
外国企业的技术授权策略与社会福利

谢申祥 张 辉 王孝松*

内容提要 本文借助垂直差异产品的双寡头 Cournot 模型,分析了拥有先进技术的外国企业的技术授权策略及其引致的社会福利变化。研究发现,外国企业技术授权的最优方式将随进口关税水平的不同而不同。当外国企业拥有的技术水平较高,而进口关税较低时,固定收费方式的技术授权不会发生。当外国企业只能在固定收费和特许权收费方式中择一时,倘若进口关税较低(高),那么外国企业将偏好特许权(固定)收费方式的技术授权。此外,无论是固定收费还是特许权收费方式的技术授权均有可能降低进口国的社会福利,而且固定收费方式引致的社会福利并不总是高于特许权收费方式。外国企业借助两部收费有可能损害进口国的社会福利。

关键词 进口关税 固定收费 特许权收费 社会福利

一 引言

跨国技术授权在激励企业开发更先进的技术以获取更高收益的同时,也促进了先

* 谢申祥:山东财经大学国际经贸学院 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所 通信地址: 山东财经大学国际经贸学院 250014 电子信箱:xieshx@sdufe.edu.cn;张辉:山东财经大学统计学院 250014 电子信箱:zhanghui6795@sina.com;王孝松:中国人民大学经济学院 100872 电子信箱:xiaosong0420@gmail.com。

作者感谢浙江大学经济学院李杰、复旦大学经济学院李婷和山东大学经济学院尹振东的有益评论和建议。感谢中国博士后科学基金(2012M520507、2013T60216)、国家社会科学基金重点项目(12AJY012)、国家自然科学基金青年项目(71203228、71303134)、国家社会科学基金青年项目(11CGJ015)、教育部人文社会科学研究青年基金项目(11YJC790217、11YJC790111)、教育部人文社会科学研究规划基金项目(11YJAZH093、13YJA790146)、教育部“创新团队发展计划”(IRT1043)、山东省自然科学基金项目(ZR2011GQ005、ZR2012GM017)和山东财经大学博士科研基金项目的资助。特别感谢匿名审稿人的建议。当然,文责自负。

进技术的国际转移。对于广大发展中国家来说,通过引进国外先进技术,发挥后发优势,实现经济赶超,具有十分重要的现实意义。

中国国家统计局公布的大中型工业企业科技活动基本情况报表显示,中国大中型工业企业引进国外技术经费从2005年的296.8亿元递增到2007年的452.5亿元人民币,此后虽略有降低,但2009年仍高达394.6亿元。而2005年中国大中型工业企业购买国内技术经费支出仅为83.4亿元,即使到了2009年也只达到174.8亿元。^①由此可见,跨国技术引进在中国技术交易活动中占据了十分重要的地位。据联合国2009年《世界投资报告》显示,截至2009年,以跨国公司为主体的发达国家技术费用收支的增长已超过FDI流量的增长。^②跨国技术授权的不同方式会产生不同的消费者剩余及生产者剩余,因而有可能带来不同的社会福利。本文试图从跨国技术授权角度,分析拥有先进技术的外国企业的最优技术授权形式及其对东道国的福利效应。

本文借助一个双寡头 Cournot 模型,分析一个生产高质量产品的外国企业,如何向一个生产低质量产品的国内企业进行技术授权及其引致的社会福利问题。外国企业通过出口与国内企业在国内市场上展开产量竞争。外国企业可以采取三种不同的方式向国内企业进行技术授权,即:固定收费方式(fixed-fee)、特许权收费方式(royalty)或两部收费方式(two-part tariff)。就技术授权而言,一方面,外国企业通过技术授权获得技术授权费可以增加其收益;另一方面,技术授权也会由于强化国内市场的竞争而使得外国企业的出口收益降低。值得注意的是,在存在进口关税的情形下,外国企业借助技术授权,可以节约部分由于进口关税而产生的贸易成本,通过国内企业实现向国内市场供应高质量产品的目的。

本文的研究与两类文献密切相关。第一类文献主要关注授权企业的最优技术授权方式。就降低生产成本的先进技术授权而言,Kamien 和 Tauman(1986)借助 Cournot 模型,证明了一个拥有先进技术的非生产企业更加偏好以固定收费方式向生产企业授权。同样借助 Cournot 模型,李仁耀和黄金树(2006)则在不对称信息条件下论证了拥有先进技术的非生产企业可能更加偏好特许权或两部收费方式的技术授权。Wang(1998)在考虑技术授权的企业同时也是生产性企业后发现,由于拥有先进技术的企业可以借助特许权收费以控制技术接受企业的生产成本从而缓和市场竞争,获得更高的收益,因而更加偏好特许权收费。当放松同质产品假定后,Wang 和 Yang(1999)、Wang(2002)、Kamien 和 Tauman(2002)、Li 和 Geng(2008)及 Li 和 Song(2009)均发现

① 数据来源:国家统计局,《中国统计年鉴(2010)》。

② 数据来源:联合国贸易与发展会议,《2009年世界投资报告:跨国公司、农业生产与发展》。

技术先进企业仍有偏好特许权收费方式的可能性。另外,黄金树等(2005)考虑了拥有先进技术的外国企业如何借助特许权收费方式向两个国内企业授权的问题,并在关税内生决定的背景下,分析了这种内生关税对企业技术授权策略的影响。王君美(2012)分析了非生产性企业技术授权的最优对象选择问题。

第二类文献主要关注不同的技术授权形式及其所产生的福利效应。一方面,从降低成本型先进技术授权来看,Fauli-Oller 和 Sandonis(2002)证明了技术授权有可能会损害社会福利。而 Erkal(2005)证明了当技术创新程度较低而企业间生产的产品差异较小时,技术先进的企业不会进行技术授权,而当技术创新程度较高时,技术先进的企业会进行技术授权,并且会改善国内的社会福利。Kabiraj(2005)在考虑企业进入市场时序后发现,当拥有先进技术的企业后行进入市场时,其技术授权可以引致更高的社会福利。李长英和姜羽(2006)利用 Stackelberg 模型分析了固定收费、特许权收费和两部收费的技术授权对一国社会福利的影响,发现固定收费会提高社会福利,而特许权收费和两部收费的技术授权有可能降低社会福利。Li 和 Yanagawa(2011)也在 Stackelberg 模型下,考察了生产企业的最优技术授权模式及其社会福利,与 Kabiraj(2005)略有不同的是,他们更加侧重比较在异质产品与同质产品情形下,不同技术授权形式的福利大小。另一方面,从改进产品质量型先进技术授权来看,李长英和王君美(2009、2010)分别借助 Cournot 模型和 Stackelberg 模型,在考察非生产性企业向两个生产性企业进行技术授权时,发现相对固定收费,非生产性企业也有可能偏好采用特许权收费方式进行技术授权,并且两部收费方式的技术授权有可能会给消费者带来损害并恶化国内社会福利。李长英和宋娟(2006a、b)在考察国内企业兼并因素后,也分别从 Cournot 竞争和 Stackelberg 竞争角度分析了技术授权所引致的社会福利问题。

与已有研究相比,本文可能的贡献主要体现在三个方面。第一,已有文献大多专注国内企业之间的技术授权,我们通过考察外国企业的跨国技术授权策略,试图弥补现有研究的空白。第二,我们关注质量改进型的技术授权问题,这更加符合广大发展中国家从发达国家引进先进技术的现实,因为发达国家企业的产品和发展中国家企业的产品差距更多体现为垂直的质量差异,而不是水平的产品差异。第三,由于进口关税的存在,使得不同技术授权形式下的国内企业利润、消费者剩余和社会福利发生变化,产生了不同于国内企业间技术授权的经济效应,因而进口关税成为影响企业跨国技术授权的又一重要因素。

本文的结构安排如下:第二部分是论文的基本模型;第三、四和五部分,分别分析

和比较不同技术授权方式下的市场均衡状态及其福利结果;第六部分是结论。

二 基本模型

一个拥有专利技术的外国企业 1 向进口国出口一种高质量产品,其产品质量标准化为 $s_1 = 1$, 价格为 p_1 。进口国内有一个企业 2, 因其技术水平较低而只能生产低质量的产品,其产品质量为 $s_2 = s$, $s \in (0, 1)$, 价格为 p_2 。在这里, s 实质体现了两个企业的产品质量差异和外国企业专利技术的创新程度, s 越小, 两种产品的质量差异越大, 专利技术的创新程度越高, 反之, 两种产品的质量差异程度越小, 专利技术的创新程度越低。 s 越趋于 1, 那么两种产品的质量越趋于一致。基于我们主要关注产品质量改进型的技术授权问题, 为计算方便, 假定无论是生产高质量产品的外国企业还是生产低质量产品的进口国企业, 其生产成本均为零, 市场信息是完全的。另外, 进口国政府对进口的每单位产品征收 t 的关税。^①

参照 Tirole(1988)、Zhou 等(2002)、Park(2001) 以及 Motta(1993) 的分析方法, 我们假设进口国的每个消费者最多购买 1 个单位的产品, 消费者的效用函数是:

$$U = \begin{cases} \theta s_i - p_i & \text{购买质量为 } s_i \text{ 价格为 } p_i \text{ 的商品} \\ 0 & \text{不购买} \end{cases}$$

其中, s_i 是产品的质量, p_i 是质量为 s_i 的产品价格, $i=1, 2$ 。 θ 是进口国消费者的偏好参数, 它均匀地分布在区间 $[0, 1]$ 上。不失一般性, 我们假定消费者总数为 $n = 1$ 。

根据消费者的效用函数易知, 仅当消费者偏好 $\theta > \hat{\theta} = \frac{p_2}{s_2} = \frac{p_2}{s}$ 时方才购买产品。

进一步我们定义 $\bar{\theta}$ 代表消费高质量产品和消费低质量产品无差异时的消费者偏好水平。^② 因此, 若消费者偏好 $\theta \in (\bar{\theta}, 1]$, 那么消费者将购买高质量产品; 若 $\theta \in (\hat{\theta}, \bar{\theta}]$, 那么消费者将购买低质量产品; 若 $\theta \in [0, \hat{\theta}]$, 那么消费者将不购买产品。以 q_1 表示消费者对高质量产品的需求量, 以 q_2 表示消费者对低质量产品的需求量, 那么我们可以得到这两种产品的需求函数为:

① 尽管在世界贸易组织框架下经过多轮贸易谈判之后世界平均关税水平已大幅降低, 但是由于各种非关税贸易壁垒仍然普遍存在, 世界贸易远未达到完全自由的状态。

② 根据 $\theta s_1 - p_1 = \theta s_2 - p_2$, 求得 $\bar{\theta} = \frac{p_1 - p_2}{1 - s}$ 。

$$q_1(p_1, p_2) = 1 - \bar{\theta} = 1 - \frac{p_1 - p_2}{1 - s} \quad (1)$$

$$q_2(p_1, p_2) = \bar{\theta} - \hat{\theta} = \frac{p_1 - p_2}{1 - s} - \frac{p_2}{s} \quad (2)$$

由(1)和(2)式可得进口国市场反需求函数为 $p_1 = 1 - q_1 - sq_2$ 和 $p_2 = s(1 - q_1 - q_2)$ 。

因为本文主要关注贸易背景下拥有先进技术的外国企业的技术授权策略,因此我们假定无论技术授权是否发生,外国企业始终向进口国出口产品。这一假定基于这样的事实:即当外国企业向进口国市场出口时会产生一个前期进入成本,这些成本包括市场调研、营销渠道建设等费用,这些成本实际就成为外国企业出口的沉没成本,倘若外国企业退出进口国市场,那么这些成本将会成为无谓的损失。^①

本文的博弈时序设定如下:首先,在外国企业向进口国出口产品的前提下,外国企业决定是否向进口国国内企业进行技术授权,然后进口国的国内企业决定是否接受技术授权,并选择其最优产量与外国企业展开竞争。按照解这类问题的常用方法,我们采用逆向递推法(backward induction)来求解不同情形下的均衡解。

技术授权前外国企业通过出口进入进口国市场,技术授权后,外国企业既通过出口获得收益同时也通过技术授权获取技术授权费。作为分析的基准,这一部分将考察技术授权发生之前的市场均衡(为后文表述方便,我们称之为基准情形)。为避免因关税成本过高致使外国企业退出进口国市场,我们限定进口国政府征收的单位产品关税满足条件: $t < \frac{1}{2}$ 。^②

此时,两个企业的目标函数分别为: $\max_{q_1} \pi_1 = (1 - q_1 - sq_2 - t)q_1$ 和 $\max_{q_2} \pi_2 = s(1 - q_1 - q_2)q_2$ 。由一阶条件,容易求得: $q_{1b} = \frac{2 - 2t - s}{4 - s}$, $q_{2b} = \frac{1 + t}{4 - s}$ 。

进一步求得两个企业生产的产品价格分别为: $p_{1b} = \frac{(1 + t)(2 - s)}{4 - s}$, $p_{2b} =$

① Wang(1998,2002)也是隐含假定技术授权后,拥有先进技术的企业仍然留在市场上与接受技术授权的企业展开竞争。另外,本文出于计算的便利,将消费者偏好参数的上限限定为1(实质是将市场容量限定为1),而当放松偏好参数的上限,即假定市场容量足够大后,即使技术授权发生,那么两个企业也仍将在进口国内市场展开竞争,此时本文的定性结论仍然成立。

② 我们限定关税外生给定是基于对于加入世界贸易组织的成员国而言,一国关税的调整会受到世界贸易组织协定的约束。

$\frac{s(1+t)}{4-s}$ 。外国企业 1 和进口国内企业 2 的利润分别为：

$$\begin{cases} \pi_1 = \frac{(2-2t-s)^2}{(4-s)^2} \\ \pi_2 = \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} \end{cases} \quad (3)$$

注意到： $\frac{\partial \pi_1}{\partial s} = -\frac{4(1+t)(2-2t-s)}{(4-s)^3} < 0$ ， $\frac{\partial \pi_2}{\partial s} = \frac{(1+t)^2(4+s)}{(4-s)^3} > 0$ 。也就是

说外国企业技术创新程度越小，技术领先程度越低，市场竞争力相对越低，利润越少，而进口国内企业的市场竞争力相对越高，因而利润越高。

进口国消费者剩余为：

$$\begin{aligned} CS &= \int_{\frac{p_{2b}}{s}}^{\frac{p_{1b}-p_{2b}}{1-s}} (s\theta - p_{2b}) d\theta + \int_{\frac{p_{1b}-p_{2b}}{1-s}}^1 (\theta - p_{1b}) d\theta \\ &= \frac{t^2(4-3s) - 2t(4-3s+s^2) + 4+s-s^2}{2(4-s)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

由 (4) 式知， $\frac{\partial CS}{\partial s} = \frac{(1+t)[12-7s-t(4+3s)]}{2(4-s)^3} > 0$ ， $\frac{\partial CS}{\partial t} = -\frac{(1-t)(4-3s)+s^2}{(4-s)^2} < 0$ 。外国企业的技术创新程度越低，进口国内企业的产品品质

与外国企业的产品品质越接近，市场上产品的总体质量水平越高，消费者的剩余越高。而关税水平越高，外国企业的产品在进口国内的市场价格就越高，即高质量产品的价格越高，消费者剩余将会越低。由进口国的消费者剩余、进口国的国内企业利润和关税收入构成的进口国社会福利为：

$$W = CS + \pi_2 + tq_{1b} = \frac{1+2t-3t^2+s}{2(4-s)} \quad (5)$$

三 固定收费方式下的技术授权

如果外国企业采取固定收费方式进行技术授权，即一次性收取转移生产高质量产品技术的费用 f ，那么进口国企业 2 的产品质量将提升至 s_1 。此时两个企业的产出和经营利润（不包括支付或收取的固定费用）分别为： $q_{1f} = \frac{1-2t}{3}$ ， $q_{2f} = \frac{1+t}{3}$ 和 $\pi_{1f} =$

$\frac{(1-2t)^2}{9}$, $\pi_{2f} = \frac{(1+t)^2}{9}$ 。由于信息是完全的,外国企业 1 能完全攫取进口国内企业 2 由于获得技术授权后而增加的利润,此时外国企业 1 收取的固定费用为: $f = \pi_{2f} - \pi_2 = \frac{(1+t)^2}{9} - \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2}$ 。外国企业 1 和进口国企业 2 的利润分别为:

$$\begin{cases} \Pi_{1f} = \pi_{1f} + f = \frac{(1-2t)^2}{9} + \frac{(1+t)^2}{9} - \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} \\ \Pi_{2f} = \pi_2 = \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} \end{cases} \quad (6)$$

进口国国内消费者剩余和社会福利水平分别为:

$$\begin{cases} CS_f = \int_{1-q_{1f}-q_{2f}}^1 [\theta - (1 - q_{1f} - q_{2f})] d\theta = \frac{(2-t)^2}{18} \\ W_f = CS_f + \Pi_{2f} + tq_{1f} = \frac{(2-t)^2}{18} + \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} + \frac{t(1-2t)}{3} \end{cases} \quad (7)$$

而促使外国企业采取固定收费方式进行技术授权还必须满足在外国企业进行技术授权后所获得的总利润至少应该不低于技术授权之前的利润水平,即必须满足条件: $\Pi_{1f} - \pi_1 = \frac{(1-2t)^2}{9} + \frac{(1+t)^2}{9} - \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} - \frac{(2-2t-s)^2}{(4-s)^2} \geq 0$, 于是,我们有:

命题 1: 若外国企业只能采取固定收费方式进行技术授权,那么仅当 $s > 0.571$ 或者当 $s \leq 0.571$ 且 $\frac{1}{2} > t > \frac{4-7s}{44-5s}$ 时,外国企业方才愿意采取固定收费方式进行技术授权。

当外国企业的技术创新程度较低时($s > 0.571$),也就是说,技术授权前外国企业的产品品质相对进口国企业产品的品质并不太高时,市场竞争已趋于激烈,而通过技术授权并不会大幅减少外国企业的利润,同时通过向进口国企业抽取固定费用能够增加整体收入,此时外国企业愿意采取固定收费方式来进行技术授权。

当外国企业的技术创新程度较大时($s \leq 0.571$),技术授权前外国企业和进口国企业产品间的质量差异较大,市场竞争较弱。仅当关税水平较高时,因为技术授权前外国企业的利润较低,而通过技术授权收取的固定费用将超过由于市场竞争程度提高导致的利润损失,此时技术授权方才发生。

李长英和宋娟(2006b)的研究表明,在两个国内企业进行 Cournot 竞争的情形下,

如果技术创新程度较小,那么技术授权前两企业的竞争较为剧烈,技术授权虽然会提升市场竞争程度,降低授权企业的利润,不过由于市场竞争程度提高的幅度有限,因此利润降低幅度也有限。然而,技术授权却可以使得技术先进企业获得固定授权费用,这些费用足以弥补因竞争加剧而降低的利润,所以拥有先进技术的企业总愿意通过固定收费方式进行技术转让。如果技术创新程度较高,那么技术授权前的市场竞争较弱,技术转让行为会极大地加剧市场竞争,大幅降低先进技术企业的利润,尽管技术授权可以使之获得固定授权费用,但是这些费用不足以抵消因竞争加剧而降低的利润,此时先进技术企业不会通过固定收费方式进行技术授权。

在考虑企业进入市场的先后次序后,李长英和宋娟(2006a)发现,先行进入市场的先进技术企业根本不会通过固定收费方式向使用落后技术生产低质量产品的企业进行技术授权。这是因为技术授权前先行进入市场的先进技术企业的利润水平很高,对市场竞争程度十分敏感,一旦技术授权,那么先进技术企业的利润将大幅下降,其下降幅度在技术创新较大时表现得更加突出,通过收取固定技术授权费不足以弥补利润损失。

然而,我们的研究表明,在国际贸易背景下,拥有先进技术的外国企业的利润既受技术创新程度影响,还受政府征收的关税水平影响。如果技术创新程度较低,无论技术授权前进口国政府向外国企业征收的关税水平如何,因为技术授权后市场竞争的变化对外国企业的经营利润(不包括技术授权收入)影响较小,外国企业总能通过收取固定费用增加收益,因此,外国企业愿意通过固定收费方式进行技术授权。而当技术创新程度较高时,关税水平对外国企业利润的影响较大,倘若关税水平较高,技术授权前外国企业的利润较少,此时通过技术授权收取固定授权费用能够提升其总体利润水平。不难发现,我们的研究与李长英和宋娟(2006a、b)的结论之所以不同,一方面在于分析背景不同,即后者考虑的是在一国范围内企业之间的技术授权策略,而我们则是以开放条件为背景;另一方面在于在固定收费模式下,关税可以起到缓解市场竞争的作用,关税水平越高,这种缓解作用会越强,反之则会越弱。

比较(5)和(7)式,我们得到
$$W_f - W = \frac{(1-s)(1+t)[28-13s-t(68-11s)]}{18(4-s)^2},$$

当 $t > \frac{28-13s}{68-11s}$ 时, $W_f - W < 0$ 。于是,我们有如下引理:

引理 1: 当关税水平较高时 ($\frac{1}{2} > t > \frac{28-13s}{68-11s}$), 与不存在技术授权的情形相比,

固定收费方式的技术授权会降低社会福利。

引理 1 的经济学直觉是这样的。因为进口国社会福利由进口国消费者剩余、企业利润和政府关税收入三部分构成。在固定收费方式下,技术授权并不改变技术授权前后进口国企业的利润,但是进口国消费者剩余和关税收入却均受到关税水平的影响。虽然技术授权后消费者由于能够以较低价格消费更高质量水平的产品,消费者剩余得以提升($CS_f - CS = \frac{(1-s)(1+t)[4(7-5t) - s(13+t)]}{18(4-s)^2} > 0$)。不过,当关税水平超过某一数值之后,随着关税水平的进一步增加,消费者剩余提升的幅度将越来越小($t > \frac{4-7s}{20+s}$ 时, $\frac{\partial(CS_f - CS)}{\partial t} = -\frac{(1-s)[(20+s)t + 7s - 4]}{9(4-s)^2} < 0$),而关税收入下降的幅度越大($tq_{1f} - tq_{1b} = -\frac{2t(1-s)(1+t)}{3(4-s)} < 0$, $\frac{\partial(tq_{1f} - tq_{1b})}{\partial t} = -\frac{2t(1-s)(1+t)}{3(4-s)} < 0$)。因此,当关税水平超过临界值($\frac{28-13s}{68-11s}$)时,关税收入下降幅度超过消费者剩余提升幅度,进口国社会福利出现下降。

四 特许权收费方式的技术授权

在技术授权采取特许权收费方式时,即进口国企业为获得外国企业的技术必须支付单位产出费用 r , 根据两个企业的目标函数: $\max_{q_1} \pi_1 = (1 - q_1 - q_2 - t)q_1 + r q_2$, $\max_{q_2} \pi_2 = (1 - q_1 - q_2 - r)q_2$, 容易求得两个企业的产量分别为: $q_{1r} = \frac{1-2t+r}{3}$, $q_{2r} = \frac{1+t-2r}{3}$ 。两个企业的利润分别为: $\Pi_{1r} = \frac{(1-2t)^2 + r(5-5r-t)}{9}$, $\Pi_{2r} = \frac{(1+t-2r)^2}{9}$ 。因为进口国企业购买技术的约束条件为 $\Pi_{2r} = \frac{(1+t-2r)^2}{9} \geq \pi_2 = \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2}$, 据此得到 $0 < r \leq r_0 = \frac{(1+t)(4-s-3\sqrt{s})}{2(4-s)}$ 。

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t > t_1 = \frac{5\sqrt{s}}{8-2s-5\sqrt{s}}$ 时, 根据外国企业收取特许权费的目标函数: $\max_r \Pi_{1r} = \frac{(1-2t)^2 + r(5-5r-t)}{9}$, 由一阶条件得: $\bar{r} = \frac{5-t}{10}$ 。此时 $\bar{r} < r_0$, 外

国企业将按 $r = \bar{r}$ 收取单位产出费用。两个企业的利润分别为：

$$\begin{cases} \bar{\Pi}_{1r} = \frac{5 - 10t + 9t^2}{20} \\ \bar{\Pi}_{2r} = \frac{4t^2}{25} \end{cases} \quad (8)$$

此时,进口国的消费者剩余和对应的社会福利分别为：

$$\begin{cases} \bar{CS}_r = \int_{1-q_{1r}-q_{2r}}^1 [\theta - (1 - q_{1r} - q_{2r})] d\theta = \frac{(5 - 3t)^2}{200} \\ \bar{W}_r = \bar{CS}_r + \bar{\Pi}_{2r} + tq_{2r} = \frac{25 + 70t - 99t^2}{200} \end{cases} \quad (9)$$

而当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t_1 > t$, 或者 $s > 0.25$ 时, ${}^{\textcircled{1}}r_0 < \bar{r}$, 注意到此时外国企业利润 Π_{1r} 是其收取的特许权费 r 的增函数, 因此, 外国企业收取的特许权费为 $r = r_0$ 。此时, 两个企业对应的利润分别为：

$$\begin{cases} \hat{\Pi}_{1r} = \frac{[16 - 13s + s^2 + t^2(16 + 16\sqrt{s} - 13s - 4s\sqrt{s} + s^2) - 2t(16 - 8\sqrt{s} - 3s + 2s\sqrt{s} + s^2)]}{4(4-s)^2} \\ \hat{\Pi}_{2r} = \pi_2 = \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} \end{cases} \quad (10)$$

进口国的消费者剩余和社会福利为：

$$\begin{cases} \hat{CS}_r = \frac{[4 + \sqrt{s} - s - t(4 - \sqrt{s} - s)]^2}{8(4-s)^2} \\ \hat{W}_r = \hat{CS}_r + \hat{\Pi}_{2r} + tq_{2r} = \frac{[4 + \sqrt{s} - s - t(4 - \sqrt{s} - s)]^2}{8(4-s)^2} + \frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2} \\ \quad + \frac{t[(4-s)(1-t) - (1+t)\sqrt{s}]}{2(4-s)} \end{cases} \quad (11)$$

比较(3)和(10)及(3)和(8)式, 我们得到下述引理：

引理 2: 若外国企业只能采取特许权收费方式进行技术授权, 那么与技术授权前的情形相比, 外国企业通过特许权收费方式的技术授权总能够增加其利润(证明参见附录)。

^① $s > 0.25$ 时, $t_1 > \frac{1}{2} > t$ 。

在特许权收费方式下,外国企业将质量优势转化成了成本优势,通过控制技术接受企业的生产成本,进而控制市场竞争程度。因此,外国企业通过特许权收费总能够提高其利润水平。

比较(6)和(10)及(6)和(8)式,我们可得到下述引理:

引理 3: 当 $s < 0.022$ 时, 若 $t < t_2 = \frac{760s - 800 - 50s^2 + 24(4-s)\sqrt{5(16-17s+s^2)}}{2(304-332s+19s^2)}$, 或当

$0.022 < s$ 时, 若 $t < t_3 = \frac{4+3\sqrt{s}-s}{44-3\sqrt{s}-11s}$, 相对固定收费, 外国企业更加偏好特许权收费来进行技术授权(证明参见附录)。

Kamien 和 Tauman(1986)在 Cournot 竞争框架下,通过考察一个非生产性企业的技术授权策略,发现相对特许权收费,技术领先企业更加偏爱固定收费方式的技术授权。同样借助 Cournot 竞争模型,Wang(1998)在分析生产性企业进行技术授权时,证明了技术领先企业总是偏好特许权收费。值得注意的是,尽管 Wang(1998)分析的是降低成本型的技术授权问题,不过当贸易成本趋于 0 时,我们的研究结论类同 Wang(1998),拥有先进技术的企业通过特许权收费方式能够控制市场竞争程度,进而提升其自身的总体利润水平,从而使得拥有先进技术的外国企业更加偏好特许权的技术授权方式。

我们的研究表明,无论技术创新程度如何,关税水平的大小决定了技术领先企业的技术授权策略。关税水平越高,技术授权前外国企业的利润越低,外国企业的利润对市场竞争状态越不敏感。尽管通过固定收费进行技术授权会加剧市场竞争程度,但因市场竞争程度的提升而使外国企业利润降低的程度较小,对进口国企业的利润提升程度较大,这样外国企业能够抽取更多的技术授权费用,使得外国企业的总体利润较高。高水平关税缓和了进口国企业与外国企业的市场竞争,外国企业收取的单位产出费用较低,因而外国企业利润水平较低。而当关税水平较低时,技术授权前外国企业的利润较高,外国企业的利润对市场竞争状态较为敏感,因此,外国企业通过收取较高的单位产出费用,借以控制进口国企业的生产成本,缓和市场竞争程度,从而将外国企业利润维持在一个较高的水平。因为技术授权前后的市场竞争程度变化不太大,进口国企业获取技术后的利润提升幅度有限,因此外国企业通过固定收费抽取的技术授权

费用较少,外国企业的利润较低。所以,此时外国企业更加偏好特许权收费来进行技术授权。

将(9)与(11)分别与(5)式比较,我们得到:

引理 4:在一定条件下,特许权收费方式的技术授权会恶化社会福利(证明参见附录)。

与 Fauli-Oller 和 Sandonis(2003)的研究一样,特许权收费方式的技术授权也有可能导致社会福利恶化。而我们的研究则从质量改进型技术授权角度进一步验证了 Fauli-Oller 和 Sandonis(2003)的结论具有一定的稳健性(robustness)。

比较特许权收费条件下和固定收费时的进口国社会福利,我们得到:

引理 5:在一定条件下,固定收费的技术授权引致的社会福利会低于特许权收费时的社会福利水平(证明参见附录)。

这一结论与李长英和宋娟(2006b)的结论不同。李长英和宋娟(2006b)认为固定收费引致的社会福利总是高于特许权收费方式的社会福利。这是因为在我们的论文框架下一国的社会福利还包括关税收入,而关税收入在不同的收费方式下依外国企业的出口量不同而不同。在关税水平较高时,特许权收费方式对应的关税收入要大幅高于固定收费方式下的关税收入,与此同时特许权收费方式下的消费者剩余与固定收费方式下的消费者剩余差距不大,因此特许权收费方式下的社会福利反而要高于固定收费方式下的社会福利。而当关税水平较低时,特许权收费方式下的关税收入超过固定收费方式下的关税收入较少,与此同时,特许权收费方式下引致的消费者剩余却要大幅低于固定收费方式下的消费者剩余,因而此时固定收费引致的社会福利较高。当实现自由贸易时,我们的结论同李长英和宋娟(2006b)一致,李长英和宋娟(2006b)可以视作本文的特例。总结上述引理,我们得到如下命题:

命题 2:虽然外国企业通过特许权收费方式的技术授权总能提升其利润,不过这种方式并不一定能够提升进口国的社会福利。与固定收费方式相比,关税水平越低,外国企业越偏好通过特许权收费方式来进行技术授权。此外,固定收费方式引致的进口国社会福利的增加并不一定高于特许权收费方式的社会福利。

五 两部收费方式下的技术授权

在两部收费 (r_t, f_t) 方式下,^①即进口国企业既要向外国企业支付一笔固定费用 f_t , 同时又必须支付单位产出费用 r_t , 此时 f_t 就变成进口国企业的固定成本, 而 r_t 就变成了进口国企业的边际成本。

求解两个企业关于产量的目标函数: $\max_{q_1} \pi_1 = (1 - q_1 - q_2 - t)q_1 + r_t q_2 + f_t$ 和 $\max_{q_2} \pi_2 = (1 - q_1 - q_2 - r_t)q_2 - f_t$, 得: $q_{1t} = \frac{1 - 2t + r_t}{3}$, $q_{2t} = \frac{1 + t - 2r_t}{3}$ 。两个企业的利润为: $\Pi_{1t} = \frac{(1 - 2t)^2 + r_t(5 - 5r_t - t)}{9} + f_t$, $\Pi_{2t} = \frac{(1 + t - 2r_t)^2}{9} - f_t$ 。

外国企业会抽取进口国企业因技术转移而增加的利润, 亦即使得: $\Pi_{2t} = \pi_2$, 进一步求得: $f_t = \frac{(1 + t - 2r_t)^2}{9} - \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2}$, 根据两部收费方式中收取的一次性费用不可能为负的约束 $f_t \geq 0$, 易知: $0 < r_t \leq r_1 = \frac{(1 + c)(4 - s - 3\sqrt{s})}{2(4 - s)}$ 。因为 $\frac{\partial^2 \Pi_{1t}}{\partial r_t^2} = -\frac{2}{3}$, 令 $\frac{\partial \Pi_{1t}}{\partial r_t} = 0$, 解得 $r_2 = \frac{1 - 5t}{2}$ 。

因此, 若 $t > \frac{1}{5}$, 那么外国企业将按照 $r_t = 0$ 收取单位产出费, 此时 $f_t = \frac{(1 + t)^2}{9} - \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2}$ 。两部收费方式的技术授权等同固定收费方式的技术授权。

若 $\frac{1}{5} \geq t \geq \frac{\sqrt{s}}{8 - \sqrt{s} - 2s}$ 时, 则有 $r_1 \geq r_2$ 。外国企业将按照 $r_t = r_2$ 收取单位产出费, 此时 $f_t = 4t^2 - \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2}$ 。两个企业的利润分别为: $\bar{\Pi}_{1t} = \frac{(1 - t)^2}{4} + t^2 - \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2}$, $\bar{\Pi}_{2t} = \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2}$ 。此时的消费者剩余和社会福利分别为:

$$CS_t = \frac{(1 + t)^2}{8}, \bar{W}_t = C\bar{S}_t + \bar{\Pi}_{2t} + tq_{2t} = \frac{(1 + t)^2}{8} + \frac{s(1 + t)^2}{(4 - s)^2} + \frac{t(1 - 3t)}{2} \quad (12)$$

^① 和许多文献一样, 由于诸多国家的反垄断法律规定技术授权方必须向技术转移方收取正的技术授权费, 所以我们专注分析 $r_t \geq 0$ 和 $f_t \geq 0$ 的情形。

若 $t < \frac{\sqrt{s}}{8 - \sqrt{s} - 2s}$, 则有 $r_1 < r_2$ 。此时 Π_{1t} 关于 r_t 单调递增, 外国企业将按照 $r_t = r_1$ 收取单位产出费, 同时按照 $f_t = 0$ 收取固定费用, 这样两部收费方式的技术授权等同特许权收费方式的技术授权。外国企业和进口国企业的利润以及进口国国内的消费者剩余和社会福利与特许权收费方式的情形完全一致, 在此不再赘述。

命题 3: 若关税水平很高 ($\frac{1}{2} > t > \frac{1}{5}$), 两部收费方式的技术授权等同于固定收费方式的技术授权; 若关税水平较低 ($t < \frac{\sqrt{s}}{8 - \sqrt{s} - 2s}$), 两部收费方式的技术授权退化为特许权收费方式的技术授权。

这是一个令人意外的结论。也就是说, 即使外国企业可以利用两部收费方式来进行技术授权, 那么在关税水平很高或很低时, 外国企业也不会采取这一方式来转移技术。同样是因为分析背景的不同, 造成了这一结论与已有研究成果的差异。Fauli-Oller 和 Sandonis (2003) 以及李长英和宋娟 (2006a、b) 研究的是国内企业之间的技术授权问题。Fauli-Oller 和 Sandonis (2003) 所利用的基本模型是水平差异产品的 Cournot 模型, 针对授权的技术是降低成本的生产技术, 因此技术授权后两个企业之间的竞争会由于产品之间的水平差异而不至于过于激烈, 也不至于太弱, 这为拥有低成本生产技术的先进企业实施两部收费法创造了条件。而李长英和宋娟 (2006a、b) 考虑的是生产高质量产品的技术授权问题, 技术授权一旦发生, 企业之间生产的产品将会完全一样, 这样将导致市场竞争异常激烈。因此, 为缓解市场竞争, 获取更多的利润, 拥有先进技术的企业收取的一次性费用 (f) 将为零, 而按照最大可能值收取单位产出费用 (r), 这就使得两部收费方式的技术授权退化为特许权收费方式的技术授权。在有关税的情况下, 当关税水平很高时, 正好可以起到缓解市场竞争的作用, 这时, 进行技术授权的外国企业实施的两部收费将退化为固定收费, 而当关税水平较低时, 市场竞争会比较激烈, 此时进行技术授权的外国企业实施的两部收费将退化为特许权收费。

具体而言, 外国企业在使用两部收费法进行技术授权时, 会综合考虑收取的单位产出费用和固定费用对其整体利润的影响, 当收取的单位产出费用较低时, 其收取的固定费用则会较高, 反之相反。由于外国企业收取的单位产出费用必须满足 $r \geq 0$ 的

约束,当关税水平很高时,外国企业的利润是其收取的单位产出费用的递减函数,因此外国企业将不会收取单位产出费用,这样两部收费法等同于固定收费法。

当关税水平很低时,尽管外国企业可以通过设置固定费用提升其收益,但这不会改变外国企业和进口国企业在获取技术后的市场竞争状况。与此同时,进口国企业接受技术授权的先决条件在于其接受授权后的利润不能低于授权之前的收益。这样,外国企业收取的固定费用越多,进口国企业愿意支付的单位产出费用就越少。外国企业从自身利润最大化的角度出发,在进口国企业能够接受技术授权的前提下,为了降低在市场上与进口国企业的市场竞争程度,以把其技术授权前的质量优势尽可能地转化为成本优势,进而控制进口国企业的生产行为,只能把固定费用设置为零,同时尽可能地提高进口国企业的单位产出费用。因为外国企业收取的单位产出费用越高,其利润水平越高,因此外国企业必然会尽可能地提高进口国企业的单位产出费用以实现利润最大化,此时单位产出费用必然会取到角点解,因而此时的两部收费与特许权收费相同。

然而,当关税水平较高时,外国企业既会收取固定费用又会收取单位产出费用。这是因为,技术授权发生前,较高的关税侵蚀了外国企业的利润,造成外国企业的利润较低,市场竞争程度的提高以及进口国企业产品质量的提升对外国企业利润的影响较小,外国企业愿意进行技术授权。与此同时,外国企业通过收取单位产出费用以削弱进口国企业的市场竞争力,防止自身利润下降过快。通过收取固定费用,借以攫取进口国企业由于技术水平提升后增加的利润,这样使得外国企业的利润维持在一个更高的水平,从而不会采取特许权收费方式进行技术授权。比较(5)和(12)式,我们得到如下命题:

命题 4: 当技术创新程度较小 ($s > 0.556$) 并且关税水平不太高

$$\left(\frac{64-24s+6s^2-8(4-s)\sqrt{4-7s+4s^2}}{2(128-84s+11s^2)} < t < \frac{64-24s+6s^2+8(4-s)\sqrt{4-7s+4s^2}}{2(128-84s+11s^2)} \right) \text{ 时, 两部收费方}$$

式的技术授权会恶化社会福利(证明参见附录)。

就两部收费方式的技术授权而言,因为外国企业可以通过调整单位产出费和固定收费以最大化其利润,因此,相对固定收费和特许权收费而言,外国企业通过两部收费方式的技术授权可以获得更高的利润。

尽管政府总是希望通过引进先进技术借以提升国内科技水平。然而,在国家间开

展贸易的背景下,两部付费方式的跨国技术引进可能造成国内社会福利的恶化。首先,因为外国企业抽取了国内企业因获得新技术而提升的所有利润,从产业利润来看,引进技术并没有带来额外的收益。其次,从消费者剩余角度考察,因为外国企业通过收取单位产出费用控制了国内企业的边际生产成本,进而控制国内企业的产量,这既可能提高消费者剩余又可能降低消费者剩余。当技术创新程度较低并且关税水平不太高时,技术授权前消费者剩余较高,而在两部收费的技术授权发生后,收取的单位产出费是关于关税水平的递减函数。因此,在相对较低的关税水平下,外国企业收取的单位产出费用较高,高质量产品的价格较高,导致国内企业的产量发生变化,从而造成消费者剩余的大幅下降,与此同时关税收入也较低,因而造成国内社会福利恶化。

尽管 Fauli-Oller 和 Sandonis(2002)也发现了类似的结论,不过他们分析的是企业进行 Bertrand 竞争,即价格竞争时的情形,针对的是降低成本型的先进技术授权,并且这一结论只有在技术创新程度足够大时方才成立。而我们考察的是企业进行 Cournot 竞争,即产量竞争时的情形,针对的是质量改进型的技术授权。

六 结论性评述

本文借助 Cournot 双寡头市场竞争模型,分析了外国企业的最优技术授权策略。结果表明,外国企业的技术授权策略依赖进口国设定的关税水平。^① 具体而言,在技术创新程度较低的情况下,外国企业无论是通过固定收费还是特许权收费均能增加其利润。在产品差异程度较高的情况下,仅当关税水平较高时,外国企业才会通过固定收费方式进行技术授权。相对特许权收费方式的技术授权,仅当关税水平较高时,外国企业方才更加偏好固定收费。就不同技术授权方式来看,无论是固定收费、特许权收费还是两部收费方式的技术授权均有可能降低进口国社会福利。

值得注意的是,当关税水平很高时,两部收费方式的技术授权会退化为固定收费的技术授权,而当关税水平很低时,两部收费方式的技术授权则等同于特许权收费方式的技术授权。

尽管我们在国际贸易背景下,仅仅考虑了进口关税这一影响贸易成本的因素,不过,即使考虑诸如运输、保险成本后,外国企业的技术授权策略仍与本文研究结果一致,这是因为这些成本对外国企业利润和进口国企业利润的影响机理与关税一样。此

^① 感谢审稿人的提示,本文的这一结论也可以推广应用于分析两个国内企业之间的技术授权情形,此时拥有生产高质量产品先进技术的企业生产的边际成本较高。

外,贸易成本并不进入进口国社会福利函数,因此这些成本也不会影响不同技术授权方式所引致的社会福利相对大小。

本文的研究结论具有重要的现实意义与政策涵义。首先,技术授权可能会恶化技术引进国的社会福利。引理1、引理4和命题4表明,无论何种方式的技术授权,均有可能导致技术引进国社会福利的恶化,这给我们的启示是应该慎重地通过技术授权方式引进先进技术。其次,贸易政策与促进技术引进的产业政策应该协调一致。一国的关税水平对外国企业所采取的技术授权形式会产生非常重要的影响,同时也对本国的社会福利水平产生影响。正因为如此,一国在借助技术授权引进外国先进技术的过程中,应在世界贸易组织的框架内将关税水平维持在一个合理的范围内。最后,一国可以利用经济手段合理引导外国企业,使之采取最有利该国社会福利的技术授权形式。

本文仅考虑了拥有先进技术的外国企业向国内单一企业而不是多企业进行技术授权的情况,一方面是为了便于与已有相关文献比较,另一方面则是一旦考虑多个国内企业,那么外国企业的授权策略将会变得异常复杂,既会牵涉到向谁授权问题,同时也会涉及如何授权问题。另外,基于模型的可处理性考虑,我们没有考虑信息不对称的情形,也没有考虑市场的不确定性因素以及外国企业和进口国企业在技术授权过程中的谈判势力,这些未尽问题有待我们在将来的研究中予以解决。

参考文献:

- 黄金树、李仁耀、蔡惠羽(2005):《外国技术授权策略与本国关税政策之探讨》,《经济学(季刊)》第10期。
- 李长英、姜羽(2006):《Stackelberg竞争条件下的企业兼并与技术授权》,《世界经济文汇》第2期。
- 李长英、宋娟(2006a):《政府在企业兼并与技术转让中的策略选择》,《南开学报》第1期。
- 李长英、宋娟(2006b):《古诺竞争条件下异质品企业之间的兼并与技术转让》,《世界经济》第7期。
- 李长英、王君美(2009):《技术授权形式及其社会福利效应》,《世界经济文汇》第6期。
- 李长英、王君美(2010):《最优技术授权及其社会福利分析》,《世界经济》第1期。
- 李仁耀、黄金树(2006):《专利权人在不对称信息下的技术授权策略选择》,《经济研究》第10期。
- 王君美(2012):《非生产性企业技术授权的对象选择问题》,《科研管理》第10期。
- Erkal, N. "Optimal Licensing Policy in Differentiated Industries." *The Economic Record*, 2005, 81(252), pp. 51-64.
- Fauli-Oller, R. and Sandonis, J. "Welfare Reducing Licensing." *Games and Economic Behavior*, 2002, 41, pp. 192-205.
- Fauli-Oller, R. and Sandonis, J. "To Merger or to License: Implications for Competition Policy." *International Journal of Industrial Organization*, 2003, 21, pp. 655-672.
- Kabiraj, T. "Technology Transfer in a Stackelberg Structure: Licensing Contracts and Welfare." *The Manchester*

School, 2005,73, pp.1-28.

Kamien, M. and Tauman, Y. "Fees versus Royalties and the Private Value of a Patent." *Quarterly Journal of Economics*, 1986,101, pp.471 - 491.

Kamien, M. and Tauman, Y. "Patent Licensing: The Inside Story." *The Manchester School*, 2002, 70(1), pp.7-15.

Li, C. and Geng, X. "Licensing to a Durable-Good Monopoly." *Economic Modelling*, 2008, 25(5), pp.876-884.

Li, C. and Song, J. "Technology Licensing in a Vertically Differentiated Duopoly." *Japan and the World Economy*, 2009,21(2), pp.183-190.

Li, Y. and Yanagawa, T. "Patent Licensing of Stackelberg Manufacturer in a Differentiated Product Market." *International Journal of Economic Theory*, 2011, 7, pp.7-20.

Motta, M. "Endogenous Quality Choice: Price vs. Quantity Competition." *The Journal of Industrial Economics*,1993,41(2), pp.113-131.

Park, J. Y. "Strategic R&D Policy under Vertically Differentiated Oligopoly." *Canadian Journal of Economics*, 2001, 34(4), pp.967-987.

Tirole, J. *The Theory of Industrial Organization*. Cambridge: MIT Press,1988.

Wang, X. H. "Fee versus Royalty Licensing in a Cournot Duopoly Model." *Economics Letters*, 1998,60, pp.55-62.

Wang, X. H. "Fee versus Royalty Licensing in a Differentiated Cournot Duopoly." *Journal of Economics and Business*, 2002,54, pp.253-266.

Wang, X. H. and Yang, B. "On Licensing under Bertrand Competition." *Australian Economic Papers*, 1999, 38, pp.106-119.

Zhou,D.S.; Spencer, B. and Vertinsky, I. "Strategic Trade Policy with Endogenous Choice of Quality and Asymmetric Costs." *Journal of International Economics*, 2002, 56, pp.205-232.

附录:

引理 2 的证明:

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t > t_1$ 时, $\Delta \bar{\Pi}_{1r} = \bar{\Pi}_{1r} - \pi_1 = \frac{5(8 - 3s)s - 10s^2t + t^2(64 - 72s + 9s^2)}{20(4 - s)^2} > 0$, 而当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t_1 > t$, 或者 $s > 0.25$ 时: $\Delta \hat{\Pi}_{1r} = \hat{\Pi}_{1r} - \pi_1 = \frac{(\sqrt{s} - s)[t^2(16 + 3\sqrt{s} - s) + 3(\sqrt{s} + s) + 2t(8 + 3\sqrt{s} + s)]}{4(4 - s)^2} > 0$, 证毕。

引理 3 的证明:

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t > t_1$ 时, $\Delta \bar{\Pi}_{1rf} = \bar{\Pi}_{1r} - \Pi_{1f} = \frac{5 - 10t + 9t^2}{20} - [\frac{(1 - 2t)^2}{9} + \frac{(1 + t)^2}{9}] -$

$\frac{s(1+t)^2}{(4-s)^2}$], 由于 $\frac{\partial^2 \Delta \bar{\Pi}_{1f}}{\partial c^2} = -\frac{304 - 332s + 19s^2}{90(4-s)^2} < 0$, 令 $\frac{\partial \Delta \bar{\Pi}_{1f}}{\partial c} = 0$, 解得:

$$t_2 = \frac{760s - 800 - 50s^2 + 24(4-s)\sqrt{5(16-17s+s^2)}}{2(304-332s+19s^2)}$$

$$t_2^* = \frac{760s - 800 - 50s^2 - 24(4-s)\sqrt{5(16-17s+s^2)}}{2(304-332s+19s^2)} < 0$$

当 $s < 0.022$ 时, 因为 $t_2 > t_1$, 所以若 $t < t_2$, 那么 $\bar{\Pi}_{1r} > \Pi_{1f}$ 。而当 $0.022 < s < 0.25$ 时, $t_2 < t_1$, 所以 $\bar{\Pi}_{1r} < \Pi_{1f}$ 。当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t_1 > t$ 或 $s > 0.25$ 时:

$$\Delta \hat{\Pi}_{1f} = \hat{\Pi}_{1r} - \Pi_{1f} = \frac{(1+t)(4-3\sqrt{s}-s)[4+3\sqrt{s}-s-t(44-3\sqrt{s}-11s)]}{36(4-s)^2}$$

由于 $\frac{\partial^2 \Delta \hat{\Pi}_{1f}}{\partial c^2} = -\frac{176 - 144\sqrt{s} - 79s + 36s\sqrt{s} + 11s^2}{2(2-s)^2} < 0$, 令 $\frac{\partial \Delta \hat{\Pi}_{1f}}{\partial c} = 0$, 解得: $t_3 = \frac{4+3\sqrt{s}-s}{44-3\sqrt{s}-11s}$, $t_3^* = -1 < 0$ 。当 $s < 0.022$ 时, 因为 $t_3 > t_1$, 所以 $\hat{\Pi}_{1r} > \Pi_{1f}$ 。当 $0.022 < s < 0.25$ 或 $s > 0.25$ 时, $t_1 > t_3$ 。因此, 仅当 $t < t_3$ 时, $\hat{\Pi}_{1r} > \Pi_{1f}$ 。证毕。

引理 4 的证明:

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t > t_1$ 时, $\Delta \bar{W}_r = \bar{W}_r - W = \frac{10t(8-7s) - 3t^2(32-33s) - 125s}{200(4-s)}$, 因 $\frac{\partial \Delta \bar{W}_r}{\partial s} = -\frac{5+2t-3t^2}{2(4-s)^2} < 0$, 令 $\Delta \bar{W}_r = 0$, 解得 $\bar{s} = \frac{16t(5-6t)}{125+70t-99t^2} < 0.25$, 因此, 当 $\bar{s} < s < 0.25$ 时, $\Delta \bar{W}_r < 0$, 即 $\bar{W}_r < W$ 。

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t_1 > t$, 或者 $s > 0.25$ 时:

$$\Delta \hat{W}_r = \hat{W}_r - W = \frac{(1+t)(1-\sqrt{s})\sqrt{s}[8-3\sqrt{s}-5s-3t(8+\sqrt{s}-s)]}{8(4-s)^2}$$

令 $\Delta \hat{W}_r = 0$, 解得, $t_4 = \frac{8-3\sqrt{s}-5s}{24+3\sqrt{s}-3s}$, $t_4^* = -1$ 。当 $s < 0.106$ 时, $t < t_1 < t_4$, 因此, $\Delta \hat{W}_r > 0$, 即 $\hat{W}_r > W$; 而当 $s > 0.106$ 时, $t_4 < t_1$, 因此若 $t_4 < t < t_1$, 那么 $\Delta \hat{W}_r < 0$, 即 $\hat{W}_r < W$ 。证毕。

引理 5 的证明:

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t > t_1$ 时, $\Delta \bar{W}_{rf} = \bar{W}_r - W_f = \frac{t^2(3344 - 3472s + 209s^2) + 10t(688 - 704s + 43s^2) - 25(112 + 16s + 7s^2)}{1800(4-s)^2}$ 因 为: $\frac{\partial^2 \Delta \bar{W}_{rf}}{\partial t^2} =$

$\frac{3344 - 3472s + 209s^2}{900(4-s)^2} > 0$, 令: $\frac{\partial \Delta \bar{W}_{rf}}{\partial t} = 0$, 解得:

$$t_5 = \frac{5[12(4-s)\sqrt{368-382s+23s^2}-43s^2+704s-688]}{3344-3472s+209s^2}$$

$$t_5^* = \frac{5[-12(4-s)\sqrt{368-382s+23s^2}-43s^2+704s-688]}{3344-3472s+209s^2} < 0$$

当 $s < 0.216$ 时, $t_1 < t_5$, 若 $t_5 < t < \frac{1}{2}$, 则 $\Delta\bar{W}_{ef} > 0$, 即 $\bar{W}_r > W_f$, 若 $t_1 < t < t_5$, 则 $\Delta\bar{W}_{ef} < 0$,

即 $\bar{W}_r < W_f$ 。

当 $s < 0.25$ 且 $\frac{1}{2} > t_1 > t$, 或者 $s > 0.25$ 时:

$$\Delta\hat{W}_{ef} = \hat{W}_r - W_f = \frac{(1+t)(4-3\sqrt{s}-s)[t(68-3\sqrt{s}-17s)-(28+3\sqrt{s}-7s)]}{72(4-s)^2}$$

令 $\Delta\hat{W}_{ef} = 0$, 解得: $t_6 = \frac{28+3\sqrt{s}-7s}{68-3\sqrt{s}-17s}$, $t_6^* = -1$ 。当 $s < 0.216$ 时, $t < t_1 < t_6$, 因而 $\Delta\hat{W}_{ef} < 0$,

即 $\hat{W}_r < W_f$; 当 $s > 0.216$ 时, $t_6 < t_1$, 因此, 若 $t > t_6$, 则 $\Delta\hat{W}_{ef} > 0$, 即 $\hat{W}_r > W_f$ 。证毕。

命题 4 的证明:

$$\text{当 } \frac{1}{5} \geq t \geq \frac{\sqrt{s}}{8-\sqrt{s}-2s} \text{ 时, } \Delta\bar{W}_t = \bar{W}_t - W =$$

$$\frac{2t(32-12s+3s^2)-t^2(128-84s+11s^2)-s(12-5s)}{8(4-s)^2} \cdot \frac{\partial^2 \bar{W}_t}{\partial t^2} = -\frac{128-84s+11s^2}{4(4-s)^2} < 0, \text{ 令:}$$

$$\frac{\partial \bar{W}_t}{\partial t} = 0, \text{ 解得:}$$

$$t_7 = \frac{64-24s+6s^2-8(4-s)\sqrt{4-7s+4s^2}}{2(128-84s+11s^2)}$$

$$t_7^* = \frac{64-24s+6s^2+8(4-s)\sqrt{4-7s+4s^2}}{2(128-84s+11s^2)}$$

当 $s < 0.556$ 时, $t_7 < \frac{\sqrt{s}}{8-\sqrt{s}-2s} < t < t_7^*$, 因而 $\Delta\bar{W}_t > 0$, 当 $s > 0.556$ 时, $\frac{\sqrt{s}}{8-\sqrt{s}-2s} < t_7$,

因此, 仅当 $t_7 < t < t_7^*$ 时, $\Delta\bar{W}_t < 0$, 即 $\bar{W}_t < W$ 。证毕。

(截稿:2013 年 7 月 责任编辑:宋志刚 贾中正)