

企业绿色转型中的自主创新与供应链创新溢出： 理论机制与实证分析

郭沿孜¹，王雨楠²，孙梅^{1,*}，邹鑫³

1. 江苏大学 碳中和发展研究院，镇江 212013；
2. 常州旅游商贸高等职业技术学校，常州 213032；
3. 南京师范大学 金陵女子学院，南京 210097



摘要： 企业绿色转型是应对环境问题和实现可持续发展的关键战略之一。本文考虑了自主创新和供应链创新溢出两种转型策略，探讨其对企业绿色转型的影响。基于内生生产网络模型，本文将上述两种策略纳入统一的理论分析框架，并结合2008—2020年中国上市公司数据，验证了其对企业绿色转型的作用机制。结果表明，自主创新和供应链创新溢出均对企业绿色转型具有显著的正向影响，其中，国有企业由于更多的政策支持和资源优势，表现出更强的促进作用。此外，自主创新在低网络中心性行业中发挥了更为重要的作用，而在高网络中心性行业中，供应链创新溢出对绿色转型的推动作用更大。进一步研究发现，生产投入结构的动态调整对绿色转型具有双重作用：生产投入结构变动能够增强供应链创新溢出的正向效应，同时，也可能削弱企业对自主创新的长期投入，从而降低其对绿色转型的促进作用。这些研究结果强调了合理规划生产投入结构在平衡创新投资与资源配置效率中的重要性，同时为企业制定差异化的绿色转型战略提供了理论支持与实践指导。

关键词： 企业绿色转型；自主创新；供应链创新溢出；内生生产网络模型

中图分类号： F272；X22 **文献标志码：** A **文章编号：** 2097-4981(2025)02-0232-15

DOI： 10.3724/j.issn.2097-4981.JECC-2024-0028

Independent Innovation and Supply Chain Innovation Spillovers in Corporate Green Transformation: Theoretical Mechanisms and Empirical Analysis

GUO Yanzi¹, WANG Yu'nan², SUN Mei^{1,*}, ZOU Xin³

1. Institute of Carbon Neutrality Development, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;
2. Changzhou Technical Institute of Tourism & Commerce, Changzhou 213032, China;
3. Ginling College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

Abstract： Corporate green transformation is a critical strategy for tackling environmental challenges and achieving sustainable development. This study examines two key transformation strategies, independent innovation and supply chain innovation spillovers, within a unified theoretical framework. Utilizing an extended endogenous production network model and leveraging data from Chinese listed companies covering the period from 2008 to 2020, this study examines the mechanisms and effects of these strategies on corporate green transformation. The findings indicate that independent innovation and supply chain innovation spillovers significantly enhance

收稿日期： 2024-12-09；**接受日期：** 2025-02-13

基金项目： 国家自然科学基金重点专项（72243005）

作者简介： 郭沿孜（1995—），女，博士研究生，研究方向为系统工程，能源经济与管理。E-mail: guoyz@stmail.ujs.edu.cn

通讯作者： 孙梅（1964—），女，教授，博士，研究方向为系统工程，能源经济与管理。E-mail: sunm@ujs.edu.cn

corporate green transformation. Notably, state-owned enterprises exhibit stronger effects due to greater policy support and resource advantages. Furthermore, independent innovation plays a more critical role in industries characterized by low network centrality, whereas innovation spillovers within the supply chain are more influential in industries with high network centrality. The study also identifies a dual effect of production input structure adjustments: while these adjustments enhance the positive impact of innovation spillovers in the supply chain, they may simultaneously diminish long-term investment in independent innovation, thereby weakening its contribution to corporate green transformation. These findings highlight the necessity of optimizing production input structures to balance innovation investments and resource allocation efficiency, providing both theoretical insights and practical guidance for enterprises pursuing differentiated green transformation strategies.

Key Words: corporate green transformation; independent innovation; supply chain innovation spillovers; endogenous production network model

0 引言

在全球气候变化和资源环境压力加剧的背景下,各国将绿色低碳转型作为可持续发展的核心策略^[1]。作为全球气候治理的重要参与者,中国致力于通过绿色创新和产业结构升级实现环境保护与经济增长的协调发展^[2-3]。在该背景下,企业作为经济活动的微观主体,是推动绿色转型的关键力量^[4]。通过绿色技术开发、生产流程优化和资源利用效率提升,企业不仅能降低污染物排放,还能增强市场竞争力^[5-6]。

然而,企业绿色转型面临诸多挑战^[7]。一方面,绿色技术研发成本高、周期长,企业面临资金周转和技术研发的不确定性,特别是创新能力较弱的企业难以独自承担转型风险^[8]。另一方面,企业绿色转型不仅依赖于自身的绿色创新,还需要通过供应链协作以实现资源和技术的共享^[9]。因此,如何通过结合自主创新与供应链协作的内外部协同机制,构建高效的绿色转型路径,成为亟待解决的关键问题。

自主创新通过内部绿色技术的开发与应用,为企业绿色转型提供内生动力^[10-11]。而供应链协作通过创新溢出效应,为企业提供外部支持,以较低成本获取先进技术与管理经验,弥补内部绿色创新资源不足,加速绿色转型进程^[12-14]。现有文献在绿色创新和供应链创新溢出的研究中已取得重要进展,但也存在以下不足需要进一步探讨:第一,大多数研究聚焦于宏观层面的绿色创新影响评估,如省份、城市或行业层面的绿色创新效率和绿色发展水平^[15-17]。相比之下,企业层面的绿色创新活动以及其在推动企业绿色转型中的实际作用评估仍然较少。第二,现有

研究多集中于单一行业的绿色转型^[18-21],较少关注跨行业供应链网络的关联效应。由于绿色转型通常是内外部因素共同作用的结果,现有研究对自主创新与供应链协作的协同作用系统分析仍然不足,可能导致其对绿色创新传播路径和协同创新作用的理解片面化,从而低估供应链协作在绿色转型中的关键作用。

近年来,生产网络模型逐渐成为分析企业生产关系与经济行为的重要工具。例如,Gualdi和Mandel^[22]利用生产网络框架,分析了技术变革对宏观经济动态的短期影响以及其长期演变对竞争与创新的作用机制。Acemoglu和Azar^[23]构建了内生生产网络模型,探讨了不同投入组合与扭曲如何影响行业成本与价格,并揭示技术进步和扭曲减少如何通过生产网络传播,降低全行业生产成本。刘维刚^[24]进一步利用生产网络模型分析了生产投入结构变动对企业创新的影响及其作用机制。在绿色转型背景下,生产网络中的生产投入结构变动具有重要意义。一方面,企业在生产过程中会动态调整投入结构,例如更换供应商或增加绿色中间产品投入,以应对环境政策压力或技术变革;另一方面,这种投入结构的变化不仅可能增强绿色创新溢出效应,还可能因资源配置分散而削弱自主创新对企业绿色转型的推动作用。然而,现有文献鲜有结合生产网络框架研究生产投入结构变动对企业自主创新和供应链创新溢出的影响。

基于上述分析,本文旨在解决以下问题:在生产网络框架下,自主创新与供应链创新溢出如何协同推动企业绿色转型?生产投入结构变动在这一协同机制中如何发挥作用?因此,本文从理论与实证两个层面展开研究。首先,构建了绿色发展背景下

的内生生产网络模型，在模型中考虑了企业自主创新与供应链创新溢出两种绿色转型策略，在理论层面探讨了上述策略对企业绿色转型的影响。其次，基于2008—2020年中国A股上市公司数据，验证理论假说，并进一步考察企业所有制、行业网络位置和环境规制强度等异质性因素对绿色转型的影响。最后，本文基于生产投入结构的动态变化视角，分析了生产投入结构变动对企业自主创新与供应链创新溢出的影响，为企业在实践中优化绿色转型策略提供了理论依据。

本文可能的边际贡献如下：第一，扩展了内生生产网络模型的理论框架。本文在现有内生生产网络模型^[23]的基础上，将企业自主创新与供应链创新溢出纳入统一分析框架，系统探讨二者在推动企业绿色转型过程中的协同作用。相较于以往仅从单一因素视角出发的研究，本文的模型设计更加贴近实际生产网络中企业内外部协作的动态关系，为理解绿色创新在企业与供应链之间的扩散机制提供了新的理论工具。第二，现有研究较少关注生产投入结构动态变化对企业内外部创新协同机制的具体影响。因此，本文创新性地引入动态视角，分析了生产投入结构变动对企业自主创新与供应链创新溢出的影响机制。研究揭示了生产投入结构变动的双重影响，即生产投入结构变动能够显著放大供应链创新溢出的正向效应，同时可能对自主创新产生一定程度的抑制作用。这一新发现深化了对资源配置动态变化与绿色转型关系的理解，为复杂生产环境下的企业绿色转型策略提供了新的实践启示。

本文结构安排如下：第一部分为理论分析与研究假说；第二部分介绍实证研究设计与数据来源；第三部分呈现实证结果及其分析；第四部分结合生产投入结构的动态变化，进一步探讨其对企业自主创新与供应链创新溢出的影响；第五部分为讨论；第六部分总结研究结论并提出针对性的政策建议。

1 理论分析与研究假说

1.1 理论机制分析

1.1.1 企业自主创新与供应链创新溢出的协同机制

企业绿色转型是指企业从传统生产模式转向资

源节约和绿色低碳的生产模式，反映了企业通过绿色技术开发、生产流程优化和资源配置调整，实现经济增长与环境保护双重目标的动态过程^[10,20]。这种转变受到气候变化目标^[25]、环境规制^[26-27]和公众监督^[28]等外部因素的推动。

基于资源基础理论，自主创新是企业通过内部技术研发与资源整合，实现环境友好型生产的重要手段。首先，企业通过自主创新改进生产流程和技术，提高资源利用效率，降低单位产出的污染物排放量，从而提升绿色生产效率^[28]。其次，绿色技术的应用直接减少污染物排放，降低企业因环境税或其他环境监管所承担的经济成本^[29]。最终，自主创新帮助企业提升市场竞争力，通过开发绿色产品、降低运营成本，占领绿色市场份额^[12]。

进一步地，技术扩散理论表明，供应链创新溢出通过上下游企业之间的协作与创新扩散，为企业绿色转型提供了重要的外部支持^[30-31]。供应链中绿色转型水平较高的企业通过创新扩散效应提升供应链整体的绿色生产能力，弥补单个企业在绿色创新方面的不足^[9]。此外，供应链协作降低了绿色技术的研发和应用成本，缓解了企业转型的经济压力^[32]。以上发现表明企业绿色转型的实现不仅依赖于自主创新，更需要整个供应链的创新资源共享^[33-34]。

自主创新作为企业绿色转型的内生动力，不仅通过内部绿色技术的研发和应用直接推动自身转型，还为供应链中的上下游企业提供了绿色创新扩散的源头，从而强化绿色创新在供应链中的溢出效应。同时，供应链创新溢出为企业提供了重要的外部支持，尤其是对于技术能力较弱的企业，通过吸收供应链中的绿色技术和管理经验，可以弥补自身创新资源的不足，提升绿色转型的效率与效果。因此，企业绿色转型需要自主创新与供应链创新溢出协同作用。通过这种内外部协同机制，企业能够更好地应对绿色转型过程中面临的资源与技术约束，从而在竞争日益激烈的市场中占据可持续发展的优势。

1.1.2 生产投入结构变动的的影响机制

在生产网络中，企业的生产投入结构决定了其与供应链上下游企业的协作程度。生产投入结构变动不仅影响企业资源配置效率，还对绿色创新溢出的传播和吸收产生重要影响^[35]。一方面，企业自主

创新对绿色转型的推动作用依赖于企业内部的资源积累、技术能力和市场整合能力。若资源配置不合理或技术积累不足，创新成果难以转化为实际生产力^[36]。另一方面，生产投入结构变动可能增加资源配置的不确定性，削弱企业对自主创新的长期投入，影响创新成果的转化和应用，进而抑制其对绿色转型的推动作用。此外，生产投入结构变动为企业引入外部绿色创新资源创造了机会，通过优化供应商选择，企业能够更有效地吸收和应用供应链中的绿色创新溢出效应^[37]。基于此，本文提出以下假说：

假说1：自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型具有显著的正向影响。

假说2：生产投入结构变动会削弱自主创新对企业绿色转型的正向影响，同时促进供应链创新溢出对企业绿色转型的正向影响。

1.2 数学模型构建

基于理论机制分析，本文构建了内生生产网络模型，旨在量化自主创新和供应链创新溢出对企业

$$Y_{t,i} = [1 - E(Z_{t,i})] \frac{A(R_{t,i})A(S_{t,i})}{\beta_i^{\beta_i} (1 - \sum_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij} - \beta_i)^{1 - \sum_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij} - \beta_i} \prod_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij}^{\alpha_{ij}}} R_{t,i}^{\beta_i} L_{t,i}^{1 - \sum_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij} - \beta_i} \prod_{j \in S_{t,i}} (m_{t,ij})^{\alpha_{ij}} \quad (1)$$

其中， $Y_{t,i}$ 表示 t 时刻部门 i 考虑污染物排放的实际产出。 $Z_{t,i}$ 表示 t 时刻部门 i 的污染物排放量。 $E(Z_{t,i})$ 表示由于环境污染造成的经济损失，反映了生产活动中内化的环境污染成本，以评估污染对生产的影响。 $R_{t,i}$ 表示 t 时刻部门 i 的绿色创新投资。 $A(R_{t,i})$ 表示部门 i 的绿色生产力，体现了企业自主创新水平。 $S_{t,i}$ 表示供应商集合，即生产所需中间产品投入集合。 $A(S_{t,i})$ 表示供应商的技术溢出水平，包含了不同生产投入结构配置对生产效率和环境影响双重效应。 $L_{t,i}$ 表示 t 时刻部门 i 的劳动投入。 $X_{t,i}$ 表示 t 时刻部门 i 的中间产品投入，满足 $X_{t,i} = \prod_{j \in S_{t,i}} m_{t,ij}^{\alpha_{ij}}$ ， $m_{t,ij}$ 表示部门 i 对部门 j 的中间投入产品的需求， α_{ij} 表示部门 j 的中间产品投入对部门 i 的产出弹性，满足 $\sum_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij} = 1$ 。 β_i 和 $1 - \sum_{j \in S_{t,i}} \alpha_{ij} - \beta_i$ 分别表示绿色创新投资和劳动的产出弹性。

绿色转型的影响。借鉴Acemoglu和Azar^[23]的研究，模型引入绿色生产力变量，以量化企业的绿色创新水平。该变量旨在反映企业在绿色创新领域的内部研发能力与技术提升水平，从而突出自主创新在推动绿色转型过程中的核心作用。同时，通过供应商技术溢出变量，刻画了供应链创新溢出的外部效应。进一步地，模型通过均衡解分析了生产投入结构变动对企业自主创新与供应链创新溢出的影响，深化了绿色转型过程的动态机制研究。

此外，该模型包含3个主要部门：生产部门、政府部门和家庭部门。首先，生产部门负责生产活动，其生产决策受到绿色创新水平和资源配置的双重影响。其次，政府部门主要通过环境税和绿色补贴调节企业行为。最后，家庭部门不仅消费生产部门的产品，还为其提供劳动力，从而形成生产与消费之间的闭环。

1.2.1 生产部门

本文设定 t 时刻部门 i 的产出为Cobb-Douglas生产函数形式，如式（1）所示：

为刻画经济体中的环境状态，本文借鉴Wan等^[38]的研究，将 t 时刻部门 i 的污染物排放量 $Z_{t,i}$ 表示为式（2）：

$$Z_{t,i} = \frac{\sum_{j \in S_{t,i}} \omega_j m_{t,ij}}{A(R_{t,i})A(S_{t,i})} \quad (2)$$

其中， ω_j 表示每单位中间产品的污染强度。 $A(R_{t,i})$ 反映了生产部门通过绿色技术研发对排放的直接削弱作用。 $A(S_{t,i})$ 反映了供应链协作带来的技术溢出效应对生产部门污染排放的削弱作用，即通过技术共享或清洁产品采购减少污染物排放。

该部分的相关假设如下：

假设1：生产函数在每个时间段上都是严格拟凹的，关于 $(R_{t,i}, L_{t,i}, X_{t,i})$ 的规模报酬不变，并且对于 $A(S_{t,i})$ 、 $A(R_{t,i})$ 、 $L_{t,i}$ 、 $R_{t,i}$ 和 $X_{t,i}$ 是递增和连续的。

假设2：劳动是必不可少的生产要素。

假设3：对每个部门 i ， $A_{t,i}(\emptyset) > 0$ 。

假设4: $\frac{\partial A(R_{t,i})}{\partial R_{t,i}} > 0$; $\frac{\partial Z_{t,i}}{\partial A(R_{t,i})} < 0$; $\frac{\partial E(Z_{t,i})}{\partial Z_{t,i}} > 0$ 。

这意味着生产部门的绿色创新投资越多,绿色生产力的提升越大。污染物排放量随着绿色生产力的提升而减少,并且污染物排放量越高,由于环境污染造成的经济损失越多。

1.2.2 政府部门

本文考虑了政府在环境保护和推动企业绿色转型中的干预作用。除对生产部门征收常规的增值税和企业所得税外,政府还引入了环境税,主要用于反映企业在绿色转型过程中面临的外部政策压力和激励^[29]。政府部门所征收的所有税收的税率之和为 $\mu_{t,i}(\mu_{t,i} \geq 0)$,且税收以从价税的方式征收。政府征收的税款中,一部分通过多种途径返还给家庭部门,用于促进消费^[23]。

此外,为减轻生产部门在进行绿色创新过程中面临的成本负担和投资风险,政府还采取了补贴措施,以支持生产部门的绿色转型。因此, $\tau_{t,i}(\tau_{t,i} > 0)$ 表示政府提供的绿色转型补贴。该补贴的资金来源于对家庭部门征收的税款^[24]。

1.2.3 家庭部门

假设家庭部门 t 时刻的效用函数为 $U_t = U_t(C_{t,1}, \dots, C_{t,N_t})$,预算约束表示为式(3):

$$\sum_{i=1}^{N_t} P_{t,i} C_{t,i} \leq WL_{t,i} + \sum_{i=1}^{N_t} \lambda_{t,i} \frac{\mu_{t,i}}{1 + \mu_{t,i}} P_{t,i} Y_{t,i} - D_t \quad (3)$$

其中, $P_{t,i}$ 表示 t 时刻产品 i 的价格。 $C_{t,i}$ 表示 t 时刻产品 i 的消费量。 W 表示劳动工资。 $\lambda_{t,i}$ 表示政府税收的返还比例。 $\sum_{i=1}^{N_t} \lambda_{t,i} \frac{\mu_{t,i}}{1 + \mu_{t,i}} P_{t,i} Y_{t,i}$ 表示政府返还给家庭部门用于消费的资金。 D_t 表示家庭部门缴纳的税收。

$$\begin{aligned} & K_{t,i}(S'_{t,i}, A(S'_{t,i}), R'_{t,i}, A(R'_{t,i}), P_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) - K_{t,i}(S_{t,i}, A(S_{t,i}), R_{t,i}, A(R_{t,i}), P_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) \leq 0 \\ & \Rightarrow K_{t,i}(S'_{t,i}, A(S'_{t,i}), R'_{t,i}, A(R'_{t,i}), P'_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) - K_{t,i}(S_{t,i}, A(S_{t,i}), R_{t,i}, A(R_{t,i}), P'_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) \leq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

根据Acemoglu和Azar^[23]研究中的定理5可知,如果自主创新冲击 $R_{t,i} \rightarrow R'_{t,i}$,则均衡状态下生产投入结构 $S_{t,i} \rightarrow S'_{t,i} \supseteq S_{t,i}$ 。这意味着企业自主创新的推动

值得注意的是,家庭部门的消费偏好并不能直接影响生产投入结构^[24]。

该部分的相关假设如下:

假设5:家庭部门的效用函数连续、可导、递增且严格拟凹,所有商品都是正常商品。此外,代表性家庭拥有单位劳动禀赋,供给无弹性,劳动报酬表示为 $W = 1$ 。

1.2.4 均衡分析

(1) 均衡解

根据生产部门的一阶条件求解得到的单位成本如式(4)所示,具体的求解步骤见附录1^①。

$$K_{t,i} = \frac{(1 - \tau_{t,i})^{\beta_i} \prod_{j \in S_{t,i}} P_{t,i,j}^{\alpha_{ij}}}{[1 - E(Z_{t,i})]A(R_{t,i})A(S_{t,i})} \quad (4)$$

根据式(4)可知, $\frac{\partial K_{t,i}^*}{\partial \tau_{t,i}} < 0$, $\frac{\partial K_{t,i}^*}{\partial A(R_{t,i})} < 0$,

$\frac{\partial K_{t,i}^*}{\partial A(S_{t,i})} < 0$, $\frac{\partial K_{t,i}^*}{\partial P_{t,j}} > 0$, $\frac{\partial K_{t,i}^*}{\partial E(Z_{t,i})} > 0$,其意味着政府补

贴的提升、生产部门绿色生产力的提升和供应商的技术溢出水平提升会降低单位成本,而供应商价格的增加和环境污染成本的增加则会提高单位成本。

借鉴刘维刚^[24]的研究,本文在生产网络内生情景下,采用代表性企业刻画生产部门,分析自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型的影响。

(2) 自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型的影响

假设企业自主创新冲击由 $R_{t,i}$ 变成 $R'_{t,i}$ 是广义的正向绿色冲击,如果满足 $R'_{t,i} \geq R_{t,i}$,以及对所有 i 和价格 P , $K_{t,i}(S_{t,i}, A(S_{t,i}), R_{t,i}, A(R_{t,i}), P_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i})$ 是关于 $S_{t,i}$ 和 $R_{t,i}$ 的拟次模函数。自主创新冲击-价格单交叉条件可表示为式(5):

$$\begin{aligned} & K_{t,i}(S'_{t,i}, A(S'_{t,i}), R'_{t,i}, A(R'_{t,i}), P_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) - K_{t,i}(S_{t,i}, A(S_{t,i}), R_{t,i}, A(R_{t,i}), P_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) \leq 0 \\ & \Rightarrow K_{t,i}(S'_{t,i}, A(S'_{t,i}), R'_{t,i}, A(R'_{t,i}), P'_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) - K_{t,i}(S_{t,i}, A(S_{t,i}), R_{t,i}, A(R_{t,i}), P'_t, \tau_{t,i}, Z_{t,i}) \leq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

会降低产品价格,使更多部门选择这些商品作为中间投入,从而带来更高的边际收益。此外,企业自主创新有助于降低环境污染,减少由此产生的经济

① 因篇幅所限,相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录1。

损失。自主创新带来的创新溢出效应使企业不仅可以通过自身的绿色创新获得经济和环境效益，还能通过供应链上下游企业的绿色创新溢出提升整体的环境效益，从而推动整个供应链的绿色转型。

(3) 生产投入结构变动的影响

根据式(4)可知，中间产品价格 $\prod_{j \in S_{t,i}} P_{t,j}^{\alpha_j}$ 和供应商的技术溢出水平 $A(S_{t,i})$ 存在同向变动的情况。因此，在选择不同供应商组合时，企业需在中间产品的价格与技术溢出水平之间进行权衡。这种权衡将导致企业生产投入结构的调整，从而影响其资源配置与效率。如果企业在绿色转型过程中引入新的绿色技术和中间产品，可能需要承担较高的初期投资成本，从而导致企业减少对自主创新的投入。另一方面，生产投入结构的变动为企业提供了获取外部创新资源的机会，有助于弥补内部绿色创新资源的不足，从而加速绿色转型进程。

2 实证研究与数据说明

2.1 实证模型

基于理论分析，本文拟进一步通过计量分析提供实证证据，揭示自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型的潜在影响。首先为验证假说1，基准模型设定如下：

$$GT_{e,T} = \zeta_0 + \zeta_1 GI_{e,T} + \zeta_2 Spill_{e,T}^i + \zeta_3 H_{e,T} + v_e + \varepsilon_{e,T} \quad (6)$$

根据投入产出表，将样本期划分为3个时期，分别是2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年。在式(6)中， $GT_{e,T}$ 表示T期企业e的绿色转型水平。 $GI_{e,T}$ 为T期企业e的自主创新水平， ζ_1 为其系数。当 $\zeta_1 > 0$ 时，表明自主创新对企业绿色转型有正向影响。 $Spill_{e,T}^i$ 表示T期企业e所在行业i面临的供应链创新溢出。当 $\zeta_2 > 0$ 时，表明供应链创新溢出对企业绿色转型有正向影响。 $H_{e,T}$ 为控制变量向量。 v_e 表示行业固定效应。 ζ_0 为常数项。 $\varepsilon_{e,T}$ 为随机误差项。值得注意的是，模型中没有固定时间效应，这主要是因为，在本文中，绿色创新和绿色转型指标的构建与时间维度上的政策变化和宏观环境变化相关，这些

变化对于所有企业来说都是同质的，因此引入时间固定效应会吸收掉这些时间维度上的特征，从而导致模型无法估计关键变量的影响^[39]。

假说2探讨了生产投入结构变动对企业自主创新和供应链创新溢出的影响，将在后续部分中进一步分析。

2.2 数据说明

2.2.1 数据来源

选择2008—2020年中国A股上市企业作为研究对象。为确保研究样本与生产投入结构变动时间点的匹配，依据2007年、2012年、2017年和2020年的中国投入产出表，将研究样本期划分为3个阶段：2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年。企业绿色转型数据主要来自上市公司年报、上市公司社会责任报告、上市公司网站信息。绿色专利数据基于国家知识产权局专利数据库，并结合世界知识产权组织(World Intellectual Property Organization)发布的国际专利分析绿色清单工具进行分类处理，以确保数据的准确性和规范性。企业层面其他数据主要来自国泰安和万得数据库，投入产出表数据来源于中国国家统计局官网。其他数据来自对应年份的《中国生态环境统计年报》、《中国统计年鉴》和相关政府文件。在数据筛选过程中，剔除了变量值缺失或为0的样本，以及金融行业、ST、*ST和PT类样本。最终，通过数据匹配得到2736条有效观测值。

2.2.2 变量构建

为全面检验本文提出的理论假说，构造了多个变量以反映企业绿色转型及其影响因素。其中，企业绿色转型水平作为被解释变量，衡量企业在资源节约与减少污染物排放方面的综合表现。自主创新水平和供应链创新溢出作为核心解释变量，分别反映企业通过内部绿色创新和外部供应链协作推动绿色转型的两种路径，与假说1的研究内容紧密相关。生产投入结构变动变量，用于分析企业资源配置动态变化如何影响自主创新和供应链创新溢出的效果，对应假说2的作用机制。因此，具体的变量构建如下：

(1) 企业绿色转型

绿色转型是上市企业的重要发展目标，其相关信息通常通过年报进行披露。利用上市公司年报中

的文本信息对企业绿色转型水平进行量化^[40-41]，参考严兵等^[42]的研究，确定了与绿色转型相关的113个关键词。通过统计年报中以上关键词的出现频次，并对频次加1后取自然对数，构建反映企业绿色转型水平的绿色转型指数。为进一步匹配研究样本期，本文将企业在各研究时期内的年度绿色转型指数取均值，得到不同时期（2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年）企业的绿色转型水平（*GT*）。

（2）企业自主创新

绿色专利是衡量企业在绿色转型过程中推动绿色创新的重要体现^[43]。本文中“自主创新”指专注于企业内部的绿色创新活动，区别于外部供应链创新溢出效应。因此，本文首先将绿色专利数据与样本企业进行匹配，整合得到企业每年的绿色专利授权量。其次，参考刘维刚^[24]的研究方法，本文将每个研究期内各年度的企业绿色专利授权量进行加总，并对加总后的值加1取自然对数，从而得到不同时期（2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年）企业的自主创新指数（*GI*）。

（3）供应链创新溢出

在生产网络中，不同行业之间不仅在产品供应链上相互依存，还在技术扩散和信息流动方面保持着紧密联系。因此，本文基于静态和动态双重视角，探讨供应链中绿色创新溢出效应，以全面评估供应链在推动企业绿色转型过程中的作用。首先，静态情景下，*T*时期企业*e*所在行业*i*面临的供应链创新溢出（*Spill*）可以表示为式（7）：

$$Spill_{e,T}^i = \sum_{j=1}^n (b_{ij,t} \times \ln I_{j,T}) \quad (7)$$

其中，*t*表示年份，即2012、2017和2020年。利用以上3年的投入产出表计算出相应的直接消耗系数矩阵，*b_{ij,t}*为直接消耗系数，即生产一单位*i*行业产品对*j*行业产品的消耗量。*T*表示2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年3个时期。*I_{j,T}*表示*T*时期行业*j*的绿色创新水平，即行业*j*中上市企业在*T*时期累计的绿色专利授权量。

其次，动态情景下，*T*时期企业*e*所在行业*i*面临

供应链创新溢出变动（ $\Delta Spill$ ）可以表示为式（8）：

$$\Delta Spill_{e,T}^i = \sum_{j=1}^n (\Delta b_{ij,t} \times \ln I_{j,T}) \quad (8)$$

其中， $\Delta b_{ij,t}$ 表示直接消耗系数的变化情况，其值通过计算2007年、2012年、2017年和2020年4个时间点的直接消耗系数矩阵的差值得到。

（4）生产投入结构变动

企业在生产过程中的供应链选择会导致投入产出结构的动态调整，而投入产出表能够直观反映一定时间内行业之间商品和服务的流动关系。因此，本文选取2007年、2012年、2017年和2020年中国投入产出表数据，分别对应2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年3个时间区间，用以刻画不同时期投入产出结构的演变特征。

首先，依据《国民经济产业分类》（GB/T 4754—2017），将原始投入产出表统一调整为42个生产部门，确保分析结果的可比性，具体的生产部门对应关系见附录2^②。其次，本文计算各年度的直接消耗系数矩阵。此外，本文参考刘维刚^[24]的方法，对每个年度直接消耗系数矩阵中排名后10%的值赋值为0，保留显著的部门间投入关系。最后，基于调整后的直接消耗系数矩阵，采用Jaccard距离量化不同时期生产投入结构的变动程度，从而计算出不同时期的生产投入结构变动指数（*CPIS*）。

（5）控制变量

本文选取其他可能影响企业绿色转型的因素作为控制变量，具体包括：资产负债比率（*Lev*）、上市年限（*ListAge*）、资产净利润率（*Roa*）和现金流比率（*Cashflow*）。具体的描述性统计分析见附录3^③。

3 实证结果与分析

3.1 基准回归结果

根据式（6），本文采用逐步回归法检验自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型的影响。表1中，第（1）列仅控制了行业固定效应，第（2）～（5）列则逐步加入了4个控制变量，以评估控制变量

② 因篇幅所限，相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录2。

③ 因篇幅所限，相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录3。

的加入对回归结果的影响。结果表明，自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型均有显著的正向影响 ($\zeta_1 = 0.0335, p < 0.01$; $\zeta_2 = 1.0866, p < 0.01$)，并且在不同控制变量的设置下，这一结论保持稳健。该结果表明，企业自主创新是推动绿色转型的关键因素，同时，供应链创新溢出为目标企业绿色转型提供了重要的外部推动力。

3.2 稳健性检验

3.2.1 更换估计方法

为确保模型回归方法选择不会引入偏差，从而影响结果的可靠性，本文进行了稳健性检验，采用了替代估计方法。鉴于因变量（企业绿色转型）为连续型变量并呈现正态分布特征，本文使用广义线性模型（Generalized Linear Model）对数据进行了进一步分析。结果如表2第（1）列所示，在控制其他变量不变的情况下，自主创新与供应链创新溢出对企业绿色转型显著正相关。这一结果与基准回归的结论一

致，进一步验证了基准回归结果的稳健性。

3.2.2 更换主要变量

通过更换企业自主创新和供应链创新溢出的核心解释变量，进行稳健性检验。首先，在基准回归中，自主创新指标定义为企业在2008—2012年、2013—2017年和2018—2020年3个时间区间内的绿色专利授权量。然而，绿色专利申请和授权总量能够更全面地反映企业在绿色创新中的整体研发活跃度和技术储备。因此，本文将绿色专利总量作为衡量企业自主创新的替代指标。结果如表2第（2）列所示，自主创新与企业绿色转型之间仍显著正相关，且所得结论与基准模型结果一致。

其次，在基准回归中，供应链创新溢出水平以静态情景为基础，重点衡量供应链网络中创新溢出的总体效应。然而，静态情景未能充分反映供应链关系随时间的动态变化对绿色创新溢出的潜在影响。因此，本文在稳健性分析中，将动态情景下的供应链创新溢出作为衡量供应链创新溢出的替代指标。

表1 基准回归结果
Table 1 Baseline regression results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	企业绿色转型	企业绿色转型	企业绿色转型	企业绿色转型	企业绿色转型
自主创新	0.0362*** (0.0074)	0.0378*** (0.0076)	0.0304*** (0.0072)	0.0334*** (0.0072)	0.0335*** (0.0072)
供应链创新溢出	1.2912*** (0.0203)	1.2888*** (0.0205)	1.0918*** (0.0224)	1.0862*** (0.0224)	1.0866*** (0.0224)
资产负债比率	/	-0.0525 (0.0534)	-0.0867* (0.0506)	-0.1596*** (0.0548)	-0.1665*** (0.0546)
上市年限	/	/	0.5082*** (0.0290)	0.5041*** (0.0290)	0.5074*** (0.0289)
资产净利润率	/	/	/	-0.5472*** (0.1582)	-0.8573*** (0.1716)
现金流比率	/	/	/	/	0.6280*** (0.1371)
常数项	-3.2406*** (0.0948)	-3.2056*** (0.1012)	-3.6754*** (0.0996)	-3.5848*** (0.1028)	-3.6133*** (0.1026)
观测值	2736	2736	2736	2736	2736
可调整的 R^2	0.6198	0.6198	0.6585	0.6598	0.6623
控制项	否	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是

注：括号中为标准误。***表示在1%水平下显著，**表示在5%水平下显著，*表示在10%水平下显著。下同。

表2 稳健性检验
Table 2 Robustness test

变量	(1)	(2)	(3)
	企业绿色 转型	企业绿色 转型	企业绿色 转型
自主创新	0.034*** (0.0072)	0.0933*** (0.0088)	/
供应链创新溢出	1.087*** (0.0224)	/	0.3105*** (0.0475)
常数项	-2.924*** (0.1211)	-0.3675*** (0.1051)	-0.4156*** (0.1064)
观测值	2736	2736	2736
AIC	1.219278	/	/
BIC	-20787.65	/	/
可调整的R ²	/	0.3645	0.3482
控制项	是	是	是
行业固定效应	是	是	是

注：控制变量与基准回归一致，下同。

结果如表2第(3)列所示，供应链创新溢出与企业绿色转型显著正相关，所得结论与基准模型结果一致。这表明，无论在静态还是动态情景下，供应链创新溢出对企业绿色转型的正向作用均具有稳健性。

3.3 内生性检验

在基准回归中，尽管被解释变量为企业层面的数据，而核心解释变量“供应链创新溢出”基于行业层面数据，这种层级差异有助于在一定程度上规避内生性问题。然而，另一个核心解释变量“自主创新”可能与企业绿色转型存在内生性问题，具体表现为潜在的双向因果关系或遗漏变量偏差。为解决自主创新变量可能带来的内生性问题，选择省级行政区环境污染治理投资总额的均值作为工具变量。环境治理投资由地方政府根据不同地区的环境需求和政策执行力度决定，体现了地方政府在环保领域的政策差异。环境治理投资通过调整政策导向和资源配置影响企业绿色创新，而非直接作用于企业绿色转型的结果。地方政府的环境治理投资主要通过增强地方企业的绿色创新能力来间接推动绿色转型^[44-45]。

④ 因篇幅所限，相关内容详见本刊网站登载的扩展资料中的附录4。

内生性检验结果如表3所示。首先，拉格朗日乘数检验(Lagrange Multiplier)和Wald F检验验证了模型的有效性，其中LM检验的统计量为42.672，且在1%的水平上通过了显著性检验，表明工具变量与内生变量之间存在显著相关性。Wald F检验的统计量为44.25(>10)，远大于常用的弱工具变量临界值，表明工具变量不存在弱工具问题，从而进一步支持工具变量的有效性。

表3 内生性检验
Table 3 Endogeneity test

变量	第一阶段	第二阶段
	自主创新	企业绿色转型
自主创新	/	0.7978*** (6.47)
工具变量(环境治理投资)	0.0009*** (6.65)	/
Kleibergen-Paap rk LM	/	42.672*** [0.000]
Kleibergen-Paap rk Wald F	/	44.25 {16.38}
观测值	2736	2736
控制项	是	是

注：中括号内数据为p值，花括号内为临界值。

其次，第一阶段回归结果显示，环境治理投资的估计系数为0.0009，且在1%的水平上通过了显著性检验，表明该工具变量能够有效解释内生变量的变化。第二阶段回归结果显示，自主创新的估计系数为0.7978，并在1%的显著性水平下显著为正，说明在控制潜在内生性偏差后，自主创新对企业绿色转型仍然具有显著的正向影响。

3.4 异质性分析

上述研究结果验证了理论假设，证明了自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型具有显著的正向影响。进一步本文从企业所有制、行业网络位置和环境规制强度3个层面，考察了自主创新和供应链创新溢出对企业绿色转型的异质性影响，结果如表4所示。

表4 异质性分析
Table 4 Heterogeneity analysis

变量	企业绿色转型		企业绿色转型		企业绿色转型	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	非国有企业	国有企业	低网络中心性	高网络中心性	弱环境规制	强环境规制
自主创新	0.0274** (0.0130)	0.0365*** (0.0088)	0.0449*** (0.0129)	0.0130* (0.0074)	0.0078 (0.0175)	0.0364*** (0.0080)
供应链创新溢出	1.0548*** (0.0367)	1.0585*** (0.0286)	0.8875*** (0.0353)	1.4317*** (0.0287)	1.0622*** (0.0507)	1.0862*** (0.0248)
常数项	-3.5792*** (0.1620)	-3.7468*** (0.1343)	-2.5926*** (0.1637)	-5.3187*** (0.1322)	-3.4184*** (0.2357)	-3.6177*** (0.1137)
观测值	1015	1721	1336	1400	430	2306
可调整的R ²	0.6699	0.6611	0.5383	0.7777	0.6846	0.6556
控制项	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是	是

3.4.1 企业所有权异质性

本文按照企业所有制属性将样本划分为国有企业和非国有企业，结果如表4第(1)、(2)列所示。其中，国有企业中自主创新对绿色转型的推动作用显著高于非国有企业。这一现象可以从政策支持与资源优势两方面解释。一方面，国有企业因其特殊的所有制属性，更容易获得政府的绿色政策支持，包括财政补贴和税收减免，从而降低其绿色创新的资金压力^[46]。另一方面，国有企业在长期技术积累、融资能力和行业协同网络等资源保障方面具有显著优势，为其绿色创新提供了坚实基础^[47]。此外，国有企业通常受到更严格的环境监管压力，这进一步激励了其绿色创新行为^[48]。

3.4.2 行业网络位置异质性

生产网络中，行业所处的网络位置在很大程度上决定了资源流动和技术扩散的效率。因此，本文基于2012年、2017年和2020年的投入产出表，构建了加权有向网络，并利用Gephi软件计算了每个行业的中介中心性指标^[49]。各行业对应的中介中心性指标见附录4^④。进一步地，为区分行业的网络位置，将中介中心性指标大于3的行业定义为高网络中心性行业。通过这种方式，本文区分了不同行业在生产网络中的位置，从而探讨行业网络位置对企业绿色转型的影响。

对比表4第(3)、(4)列的结果可以发现，自主

创新对低网络中心性行业中的企业绿色转型的促进作用更为明显，而供应链创新溢出在高网络中心性行业中的推动作用更为突出。这种差异可以从行业网络位置的特征及其对资源流动和技术扩散的影响来解释。已有研究表明，空间网络位置对资源流动和技术扩散具有重要影响^[50-51]。在低网络中心性行业中的企业通常处于生产网络的边缘位置，外部供应链协同能力较弱，难以充分利用供应链网络中的绿色创新溢出效应实现绿色转型。因此，这些企业更多依靠自主创新实现自身绿色转型。相反，在高网络中心性行业中的企业处于生产网络的核心地位，与上下游企业联系紧密。从而使这些企业不仅能更容易地获取外部资源，还能更高效地吸收和利用供应链中的绿色创新溢出效应，从而促进自身绿色转型。

3.4.3 外部环境规制强度异质性

由于环境负外部性的存在，企业的绿色转型很大程度上依赖于外部政策的干预。然而，不同地区的环境规制强度差异对企业绿色创新行为有着显著影响。为此，本文依据《大气污染防治重点城市划定方案》(2002年)、《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)及《打赢蓝天保卫战三年行动计划》(2018年)3份政府文件，明确划定了污染防治重点城市的范围。被列为污染防治重点城市的地区通常具有更高的环境规制强度，并且政府在污染治理方面投入的力度相对更大。

根据表4第(5)、(6)列的结果可知,在强环境规制地区,自主创新对企业绿色转型的促进作用更明显,而在弱环境规制地区,自主创新的影响则不显著。该结果表明,在强环境规制条件下,企业面临更高的环保要求和财政激励,同时需要承担由于生产活动产生的环境负外部性所带来的额外成本,这些因素共同促进了企业自主创新的动力。相反,在弱环境规制地区,由于政策约束较少,企业缺乏足够的创新驱动动力,导致企业自主创新对绿色转型的推动作用有限。

此外,无论是在强环境规制还是弱环境规制地区,供应链创新溢出对企业绿色转型的促进作用均表现出显著性。该结果表明,供应链创新溢出能够在一定程度上弥补个别企业在绿色创新上的不足或创新水平较低的问题。因此,即使在弱环境规制条件下,企业仍可通过供应链网络受益于行业中的绿色创新活动。

4 基于生产投入结构变动的进一步分析

本研究进一步分析了生产投入结构变动对企业自主创新与供应链创新溢出的影响,以验证假设2。基准回归主要考察了静态情景下供应链创新溢出对企业绿色转型的影响,识别了生产网络中相对稳定的溢出效应。事实上,在绿色发展背景下,一些突破性绿色技术的快速迭代,以及供应商的频繁技术升级,促使企业对生产投入结构进行调整。如果仅基于静态情景进行分析可能导致研究结论的视角过于单一,难以全面揭示供应链创新溢出在动态变化下的作用机制。

因此,本研究在基准模型基础上引入生产投入结构变动与企业自主创新及其与供应链创新溢出变动的交互项,如式(9)所示:

$$\begin{aligned}
 GT_{e,T} = & \varphi_0 + \varphi_1 GI_{e,T} + \varphi_2 \Delta Spill_{e,T}^i + \\
 & \varphi_3 CPIS_{e,T}^i + \varphi_4 (GI_{e,T} \times CPIS_{e,T}^i) + \\
 & \varphi_5 (\Delta Spill_{e,T}^i \times CPIS_{e,T}^i) + \varphi_h H_{e,T} + v_e + \varepsilon_{e,T}
 \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $\Delta Spill_{e,T}^i$ 表示T期企业e所在行业i面临的供应链创新溢出变动。 $\varphi_2 > 0$ 时,表明供应链创新溢出变动对企业绿色转型有正向影响。 $CPIS_{e,T}^i$ 表示T期企业e

所在行业i的生产投入结构变动。 $GI_{e,T} \times CPIS_{e,T}^i$ 表示企业自主创新与生产投入结构变动的交互项。 $\Delta Spill_{e,T}^i \times CPIS_{e,T}^i$ 表示供应链创新溢出变动与生产投入结构变动的交互项。

基于生产投入结构变动进一步分析(表5)的结果表明,在考虑生产投入结构变动后,自主创新和供应链创新溢出变动对企业绿色转型仍然具有正向影响。企业自主创新和生产投入结构变动交互项的系数显著为负($\varphi_4 = -0.7590, p < 0.01$),表明生产投入结构变动会削弱自主创新对企业绿色转型的正向影响。供应链创新溢出变动和生产投入结构变动交互项的系数显著为正($\varphi_5 = 2.7564, p < 0.05$),表明生产投入结构变动放大了绿色创新溢出的效果,增强了供应链创新溢出变动对企业绿色转型的正向影响。

表5 基于生产投入结构变动的进一步分析结果

Table 5 Further analysis results based on changes in production input structure

变量	企业绿色转型
自主创新	0.0583*** (0.0075)
供应链创新溢出变动	0.1472** (0.0648)
生产投入结构变动	-12.4367*** (0.2920)
生产投入结构变动×自主创新	-0.7590*** (0.1573)
生产投入结构变动×供应链创新溢出变动	2.7564** (1.1211)
常数项	1.8639*** (0.0927)
观测值	2736
可调整的R ²	0.6427
控制项	是
行业固定效应	是

5 讨论

本文探讨了自主创新和供应链创新溢出对企业

绿色转型的影响，揭示了生产投入结构变动对二者作用机制的影响。结果表明，自主创新和供应链创新溢出均能够显著促进企业绿色转型。这一结论与现有研究一致，例如，Wu等^[10]强调自主创新对企业绿色转型的促进作用，而解学梅和韩宇航^[12]、Xu等^[52]和Zhu等^[53]的研究进一步证明了供应链绿色技术扩散在企业绿色发展中的关键作用。

不同于现有研究主要聚焦于省份或区域层面的技术创新及其空间溢出效应^[54-56]，本文从企业微观层面出发，系统分析了企业自主创新与供应链创新溢出的协同机制，为理解企业层面的绿色转型提供了更全面的视角。同时，通过异质性分析，进一步揭示了行业网络位置在资源流动和技术扩散中的差异化作用，丰富了行业网络特征与绿色转型关系的研究。

此外，研究发现，生产投入结构的动态调整在企业绿色转型中具有双重作用。一方面，生产投入结构的调整能够放大供应链创新溢出的正向效应；另一方面，生产投入结构的调整可能削弱自主创新对企业绿色转型的推动作用。这一发现弥补了现有文献中对资源配置动态调整影响的忽视，为理解绿色创新在行业间传播的复杂性提供了新的实践启示。

6 结论与建议

本文从企业自主创新和供应链创新溢出的双重视角出发，深入探讨了内外部因素协同作用对企业绿色转型的影响机制。进一步分析了生产投入结构动态调整对企业自主创新和供应链创新溢出的影响，揭示了生产投入结构变动在绿色转型中的双重作用。主要结论如下：

自主创新对企业绿色转型具有显著的正向推动作用。自主创新水平每提高一个单位，其对企业绿色转型的促进作用系数为0.0335（显著性水平为1%），表明企业内部的自主创新是绿色转型的重要驱动力。其次，供应链创新溢出对企业绿色转型具有显著的正向影响，其系数为1.0866（显著性水平为1%）。这一结果表明，企业通过供应链协作共享创新资源，不仅能够弥补自身绿色创新能力的不足，还能够显著提高整体生产网络的绿色转型效率。

异质性分析结果表明，国有企业在自主创新方

面的表现显著优于非国有企业，这可能是由于其享有更多的政策支持与资源倾斜。而供应链创新溢出在两类企业中的影响强度相似。行业网络位置的异质性也将影响绿色转型，其中低网络中心性行业中的企业更多依赖自主创新，而高网络中心性行业中的企业则更依赖供应链创新溢出。最后，环境规制强度对转型效果有显著影响，强环境规制下，自主创新更能促进绿色转型，而在弱环境规制地区，政策激励不足导致自主创新的效果减弱，但供应链创新溢出在两种环境下均能够有效推动转型。

生产投入结构变动对企业绿色转型具有双重作用。一方面，生产投入结构变动可能导致资源配置的不确定性，削弱企业对自主创新的长期投入，从而降低自主创新对绿色转型的推动效果（交互项系数为-0.7590，显著性水平为1%）。另一方面，生产投入结构变动能够显著增强供应链创新溢出的扩散效应（交互项系数为2.7564，显著性水平为5%）。这一结果揭示了生产投入结构变动在绿色转型中的复杂作用机制：自主创新通常需要长期稳定的资源投入和配置作为支撑，生产投入结构变动可能削弱企业的自主创新能力，进而影响绿色转型的可持续性。然而，对于创新能力较弱的企业，合理调整生产投入结构可以通过提升供应链协作效率，促进绿色创新资源的传播与应用，从而弥补内部创新资源的不足，推动绿色转型进程。

基于上述研究结论，针对企业绿色转型实践及相关政策的制定提出以下3条建议：

1) 增强企业自主创新能力。企业自主创新是推动绿色转型的核心驱动力，特别是在低网络中心性行业，企业需要加大内部绿色技术研发和资源整合力度，提升其绿色创新能力。同时，应鼓励企业与供应链上下游建立绿色合作关系，通过协同创新和技术共享，放大自主创新与供应链创新溢出的叠加效应。针对国有企业，研究表明其在自主创新方面具有显著优势，这得益于更多的政策支持与资源倾斜。因此，政府应进一步加大对国有企业研发资助的力度，引导其在绿色创新过程中发挥示范作用，并带动非国有企业形成联动效应。

2) 推动绿色供应链建设与跨企业协作。供应链协作是推动绿色转型的重要外部动力。政府应搭建

绿色创新平台，鼓励企业与供应链上下游的供应商和客户开展技术合作与知识共享，提升绿色创新在供应链中的扩散水平。同时，应完善绿色供应链标准与认证体系，规范供应商选择的绿色标准，优先支持符合绿色生产要求的供应商。对于高网络中心性行业，研究表明其在供应链创新溢出中具有显著优势，能够更高效地吸收和扩散绿色创新资源。因此，政府应通过经济激励、价格机制等手段，引导更多资源向高网络中心性行业集中，从而增强供应链中的绿色创新溢出效应。此外，在环境规制强度较高的地区，应加强政策激励和监管措施，鼓励供应链中的企业积极开展绿色创新合作，推动整个供应链实现绿色转型。

3) 引导企业进行长期发展规划与合理的生产结构调整。合理规划生产投入结构是实现绿色转型的关键保障。对于选择自主创新路径的企业而言，绿色转型通常需要长期稳定的研发投入和资源配置。因此，企业应制定长期发展规划，合理调整生产投入结构，避免频繁变动导致的资源不确定性，保障绿色创新的可持续性和转型目标的顺利实现。此外，对于创新能力较弱的企业，生产结构的调整可以促进绿色创新资源的传播与应用，从而加速绿色转型进程。政府应重点引导企业在动态资源配置中平衡自主创新与供应链协作的关系，以优化创新资源的配置，全面提升企业绿色转型的效率和效果。

参考文献

- [1] Zou T Y. Technological innovation promotes industrial upgrading: An analytical framework[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2024, 70: 150–167.
- [2] 王海, 郭冠宇, 尹俊雅. 在转型中向“绿”而行: 产业结构调整与企业绿色创新[J]. *数量经济技术经济研究*, 2025, 42(1): 93–115.
- [3] Xie R H, Teo T S H. Green technology innovation, environmental externality, and the cleaner upgrading of industrial structure in China—Considering the moderating effect of environmental regulation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 184: 122020.
- [4] 朱旭峰, 薛佳依, 魏俊杰. “双碳”目标下企业绿色转型和低碳发展的路径研究[J]. *生态文明研究*, 2024, 11(5): 24–36.
- [5] Zhu L, Luo J, Dong Q L, et al. Green technology innovation efficiency of energy-intensive industries in China from the perspective of shared resources: Dynamic change and improvement path[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2021, 170: 120890.
- [6] Chuang S P, Huang S J. The effect of environmental corporate social responsibility on environmental performance and business competitiveness: The mediation of green information technology capital[J]. *Journal of Business Ethics*, 2018, 150: 991–1009.
- [7] 尹作亮. 我国企业技术创新的障碍因素及其对策分析[J]. *经济研究参考*, 2013, (29): 33–35.
- [8] Jiao J L, Zhang X L, Tang Y S. What factors determine the survival of green innovative enterprises in China?—A method based on fsQCA[J]. *Technology in Society*, 2020, 62: 101314.
- [9] Wei L S, Zhu R, Yuan C L. Embracing green innovation via green supply chain learning: The moderating role of green technology turbulence[J]. *Sustainable Development*, 2020, 28(1): 155–168.
- [10] Wu J, Xia Q, Li Z Y. Green innovation and enterprise green total factor productivity at a micro level: A perspective of technical distance[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 344: 131070.
- [11] Peng B H, Zheng C Y, Wei G, et al. The cultivation mechanism of green technology innovation in manufacturing industry: From the perspective of ecological niche[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 252: 119711.
- [12] 解学梅, 韩宇航. 本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”? ——基于注意力基础观的多案例研究[J]. *管理世界*, 2022, 38(3): 76–106.
- [13] 周礼, 金晨晨. 网络嵌入对企业绿色创新的影响与作用机制: 吸收能力的中介作用[J]. *科技进步与对策*, 2021, 38(5): 79–86.
- [14] 李明星, 苏佳璐, 胡成. 产学研合作中企业网络位置与关系强度对技术创新绩效的影响[J]. *科技进步与对策*, 2020, 37(14): 118–124.
- [15] Chen J K, Abbas J, Najam H, et al. Green technological innovation, green finance, and financial development and their role in green total factor productivity: Empirical insights from China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 382: 135131.
- [16] Yuan B L, Xiang Q L. Environmental regulation, industrial innovation and green development of Chinese manufacturing: Based on an extended CDM model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176: 895–908.
- [17] Zhao X, Nakonieczny J, Jabeen F, et al. Does green innovation induce green total factor productivity? Novel findings from Chinese city level data[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 185: 122021.
- [18] Fu H N, Zheng C S, Yang P Y. Digital inclusive finance and green transformation of manufacturing enterprises: Empirical analysis based on the dual perspectives of demand and supply[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2024, 200: 123152.
- [19] Lin B Q, Pan T. The impact of green credit on green transformation of heavily polluting enterprises: Reverse forcing or forward

- pushing?[J]. *Energy Policy*, 2024, 184: 113901.
- [20] Tan X J, Liu G F, Cheng S. How does ESG performance affect green transformation of resource-based enterprises: Evidence from Chinese listed enterprises[J]. *Resources Policy*, 2024, 89: 104559.
- [21] Zhang Y J, Song Y, Zou H. Transformation of pollution control and green development: Evidence from China's chemical industry[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 275: 111246.
- [22] Gualdi S, Mandel A. Endogenous growth in production networks [J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 2019, 29: 91–117.
- [23] Acemoglu D, Azar P D. Endogenous production networks[J]. *Econometrica*, 2020, 88(1): 33–82.
- [24] 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, 57(4): 50–67.
- [25] Wang Y, Guo C H, Chen X J, et al. Carbon peak and carbon neutrality in China: Goals, implementation path and prospects[J]. *China Geology*, 2021, 4(4): 720–746.
- [26] Song M L, Peng L C, Shang Y P, et al. Green technology progress and total factor productivity of resource-based enterprises: A perspective of technical compensation of environmental regulation[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 174: 121276.
- [27] Wu Y T, Hu J, Irfan M, et al. Vertical decentralization, environmental regulation, and enterprise pollution: An evolutionary game analysis[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 349: 119449.
- [28] Hou X J, Kong S N, Xiang R J. Extreme high temperatures and corporate low-carbon actions[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 925: 171704.
- [29] Cui G H. How do environmental taxes affect the environmental investment of high-emission enterprises: Evidence from China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 370: 122629.
- [30] Fan R G, Wang Y T, Chen F Z, et al. How do government policies affect the diffusion of green innovation among peer enterprises?- An evolutionary-game model in complex networks[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 364: 132711.
- [31] Losacker S. 'License to green': Regional patent licensing networks and green technology diffusion in China[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 175: 121336.
- [32] 叶春梅, 吴利华. 环境政策、动态能力与企业绿色转型——广西柳州钢铁集团纵向案例分析[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(10): 1–12.
- [33] Luo S C, Xiong Z Q, Liu J J. How does supply chain digitization affect green innovation? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. *Energy Economics*, 2024, 136: 107745.
- [34] Wang C F, Hu Q Y. Knowledge sharing in supply chain networks: Effects of collaborative innovation activities and capability on innovation performance[J]. *Technovation*, 2020, 94: 102010.
- [35] Zhou H, Zhao S Z. Green supply chain integration on firm's green innovation: The moderating role of resource orchestration capability[J]. *Operations Management Research*, 2024, 17(4): 1380–1396.
- [36] 卢宏宇, 余晓. 知识转化如何影响企业标准化能力——技术能力的中介效应[J]. *中国管理科学*, 2021, 29(12): 215–226.
- [37] Yang Z, Lin Y. The effects of supply chain collaboration on green innovation performance: An interpretive structural modeling analysis[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2020, 23: 1–10.
- [38] Wan B Y, Tian L X, Zhu N P, et al. A new endogenous growth model for green low-carbon behavior and its comprehensive effects[J]. *Applied Energy*, 2018, 230: 1332–1346.
- [39] 马勇, 尹李峰, 吕琳. 货币政策、财政补贴与企业创新[J]. *会计研究*, 2022, (2): 56–69.
- [40] Chen Y Z, Ma X J, Ma X J, et al. Does green transformation trigger green premiums? Evidence from Chinese listed manufacturing firms[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2023, 407: 136858.
- [41] Loughran T, McDonald B. When is a liability not a liability? Textual analysis, dictionaries, and 10-Ks[J]. *The Journal of Finance*, 2011, 66(1): 35–65.
- [42] 严兵, 程敏, 王乃合. ESG绿色溢出、供应链传导与企业绿色创新[J]. *经济研究*, 2024, 59(7): 72–91.
- [43] Liu D S, Chen J K, Zhang N. Political connections and green technology innovations under an environmental regulation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 298: 126778.
- [44] Man H J, Sun Y Y, Wang X Y, et al. Effect of government environmental attention on green transformation: Empirical analysis from a spatiotemporal perspective in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 473: 143595.
- [45] Li H L, Zhu X H, Chen J Y, et al. Environmental regulations, environmental governance efficiency and the green transformation of China's iron and steel enterprises[J]. *Ecological Economics*, 2019, 165: 106397.
- [46] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. *中国工业经济*, 2020, (12): 178–196.
- [47] Wang L, Cheng Z H. Impact of the Belt and Road initiative on enterprise green transformation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 468: 143043.
- [48] 王分棉, 贺佳. 地方政府环境治理压力会“挤出”企业绿色创新吗? [J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(2): 140–150.
- [49] Guo Y Z, Gao C X, Mensah I A, et al. Complex network modeling for energy and carbon emission systems: Current status and prospects[J/OL]. *Energy and Climate Management*, 2024. <https://doi.org/10.26599/ECM.2024.9400004>.
- [50] Dai X, Zhang Y. The space network evolution of green development and its multidimensional network location analysis: Under the Chinese scenario[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 166: 112288.
- [51] 苏佳璐, 马志强, 李明星. 环境规制下长三角城市群技术协同创新网络特征对绿色经济增长的影响[J]. *科技进步与对策*,

- 2024, 41(21): 33–43.
- [52] Xu H J, Zhou Y P, Chen H Y, et al. Green technology diffusion model and simulation considering enterprise technology absorption capacity[J/OL]. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2024: 1–16. <https://doi.org/10.1080/09537325.2024.2369559>.
- [53] Zhu Q H, Tian Y H, Sarkis J. Diffusion of selected green supply chain management practices: An assessment of Chinese enterprises[J]. *Production Planning & Control*, 2012, 23(10–11): 837–850.
- [54] Shang H, Jiang L, Pan X Y, et al. Green technology innovation spillover effect and urban eco-efficiency convergence: Evidence from Chinese cities[J]. *Energy Economics*, 2022, 114: 106307.
- [55] Xiao Y T, Chen J, Wang X L, et al. Regional green development level and its spatial spillover effects: Empirical evidence from Hubei Province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 143: 109312.
- [56] 赵滨元. 数字经济对区域创新绩效及其空间溢出效应的影响[J]. *科技进步与对策*, 2021, 38(14): 37–44.