

产学研深度融合动态演化博弈机制研究

——基于创新过程视角

常 哲, 郭 彬

(太原理工大学 经济管理学院, 太原 030024)

摘 要: 产学研深度融合是完善我国科技创新体制机制系列部署中的关键环节,但现有研究未体现出深度融合过程的动态性、阶段性及多主体性等特征。鉴于此,将过程阶段思想引入产学研机制中,构建多方参与的产学研深度融合演化博弈模型,分析创新主体的策略选择,并用Matlab软件对主体行为策略的演化过程进行仿真研究。结果表明:地方政府的资金支持、政策支持及合理的惩罚机制均有助于深度融合,但是过多的资金支持会弱化地方政府的引导效应;基于相对风险分担的收益分配机制相比于平均分配、成本分配机制更符合创新主体的利益诉求;通过深度融合既能降低创新过程中的不确定性风险又能实现风险分担。最后,针对产学研深度融合机制的构建提出相关建议。

关键词: 产学研深度融合; 创新过程; 演化博弈; 复制动态方程

中图分类号: G203 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2023)9—0024—17

一、引言

党的二十大提出加快实施创新驱动发展战略,加强企业主导的产学研深度融合,强化目标导向,提高科技成果转化和产业化水平。中国目前面临关键核心技术受制于人、大多数产业处于全球价值链的中低端环节,突破这一局面的关键就是围绕产业链部署创新链,而实现这一目标最有效的路径就是产学研深度融合,将学研方的科技发现与产业链上企业的创新需求有效融合形成产业创新链。但是从产学研合作、协同创新到逐步实现产学研深度融合这一过程中(李健,2018;方刚等,2016),一直存在着诸多制约因素。一方面,微观产学研融合机制不优,具体表现在动力机制方面,由于对产业需求关注不够、激励不相容导致产学研合作脱节;在利益协调分配机制方面,创新主体利益分配及风险分担关系难以理顺;结构连接机制方面,促进知识转移转化的中介服务体系不发达及缺乏系统稳定的金融支持(熊鸿儒,2021)。另一方面,地方政府的相关引导政策缺乏协调与细化,落地效果不佳。因此,建立产学研各方互利共赢的深度融合机制,形成创新的利益共同体是推动我国产学研发展的关键(洪银兴,2019;王海军和祝爱民,2019)。

现有研究在产学研深度融合领域已经取得了一定的成果,主要包括:第一,对于产学研深度融合的内涵、本质的初步思考。邵进(2015)借助三重螺旋模型将产学研深度融合诠释为知识的传播与转化、人员的赋能与流动、平台的创建与优化。第二,对于产学研深度融合演化路径、机制、组织模式的探索性案例研究。王钰莹等(2021)基于制度逻辑的理论视角解释了中国转型经济民营企业迈向产学研深度融合的行为;章芬等(2021)以江苏省产业技术研究院为研究对象,运用探索式案例深入探讨了新型研发机构通过体制机制创新促进产学研深度融合的过程;张嘉毅和原长弘(2022)对4个产学研深度融合项目进行多案例比较分析提炼出了突破关键核心技术情景下产学研深度融合的组织模式;张羽飞和原长弘(2022)以三一集团为案例探究了民营制造业领军企业产学研深度融合突破关键核心技术的演进路径。第三,对于产学研融合程度定量分析的初步尝试。张羽飞等(2022b)从产学研融合广度、深度、频度出发构建“三位一体”的微观企业产学研融合程度综合评价模型;邵汉华等(2022)通过构建复合系统协同度模型测算产学研融合深度。总体来说,现有关于产学研深度融合的高水平研究成果较少,且主要集中于宏观理论方面的研究,针对微观层面的产学研深度融合机制及影响因素的研究几乎没有。

收稿日期: 2023-03-23

基金项目: 山西省科协重点调研课题“山西省科技工作者总量、产业分布及省内外流动状况调查研究”(KXKT202201);山西省战略规划课题“山西省科技创新券实施效果评价及管理优化研究”(202104031402052)

作者简介: 常哲,太原理工大学经济管理学院硕士研究生,研究方向:技术创新与管理,产学研合作;郭彬,博士,太原理工大学经济管理学院教授,硕士研究生导师,研究方向:技术创新与管理。

在我国实施创新驱动发展的背景下,产学研深度融合成为重要的战略举措,是产学研合作不断深化与发展的结果。为构建产学研深度融合机制,对产学研合作机制和过程的相关文献进行梳理,将其划分为内部运行机制和外部政府干预研究。内部运行机制主要包括动力机制、利益分配机制和结构性联结机制。产学研动力机制研究的焦点主要集中在动力形成和影响产学研合作的动力因素。产学研协同创新的动力形成过程是产学研各主体核心能力不断培育和提升并最终互补融合,提高整体合作能力,建立联盟竞争优势的过程(周正等,2013)。在动力因素方面,学者们主要从内部驱动力(利益驱动、战略协同引导、内部激励和创新能力)和外部驱动力(市场需求拉动、市场竞争、技术推动和政府支持)展开分析(夏红云,2014;方炜和牛婷婷,2017;白京羽等,2020)。创新利益的合理分配是产学研合作关系持续稳定发展的关键(李恩极和李群,2018),葛秋萍和汪明月(2018)构建了基于不对称 Nash 谈判修正的产学研战略联盟收益分配机制;Song 和 Gao(2018)构建了两个收益分享契约的博弈模型以协调供应链上下游企业间的利益分配;Yi 和 Zhang(2022)采用差分博弈的方法探讨了在不同的产学研合作模式下多渠道资金对收入分配的影响。要最大限度激发产学研各方参与合作的动力,并使得一些内在矛盾冲突最小化,最重要的结构性因素是创立和健全连接产学研合作的各类中介机构(熊鸿儒,2021),主要包括技术转移办公室、科技园、孵化器等(李文娟和朱春奎,2020)。这些内部运行机制主要受市场驱动,但受政府政策的影响也很大。为鼓励产学研合作,政府主要采取税收优惠、专项财政支持、研发补贴、监管惩罚等外部干预措施来提高成员合作积极性。部分研究表明政府的引导政策一方面对产学研合作具有重要的积极作用,康志勇(2018)认为政府科技创新资助对企业创新能力的提升具有积极的促进作用,但这种作用具有一定的滞后性和持续性;徐刚和杨超(2020)提出政府通过建立奖惩机制提高产学研合作各方消极合作的成本,可以提高形成稳定合作关系的概率;王腾等(2023)研究了政府事前补助、事后成本补贴与事后奖励等潜在干预措施对产学研创新联盟成员协同行为的影响,提出中央政府采取额外的经费支持是必要的举措;Dimos 等(2022)提出政府的税收优惠和财政补助政策对于不同类型企业的研发均具有不同程度的促进效应。但是,另一方面,政府的资金支持可能会对企业创新产生“挤出效应”(Cano-Kollmann et al, 2016)。

目前学者们主要以博弈论的视角对产学研各方策略选择的稳定性和影响因素展开研究,郑月龙等(2023)基于微分博弈理论,探究了影响产学研合作研发契约的“共性”因素(知识老化率和研发收益)和“个性”因素(市场收益分配比例和研发进行时间);孙健慧和张海波(2020)考察了 Nash 非合作博弈、Stackelberg 主从博弈、协同合作博弈三种模式下大学和企业的决策过程与最优策略。但是,采用传统博弈论的研究未考虑到产学研深度融合情景的动态性、多主体性及不确定性等特征,并且创新主体不能满足传统博弈模型关于主体完全理性和信息完全公开的要求。多主体参与下的博弈分析更有助于刻画复杂问题,三方演化博弈是研究长期重复博弈中有限理性的多主体策略动态变化的有效方法,对于建立产学研深度融合机制的研究具有适用性。例如,李彦华等(2022)以企业、学研方及消费者为研究主体建立产学研用协同创新演化博弈模型,探索了不同的消费者参与程度对于协同创新主体合作意向选择的影响;石琳娜和陈劲(2023)运用演化博弈理论探讨了产学研创新主体的知识协同演化行为及稳定性问题;王守文等(2023)构建科技成果转化的演化博弈模型揭示中央政府政策实施力度、地方政府奖励力度、收益分成比例等变量对协同演化路径的影响机理;刘娜娜和周国华(2023)将演化博弈理论与前景理论结合,分析重大工程创新过程中不同主体之间资源共享行为策略。然而,采用三方演化博弈模型的文献没有从产学研深度融合所基于的创新过程的阶段变化角度分析,事实上在产学研深度融合的不同阶段,创新活动、市场性质、关键参与者及所需要的外部资源均有显著差异。

综上所述,本文通过构建“政产学研金介用”多主体参与的产学研深度融合演化博弈模型,系统分析了不同阶段下不同创新主体的决策演化过程,求解了不同情形下的演化稳定策略组合,并通过仿真分析探究了在不同阶段影响创新主体策略选择的关键因素,以期为中国构建产学研深度融合机制提供有益借鉴。本文的创新点如下:①以往关于产学研合作机制的研究大多基于静态的单一时期的政府、学研方、企业的三方博弈,本文构建了多主体参与的产学研深度融合的两阶段演化博弈模型,能更加真实地反映产学研深度融合的复杂情境,可从方法论上为未来研究提供参考;②已有研究在政府参与产学研合作的方式上仅仅考虑了单一政策的影响,本文在此基础上增加了政策组合对产学研深度融合的效果分析,更加接近客观实际;③在对政府政策引导效应的分析中,不仅探讨了其积极作用,还考虑到资金支持政策可能产生的“挤出效应”,有利于确定政府和市场在产学研合作中的合理边界及各自的功能定位;④依据“利益共享、风险共担”原则,考虑不同

创新主体在不同合作阶段的风险承受能力上的差异,设计了基于相对风险分担的收益分配机制,与平均分配、成本分配机制相比更符合创新主体的利益诉求,可以增强创新主体参与产学研融合的意见。

二、模型假设与构建

产学研深度融合创新的活动过程,一般包括基础研究、应用开发、商品转化和产业化阶段。由于基础研究与应用开发阶段的创新活动性质分别为纯粹公共产品与半公共产品,商品转化与产业化阶段的创新活动性质为偏向私人产品,且部分阶段中创新主体、市场性质、所需要的外部资源及影响利益分配的因素基本一致,因此,本文将产学研深度融合的创新过程划分为两个阶段,研究与开发阶段(以下简称为研发阶段)、生产与商业化阶段。在研发阶段,基础研究环境通常由高校与科研机构提供基础性的共性知识,国有企业的技术创新具备公共物品特征,因此在一定条件下可以与学研方共同组建产学研融通组织去研发以企业技术创新为目标的科技成果。在这一过程中地方政府主要是向创新主体提供资金支持及强化知识产权保护机制、做实平台载体等措施来优化创新环境,降低创新主体前期巨额的投资成本及承担的风险,从而激励创新主体参与产学研深度融合。中介机构为创新主体提供平台、信息和资金等多种服务。在两阶段中,地方政府积极参与产学研深度融合及时向中央政府反馈深度融合情况,从而获得中央政府的转移支付及相应的税收收益。在生产和商业化阶段,整个技术创新过程不再是完全的公共产品特征,而是具备市场化、商业化的私人产品特征,这些环节需要引进“国有企业+民营企业”的创新联合体实现优势互补。民营企业可以凭借其敏锐的市场嗅觉为实现科技成果商业化提供市场原动力,国有企业具有较强的抗风险能力与大量的资金、资源,二者融合可有效降低该阶段的不确定性风险。地方政府在这一阶段主要通过建立各种新型政府引导基金和发展各类型的风险投资基金来降低创新主体的融资成本和承担的风险。学研方在地方政府的政策支持下持续为企业提供技术咨询,帮助其实现商业化。在深度融合初始阶段,国有企业、学研方、民营企业通过合同规定了每个创新主体的权利与义务,但是在研发过程中,可能存在知识窃取、机会主义行为,即创新主体为了独享融合收益,在学习到对方的核心技术后中途违约单独研发从而独享收益;在生产与应用过程中,创新主体可能因为高风险、融资难等原因选择中途违约。本文构建的产学研深度融合两阶段中创新主体之间的逻辑关系如图1、图2所示。

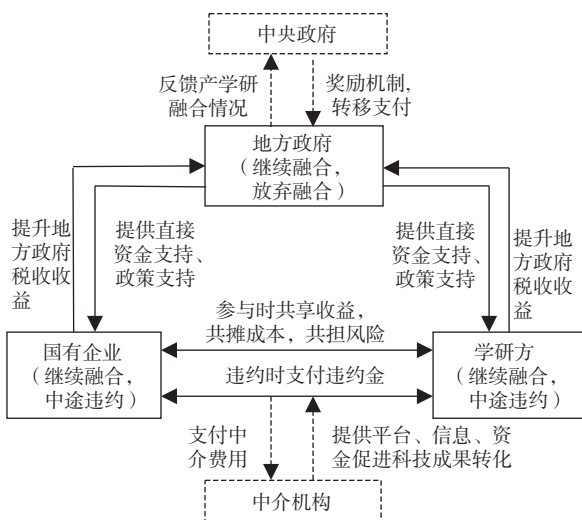


图1 研发阶段的逻辑关系图

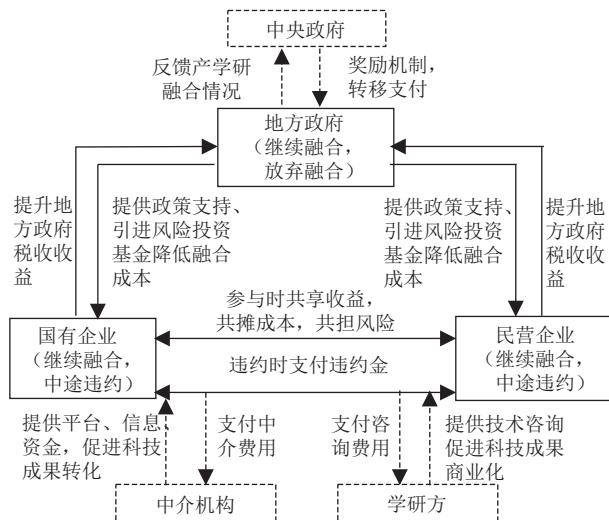


图2 生产与商业化阶段的逻辑关系图

(一)模型假设

为构建博弈模型,分析创新主体的策略选择、均衡点的稳定性及各要素的影响关系,提出以下4个假设。

假设1:在研发阶段,参与主体为地方政府、国有企业、学研方、中央政府、中介机构,其中博弈主体为地方政府、国有企业及学研方;在生产与商业化阶段,参与主体为地方政府、国有企业、民营企业、学研方、中介机构、中央政府,其中博弈主体为地方政府、国有企业、民营企业。产学研深度融合两阶段中的所有博弈主体均是有限理性的且博弈主体之间存在信息不对称(H1)。

假设2:在研发阶段,地方政府的策略空间 $A = (A_1, A_2)$ =(继续融合,放弃融合),以 x_1 的概率选择 A_1 ,以 $1 - x_1$ 的概率选择 A_2 , $x_1 \in [0, 1]$;学研方的策略空间 $B = (B_1, B_2)$ =(继续融合,中途违约),以 y_1 的概率选择 B_1 ,以 $1 - y_1$ 的概率选择 B_2 , $y_1 \in [0, 1]$;国有企业的策略空间 $C = (C_1, C_2)$ =(继续融合,中途违约),以 z_1 的概率选择 C_1 ,以 $1 - z_1$ 的概率选择 C_2 , $z_1 \in [0, 1]$ 。在生产与商业化阶段,地方政府的策略空间 $D = (D_1, D_2)$ =(继续融合,放弃融合),以 x_2 的概率选择 D_1 ,以 $1 - x_2$ 的概率选择 D_2 , $x_2 \in [0, 1]$;民营企业的策略空间 $E = (E_1, E_2)$ =(继续融合,中途违约),以 y_2 的概率选择 E_1 ,以 $1 - y_2$ 的概率选择 E_2 , $y_2 \in [0, 1]$;国有企业的策略空间 $F = (F_1, F_2)$ =(继续融合,中途违约),以 z_2 的概率选择 F_1 ,以 $1 - z_2$ 的概率选择 F_2 , $z_2 \in [0, 1]$ (H2)。

假设3:在研发阶段,地方政府提供资金支持 E ,最大资金支持 $Z (E \leq Z)$,制定优惠政策产生的总成本为 S ;国有企业与学研方投入的人财物资源及支付给中介组织的服务费用产生的成本分别为 d_1, d_2 且 $d = d_1 + d_2$ 。用风险成本 t_1 量化本阶段的融合风险,由于深度融合可以有效降低研发过程中的不确定性风险,因此每当一个主体参与融合可以降低风险成本 $\beta (0 < \beta < 1)$ 倍,地方政府的政策实施可以降低风险成本 $\gamma (0 < \gamma < 1)$ 倍。在生产与商业化阶段,地方政府制定政策产生的成本为 G ;民营企业与国有企业的总成本包括前期购买第一阶段科技成果的费用及生产与商业化成本 c 。对于 ΔR_1 ,当双方均参与融合或双方均不融合时分担比例为 ε ,如果有一方违约,违约方仍然需要承担 $(1 - \pi)\Delta R_1$,继续融合的创新主体承担 $\pi\Delta R_1$ 。对于 c ,双方的分担比例为 ε 。学研方在地方政府的支持下继续提供技术咨询可以减少双方的成本 c ,减少量为 q 。用风险成本 t_2 来量化本阶段的风险,每一个主体参与融合可以降低风险成本 β 倍,政府的政策实施可以降低风险成本 γ 倍(H3)。

假设4:在研发阶段,地方政府选择“继续融合”可获得的转移支付和社会收益为 R_1^1 , η 表示地方政府“放弃融合”获得的收益占“继续融合”获得的收益的比例。学研方、国有企业在融合前的初始收益分别为 R_1^2, R_1^3 。在地方政府参与融合的情况下,创新主体进行深度融合可以获得融合收益及资金支持 E ,其中,利益分配系数 α 由双方共同协商确定。当学研方选择“中途违约”,应向国有企业支付赔偿款 k ;当国有企业选择“中途违约”,应向学研方支付赔偿款 v 。在生产与商业化阶段,地方政府选择“继续融合”可获得收益为 R_2^1 , μ 表示地方政府选择“放弃融合”所获得的收益占“继续融合”获得的收益的比例。民营企业、国有企业在未开始本阶段的初始收益为 R_2^2, R_2^3 ,深度融合后获得生产与商业化收益 ΔR_2 ,其中,利益分配系数 λ 是基于创新主体承担的相对风险而确定的分配比例。假设双方的风险承受能力分别为 u_1, u_2 ,此处参考吕璞和马可心(2020)的研究,用创新主体在该阶段所能承受的最大损失来表示 u_i ,用相对风险系数 ε_i 来表示各个创新主体承担的相对风险, $\varepsilon_i = \frac{c_i}{u_i}$,因此利益分配系数 $\lambda = \frac{\varepsilon c}{u_1} \bigg/ \left[\frac{\varepsilon c}{u_1} + \frac{(1 - \varepsilon)c}{u_2} \right]$ 。当民营企业选择“中途违约”,应向国有企业支付赔偿款 w ;当国有企业选择“中途违约”,应向民营企业支付赔偿款 m (H4)。

(二)模型构建

根据以上假设,得到产学研深度融合两阶段博弈的支付矩阵详见表1和表2。

表1 研发阶段博弈支付矩阵

地方政府			学研方	
			继续融合(y_1)	中途违约($1 - y_1$)
国有企业	继续融合(z_1)	继续融合(x_1)	$R_1^1 - E - S,$ $R_1^2 + \alpha [\Delta R_1 + E(1 - E/Z)] - (d_1 + \beta^2 \gamma t_1),$ $R_1^3 + (1 - \alpha) [\Delta R_1 + E(1 - E/Z)] - d_2 - \beta^2 \gamma t_1$	$R_1^1 - (1 - \alpha)E - S,$ $R_1^2 + \Delta R_1 - d - \beta t_1 - k,$ $R_1^3 + (1 - \alpha)E [1 - (1 - \alpha)E/Z] + k - d_2 - \beta \gamma t_1$
		放弃融合($1 - x_1$)	$\eta R_1^1,$ $R_1^2 + \alpha \Delta R_1 - d_1 - \beta^2 t_1,$ $R_1^3 + (1 - \alpha) \Delta R_1 - d_2 - \beta^2 t_1$	$\eta R_1^1,$ $R_1^2 + \Delta R_1 - d - \beta t_1 - k,$ $R_1^3 + k - d_2 - \beta t_1$
	中途违约($1 - z_1$)	继续融合(x_1)	$R_1^1 - \alpha E - S,$ $R_1^2 + \alpha E(1 - \alpha E/Z) + v - (d_1 + \beta \gamma t_1),$ $R_1^3 + \Delta R_1 - d - \beta t_1 - v$	$R_1^1 - S,$ $R_1^2 + 0.5 \Delta R_1 - d - \beta t_1,$ $R_1^3 + 0.5 \Delta R_1 - d - \beta t_1$
		放弃融合($1 - x_1$)	$\eta R_1^1,$ $R_1^2 - d_1 + v - \beta t_1,$ $R_1^3 + \Delta R_1 - d - \beta t_1 - v$	$\eta R_1^1,$ $R_1^2 + 0.5 \Delta R_1 - d - \beta t_1,$ $R_1^3 + 0.5 \Delta R_1 - d - \beta t_1$

表 2 生产与商业化阶段博弈支付矩阵

地方政府			民营企业	
			继续融合 (y_2)	中途违约 ($1 - y_2$)
国有企业	继续融合 (z_2)	继续融合 (x_2)	$R_2^1 - G,$ $R_2^2 + \left\{ \frac{\varepsilon c}{u_1} \middle/ \left[\frac{\varepsilon c}{u_1} + \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \right] \right\} \Delta R_2 - \varepsilon(c + \Delta R_1 - q) - \beta^2 \gamma t_2,$ $R_2^3 + \left\{ \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \middle/ \left[\frac{\varepsilon c}{u_1} + \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \right] \right\} \Delta R_2 - (1-\varepsilon)(c + \Delta R_1 - q) - \beta^2 \gamma t_2$	$R_2^1 - G,$ $R_2^2 - w - (1-\pi)\Delta R_1,$ $R_2^3 + \Delta R_2 - (c - q) - \pi\Delta R_1,$ $-\beta\gamma t_2 + w$
		放弃融合 ($1 - x_2$)	$\mu R_2^1,$ $R_2^2 + \left\{ \frac{\varepsilon c}{u_1} \middle/ \left[\frac{\varepsilon c}{u_1} + \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \right] \right\} \Delta R_2 - \varepsilon(c + \Delta R_1) - \beta^2 t_2,$ $R_2^3 + \left\{ \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \middle/ \left[\frac{\varepsilon c}{u_1} + \frac{(1-\varepsilon)c}{u_2} \right] \right\} \Delta R_2 - (1-\varepsilon)(c + \Delta R_1 - q) - \beta^2 t_2$	$\mu R_2^1,$ $R_2^2 - w - (1-\pi)\Delta R_1,$ $R_2^3 + \Delta R_2 - c - \pi\Delta R_1 - \beta t_2 + w$
	中途违约 ($1 - z_2$)	继续融合 (x_2)	$R_2^1 - G,$ $R_2^2 + \Delta R_2 - (c - q) - \pi\Delta R_1 - \beta\gamma t_2 + m,$ $R_2^3 - m - (1-\pi)\Delta R_1$	$R_2^1 - G,$ $R_2^2 - \varepsilon\Delta R_1,$ $R_2^3 - (1-\varepsilon)\Delta R_1$
		放弃融合 ($1 - x_2$)	$\mu R_2^1,$ $R_2^2 + \Delta R_2 - c - \pi\Delta R_1 - \beta t_2 + m,$ $R_2^3 - m - (1-\pi)\Delta R_1$	$\mu R_2^1,$ $R_2^2 - \varepsilon\Delta R_1,$ $R_2^3 - (1-\varepsilon)\Delta R_1$

三、模型分析

(一) 运用复制动态方程的演化稳定策略求解

1. 研发阶段复制动态方程演化稳定策略求解

根据博弈支付矩阵可以计算得出研发阶段中地方政府选择“继续融合”“放弃融合”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{11}^1 、 U_{12}^1 和 $\bar{U}_1^1$, 进一步计算得到地方政府的复制动态方程:

$$F(x_1) = \frac{dx_1}{dt} = x_1(U_{11}^1 - \bar{U}_1^1) = x_1(x_1 - 1)[(\eta - 1)R_1^1 + S + z_1(1 - \alpha)E + \alpha E y_1] \quad (1)$$

根据博弈支付矩阵可以计算得出研发阶段中学研方选择“继续融合”“中途放弃”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{11}^2 、 U_{12}^2 和 $\bar{U}_1^2$, 进一步计算得到学研方的复制动态方程:

$$F(y_1) = \frac{dy_1}{dt} = y_1(U_{11}^2 - \bar{U}_1^2) = y_1(y_1 - 1) \left\{ x_1 z_1 \left[\beta t_1 + \frac{(1 - \alpha)\alpha E^2}{Z} - \beta^2 t_1 + \beta^2 \gamma t_1 - \beta \gamma t_1 \right] - d_2 + \right. \\ \left. z_1[(0.5 - \alpha)\Delta R_1 + v - k - \beta t_1 + \beta^2 t_1] + 0.5\Delta R_1 - v + x_1 \left[\alpha E \left(\frac{\alpha E}{Z} - 1 \right) + \beta \gamma t_1 - \beta t_1 \right] \right\} \quad (2)$$

根据博弈支付矩阵可以计算得出研发阶段中国有企业选择“继续融合”“中途放弃”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{11}^3 、 U_{12}^3 和 $\bar{U}_1^3$, 进一步计算得到国有企业的复制动态方程:

$$F(z_1) = \frac{dz_1}{dt} = z_1(U_{11}^3 - \bar{U}_1^3) = z_1(z_1 - 1) \left(0.5\Delta R_1 - d_1 - k + y_1[(\alpha - 0.5)\Delta R_1 + k - v + \beta^2 t_1 - \right. \\ \left. \beta t_1] + x_1 \left\{ (1 - \alpha)E \left[\frac{(1 - \alpha)E}{Z - 1} \right] - \beta t_1 + \beta \gamma t_1 \right\} + x_1 y_1 \left[\beta t_1 - \beta^2 t_1 - \beta \gamma t_1 + \beta^2 \gamma t_1 + \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\alpha(1 - \alpha)E^2}{Z} \right] \right) \quad (3)$$

将式(1)~式(3)联立,得到地方政府、学研方和国有企业的复制动力系统。

2. 生产与商业化阶段复制动态方程演化稳定策略求解

根据博弈支付矩阵可以计算得出生产与商业化阶段中地方政府选择“继续融合”“放弃融合”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{21}^1 、 U_{22}^1 和 $\bar{U}_2^1$, 进一步计算得到地方政府的复制动态方程:

$$F(x_2) = \frac{dx_2}{dt} = x_2(U_{21}^1 - \bar{U}_2^1) = x_2(x_2 - 1)[(\mu - 1)R_2^1 + G] \quad (4)$$

根据博弈支付矩阵可以计算得出生产与商业化阶段中民营企业选择“继续融合”“中途违约”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{21}^2 、 U_{22}^2 和 $\bar{U}_2^2$, 进一步计算得到民营企业的复制动态方程:

$$F(y_2) = \frac{dy_2}{dt} = y_2(U_{21}^2 - \overline{U}_2^2) = y_2(y_2 - 1) \left(-\Delta R_2 + c - m + \beta t_2 + (\pi - \varepsilon)\Delta R_1 + x_2 z_2 (-\beta \gamma t_2 + \beta t_2 + (1 - \varepsilon)q - \beta^2 t_2 + \beta^2 \gamma t_2) + z_2 \left[1 - \frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1 - \varepsilon}{u_2} \right) \right] \Delta R_2 + m - w + \beta t_2 - (1 - \varepsilon)c + \beta^2 t_2 - (1 - 2\varepsilon)\Delta R_1 \right) \quad (5)$$

根据博弈支付矩阵可以计算得出生产与商业化阶段中国有企业选择“继续融合”“中途违约”策略的期望收益及平均期望收益,分别为 U_{21}^3 、 U_{22}^3 和 $\overline{U}_2^3$,进一步计算得到国有企业的复制动态方程:

$$F(z_2) = \frac{dz_2}{dt} = z_2(U_{21}^3 - \overline{U}_2^3) = z_2(z_2 - 1) \left(-\Delta R_2 + c - w + \beta t_2 - (1 - \varepsilon - \pi)\Delta R_1 + x_2(\beta \gamma t_2 - q - \beta t_2) + x_2 y_2 (-\beta \gamma t_2 + \beta t_2 + \varepsilon q - \beta^2 t_2 + \beta^2 \gamma t_2) + y_2 \left[1 - \frac{1 - \varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1 - \varepsilon}{u_2} \right) \right] \Delta R_2 - m + w - \beta t_2 - \varepsilon c + \beta^2 t_2 + (1 - 2\varepsilon)\Delta R_1 \right) \quad (6)$$

将式(4)~式(6)联立,得到地方政府、民营企业和国有企业的复制动力系统。

(二)三方演化博弈系统均衡点的稳定性分析

1. 研发阶段博弈系统均衡点的稳定性分析

由 $F(x_1) = 0$, $F(y_1) = 0$, $F(z_1) = 0$ 可得系统的纯策略均衡点: $E_1(0, 0, 0)$, $E_2(0, 0, 1)$, $E_3(0, 1, 0)$, $E_4(0, 1, 1)$, $E_5(1, 0, 0)$, $E_6(1, 0, 1)$, $E_7(1, 1, 0)$, $E_8(1, 1, 1)$ 。

由式(4)可得研发阶段的三方演化博弈系统的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \partial F(x_1)/\partial x_1 & \partial F(x_1)/\partial y_1 & \partial F(x_1)/\partial z_1 \\ \partial F(y_1)/\partial x_1 & \partial F(y_1)/\partial y_1 & \partial F(y_1)/\partial z_1 \\ \partial F(z_1)/\partial x_1 & \partial F(z_1)/\partial y_1 & \partial F(z_1)/\partial z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (7)$$

利用李雅普诺夫(Lyapunov)第一法:雅可比矩阵的所有特征值均具有负实部,则均衡点处于渐进演化稳定策略(ESS);雅可比矩阵的特征值至少有一个正实部,则均衡点处于不稳定策略;雅可比矩阵除具有实部为零的特征值外,其余特征值都具有负实部,则均衡点处于临界状态,稳定性不能由特征值符号确定。

将上述均衡点带入第一阶段雅可比矩阵(7)中,得到各均衡点对应的特征值见表3。

表3 研发阶段雅可比矩阵的特征值

均衡点	Jacobian 矩阵特征值		
	λ_1	λ_2	λ_3
$E_1(0, 0, 0)$	$(1 - \eta)R_1^1 - S$	$-0.5\Delta R_1 + d_2 + v$	$-0.5\Delta R_1 + d_1 + k$
$E_2(0, 0, 1)$	$(1 - \eta)R_1^1 - (1 - \alpha)E - S$	$(\alpha - 1)\Delta R_1 + d_2 + k + \beta t_1 - \beta^2 t_1$	$-(-0.5\Delta R_1 + d_1 + k)$
$E_3(0, 1, 0)$	$(1 - \eta)R_1^1 - \alpha E - S$	$-(-0.5\Delta R_1 + d_2 + v)$	$-\alpha\Delta R_1 + d_1 + v + \beta t_1 - \beta^2 t_1$
$E_4(0, 1, 1)$	$(1 - \eta)R_1^1 - E - S$	$-[(\alpha - 1)\Delta R_1 + d_2 + k + \beta t_1 - \beta^2 t_1]$	$-(-\alpha\Delta R_1 + d_1 + v + \beta t_1 - \beta^2 t_1)$
$E_5(1, 0, 0)$	$-(1 - \eta)R_1^1 - S$	$-0.5\Delta R_1 + d_2 + \alpha E(1 - \alpha E/Z) + v + \beta t_1 - \beta \gamma t_1$	$-0.5\Delta R_1 + d_1 + k + \beta t_1 + (1 - \alpha)E[1 - (1 - \alpha)E/Z] - \beta \gamma t_1$
$E_6(1, 0, 1)$	$-(1 - \eta)R_1^1 - (1 - \alpha)E - S$	$-(1 - \alpha)\Delta R_1 + d_2 + k + \alpha E(1 - E/Z) + \beta t_1 - \beta^2 \gamma t_1$	$-\{-0.5\Delta R_1 + d_1 + k + \beta t_1 - \beta \gamma t_1 + (1 - \alpha)E[1 - (1 - \alpha)E/Z]\}$
$E_7(1, 1, 0)$	$-(1 - \eta)R_1^1 - \alpha E - S$	$-[-0.5\Delta R_1 + d_2 + \alpha E(1 - \alpha E/Z) + v + \beta t_1 - \beta \gamma t_1]$	$-\alpha\Delta R_1 + d_1 + v - \beta^2 \gamma t_1 + \beta t_1 + (1 - \alpha)E(1 - E/Z)$
$E_8(1, 1, 1)$	$-(1 - \eta)R_1^1 - E - S$	$-[-(1 - \alpha)\Delta R_1 + d_2 + k + \alpha E(1 - E/Z) + \beta t_1 - \beta^2 \gamma t_1]$	$-\{-\alpha\Delta R_1 + d_1 + v + \beta t_1 + (1 - \alpha)E(1 - E/Z) - \beta^2 \gamma t_1\}$

为了便于分析不同均衡点对应的特征值的符号,且不失一般性,假设 $(1 - \eta)R_1^1 - E - S > 0$; $-(1 - \alpha)\Delta R_1 + d_2 + k + \beta t_1 - \beta^2 \gamma t_1 + \alpha E(1 - E/Z) > 0$; $-\alpha\Delta R_1 + d_1 + v - \beta^2 \gamma t_1 + \beta t_1 + (1 - \alpha)E(1 - E/Z) > 0$ 时,即

每个创新主体在其他创新主体选择“继续融合”的情况下选择“继续融合”获得的净收益大于选择“中途违约”获得的净收益。由于模型中的参数较为复杂,下面分三种情形对演化博弈稳定策略进行讨论。

情形 1: $-0.5\Delta R_1 + d_2 + \alpha E[(1-\alpha)E/Z] + v + \beta t_1 - \beta \gamma t_1 < 0$ 且 $-0.5\Delta R_1 + d_1 + k + \beta t_1 - \beta \gamma t_1 + (1-\alpha)E[1 - (1-\alpha)E/Z] < 0$, 即在地方政府提供直接财政补助及政策支持下,任意一个创新主体在其他创新主体中途违约时选择“继续融合”获得的净收益小于该主体选择“中途违约”获得的净收益,此时由表 4 可知该情形下系统有两个稳定均衡点 $E_5(1, 0, 0)$ 、 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 中途违约, 中途违约)和(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

情形 2: $-0.5\Delta R_1 + d_2 + v > 0$ 或 $-0.5\Delta R_1 + d_1 + k > 0$, 即如果存在一个创新主体在地方政府不融合且其他创新主体选择“中途违约”策略的情况下,选择“继续融合”获得的净收益大于选择“中途违约”获得的净收益,此时由表 4 可知该情形下系统只有一个稳点均衡点 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

情形 3: $-0.5\Delta R_1 + d_2 + v < 0$ 且 $-0.5\Delta R_1 + d_2 + \alpha E(1 - \alpha E/Z) + v + \beta t_1 - \beta \gamma t_1 > 0$ 或 $-0.5\Delta R_1 + d_1 + k < 0$ 且 $-0.5\Delta R_1 + d_1 + k + \beta t_1 - \beta \gamma t_1 + (1-\alpha)E[1 - (1-\alpha)E/Z] > 0$, 即在地方政府融合时,如果存在创新主体在其他创新主体选择“中途违约”策略时选择“继续融合”策略获得的净收益大于选择“中途违约”获得的净收益,但是,如果没有政府的支持,则该创新主体选择“继续融合”策略获得的净收益小于选择“中途违约”策略获得的净收益,此时由表 4 可知,该情形下系统只有一个稳点均衡点 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

表 4 研发阶段均衡点局部稳定性分析

均衡点	情形一		情形二		情形三	
	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性
$E_1(0, 0, 0)$	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点	$(+, -, -)$	非稳定点
$E_2(0, 0, 1)$	$(+, +, +)$	鞍点	$(+, +, -)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点
$E_3(0, 1, 0)$	$(+, -, +)$	非稳定点	$(+, -, +)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点
$E_4(0, 1, 1)$	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, -, -)$	非稳定点
$E_5(1, 0, 0)$	$(-, -, -)$	ESS	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, +, +)$	非稳定点
$E_6(1, 0, 1)$	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, +, -)$	非稳定点	$(-, +, -)$	非稳定点
$E_7(1, 1, 0)$	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, -, +)$	非稳定点	$(-, -, +)$	非稳定点
$E_8(1, 1, 1)$	$(-, -, -)$	ESS	$(-, -, -)$	ESS	$(-, -, -)$	ESS

2. 生产与商业化阶段博弈系统均衡点的稳定性分析

由 $F(x_2) = 0$, $F(y_2) = 0$, $F(z_2) = 0$ 可得生产与商业化阶段博弈系统的纯策略均衡点: $E_1(0, 0, 0)$, $E_2(0, 0, 1)$, $E_3(0, 1, 0)$, $E_4(0, 1, 1)$, $E_5(1, 0, 0)$, $E_6(1, 0, 1)$, $E_7(1, 1, 0)$, $E_8(1, 1, 1)$ 。

由式(8)可得生产与商业化阶段的三方演化博弈系统的 Jacobian 矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} \partial F(x_2)/\partial x_2 & \partial F(x_2)/\partial y_2 & \partial F(x_2)/\partial z_2 \\ \partial F(y_2)/\partial x_2 & \partial F(y_2)/\partial y_2 & \partial F(y_2)/\partial z_2 \\ \partial F(z_2)/\partial x_2 & \partial F(z_2)/\partial y_2 & \partial F(z_2)/\partial z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

将上述均衡点带入第二阶段雅可比矩阵(8)中得到各均衡点对应的特征值见表 5。

为了便于分析不同均衡点对应的特征值符号,且不失一般性,假设 $(1-\mu)R_2^1 - G > 0$;

$\left[\frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2} \right) \right] \Delta R_2 - \varepsilon(c-q) + w - \beta^2 \gamma t_2 + \Delta R_1(1-\varepsilon-\pi) > 0$; $\left[\frac{1-\varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2} \right) \right] \Delta R_2 - (1-\varepsilon)(c-q) + m + \Delta R_1(\varepsilon-\pi) - \beta^2 \gamma t_2 > 0$ 时,即每个创新主体在其他主体选择“继续融合”的情况下选择“继续融合”获得的净收益大于选择“中途违约”获得的净收益。由于模型中的参数较为复杂,下面分三种情形对演化博弈稳定策略进行讨论。

情形 1: $\Delta R_2 - c + m + q - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi) < 0$ 且 $\Delta R_2 - (c - q) + w - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi) < 0$, 即在地方政府的政策支持下,任意一个创新主体在其他创新主体“中途违约”时选择“继续融合”获得的净收益小于该主体选择“中途违约”获得的净收益,此时由表 6 可知该情形下系统有两个稳定均衡点 $E_5(1, 0, 0)$ 、 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 中途违约, 中途违约)和(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

表5 生产与商业化阶段均衡点局部稳定性分析

均衡点	Jacobian 矩阵特征值		
	λ_1	λ_2	λ_3
$E_1(0, 0, 0)$	$(1-\mu)R_2^1 - G$	$\Delta R_2 - c + m - \beta t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)$	$\Delta R_2 - c + w - \beta t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)$
$E_2(0, 0, 1)$	$(1-\mu)R_2^1 - G$	$\left[\frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - \varepsilon c + w - \beta^2 t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)$	$-[\Delta R_2 - c + w + q - \beta t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)]$
$E_3(0, 1, 0)$	$(1-\mu)R_2^1 - G$	$-[\Delta R_2 - c + m - \beta t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)]$	$\left[\frac{1-\varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - (1-\varepsilon)c + m - \beta^2 t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)$
$E_4(0, 1, 1)$	$(1-\mu)R_2^1 - G$	$-\left\{\left[\frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - \varepsilon c + w - \beta^2 t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)\right\}$	$-\left\{\left[\frac{1-\varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - (1-\varepsilon)c + m + \Delta R_1(\varepsilon - \pi) - \beta^2 t_2\right\}$
$E_5(1, 0, 0)$	$-(1-\mu)R_2^1 + G$	$\Delta R_2 - c + m + q - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)$	$\Delta R_2 - (c - q) + w + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi) - \beta \gamma t_2$
$E_6(1, 0, 1)$	$-(1-\mu)R_2^1 + G$	$\left[\frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - \varepsilon(c - q) + w - \beta^2 \gamma t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)$	$-\Delta R_2 + c - q - w + \beta \gamma t_2 - \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)$
$E_7(1, 1, 0)$	$-(1-\mu)R_2^1 + G$	$-[\Delta R_2 - c + m + q - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)]$	$\left[\frac{1-\varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 + m - (c - q)(1 - \varepsilon) - \beta^2 \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)$
$E_8(1, 1, 1)$	$-(1-\mu)R_2^1 + G$	$-\left\{\left[\frac{\varepsilon}{u_1} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 - \varepsilon(c - q) + w - \beta^2 \gamma t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi)\right\}$	$-\left\{\left[\frac{1-\varepsilon}{u_2} \middle/ \left(\frac{\varepsilon}{u_1} + \frac{1-\varepsilon}{u_2}\right)\right] \Delta R_2 + m - (c - q)(1 - \varepsilon) - \beta^2 \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi)\right\}$

情形 2: $\Delta R_2 - c + m - \beta t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi) > 0$ 或 $\Delta R_2 - c + w - \beta t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi) > 0$, 即如果存在一个创新主体在政府不融合及其他创新主体选择“中途违约”的情况下, 选择“继续融合”获得的净收益大于该主体选择“放弃融合”获得的净收益, 此时由表 6 可知该情形下系统只有一个稳点均衡点 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

情形 3: $\Delta R_2 - c + m - \beta t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi) < 0$ 且 $\Delta R_2 - c + m + q - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(\varepsilon - \pi) > 0$ 或 $\Delta R_2 - c + w - \beta t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi) < 0$ 且 $\Delta R_2 - (c - q) + w - \beta \gamma t_2 + \Delta R_1(1 - \varepsilon - \pi) > 0$, 即如果存在一个创新主体在其他创新主体选择“中途违约”, 在政府政策支持的情况下选择“继续融合”获得的净收益大于选择“放弃融合”获得的净收益, 但是如果没有政府的支持, 则该主体选择“继续融合”获得的净收益小于选择“中途违约”获得的净收益。此时由表 6 可知, 该情形下系统只有一个稳点均衡点 $E_8(1, 1, 1)$, 对应的策略为(继续融合, 继续融合, 继续融合)。

表6 生产与商业化阶段均衡点局部稳定性分析

均衡点	情形一		情形二		情形三	
	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性	$(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$	稳定性
$E_1(0, 0, 0)$	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点	$(+, -, -)$	非稳定点
$E_2(0, 0, 1)$	$(+, +, +)$	鞍点	$(+, +, -)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点
$E_3(0, 1, 0)$	$(+, +, +)$	非稳定点	$(+, -, +)$	非稳定点	$(+, +, +)$	鞍点
$E_4(0, 1, 1)$	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, -, -)$	非稳定点	$(+, -, -)$	非稳定点
$E_5(1, 0, 0)$	$(-, -, -)$	ESS	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, +, +)$	非稳定点
$E_6(1, 0, 1)$	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, +, -)$	非稳定点	$(-, +, -)$	非稳定点
$E_7(1, 1, 0)$	$(-, +, +)$	非稳定点	$(-, -, +)$	非稳定点	$(-, -, +)$	非稳定点
$E_8(1, 1, 1)$	$(-, -, -)$	ESS	$(-, -, -)$	ESS	$(-, -, -)$	ESS

四、仿真分析

浙江清华长三角研究院(以下简称长三院)是浙江省实施“引进大院名校, 共建创新载体”战略的先行者、引领者。从 2003 年至今, 长三院立足浙江, 面向长三角, 以自收自支、市场化的模式运营, 产学研不断走向深度融合。长三院在生命健康、生态环境等关键领域设立了国家、省重点实验室 10 余个, 研究所 50 余家, 承担

科技项目1200余项,建有国家级科技企业孵化器、国家级和省级创新创业平台34个,孵化培育科技企业2700余家,贡献的税收超过10亿元,在2020年作为浙江省唯一新型研发机构获评国家“十大产学研融通组织”。长三院以“政产学研金介用”七位一体的北斗七星论为发展模式,面向经济社会建设主战场,在地方政府的调控扶持和政策支持下坚持开展应用性科技研究,推进金融与科技有机结合,促进创新要素有效集聚,从而服务区域创新体系建设促进可持续发展。

本文运用 Matlab 软件对创新主体策略选择的动态演化过程仿真,根据仿真结果对政府的资金支持和政策支持、不同收益分配机制下的分配系数、惩罚力度和风险进行讨论。关于仿真模型的数值选择问题,斯特曼和朱岩(2008)认为仿真模型最重要的是模型结构的正确性和有用性,旨在揭示事物变化规律的程度。演化博弈系统初始值设置一定程度上决定该系统演化的相对幅度与速度,并不会改变整体走向。基于此,本文征求相关战略专家、产业专家的意见的基础上,根据课题组对长三院的实地调研情况及以往研究的做法(吴洁等,2019;张羽飞等,2020)对模型参数赋值。首先,参数设置应满足的基本准则如下:研发阶段,在地方政府提供资金支持和政策支持时,学研方和国有企业在选择“继续融合”策略比选择“中途违约”策略获取更多的净收益;生产与商业化阶段,在地方政府政策支持下,国有企业和民营企业在选择“继续融合”策略获取的净收益大于选择“中途违约”获取的净收益。综合以上分析,赋值结果如下,统一单位为百万元。在研发阶段,地方政府融合收入 $R_1^1 = 25$,未参与融合的收入比例 $\eta = 0.5$,资金支持 $E = 5$,最大资金支持 $Z = 10$,政策支持 $S = 6$,政策作用效果 $\gamma = 0.5$;学研方与国有企业的融合收益 $\Delta R_1 = 60$,收益分配系数 $\alpha = 0.5$,成本 $d_1 = 16$, $d_2 = 16.25$,风险成本 $\beta_{t_1} = 9$,违约惩罚 $v = 7$, $k = 7$ 。在生产与商业化阶段,地方政府融合收入 $R_2^1 = 20$,未融合的比例 $\mu = 0.5$,政策支持 $G = 7$,作用效果 $\gamma = 0.7$;民营企业与国有企业的融合收益 $\Delta R_2 = 115$,初始投入 $\Delta R_1 = 60$,一方违约一方继续融合时的承担比例为 $\pi = 0.8$,生产与商业化成本 $c = 20$,学研方提供咨询使得各方成本减少量 $q = 2$,分摊比例 $\varepsilon = 0.45$,风险承担能力 $u_1 = 72$, $u_2 = 75$,风险成本 $\beta_{t_2} = 82.5$,违约惩罚 $w = 5$, $m = 5$,创新主体在两阶段的初始融合意愿分别为 $x_1 = y_1 = z_1 = 0.5$, $x_2 = y_2 = z_2 = 0.5$ 。

(一)地方政府资金支持和政策支持对于产学研深度融合关系演化的影响

地方政府参与意愿主要表现在两方面,一是资金支持,包括为创新主体提供启动资金、财政补贴、信贷补贴、项目资助等;二是政策支持,地方政府采用一系列的政策组合工具来提供知识产权保护、做实平台载体、建立各种新型政府引导基金及发展各类型的风险投资基金来降低创新主体的融合成本及承担的风险等来增强创新主体的融合意愿。

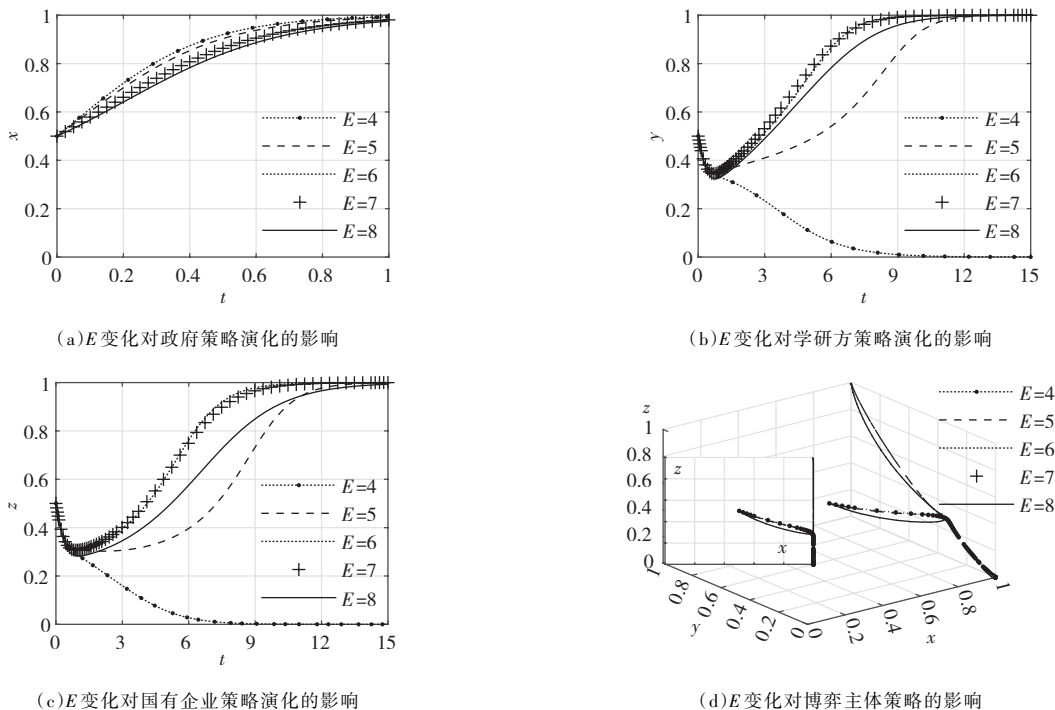


图3 研发阶段资金支持E对于博弈主体的演化仿真图

图3是在其他参数不变的情况下,研发阶段中地方政府的资金支持 E 变化对于地方政府、国有企业和学研方参与产学研深度融合影响的仿真,可以看出 E 对于学研方和国有企业的临界值均在4和5之间,当 $E > 5$ 时,随着 E 的递增,双方的继续融合意愿收敛速度不断加快。值得注意的是,当 $E=7$ 时,其收敛速度达到最快,但是当 $E > 7$ 时,其收敛速度不断减速,即地方政府提供资金支持可以促进创新主体参与产学研深度融合,但是过多的资金支持可能会导致创新主体的投机行为及创新效率低下等问题,从而弱化地方政府的引导效应。因此地方政府的资金引导政策应保持在合理边界内,并且可以尝试将干预工具从直接的资金支持向金融机构和社会资金等多渠道投入及财政、税收等工具转变。

图4是在其他参数不变的情况下,研发阶段中地方政府提供的政策支持 γ 变化对于地方政府、国有企业和学研方参与产学研深度融合影响的仿真,可以看出 γ 对于学研方和国有企业的临界值均在0.5~0.6,当 γ 大于该临界值时, y, z 收敛于0;当 γ 小于该临界值时, y, z 收敛于1,且当 $S < 12$ 时,最终平衡点趋向于(1, 1, 1)。在此时, S 的增加可以大幅度降低创新主体的风险成本 t_1 的比例 γ 从而加快 y, z 的收敛速度,且 y 的收敛速度大于 z 的收敛速度,说明随着 S 的增加,学研方和国有企业的参与意愿逐渐加强且学研方的参与意愿更强烈。其主要原因是现有知识产权制度的不完善导致了剽窃模仿行为普遍发生,使得创新主体在研发阶段中的巨额投资面临着极大的不确定性风险,由此对深度融合产生了严重的抑制效应。当地方政府出台相关政策保护创新主体的知识产权,降低创新主体的风险成本会增强创新主体的参与意愿,且由于企业相比于学研方会更加偏好风险及学研方更加重视知识产权的归属,因此对学研方参与意愿的影响更加显著。

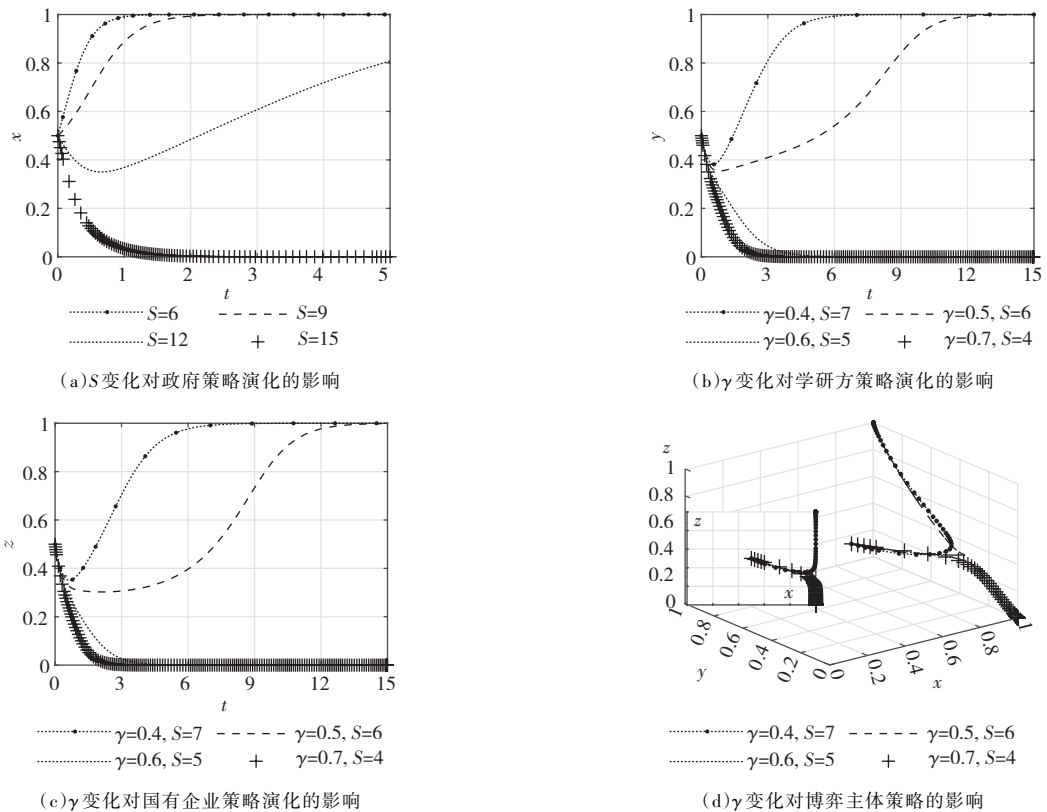
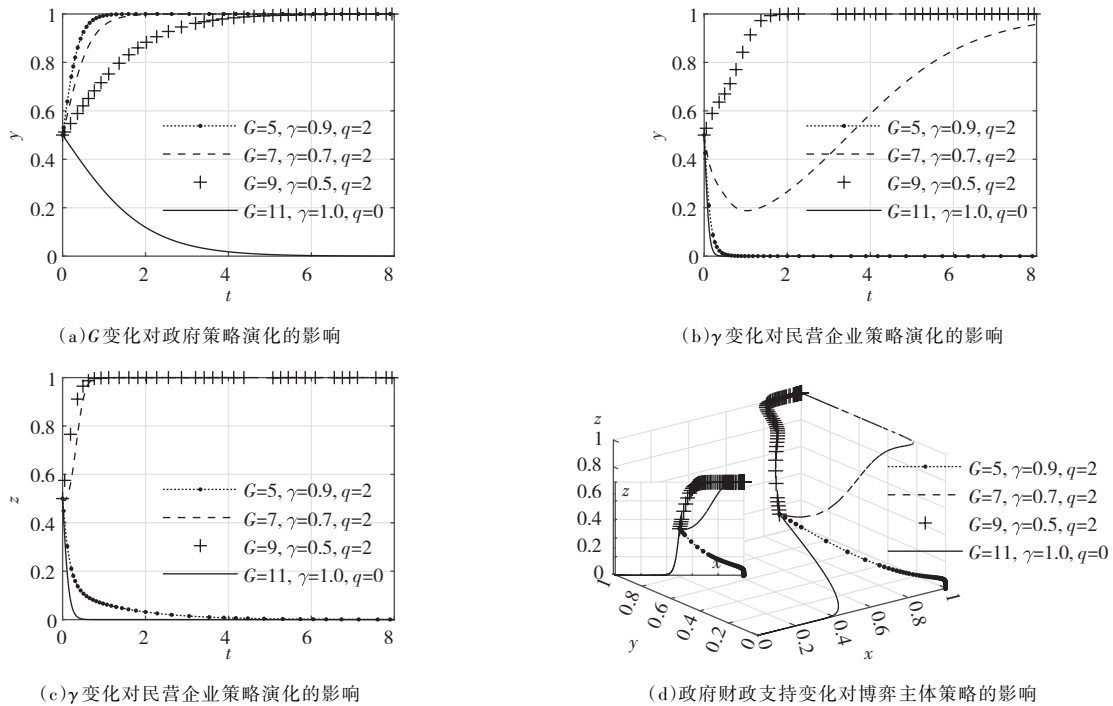


图4 研发阶段政策支持 γ 对于博弈主体的演化仿真图

图5是在其他参数不变的情况下,生产与商业化阶段中地方政府提供的政策支持 γ 变化对于地方政府、国有企业和民营企业参与产学研深度融合影响的仿真,可以看出 γ 对于民营企业和国有企业的临界值均在0.7~0.9,当 γ 大于该临界值时, y, z 均收敛于0;当 γ 小于该临界值时, y, z 收敛于1;对于政府来说,拨出的资金支持 G 的临界值位于9~11,当 $G < 9$ 时, x 收敛于1,当 $G > 11$ 时, x 收敛于0。当 $7 \leq G \leq 9$ 时, $0.5 \leq \gamma \leq 0.7$,平衡点最终趋向于(1, 1, 1);当 $G \geq 11$ 时, $\gamma = 1$ 且 $q = 0$ 平衡点最终趋向于(0, 0, 0);当 $G \leq 5$, $\gamma \geq 0.9$ 时,平衡点最终趋向于(1, 0, 0),说明地方政府一方面通过提供政策支持 G 降低国有企业和民营企业的风险成本,一方面促使学研方继续参与为双方提供技术咨询从而降低双方的转化成本,最终使得 y, z 的收敛速度加快。

图5 生产与商业化阶段政策支持 γ 对于博弈主体的演化仿真图

在此过程中, z 的收敛速度大于 y 的收敛速度,说明随着 G 的增加,国有企业参与融合的意愿更为强烈,其主要原因一方面在于当地方政府为创新主体提供政策支持,如建立各种新型的政府产业引导基金可降低其融资成本及承担的风险,而国有企业通常比民营企业的风险承受能力更强,因此风险成本的降低对于民营企业的影响更加显著。另一方面在于国有企业在前期投入的成本相比于民营企业更多,因此更愿意承担一定的风险去获得相应的回报。

(二) 基于不同收益分配机制下的分配系数对于产学研深度融合关系演化的影响

图6是在其他参数不变的情况下,研发阶段中学研方与国有企业的收益分配比例 α 对于双方参与产学研深度融合影响的仿真,其中收益包括研发阶段的创新所得与资金补贴。由图6可知对于学研方来说, α 有两个临界值,其一位于 $0.48\sim 0.49$,其二位于 $0.5\sim 0.51$;对于国有企业来说, $1-\alpha$ 有两个临界值,其一位于 $0.49\sim 0.5$,其二位于 $0.51\sim 0.52$ 。当 $\alpha \leq 0.48$, y 收敛于0,当 $0.49 \leq \alpha \leq 0.5$ 时, y 收敛于1;当 $1-\alpha \leq 0.49$ 时, z 收敛于0,当 $0.5 \leq 1-\alpha \leq 0.51$ 时, z 收敛于1,说明当双方的付出与回报相匹配时,他们才愿意继续参与产学研深度融合,否则会中途违约独自开发,并且国有企业愿意继续参与产学研深度融合的收益分配比例略高于学研方,一是因为通常情况下国有企业付出的成本高于学研方,故而要求的回报也相对较高。二是相比于学研方,国有企业对于利益更加敏感。当 $\alpha \geq 0.51$ 时, y 收敛于0;当 $1-\alpha \geq 0.52$ 时, z 收敛于0,产生这种现象的主要原因是双方的收益中包含了一部分政府的资金补助,由于政府的过度干预产生了抑制效应,反而导致双方收益减少,最终选择中途违约。

图7是在其他参数不变的情况下,生产与商业化阶段中基于不同收益分配机制下的分配系数对于民营企业和国有企业参与产学研深度融合影响的仿真。

图7(a)和图7(d)是基于相对风险分担收益分配机制下的演化仿真图,由图7可知对于民营和国有企业来说,基于相对风险分担的收益分配机制可以更好地体现其投入与风险承受能力。因此在这种机制下,双方在生产与商业化阶段存在较大风险时,仍然坚持选择继续参与产学研深度融合。

图7(b)和图7(e)是基于平均分配收益分配机制下的演化仿真图,可知对于民营企业来说,当生产与商业化阶段存在较大风险时,仍然选择继续参与产学研深度融合,但是国有企业在风险成本的临界值位于 $90\sim 97.5$,当风险成本 βt_2 大于临界值时, z 收敛于0,即选择中途违约,因为在平均分配机制下,忽略了国有企业较高的投入份额。

图7(c)和图7(f)是基于成本分担收益分配机制下的演化仿真图,可知对于国有企业来说,当生产与商

业化阶段存在较大风险时,仍然选择继续参与产学研深度融合,但是民营企业的风险成本的临界值位于90~97.5,当风险成本 βt_2 大于临界值时, y 收敛于0,即选择中途违约,因为该收益分配机制未考虑风险要素。

通常情况下,产学研深度融合过程的生产与商业化阶段风险较大,一是因为市场具有较大的不确定性,开发的产品是第一次投入市场,此前并没有相应的同类产品的案例,难以保证有良好的市场反馈;二是来源于长期技术投资带来的资金压力和失败风险。而且该阶段中的民营与国有企业的风险承担能力存在较大的差异,使得他们在融合过程中所承担的实际风险不同,通过仿真图可以看出基于相对风险分担的分配机制起到了激励创新主体积极融合的作用。因此,收益分配机制应该在考虑创新主体不同的风险承担能力的基础上,使他们最终获得的收益与承担的风险相匹配,从而达到激励各方积极投入,提高整体绩效的目的。

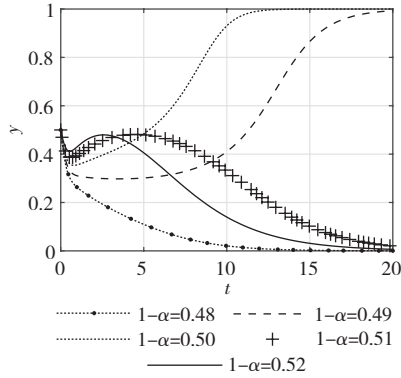
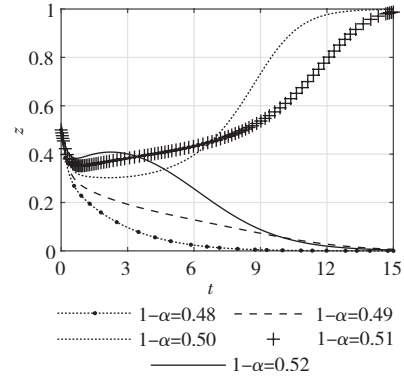
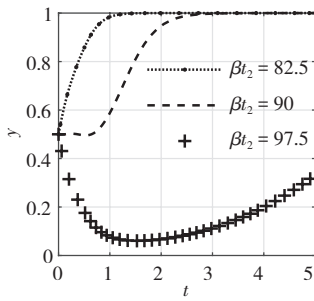
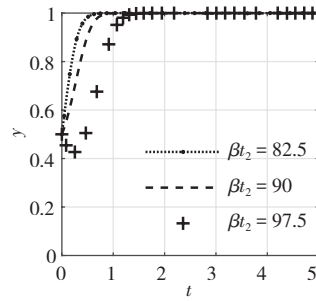
(a) α 变化对学研方策略演化的影响(b) α 变化对国有企业策略演化的影响

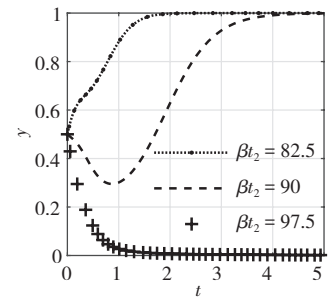
图6 研发阶段收益分配系数对于博弈主体的演化仿真图



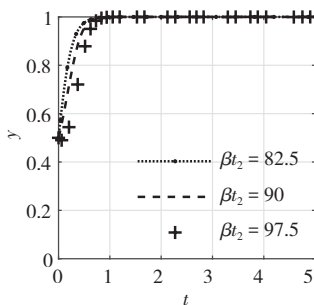
(a) 基于相对风险分担(民营企业)



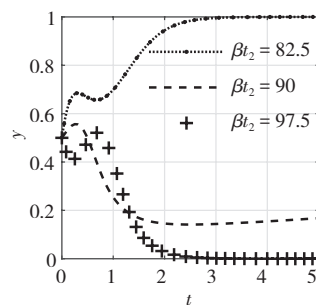
(b) 基于平均分配(民营企业)



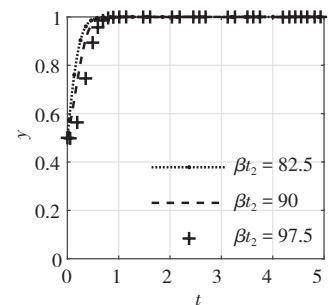
(c) 基于成本分担(民营企业)



(d) 基于相对风险分担(国有企业)



(e) 基于平均分配(国有企业)

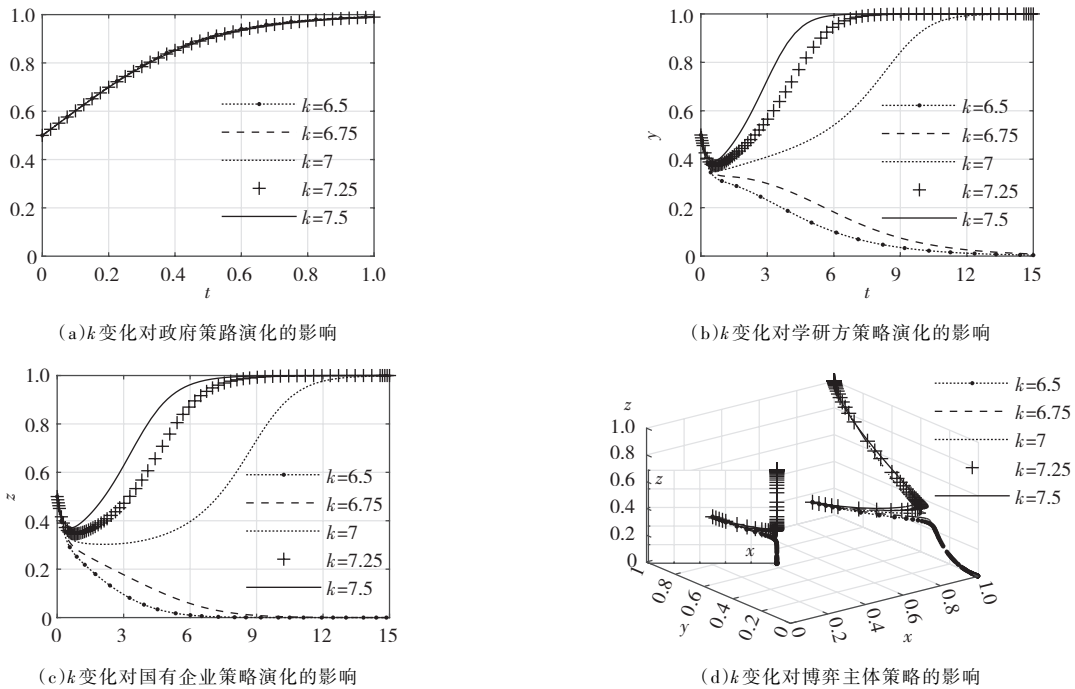
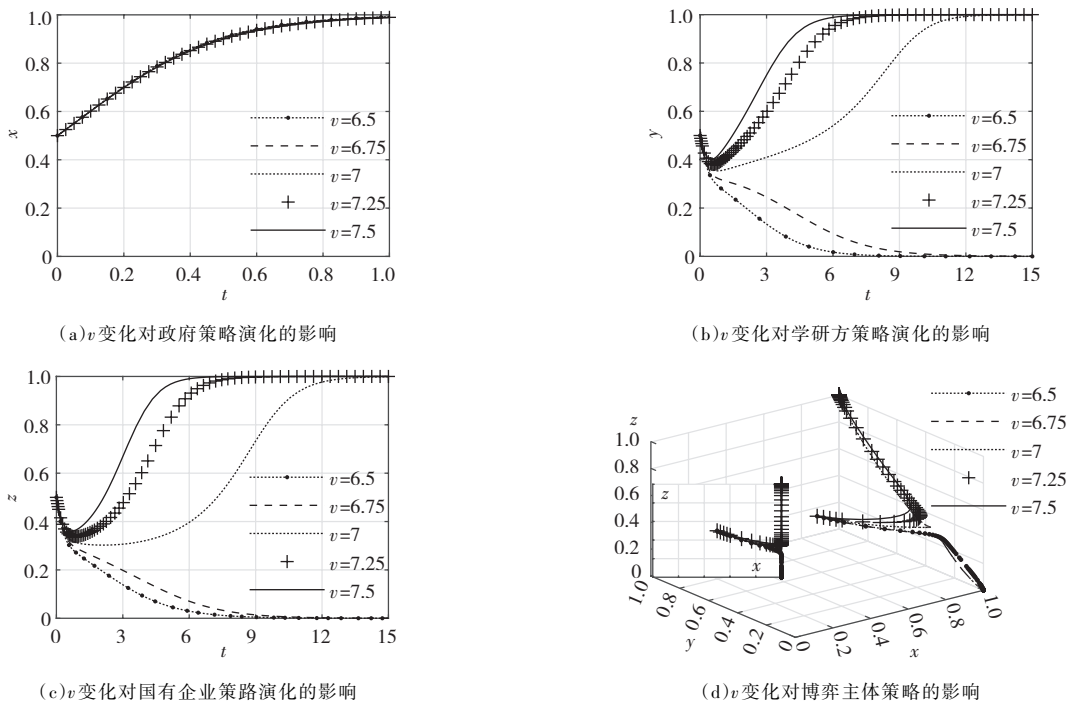


(f) 基于成本分担(国有企业)

图7 生产与商业化阶段收益分配机制对于博弈主体的演化仿真

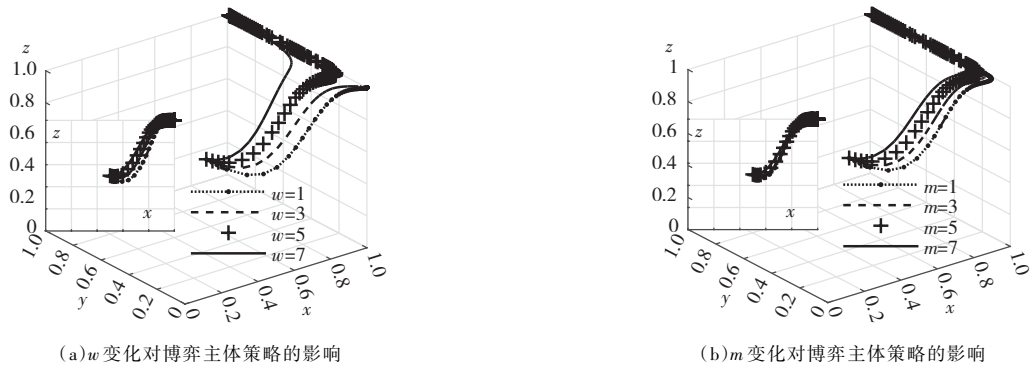
(三) 惩罚力度对于产学研深度融合关系演化的影响

图8、图9分别是在其他参数不变的情况下,研发阶段中学研方、国有企业中途违约的惩罚 k 、 v 对于双方参与产学研深度融合影响的仿真。由图8可知,对于双方来说, k 的临界值位于6.75~7,当 k 小于该临界值时, y 、 z 均收敛于0,最终平衡点趋向于(1, 0, 0);当 k 大于该临界值时, y 、 z 均收敛于1,最终平衡点趋向于(1, 1, 1),且学研方的收敛速度高于国有企业的收敛速度。由图9可知,对于双方来说, v 的临界值位于6.75和7之间,

图 8 研发阶段学研方中途违约的惩罚 k 对于博弈主体的演化仿真图图 9 研发阶段国有企业中途违约的惩罚 v 对于博弈主体的演化仿真图

当 v 小于该临界值时, y, z 均收敛于 0, 最终平衡点趋向于 $(1, 0, 0)$; 当 v 大于该临界值时, y, z 均收敛于 1, 最终平衡点趋向于 $(1, 1, 1)$, 国有企业的收敛速度快于学研方的收敛速度, 说明相比于在对方违约的情况下保持继续参与得到对方违约金, 创新主体更在意由于支付违约金导致自身利益降低的情况。由此可知, 增加违约惩罚可以使得双方继续参与产学研深度融合的收敛速度加快, 从而给深度融合带来稳固性保障。

图 10 是在其他参数不变的情况下, 生产与商业化阶段中民营、国有企业中途违约的惩罚 w, m 对于双方参与深度融合影响的仿真。由图 10(a) 可知, 对于民营企业来说, w 的临界值位于 3~5, 当 w 小于该临界值时, y 收敛于 0, 最终平衡点收敛于 $(1, 0, 1)$; 当 w 大于该临界值时, y 收敛于 1, 最终平衡点收敛于 $(1, 1, 1)$, 说明民

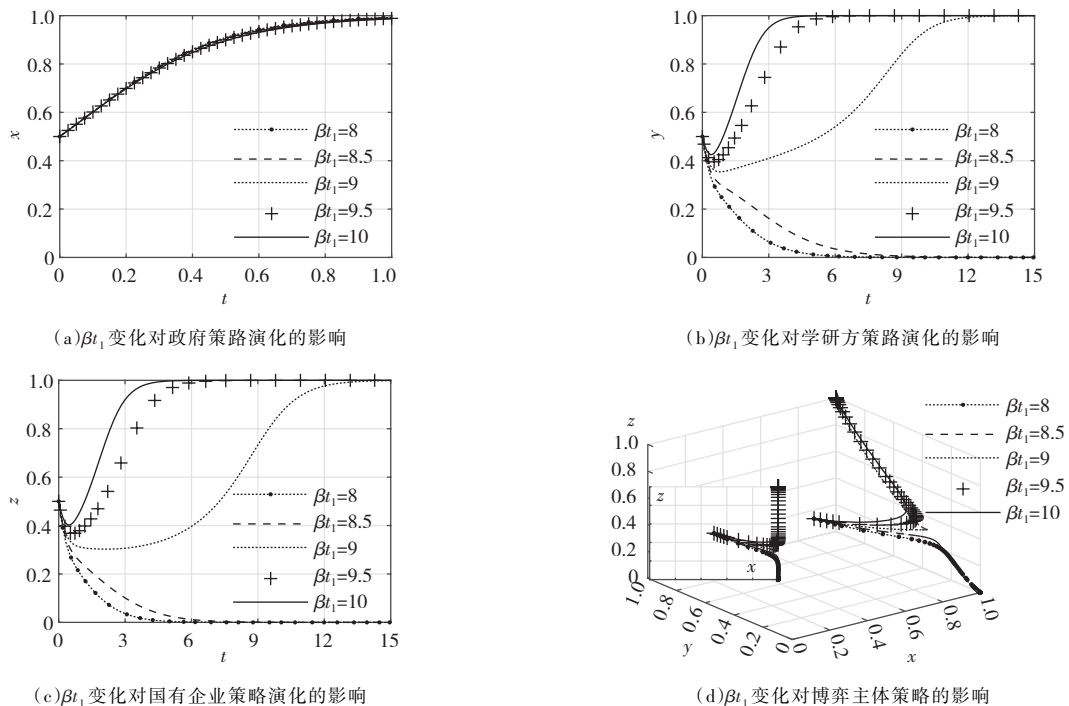
图 10 生产与商业化阶段违约惩罚 w 、 m 对于博弈主体的演化仿真图

营、国有企业在前期已经投入相对较大的成本,所以不会为了获得对方违约的补偿金而放弃第二阶段继续进行深度融合;但是当违约惩罚较小,而项目风险较大时,民营企业相比于国有企业更容易违约,因此在此阶段中仍然需要设置适当的惩罚机制,尤其是对于民营企业来说,应设置相对较大的违约惩罚,从而保障产学研深度融合顺利进行。

(四) 风险对于产学研深度融合关系演化的影响

图 11 是在其他参数不变的情况下,研发阶段中风险 βt_1 对于学研方与国有企业参与产学研深度融合影响的仿真。由图 11 可知,对于双方来说, βt_1 的临界值位于 17~18,当 βt_1 小于该临界值时, y 、 z 均收敛于 0;当 βt_1 大于该临界值时, y 、 z 均收敛于 1,且学研方的收敛速度大于企业的收敛速度。这说明风险是影响创新主体策略选择的重要因素,当创新主体独自开发的风险较高超过其风险承担能力或独自开发承担的风险与获得的收益不匹配时,双方均会选择继续融合,因为通过深度融合不仅可以大大吸收研发过程中的不确定性风险,而且可以实现风险分担,降低每个创新主体承担的风险。在通常情况下,国有企业更加偏好风险且学研方对于风险更加敏感,所以随着风险的增加,学研方继续深度融合的意愿更强烈。

图 12 是在其他参数不变的情况下,生产与商业化阶段中风险 βt_2 对于民营与国有企业参与产学研深度融合影响的仿真。由图可知,对于民营企业来说, βt_2 的临界值位于 97.5~110,当 βt_2 小于该临界值时, y 收敛

图 11 研发阶段项目风险 t_1 对于博弈主体的演化仿真图

于1;当 βt_2 大于该临界值时, y 收敛于0。对于国有企业来说, βt_2 的临界值位于110~125,当 βt_2 小于该临界值时, z 收敛于1;当 βt_2 大于该临界值时, z 均收敛于0,说明在该阶段中风险依然是影响创新主体策略选择的重要因素,且在同样的风险数值下国有企业的收敛速度均快于民营企业的收敛速度。这说明民营企业的风险承担能力低于国有企业,当风险较高时,民营企业更有可能中途违约,说明当面临同样的风险时,民营企业可能面临的实际风险更高,为了保障产学研深度融合的顺利进行,应该在建立收益分配机制时充分考虑双方的风险承受能力,给予民营企业相对较大的补偿,政府也应该出台一系列降低风险成本的政策,从而保障产学研深度融合顺利进行。

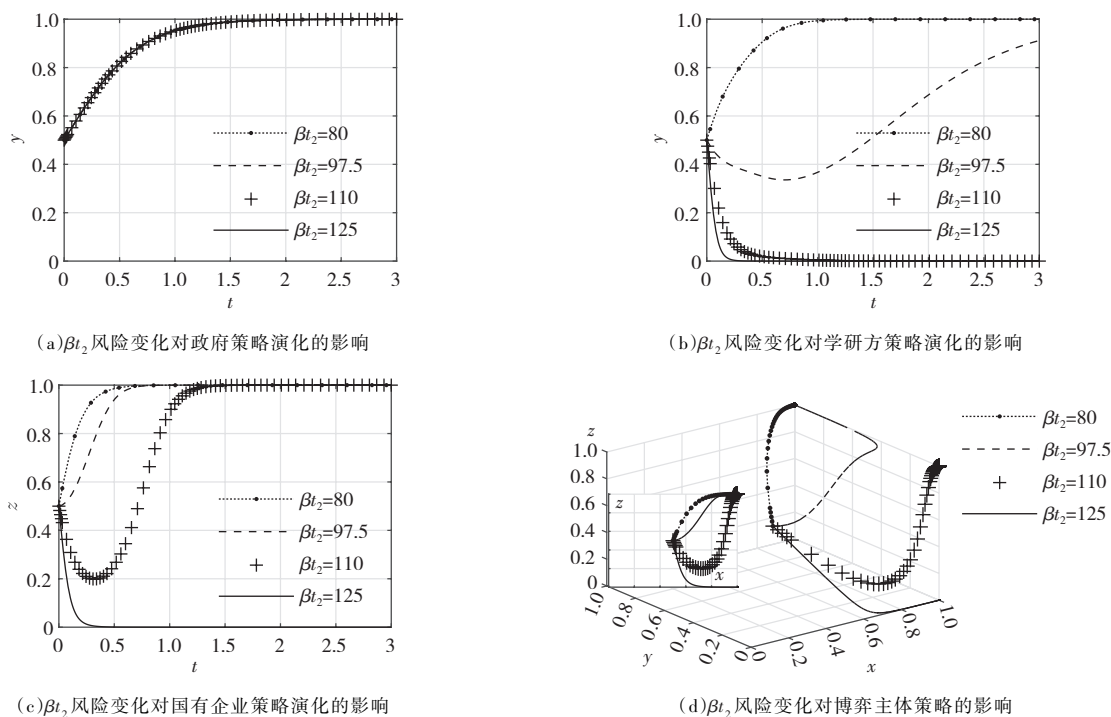


图12 生产与商业化阶段项目风险 βt_2 对于博弈主体的演化仿真图

五、结语

本文通过构建多主体参与的产学研深度融合两阶段演化博弈模型,系统分析了不同阶段下各方决策演化过程,然后通过仿真分析重点探究了不同阶段下地方政府的资金支持、政策支持,基于不同收益分配机制下的分配系数,违约的惩罚力度及风险系数对于创新主体策略选择的影响。结合前文分析,可得到以下结论:

地方政府的资金扶持和政策支持均有助于产学研深度融合,但是过多的资金支持可能导致投机行为,从而弱化政府政策的引导效应。研发阶段,学研方对于政策支持的敏感程度高于国有企业;生产与商业化阶段,民营企业对于政策支持的敏感程度高于国有企业。合理的惩罚机制可以增强创新主体继续参与产学研深度融合的意愿,给深度融合带来稳固性的保障。因为相比于在对方违约的情况下保持继续融合得到对方违约的补偿金,创新主体更在意由于支付违约金导致自身利益降低的情况。风险是影响创新主体策略选择的重要因素,由于融合可以有效吸收创新过程中的不确定风险及实现风险分担,因此当风险较大时,创新主体将趋向于继续融合策略,且研发阶段中学研方比国有企业对风险更加敏感,生产与商业化阶段中民营企业比国有企业对风险更加敏感,并且基于相对风险分担的收益分配机制相比于平均分配机制、按成本分配机制更符合产学研各方的利益诉求,从而增强创新主体的参与意愿。

基于上分析结论,为有效促进我国产学研深度融合机制的构建,提出如下建议:

在宏观层面,地方政府应该从关注产学研合作、协同创新、科教结合向产学研深度融合过渡。产学研深度融合具有复杂性、阶段性、极大的不确定性及多主体性的特征,地方政府应充分发挥“产业链长”的作用探索建立产学研深度融合机制。在政策工具层面,地方政府应该根据创新阶段、创新活动内容、政策面向的对

象,采取相应的一系列的政策组合工具,针对资金引导、税收优惠、知识产权保护、引进风险投资基金,人才吸引等方面进行必要的干预,从而达到优化创新环境,激励产学研各方积极参与深度融合的目的。在政策实施过程中,地方政府应该注重政策实施的合理边界及有效性。倡导建立公平合理的收益分配机制,可以尝试建立基于相对风险分担的收益分配机制,使得创新主体的收益与投入和承担的实际风险相匹配。建立适当的惩罚机制,制定多样化的惩罚措施,并加大对于投机行为的打击,增加违约成本,负向激励创新主体参与产学研深度融合。

参考文献

- [1] 白京羽,刘中全,王颖婕,2020.基于博弈论的创新联合体动力机制研究[J].科研管理,41(10):105-113.
- [2] 方刚,周青,杨伟,2016.产学研合作到协同创新的研究脉络与进展——基于文献计量分析[J].技术经济,35(10):26-33,101.
- [3] 方炜,牛婷婷,2017.产学研项目利益相关方关系网络演化动力研究[J].科学学研究,35(5):746-753.
- [4] 葛秋萍,汪明月,2018.基于不对称Nash谈判修正的产学研协同创新战略联盟收益分配研究[J].管理工程学报,32(1):79-83.
- [5] 洪银兴,2019.围绕产业链部署创新链——论科技创新与产业创新的深度融合[J].经济理论与经济管理,(8):4-10.
- [6] 康志勇,2018.政府科技创新资助政策对企业产品创新影响研究——基于匹配模型的检验[J].研究与发展管理,30(2):103-113.
- [7] 李恩极,李群,2018.政府主导的产学研协同创新的利益分配机制研究[J].研究与发展管理,30(6):75-83.
- [8] 李健,2018.改革开放40年中国产学研合作回眸[J].中国科技产业,(10):17-19.
- [9] 李文娟,朱春奎,2020.国际产学研合作研究进展与展望[J].管理现代化,40(2):119-122.
- [10] 李彦华,牛蕾,马洁,2022.消费者参与视角下产学研用协同创新:演化博弈及仿真分析[J].系统科学学报,30(1):87-91.
- [11] 刘娜娜,周国华,2023.基于前景理论的重大工程协同创新资源共享演化分析[J].管理工程学报,37(3):69-79.
- [12] 吕璞,马可心,2020.基于相对风险分担的集群供应链协同创新收益分配机制研究[J].运筹与管理,29(9):115-123.
- [13] 邵汉华,王瑶,罗俊,2022.技术市场发展促进了产学研深度融合吗?[J].管理评论,34(11):99-108.
- [14] 邵进,2015.产学研深度融合的探索与思考——基于三重螺旋模型的分析[J].中国高校科技,(8):7-9.
- [15] 石琳娜,陈劲,2023.基于知识协同的产学研协同创新稳定性研究[J/OL].科学学与科学技术管理:1-25[2023-08-09].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1117.g3.20230619.1031.002.html>.
- [16] 斯特曼,朱岩,2008.商务动态分析方法:对复杂世界的系统思考与建模[M].北京:清华大学出版社.
- [17] 孙健慧,张海波,2020.考虑知识共享与人才培养的校企合作创新博弈分析[J].系统工程理论与实践,40(7):1806-1820.
- [18] 王海军,祝爱民,2019.产学研协同创新理论模式:研究动态与展望[J].技术经济,38(2):62-71.
- [19] 王守文,覃若兰,赵敏,2023.基于中央、地方与高校三方协同的科技成果转化路径研究[J].中国软科学,(2):191-201.
- [20] 王腾,关忠诚,郑海军,2023.政府干预下的创新联盟协同行为演化博弈分析——基于联盟分类视角[J].技术经济,42(3):102-113.
- [21] 王钰莹,原长弘,张树满,2021.从合作迈向融合:民营企业产学研联盟组合多样性[J].科学学研究,39(7):1257-1266.
- [22] 吴洁,车晓静,盛永祥,等,2019.基于三方演化博弈的政产学研协同创新机制研究[J].中国管理科学,27(1):162-173.
- [23] 夏红云,2014.产学研协同创新动力机制研究[J].科学管理研究,32(6):21-24.
- [24] 熊鸿儒,2021.我国产学研深度融合的短板和挑战在哪里?[J].学习与探索,(5):126-133,192.
- [25] 徐刚,杨超,2020.基于演化博弈分析的产学研协同创新引导模式优化与选择[J].研究与发展管理,32(1):123-133.
- [26] 张嘉毅,原长弘,2022.产学研融合的组织模式特征——基于不同主体主导的典型案例研究[J].中国科技论坛,(5):71-80,98.
- [27] 张羽飞,原长弘,2022.产学研深度融合突破关键核心技术的演进研究[J].科学学研究,40(5):852-862.
- [28] 张羽飞,原长弘,王涛,等,2020a.产学研深度融合演化路径分析——基于浙江清华长三角研究院的纵向案例研究[J].中国科技论坛,(7):87-98.
- [29] 张羽飞,原长弘,张树满,2022b.产学研融合程度对科技型中小企业创新绩效的影响[J].科技进步与对策,39(9):64-74.
- [30] 章芬,原长弘,郭建路,2021.新型研发机构中产学研深度融合——体制机制创新的密码[J].科研管理,42(11):43-53.

- [31] 郑月龙, 周冰洁, 白春光, 2023. 基于微分博弈的产业共性技术产学研合作研发契约研究[J]. 工程管理科技前沿, 42(1): 35-43.
- [32] 周正, 尹玲娜, 蔡兵, 2013. 我国产学研协同创新动力机制研究[J]. 软科学, 27(7): 52-56.
- [33] CANO-KOLLMANN M, HAMILTON R D, MUDAMBI R, 2016. Public support for innovation and the openness of firms' innovation activities[J]. Industrial and Corporate Change, 26(3): 421-442.
- [34] DIMOS C, PUGH G, HISARCIKLILAR M, et al, 2022. The relative effectiveness of R&D tax credits and R&D subsidies: A comparative meta-regression analysis[J]. Technovation, 115: 102450.
- [35] SONG H H, GAO X X, 2018. Green supply chain game model and analysis under revenue-sharing contract[J]. Journal of Cleaner Production, 170: 183-192.
- [36] YI H, ZHANG Q, 2022. Knowledge-sharing strategies of university-industry alliances promoting green technology innovation in ecosystems: Based on the utility of multichannel funding[J]. Ieee Access, 10: 65728-65743.

Research on Dynamic Evolution Game Mechanism of University-industry Research Deep Integration: Based on the Perspective of Innovation Process

Chang Zhe, Guo Bin

(College of Economics and Management, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: The university-industry research deep integration is a key link in the series of deployments to improve China's science and technology innovation system mechanism, but the existing research does not reflect the dynamic, stage, and multi-subject characteristics of the deep integration process. In view of this, the idea of the innovation process stages was introduced into the establishment of the mechanism of U-I relations, and a multi-party evolutionary game model of U-IR deep integration was constructed. Based on the three-party evolutionary game theory, the strategy selection of the participants during the U-IR deep integration process was further analyzed and the evolution of each party's strategy was studied by simulation using Matlab software. The main results show that both financial support and policy support by the local governments are conducive to the U-IR deep integration, but, excessive financial support weakens the guiding effect of the government. Reasonable punishment mechanisms can enhance the willingness of innovation subjects to continue to participate in deep integration. Compared with the average distribution mechanism and the cost-based distribution mechanism, the revenue allocation based on relative risk sharing is more in line with the interests of innovation subjects. Since deep integration can reduce the uncertainty risks in the innovation process and realize risk sharing, the integration subject will tend to deeply integrate. Finally, relevant suggestions are made for the construction of the U-IR deep integration mechanism.

Keywords: university-industry research deep integration; innovating process; evolutionary game; duplicative dynamic equation