

产业链网络位置、供应链集中度与企业创新绩效

——来自中国上市企业供应链的证据

向稀*

摘要

本文基于中国上市公司产业链上下游交易数据构建年度产业链网络，采用有向加权网络指标刻画企业在产业链网络中的位置，探究网络位置对企业创新绩效的影响。研究发现：一方面，产业链网络中心性显著促进企业专利产出，处于产业链中心位置的企业更容易获取关键资源、信息与协同创新机会；另一方面，供应链集中度对网络中心性与企业创新之间的关系具有**负向调节**作用，即供应链集中度越高，网络中心性对创新产出的促进作用越弱。此外，在高复杂度的创新中，供应链集中度对网络中心性创新效应的削弱作用更为显著。本文的研究结论对推动产业链协同创新、优化供应链结构以及提升企业创新效率具有一定的政策启示。

关键词：产业链网络；网络中心性；企业创新；链路预测

1 引言

在全球产业链重构与新一轮科技革命背景下，企业创新能力已成为提升产业竞争力、推动高质量发展的关键。传统创新研究多从企业内部研发投入、融资约束、市场竞争以及制度环境等角度解释创新差异 (Schumpeter, 1942; Aghion and Howitt, 1992; Rosenberg, 1994; Czarnitzki et al., 2006)。但企业创新并非孤立发生，而是在复杂的产业分工与供应链协作网络中进行。产业链作为技术扩散、知识溢出与协同创新的现实载体，其结构特征对企业获取关键资源、信息与合作机会具有深远影响。

近年来，网络视角逐渐成为理解企业创新绩效差异的重要分析框架。国外研究指出，企业在创新网络中的位置决定了其信息可达性、资源获取能力以及协同创新潜力。Granovetter (1973) 强调了“弱关系”在信息传播与创新扩散中的关键作用；Burt (1992) 提出结构洞能够为企业带来信息优势与套利机会。随后，大量实证研究利用合作网络、专利引用网络、产业集群网络等方法，分析企业网络位置对创新绩效的影响 (Powell et al., 1996; Ahuja, 2000; Breschi and Lissoni, 2009; Fleming et al., 2007)。研究发现，高中心性、桥梁位置以及结构洞都可能促进企业创新，但其具体作用机制往往依赖于网络类型，并受到行业特征与制度环境的影响。

相较于合作网络与知识网络，产业链网络中的连接通常对应真实的上下游交易关系，因而具有更强的交易基础与现实约束，能够更直接反映企业在供应链中的分工与地位。部分研究关注产业链网络对企业行为的作用，例如基于产业链上下游关系构建网络，分析企业绩效、风险传播与供应链韧性 (Acemoglu et al., 2012; Barrot and Sauvagnat, 2016; Carvalho, 2014; Hidalgo et al., 2007)。在中国产业结构转型的背景下，国内学者也利用供应链网络数据研究企业网络位置对创新绩效的影响。例如，杜雪锋等基于中

*学号：231098288 专业：经济学（拔尖计划）

国制造业 A 股上市公司供应链数据构建网络，发现企业在供应链网络中的位置显著影响创新绩效，并且数字化转型对该关系具有调节作用 (杜雪锋 and 张宇涵, 2022); 赵晓阳等指出，供应链网络中心位置能够提升企业创新多样性，并通过缓解融资约束与增强吸收能力改善创新绩效 (赵晓阳 et al., 2023); 程莉等发现，供应链网络中心性与研发投入及创新产出密切相关，而企业所有权结构在其中发挥显著调节作用 (程莉 and 吴明, 2025)。上述研究从不同角度揭示了供应链网络位置对企业创新行为的作用，但缺乏对网络指标的系统比较及供应链集中度调节效应的综合分析。

在政策层面，《产业基础创新发展目录》《制造业高质量发展规划》等文件明确指出：要提升产业链韧性、增强关键环节自主可控能力，并积极培育具备核心组织协调能力的“链主企业”。在这一政策背景下，中国企业正逐步由单纯“规模扩张”转向“链式升级”和“协同创新”。企业在产业链网络中的位置不仅影响其获取关键技术投入的能力，也决定了其在协同创新中的资源配置的效率。因此，研究产业链网络位置对企业创新绩效的作用，不仅具有理论价值，也具备重要现实意义。

综上，现有研究仍存在两方面不足：一是多数研究将产业链关系简化为上下游虚拟变量或行业层面指标，难以刻画微观企业在真实产业链网络中的结构性差异；二是关于网络位置与创新的研究多集中于合作或知识网络，对以真实交易关系为基础的产业链网络研究仍不充分，且对企业网络位置如何通过资源配置与治理机制影响创新的证据尚不完整。

为填补上述研究空白，本文基于中国上市公司产业链上下游交易数据构建企业层面的有向加权产业链网络，采用以 PageRank 为主的网络指标衡量企业的网络位置，并结合专利与财务数据检验网络位置对创新绩效的影响及其机制。进一步地，本文通过分段 DID 识别供应链集中度变化对网络创新效应的动态影响。最后，本文引入链路预测方法，从网络演化角度补充产业链结构与企业创新的动态解释。

本文的主要贡献包括：第一，从企业微观层面引入产业链网络结构，为解释企业创新绩效差异提供新的视角；第二，发现了供应链集中度对网络中心性与企业创新之间的关系具有负向调节作用，且在发明专利这类高复杂度的创新中更为显著；第三，将链路预测方法引入产业链网络研究，从网络演化角度检验产业链结构的稳定性与经济含义，为产业链治理与企业战略提供补充证据。

2 产业链网络构建与网络指标测度

2.1 产业链网络的构建

本文利用中国上市企业之间的真实上下游交易关系，构建企业层面的产业链网络。具体而言，本文将企业视为网络节点，若企业 i 向企业 j 提供中间品或关键零部件，则在网络中建立一条由 i 指向 j 的有向边。该有向边刻画了企业在生产过程中的投入-产出联系与技术依赖结构，是研究产业链网络位置与企业创新行为的重要基础。

考虑到不同供应关系在企业经营中的重要性不同，本文进一步构建有向加权产业链网络。设 w_{ij} 表示企业 i 向企业 j 的供应强度，定义为企业 i 对企业 j 的交易金额占其对所有下游企业交易金额的比重：

$$w_{ij} = \frac{\text{交易金额}_{ij}}{\sum_k \text{交易金额}_{ik}}. \quad (1)$$

该加权方式能够有效反映企业资源输出的集中程度，同时刻画其对关键下游客户的依赖水平，为精

准度量企业在产业链网络中的相对地位提供基础。

基于上述设定, 本文将产业链网络形式化定义为 $G = (V, E)$, 其中 V 代表企业节点的集合, $E = \{(i, j) : w_{ij} > 0\}$ 代表有向加权边的集合, 仅当企业间存在正向供应关系时构成网络边。

2.2 网络指标的测度

本文认为, 企业在产业链网络中的位置不仅取决于其直接交易关系的数量, 还取决于其直接交易关系在整体网络结构中的相对重要性。即其交易关系的“质量”相比于“数量”更加重要。结合研究目的与实证设计, 本文重点采用 PageRank 指数衡量企业在产业链网络中的中心性地位, 并参考了其他网络指标。

2.2.1 PageRank 指数

PageRank 指数由 Brin 和 Page (1998) 提出, 用于衡量节点在有向网络中的全局重要性。与传统的度中心性不同, PageRank 指数不仅考虑当前节点连接的节点数量, 还考虑其连接对象在网络中的重要程度。因此, 本文认为该指数更适合刻画产业链这种存在复杂的层级依赖关系的真实网络, 并将其作为主要的网络指标加以研究。

在有向加权产业链网络中, 企业 i 的 PageRank 指数定义为:

$$PR_i = \alpha \sum_{j \in M_i} \frac{PR_j \cdot w_{ji}}{\sum_k w_{jk}} + (1 - \alpha) \frac{1}{N}, \quad (2)$$

其中, M_i 表示为企业 i 提供生产投入的上游企业集合, w_{ji} 为上游企业 j 对企业 i 供应关系对应的边权重, N 为网络中企业节点的总数, α 为阻尼系数, 参考现有主流文献设定, 本文取 $\alpha = 0.85$ 。该指标可综合反映企业在整个产业链网络中的全局结构地位与资源传导影响力。

本文在基准回归与交互效应分析中, 均以 PageRank 指数作为衡量企业网络位置的中心解释变量。

2.2.2 其他网络指标

除 PageRank 外, 本文也考虑了其他常用网络指标, 包括度中心性、中介中心性和结构洞指标, 但这些网络度量方式的经济意义各有差异, 未必能得到本文的中心结论。

度中心性能够刻画企业直接连接的上下游交易伙伴数量; 中介中心性能够衡量企业在产业链中作为“中介节点”的程度, 由此可见其经济意义不强, 只能刻画出企业链接关系的数量层面而忽略了其质量。结构洞指标基于 Burt (1992) 的约束指数, 用于刻画企业在非冗余网络关系中的嵌入优势。相关指标的计算方法与既有文献保持一致, 此处不再赘述。

2.3 网络变量的处理与标准化

考虑到网络指标分布通常具有明显偏态特征, 本文对网络变量进行如下处理:

- 对 PageRank 指数、结构洞指数进行 $\ln(1 + PR)$ 变换, 以缓解右偏分布问题;
- 稳健性检验中对中介中心性进行标准化处理, 使其均值为 0、标准差为 1;

上述处理有助于提高回归估计的准确性与稳健性。

3 理论分析与研究命题

3.1 供应链网络位置与企业创新

供应链网络不仅是企业原料、产品分销和资金流动的通道，也是创新知识、市场信息与关键技术扩散的重要载体。处于供应链网络中心位置的企业，通常能够更早、更全面地获取来自上下游的市场信息、技术反馈甚至制度信号，从而在创新决策制定和研发方向选择中占据先发优势。

从网络理论视角来看，网络中心性较高的企业在信息传递路径中具有更强的控制力和可达性，这有助于其整合分散在不同交易伙伴中的异质性知识，并提升知识转化为自身创新成果的潜在可能性。引言中已提到，网络中心性与企业专利产出、技术多样性和创新质量显著正相关。

基于此，本文提出如下命题：

命题 1. 企业在供应链网络中的中心性越高，其创新产出水平越高。

3.2 供应链集中度的调节作用

更高的网络中心性能够为企业带来潜在的创新优势，但该优势能否充分发挥，取决于企业嵌入的供应链结构特征。供应链集中度刻画了企业对少数关键交易伙伴的依赖程度。当供应链高度集中时，企业的交易关系往往更为稳定，且呈现出自我强化的特点。与此同时，这也可能导致信息来源同质化，甚至使企业陷入技术与合作模式的“路径依赖”困境，进而抑制其创新绩效。另一方面，对少数交易伙伴的依赖可能削弱企业在网络中的自主性，使其在创新决策中受到供应链上下游的约束，从而抑制网络中心性优势向创新绩效的有效转化。

因此，即使企业在供应链网络中处于中心位置，其网络优势在高度集中的供应链结构下也可能被削弱。基于上述分析，本文进一步提出：

命题 2. 供应链集中度对网络中心性与企业创新之间的关系具有负向调节作用，即供应链集中度越高，网络中心性对创新产出的促进作用越弱。

3.3 创新类型的异质性

不同类型的创新对知识和信息多样性的依赖程度存在差异。本文认为，发明专利和外观设计通常涉及更复杂的技术组合或更高层次的原创性，其更依赖于跨主体、跨领域的知识整合；而实用新型专利侧重对现有技术的改进与优化，技术复杂度较低，对知识多样性的依赖程度相对有限。

由于供应链集中度对网络优势的削弱效应是通过企业接触到的知识来源的异质性发挥作用的，因此该效应在不同创新类型中可能存在显著差异。

据此，本文提出以下扩展命题：

命题 3. 供应链集中度对网络中心性创新效应的削弱作用，在发明专利这类高复杂度的创新类型中更为显著。

3.4 计量模型

为检验命题 1-3，本文构建以下面板固定效应模型：

$$\ln(\text{Patent}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \text{PageRank}_{it} + \beta_2 \text{SC}_{it} + \beta_3 (\text{PageRank}_{it} \times \text{SC}_{it}) + \mathbf{X}'_{it} \gamma + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $\ln(\text{Patent}_{it})$ 表示企业 i 在年份 t 的专利产出 (取对数), PageRank_{it} 表示供应链网络中心性, SC_{it} 表示供应链集中度, \mathbf{X}_{it} 为控制变量向量 (包括企业规模、杠杆率、ROA、ROE、研发强度等), α_i 为企业固定效应, λ_t 为年份固定效应, ε_{it} 为随机误差项。关键系数 β_3 用于检验供应链集中度对网络中心性创新效应的调节作用: 若 $\beta_3 < 0$ 且显著, 则支持假设 2。

4 实证结果

4.1 主要变量的描述性统计

表 1: 主要变量描述性统计 (专利与网络变量)

| 变量 | N | 均值 | 标准差 | 最小值 | 25%分位数 | 中位数 | 75%分位数 | 最大值 |
|--------------------------------|------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $\ln(\text{Patent})$ | 1712 | 2.9149 | 2.1608 | 0 | 1.0986 | 3.0201 | 4.3307 | 9.4201 |
| $\ln(\text{Invention})$ | 1712 | 1.5610 | 1.6595 | 0 | 0 | 1.3863 | 2.5249 | 8.5174 |
| $\ln(\text{Utility})$ | 1712 | 0.9281 | 1.4356 | 0 | 0 | 0 | 1.7918 | 7.5060 |
| $\ln(\text{Design})$ | 1712 | 0.2174 | 0.7065 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.6525 |
| $\ln(\text{PageRank})$ | 9800 | 0.0016 | 0.0013 | 0.0008 | 0.0010 | 0.0013 | 0.0019 | 0.0383 |
| $\ln(\text{Structural_Hole})$ | 9800 | 0.1502 | 0.2235 | -0.1335 | 0 | 0 | 0.4055 | 0.6592 |
| $z(\text{Betweenness})$ | 9800 | 0.0000 | 1.0000 | -0.1541 | -0.1541 | -0.1541 | -0.1541 | 30.9646 |

表 2: 主要变量描述性统计 (财务变量)

| 变量 | N | 均值 | 标准差 | 最小值 | 25%分位数 | 中位数 | 75%分位数 | 最大值 |
|--------------------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| $\ln(\text{Size})$ | 7515 | 22.4026 | 1.7955 | 0 | 21.1451 | 22.1531 | 23.4439 | 28.7908 |
| Leverage | 7514 | 0.4641 | 0.4546 | 0.0111 | 0.2848 | 0.4550 | 0.6219 | 31.4667 |
| ROA | 7515 | 0.0439 | 0.0891 | -2.2854 | 0.0147 | 0.0416 | 0.0771 | 1.5810 |
| ROE | 7472 | 0.0672 | 0.2532 | -7.2203 | 0.0329 | 0.0823 | 0.1351 | 2.0000 |
| RD_Intensity | 1526 | 6.3358 | 15.4841 | 0.0100 | 2.6900 | 3.9500 | 5.8300 | 455.3900 |

表 1 和表 2 给出了本文主要变量的描述性统计结果。其中企业的专利数据和财务数据均来自于 CSMAR 相关数据库。总体来看, 样本企业专利产出存在显著差异, $\ln(\text{Patent})$ 的均值为 2.91, 标准差为 2.16, 说明企业创新产出表现出明显的异质性。不同专利类型的中位数均为 0, 表明大量企业在某些年份未产出对应类型专利。

网络位置变量方面, $\ln(\text{PageRank})$ 的均值为 0.0016, 标准差为 0.0013, 表明企业在产业链网络中的中心性存在差异; 结构洞指标的均值为 0.150, 标准差为 0.224, 说明企业在网络中的桥梁作用和结构洞优势分布较为分散。

财务控制变量方面, 企业规模 $\ln(\text{Size})$ 的均值为 22.40, 表明样本企业总体规模偏大, 符合 A 股上市公司的整体特征。杠杆率均值为 0.464, 处于合理区间范围内; 资产收益率 (ROA) 与净资产收益率 (ROE) 的均值分别为 0.0439 和 0.0672, 反映出样本企业整体盈利能力较为稳定, 经营状况良好。研发强度的均值为 6.34, 而标准差高达 15.4841, 这一特征说明不同样本企业之间的研发投入水平存在显著异质性, 也印证了研究企业创新产出差异的必要性。

4.2 基准回归结果

表 3: 供应链集中度削弱网络位置对企业创新的影响

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|--------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|
| | $\ln(\text{专利总量})$ | $\ln(\text{发明专利})$ | $\ln(\text{实用新型})$ | $\ln(\text{外观设计})$ | 创新效率 |
| 供应链集中度 | 0.00526 (0.00751) | 0.0140 (0.00917) | 0.00873 (0.00716) | 0.00517 (0.00384) | 0.00778 (0.00750) |
| PageRank | 243.3*** (92.92) | 224.5 (174.2) | 116.4 (87.90) | 115.9* (61.66) | 241.0*** (92.17) |
| 供应链集中度 \times PageRank | -6.853** (2.707) | -9.260* (4.733) | -3.688 (2.379) | -2.746** (1.386) | -7.041** (2.728) |
| 企业规模 (\ln_Size) | 0.217 (0.210) | 0.734*** (0.205) | 0.0649 (0.179) | -0.0220 (0.0697) | 0.332 (0.209) |
| 资产负债率 | 0.705 (0.666) | -0.406 (0.557) | 0.397 (0.588) | 0.0669 (0.217) | 0.612 (0.694) |
| 资产收益率 (ROA) | 0.252 (1.778) | -1.332 (1.765) | -1.053 (1.882) | -0.890 (0.886) | 1.312 (1.746) |
| 净资产收益率 (ROE) | 0.246 (0.532) | -0.611 (0.629) | 0.537 (0.758) | 0.387 (0.317) | 0.238 (0.535) |
| 研发强度 | -0.000479 (0.00406) | 0.00180 (0.00233) | -0.000883 (0.00129) | 0.000433 (0.000582) | |
| 观测值 | 1113 | 1113 | 1113 | 1113 | 1113 |
| 企业固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 年份固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |

注: 括号内为稳健标准误。所有回归均控制企业与年份固定效应。* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

表 3 汇报了剔除 2009 年以前样本后的基准回归结果, 考察供应链集中度是否削弱企业网络位置优势对创新产出的促进作用。被解释变量分别为专利总量 \ln_Patent 、发明专利、实用新型专利、外观设计专利以及创新效率指标 $Innovation_eff$ 。所有回归均控制企业固定效应和年份固定效应, 并采用稳健标准误。

从网络位置变量的回归结果来看, PageRank 指数在多数回归模型中均显著为正, 且在专利总量与创新效率的回归方程中于 1% 水平下显著。这一结果表明, 处于供应链网络中心位置的企业, 能够依托更丰富的信息获取渠道与更高效的资源配置能力, 显著提升自身创新产出绩效与创新效率, 印证了供应链网络作为知识与技术跨主体扩散中心载体的理论预期, 这就证明了前文提出的研究命题 H1。

进一步地, 本文重点关注的交互项 SupplyChainConcentration \times PageRank, 在所有创新产出维度的回归中均呈现出显著的负向系数。该结果表明, 尽管供应链网络中心性本身对企业创新具有正向促进作用, 但当企业供应链结构趋于高度集中时, 其网络位置所蕴含的创新优势将被显著削弱, 从而有力支撑了本文提出的研究命题 H2, 即供应链集中度对二者关系具有负向调节效应。

随着供应链集中度的持续上升, 企业对少数关键交易伙伴的依赖不断加深。这种依赖在一定程度上强化了合作关系的稳定性, 却也同步压缩了企业从网络中获得多样化信息与异质性知识的空间, 进而抑制了网络中心性所带来的创新收益提升。由此可见, 网络位置优势并非在任何供应链结构下都能顺利转化为创新绩效, 其实际效应在很大程度上取决于供应链关系的集中程度。

从不同专利类型的异质性回归结果来看, 上述交互项在发明专利与外观设计专利的回归中均显著为负, 而在实用新型专利回归中, 尽管系数同样为负, 但并未达到统计显著性水平。这一差异进一步揭示, 供应链集中度对网络位置创新优势的削弱效应, 主要体现在高质量创新以及对复杂知识整合依赖程度较高的创新类型之上。发明专利的研发往往涉及跨领域技术组合、多主体知识吸收与深度融合, 而高度集中的供应链结构容易导致知识来源同质化, 从而限制中心企业在高端创新活动中释放其网络优势; 相比之下, 实用新型专利更侧重技术改进, 对多元知识的依赖程度较低, 因此供应链集中度的调节效应并不显著, 这一结果也进一步验证了命题 H3。

4.3 异质性分析

基准回归结果表明, 企业在供应链网络中的中心位置能够显著提升创新产出, 但这一正向作用会随着供应链集中度的提高而明显减弱。为进一步揭示这一调节机制的内在逻辑, 本文依据供应链集中度的样本中位数, 将样本划分为低集中度组与高集中度组, 并通过分样本回归分别估计网络位置对企业创新产出的影响差异, 以更直观地检验调节效应的存在性。分样本回归结果如表 4 所示。

在低供应链集中度组中, PageRank 指数的回归系数在 1% 水平下显著为正, 表明当企业所处的供应链结构较为分散时, 占据中心网络位置的企业能够更充分地依托网络优势, 获取异质性知识与资源, 从而有效推动创新活动的开展与创新绩效的提升。与之形成鲜明对比的是, 在高供应链集中度组中, PageRank 指数的回归系数在 10% 水平下显著转为负值, 这意味着当供应链结构高度集中时, 即便企业处于网络中心位置, 其网络优势也难以转化为创新绩效, 甚至可能因供应链关系固化、创新路径受限以及知识来源单一等问题, 对创新产出产生轻微抑制效应。

上述分样本回归结果与基准回归中供应链集中度与网络位置的负向交互项结论高度一致, 进一步印证了本文的核心观点: 供应链集中度通过削弱网络位置所带来的边际创新收益, 显著制约了企业网络优势向创新绩效的有效转化, 从而为命题 H2 提供了更加充分的实证支撑。

为更清晰地呈现调节效应的变化特征, 图 2 直观展示了供应链集中度对网络中心性创新效应的调节作用趋势。从图中结果可以看出, 在供应链集中度较低的区间内, 网络中心性的提升对企业创新产出具有显著正向驱动作用; 随着供应链集中度逐步上升, 网络中心性对创新产出的边际促进效应呈现明显递减态势, 直至趋近于零甚至转为微弱负向, 说明其难以将网络位置优势有效转化为创新绩效。这一结

表 4: 网络中心性在不同供应链集中度的异质性

| | 基准回归 | 低集中度 | 高集中度 |
|-------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| | (1) | (2) | (3) |
| 供应链集中度 | 0.00526 (0.00751) | | |
| PageRank | 243.3*** (92.92) | 209.9*** (75.18) | -126.8* (73.68) |
| 供应链集中度 × PageRank | -6.853** (2.707) | | |
| 企业规模 (ln_Size) | 0.217 (0.210) | 0.617* (0.326) | -0.328 (0.338) |
| 资产负债率 | 0.705 (0.666) | -0.708 (0.974) | 0.791 (0.916) |
| 资产收益率 (ROA) | 0.252 (1.778) | -2.782 (3.728) | 0.699 (2.509) |
| 净资产收益率 (ROE) | 0.246 (0.532) | 1.120 (1.437) | -0.114 (0.573) |
| 研发强度 | -0.00048 (0.00406) | 0.097* (0.0530) | -0.003 (0.00413) |
| 观测值 | 1113 | 517 | 497 |
| 企业固定效应 | 是 | 是 | 是 |
| 年份固定效应 | 是 | 是 | 是 |

注: 括号内为稳健标准误。集中度按照供应链集中度的样本中位数进行划分。* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

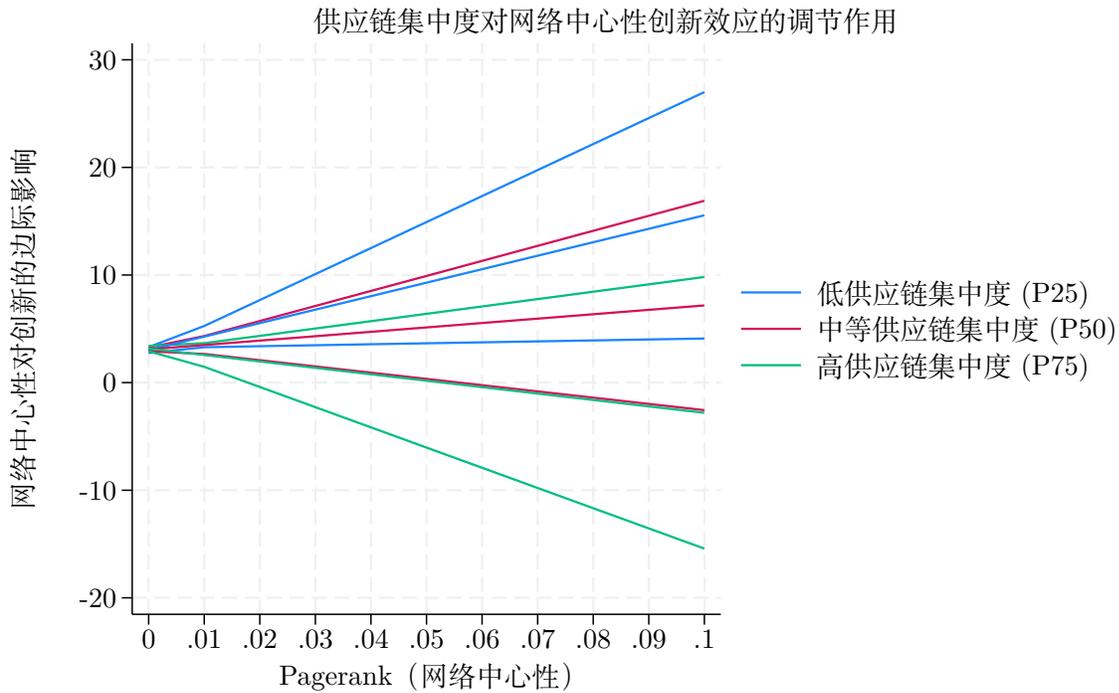


图 2: 供应链集中度对网络中心性创新效应的调节作用

果直观验证了本文提出的调节效应命题，进一步表明供应链结构是影响网络优势发挥的重要因素。

4.4 稳健性检验

为检验基准回归结论的稳健性，本文从固定效应设定、极端值处理以及样本期选择三个方面进行补充分析，相关结果汇总于表 5。

在基准模型已控制企业与年份双向固定效应的基础上，进一步引入行业 \times 年份固定效应，用以更严格地吸收不同行业在特定年份所面临的共性冲击，包括行业政策调整、周期性波动以及技术环境变化等因素。估计结果显示，PageRank 指数对企业创新产出仍然保持显著的正向影响，而供应链集中度与网络中心性的交互项依旧显著为负，表明基准结论并非由特定行业周期或行业层面的结构性差异所驱动，而具有更为普遍的适用性。

为检验回归结果是否受到极端观测值的干扰，本文对模型中涉及的连续变量实施了 1% - 99% 分位数缩尾处理。缩尾后，网络中心性系数及其与供应链集中度的交互项绝对值略微减小，可能是由极端值所致，但在统计显著性和经济含义上均保持稳定，表明基准结论并非由少数极端企业样本所主导。值得注意的是，对回归变量进行缩尾处理一定意味着网络结构的不可预测的改变，而这一改变并没有与某些企业个体的剔除相对应，这有可能会影响估计结果的合理性，但本文忽略了这一问题。

考虑到早期供应链数据的可得性约束以及制度环境尚不成熟等因素，本文进一步将样本期限定在 2013 年及以后。重新估计后，网络中心性对创新产出的正向影响仍然显著，其受供应链集中度抑制的特征亦未发生改变，且相关系数的绝对值有所上升，表明在更为稳定、成熟的制度环境中，这一作用机

制不仅持续存在，而且呈现出更为清晰的强化趋势。

综上，以上多维度稳健性检验一致表明：企业在供应链网络中的中心位置能够显著促进创新产出，但当供应链结构高度集中时，这一网络优势将被系统性削弱。该结果进一步验证了本文关网络位置、供应链结构和企业创新关系的中心结论。

表 5: 稳健性检验：供应链集中度、网络中心性与企业创新

| | (1) 行业 × 年份 FE | (2) 缩尾处理 | (3) 2013 年及以后 |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 中心变量 | | | |
| 供应链集中度 | 0.0070 (0.0077) | 0.0063 (0.0080) | 0.0058 (0.0095) |
| PageRank | 251.6125*** (94.8653) | 235.5838** (105.6600) | 254.0548** (116.6524) |
| 供应链集中度 × PageRank | -7.4291*** (2.7873) | -6.9738** (3.0894) | -7.7898** (3.3488) |
| 控制变量 | | | |
| 企业规模 (ln_Size) | 0.2150 (0.2183) | 0.2078 (0.2110) | 0.2741 (0.2204) |
| 资产负债率 | 0.3120 (0.6582) | 0.7365 (0.6687) | -0.0625 (0.7413) |
| ROA | -0.8223 (1.7676) | -0.1385 (2.1533) | -1.4868 (2.2881) |
| ROE | 0.4117 (0.4815) | 0.6834 (0.8012) | 0.6611 (0.7711) |
| 研发强度 | -0.0007 (0.0041) | 0.0318 (0.0226) | 0.0040 (0.0263) |
| 固定效应 | 企业、年份、行业 | 企业、年份 | 企业、年份 |
| 观测值 | 1,113 | 1,113 | 935 |
| R^2 | 0.8397 | 0.8318 | 0.8345 |

注：被解释变量为 ln_patent。所有回归均采用稳健标准误。* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

4.5 机制检验

为进一步探究上述效应的内在机制，本文构造了创新效率指标：专利产出相对于研发投入的对数差值，并将其作为被解释变量进行回归。结果如表 3 第 (6) 列所示，PageRank 指数对创新效率具有显著正向影响，而其与供应链集中度的交互项显著为负。

该发现表明，供应链集中度并不是通过减小研发投入来抑制创新绩效，而是通过降低网络位置优势

向创新绩效的转化效率，从而削弱企业用同样研发资源获得更多创新绩效的能力。这一结果支持了供应链结构影响网络优势转化效率的机制解释。

4.6 供应链集中度对网络中心性创新效应的动态影响

4.6.1 模型设定

本小节采用分段 DID 模型，考察供应链集中度对网络中心性创新效应的动态影响。模型形式如下：

$$\ln(\text{Patent}_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \text{PageRank}_{it} + \beta_2 \text{SC}_{it} + \beta_3 (\text{PageRank}_{it} \times \text{SC}_{it}) + \gamma_1 \text{Treat}_i \times \text{Mid}_t + \gamma_2 \text{Treat}_i \times \text{Post}_t + \mathbf{X}'_{it} \delta + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中， Treat_i 表示处理组为供应链集中度较高的企业， Mid_t 与 Post_t 分别表示中期和后期虚拟变量，以前期 (Pre) 为基准。 α_i 与 λ_t 分别为企业固定效应和年份固定效应。参数 γ_1 与 γ_2 分别用于衡量中期与后期的平均处理效应。

4.6.2 平行趋势检验

为验证分段 DID 识别策略的中心假设——平行趋势假设，本文采用事件研究法构建如下模型：

$$\ln(\text{Patent}_{it}) = \beta_0 + \sum_{k \neq -1} \theta_k (\text{Treat}_i \times \mathbb{I}\{t = k\}) + \mathbf{X}'_{it} \gamma + \alpha_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中， $\mathbb{I}\{t = k\}$ 表示事件时间虚拟变量， $k = -1$ 为基准期。若处理前的系数 θ_k 在统计上不显著，则说明处理组与对照组在处理前不存在系统性趋势差异，从而满足平行趋势假设。

本小节估计了上述模型，并绘制事件研究系数图 3。结果显示，处理期前的系数整体不显著，从而说明了处理组与对照组在处理前不存在系统性趋势差异，支持了平行趋势假设。

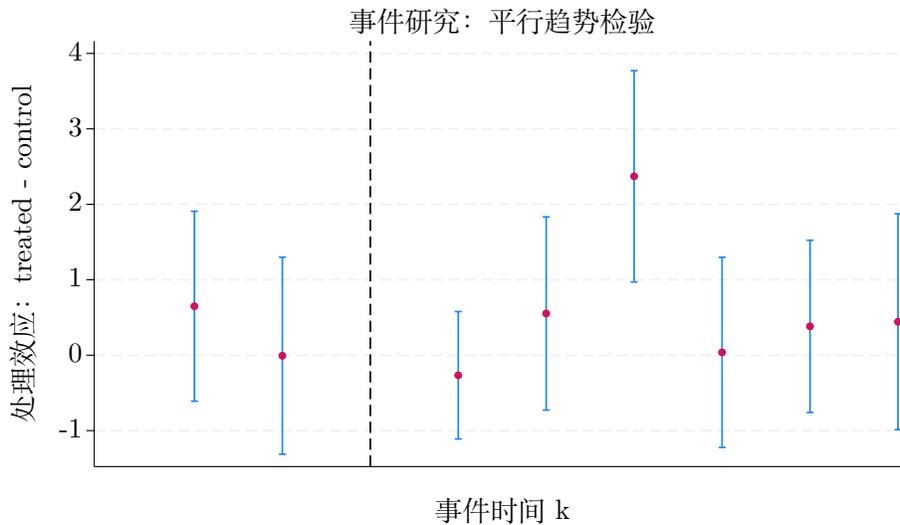


图 3: 平行趋势检验

4.6.3 中期不显著、后期显著的机制解释

分段 DID 的回归结果如表 6 所示。本文发现，分段 DID 的中期交互项系数虽为正但不显著，而后期交互项系数显著为正。结合供应链集中度逐步上升的动态演化过程，这一差异化结果可从以下两方面机制进行解释。

其一，供应链集中度的提升并不是瞬间完成的，而是一个渐进式的演化过程。在中期阶段，企业可能仍处于交易结构调整、合作关系重构的过渡周期，此时网络中心性所带来的信息获取优势尚未完成向创新资源高效配置的转化，创新效应显现尚不充分，导致中期交互项不显著。其二，供应链集中度的提高会逐步强化中心交易伙伴的议价权与资源分配主导权，引发产业链创新收益分配结构的动态调整，这种分配格局的变化在中期会抑制中心企业创新绩效的及时显现，进一步弱化了中期阶段的创新效应。

随着时间推移，产业链治理结构逐步趋于固化，交易依赖关系、契约刚性约束与资源锁定效应进一步凸显，网络中心性所蕴含的协同创新优势与跨主体知识整合能力在后期才得以显著释放或被削弱，因而后期交互项呈现统计显著性。这一结果同时表明，供应链集中度对网络中心性创新效应的影响具有明显的动态累积特征，不能简单以单期平均效应来评判其内在机制的作用效果，需结合时间维度进行分析。

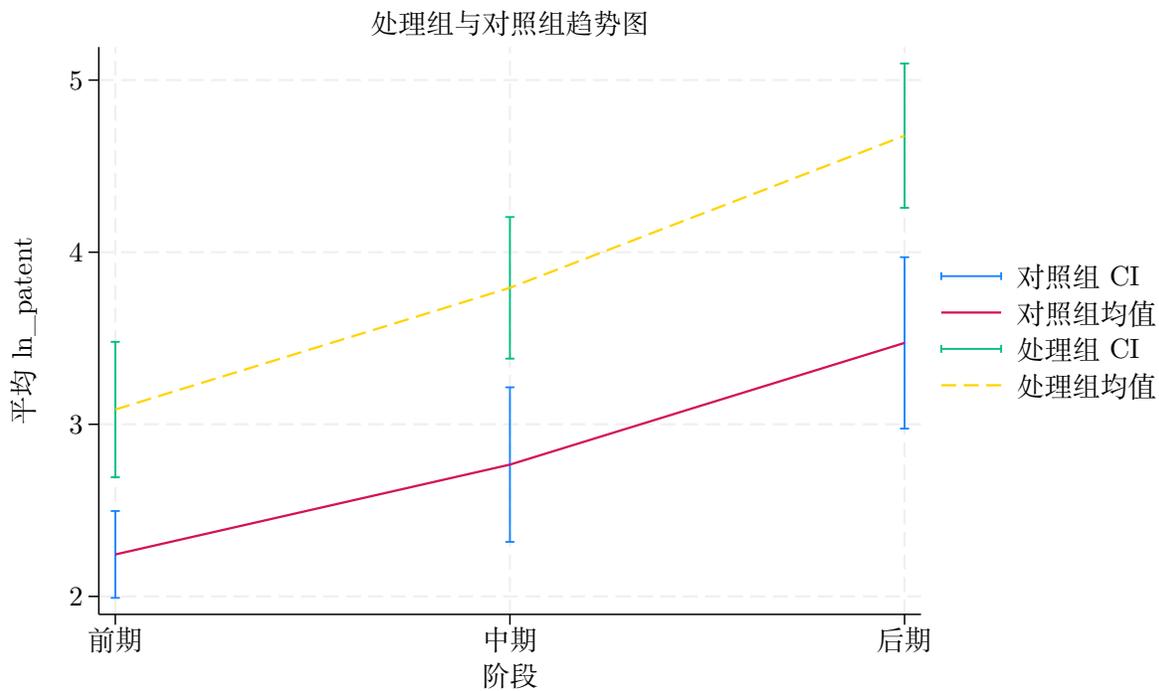


图 4: 处理组与对照组趋势图

表 6: 网络中心性对创新的动态影响

| | (1) 分段 DID | (2) 事件研究法 |
|-------------------------|------------------------|-----------------------|
| 中心变量 | | |
| PageRank | 165.8403 (129.1461) | |
| 供应链集中度 | 0.0101 (0.0112) | |
| 供应链集中度 × PageRank | -4.1714 (4.5096) | |
| 分段 DID 或事件研究法交互项 | | |
| Treat × Mid | 0.5847 (0.3855) | |
| Treat × Post | 1.3091*** (0.4742) | |
| $k = 2$ | | 2.3710*** (0.7146) |
| 控制变量 | | |
| 企业规模 (ln_Size) | 0.5569 (0.3159) | 0.6722 (0.4288) |
| 资产负债率 | 1.6902 (1.2055) | 2.3576 (1.9300) |
| ROA | 4.3870 (3.9789) | 7.6945 (4.2066) |
| ROE | -0.3614 (0.6985) | -0.2957 (0.8594) |
| 研发强度 | 0.0747* (0.0415) | 0.1706*** (0.0391) |
| 回归信息 | | |
| 固定效应 | 企业, 年份 | 企业, 年份 |
| 标准误 | Robust SE | Robust SE |
| 观测数 | 420 | 231 |
| R^2 | 0.8530 | 0.8871 |
| Adj- R^2 | 0.7735 | 0.7956 |

注: 事件研究仅展示显著期。基准期为 $k = -1$ 。* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ 。

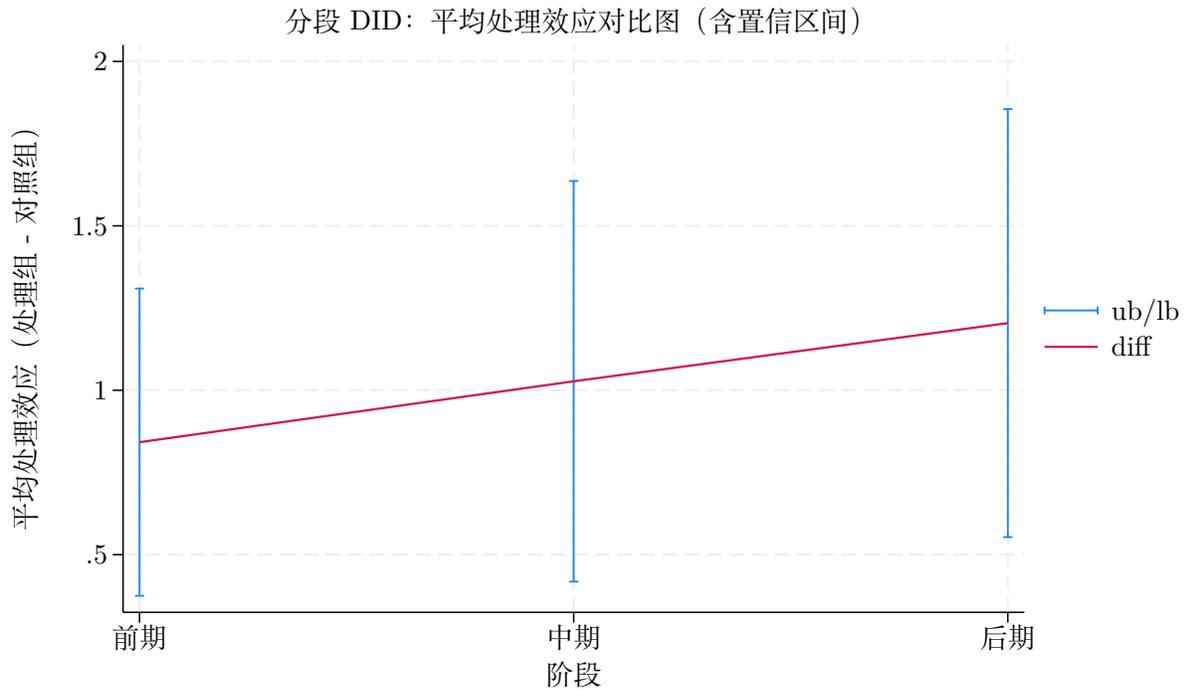


图 5: 分段 DID 的平均处理效应对比图

5 讨论

5.1 供应链集中度削弱网络中心性的创新优势

本文实证结果表明,企业在产业链网络中的中心性能够显著提升其创新绩效,但这一正向效应会随供应链集中度的上升而逐步减弱,甚至在高集中度场景下反转。该发现揭示了网络位置所蕴含的潜在创新效用会受到产业链交易结构与组织约束的制约。本节基于前文理论分析与实证结论展开讨论,进一步阐释二者关系。

从理论上讲,网络中心性之所以能够对企业创新形成持续推动,根源在于其所蕴含的三类结构性优势。处于网络核心的企业,通常连接着更为广泛的上下游主体,由此更容易接触到来源多样、内容异质的信息与技术要素;同时,这类企业往往嵌入资源配置与协同创新的关键节点之中,在不同知识来源之间发挥整合与重组的枢纽作用,从而放大单一信息的创新价值。更为重要的是,相较于网络边缘主体,中心企业通常具备更强的议价能力与更高的战略机动性,在研发方向选择与技术路径布局上拥有更大的自主裁量空间。

5.2 高集中度供应链下失去网络中心性优势

企业能否将网络可达性转化为真实的创新绩效,在很大程度上取决于其所嵌入的供应链交易结构。当供应链集中度处于较高水平时,企业的上下游关系被压缩到少数关键合作方之中,其网络地位由“结构上的中心”转变为“关系上的受限”,网络中心性原本所蕴含的创新潜力也由此被不断侵蚀。

交易关系高度集中，会使企业对核心客户或核心供应商形成持续依赖。这种依附并非仅体现在订单或营收层面，更深层地压缩了企业的战略自主空间——即便其在网络结构中拥有较高的 PageRank 指数，也难以自由配置研发资源或探索多元化技术路径，网络中心性所赋予的选择权优势因此被显著削弱。与此同时，集中化结构往往伴随着更强的关系专用性与更高的契约刚性。围绕中心交易对象展开的定制化生产与专用技术适配，使研发活动更容易滑向渐进式改良而非突破性创新；信息来源虽依旧多元，却难以真正转化为高质量创新成果，企业反而可能被锁定在既有技术轨道之中。

在此基础上，权力不对称格局也随之被进一步放大。即使企业处于网络核心，其创新收益仍可能通过价格安排、交付条件约束或知识产权分配机制被上下游主导主体重新吸收，从而削弱其将网络优势内化为自身创新绩效的能力。

由此可见，供应链集中度并非单一环节上的限制，而是通过对资源配置权、研发方向选择权以及创新收益获取权的多重约束，从结构层面持续压制了网络中心性对企业创新所能产生的正向效应。

6 扩展分析：链路预测视角

为进一步揭示供应链网络结构所蕴含的经济含义，本文引入链路预测 (Link Prediction) 的分析视角，考察网络拓扑特征在多大程度上能够刻画并预示未来供应链关系的生成过程。如果产业链网络确实遵循明显的“富者越富”式中心化演化规律，那么网络中心性就不再只是对既有关系格局的静态描述，而是具有指向未来关系形成方向的解释与预测价值。由此也可从结构演化的层面，为本文关于网络中心性影响企业创新的作用机制提供支撑：网络中心性所反映的，正是企业在产业链体系中更强的资源整合能力与信息获取优势。

6.1 链路预测的样本构造与方法框架

本文将 2007–2018 年的供应链网络作为训练集，利用该时段的网络拓扑信息预测 2019 年及之后新增的边。具体构造如下：

- **正样本**：2019 年及以后首次出现的供应链关系，即 2018 年网络中不存在、2019 年后出现的边。
- **负样本**：从同一时间窗口内随机抽取与正样本数量相同的未连接节点对，保证正负样本比例 1:1。
- **训练图**：仅包含 2007–2018 年的边，作为预测模型的输入。

本文采用多种经典拓扑链路预测方法进行比较，包括**局部相似性指标** (Common Neighbors、Jaccard、Adamic-Adar、Resource Allocation)、**基于度分布的偏好连接** (Preferential Attachment)、以及**全局拓扑方法** (PageRank、Katz 指数)。此外，还引入了**基于嵌入的 Node2Vec 方法**以及**深度学习的 GraphSAGE 和 GCN 方法**，以比较不同模型对供应链关系形成规律的解释力。(Liben-Nowell and Kleinberg, 2007; Lü and Zhou, 2011; Grover and Leskovec, 2016; Hamilton et al., 2017)

6.2 评估指标

为了衡量不同方法的预测能力，本文采用两类常用评估指标：

- **AUC**: 衡量模型对正负样本排序的整体区分能力。
- **Precision@K**: 在预测得分最高的前 K 个候选边中, 真正为新增边的比例, 本文取 $K = 10, 20, 50, 100$ 。

6.3 链路预测结果

表 7: 按方法类别分组的链路预测结果比较

| 方法类别 | 方法 | AUC | P@10 | P@20 | P@50 | P@100 |
|--------|-------------------------|--------|------|------|------|-------|
| 经典拓扑方法 | Preferential Attachment | 0.7264 | 1.00 | 1.00 | 0.94 | 0.89 |
| | PageRank | 0.6704 | 1.00 | 0.95 | 0.76 | 0.77 |
| | Katz | 0.6611 | 1.00 | 1.00 | 0.96 | 0.95 |
| | Resource Allocation | 0.5180 | 0.90 | 0.75 | 0.30 | 0.15 |
| | Adamic-Adar | 0.5180 | 0.90 | 0.75 | 0.30 | 0.15 |
| | Common Neighbors | 0.5180 | 0.90 | 0.75 | 0.30 | 0.15 |
| | Jaccard | 0.5179 | 0.90 | 0.75 | 0.30 | 0.15 |
| 嵌入方法 | Node2Vec | 0.6100 | 0.90 | 0.95 | 0.86 | 0.84 |
| 深度学习方法 | GraphSAGE | 0.6230 | 1.00 | 0.95 | 0.94 | 0.89 |
| | GCN | 0.5885 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.88 |

6.4 结果解释

表 7 显示, 在产业链网络中, **偏好连接模型表现最佳**, 其 AUC 达到 0.7264, Precision@100 也达到 0.89。PageRank 与 Katz 的表现也相对较好, 说明节点重要性与路径传播这类全局网络结构在预测新增关系中具有较强的解释力。相比之下, 基于共同邻居的局部相似性指标 Common Neighbors、Jaccard、Adamic-Adar、Resource Allocation 表现较差, AUC 仅约 0.518, Precision@50、Precision@100 迅速下降, 表明供应链关系的形成并非主要由局部共同邻居驱动, 而更偏向于**中心企业集聚**的宏观机制。

偏好连接规律的存在表明, 产业链网络并非随机演化, 而是呈现出明显的“富者越富”式中心化特征。处于核心位置的企业, 更容易吸引新的上下游合作关系, 其网络中心性也随之不断累积和强化。这一结构特征与主回归中 PageRank 指数对创新产出所呈现的正向影响高度一致: 中心企业不仅在既有关系网络中占据有利地位, 其区位优势还具有持续放大的趋势, 从而为创新活动提供更为稳定、可持续的资源与信息供给。

与此同时, 链路预测结果也为供应链集中度的调节效应提供了更具解释力的结构视角。当产业链关系的形成日益依赖少数核心节点时, 企业的网络中心性将不可避免地向着少数中心主体集聚。随着供应链集中度进一步抬升, 企业的交易关系愈发依附于有限的关键伙伴, 原本由网络中心性带来的信息多样性与合作自主性随之被压缩, 进而削弱其对创新绩效的边际促进作用。这一发现与实证结果中“供应链集中度削弱网络中心性创新效应”的结论形成了相互印证。

由此可见, 链路预测分析从动态演化的角度验证了产业链网络结构的稳定性及其经济含义, 也为本文围绕产业链网络位置、供应链集中度与创新绩效之间关系所构建的分析框架提供了有力的补充证据。

7 结论与政策启示

基于中国上市公司供应链上下游交易数据构建的企业层面产业链网络，结合企业专利与财务数据，本文系统考察了企业在供应链网络中的中心性如何影响创新绩效，并重点分析了供应链集中度在其中发挥的调节作用。通过固定效应回归、异质性分析、稳健性检验以及分段 DID 方法，本文得到如下主要结论。

7.1 主要结论

- 1. 供应链网络中心性对企业创新具有推动作用。**基准回归结果表明，企业在供应链网络中的中心性与其创新绩效之间存在稳健而显著的正向关联。在控制企业与年份固定效应之后，这一关系依然成立：网络中心性不仅显著提升了企业的专利产出规模，也同步改善了创新效率。由此可见，处于产业链关键节点的企业，往往能够依托更高的信息可达性、更灵活的资源配置能力以及更频繁的协同创新互动，将网络区位优势持续转化为技术积累与成果扩散的内生动力。
- 2. 供应链集中度削弱了网络中心性向创新绩效的传导能力。**通过进一步实证分析发现，供应链集中度与网络中心性的交互项在模型中显著为负，表明当企业对少数上下游伙伴形成高度依赖时，其网络中心地位所蕴含的创新增益将被明显稀释。换言之，尽管高度集中的供应链结构有助于降低交易不确定性，却也在无形中压缩了企业接触异质性知识与多元技术路径的空间，进而阻滞了网络位置优势向创新绩效的有效转化。
- 3. 供应链集中度调节效应呈现出异质性和动态性。**分样本回归结果表明，在供应链集中度较低的企业中，网络中心性对创新产出具有稳定而显著的正向推动作用；而在集中度较高的企业中，该效应则明显减弱，甚至转为负向。进一步的分段 DID 结果表明，这种抑制效应并非即时显现：在中期阶段尚不显著，而在后期阶段却逐步强化，显示出明显的时间累积特征。这意味着，供应链集中度对企业创新形成的约束，并非短期冲击，而是一种随时间沉淀、不断加剧的结构性掣肘。
- 4. 供应链集中度主要通过压缩创新转化效率发挥抑制作用。**机制检验结果进一步揭示，供应链集中度的负向影响并未显著改变企业的研发投入水平，而是集中体现在网络优势向创新产出的“转化效率”上。在研发投入规模大体相当条件下，高集中度企业难以将其所处的网络核心位置转化为更多实质性创新成果。这表明，供应链结构对创新绩效的影响重心，并不在于是否投入研发资源，而在于能否高效释放网络位置所蕴含的知识整合与再创新潜力。

7.2 政策启示

基于上述研究结论，可从以下三个方面提出更具针对性的政策导向：

- 1. 以协同创新为牵引，防范供应链结构过度集中。**在推动产业链整合与升级的过程中，政策制定者不应止步于规模扩张与效率提升，更应引导企业构建多元、开放、互补的上下游合作网络，以避免创新资源配置陷入路径锁定与知识来源同质化的困境。亟需通过搭建跨行业、跨区域的产业协作平台，拓展企业外部连接边界，为创新活动持续注入多样化的知识与要素来源。

2. **将网络区位与供应链结构纳入协同考量框架。**产业政策在设计与实施过程中，亟需同步关注企业在产业网络中的位置以及其供应链结构特征，形成“网络区位—结构优化”双重导向的政策逻辑。对于处于网络核心节点的企业，应配套引导其优化供应链布局，弱化对单一交易伙伴的过度依赖，从而提升网络优势向创新绩效转化的效率与稳定性。
3. **以结构优化撬动创新效率提升。**政策层面应推动企业转变单纯依赖规模扩张的增长范式，更加重视通过多元化交易关系与跨网络协同来提升信息流动效率与知识整合能力。尤其亟需引导企业围绕高质量创新目标，系统性重塑供应链结构设计，强化网络优势对发明专利等高端创新产出的驱动作用，进而提升整体创新资源的配置效率与转化水平。

总体而言，本文研究表明，企业在供应链网络中的位置与所处的供应链结构共同决定了创新绩效水平，供应链集中度作为关键的结构约束，深刻影响着网络优势向创新成果的转化效率。本文的研究结论不仅丰富了产业链网络与企业创新关系的实证研究体系，拓展了供应链治理的研究视角，也为政府制定精准有效的产业链创新政策、企业优化供应链布局提供了新的经验证据与决策参考。

参考文献

- Acemoglu, D., Carvalho, V. M., Ozdaglar, A., and Tahbaz-Salehi, A. (2012). The network origins of aggregate fluctuations. *Econometrica*, 80(5):1977–2016.
- Aghion, P. and Howitt, P. (1992). *A Model of Growth through Creative Destruction*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Ahuja, G. (2000). Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study. *Administrative Science Quarterly*, 45(3):425–455.
- Barrot, J.-N. and Sauvagnat, J. (2016). Input specificity and the propagation of idiosyncratic shocks in production networks. *Quarterly Journal of Economics*, 131(3):1543–1592.
- Breschi, S. and Lissoni, F. (2009). Mobility and social networks: Localised knowledge spillovers revisited. *Annals of Regional Science*, 43(3):673–690.
- Carvalho, V. M. (2014). From micro to macro via production networks. *Journal of Economic Perspectives*, 28(4):23–48.
- Czarnitzki, D., Hanel, P., and Rosa, J. (2006). Evaluating the impact of r&d subsidies on innovation: A microeconomic study. *Research Policy*, 35(7):994–1008.
- Fleming, L., Mingo, S., and Chen, D. (2007). Collaborative brokerage, generative creativity, and creative success. *Administrative Science Quarterly*, 52(3):443–475.
- Grover, A. and Leskovec, J. (2016). node2vec: Scalable feature learning for networks. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*, pages 855–864. ACM.
- Hamilton, W. L., Ying, R., and Leskovec, J. (2017). Inductive representation learning on large graphs. In *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*, pages 1024–1034.
- Hidalgo, C. A., Klinger, B., Barabási, A.-L., and Hausmann, R. (2007). The product space conditions the development of nations. *Science*, 317(5837):482–487.
- Liben-Nowell, D. and Kleinberg, J. (2007). The link-prediction problem for social networks. *Journal of the American society for information science and technology*, 58(7):1019–1031.
- Lü, L. and Zhou, T. (2011). Link prediction in complex networks: A survey. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 390(6):1150–1170.
- Powell, W. W., Koput, K. W., and Smith-Doerr, L. (1996). Interorganizational collaboration and the locus of innovation: Networks of learning in biotechnology. *Administrative Science Quarterly*, 41(1):116–145.

Rosenberg, N. (1994). *Exploring the Black Box: Technology, Economics, and History*. Cambridge University Press, Cambridge.

Schumpeter, J. A. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Harper & Brothers, New York.

杜雪锋 and 张宇涵 (2022). 供应链网络位置与企业创新——来自中国制造业企业的经验证据. *管理科学学报*, 25(4):1-22.

程莉 and 吴明 (2025). 股权结构、供应链网络中心性与创新绩效——来自中国的经验证据. *管理世界*, 41(1):112-131.

赵晓阳, 易俊, and 廖金辉 (2023). 供应链网络中心性与创新多样性——来自中国上市公司的经验证据. *中国工业经济*, 2(2):45-63.