

企业供应链网络嵌入与绿色技术创新*

赵巧芝 李子昊 陈 昊

摘要:碳达峰与碳中和目标驱动下,企业绿色技术创新深度依赖于所嵌入的供应链网络,是企业技术创新系统从“内循环”转向“内外双循环”的重要课题。本研究选取2010—2023年上市企业供应商与客户数据构建供应链网络,采用中心度和结构洞指标表征企业在供应链网络中的关系嵌入与结构嵌入特征,实证检验上市企业的网络嵌入程度对绿色技术创新的影响效应及其作用机制。研究表明,关系嵌入规模对绿色技术创新的影响呈现为“先上升后下降”的倒U型关系,占据丰富结构洞位置并不利于绿色技术创新发展,研究结论具有优良的稳健性。机制研究表明,知识吸收能力与知识基础质量在二者关系中发挥重要的中介作用。异质性分析表明,上述影响在制造类、非重污染类、非国有、位于东部地区的上市企业中更加显著。经济后果检验表明,绿色技术创新对企业二氧化碳排放的影响为正向,对企业短期盈利能力的影响也为显著正向,但对长期盈利能力的影响较微弱。本研究不仅丰富了供应链网络嵌入赋能企业绿色技术创新系统的研究成果,而且研究结论对优化供应链网络布局、激发企业绿色技术创新活力具有积极的实践意义。

关键词:供应链网络;关系嵌入;结构嵌入;绿色技术创新;作用机制

一、引言

碳达峰与碳中和目标驱动下,绿色技术创新已成为企业获取可持续竞争优势、实现经济环境协调发展的关键。供应链网络成为企业技术创新的关键权变量(杨冠华,2026)。依托所

*赵巧芝,华北电力大学(保定),邮政编码:071003,电子邮箱:zhaoqiaozi2006@126.com;李子昊(通讯作者),华北电力大学(保定),邮政编码:071003,电子邮箱:13165500529@163.com;陈昊,华北电力大学(保定),邮政编码:071003,电子邮箱:ericchen2436@163.com。

本文系河北省社会科学发展研究重点课题“数字化赋能河北先进制造业产业集群研究”(HBSKFZ25ZD038),河北省研究生示范课程项目“风险管理理论及方法”(KCJSX2025098),河北省在读研究生创新能力培养资助项目“基于复杂网络演化博弈的清洁能源技术扩散机制研究”(CXZZSS2025153)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家的建设性修改意见。文责自负。

嵌入的关系网络,获取更多互补性知识与信息,以抵消长周期、高成本、高风险引致的企业绿色技术创新困局(陶长琪等,2025)。根据社会网络理论,企业决策是供应链网络嵌入特征的函数(赵晓阳等,2023)。通过客户的供应商、客户的客户、供应商的供应商等多层级节点构成的多维嵌套网络,供应链网络表现出高度的复杂性和动态性(薛春辉等,2025)。处于供应链网络核心位置的企业可通过降低知识获取成本、提升知识传递效率和知识多样性程度,增强技术创新能力和创新绩效。不仅如此,嵌入供应链网络中的节点企业通过上下游节点企业间的关联关系,影响着自身创新倾向与下游客户的绿色创新决策,是形成绿色技术创新同群效应的原因(杜勇、黄丹华,2023)。在供应链系统中,企业间的关联关系影响着信息流动、资源配置与风险配置,是塑造企业绿色技术创新的关键引擎。因此,如何充分利用供应链网络的关系嵌入优势,为中国企业探索通过网络嵌入增强绿色技术创新能力、发挥更大的绿色创新作用提供更多科学参考,成为“十五五”时期增强绿色转型动力的重要课题。

一方面,在国家加快绿色转型背景下,企业绿色技术创新的驱动力研究成果丰富,集中于内部发展和外部环境因素两类。内部发展因素方面包括数字技术引入(单希彦,2026)、智能化(田涛等,2026)、高管团队特征(吴伟荣等,2025)、企业家精神(王俊秋等,2025)以及耐心资本投入(张伟等,2026)等。外部环境因素方面聚焦于政府政策、市场引导以及所嵌入的关系网络因素等。其中,政府政策因素源于绿色技术创新的双重外部性,包括创新激励政策如财政补贴、税收优惠、绿色金融等(Fan & Shi, 2025)以及环境规制政策(郭俊杰等,2024)。市场引导因素包括技术市场(阳镇等,2024)、资本市场(刘亦文、黄璞,2024)和碳市场(赵泽斌等,2026)等。企业所嵌入的社会关系网络因素近年来开始受到关注。许学国等(2026)探讨了风险投资网络对绿色技术创新的影响,发现风险投资网络对绿色技术创新存在显著的促进作用,并通过知识溢出、声誉认证和监督压力产生间接影响。此外,标准联盟网络、市场网络及合作创新网络的创新影响研究开始涌现(焦文婷等,2025)。供应链网络与技术创新的关系研究得到关注(赵晓阳等,2023),主要观点是企业通过嵌入的供应链网络获取外部资源和信息,影响技术创新决策和后果,是驱动技术创新绩效变动的重要变量。区别于普通技术创新,企业的绿色技术创新动机、过程以及绩效表现为更加复杂的绿色知识生产特征,具有创新与环境的双重外部性,故企业通过所嵌入的供应链网络是否对自身绿色技术创新绩效产生了显著影响,尚未得到有效证实。问题进一步延伸为企业所嵌入的供应链网络中的位置以及关系结构变动,是否能够显著地影响其获得外部绿色知识、伙伴信息以及技术溢出效应从而增强自身绿色技术创新能力。

另一方面,随着供应链关系研究逐渐从上下游两主体交互、到上中下游三主体的交互关系,再到供应链网络群体交互关系研究,企业通过所嵌入的关系网络,获取外部研发知识与信息的途径不容忽视(王娟茹、刘童心,2022)。根据社会网络理论,企业通过网络结构与关系获取外部知识资源,通过与网络节点的互动创造市场价值(Granovetter, 1985)。供应链网络嵌入特征

分为关系嵌入和结构嵌入两种,关系嵌入是指企业与直接关联企业间的稳定互动及信任积累规模(Kim et al., 2024),结构嵌入是指企业在网络中占据位置优势的程度(Mao & Shi, 2026)。社会网络分析中一般采用中心度和结构洞指标来表征上述两种嵌入。较高的中心度水平意味着企业能够通过更多合作关系,迅速获取关键知识和技术资源,提升自身绿色技术创新能力;具有丰富结构洞位置的企业,则掌握着更多跨群体连接和信息桥梁作用,通过整合非冗余资源和获得独特知识,形成创新优势(Ruiz-Ortega et al., 2018)。企业利用现有关系高效获取资源的同时,通过战略性网络位置探索新的绿色创新机会(于兆吉、赵英姿, 2024)。现有关于供应链网络嵌入的创新效应研究,聚焦于表征关系嵌入的创新效应,且主要是线性关系的检验,缺乏基于适度关系理论的非线性关系验证;同时,结构嵌入的创新驱动效应研究成果较少,现有研究聚焦于合作创新网络方面,尚未展开结构嵌入的绿色技术创新效应以及供应链网络样本的研究。

综上所述,供应链网络已成为影响企业创新绩效的重要变量,企业嵌入供应链网络特征集中于关系嵌入特征视角下的创新效应研究,结构嵌入的创新效应研究成果较少,同时将关系嵌入与结构嵌入纳入的创新效应研究较少。不仅如此,关系嵌入程度过高可能带来的约束效应研究尚未开展。区别于普通技术创新,绿色技术创新具有更高的知识复杂性和不确定性,从关系嵌入与结构嵌入视角,供应链网络嵌入引致的绿色技术创新效应需进一步验证。因此,本文拟从关系嵌入与结构嵌入两个视角出发,探究企业通过供应链网络嵌入引致的绿色技术创新效应,进一步拓展供应链网络赋能企业绿色技术创新的研究。同时,基于适度关系理论,将关系嵌入变量的二次项纳入回归模型,不仅考察关系嵌入规模可能带来的正向赋能效应,还探究过高的关系嵌入规模可能引致的网络约束效应,以及探寻适度关系规模阈值,更新现有的关系嵌入促进创新观点,为企业绿色技术创新提供科学参考。

二、理论分析与研究假说

(一)网络嵌入理论

网络嵌入理论强调企业经济行为嵌入于社会关系网络中,应当从社会关系网络角度考虑企业经济行为。引入网络分析方法后,逐渐从单一关系嵌入延伸至多维嵌入。企业嵌入社会关系网络差异,影响着企业技术创新行为,主要体现在关系嵌入和结构嵌入两个维度(赵又霖等, 2025)。所谓关系嵌入,是指企业与上下游直接合作伙伴间互动关系的稳定性、强度和频率,以中心度指标表征。提升企业的网络关系嵌入水平,有利于缓解信息不对称程度、提升跨组织协同效率,促进企业技术创新(阚洪生等, 2025);通过优化知识传递路径和分工效率,强化企业间协调配合,提高协同创新绩效。根据适度关系理论,过度的关系嵌入规模可能引发路径锁定效应不利于企业创新(王慧等, 2026)。结构嵌入特征则强调在关系网络中占据重要连接关系位置为企业带来的结构优势,通常采用结构洞指标表征。占据更多结构洞位置的企

业,能够连接多个与其他节点缺乏直接联系的企业,有利于获取多样化的信息来源和异质性知识,促进绿色技术创新(周礼、余媛,2025),还可以影响信息扩散路径与资源配置效率,提高企业战略影响力。但是,在网络中占据结构洞位置的企业也需要付出更高的关系维护成本与角色冲突风险,企业的组织协调责任较重,影响绿色技术创新的稳定性。因此,从关系与结构嵌入视角深入探讨企业在供应链网络中的嵌入特征对绿色技术创新的影响和机制,正成为中国企业绿色技术创新发展的重要课题。

(二)供应链网络嵌入与绿色技术创新

首先,供应链网络中,中心度表征企业与上下游企业间的直接关系嵌入规模,是获取外部绿色创新资源、研发信息和协作机会的重要途径。一方面,中心度较高的企业能够更便捷地获取来自供应商和客户的绿色技术信息、政策导向及研发经验,从而提高创新效率和成果转化速度;在供应链网络中具备较强的协调能力和话语权,能够推动绿色创新项目顺利实施,减少合作冲突和技术整合成本,增强企业在供应链网络中的影响力和资源掌控能力,有利于绿色技术创新活动开展。另一方面,过高的中心度可能使企业陷入“网络锁定”困境,过度依赖供应链网络,抑制突破性创新的产生。部分核心企业可能利用供应链网络中的中心地位开展“漂绿”行为(孙慧等,2026),以规避环境规制压力。

基于此,提出本文的第一个研究假说:

H1:企业在供应链网络中关系嵌入程度对绿色技术创新的影响表现为先上升后下降的倒U型关系。

其次,对于供应链网络中占据更多结构洞位置的企业而言,承担着连接原本孤立的上下游企业节点角色,意味着企业需要协调的利益主体数量众多,并非仅限于合作网络中共享的知识来源。这类非冗余连接要求企业投入额外资源去协调交易关系、处理潜在的利益冲突,该类协调成本将随着结构洞数量的增加而持续累积,不利于绿色技术创新投入规模增长,称为协调成本约束效应。同时,绿色技术创新需要供应链伙伴之间形成技术标准的共识、共享研发投入、共担研发风险,这些都建立在深度信任和长期互惠关系基础上。然而,占据结构洞位置的企业恰恰难以建立这种深度关系,对其他企业而言存在着一定的知识信息泄露风险,由此导致企业间信任程度降低,不利于企业绿色技术创新活动,即产生信任稀释的约束效应(Centobelli et al., 2022)。

基于上述分析,提出本文的第二个研究假说:

H2:企业在供应链网络中的结构嵌入程度对绿色技术创新的影响表现为负向效应。

(三)知识基础质量与知识吸收能力的中介作用

企业有效获取、整合和转化外部绿色知识资源水平,直接影响着绿色技术创新绩效。根据知识基础观,企业知识资源分为知识存量与知识流量两个维度(李顺才等,2001)。知识存

量表现为企业已积累的知识基础水平(岳晓旭等,2026),知识流量则是企业从外部获取和转化新知识的能力(Chen & Zhang,2025)。因此,本文从知识存量与知识流量维度,深入剖析供应链网络嵌入对绿色技术创新的间接影响机理。其中,采用基础知识质量表征企业知识存量水平,知识吸收能力表征企业知识流量规模。具体如下:

1.知识基础质量的中介机理

知识基础质量反映企业积累的知识是否具备扎实的技术支撑和行业认可度,是绿色技术创新的重要支撑(叶冬梅等,2025)。高质量的知识基础可以为绿色技术创新提供坚实基础,一方面,扎实的知识储备能够加速关键技术的突破,降低研发试错成本;另一方面,基础质量高的知识所蕴含的行业认可度有助于提高成果转化效率。

中心度对知识基础质量的影响机制分析方面。首先是知识验证效应。在供应链网络情境中,核心节点企业长期与上下游伙伴协同,接触到的绿色技术往往经过市场验证,具有较高的行业认可度,企业更容易筛选出真正有价值的技术信息,从而形成高质量的知识基础。其次是知识互补水平,不同的合作伙伴之间存在着差异化的技术信息,中心度高的企业通过较多的连接,能够整合碎片化的绿色知识,避免知识的片面性。最后是知识标准化程度,中心度较高的企业在网络中具有较高的话语权,能够将自身的实践经验转化为规范化的技术标准。因此,关系嵌入程度的提升有助于企业形成高质量的知识基础。

相比之下,占据结构洞位置的企业连接的是原本孤立的群体,虽然能够接触多元化知识,但却制约了知识基础质量的提升。首先是知识碎片化效应,占据丰富结构洞位置的企业能够接触到来自不同行业领域和技术范式的知识,但这些知识之间缺乏内在关联性和系统性,难以整合为结构化的知识体系。其次是知识缺乏深度,占据结构洞位置的企业主要通过“弱连接”获取信息,缺乏长期互动和深度合作,难以获得深层次的技术知识,缺乏扎实的知识基础。最后是知识价值存疑,占据结构洞位置的企业获取的知识往往未经多方验证,其可靠性和适用性存疑,缺乏供应链上下游的交叉印证,难以判断知识的真实价值(Tian et al.,2025)。因此,结构洞虽能拓宽知识来源,但对知识基础质量有一定抑制作用。

综上所述,中心度通过提升知识基础质量促进绿色技术创新,而结构洞则通过削弱知识基础质量抑制绿色技术创新。据此提出假说3和假说4:

H3:知识基础质量在供应链网络关系嵌入对企业绿色技术创新的影响中发挥中介作用,即中心度通过影响企业的知识基础质量,进而影响绿色技术创新。

H4:知识基础质量在供应链网络结构嵌入对企业绿色技术创新的影响中发挥中介作用,即结构洞通过影响企业的知识基础质量,进而影响绿色技术创新。

2.知识吸收能力的中介机理

知识吸收能力是企业对外部知识的获取、吸收、转化与利用的综合能力(冯启良,

2025),技术溢出实现的关键就在于企业是否具备足够的吸收能力承接和转化外部知识。知识吸收能力强的企业能够精准识别核心绿色知识,避免冗余信息干扰,同时能够整合外部知识与内部资源,优化工艺和技术标准,从而将网络位置带来的信息优势转化为实质性创新成果。

中心度对知识吸收能力的影响并非简单的线性关系,呈现出“过度嵌入”的制约效应。首先,高中心度企业具有稳定的知识来源渠道和认知框架,使得企业对外部新知识的警觉性下降,倾向于依赖既有知识而非主动探索异质性知识,导致吸收能力“钝化”。维护众多的合作关系需要大量的时间和精力,挤占了原本用于知识搜索、识别、转化和利用的认知资源,从而削弱知识吸收能力。其次,中心度高的企业虽然具有较高的知识流量,但也具有较高的同质化程度,使得企业筛选高价值知识的边际收益递减,吸收能力难以提升。最后是路径依赖问题,高中心度企业在供应链中拥有话语权,其创新活动更倾向于利用现有关系网络获取资源,而非投入精力识别和吸收外部新知识,更加抑制知识吸收能力。

占据结构洞位置的企业能够接触不同领域的知识和信息,在不同知识来源与认知框架间切换,这种跨界学习的过程即是对知识吸收能力的训练。占据结构洞位置的企业连接非冗余的异质性群体,接触的信息自然具有多样性和碎片化特征。这种信息结构迫使企业不断优化知识筛选与整合机制,在长期的适应过程中提升知识吸收能力。而正因长期处于多元化的知识环境,企业也具有更强的认知灵活性,能够更快地理解、评估和应用来自不同领域的知识。大量零散与碎片化的信息会倒逼企业建立高效的信息筛选和整合机制,能够持续提升企业从外部获取和转化知识的能力。占据结构洞位置的企业连接的是彼此之间无直接关联的群体,知识渠道本身不存在冗余,接触的知识重复率低,不需要花费大量的精力对其进行筛选。

综上所述,中心度通过抑制知识吸收能力间接制约绿色技术创新,而结构洞则通过提升知识吸收能力部分抵消其抑制效应。据此提出假说5和假说6:

H5:知识吸收能力在供应链网络关系嵌入与企业绿色技术创新之间发挥中介作用,即中心度通过影响企业的知识吸收能力,进而影响绿色技术创新。

H6:知识吸收能力在供应链网络结构嵌入与企业绿色技术创新之间发挥中介作用,即结构洞通过影响企业的知识吸收能力,进而影响绿色技术创新。

三、研究设计与数据处理

(一)样本选择与数据来源

本研究选取2010—2023年沪深A股上市企业作为初始样本,并剔除ST类、金融业、缺失

相关财务数据及未披露供应链上下游企业信息的上市企业。考虑到数据的稳定性和有效性,筛选出符合条件的上市企业共有304家,最终得到4256个观测值。绿色技术创新数据来源于中国研究数据服务平台(CNRDS)数据库中的企业绿色专利授权数。

(二)变量定义

1. 绿色技术创新绩效

被解释变量为上市企业绿色技术创新水平(GI),本研究采用绿色专利授权数量衡量绿色技术创新绩效水平。参照齐绍洲等(2018)和李炳军等(2023)的相关研究,相较于专利申请数量,绿色专利授权数量更能反映企业创新成果的技术含量和实际有效性,能够在一定程度上避免低质量专利带来的测度偏误。因此本文依据中国研究数据服务平台中的绿色发明专利授权数来度量绿色技术创新绩效。

2. 供应链网络嵌入

核心解释变量为上市企业的供应链网络嵌入。当前在社会网络分析中,测度企业关系嵌入程度的常用指标包括中心度和结构洞指数两种,分别表征企业在网络中的中心性和结构洞指标。其中,网络中心度主要测定企业作为网络节点与其他节点间的直接关联程度,结构洞指标则用于反映节点在网络中占据结构洞位置的丰富程度。本文采用中心度和结构洞作为供应链网络嵌入的测度指标。测算公式如下:

首先是中心度指标(Deg),本文采用程度中心度表征企业在供应链网络中的直接嵌入程度,该指标值越大,表明企业越接近网络中心,嵌入程度越深。根据Li等(2025)的研究,其计算公式如式(1)所示。式(1)中, i 、 j 表示供应链网络中的节点企业, d_{ij} 表示企业 i 与企业 j 存在供应商—客户关系,取值为1,否则取值为0; n 表示供应链网络中的企业数量。

$$Deg_i = \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij} \quad (1)$$

其次是结构洞指标(STH),借鉴薛春辉等(2025)的研究,采用网络限制度指标的变形形式表示,如式(2)所示,其中, C_i 表示网络限制度,网络限制度用于表征节点受限于其他节点的程度,网络限制度越低表明该节点占据的结构洞越丰富。式(3)是网络限制度的测度指标,其中,

$l_{ij} = \frac{d_{ij}}{\sum_k d_{ik}}$ 表示节点 i 与联系人 j 的关系强度比例,即节点 i 与 j 的关系强度除以节点 i 与所有人的关系强度之和,也可以理解为节点 i 分了多少比例的精力给联系人 j ; d_{ij} 为企业 i 与企业 j 之间是否存在供应商—客户关系,是则取值为1,否则取值为0; v 表示节点 i 与 j 的共同联系人。

$$STH_i = 1 - C_i; \quad (2)$$

$$C_i = \sum_j C_{ij} = \sum_{j=1, j \neq i}^n \left(l_{ij} + \sum_v l_{iv} l_{vj} \right)^2 \quad (3)$$

3. 控制变量

本文借鉴张慧等(2025)、许学国等(2026)相关学者的研究成果,选取企业规模、存货比率、总资产净利润率、企业 ESG 表现、董事会规模和政府补助作为控制变量,除企业 ESG 表现来源于 Wind 数据库外,其余数据均来源于国泰安数据库(CSMAR)。具体定义如下:企业规模 (*Size*),即企业资产总额的自然对数;存货比率 (*Inv*),即企业期末存货与期末资产总额的比值;总资产净利润率 (*Roa*),即年末企业净利润与总资产余额的比值;企业 ESG 表现,即企业在环境、社会和治理三个核心维度上的非财务绩效与风险管理水平的综合评分;董事会规模 (*Board*),即企业董事会人数的自然对数;政府补贴 (*Sub*),即政府部门对企业发放的补贴金额的自然对数。主要变量的定义和描述性统计见表 1。

表 1 变量定义和描述性统计

变量类型	变量名称及符号	测度说明	观测值	均值	标准差	最小值	中位数	最大值
被解释变量	企业绿色技术创新水平 (<i>GI</i>)	绿色发明专利授权数量	4256	12.236	46.408	0.000	1.000	1176.000
解释变量	中心度 (<i>Deg</i>)	企业与网络中其他节点间的直接连接数量	4256	0.245	0.661	0.000	0.000	11.000
	结构洞 (<i>STH</i>)	网络限制度指标的变形形式,具体见式(2)(3)	4256	0.860	0.330	0.000	1.000	1.000
控制变量	企业规模 (<i>Size</i>)	公司资产总额的自然对数	4256	22.791	1.352	19.213	22.638	27.994
	存货比率 (<i>Inv</i>)	期末存货与期末资产总额的比值	4256	0.149	0.118	0.001	0.119	0.848
	总资产净利润率 (<i>Roa</i>)	净利润与总资产余额的比值	4256	0.037	0.061	-0.965	0.031	0.368
	企业 ESG 表现 (<i>ESG</i>)	企业在环境、社会和治理上的综合评分,来源于 Wind 数据库	4256	4.131	0.988	1.000	4.000	8.000
	董事会规模 (<i>Board</i>)	董事会总人数的自然对数	4256	2.183	0.192	1.386	2.197	2.890
	政府补贴 (<i>Sub</i>)	政府部门对企业发放的补贴金额的自然对数	4256	8.120	26.403	-9.242	2.030	545.867

(三) 面板计量模型设定

为检验上市企业的供应链网络嵌入对绿色技术创新绩效的影响,即验证上文的研究假说是否成立,设定如下计量模型:

$$GI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Deg_{it} + \alpha_2 Deg_{it}^2 + \gamma X_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$GI_{it} = \beta_0 + \beta_1 STH_{it} + \beta_2 X_{it} + \theta_i + \varphi_t + \nu_{it} \quad (5)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示上市企业和年份, δ_i 和 θ_i 表示企业固定效应; μ_t 和 φ_t 为年份固定效应; ε_{it} 和 ν_{it} 表示随机扰动项。 Deg 表示上市企业在供应链网络中的中心度, STH 表示上市企业在供应链网络中的结构洞指数, GI 为上市企业的绿色技术创新水平。 X 为上市企业

的企业规模、存货比率、总资产净利润率、ESG表现、董事会规模和政府补贴等控制变量。

四、实证结果与分析

(一)基准回归分析

供应链网络嵌入对上市企业绿色技术创新影响的回归结果见表2。列(1)为以中心度为解释变量、不加入控制变量情形下的回归结果,实证结果显示上市企业中心度的一次项估计系数显著为正、二次项估计系数显著为负,存在显著的倒U型效应。同时,根据列(2)所示以结构洞为解释变量、不加入控制变量情形下的回归结果,上市企业结构洞指标的估计系数显著为负,存在显著的负向效应。考虑到遗漏变量问题,列(3)是在列(1)基础上进一步加入控制变量后的回归结果,实证结果显示上市企业中心度的一次项系数仍然显著为正,二次项系数仍然显著为负,倒U型驱动效应仍然成立。列(4)则是在列(2)的基础上加入控制变量后的回归结果,结果显示结构洞指标的估计系数依然显著为负。基于列(3)模型设定,当其他变量保持不变的条件下,上市企业在供应链网络中的中心度对自身绿色技术创新绩效的影响表现为“先升后降”的倒U型曲线,转折点位置为 $1.459(-4.570/(-1.566 \times 2))$,即中心度低于1.459情形下,上市企业中心度的绿色技术创新驱动效应为正向;若高于1.459,则表现为显著的负向影响,假说1得证。根据列(4)模型设定,上市企业在供应链网络中的结构洞位置每提升1个单位,上市企业绿色技术创新绩效将下降4.140个单位,具有显著的抑制效应,假说2得证。

本文基准回归结果表明,在供应链网络中,中心度对企业绿色技术创新存在着倒U型关系,拓展了供应链网络的创新效应研究。此外,相关研究结果表明创新网络中企业的结构洞位置能够显著促进企业创新绩效,但在供应链网络中尚未得到证实。根据本文的基准回归结果,供应链网络中的企业结构洞位置显著抑制了企业绿色技术创新绩效,进一步拓展了结构洞位置的创新效应研究,丰富了绿色技术创新的驱动因素研究。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Deg</i>	4.662*** (4.200)		4.570*** (4.140)	
<i>Deg</i> ²	-1.589*** (-6.670)		-1.566*** (-6.620)	
<i>STH</i>		-3.938** (-2.920)		-4.140** (-3.090)
<i>Size</i>			8.560*** (7.850)	8.676*** (7.920)
<i>Inv</i>			-6.180 (-0.850)	-6.247 (-0.850)

续表 2

基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Roa</i>			-7.234 (-0.920)	-7.850 (-0.990)
<i>ESG</i>			0.765 (1.490)	0.811 (1.570)
<i>Board</i>			-1.768 (-0.470)	-2.354 (-0.630)
<i>Sub</i>			-0.515*** (-1.160)	-0.528 (-1.190)
常数项	4.105*** (2.330)	7.704** (3.760)	-172.509*** (-7.600)	-169.937*** (-7.450)
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256
R ²	0.016	0.025	0.135	0.143

注：***、**、*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平显著，括号内为t检验值。下表同。

(二)稳健性检验

1. 替代被解释变量情形

考虑到被解释变量的稳健性,本文分别选取绿色技术专利中的绿色发明专利规模数(GI_1)和绿色实用新型专利规模数(GI_2)两个指标替代被解释变量,两者均是绿色专利中的高质量创新成果部分,回归结果见表3。表3回归结果显示,在替换被解释变量后,中心度仍表现出倒U型驱动效应,结构洞位置的抑制作用依然成立,基准回归具有良好稳健性。

表 3 替代被解释变量的检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GI_1	GI_1	GI_2	GI_2
<i>Deg</i>	3.286*** (4.150)		1.284** (2.850)	
<i>Deg</i> ²	-1.062*** (-6.260)		-0.503*** (-5.220)	
<i>STH</i>		-3.192*** (-3.320)		-0.947* (-1.730)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256
R ²	0.128	0.135	0.111	0.120

2. 替代核心解释变量情形

考虑到供应链网络嵌入位置指标度量的稳健性,基于现有文献的处理思路,分别构造不同的供应链网络位置指标进行回归分析,回归结果如表4所示。列(1)与列(2)采用企业出度 Deg_out 作为 Deg 的替代变量, Deg_out 为供应链网络中从该企业出发指向其客户的边的数量。列(3)与列(4)采用企业入度 Deg_in 作为 Deg 的替代变量, Deg_in 为供应链网络中指向该企业的边的数量。列(5)与列(6)采用中介中心度 $Betw_cen$ 替代结构洞指标, $Betw_cen = \sum_{a \neq b \neq x} \frac{g_{ab}(x)}{g_{ab}}$, 是衡量节点在网络中作为“中介”或“桥梁”角色的重要性指标。结果表明,在替代核心解释变量情形下,中心度的倒U型效应与结构洞的负向效应仍然成立,研究结论具有稳健性。

表4 替代核心解释变量的检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Deg_out	7.497*** (4.030)	7.373*** (4.000)				
Deg_out^2	-3.982*** (-6.750)	-3.981*** (-6.810)				
Deg_in			5.853*** (3.810)	5.766*** (3.780)		
Deg_in^2			-1.817*** (-4.690)	-1.759*** (-4.580)		
$Betw_cen$					-8.338*** (-3.210)	-8.783*** (-3.410)
控制变量	否	是	否	是	否	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256	4256	4256
R ²	0.014	0.133	0.017	0.136	0.015	0.138

3. 变更模型形式

本研究中绿色技术创新产出采用专利数据表征,根据 Cameron 和 Trivedi(2005)的研究思路,将被解释变量 GI 的分布设定为泊松分布,以考察普通最小二乘回归估计可能带来的估计结果偏误,采用面板数据的泊松回归模型并采用极大似然估计方法进行估计,具体表达式如式(6)和式(7)所示。

$$E(GI_{it} | x_{it}, \eta_i, \tau_t) = \exp(\kappa_1 \times Deg_{it} + \kappa_2 \times Deg_{it}^2 + \psi X_{it} + \eta_i + \tau_t) \tag{6}$$

$$E(GI_{it} | x_{it}, \eta_i, \tau_t) = \exp(\chi \times STH_{it} + \phi X_{it} + \zeta_i + \xi_t) \tag{7}$$

同时为了克服可能存在的过度分散问题,本研究进一步报告被解释变量在放宽泊松回归中方差与均值的严格假设情形下的负二项回归模型估计结果,以及 GI 变量可能存在过多零

值情形下的零膨胀问题,采用零膨胀泊松回归模型和零膨胀负二项回归模型形式进行估计。四种情形下的回归结果如表5所示。根据回归结果,在标准泊松回归、负二项回归、零膨胀泊松回归和零膨胀负二项回归模型形式下,中心度对绿色技术专利的影响均为显著的倒U型驱动效应,结构洞对绿色技术专利的影响均为负向,与基准回归结果一致。

表5 泊松回归与负二项回归结果

变量	标准泊松回归		负二项回归		零膨胀泊松回归		零膨胀负二项回归	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Deg</i>	0.068*** (6.420)		0.533*** (7.040)		0.542*** (59.870)		0.513*** (7.370)	
<i>Deg</i> ²	-0.021*** (-11.190)		-0.050*** (-3.670)		-0.060*** (-27.760)		-0.047*** (-3.920)	
<i>STH</i>		-0.134*** (-9.600)		-0.741*** (-7.200)		-0.672*** (-63.520)		-0.901*** (-8.910)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	4157	4157	4157	4157	4157	4157	4157	4157
离散参数			4.289*** (0.107)	4.300*** (0.107)			2.915*** (0.105)	3.165*** (0.110)

(三)内生性检验

1. 基于工具变量方法的内生性问题

为解决核心解释变量与被解释变量之间可能存在的内生性问题,本研究采用工具变量法进行内生性验证。首先,对于中心度指标,选择滞后一期作为工具变量,其中,一次项和二次项的滞后一期值分别采用 iv_1 和 iv_1^2 表示,结构洞滞后一期工具变量采用 iv_2 表示,回归结果如表6所示。在加入相关控制变量及控制企业、年份固定效应后,供应链网络中心度对绿色技术创新仍呈现显著的倒U型影响,结构洞的抑制效应依然显著。工具变量回归结果与基准回归结果保持一致,研究结果并未因潜在的内生性干扰而产生严重偏误。

表6 工具变量法的检验结果

变量	第一阶段		第二阶段	
	<i>Deg</i>	<i>STH</i>	<i>GI</i>	
iv_1	0.316*** (21.340)		2.591** (2.170)	
iv_1^2			-1.430*** (-5.770)	
iv_2		0.219*** (13.400)		-3.313** (-2.260)
常数项	0.242*** (6.270)	0.607*** (23.390)	-169.529*** (-6.340)	-167.209*** (-6.220)
控制变量	否	否	是	是
企业/年份固定效应	是	是	是	是

2. 基于PSM-DID的内生性检验

为了缓解因地区政策不同可能带来的内生性问题,本研究借鉴黄灿和李善民(2019)的研究,构建基于倾向得分匹配的双重差分模型(PSM-DID),利用地区政策冲击作为自然实验展开分析。国务院于2015年颁布《促进大数据发展行动纲要》,将大数据提升至国家战略层面,并明确提出“引导培育大数据交易市场”,选取北京、上海、浙江、广东、重庆、贵州等数据基础雄厚、产业数字化程度较高的省市率先布局。该政策通过搭建标准化数据交易平台,打通供应链上下游企业间的数据壁垒,为企业获取绿色创新所需的异质性数据资源、优化资源配置效率提供了制度保障。由于国家试点政策选取省份作为试点单位,考虑到直辖市与地市级城市存在层级差异性,并参考王今等(2026)设计思路,若上市企业所属地区为试点省份,则作为处理组,否则为对照组。采用倾向得分匹配法对样本进行预处理,通过构建“准实验场景”剥离企业个体特征的干扰。

首先,基于理论分析与现有研究,将本研究控制变量全部作为协变量。匹配过程中,采用一对一最近邻匹配策略为每个处理组企业寻找特征最相似的对照组企业,同时固定随机种子以确保匹配结果的可重复性。为进一步提升匹配质量,所有协变量均经过缩尾处理,有效规避异常值对倾向得分估计的干扰。协变量的标准化平均值差异见图1。

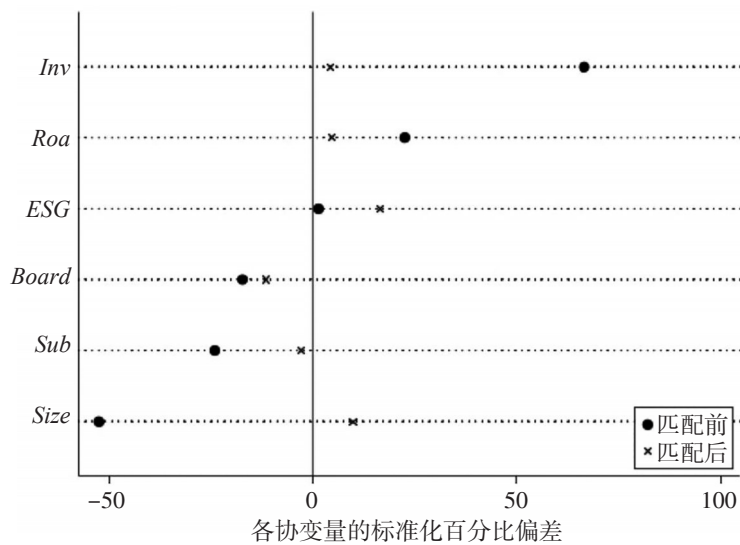


图1 标准化平均值差异

其次,匹配后的样本回归结果见表7。由表7可知,估计结果在10%置信水平下仍不显著,表明该试点政策尚未对上市企业绿色技术创新产生显著影响,即在剔除政策冲击的干扰后,中心度和结构洞对企业绿色技术创新的驱动效应仍然成立。PSM-DID不仅验证了基准结论的稳健性,更通过缓解内生性问题提升了因果推断的可信度,为后续研究提供实证基础。

表 7 PSM-DID 的估计结果

变量	(1)	(2)
<i>Deg</i>	4.692*** (4.230)	
<i>Deg</i> ²	-1.577*** (-6.690)	
<i>STH</i>		-4.297*** (-3.180)
<i>DID</i>	-1.898 (-1.280)	-1.900 (-1.280)
常数项	-159.743*** (-6.820)	-158.567*** (-6.730)
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	4256	4256
R ²	0.127	0.137

3. 基于双重机器学习方法的因果识别检验

本研究采用 Chernozhukov 等(2018)提出的双重机器学习方法(DML)对核心解释变量与企业绿色技术创新之间的因果关系进行估计,引入 LASSO 方法作为学习器,对高维控制变量进行拟合与筛选。为在双重机器学习框架下验证中心度与企业绿色技术创新之间的倒 U 型关系,本文借鉴线性投影与系数还原的思路,基于基准回归中中心度一次项与其回归系数相乘加上二次项与其回归系数相乘的和构建合成变量 Z ,将 Z 作为解释变量,在 DML 框架下估计 Z 对企业绿色技术创新的因果效应。在模型实施过程中,分别设定 3 折交叉验证和 5 折交叉验证并重复 101 次,同时固定随机种子 $seed=93$,以保证估计结果的稳健性与可复现性,回归结果见表 8。在验证结构洞与企业绿色技术创新之间的负向效应时,采用相同思路与步骤,回归结果同见表 8。表 8 所示回归结果与基准情形保持一致,在高维控制与非线性关系并存的情形下,基准回归仍具有较好的稳健性。

表 8 DML-LASSO 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>Deg</i>	4.280*** (0.000)	4.200*** (0.000)		
<i>Deg</i> ²	-1.459*** (0.000)	-1.432*** (0.000)		
<i>STH</i>			-4.144** (0.041)	-3.874** (0.027)
分割比例	1:2	1:4	1:2	1:4
控制变量一次项	是	是	是	是
控制变量二次项	否	是	否	是
企业/年份固定效应	是	是	是	是

注:表中括号内数值为伴随概率 P。

(四)异质性分析

1. 地区异质性

已有研究表明东部企业的供应链网络覆盖范围显著更广(耿勇等,2024)。供应链协同水平亦呈现“东部显著高、中部次之、西部地区最低”的梯度格局,区域间差异构成总体差异的主要来源(汪凡等,2026)。考虑到中国各地区在市场发育程度、供应链网络密度及创新要素配置效率方面存在显著差异,供应链网络嵌入对企业绿色技术创新的影响可能因地区而异。故本研究从上市企业所处地区视角,考察供应链网络嵌入对企业绿色技术创新的影响异质性。按照国家统计局区域划分标准将研究样本划分为东部、西部和中部三类,并对三类子样本分别进行回归,分样本回归结果见表9。供应链网络嵌入对企业绿色技术创新的影响具有鲜明的地区异质性:东部地区的回归结果与全样本保持一致;中部地区中心度与结构洞的影响均未通过显著性检验;西部地区仅中心度二次项显著为负,一次项及结构洞均不显著。上述差异可能源于不同地区市场化进程与供应链发育程度的分化。东部地区市场化程度较高,企业间的信任积累和知识传递效率更高,使得供应链网络中的关系嵌入与结构嵌入能够更有效地转化为绿色技术创新绩效。中部地区处于产业梯度转移的过渡地带,供应链网络密度较低,企业间协作关系尚未充分稳定,网络嵌入的优势难以有效释放。西部地区企业多为资源依赖型或国有企业主导,网络关系更多受政策驱动而非市场机制,因此关系嵌入主要表现为过度嵌入时的约束效应,而关系嵌入本身所带来的知识获取优势未能有效发挥。

表9 企业所属地区的异质性效应

变量	(1)		(2)		(3)	
	东部地区		中部地区		西部地区	
<i>Deg</i>	8.417*** (6.190)		-0.756 (-0.560)		0.830 (0.180)	
<i>Deg</i> ²	-1.757*** (-6.850)		0.384 (0.990)		-3.938** (-3.120)	
<i>STH</i>		-5.050** (-2.960)		-0.471 (-0.340)		-6.230 (-1.360)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	2674	2674	798	798	784	784
R ²	0.135	0.142	0.147	0.147	0.047	0.135

2. 行业异质性

上市企业所属的行业类型不同,行业技术创新更迭速度、供应链网络嵌入关系以及绿色发展转型绩效存在着明显差异性。故本文分别从制造与非制造、重污染类与非重污染类两种分类视角下展开分样本效应测度,进而比较不同行业类型下上市企业供应链网络嵌入变动引

致的绿色技术创新效应的行业异质性特征。

(1)制造类与非制造类企业的异质性。供应链网络中的制造类与非制造类上市企业的供应链网络嵌入对绿色技术创新绩效的影响效应回归结果见表10。根据列(1)回归结果,对于制造类上市企业而言,供应链网络嵌入对绿色技术创新绩效的影响更加明显,中心度方面的倒U型关系转折点位置更高,结构洞位置指标的抑制作用也更加突出。根据列(2)回归结果,非制造类上市企业在供应链网络中的嵌入位置变化,对于绿色技术创新绩效的影响较为微弱,并未成为驱动企业绿色技术创新绩效变动的影响因素。上述差异源于两类企业行业类型的不同。制造类企业本身具有研发绿色产品、改造清洁工艺等绿色技术创新需求,而非制造类企业的“绿色”更多表现在运营管理、服务优化等非硬性技术层面,业务形态上的差异导致了供应链网络嵌入效应的显著差别。

表 10 制造类与非制造类上市企业的异质性效应

变量	(1)		(2)	
	制造类上市企业		非制造类上市企业	
<i>Deg</i>	4.951*** (4.480)		-5.681 (-0.790)	
<i>Deg</i> ²	-1.614*** (-7.010)		2.147 (0.780)	
<i>STH</i>		-4.972*** (-3.660)		5.236 (0.920)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	3710	3710	546	546
R ²	0.144	0.155	0.001	0.001

(2)重污染类与非重污染类企业的异质性。绿色技术创新是符合节能减排导向的创新类型,有利于在完成环境清洁标准的情况下带来更多的绿色经济效益,从而得到更大的市场竞争力。对于重污染类上市企业,研发动机源于其可能获得的额外收益与新增研发成本的匹配程度,同时还依赖于通过供应链网络所获得的外部资源等。本文按照《上市公司环保核查行业分类管理名录》,将煤炭、采矿、纺织、制革、造纸、石化、制药、化工、冶金、火电等16个行业界定为重污染行业,其他行业则为非重污染行业。根据上述行业分类标准,对两个行业子样本分别进行回归。根据表11所示分样本回归结果,供应链网络嵌入位置的变化对重污染类上市企业影响微弱,对非重污染类企业影响显著,具有明显异质性。上述差异源于两类企业污染性质的不同。重污染类企业面临着严格的环境规制,例如排污许可、碳排放配额等,开展绿色技术创新活动的首要目标是满足环保底线并维持生产许可,而非主动获取供应链伙伴的异质性知识或探索式创新。而非重污染类企业的生产过程对环境影响相对较小,面临的环境规制压力较小,企业有更大的自主空间通过网络嵌入获得的信息和知识选择绿色创新方向。

表 11 重污染类与非重污染类上市企业的异质性效应

变量	(1)		(2)	
	重污染类上市企业		非重污染类上市企业	
<i>Deg</i>	0.079 (0.040)		5.456*** (3.990)	
<i>Deg</i> ²	0.217 (0.330)		-1.749*** (-6.570)	
<i>STH</i>		-1.452 (-0.730)		-6.047*** (-3.500)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	1218	1218	3038	3038
R ²	0.170	0.170	0.156	0.168

3. 企业异质性

根据资源基础理论,本文从产权性质、供应链话语权、风险感知能力三个方面分别展开分样本回归分析,根据回归结果识别不同类型的异质性特征。

(1)企业所有权异质性。为考察不同所有权性质上市企业的供应链网络嵌入位置对绿色技术创新绩效的异质性影响,本文将样本划分为国有企业与非国有企业并分别进行回归,结果见表 12。在国有企业样本中,供应链网络中心度及其二次项均显著,且呈现明显倒 U 型关系,与基准回归一致。而非国有企业样本的中心度及其二次项的回归系数绝对值更大,对绿色技术创新的促进效应更强,同时过度嵌入带来的约束效应更加明显。国有企业样本中结构洞指标的回归系数为负但不显著,而非国有企业样本中结构洞系数为负且显著。上述差异源于两类企业所有权的不同。非国有企业以利润为导向,对市场机会和外部知识资源的响应更为敏锐,但面临的资源挤占和路径锁定压力也更为突出;而国有企业则兼顾政策目标与社会责任,创新活动受政策驱动较大,网络嵌入的边际效应相对较小。

表 12 国有与非国有上市企业的异质性效应

变量	(1)		(2)	
	国有企业		非国有企业	
<i>Deg</i>	5.142*** (3.290)		8.935*** (3.740)	
<i>Deg</i> ²	-1.515*** (3.830)		-3.997*** (-4.230)	
<i>STH</i>		-3.009 (-1.480)		-6.040*** (-3.290)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	1934	1934	2322	2322
R ²	0.127	0.146	0.103	0.106

(2)供应链话语权异质性。为考察供应链话语权在供应链网络嵌入与企业绿色技术创新关系中的异质性影响,本文采用上市企业对上游供应商和下游客户的依赖程度作为供应链话语权的衡量指标,计算方式借鉴李颖等(2023)的研究思路,采用上市企业前五大供应商和前五大客户的采购与销售比例之和的均值作为分类指标(SCC),依据中位数将样本划分为高供应链话语权组与低供应链话语权组,分组回归结果见表13。回归结果显示,在高供应链话语权组中,中心度的倒U型影响效应依然成立,并且结构洞的抑制作用同样显著。相比之下,在低供应链话语权组中,中心度指标的一次项系数不显著,仅二次项系数显著为负,倒U型关系不完整;结构洞指标的抑制作用并不明显。上述差异源于两类企业供应链话语权的不同。高话语权企业能够主动筛选、整合和利用供应链网络中的知识资源,但结构洞带来的协调成本也更为突出;而低话语权企业对外部资源的获取高度依赖少数核心伙伴,网络地位被动,网络嵌入带来的知识溢出效应有限。

表 13 企业供应链话语权的异质性效应

变量	(1)		(2)	
	高供应链话语权		低供应链话语权	
<i>Deg</i>	5.043*** (2.870)		2.405 (1.410)	
<i>Deg</i> ²	-1.848*** (-3.640)		-1.498*** (-4.980)	
<i>STH</i>		-5.180*** (-3.100)		-2.791 (-1.220)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	2079	2079	2079	2079
R ²	0.207	0.214	0.090	0.102

(3)企业风险感知能力异质性。上市企业对外部风险的感知程度,可能影响其开展绿色技术创新的意愿与能力。本文借鉴Yu等(2021)的相关研究,采用文本分析法测度上市企业风险感知指标,并根据中位数将样本划分为强风险感知能力与弱风险感知能力两组,分样本回归结果见表14。根据回归结果,风险感知能力强的上市企业,中心度指标的倒U型关系显著成立;而结构洞指标的影响效应并未通过显著性检验。风险感知能力弱的上市企业,中心度指标的倒U型关系更加明显;结构洞指标的抑制作用也更为显著。上述差异源于两类企业对外部风险敏感程度的不同。风险感知能力强的企业对市场波动、政策变化及合作不确定性具有较高的敏感性和预判能力,能够主动把控关系嵌入的适度边界,并充分应对结构洞位置所带来的协调成本、信任风险和碎片化问题。风险感知能力弱的企业对外部风险反应迟钝,缺乏对网络嵌入边界的主动把控意识,难以应对结构洞位置隐含的协调成本、信任稀释及碎片化风险。

表 14 企业风险感知能力的异质性效应

变量	(1)		(2)	
	强风险感知能力		弱风险感知能力	
<i>Deg</i>	5.169*** (4.540)		8.947*** (3.550)	
<i>Deg</i> ²	-1.044*** (-5.500)		-4.231*** (-5.730)	
<i>STH</i>		-2.008 (-1.400)		-6.269*** (-2.630)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	2079	2079	2078	2078
R ²	0.197	0.207	0.111	0.132

五、进一步研究

前文分析了上市企业供应链网络位置嵌入对绿色技术创新绩效的影响效应,探究了相关异质性。本部分进一步研究上市企业供应链网络嵌入变动对绿色技术创新的影响机制以及相关变量的调节作用。

(一)机制分析

1. 知识基础质量的中介机制

参考叶冬梅等(2025)关于知识基础质量的测度思路,采用最大被引数和平均被引数的乘积测算上市企业的知识基础质量,计算公式见式(8)。式(8)中, *Quality* 表示上市企业的知识基础质量水平, *M* 表示企业专利的最大被引次数, *C* 表示企业专利的总被引次数, *n* 表示企业拥有专利数量。选择知识基础质量作为中介变量情形下的回归结果见表 15。

$$Quality = M \times \left(\frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n C_k \right) \quad (8)$$

根据列(1),上市企业在供应链网络中的中心度对企业知识基础质量的促进效应明显,随着企业在供应链网络中关系规模的增加,其所接触的异质性知识和市场信息越发丰富,自身知识基础质量越高。同时,根据列(2),变量 *Quality* 在 1% 的置信水平下显著。因此上述两个回归系数相乘得到的交乘项为正且显著。故知识基础质量在中心度与绿色技术创新绩效二者间发挥着显著的中介机制,即“中心度→知识基础质量→绿色技术创新”的中介机制成立。根据基准回归结果,在转折点左侧部分,中心度与绿色技术创新呈现为正向关系,故该项中介路径表现为显著的部分中介效应;转折点右侧部分,中心度与绿色技术创新呈现为负向关系,与交乘项符号相反,故中介路径表现为显著的遮掩效应。根据列(3),结构洞指标对上市企业知识基础质量的回归系数为负且显著;根据列(4),知识基础质量对绿色技术创新绩效的回归

系数为正且显著。那么“结构洞→知识基础质量→绿色技术创新”的中介机制也显著成立,由于上述两个系数交乘项为负向,而基准回归结果中的结构洞指标回归系数为负值,符号相同,故知识基础质量在二者关系中表现为显著的部分中介效应。综上,假说3和假说4得证。

表 15 知识基础质量的中介效应检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Quality</i>	<i>GI</i>	<i>Quality</i>	<i>GI</i>
<i>Deg</i>	9.973** (2.550)	3.566*** (3.460)		
<i>Deg</i> ²		-1.354*** (-6.120)		
<i>STH</i>			-17.952*** (-3.800)	-2.325* (-1.850)
<i>Quality</i>		0.010*** (23.800)		0.010*** (23.780)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256
R ²	0.162	0.308	0.130	0.315

2. 知识吸收能力的中介机制

参考冯启良等(2025)关于知识吸收能力的测度思路,计算公式见式(9)。其中, *Absorb* 为知识吸收能力, *RD* 表示企业研发投入规模。选择知识吸收能力作为中介变量情形下的回归结果见表16。

$$Absorb = \frac{RD_{it} + 0.85RD_{it-1} + 0.70RD_{it-2} + 0.55RD_{it-3} + 0.40RD_{it-4}}{\text{总资产}} \quad (9)$$

根据表16列(1),上市企业在供应链网络中的中心度对企业知识吸收能力的影响为负且在10%水平下显著。根据列(2),变量 *Absorb* 回归系数在5%的置信水平下为显著正向。因此,上述两个回归系数相乘得到的交乘项为负且显著。故知识吸收能力在中心度与绿色技术创新绩效之间发挥着显著中介作用,即“中心度→知识吸收能力→绿色技术创新”的中介路径存在。在转折点左侧,中心度正向促进绿色技术创新,而此时知识吸收能力的中介路径表现为显著的遮掩效应(间接路径为负,与总效应方向相反);在转折点右侧,中心度负向抑制绿色技术创新,此时该中介路径表现为显著的中介效应(间接路径为负,与总效应方向一致)。根据列(3),结构洞指标对上市企业知识吸收能力的回归系数在10%的水平下显著为正。根据

列(4),知识吸收能力对绿色技术创新的回归系数在5%的置信水平下显著为正。那么“结构洞→知识吸收能力→绿色技术创新”的中介机制显著成立,遮掩效应显著。综上,假说5和假说6得证。

表 16 知识吸收能力的中介效应检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Absorb</i>	<i>GI</i>	<i>Absorb</i>	<i>GI</i>
<i>Deg</i>	-0.002* (-1.760)	2.589*** (4.160)		
<i>Deg</i> ²		-1.560*** (-6.600)		
<i>STH</i>			0.003* (1.820)	-4.225*** (-3.150)
<i>Absorb</i>		26.746** (1.980)		29.594** (2.180)
控制变量	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256
R ²	0.221	0.140	0.222	0.145

(二)地区环境规制水平的调节效应

考虑到绿色技术创新成果的双重外部性特点,在缺乏外部约束或者激励情形下,一些上市企业会倾向于维持非绿色导向的创新研发模式。因此,只有在完善的制度环境条件下,才能充分激发上市企业开展绿色技术创新活动。为了检验该猜想,本文选取上市企业所在地区的环境规制强度作为调节变量,并设置核心解释变量与环境规制强度的交乘项,构建如下所示的调节效应模型进行实证检验。其中,环境规制强度(*ER*)的测度借鉴邵帅等(2024)的研究思路,以政府工作报告中的环保词频比重测度。

$$GI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Deg_{it} + \alpha_2 Deg_{it}^2 + \theta_1 ER_{it} + \theta_2 ER_{it} \times Deg_{it} + \gamma X_{it} + \delta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

$$GI_{it} = \beta_0 + \beta_1 STH_{it} + \lambda_1 ER_{it} + \lambda_2 ER_{it} \times STH_{it} + \beta_2 X_{it} + \theta_i + \varphi_t + v_{it} \quad (11)$$

加入调节变量后的模型回归结果见表 17,根据列(1)结果,中心度与环境规制强度的交乘项系数为负且显著。严格的地区环境规制能够显著调节上市企业供应链网络嵌入位置变化在绿色技术创新绩效方面的作用。由于中心度指标与绿色技术创新绩效二者间存在倒U型关系,因此地区环境规制因素仅在U型曲线的拐点右侧发挥强化作用,拐点左侧则相反。根据列(2),结构洞指标与环境规制强度的交乘项系数显著为正,与 *STH* 的回归系数相反。严格的地区环境规制水平能够显著弱化上市企业结构洞造成的抑制效果。

表 17

地区环境规制水平的调节效应检验

变量	(1)	(2)
<i>Deg</i>	7.505*** (6.070)	
<i>Deg</i> ²	-1.622*** (-6.670)	
<i>STH</i>		-4.713*** (-3.060)
<i>ER</i>	221.603 (0.970)	234.612 (1.020)
<i>ER</i> × <i>Deg</i>	-6.775*** (-2.630)	
<i>ER</i> × <i>STH</i>		11.579*** (2.570)
控制变量	是	是
企业固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	4256	4256
R ²	0.144	0.148

(三)综合经济后果分析

本研究参考黄宏斌等(2025)思路,检验网络嵌入的驱动效应是否能够产生显著的经济后果。将综合经济后果检验分解为两个维度:首先是绿色发展后果维度,网络嵌入带来的驱动效应为解释变量,上市企业二氧化碳排放量作为被解释变量,验证供应链网络嵌入位置变动的绿色技术创新效应是否能够引起上市企业绿色发展水平的显著变动;其次是企业经济效益维度,拟选取托宾 Q 指标表征上市企业的成长性,利用营业收入指标表征上市企业的短期盈利能力。回归模型见式(12)。

$$Y_{it} = \gamma_0 + \beta_1 X_{it} + \phi_i + \lambda_t + \psi_{it} \quad (12)$$

其中, X 为供应链网络嵌入的绿色技术创新效应,采用基准回归中被解释变量的估计系数与其对应的解释变量的交乘项表征; Y 表示被解释变量,即分别选取二氧化碳排放量、托宾 Q 值和营业总收入。回归结果见表 18, $Deg-GI$ 表示中心度变动的绿色技术创新效应, $STH-GI$ 表示结构洞位置变动引起的绿色技术创新效应。

经济后果检验表明,绿色技术创新对二氧化碳排放的影响在 1%水平上显著为正,即绿色技术创新水平越高的企业,碳排放反而增加。这一看似悖论的结果可能源于反弹效应,当企业通过绿色技术创新降低了单位产品的能耗和成本后,可能选择扩大生产规模以获取更多利润,从而部分甚至完全抵消单位产出的减排效果。而对长期成长性的影响为负但不显著,说明在缺乏完善的环境规制和市场化工具的条件下,企业难以将环境效益充分转化为经济效益。对短期盈利的影响显著为正,表明绿色创新有助于扩大市场份额或提升产品竞争力,从

而提高企业的短期盈利能力。综上可知,通过政策引导企业偏向源头减碳与清洁工艺,同时加强针对性的技术指导,是未来实现供应链整体减排的重要潜力方向。

表 18 综合经济后果检验

变量	企业绿色发展		企业经济效益			
	二氧化碳排放量		长期成长性:托宾Q值		短期盈利能力:营业收入规模	
<i>Deg-GI</i>	1.919*** (4.360)		-0.002 (-0.500)		5.976*** (7.190)	
<i>STH-GI</i>		1.045 (1.120)		-0.005 (-0.530)		6.153*** (3.470)
控制变量	是	是	是	是	是	是
企业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	4256	4256	4256	4256	4256	4256
R ²	0.263	0.267	0.328	0.328	0.270	0.328

六、结论与政策建议

通过供应链网络获得的关系资本禀赋是影响企业绿色技术创新活动成果的重要因素。本文从关系嵌入和结构嵌入视角出发,实证检验上市企业供应链网络嵌入位置的变动驱动绿色技术创新绩效变化的效应特征,得到的主要研究结论如下:

首先,上市企业在供应链网络中的中心度与绿色技术创新呈现显著的倒U型驱动效应,并存在1.459的“最优”阈值,网络关系资本具有非线性效应。在此基础上,进一步发现企业占据结构洞位置对绿色技术创新存在显著抑制作用,供应链网络中的结构洞优势未能有效转化为绿色创新绩效,反而对其形成约束,从供应链网络情境拓展了关系资本作用机制的研究。其次,知识基础质量与知识吸收能力是供应链网络嵌入影响绿色技术创新的重要中介机制。具体来看,中心度通过提升知识基础质量、抑制知识吸收能力间接影响绿色技术创新绩效,而结构洞则通过降低知识基础质量、增强知识吸收能力间接影响绿色技术创新绩效,揭示了供应链网络嵌入通过双路径间接影响绿色技术创新的内在机制。再次,供应链网络嵌入的影响存在显著异质性。在制造业企业、非重污染企业、东部地区以及非国有企业中,其对绿色技术创新的影响更为显著;而在非制造业、重污染行业、中西部地区及国有企业中,影响相对较弱,尚未成为关键驱动因素。最后,环境规制在上述关系中发挥重要调节作用。经济后果检验表明,绿色技术创新尚未发挥显著减碳效果,未能显著促进企业价值提升,经济效应转化仍存在约束。

基于本文的研究结论,得到如下政策启示:

第一,优化上市企业在供应链网络中的嵌入位置,强化对绿色技术创新的赋能效应。研究表明,中心度与绿色技术创新呈现显著倒U型关系,而结构洞位置对绿色技术创新具有抑制作用,说明网络嵌入并非单纯“越多越优”。基于此,上市企业在拓展网络连接的同时,更加

注重关系结构优化与关键节点选择,避免因过度嵌入导致的信息冗余、协同成本上升及创新效率下降。对于处于供应链网络核心位置的企业,应在发挥其资源整合与信息获取优势的同时,强化对高质量绿色知识与创新资源的筛选与吸收能力,防范过度嵌入带来的路径依赖与锁定效应。对于占据结构洞位置的企业,则应着力提升对非冗余信息的整合与持续利用能力,避免信息碎片化对技术积累的干扰,将结构优势转化为稳定的绿色技术创新产出。此外,可通过支持龙头企业牵头构建供应链协同创新平台或联合研发机制,推动上下游之间的信息共享与技术协同,促进网络嵌入优势向绿色技术创新绩效的有效转化。

第二,完善知识基础质量与吸收能力双路径传导机制,提升供应链网络嵌入的创新转化效应。研究发现,上市企业对知识资源的整合与吸收能力在供应链网络位置对绿色技术创新的影响中发挥中介作用。一方面,可通过支持上市企业参与行业技术标准制定、绿色技术数据库共建和联合研发项目,推动核心绿色技术与共性创新知识在供应链内部的稳定积累,优化上市企业知识基础结构;另一方面,通过技术对接服务、产学研协同平台 and 专业化技术咨询机制,降低企业获取、理解与吸收外部绿色技术知识的制度性成本,提升其对异质性知识资源的吸收与整合能力,实现从供应链嵌入位置优势向长期绿色技术创新动力的转化。

第三,强化差异化政策设计与环境规制协同,提升政策的针对性与有效性。研究发现,供应链网络嵌入对绿色技术创新绩效的影响在不同行业属性、污染程度和地区之间存在显著差异,且地区环境规制水平在其中发挥重要的调节作用。基于此,应避免对上市企业采取“一刀切”的政策安排,根据上市企业的异质性特征实施差异化政策设计。对于制造业、非重污染行业及东部地区上市企业,应着力防范网络连接过度扩张带来的协调成本上升与创新效率下降风险。引导企业聚焦关键技术环节和核心合作对象,提升网络嵌入质量。对于非制造业、重污染行业及中西部地区上市企业,应结合更为严格且稳定的环境规制安排,重点改善其参与高质量供应链协作的程度,通过跨区域、跨行业的技术对接与协同项目,增强其在关键技术节点上的嵌入程度,从而为绿色技术创新创造必要的外部知识与合作基础。差异化政策设计应围绕企业面临的实际创新约束,在政策环境与网络嵌入位置之间形成有效匹配,发挥供应链网络对不同企业绿色技术创新的异质性作用。

本研究未来可从两个方面进一步拓展。第一是引入特定行业变量,即探讨特定制造企业类型情形下,例如重污染企业或者先进制造类企业等为样本的研究结论,即特定行业样本情形下的网络嵌入的绿色技术创新效应研究。第二是拓展网络嵌入特征维度,将社会网络特征测度成果引入供应链网络关系赋能创新效应研究领域,在探讨关系嵌入与结构嵌入基础上,分析更为丰富的网络嵌入特征,例如小群体结构等的创新效应。

参考文献:

- [1] 杜勇,黄丹华.“同命相连”:供应链网络中企业数字化转型的同群效应[J].财经科学,2023(03):74-92.

- [2] 冯启良,安琪,方炜. 企业融入全球创新网络对关键核心技术创新的影响研究[J]. 科研管理, 2025, 46(01):155-163.
- [3] 耿勇,向晓建,徐飞. 数字化转型能否打破地理距离约束?——来自企业供应链地理分布的证据[J]. 经济管理, 2024, 46(03):165-185.
- [4] 郭俊杰,方颖,郭晔. 环境规制、短期失败容忍与企业绿色创新——来自绿色信贷政策实践的证据[J]. 经济研究, 2024, 59(03):112-129.
- [5] 黄灿,李善民. 股东关系网络、信息优势与企业绩效[J]. 南开管理评论, 2019, 22(02):75-88, 127.
- [6] 黄宏斌,张娴婧,张玥杨. ESG表现对企业绿色协同创新的影响研究[J]. 统计与信息论坛, 2025, 40(12):88-102.
- [7] 焦文婷,杨相晶,郭嘉琦,等. 标准联盟网络双重嵌入与企业绿色技术创新——基于双碳标准子体系的实证研究[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(07):103-114.
- [8] 阚洪生,李雪,李宇涓. 价值共创视角下网络嵌入对重大工程项目创新绩效的影响机制研究[J]. 工程管理学报, 2025, 39(05):91-97.
- [9] 李炳军,曹斌,周方. 创新生态系统共生、绿色技术创新与低碳经济高质量发展[J]. 统计与决策, 2023, 39(16):48-53.
- [10] 李顺才,邹珊刚,常荔. 知识存量与流量:内涵、特征及其相关性分析[J]. 自然辩证法研究, 2001(04):42-45.
- [11] 李颖,吴彦辰,田祥宇. 企业ESG表现与供应链话语权[J]. 财经研究, 2023, 49(08):153-168.
- [12] 刘亦文,黄璞. 资本市场开放与企业绿色技术创新——基于沪港通交易制度的经验证据[J]. 金融理论与实践, 2024(03):13-21.
- [13] 齐绍洲,林岫,崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新?——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. 经济研究, 2018, 53(12):129-143.
- [14] 单希彦. 数字化转型对企业可持续发展的影响研究——绿色技术创新与绿色管理创新的中介效应[J]. 科技进步与对策, 2026, 43(03):100-109.
- [15] 邵帅,葛力铭,朱佳玲. 人与自然何以和谐共生:地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. 管理世界, 2024, 40(08):119-146.
- [16] 孙慧,杨巨星,周晋楠,等. 绿色技术创新、供应链溢出与企业韧性[J/OL]. 系统工程理论与实践, 2026:1-24[2026-05-03]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20260421.1645.002>.
- [17] 陶长琪,汤琛,徐晔. 产融合作能否促进产业链关联?——来自产融合作试点的准自然实验[J]. 南京财经大学学报, 2025(04):65-75.
- [18] 田涛,蒋伟,佟大建,等. 人工智能技术应用与制造业企业绿色创新——基于企业人力资本禀赋差异的视角[J]. 新疆社会科学, 2026(02):34-47, 190-191.
- [19] 汪凡,汪明峰,张英浩,等. 供应链协同水平空间分异及其对农村电商增长的影响研究[J]. 地理研究, 2026, 45(02):547-560.
- [20] 王慧,高山行,杨张博. 嵌入性悖论:双重网络嵌入对企业技术创新绩效的影响研究[J]. 科技进步与对策, 2026, 43(03):1-10.
- [21] 王今,李均艳,武建龙. 大数据综合试验区对区域科技创新能力的影响——基于多期DID的政策效应评估[J]. 科学学研究, 2026, 44(01):166-177.
- [22] 王娟茹,刘童心. 网络嵌入、资源协奏对颠覆式绿色技术创新的影响[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(16):48-57.
- [23] 王俊秋,巴文浩,柳颖. 供应链共同股东能否促进企业绿色创新?[J/OL]. 系统工程理论与实践, 2025:1-25[2026-01-06]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2267.N.20250915.1017.004>.

-
- [24] 吴伟荣,张敏,李晶晶.名人企业家对绿色创新的影响研究[J/OL].管理学报,2025:1-9[2026-03-25].
<https://link.cnki.net/urlid/42.1725.C.20251222.1535.008>.
- [25] 许学国,雷学,周诗雨,等.风险投资网络对企业绿色技术创新的影响研究[J].科技进步与对策,2026,43(08):96-106.
- [26] 薛春辉,王俊秋,柳颖.供应链网络结构对企业数字化转型的影响[J].经济管理,2025,47(04):23-42.
- [27] 杨冠华.绿色技术创新对企业可持续发展绩效影响机制研究——基于价值网络视角[J].科技进步与对策,2026,43(05):82-91.
- [28] 阳镇,凌鸿程,陈劲.城市绿色发展关注度与企业绿色技术创新[J].世界经济,2024,47(01):211-232.
- [29] 叶冬梅,黄颖,虞逸飞,等.专利知识基础对技术跃迁的影响[J].图书馆论坛,2026,46(03):12-24.
- [30] 于兆吉,赵英姿.供应链金融如何影响企业绿色技术创新?——异质性特征、渠道机制与环境信息披露政策的协同效应评估[J].人文杂志,2024(12):72-83.
- [31] 岳晓旭,张煜,谢其军,等.核心企业知识基础对数字创新生态形成的影响[J/OL].科学学研究,1-20[2026-03-25].
<https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20260107.001>.
- [32] 张慧,石云帆,孟纹羽,等.企业数字化转型对绿色技术创新的影响——基于ESG视角[J].统计与决策,2025,41(15):150-155.
- [33] 张伟,商嘉璇,王韶华.耐心资本赋能高新技术企业突破式绿色创新的组态路径分析——基于资源编排理论[J].商业研究,2026(02):95-104.
- [34] 赵晓阳,衣长军,廖佳.供应链网络位置能否提升企业创新多样性水平?[J].中国管理科学,2023,31(12):340-349.
- [35] 赵又霖,顾陈娅,王嘉杰,等.技术融合机会识别研究:关系嵌入和结构嵌入的综合考量[J].情报学报,2025,44(10):1315-1328.
- [36] 赵泽斌,臧守娟,吴佳明,等.绿色债券发行与企业绿色转型:“真绿”亦或“漂绿”?[J].计量经济学报,2026,6(01):177-201.
- [37] 周礼,余媛.创新网络结构嵌入对突破式创新绩效的影响研究[J].上海管理科学,2025,47(05):50-55.
- [38] Cameron, A. C., P. K. Trivedi. *Microeconometrics: Methods and Applications*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
- [39] Centobelli, P., R. Cerchione, P. Del Vecchio, et al. Blockchain Technology for Bridging Trust, Traceability and Transparency in Circular Supply Chain[J]. *Information & Management*, 2022, 59(7): 103508.
- [40] Chen, A. H., W. B. Zhang. The Effects of Relational Embeddedness and Network Routines on Industry-University Cooperation in Chinese Construction Firms: The Moderating Role of Intermediaries[J]. *Science, Technology and Society*, 2025, 30(2): 343-362.
- [41] Chernozhukov, V., D. Chetverikov, M. Demirer, et al. Double/Debiased Machine Learning for Treatment and Structural Parameters[J]. *The Econometrics Journal*, 2018, 21(1): C1-C68.
- [42] Fan, Y. Z., L. S. Shi. The Role of Government Fiscal Incentives in Green Technological Innovation: A Non-linear Analytical Framework[J]. *International Review of Economics & Finance*, 2025, 103: 104529.
- [43] Granovetter, M. Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness[J]. *American Journal of Sociology*, 1985, 91(3): 481-510.
- [44] Kim, J. W., J. H. Rhee, C. H. Park. How Does Digital Transformation Improve Supply Chain Performance: A Manufacturer's Perspective[J]. *Sustainability*, 2024, 16(7): 1-16.
- [45] Li, N., B. C. Yu, J. L. Wu, et al. Strategic Embeddedness in Supply Chains: Network Position and Corporate M&A Decisions[J]. *Finance Research Letters*, 2025, 86: 108837.

- [46] Mao, Q. L., B. C. Shi. Intelligent Manufacturing and Green Innovation along the Supply Chain[J]. *Economic Modelling*, 2026, 154: 107386.
- [47] Ruiz-Ortega, M. J., P. M. García-Villaverde, G. Parra-Requena. How Structural Embeddedness Leads to Pioneering Orientation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 134(1): 186–198.
- [48] Tian, S. W., X. R. Xu, Y. Yan, et al. Network Variance of Scientific Team and Knowledge Creation: A Network Embeddedness Perspective[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 2025, 50(6): 2697–2724.
- [49] Yu Z., Y. Xiao, J. Li. Firm-Level Perception of Uncertainty and Innovation Activity: Textual Evidence from China's A-share Market[J]. *Pacific-Basin Finance Journal*, 2021, 68: 101555.

Supply Chain Network Embedding and Green Technological Innovation

Zhao Qiaozhi, Li Zihao, Chen Hao

(Department of Economics and Management, North China Electric Power University)

Abstract: Driven by the goals of carbon peaking and carbon neutrality, green technology innovation is deeply embedded in the supply chain networks in which firms participate, representing a crucial shift in corporate technological innovation systems from an “internal circulation” model to a “dual internal-external circulation” model. This study constructs supply chain networks using supplier and customer data of listed companies from 2010 to 2023, employs centrality and structural hole indicators to capture firms’ relational embeddedness and structural embeddedness within these networks, and empirically examines the impact of network embeddedness on green technology innovation and its underlying mechanisms. The results show that for listed companies closer to the center of the supply chain network, the influence of relational embeddedness scale on green technology innovation follows an inverted U-shaped curve while occupying abundant structural hole positions is detrimental to green technology innovation. These conclusions exhibit strong robustness. Mechanism analysis reveals that knowledge absorptive capacity and knowledge base quality play significant mediating roles in these relationships. Heterogeneity analysis indicates that the above effects are more pronounced for listed companies that are in manufacturing, non-heavily polluting, non-state-owned, and located in the eastern region. Economic consequence tests demonstrate that green technology innovation has a positive impact on corporate carbon dioxide emissions and also exerts a significantly positive effect on short-term profitability, although its effect on long-term profitability is relatively weak. This study not only enriches the research on how supply chain network embeddedness empowers corporate green technology innovation systems, but also provides practical implications for optimizing the layout of supply chain networks and invigorating firms’ green technology innovation.

Keywords: Supply Chain Network; Relation Embedding; Structural Embedding; Green Technological Innovation; Conductive Mechanism

JEL Classification: L14, O32

(责任编辑:朱静静)