.
- [29] 李欣, 王艳, 高宁, 等. 企业研发合作是否促进了技术融合?——高校/科研机构参与程度的调节作用[J]. 科学学研究, 2025, 43(9): 1911–1923. Li X, Wang Y, Gao N, et al. Does R&D collaboration among enterprises promote technological convergence?——Moderating effect of engagement level with universities/scientific research institutions [J]. Studies in Science of Science, 2025, 43(9): 1911–1923.
- [30] Hagedoorn J, Duysters G. External sources of innovative capabilities: The preferences for strategic alliances or mergers and acquisitions [J]. Journal of Management Studies, 2002, 39(2): 167–188.
- [31] Lin B W, Wu C H. How does knowledge depth moderate the performance of internal and external knowledge sourcing strategies? [J]. Technovation, 2010, 30(11–12): 582–589.

[32] 邵记友,杨忠,张骁. 领军企业创新链中联盟组合的构建机制研究——以华为 5G 技术研发为例[J]. 管理学报,2024,21(4):484 – 493. Shao J Y, Yang Z, Zhang X. Research on the construction mechanism of alliance portfolio in leading enterprises' innovation chain: Taking R&D process of HUAWEI 5G technology as an example [J]. Chinese Journal of Management,2024,21(4):484 – 493.

[33] Loehlin J C. Latent Variable Models: An Introduction to Factor, Path, and Structural Equation Analysis [M]. Psychology Press, 2004.

[34] do Amaral M G, da Hora A L F, Messias N R, et al. A divergent research agenda: Academic and professional publications on Science, Technology and Innovation Parks[J]. Triple Helix, 2020, 7(1): 3 – 39.

[35] Kang W, Zhao S, Song W, et al. Triple helix in the science and technology innovation centers of China from the perspective of mutual information: A comparative study between Beijing and Shanghai [J]. Scientomet-

rics, 2019, 118: 921 – 940.

[36] 张昊男,朱方伟,林原,等. 跨领域技术竞合的动静态分析——基于二重 BERT 文本分析方法[J]. 情报学报, 2024, 43(11): 1322 – 1333. Zhang H N, Zhu F W, Lin Y, et al. Dynamic and static analysis of cross – domain technological cooperation based on dual BERT text analysis approach [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2024, 43(11): 1322 – 1333.

[37] Bredehorst J, Krautter K, Meuris J, et al. The challenge of maintaining passion for work over time: A daily perspective on passion and emotional exhaustion [J]. Organization Science, 2024, 35(1): 364 – 386.

[38] 方杰,温忠麟,王惠惠,等. 密集追踪数据的有调节的中介效应分析[J]. 心理学报, 2025, 57(5): 915 – 934. Fang J, Wen Z L, Wang H H, et al. Moderated mediation analyses of intensive longitudinal data [J]. Acta Psychologica Sinica, 2025, 57(5): 915 – 934.

Research on the iterative mechanism between scientific research and technology R&D in original innovation

ZHANG Hao – nan¹, WANG Hao – yue¹, XING Rui¹, ZHU Fang – wei^{1,2}, GAO Yan – hong¹

(1. School of Economics and Management, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China;
2. Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China)

Abstract: In the era of the new technological revolution and industrial transformation, the core of international competition has migrated toward foundational and frontier scientific domains. As China transitions from a manufacturing powerhouse to an innovation leader, the government has prioritized original innovation as a critical lever for strategic industrial upgrading. Original innovation is driven by major scientific discoveries and breakthrough technological principles, representing a profound integration of propositional knowledge and prescriptive knowledge. While theoretical frameworks suggest that the synergy between scientific research and technology R&D is vital for innovation sustainability, empirical evidence remains limited. Current studies primarily focus on one way knowledge flows from science to technology or static correlations between the two. This leaves several critical research gaps. First, there is a lack of empirical verification regarding the bidirectional and time lagged feedback loop between science and technology within a single innovation system. Second, the internal mechanisms through which specific knowledge attributes such as scientific quality and technological breadth facilitate this transformation are not well understood. Third, the boundary effects of collaboration intensity at the firm level in moderating these iterative paths remain unclear. This study addresses these gaps by exploring the positive feedback mechanisms within the original innovation system of the *New Energy Vehicle industry*.

To examine these dynamics, this study focuses on the *New Energy Vehicle industry* because it represents a sector that has achieved rapid growth through the integration of complex scientific research and technological breakthrough. The research sample includes 42 prominent enterprises, encompassing both vehicle manufacturers and suppliers, observed over a ten year period from 2015 to 2024. The dataset consists of 14,395 academic papers and 115,293 patents, which serve as proxies for scientific research and technological R&D respectively. Methodologically, the study employs dynamic structural equation modeling (DSEM) to analyze the longitudinal data. This approach allows for the decomposition of variance into between firm and within firm components, facilitating the assessment of dynamic, time lagged causalities while controlling for auto regressive effects and time trends. Variables in the model include scientific research

intensity, technology R&D intensity, scientific research quality measured by high impact publications, technology R&D breadth measured by the diversity of patent classifications, and cooperation intensity reflecting joint outputs with universities and research institutes.

The empirical analysis confirms the existence of a robust positive feedback loop between scientific research and technology R&D within the original innovation system. Firstly, the results demonstrate a significant bidirectional and time lagged causal relationship at the firm level. Specifically, the scientific research intensity of an enterprise in a given year positively predicts its technology R&D intensity in the following year, indicating that scientific accumulation effectively transfers to technological applications. Conversely, technology R&D intensity also positively drives future scientific research intensity as technological development identifies new theoretical gaps that require scientific inquiry. Second, the study reveals the mediating roles of knowledge quality and breadth within this cycle. Scientific research quality, representing theoretical rigor and authority, acts as a bridge for translating discovery into application. Meanwhile, technology R&D breadth facilitates the feedback from technology to science by expanding the diversity of the knowledge base and generating complex, cross domain research questions. Thirdly, the findings highlight the moderating role of innovation collaboration. Technology cooperation intensity reinforces the path from scientific quality to technological output, whereas research cooperation intensity strengthens the transformation of technological diversity into scientific advancement. These results confirm a knowledge complementarity effect through external partnerships.

The current study offers significant contributions to innovation management. Theoretically, it provides the first systematic empirical validation of the bidirectional positive feedback mechanism in the original innovation system, shifting focus from static linkages to dynamic sustainability. By integrating the knowledge based view, it clarifies how qualitative and structural attributes of knowledge function as catalysts for co evolution. Furthermore, it clarifies the micro level enabling role of university industry collaboration in fostering internal R&D iterations. Practically, the study advises managers to prioritize the simultaneous development of basic research and applied technology. Firms should establish dual capability systems where scientific breakthroughs serve as triggers for technology and engineering bottlenecks act as incubators for scientific exploration. Policymakers are encouraged to support collaborative innovation platforms that facilitate the seamless integration of high quality science with diversified technological applications to foster new quality productive forces.

Key words: original innovation; scientific research; technological R&D; innovation collaboration; new energy vehicles

(上接第 1128 页)

Identification and response to the security risks of generative AI in China under the technological decoupling

LI Zi - hao^{1,2}, WANG Ying - chun¹

- (1. School of International and Public Affairs, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;
- 2. Secure and Trustworthy AI Center, Shanghai Artificial Intelligence Laboratory, Shanghai 200232, China)

Abstract: This study aims to establish a framework for identifying the key security risks of generative AI in China, particularly in the context of the ongoing technological decoupling between China and the United States. It seeks to provide theoretical foundations and practical guidance for navigating the increasingly complex global technological environment. Through a layered analysis of foundational, technical, and application levels, this study constructs an analytical framework for evaluating the factors influencing the development of generative AI technology in China. Key technological characteristics such as computing power, data, and algorithms are considered, and expert knowledge is utilized to analyze and assess the identified risk factors. The identified security risks include limitations in computing power, data, and development tools at the foundational level; restrictions on model algorithms, computing architectures, and open - source platforms at the technical level; and challenges in market expansion and security thresholds at the application level. The study recommends establishing a coordinated national strategy to develop a response that ensures foundational autonomy, technical integration, and application - driven needs, thereby securing China's strategic position in global AI competition.

Key words: technological decoupling; generative AI; security risks; risk responses