

引用格式:赵巧芝,陈昊,张力晖.中国新能源汽车产业技术创新的竞合关系研究[J].技术经济,2024,43(12):47-59.

ZHAO Qiaozhi, CHEN Hao, ZHANG Lihui. Cooperation relationship research on new energy vehicle industry's technology innovation: Based on Lotka-Volterra population competition model analysis[J]. Journal of Technology Economics, 2024, 43(12): 47-59.

中国新能源汽车产业技术创新的竞合关系研究 ——基于 Lotka-Volterra 种群竞争模型分析

赵巧芝¹, 陈昊¹, 张力晖²

(1. 华北电力大学经济管理学系, 保定 071003; 2. 华北电力大学科学技术处, 保定 071003)

摘要:新能源汽车产业是国家新质生产力培育的重要部门。根据比亚迪、吉利和五菱汽车企业 2013—2022 年新能源汽车专利数据,构建 Lotka-Volterra 种群竞争模型,探究新能源汽车企业技术创新竞合关系模式及演变趋势。研究发现:①竞合关系已成为新能源汽车产业技术创新演变的重要驱动变量;②三家龙头企业间的竞合关系模式存在明显的差异性。当前,“比亚迪汽车+吉利汽车”“五菱汽车+吉利汽车”两两间表现为“双向促进型”,而“比亚迪汽车+五菱汽车”则表现为“竞争合作型”的关系模式;③仿真结果显示,随着竞合系数的变化,三个创新主体创新产出呈现出明显差异化的变化态势。“双向促进型”竞合关系强度上升,对新能源汽车产业技术创新绩效的影响为正,其中吉利与五菱汽车间的促进作用最突出。因此,优化不同创新主体间有序竞争模式,增强龙头企业的合理竞争强度,是新能源汽车产业实现高质量创新成果增长、支撑新质生产力培育的重要方向。

关键词:新质生产力;技术创新系统;新能源汽车;竞合关系;种群竞争模型

中图分类号: F272.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2024)12-0047-13

DOI:10.12404/j.issn.1002-980X.J24032901

一、引言

作为国家战略性新兴产业的重要成员,新能源汽车产业技术创新成果突破在培育新质生产力进程中发挥着重要作用^[1-2]。自 20 世纪 50 年代以来,中国燃油汽车大而不强的发展格局长期难以改变,而新能源汽车为中国汽车产业的技术跨越提供了“机遇窗口”^[3-4]。自 2009 年国务院出台《汽车产业调整和振兴规划》以来,以新能源汽车为突破口,以锂离子动力电池为标志的系统技术创新成果,是支撑中国新能源汽车产业实现“弯道超车”和高质量转型的重要源泉。2023 年新能源汽车产销量为 958.7 万辆和 949.5 万辆,增速达到 35.8% 和 37.9%,市场占有率达到 31.6%,已成为中国经济增长的新引擎。在国家出台购置补贴与研发补助等系列补贴政策下,中国新能源汽车产业发展迅猛,2010—2022 年年产量增长 704.8 倍,年销售量增长幅度高达 1404.5 倍。同时,技术创新能力与产业规模不匹配、过度依赖于政策扶持等不利局面,也制约着该产业长期可持续发展。不仅如此,新能源汽车产业无论从上游原材料及核心部件,到中游整车制造及下游充电与市场服务环节,以比亚迪汽车和吉利汽车等为龙头的汽车生产研发企业,在引领新能源汽车领域的新技术研发与产业转型方面“链主”地位突出^[5]。截至 2022 年比亚迪参与的电动汽车标准占国家标准的 80% 以上,其在刀片电池、DM-i 超级混动、纯电 e3.0 平台等新能源汽车关键领域,处于全球领先地位。

收稿日期:2024-03-29

基金项目:河北省社会科学基金“数字经济驱动制造业高质量发展的机制识别与河北场景研究”(HB23ZT008);河北省社会科学基金项目“面向碳中和目标的电力行业绿色技术创新行为及提升对策研究”(20230202047)

作者简介:赵巧芝,博士,华北电力大学副教授,研究方向:技术经济与数量经济;(通信作者)陈昊,华北电力大学硕士研究生,研究方向:技术经济及管理;张力晖,硕士,华北电力大学副研究员,研究方向:创新管理。

自新能源汽车产业被列入国家战略性新兴产业重点领域以来,技术创新能力是支撑新能源汽车企业实现绩效提升和盈利能力增长的关键^[6-7]。一方面,单个企业独立的内部研发投入和创新能力发展,难以满足技术创新活动所需的成本上升和高度复杂性要求,通过与外部创新资源整合的合作创新成为必然。以产、产研、学研、产学研等方式展开的新能源汽车研发合作成果丰富^[8-9]。技术创新合作不仅可以压缩研发周期与节约成本,还能帮助企业提高自身知识储备与补全短板,已成为新能源汽车企业规避研发风险、提升研发效率的重要途径。另一方面,随着新能源汽车行业竞争的日益激烈,汽车企业间的竞争格局从原来丰田、大众等传统车企间竞争,逐步扩展为传统车企与新能源车企、新能源车企内部间的竞争。以产品为载体的技术竞争愈演愈烈,如宁德时代与比亚迪的竞争就是三元材料方形电池、磷酸铁锂材料刀片动力电池不同技术路线间的比拼。新能源汽车领域不同汽车企业间从技术合作转变为竞合关系,即创新合作在加速知识流动与创新扩散的同时,日益激烈的市场竞争驱动企业间的研发竞争趋于白热化^[10-11]。跨组织的技术创新合作可能增强资源的同质性,同质性的竞争会破坏合作中的亲密关系等问题^[12]。为减少合作创新的机会主义风险,组织重心侧重于核心技术及知识管理,从而引发知识输出方与接受方之间更多的讨价还价行为,提升关系协调的难度、降低创新资源整合的有效性^[13]。

当前,技术创新活动规律的相关研究方面,一方面,研究成果集中于技术创新合作特征测度与合作绩效的关系研究方面^[14-17],采用社会网络分析方法(SNA)从网络密度、中心度、结构洞及子群结构等维度展开合作特征的详细评估,创新主体通过与外部伙伴的共同研发活动产生关联关系,有助于隐性知识的流动与共享,降低合作风险和提升风险绩效。然而,在不同网络位置的主体所占据的关键资源存在明显差异,关系嵌入方式、强度及整体网络结构等特征也制约着不同创新主体获得外部资源的深度和广度,进而影响该主体的技术创新绩效^[18-19]。当前多个创新主体间的合作网络研究成果,多从“创新合作→关系嵌入→创新绩效”的研究思路展开实证分析,并未将创新主体间的竞争关系纳入技术创新系统研究环节。同时,竞争也是影响创新绩效的重要变量。熊彼特的创新理论认为竞争会降低企业的创新激励^[20],阿罗模型认为竞争对企业创新具有激励作用^[21-24]。

综上,在组织合作广泛存在的背景下,竞争企业间的合作创新方式有利于创新产品推向市场的观点也被证实,该种跨主体间竞争与协作并存的现象称为竞合关系。区别于与非竞争者之间的创新合作,竞合关系下的创新活动与特定风险挑战和收益密切相关,其复杂性在于既蕴含了因机会主义和知识泄漏风险而可能抑制的激进式创新,也提供了通过共同利用技术和市场知识以促进新产品创造和有效创新的潜在机遇^[25]。围绕创新生态系统中内部成员的竞合,一般研究多围绕竞合关系的动态性和博弈论在竞合中的应用等方面展开^[26]。竞合共生作为创新生态系统典型特征之一,情景变化要求企业不断调整与其他成员间的竞合关系以保持竞争优势^[12]。

创新生态系统成员间的竞合包含显性和隐性两种形式,其强弱差异所对应的治理机制都存在异同^[27-29]。横向竞合更适用于契约治理,纵向竞合则更适用于关系治理,恶性或无序竞争会降低系统发展的效率^[30-31]。此外,部分学者还通过定量研究思路或者利用博弈方法理论分析创新主体间协同创新及其影响^[32-34],理论研究集中利用博弈论展开,实证研究多利用 Lotka-Volterra 种群竞争模型(简称“Lotka-Volterra 模型”),二者结合的成果较少^[35],以新能源汽车产业作为研究样本的竞合关系结论更少。

基于此,本文主要的边际贡献如下:首先,区别于现有成果侧重于合作创新领域,本文拟将竞争与合作关系均考虑在内,进行“竞合关系”的研究,通过竞合关系模式识别与演化,拓展产业技术创新驱动因素研究边界。其次,选取国家新质生产力系统构建的关键部门——新能源汽车产业作为研究样本,从理论与实证两方面,识别龙头企业间的竞合关系并分析其对产业创新发展的影响,为中国完善新质生产力系统、提升新能源汽车产业创新绩效提供参考。

二、演化机理分析

(一) Logistic 模型和 Lotka-Volterra 种群竞争模型

生态学中提出的逻辑斯蒂(Logistic)准则是指,物种种群规模在自身生长发育规律的基础上,又同时受

到环境容量的限制,增长趋势呈现由正负反馈力综合作用而导致的非线性 Logistic 曲线形式增长。数学表达式如式(1)所示。

$$\frac{dx(t)}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{k} \right) \quad (1)$$

其中: $x(t)$ 为种群 t 时刻的规模; r 为种群规模的内禀增长率; k 为在当前环境约束下种群所能达到的最大规模。

之后, Lotka-Volterra 种群竞争模型被提出,以解释不同种群间的竞争、共存及猎捕等生态关系,数学表达式如式(2)所示。

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = r_i x_i \left(1 - \frac{x_i}{k_i} + \alpha_{ij} \frac{x_j}{k_j} \right) \quad (2)$$

其中: $\frac{dx_i(t)}{dt}$ 为种群 i 在 t 时期的增长量; r_i 为种群 i 在现有环境下的内禀增长率; $1 - \frac{x_i}{k_i}$ 为基于环境有限资源对各种群规模增长的阻滞作用; α_{ij} 为种群间的竞争效应; k_i 为种群 i 在现有环境下的饱和容量。

(二) 研究假设

新能源汽车产业技术创新系统与生物种群在多方面具有相似性,即在环境中优胜劣汰,存在竞争关系。系统中的创新主体之间由于创新资源的互补性,纵向联系紧密,关联度较高,彼此间存在强依赖性,共荣共衰,具有纵向共生关系,适用于共生理论来研究。

共生理论中 Lotka-Volterra 模型是基于密度制约的视角,探究共生系统内种群之间的竞争关系,类似于自然界不同生物群落之间的共生与竞争^[36]。技术创新系统中的创新主体,在相同的共生环境中,彼此可能存在共生或竞争关系。行业内,任何一家企业生存与发展,都不可能完全独立于系统内的其他企业,必然会与其他企业产生互动关系。对于存在供需关系的或提供互补服务的个体之间,可能形成偏利共生、互惠共生和竞争等多种多样的关系。因此,本文拟借助 Lotka-Volterra 模型,以系统内创新主体的创新产出规模表示其创新竞合演化过程,模仿自然界的生物共生系统,对新能源汽车产业技术创新系统内不同企业间的共生关系和动态演化进行分析。

基于此,提出假设 1~假设 3:

新能源汽车产业技术创新系统中存在 n 个创新主体 $(1, 2, \dots, n)$, 创新主体均以实现自身创新产出最大化为目标,且受到自身条件与环境资源总量的限制,创新产出服从 Logistic 模型形式(H1);

创新主体间交互影响采用竞合系数 α_{ij} 表示。若 $\alpha_{ij} > 0$, 表明主体 j 对主体 i 的创新过程具有正向促进作用; $\alpha_{ij} < 0$ 表明主体 j 对主体 i 的创新过程具有抑制作用; $\alpha_{ij} = 0$ 则表明二者无交互影响(H2);

技术创新系统中创新主体的边际成本等于边际收益时,该创新主体产出达到最优规模(H3)。

(三) 创新主体竞合关系演化模型构建

假定新能源汽车产业技术创新系统内仅存在三个创新主体,则创新主体间可能存在的竞合关系类型有三种情形,分别为“创新主体间不存在竞合关系”“仅存在两个创新主体间的竞合关系”和“三个创新主体间均存在竞合关系”。基于上述假设,本文分别构建不同类型下创新主体竞合关系演化模型。

(1) 创新主体间不存在竞合关系情形。当系统内不存在创新主体间竞合关系,即三个创新主体之间相互独立时。创新主体竞合关系演化模型如式(3)所示,各创新主体创新产出规模均服从 Logistic 模型形式。

$$\frac{dx_i(t)}{dt} = r_i x_i \left(1 - \frac{x_i}{k_i} \right), \quad i = 1, 2, 3 \quad (3)$$

其中: $x_i(t)$ ($i = 1, 2, 3$) 为创新主体 i 的创新产出规模; k_i 为在系统现有环境的约束下创新主体 i 创新产出规模的最大值,即饱和容量; r_i ($i = 1, 2, 3$) 为创新主体 i 在现有系统环境下所能达到的内禀增长率。

(2) 仅存在两个创新主体间的竞合关系情形。假定技术创新系统内仅存在创新主体 1 与创新主体 2 之间的竞合关系,模型构建如式(4)所示。创新主体 1 与创新主体 2 的创新产出规模受到彼此的影响,即在

$1 - \frac{x_i}{k_i}$ 部分加入创新主体间的交互关系系数,其创新产出服从 Lotka-Volterra 模型形式。而创新主体 3 由于不受创新主体间竞合关系的影响,其创新产出规模仍服从 Logistic 模型形式。

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{k_1} + \alpha_{12} \frac{x_2}{k_2} \right) \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{k_2} + \alpha_{21} \frac{x_1}{k_1} \right) \\ \frac{dx_3(t)}{dt} = r_3 x_3 \left(1 - \frac{x_3}{k_3} \right) \end{cases} \quad (4)$$

(3) 创新主体间均存在竞合关系情形。若技术创新系统内各创新主体间均存在竞合关系,各创新主体的产出规模均受到其余主体的影响,产出规模均服从 Lotka-Volterra 模型形式。

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{k_1} + \alpha_{12} \frac{x_2}{k_2} + \alpha_{13} \frac{x_3}{k_3} \right) \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{k_2} + \alpha_{21} \frac{x_1}{k_1} + \alpha_{23} \frac{x_3}{k_3} \right) \\ \frac{dx_3(t)}{dt} = r_3 x_3 \left(1 - \frac{x_3}{k_3} + \alpha_{31} \frac{x_1}{k_1} + \alpha_{32} \frac{x_2}{k_2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

根据式(5)所示,新能源汽车产业技术创新系统的作用矩阵 A 如式(6)所示。

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{r_1}{k_1} & \alpha_{12} \frac{r_1}{k_2} & \alpha_{13} \frac{r_1}{k_3} \\ \alpha_{21} \frac{r_2}{k_1} & -\frac{r_2}{k_2} & \alpha_{23} \frac{r_2}{k_3} \\ \alpha_{31} \frac{r_3}{k_1} & \alpha_{32} \frac{r_3}{k_2} & -\frac{r_3}{k_3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

在生态系统的发展过程中,物种之间的相互作用会导致生态系统最终趋于平衡。类似地,在新能源汽车产业技术创新系统中也呈现出类似的动态演化过程,企业根据市场状况调整自身行为策略,以达到创新资源产出最大化。令 $\frac{dx_1(t)}{dt} = \frac{dx_2(t)}{dt} = \frac{dx_3(t)}{dt} = 0$, 求解方程组得到技术创新系统的 8 个局部均衡点,矩阵 A

的行列式 $|A| = \frac{r_1 r_2 r_3 (\alpha_{12} \alpha_{21} + \alpha_{13} \alpha_{31} + \alpha_{23} \alpha_{32} + \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{31} + \alpha_{13} \alpha_{21} \alpha_{32} - 1)}{k_1 k_2 k_3}$ 。若 $|A| < 0$, 且 $x_1^* > 0, x_2^* > 0, x_3^* > 0$, 则系统存在唯一的均衡点 $E(x_1^*, x_2^*, x_3^*)$, 如式(7)所示。新能源汽车产业技术创新系统创新主体动态演化的均衡点及其稳定性分析如表 1 所示。

$$\begin{cases} x_1^* = \frac{k_1 (1 - \alpha_{23} \alpha_{32} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{12} \alpha_{23} + \alpha_{13} \alpha_{32})}{1 - \alpha_{12} \alpha_{21} + \alpha_{13} \alpha_{31} + \alpha_{23} \alpha_{32} + \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{31} + \alpha_{13} \alpha_{21} \alpha_{32}} \\ x_2^* = \frac{k_2 (1 - \alpha_{13} \alpha_{31} + \alpha_{21} + \alpha_{23} + \alpha_{13} \alpha_{21} + \alpha_{23} \alpha_{31})}{1 - \alpha_{12} \alpha_{21} + \alpha_{13} \alpha_{31} + \alpha_{23} \alpha_{32} + \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{31} + \alpha_{13} \alpha_{21} \alpha_{32}} \\ x_3^* = \frac{k_3 (1 - \alpha_{12} \alpha_{21} + \alpha_{31} + \alpha_{32} + \alpha_{12} \alpha_{31} + \alpha_{21} \alpha_{32})}{1 - \alpha_{12} \alpha_{21} + \alpha_{13} \alpha_{31} + \alpha_{23} \alpha_{32} + \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{31} + \alpha_{13} \alpha_{21} \alpha_{32}} \end{cases} \quad (7)$$

(四) 竞合关系模式识别

竞争和合作两种机制权衡引发不对称的竞合效应,根据竞合系数 α_{ji} 与 α_{ij} 取值范围的差异,创新主体 i 与创新主体 j 之间的竞合关系模式共呈现 9 种类型,具体如表 2 所示。

表 1 创新主体竞合演化均衡结果

均衡点	x_1^*	x_2^*	x_3^*	均衡点	x_1^*	x_2^*	x_3^*
E_1	0	0	0	E_2	k_1	0	0
E_3	0	k_2	0	E_4	0	0	k_3
E_5	$k_1 \frac{1 + \alpha_{12}}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}$	$k_2 \frac{1 + \alpha_{21}}{1 - \alpha_{12}\alpha_{21}}$	0	E_6	$k_1 \frac{1 + \alpha_{13}}{1 - \alpha_{13}\alpha_{31}}$	0	$k_3 \frac{1 + \alpha_{31}}{1 - \alpha_{13}\alpha_{31}}$
E_7	0	$k_2 \frac{1 + \alpha_{23}}{1 - \alpha_{23}\alpha_{32}}$	$k_3 \frac{1 + \alpha_{32}}{1 - \alpha_{23}\alpha_{32}}$	E_8	$k_1 \frac{\beta_1}{\sigma}$	$k_2 \frac{\beta_2}{\sigma}$	$k_3 \frac{\beta_3}{\sigma}$

注： $\sigma = 1 - \alpha_{12}\alpha_{21} + \alpha_{13}\alpha_{31} + \alpha_{23}\alpha_{32} + \alpha_{12}\alpha_{23}\alpha_{31} + \alpha_{13}\alpha_{21}\alpha_{32}$ ； $\beta_1 = 1 - \alpha_{23}\alpha_{32} + \alpha_{12} + \alpha_{13} + \alpha_{12}\alpha_{23} + \alpha_{13}\alpha_{32}$ ； $\beta_2 = 1 - \alpha_{13}\alpha_{31} + \alpha_{21} + \alpha_{23} + \alpha_{13}\alpha_{21} + \alpha_{23}\alpha_{31}$ ； $\beta_3 = 1 - \alpha_{12}\alpha_{21} + \alpha_{31} + \alpha_{32} + \alpha_{12}\alpha_{31} + \alpha_{21}\alpha_{32}$ 。

表 2 创新主体竞合关系类型界定

序号	竞合系数	竞合关系表现	竞合类型
1	$\alpha_{ij} > 0, \alpha_{ji} > 0$	创新主体 j 促进创新主体 i , 创新主体 i 促进创新主体 j	双向促进型
2	$\alpha_{ij} > 0, \alpha_{ji} < 0$	创新主体 j 促进创新主体 i , 创新主体 i 抑制创新主体 j	竞争合作型
3	$\alpha_{ij} < 0, \alpha_{ji} > 0$	创新主体 j 抑制创新主体 i , 创新主体 i 促进创新主体 j	
4	$\alpha_{ij} < 0, \alpha_{ji} < 0$	创新主体 j 抑制创新主体 i , 创新主体 i 抑制创新主体 j	双向竞争型
5	$\alpha_{ij} < 0, \alpha_{ji} = 0$	创新主体 j 抑制创新主体 i , 创新主体 i 对创新主体 j 无影响	单向抑制型
6	$\alpha_{ij} = 0, \alpha_{ji} < 0$	创新主体 j 对创新主体 i 无影响, 创新主体 i 抑制创新主体 j	
7	$\alpha_{ij} > 0, \alpha_{ji} = 0$	创新主体 j 促进创新主体 i , 创新主体 i 对创新主体 j 无影响	单向促进型
8	$\alpha_{ij} = 0, \alpha_{ji} > 0$	创新主体 j 对创新主体 i 无影响, 创新主体 i 促进创新主体 j	
9	$\alpha_{ij} = 0, \alpha_{ji} = 0$	创新主体 j 对创新主体 i 无影响, 创新主体 i 对创新主体 j 无影响	相互独立型

三、多创新主体竞合关系演化的实证分析

(一) 样本及数据选取

一是,在查阅新能源汽车制造企业发展历程及其技术研发相关资料基础上,选取在新能源汽车产业中具有较高的市场份额和较大的创新影响力的少数新能源汽车企业作为研究样本。具体选择依据如下:①选取中国新能源汽车市场份额最高的三家国内汽车制造企业,分别为比亚迪股份有限公司、浙江吉利控股集团有限公司和上汽通用五菱汽车股份有限公司,2022 年中国市场占有率分别为 31.72%、7.79%和 5.37%,合计占比 44.88%;②同时,根据国际专利分类法(international patent classification, IPC),新能源汽车制造涉及的主要技术领域为 IPC 大类中的 B60、H01、H02、G01,检索 2014—2023 年三家企业分别持有的有效专利授权占比分别为 22.79%、12.97%、1.68%,累计占比达到 37.44%。因此,本文选取比亚迪股份有限公司、浙江吉利控股集团有限公司和上汽通用五菱汽车股份有限公司(以下分别代称比亚迪、吉利和五菱)作为研究对象,展开创新主体之间的竞合关系状态分析。

二是,选取三家企业间的专利数据展开,数据来源为全球专利数据库 incoPat。具体数据处理过程为根据 incoPat 为专利检索平台,筛选出三家企业 2013—2022 年专利申请总量前十的 IPC 小类专利,对各主体专利数据进行初步检索以及扩展检索,经多次数据去重、降噪等处理后,得到三家企业 2013—2022 年新能源汽车领域专利授权量数据,如表 3 所示。

(二) 参数估计

灰色理论在数据信息匮乏、波动性不大问题分析情形下优势明显,拟合优度更高,故本文利用灰色估计法对模型进行估计。Logistic 模型与 Lotka-Volterra 模型中,根据灰色估计思路展开,基于灰导数与偶对数的映射关系,将等式左侧离散化,模型如式(8)所示。

表 3 新能源汽车专利数量年度分布态

年份	比亚迪汽车 专利数(件)	吉利汽车 专利数(件)	五菱汽车 专利数(件)
2013	350	636	26
2014	795	1056	116
2015	1384	1329	205
2016	2489	1781	453
2017	3719	2250	749
2018	5054	3221	1145
2019	6542	4593	1386
2020	7704	5846	1644
2021	8356	6753	2013
2022	9338	7854	2320

$$Y_i = A_i \hat{B}_i, i = 1, 2, 3 \quad (8)$$

其中: $Y_i = [x_{i(2)} - x_{i(1)}, x_{i(3)} - x_{i(2)}, \dots, x_{i(n)} - x_{i(n-1)}]^T$, $\hat{B}_i = [a_{i0}, a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}]$ 。利用最小二乘法得到参数估计结果,并还原得到系数值,计算模型平均相对误差(MAPE)。

(三) 参数估计结果及分析

首先,表 4 为式(8)得到的参数估计结果。表 4 中 Logistic 模型结果,比亚迪、吉利与五菱的内禀增长率分别为 0.5693、0.4293 和 0.5076,饱和容量分别为 10227、10917 和 2851,模型平均相对误差(MAPE)为 28%。表明未考虑竞合关系情形下,创新主体发展规律与 Logistic 曲线规律存在较大差异。

其次,根据表 4 中仅存在两创新主体间的竞合关系情形结果可知,若仅比亚迪与吉利间存在竞合关系,二者竞合系数 α_{12} 、 α_{21} 分别为 0.3307、1.0591,表明二者之间的竞合关系为双向促进型,即吉利对比亚迪的发展有促进作用,同时比亚迪对吉利的发展也有促进作用,且促进作用更强。若仅比亚迪与五菱间存在竞合关系,二者竞合系数 α_{13} 、 α_{31} 分别为 -0.9897 和 0.9715,表明二者之间竞合关系为竞争合作型。此时五菱的饱和规模为 -2176,与现实情形不符,故系统中

仅存在比亚迪与五菱间竞合关系不能很好地反映各主体的发展趋势。若仅吉利与五菱间存在竞合关系,竞合系数 α_{23} 、 α_{32} 分别为 1.5672 和 0.2860,表明二者之间竞合关系为双向促进型,即二者均对彼此的发展有促进作用。即五菱对吉利创新发展的促进作用更强。综上,三种情形下 MAPE 为 47.2%、34.0% 和 30.2%,相对于相互独立情形下明显上升,模型误差较大,该模型形式不适用。

最后,根据表 4 中三创新主体交互情形下的估计结果,三主体的内禀增长率分别为 0.6685、0.3759 和 0.8701,相比于创新主体间相互独立情形下结果发生显著改变。竞合系数 α_{12} 、 α_{13} 、 α_{21} 、 α_{23} 、 α_{31} 、 α_{32} 分别为 0.0730、1.5725、0.3270、5.3209、-1.1721 和 0.4909,表明比亚迪与吉利间竞合关系为双向促进型,比亚迪与五菱间竞合关系为竞争合作型,吉利与五菱间竞合关系为双向促进型。三主体交互下模型的 MAPE 为 14.2%,相比于其他两种情形,估计精度最优。因此,基于三主体 Lotka-Volterra 模型的新能源汽车产业竞合机制分析适用性最为优良,且主体间竞合关系存在明显差异。

(四) 创新主体竞合关系演化仿真分析

本部分拟根据三主体竞合关系模型为基础展开情景模拟,探究创新竞合关系变动对企业创新产出可能的影响效应。

1. 单一竞合系数变化情形下产出规模演化分析

假定创新主体间现有竞合关系模式下的单一竞合系数(α_{ij})发生强度变化,图 1(a)~图 1(f)为竞合系数上升 10%情形下的仿真结果。

从图 1(a)可知,在 α_{12} 上升 10%条件下,到 2022 年,总体产出规模达到 17566 件,其中三个创新主体分别为 8686 件、6918 件、1962 件。与强度保持不变的基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别为 -0.5%、-2.8%、-5.3%。结果表明,创新主体 2 对创新主体 1 的促进作用上升 10%的情形下,各创新主体专利产出规模仍呈现上升态势,但上升幅度有所下降,导致总产出规模的下降。究其可能的原因在于创新主体 1 与创新主体 2 之间尽管表现为“+、+”的双向直接促进作用,但通过创新主体 3 的间接影响中存在“-”负向影响传导过程,从而最终导致总体产出以及各创新主体产出均表现出总产出下降的态势;其中,产出下降幅度最大的为创新主体 3,其次是创新主体 2,创新主体 1 受到的影响程度最小。

从图 1(b)可知,在 α_{21} 上升 10%条件下,到 2022 年,总体产出规模达到 18630 件,其中三个创新主体分

表 4 参数估计结果

参数	Logistic 模型	两创新主体交互情形			三创新主体交互情形
		主体 1-主体 2	主体 1-主体 3	主体 2-主体 3	
r_1	0.5693	0.6600	0.6544	0.5693	0.6685
r_2	0.4293	0.3401	0.4293	0.4079	0.3759
r_3	0.5076	0.5076	0.6593	0.5302	0.8701
k_1	10227	5395	4829	10227	4705
k_2	10917	3102	10917	2176	1930
k_3	2851	2851	-2176	1246	4516
α_{12}		0.3307			0.0730
α_{13}			-0.9897		1.5725
α_{21}		1.0591			0.3270
α_{23}				1.5672	5.3209
α_{31}			-0.9715		-1.1721
α_{32}				0.2860	0.4909
MAPE	28.0%	47.2%	34.0%	30.2%	14.2%

注:主体 1 代表比亚迪,主体 2 代表吉利,主体 3 代表五菱。

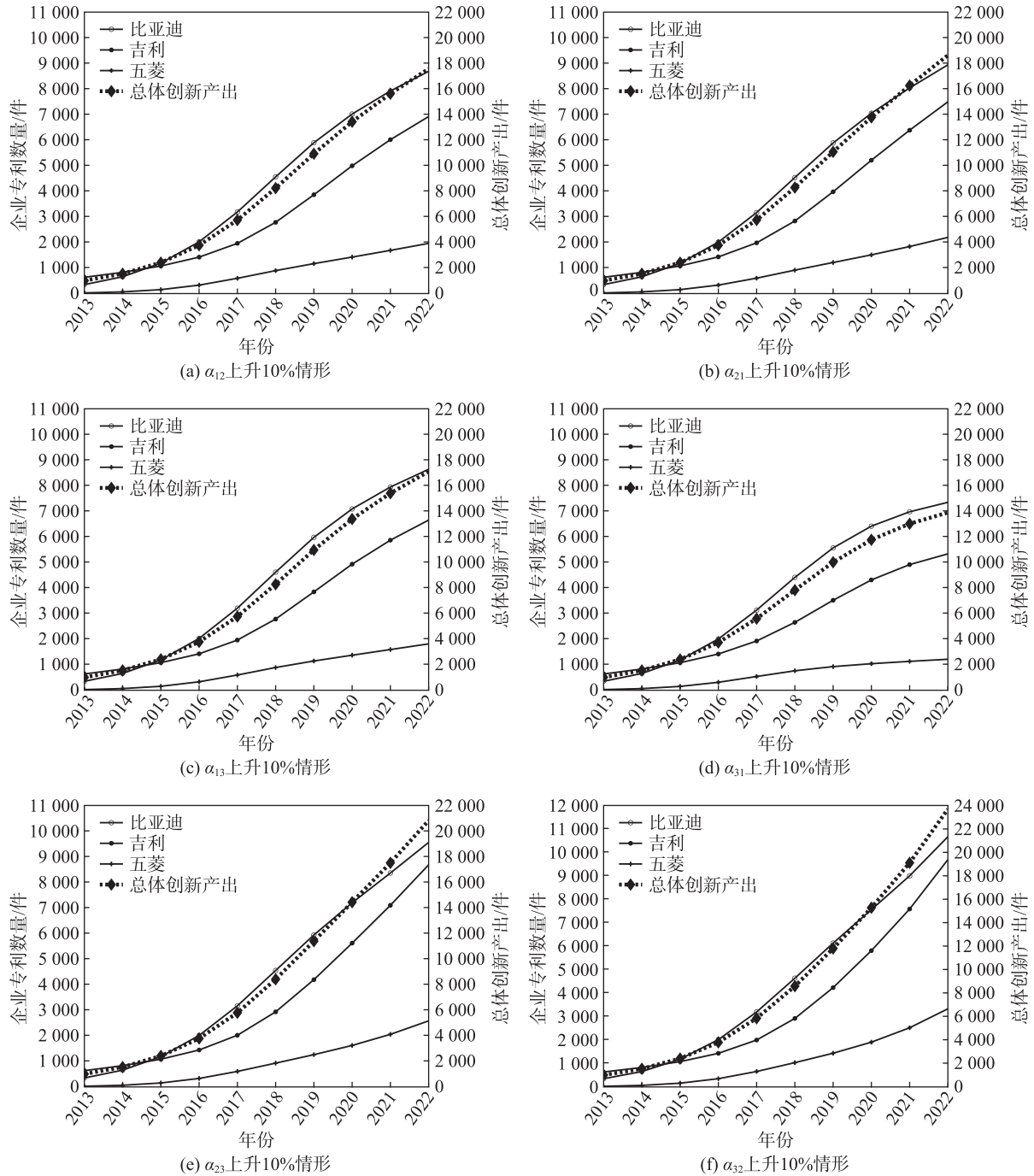


图1 单一竞合系数强度变化仿真结果

别为8940件、7494件、2196件。与基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别2.4%、5.3%、6.0%。结果表明,创新主体1对创新主体2促进作用上升10%情形下,各创新主体产出仍呈现上升态势,且上升幅度有所上升,导致总产出规模的上升。其可能的原因在于创新主体1与创新主体2之间表现为“+、+”的双向直接促进作用,且影响程度大于通过创新主体3间接影响中的“-”负向影响传导过程,最终总产出及各主体产出均表现出总产出上升的态势;其中,产出下降幅度最大的为主体3,其次是主体2,对主体1的影响最小。

从图1(c)可知,在 α_{13} 上升10%条件下,到2022年,总体产出规模达到17100件,其中三个创新主体分别为8636件、6651件、1813件。与基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别-1.1%、-6.6%、-12.5%。结果表明,创新主体3对创新主体1促进作用上升10%情形下,各创新主体产出仍保持上升态势,但上升幅

度有所下降,最终导致总产出规模的下降。其可能的原因在于创新主体 1 与创新主体 3 之间表现为“+、-”的竞争合作关系,创新主体 1 的发展在一定程度上对创新主体 3 有抑制作用,并通过创新主体 3 与创新主体 2 之间间接影响中的“+”正向影响传导过程,最终导致各创新主体产出规模均呈现下降的态势。其中,产出变化幅度最大的为创新主体 3,其次是创新主体 2,对创新主体 1 的影响程度最小。

从图 1(d)可知,在 α_{31} 上升 10% 条件下,到 2022 年,总产出规模达到 13888 件,其中三个创新主体分别为 7346 件、5331 件、1211 件。与基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别 -15.9%、-25.1%、-41.5%。结果表明,创新主体 1 对创新主体 3 抑制作用上升 10% 情形下,各创新主体产出增长幅度逐渐趋于平缓,各主体产出规模均有所下降,导致总产出规模下降。究其可能的原因在于创新主体 1 对创新主体 3 存在“-”负向的直接抑制作用,并通过创新主体 2 与创新主体 3、创新主体 1 与创新主体 2 之间间接影响中的“+”正向影响传导过程,从而最终导致总产出以及各创新主体产出均表现出总产出下降的态势。其中,产出规模变化幅度最大的为创新主体 3,其次是创新主体 2,对创新主体 1 的影响程度最小。

从图 1(e)与图 1(f)可知,在 α_{23} 上升 10% 条件下,到 2022 年,总产出规模达到 20820 件,其中三个创新主体分别为 9557 件、8681 件、2582 件,与基准情形相比,各主体产出规模变化幅度分别 9.5%、21.9%、24.7%;在 α_{32} 上升 10% 条件下,到 2022 年,总产出规模将达到 23690 件,其中三个创新主体分别为 10667 件、9692 件、3331 件,与基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别 22.2%、36.1%、60.8%。结果表明,创新主体 3 与创新主体 2 之间促进作用上升 10% 情形下,三创新主体产出均呈现快速增长态势,各创新主体产出规模均有所上升,导致总体产出规模上升。究其可能的原因在于创新主体 3 与创新主体 2 之间表现为“+、+”的双向直接促进作用,且影响程度大于通过创新主体 1 的间接影响中存在“-”负向影响传导过程,从而最终导致总产出以及各创新主体产出均表现出总产出上升的态势;其中,产出上升幅度最大的为创新主体 3,其次是创新主体 2,创新主体 1 受到的影响程度最小。

根据表 5 可知,单一竞合系数强度变化的六种情形下,不同创新主体表现出明显的差异性变化态势。一是,从变动方向来看,主体 1-主体 3 中,产出与竞合系数变动方向相同数量均为 4 种情形,表明 α_{21} 、 α_{31} 、 α_{23} 和 α_{32} 发生变化是能同时导致各创新主体产出规模同向变动的重要条件。二是,根据变动幅度排序可知,创新主体 3 变动幅度最高,在六种情形下均处于最大变动幅度;其次是创新主体 2,在五种情形下变动幅度次之,创新主体 1 则仅在一种情形下处于次之位置。不仅如此,六种情形下敏感系数高于 1 的情形为 α_{13} 、 α_{31} 、 α_{23} 和 α_{32} 。综上,单变量变动情形下, α_{32} 上升引起总体产出规模增长幅度最大, α_{23} 上升情形次之; α_{31} 上升引起总体产出规模下降幅度最大, α_{13} 上升情形次之。换句话说,创新主体 2 与创新主体 3 之间直接影响作用强度的上升有利于系统各主体的产出规模增长,创新主体 1 与创新主体 3 之间直接影响作用强度的上升不利于各创新主体产出规模的的增长,且自身产出禀赋相对较小的创新主体 3 受影响程度最大。

表 5 创新主体产出规模变动情况

变动情形	主体 1 产出规模	主体 2 产出规模	主体 3 产出规模	变动方向		总产出规模	主体变动 幅度排序	敏感系数>1 的 数量
				同向数	反向数			
$\alpha_{12} \uparrow$	- (-0.5%)	- (-2.5%)	- (-5.3%)	0	3	-355	3>2>1	0
$\alpha_{21} \uparrow$	+ (2.4%)	+ (5.3%)	+ (6.0%)	3	0	709	3>1>2	0
$\alpha_{13} \uparrow$	- (-1.1%)	- (-6.6%)	- (-12.5%)	0	3	-821	3>2>1	1
$\alpha_{31} \downarrow$	- (-15.9%)	- (25.1%)	- (-41.5%)	3	0	-4033	3>2>1	3
$\alpha_{23} \uparrow$	+ (9.5%)	+ (21.9%)	+ (24.7%)	3	0	2899	3>2>1	2
$\alpha_{32} \uparrow$	+ (22.2%)	+ (36.1%)	+ (60.8%)	3	0	5769	3>2>1	3
正向变动数量(个)	5	4	4					

注: $\uparrow$ 表示系数上升; $\downarrow$ 表示系数下降。+表示产出规模增长;-表示产出规模下降。括号内数值表示变动幅度。

2. 两个竞合系数变化情形下的产出规模演化分析

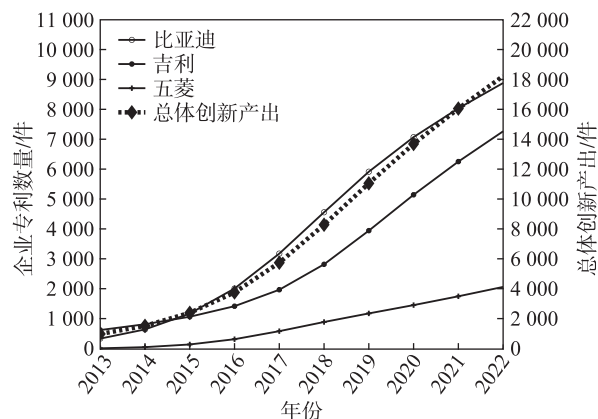
假定各创新主体交互模式下多个竞合系数(α_{ij} 、 α_{ji})发生强度变化,即主体间竞合模式强度发生变化。图2(a)~图2(c)为竞合模式强度上升10%情形下的仿真结果。

从图2(a)可知,在 α_{12} 、 α_{21} 上升10%条件下,到2022年,总体产出规模达到18240件,其中三个创新主体分别为8888件、7275件、2077件,与基准情形相比,各创新主体产出规模变化幅度分别为1.8%、2.2%、0.3%。结果表明,创新主体1与创新主体2间双向促进模式强度上升10%情形下,各创新主体产出仍保持上升态势,且上升幅度均有所提升,即创新主体间双向促进模式强度的上升会导致总体产出规模的上升,究其原因可能的原因在于创新主体1与创新主体2间“+、+”的双向直接促进作用,对总体产出规模的影响程度高于创新主体1与创新主体3间接影响中存在“-”负向影响传导过程,从而最终导致总体产出以及各创新主体产出均表现出总产出上升的态势;其中,产出上升幅度最大的为创新主体2,其次是创新主体1,创新主体3受到的影响程度最小。

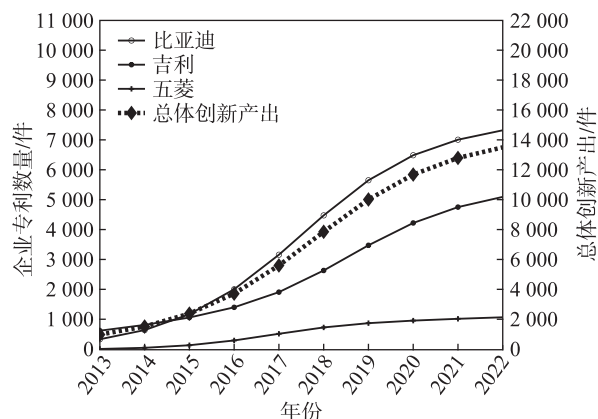
从图2(b)可知,在 α_{13} 、 α_{31} 上升10%条件下,到2022年,总体产出规模达到13520件,其中三个创新主体分别为7330件、5106件、1084件,与基准情形相比,各创新主体变化幅度分别为-16.0%、-28.3%、-47.7%。结果表明,创新主体1与创新主体3竞争合作模式强度上升10%情形下,各创新主体产出增长趋势逐渐趋于平缓,上升幅度均有所下降,即创新主体间竞争合作模式强度的上升会导致总体产出规模的下降。其可能的原因是创新主体1与创新主体3间“+、-”的竞争合作模式对总产出规模的影响程度高于其余创新主体间存在的“+”正向间接传导过程,最终导致总产出以及各创新主体产出均表现出总产出下降态势;不仅如此,产出下降幅度最大的为创新主体3、其次是创新主体2,创新主体1受到的影响程度最小。

从图2(c)可知,在 α_{23} 、 α_{32} 上升10%条件下,到2022年,总产出规模达到31767件,其中三个创新主体分别为13026件、13826件、4915件,与基准情形相比,各创新主体变化幅度分别为49.2%、94.2%、137.3%。结果表明,创新主体2与创新主体3双向促进模式强度上升10%情形下,各创新主体产出均呈现快速增长态势,上升幅度大幅增加,即创新主体间双向促进模式强度的上升会导致总体产出规模的上升。其可能的原因与创新主体1与创新主体3之间竞合模式强度上升情形类似,且对总体产出规模的影响更为显著;不仅如此,产出上升幅度最大的为创新主体3、其次是创新主体2,创新主体1受到的影响程度最小。

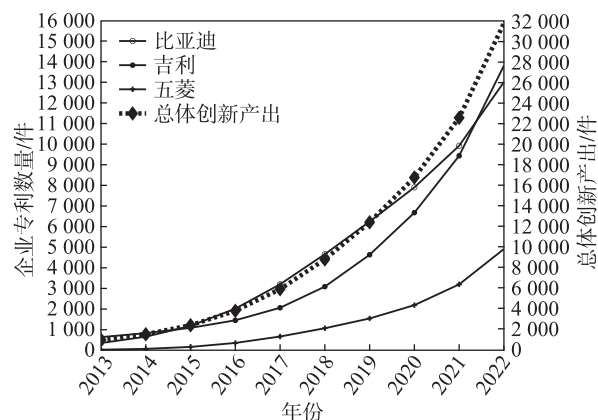
根据表6可知,创新主体间竞合模式强度变化的三种情形下,创新主体间表现出明显的差异性变化态势。首先从变动方向来看,创新主体间双向促进模式强度上升会导致各创新主体产出规模上升;创新主体间竞争合作



(a) α_{12} 、 α_{21} 上升10%情形



(b) α_{13} 、 α_{31} 上升10%情形



(c) α_{23} 、 α_{32} 上升10%情形

图2 两个竞合系数强度变化仿真结果

表 6 创新主体产出规模变动情况

系数变动情形	竞合关系模式变化	创新主体 1 产出规模	创新主体 2 产出规模	创新主体 3 产出规模	总体 产出规模	变动幅度 排序	敏感系数 >1 的数量
$\alpha_{12} \uparrow$ 、 $\alpha_{21} \uparrow$	双向促进模式强度上升	+ (1.8%)	+ (2.2%)	+ (0.3%)	319	2>1>3	0
$\alpha_{13} \uparrow$ 、 $\alpha_{31} \downarrow$	竞争合作模式强度上升	- (16.0%)	- (28.3%)	- (47.7%)	-4401	3>2>1	3
$\alpha_{23} \uparrow$ 、 $\alpha_{32} \uparrow$	双向促进模式强度上升	+ (49.2%)	+ (94.2%)	+ (137.3%)	13846	3>2>1	3

注：↑表示系数上升；↓表示系数下降。+表示产出规模增长；-表示产出规模下降。括号内数值表示变动幅度。

关系强度上升则会导致各创新主体产出规模下降。表明创新主体间双向促进关系强度的增强有利于技术创新系统中总体产出规模的提升,而竞争合作关系强度上升则可能对技术创新系统的产出产生规模造成负面影响。其次,从变动幅度来看,创新主体 3 变化幅度在 2 种情形下均处于最大,其次是创新主体 2,仅在 1 种情形下最高,创新主体 1 变动幅度在各类情形下则相对较小。不仅如此,三种情形下敏感系数高于 1 的情形为 α_{13} 、 α_{31} 和 α_{23} 、 α_{32} 。即创新主体 1 与创新主体 3 之间竞争合作关系强度上升会抑制系统各创新主体产出规模的增长,创新主体 2 与创新主体 3 之间的双向促进关系强度上升有利于各创新主体产出规模的增长。

四、研究结论与政策启示

(一) 研究结论

基于多主体创新竞合关系的 Lotka-Volterra 模型,通过识别龙头企业间的竞合关系模式,并展开不同竞合演变情形下的创新结果仿真,探究竞合关系演变对新能源汽车产业创新产出的影响。主要研究结论如下:

第一,竞合关系已成为新能源汽车产业技术创新系统的关键驱动力。相对未考虑创新主体竞合关系情形下的 Logistic 模型与仅考虑两创新主体间竞合关系情形下产出预测模型结果,考虑创新主体间均存在竞合关系的 Lotka-Volterra 模型更具有参考价值。Logistic 模型中,各个创新主体是相互独立的, Lotka-Volterra 模型则在其基础上将创新主体间的交互作用作为重要变量纳入模型。结果发现,考虑创新主体间均存在竞合关系情形下模型估计精度最高。

第二,根据 Lotka-Volterra 模型拟合结果可知,三家龙头企业(比亚迪、吉利、五菱)之间呈现为“竞合型+双向促进型”的交互模式。其中,“比亚迪与吉利”“吉利与五菱”之间均表现为双向促进型,“比亚迪与五菱”间则表现为即存在竞争、又存在合作的交互模式,三种关系共同驱动新能源汽车产业技术创新产出增长态势。不仅如此, α_{23} 系数最高, α_{12} 系数最小,同时,6 种关系中仅 α_{31} 表现为竞争关系,即比亚迪对五菱之间的创新竞争不容忽视。

第三,根据单一竞合系数变化以及两种竞合系数变化的仿真结果可知,技术创新系统以及各创新主体间的产出规模变化态势呈现显著的差异化特征。单一系数变化的 6 种情形下,每一系数上调 10% 条件下, α_{21} 、 α_{31} 、 α_{23} 和 α_{32} 发生变化能同时导致三个创新主体产出规模同向变动,其中 α_{32} 变化导致总体产出规模以及各创新主体产出变化幅度最大, α_{21} 变化导致产出变化幅度最小,即吉利对五菱的促进作用对创新系统的影响占据主导地位。在创新主体间竞合系数上调 10% 的 3 种情形下,双向促进模式下创新主体间竞合系数上调对于技术创新系统产出具有正向影响,竞争合作模式下竞合系数上调对于系统产出有负向影响。其中, α_{23} 、 α_{23} 上调导致技术创新系统的产出变化幅度最大, α_{13} 、 α_{31} 上调对系统产出的影响程度最小。即吉利与五菱之间双向促进作用对技术创新系统产出的影响程度最大。不仅如此,在各类情形下,创新产出禀赋较小的五菱通常受影响程度最大。

(二) 政策启示

基于上述结论,提出的政策启示如下:

一是,对政府而言,应充分完善技术创新市场机制,促进创新主体间有序竞争。根据研究可知,创新主体之间的竞合关系已成为影响新能源汽车产业技术创新系统的关键驱动力,市场机制作为调节和促进这一

动态作用机制的框架,其完善程度直接关系到整个产业的整体效益。一方面,应积极强化知识产权保护体系,确保企业创新成果的合法权益得到充分维护。使企业在合作时放心地分享技术和知识,同时还可以在竞争中保持自身优势,从而刺激企业增加研发投入。此外,政府推行适当的激励机制,如研发补贴、税收优惠等。进一步激发企业技术创新积极性,鼓励创新主体差异化发展,避免盲目跟风所导致的同质化竞争,促进产业的多样化和创新能力的提升。不仅如此,还应积极推动多元化的创新生态系统建设,包括研发机构、高等院校、企业及行业协会等,引导创新资源向具有创新能力和市场潜力的企业集中,推动产业链上下游的系统发展,形成产学研用相结合的创新网络。另一方面,为避免主体间过度竞争对技术创新系统发展的影响,政府应设立行业准入门槛并建立透明的监管流程。筛选出真正具备创新能力和市场潜力的企业,并通过法律和政策手段打击不正当竞争行为。同时,支持行业自律,鼓励企业积极参与行业标准制定,规范市场行为,引导企业专注于各自优势领域,避免资源的过度分散和重复投资,确保市场从“无序竞争”向“有序竞争”转化。

二是,对于竞争主体而言,应以自身战略定位为核心,动态调整竞合关系,积极构建互利共生的创新生态。根据研究可知,创新主体并不只是系统内孤立存在的个体,而是技术创新系统联动的关键纽带,在技术创新过程中不能一味追求自身利益最大化而忽视整体性收益。一方面,对于竞争关系的发起者,即市场先行者,企业率先进入市场并建立其品牌影响力和客户基础,往往拥有较强的资源配置能力和市场推广经验。因此,企业应当充分认识到长期压制后来者并非可出席的发展策略,并利用自身先发优势,通过开放合作、技术共享、市场培育等方式,帮助后来者快速增长,共同扩大市场规模,提升行业竞争力。对于竞争关系的接收者,即后来者,其通常展现出强大的适应性和灵活性。企业应充分利用灵活的组织结构、快速的市场响应能力等后发优势,快速学习先行者的经验并在此基础上进行创新,通过差异化竞争来占据市场份额。同时,驱动先行者进行自我革新,促进双方在竞争与合作中共同成长。对于处于双向促进关系中的主体,应在保持自身核心竞争力的同时,通过战略联盟、资源共享等方式,积极寻求与合作伙伴的互补性,从而实现优势互补和风险分散。另一方面,创新主体应采取差异化的战略,共同构建互利共生的创新生态。对于处于双向促进关系中的主体,应在注重维护当前良好的合作关系的基础上,考虑系统内其他主体竞合关系所带来的间接影响,并根据自身需求,对创新主体间竞合边界和程度进行动态调整,择优选择创新策略。对于处于竞合关系中的主体,企业应当倡导合作型竞争策略。即认清企业自身的优势与劣势以及系统内其他企业所具有的对合作有价值的资源,选取与自身战略目标一致性较高的企业开展战略合作。依托创新系统形成“整合→分配”的创新资源流,促进知识、技术的高效流通,从而最大化技术创新系统创新主体间正向效应,最终实现协同创新和产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 黄群慧,盛方富. 新质生产力系统:要素特质、结构承载与功能取向[J]. 改革, 2024(2): 15-24.
- [2] 蔡万焕,张晓芬. 新质生产力与中国式现代化——基于产业革命视角的分析[J/OL]. 浙江工商大学学报, 2024. DOI: 10.14134/j.cnki.cn33-1337/c. 2024. 02. 003.
- [3] 杨武,宋晓晴. 中、美、日、韩新能源汽车产业竞争优势测度与比较研究——以锂电池汽车为例[J]. 中国科技论坛, 2024(2): 180-188.
- [4] 金永花. 新发展机遇期我国新能源汽车产业链水平提升研究[J]. 经济纵横, 2022(1): 83-90.
- [5] 王进富,李婷婷,张颖颖. 链主企业生态主导力提升产业链韧性路径研究——以比亚迪和中国新能源汽车产业链为例[J/OL]. 科技进步与对策, 2024. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1224.G3.20240115.1702.004.html>.
- [6] 李梦雅,严太华. 风险投资、技术创新与企业绩效:影响机制及其实证检验[J]. 科研管理, 2020, 41(7): 70-78.
- [7] 刘和旺,郑世林,王宇锋. 所有制类型、技术创新与企业绩效[J]. 中国软科学, 2015(3): 28-40.
- [8] 曹霞,邢泽宇,张路蓬. 基于政府驱动的新能源汽车产业合作创新演化博弈研究[J]. 运筹与管理, 2018, 27(6): 21-30.
- [9] 刘国巍,邵云飞. 产业链创新视角下战略性新兴产业合作网络演化及协同测度——以新能源汽车产业为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(8): 43-62.
- [10] 孙玉涛,王茜,陈灵芝. 新能源汽车行业知识流动的技术竞合机制研究[J]. 科研管理, 2022, 43(12): 79-88.
- [11] 李晶钰,沈灏. 不同竞合情景下企业知识获取和绩效关系的研究[J]. 科研管理, 2009, 30(5): 139-147.
- [12] SONG H Q, WANG R, TANG Y L. Competition or cooperation: Strategy analysis for a social commerce platform [J/OL]. European Journal of

- Operational Research, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.05.014>.
- [13] 徐亮, 张宗益, 龙勇, 等. 竞合战略与技术创新绩效的实证研究[J]. 科研管理, 2009, 30(1): 87-96.
- [14] 张艳辉, 李宗伟, 陈滇. 社会网络与企业技术创新绩效的关系研究: 以苏州电子信息产业为例[J]. 管理评论, 2012, 24(6): 42-49.
- [15] 吴俊杰, 盛亚, 姜文杰. 企业家社会网络、二元性创新与技术创新绩效研究[J]. 科研管理, 2014, 35(2): 43-53.
- [16] 王静宇, 刘颖琦, ARI K. 社会网络视角下的产业联盟技术创新——中国新能源汽车产业联盟的实证[J]. 中国科技论坛, 2017(5): 186-192.
- [17] LIANG X, LIU A M. The evolution of government sponsored collaboration network and its impact on innovation: A bibliometric analysis in the Chinese solar PV sector[J]. Research Policy, 2018, 47(7): 1295-1308.
- [18] ZHANG Z, LUO T. Knowledge structure, network structure, exploitative and exploratory innovations[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2020, 32(6): 666-682.
- [19] 胡双钰, 吴和成. 促进还是抑制: 合作网络嵌入对组织创新绩效影响研究[J/OL]. 系统工程, 2024. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1115.N.20240119.1222.002.html>.
- [20] 康志勇, 汤学良, 刘馨. “鱼与熊掌能兼得”吗? ——市场竞争、政府补贴与企业研发行为[J]. 世界经济文汇, 2018(4): 101-117.
- [21] 唐要家, 王钰, 唐春晖. 数字经济、市场结构与创新绩效[J]. 中国工业经济, 2022(10): 62-80.
- [22] 朱文韵, 孟雅晴. 竞争强度、合作强度与企业创新决策行为——基于企业专利申请动机视角的分析[J]. 价格理论与实践, 2023(11): 83-87.
- [23] HOBERG G, LI Y, PHILLIPS G M. Internet access and U.S.-China innovation competition[R]. New York: National Bureau of Economic Research Working Paper, 2020. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w28231/w28231.pdf.
- [24] 王雄元, 秦江缘. 创新竞争与企业高质量创新模式选择——来自专利被无效宣告的经验证据[J]. 经济研究, 2023, 58(11): 80-98.
- [25] GNYAWALI D R, PARK B R. Coopetition and technological innovation in small and medium-sized enterprises: A multilevel conceptual model[J]. Journal of Small Business Management, 2009, 47(3): 308-330.
- [26] GNYAWALI D R, PARK B J R. Coopetition between giants: Collaboration with competitors for technological innovation[J]. Research Policy, 2011, 40(5): 650-663.
- [27] 吴东, 张宁, 刘潭飞. 竞合关系、知识耦合与企业激进式创新[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(11): 140-160.
- [28] 罗暘洋, 李存金, 罗斌. 基于双层网络的第三方支付机构与商业银行竞合演化机理研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(1): 238-247.
- [29] RAMAMURTI R, WILLIAMSON P J. Rivalry between emerging market MNEs and developed-country MNEs: Capability holes and the race to the future[J]. Business Horizons, 2019, 62(2): 157-169.
- [30] HOFFMANN W, LAVIE D, REUER J, et al. The interplay of competition and cooperation[J]. Strategic Management Journal, 2018(39): 3033-3052.
- [31] RANGANATHAN R, GHOSH A, ROSENKOPF L. Competition-cooperation interplay during multiform technology coordination: The effect of firm heterogeneity on conflict and consensus in a technology standards organization[J]. Strategic Management Journal, 2018, 39(12): 3193-3221.
- [32] BOUNCKEN R B, CLAU B T, FREDRICH V. Product innovation through coopetition in alliances: Singular or plural governance[J]. Industrial Marketing Management, 2016, 53(14): 77-90.
- [33] 彭珍珍, 顾颖, 张洁. 动态环境下联盟竞合、治理机制与创新绩效的关系研究[J]. 管理世界, 2020, 36(3): 205-220.
- [34] 李梦, 田增瑞, 陆羽中. 绿色创新生态系统共生演化与培育机制[J]. 技术经济, 2024, 43(4): 132-142.
- [35] 段文奇, 李辰, 惠淑敏. 基于 Lotka-Volterra 模型的众创空间生态系统共生模式研究[J]. 审计与经济研究, 2021, 36(3): 107-116.
- [36] 谈超凤, 王瑾. 基于 Lotka-Volterra 模型航运单元共生模式及动态演化分析[J]. 中国航海, 2023, 46(4): 69-76.

Coopetition Relationship Research on New Energy Vehicle Industry's Technology Innovation: Based on Lotka-Volterra Population Competition Model Analysis

Zhao Qiaozhi¹, Chen Hao¹, Zhang Lihui²

(1. Department of Economics and Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Science and Technology Department, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: New energy vehicle industry is an important strategic emerging industry for cultivating national new quality productive forces. Based on patent application data from 2013 to 2022 of the three enterprises (BYD, GEELY and WULING), Lotka-Volterra population competition model was constructed to explore out their coopetition relation mode and evolving trends. Main conclusions are as follows. Firstly, coopetition relation has been an important driving factor to stimulate technological innovation evolution. Secondly, their coopetition model shows great heterogeneity among the three leading enterprises. At current stage, “BYD + GEELY” “WULING + GEELY” show such mutually promoting type. Meanwhile, “BYD + WULING” show the competition-cooperation type. Thirdly, in accordance with simulation results, innovation outputs of enterprises vary with coopetition relation coefficient changes. Innovation output effect of new vehicle industry is positive when the coopetition intensity of mutually-prompting type grows. The positive innovation effect from “WULING + GEELY” coopetition intensity growth is more than that from the other one. Therefore, cultivating orderly competition and coordinated cooperation mode mechanism, especially most potential competition types, should be paid more focus on realizing its high-quality innovation outputs and supporting its new-quality productivity formation for the new energy vehicle industry of China.

Keywords: new quality productive forces; technological innovation system; new energy vehicle; coopetition relation; population competition model