

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2024.2.004

颠覆性技术多元化投入的利益分配及激励机制

张光宇^{1,2}, 陈嘉颖^{1,2}, 胡仁杰^{2,3}, 张瑶^{1,2}

(1. 广东工业大学管理学院, 广东广州 510520;
2. 广东工业大学创新理论与创新管理研究中心, 广东广州 510520;
3. 广东外语外贸大学广东国际战略研究院, 广东广州 510420)

摘要: 我国颠覆性创新多元化投入机制的平台支撑体系建设亟待完善, 因此需深入研究适用于颠覆性技术多元化投入的利益分配以及政府补贴机制。其中, 公平的利益分配和合理化的激励机制是促使颠覆性技术多元投入有效性的关键因素。因此, 针对颠覆性技术多元化投入利益分配以及激励机制设计等问题, 采取合作-非合作博弈分析颠覆性技术多元投入的各个参与主体行为, 引入风险因子探讨不同主体主导下的情况, 并进一步研究政府补贴对各主体投入积极性的影响, 进而以明晰多元化投入的激励机制方案选择。研究发现: 在颠覆性创新多元化投入的过程中会存在创新投入积极性不足的情况, 这是由于各主体出于自身利益最大化考虑; 由政府牵头时, 整个颠覆性技术投入合作较由其他主体主导下的合作收益高; 在政府主导下采取政府补贴形式, 可以有效激励其他各个颠覆性创新投入主体的积极性。为此, 促进颠覆性创新的投入多元化, 政府要构建多元化投入机制, 设计合理的利益分配机制与激励机制, 并在参与合作时设定恰当的成本补贴额度。

关键词: 颠覆性技术; 创新投入; 多元化投入; 政府补贴; 利益分配; 激励机制; 颠覆性创新

中图分类号: F124.3; F224.32; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2024)2-0028-07

Profit Allocation and Incentives Mechanism for Diversified Investment in Disruptive Technologies

Zhang Guangyu^{1,2}, Chen Jiaying^{1,2}, Hu Renjie^{2,3}, Zhang Yao^{1,2}

(1. School of Management, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China;
2. Innovation Theory and Innovation Management Research Center, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China;
3. Guangdong Institute of International Strategy, Guangdong University of Foreign Studies, Guangzhou 510420, China)

Abstract: The construction of the platform support system for the diversified investment mechanism of disruptive innovation in China needs to be improved, so it is necessary to deeply study the benefit distribution and government subsidy mechanism applicable to the diversified investment of disruptive technology. Among them, fair profit distribution and rational incentive mechanism are the key factors to promote the effectiveness of multiple input of disruptive technologies. Therefore, in view of issues such as benefit distribution and incentive mechanism design of diversified input of disruptive technologies, cooperative and non-cooperative games are adopted to analyze the behaviors of various participants in diversified input of disruptive technologies, and risk factors are introduced to discuss the situation under the leadership of different actors. Furthermore, the impact of government subsidies on the enthusiasm of various actors is studied, and the diversified investment incentive mechanism scheme choice is clarified. The results show that insufficient enthusiasm for innovation investment remains in the process of diversified investment in disruptive innovation, resulting from the thoughts of maximizing their own interests. When the government takes the lead, the overall disruptive technology investment cooperation has higher returns than the cooperation led by other entities. Taking the form of government subsidies under the leadership of the government can effectively stimulate the enthusiasm of various disruptive innovation investment subjects. To this end, to promote diversified investment in disruptive innovation, the government should build a diversified investment mechanism, design a reasonable benefit

收稿日期: 2023-06-27, **修回日期:** 2023-09-11

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“颠覆性创新的技术演进特征与市场扩散路径研究: 价值创造视角”(72074056); 广东省自然科学基金面上项目“粤港澳大湾区高新技术企业颠覆性创新的动态过程机制研究——基于最优区分理论视角”(2023A1515012437); 广东省哲学社会科学规划一般项目“数据驱动下颠覆性创新的跃迁机制与政策研究”(GD23CGL23)

distribution mechanism and incentive mechanism, and set an appropriate cost subsidy limit when participating in cooperation.

Key words: disruptive technology; innovation investment; diversified investment; government subsidies; profit distribution; incentive mechanism; disruptive innovation

0 引言

习近平总书记高度重视颠覆性技术创新，并多次发表重要讲话，强调颠覆性技术创新的重要意义和主要任务，要求以颠覆性技术创新等为突破口，敢于走前人没走过的路，努力实现关键核心技术自主可控，把创新主动权、发展主动权牢牢掌握在自己手中。可见，今后颠覆性创新将被摆在更加突出和重要的位置，在高质量发展和现代化建设中将扮演重要角色。由于颠覆性技术具有不确定性、复杂性和突变性的特点，需要多个主体共同承担颠覆性技术的培育^[1]。多元化投入是指以政府资金为主导、社会力量广泛参与的科技投入形式，其中多元化投入机制作为资源集聚的有效模式，是重大颠覆性技术培育发展的核心要素。通过多元化投入，能够实现多管齐下、多方开源，拓展投入的新渠道。吸纳企业、政府、社会资本等方面的资金，有助于整合社会创新资源、提升资源配置效率。通过多方主体的技术研发资源集聚，可有效强化颠覆性技术培育的主体链接，搭建技术资源共享平台，提升颠覆性技术研发效率^[2]。如何激励多方主体的参与成为当前政策制定者关注的重点问题。

纵观当前国内外颠覆性技术多元投入实践，颠覆性创新已成为各国博弈的制高点，世界各国普遍认识到颠覆性创新的重要性，纷纷从国家层面进行超前规划部署。例如，美国积极投资由美国国防高级研究计划局（DARPA）推出的“电子复兴计划”（Electronics Resurgence Initiative, ERI）来应对后摩尔时代挑战，以解决半导体技术的制程瓶颈，从而实现技术突破^[3]；以色列为提高具有高风险性的颠覆性技术孵化成功率，打造重点支持颠覆性技术的孵化器，提供以政府为主导的“种子基金+风险投资”的直接融资体系^[4]；德国积极发展多元创新资源整合模式，建立了颠覆性创新研究资助机构^[5]，进一步整合多元创新资源；我国建立颠覆性技术创新基金，加快推进对于颠覆性技术项目资助^[6]，以期使用政策性资金来撬动社会资本涌现和创新资源集聚，通过充分发挥政府和市场双引擎作用，缓解颠覆性技术企业融资难题。

然而，即使我国颠覆性创新投入持续增加，但与国际上其他国家相比仍存在很大差距^[7]。我国颠覆性技术投入长期以来以政府投入为主，银行等金

融机构通常出于规避风险以及对于创新企业不甚了解，往往拒绝对中小企业提供贷款等金融服务^[8]。我国的颠覆性创新多元化投入机制还在探索阶段，其平台支撑体系建设亟待完善。因此，亟需深入研究适用于颠覆性技术多元化投入的利益分配以及政府补贴机制，以完善我国的颠覆性技术多元化投入建设。有鉴于此，采取博弈论的方法，针对颠覆性技术多元化投入的利益分配及激励机制问题，讨论了不同主体主导下利益分配与行为决策，并探讨政府主导下采取补贴机制对各主体行为决策的影响。

1 文献综述

“颠覆性技术”的概念最早由哈佛大学教授 Christensen^[9]提出，是指后发企业起初通过提供简单、易用、低价的产品占领低端市场或开拓新市场，产品的性能起初并不被主流客户看好，但随着性能不断改善，逐渐侵蚀主流市场，对传统主流市场的产品、商业模式以及原有技术范式形成巨大冲击的新技术。颠覆性技术因风险性巨大、投资周期长、投入成本高等属性，政府、外部风险投资、天使资金、金融机构等往往对其支持力度不足，无法有效吸引投资，导致拥有颠覆性技术的企业在发展初期难以聚集资金进行技术研发，来改进技术和产品性能以及渗透低端市场或者开拓新市场，颠覆性技术孵化困难、成长滞缓，难以跨越“死亡之谷”。因此，亟需建立适用于颠覆性创新这类特殊技术的多元化投入机制，帮助企业发展颠覆性技术，分散技术研发风险，提升技术研发资金的使用效率。

通过回顾当前文献研究发现，现有相关研究聚焦于传统技术创新的多元投入体系建设。在传统创新的多元化投入研究中，国外研究学者 Meissner^[10]将政府和社会资本合作（PPP）这一公私合作模式引入科技研发投入中进行研究，指出 PPP 模式可以加强产学研互动，可以有效缓解技术创新融资困难；Srinivasan^[11]以美国联邦政府的科技研发资助模式为例，指出虽然公共政策资金在科技创新中起至关重要的作用，但仅靠公共政策资金无法在支持科技创新方面交出完美答卷，必须辅之以多元的投入手段；Tsedilin^[12]探讨了德国与俄罗斯科技金融多元化投入机制异同点，指出俄罗斯企业参与研发投入不足的突出问题，需要借鉴德国经验进行改革。国内学者韩笑^[13]对美、日、德、韩等国家的科技投

入现状进行了阐述,总结归纳出国外科技投入具有投资主体多元化、投资方向战略化、注重成果转化等特点,指出我国目前科技投入机制在战略、科技投入强度、科技投入渠道以及科技成果转化等方面仍有待进一步完善;孙玉涛^[14]对世界主要经济体研发经费投入多元化实践进行总结,并对我国2035年科技创新多元化投入机制提供了切实的政策建议;俞立平^[15]对我国科技创新多元化投入的演化进行了探讨;王波^[16]从政府引导基金视角出发探讨了中小型科技企业融资新模式,认为政府为主导的财政支持已经成为技术创新主体最可信赖的依靠力量,但其也存在缺乏激励性以及补贴过度的情形,需要与风险补偿性贷款和创新基金结合,以有限的财政资金实现撬动社会资本投入的政策性目标;韩凤芹等^[17]对“十四五”期间我国财政科技投入进行趋势性预测,提出政府在多元化投入前期应给予稳定性支持,后期则要更大程度发挥市场作用。

然而,对于颠覆性技术多元化投入方面的理论研究则少有学者涉及,如曹阳春等^[18]对颠覆性技术多元化投入机制构建思路进行了深入的案例研究,但对颠覆性技术多元化投入的利益分配以及激励机制的构建缺乏关注;同时,少有学者通过建立博弈模型的方式对多元化投入机制多方主体的行为决策进行深入探讨,但关于颠覆性技术的利益分配问题未得到广泛关注。为此,本研究在借鉴刘娜等^[19]研究模型基础上,针对颠覆性技术多元化投入利益分配以及激励机制设计等问题,采取合作-非合作博弈的方法,对颠覆性技术多元化投入中各主体的行为决策展开系统性研究。

2 模型假设与构建

2.1 模型假设

(1) 假设颠覆性创新投入主体由政府1、颠覆性创新企业2、社会资本3这三方构成。社会资本对拥有颠覆性技术的企业进行评估以决定是否进行投资,政府对拥有颠覆性技术的企业进行评估以决定是否对其进行财政投入,企业决定是否对颠覆性技术研发应用进行创新投入。

(2) 假设相邻主体合作才是有效率的,可以形成有效的合作,因此排除{1,3}组合,即如果没有颠覆性技术企业参与,社会资本和政府不存在直接的合作,并且单个成员无法构成联盟合作,即令 $\{1\}=\{2\}=\{3\}=0$,因此,有效的合作集合为 $\Phi=\{1,2\},\{2,3\},\{1,2,3\}$,即社会资本和颠覆性技术企业合作,政府和颠覆性技术企业合作,社会资本、政府以及颠覆性技术企业协同合作。

(3) 假设两个主体的合作盈余为 a ,3个主体的合作盈余为 c ,且 $c>a$,即联盟{1,2,3}具有超可加性。

(4) 假设 a 和 c 为合作的基础值,联盟中的多个主体能够通过积极投入改变整个系统的收益。为了方便分析,假设各个主体的创新投入是相同的,均为 α_i ,从而产生收益为: $R(\alpha_i)=k\alpha_i$ 。其中 $i=1,2,3$; $k>0$,为创新投入产出系数。

(5) 借鉴薛凤等^[20]的研究,假设联盟成员主体的参与成本系数相同,则各主体的参与成本为: $C(\alpha_i)=\frac{1}{2}b\alpha_i^2$ 。其中 $b>0$,为参与成本系数。参与成本函数满足成本递增以及边际成本递增性质,为严格单调递增凸函数,即 $\frac{\partial C(\alpha_i)}{\partial \alpha_i}>0$, $\frac{\partial^2 C(\alpha_i)}{\partial \alpha_i^2}>0$ 。

(6) 假设社会资本、颠覆性技术企业、政府在多元化投入中面对风险的态度是中性的。

2.2 效率模型的构建

在多元化投入合作过程中,社会资本、颠覆性技术企业、政府三方以总的系统收益最大化为目标,对各自的创新投入进行决策,若此时整体收益达到最优值,则将此模型称为效率模型。在效率模型中,三方主体都追求系统总收益最大化,借鉴刘娜等^[18]的效率模型,构建颠覆性技术多元化投入效率模型的目标函数如下:

$$\max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V = c + \sum_{i=1}^3 [R(\alpha_i) - C(\alpha_i)] = c + \sum_{i=1}^3 (k\alpha_i - \frac{1}{2}b\alpha_i^2) \quad (1)$$

对于式(1)关于 α_i 求一阶偏导数,令其为零,求解可以得到各主体的最优创新投入为 $\alpha_i^0 = \frac{k}{b}$;进而求出各主体的创新投入收益为 $R_i^0 = \frac{k^2}{b}$,创新投入成本为 $C_i^0 = \frac{k^2}{2b}$ 。则社会资本、颠覆性技术企业、政府形成的总系统收益为 $V^0(I^0) = c + \frac{3k^2}{2b}$ 。

3 创新投入与利益分配

博弈模型为两阶段博弈:第一阶段采取非合作博弈,每个投入主体选择各自的创新投入;第二阶段采取合作博弈,使用修正风险系数的夏普利(Shapley)值对联盟收益进行公平分配,并应用逆推归纳法求解出各阶段的子博弈完美纳什均衡。

3.1 收益分配

首先采用考虑风险修正的夏普利值方法对联盟收益进行分配。根据孙蕾等^[21]的研究,设博弈的夏普利值为向量 S ,其中 S_i 代表博弈者 i 的平均边际贡献,即边际盈利向量的算术平均为:

$$S_i = \frac{1}{n!} \sum_D \Delta_i(D) \quad (2)$$

式(2)中： D 为博弈方所有可能合作的排列； $\Delta_i(D) = v(S \cup \{i\}) - v(S)$ ，代表在排列为 D 时博弈方 i 的边际贡献。

参考陈志鼎等^[22]的研究，根据最小核心算法来考虑风险修正：在式(2)的基础上加入风险因子，可以使用层次分析法计算出加权的风险因素 λ ，对加权的风险因素进行归一化处理。其中风险因子为：

$$\gamma_i = \frac{\lambda_s}{\sum_{s=1}^n \lambda_s} \quad (3)$$

考虑风险修正的夏普利值为：

$$\varphi_i(v) = S_i + (\gamma_i - \frac{1}{n})v(s) \quad (4)$$

式(3)(4)中：在没有加入风险因子的夏普利值计算时，自动假设所有博弈方所承担的风险是均等的，即均为 $\frac{1}{n}$ 。 $\gamma_i - \frac{1}{n}$ 是根据“风险共担、收益共享”的原则，对传统夏普利值进行的改进，通过进行风险修正使得承担风险更多的局中人享用更多的收益； γ_i 代表在颠覆性技术多元化投入中所承担的风险，使得承担风险大的一方分得更多的利益。

赵晓丽等^[23]以煤电企业供应链为例证明了加入风险因子计算的Shapley值没有改变总的收益，只是对总利益在各方之间进行了重新分配。通过考虑风险修正的夏普利值计算，根据“风险共担、收益共享”的原则分配利益，更加体现公平，在传统夏普利值计算基础上考虑三方合作的风险，引入风险因子，在分析颠覆性技术多元化投入利益分配时对传统对策利益分配模型进行修正，使得政府、颠覆性企业、社会资本三方合作博弈更具有稳定性。

接下来通过为三方赋予不同的风险权重 γ_i ，考虑政府、颠覆性企业、社会资本分别作为投入主体

时计算出各主体创新投入、收益以及系统总利润，对各主体的行为决策进行讨论。

为简化结果，考虑特殊情况来分析不同主体主导下行为决策，参考白晓娟等^[24]的研究，结合颠覆性技术的特征，本研究将起主导作用的主体的风险因子设置为 $\gamma_{主导} = \frac{1}{2}$ ；剩余两个参与主体的风险因子设置为： $\gamma_{参与1} = \gamma_{参与2} = \frac{1}{4}$ 。即：起主导作用的投入主体分摊整个合作项目中一半的风险，其他两个参与主体平均分摊剩余的另一半风险的情况。

3.2 不同主体主导下的创新投入

(1) 政府主导下，政府、颠覆性企业、社会资本的风险因子分别为 $\gamma_1 = \frac{1}{2}$ 、 $\gamma_2 = \frac{1}{4}$ 和 $\gamma_3 = \frac{1}{4}$ 。在实际博弈的过程中，各方是以自身利益最大化为目标，根据 $V_i = \varphi_i(v) - C(\alpha_i)$ ，计算出各主体的目标函数如下：

$$\begin{cases} \max_{\alpha_1} V_1 = \frac{3c-a}{6} + \frac{2}{3}R_1 + \frac{1}{3}R_2 + \frac{1}{6}R_3 - C_1 \\ \max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_2 = \frac{4a+3c}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{7}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3 - C_2 \\ \max_{\alpha_2, \alpha_3} V_3 = \frac{3c-2a}{12} - \frac{1}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3 - C_3 \end{cases} \quad (5)$$

分别将各主体的目标函数对 α_i 求偏导，求偏导数为零，求出各个主体最优的创新投入参与度 α_i^* ，进而求出创新投入收益、创新投入成本以及三方颠覆性创新投入协同合作总的系统收益。由表1可知，在政府主导下，由于政府为投入主体，其承担风险更大、收益分配份额更大，此时三方合作总利润达到 $c + \frac{19k^2}{16b}$ 。

表1 政府主导下颠覆性技术多元化投入均衡结果

主体	修正后的 Shapley 值	创新投入	收益	成本	利润
政府	$\frac{3c-a}{6} + \frac{2}{3}R_1 + \frac{1}{3}R_2 + \frac{1}{6}R_3$	$\frac{2k}{3b}$	$\frac{2k^2}{3b}$	$\frac{2k^2}{9b}$	$\frac{3c-a}{6} + \frac{35k^2}{72b}$
颠覆性技术企业	$\frac{4a+3c}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{7}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3$	$\frac{7k}{12b}$	$\frac{7k^2}{12b}$	$\frac{49k^2}{288b}$	$\frac{4a+3c}{12} + \frac{179k^2}{288b}$
社会资本	$\frac{3c-2a}{12} - \frac{1}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3$	$\frac{5k}{12b}$	$\frac{5k^2}{12b}$	$\frac{25k^2}{288b}$	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{23k^2}{288b}$

(2) 颠覆性技术企业主导下，政府、颠覆性技术企业、社会资本的风险因子分别为 $\gamma_1 = \frac{1}{4}$ 、 $\gamma_2 = \frac{1}{2}$ 、 $\gamma_3 = \frac{1}{4}$ 。同上，根据 $V_i = \varphi_i(v) - C(\alpha_i)$ ，计算出各个主体的目标函数如下：

$$\begin{cases} \max_{\alpha_1} V_1 = \frac{3c-2a}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 - \frac{1}{12}R_3 - C_1 \\ \max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_2 = \frac{2a+c}{6} + \frac{1}{3}R_1 + \frac{5}{6}R_2 + \frac{2}{3}R_3 - C_2 \\ \max_{\alpha_2, \alpha_3} V_3 = \frac{3c-2a}{12} - \frac{1}{12}R_2 + \frac{1}{12}R_3 + \frac{5}{12}R_3 - C_3 \end{cases} \quad (6)$$

同理，求出颠覆性技术企业主导下各个主体最优创新投入 α_i^* 、创新投入收益、创新投入成本以及系统收益。如表2所示，企业作为投入主体，其创新投入高于其他主体的投入，投入更多、风险更大，则分配得到的收益更大，此时三方合作总利润达到 $c + \frac{65k^2}{144b}$ 。

表2 颠覆性技术企业主导下颠覆性技术多元化投入均衡结果

主导方	修正后的 Shapley 值	创新投入	收益	成本	利润
政府	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 - \frac{1}{12}R_3$	$\frac{5k}{12b}$	$\frac{5k^2}{12b}$	$\frac{25k^2}{288b}$	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{35k^2}{288b}$
颠覆性技术企业	$\frac{2a+c}{6} + \frac{1}{3}R_1 + \frac{5}{6}R_2 + \frac{2}{3}R_3$	$\frac{5k}{6b}$	$\frac{5k^2}{6b}$	$\frac{25k^2}{72b}$	$\frac{2a+c}{6} + \frac{5k^2}{24b}$
社会资本	$\frac{3c-2a}{12} - \frac{1}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3$	$\frac{5k}{12b}$	$\frac{5k^2}{12b}$	$\frac{25k^2}{288b}$	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{35k^2}{288b}$

社会资本主导下，政府、颠覆性技术企业、社会资本的风险因子分别为 $\gamma_1 = \frac{1}{4}$ 、 $\gamma_2 = \frac{1}{4}$ 、 $\gamma_3 = \frac{1}{2}$ 。同上，根据 $V_i = \varphi_i(v) - C(\alpha_i)$ ，计算出各个主体的目标函数如下：

$$\begin{cases} \max_{\alpha_1} V_1 = \frac{3c-2a}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 - \frac{1}{12}R_3 - C_1 \\ \max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_2 = \frac{4a+3c}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{7}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3 - C_2 \\ \max_{\alpha_2, \alpha_3} V_3 = \frac{3c-a}{6} + \frac{1}{6}R_1 + \frac{1}{3}R_2 + \frac{1}{2}R_3 - C_3 \end{cases} \quad (7)$$

表3 社会资本主导下颠覆性技术多元化投入均衡结果

主体	修正后的 Shapley 值	创新投入	收益	成本	利润
政府	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 - \frac{1}{12}R_3$	$\frac{5k}{12b}$	$\frac{5k^2}{12b}$	$\frac{25k^2}{288b}$	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{3k^2}{32b}$
颠覆性技术企业	$\frac{4a+3c}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{7}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3$	$\frac{7k}{12b}$	$\frac{7k^2}{12b}$	$\frac{49k^2}{288b}$	$\frac{4a+3c}{12} + \frac{53k^2}{96b}$
社会资本	$\frac{3c-a}{6} + \frac{1}{6}R_1 + \frac{1}{3}R_2 + \frac{1}{2}R_3$	$\frac{k}{2b}$	$\frac{k^2}{2b}$	$\frac{k^2}{8b}$	$\frac{-a+3c}{6} + \frac{3k^2}{8b}$

与效率模型中各主体的创新投入以及创新投入收益进行对比发现，在实际情况下，无论是社会资本、颠覆性技术企业还是政府为投入主体开展合作，最优创新投入 α_i^* 均小于效率模型中的创新投入($\alpha_i^* = \frac{k}{b}$)，进而利润也达不到效率模型的最优利润，将此现象称为创新投入不足。各主体创新投入不足问题实际上是，因为其创新投入行为给颠覆性创新多元化投入中的其他主体带来了正的外部性，并且外部性越强最优创新投入越低。同时对比了以上3种情况发现，政府主导下颠覆性技术多元化投入系统的总利润最高，而颠覆性技术企业主导下以及以社会资本主导下多元化投入系统总的利润较低。模型结论也与客观现实相符合，现实中由于颠覆性技术具有风险性高、不确定性强，往往难以获得融资，此时往往需要政府牵头引导各方投资颠覆性技术，帮助颠覆性技术孵化。基于以上分析，得出如下命题：

命题1 在子博弈完美纳什均衡中，社会资本、颠覆性技术企业、政府三方均存在创新投入不足的情况；整个颠覆性创新多元化投入系统收益是低效的，低于效率模型中的总系统收益。其中政府主导颠覆性技术多元化投入下系统收益较高，而社会资本或颠覆性技术企业主导下系统收益较低。

同理，求出社会资本主导下各个主体最优创新投入 α_i^* 、创新投入收益、创新投入成本以及系统收益，如表3所示，此时系统总利润为 $c + \frac{49k^2}{48b}$ 。

4 政府补贴机制对创新行为的激励

企业科技投入资金主要来源于企业的收益，颠覆性技术有着见效慢、周期长、风险高的特点，对于中小型科技企业而言，初期的盈利难以保证，因此企业对于投入颠覆性技术研发的内部经费支持严重不足。实践表明，即便在市场经济最发达的国家和地区，技术创新依然对政府的财政支持政策有着强烈的诉求^[25]。政府补贴能够实现科技投入资源优化再配置，为企业开展具有高风险属性的颠覆性技术研发活动提供资金支持，与企业内部资源形成互补效应，激发企业技术创新积极性^[26]。目前，政府财政资金支持科技型企业主要采用风险补偿贷款、创新基金、政府补贴等多种形式。基于此，本研究将政府补贴引入博弈模型进行讨论。

4.1 政府补贴机制下的博弈结构

鉴于社会资本、颠覆技术企业、政府三方在颠覆性创新多元化投入中均存在创新投入不足，进而使整个系统的总收益达不到最优效果，为了激励各个主体的参与积极性，在政府主导情况下考虑设计政府补贴机制来缓解创新不足的问题。假设以系统收益最大化为目的，政府分别对社会资本、颠覆性技术企业进行颠覆性技术创新的参与成本提供一定

比例的补贴,分别为 S_{12} 、 S_{13} ;而政府、社会资本、颠覆性企业对创新投入的策略选择以自身利益最大化为目的。在原有的博弈模型中增加补贴策略选择阶段,政府选择是否对社会资本、颠覆性技术企业实施补贴机制,此时的博弈结构为:第一阶段,采取非合作博弈,政府选择对社会资本以及颠覆性技术企业的创新投入成本补贴进行策略选择;第二阶段,采取非合作博弈,各主体同时选择各自的创新投入行为决策;第三阶段,要采取合作博弈,根据考虑风险修正的夏普利值对投入主体协同合作的收益按照所承担的风险进行合理分配。

4.2 政府补贴下的创新投入

政府以系统利益最大化为目标,根据 $V_i = \varphi_i(v) - C(\alpha_i)$,将政府补贴因素纳入模型考虑,计算出各主体的目标函数如下:

$$\begin{cases} \max_{\alpha_1} V_1 = \frac{3c-a}{6} + \frac{2}{3}R_1 + \frac{1}{3}R_2 + \frac{1}{6}R_3 - C_1 - S_{12}C_2 - S_{13}C_3 \\ \max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_2 = \frac{4a+3c}{12} + \frac{5}{12}R_1 + \frac{7}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3 - (1-S_{12})C_2 \\ \max_{\alpha_2, \alpha_3} V_3 = \frac{3c-2a}{12} - \frac{1}{12}R_1 + \frac{1}{12}R_2 + \frac{5}{12}R_3 - (1-S_{13})C_3 \end{cases} \quad (8)$$

分别将上述目标函数对创新投入求偏导,并令偏导数为零,解出各主体的创新投入函数 $\alpha_i(s)$ 如表4所示。其中,系统利润目标函数为:

$$\max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_1 V_2 V_3 = c + R_1 + R_2 + R_3 - C_1 - C_2 - C_3 \quad (9)$$

将各主体的创新投入函数 $\alpha_i(s)$ 代入式(9),计算出的政府补贴 S_{12} 、 S_{13} 以及成本函数,化简得:

$$\max_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3} V_1 V_2 V_3 = c + \frac{k^2}{2b} + \frac{k^2}{2b(1-S_{12})} + \frac{k^2}{2b(1-S_{13})} - \frac{k^2}{8b(1-S_{12})^2} - \frac{k^2}{8b(1-S_{13})^2} \quad (10)$$

分别对政府补贴 S_{12} 、 S_{13} 求偏导,令其为零,解得 $S_{12}^* = \frac{1}{2}$, $S_{13}^* = \frac{1}{2}$,并求出创新投入、收益、成本以及总利润、利润增加值等,具体如表4所示。可见,三者的创新投入均达到系统最优($\alpha_1^* = \alpha_2^* = \alpha_3^* = \alpha_i^0 = \frac{k}{b}$);并且将进行补贴下各主体的利润与没有进行补贴下各主体利润进行比较发现,政府利润部分下降,颠覆性技术企业、社会资本的利润得到明显的提升,从而总的系统利润增加。说明通过政府对颠覆性技术企业和社会资本进行成本补贴,政府损失小部分利润能够使各方创新投入到达系统最优,并且使系统的总利润得到提高,有效激励了各方创新投入积极性,从而有效解决了颠覆性技术多元化创新投入不足的问题。基于上述分析,提出如下命题:

命题2 在政府主导下展开颠覆性技术多元化投入,当政府对颠覆性技术企业、社会资本分别进行

成本补贴,三方的创新投入均得到提升,并且达到系统最优水平,使得系统总利润得到提升。其中,政府利润相较于进行补贴前有部分下降,但颠覆性技术企业、社会资本的利润得到明显提升。政府通过补贴的形式,虽然损失了自身一部分利润,但是促进了其他各方主体的创新投入积极性,从而提高了系统总利润,表明政府补贴激励机制能够大大提高各主体对颠覆性技术投入的积极性。

表4 政府主导并提供成本补贴时颠覆性技术多元化投入均衡结果

主体	补贴下的 创新投入 函数	创新 投入	收益	成本	利润	利润增加值
政府	$\frac{k}{b}$	$\frac{k}{b}$	$\frac{k^2}{b}$	$\frac{k^2}{2b}$	$\frac{3c-a}{6} + \frac{k^2}{6b}$	$-\frac{23k^2}{72b}$
颠覆性技术企业	$\frac{k}{2b(1-S_{12})}$	$\frac{k}{b}$	$\frac{k^2}{b}$	$\frac{k^2}{2b}$	$\frac{4a+3c}{12} + \frac{7k^2}{6b}$	$\frac{157k^2}{288b}$
社会资本	$\frac{k}{2b(1-S_{13})}$	$\frac{k}{b}$	$\frac{k^2}{b}$	$\frac{k^2}{2b}$	$\frac{3c-2a}{12} + \frac{k^2}{6b}$	$\frac{25k^2}{288b}$
总计					$c + \frac{3k^2}{2b}$	$\frac{5k^2}{16b}$

5 结论与启示

5.1 研究结论

对政府主导、颠覆性技术企业主导、社会资本主导3种情况下,各主体的颠覆性技术创新投入行为决策进行讨论,同时探讨了政府补贴这一无偿性资金投入对于颠覆性技术投入主体参与积极性的激励作用,得到以下结论:

(1)在整个颠覆性创新多元化投入的过程中,各主体出于自身利益最大化考虑,会存在创新投入积极性不足的情况,此时就需要设计合理的激励机制,激发多元化投入主体的创新投入积极性。

(2)由政府牵头,联合社会资本、颠覆性技术企业时,整个颠覆性技术投入合作较由其他主体主导下的合作收益高。此外,在政府主导下采取政府补贴形式可以有效激励其他各颠覆性创新投入主体的投入积极性,相较于补贴前政府只是损失了部分利益,这样做不仅能提高被补贴主体的创新投入,还能提高整个系统的总收益,从长远来看有利于保持各主体长期的合作关系,说明在政府主导下采取补贴机制能够有效缓解创新投入不足的问题。

5.2 管理启示

基于以上结论,对于政府主导下引导各方参与颠覆性技术多元化投入提出以下管理启示:

(1)政府构建颠覆性技术多元化投入机制,设计合理的利益分配机制与激励机制尤为重要。在多方合作过程中,利益分配成为合作能否顺利开展的掣肘。政府在牵头构建颠覆性技术多元化投入中,

在利益分配方面应该更加强调“风险共担、收益共享”。政府实施成本补贴参与合作，可以有效提高其他各方创新投入的积极性，从而更高效地推动实现颠覆性技术创新研发与市场转化进程目标的活动过程。实施成本补贴的同时应当设定适当的补贴额度，补贴过度会使企业对补贴产生依赖，一定程度妨碍市场作用的发挥，因而借助风险补偿贷款和创新基金能够以有限财政资金实现撬动社会资本投入的政策性目标，分散科技型中小企业借贷风险，从而有效支持和引导颠覆性技术企业发展。

(2) 需要进一步加强颠覆性技术企业的扶持力度，加强创新平台建设。降低创新创业成本：设立专项资金，引导和鼓励市级以上科技企业孵化器对颠覆性技术企业研发经费投入给予补助。拓宽企业融资渠道：建设颠覆性技术多元化投入机制的过程中，要发挥市场在资源配置中的决定性作用，通过切实尊重与激发市场各类创新主体的颠覆性技术创新活力与潜能，通过政策基金、信用担保等形式，进一步保障颠覆性技术多元化投入金融市场发展。鼓励银行、金融机构、风险投资等社会资本加大对颠覆性技术企业的支持力度，向相关的企业按有关规定给予奖励和风险补偿，从而为颠覆性技术多元化投入的顺利展开保驾护航。

(3) 建立吸引机制强化社会资本涌入颠覆性技术研发中，则需要政府创新战略的积极引导，通过设置相关的风险保障机制，营造良好的创新激励氛围。如若最终颠覆性技术出现孵化失败的情况，给予各个投资者一定的风险补偿，以此分摊投资风险，吸引更多的资金进入到颠覆性技术项目投入中来，建立良好的失败容忍氛围，给予科研工作者更多的积极鼓励。

参考文献：

- [1] 杜丽雅, 张志娟, 陆飞澎, 等. 以色列创新体系视角下颠覆性技术培育研究 [J]. 全球科技经济瞭望, 2020, 35(3): 7-15, 57.
- [2] 王子丹, 袁永, 邱丹逸. 颠覆性技术创新促进机制及国内外经验研究 [J]. 科学管理研究, 2021, 39(2): 153-158.
- [3] 张越, 余江, 杨娅, 等. 颠覆性技术驱动的未来产业培育模式与路径研究: 美国布局下一代集成电路产业的启示 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(6): 895-906.
- [4] 唐志武, 刘欣. 吉林省科技型中小企业直接融资问题研究: 基于三维结构模型视角 [J]. 税务与经济, 2020(2): 106-112.
- [5] 陈强, 霍丹. 德国创新驱动发展的路径及特征分析 [J]. 德国研究, 2013, 28(4): 86-100, 127-128.
- [6] 张玉磊, 戴海闻, 许泽浩, 等. 颠覆性技术遴选的基本原则与运行流程研究 [J]. 科技管理研究, 2020, 40(13): 209-216.
- [7] 宋亮, 杨磊, 延玲玲, 等. 新形势下我国颠覆性创新的发展现状、典型模式及路径选择 [J]. 技术经济, 2023, 42(1): 44-52.
- [8] 张国卿, 陈秋声. 中小型高新技术企业专利融资问题探讨 [J]. 中国注册会计师, 2021(7): 102-104.
- [9] CHRISTENSEN C M. The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail [M]. Boston: Harvard Business Press, 1997: 17-27.
- [10] MEISSNER D. Public-private partnership models for science, technology, and innovation cooperation [J]. Journal of the Knowledge Economy, 2019, 10(4): 1341-1361.
- [11] SRINIVASAN S. On capital, innovation, and government [J]. Technology and Innovation, 2021, 22(1): 3-11.
- [12] TSEDILIN L I. Funding of science: a comparison of approaches and outcomes in Russia and Germany [J]. Voprosy Ekonomiki, 2021(2): 147-160.
- [13] 韩笑. 国内外科技投入机制对比研究 [J]. 技术经济与管理研究, 2013(7): 47-52.
- [14] 孙玉涛. 面向 2035 年科技创新多元化投入机制 [J]. 中国科技论坛, 2020(9): 1-1.
- [15] 俞立平. 中国科技创新多元化投入的演化及发展趋势 [J]. 中国科技论坛, 2020(9): 4-7.
- [16] 王波. 科技型中小企业供应链融资模式研究: 基于政府资金引导视角 [J]. 技术经济与管理研究, 2021(3): 45-49.
- [17] 韩凤芹, 索朗杰措, 陈亚平. 中国财政科技投入的特征、问题与趋势判断: 基于中长期发展的视角 [J]. 科学管理研究, 2023, 41(1): 139-146.
- [18] 曹阳春, 张静, 张光宇, 等. 颠覆性技术多元化投入机制构建思路的案例研究 [J]. 中国科技论坛, 2023(3): 37-48.
- [19] 刘娜娜, 周国华. 重大工程多主体协同合作利益分配及创新激励机制研究 [J]. 工业工程与管理, 2023, 28(4): 148-155.
- [20] 薛凤, 陈光宇, 谢欢, 等. 道德风险下重大工程协同创新激励契约设计 [J]. 系统工程, 2021, 39(4): 49-55.
- [21] 孙蕾, 孙绍荣. 基于 Shapley 值的基础设施工程融资联盟合作机制研究 [J]. 工业工程与管理, 2017, 22(2): 76-82.
- [22] 陈志鼎, 程丛. 基于改进 Shapley 值的 PPP 项目利益分配研究 [J]. 建筑经济, 2020, 41(5): 40-44.
- [23] 赵晓丽, 乞建勋. 供应链不同合作模式下合作利益分配机制研究: 以煤电企业供应链为例 [J]. 中国管理科学, 2007, 15(4): 70-76.
- [24] 白晓娟, 张英杰, 靳杰. 基于改进 Shapley 值法的新零售下供应链的利益分配策略 [J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(14): 88-96.
- [25] 赵路, 程瑜, 张琦. 发挥财政职能作用支持科技创新发展: 财政科技事业 10 年回顾与展望 [J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(5): 596-602.
- [26] 康志勇. 融资约束、政府支持与中国本土企业研发投入 [J]. 南开管理评论, 2013, 16(5): 61-70.

作者简介：张光宇（1962—），男，湖南岳阳人，博士生导师，教授，博士，主要研究方向为技术创新管理；陈嘉颖（2000—），女，福建福州人，硕士研究生，主要研究方向为颠覆性创新；胡仁杰（1980—），通信作者，男，江西上饶人，硕士生导师，讲师，博士，主要研究方向为技术创新管理、全球经济治理创新与中国参与；张瑶（1994—），女，陕西渭南人，博士研究生，主要研究方向为颠覆性创新。