

新兴技术创新生态系统中主体共生演化分析

何建洪, 李 林, 朱 浩, 蔡 丹

(重庆邮电大学经济管理学院, 重庆 400065)

摘 要: 新兴技术创新生态系统中主体共生及演化是驱动新兴技术持续创新、有效释放经济社会价值的重要因素, 既决定着新兴技术自身能否最终形成完整的技术体系, 也决定着其能否完整展现出存在的价值意义。基于新兴技术创新生态系统中主体共生基本架构, 应用创新主体间共生作用系数变化分析共生关系动态演化与达到稳定状态的基本条件, 分析在新兴技术发展的不同阶段中主体共生的主要形态, 进而以智能网联汽车创新生态系统为例, 探讨促进新兴技术创新生态系统及其主体共生形态演化的可能要素。研究发现: 新兴技术创新生态系统演化及其创新主体共生演化在进程上同频共演、在驱动因素上同源交错; 在技术创新生态系统演化的不同阶段, 创新主体间共生作用系数及其均衡状态值也存在动态变化; 以信任机制、开放协同、平台化资源共享等方式强化创新主体间的共生依存, 激发创新主体共生形态由独立共生向互利共生演化是推动新兴技术持续创新的重要力量。

关键词: 新兴技术; 创新生态系统; 主体共生; 演化

中图分类号: F424

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)01-0186-15

Analysis of the evolution of agent symbiosis in the emerging technology innovation ecosystem

HE Jianhong, LI Lin, ZHU Hao, CAI Dan

(Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: The agent symbiosis and evolution in the emerging technology innovation ecosystem is an important factor to drive the continuous innovation of emerging technologies and effectively release the economic and social value. It not only determines whether the emerging technologies themselves can eventually form a complete technical system, but also determines whether they can fully show the value of existence. Based on the foundational framework of agent symbiosis in the emerging technology innovation ecosystem, this paper analyzes the essential conditions for the dynamic evolution of the symbiosis relationship and the its stable state, and analyzes the main forms of agent symbiosis in different stages of the development of emerging technologies. Then, taking intelligent connected vehicle innovation ecosystem as an example, this paper discusses the possible factors that promote the evolution of emerging technology innovation ecosystem and its symbiosis. The main findings of the study are that the evolution of emerging technology innovation ecosystem and its innovation agents co-evolve in the same frequency in the process and are homologous in the driving factors. At different stages of the evolution, the coefficient of symbiosis between innovation agents and its equilibrium state also change dynamically. It is an important force to promote the continuous innovation of emerging technologies to

收稿日期: 2023-09-12 修回日期: 2023-12-24

基金项目: 国家社会科学基金项目(22BGL046)。

作者简介: 何建洪(1973—), 男, 重庆人, 重庆邮电大学经济管理学院教授, 博士, 研究方向为新兴技术创新管理。通信作者: 李林。

strengthen the symbiosis by means of trust mechanism, open collaboration, and platform resource sharing, and stimulate the evolution of the symbiosis of innovation agents from independent symbiosis to mutually beneficial symbiosis.

Key words: emerging technology; innovation ecosystem; agent symbiosis; evolution

一、问题的提出与文献综述

新兴技术应用价值释放及其推动产业重构与变革、推动经济社会发展需要经历较复杂的沿生命周期演化进程,有效推进这一演化进程既决定着新兴技术自身能否最终形成完整的技术体系,也决定着其能否完整展现出存在的价值意义。推进这一演化进程的外生、内生要素很多,其中,新兴技术创新生态系统中主体共生演化是推进这一进程的重要因素,且存在与其在进程上同频共演、在驱动因素上同源交错等独特特征。

无论从人类命运共同体发展还是从国家层面的繁荣发展视角看,新兴技术的持续创新均是最重要的推动力量^[1]。从历史视角看,几乎所有重大、复杂的新兴技术创新都依存于一个持续演化的生态系统以跨越“死亡之谷”、规避产业化时的“孤岛效应”^[2]。然而,新兴技术创新所特有的高度不确定性^[3]、创造性毁灭^[4]和赢者通吃^[5]等特性,使其创新生态系统中各要素的间联接关系也具有高度复杂性与随机行走特征^[6],创新系统的演化易于陷于“停滞”甚至“中断”^[7],致使其演化为“早熟技术”^[8]。如基因编辑等新兴的生物技术,因为面临着伦理与道德的双重挑战而很难得到快速发展;由于用户隐私等原因,大数据技术的潜在价值长时间处于无法充分挖掘状态。同时,在技术高度复杂化的时代,新兴技术创新生态系统中创新主体之间必须建立不同程度的相互依存关联,才能在新兴技术系统持续迭代演化中获得生存空间^[9],收获新兴技术产业化应用中商业价值释放的红利^[10]。即使单纯从推动新兴技术主导设计走向成熟、完善工艺设计与产品试制等创新过程的视角看,单一企业也很难独立完成复杂的新兴技术创新活动并独占创新的超额利润^[11],需要创新主体间策略协同、资源互补和价值共创^[12]。

正是基于新兴技术创新生态系统的独特特征及创新主体间协同合作的重要性。长期以来,研

究者们从合作创新^[13]、价值共创等不同视域,解构了新兴技术创新及其生态中创新主体间的关联,探讨优化主体间协同共生以突破新兴技术发展瓶颈的可能路径^[14],强调以“互利共赢”策略谋求竞合优势而非以“赢者通吃”策略寻求独占优势^[15],努力探寻新兴技术创新生态中主体间协同与共生的平衡点^[16]。这些研究推动了以零和博弈竞争为基本理念的新兴技术创新生态理论向以创新主体间共生与价值共创为基本理念的创新生态系统理论的演化^[17],重新定义着新兴技术创新生态中主体间竞争与协作关系形态^[18]。在这样的竞争与协作关联中,共生是驱动新兴技术及创新主体自身生存发展的根本需求^[19],聚合着创新主体驱动新兴技术持续创新资源^[20],激发新兴技术应用价值开发、经济与社会效应释放共同诉求,进而动态塑造创新生态系统中创新主体间的相互依赖关系^[21]。然而,无论是新一轮科技革命与产业变革带来的新兴技术创新复杂性的增强,还是当前经济技术发展模式、国家间科技合作形势的变化,均使新兴技术创新生态系统中主体共生的研究面临着现实情景和理论范式的变革^[22]。在此背景下,探讨新兴技术创新生态系统中创新主体间共生关系形态及演化规律,解析推动创新主体共生关系变化以加速新兴技术经济社会价值释放、加快形成更具活力的新兴技术产业的基本过程,已成为当前急需关注的重要问题。

基于此,本文通过梳理新兴技术创新生态系统中主体共生基本架构,探讨了创新生态系统中主体共生不同形态与新兴技术创新生态系统自身演进阶段同频演化的过程,并应用创新主体间共生作用系数变化分析了共生关系动态演化与达到稳定状态的基本条件,分析了在新兴技术发展变化的不同阶段中,创新主体通过整合创新生态资源相互依存,其共生形态由独立共生向互利共生发展演变的必然要求。进而以智能网联汽车创新生态系统中主体共生关系及发展变化过程为例进

行了分析,提出以信任机制、开放协同、平台化资源共享等方式强化新兴技术创新生态系统中主体共生关系以推动新兴技术创新演化,从创新生态系统主体共生视角展现了新兴技术由产生到经济社会价值释放需要经历的动态历程。

二、新兴技术创新生态系统中主体共生演化模型

(一)主体共生基本框架

新兴技术创新生态系统包括共生主体、共生环境与共生模式子系统,这些子系统交互作用,共同驱动新兴技术创新生态系统的动态演化过程。共生主体是共生演化的主体,共生模式是共生演化的形态呈现,共生环境是共生演化的外部条件。新兴技术创新生态系统共生要素间的关系框架如图 1 所示。其中,共生主体亦即创新主体,是共生行动中最基本的能量产生单元,根据其在新兴技术创新生态系统中的重要性、在技术创新过程中所承担的创新功能差异,可将共生主体分为核心创新层、辅助创新层、应用创新层主体^[23]。

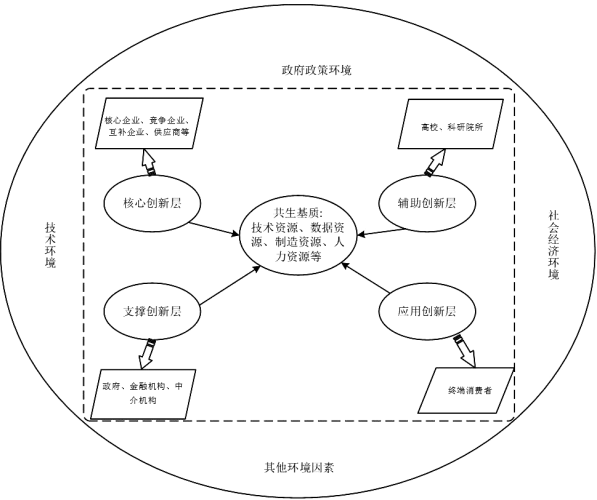


图 1 新兴技术创新生态系统共生要素框架

基于更具一般性的生态系统共生理论^[24],新兴技术创新生态主体共生关系可分为独立共生、竞争共生、寄生共生、偏利共生和互利共生等不同形式,其具体特征如表 1 所示。

而从共生组织模式上看,新兴技术创新生态系统中主体共生存在四种模式,即点共生、间歇共生、连续共生和一体化共生。其具体特征如表 2 所示。

表 1 共生行为模式

行为模式	概念	特征
独立共生	在独立共生关系下,主体之间互不影响,相对独立发展	不存在共生能量的转移
竞争共生	竞争共生关系下的各共生主体会对市场中相同技术资源进行争夺,彼此之间会产生一种相互制约的关系,但竞争共生模式并不一定会对主体之间的利益产生影响	适度的竞争会增加系统整体的共生能量
寄生共生	一方主体寄生于另一方主体,会造成一方利益的增加,而另一方利益的减少,利益是以一种单向流动的方式从被寄生者流向寄生者	共生能量的流动是一种单向的,它对寄生体是有利的,对被寄生体是不利的
偏利共生	偏利共生关系下,一部分主体利益会增加,另一部分主体的利益不变	共生能量没有变化
互利共生	互利共生包括对称性互利共生与非对称互利共生,互利共生模式下的双方主体利益都会增加	非对称互利共生模式下,双方共生能量的增加量存在差异;对称性互利共生模式下,双方共生能量的增加量相同

表 2 共生组织模式

组织模式	概念	特征
点共生	共生主体之间出现的一次性联系,具有不确定性与偶然性	单向合作,共生性最弱
间歇共生	共生主体之间会出现多种相互联系,具有不确定性和不稳定性	双向合作,共生性较弱
连续共生	共生主体之间产生连续性的相互联系,具有连续性、稳定性及较大程度的必然性	多方面的合作,共生性较强
一体化共生	共生主体之间产生持续性的相互联系,具有一定的稳定性与合作的必然性	存在全方面的合作,共生性最强

此外,新兴技术创新生态中主体间的共生是内嵌于系统之中的,由于技术随着生命周期的演进,新兴技术创新生态系统中主体及主体间的关联均处于动态演化过程中^[25],主体之间构成的协同共生关系会逐渐由简单向复杂发展,呈现出显著的阶段性特^[26]征。根据技术生命周期演化的 Logistic 模型,新兴技术创新生态系统整体呈现出“S”型发展形态,在阶段性上可分为起始、成长和成熟 3 个阶段。不同阶段中创新主体间共生形态、模式均有差异。新兴技术创新生态系统共生演化阶段如图 2 所示。

具体而言,主体之间在新兴技术创新系统形成初期处于独立发展的状态,随着生态系统中各主体间相互依赖关系形成及深化,共生主体开始形成了寄生共生的共生模式;随着主导设计不断

成熟、技术轨道的确定性不断提高,主体间共生关系会表现出偏利共生与非对称互利共生;在成长及成熟阶段,系统中主体技术知识资源与技术价值发掘的需求不断增加,生态系统中的主体之间将会形成一种相互依赖的对称性互利共生关系。而在新兴技术创新生态系统的整个演化过程中,主体间一直存在着竞争共生行为,只是存在竞争程度差异。

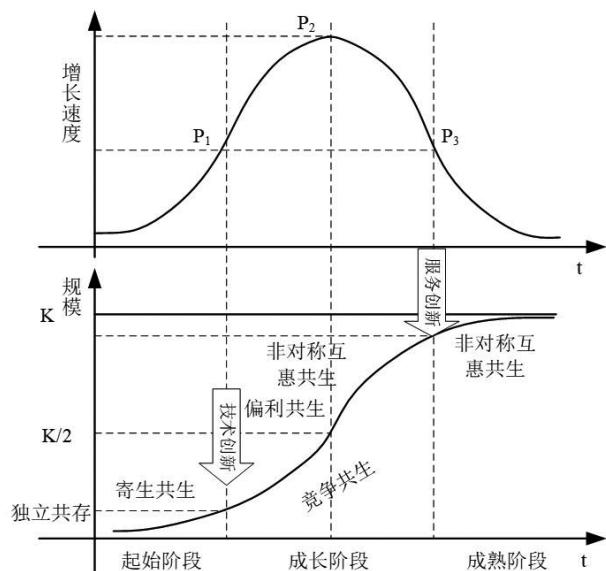


图2 新兴技术创新生态系统中主体共生演化阶段

(二) 主体共生演化模型

新兴技术创新生态系统是一个复杂和自适应的生态系统,其主体共生演化过程类似于自然生态系统的种群演化^[27],因此可以通过构建生态学的 Lotka-Volterra 模型来模拟共生主体之间的共生模式。Lotka-Volterra 模型是对 Logistic 模型的一种扩展,它最初被用于刻画一种生物之间的掠食者和被掠食者之间的相互作用^[28]。后来在各种领域得到了广泛的应用,可以被用来描述创新主体由于资源整合而形成的共生关系。

1. 基本假设

在新兴技术创新生态系统中,各种共生主体不断地进行着知识和资源交换的创新活动,并通过共生机制来适应不断变化的用户需求和市场环境。主体对于技术、知识与资源的占有是共生行为产生并不断发展的前提,在紧密合作、松散耦合达到情况下,主体间的业务活动能够有序地进行。

在此过程中,随着主体的规模不断扩大,主体所拥有的技术资源总量与知识存储量也会随之增加,这就会引起共生结构也会做出相应的改变,从而促使新兴技术创新生态系统向更高阶的方向演变。基于价值共创的视角,选择对共生发展具有价值导向作用的核心创新层、辅助创新层以及应用创新层三类创新主体来构建 Lotka-Volterra 主体共生演化模型。不失一般性,首先给定基本假设:

假设 1:资源制约。新兴技术创新生态系统是由核心创新层、辅助创新层、应用创新层三类创新主体组成,每一个创新主体在创新过程中都会被自身的技术资源、资金投入、时间成本等客观因素所制约,因此创新主体的规模并不会呈现出无限增长的趋势,而是在经历一段时间的激烈竞争之后,最终达到一个稳定的状态。

假设 2:共生关系。在新兴技术创新生态系统中,创新主体间的资源异质性和相互依赖导致形成了复杂的共生关系,共生系数决定主体间的不同共生关系,因此各创新主体之间的共生关系可以分为独立共生、竞争共生、偏利共生、寄生共生、互利共生五种不同的关系类型。创新主体之间的共生发展是一个彼此约束又互相促进的过程,共生系数为正值时,则每个创新主体都能从中获益;共生系数为负值时,则会阻碍各创新主体的发展。

假设 3:成长状况。用新兴技术创新生态系统中的创新主体的规模变化来代表其成长状况,规模越来越大意味着企业的成长状态良好,在系统中所占据的创新资源的比重也就会越大;规模越来越小意味着创新主体趋向于消亡,在系统中对创新资源的份额也会越少;当创新主体在创新资源的份额为零时,则意味着该创新主体退出了新兴技术创新生态系统。

2. 模型构建

新兴技术创新生态系统从萌芽到成长的演化过程,实质上是各种创新主体规模不断扩大、创新能力不断提升、各方协同创造价值的过程。利用生态学的 Lotka-Volterra 模型来探讨新兴技术创新生态系统内不同参与主体的共生演化模型。

假设 $Q_i(t)$ ($i=1,2,3$) 分别是核心创新层、辅

助创新层、应用创新层三类主体的规模, r_i ($i=1, 2, 3$) 分别是三类共生主体规模的自然增长率, Q_i^* ($i=1, 2, 3$) 为这类共生主体在资源限制下的种群规模的最大值。由于这三种类型的创新主体间共生关系的强弱不同, 故通过 Lotka-Volterra 模型可以得到三类主体之间的共生动态演化模型如下:

$$\begin{cases} \frac{dQ_1}{dt} = r_1 Q_1 (1 - \frac{Q_1}{Q_1^*} + \lambda_{12} \frac{Q_2}{Q_2^*} + \lambda_{13} \frac{Q_3}{Q_3^*}) Q_{1(0)} = Q_{10} \\ \frac{dQ_2}{dt} = r_2 Q_2 (1 - \frac{Q_2}{Q_2^*} + \lambda_{21} \frac{Q_1}{Q_1^*} + \lambda_{23} \frac{Q_3}{Q_3^*}) Q_{2(0)} = Q_{20} \\ \frac{dQ_3}{dt} = r_3 Q_3 (1 - \frac{Q_3}{Q_3^*} + \lambda_{31} \frac{Q_1}{Q_1^*} + \lambda_{32} \frac{Q_2}{Q_2^*}) Q_{3(0)} = Q_{30} \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中, $Q_{i(0)}$ ($i=1, 2, 3$) 表示新兴技术创新生态系统中核心创新层、辅助创新层、应用创新层的主体初始规模, $r_i Q_i$ ($i=1, 2, 3$) 分别反映核心创新层、辅助创新层、应用创新层各自的发展趋势; $1 - Q_i / Q_i^*$ ($i=1, 2, 3$) 是 Logistic 系数, 它表示创新生态系统系统中的剩余资源占总资源的比率, 即表示核心创新层、辅助创新层、应用创新层 3 类创新主体由于受到创新资源总量的限制不会无限增长。 λ_{ij} ($i \neq j; i=1, 2, 3; j=1, 2, 3$) 代表共生主体之间的共生作用系数, 它表示的是共生主体 j 对共生主体 i 在种群规模方面的影响程度。

3. 均衡点分析

根据对共生作用系数的取值范围进行分析, 可以得到如表 3 所示的新兴技术创新生态系统的主体共生演化模式。

新兴技术创新生态系统中的创新主体共生演化是一个动态博弈过程, 从表 3 可以看出, 共生作用系数的不同取值会决定主体之间形成不同的共生模式, 而共生作用系数在很大程度上决定了新兴技术创新生态系统的共生演化均衡状态。不同的共生模式会导致系统向不同的方向演化, 最终达到稳定状态。为了探讨三类创新主体之间共生演化的稳定点, 可以对式(1)的均衡点进行稳定性分析, 令 $\frac{dQ_1}{dt} = \frac{dQ_2}{dt} = \frac{dQ_3}{dt} = 0$, 得到核心创新层、辅助创新层、应用创新层三类主体的共生演化的 8 个局部均衡点, 此时 8 个均衡点组成了新兴技术创

新主体共生演化生态系统的边界, 采用李亚普诺夫一阶方法, 利用雅可比矩阵对该模型进行了稳定性分析。当矩阵 J 的全部特征值都为负时, 该均衡点是稳定的; 若矩阵 J 的特征值中有一个为正值时, 就表明该均衡点是不稳定的。

表 3 新兴技术创新生态系统的主体共生演化模式

取值范围	共生模式	特点
$\lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \lambda_{32} = 0$	独立共生	创新主体之间相互独立发展, 互不影响
$\lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \lambda_{32} < 0$	竞争共生	创新主体之间争夺相同的资源
$\lambda_{12} \lambda_{21} < 0, \lambda_{13} \lambda_{31} < 0, \lambda_{23} \lambda_{32} < 0$	寄生共生	当共生作用系数为正值时, 则会对创新主体有利, 而当共生系数为负值时, 则会对创新主体有害
$\lambda_{12}=0, \lambda_{21}>0$ 或 $\lambda_{12}>0, \lambda_{21}=0$; $\lambda_{13}=0, \lambda_{31}>0$ 或 $\lambda_{13}>0, \lambda_{31}=0$; $\lambda_{23}=0, \lambda_{32}>0$ 或 $\lambda_{23}>0, \lambda_{32}=0$;	偏利共生	共生作用系数为正值, 则会对创新主体有益, 共生作用系数为零的创新主体不会对其他类型的创新主体产生任何影响
$\lambda_{12}, \lambda_{13}, \lambda_{21}, \lambda_{23}, \lambda_{31}, \lambda_{32} > 0$	互利共生	共生作用系数为正值, 所有的创新主体都会获得利益

雅可比矩阵公式如下:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_1} & \frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_2} & \frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_3} \\ \frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_1} & \frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_2} & \frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_3} \\ \frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_1} & \frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_2} & \frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_3} \end{bmatrix},$$

其中,

$$\frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_1} = r_1 (1 - 2 \frac{Q_1}{Q_1^*} + \lambda_{13} \frac{Q_3}{Q_3^*} + \lambda_{12} \frac{Q_2}{Q_2^*}),$$

$$\frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_2} = \frac{r_1 Q_1 \lambda_{12}}{Q_2^*}, \quad \frac{\partial F(Q_1)}{\partial Q_3} = \frac{r_1 Q_1 \lambda_{13}}{Q_3^*},$$

$$\frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_1} = \frac{r_2 Q_2 \lambda_{21}}{Q_1^*},$$

$$\frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_2} = r_2 (1 - 2 \frac{Q_2}{Q_2^*} + \lambda_{23} \frac{Q_3}{Q_3^*} + \lambda_{21} \frac{Q_1}{Q_1^*}),$$

$$\frac{\partial F(Q_2)}{\partial Q_3} = \frac{r_2 Q_2 \lambda_{23}}{Q_3^*},$$

$$\frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_1} = \frac{r_3 Q_3 \lambda_{31}}{Q_1^*},$$

$$\frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_2} = \frac{r_3 Q_3 \lambda_{32}}{Q_2^*},$$

$$\frac{\partial F(Q_3)}{\partial Q_3} = r_3(1 - 2\frac{Q_3}{Q_3^*} + \lambda_{31}\frac{Q_1}{Q_1^*} + \lambda_{32}\frac{Q_2}{Q_2^*})$$

若均衡点使雅克比矩阵 J 的行列式 $Det(J) > 0$, 且迹 $Tr(J) < 0$ 时, 则此均衡点是一个稳定均衡点, 该新兴技术创新生态系统系数动态演化的均衡点以及稳定性条件如表 4 所示。

表 4 稳定性条件

均衡点	特征值	稳定性条件
$E_1(0,0,0)$	均为正值	不稳定
$E_2(Q_1^*, 0, 0)$	均为负值	$\lambda_{21} < -1, \lambda_{31} < -1$
$E_3(0, Q_2^*, 0)$	均为负值	$\lambda_{12} < -1, \lambda_{32} < -1$
$E_4(0, 0, Q_3^*)$	均为负值	$\lambda_{13} < -1, \lambda_{23} < -1$
$E_5(0, \frac{(1 + \lambda_{23}) Q_2^*}{1 - \lambda_{23} \lambda_{32}}, \frac{(1 + \lambda_{23}) Q_3^*}{1 - \lambda_{23} \lambda_{32}})$	有正值	$\lambda_{32} \lambda_{23} < 1, \lambda_{13} < -1, \lambda_{12} < -1$
$E_6(\frac{(1 + \lambda_{13}) Q_1^*}{1 - \lambda_{13} \lambda_{31}}, 0, \frac{(1 + \lambda_{31}) Q_3^*}{1 - \lambda_{13} \lambda_{31}})$	有正值	$\lambda_{32} \lambda_{23} < -1, \lambda_{23} < -1, \lambda_{21} < -1$
$E_7(\frac{(1 + \lambda_{12}) Q_1^*}{1 - \lambda_{12} \lambda_{21}}, \frac{(1 + \lambda_{21}) Q_2^*}{1 - \lambda_{12} \lambda_{21}}, 0)$ $E_8(p, q, k)$	有正值 均为负值	$\lambda_{12} \lambda_{21} < -1, \lambda_{31} < -1, \lambda_{32} < -1$ $\lambda_{12} \lambda_{21} > 1$ $Q_3^* (\lambda_{12} + 1) + \lambda_{12} \lambda_{23} + \lambda_{13} > 0$ $Q_3^* (\lambda_{21} + 1) + \lambda_{21} \lambda_{13} + \lambda_{23} > 0$ $\lambda_{31} [1 - \lambda_{31} (\lambda_{13} + \lambda_{12} \lambda_{23}) - \lambda_{21} (\lambda_{12} + \lambda_{32} \lambda_{13}) - \lambda_{32} \lambda_{23}] > 0$

注: 在均衡点 E_8 中,

$$p = \frac{-Q_1^* (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{12} \lambda_{23} + \lambda_{13} \lambda_{32} - \lambda_{23} \lambda_{32} + 1)}{\lambda_{12} \lambda_{21} + \lambda_{13} \lambda_{31} + \lambda_{23} \lambda_{32} + \lambda_{12} \lambda_{23} \lambda_{31} + \lambda_{13} \lambda_{21} \lambda_{32} - 1},$$

$$q = \frac{-Q_2^* (\lambda_{21} + \lambda_{23} + \lambda_{13} \lambda_{21} + \lambda_{23} \lambda_{31} - \lambda_{13} \lambda_{31} + 1)}{\lambda_{12} \lambda_{21} + \lambda_{13} \lambda_{31} + \lambda_{23} \lambda_{32} + \lambda_{12} \lambda_{23} \lambda_{31} + \lambda_{13} \lambda_{21} \lambda_{32} - 1},$$

$$k = \frac{-Q_3^* (\lambda_{31} + \lambda_{32} + \lambda_{12} \lambda_{31} + \lambda_{21} \lambda_{32} - \lambda_{12} \lambda_{21} + 1)}{\lambda_{12} \lambda_{21} + \lambda_{13} \lambda_{31} + \lambda_{23} \lambda_{32}}.$$

4. 仿真分析

从表 3 和表 4 可以看出, 创新主体之间共生作用关系的强弱会对生态系统的均衡状态以及共生模式的发展轨迹产生影响。将参数的经济意义和模型的具体要求结合起来, 借鉴部分参考文献中的仿真参数设置规则^[29-30], 设定基本参数。假设新兴技术创新生态系统的核心创新层、辅助创新层、应用创新层的规模自然增长率为 0.05、0.04、0.02, 其初始规模均为 100, 当系统中创新资源总量有限时, 三类创新主体的发展规模最大值都为 1 000, 演化周期设为 800。在此基础上, 利用 MATLAB 软件对上述的 5 种共生模式进

行数值仿真分析。

(1) 独立共生模式

在独立共生模式中, 创新主体之间的共生系数为零时, 即 $\lambda_{ij} = 0$, 在新兴技术创新生态系统中, 3 种类型的创新主体都是互不影响, 其发展速度和规模大小只与自身的自然增长率有关, 没有相互的共生效应; 经过一定时间的发展, 3 种类型的创新主体分别达到各自规模的最大值。如图 3 所示。一般而言, 这种独立共生模式一般出现在新兴技术创新生态系统的起始阶段。此时, 辅助创新层的主体由于规模和能力都受到限制, 无法承担起新兴技术研发活动所带来的高风险, 这就造成了核心创新层的主体很难找到相匹配的辅助机构等。因此, 核心主体只能单独地进行新兴技术的研发, 创新主体均处于独立共存的状态, 而且系统中的创新资源也是比较分散的。

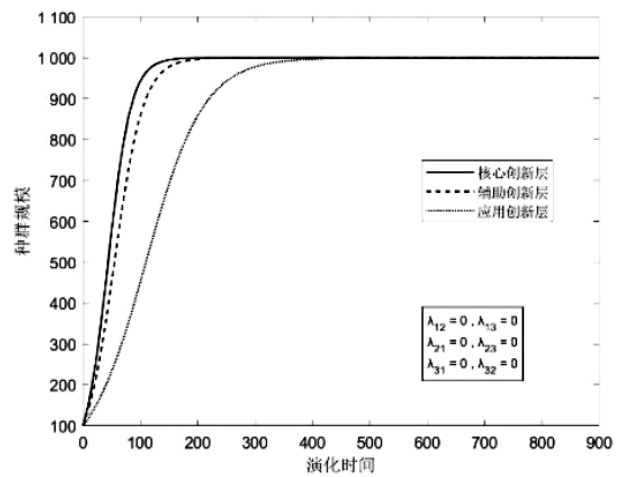


图 3 独立共生模式演化

(2) 竞争共生模式

当 $-1 < \lambda_{ij} < 0$ 时, 为正常竞争模式, 此时 $\lambda_{12} = -0.1, \lambda_{13} = -0.3, \lambda_{21} = -0.15, \lambda_{23} = -0.2, \lambda_{31} = -0.3, \lambda_{32} = -0.25$, 新兴技术创新生态系统中创新主体共生演化的仿真结果如图 4a 所示。在这一竞争模式中, 核心创新层的发展既受本身的制约, 又受来自辅助创新层和应用创新层的共同影响。同时, 由于资源、环境等因素的制约, 核心创新层的成长历程呈现出先升后降的趋势, 而非其最大规模。辅助创新层和应用创新层的主体也各自被其他创新主体发展的所制约, 最终发展受到阻碍。

核心创新层对资源的依赖程度很高,也受到辅助创新层和应用创新层的影响,其本身发展速度也较快。

当满足其中某一类创新主体对另外两类创新主体的共生作用系数 λ_{ij} 均小于 -1 时,为恶性竞争模式,此时 $\lambda_{12} = -0.1$, $\lambda_{13} = -0.3$, $\lambda_{21} = -0.15$, $\lambda_{23} = -0.2$, $\lambda_{31} = -0.7$, $\lambda_{32} = -0.5$, 新兴技术创新生态系统创新中主体恶性竞争共生演化的仿真结果如图 4b 所示。在这一模式中,应用创新层的共生系数较大,对资源的消耗严重,仅仅经历了一

个短暂的发展过程就会走向消亡,而核心创新层和辅助创新层的创新主体则在竞争过程中不断发展壮大,并最终超过自身发展规模的最大值。在新兴技术创新生态系统的成长阶段,随着创新生态成员的不断加入,核心企业尝试通过打破原有的合作方式,不断产生新知识以获得新的资源和技术,从而建立起一个资源开放共享的生态系统。同时,各创新主体之间的交互作用将加强,其自身的自组织能力将逐渐增强,系统并呈现出由无序向有序发展的趋势。

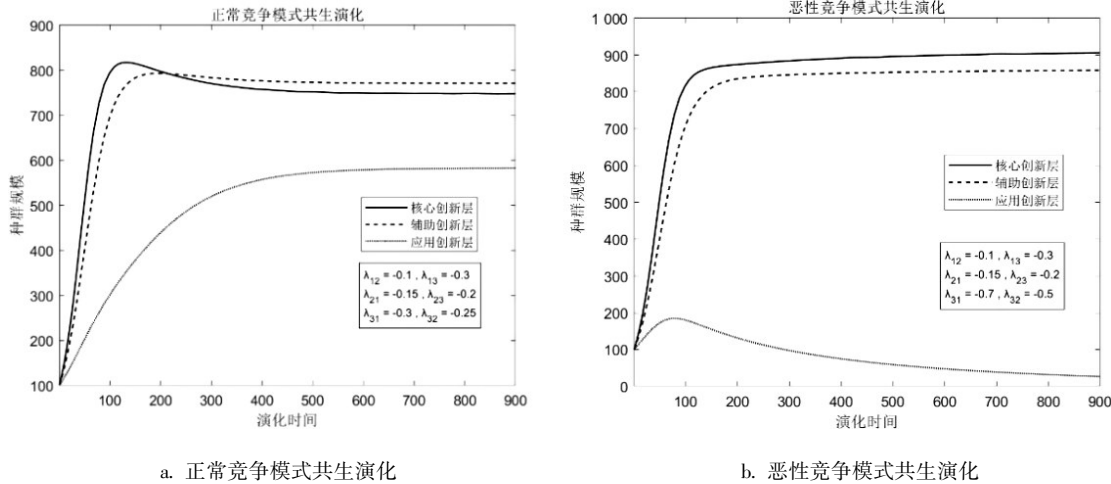


图 4 竞争共生演化

(3) 寄生共生模式

在寄生共生模式中,各类型的创新主体都想从其他主体身上来获得更多的利益,从而达到自身规模的增长和发展。寄生共生模式主要包括以下两种情况:一种情况是当 $\lambda_{12} = 0.3$, $\lambda_{13} = 0.4$, $\lambda_{21} = 0.2$, $\lambda_{23} = 0.2$, $\lambda_{31} = -0.15$, $\lambda_{32} = -0.1$ 时,核心创新层和辅助创新层的主体寄生于应用创新层的主体,新兴技术创新生态系统中创新主体寄生共生模式演化过程如图 5a 所示。核心创新层和辅助创新层的主体消耗应用创新层的资源,经过了一段时间之后,核心创新层和辅助创新层的主体发展规模增长开始趋于稳定,但是最终并没有达到主体规模的最大值。而核心创新层和辅助创新层则由于寄生共生关系而获益,最终的规模因获益而有所增加,其具体发展规模大小是由共生作用系数的大小所决定的,共生系数的绝对值越大,则发展的

最终规模就越大。

另一种情况是当 $\lambda_{12} = 0.3$, $\lambda_{13} = 0.3$, $\lambda_{21} = 0.1$, $\lambda_{23} = 0.2$, $\lambda_{31} = -0.15$, $\lambda_{32} = -0.1$ 时,核心创新层分别寄生于辅助创新层和应用创新层,新兴技术创新生态系统中创新主体寄生共生演化过程如图 5b 所示。核心创新层的主体由于寄生在其他主体上而获益,从而实现了自身利益的最大化;但在创新的过程中,辅助创新层和应用创新层的主体由于受到核心创新层的资源占用的影响,其发展规模受到限制而达不到独自发展的最大规模。在这个模式下,创新主体利用共享资源,将合作伙伴之间的合作关系建立起来,建立一个更和谐、更可持续的合作关系。此外,创新主体还可以利用这种模式来提高创新效率和效果,并有效地利用资源实现经济增长。这种模式通常出现在新兴技术创新生态系统的成长阶段,此时系统面临着资源重组的问题。

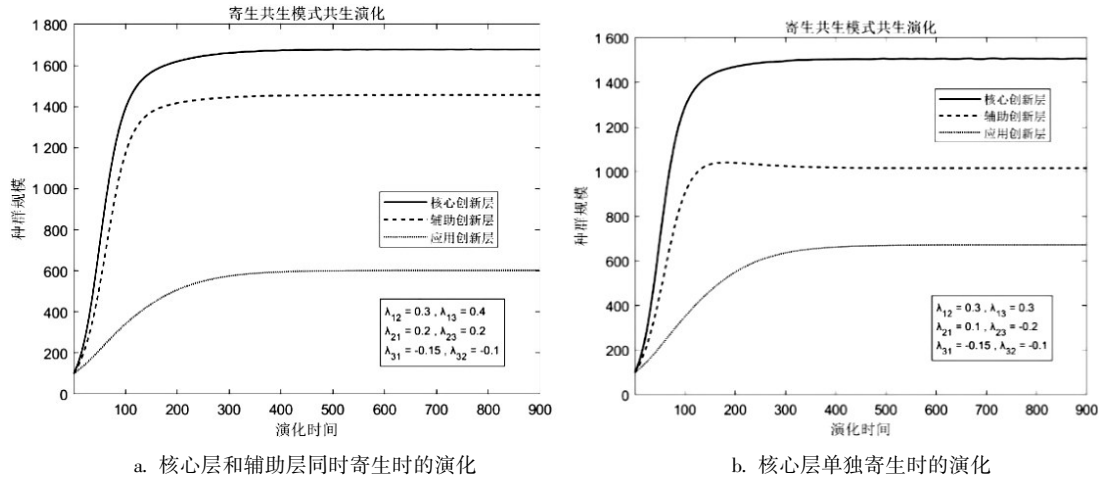


图5 寄生共生模式演化

(4) 偏利共生模式

当 $\lambda_{12}=0.3, \lambda_{13}=0.25, \lambda_{21}=0, \lambda_{23}=0, \lambda_{31}=0, \lambda_{32}=0$ 时, 新兴技术创新生态系统中创新主体间偏利共生模式演化过程如图 6a 所示。在该模式下, 核心创新层的主体依赖其他主体获得了更多的创新资源, 因此核心创新层的规模增长超过独立发展的上限。而辅助创新层和应用创新层的主体都维持各自的正常发展, 不受其他主体和环境因素的影响, 因此它们的规模增长并没有变化。当 $\lambda_{12}=0.25, \lambda_{13}=0.3, \lambda_{21}=0.15, \lambda_{23}=0.25, \lambda_{31}=0, \lambda_{32}=0$ 时, 新兴技术创新生态系统中创新主体间偏利共生演化过程如图 6b 所示。在这种模式下, 应用创新层的主体规模只与自身的自然增长率有关, 而不受其他主体的影

响; 核心创新层和辅助创新层的创新主体由于获得应用创新层的资源而得到了快速成长的机会, 从而突破了自身规模增长的上限。

在新兴技术创新生态系统的起始阶段, 核心企业和其它创新主体共同构建了一个创新生态系统, 而核心企业凭借自身的技术优势在其中发挥着领导者的作用, 并控制着整个新兴技术创新生态系统的创新方向。在这个阶段, 系统中的创新主体较为分散并呈现出无序封闭式创新状态, 主体之间的互动也比较少。因此, 这个阶段的种群之间形成偏利共生的关系, 即非核心企业溢出的知识、资源、技术会使核心企业获得利润, 但是并没有对非核心企业产生显著的积极影响。

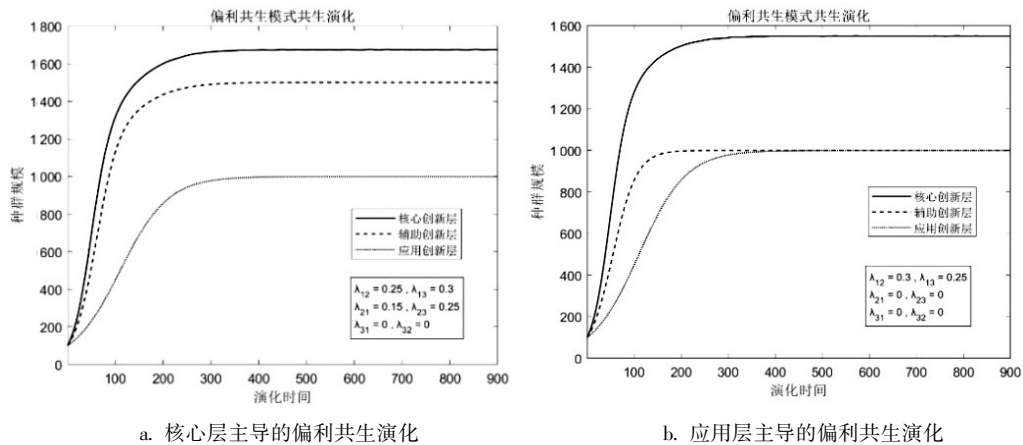


图6 偏利共生模式演化

(5) 互利共生模式

当 $\lambda_{12}=-0.1, \lambda_{13}=-0.3, \lambda_{21}=-0.15, \lambda_{23}=-0.2, \lambda_{31}=-0.7, \lambda_{32}=-0.5$ 时, 新兴技术创新生

态系统中创新主体互利共生模式演化的仿真结果如图 7 所示。在这种情况下, 3 种类型的创新主体之间的共生作用系数均大于零, 共生作用系数决

定了创新主体规模增长的幅度,即共生作用系数越大,创新主体彼此在交互协同中获益的规模增长的幅度越大,因此创新主体的最终发展规模均大于其各自独立发展的最大规模。在这种模式下,新兴技术创新生态系统的主体共生演化状态是最稳定的,此时 3 种类型的创新主体不局限于系统资源的限制,进而实现互利共赢,并实现价值最大化。创新主体之间通过资源共享逐步形成自身的技术优势,系统处于动态开放的阶段,这使得原生态系统向高阶的生态系统演化。

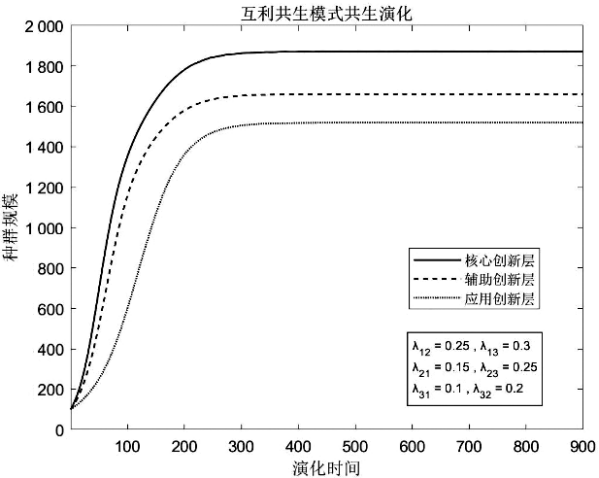


图 7 互利共生模式演化

三、案例分析:智能网联汽车创新生态系统主体共生

智能网联汽车(Intelligent & Connected Vehicles, ICV)是将传统汽车、信息通信、道路交通等多个领域结合在一起的新兴技术领域,其创新生态系统是一个动态的技术创新系统,是近 20 年来信息技术在汽车产业中不断扩散融合的结果,也是新一轮科技革命与产业变革的重要场景场域,并形成数字化、智能化、网络化生态形态^[31],加速其演化发展对于我国推动“制造强国”建设、实现科技自立自强都具有重要意义。本文选择其进行案例分析的主要依据有:第一,智能网联汽车技术创新生态过去 20 年中经历了较完整的起始、成长与成熟阶段,展现了较完整演化历程;第二,智能网联汽车技术创新生态系统中既有传统汽车产业链上企

业,还包括了提供技术解决方案的供应商以及平台服务商等创新主体,呈现了较好的主体多元与跨界资源融合;第三,智能网联汽车技术创新生态中各创新主体间共生关系强且交错复杂,其主体共生呈现出显著的简单到复杂、动态到稳态的演化特征。

(一)创新生态系统创新主体概况

如图 8 所示,从其所涵盖的技术领域看,智能网联汽车包括:上游的感知系统、控制系统与执行系统;中游的是智能驾驶创新平台、自动驾驶解决方案与自动网联整车业务;下游的是出行服务、物流服务与数据增值服务。相应的技术主要包括摄像头、雷达、高精度地图、V2X 通信、芯片算法、操作系统、集成控制系统,以及计算平台等。在创新生态系统形成及演化过程中,汽车制造业企业与互联网企业联手打造智能网联汽车,各企业之间组成了各种各样的联盟关系,比如阿里与上汽合作研发智能网联汽车;华为致力于向汽车制造商提供智能座舱、智能系统以及自动驾驶技术服务,帮助企业造好车;清华大学、同济大学、南京理工大学等 10 余所高校展开了关于“智能化”方面的基本科研工作;广州汽车集团与中国科学院合作开发无人驾驶技术等,不同类型创新主体间合作促进了产业结构演化。

为直观呈现创新生态中主要的创新参与者或创新主体,选用 Incopat 数据库来获取智能网联汽车技术的专利数据并进行分析。鉴于相关的联合专利申请时间起始于 1989 年,以及专利申请的时间会延迟 18 个月,故本文选取从 1989—2021 年的相关主体的联合专利申请数据描述智能网联汽车创新生态系统中的主体共生合作网络。参考关于 ICV 联合申请专利的研究以及现实情况,将专利检索语句的关键词设置为“(网联自动驾驶汽车)OR(智能网联)OR(智能汽车)OR(智能驾驶)OR(自动驾驶)OR(无人驾驶)OR(辅助驾驶)OR(智能运输系统)”,统计时间截至 2022 年 11 月 15 日,检索出 35 093 条 ICV 专利申请信息,具体内容如图 9 所示。

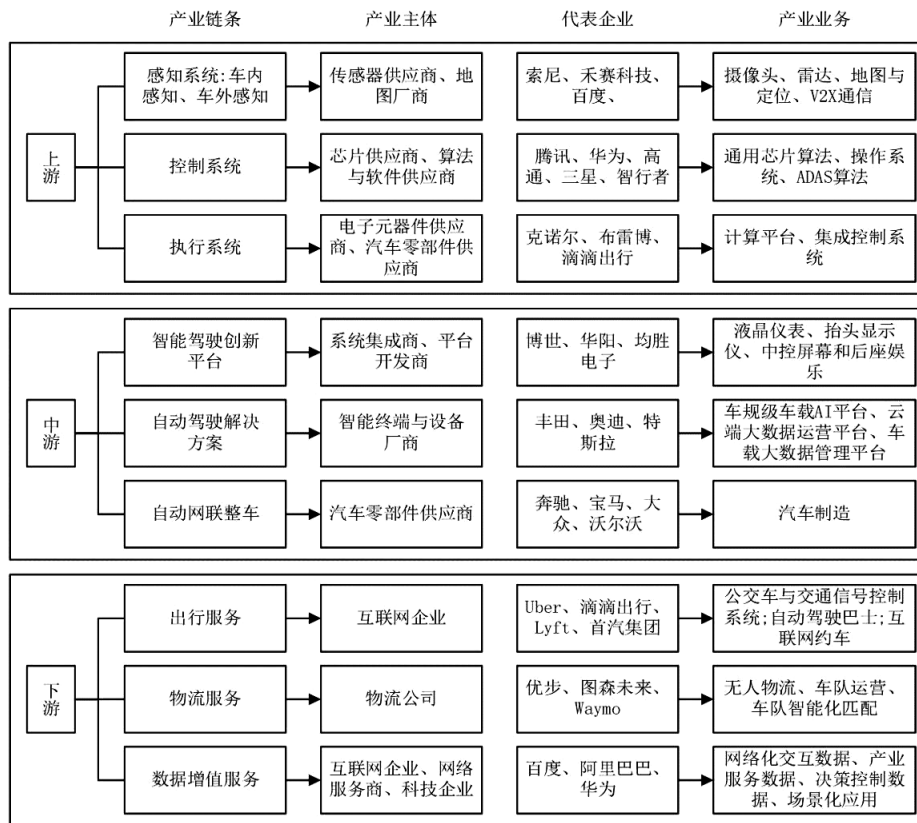


图8 智能网联汽车产业结构框架

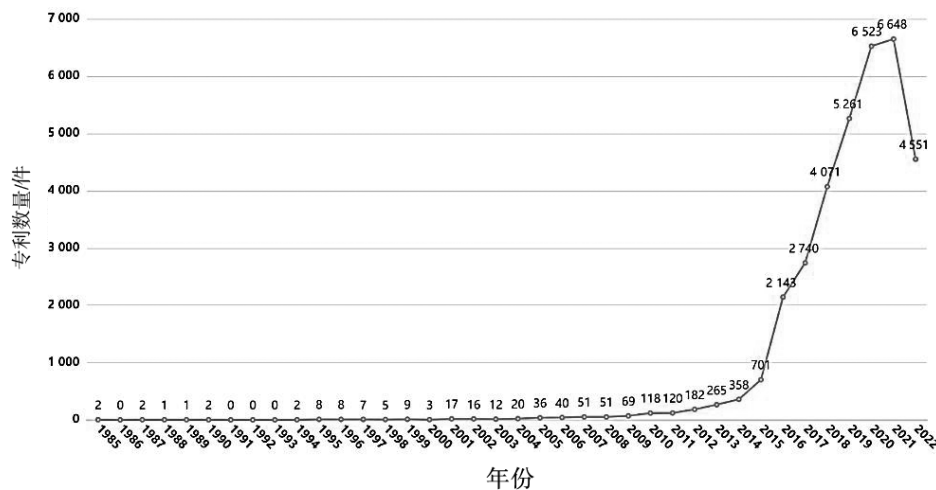


图9 智能网联汽车的专利申请数量

从专利数据上看,在智能网联汽车创新生态系统中,专利申请量最多的企业分别是北京百度网讯科技有限公司、三星、华为,如图10所示。目前ICV行业的发展已经不再仅依赖于传统汽车领域的技术创新,创新主体主要包括汽车领域的整车制造商、互联网公司、大学及科研院所等

等。从整体上看,互联网企业的专利申请量相对比较多,说明这些公司参与智能网联汽车技术创新的积极性比较高。当前,互联网企业与汽车行业之间存在着一种“跨界”的共生关系,这种共生性极大地推动了智能网联技术的创新扩散和服务的传递。

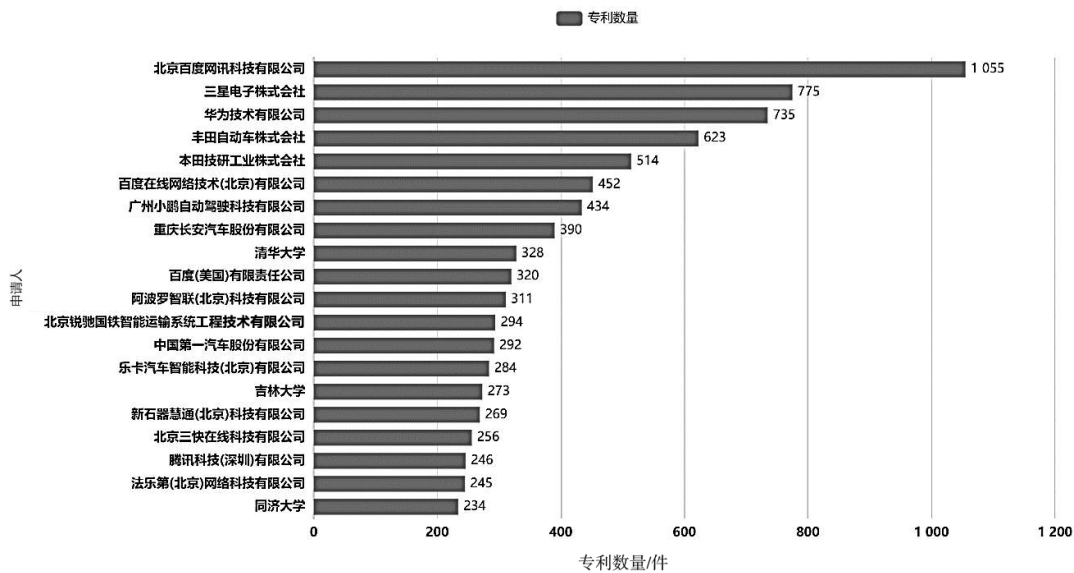


图 10 专利申请量的专利权人排名

(二)创新生态系统发展阶段及主体共生演化

1. 创新生态系统发展阶段

根据智能网联汽车专利的增长速率,可将智能网联汽车创新生态系统中主体共生演化阶段划分为起始阶段(1989—2006 年)、成长阶段(2007—2015 年)、快速成长阶段(2016—2021 年)。根据主体之间的联合专利申请关系,采用 Netdraw 软件绘制出共生主体在不同时期的共生合作网络结构图。其中,1989—2006 年是我国自主研发的初期,其研发过程中的网络节点数量相对较少,如图 11 所示。2007—2015 年是一个发展期,在这一时期,随着网络中的节点增多,网络中主体间形成不同类型的共生关系,图 12 是成长阶段的网络结构。2016—2021 年是快速发展的阶段,随着网络节点

的不断增多,共生主体之间呈现出多样化的共生模式,如图 13 所示。在不同的演化阶段下,智能网联汽车创新生态系统中出现了不同类型的共生网络结构,而且共生网络结构呈现出从分散到密集转变的特征,共生主体的类型变得多元化。

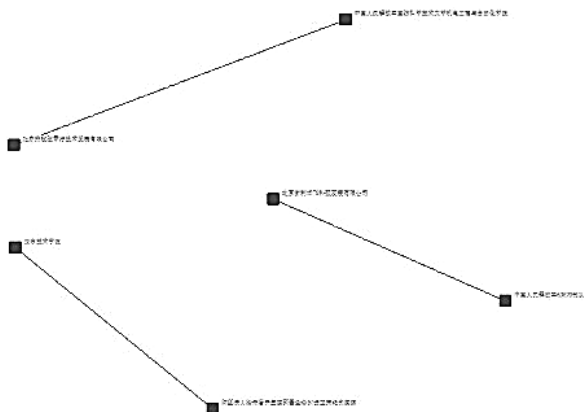


图 11 1989—2006 年智能网联汽车共生网络结构

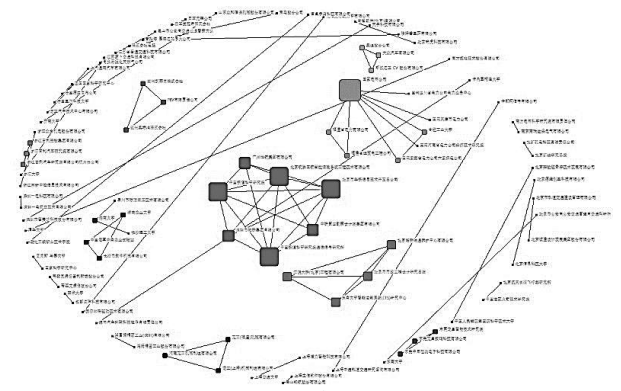


图 12 2007—2015 年智能网联汽车共生网络结构

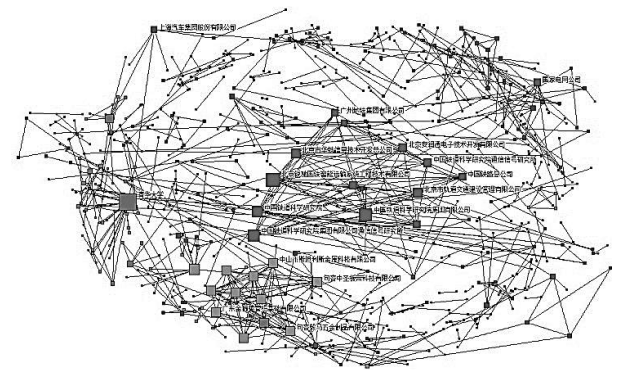


图 13 2016—2021 年智能网联汽车共生网络结构

2. 创新主体共生演化

运用 Ucinet 软件对各阶段的网络结构指标值进行分析,结果如表 5 所示。其中网络规模呈现出了指数增长的趋势,而网络的密度却在逐年下降,这是因为在网络的起始阶段节点比较少。在智能网联汽车创新生态系统的初始阶段、成长和快速成长阶段,主体之间的共生联系还不够密切,因此所表现出的网络结构特征并不显著。智能网联汽车创新生态系统规模的发展速度要高于主体间的连接速度,网络密度表现出逐年递减的趋势,表明智能网联汽车创新生态系统在快速成长阶段仍有较大的发展潜力,而且在主体协同的过程中会有一种阻力,这会对企业之间共生关系的形成造成一定的影响。随着互联网企业的不断加入智能网联汽车创新生态系统中,主体共生的连接能力得到了提高,而企业自身所具有的媒介特性则增强了企业间的业务数据与资源协同。通过对专利数据的整理,发现近年来智能网联汽车相关专利的申请量总体上呈现增长的趋势,并且出现了像百度、三星与华为等科技领域的领导者。

表 5 网络节点状态分析

测量度	1989—2006 年	2007—2015 年	2016—2020 年
网络规模	6	102	758
网络密度(均值)	0.200 0	0.016 3	0.002 3
网络密度(标准差)	0.400 0	0.126 7	0.048 3
度数中心势/%	0.00	2.71 %	0.59
中介中心势/%	0.00	0.38	0.97
平均距离	1	1.215	4.495
聚类系数	0	14.871	5.565

具体而言,智能网联汽车创新生态不同阶段主体共生演化的具体情况如下。

(1) 起始阶段,即 1989—2006 年。从创新主体之间联合申请专利情况看,在此阶段中,智能网联汽车创新生态系统中存在部分具有技术研发优势的企业,它们的共同专利申请数量相对较少,共生关系也较为稀疏,具体如图 11 所示。表明主要的创新主体在研发方面缺乏资源开放意愿,更多地是采用了竞争性战略,希望这样的策略能够带来创新资源独占优势,因此主体间共生呈现竞争共生形式。

(2) 成长阶段,即 2007—2015 年。如图 12 以及表 6 与表 7 所列举的企业度中心度与中介中心度排名所示。在此阶段中,系统中形成了多种连通型和星型的共生网络结构,并出现了以中国铁道研究院、北京国家铁路锐驰、北京市华铁信息技术有限公司、湖南大学科研院所等为创新主体的多核心复杂网络结构。此时,智能网联汽车创新生态系统的主体大部分是以高校等科研院所作为技术创新和产品研发的主力军,这与初始阶段的仅依靠技术引进构建产学研协作关系有显著区别,该阶段的主体共生网络呈现出间歇性—寄生共生或连续性—偏利共生的共生状态。

表 6 2007—2015 年企业度中心度排名

序号	名称	中心性
1	国家电网公司	6.931
2	北京锐驰国铁智能运输系统工程有限公司	5.941
3	中国铁道科学研究院	5.941
4	中国铁道科学研究院通信信号研究所	5.941
5	北京市华铁信息技术开发总公司	5.941
6	广州地铁集团有限公司	3.960

表 7 2007—2015 年企业中介度排名

序号	名称	中心性
1	国家电网公司	0.376
2	湖南大学	0.020
3	北京锐驰国铁智能运输系统工程有限公司	0.015
4	中国铁道科学研究院	0.015
5	北京市华铁信息技术开发总公司	0.015
6	中国铁道科学研究院通信信号研究所	0.015

(3) 成熟阶段,即 2016—2021 年。如图 13 以及表 8 与表 9 所列举的企业度中心度与中介中心度排名所示。在此阶段中,随着智能网联汽车创新生态系统中各主体之间的关系日趋复杂,其共生网络中呈现出星型、连通型和多级嵌套型等多种的网络结构。随着网络节点数量的增多和节点之间协作程度的提高,网络中的信息科技企业利用自身的研发能力和开放能力,与其他跨界主体之间构建起了价值共创的共生关系,其在资源集成与业务交流等方面所发挥的作用也越来越明显,主体共生网络中逐渐形成一体化共生—互利共生的共生模式。在整个智能网联汽车创新生态系统中,还呈现出以清华大学、北京交通大学、北京锐驰国铁、中国铁道科学研究院等为核心的共

生子网络,各共生主体之间的动态松散关系有助于促进知识的传播和资源的有效流动。

表 8 2016—2021 年企业度中心度排名

序号	名称	中心性
1	清华大学	2.642
2	北京锐驰国铁智能运输系统工程有限公司	2.114
3	中国铁道科学研究院集团有限公司	1.982
4	中国铁道科学研究院集团有限公司通信信号研究所	1.717
5	浙江吉利控股集团有限公司	1.585
6	中国铁道科学研究院	1.585

表 9 2016—2021 年企业中介度排名

序号	名称	中心性
1	清华大学	0.976
2	上海汽车集团股份有限公司	0.514
3	北京市轨道交通建设管理有限公司	0.497
4	中车青岛四方机车车辆股份有限公司	0.463
5	北京交通大学	0.454
6	交控科技股份有限公司	0.441

3. 面临的问题及发展趋势

虽然从智能网联汽车创新生态系统整体形态看,创新主体间共生关联密切,资源聚合、协同度高,主体间相互依存,共同驱动智能网联汽车技术发展意愿显著。但通过具体主体间合作共生情况看,当前智能网联汽车创新生态系统中主体共生与创新生态发展的驱动力仍显不足,制约了主体间共生关系向更深层的发展,需要构建外生性激励以突破这样的制约。

(1) 主体间相互信任度仍显不足,成为制约共生关系演化的重要因素。在智能网联汽车创新生态系统中,共生主体之间会形成多种合作关系,由于技术开放度、机会主义行为、技术与知识互补性等因素的制约,合作主体之间不可能有深层次的协同共生关系,这将对智能网联汽车创新生态系统向更高水平的发展产生不利的影响。如小鹏汽车等整车企业担心自身会变成华为产品的代工厂,从而失去对自身关键核心技术与服务产品的控制权,企业产生的这种信任危机会严重阻碍双方共生关系的发展。

(2) 主体间协同开放度仍不够高,制约了主体共生中价值共创、技术价值的充分释放。在智能网联汽车创新生态系统中,相关专利申请的总体水平比较高,但联合专利申请的数量不高,这说明

智能网联汽车创新生态系统中主体之间的协作与开放程度并不高。当前介入智能网络汽车领域的信息科技企业共同的专利申请不多,说明仍存在着技术封锁、开放与协同度较低等问题。在当前的信息化时代,价值共创需要以更加开放的形态来支撑,各创新主体之间的合作程度与开放性不足将会制约智能网联汽车创新生态系统的可持续发展。

(3) 创新生态中平台化效应不足,制约了主体共生关系向更深层的发展。在智能网联汽车创新生态系统中,平台是一种能够完成与其相关技术功能的业务数据载体,它具有技术增值、继承性、差异性等特征。现有的智能网联汽车创新生态系统平台主要有:国家电网智慧车联网平台和中国智能联动智能汽车基础数据服务平台。在智能网联汽车创新生态系统中,技术服务平台的建设与监督能力还比较弱,相关的制度体系还不够完善。从整体来看,目前我国信息技术服务平台的建设中还存在着人力资源不足、技术能力不足、标准缺乏等问题。

四、结论与展望

(一) 结论

1. 新兴技术创新生态系统主体共生演化受到共生主体、技术发展阶段的共同影响。其中主体的共生作用系数和最大规模则决定了主体共生演化稳定状态,但最终的稳定状态并不会受到初始规模和自然增长率的影响。技术自身阶段性迭代、演化速度与创新主体的自然增长率和初始规模等因素有密切关系。随着新兴技术创新生态系统的不断发展,其主体规模也会不断扩大,这将有利于新兴技术充分整合创新生态系统中各种资源以推动自身迭代和完善。

2. 在新兴技术创新生态系统中,创新主体之间存在着多种共生关系,即独立共生、竞争、寄生、偏利和互利共生,随着系统成员之间的竞争合作关系和资源使用情况的变化,各个创新主体的最大规模和增长速度不断发生着变化。当三类创新主体之间共生效应均为正时,共生关系形成为互

利共生模式,此时三类创新主体从相互合作中均获得正的收益,且创新主体的最终稳定状态均比其单独发展时的最大规模要大。在这样的意义上,创新主体互利共生是比其它模式更优的关系模式,也是主体共生演化需要达到的一种目标方式。

3. 新兴技术创新生态系统中主体共生关系从整体上观察呈现出网络形态,因此还可以应用网络密度、聚集系数、中心度等网络结构指标来描述新兴技术创新生态系统中主体共生网络演化状态。在这样的视角下,诸如智能网联汽车等新兴技术创新生态系统中主体共生总体形态经历了从简单到复杂的“星型”“连通型”和“多级嵌套型”网络拓扑结构的演化,这种演化同样与技术创新生态自身由起始、成长向成熟的演化同步发展,呈现出创新主体在不同共生状态上资源共享、价值释放等的共生效应的差异。

(二)管理启示

1. 充分平衡新兴技术创新生态系统共生演化动力。在新兴技术创新生态系统中,各个创新主体应加强“以创新为中心”的发展战略的协同,并对创新要素进行整体优化。同时以市场需求作为引导,加强新兴技术的应用落地,构建出一个全面的新兴技术应用场景,并在新兴技术创新生态系统中,协调好利益驱动与协同共生两大要素之间的关系。

2. 优化新兴技术创新生态系统的共生环境。政府应该制定相应的且能够激励技术创新的优惠政策及调控策略,以实现系统共生环境的优化,使更多的创新主体更容易地参与到新兴技术创新生态系统中来。同时,通过加强对协同创新的规范化和制度化,为系统中的创新主体提供一个透明、通畅的信息环境,增强创新主体之间的互动,从而降低创新主体之间机会主义行为的发生几率和创新风险成本,推动共生系统的良性发展。

3. 推进形成新兴技术创新生态系统下的高效协同机制。企业应加强与消费者之间的互动和合作,拓展新兴技术的应用范围,扩大新兴技术价值

的广度和深度,逐渐形成一个由业务链与行业流融合的技术链网络,最终实现新兴技术创新生态系统向高阶方向的演化。

(三)研究展望

创新生态系统有效构建与良性演化是驱动新兴技术成长成熟与价值释放的必经过程,探讨其创新主体共生规律以寻找系统良性演化的推动要素具有重要意义。然而,新兴创新生态系统的构成及运行非常复杂,诸如新兴技术自身的子技术体系、创新生态系统内知识溢出流动及规则等都影响着其演化过程,并影响着主体共生关系形态及演化,这是今后研究中值得关注的方向。此外,新兴技术创新生态系统中主体共生不是一个自然形成与演化的过程,创新主体间中心性结构、既有技术对产业发展的惯性影响等均可能是构建微观层面主体共生行为底层逻辑的要素,探讨这些要素的存在性与存在机制也是未来研究的重要方向。

参考文献:

- [1] 布什. 科学:无尽的前沿[J]. 北京:中信出版集团, 2021: 3.
- [2] SODA G, MANNUCCI V, BURT S. Networks, creativity, and time: staying creativity theory brokerage and network rejuvenation [J]. Academy of management journal, 2021, 64 (4): 1164-1190.
- [3] 柳卸林,王倩. 创新管理研究的新范式:创新生态系统管理[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(10): 20-33.
- [4] 曹兴,孙绮悦. 新兴技术知识网络跨界融合的机理与实证研究[J]. 科学学研究, 2021, 39(5): 854-866.
- [5] 许冠南,周源,吴晓波. 构筑多层联动的新兴产业创新生态系统:理论框架与实证研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(7): 98-115.
- [6] BORNER K, BERENDS H, DEKEN F, et al. Another pathway to complementarity: how users and intermediaries identify and create new combinations in innovation ecosystems [J]. Research policy, 2023, 52(7): 104788.
- [7] NYLUND A, BREM A. Standardization in innovation ecosystems: the promise and peril of dominant platforms [J]. Technological forecasting and social change, 2023(194): 122714.
- [8] RON A. Match your innovation strategy to your innovation

- ecosystem [J]. Harvard business review, 2006, 84(4): 98-109.
- [9] GANCO M, KAPOOR R, LEE K. From rugged landscapes to rugged ecosystems: structure of interdependencies and firms' innovative search [J]. Academy of management review, 2020, 45(3): 646-674.
- [10] 金治州, 陈宏权, 曾赛星. 重大工程创新生态系统共生逻辑及治理[J]. 管理科学学报, 2022, 25(5): 29-45.
- [11] 王永贵, 汪淋淋, 李霞. 从数字化搜寻到数字化生态的迭代转型研究: 基于施耐德电气数字化转型的案例分析[J]. 管理世界, 2023, 39(8): 91-114.
- [12] JACOBIDES G, CENNAMO C, GAWER A. Towards a theory of ecosystems [J]. Strategic management journal, 2018, 39(8): 2255-2276.
- [13] 王琳, 陈志军. 价值共创如何影响创新型企业的即兴能力: 基于资源依赖理论的案例研究[J]. 管理世界, 2020(11): 96-110, 131.
- [14] MOQADDAMERAD S, TAPINOS E. Managing business model innovation uncertainties in 5G technology: a future-oriented sensemaking perspective [J]. R&D management, 2023, 53(2): 244-259.
- [15] MIRIC M, JEPPESEN B. How does competition influence innovative effort within a platform-based ecosystem? Contrasting paid and unpaid contributors [J]. Research policy, 2023, 52(7): 104790.
- [16] VAILLANT Y, LAFUENTE E, VENDRELL-HERRERO F. Assessment of industrial pre-determinants for territories with active product-service innovation ecosystems [J]. Technovation, 2023(119): 102658.
- [17] AUDRETSCH B, BELITSKI M, GUERRERO M. Sustainable orientation management and institutional quality: looking into European entrepreneurial innovation ecosystems [J]. Technovation, 2023(124): 102742.
- [18] 张司飞, 王琦. “同归殊途”区域创新发展路径的探索性研究: 基于创新系统共生理论框架的组态分析[J]. 科学学研究, 2021, 39(2): 233-243, 374.
- [19] MIREMADI I, KHOSHBASH M, SAEEDIAN M. Fostering generativity in platform ecosystems: how open innovation and complexity interact to influence platform adoption [J]. Research Policy, 2023, 52(6): 104781.
- [20] ZABEL C, O'BRIEN D, NATZEL J. Sensing the Metaverse: the micro-foundations of complementor firms' dynamic sensing capabilities in emerging-technology ecosystems [J]. Technological forecasting and social change, 2023(192): 122562.
- [21] ADOMAKO S, AMANKWAH-AMOAHI J, AHSAN M. Base of the pyramid orientation, imitation orientation and new product performance in an emerging market [J]. Technovation, 2023(119): 102614.
- [22] 江小涓, 孟丽君. 内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环: 国际经验与中国实践[J]. 管理世界, 2021(1): 1-18.
- [23] 王宏起, 刘梦, 李玥. 结构平衡目标下区域战略性新兴产业创新生态系统科技资源配置模型[J]. 中国科技论坛, 2018(11): 35-43.
- [24] 曹兴, 罗会华. 新兴技术产业初始市场结构形成的影响因素研究: 基于有序 Probit 模型[J]. 中国软科学, 2021(4): 94-105.
- [25] GOLDFARB A, TASKA B, TEODORIDIS F. Could machine learning be a general purpose technology? A comparison of emerging technologies using data from online job postings [J]. Research policy, 2023, 52(1): 104653.
- [26] CHRISTOPHER S. The front end in radical process innovation projects: sources of knowledge problems and coping mechanisms [J]. Technovation, 2021, 105(7): 1-27.
- [27] 谭劲松, 宋娟, 陈晓红. 产业创新生态系统的形成与演进: “架构者”变迁及其战略行为演变[J]. 管理世界, 2021(9): 167-190.
- [28] 李林, 杨锋林, 何建洪. 主要工业国家先进制造技术优势动态分布与政策性成因: 基于技术生命周期的分析[J]. 中国软科学, 2022(2): 44-55.
- [29] ADNER R, KAPOOR R. Innovation ecosystems and the pace of substitution: re-examining technology S-curves [J]. Strategic management journal, 2016, 37(4): 625-648.
- [30] 谭劲松, 赵晓阳. 创新生态系统主体技术策略研究: 基于领先企业与跟随企业的演化博弈与仿真[J]. 管理科学学报. 2022, 25(5): 13-28.
- [31] 罗建, 廖婷, 史敏. 新兴技术视域下潜在竞争对手识别研究: 以智能驾驶领域为例[J]. 情报科学, 2021, 39(12): 98-104.

(本文责编: 辛 城)