



技术互补性、产品可替代性 与企业研发合作

石光

北京大学 光华管理学院, 北京 100871

摘要:为探究研发合作的最优机制和影响因素,从企业微观层面构建两阶段双寡头动态博弈模型,比较知识溢出效应下4种企业研发合作方式,并通过比较静态分析方法研究技术互补性和产品可替代性对创新的影响。研究表明,在古诺竞争下,同时在研发投入和产出上进行合作是最佳合作机制;当溢出效应和研发成本足够高时,仅在研发产出上合作是最差合作机制,而且各种研发合作机制产生的成果都小于社会最优水平。当技术互补性对知识溢出的抑制作用大于对研发的促进作用时,企业应当选择技术互补性小的企业进行研发合作,否则应当选择技术互补性尽可能小或尽可能大的企业进行研发合作,合作企业产品可替代性总会抑制创新。

关键词:知识溢出效应;研发合作;技术互补性;产品可替代性

中图分类号:F273.1

文献标识码:A

文章编号:1672-0334(2012)05-0022-08

1 引言

企业间的知识溢出效应是指企业可以通过观察其他企业的产品技术,低成本地学习其他企业的创新,提高自身研发效率。溢出效应是广泛存在的, Jaffe^[1]分析432家美国企业数据发现,研发的溢出效应极为显著,企业单位研发投入产生的专利数量与同行业其他企业的研发投入呈正相关关系。然而,知识溢出效应却面临着一个矛盾,一方面它有利于技术扩散,增加社会福利;另一方面它使研发企业的竞争对手获益,长期看不利于社会福利。Dasgupta^[2]认为,如果溢出效应足够普遍,企业就会愿意做跟从的模仿者,减少研发投入,等待从其他企业创新的溢出效应中获益。

溢出效应削弱了企业研发的激励,一个解决方法是成立研发合资企业(research joint venture, RJV)。Grossman等^[3]定义研发合资企业为由至少两个母公司联合控制、从事研发活动的组织。合作企业可以相互协调,减少重复研发的浪费,克服溢出效应带来

的外部性,也能投资更大的研发项目。合作研发与反垄断并不矛盾,因为它只在研发阶段合作,在产品市场上必须保持竞争;而产品市场垄断会减少产量、提高价格,不利于社会福利。

本研究比较不同研发合作方式的优劣,探讨如何选择研发合作伙伴以及合作研发能否增加社会福利,构建两阶段双寡头博弈模型,并引入合作企业之间的技术互补性和产品可替代性,讨论二者对企业研发的影响。

2 相关研究评述

(1)在企业微观层面上,很多研究通过博弈模型分析溢出效应下的企业研发合作。与本研究联系最为密切的是d'Aspremont等^[4]的研究,他们构建两阶段模型分析企业研发合作机制,企业在第一阶段选择是否进行研发合作,它决定了第二阶段的生产成本;第二阶段是产品市场阶段,企业选择竞争或合作以使目标利润最大化;他们发现在溢出率足够大时,

收稿日期:2011-11-17 修返日期:2012-06-27

基金项目:2009年北京大学笹川良一优秀青年奖学金基金

作者简介:石光(1985-),男,山东肥城人,北京大学光华管理学院博士研究生,研究方向:产业组织和博弈论等。

E-mail:shiguang1@gsm.pku.edu.cn

合作研发并保持产品市场竞争能提高企业研发投入和产量,而两阶段都合作能够提高研发投入,但降低了产量。Suzumura^[5]将模型扩展到有多个企业的情况,发现在溢出率较大时,无论合作研发还是非合作研发,都不能达到社会福利水平。Kamien等^[6]构建多企业的两阶段模型,并比较不同合作机制的效果。Cellini等^[7]进一步将溢出效应下的研发合作模型向动态化方向拓展。Spence^[8]认为,在溢出率较大时合作研发能够带来更大的技术进步。Aschhoff等^[9]发现,企业研发合作能够有效降低生产成本。López^[10]和Chun等^[11]分别基于西班牙和韩国企业的检验溢出效应对企业研发合作的影响。

早期研究大多假定溢出率外生,这不甚合理。Mansfield等^[12]发现,企业模仿的成本很大,甚至占其研发成本的65%,企业自身的技术基础、模仿投入和努力程度会决定其对溢出的吸收能力,溢出率内生决定;Gersbach等^[13]通过企业员工流动将溢出率内生;Leahy等^[14]、Mancusi^[15]、Knott^[16]、Lhuillery^[17]和Schmidt^[18]也通过内生溢出模型进一步分析研发中技术溢出效应的具体特征。

(2)很多研究从国家或产业层面对溢出效应进行探讨。国际贸易是国家间溢出效应的一个重要原因,Coe等^[19]发现,通过发达国家之间、发达国家与发展中国家之间的国际贸易,各国都从其贸易伙伴国的研发中获益很大;Grossman等^[20]认为,国际贸易产生技术溢出的4种主要途径,即通过贸易购买先进的产品设备、国际贸易提供相互交流学习的渠道、国际合同可以使一国得到其他国家的技术以及通过模仿学习国外先进技术;Caves^[21]认为一国企业的生产力会因溢出效应而提高;Haddad等^[22]发现FDI与接受国经济表现之间负相关;Buckley等^[23]认为不同结论的原因可能是忽视了一些重要因素,如对溢出的具体测算方式不同;Bosetti等^[24]研究国际间的技术溢出对温室气体排放的影响;Zhang等^[25]、Crespo等^[26]、Fu^[27]、Javorcik等^[28]和Nguyen等^[29]都分析了FDI对本国企业的溢出效应。

(3)中国国内的研究大多关注外商直接投资带来的知识溢出效应。袁诚等^[30]考察外资对民营企业家人力资本积累的溢出效应;吴波^[31]研究溢出效应对产业集群的影响;陈继勇等^[32]发现外商直接投资对国内经济活动的溢出效应并不显著;蒋殿春等^[33]认为中国制度环境不完善是限制外商直接投资溢出效应的重要因素;赵勇等^[34]综述了知识溢出效应的相关文献。在微观层面上,易江等^[35]分析寡头厂商的研发决策问题,深入讨论独立研发和合作研发的决策结果。

现有研究忽视了影响企业研发合作的一个重要因素,即研发合作企业之间的技术互补性。技术互补性是指进行研发合作的企业之间的技术互补程度。互补性越大,则研发合作的空间越大,容易通过技术交叉互补相互启发,降低研发成本。互补性小的企业往往技术较为相似,但它们之间的溢出率会

更高,因为二者更容易相互模仿。因此本研究假设,合作企业之间的技术互补性会促进研发效率、抑制溢出效应。

本研究在企业层面上构建博弈模型,比较均衡时4种研发合作机制的优劣,并探讨技术互补性和产品可替代性对创新的影响。从研发投入和产出两个维度可以将研发合作机制分为4类。在投入上按是否共同投资划分为合作与不合作两种方式,即合作是两家企业共同投资研发,目标是利润之和最大化;不合作是每个企业各自分别投资研发,目标是自身利润最大化。在产出上按研发成果是否充分共享分为研发合资企业和R&D两种方式,在此RJV和R&D是本研究采用的狭义概念,RJV是指对研发结果充分共享,即溢出率为1,R&D即自然溢出状态。将以上分类组合起来,研发合作可以分为R&D合作、R&D不合作、RJV合作、RJV不合作4种方式。这与Kamien等^[6]的分类方式一致,但不同于Kamien等^[6]的研究,本研究特别讨论技术互补性和产品可替代性对企业研发合作的影响。

3 基本模型

考虑一个两阶段双寡头模型。在第一阶段,两家企业进行研发投资,这能降低其产品生产成本;在第二阶段,两家企业在产品市场上进行古诺竞争。

假设市场上有两家企业, $i=1,2$,它们的技术互补性为 s , $0 \leq s \leq 1$;二者生产的产品是异质的, r 为其产品可替代性, $0 \leq r \leq 1$; q_i 为企业 i 的产量, p_i 为企业 i 面临的市场价格。逆需求函数为

$$\begin{aligned} p_i &= a - b(q_i + rq_j) \\ i &= 1, 2 \quad i \neq j \end{aligned} \quad (1)$$

其中, j 为两家企业中除 i 以外的另一家企业, q_j 为企业 j 的产量, a 和 b 都是大于0的常数。 $r=0$ 表示两家企业分属不同行业, $r=1$ 表示两家企业的产品是完全可替代的。企业 i 的初始单位产品生产成本为 c_i ,假设无固定成本,而且 $a > c_i$ 。

在第一阶段,两企业同时投资研发,研发可以独立或合作进行,它决定了企业在第二阶段的生产成本。 x_i 为企业 i 的研发成果,它等于企业研发产生的单位产品生产成本减少量。企业的研发成本函数记为 $c_{R\&D}$,下标R&D代表研发,假设其取决于(2)式,即

$$\begin{aligned} c_{R\&D}(s, x_i) &= \frac{\lambda(s)}{2} x_i^2 \\ s &\in [0, 1] \end{aligned} \quad (2)$$

其中, x_i^2 表明研发存在边际递减效应; $\lambda(s)$ 为研发成本系数,值越大则研发的边际递减效应越强,它是两企业技术互补性 s 的函数,下面的假设1会进一步解释。研发成本函数的反函数可以理解为研发生产函数。

假设两家企业之间存在溢出效应,溢出率为 $\theta(s)$ 。企业 i 在第二阶段的单位产品生产成本记为 c_{i2} ,通过研发,生产成本变为

$$c_{i2} = c_i - x_i - \theta(s)x_j \quad (3)$$

(3)式表明生产成本减少量等于企业自身的研发成果与通过溢出效应从对方研发成果中的获益之和。

研发是一个不断试错的过程。如果溢出率为0,则虽然研发企业可以防止技术外溢,占有研发创新带来的全部利润,但每个企业都要独立完成所有研发过程,无法借鉴其他企业的经验,存在重复研发,对于社会而言不是帕累托最优的。因此,一定程度的溢出效应可能有利于社会福利。

在下面分析中做如下假设。

假设1 研发成本系数 $\lambda(s)$ 满足如下性质,即

$$\lambda(s) \geq 0, \lambda'(s) \leq 0, \lambda''(s) \leq 0$$

假设1表明企业技术互补性 s 对企业研发创新具有促进作用,它反映在对研发成本的影响上,即 s 越大,研发成本越低,而且促进作用边际递增。

假设2 溢出率 $\theta(s)$ 满足如下性质,即

$$0 \leq \theta(s) \leq 1, \theta'(s) \leq 0, \theta''(s) \geq 0$$

假设2表明溢出率在 $[0,1]$ 范围内,而且企业技术互补性 s 会抑制溢出效应;技术互补性小的企业之间可以模仿的技术少,所以溢出率比较低,而技术互补性较大的企业间溢出率较高。

4 均衡

下面根据逆推归纳法分别求解4种不同研发合作机制下的子博弈完美纳什均衡。

4.1 第二阶段

两家企业在产品市场上进行古诺竞争。企业 i 在第二阶段的利润函数记为 ϕ_{i2} ,即

$$\phi_{i2} = \{a - b(q_i + rq_j) - [c_i - x_i - \theta(s)x_j]\}q_i \quad (4)$$

其中, ϕ_{i2} 为企业 i 的销售收入减去生产成本。假定企业研发产生的成本减少量 x_i 给定,根据 ϕ_{i2} 对产量 q_i 的一阶条件,可得古诺竞争下纳什均衡为

$$q_i = \frac{2}{b(4-r^2)} \left\{ (a-c_i) - \frac{r}{2}(a-c_j) + \left[1 - \frac{r}{2}\theta(s) \right] x_i + \left[\theta(s) - \frac{r}{2} \right] x_j \right\} \quad (5)$$

均衡时利润函数可以表示为

$$\phi_{i2} = bq_i^2 \quad (6)$$

证明:

由(4)式得, ϕ_{i2} 的导数为

$$(\phi_{i2})' = \{a - b(q_i + rq_j) - [c_i - x_i - \theta(s)x_j]\} - bq_i \quad (7)$$

令(7)式等于0,则

$$\{a - b(q_i + rq_j) - [c_i - x_i - \theta(s)x_j]\} = bq_i \quad (8)$$

将(8)式代入(4)式即得(6)式。证毕。

因此,利润 ϕ_{i2} 与产量 q_i 正相关。同时由(1)式知,市场价格 p_i 与产量 q_i 负相关。

4.2 第一阶段

第一阶段是研发阶段,根据 d' Aspremont 等^[4]的模型,假设企业 i 在第一阶段的收益函数 ϕ_{i1} 为

$$\phi_{i1} = bq_i^2 - \frac{\lambda(s)}{2} x_i^2 \quad (9)$$

ϕ_{i1} 反映了产量、价格和研发成本对企业研发决策的影响。

企业可以采取4种不同的研发合作方式,分别论述如下。

4.2.1 R&D不合作

两家企业在研发投入和产出上都不合作。双方各自同时进行研发投资,目标是自身利润最大化,对研发成果只保持自然溢出状态。产量 q_i 由(5)式给定, ϕ_{i1} 对研发成果 x_i 的一阶条件为

$$\frac{\partial \phi_{i1}}{\partial x_i} = 2bq_i \frac{\partial q_i}{\partial x_i} - \lambda(s)x_i = 0 \quad (10)$$

假设两家企业 i 和 j 是对称的,即初始单位产品生产成相等,研发成果相等,即

$$c_i = c_j = c \quad x_i = x_j = x^{DN}$$

其中, c 为企业 i 和 j 的初始单位产品生产成; x^{DN} 为 i 和 j 的研发成果,上标 DN 表示在研发产出上不合作、研发投资也不合作。

由此可得,均衡研发成果为

$$x^{DN} = \frac{a-c}{\frac{b\lambda(s)(2-r)(2+r)^2}{2[2-r\theta(s)]} - [1+\theta(s)]} \quad (11)$$

将(11)式代入(5)式、(6)式和(1)式,可相应得到R&D不合作时的均衡产出、利润和价格。

4.2.2 R&D合作

两家企业在研发投入上合作,但产出上不合作。双方共同进行研发投资,目标是双方利润之和最大化,对研发成果没有充分的信息共享,只保持自然溢出状态。

两家企业在第一阶段的收益函数 ϕ_1 为双方收益之和,即

$$\phi_1 = \phi_{i1} + \phi_{j1} = b(q_i^2 + q_j^2) - \frac{\lambda(s)}{2}(x_i^2 + x_j^2) \quad (12)$$

产量 q_i 由(5)式给定, ϕ_1 对研发成果 x_i 的一阶条件为

$$\frac{\partial \phi_1}{\partial x_i} = 2b(q_i \frac{\partial q_i}{\partial x_i} + q_j \frac{\partial q_j}{\partial x_i}) - \lambda(s)x_i = 0 \quad (13)$$

假设企业 i 和 j 是对称的,用 x^{DC} 表示 i 和 j 的研发成果,上标 DC 表示在研发产出上不合作、仅在研发投入上合作。从而均衡研发成果为

$$x^{DC} = \frac{a-c}{\frac{b\lambda(s)(2+r)^2}{2[1+\theta(s)]} - [1+\theta(s)]} \quad (14)$$

将(14)式代入(5)式、(6)式和(1)式,可相应得到R&D合作时的均衡产出、利润和价格。

4.2.3 RJV不合作

两家企业在研发投入上不合作,但在产出上合作。双方各自同时进行研发投资,目标是自身利润最大化,对研发成果进行充分的信息共享,即溢出率为1。产量 q_i 由(5)式给定,收益函数由(9)式给定,并假设两企业是对称的,求解可得

$$x^{VN} = \frac{a-c}{\frac{b\lambda(s)(2+r)^2}{2} - 2} \quad (15)$$

其中, x^{VN} 表示企业 i 和 j 的研发成果, 上标 VN 表示在研发产出上合作、在研发投入上不合作。

将(15)式代入(5)式、(6)式和(1)式, 可相应得到 RJV 不合作时的均衡产出、利润和价格。

4.2.4 RJV 合作

两家企业在研发投入和产出上都合作。双方共同进行研发投资, 目标是双方利润之和最大化, 对研发成果进行充分的信息共享, 即溢出率 θ 增大为 1。产量 q_i 由(5)式给定, 收益函数为(12)式, 假设两企业对称, 求解可得

$$x^{VC} = \frac{a-c}{\frac{b\lambda(s)(2+r)^2}{4} - 2} \quad (16)$$

其中, x^{VC} 表示企业 i 和 j 的研发成果, 上标 VC 表示研发产出合作、研发投入也合作。

将(16)代入(5)式、(6)式和(1)式, 可相应得到 RJV 合作时的均衡产出、利润和价格。

5 机制比较

下面对以上 4 种研发合作机制的均衡进行比较, 主要考察不同机制所产生的研发成果大小以及对应的产量、产品价格和利润。

定理 1 对于任意产品可替代性 r 和技术互补性 s , 4 种研发合作机制在均衡时研发成果 x 满足

$$x^{VC} \geq x^k \quad k = DN, DC, VN$$

证明略(有需要可向作者索取)。根据(2)式, 研发成果大意味着研发投入多, 因此定理 1 表明在 RJV 合作的机制下, 企业有最大的研发投入。这一结果的直观含义是, 在 RJV 合作机制下, 由于两家企业的目标是最大化双方利润之和, 使外部性得以内部化, 同时双方会完全共享研发成果, 减少了充分研发的浪费, 也有助于增加社会福利。因此, 相对于其他 3 种机制, RJV 合作能够产生最大的研发投入。

根据定理 1、(5)式、(6)式和(1)式可得引理 1。

引理 1 对于产品可替代性 r 和技术互补性 s 的任意值, 有

$$q^{VC} \geq q^k, \phi^{VC} \geq \phi^k, p^{VC} \leq p^k$$

引理 1 表明在 RJV 合作的研发合作机制下, 产品产量最大, 企业利润最高, 而市场价格最低。

定理 2 比较了除 RJV 合作之外其他 3 种研发合作机制的优劣。

定理 2 当 $\theta(s) \geq \frac{r}{2}$ 和 $\lambda(s) \geq \frac{2[2-r\theta(s)]}{br(2+r)^2}$ 时,

R&D 合作、R&D 不合作和 RJV 不合作所产生的研发成果满足 $x^{DC} \geq x^{DN} \geq x^{VN}$ 。

证明略(有需要可向作者索取)。定理 2 表明, 当溢出率较大且研发边际成本较高(即 $\theta(s)$ 和 $\lambda(s)$ 足够大)时, R&D 合作、R&D 不合作和 RJV 不合作所产生的研发投入量依次递减。分别解释如下。

$x^{DC} \geq x^{DN}$, 这两种机制均无研发产出合作。在自然溢出状态下, 企业投资研发会产生两种效应, 一是自己的生产成本降低, 提高竞争优势; 二是通过溢出

使竞争对手获益, 产品市场竞争更为激烈。在 R&D 不合作情况下, 后一效应使企业不能完全占有研发产生的利润, 减弱了企业研发激励。而在 R&D 合作时, 双方共同投资研发, 目的是利润之和最大化, 将外部性内部化了, 提高了企业投资研发的积极性。所以 $x^{DC} \geq x^{DN}$ 。

$x^{DN} \geq x^{VN}$, 这两种情况均无研发投入合作。在 RJV 不合作时, 合作企业追求自身利润最大化, 同时与对方完全共享研发成果, 因此研发成果是一种公共产品, 若无有效监督机制, 就会产生“搭便车”行为, 导致双方都减少研发投资, 因此 RJV 不合作的合作方式最不利于研发。而在 R&D 不合作时, 只有自然溢出, 研发成果不是完全的公共产品, 研发激励要强于 RJV 不合作方式。所以 $x^{DN} \geq x^{VN}$ 。

根据定理 2、(5)式、(6)式和(1)式可以得到不同研发合作机制下产品产量、利润和价格的关系。

引理 2 当 $\theta(s) \geq \frac{r}{2}$ 和 $\lambda(s) \geq \frac{2[2-r\theta(s)]}{br(2+r)^2}$ 时,

R&D 合作、R&D 不合作和 RJV 不合作所产生的产量、利润和价格满足 $q^{DC} \geq q^{DN} \geq q^{VN}, \phi^{DC} \geq \phi^{DN} \geq \phi^{VN}, p^{DC} \leq p^{DN} \leq p^{VN}$ 。

因此, 根据定理 1 和定理 2, RJV 合作是最佳研发合作方式; 在溢出率和研发边际成本较高时, 其他 3 种合作方式产生的研发创新由大到小分别为 R&D 合作、R&D 不合作、RJV 不合作。所以合作是促进研发的一个重要因素, 尤其是研发投入合作, 它将溢出效应产生的外部性内部化。而研发产出合作则不然, 单纯的研发产出合作(RJV 不合作)还不如完全不合作(R&D 不合作), 因为这很难监督, 容易产生道德风险问题。所以研发投入、产出都合作(RJV 合作)和仅在研发投入上合作(R&D 合作)是较优的合作机制, 而仅在研发产出上合作(RJV 不合作)是最差的合作机制。当然, 所有结论都要以产品市场竞争为前提。

6 技术互补性对创新的影响

在本模型中, 研发成果代表了创新水平, 技术互补性对研发创新的影响有两个渠道。首先, 直接影响是技术互补性会降低研发边际成本, 从而促进研发创新, 如(2)式所示; 其次, 间接影响是技术互补性会抑制溢出效应, 从而影响最优产量, 如(5)式所示, 进而影响研发创新。第一阶段收益函数(9)式更明显地反映了这两种影响, (9)式的第一项和第二项分别代表间接影响和直接影响。技术互补性对研发成果的净效应取决于这两种影响的大小关系, 下面将以具有一般性的 R&D 合作机制为代表, 探究技术互补性 s 对研发成果 x^{DC} 的影响。

首先定义 $\varepsilon_{\lambda,s} = -\frac{d\lambda(s)}{ds} \cdot \frac{s}{\lambda(s)}, \varepsilon_{\theta,s} = \frac{d[1+\theta(s)]}{ds}$ 。

$\frac{s}{1+\theta(s)} \circ \varepsilon_{\lambda,s}$ 为研发成本数 λ 对 s 的弹性, 反映了技术互补性对研发创新的直接影响; $\varepsilon_{\theta,s}$ 为溢出率 θ 对 s 的

弹性,反映了技术互补性对研发创新的间接影响。技术互补性 s 对研发成果 x^{DC} 的净效应如定理 3 所述。

定理 3 在均衡时,有

- (1) 若 $\varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$, 则 x^{DC} 对 s 严格递减;
- (2) 若 $\varepsilon_{\lambda,s} \geq \varepsilon_{\theta,s}$, 则 x^{DC} 对 s 呈 U 型关系, 最低点 s_0 满足如下条件, 即

$$b(2+r)^2 = \frac{2\theta'(s_0)[1+\theta(s_0)]^2}{\lambda'(s_0)[1+\theta(s_0)] - \lambda(s_0)\theta'(s_0)}$$

证明略(有需要可向作者索取)。企业有两种途径可以降低生产成本,一是自己进行研发创新,二是利用其他企业的溢出效应。技术互补性能够促进前者、抑制后者,分别由 $\varepsilon_{\lambda,s}$ 和 $\varepsilon_{\theta,s}$ 表示。

当 $\varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$ 时,技术互补性对研发的促进作用小于对溢出的抑制作用,所以提高技术互补性对降低生产成本的净效应为负,企业宁愿选择从溢出效应中受益,也不愿自己进行研发。如在 $0 = \varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$ 的极端情况下,提高技术互补性不会促进研发,只会抑制溢出。所以当 $\varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$ 时, x^{DC} 对 s 严格递减,如图 1 所示。

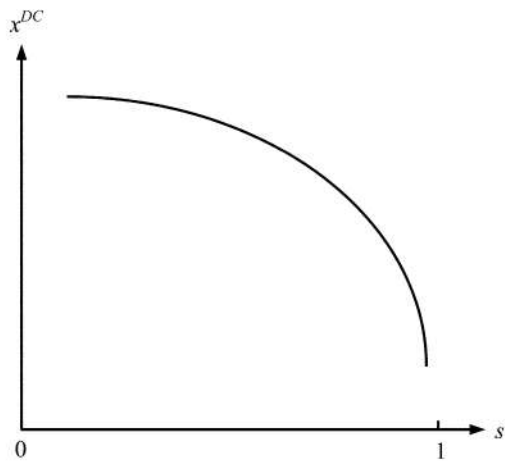


图 1 技术互补性对研发的影响: $\varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$
Figure 1 Effect of Technology Complementarity on R&D: $\varepsilon_{\lambda,s} < \varepsilon_{\theta,s}$

当 $\varepsilon_{\lambda,s} \geq \varepsilon_{\theta,s}$ 时,技术互补性对研发的促进作用大于对溢出的抑制作用。但是,当溢出效应较大时,随着技术互补性增加,初始时其对研发的促进作用不足以抵消其对溢出的抑制作用,所以 x^{DC} 会先减少;而当技术互补性足够大时,其对研发的促进作用最终将超过其对溢出的抑制作用,在此之后, x^{DC} 会逐步增加。所以当 $\varepsilon_{\lambda,s} \geq \varepsilon_{\theta,s}$ 时, x^{DC} 对 s 呈 U 型关系,如图 2 所示。

定理 3 表明,企业选择研发合作伙伴时,应当权衡技术互补性对溢出的抑制作用和对研发的促进作用。当技术互补性对溢出的抑制作用起主导时,企业应当选择技术互补性低的企业作为研发合作伙伴,否则将会限制企业从技术溢出效应中受益;当技术互补性对研发的促进作用起主导且溢出效应较大时,企业应当选择技术互补性尽可能低或尽可能高的企业作为研发合作伙伴。在第一种情况下,企业

仍可以利用溢出效应降低生产成本,而在第二种情况下,高技术互补性能够通过促进研发降低生产成本。所以,虽然自身研发和溢出效应都能降低生产成本,但当溢出效应较大时,企业更倾向于利用溢出效应,而非依靠自身研发。虽然这有利于企业自身,却不利于社会福利,下面将进一步讨论此问题。

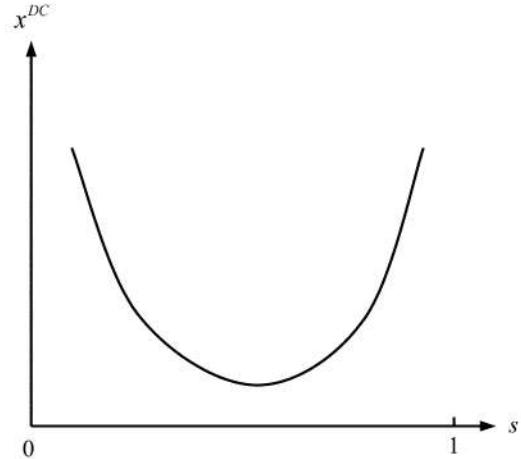


图 2 技术互补性对研发的影响: $\varepsilon_{\lambda,s} \geq \varepsilon_{\theta,s}$
Figure 2 Effect of Technology Complementarity on R&D: $\varepsilon_{\lambda,s} \geq \varepsilon_{\theta,s}$

7 产品可替代性对创新的影响

仍以 R&D 合作机制作为代表,分析产品可替代性 r 对研发创新 x^{DC} 的影响。

定理 4 均衡时, x^{DC} 随着 r 增大而减小,而且 r 对 x^{DC} 的影响边际递减。

证明略(有需要可向作者索取)。定理 4 表明,产品市场竞争越激烈,企业投资研发的激励就越小,如图 3 所示。因为存在溢出效应时企业的研发成果能够被竞争对手低成本得到,所以研发创新会随市场竞争强度提高而减少。

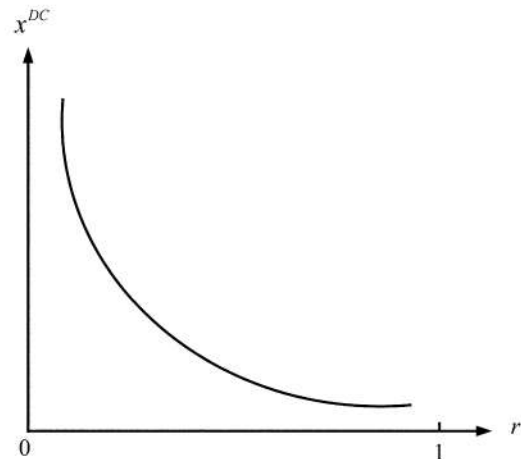


图 3 产品可替代性对研发的影响
Figure 3 Effect of Product Substitutability on R&D

8 社会福利分析

分析社会福利最大化时最优的研发创新量,并以此为标准衡量上述4种合作机制产生的研发创新是否最优。

定义社会福利函数为生产者剩余与消费者剩余之和,记为SW,即

$$SW = [a - b(q_i + rq_j)]q_i + [a - b(q_j + rq_i)]q_j - [c_i - x_i - \theta(s)x_j]q_i - [c_j - x_j - \theta(s)x_i]q_j - \frac{\lambda(s)}{2}(x_i^2 + x_j^2) \quad (17)$$

因为目标是社会福利最大化时的产品总产量和研发总投入量,因此不妨仍假设企业是对称的,即 $x_i = x_j = x, c_i = c_j = c, q_i = q_j = q$,则(17)式简化为

$$SW = 2[a - b(1+r)q]q - 2[c - [1 + \theta(s)]x]q - \lambda(s)x^2 \quad (18)$$

在第二阶段,由SW对 q 的一阶导数可得最佳产量为

$$q^* = \frac{(a - c) + [1 + \theta(s)]x}{2b(1+r)} \quad (19)$$

给定(19)式,在第一阶段,由SW对 x 的一阶导数可得社会最优研发成果为

$$x^* = \frac{a - c}{\frac{2b(1+r)\lambda(s)}{1 + \theta(s)} - [1 + \theta(s)]} \quad (20)$$

定理5 对于产品可替代性 r 、技术互补性 s 的任意值,均衡时R&D合作机制的研发成果不大于社会最优研发成果,即 $x^{DC} \leq x^*$ 。

证明略(有需要可向作者索取)。定理5表明,R&D合作机制产生的研发创新小于社会最优研发创新量。因为双方共同投资研发,消除了溢出产生的外部性,利于产生更多研发创新;但双方却不共享研发成果,即一家企业的创新难以被对方充分利用,所以社会福利增量要小于技术充分扩散时的增量;相对于社会期望的通过研发而产生的社会福利而言,研发创新是不足的。

由定理2和定理5可以得到如下结果。

引理3 当 $\theta(s) \geq \frac{r}{2}$ 和 $\lambda(s) \geq \frac{2[2 - r\theta(s)]}{br(2+r)^2}$ 时,R&D不合作和RJV不合作所产生的研发成果满足 $x^{VN} \leq x^{DN} \leq x^*$ 。

引理3表明,当溢出率较大、研发创新比较困难时,R&D不合作和RJV不合作机制产生的企业研发投入会不足,主要原因有两个,一是企业自身投资研发的成本较高,二是企业仅靠溢出也能有效降低生产成本。此外,在R&D不合作机制下,企业实际上在研发投入和产出上都没有合作,其研发成果自然小于社会最优水平;而在RJV不合作机制下,企业研发创新成为一种公共产品,这进一步减弱了企业创新的激励。

定理6 当 $(2+r)^2 \geq \frac{4[1 - \theta(s)]}{b\lambda(s)} + \frac{8(1+r)}{1 + \theta(s)}$ 时,均

衡时RJV合作机制产生的研发成果满足 $x^{VC} \leq x^*$ 。

证明略(有需要可向作者索取)。定理6不等式条件中的 $\theta(s)$ 是全社会范围内的平均溢出率,当社会平均溢出率和研发边际成本较高时,该条件更容易满足,在此情况下,甚至最优的研发合作机制(RJV合作)都难以达到社会最优水平。全社会范围内的高溢出率往往是由知识产权保护制度不完善造成的,所以加强知识产权保护对于促进创新尤为重要。

从以上结论可知,当溢出率较大且研发较困难时,研发投入量会不足,这是普遍性结论。但是,当溢出效应较小或研发成本较低时,R&D不合作、RJV合作、RJV不合作也可能导致研发投入过度,这不利于社会福利。因为过度的投资如果用在能带来更大边际收益的地方,则会产生更大的社会福利。政府可以通过税收等方式适当干预,使之达到理想水平。

9 结论

本研究通过动态博弈模型比较知识溢出效应下企业研发合作的4种机制。研究结果表明,同时在研发投入和产出上合作(即RJV合作机制)是最优的研发合作方式;当溢出效应和研发成本足够高时,仅在研发产出上合作(即RJV不合作机制)是最差合作机制;R&D合作和R&D不合作对创新的促进作用介于以上二者之间。d'Aspremont等^[4]认为合作研发并保持产品市场竞争有利于研发投入,但本研究的分析进一步表明,并非任何方式的研发合作都是有利的,如在溢出率较大时,RJV不合作就是较差的合作方式。

在选择研发合作伙伴时,企业需综合考虑技术互补性和产品可替代性等因素。通过比较静态分析,本研究进一步发现,当技术互补性对溢出的抑制作用大于其对创新的促进作用时,企业应当选择技术互补性较低的企业进行研发合作;否则,企业应当选择技术互补性尽可能低或尽可能高的企业进行研发合作,因为当技术互补性低时可以促进溢出,而当技术互补性高时可以促进自身研发,二者都能降低生产成本。高产品可替代性意味着市场竞争激烈,这不利于研发创新。从社会福利角度看,当溢出率和研发成本较高时,所有4种机制所产生的研发创新都达不到社会最优水平。

本研究结论有以下政策启示。首先,溢出效应过大会导致创新不足,尤其是当市场竞争激烈时。创新是长期经济增长的重要动力,中国目前亟待加强知识产权保护,降低全社会的高溢出率,这是从模仿走向创新的关键。其次,在给定知识溢出效应的前提下,政府应当鼓励企业进行合理的研发合作,这能够在一定程度上降低溢出效应对创新的负面作用,增强企业的自主创新能力。

本研究还有很多有待拓展之处。研发是一种风险较高的活动,可以在本模型的基础上进一步引入研发的不确定性;另外,研发是一个不断试错的过

程,从重复博弈的角度考察企业在长期研发合作中的特征也是很有趣的,虽然已有一定的研究,但还需要进一步的深入探讨。

参考文献:

- [1] Jaffe A B. Technological opportunity and spillovers of R&D: Evidence from firms' patents, profits, and market value [J]. *The American Economic Review*, 1986, 76(5): 984-1001.
- [2] Dasgupta P. Patents, priority and imitation or, the economics of races and waiting games [J]. *The Economic Journal*, 1988, 98(389): 66-80.
- [3] Grossman G M, Shapiro C. Research joint ventures: An antitrust analysis [J]. *Journal of Law, Economics and Organization*, 1986, 2(2): 315-337.
- [4] d'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and noncooperative R&D in duopoly with spillovers [J]. *The American Economic Review*, 1988, 78(5): 1133-1137.
- [5] Suzumura K. Cooperative and noncooperative R&D in an oligopoly with spillovers [J]. *The American Economic Review*, 1992, 82(5): 1307-1320.
- [6] Kamien M I, Muller E, Zang I. Research joint ventures and R&D cartels [J]. *The American Economic Review*, 1992, 82(5): 1293-1306.
- [7] Cellini R, Lambertini L. Dynamic R&D with spillovers: Competition vs cooperation [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2009, 33(3): 568-582.
- [8] Spence M. Cost reduction, competition, and industry performance [J]. *Econometrica*, 1984, 52(1): 101-122.
- [9] Aschhoff B, Schmidt T. Empirical evidence on the success of R&D cooperation: Happy together? [J]. *Review of Industrial Organization*, 2008, 33(1): 41-62.
- [10] López A. Determinants of R&D cooperation: Evidence from Spanish manufacturing firms [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2008, 26(1): 113-136.
- [11] Chun H, Mun S B. Determinants of R&D cooperation in small and medium-sized enterprises [J]. *Small Business Economics*, 2012, 39(2): 419-436.
- [12] Mansfield E, Schwartz M, Wagner S. Imitation costs and patents: An empirical study [J]. *The Economic Journal*, 1981, 91(364): 907-918.
- [13] Gersbach H, Schmutzler A. Endogenous technological spillovers: Causes and consequences [J]. *Journal of Economics and Management Strategy*, 2003, 12(2): 179-205.
- [14] Leahy D, Neary J P. Absorptive capacity, R&D spillovers, and public policy [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2007, 25(5): 1089-1108.
- [15] Mancusi M L. International spillovers and absorptive capacity: A cross-country, cross-sector analysis based on patents and citations [J]. *Journal of International Economics*, 2008, 76(2): 155-165.
- [16] Knott A M. R&D/returns causality: Absorptive capacity or organizational IQ [J]. *Management Science*, 2008, 54(12): 2054-2067.
- [17] Lhuillery S. Absorptive capacity, efficiency effect and competitors' spillovers [J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 2011, 21(4): 649-663.
- [18] Schmidt T. Absorptive capacity-one size fits all? A firm-level analysis of absorptive capacity for different kinds of knowledge [J]. *Managerial and Decision Economics*, 2010, 31(1): 1-18.
- [19] Coe D T, Helpman E, Hoffmaister A W. North-South R&D spillovers [J]. *The Economic Journal*, 1997, 107(440): 134-149.
- [20] Grossman G M, Helpman E. *Innovation and growth in the global economy* [M]. Cambridge, Massachusetts and London: MIT Press, 1993: 281-309.
- [21] Caves R E. Multinational firms, competition, and productivity in host-country markets [J]. *Economica*, 1974, 41(162): 176-193.
- [22] Haddad M, Harrison A. Are there positive spillovers from direct foreign investment? Evidence from panel data for Morocco [J]. *Journal of Development Economics*, 1993, 42(1): 51-74.
- [23] Buckley P J, Clegg J, Wang C. The impact of inward FDI on the performance of Chinese manufacturing firms [J]. *Journal of International Business Studies*, 2002, 33(4): 637-655.
- [24] Bosetti V, Carraro C, Massetti E, Tavoni M. International energy R&D spillovers and the economics of greenhouse gas atmospheric stabilization [J]. *Energy Economics*, 2008, 30(6): 2912-2929.
- [25] Zhang Y, Li H, Li Y, Zhou L. FDI spillovers in an emerging market: The role of foreign firms' country origin diversity and domestic firms' absorptive capacity [J]. *Strategic Management Journal*, 2010, 31(9): 969-989.
- [26] Crespo N, Fontoura M P. Determinant factors of FDI spillovers: What do we really know? [J]. *World Development*, 2007, 35(3): 410-425.
- [27] Fu X. Foreign direct investment, absorptive capacity and regional innovation capabilities: Evidence from China [J]. *Oxford Development Studies*, 2008, 36(1): 89-110.
- [28] Javorcik B S, Spatareanu M. To share or not to share: Does local participation matter for spillovers from foreign direct investment? [J]. *Journal of Development Economics*, 2008, 85(1/2): 194-217.
- [29] Nguyen A N, Nguyen T, Le D T, Pham N Q, Nguyen

- C D, Nguyen N D. Foreign direct investment in Vietnam: Is there any evidence of technological spillover effects [R]. Hanoi: Center for Analysis and Forecasting, 2008.
- [30] 袁诚, 陆挺. 外商直接投资与管理知识溢出效应: 来自中国民营企业家的证据 [J]. 经济研究, 2005, 40(3): 69-79.
Yuan Cheng, Lu Ting. Foreign direct investment and managerial knowledge spillover: Evidence from entrepreneurs in China's private sector [J]. Economic Research Journal, 2005, 40(3): 69-79. (in Chinese)
- [31] 吴波. FDI 知识溢出与本土集群企业成长: 基于嘉善木业产业集群的实证研究 [J]. 管理世界, 2008(10): 87-95.
Wu Bo. The knowledge spillover of FDI and the growth of local cluster firm: Empirical analysis based on Jiashan timber industrial cluster [J]. Management World, 2008(10): 87-95. (in Chinese)
- [32] 陈继勇, 盛杨悻. 外商直接投资的知识溢出与中国区域经济增长 [J]. 经济研究, 2008, 43(12): 39-49.
Chen Jiyong, Sheng Yangxi. An empirical study on FDI international knowledge spillovers and regional economic development in China [J]. Economic Research Journal, 2008, 43(12): 39-49. (in Chinese)
- [33] 蒋殿春, 张宇. 经济转型与外商直接投资技术溢出效应 [J]. 经济研究, 2008, 43(7): 26-38.
Jiang Dianchun, Zhang Yu. Institutional constraints on FDI productivity spillovers: The case of China [J]. Economic Research Journal, 2008, 43(7): 26-38. (in Chinese)
- [34] 赵勇, 白永秀. 知识溢出: 一个文献综述 [J]. 经济研究, 2009, 44(1): 144-156.
Zhao Yong, Bai Yongxiu. Knowledge spillovers: A survey of the literature [J]. Economic Research Journal, 2009, 44(1): 144-156. (in Chinese)
- [35] 易江, 李楚霖. 寡头厂商的研发决策分析 [J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(4): 75-77.
Yi jiang, Li Chulin. Decisions analysis for research and development of oligopoly firms [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2002, 30(4): 75-77. (in Chinese)

Technology Complementarity, Product Substitutability and Firm R&D Cooperation

Shi Guang

Guanghua School of Management, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: In order to explore the optimal mechanisms and influencing factors. This paper constructs a two-stage dynamic duopoly model at the micro level of firm to discuss four R&D cooperation mechanisms under knowledge spillover effect. The impacts of technology complementarity and product substitutability on innovation are further explored using comparative statics analysis. It is found that under Cournot competition, it is optimal for firms to cooperate in both R&D input and output. When the spillover effect and R&D cost are sufficiently large, cooperation only in R&D output is the worst mechanism, and the innovation under any cooperation mechanism is insufficient compared to the social optimal level. When the discouraging effect of technology complementarity on knowledge spillover dominates its encouraging effect on R&D efficiency, firms should choose cooperating partners with low technology complementarity. Otherwise, firms should choose cooperating partners with either sufficiently low or sufficiently high technology complementarity. Product substitutability of cooperating firms always discourages innovation.

Keywords: knowledge spillover effect; R&D cooperation; technology complementary; product substitutability

Received Date: November 17th, 2011 **Accepted Date:** June 27th, 2012

Funded Project: Supported by the Ryoichi Sasakawa Young Leaders Fellowship Fund

Biography: Shi Guang, a Shandong Feicheng native (1985 -), is a Ph. D. candidate in the Guanghua School of Management at Peking University. His research interests include industrial organization, game theory, etc. E-mail: shiguang1@gsm.pku.edu.cn □