考虑跨界协同激励的智能网联汽车创新生态系统协同策略研究

谭慧颖[1]，李 振[1]，唐金环[1]，赵 丹[2]

（1. 沈阳航空航天大学经济与管理学院，沈阳 110136；2. 安徽工业大学管理科学与工程学院，马鞍山 243032）

摘要： 智能网联技术的创新质量与扩散速度是推动汽车产业转型升级的关键，其演化过程依赖于多主体之间的协同互动与激励结构。基于创新生态系统视角，参考同侪激励机制，引入跨界协同激励机制，构建智能网联技术供应商种群与汽车制造商种群的演化博弈模型，分析跨界主体的策略选择及协同演化路径，并识别影响系统演化均衡的关键因素。研究发现：随着产业发展阶段演进，创新生态系统呈现出四种差异化的演化均衡结果，且主导因素在不同阶段存在显著差异；汽车制造商种群的技术采纳意愿显著影响供应商的创新决策，是推动系统演化的重要杠杆；协同收益分配通过强化制造商采纳激励，间接影响创新生态系统的演化稳定性与协同效率。研究结论丰富了跨界协同激励视角下创新生态系统演化研究，并为智能网联汽车产业跨界协同创新提供政策启示。

关键词： 智能网联汽车；创新生态系统；跨界协同；演化博弈

中图分类号： F272.3 **文献标志码：** A **文章编号：** 1671－1807(2026)14－0034－10

全球汽车产业正经历由电动化、智能化与网联化驱动的深刻变革。在此背景下，智能网联汽车被普遍视为重塑产业竞争格局与出行范式的战略前沿。美国、日本、德国及中国等主要经济体已将其提升至国家发展战略层面，在自动驾驶、车联网通信（V2X）及数据驱动的出行服务领域投入大量资源。目前，L3 级及以上高级别自动驾驶技术已取得关键突破，但其大规模产业化受制于法律权责界定等法律法规的滞后。因此，探索能够加速创新扩散的市场化激励与协同治理机制，推动技术验证与小规模商业化测试示范的先行落地，从而为后续的大规模立法和产业化提供数据支撑与现实依据，成为智能网联汽车领域亟待解决的问题。

近年来，针对智能网联汽车产业，中央与地方政府的财政补贴和示范工程投入超过 2 000 亿元，为智能网联汽车产业提供了强有力的初始动能。然而，伴随政策持续推进，补贴依赖与创新扩散不足的问题逐渐显现。部分企业过度依赖政策导向而非市场需求，实质性创新能力不足；同时，创新成果的市场化扩散明显滞后。虽然中国智能网联乘用车渗透率持续上升，但 L3 及以上级别自动驾驶车型的实际落地比例仍然较低，显示出产业创新成果尚未有效转化、创新活跃而扩散迟缓的结构性矛盾。此外，补贴也会加重政府财政压力，行业整体竞争力会被削弱。《新能源汽车产业发展规划（2021—2035 年）》与《智能网联汽车技术路线图 2.0》均指出，应完善智能网联汽车的创新体系，强化非财政激励机制，推动企业形成内生创新能力。

现有政策调整虽在一定程度上引导了技术创新方向，但对于创新成果如何实现从技术突破到市场扩散的全链条传导机制研究仍显不足，需要市场化调节机制的补充。Avanci 是全球领先的蜂窝通信标准必要专利（SEP）许可平台。其核心模式是“一站式”打包许可：专利权人将 SEP 注入平台，汽车制造商通过一份协议、统一价格获得池内所有专利的使用权，从而大幅度降低多边谈判成本和专利诉讼风险。该模式一方面让技术供应方通过专利注入获得持续回报，形成研发投入的正反馈；另一方面让技术采纳方以可预期的成本高效获取关键技术，加速创新成果的产业化应用。同侪激励机制

收稿日期： 2026-03-17

基金项目： 辽宁省科协科技创新智库项目（LNKX2026CY41）

作者简介： 谭慧颖（2000—），女，四川安县人，硕士，研究方向为供应链运营、创新生态系统；李振（1994—）男，吉林吉林人，硕士，研究方向为车辆工程、城市轨道车辆应用技术；通信作者唐金环（1985—），女，辽宁大连人，博士，教授，研究方向为供应链运营；赵丹（1987—），女，黑龙江齐齐哈尔人，博士，副教授，研究方向为汽车供应链。

的核心思想是参与者共同承诺、依据表现分配。通过设立共同承诺的资金池,依据成员的实际绩效进行差异化分配,引导企业在相互比较中形成持续创新的内生动力。

本文结合专利许可运行模式与激励机制,提出一种跨种群的协同激励机制。由政府与产业联盟牵头建立跨界协同专利池,智能网联技术供应商种群以注入专利的方式参与,制造商种群则通过缴纳许可费获取技术使用权。供应商种群基于技术突破程度从池中获得收益分配,其突破程度由是否达到政府设置的技术门槛衡量,保证分配的公平性与可操作性。制造商种群中先行采纳新技术的企业可获得早期采纳折扣,形成同侪间的示范效应,引导更多企业跟进采纳。竞争企业之间的参与动力来自自身技术变现和获取生产许可的商业理性。为有效规避寻租风险,确保资金分配的透明度与公正性,政府或产业联盟指定的平台负责统一管理与清算,基于可量化的分配规则进行收益分配。通过跨界协同激励机制在大幅降低单边专利谈判与交易成本的同时,引导跨界主体在知识产权共享与价值反哺的示范作用下,形成持续创新和先行采纳的内生动力。

已有研究表明,政策支持在推动汽车产业转型升级中发挥着基础性作用。政府财政补贴能够激发企业的创新积极性[1],提升协同创新效率[2],并推动产业规模的扩张[3-4]。财政补贴与税收优惠、制度环境共同构成了产业升级的核心驱动。在产业培育初期,购车补贴、生产补贴及购置税减免有效降低了消费者的使用成本和企业的市场风险,显著促进市场扩张与技术扩散[5-7]。随着产业逐渐成熟,财政补贴的激励边际效应持续衰减,若缺乏合理的退出机制和技术门槛,高强度的财政补贴易诱发企业政策依赖、抑制实质性创新,最终削弱产业的长期竞争力[8]。持续的财政投入也加剧了政府的财政负担[9],仅靠市场力量通常无法有效推动绿色技术转型[10]。因此,学界与政策制定者日益强调从直接财政支持向市场化激励的转型。例如,双积分政策作为连接“双碳”目标与企业微观行为的关键制度工具,通过市场化的积分交易机制激发了技术创新活力,促进了全行业的技术升级与效率提升[5];碳交易机制则通过将新能源汽车纳入碳排放交易体系,提升企业的减排收益,促进产品结构优化[11]。总体来看,财政补贴、税收优惠与制度环境构成了汽车产业发展的主要政策支柱,相关政策在新能源汽车转型过程中发挥了积极作用,但智能网联转型下有效的市场化激励措施仍需探索。

在政策驱动与市场压力的共同作用下,汽车产业正迈入以“智能化”和“网联化”为竞争核心的下半场[12]。在开放式创新环境中,产业内的多元主体通过知识共享、联合研发与技术转移,逐步形成跨层级、跨行业的异质性协同创新网络。这一网络显著提升了知识迁移与资源流动效率,推动了知识创造,并帮助产业主体跨越关键技术瓶颈[13-14]。在新能源汽车领域,协同创新主要集中于电池技术与整车平台的联合开发,不仅有效降低了研发成本,还加快了技术迭代[15]。随着智能化与网联化的深度融合,协同创新的跨界特征日益凸显:传统整车企业与通信运营商、信息与通信技术企业及软件与算法开发公司开展深度合作,共同攻克复杂技术难题[16]。由此逐渐形成了三类主流范式:整车制造商与科技企业的深度绑定、传统供应商与智能驾驶企业的战略合作,以及产业集群与链主企业的创新引领。例如,上汽通用五菱与华为在智能驾驶、智能座舱和智能制造领域的全面合作,法雷奥与 Momenta 联合开发中高阶辅助驾驶系统,以及赛力斯构建的供应链集群生态,都显著提升了产业协同效率与创新能力。这种跨界融合不仅弥补了汽车企业在通信、人工智能和大数据处理等方面的短板,也通过跨领域知识整合推动了整车智能化水平的提升。然而,其成果多局限于阶段性和局部性合作,在知识扩散、商业化转化及产业链延伸方面仍存在明显不足。这些不足表明,协同创新亟须进一步深化与制度化,探索更加稳定、持续的合作机制。

与协同创新相比,创新生态系统更强调系统性、开放性和多元主体的动态互动,能够推动新兴产业核心竞争优势的形成与持续扩大[17]。它突破了企业内部的创新边界,在跨行业、跨领域的交互过程中促进异质性资源的流动与共享,从而显著提升创新效率,推动技术跨界融合与知识共创[18]。同时,产业升级的效果最终取决于创新成果能否通过协同网络被潜在采用主体广泛吸收并深度消化[19]。如果缺乏市场需求、制度配套与应用场景,即使产生突破性技术,也可能无法实现产业层面的全面升级[20]。因此,研究不仅要关注创新活动本身,更要注重成果转化机制与应用扩散路径。与单纯的政策或博弈视角相比,创新生态系统视角能够更全面揭示主体异质性、资源依赖和网络结构的动态演化,凸显其在推动跨界协同、实现产业升级和持续

扩大核心竞争优势中的关键作用。

已有文献对政策驱动汽车产业发展虽有一定的理论贡献，但尚未解决补贴取消后产业的持续发展及创新扩散问题。本文引入跨界协同激励机制并分析其如何影响智能网联汽车创新生态系统中供应商与制造商的协同演化过程及其稳定均衡，据此探讨促进跨界主体正向互动与突破式创新扩散的有效路径。

1　问题描述与假设

智能网联汽车的生产制造是在一个由智能网联技术供应商种群与整车制造商种群共同构成的创新生态系统中完成的，双方存在紧密的供需关系。智能网联技术供应商种群承担车载通信芯片等智能网联软硬件的研发与生产，汽车制造商种群负责整车的生产与制造。为促进智能网联技术供应商种群与制造商种群形成研发与采纳正向循环，引入结合专利池运行模式与同侪激励核心思想的跨界协同激励机制。其基本思路是：由中立的政府或产业联盟牵头，建立协同创新专利池；系统内的智能网联技术供应商将其创新成果注入专利池，而汽车制造商通过缴纳标准化的基础许可费获得技术组合的使用权。政府或产业联盟指定的平台对专利池进行统一管理与清算：对实现技术突破的智能网联技术供应商分配许可收益，对先行采纳新技术的汽车制造商给予早期采纳折扣，并提供配套的创新与应用补贴。系统框架如图 1 所示，为了便于分析，提出以下假设。

假设 1：智能网联技术供应商种群的策略集为{突破式技术创新，保守式技术创新}，其中选择“突破式技术创新策略”的概率为 x，选择“保守式技术创新”的概率为 $1-x$，$x\in[0,1]$。供应商种群选择突破式技术创新时的创新成本为 C_b，成功的概率为 θ_b，产品创新的收益为 R_b，$\theta_b\in[0,1]$；供应商种群选择保守式技术创新的成本为 C_i，在前期无法实现突破式技术创新，无额外的创新收益，在后期通过模仿也能生产突破式技术创新产品，获得创新收益 R_i，且 $C_b>C_i$，$R_b>R_i$。

假设 2：汽车制造商种群的策略集为{先行采纳新技术，延后采纳新技术}，其中选择“先行采纳新技术”的概率为 y，选择“延后采纳新技术”的概率为 $1-y$，$y\in[0,1]$。先行采纳新技术的采纳成本为 C_e，获得收益 R_e；延后采纳新技术时投入的采纳成本为 C_f，延后采纳新技术的收益为 R_f，且 $C_e>C_f$，$R_e>R_f$。

假设 3：智能网联技术供应商种群与汽车制造商种群在制度倡导下自愿加入跨界协同专利池，分别按约定规则注入专利、缴付许可费用，专利与许可费用的经济价值以 T 表示。对于成功进行突破式技术创新的智能网联技术供应商种群，其成果作为核心专利入池，平台给予比例为 k 的许可收益分配，政府给予创新配套补贴 δ；对于先行采纳突破式技术创新成果的汽车制造商种群，给予比例 λ 的早期采纳折扣，并得到政府的应用示范补贴 ε。假设技术突破程度可通过是否达到政府发布的技术门槛测度。此处为简化模型，假设专利与许可费用的经济价值一致。

假设 4：当智能技术供应商种群与汽车制造商种群的策略集为(1，1)时，双方协同创新的支付成本 C_r，以 θ_r 的概率实现突破式技术创新，产生创新收益 R_r，供应商种群以 α 的比例与制造商种群进行

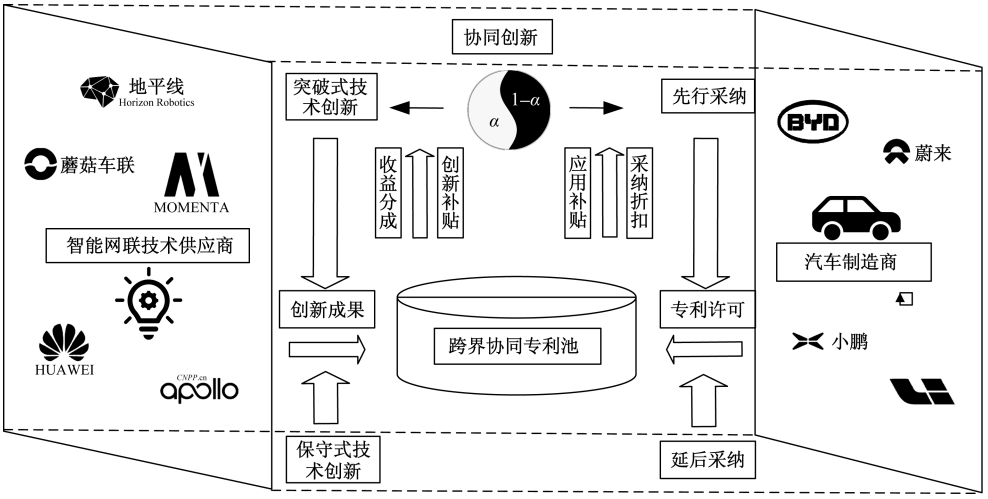


图 1　智能网联技术供应商种群与整车制造商种群的创新生态系统框架

创新收益分配 $\theta,\alpha\in[0,1]$,且 $C_r<C_b,C_e,\theta_r>\theta_b$,$R_r>R_b,R_e$,此处为简化模型,假设两类种群在协同创新时,付出的创新活动成本一致。

2 模型构建

根据以上假设,得到具体的混合策略博弈收益矩阵如表 1 所示。

表 1 混合策略博弈收益矩阵

博弈策略		汽车制造商种群	
		先行采纳新技术	延后采纳新技术
智能网联技术供应商种群	突破式技术创新	$\theta_r\alpha R_r-(1-\delta)C_r-(1-k)T$, $\theta_r(1-\alpha)R_r-(1-\varepsilon)C_r-(1-\lambda)T$	$\theta_bR_b-(1-\delta)C_b-(1-k)T$, R_f-C_f-T
	保守式技术创新	$-C_i-T$, $R_e-(1-\varepsilon)C_e-(1-\lambda)T$	R_i-C_i-T, R_f-C_f-T

根据表 1 可得智能网联技术供应商种群选择“突破式技术创新”的期望收益 E_{x1}、选择“保守式技术创新”的期望收益 E_{x2} 及平均期望收益 $\bar{E}_x$。

$$E_{x1}=y[\theta_r\alpha R_r-(1-\delta)C_r-(1-k)T]+(1-y)\times[\theta_bR_b-(1-\delta)C_b-(1-k)T] \tag{1}$$

$$E_{x2}=y(-C_i-T)+(1-y)(R_i-C_i-T) \tag{2}$$

$$\bar{E}_x=xE_{x1}+(1-x)E_{x2} \tag{3}$$

汽车制造商种群选择“先行采纳新技术”策略的期望收益 E_{y1}、“延后采纳新技术”策略的期望收益 E_{y2} 及平均收益 $\bar{E}_y$ 分别为

$$E_{y1}=x[\theta_r(1-\alpha)R_r-(1-\varepsilon)C_r-(1-\lambda)T]+(1-x)[R_e-(1-\varepsilon)C_e-(1-\lambda)T] \tag{4}$$

$$E_{y2}=x(R_f-C_f-T)+(1-x)(R_f-C_f-T) \tag{5}$$

$$\bar{E}_y=yE_{y1}+(1-y)E_{y2} \tag{6}$$

可得复制动态方程组为

$$\begin{cases}F(x)=x(1-x)\{[C_i-(1-\delta)C_b-R_i+\theta_bR_b+kT]+y[(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r]\}\\F(y)=y(1-y)\{[C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T]+x[(1-\varepsilon)(C_e-C_r)+(1-\alpha)\theta_rR_r-R_e]\}\end{cases} \tag{7}$$

根据 Friedman 方法,通过雅可比矩阵的特征值判断系统的均衡解:令 $F(X)=0,F(Y)=0$,且 $0\leqslant\frac{C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T}{(1-\varepsilon)(C_r-C_e)-(1-\alpha)\theta_rR_r+R_e}\leqslant 1$,$0\leqslant\frac{(1-\delta)C_b-C_i+R_i-\theta_bR_b-kT}{(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r}\leqslant 1$,可得到 5 个均衡点 $E_1(0,0)$、$E_2(1,0)$、$E_3(0,1)$、$E_4(1,1)$、$E_5(x^*,y^*)$。其中 $x^*=\frac{C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T}{(1-\varepsilon)(C_r-C_e)-(1-\alpha)\theta_rR_r+R_e}$,$y^*=\frac{(1-\delta)C_b-C_i+R_i-\theta_bR_b-kT}{(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r}$。

对式(7)求导,可得系统的雅可比矩阵的表达式为

$$\boldsymbol{J}=\begin{bmatrix}\frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y}\\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}a_{11} & a_{12}\\ a_{21} & a_{22}\end{bmatrix} \tag{8}$$

式中:$a_{11}=(1-2x)\{[C_i-(1-\delta)C_b-R_i+\theta_bR_b+kT]+y[(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r]\}$;$a_{12}=x(1-x)[(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r]$;$a_{21}=y(1-y)[(1-\varepsilon)(C_e-C_r)+(1-\alpha)\times\theta_rR_r-R_e]$;$a_{22}=(1-2y)\{[(C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T]+x[(1-\varepsilon)(C_e-C_r)+(1-\alpha)\theta_rR_r-R_e)]\}$。

利用 Lyaponov 判稳第一法进行稳定性分析,将各均衡点代入雅可比矩阵,计算对应特征值,如表 2 所示。

表 2 中,$M=C_i-(1-\delta)C_b-R_i+\theta_bR_b+kT$,$N=(1-\delta)(C_b-C_r)+R_i-\theta_bR_b+\theta_r\alpha R_r$,$U=C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T$,$V=(1-\varepsilon)(C_r-C_e)+R_e-(1-\alpha)\theta_rR_r$。其中,$E_5(x^*,y^*)$为不稳定点,其余均衡点的稳定性依据参数取值分情况讨论。

情况 1(激励启动机制):当 $\theta_bR_b-(1-\delta)C_b+kT<R_i-C_i$,且 $\theta_eR_e-(1-\delta)C_e+\lambda T<R_f-C_f$ 时,E_2、E_3 均为不稳定点,若同时满足 $\alpha\theta_rR_r-(1-\delta)C_r+kT<-C_i$,或 $(1-\alpha)\theta_rR_r-(1-\delta)C_r+\lambda T<R_f-C_f$,则 E_4 为不稳定点,只有 E_1 为稳定点。

当供应商种群选择突破式技术创新的收益总是低于保守式技术创新,且制造商种群先行采纳新技术的收益总是小于延后采纳策略时,系统将稳定于{保守式技术创新,延后采纳新技术}的低水平均衡。

情况 1 为智能网联汽车创新生态系统的新生期。此阶段技术成熟度低,知识产权标准尚未统一,

表 2 雅可比矩阵特征值

均衡点	λ_1	λ_2
$E_1(0,0)$	$C_i-(1-\delta)C_b-R_i+\theta_bR_b+kT$	$C_f-(1-\varepsilon)C_e+R_e-R_f+\lambda T$
$E_2(1,0)$	$-C_i+(1-\delta)C_b+R_i-\theta_bR_b-kT$	$C_f-(1-\varepsilon)C_r+(1-\alpha)\theta_rR_r-R_f+\lambda T$
$E_3(0,1)$	$C_i-(1-\delta)C_r+\theta_r\alpha R_r+kT$	$-C_f+(1-\varepsilon)C_e-R_e+R_f-\lambda T$
$E_4(1,1)$	$-C_i+(1-\delta)C_r-\theta_r\alpha R_r-kT$	$-C_f+(1-\varepsilon)C_r-(1-\alpha)\theta_rR_r+R_f-\lambda T$
$E_5(x^*,y^*)$	$\sqrt{\frac{MU(M+N)(V-U)}{NV}}$	$-\sqrt{\frac{MU(M+N)(V-U)}{NV}}$

企业面临较高的试错成本与侵权风险。若平台设定的许可收益分配、早期采纳折扣力度不足，且缺乏政府的前期补贴引导，系统将陷入“保守创新-延后采纳”的锁定状态，此时专利池缺乏高价值技术注入，下游制造商也因许可费高昂或标准不明而保持观望。

情况 2(激励调节机制)：当 $\theta_b R_b-(1-\delta)C_b+kT<R_i-C_i<\alpha\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+kT+R_i$，且 $R_e-(1-\delta)C_e+\lambda T>R_f-C_f>(1-\alpha)\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+\lambda T$，或 $\theta_b R_b-(1-\delta)C_b+kT>R_i-C_i>\alpha\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+kT+R_i$ 且 $R_e-(1-\delta)C_e+\lambda T<R_f-C_f<(1-\alpha)\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+\lambda T$ 时，无稳定均衡点。

当协同创新显著提高了一类种群的收益，却使另一类种群收益下降至最低时，则两方在演化博弈中将无法同时实现收益改进，系统不再具备演化稳定策略(ESS)。

情况 2 可以看作智能网联汽车创新生态系统的技术迭代期。此阶段新旧技术交替，协同创新收益分配规则尚未完善，引发收益结构波动。如果供应商种群索取的协同收益分配过高，会导致制造商种群的采纳成本飙升；反之若一味压低协同收益分配，则会挫伤供应商种群的研发积极性。收益分配失序破坏系统的正向协同关系，导致生态系统出现“协同收益失衡-创新动力削弱-合作关系不稳”的连锁反应。

情况 3(激励收敛与稳定机制)：当 $\theta_b R_b-(1-\delta)C_b+kT>R_i-C_i$，且 $(1-\alpha)\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+\lambda T<R_f-C_f$ 时，E_1、E_4 均为不稳定点，若满足 $\alpha\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+kT>-C_i$ 或 $R_e-(1-\delta)C_e+\lambda T<R_f-C_f$，则 E_3 为不稳定点，只有 E_2 为稳定点。

当供应商种群开展突破式技术创新所获得的收益超越保守式技术创新的收益，但制造商先行采纳收益仍低于延后采纳收益时，系统将稳定于{突破式技术创新，延后采纳新技术}策略组合，仍属于低水平均衡。

情况 3 可视为智能网联汽车创新生态系统发展期。专利池的运作机制逐渐成熟，较高的许可收益分配，有效补偿了供应商种群的研发与入池成本，激发了其创新积极性。然而，由于整车电子电气架构的集成成本较高、商业化测试仍存在风险，制造商种群即便面对一定的早期采纳折扣，依然倾向于等待技术标准彻底固化后再行采纳。系统未能实现协同扩散。

情况 4(自组织阶段)：当 $\alpha\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+kT>R_i-C_i$，且 $(1-\alpha)\theta_r R_r-(1-\delta)C_r+\lambda T>R_f-C_f$，$E_2$、$E_3$ 均为不稳定点，若满足 $\theta_b R_b-(1-\delta)C_b+kT>R_i-C_i$ 或 $R_e-(1-\delta)C_e+\lambda T>R_f-C_f$ 时，则 E_1 为不稳定点，只有 E_4 为稳定点。

当供应商与制造商种群通过协同创新获得的综合收益全面超越各自独立策略的收益时，系统将唯一收敛于{突破式技术创新，先行采纳新技术}的高水平均衡。

情况 4 可视为智能网联创新生态系统进入成熟期。此阶段跨界协同效应显著增强，专利池形成强大的网络外部性与“滚雪球”效应，跨界协同创新有效降低了底层技术的研发成本与整车应用集成成本。供应商与制造商通过标准化的一站式许可、交叉授权及深度数据共享，所获得的综合收益全面超越各自独立研发或规避专利的收益。系统逐步实现“高价值专利持续入池-全行业规模化采纳”的正向循环，推动整个创新生态系统进入稳定的自我强化状态。

3　数值仿真分析

为直观地展示不同初始情况的演化结果，进一步揭示跨界协同激励机制下不同阶段影响演化结果的关键因素，通过参数赋值模拟系统的演化过程。以许可收益分配系数、早期采纳折扣 k、λ，创新配套补贴系数、应用示范补贴系数 δ、ε 和协同收益分配系数 α 作为核心调节参数，分别设置多组取值表征政府激励强度的差异，对不同参数组合进行仿真对比，比较低激励、中激励、高激励等典型情景下系统的演化轨迹。令 $R_i=80$、$C_i=50$、$R_f=60$、$C_f=40$、$T=20$，保证保守式创新和延后采纳的利润水平稳定，各阶段参数设置如表 3 所示。

表 3　不同阶段参数仿真设置

阶段	R_r	C_r	θ_r	R_e	C_e	θ_b	R_b	C_b	α
新生期	220	100	0.52	120	130	0.35	150	180	0.50
迭代期	280	110	0.67	120	130	0.45	170	120	0.70
发展期	250	100	0.62	120	130	0.40	220	120	0.50
成熟期	320	80	0.72	180	90	0.60	150	140	0.55

3.1　新生期：政策激励与系统稳定性分析

令 $k=0$、$\lambda=0$、$\delta=0$、$\varepsilon=0$，满足情况 1 的初始状态，系统演化结果如图 2 所示。

调节跨界协同激励力度，如图 3 所示，当对汽车制造商种群(以下简称制造商种群)激励力度较低时，系统趋向于(0，0)，两类种群均采取保守策略。提高对制造商种群的激励强度，系统演化曲线出现明显拐点，最终收敛于(1，1)的理想协同均衡。仅

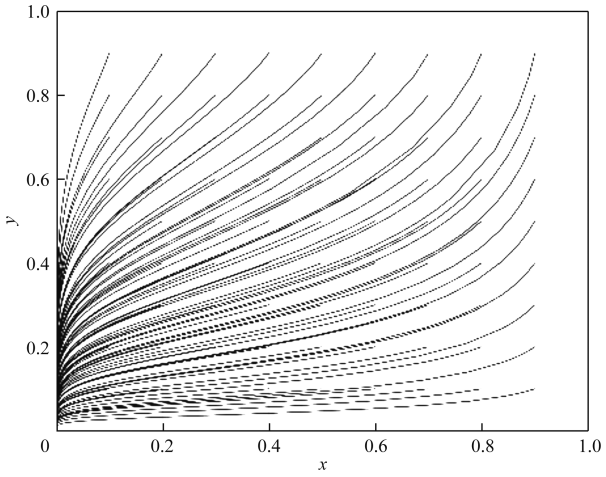


图 2　新生期初始状态演化结果

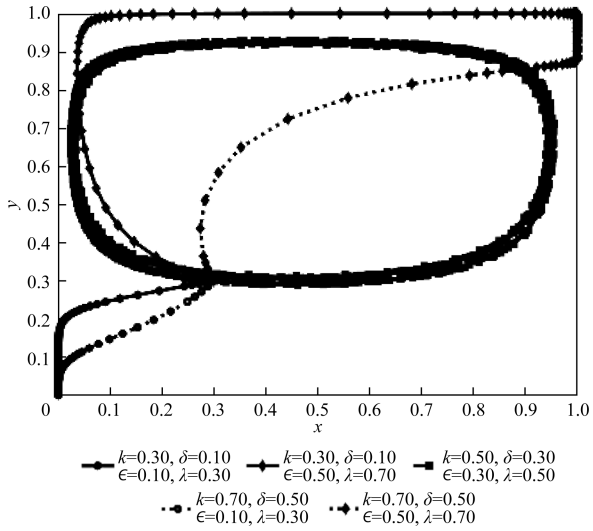


图 3　新生期跨界协同激励对系统演化路径的影响

提升对智能网联技术供应商种群的激励力度时(以下简称供应商种群),演化轨迹虽略有平缓,但系统最终均衡并未发生实质性改变。

图 4 的演化轨迹显示,创新生态系统中供需双方存在显著的共演特征。在生态系统萌芽期,受限于高额研发成本与技术不确定性,供应商种群存在"保守式创新"的路径依赖,而制造商种群则倾向于"延后采纳",二者极易陷入"低风险供给-低意愿需求"的负向锁定状态。仿真结果表明,打破低水平锁定的序参量在于制造商的"先行采纳"意愿——当制造商种群向先行采纳策略跃迁时,能够有效诱导供应商种群转向突破式创新。

作为技术落地的应用场景提供者,制造商采纳行为具有强烈的信号释放与市场验证功能。赛力斯与华为的实践验证了逻辑。在智能汽车产业的早期探索中,作为制造商的赛力斯主动承担市场风

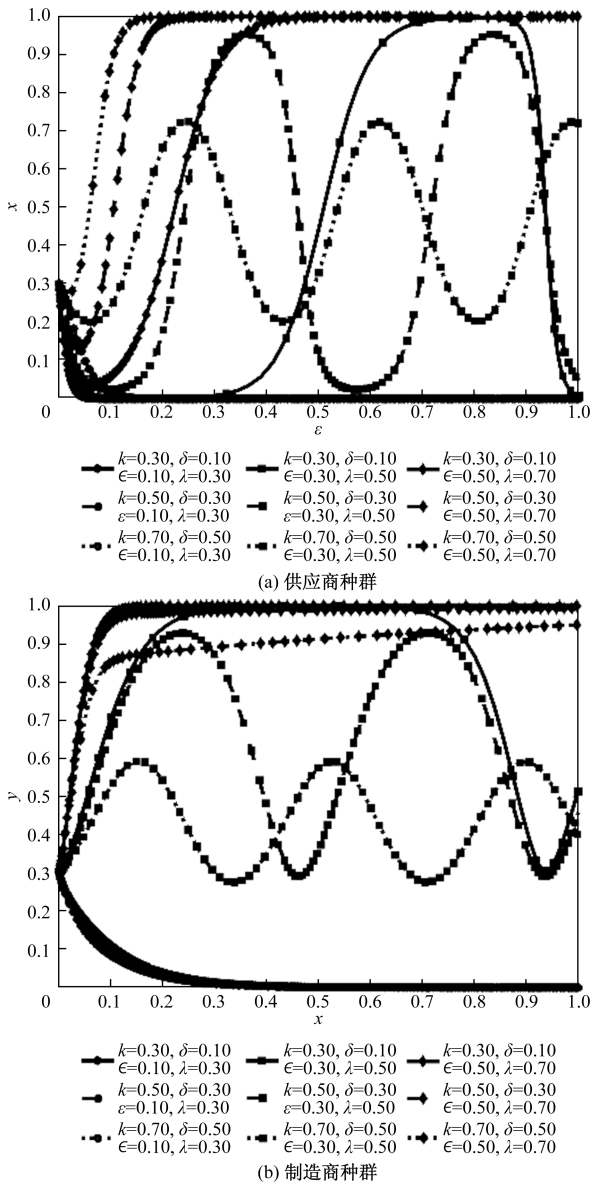


图 4　新生期跨界协同激励对两类种群激励效果的比较分析

险,先行采纳华为(供应商)的智驾与座舱系统。为上游的前沿技术提供了关键的测试床,更为后续大规模标准化授权奠定了基础。因此,在专利池建设初期,政策与联盟介入应通过加大早期采纳补偿,降低下游整车厂接入许可池的门槛费,以需求牵引驱动上游高质量专利的供给。

3.2　迭代期:激励调节与系统稳定性分析

令 $k=0.3$、$\lambda=0.3$、$\delta=0.3$、$\varepsilon=0.3$ 满足情况 2 的初始条件,系统演化结果如图 5 所示。

如图 6 所示,当仅对跨界协同激励力度进行调节时,系统演化结果呈现出三种典型状态:(0,0),(1,0)或无稳定演化结果。图 7 的仿真分析揭示了在创新生态系统的迭代期,协同收益分配结构是决定系统演化轨迹与稳态的关键治理变量。随着协

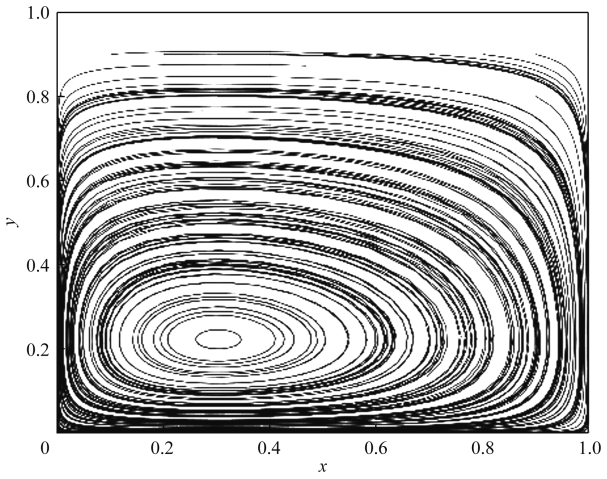


图 5　迭代期初始状态演化结果

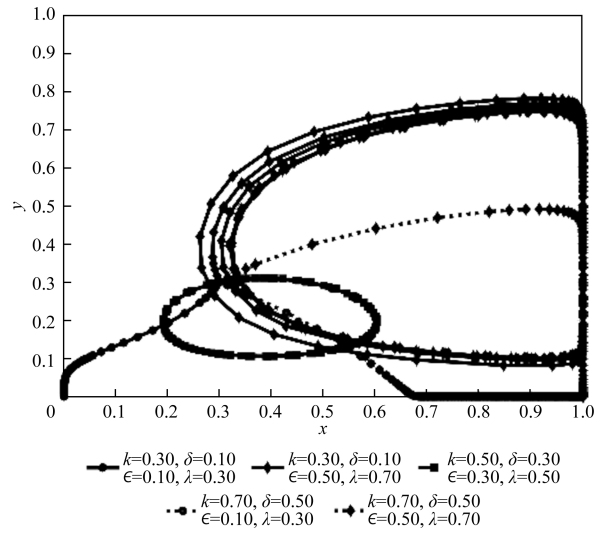


图 6　迭代期跨界协同激励对系统演化路径的影响

同收益分配的向制造商种群倾斜，系统的演化路径逐渐趋于稳定，且收敛至(1，1)的理想协同均衡的演化结果数量显著提高。

在技术迭代期，系统易因协同收益分配失衡而陷入动荡。若协同收益向供应商种群倾斜，采纳方的利润空间被严重挤压，系统将无法收敛。随着协同收益向制造商种群倾斜，采纳方的利润空间得到释放，系统更易收敛至理想均衡。阿维塔与华为早期合作中由于价值分配失序商业化受阻，随后通过股权绑定、软件收益对等分成等新型治理机制实现了再平衡。这表明，破解迭代期僵局的核心在于建立符合“公平、合理、无歧视(FRAND)”原则的动态收益分配机制。避免专利寡头独享，通过交叉授权或数据协作补偿下游，是驱动系统走向稳态的关键。

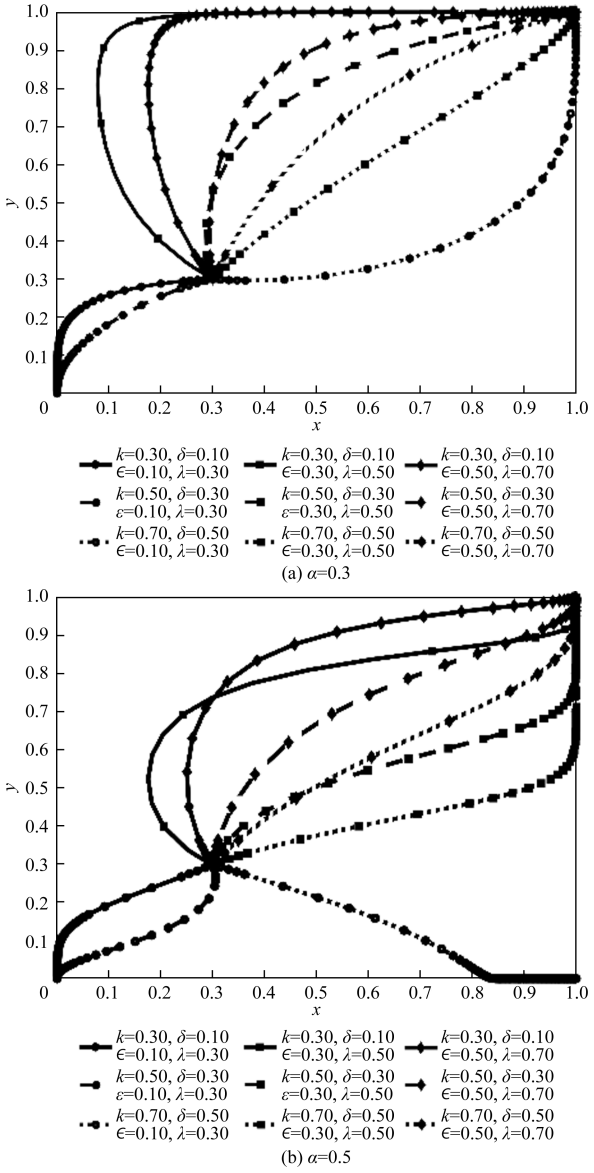


图 7　迭代期协同收益分配系数对演化路径的影响

3.3　发展期：激励优化与协同演化机制分析

令 $k=0.7$、$\lambda=0.3$、$\delta=0.7$、$\varepsilon=0.3$ 满足情况 3 的初始状态，系统演化结果如图 8 所示。

如图 9 所示，当对供应商种群跨界协同激励力度较高时，其演化结果明显趋向突破式创新；但若对制造商种群的激励水平偏低或处于中等区间，系统轨迹仍会逐步退化至(0，0)或陷入无稳定策略状态。只有当对制造商种群的激励强度足够大时，系统才能稳定收敛至(1，1)的理想协同均衡。为降低供应商种群突破式创新收益，图 10 的仿真结果进一步揭示了创新生态系统发展期的“供给侧超前-需求侧滞后”协同困境。持续提升对供应商种群的激励，虽能显著加速其突破式创新的演化速率，但制造商种群采纳速率的相对下降。这种非同步演化

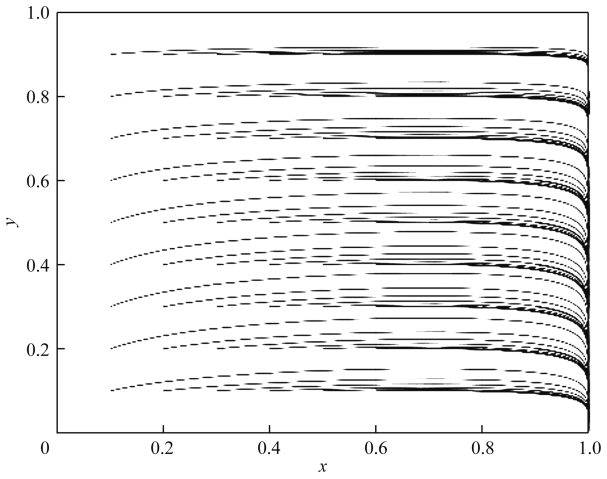


图 8　发展期初始状态演化结果

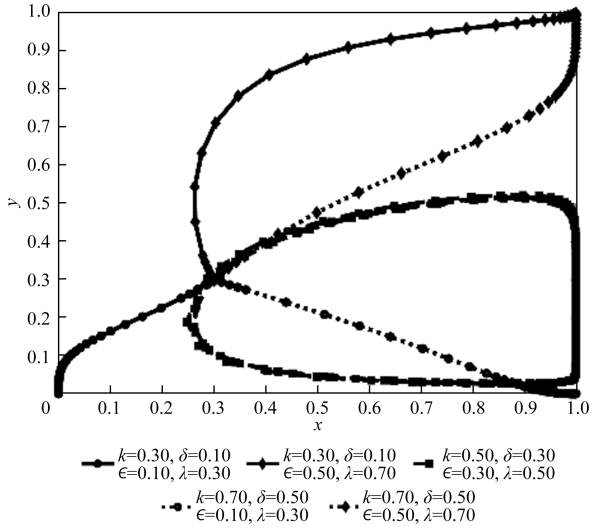


图 9　发展期跨界协同激励对系统演化路径的影响

反映了技术进步与产业应用之间的结构性错位：供给端受激励迅速实现了技术迭代，而需求端的制造商却因高昂的集成成本、生态配套体系的缺失及市场需求的不确定性而表现出路径依赖或观望策略，导致创新扩散速度滞后于技术创造速度，进而削弱了系统整体的协同效率。

创新成果转化过程中的关键是采纳侧的意愿。高比例的专利收益分成促使供应商种群快速实现技术突破，但制造商种群的采纳行为是技术商业化闭环的先决条件。理想汽车与地平线在导航辅助驾驶功能（NOA）量产上的时间差表明，即使核心算法已就绪，整车企业由于架构调整、测试验证周期长等原因，集成速度依然滞后。因此，此阶段的激励重点应在刺激上游专利产出基础上，更加注重赋能下游工程化采纳。供应商种群需要在研发早期与制造商建立联合定义与测试验证机制，降低后者

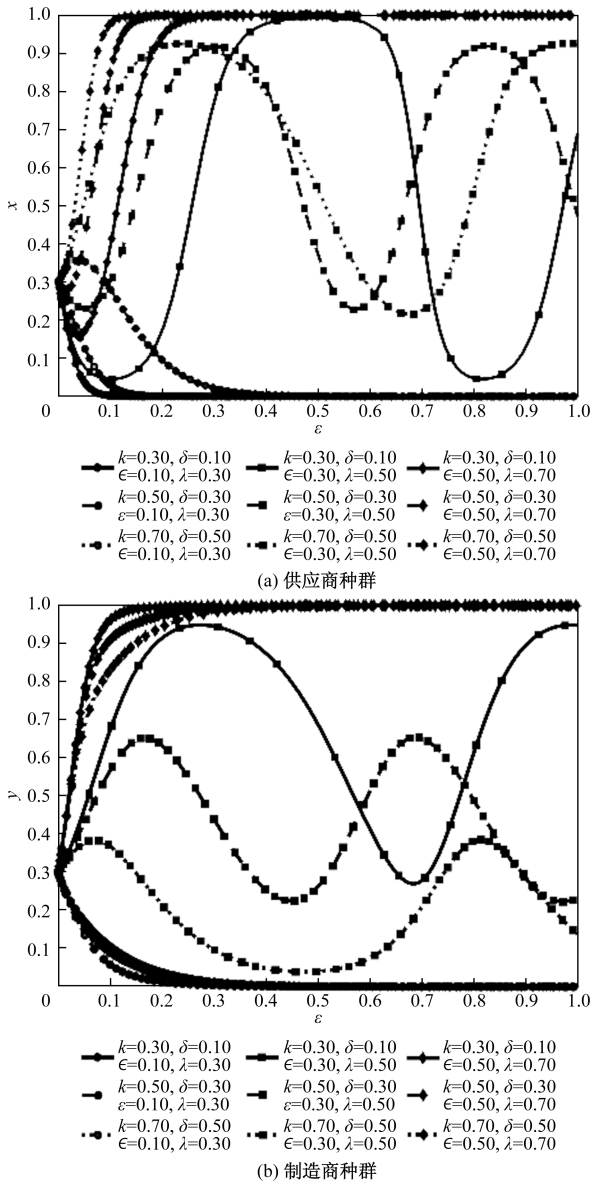


图 10　发展期跨界协同激励对两类种群激励效果的比较分析

的系统集成风险，避免仅生产专利，不进行适配的情况。

3.4　成熟期：内生创新与高水平协同机制分析

令 $k=0$、$\lambda=0$、$\delta=0$、$\varepsilon=0$ 满足情况 4，系统演化结果如图 11 所示。

如图 12 所示，在创新生态系统的成熟期，系统的演化逻辑发生根本性转变：一旦协同收益全面超越独立收益，系统将迅速、稳定地收敛至（1，1）理想协同均衡，形成“创新-采纳”的正向自维持循环。此时，生态系统内部的创新扩散与市场吸收能力已高度成熟，企业间的合作关系稳固且内化。企业通过长期协同所积累的互惠信任、共同标准和价值共创，已成为维持系统稳态的核心驱动力。

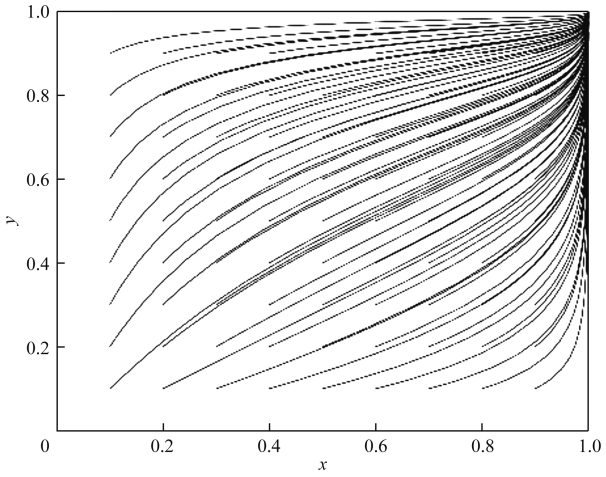


图 11　成熟期初始状态演化结果

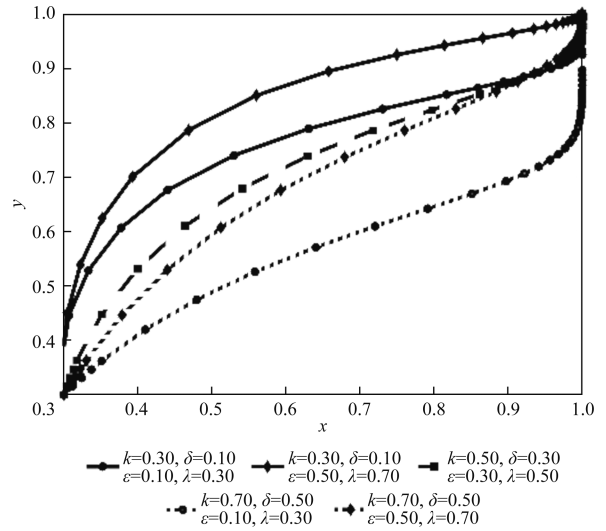


图 12　成熟期跨界协同激励对系统演化路径的影响

此时，依托专利许可池形成的技术标准与互信机制，已将外部的交易成本降至最低。特斯拉的数据闭环生态与华为鸿蒙智行的长期战略绑定模式显示，成熟期的企业合作已超越单笔技术买卖或简单的专利授权，升级为品牌、渠道、联合标准制定的全方位绑定。管理重点应从短期的资金补贴转向知识产权保护、数据安全流通及统一标准制定等制度性环境优化。

4　结论

本文基于创新生态系统视角，结合同侪激励思想与专利池运行模式，引入跨界协同激励机制，构建了以智能网联技术供应商种群和汽车制造商种群为主体的演化博弈模型。通过均衡稳定性分析与数值仿真，揭示了创新生态系统在不同发展阶段的演化特征及其关键影响因素。研究结论与启示如下。

（1）创新生态系统的演化历程具有阶段性特征，不同阶段受制于差异化的关键影响因素。新生期、发展期的关键影响因素为制造商种群采纳阻力，迭代期的关键影响因素为收益分配协调关系。跨界协同激励在新生期和发展期对系统演化方向具有决定性作用，但在成熟期作用递减。在激励机制的设计上，构建与阶段特征相适配的动态激励体系，增强激励的针对性与有效性，避免“一刀切式政策的低效与失灵。政策工具从“直接激励”逐渐过渡到“制度性保障”，从而持续引导系统向理想均衡演化。

（2）在促进产业升级的过程中，政府有必要从需求侧的市场拉动角度为智能网联汽车产业提供支持，从而带动甚至加快供给侧在突破性工程化、产业化中的技术、工艺的持续改进。供应商种群在不同阶段表现出对保守式与突破式创新的不同倾向。企业在制定技术战略时应同时考虑对方的策略选择与系统性风险。

（3）协同创新情况下如何调控供需两方的收益分配也是保证系统平稳运行的重要因素。跨界合作的治理核心不在于单向补贴，而在于构建可持续的协同治理架构：通过跨企业协商机制、收益分享协议及共同研发平台，保障上下游主体的利益均衡，从而维持创新生态系统的稳定性。

本文通过演化博弈和仿真模拟分析了智能网联汽车创新生态系统内异质群体各阶段的演化稳定策略，探索了如何使演化结果转向理想均衡的关键因素与作用机制。但本文对技术突破程度的量化标准单一，仿真数据不够贴近现实，未研究更加丰富的补贴方式及其对企业的异质性影响。未来研究中将参考专利领域必要的评估框架，融入更真实的企业数据，进一步细化补贴类型，以增进结论的有效性和解释力。

参考文献

[1] 李娜，孙龙. 新能源车企创新与消费者购买的行为差异研究——基于政府补贴有效性视角[J]. 工业技术经济，2025，44(2)：15-24.

[2] 高伟，杜骁恒，梁琦，等. 政府补贴、市场结构与协同创新：来自新能源汽车产业的经验证据[J]. 中国软科学，2025(5)：25-40.

[3] 席鹏辉，李瑶. 战略性新兴产业发展与重点税源维护：基于断点回归的证据[J]. 数量经济技术经济研究，2025(2)：5-24.

[4] 郭晓丹，王帆. “双碳”目标下政府补贴、需求替代与减排效应——来自中国乘用车市场的证据[J]. 数量经济技术经济研究，2024(2)：131-150.

[5] FU S, LIU D, HUANG F. Synergistic effect of government policy and market mechanism on the innovation of new energy vehicle enterprises[J]. Energy, 2024, 295: 130998.

[6] ZHENG X, MENEZES F, ZHENG X, et al. An empirical assessment of the impact of subsidies on EV adoption in China: a difference-in-differences approach[J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2022, 162: 121-136.

[7] CHEN Y, DAI X, FU P, et al. A review of China's automotive industry policy: recent developments and future trends[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2024, 11(5): 867-895.

[8] 郭晓丹, 李佳骏. 需求侧新兴产业政策赋能新质生产力: 路径与效果[J]. 财贸经济, 2025, 46(7): 22-38.

[9] 李军强, 汪明月. 考虑研发补贴的政企协同创新双向政策调控路径[J]. 科学学与科学技术管理, 2024, 45(7): 16-28.

[10] SONG Y, ZHANG Z, SAHUT J M, et al. Incentivizing green technology innovation to confront sustainable development[J]. Technovation, 2023, 126: 102788.

[11] ZHANG D, KARPLUS V J, CASSISA C, et al. Emissions trading in China: progress and prospects[J]. Energy Policy, 2014, 75: 9-16.

[12] 产健, 张丽, 李世龙. 智能化竞争下半场中国汽车产业的风险挑战与应对之策[J]. 当代经济管理, 2025, 47(3): 69-76.

[13] 霍治方, 王超, 樊正德. 数智时代的中国传统汽车产业重构: 特征与机制——以复杂适应系统理论为分析视角[J]. 宏观经济研究, 2025(6): 18-36.

[14] 姚双, 刘青, 吴乐科. 资源相似视角下智能网联汽车产业协同创新路径优化[J]. 科技管理研究, 2024, 44(9): 151-159.

[15] 郭元源, 秦武, 吴亮, 等. 产业"疾驰"何以可能? ——基于中国新能源汽车产业技术赶超的分析[J]. 科学学研究, 2025, 43(8): 1702-1714.

[16] 周菲, 刘颖琦, ARI K. 协同创新模式、网络嵌入与协同创新绩效——基于中国自动驾驶汽车产业的 fsQCA 研究[J]. 科技进步与对策, 2025, 42(15): 43-53.

[17] 柳卸林, 葛爽. 创新生态系统中企业的价值共创共享与新兴产业竞争优势形成——以中国光伏产业发展为例[J]. 中国工业经济, 2025(6): 140-158.

[18] WANG H, ZHENG L J, ZHANG J, et al. Unpacking complementarity in innovation ecosystems: a configurational analysis of knowledge transfer for achieving breakthrough innovation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2024, 122: 974.

[19] JUHÁSZ R, SQUICCIARINI M P, VOIGTLÄNDER N. Technology adoption and productivity growth: evidence from industrialization in France[J]. Journal of Political Economy, 2024, 132(10): 3215-3259.

[20] BALDWIN C Y, BOGERS M L A M, KAPOOR R, et al. Focusing the ecosystem lens on innovation studies[J]. Research Policy, 2024, 53(3): 104949.

Collaborative Strategies in the Intelligent Connected Vehicle Innovation Ecosystem: A Perspective of Cross-boundary Collaborative Incentives

TAN Huiying[1], LI Zhen[1], TANG Jinhuan[1], ZHAO Dan[2]

(1. School of Economics and Management, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China;
2. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243032, China)

Abstract: Intelligent connected technology's innovation quality and diffusion speed are critical to the automotive industry's transformation and upgrading, whose evolution hinges on collaborative interaction and incentive structure among multiple agents. From the perspective of the innovation ecosystem, and drawing on peer incentive mechanisms, a cross-boundary collaborative incentive mechanism was introduced to construct an evolutionary game model between the populations of intelligent connected technology suppliers and automobile manufacturers. This model was utilized to analyze the strategic choices and co-evolutionary pathways of cross-boundary agents, and to identify the key factors influencing the evolutionary equilibrium of the system. Results show that the innovation ecosystem presents four differentiated evolutionary equilibrium outcomes along with industrial development stage evolution, with dominant factors varying significantly across stages. Automakers' technology adoption willingness, via peer incentives, markedly affects suppliers' innovation decisions, acting as a key lever for system evolution. Strengthening manufacturers' adoption incentives and co-revenue distribution indirectly impacts the ecosystem's evolutionary stability and synergy efficiency. These findings enrich research on innovation ecosystem collaborative evolution from the peer incentive perspective, and policy insights are provided for cross-border collaborative innovation in the intelligent connected vehicle industry.

Keywords: intelligent and connected vehicle; innovation ecosystem; cross-border collaboration; evolutionary game