

多主体视角下融通创新赋能新质生产力的策略研究

胡 昊

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2025年3月11日; 录用日期: 2025年4月1日; 发布日期: 2025年5月8日

摘 要

融通创新是发展新质生产力的重要途经之一。本文构建龙头企业、中小企业、地方政府的三方演化博弈模型, 进行演化博弈分析。结果表明政府和龙头企业应发挥积极引领作用, 带动中小企业参与融通创新, 二者参与意愿能够很好的带动中小企业参与融通创新。地方政府可以提供成本补贴和处罚来促进龙头企业和中小企业积极参与, 从而可以促进新质生产力的形成。

关键词

融通创新, 新质生产力, 演化博弈

Research on Strategies for Empowering New Substantial Productivity through Integrated Innovation from the Perspective of Multiple Entities

Hao Hu

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Mar. 11th, 2025; accepted: Apr. 1st, 2025; published: May 8th, 2025

Abstract

Integrated and interconnected innovation is one of the important ways to develop new substantial productivity. This paper constructs a tripartite evolutionary game model involving leading enterprises, small and medium-sized enterprises (SMEs), and local governments, and conducts an evolu-

tionary game analysis. The results show that the government and leading enterprises should play an active leading role in driving SMEs to participate in integrated and interconnected innovation. The willingness of the government and leading enterprises to participate can effectively drive SMEs to engage in such innovation. Local governments can provide cost subsidies and impose penalties to encourage leading enterprises and SMEs to actively participate. In this way, it is possible to promote the formation of new substantial productivity.

Keywords

Integrated and Interconnected Innovation, New Substantial Productivity, Evolutionary Game

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球科技创新竞争加剧与经济高质量发展需求的双重驱动下，新质生产力作为以创新为核心驱动力的先进生产力形态，正在重构全球产业链与创新链的格局[1]。其核心特征表现为高科技、高效能、高质量，通过技术突破、要素优化与制度变革推动生产方式升级。然而，新质生产力的发展并非单一主体或技术领域的孤立行为，而是依赖多元主体的协同创新与资源融通。而原有的协同创新范式，却因为上下游企业之间存在较多问题，如信息不对称、供需不匹配等导致出现创新效果不理想等情况[2]。在此背景下，融通创新作为一种跨领域、跨主体、跨要素的协同模式，成为破解创新资源分散、提升创新效能的关键路径[3]。当前，尽管我国在战略性新兴产业(如人工智能、新能源、高端装备制造)等领域取得显著进展，但新质生产力的培育仍面临多重挑战：一方面企业、高校、科研机构等主体间存在信息壁垒，产学研用链条脱节现象突出，导致技术转化效率低下；另一方面传统生产要素(资本、劳动力)与新兴要素(数据、技术)的融合机制尚未完善，制约全要素生产率的提升；最后政策支持体系与市场需求的动态匹配不足，例如知识产权保护、跨境技术合作等领域的制度瓶颈。

在此背景下，多主体融通创新以赋能新质生产力的重要性凸显。现有学术界关于新质生产力的研究较少，尚处于探索阶段。周文等认为要形成新质生产力需通过完善举国体制来形成制度保障[4]。张志鑫等认为将产业链、人才链、教育链、创新链相融合能够对新质生产力提供实践指导[5]。已有研究大多为定性研究，聚焦于宏观角度，缺少立足产业链供应链微观角度分析新质生产力[6]。

因此本文构建演化博弈模型，运用演化博弈理论分析融通创新赋能新质生产力过程中核心主体的策略行为，以其完善融通创新赋能新质生产力的相关理论，为现实政策调控提供一定理论参考。

2. 模型建立

2.1. 参与主体行为利益分析

融通创新赋能新质生产力的过程中涉及到龙头企业、中小企业、地方政府和金融机构等多个利益相关者。演化博弈涉及多个参与者，他们的策略互动会随着时间演变。然而，随着参与者数量的增加，模型的复杂性呈指数级增长，这对计算资源要求很高，在目前的有限算力资源背景下，仅仅有能力对至多四方主体的决策行为进行演化博弈分析，因此结合现实情况，本研究将龙头企业、中小企业和地方政府这三方利益相关主体作为产业链嵌入阶段的演化博弈参与主体。接下来，先对主要参与的三方主体的行

为利益进行分析。

首先，龙头企业是融通创新过程中的主导者，主导组织构建融通创新系统。面对日益复杂的市场形势和国家层面上对融通创新的日趋重视，部分龙头企业选择全面支持融通创新，不仅仅给予中小企业创新要素支持，并且自身还参与创新过程，在此过程中，若政府持积极推动态度，龙头企业会收到来自政府的支持成本补贴，在此基础上若中小企业参与其主导下的融通创新过程，相较于龙头企业仅要素支持而言，中小企业的创新成功概率能够得到一定提升，龙头企业可以获得创新成果转换后的部分收益，并且可以享受创新成果对其原有的正常经营成本降低的溢出收益，还能够抵御国际局势所带来的脱钩断链风险，并且当创新成功后政府还会给予奖励。倘若龙头企业选择仅要素支持融通创新，那么若地方政府对融通创新持积极推动态度，此时龙头企业会受到相应的处罚，同时由于中小企业仅获得要素支持，其创新成功率较低，龙头企业借助其创新成果抵御国际局势所带来的脱钩断链风险的概率也随之降低。因此，对于龙头企业而言，在其发展利益的驱动下，龙头企业希望能够在融通创新中获得高于其付出的收益。

其次，中小企业是创新活动的重要力量、生力军、活跃主体，是融通创新过程的主要参与者。对于嵌入产业链中的中小企业而言，面向龙头企业主导的融通创新活动，部分中小企业选择积极参与融通创新，在此过程中，中小企业创新成功后可以获得创新成果转换的收益，并且若此时政府对融通创新持积极推动态度，还会收到来自政府对创新行为的激励以及对创新成功的奖励。而现实中，面对创新活动的高风险，中小企业也会存在畏惧创新活动失败所要付出的代价，从而选择不参与融通创新，此时若龙头企业对融通创新持积极态度，选择全面支持融通创新，那么中小企业可能会丧失掉产业链中的一些订单。因此对于中小企业而言，期望能够在低风险的情况下参与融通创新，龙头企业能够全面支持提升其创新成功概率，同时政府对融通创新持积极态度，积极推动融通创新，给予中小企业一定的激励。

最后，对于地方政府而言，作为融通创新的政策制定者与区域创新生态的统筹者，其行为逻辑既包含促进区域经济高质量发展的战略诉求，也需平衡财政投入与政策实施效果。当地方政府对融通创新持积极推动态度时，会通过税收优惠、创新奖励、专项补贴等政策工具降低龙头企业和中小企业的合作成本。在此情境下，若龙头企业全面支持融通创新且中小企业积极参与，地方政府不仅能获得产业链韧性提升带来的税收增长，还能因创新集群效应形成区域产业竞争优势，进而吸引更多外部投资。但需承担政策执行成本及创新失败风险，例如财政补贴的沉没成本或企业“政策套利”行为的监管压力。反之，若地方政府对融通创新持消极态度，虽可减少短期财政支出，却可能面临产业链升级滞后、创新要素外流等系统性风险，尤其在当前全球产业链重构背景下，这种策略可能削弱区域经济抗风险能力。因此，地方政府的策略选择本质上是长期利益与短期成本的动态博弈。

2.2. 基本假设

从演化博弈理论的视角来看，参与主体并非具备完全理性，而是具有一定学习能力的有限理性博弈方，在博弈进程中，这些主体会依据对方所做出的行为反馈，以及周边群体的策略选择等诸多因素，对自身所采取的策略进行相应调整，并且，博弈过程往往是在信息不对称的条件下展开的[7]。在此情境中，博弈主体在态度与行为层面的变化，构成了一个动态的博弈过程。基于此，本文提出以下假设内容：

假设 1：在融通创新驱动中小企业专精特新发展过程中，龙头企业、中小企业和地方政府是三个重要的参与主体。同时这三类主体只能在时间成本有限、信息不完全、计算能力受限制等一系列因素影响下，尽可能做出理性的决策，即都可被视作“有限理性单位”。同时龙头企业、中小企业、地方政府这三方主体都具备一定的学习和选择能力，都以自身利益最大化为目标来进行决策。各主体策略集如下，龙头企业的策略集为 $M_b = (\text{全面支持融通创新, 仅提供创新要素支持融通创新})$ ，中小企业的策略集为 $M_s = (\text{参与融通创新, 不参与融通创新})$ ，地方政府的策略集为 $M_g = (\text{积极推动融通创新, 对融通创新行为进行市})$

场放任)。且下文简化为 M_b =(全面支持, 仅要素支持), M_s =(融通创新, 不融通创新), M_g =(积极推动, 市场放任)。

假设 2: 将融通创新三方主体数量标准化设为 1。且龙头企业在 t 时刻选择“全面支持”策略的概率为 x , 反之为 $1-x$; 中小企业在 t 时刻选择“融通创新”策略的概率为 y , 反之为 $1-y$; 地方政府在 t 时刻选择“积极推动”策略的概率为 z , 反之为 $1-z$, 并且满足条件: $0 < x < 1$, $0 < y < 1$ 以及 $0 < z < 1$ 。

假设 3: 龙头企业仅提供要素支持时, 需要付出成本 C_{b1} , 当龙头企业提供全面支持时, 还需在成本 C_{b1} 的基础上额外付出成本 C_{b2} 。同时国际环境波云诡谲, 高筑科技创新地缘壁垒, 核心企业遭遇脱钩断链事件可能性为 η 。当核心企业遭遇脱钩断链事件时的损失系数为 θ 。

假设 4: 面对龙头企业选择仅要素支持和全面支持, 中小企业选择融通创新时所需付出的成本分别为 C_{s1} 和 C_{s2} , 且由于龙头企业技术积累充分 $C_{s2} + C_{b2} < C_{s1}$ 且 $C_{s2} + 1.2C_{b2} = C_{s1}$ 。设置 ρ_1 为龙头企业仅要素支持时中小企业融通创新成果概率, ρ_2 为龙头企业全面支持时中小企业融通创新成功的概率, 且 $\rho_2 > \rho_1$ 。

假设 5: 中小企业选择融通创新时, 创新成功后获得的收益为 R_1 , 此时龙头企业可以借助创新成果抵御脱钩断链事件的风险, 还可以享受到创新成果所带来的溢出收益, 溢出转化收益率为 α , 若龙头企业选择全面支持, 则还可以享受创新成功后获得的收益分配, 收益分配比例为 β 。当龙头企业全面支持时, 若中小企业选择不创新, 会受到来自龙头企业方面的渠道损失 Q 。

2.3. 博弈策略矩阵

根据上述对融通创新驱动中小企业专精特新发展过程中各主体预期收益的相关分析, 可以得出龙头企业, 农户以及地方政府的三个主体的支付矩阵如表 1 所示。

Table 1. Three-party payoff matrix of leading enterprises, small and medium-sized enterprises (SMEs), and local governments
表 1. 龙头企业、中小企业、地方政府三方支付矩阵

博弈策略	龙头企业	中小企业	地方政府
全面支持, 融通创新, 积极推动	$R_{b1} + R_{b2} + \rho_2 \alpha R_{b1} + \rho_2 \beta R_1 + \rho_2 G_1$ $-(1 - \rho_2) \theta \eta R_{b1} - C_{b1} - C_{b2}$	$R_{s1} + R_{s2} + \rho_2 (1 - \beta) R_1$ $+ \rho_2 G_2 - C_{s2}$	$S_1 + \rho_2 S_2 - R_{s2} - R_{b2}$ $-\rho_2 (G_1 + G_2)$
全面支持, 融通创新, 市场放任	$R_{b1} + \rho_2 \alpha R_{b1} + \rho_2 \beta R_1$ $-(1 - \rho_2) \theta \eta R_{b1} - C_{b1} - C_{b2}$	$R_{s1} + \rho_2 (1 - \beta) R_1 - C_{s2}$	0
全面支持, 不融通创新, 积极推动	$R_{b1} + R_{b2} - \theta \eta R_{b1} - C_{b1} - C_{b2}$	$R_{s1} - Q$	$S_1 - R_{b2}$
全面支持, 不融通创新, 市场放任	$R_{b1} - \theta \eta R_{b1} - C_{b1} - C_{b2}$	$R_{s1} - Q$	0
仅要素支持, 融通创新, 积极推动	$R_{b1} + \rho_1 \alpha R_{b1} - (1 - \rho_1) \theta \eta R_{b1}$ $- C_{b1} - F$	$R_{s1} + R_{s2} + \rho_1 R_1 + \rho_1 G_2 - C_{s1}$	$S_1 + F + \rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2$
仅要素支持, 融通创新, 市场放任	$R_{b1} + \rho_1 \alpha R_{b1} - (1 - \rho_1) \theta \eta R_{b1} - C_{b1}$	$R_{s1} + \rho_1 R_1 - C_{s1}$	0
仅要素支持, 不融通创新, 积极推动	$R_{b1} - \theta \eta R_{b1} - C_{b1} - F$	R_{s1}	$S_1 + F$
仅要素支持, 不融通创新, 市场放任	$R_{b1} - \theta \eta R_{b1} - C_{b1}$	R_{s1}	0

3. 策略稳定性分析

3.1. 复制动态方程

根据三方支付矩阵, 龙头企业选择“全面支持”的期望收益为 U_{11} , 龙头企业选择“仅要素支持”的期望收益为 U_{12} , 龙头企业选择“全面支持”和“仅要素支持”的平均期望收益为 $\bar{U}_1$ 。

龙头企业的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(x) &= dx/dt = x(U_{11} - \bar{U}_1) = x(1-x)(U_{11} - U_{12}) \\ &= x(1-x)\{y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}] + z(R_{b2} + F) + yz\rho_2 G_1 - C_{b2}\} \end{aligned}$$

同理中小龙头企业的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(y) &= dy/dt = y(U_{21} - \bar{U}_2) = y(1-y)(U_{21} - U_{22}) \\ &= y(1-y)\{x[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1 R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(R_{s2} + \rho_1 G_2) + xz(\rho_2 - \rho_1)G_2 + \rho_1 R_1 - C_{s1}\} \end{aligned}$$

地方政府的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(z) &= dz/dt = z(U_{31} - \bar{U}_3) = z(1-z)(U_{31} - U_{32}) \\ &= z(1-z)[-x(R_{b2} + F) + y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + xy(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2) + S_1 + F] \end{aligned}$$

3.2. 稳定策略分析

为了实现最大的期望收益, 龙头企业、中小企业和地方政府三方主体会对自身所选择的策略进行不断地调整, 根据微分方程稳定性定理, 若三方博弈主体选择某一策略作为稳定状态, 则其选择策略概率需满足:

$$F(x) = 0, \frac{dF(x)}{dx} < 0; F(y) = 0, \frac{dF(y)}{dy} < 0; F(z) = 0, \frac{dF(z)}{dz} < 0$$

其中:

$$\begin{aligned} dF(x)/dx &= (1-2x)\{y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}] + z(R_{b2} + F) + yz\rho_2 G_1 - C_{b2}\} \\ dF(y)/dy &= (1-2y)\{x[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1 R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(R_{s2} + \rho_1 G_2) + xz(\rho_2 - \rho_1)G_2 + \rho_1 R_1 - C_{s1}\} \\ dF(z)/dz &= (1-2z)[-x(R_{b2} + F) + y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + xy(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2) + S_1 + F] \end{aligned}$$

联立三方主体的复制动态方程, 则构成了龙头企业、中小企业和地方政府的动态演化三维动态模型, 下面对三者的演化稳定策略进行分析。

3.2.1. 龙头企业演化稳定策略分析

龙头企业的复制动态方程为:

$$F(x) = x(1-x)\{y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}] + z(R_{b2} + F) + yz\rho_2 G_1 - C_{b2}\}$$

为便于表达设定:

$$G(z) = \{y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}] + z(R_{b2} + F) + yz\rho_2 G_1 - C_{b2}\}$$

命题 1 若 $C_{b2} < C_{b2}^*$, 则 $x=1$ 恒为稳定演化策略。若 $C_{b2} > C_{b2}^*$, 当 $z=z^*$ 时, 无论 x 为何值, 系统都

将处于稳定状态。当 $z > z^*$ 时, 演化稳定点为 $x=1$, 即龙头企业倾向于“全面支持”策略; 当 $z < z^*$ 时, 演化稳定点为 $x=0$, 即龙头企业倾向于“仅要素支持”策略。

证明 根据微分方程稳定性定理, 龙头企业选择策略处于稳定状态必须满足 $F(x)=0$ 且 $\frac{dF(x)}{dx} < 0$ 。

由于 $R_{b2} + y\rho_2G_1 + F > 0$, 所以 $\frac{dG(z)}{dz} > 0$, 即 $G(z)$ 为关于 z 的增函数。令 $G(z)=0$, 可得

$$z^* = \frac{C_{b2} - y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}]}{R_{b2} + F + y\rho_2G_1}。若$$

$C_{b2} < y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}] = C_{b2}^*$, 则 $z^* < 0$, 当 $z \in [0,1]$ 时, $G(z) > 0$, 此时 $F(x)=0$

且 $\frac{dF(x)}{dx} < 0$, 所以 $x=1$ 为稳定演化策略。若 $C_{b2} > C_{b2}^*$, 则当

$$z = \frac{C_{b2} - y[(\rho_2 - \rho_1)\alpha R_{b1} + \rho_2\beta R_1 + (\rho_2 - \rho_1)\theta\eta R_{b1}]}{R_{b2} + F + y\rho_2G_1} = z^* \text{ 时, } G(z)=0, \text{ 此时 } F(x)=0, \text{ 无论 } x \text{ 为何值, 系}$$

统都将处于稳定状态。当 $z > z^*$ 时, $G(z) > 0$, 此时 $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0, \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$, 所以演化稳定点为 $x=1$;

当 $z < z^*$ 时, $G(z) < 0$, 此时 $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0, \left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0$, 所以演化稳定点为 $x=0$ 。

命题 1 表明: 当龙头企业选择全面支持需要额外支付的成本较低时, 不论中小企业和地方政府采取何种策略, 龙头企业最终都会倾向于选择全面支持策略, 而当需要额外支付的成本较高时, 龙头企业的策略选择与地方政府的选择有关。此时如果地方政府倾向于选择市场放任, 那么龙头企业会因为缺乏地方政府的成本补贴和处罚, 倾向于选择仅要素支持; 如果地方政府倾向于选择积极推动那么会驱动龙头企业选择全面支持策略。可见龙头企业的策略演化研究过程受到全面支持需额外付出的成本和地方政府对待融通创新态度的双重影响。

3.2.2. 中小企业演化稳定策略分析

同理中小企业的复制动态方程为:

$$F(y) = y(1-y)\{x[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(R_{s2} + \rho_1G_2) + xz(\rho_2 - \rho_1)G_2 + \rho_1R_1 - C_{s1}\}$$

设定:

$$J(x) = x[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(R_{s2} + \rho_1G_2) + xz(\rho_2 - \rho_1)G_2 + \rho_1R_1 - C_{s1}$$

命题 2 若 $C_{s1} < C_{s1}^*$, 则 $y=1$ 恒为稳定演化策略。若 $C_{s1} > C_{s1}^*$, 当 $x=x^*$ 时, 无论 y 为何值, 系统都将处于稳定状态。当 $z > z^*$ 时, 演化稳定点为 $y=1$, 即中小企业倾向于“参与融通创新”策略; 当 $z < z^*$ 时, 演化稳定点为 $y=0$, 即中小企业倾向于“不参与融通创新”策略。

证明 同理根据微分方程稳定性定理, 中小企业选择策略处于稳定状态必须满足 $F(y)=0$ 且 $\frac{dF(y)}{dy} < 0$ 。由于 $\rho_2(1-\beta)R_1 > \rho_1R_1$, 所以 $\frac{dJ(x)}{dx} > 0$, 即 $J(x)$ 为关于 x 的增函数。令 $J(x)=0$, 可得

$$x^* = \frac{-z(R_{s2} + \rho_1G_2) - \rho_1R_1 + C_{s1}}{[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(\rho_2 - \rho_1)G_2}。若 $C_{s1} < z(R_{s2} + \rho_1G_2) + \rho_1R_1 = C_{s1}^*$, 则 $x^* < 0$, 当$$

$x \in [0,1]$ 时, $J(x) > 0$, 此时 $F(y)=0$ 且 $\frac{dF(y)}{dy} < 0$, 所以 $y=1$ 为稳定演化策略。若 $C_{s1} > C_{s1}^*$, 则当

$x = \frac{-z(R_{s2} + \rho_1 G_2) - \rho_1 R_1 + C_{s1}}{[\rho_2(1-\beta)R_1 - \rho_1 R_1 - C_{s2} + C_{s1} + Q] + z(\rho_2 - \rho_1)G_2} = x^*$ 时, $J(x) = 0$, 此时 $F(y) \equiv 0$, 无论 y 为何值, 系统都将处于稳定状态。当 $x > x^*$ 时, $G(z) > 0$, 此时 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0$, 所以演化稳定点为 $y = 1$; 当 $x < x^*$ 时, $G(z) < 0$, 此时 $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0$, 所以演化稳定点为 $y = 0$ 。

命题 2 表明: 当中小企业参与融通创新需要付出的成本足够低的时候, 无论龙头企业或者地方政府采取哪一种策略, 中小企业最终都会倾向于选择参与融通创新; 当所需付出的成本较高时, 中小企业的创新策略选择则与龙头企业的支持策略有关。此时, 若龙头企业全面支持的概率较低, 则中小企业会受到双重影响而最终选择不参与融通创新, 其中包括缺乏龙头企业的额外支持成本支持, 以及创新失败的风险; 相反如果龙头企业全面支持概率较高, 会导致中小企业创新成本和创新失败的风险降低, 从而促使中小企业选择参与融通创新。

3.2.3. 地方政府演化稳定策略分析

地方政府的复制动态方程为:

$$F(z) = z(1-z) \left[-x(R_{b2} + F) + y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + xy(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2) + S_1 + F \right]$$

设定:

$$K(x) = -x(R_{b2} + F) + y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + xy(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2) + S_1 + F$$

命题 3 若 $S_1 < S_1^*$, 则 $z = 0$ 恒为稳定演化策略。若 $S_1 > S_1^*$, 当 $x = x^{**}$ 时, 无论 z 为何值, 系统都将处于稳定状态。当 $x < x^{**}$ 时, 演化稳定点为 $z = 1$, 即倾向于积极推动融通创新策略; 当 $x > x^{**}$ 时, 演化稳定点为 $z = 0$, 即倾向于对融通创新持市场放任态度。

证明 根据微分方程稳定性定理, 地方政府选择策略处于稳定状态必须满足 $F(z) = 0$ 且 $\frac{dF(z)}{dz} < 0$ 。

由于 $\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2 < 0$, 所以 $\frac{dK(x)}{dx} < 0$, 即 $K(x)$ 为关于 x 的减函数。令 $K(x) = 0$, 可得

$x^{**} = \frac{y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + S_1 + F}{(R_{b2} + F) - y(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2)}$ 。若 $S_1 < y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) = S_1^*$, 则 $x^{**} < 0$, 当

$x \in [0, 1]$ 时, $K(x) < 0$, 此时 $F(z) = 0$ 且 $\frac{dF(z)}{dz} < 0$, 所以 $z = 0$ 为稳定演化策略。若 $S_1 > S_1^*$, 则当

$x = \frac{y(\rho_1 S_2 - R_{s2} - \rho_1 G_2) + S_1 + F}{(R_{b2} + F) - y(\rho_2 S_2 - \rho_1 S_2 - \rho_2(G_1 + G_2) + \rho_1 G_2)} = x^{**}$ 时, $G(z) = 0$, 此时 $F(x) \equiv 0$, 无论 x 为何值, 系

统都将处于稳定状态; 当 $x < x^{**}$ 时, $K(x) > 0$, 此时 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} > 0$, $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} < 0$, 所以演化稳定点为 $z = 1$;

当 $x > x^{**}$ 时, $K(x) < 0$, 此时 $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=0} < 0$, $\left. \frac{dF(z)}{dz} \right|_{z=1} > 0$, 所以演化稳定点为 $z = 0$ 。

命题 3 表明: 当龙头企业积极推动融通创新所获得的社会收益达不到一定水平时, 无论龙头企业或者中小企业采取哪一种策略, 地方政府最终都会倾向于选择对融通创新采取市场放任; 当所获得收益较高时, 地方政府的创新策略选择则与龙头企业的支持策略有关。此时, 若龙头企业全面支持的概率较高, 则地方政府会因为龙头企业对融通创新的积极性足够高而最终选择市场放任, 此时市场自身便能够达到

较为理想的状态。相反如果龙头企业全面支持概率较低,会导致中小企业创新成本和创新失败的风险降低,从而促使中小企业选择不参与融通创新。此时地方政府便会积极推动融通创新,促使大中小企业融通创新系统能够建立。

3.3. 系统演化稳定策略分析

以上从单个博弈主体角度分析了各博弈主体达到稳定策略的均衡条件,但实质上,系统最终稳定状态的达成需要三方的共同作用。因此本部分将探讨三方协同作用下系统稳定策略的均衡条件。

在非对称多方动态博弈中,混合策略均衡一定不是演化稳定均衡,但演化稳定均衡一定是纯策略均衡。因此,对系统中 8 个纯策略均衡点的渐近稳定性展开分析。由 $F(x)=0$, $F(y)=0$, $F(z)=0$ 可得 8 个纯策略均衡点。E(0,0,0), E(1,0,0), E(0,0,1), E(0,1,0), E(1,1,0), E(1,0,1), E(0,1,1), E(1,1,1)根据演化均衡策略判断方法,通过复制动态方程可得三方演化博弈系统的雅可比矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 & J_3 \\ J_4 & J_5 & J_6 \\ J_7 & J_8 & J_9 \end{bmatrix}$$

其中:

$$\begin{aligned} J_1 &= (1-2x)\{y[(\rho_2-\rho_1)\alpha R_{b1}+\rho_2\beta R_1+(\rho_2-\rho_1)\theta\eta R_{b1}]+z(R_{b2}+F)+yz\rho_2G_1-C_{b2}\} \\ J_2 &= x(1-x)\{[(\rho_2-\rho_1)\alpha R_{b1}+\rho_2\beta R_1+(\rho_2-\rho_1)\theta\eta R_{b1}]+z\rho_2G_1\} \\ J_3 &= x(1-x)\{R_{b2}+F+y\rho_2G_1\} \\ J_4 &= y(1-y)\{[\rho_2(1-\beta)R_1-\rho_1R_1-C_{s2}+C_{s1}+Q]+z(\rho_2-\rho_1)G_2\} \\ J_5 &= (1-2y)\{x[\rho_2(1-\beta)R_1-\rho_1R_1-C_{s2}+C_{s1}+Q]+z(R_{s2}+\rho_1G_2)+xz(\rho_2-\rho_1)G_2+\rho_1R_1-C_{s1}\} \\ J_6 &= y(1-y)\{R_{s2}+\rho_1G_2+x(\rho_2-\rho_1)G_2\} \\ J_7 &= z(1-z)\{-(R_{b2}+F)+y(\rho_2S_2-\rho_1S_2-\rho_2(G_1+G_2)+\rho_1G_2)\} \\ J_8 &= z(1-z)\{(\rho_1S_2-R_{s2}-\rho_1G_2)+x(\rho_2S_2-\rho_1S_2-\rho_2(G_1+G_2)+\rho_1G_2)\} \\ J_9 &= (1-2z)[-x(R_{b2}+F)+y(\rho_1S_2-R_{s2}-\rho_1G_2)+xy(\rho_2S_2-\rho_1S_2-\rho_2(G_1+G_2)+\rho_1G_2)+S_1+F] \end{aligned}$$

根据李雅普诺夫第一法(间接法)可知,若 3 个特征值均为负,则此均衡点为演化稳定点;若 3 个特征值均为正,则此点为不稳定点;若 1 个或 2 个为正,则此点为鞍点,将上述 8 个纯策略均衡点代入雅可比矩阵,得到特征值如表 2 所示。

Table 2. Matrix eigenvalues

表 2. 矩阵特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
111	$-R_{b2}+(\rho_1-\rho_2)(\alpha R_{b1}+\theta\eta R_{b1})$ $-\rho_2\beta R_1-\rho_2G_1+C_{b2}-F$	$-Q-R_{s2}-\rho_2(1-\beta)R_1-\rho_2G_2+C_{s2}$	$-S_1-\rho_2S_2+R_{s2}+R_{b2}+\rho_2(G_1+G_2)$
110	$(\rho_1-\rho_2)(\alpha R_{b1}+\theta\eta R_{b1})-\rho_2\beta R_1+C_{b2}$	$-Q-\rho_2(1-\beta)R_1+C_{s2}$	$S_1+\rho_2S_2-R_{s2}-R_{b2}-\rho_2(G_1+G_2)$

续表

101	$C_{b2} - F - R_{b2}$	$R_{s2} + \rho_2(1-\beta)R_1 + \rho_2G_2 - C_{s2} + Q$	$R_{b2} - S_1$
100	C_{b2}	$\rho_2(1-\beta)R_1 - C_{s2} + Q$	$S_1 - R_{b2}$
011	$R_{b2} + (\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1})$ $+ \rho_2\beta R_1 + \rho_2G_1 - C_{b2} + F$	$C_{s1} - R_{s2} - G_2\rho_1 - R_1\rho_1$	$R_{s2} - F - S_1 - \rho_1S_2 + G_2\rho_1$
010	$(\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1}) + \rho_2\beta R_1 - C_{b2}$	$C_{s1} - R_1\rho_1$	$F - R_{s2} + S_1 + \rho_1S_2 - G_2\rho_1$
001	$F - C_{b2} + R_{b2}$	$R_{s2} - C_{s1} + G_2\rho_1 + R_1\rho_1$	$-F - S_1$
000	$-C_{b2}$	$R_1\rho_1 - C_{s1}$	$F + S_1$

根据表 2 中各均衡点对应的 Jacobian 矩阵特征值可知, 均衡点 $E_4(1,0,0)$ 、 $E_6(0,1,0)$ 和 $E_8(0,0,0)$ 对应的特征值存在恒大于 0 的情况, 因此均衡点 $E_4(1,0,0)$ 、 $E_6(0,1,0)$ 和 $E_8(0,0,0)$ 为不稳定点, 其余 5 个均衡点的稳定性可通过以下 5 种情形进行讨论。

情景 1: 当 $C_{b2} < \rho_2\beta R_1 + \rho_2G_1 + R_{b2} + F + (\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1})$, $C_{s2} < Q + R_{s2} + \rho_2(1-\beta)R_1 + \rho_2G_2$, $R_{s2} + R_{b2} + \rho_2(G_1 + G_2) < S_1 + \rho_2S_2$ 时, 仅有均衡点 $E_1(1,1,1)$ 所对应的三个特征值均为负数。因此在此条件下, 系统演化均衡点为 $E_1(1,1,1)$, 该均衡点所对应的策略为(全面支持, 融通创新, 积极推动)。

情景 2: 当 $C_{b2} < (\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1}) + \rho_2\beta R_1$, $C_{s2} < Q + \rho_2(1-\beta)R_1$, $R_{s2} + R_{b2} + \rho_2(G_1 + G_2) > S_1 + \rho_2S_2$ 时, 仅有均衡点 $E_2(1,1,0)$ 所对应的三个特征值均为负数。因此在此条件下, 系统演化均衡点为 $E_2(1,1,0)$, 该均衡点所对应的策略为(全面支持, 融通创新, 市场放任)。

情景 3: 当 $C_{b2} < F + R_{b2}$, $C_{s2} > R_{s2} + \rho_2(1-\beta)R_1 + \rho_2G_2 + Q$, $S_1 > R_{b2}$ 时, 仅有均衡点 $E_3(1,0,1)$ 所对应的三个特征值均为负数。因此在此条件下, 系统演化均衡点为 $E_3(1,0,1)$, 该均衡点所对应的策略为(全面支持, 不融通创新, 积极推动)。

情景 4: 当 $C_{b2} > \rho_2\beta R_1 + \rho_2G_1 + R_{b2} + F + (\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1})$, $C_{s1} < R_{s2} + G_2\rho_1 + R_1\rho_1$, $R_{s2} + G_2\rho_1 < F + S_1 + \rho_1S_2$ 时, 仅有均衡点 $E_5(0,1,1)$ 所对应的三个特征值均为负数。因此在此条件下, 系统演化均衡点为 $E_5(0,1,1)$, 该均衡点所对应的策略为(要素支持, 融通创新, 积极推动)。

情景 5: 当 $C_{b2} > F + R_{b2}$, $C_{s1} > R_{s2} + G_2\rho_1 + R_1\rho_1$ 时, 仅有均衡点 $E_7(0,0,1)$ 所对应的三个特征值均为负数。因此在此条件下, 系统演化均衡点为 $E_7(0,0,1)$, 该均衡点所对应的策略为(要素支持, 不融通创新, 积极推动)。

4. 演化博弈仿真分析

4.1. 博弈模型稳定性数值分析

基于上节的分析可看出, 龙头企业、中小企业和地方政府之间存在多个较为理想的稳定均衡状态。为进一步验证演化稳定分析的有效性, 在理论分析的基础上, 考虑约束条件和系统复制动态方程影响因素, 在 MATLAB 软件平台上对龙头企业、中小企业及地方政府间的博弈行为开展系统仿真, 采用数值仿真方法检验分析结果。设置的各参数值并不代表现实社会中的实际数值。

现分别对理想均衡点所对应的情况进行仿真。

在均衡点 $E_1(1,1,1)$, 满足条件 $C_{b2} < \rho_2\beta R_1 + \rho_2G_1 + R_{b2} + F + (\rho_2 - \rho_1)(\alpha R_{b1} + \theta\eta R_{b1})$, $C_{s2} < Q + R_{s2} + \rho_2(1-\beta)R_1 + \rho_2G_2$, $R_{s2} + R_{b2} + \rho_2(G_1 + G_2) < S_1 + \rho_2S_2$ 。

赋值: $R_{b1} = 500$, $R_{b2} = 10$, $\alpha = 0.05$, $C_{b1} = 100$, $C_{b2} = 20$, $\beta = 0.4$, $\theta = 0.3$, $\eta = 0.1$, $R_{s1} = 200$,

$R_1 = 200$, $R_{s2} = 5$, $C_{s1} = 80$, $C_{s2} = 56$, $\rho_1 = 0.2$, $\rho_2 = 0.4$, $Q = 10$, $S_1 = 30$, $S_2 = 70$, $F = 25$, $G_1 = 20$, $G_2 = 20$ 。龙头企业选择“全面支持”策略的概率在区间 $[0.1, 0.9]$, 间隔 0.15; 中小企业选择“参与融通创新”策略的概率在区间 $[0.1, 0.9]$, 间隔为 0.15; 地方政府选择“积极推动”策略的概率在区间 $[0.1, 0.9]$, 间隔为 0.15。

三维演化仿真结果如图 1:

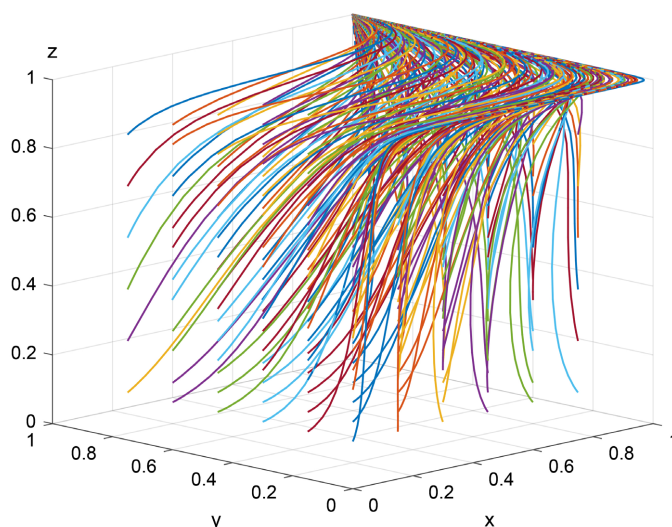


Figure 1. Simulation results at point $E_1(1.1.1)$

图 1. $E_1(1.1.1)$ 点的仿真结果

如上图三维演化仿真结果图所展示, 演化仿真结果验证了上文关于均衡点 $E_1(1.1.1)$ 的分析, 表明当龙头企业全面支持融通创新后所获得预期收益、相关补贴和避免的惩罚合计大于其全面支持所额外付出的成本时, 龙头企业最终会选择“全面支持融通创新”策略; 中小企业参与融通创新所获得的收益和避免的渠道损失之和大于其参与融通创新所付出的成本时, 中小企业会选择“参与融通创新”策略; 地方政府选择积极推动融通创新后获得的社会收益和预期的融通创新成功后所能获得的额外收益之和大于其积极推动所付出的补贴和可能提供的奖励, 地方政府最终会选择“积极推动融通创新”策略。在此状态下, 三方博弈达到系统均衡, 即 $E_1(1.1.1)$ 为系统的稳定点。

4.2. 初始策略变动影响分析

为分析龙头企业、中小企业和地方政府的初始策略对该三方演化博弈模型的影响, 利用 MATLAB 软件进行数值仿真。选择龙头企业、中小企业和地方政府之间存在的最为理想的稳定均衡状态 $E_1(1.1.1)$ 进行分析。参数设置参照上节

(1) 龙头企业初始参与意愿变化对演化结果的影响

设置中小企业和地方政府的初始参与意愿 y 、 z 为 0.5, 龙头企业初始参与意愿 x 分别取 0.2、0.5、0.8。由图 2 可以看出, 随着龙头企业初始参与意愿的增加, 地方政府选择“积极推动”的意愿略有下降, 而中小企业的参与意愿在显著增加, 最终选择“参与融通创新”。仿真结果表明, 随着龙头企业初始参与意愿的不断提升, 中小企业“参与融通创新”的意愿会随之提高, 但在一定程度上可能会影响地方政府推动融通创新的积极性。出现这种情况的可能解释是, 由于龙头企业是融通创新生态的主导者, 其积极性足够高时, 政府引导的效用不明显, 因此政府积极推动融通创新的意愿有所衰减。

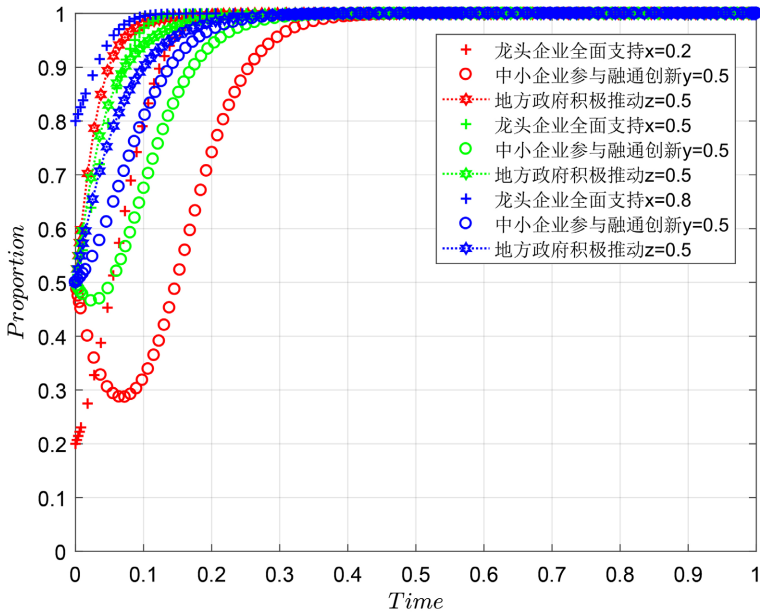


Figure 2. Evolution results of the change in leading enterprises' participation willingness
图 2. 龙头企业参与意愿变化的演化结果

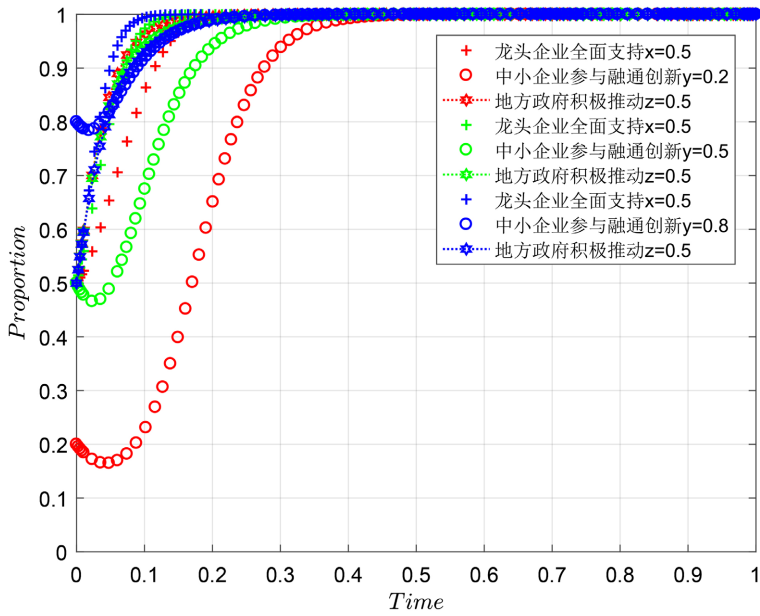


Figure 3. Evolution results of the change in small and medium-sized enterprises' participation willingness
图 3. 中小企业参与意愿变化的演化结果

(2) 中小企业初始参与意愿变化对演化结果的影响

设置龙头企业和地方政府的初始参与意愿 x 、 z 为 0.5，中小企业初始参与意愿 y 分别取 0.2、0.5、0.8。由图 3 可以看出，随着中小企业初始参与意愿的增加，龙头企业和地方政府的策略速率和结果几乎没有变化。综合图 2 与 3 可见，在融通创新赋能中小企业专精特新发展的过程中，一定要充分激发和提升龙头企业的主导动力，选取行业内创新资源丰富，示范带动能力强的龙头企业，如此可以很好的带动

产业内中小企业积极参与其主导的融通创新，进而实现自身的专精特新发展。

(3) 地方政府初始参与意愿变化对演化结果的影响

设置龙头企业和中小企业的初始参与意愿 x 、 y 为 0.5，地方政府初始参与意愿 z 分别取 0.2、0.5、0.8。由图 4 可以看出，随着地方政府初始参与意愿的增加，龙头企业、中小企业参与意愿的收敛速度逐渐加快，且龙头企业选择“全面支持”的速度明显大于中小企业选择“参与融通创新”的速度，龙头企业、中小企业和地方政府最终收敛于“全面支持”“参与融通创新”和“积极推动”。仿真结果表明，地方政府初始参与意愿的提高一定程度上能够促进龙头企业和中小企业选择“全面支持”和“参与融通创新”的速度。由此可见，地方政府作为政策制定者和引导者，能够促进融通创新系统中核心主体之间的交流合作、知识共享，充分调动核心主体在参与融通创新时的积极性。

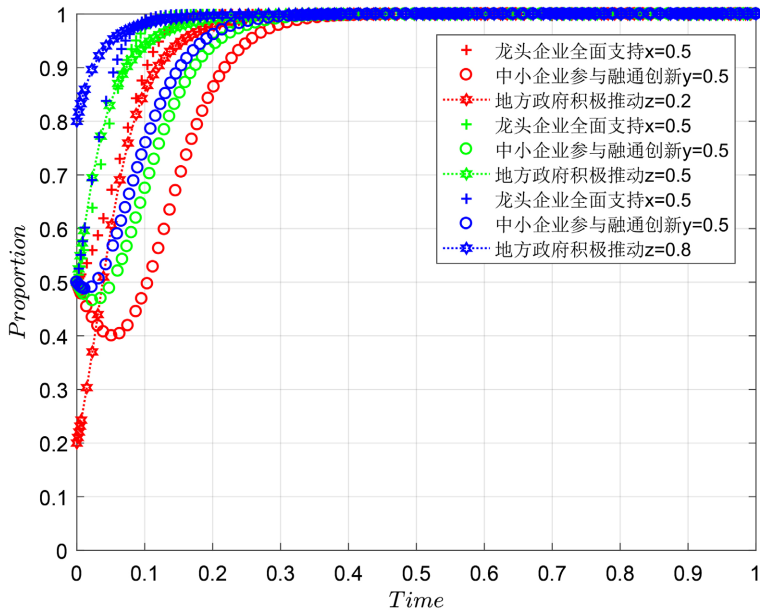


Figure 4. Evolution results of the change in local governments' participation willingness

图 4. 地方政府参与意愿变化的演化结果

5. 结论与对策建议

龙头企业应提升自身技术水平并汇聚更多创新资源，尽量降低全面支持所需额外付出的技术成本。同时地方政府也应该重视融通创新活动，只有地方政府积极推动，龙头企业才会选择全面支持融通创新。只要参与融通创新需要付出的成本足够低的时候，无论龙头企业采取什么样的支持策略，中小企业都应该主动选择参与融通创新。如果参与融通创新需要付出的成本较高时，那么龙头企业应该肩负起全面支持的责任，通过技术支持、创新指导、融资担保等一系列方式，降低中小企业需承担的创新成本，同时增加其创新成功的概率。当地方政府积极推动融通创新时所获得的社会收益不够高时，无论龙头企业和中小企业采取何种决策，地方政府都会选择市场放任。若政府获得收益够高时，政府的支持策略与龙头企业息息相关，二者应联手积极推动融通创新，更好地促进地区行业内中小企业专精特新发展，实现融通创新生态。

参考文献

[1] 张新宁. 科技创新是发展新质生产力的核心要素论析[J]. 思想理论教育, 2024(4): 20-26.

-
- [2] 陈劲, 阳镇. 融通创新视角下关键核心技术的突破: 理论框架与实现路径[J]. 社会科学, 2021(5): 58-69.
- [3] 崔维军, 孙成, 陈光. 距离产生美?政企关系对企业融通创新的影响[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(6): 81-101.
- [4] 周文, 许凌云. 再论新质生产力: 认识误区、形成条件与实现路径[J]. 改革, 2024(3): 26-37.
- [5] 张志鑫, 郑晓明, 钱晨. “四链”融合赋能新质生产力——内在逻辑和实践路径[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版), 2024(4): 105-116.
- [6] 张子鸣, 苏秦, 杨青云. 制造业新质生产力协同培育、演化与激励机制[J/OL]. 系统管理学报, 2024: 1-33. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1977.N.20241230.0944.002.html>, 2025-02-05.
- [7] 黄凯南. 演化博弈与演化经济学[J]. 经济研究, 2009, 44(2): 132-145.