

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2021.02.007

基于序贯博弈的企业研发合作动机研究^①

周晓晗¹, 张江华¹, 徐进^{1,2*}

(1. 山东大学管理学院, 济南 250100; 2. 山东大学数学学院, 济南 250100)

摘要: 创新是当今时代的重大命题,企业通过持续创新以提升竞争力.与此同时,不断增加的研发费用和研发产出的不确定性促使企业寻求研发合作.本文探究了存在技术溢出下领导企业与追随企业的研发合作动机,重点分析了研发合作对企业竞争力、行业总研发投入和社会福利的影响,并讨论了政府如何在不同的溢出水平下实现社会福利最大化.本文构建了三阶段动态博弈模型:领导企业和追随企业在第一阶段决定是否建立研发合作,在第二阶段同时决定研发水平,在第三阶段进行序贯产量竞争.研究发现:首先,不同于静态博弈的情形,在序贯产量竞争中,只有当溢出水平在较低的范围时,领导企业和追随企业才会建立研发合作关系;其次,研发合作可能会削弱领导企业的市场势力;最后,市场结果可能是无效的.本文的研究为政府制定相关政策提供了理论依据.

关键词: 创新; 研发合作; 溢出效应; 序贯博弈; 社会福利

中图分类号: F016 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2021)02-0111-16

0 引言

2019年11月22日,习近平在“创新经济论坛”上指出:创新是当今时代的重大命题.随着消费结构不断升级,市场竞争越来越激烈,这要求企业持续创新以保持竞争力,稳固市场地位.作为中国的通讯行业巨头,华为一直坚持创新,其2017年的研发投入高达879亿元,相比之下,中国另一家通讯企业中兴的同期研发投入只有129.6亿元.研发投入的差异带来收益上的巨大差距,数据显示,华为和中兴2017年的消费业务的营业收入分别为2372亿元和352.1亿元(数据来源: <http://xian.qq.com/a/20180716/021329.html>).华为通过不断加大研发投入,改善产品质量,最终在市场竞争中取胜.然而,并非所有企业都能独立承担高昂的研发费用,尤其对于中小企业来说,其规模小、资源有限、知识基础较为薄弱

且资金不足,因此当前独立研发比较困难^[1].而且企业一旦创新失败或被竞争对手赶超,所有的研发投入都将变为沉没成本^[2].当前产品更新换代速度越来越快,研发周期过长往往导致企业损失巨大的市场.这些因素促使企业寻求研发合作.通过技术沟通、知识共享,企业能够降低生产成本,增强竞争力.“中国企业创新动向指数2017年报告”(以下简称“创新报告”)显示,基于合作研发的创新战略指数从2015年的32.13上升至2016年的42.49^[3],这表明我国企业正在不断提高合作研发水平.

值得注意的是,“创新报告”指出73.34%的被调查企业选择与同行业竞争企业形成合作联盟.这意味着绝大多数情况下,企业之间是竞争与合作的关系.在汽车制造领域,这样的例子比比皆是.例如,2018年6月,德国大众与福特签署协议,进行合作研发并生产新款车型;2019年9月,

① 收稿日期: 2019-12-13; 修订日期: 2020-04-09.

基金项目: 科技部资助创新方法专项项目(2018IM020200).

通讯作者: 徐进(1981—),男,山东莱芜人,博士,副研究员. Email: jinxu@sdu.edu.cn

丰田也宣布与一汽、广汽建立研发合作关系,共同研发纯电动车。毋庸置疑的是,这几家公司虽然在新能源汽车的研发技术上开放共享、优势互补,但在各自核心业务上依然是竞争关系。事实上,丰田作为该行业的领军企业,其市场势力和竞争实力是一汽和广汽难以匹及的,但是他们为什么会建立合作关系呢?

基于上述现象,本文研究基于序贯博弈的企业研发合作动机问题。具体而言,领导企业和追随企业是否存在研发合作动机?二者在什么市场条件下会进行研发合作?研发合作会对行业总研发投入、总产量、总利润有什么影响?为了实现社会福利最大化,政府应该如何权衡企业和消费者的利益?为了解决上述问题,本文构建三阶段动态博弈模型,进行均衡分析,并通过算例进一步验证结论的稳健性。

1 文献综述

从1986年Katz^[4]首次关注寡头垄断企业的研发合作,到2019年López和Vives^[5]研究存在研发溢出的交叉持股问题,研发一直以来都受到学界广泛关注。国内外众多学者从宏观、微观角度就相关话题进行了理论或实证研究^[6-15],本文重点参考了企业创新和研发决策方面的文献。

许多学者的研究表明创新对企业决策有重要影响。例如:温小琴和胡奇英^[16]在探究企业的最优产品质量和产量决策时考虑了企业创新能力,发现工艺创新能力越强,企业趋于选择越高的产品质量和数量。杨晔等^[17]以我国中小企业为研究对象,发现技术创新通过“价格效应”、“生产率效应”、“市场效应”和“替代效应”四种途径对中小企业雇佣增长产生直接影响。蒋军锋和王茜^[18]分析了行业竞争的企业创新激励方式优化问题。李伟和李凯^[19]探究了渠道势力对制造商研发决策的影响。Gersbach和Schmutzler^[20]研究了通过工资机制内生企业的知识溢出,并且对比了古诺产量竞争与川伯德价格竞争模式下企业的创新激励,指出大多数情况价格竞争会导致更高的激励。不同于此类文献以单个的企业为研究对象,很多学者关注协同创新网络,主要包括企业与政府协

同^[21, 22]、企业与企业协同^[23-27]、企业与消费者协同^[28-30]。例如:葛泽慧和胡奇英^[23]分析了供应链上、下游企业的研发合作问题,得到不同技术共享水平下企业的最优研发投入和生产规模;肖静华等^[28]基于真实案例,探讨了大数据环境下如何实现普通消费者参与企业研发创新。

d'Aspremont和Jacquemin^[31]首次建立研发的两阶段博弈模型(以下简称“AJ模型”),一大批学者基于这个经典模型取得了丰硕的研究成果。Etro^[32]利用Stackelberg竞争模型探究企业的研发决策问题,指出技术领先者的研发投入总是高于追随者;Amir等^[33]对比了企业在研发阶段进行序贯博弈和静态博弈的情形,并给出序贯博弈实现企业利润和社会福利最大化的溢出水平;Cellini等^[34]分析了动态的研发竞争与合作,他们证明在可行的技术水平下研发合作比竞争更有利于企业和社会;Ghosh和Morita^[35]研究了企业之间技术输出与利润分配问题,发现这种部分股权转让机制能够缓解企业与政府之间的矛盾。除了经典的AJ模型,Che和Gale^[36]从创新产品购买者的视角设计了一种研发竞赛模型,以激励两个创新提供者提高努力水平。在这一模型的基础上,Letina和Schmutzler^[37]将研发努力变量拓展为研发方案变量,并证明引入研发方案的多样性能够实现最优的创新质量。

大量文献指出研发合作能够给企业带来好处,如降低生产成本、扩大市场份额^[38-41]、有利于知识积累^[42, 43]和参与专利竞赛^[44, 45]。从合作方向来看,有的学者关注纵向研发合作^[46-51],即供应链上下游企业之间的合作;也有的研究基于横向研发合作^[52-54],即同层竞争者之间的合作。Gupta^[55]同时考虑了这两种合作模式,探究了研发溢出如何影响制造商的合作模式选择以及研发投入。Dae-Hee Yoon^[49]聚焦于纵向研发合作,研究发现,由于存在研发溢出,即使在制造商采取零售渠道入侵策略的情况下,零售商仍然能够受益于制造商的产品研发活动。Inderst和Wey^[50]认为零售商势力增强将激励上游供应商加大研发投入。基于该研究,孙晓华和郑辉^[51]构建了三阶段博弈模型,包括研发决策阶段和上、下游产量决策阶段,分析了下游势力对上游研发投入的影响。

与本文最相近的文献是Qiu^[53]以及Petraakis

和 Tsakas^[54],前者基于静态博弈研究了溢出效应对企业的研发投入、产量和定价的影响,后者分析了潜在进入对在位者研发合作动机的影响.首先,本文与 Qiu 的区别主要体现在:1) Qiu 的研究基于静态产量竞争,即两家企业在市场竞争阶段同时行动;本文则考虑领导企业与追随企业序贯决策.2) Qiu 构建了两种博弈模型,并且假定企业的研发活动是非合作的,通过对比 Cournot 竞争和 Bertrand 竞争,指出当研发效率足够高时,后者比前者带来更高的社会福利;本文则认为企业之间可能会进行合作,研究结果表明,研发合作对均衡结果的影响受到溢出系数的调节,只有当溢出系数足够大时,研发合作才能够提高社会福利.其次,本文与 Petrakis 和 Tsakas 的区别主要体现在:1) Petrakis 和 Tsakas 认为当市场中的企业同时选择产量策略;本文考虑的是企业序贯选择产量的情形.2) Petrakis 和 Tsakas 的合作机制是基于溢出效应;本文的合作机制是研发阶段最大化整体利润.

纵观现有的文献,虽然学者们已经对不同情形的研发合作现象进行了广泛、深入的研究,但是大多数学者只讨论了同时决定产量的情形,或者研究企业的序贯产量决策而没有考虑企业之间的研发合作.本文则将这两种研究角度结合起来,分析序贯决策的企业的研发合作动机,从而体现市场势力不对称的重要性.本文构建三阶段博弈模型:企业在第一阶段决定是否建立研发合作,在第二阶段同时决定研发水平,在第三阶段进行序贯产量竞争.有大量文献研究内生的决策顺序,这类文献侧重于探究不同的策略变量对企业行动顺序的影响,例如: Von Stengel 和 Zamir^[56]、Madden 和 Pezzino^[57]. 本文的重点是分析企业的研发合作问题,因此参考了外生决策顺序的相关文献,例如: López 和 Vives^[5]、d'Aspremont 和 Jacquemin^[31]、Qiu^[53]、Petrakis 和 Tsakas^[54]. 本文聚焦于领导企业和追随企业之间的研发合作问题,重点探究二者的研发合作动机,以及研发合作对企业的利润份额、行业的总研发投入、消费者剩余和社会福利的影响.研究发现,只有当溢出水平在较低的范围时,领导企业和追随企业才会建立研发合作关系;研究还发现,只有当溢出系数足够大时,研发合作才能实现行业总研发投入和消费者剩余最大

化,但会损失社会福利,这意味着市场结果可能是无效的.相关研究成果期望为政府提供创新政策依据.

2 三阶段动态博弈模型

2.1 模型的基本描述

市场上有两家企业 $i = 1, 2$ 生产同质产品,其产量为 q_i ,因此两个企业的总产量为 $Q = q_1 + q_2$. 企业 i 的逆需求函数为 $p_i(Q) = a_i - Q$,其中 $a_i > 0$ 为企业 i 的市场规模, $Q \leq a_i$ ^[31]. 不失一般性,假设企业 i 的固定生产成本为 0,初始边际生产成本为 $0 < \bar{c}_i < a_i (i = 1, 2)$. 由于研发溢出的存在,企业 i 的研发投入 x_i 不仅会降低自身的生产成本,也会降低企业 $j \neq i$ 的生产成本. 因此,企业 i 的边际生产成本可以表示为

$$c_i = \bar{c}_i - x_i - \beta x_j, \quad i = 1, 2, i \neq j \quad (1)$$

其中 $\beta \in [0, 1]$ 是溢出系数,表示企业 j 的研发投入对企业 i 的边际交叉效应. 非负的生产成本要求 $x_i + \beta x_j \leq \bar{c}_i$. 企业 i 的研发成本为 $\frac{\gamma}{2} x_i^2 (\gamma > 0)$, 其中 γ 是研发成本系数, γ 值越小表示研发效率越高. 研发成本具有边际报酬递减特征,即单位研发成本随研发投入的增加而增加. 因此,如果没有技术突变,进一步提高技术需要投入更多的资源^[31, 52, 55].

企业 i 的利润等于销售收入减去总生产成本和研发成本,即

$$\pi_i = (a_i - q_i - q_j) \times q_i - (\bar{c}_i - x_i - \beta x_j) \times q_i - \frac{\gamma}{2} x_i^2, \quad i = 1, 2, i \neq j \quad (2)$$

式中第一项 $(a_i - q_i - q_j) \times q_i$ 表示企业 i 的销售收入,第二项 $(\bar{c}_i - x_i - \beta x_j) \times q_i$ 表示企业 i 的总生产成本,第三项 $\frac{\gamma}{2} x_i^2$ 表示企业 i 的研发成本.

此外,定义企业 i 的相对效率 $\mu_i = a_i - \bar{c}_i (i = 1, 2)$ ^[54],企业 i 的市场规模越大或初始边际生产成本越低, μ_i 越大.

企业 1 和企业 2 的博弈是一个三阶段完全信息动态博弈,企业的决策包括:是否建立研发合作,研发投入水平以及产量. 博弈过程如图 1 所示:在第一阶段,企业 1 和企业 2 决定是否建立研发合作,定义独立研发用符号 N 表示,合作研发

用符号 C 表示. 在第二阶段, 两家企业同时决定各自的研发投入 x_i . 在第三阶段, 两家企业进行 Stackelberg 产量竞争. 不失一般性, 假设企业 1 是

“领导企业”, 企业 2 是“追随企业”, 领导企业首先确定产量 q_1 , 追随企业在观察到 q_1 之后确定产量 q_2 . 最终, 企业实现均衡利润.

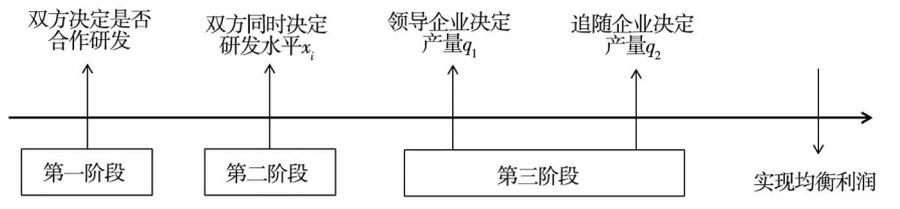


图 1 博弈过程

Fig. 1 The sequence of events

2.2 模型求解

首先讨论领导企业和追随企业效率相等的情形, 即 $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, 第 4 部分将讨论 $\mu_1 \neq \mu_2$ 的情形. 不妨假设 $a_1 = a_2 = a, \bar{c}_1 = \bar{c}_2 = c$. 由于企业在决策时需要考虑当前阶段的行为对后一阶段的影响, 因此可以采用逆向归纳法求解. 均衡唯一的充分条件是: $\gamma > 2.689$, 推导过程见附录. 引入多个参数使本模型更贴近现实, 但也造成了求解和分析上的困难, 因此在不改变基本性质的前提下, 本文取 $\gamma = 4$, 这有利于分析均衡解从而得到有价值的结论. 此外, 在不影响结论的前提下, 参考文献[54]绘图时取 $\mu = 1$.

2.2.1 第三阶段: 产量决策

领导企业先决定产量 q_1 , 在决策时需要预测追随企业对于给定 q_1 的反应 $q_2(q_1)$, 因此采用逆向归纳法, 先求解追随企业的最优反应函数 $q_2^*(q_1)$. 对追随企业的利润函数式(2)关于 q_2 求一阶导数 $\frac{\partial \pi_2}{\partial q_2} = 0$ 得到

$$q_2^*(q_1) = \frac{a - q_1 - c_2}{2} \quad (3)$$

将式(3)代入领导企业的利润函数式(2), 由一阶导数条件 $\frac{\partial \pi_1}{\partial q_1} = 0$, 得到领导企业的产量

$$q_1^* = \frac{a + c_2 - 2c_1}{2} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3), 从而得到追随企业的产量

$$q_2^* = \frac{a - 3c_2 + 2c_1}{4} \quad (5)$$

均衡产量式(4)和式(5)反映了企业的产量决策不仅受自身生产成本的影响, 还受到对方企业生产成本的影响. 但二者的作用效果相反: 企业

的产量随着自身生产成本降低而增加, 随着对方生产成本降低而降低. 相比而言, 自身影响大于交叉影响.

将式(4)和式(5)代入式(2), 领导企业和追随企业的均衡利润分别表示为

$$\pi_1 = \frac{(a + c_2 - 2c_1)^2}{8} - \frac{\gamma}{2} x_1^2 \quad (6)$$

$$\pi_2 = \frac{(a - 3c_2 + 2c_1)^2}{16} - \frac{\gamma}{2} x_2^2 \quad (7)$$

2.2.2 第二阶段: 研发投入决策

这一阶段, 领导企业和追随企业同时决定各自的研发投入水平. 由于企业在独立研发和合作研发情况下的目标函数是不同的, 因此需要分别考虑这两种情景.

情景 1 独立研发

在独立研发的情况下, 企业以自身利润最大化为目标, 将式(1)分别代入式(6)和式(7), 领导企业和追随企业的利润函数分别表示为

$$\pi_1^N = \frac{[a - c + (2\beta - 1)x_2 + (2 - \beta)x_1]^2}{8} - \frac{\gamma}{2} x_1^2 \quad (8)$$

$$\pi_2^N = \frac{[a - c + (3\beta - 2)x_1 + (3 - 2\beta)x_2]^2}{16} - \frac{\gamma}{2} x_2^2 \quad (9)$$

根据一阶导数条件联立方程 $\begin{cases} \frac{\partial \pi_1}{\partial x_1} = 0 \\ \frac{\partial \pi_2}{\partial x_2} = 0 \end{cases}$, 解得领

导企业和追随企业的均衡研发投入水平

$$x_1^{N*} = \frac{B\mu(2 - \beta)}{A} \quad (10)$$

$$x_2^{N*} = \frac{C\mu(3 - 2\beta)}{A} \quad (11)$$

其中

$$A = 2\beta^4 - 7\beta^3 + \beta^2(6\gamma + 4) + 17\gamma + \beta(-20\gamma + 7) - 6;$$

$$B = 2\beta^2 - 5\beta - 2\gamma + 3;$$

$$C = \beta^2 - 3\beta - \gamma + 2$$

式(10)和式(11)表明,行业的技术溢出水平和企业的效率都会影响企业的均衡研发投入水平.

根据式(10)和式(11),解得领导企业和追随企业独立研发时的产量

$$q_1^{N*} = \frac{2B\mu\gamma}{A} \quad (12)$$

$$q_2^{N*} = \frac{2C\mu\gamma}{A} \quad (13)$$

对应的均衡利润

$$\pi_1^{N*} = \frac{B^2 D \mu^2 \gamma}{2A^2} \quad (14)$$

$$\pi_2^{N*} = \frac{C^2 E \mu^2 \gamma}{2A^2} \quad (15)$$

其中 $D = -\beta^2 + 4\beta + 4\gamma - 4$; $E = -4\beta^2 + 12\beta + 8\gamma - 9$.

根据产量可以得到消费者剩余

$$CS^{N*} = \frac{(B + C)^2 \mu^2 \gamma^2}{A^2} \quad (16)$$

社会福利由消费者剩余(CS^N)和企业利润(π_1^N, π_2^N)决定

$$SW^{N*} = \frac{\mu^2 \gamma (B^2 D + C^2 E + 4(B + C)^2 \gamma)}{2A^2} \quad (17)$$

情景 2 合作研发

在文献中,研发合作的建模方式有三种:其一,统一决策,即企业合并形成垄断(如: Ghosh 和 Morita^[35], Farrell 和 Shapiro^[58]);其二,合作的企业保持独立决策,但是以总利润最大化为目标,企业间存在研发溢出(如: d' Aspremont 和 Jacquemin^[31]、Cellini 等^[34]、Ge 等^[38]、Kamien 等^[52]);其三,企业之间交流、分享知识和技术,通过内生的溢出系数反映合作程度(如: Petrakis 和 Tsakas^[54]、Amir 和 Evstigneev^[59]). 由于企业在生产、销售阶段的勾结会降低市场的竞争程度,甚至引起社会福利损失,所以往往会导致政府的直接干预甚至禁止,如:美国的“国家合作研究法案”(NCRA)、中国的《反垄断法》. 鉴于此,第一种合作方式通常不能实现. 另一方面,信息交流渠道

日益丰富,研发人员流动日益频繁,即使企业之间不签订合作协议,溢出效应也常常存在. 因此,考虑具有溢出效应的企业合作问题,更加符合现实中的情况. 在合作研发的情景下,有合作意愿的企业通过签订研发合作协议,承诺共享研发技术,以此保证研发合作顺利进行. 领导企业和追随企业的目标为最大化总利润,即

$$\pi_1^C + \pi_2^C = \frac{[a - c + (2\beta - 1)x_2 + (2 - \beta)x_1]^2}{8} - \frac{\gamma}{2}x_1^2 + \frac{[a - c + (3\beta - 2)x_1 + (3 - 2\beta)x_2]^2}{16} - \frac{\gamma}{2}x_2^2 \quad (18)$$

类似于独立研发时的求解过程,相关均衡结果如表 1 所示.

表 1 情景 2(合作研发)的均衡结果

Table 1 Equilibrium results of case 2

	均衡	
研发投入	$x_1^{C*} = \frac{\mu(4\beta^2 - 4\beta^3 - 4 + 2\gamma + \beta(4 + \gamma))}{F}$	(19)
	$x_2^{C*} = \frac{\mu(4\beta^2 - 4\beta^3 - 4 + \gamma + 2\beta(2 + \gamma))}{F}$	(20)
产量	$q_1^{C*} = \frac{2G\mu\gamma}{F}$	(21)
	$q_2^{C*} = \frac{2H\mu\gamma}{F}$	(22)
利润	$\pi_1^{C*} = \frac{I\mu^2\gamma}{2F^2}$	(23)
	$\pi_2^{C*} = \frac{J\mu^2\gamma}{2F^2}$	(24)
消费者剩余	$CS^{C*} = \frac{2(G + H)^2\mu^2\gamma^2}{F^2}$	(25)
社会福利	$SW^{C*} = \frac{\mu^2\gamma(I + J + 4(G + H)^2\gamma)}{2F^2}$	(26)

其中 $F = 4\beta^4 - \beta^2(23\gamma + 8) + 40\beta\gamma + 8\gamma^2 - 23\gamma + 4$; $G = -5\beta^2 + 10\beta + 2\gamma - 5$; $H = -3\beta^2 + 6\beta + \gamma - 3$; $I = -16\beta^6 + 32\beta^5 + 4\beta^4(27\gamma + 4) - 8\beta^3(49\gamma + 8) + 4\beta(8 - 102\gamma + 39\gamma^2) + 4(-4 + 29\gamma - 21\gamma^2 + 4\gamma^3)$; $J = -16\beta^6 + 32\beta^5 + 8\beta^4(11\gamma + 2) - 8\beta^3(37\gamma + 8) + \beta^2(-52\gamma^2 + 408\gamma + 16) + 4\beta(23\gamma^2 - 70\gamma + 8) + 8\gamma^3 - 49\gamma^2 + 80\gamma - 16$.

2.2.3 第一阶段:合作决策

在博弈的第一阶段,领导企业和追随企业通过比较两种情形下的均衡利润决定是否建立研发合作关系.若领导企业和追随企业在合作研发时的均衡利润都不低于独立研发时的均衡利润,即 $\pi_i^C \geq \pi_i^N$ (见式(14)、式(15)、式(23)、式(24)),则领导企业和追随企业建立研发合作;若至少有一家企业在合作研发时的均衡利润低于独立研发的情况,那么双方无法建立研发合作,领导企业和追随企业独立研发.

3 研发合作及其影响

本节将首先探究领导企业和追随企业在什么市场条件下会建立研发合作关系;在此基础上,分析研发合作对企业的研发水平和市场竞争力的影响;最后,关注研发合作对行业、消费者和整个社会的影响.

3.1 企业建立研发合作

企业在决定是否进行合作研发时,需要比较合作研发和独立研发情况下的均衡利润.令 $\Delta\pi_i = \pi_i^C - \pi_i^N$ 表示企业 i 在合作研发和独立研发时的利润差.当 $\Delta\pi_i \geq 0$,企业 i 有合作意愿; $\Delta\pi_i < 0$,企业 i 无合作意愿.当且仅当 $\Delta\pi_1 \geq 0$ 且 $\Delta\pi_2 \geq 0$,领导企业和追随企业才会建立研发合作. $\Delta\pi_i$ 随 β 的变化趋势如图2所示,由此提出命题1.

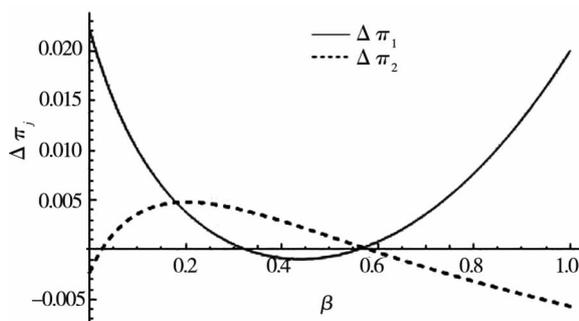


图2 $\Delta\pi_i(i = 1, 2)$ 随 β 的变化趋势

Fig. 2 The trends of $\Delta\pi_i(i = 1, 2)$ with β increasing

命题1 只有当溢出水平在较低的范围时 ($\beta \in [\beta_1, \beta_2], \beta_1 = 0.025, \beta_2 = 0.328$),领导企业和追随企业才会建立研发合作;否则 ($\beta \in [0, \beta_1) \cup (\beta_2, 1]$),两家企业独立研发.

d'Aspremont 和 Jacquemin^[31] 研究了静态产

量竞争,即两家企业同时决定产量,他们认为当溢出系数较大时 ($\beta > \frac{1}{2}$),从生产成本降低的角度来看企业倾向研发合作;当溢出系数较小时 ($\beta \leq \frac{1}{2}$),企业不合作.与之不同,本文研究序贯产量竞争,只有当溢出系数在较低的范围时 ($\beta \in [\beta_1, \beta_2]$),双方才会进行研发合作;而当溢出系数较大或很小时 ($\beta \in [0, \beta_1) \cup (\beta_2, 1]$),领导企业和追随企业不会达成合作.不难发现,静态产量竞争和动态产量竞争都可能实现企业的研发合作,但是否合作取决于不同的溢出水平.对于给定的研发溢出水平,往往只有一种产量决策顺序让企业具有合作动机.因此,企业可以根据溢出水平选择合适的产量竞争形式,得到更多的研发合作机会.

为什么会出现上述结果?领导企业与追随企业在决策时面临这样的取舍:一方面,通过建立研发合作,两个企业可以共享技术分享经验,调整企业的研发水平,降低企业的成本,从这一角度来看研发合作对双方都有利.另一方面,研发合作加强领导企业在产品竞争中的先动优势.只有当技术溢出水平在某一较低的范围时 ($\beta \in [\beta_1, \beta_2]$),前者的影响大于后者,领导企业和追随企业都有合作意愿,双方才能实现研发合作.

3.2 研发合作对企业研发水平的影响

在分析企业的研发合作动机的基础上,本节将探究研发合作对企业研发水平的影响.首先,比较领导企业和追随企业在同一情景下的研发水平.企业 i 在合作研发和独立研发时的研发水平 x_i^C 和 x_i^N ($i = 1, 2$) 随 β 的变化趋势如图3所示,由此提出命题2.

命题2 1)在合作研发时,领导企业的研发水平高于追随企业的研发水平;2)在独立研发时,领导企业的研发水平高于追随企业的研发水平.

命题2表明,无论是在合作研发还是独立研发的情况下,领导企业的研发水平都高于追随企业的研发水平.理解这一结论需要认识到,研发活动本身具有两种效应:第一种是“溢出效应”,即企业的研发活动在降低自身生产成本的同时,也一定程度上降低了对方的生产成本;第二种是“竞争效应”,即对方生产成本的降低间接削弱了自身企业的竞争力.溢出效应会导致企业的“搭

便车”行为——企业只维持较低的研发水平而从对方的努力中获利。追随企业由于自身的资金、规模有限,研发能力较弱,因而倾向于搭乘领导企业的便车。另外,竞争效应会降低追随企业的竞争力,这迫使追随企业减少研发投入以缓解竞争效应的负面影响。在两种效应的综合影响下,追随企业的研发水平比较低。相反地,领导企业的资源约束小,更愿意主动创新,因而研发水平比较高。

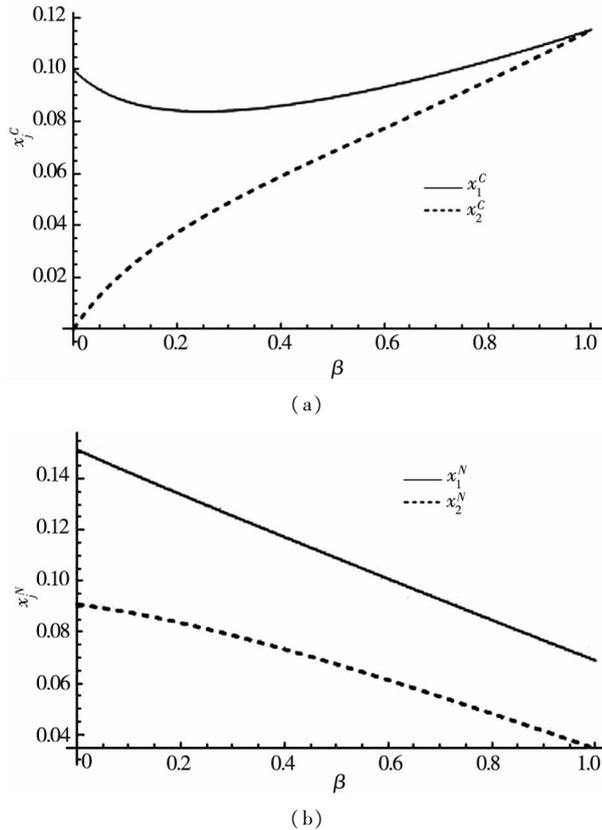


图 3 x_i^C 和 x_i^N ($i = 1, 2$) 随 β 的变化趋势

Fig. 3 The trends of x_i^C and x_i^N ($i = 1, 2$) with β increasing

根据图 3,在独立研发情况下,两家企业的研发水平均随溢出值增大而降低;在合作研发情况下,领导企业的研发水平随溢出值增大先降低后升高,追随企业的研发水平随溢出值增大而升高。企业的研发水平受到溢出效应和竞争效应的综合影响。当企业独立研发时,研发活动的竞争效应会削弱企业的研发动机,且溢出值越大,竞争效应越显著,企业的研发水平越低。合作能够内部化研发活动的溢出效应,溢出值越大,这种正向效应也越强,因此追随企业随溢出值增大而不断提高研发水平。不同于追随企业,领导企业本身具有市场优势,只有当溢出水平足够高时,合作研发的正向效

应才变得显著,因此领导企业的研发水平呈先降低后升高的趋势。

自然地,本文也关注同一企业在不同情景下的研发水平。领导企业和追随企业在不同情景下的研发水平 x_1^k 和 x_2^k ($k = C, N$) 随 β 的变化趋势如图 4 所示,由此提出推论 1。

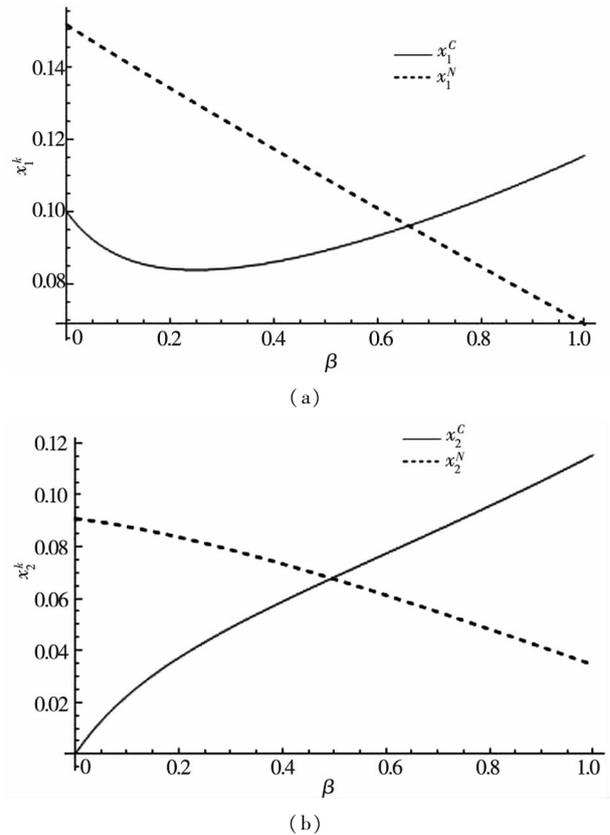


图 4 x_1^k 和 x_2^k ($k = C, N$) 随 β 的变化趋势

Fig. 4 The trends of x_1^k and x_2^k ($k = C, N$) with β increasing

推论 1 1) 当溢出水平高于(低于) $\beta_3 = 0.660$, 领导企业在合作研发时的研发水平高于(低于)独立研发时的研发水平。2) 当溢出水平高于(低于) $\beta_4 = 0.495$, 追随企业在合作研发时的研发水平高于(低于)独立研发时的研发水平。

3.3 研发合作对企业市场地位的影响

为了更深入地解读研发合作的影响,本节将探究研发合作是否会改变企业的市场地位。通过企业的利润差距、产量份额(在有些文献中是“市场份额”^[39, 40, 60])和利润份额等指标刻画企业的市场地位。首先分析研发合作对两个企业利润差距的影响,关注合作是否改变了他们在市场中的位置。相关的比较结果图 5、图 6 所示,由此提出命题 3 和命题 4。

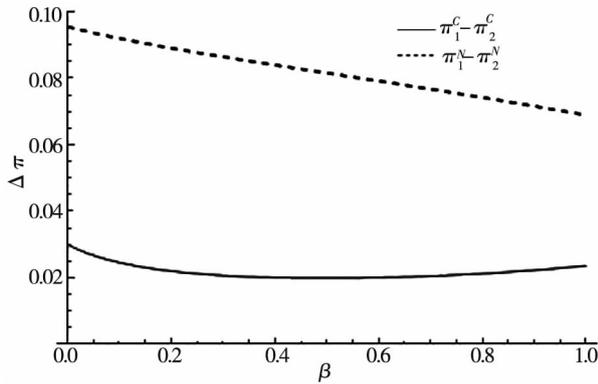
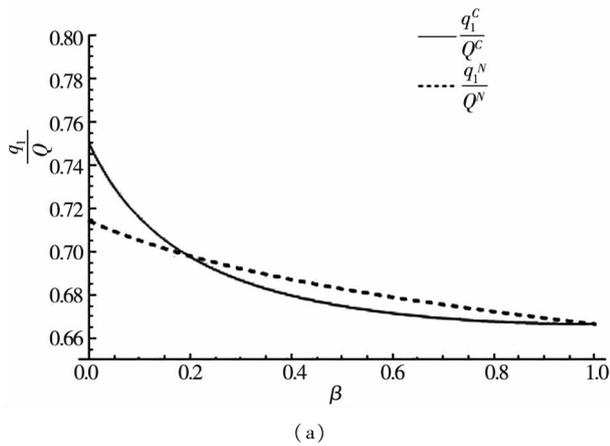
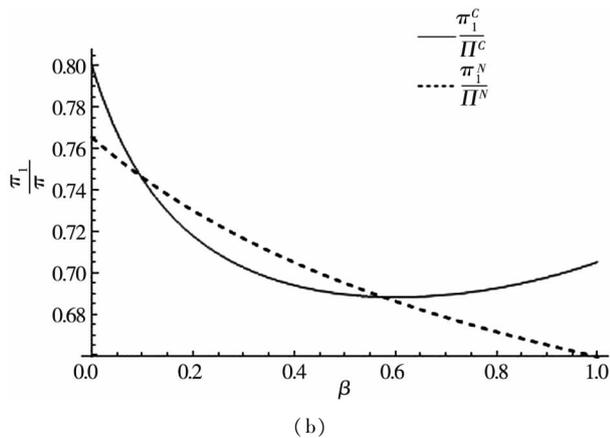


图5 合作研发和独立研发时企业的利润差距

Fig. 5 The differences between firms' profits under cooperative and non-cooperative R&D



(a)



(b)

图6 合作研发和独立研发时企业1的产量份额和利润份额

Fig. 6 The sale share and the profit share of firm 1 under cooperative and non-cooperative R&D

命题3 领导企业和追随企业在合作研发时的利润差距小于独立研发时的利润差距。

命题3指出,研发合作缩小了领导企业和追随企业之间的利润差距.原因在于:在独立研发的情况下,企业只关心自身利润而不考虑决策给对方的影响,此时领导企业的竞争优势进一步加强,

追随企业的竞争劣势更加明显,双方的利润存在较大差距,领导企业的市场势力很强.相反,在研发合作时,企业以总利润最大化为目标,任一家企业的研发决策都受到对方的约束,这就在一定程度上缓和了双方之间的竞争,从而利润差距缩小,领导企业的市场势力变弱.

命题4 研发合作可能会导致领导企业的产量份额下降,追随企业的产量份额上升;此外,研发合作可能会导致领导企业的利润份额下降,追随企业的利润份额上升.

如果用产量份额或利润份额来衡量企业的市场势力,命题4表明,研发合作可能会导致领导企业的市场势力下降,追随者的市场势力增强.此外不难发现,企业产量份额的变化比利润份额的变化更加明显.

首先分析研发合作对企业产量份额的影响.当溢出比较大时($\beta > \beta_m = 0.194$),研发合作使双方都提高研发水平以实现生产成本大幅下降,但是追随企业比领导企业能够获得更大程度的成本降低好处,其产量的增加幅度更大,这导致领导企业的销售量占市场总量的比例降低,即领导企业的产量份额降低.

下面分析研发合作对企业利润份额的影响.当溢出足够小时($\beta < \beta_l = 0.096$),研发合作扩大了领导企业与追随企业的研发水平差距(参见图3),这意味着领导企业具有更大的成本优势,因而领导企业在合作研发时的利润份额高于独立研发时的利润份额.当溢出水平在较低范围内时($\beta \in (\beta_l, \beta_h)$), $\beta_h = 0.575$),研发合作缩小了领导企业与追随企业之间的研发水平差距(参见图3),并且双方的研发投入都不太高,生产成本的降低幅度比较小,双方的利润差距也比较小,因此领导企业在合作研发时的利润份额比较低.当溢出足够大时($\beta \in (\beta_h, 1]$),相比独立研发的情况,合作研发时两家企业都大幅度增加研发投入,但追随企业的研发投入增加的更多(参见图4),对领导企业来说,此时研发的溢出效应大于竞争效应,这使得领导企业的利润份额升高.

综上所述,研发合作可能会削弱领导企业的市场势力.企业的研发合作决策取决于其对产量份额和利润份额的权衡——当溢出足够大时

($\beta \in (\beta_h, 1]$), 如果领导企业更看重产量份额, 那么他将拒绝研发合作; 相反, 如果领导企业更看重利润份额, 那么他将愿意合作。

3.4 研发合作对行业、消费者和社会的影响

上文关注研发合作对单个企业的影响, 下文将探究研发合作对行业的总研发水平 (X), 消费者剩余 (CS) 和社会福利 (SW) 的影响. 令 $X^C = x_1^{C*} + x_2^{C*}$, $X^N = x_1^{N*} + x_2^{N*}$, X^k 、 CS^k 、 SW^k ($k = C, N$) 随 β 的变化趋势如图 7 所示, 由此提出命题 5.

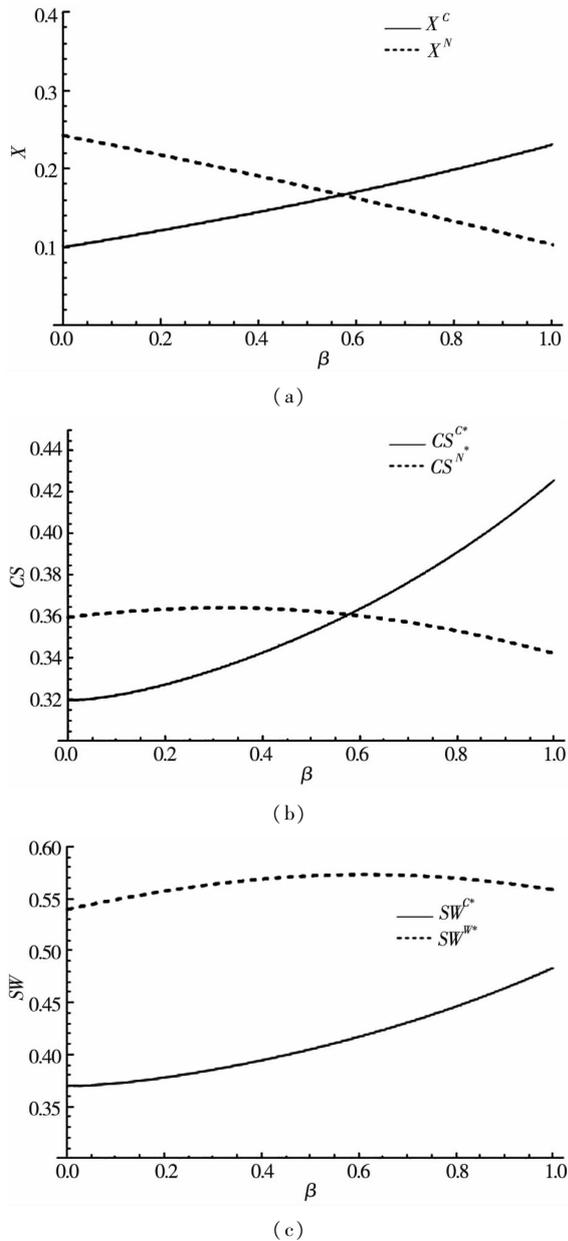


图 7 X^k 、 CS^k 、 SW^k ($k = C, N$) 随 β 的变化趋势

Fig. 7 The trends of X^k , CS^k , SW^k ($k = C, N$) with β increasing

命题 5 1) 当溢出水平低于 (高于) $\tilde{\beta}_X =$

0.570, 合作研发时的行业总研发投入低于 (高于) 独立研发的情况. 2) 当溢出水平低于 (高于) $\tilde{\beta}_{CS} = 0.577$, 合作研发时的消费者剩余低于 (高于) 独立研发的情况. 3) 合作研发时的社会福利低于独立研发的情况.

命题 5 表明, 当溢出足够小时 ($\beta \in [0, \tilde{\beta}_X)$), 研发合作降低了行业总研发水平. 溢出小意味着溢出效应比较小, 企业从研发中获得的大部分收益都属于自己. 因此如果独立研发, 每家企业都倾向于做大量的研究. 而在合作研发时, 企业以总利润最大化为目标, 因此企业选择减少研发支出以获得更高的总利润, 这导致行业的总研发水平比较低. 当溢出足够大时 ($\beta \in (\tilde{\beta}_X, 1]$), 研发合作能够提高行业总研发水平. 溢出大意味着, 企业从对方的研发中获得更大的好处. 在独立研发的情况下, 企业倾向于在对手的研发活动中“搭便车”, 只维持较低水平的研发水平. 合作能够将这些外部效应内部化, 企业为了提高总利润而加大研发投入, 因此行业的总研发水平比较高.

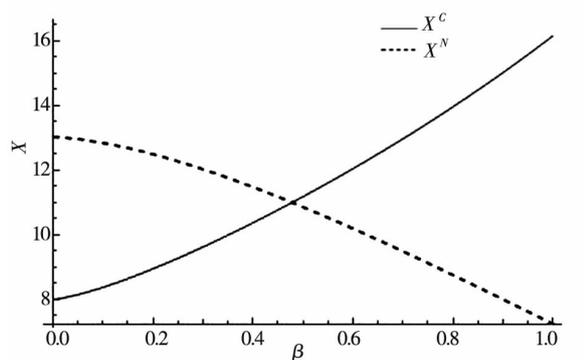
如前所述, 当溢出较小时, 研发合作降低了企业的研发水平, 这在一定程度上避免了双方激烈的市场竞争, 但却意味着对消费者收取高价格, 因而消费者剩余比较低, 社会福利也较低. 当溢出足够大时, 研发合作能够提高企业的研发水平, 这使得企业的生产成本大幅度下降, 生产成本的下降意味着价格的下降, 因而消费者剩余提高. 然而, 研发合作不能实现社会福利最大化, 这是由于消费者剩余的增加小于行业总利润的下降, 所以社会福利没有提高. 由此可见, 市场结果可能是无效的.

4 算例分析

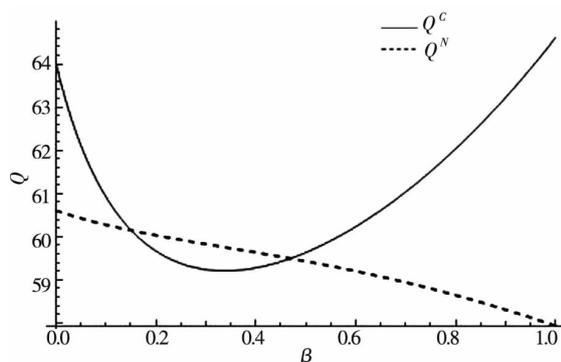
在前面的讨论中, 假设了企业具有对称的成本函数. 但是在现实中, 企业的市场规模和初始边际生产成本可能是不对称的, 尤其对于领导企业和追随企业而言, 领导企业拥有更大的市场规模和更低的初始边际生产成本. 基于此, 本节讨论 $\mu_1 \neq \mu_2$ 的情形. 下面通过算例分析研发合作对行业总研发投入、总产量、总利润以及消费者剩余和社会福利的影响.

固定 $a_1 = 100, a_2 = 80, \bar{c}_1 = 20, \bar{c}_2 = 30$, 行业总研发投入 (X)、总产量 (Q)、总利润 (Π)、消费者剩余 (CS) 和社会福利 (SW) 随 β 的变化趋势如图 8 所示。

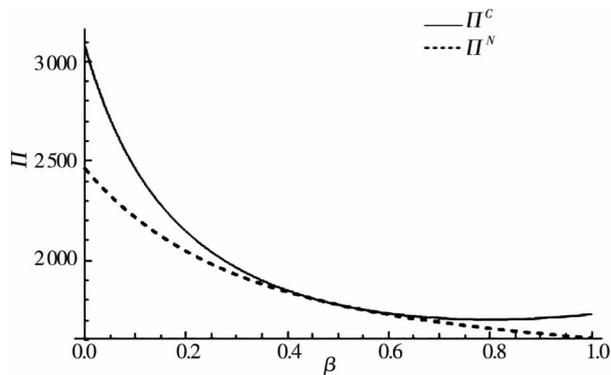
从图 8 可以看出, 当溢出水平足够高时, 研发合作能够增加行业总研发投入、总产出、总利润, 同时提高消费者剩余, 实现社会福利最大化. 这一结果与前文的结论一致, 因此本文的结论具有一定的稳健性, 本研究能够为政府制定相关政策提供理论依据. 由于市场结果可能是无效的, 政府有必要进行干预. 当行业内技术溢出水平较低时, 通过制定相关法律法规禁止企业研发“合谋”或者增加企业间的“串通”成本, 以避免社会福利损失. 当溢出水平比较高时, 采取适当措施激发企业的创新活力, 增强企业的研发合作意愿: 一方面, 实施更多惠及中小企业的研发激励政策, 如降低研发补贴申报门槛、放宽贷款条件、提供多元化的融资渠道等, 在资金、技术上给予支持, 缓解其面临的研发压力; 另一方面, 加强对大企业的宣传教育, 消除其合作顾虑, 鼓励、引导大企业与中小企业建立研发合作.



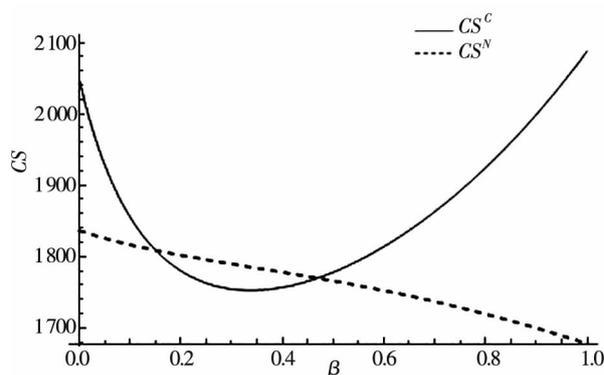
(a)



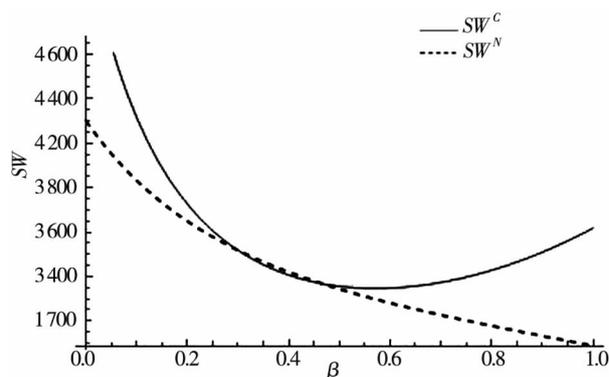
(b)



(c)



(d)



(e)

图 8 $X^k, Q^k, \Pi^k, CS^k, SW^k (k = C, N)$ 随 β 的变化趋势

Fig. 8 The trends of $X^k, Q^k, \Pi^k, CS^k, SW^k (k = C, N)$ with β increasing

5 结束语

在新一轮科技革命和产业变革的迅猛发展之下, 企业持续创新成为常态. 面对高昂的研发成本和不可控的研发风险, 企业往往通过研发合作以降低成本, 把控风险, 提高竞争力. 尤其对于资金、技术相对薄弱的中小企业而言, 寻求合作, 特别是与大企业建立合作, 是保障其在激烈的市场竞争

中不被淘汰的重要途径。

基于此,构建了三阶段动态博弈模型,研究了领导企业与追随企业的研发合作问题。一方面关注企业的研发合作现象,分析领导企业与追随企业的研发合作动机;另一方面考虑企业的序贯产量竞争,从而弥补了现有文献只侧重其中一个研究视角的不足。研究发现:第一,溢出水平对领导企业和追随企业的研发合作动机有重要影响。不同于静态博弈的情形,在序贯产量竞争中,只有当溢出系数在较低的范围时,两家企业在合作研发时的利润都高于独立研发的利润,此时领导企业和追随企业才会建立研发合作。第二,研发合作能够缩小领导企业和追随企业之间的利润差距,也可能会降低领导企业的产量份额或利润份额。从这一角度来看,研发合作可能会削弱领导企业

的市场势力。第三,研发合作不一定实现社会福利最大化,企业的研发合作决策可能会造成社会福利损失,即市场结果可能是无效的。因此,本文的研究为政府制定相关政策提供了借鉴:当行业的技术溢出水平较低时,应当采取必要的干预措施以避免企业串谋造成无效;相反,当行业的技术溢出水平较高时,为企业营造良好的创新环境,鼓励大企业与中小企业之间的研发合作,进而实现社会效率。

本文尚存在一些不足。首先,只考虑了两家企业的情形,而现实中多家企业的研发合作现象同样常见,因此未来将研究 $n(n \geq 2)$ 家企业的研发合作问题。其次,将 Stackelberg 博弈、Cournot 博弈和 Bertrand 博弈进行对比,或许能够得到更多有价值的结论,为企业管理和政府决策提供建议。

参考文献:

- [1] 解学梅. 中小企业协同创新网络与创新绩效的实证研究[J]. 管理科学学报, 2010, 13(8): 51-64.
Xie Xuemei. Empirical study on synergic innovative networks and innovation performance of SMEs[J]. Journal of Management Sciences in China, 2010, 13(8): 51-64. (in Chinese)
- [2] Grossman G, Shapiro C. Dynamic R&D Competition[J]. Economic Journal, 1987, 97(386): 372-387.
- [3] 仲为国, 李 兰, 路江涌, 等. 中国企业创新动向指数: 创新的环境、战略与未来——2017·中国企业家成长与发展专题调查报告[J]. 管理世界, 2017, (6): 37-50.
Zhong Weiguo, Li Lan, Lu Jiangyong, et al. Chinese enterprise innovation trend index: Innovative environment, strategy and future[J]. Management World, 2017, (6): 37-50. (in Chinese)
- [4] Katz M L. An analysis of cooperative research and development[J]. The RAND Journal of Economics, 1986, 17(4): 527-543.
- [5] López Á L, Vives X. Overlapping ownership, R&D spillovers, and antitrust policy[J]. Journal of Political Economy, 2019, 127(5): 2394-2437.
- [6] 王伟光, 马胜利, 姜 博. 高技术产业创新驱动中低技术产业增长的影响因素研究[J]. 中国工业经济, 2015, (3): 70-82.
Wang Weiguang, Ma Shengli, Jiang Bo. Research on high-tech industry innovation driving low-media-tech industry economic growth[J]. China Industry Economics, 2015, (3): 70-82. (in Chinese)
- [7] 孙晓华, 郭 旭, 王 昀. 政府补贴、所有权性质与企业研发决策[J]. 管理科学学报, 2017, 20(6): 18-31.
Sun Xiaohua, Guo Xu, Wang Yun. Government subsidy, ownership, and firms' R&D decisions[J]. Journal of Management Sciences in China, 2017, 20(6): 18-31. (in Chinese)
- [8] Hottenrott H, Lopes-Bento C. (International) R&D collaboration and SMEs: The effectiveness of targeted public R&D support schemes[J]. Research Policy, 2014, 43(6): 1055-1066.
- [9] 程新生, 赵 旸. 权威董事专业性、高管激励与创新活跃度研究[J]. 管理科学学报, 2019, 22(3): 40-52.
Cheng Xinsheng, Zhao Yang. Authoritative professional directors, executive incentives and innovation activity[J]. Journal of Management Sciences in China, 2019, 22(3): 40-52. (in Chinese)
- [10] 叶静怡, 林 佳, 张鹏飞, 等. 中国国有企业的独特作用: 基于知识溢出的视角[J]. 经济研究, 2019, 54(6): 40-54.

- Ye Jingyi, Lin Jia, Zhang Pengfei, et al. Understanding the unique role of state-owned enterprises: The knowledge spillover perspective[J]. *Economic Research Journal*, 2019, 54(6): 40–54. (in Chinese)
- [11] Jie Ning, Volodymyr Babich. R&D investments in the presence of knowledge spillover and debt financing: Can risk shifting cure free riding? [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2018, 20(1): 97–112.
- [12] Chu Yongqiang, Tian Xuan, Wang Wenyu. Corporate innovation along the supply chain[J]. *Management Science*, 2019, 65(6): 2445–2466.
- [13] Joel Goh, Mohsen Bayati, Stefanos A, et al. Uncertainty in Markov chains: Application to cost-effectiveness analyses of medical innovations[J]. *Operations Research*, 2018, 66(3): 697–715.
- [14] 王泓略, 曾德明, 陈培帧. 企业知识重组对技术创新绩效的影响: 知识基础关系特征的调节作用[J]. *南开管理评论*, 2020, 23(1): 53–61.
Wang Honglue, Zeng Deming, Chen Peizhen. A research on knowledge recombination and technology innovation performance: Moderate effect of knowledge elements relationship characteristic[J]. *Nankai Business Review*, 2020, 23(1): 53–61. (in Chinese)
- [15] Faccio M. Politically connected firms[J]. *American Economic Review*, 2006, 96(1): 369–386.
- [16] 温小琴, 胡奇英. 基于质量意识和工艺创新的供应链质量决策[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(2): 80–90.
Wen Xiaoqin, Hu Qiyang. Quality choice in a supply chain based on quality consciousness and process innovation[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(2): 80–90. (in Chinese)
- [17] 杨 晔, 朱 晨, 谈 毅. 技术创新与中小企业雇佣需求——基于员工技能结构的再审视[J]. *管理科学学报*, 2019, 22(2): 92–111.
Yang Ye, Zhu Chen, Tan Yi. The effect of innovation on employment in SMEs: A review based on the skill structure of employees[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(2): 92–111. (in Chinese)
- [18] 蒋军锋, 王 茜. 熊彼特竞争, 交叉效应与创新激励[J]. *管理科学学报*, 2016, 19(9): 79–93.
Jiang Junfeng, Wang Qian. Schumpeter competition, cross-effects, and innovation incentives[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(9): 79–93. (in Chinese)
- [19] 李 伟, 李 凯. 考虑渠道势力和研发溢出的竞争制造商研发决策研究[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(5): 196–207.
Li Wei, Li Kai. The innovation decisions of competitive manufactures when considering channel power and spillover[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(5): 196–207. (in Chinese)
- [20] Gersbach H, Schmutzler A. Endogenous spillovers and incentives to innovate[J]. *Economic Theory*, 2003, 21(1): 59–79.
- [21] 姚洪心, 吴伊婷. 绿色补贴、技术溢出与生态倾销[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(10): 47–60.
Yao Hongxin, Wu Yiting. Green subsidy, technology spillover and eco-dumping[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(10): 47–60. (in Chinese)
- [22] 李 静, 刘霞辉, 楠 玉. 提高企业技术应用效率, 加强人力资本建设[J]. *中国社会科学*, 2019, (6): 63–84, 205.
Li Jing, Liu Xiahui, Nan Yu. Improving the efficiency of enterprise technology application and strengthening the construction of human capital[J]. *Social Sciences in China*, 2019, (6): 63–84, 205. (in Chinese)
- [23] 葛泽慧, 胡奇英. 上下游企业间的研发协作与产销竞争共存研究[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(4): 12–22, 56.
Ge Zehui, Hu Qiyang. Collaborative R&D and competitive production in a supply chain[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(4): 12–22, 56. (in Chinese)
- [24] Banerjee S, Lin P. Downstream R&D, raising rivals' costs, and input price contracts[J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2003, 21(1): 79–96.
- [25] 贺一堂, 谢富纪. 基于量子博弈的产学研协同创新激励机制研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(6): 1435–1448.
He Yitang, Xie Fuji. Research on the incentive mechanism of the industry-university-insitute collaboration innovation based on the quantum gametheory[J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2019, 39(6): 1435–1448. (in Chinese)
- [26] 寿柯炎, 魏 江. 后发企业如何构建创新网络——基于知识架构的视角[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(9): 23

- 37.

- Shou Keyan, Wei Jiang. How to build innovation network for latecomers: From the perspective of knowledge configuration [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(9): 23 - 37. (in Chinese)
- [27] 李东红, 乌日汗, 陈 东. “竞合”如何影响创新绩效: 中国制造业企业选择本土竞合与境外竞合的追踪研究[J]. *管理世界*, 2020, 36(2): 161 - 181.
- Li Donghong, Wu Rihan, Chen Dong. How does coopetition influence innovation: A tracking study of Chinese manufacturing firms' domestic VS. cross-border coopetition[J]. *Management World*, 2020, 36(2): 161 - 181. (in Chinese)
- [28] 肖静华, 吴 瑶, 刘 意, 等. 消费者数据化参与的研发创新——企业与消费者协同演化视角的双案例研究[J]. *管理世界*, 2018, 34(8): 154 - 173, 192.
- Xiao Jinghua, Wu Yao, Liu Yi, et al. New product development innovation with customer digitalized engagement: A comparative case study from the firm-customer coevolutionary perspective[J]. *Management World*, 2018, 34(8): 154 - 173, 192. (in Chinese)
- [29] De Jong J P J, von Hippel E, Gault F, et al. Market failure in the diffusion of consumer-developed innovations: Patterns in Finland[J]. *Research Policy*, 2015, 44(10): 1856 - 1865.
- [30] Etgar M. A descriptive model of the consumer co-production process[J]. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 2008, 36(1): 97 - 108.
- [31] d'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and noncooperative R&D in duopoly with spillovers[J]. *The American Economic Review*, 1988, 78(5): 1133 - 1137.
- [32] Etro F. Innovation by leaders[J]. *The Economic Journal*, 2004, 114(495): 281 - 303.
- [33] Amir M, Amir R, Jin J. Sequencing R&D decisions in a two-period duopoly with spillovers[J]. *Economic Theory*, 2000, 15(2): 297 - 317.
- [34] Cellini R, Lambertini L. Dynamic R&D with spillovers: Competition VS cooperation[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2009, 33(3): 568 - 582.
- [35] Ghosh A, Morita H. Knowledge transfer and partial equity ownership[J]. *The RAND Journal of Economics*, 2017, 48(4): 1044 - 1067.
- [36] Che Y K, Gale I. Optimal design of research contests[J]. *American Economic Review*, 2003, 93(3): 646 - 671.
- [37] Letina I, Schmutzler A. Inducing variety: A theory of innovation contests[J]. *International Economic Review*, 2017, 60(4): 1757 - 1780.
- [38] Ge Z, Hu Q, Xia Y. Firms' R&D cooperation behavior in a supply chain[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(4): 599 - 609.
- [39] Belderbos R, Carree M, Lokshin B. Cooperative R&D and firm performance[J]. *Research Policy*, 2004, 33(10): 1477 - 1492.
- [40] Levin R C, Reiss P C. Cost-reducing and demand-creating R&D with spillovers[J]. *The Rand Journal of Economics*, 1988, 19(4): 538 - 556.
- [41] Goyal S, Moraga-Gonzalez J L. R&D networks[J]. *RAND Journal of Economics*, 2001, 32(4): 686 - 708.
- [42] König M D, Battiston S, Napoletano M, et al. Recombinant knowledge and the evolution of innovation networks[J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 2011, 79(3): 145 - 164.
- [43] Marinucci M, Vergote W. Endogenous network formation in patent contests and its role as a barrier to entry[J]. *The Journal of Industrial Economics*, 2011, 59(4): 529 - 551.
- [44] Brown M G, Svenson R A. Measuring R&D productivity[J]. *Research-Technology Management*, 1988, 31(4): 11 - 15.
- [45] Czarnitzki D, Etro F, Kraft K. Endogenous market structure and innovation by leaders: An empirical test[J]. *Economica*, 2014, 81(321): 117 - 139.
- [46] Harabi N. Innovation through vertical relations between firms, suppliers and customers: A study of German firms[J]. *Industry and Innovation*, 1998, 5(2): 157 - 179.
- [47] Riggs W, Von Hippel E. Incentives to innovate and the sources of innovation: The case of scientific instruments[J]. *Research Policy*, 1994, 23(4): 459 - 469.
- [48] Bendoly E, Bharadwaj A, Bharadwaj S. Complementary drivers of new product development performance: Cross-functional

- coordination, information system capability, and intelligence quality[J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(4): 653 – 667.
- [49] Dae-Hee Yoon. Supplier encroachment and investment spillovers[J]. *Production and Operations Management*, 2016, 25(11): 1839 – 1854.
- [50] Inderst R, Wey C. Buyer power and supplier incentives[J]. *European Economic Review*, 2007, 51(3): 647 – 667.
- [51] 孙晓华, 郑 辉. 买方势力对工艺创新与产品创新的异质性影响[J]. *管理科学学报*, 2013, 16(10): 25 – 39.
Sun Xiaohua, Zheng Hui. Heterogeneity influence of buyers' power on process innovation and product innovation: Model and empirical test[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2013, 16(10): 25 – 39. (in Chinese)
- [52] Kamien M I, Muller E, Zang I. Research joint ventures and R&D cartels[J]. *The American Economic Review*, 1992, 82(5): 1293 – 1306.
- [53] Qiu L D. On the dynamic efficiency of bertrand and cournot equilibria[J]. *Journal of Economic Theory*, 1997, 75(1): 213 – 229.
- [54] Petrakis E, Tsakas N. The effect of entry on R&D networks[J]. *The RAND Journal of Economics*, 2018, 49(3): 706 – 750.
- [55] Gupta S. Research note: Channel structure with knowledge spillovers[J]. *Marketing Science*, 2008, 27(2): 247 – 261.
- [56] Von Stengel B, Zamir S. Leadership games with convex strategy sets[J]. *Games and Economic Behavior*, 2010, 69(2): 446 – 457.
- [57] Madden P, Pezzino M. Endogenous price leadership with an essential input[J]. *Games and Economic Behavior*, 2019, 118: 47 – 59.
- [58] Farrell J, Shapiro C. Horizontal mergers: An equilibrium analysis[J]. *The American Economic Review*, 1990: 107 – 126.
- [59] Amir R, Evstigneev I, Wooders J. Noncooperative versus cooperative R&D with endogenous spillover rates[J]. *Games and Economic Behavior*, 2003, 42(2): 183 – 207.
- [60] 胡志强, 祝文达, 陈赛飞. 企业 IPO 对同行业上市公司的影响: 竞争效应还是信息溢出效应? ——基于动态产品市场竞争的微分博弈模型与实证研究[J]. *管理科学学报*, 2019, 22(6): 57 – 72.
Hu Zhiqiang, Zhu Wenda, Chen Saifei. Competition effect or information spillover effect of IPO on peer listed firms: A differential game model and empirical study based on dynamic product market competition[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(6): 57 – 72. (in Chinese)

Research on the motivation for R&D cooperation between firms based on sequential game

ZHOU Xiao-han¹, ZHANG Jiang-hua¹, XU Jin^{1, 2*}

1. School of Management, Shandong University, Jinan 250100, China;

2. School of Mathematics, Shandong University, Jinan 250100, China

Abstract: Innovation is a major proposition in today's era. Firms have to innovate continuously to enhance their competitiveness in the market, but have to seek R&D cooperation due to increasing expenses and output uncertainty in R&D. This paper explores the motivation for R&D cooperation between leader and follower firms with technological spillovers, and highlights the impact of R&D cooperation on firms' market power, total R&D investment of industry and social welfare. How the government can maximize the social welfare at different spillover levels is also discussed. A three-stage dynamic game model is established, where both the leader and the follower decide whether to establish R&D cooperation in the first stage, choose the R&D level in the second stage, and conduct sequential production competition in the third stage. The following results are derived. First, unlike the result of static games, only when spillover is within a relatively low range in sequential pro-

duction competition, will the leader and the follower establish R&D cooperation. Second, the R&D cooperation may reduce the market power of leaders. Third, the market outcomes may be not Paretoefficient. Thus, the re-search provides a theoretical basis for the government to formulate relevant policies.

Key words: innovation; R&D cooperation; spillover effect; sequential game; social welfare

附录

γ 取值范围的证明

对式(8)关于 x_1 求二阶导数,得到

$$\frac{\partial^2 \pi_1}{\partial x_1^2} = \frac{1}{4}(\beta^2 - 4\beta - 4\gamma + 4)$$

令上式小于零可得 $\gamma > \frac{1}{4}(\beta^2 - 4\beta + 4)$; 由 $0 \leq \beta \leq 1$ 知, $\frac{1}{4}(\beta^2 - 4\beta + 4) \leq 1$, 因此: $\gamma > 1$.

类似的,对式(9)关于 x_2 求二阶导数并令其小于零可得 $\gamma > \frac{9}{8}$;

根据海瑟矩阵的负定性,式(19)的海塞矩阵一阶主子式为负,二阶主子式为正.一阶主子式

$$\begin{cases} \frac{1}{8}(12 - 20\beta + 11\beta^2 - 8\gamma) < 0 \\ \frac{1}{8}(11 - 20\beta + 12\beta^2 - 8\gamma) < 0 \end{cases}$$

由 $0 \leq \beta \leq 1$, 得到 $\gamma > \frac{3}{2}$;

二阶主子式

$$\left[\frac{1}{8}(12 - 20\beta + 11\beta^2 - 8\gamma) \right] \left[\frac{1}{8}(11 - 20\beta + 12\beta^2 - 8\gamma) \right] - \left[\frac{1}{8}(-10 + 23\beta - 10\beta^2) \right]^2 > 0,$$

化简上式 $4 - 23\gamma + 8\gamma^2 + 40\beta\gamma - \beta^2(8 + 23\gamma) + 4\beta^4 > 0$, 可得 $\gamma > 2.689$.

结合以上四种情形, $\gamma > 2.689$.

命题 1 的证明

令 $\Delta\pi_i$ 表示企业 i 在合作研发和独立研发时的利润差, 即 $\Delta\pi_i = \pi_i^{C^*} - \pi_i^{N^*}$ ($i = 1, 2$). 若 $\Delta\pi_i \geq 0$, 则企业 i 有合作意愿. 当且仅当 $\Delta\pi_1 \geq 0$ 且 $\Delta\pi_2 \geq 0$ 时, 两家企业才能建立研发合作.

将式(14)、式(23)代入 $\Delta\pi_1 = \pi_1^{C^*} - \pi_1^{N^*}$ 可得

$$\Delta\pi_1 = 2 \left(\frac{(5 + 5\beta - 2\beta^2)^2(-12 - 4\beta + \beta^2)}{(66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4)^2} + \frac{8 + 56\beta + 64\beta^2 - 102\beta^3 + 28\beta^4 + 2\beta^5 - \beta^6}{(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)^2} \right);$$

将式(16)、式(25)代入 $\Delta\pi_2 = \pi_2^{C^*} - \pi_2^{N^*}$ 可得

$$\Delta\pi_2 = 2 \left(\frac{(-2 - 3\beta + \beta^2)^2(-23 - 12\beta + 4\beta^2)}{(66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4)^2} + \frac{2 + 24\beta + 51\beta^2 - 78\beta^3 + 23\beta^4 + 2\beta^5 - \beta^6}{(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)^2} \right).$$

根据两家企业建立研发合作的条件, 联立方程
$$\begin{cases} 0 \leq \beta \leq 1 \\ \Delta\pi_1 \geq 0 \\ \Delta\pi_2 \geq 0 \end{cases}$$
, 解得 $0.025 \leq \beta \leq 0.328$.

命题 3 的证明

1) 合作研发

令 $\Delta\pi^C$ 表示合作研发时领导企业和追随企业的利润差距, 即 $\Delta\pi^C = \pi_1^{C^*} - \pi_2^{C^*}$. 将式(14)、式(15)代入 $\Delta\pi^C = \pi_1^{C^*} - \pi_2^{C^*}$ 可得 $\Delta\pi^C = \frac{6 + 32\beta + 13\beta^2 - 24\beta^3 + 5\beta^4}{2(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)^2}$.

2) 独立研发

令 $\Delta\pi^N$ 表示独立研发时领导企业和追随企业的利润差距, 即 $\Delta\pi^N = \pi_1^{N^*} - \pi_2^{N^*}$. 将式(23)、式(24)代入 $\Delta\pi^N = \pi_1^{N^*} - \pi_2^{N^*}$ 可得 $\Delta\pi^N = \frac{16(26 + 47\beta - \beta^2 - 18\beta^3 + 4\beta^4)}{(66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4)^2}$.

使用 Mathematica 软件绘图,结果如图 5 所示.

命题 4 的证明

1) 产量份额

$\frac{q_1^C}{Q^C} = \frac{q_1^{C*}}{q_1^{C*} + q_2^{C*}}$ 表示两家企业合作研发时领导企业的产量份额,即领导企业的均衡产出与市场总产出之比,代入式

(21)、式(22)可得 $\frac{q_1^C}{Q^C} = \frac{3 + 10\beta - 5\beta^2}{4 + 16\beta - 8\beta^2}$;

$\frac{q_1^N}{Q^N} = \frac{q_1^{N*}}{q_1^{N*} + q_2^{N*}}$ 表示两家企业独立研发时领导企业的产量份额,代入式(12)、式(13)可得 $\frac{q_1^N}{Q^N} = \frac{5 + 5\beta - 2\beta^2}{7 + 8\beta - 3\beta^2}$.

使用 Mathematica 软件绘图,如图 6(a) 所示,求两条函数曲线的交点可联立方程 $\begin{cases} 0 \leq \beta \leq 1 \\ \frac{q_1^C}{Q^C} = \frac{q_1^N}{Q^N} \end{cases}$, 解得 $\beta_1 =$

0.194, $\beta_2 = 1$.

2) 利润份额

$\frac{\pi_1^C}{\Pi^C} = \frac{\pi_1^{C*}}{\pi_1^{C*} + \pi_2^{C*}}$ 表示两家企业合作研发时领导企业的利润份额,即领导企业的均衡利润与总利润之比,代入式

(23)、式(24)可得

$$\frac{\pi_1^C}{\Pi^C} = \frac{-8 - 56\beta - 64\beta^2 + 102\beta^3 - 28\beta^4 - 2\beta^5 + \beta^6}{(-1 - 4\beta + 2\beta^2)(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)}$$

$\frac{\pi_1^N}{\Pi^N} = \frac{\pi_1^{N*}}{\pi_1^{N*} + \pi_2^{N*}}$ 表示两家企业独立研发时领导企业的利润份额,代入式(14)、式(15)可得

$$\frac{\pi_1^N}{\Pi^N} = \frac{(5 + 5\beta - 2\beta^2)^2(-12 - 4\beta + \beta^2)}{2(-196 - 512\beta - 239\beta^2 + 198\beta^3 + 53\beta^4 - 36\beta^5 + 4\beta^6)}$$

使用 Mathematica 软件绘图,如图 6(b) 所示,求两条函数曲线的交点可联立方程 $\begin{cases} 0 \leq \beta \leq 1 \\ \frac{\pi_1^C}{\Pi^C} = \frac{\pi_1^N}{\Pi^N} \end{cases}$, 解得 $\beta_1 = 0.096$,

$\beta_2 = 0.575$.

$X^k, CS^k, SW^k (k = C, N)$ 的表达式

由 $X^C = x_1^{C*} + x_2^{C*}$, 代入式(19)、式(20)可得

$$X^C = \frac{12\beta + 4\beta^2 - 4\beta^3}{40 + 160\beta - 100\beta^2 + 4\beta^4} + \frac{4 + 8\beta + 4\beta^2 - 4\beta^3}{40 + 160\beta - 100\beta^2 + 4\beta^4} = \frac{1 + 5\beta + 2\beta^2 - 2\beta^3}{10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4}$$

由 $X^N = x_1^{N*} + x_2^{N*}$, 代入式(10)、式(11)可得

$$X^N = \frac{(2\beta - 3)(2 + 3\beta - \beta^2)}{66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4} + \frac{(2 - \beta)(5 + 5\beta - 2\beta^2)}{66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4} = \frac{16 + 10\beta - 18\beta^2 + 4\beta^3}{66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4}$$

由 $CS^{C*} = \frac{1}{2} (q_1^{C*} + q_2^{C*})^2$, 代入式(21)、式(22)可得 $CS^{C*} = \frac{32(1 + 4\beta - 2\beta^2)^2}{(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)^2}$

由 $CS^{N*} = \frac{1}{2} (q_1^{N*} + q_2^{N*})^2$, 代入式(12)、式(13)可得 $CS^{N*} = \frac{32(7 + 8\beta - 3\beta^2)^2}{(66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4)^2}$

由 $SW^C = \pi_1^{C*} + \pi_2^{C*} + CS^{C*}$ 可得 $SW^C = \frac{(1 + 4\beta - 2\beta^2)(74 + 296\beta - 153\beta^2 + \beta^4)}{2(10 + 40\beta - 25\beta^2 + \beta^4)^2}$

由 $SW^N = \pi_1^{N*} + \pi_2^{N*} + CS^{N*}$ 可得

$$SW^N = \frac{4(588 + 1408\beta + 415\beta^2 - 582\beta^3 + 19\beta^4 + 36\beta^5 - 4\beta^6)}{(66 + 73\beta - 28\beta^2 + 7\beta^3 - 2\beta^4)^2}$$