双不对称下的技术投资竞争决策①

邓光军，曾 勇
(电子科技大学管理学院，成都 610054)

摘要：投资成本、质量(技术)水平以及外部市场偏好将影响不同创新产品或技术的出现顺序．通过考虑创新投资成本、质量(技术)水平、市场偏好等因素构建实物期权投资决策模型，研究了创新成本和产品质量水平都不对称的企业间的竞争决策和合作决策．研究结果表明，无论高成本的高质量企业还是低成本的低质量企业均可能成为领先者，1)企业间产品质量差距越大，两竞争企业的投资时间间隔越小，市场偏好越高，则两企业投资时间间隔越长；2)企业间合作的结果永远是低质量企业先投资，高质量企业后投资，而且竞争和合作投资两种情况下的同质量产品出现的时间差距随着成本差距的增大而增大，随着两企业产品质量差距的增大而缩小，随着市场偏好的增大而增大．

关键词：技术创新；实物期权；博弈均衡；合作创新
中图分类号：F830.59；F406.7 文献标识码：A 文章编号：1007－9807(2011)02－0001－18

0 引 言

不同创新产品或技术的出现顺序会受到自身投资成本、质量(技术)水平以及外部市场偏好的影响．例如，上世纪 80年代后期，当城市普遍用彩电的时候，黑白电视机却在中国农村受到欢迎．更近一点且有争议的例子是中国电信推出的小灵通(personal access phone system，PAS)．1997年 12月，无线市话小灵通业务首次在我国浙江余杭出现，随后在我国多个城市的发展呈燎原之势．反对者认为，在已有两代和两代半移动通信技术并即将进入 3G时代的情况下，中国引入日本过时的技术，这在资源上是浪费[1]．而支持者认为，“市场决定一切，需求决定供给”，小灵通“无线享受，有线付费”迎合了只需在本地漫游的广大低收入消费者的需求；而且对日本 PHS(personal handy-phone system)经过改造后产生的 PAS极大降低了运营商的运营成本，同时，小灵通业务不菲的经营业绩证明应该采用小灵通技术．两方的争议在一定程度上影响了国家政策的出台．2000年 5月，国家出台了暂停小灵通业务和发出对其进行调查的文件，但 1个月后，信息产业部(2000)604号文件批准小灵通业务正式在中国运营[2]．纵观小灵通近 10年的发展，小灵通在不同地区和国家发展状况存在差异．小灵通业务在中国欠发达地区和中小城市发展顺利，而在北京、上海和武汉等发达大城市的进展曾一度受阻．1998年小灵通在日本开始逐渐衰落，然而，在越南、印度、孟加拉等地区，小灵通发展良好[3]．根据小灵通在不同地区和不同市场以及不同时间的发展状况可知，质量

① 收稿日期：2008－04－21；修订日期：2009－03－30
基金项目：国家自然科学基金资助项目(70272001)；高校博士点基金资助项目(教技发中心函[2004]164号)；教育部“新世纪优秀人才支持计划”资助项目(教技函[2005]35号)．
作者简介：邓光军(1971—)，男，四川通江人，博士，副教授．Email: denggj@uestc.edu.cn

差距、成本差距和市场偏好影响了小灵通的生存②

从技术创新角度对类似电视机、小灵通现象的解释必须深入到市场结构和创新活动的性质中去，正如 Dasgupta和 Stiglitz[4]强调的那样，市场结构和创新活动的性质都是内生的，创新速度必须追溯到更加基本的因素，如需求环境、研发技术以及资本市场的性质等．那么，在技术创新投资中，质量差距、成本差距、市场偏好是如何影响不同水平技术采用时机的？这些因素对竞争双方的均衡策略有何影响？政府应如何引导技术创新？鉴于这些问题，本文通过考虑市场偏好、技术或质量水平、成本等因素，构建实物期权投资决策模型，对成本和质量都不对称的两企业的技术创新投资的竞争均衡策略、合作策略、竞争投资时间间隔和合作与竞争在促进技术创新时机的差异进行分析，以此揭示技术变迁的内在规律．

在研究企业投资竞争的实物期权文献中，仅从对称和非对称竞争划分，在对称竞争方面，Grenadier考察了对称企业进行房地产开发的竞争策略和投资时间间隔问题[5]，Weeds研究了对称企业单阶段研发竞争的交互行为[6]；在非对称竞争方面，Huisman等[7]研究了投资成本存在差异的两企业间技术采纳的问题，夏晖和曾勇着重考察了投资成本存在差异的两竞争企业间的序贯、抢先和同时均衡以及技术采纳的时间间隔问题[8]．在非对称竞争文献中，竞争企业间在只存在一种非对称因素情况下，竞争结果永远是单方面存在优势的企业在竞争中作领先者，这与现实存在差距．

本文与已有研究不同之处在于，同时考虑了成本和质量的不对称，而且采用包含市场偏好、质量差距的具体需求函数，综合考察市场偏好、质量差距和成本差距对两竞争企业投资时间间隔的影响．Grenadier[5]、Huisman[7]以及夏晖和曾勇[8]都仅用一个抽象的市场需求函数来描述市场结构，因而无法深入地描述市场偏好、质量差距对竞争企业投资决策行为和投资时机的影响③．

本文研究结果表明，在类似小灵通和第 2代、第 3代移动通信等不同水平的技术竞争过程中，在一定的市场偏好和质量差距条件下，即使存在一定的成本差距，为了获得尽可能长时间的完全垄断利润，无论是高成本的高质量企业还是低成本的低质量企业都可能成为领先者．在投资时间间隔方面，因为较高的市场偏好会激励竞争企业尽早投资以获得一段时间的完全垄断利润，所以市场偏好越高两企业投资时间间隔越长．在产品差异化的竞争中，较高的质量差距会增大两企业的寡头垄断利润，从而会削弱产品市场中的竞争强度，因而，企业间产品质量差距越大，两企业的投资时间间隔越小．

在企业合作投资中，仿佛存在以两个企业总价值最大化为决策准则的“中央计划”机构，它最优地安排企业的投资顺序和时机．研究结果表明，由于质量高低决定了市场利润，为了最大限度榨取市场利润，企业间合作的结果总是低质量企业先投资，高质量企业后投资；且合作情况下低质量企业先投资的时机和高质量企业后投资的时机都分别落后于竞争情况下领导者投资时机和追随者的投资时机．

本文首先在第 1节采用 Shaked和 Sutton[9]、Tirole[10]和 Rosenkranz[11]市场偏好模型得到具有不同技术水平或质量的两企业的完全垄断利润和寡头垄断利润，在此基础上加入市场不确定性．然后，在第 2节构建企业非合作竞争模型和合作投资决策模型，并对竞争均衡进行分析．第 3节，对

② 小灵通能够在市场上占有一席之地的原因在于，小灵通技术同两代或两代半移动通信技术之间存在着垂直差异．换句话说，两代或两代半移动通信技术与小灵通的技术水平存在差异，如果两代或两代半移动通信技术与小灵通的使用成本相同，那么所有消费者都会使用高质量的两代或两代半移动通信技术．反之，消费者仅面对两代或两代半移动通信技术时，不同质量偏好类型的消费者对它们的评价不一样：偏好高质量的消费者评价高且愿意支付高使用成本，偏好低质量的消费者则相反．在本文中，决定消费者偏好高低的是不同水平技术之间的可替代性和消费者的收入水平．由于市场竞争的存在，不同技术的使用成本不同导致不同收入水平的消费者采用不同的技术，最终消费者的偏好表现在对不同技术（质量）的偏好．本文的市场偏好在第 2节中定义，指市场中最低的消费者质量偏好．

③ 在他们的研究中，如 Grenadier，竞争者面临的市场需求函数为 D(·)，通过对 D(·)简单地直接赋不同的值表示完全垄断、寡头垄断时竞争者利润的变化．如 D(1)表示完全垄断利润，D(2)表示寡头垄断利润．Huisman等、夏晖和曾勇均采用 D_{00}、D_{01}和 D_{10}、D_{11}分别表示两企业经营现有技术得到的寡头垄断利润、率先采用新技术得到的完全垄断利润和都采用新技术得到的寡头垄断利润．

竞争企业间的投资时间间隔, 以及非合作和合作两种情况下相同技术的投资时机进行比较. 第 4 节是全文总结.

1 模型框架与假设

假设市场上存在两个企业, 不失一般性, 根据市场需求分别选择投资高质量技术(产品)和低质量技术(产品), 选择高水平技术(产品)的企业称为高质量企业, 表示为 h. 选择低水平技术(产品)的企业称为低质量企业, 表示为 l. 为了表述方便, 文中技术或产品统称为产品, 企业集合 $i=\{h, l\}$, 所有变量下标表示不同类型的企业, $-i$ 表示 i 的竞争者, 如 $i=h$, 则 $-i=l$.

高质量企业和低质量企业在市场上进行 Bertrand式的价格竞争, 根据 Tirole[10] 在 Shaked 和 Sutton[9] 基础上简化的模型④, 以及 Rosenkranz[11] 的模型, 假设低质量和高质量企业开发产品的质量分别为 S 和 αS, $\alpha>1$. 虽然 α 为高质量产品相对于低质量产品的质量倍数, 但为了表述方便, 文中把 α 称为两产品的质量差距. 产品的需求会受到市场消费者偏好的影响, 假设消费者的效用为 u, 则有

$$u=\Phi q-P \tag{1}$$

其中, q 为产品质量水平, $q=\{S, \alpha S\}$, P 为产品价格. Φ 为消费者质量偏好类型, 是一个把 q 转化为可以通过货币来衡量的转换因子, 质量偏好越高则 Φ 越大.

式(1)的经济含义是: 根据自己的质量偏好类型 Φ, 消费者把质量水平为 q 的产品转化为可用货币衡量的最大支付意愿(保留价格)Φq, 再根据厂商制定的价格 P 来确定自己能够得到的以货币衡量的效用. 例如, 市场上的手机移动通信技术是高质量产品, 在 P 相同的情况下, 对于任何质量偏好类型 Φ 的消费者都愿意拥有移动手机. 反之, 当消费者仅面对质量为 q 的技术时, 由于消费者的质量偏好类型 Φ 不同, 所以偏好高质量的消费者的最大支付意愿高于偏好低质量消费者的最大支付意愿. 另外, 在垂直产品差异化竞争情况下, 一个产品相对于另一个产品的质量越高, 它的价格 P 也越高, 即消费者使用的成本越高. 小灵通是低质量的产品, 但它是低使用成本的产品. 因此, 对于广大低质量偏好类型的用户, 综合比较质量和价格(成本)之后会选择小灵通.

假设市场上所有消费者的偏好类型 Φ 从低到高在 $[b, b+1]$ 上服从均匀分布⑤, 其中, b 是消费者的最低偏好类型, $0\leqslant b\leqslant 1$, 本文直接把它定义为市场偏好, 因为由它决定了整个市场上消费者的偏好分布范围. 假设市场上的消费者在消费时只有两种选择, 或者高质量产品, 或者低质量产品. 根据两企业对其产品的定价, 市场上存在消费两种产品获得的效用都一样的无差异消费者, 该消费者把整个市场分为两部分: 低端消费市场和高端消费市场⑥. 根据本文研究的目的, 令整个市场的需求为 1, 假设企业的生产(运营)成本为 0⑦, 对 Rosenkranz[11] 的模型稍做调整和整理, 可得到两企业在寡头垄断和完全垄断市场条件下产品价格和企业的利润, 其完整结果由引理 1得到.

引理 1

1) 两寡头垄断市场条件下, 无差异消费者类型为

$$\Phi^{*}=(P_h-P_l)/(\alpha-1)S \tag{2}$$

其中, $P_h=(b+2)(\alpha-1)S/3$, $P_l=(1-b)(\alpha-1)S/3$, P_h 为高质量产品价格, P_l 为低质量产品价格.

2) 厂商面对 P_h 的市场需求函数为

$$D_l(P_h, P_l)=\frac{P_h-P_l}{(\alpha-1)S}-b \tag{3}$$

$$D_h(P_h, P_l)=(b+1)-\frac{P_h-P_l}{(\alpha-1)S} \tag{4}$$

在两寡头垄断市场条件下, 为了保证市场上最低偏好的消费者愿意购买低质量产品, 产品质量的差距需满足条件

④ 见文献[10]中译本《产业组织理论》121页.

⑤ 消费者的偏好类型 Φ 也可以假设服从其它分布, 如正态分布. 但这些假设除了增加分析的复杂性外, 不会改变本文结果.

⑥ 无差异消费者类型 Φ^*: $\Phi^* S_h - P_h=\Phi^* S_l-P_l$.

⑦ 在移动通信市场, 一方面, 各运营商的基础设施投资成本在其所有成本中占有相当大比例, 而运营成本的比例很小; 另一方面, 各运营商的单位运营成本基本相同, 且随着消费者人数的增加趋于 0

$$1\leqslant\alpha\leqslant\left(\frac{3b}{1-b}+1\right)\tag{5}$$

3) 两寡头垄断市场条件下, 两企业的垄断利润为

$$\pi_i^D=\begin{cases}\pi_l^D=\dfrac{(1-b)^2}{9}(\alpha-1)S\\ \pi_h^D=\dfrac{(b+2)^2}{9}(\alpha-1)S\end{cases}\tag{6}$$

4) 只有一个企业存在市场的情况下, 垄断价格和垄断利润为

$$P_i^M=\begin{cases}P_l^M=\dfrac{b+1}{2}S\\ P_h^M=\dfrac{b+1}{2}\alpha S\end{cases}\tag{7}$$

$$\pi_i^M=\begin{cases}\pi_l^M=\dfrac{(b+1)^2}{4}S\\ \pi_h^M=\dfrac{(b+1)^2}{4}\alpha S\end{cases}\tag{8}$$

根据引理 1, 可得到引理 2(证明见附录 B).

引理 2 $\pi_h^M>\pi_h^D$, $\pi_l^M>\pi_l^D$.

为了后文研究以两企业总价值最大化为决策目标的序列投资问题, 有引理 3(证明见附录 C).

引理 3 $\pi_h^D-\pi_h^M+\pi_l^D\leqslant 0$, 存在一个 b_l^*, 当 $b>b_l^*$ 且 $\frac{3b_l^*}{1-b_l^*}+1<\alpha\leqslant\frac{3b}{1-b}+1$ 时, $\pi_l^D-\pi_l^M+\pi_h^D>0$.

引理 3 隐含的意思是, 要实现两企业总价值最大化, 应满足合作后两企业的总利润大于企业单独投资获得的完全垄断利润.

两企业在市场上的利润会随着时间的变化受到外界诸如宏观经济因素、产业政策或新增的消费者人数等不确定环境因素 Y_t 的冲击而发生波动, 本文把 Y_t 称作市场不确定性. 采用 Grenadier[5] 和 Huisman[7] 类似的方法, 在市场不确定和寡头垄断条件下两企业利润为⑧

$$\pi_i^D=\pi_i^D Y_t\tag{9}$$

完全垄断市场上企业的利润为

$$\pi_i^M=\pi_i^M Y_t\tag{10}$$

其中, Y_t 服从几何布朗过程

$$dY_t=\mu Y_t dt+\sigma Y_t dz\tag{11}$$

其中, μ 为漂移率, σ 为标准偏差, μ 和 σ 是常数, dz 是标准 Wiener 过程增量.

两企业的投资成本满足下式:

$$K_h=cK_l\tag{12}$$

其中, c 为成本差距, 表示高质量产品的开发成本相对于低质量产品的差距, $c>0$. 注意, 虽然本文称高质量企业是"高"成本, 但并没有限制 c 不可以小于 1.

由于是两个企业竞争, 因此, 可能存在完全垄断者 (monopoly)、领先 (投资) 者 (leader)、追随 (投资) 者 (follower)、同时投资 (simultaneous investors)、合作投资者 (cooperated investors), 文中各变量的上标 M、L、F、S 和 L+F 分别表示企业的不同角色.

最后, 假设对任一企业

$$E_0\left(\int_0^{\infty}e^{-rt}\pi_i^{(*)}Y_t dt\right)-K_i<0$$

其中, $\pi_i^{(*)}=\{\pi_i^M,\pi_i^D\}$, r 为折现率, 即在初始时刻, 总期望利润小于投资成本, 两企业都处于不投资状态; 且投资不可逆.

基于以上假设, 下面本文分别对企业的竞争均衡条件、合作决策、投资时间间隔进行分析.

2 企业投资决策

本节主要分析并得到: 1) 不完全竞争条件下领先者和追随者的价值、投资临界值以及竞争均衡条件; 2) 合作序列投资中两企业先后投资的价值和投资临界值.

2.1 竞争决策及其均衡

2.1.1 竞争决策

在非合作的竞争决策中, 首先要求解追随者投资价值, 然后再求解领先者投资价值. 在领先者已经投资的情况下, 追随者投资后只能得到寡头垄断利润流. 根据相应的贝尔曼方程并求解得到追随者的价值为 (求解过程见 Dixit 和 Pindyck[12])

$$V_i^F(Y)=\begin{cases}A_i^F Y^{\beta_0} & Y<Y_i^F\\ \dfrac{\pi_i^D Y}{r-\mu}-K_i & Y\geqslant Y_i^F\end{cases}\tag{13}$$

⑧ 在本文中, 式 (3) 和 (4) 表示两企业的需求曲线. Grenadier[5] 和 Huisman[7] 在刻画企业利润随着外界因素 Y_t 的冲击时, 直接把利润表示为: $Y_t D(\cdot)$, D 表示企业采取不同战略时得到的利润. Y_t 在此最直观的经济意义是 t 时新增的消费者人数.

其中

$$A_i^F = \frac{\pi_i^D}{\beta_0(r-\mu)} Y_i^{F(1-\beta_0)}$$

$$\beta_0 = 0.5 - \frac{\mu}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{\mu}{\sigma^2} - 0.5\right)^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}$$

追随者的投资临界值为

$$Y_i^F = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r-\mu)K_i}{\pi_i^D} \tag{14}$$

领先者的价值为（推导见附录 A）

$$V_i^L(Y) = \begin{cases} \dfrac{\pi_i^M Y}{r-\mu} - \dfrac{(\pi_i^M - \pi_i^D)}{r-\mu} Y_{-i}^F \left(\dfrac{Y}{Y_{-i}^F}\right)^{\beta_0} - K_i & Y < Y_{-i}^F \\ \dfrac{\pi_i^D Y}{r-\mu} - K_i & Y \geqslant Y_{-i}^F \end{cases} \tag{15}$$

其中 Y_{-i}^F 是追随者的投资门槛值.

领先者在进行投资时一方面追求尽可能长的完全垄断利润，同时要考虑追随者投资对其企业价值的负面影响. 式（15）第 1行第 1项是领先者抢先投资所得到的完全垄断时的价值，第 2项是受到追随者可能投资的负面影响导致领先者获得的垄断价值减少程度. 第 3行表示 $Y \geqslant Y_{-i}^F$ 时追随者也会投资，这时领先者只能得到寡头垄断价值.

如果领先者在竞争中具有绝对优势，有能力选择其最优的投资临界值，此时领先者投资临界值为[9]

$$Y_i^L = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1} \frac{(r-\mu)K_i}{\pi_i^M} \tag{16}$$

根据式（16）可知，Y_i^L 实际上等于企业作为完全垄断者时的投资临界值 Y_i^M.

2.1.2　竞争均衡分析

由于两企业在质量和成本方面不对称，低质量企业可以以其低成本获得投资时机优势，高质量企业可以以高质量高利润来获得投资的时机优势，因此，两个企业都存在成为领先者的可能.

企业成为领先者分如下两种情况.

第 1种情况，企业 有动机成为领先者，同时，竞争对手没有动机成为领先者而甘当追随者. 即，Y在一定区间内同时满足如下两式

$$R_i(Y) = V_i^L(Y) - V_i^F(Y) \geqslant 0 \tag{17}$$

$$R_{-i}(Y) = V_{-i}^L(Y) - V_{-i}^F(Y) < 0 \tag{18}$$

式（17）表示企业 成为领先者的价值要高于自身是追随者的价值，式（18）表示企业 的竞争对手成为领先者的价值总是低于自身是追随者的价值，从而不愿成为领先者. 在满足一定的条件下[10]，$V_i^L(Y)$和 $V_i^F(Y)$存在交点 Y_i^{P1} 和 Y_i^{P2} [$R_i(Y_i^{P1}) = R_i(Y_i^{P2}) = 0$]，当 $Y \in [Y_i^{P1}, Y_i^{P2}]$ 时 $R_i(Y) \geqslant 0$，其他 $R_i(Y) < 0$，但是，$Y \in [0, \infty)$时，式（18）都必须成立. 因此，企业 能够选择最优投资时机 $T^{opt} = \inf(t \mid Y = Y_i^L)$进行投资.

第 2种情况，两企业都有动机成为领先者，即

$$R_i(Y) = V_i^L(Y) - V_i^F(Y) \geqslant 0 \tag{19}$$

$$R_{-i}(Y) = V_{-i}^L(Y) - V_{-i}^F(Y) \geqslant 0 \tag{20}$$

此时，$Y \in [Y_i^{P1}, Y_i^{P2}]$ 时 $R_i(Y) \geqslant 0$，其他 $R_i(Y) < 0$，当 $Y \in [Y_{-i}^{P1}, Y_{-i}^{P2}]$时 $R_{-i}(Y) \geqslant 0$，其他 $R_{-i}(Y) < 0$. 因此，Y_i^{P1} 和 Y_{-i}^{P1} 小者所对应的企业成为领先者，大者对应的企业成为追随者. 当 $Y_i^{P1} < Y_{-i}^{P1}$时，即企业 能够先投资的情况下，不一定要在 Y_i^{P1} 处投资，他只要在 Y首次到达 $\min(Y_{-i}^{P1}, Y_i^L)$处投资就可领先对手. 由于在企业 i先投资而企业 $-i$不能成为领先者的情况下，企业 $-i$的最优投资策略是在 Y_{-i}^F 处投资并获得追随者的价值. 如果企业 $-i$抢先投资不让对手 获得超额的完全垄断利润，很显然，此时企业 $-i$价值比其作为追随者的价值还要低，这是不理性的行为.

基于上面的分析，只要企业 i有能力选择 Y_i^L 投资则两企业间的均衡为序贯均衡. 如果企业 i 只能在 Y_{-i}^{P1} 处抢先对手投资，则两企业间的均衡为抢先均衡. 因此，有定理 1（证明见附录 D）：

定理 1　给定 l和 α的情况下，存在

$$\varsigma_h^* = \frac{1}{\pi_l^D} \left[\frac{\pi_h^{M\beta_0} - \pi_h^{D\beta_0}}{\beta_0(\pi_h^M - \pi_h^D)}\right]^{\frac{1}{\beta_0 - 1}} \tag{21}$$

$$\varsigma_l^* = \pi_h^D \left[\frac{\beta_0(\pi_l^M - \pi_l^D)}{\pi_l^{M\beta_0} - \pi_l^{D\beta_0}}\right]^{\frac{1}{\beta_0 - 1}} \tag{22}$$

---

⑨　根据 $AY^{\beta_0} = \frac{\pi_i^M Y}{r-\mu} - \frac{(\pi_i^M - \pi_i^D)}{r-\mu} Y_{-i}^F \left(\frac{Y}{Y_{-i}^F}\right)^{\beta_0} - K_i$和该等式的一阶条件得到式（16）. 该等式左端的 AY^{β_0}是投资者作为领先者时等待投资的期权价值，等式右端是式（15）的第 1式. 该等式及一阶条件实质上是价值匹配和平滑粘贴条件.

⑩　这些条件见定理 1.

1) 存在 $c_h = \max(c_h^*, c_l^*)$，当 $c > c_h$ 时：

i $Y \geqslant 0$ 时，$V_h^L(Y) < V_h^F(Y)$；

ii 且存在 Y_l^{P1} 和 Y_l^{P2}，如果 $Y_l^{P1} < Y < Y_l^{P2}$，则 $V_l^L(Y) > V_l^F(Y)$，如果 $Y < Y_l^{P1} \cup Y > Y_l^{P2}$，则 $V_l^L(Y) < V_l^F(Y)$.

2) 存在 $c_l = \min(c_h^*, c_l^*)$，当 $c < c_l$ 时：

i $Y \geqslant 0$ 时，$V_l^L(Y) < V_l^F(Y)$；

ii 且存在 Y_h^{P1} 和 Y_h^{P2}，如果 $Y_h^{P1} < Y < Y_h^{P2}$，则 $V_h^L(Y) > V_h^F(Y)$，如果 $Y < Y_h^{P1} \cup Y > Y_h^{P2}$，则 $V_h^L(Y) < V_h^F(Y)$.

由于定理1刻画的只是第1种情况，还需进一步对第2种情况做确切区分，因此，对第2种情况进行分析可得定理2、3和推论1，从而确切地划分出两企业的序贯均衡和抢先均衡区域(证明见附录E、F).

定理2 对低质量企业，存在 $c_m = \min(\max(c_l, c_m^*), c_h)$，使得：

1) $c \in (0, c_m)$ 时，$Y_l^L > Y_h^{P1}$；

2) $c \in [c_m, \infty)$ 时，存在 Y_l^L 且 $Y_l^L \leqslant Y_h^{P1}$.

其中 $c_m^* = 1/\hat{z}^*$，$c_m^* \geqslant \alpha$，$\hat{z}^* \in [0, \hat{z}]$，$\hat{z}^*$ 由下式确定

$$\hat{z}^* \alpha \beta_0 \pi_l^{M\beta_0} - \hat{z}^* \beta_0 (\pi_h^M - \pi_h^D) \pi_l^{D(\beta_0 - 1)} - (\beta_0 - 1) \pi_l^{M\beta_0} - \hat{z}^{*\beta_0} \pi_h^{D\beta_0} = 0 \quad (23)$$

其中

$$\hat{z} = \left[\frac{\alpha \pi_l^{M\beta_0} - (\pi_h^M - \pi_h^D) \pi_l^{D(\beta_0 - 1)}}{\pi_h^{D\beta_0}} \right]^{\frac{1}{\beta_0 - 1}}$$

定理3 对高质量企业，存在 $c_n = \max(\min(c_h, c_n^*), c_l)$，使得：

1) $c \in (0, c_n]$ 时，存在 Y_h^L 且 $Y_h^L \leqslant Y_l^{P1}$；

2) $c \in (c_n, \infty)$ 时，$Y_h^L > Y_l^{P1}$.

其中，$c_n^* \leqslant \bar{z}^*$，$c_n^* \leqslant \alpha$，$\bar{z}^* \in [0, \bar{z}]$，$\bar{z}^*$ 由下式确定

$$\bar{z}^* (1/\alpha) \beta_0 \pi_h^{M\beta_0} - \bar{z}^* \beta_0 (\pi_l^M - \pi_l^D) \pi_h^{D(\beta_0 - 1)} - (\beta_0 - 1) \pi_h^{M\beta_0} - \bar{z}^{*\beta_0} \pi_l^{D\beta_0} = 0 \quad (24)$$

其中

$$\bar{z} = \left[\frac{(1/\alpha) \pi_h^{M\beta_0} - (\pi_l^M - \pi_l^D) \pi_h^{D(\beta_0 - 1)}}{\pi_l^{D\beta_0}} \right]^{\frac{1}{\beta_0 - 1}}$$

根据定理2、3可得推论1(证明见附录G).

推论1 $c_n \leqslant c_m$.

两企业间必定存在的竞争均衡类型有：当 $c \in (0, c_n]$ 时，两企业的竞争均衡一定是高质量企业占先的序贯均衡；当 $c \in [c_m, \infty)$ 时，两企业的竞争均衡一定是低质量企业占先的序贯均衡；当 $c \in (c_n, c_m)$ 时，两企业的竞争均衡为抢先均衡.

值得注意的是，在定理1、2、3中，首先，虽然本文以成本差距表示了竞争企业领先价值和追随价值关系的判定条件，但 c_l、c_h、c_n 和 c_m 最终是由质量差距、市场偏好和市场波动率共同决定，质量差距、市场偏好和市场波动率如何对 c_l、c_h、c_n 和 c_m 产生影响，鉴于本文研究目的，在此不再赘述. 实际上，这些因素对 c_l、c_h、c_n 和 c_m 的间接影响在投资时间间隔分析中有反映；其次，c_l、c_h、c_n 和 c_m 是判断成本差距和市场不确定性 Y 能否满足竞争企业领先价值和追随价值大小关系的临界值.

根据定理1、2、3，为了便于理解，图1给出了 $c_l < c_n < c_m < c_h$ 时成本差距系数 c 由小到大变化时会出现的均衡类型情况.

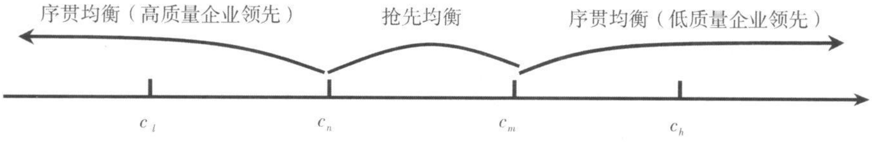


图1 可能的均衡情况

Fig. 1 Possible equilibrium cases

根据图1还可以推断出另外两种情况.

第1种情况：$c_l = c_n$ 或 $c_m = c_h$. 此时，既存在高质量企业占先的抢先均衡和序贯均衡，也存在低质量企业占先的抢先均衡和序贯均衡；

第2种情况：$c_n = c_m$. 此时，只存在高质量企业占先的序贯均衡和低质量企业占先的序贯均衡⑪.

⑪ 实际上，如 $c_n^* = c_h$ 等情况由于 $c_m^* > \alpha$ 和 $c_n^* < \alpha$ 条件的限制并不存在.

可以根据以上两种情况更深入地研究所需的市场偏好、质量差距和波动率条件，但是，由于一些结果无法得到解析解而难以推导的缘故，并且本文重要目的是研究两企业间的投资时间间隔，所以本文省略市场偏好、质量差距、波动率对两企业竞争均衡类型影响的讨论.

2.2　合作序列投资

所谓的合作序列投资，就是存在“中央计划”机构，以两企业总价值最大化为决策准则，对企业的投资顺序和投资时机做最优安排. 两企业合作序列投资价值为⑫

$$V_i^{L+F}=\begin{cases}C_iY^{\beta_0} & Y<Y_i\\ \dfrac{\pi_i^MY}{r-\mu}+\dfrac{K_{-i}}{\beta_0-1}\left(\dfrac{Y}{Y_{-i}}\right)^{\beta_0}-K_i & Y_i\leqslant Y<Y_{-i}\\ \dfrac{(\pi_i^D+\pi_{-i}^D)Y}{r-\mu}-(K_i+K_{-i}) & Y\geqslant Y_{-i}\end{cases}\tag{25}$$

根据式（25）第 1行和第 2行的价值匹配和平滑粘贴条件，以及式（25）第 2行和第 3行的价值匹配和平滑粘贴条件可得

$$Y_i=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{r-\mu}{\pi_i^M}K_i$$

$$Y_{-i}=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{r-\mu}{\pi_i^D-\pi_i^M+\pi_{-i}^D}K_{-i}$$

根据引理 3，当高质量企业先投资时，低质量企业跟随投资临界值小于 0，所以在合作序列投资时，只会出现低质量企业先投资、高质量企业随后投资的情况.

合作的另外一种情况是两企业共谋同时投资，可以证明在本文条件假设下不存在同时投资的情况（证明见附录 H），在此不做深入讨论.

3　分析和比较

3.1　不对称竞争企业的投资时间间隔

为了考察市场偏好 b、企业间质量差距 α和投资成本差距 c对两企业先后投资时间间隔的影响，从而回答市场上低质量产品比高质量产品后出现的原因，首先要得到两企业先后投资时间间隔的期望值.

如果企业 先在 $T_i^L=\inf\{t\mid Y_t\geqslant Y_i^P\}$时投资（$Y_i^P=\min\{Y_{-i}^P,Y_i^L\}$），企业 $-i$必然在 $T_{-i}^F=\inf\{t\mid Y_t\geqslant Y_{-i}^F\}$时投资，令两企业投资的期望时间间隔为 $E(T)$. 当 $\mu-0.5\sigma^2>0$时，投资时间间隔的期望 $E(T)$一定存在，根据 Grenadier[5] 的结论，其值为

$$E(T)=\frac{\ln\dfrac{Y_{-i}^F}{Y_i^P}}{\mu-0.5\sigma^2}\tag{26}$$

根据式（26），先得到序贯均衡中两企业投资时间间隔的变化规律，见定理 4（证明见附录 I），然后通过数值分析得到抢先均衡中两企业投资时间间隔的变化规律.

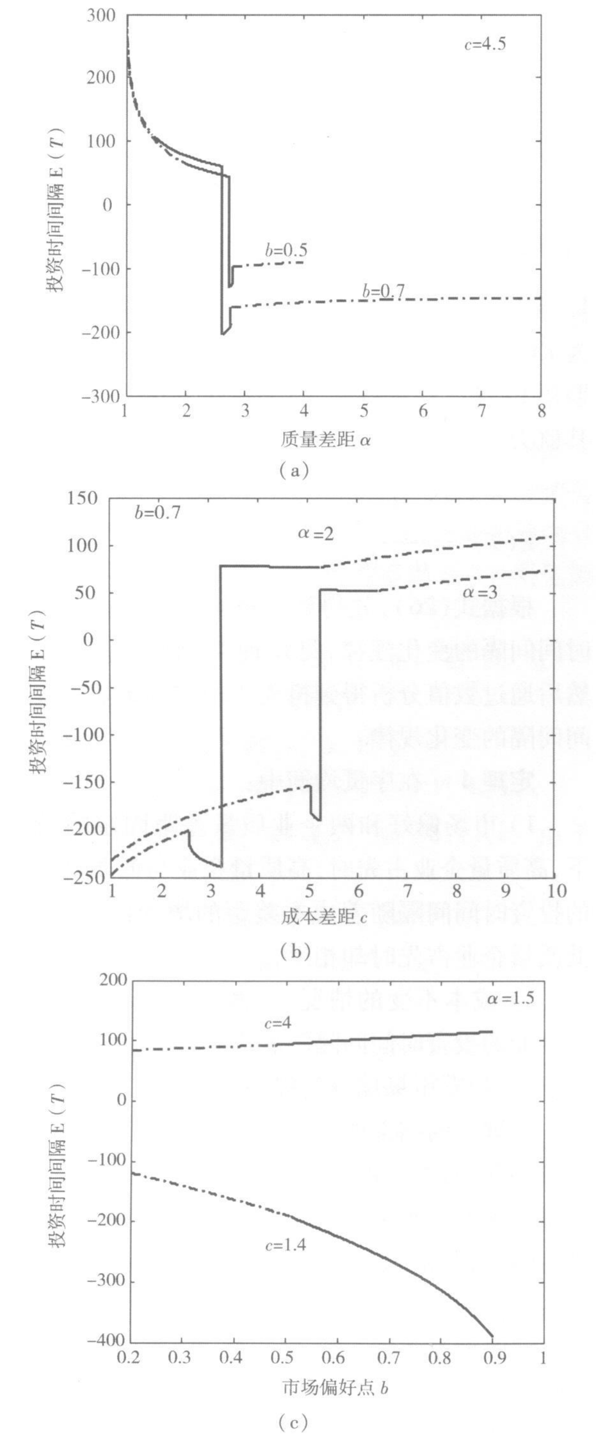
定理 4　在序贯均衡中：

1）市场偏好和两企业质量差距固定的情况下，高质量企业占先时，高质量企业与低质量企业的投资时间间隔随着成本差距的增加而缩小，而低质量企业占先时却相反；

2）成本不变的情况下，两企业各自占先时，两企业的投资时间间隔随着产品质量差距的扩大而缩小，随着市场偏好的提高而扩大.

定理 4的结果如图 2所示. 从定理 4可知，在序贯均衡中，对于占先的高质量企业，其成本与低质量企业的差距越大，两者间的投资时间间隔越小，而对占先的低质量企业却相反. 其原因在于，在两企业质量差距固定的情况下，成本差距增大会减弱高质量企业高质量给其带来的相对优势，相反会提高低质量企业的相对优势. UT斯达康公司把日本 PHS技术同固话的程控交换技术融合产生了 PAS技术，极大降低了小灵通入网和运营成本，促进了小灵通在中国的推出.

⑫　合作序列投资和竞争决策模型在价值表达式在形式上类同，区别在于：前者由于是最优计划决策，所以式（25）的第 2、3行不但要满足价值匹配条件，还要满足平滑粘贴条件. 而竞争决策中，式（15）的 1、2行只满足价值匹配条件.



基本参数:$\sigma = 0.2, \mu = 0.04, r = 0.06$. 注意, $E(T) > 0$ 表示低质量企业占先, $E(T) < 0$ 表示高质量企业占先. 虚线表示序贯均衡,实线表示抢先均衡.

图 2 质量差距、成本差距和市场偏好对竞争企业投资时间间隔的影响

Fig. 2 Impact of difference of quality and cost, and market preference on investment interval of competition firms

在产品质量差距方面, 无论是高质量企业还是低质量企业先投资, 两产品质量差距的扩大都会促使追随者尽快投资. 这是因为, 在 Bertrand式的价格竞争中, 质量差距的扩大意味着两产品的差异化增大, 从而两企业在产品市场上的竞争强度降低. 对低质量企业而言, 质量差距的扩大不会改变其完全垄断利润, 但会提高其寡头垄断利润. 但是, 对高质量企业而言, 质量差距的扩大会提高其完全垄断利润和寡头垄断利润. 因此, 在低质量企业占先的序贯均衡区域内, 时间间隔的缩短主要缘于高质量企业寡头垄断利润的提高. 而在高质量企业占先的序贯均衡区域内, 时间间隔的缩小缘于: 高质量企业完全垄断利润对低质量企业寡头垄断利润提高的相对速度随着质量差距的扩大而逐渐变缓⑬.

定理 4关于市场偏好的结论隐含着这样的情况, 如果低水平技术 (质量) 的企业具有综合优势而领先于对手投资, 市场偏好越大, 低质量企业领先于竞争对手的时间越长. 实际上, 无论是高质量企业还是低质量企业, 先于竞争对手投资的目的是为了获得一段暂时的完全垄断利润, 这也正是激励企业创新的重要动力. 市场整体偏好越高, 综合优势强的企业领先对手的时间越长.

根据投资不同质量水平的两企业的竞争均衡策略和定理 4可知, 在不同参数条件下, 两企业在竞争中的角色发生着变化, 这也意味着, 在高质量企业先投资的情况下, 低质量企业也会根据外部市场条件追随投资, 从而产生低质量产品落后于高质量产品出现的现象. 市场偏好越低、质量差距越大, 低质量产品随高质量产品出现的时间越快, 而且低质量产品追随投资的价值越高. 例如, UT斯达康公司基于 PHS技术, 针对中国大陆、中国台湾和越南等不同市场开发出了不同的无线接入技术, 赢得了这些国家和地区广大的市场. 同时 UT斯达康股票在纳斯达克不俗的表现[3], 更充分说明了准确的市场定位、潜在的巨大收益, 促使 UT斯达康在 1997年把小灵通推向中国市场, 那时相距中国第 1个 GSM通讯网络的建成约 3年时间.

由于在抢先均衡中, 可根据

⑬ 根据式 (26) 可知, 投资时机比较的是相对变化而不是绝对变化. 例如, 根据式 (6) 和 (8), 绝对变化 $\pi_h^M - \pi_l^D$ 随着质量差距 α 的增大而增大, 但是, 相对变化 π_h^M / π_l^D 却随着质量差距 α 的增大而缩小..

$$V_i^L(Y_i^{P1}) - V_i^F(Y_i^{P1}) = 0$$

求得 Y_i^{P1}，但该式难以求得解析解，因此，本文通过数值方法对抢先均衡情况下两企业的投资时间间隔进行分析和说明.

综合图 2(a)、(b)、(c)可得到结论 1.

结论 **1**

1)产品质量差距和市场偏好对抢先均衡区域内两企业投资时间间隔的影响趋势与序贯均衡区域的影响趋势相同.

2)成本对抢先均衡区域中两企业投资时间间隔的影响趋势与序贯均衡区域的影响趋势相反，即在高质量企业的抢先均衡区域中，成本差距越大两企业的投资时间间隔越大；在低质量企业的抢先均衡区域内，成本差距越大两企业投资时间间隔越小.

结论 1的第 2)点说明，在低质量企业抢先均衡中，低质量企业与高质量企业的投资时间间隔与成本差距成反向关系.其原因在于，随着成本差距的增大，高质量企业抢先投资的可能性越来越小，表现为高质量企业抢先投资临界值逐渐增大，从而成本优势企业为了提高投资价值会随高质量企业抢先投资临界值的增大而推迟投资，最终造成两企业投资时间间隔缩小[⑭].结论 1的第 2)点表明，在高质量企业的抢先均衡区域中，两企业的投资成本差距成正向关系.这是因为，成本差距的增大并不会影响低成本企业的追随投资时间，但会促进低质量企业抢先投资.因此，拥有综合优势的高成本高质量企业为了避免对手抢先必然会越早投资，从而两企业的投资时间间隔逐渐扩大[⑮].

本文接下来对合作序列投资和竞争投资决策做比较.

3.2　合作与竞争比较

在合作中，由于两企业协调优化他们的投资计划，使得两企业合作价值总和始终不小于他们非合作价值的总和.其原因在于，在非合作竞争中，当优势企业先投资后，追随企业的投资对其价值产生负面影响；而在合作竞争中，后投资企业的价值对率先投资的企业价值产生的是正面影响.因此，合作序列投资对两企业实际上是最优的.

对比合作和非合作投资的投资临界值，根据引理 3和合作投资中第 2个投资临界值 Y_{i+} 可知，最优投资安排是低质量企业先投资，然后高质量企业再投资.否则，高质量先投资，$Y_{i+} < 0$，没有意义.所以，在合作序列投资时，低质量(水平)技术先投资，高质量(水平)技术后投资，而且有下面显然的结果：

定理 **5**

1)在低质量企业占先的序贯均衡情况下，

$Y_l^L = Y_l < Y_h^F < Y_h$；

2)在低质量企业占先的抢先均衡情况下，

$Y_l^{P1} \leqslant Y_l < Y_h^F < Y_h$.

根据定理 5的 1)，所有参数相同时，$Y_l^L = Y_l$，即合作序列投资中最早投资时机和序贯均衡中的最早投资时机是一致的；但是，$Y_h^F < Y_h$，即高质量技术出现的时机是前者落后于后者，落后的时间与成本差距无关，但与市场波动率、市场偏好和质量差距有关[⑯]，即落后时间随着波动率的增大而增大，随着质量差距的增大而缩小，随着市场偏好的增大而增大.

根据定理 5的 2)，合作中低质量技术出现的时机要比竞争中的要晚，二者间的时间差距随着成本差距的增大而增大，随着质量差距的增大而缩小，随着市场偏好的增大而增大，结果如图 3所示.总之，竞争促进了创新速度，但付出的代价是牺牲了企业投资的期权价值.这与直觉是一致的.

以上分析深层次的含义在于，为了提高技术创新速度和提高国家整体技术水平，政府应根据实际情况制定鼓励竞争、避免合作(垄断)的政策.因为如果政府鼓励合作投资，市场上只能出现高水平技术(产品)在低水平技术(产品)之后推

---

⑭　如果低成本企业 要通过抢先投资的方式领先对手，它只要在 Y_+^{P1} 处投资即可. Y_+^{P1} 越大，高成本企业抢先投资的可能性越小.当成本差距增大时，实际上 Y_+^{P1} 和 Y_+^F 都在增大.两企业投资时间间隔是否缩小和扩大，本质上取决于 Y_+^{P1} 和 Y_+^F 相对变化速度.

⑮　即在 Y_+^{P1} 处投资，具体的数字示例见附录图 4.

⑯　$$E(T) = \frac{\ln(Y_h / Y_h^F)}{\mu - 0.5\sigma^2} = \frac{\ln\left(\dfrac{\pi_h^D}{\pi_l^D - \pi_l^M + \pi_b^D}\right)}{\mu - 0.5\sigma^2} = \frac{-\ln\left[\left(\dfrac{1-b}{b+2}\right)^2 - \dfrac{9}{4(\alpha-1)}\left(\dfrac{b+1}{b+2}\right)^2 + 1\right]}{\mu - 0.5\sigma^2}$$

出的现象. 这种现象尤其在具有极强垄断力和技术优势的国外技术企业投资中较为常见, 例如, 在我国汽车和早期通信电子行业, 外资独资企业和合资企业为了占领中国市场, 总是先投资低水平技术 (产品), 然后才投资高水平技术 (产品). 但是, 当国内企业逐渐发展壮大之后, 竞争越来越激烈, 这种情形才逐渐有所改善.

但值得注意的是, 在强化竞争时可能会出现低水平技术 (产品) 落后于高水平技术 (产品) 出现的现象, 对此不应采取排斥的态度. 在特定条件下, 会出现低质量产品落后于高质量产品出现的情况, 而且市场偏好越低, 质量差距越大, 低质量产品落后于高质量产品出现的时间越短. 小灵通在国内外不同环境下不同的发展经历说明了这样一个道理: "没有永恒的技术标准, 只有永恒的市场需求 ". 企业选择技术投资时应牢记该准则.

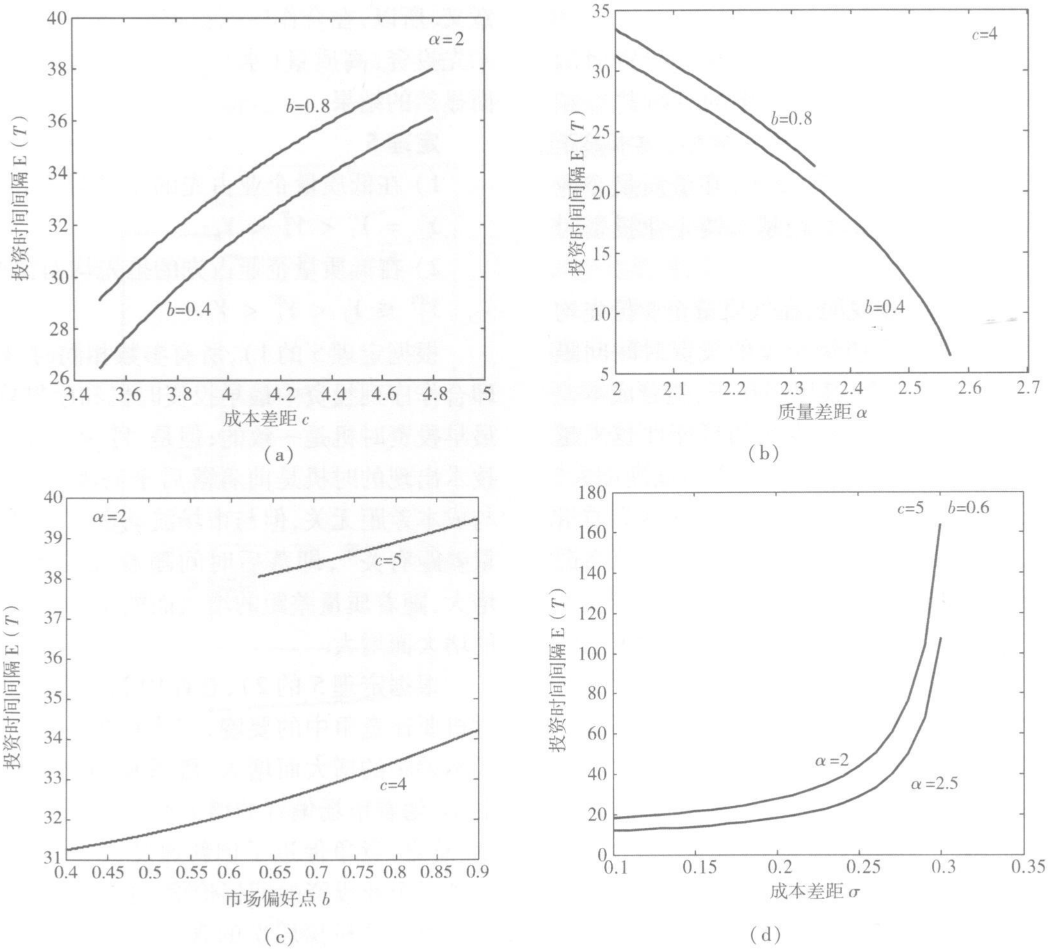


图 3 质量差距、成本差距、市场偏好和波动率对合作投资和抢先投资两情况下低质量企业率先投资时间差异的影响

Fig. 3 Impacts of difference of quality and cost, market preference and volatility on difference of investment timing of low quality firm in the cooperation and competition cases

4 结束语

本文在考虑两竞争企业在创新成本和新产品质量都不一样的情况下, 基于实物期权方法构建了竞争和合作投资决策模型, 对技术创新投资决策进行了研究. 首先, 在分析竞争博弈均衡的基础上, 重点考察了竞争双方先后投资的时间间隔问题, 结论指出, 无论是高成本的高质量企业还是低成本的低质量企业都存在成为领先者的可能, 而且, 企业间产品质量差距越大, 两企业的投资时间间隔越小, 市场偏好越高两企业投资时间间隔越长. 这些结论解释了现实中有时高质量产品先出现、有时低质量产品先出现的内在原因.

另外，本文还重点研究了合作中先投资者相对于竞争中的领导者投资时机的延迟程度，以及合作中后投资者相对于竞争中的追随者投资时机的延迟程度.研究结果表明，企业间合作的结果是低质量企业先投资，高质量企业后投资；竞争和合作投资两种情况下同质量产品出现的时间差距随着成本差距的增大而增大，随着质量差距的增大而缩小，随着市场偏好的增大而增大.这些结论能为企业和政府制定创新政策、组织和实施创新提供理论参考.

参 考 文 献：

[1] 周　洋. 是非功过小灵通[J]. 数字通信, 2000 (11): 49－51.
Zhou Yang. Merits and demerits of Xiao Ling Tong[J]. Digital Communication, 2000 (11): 49－51. (in Chinese)

[2] 张云华, 梁雄健. 无线市话“小灵通”市场竞争力剖析[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2004, 6(1): 10－14.
Zhang Yun-hua, Liang Xiong-jian. An analysis of the competitiveness of Xiao Ling Tong service in China[J]. Journal of BUPT (Social Sciences Edition), 2004, 6(1): 10－14. (in Chinese)

[3] 艾五荣. 小灵通海外兴衰记[J]. 移动通信, 2002 (8): 25－26.
Ai Wu-rong. Rise and fall of Xiao Ling Tong overseas[J]. Mobile Communication, 2002 (8): 25－26. (in Chinese)

[4] Dasgupta P, Stiglitz J. Uncertainty, industrial structure, and the speed of R&D[J]. Bell Journal of Economics, 1980, 11(1): 1－28.

[5] Grenadier S R. Strategic exercise of options: development cascades and overbuilding in real estate markets[J]. Journal of Finance, 1996, 51(5): 1653－1679.

[6] Weeds H. Strategic delay in real options model of R&D competition[J]. Review of Economic Studies, 2002, 69(3): 729－747.

[7] Huisman K J M. Technology Investment: A Game Theoretic Real Options Approach[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

[8] 夏　晖, 曾　勇. 不完全竞争环境下不对称企业技术创新战略投资[J]. 管理科学学报, 2005, 8(1): 30－41.
Xia Hui, Zeng Yong. Strategic investment of technology innovation with asymmetric cost under imperfect competition[J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(1): 30－41. (in Chinese)

[9] Shaked A, Sutton J. Relaxing price competition through production differentiation[J]. Review of Economic Studies, 1982, 49(1): 3－13.

[10] Tirole J. The Theory of Industrial Organization[M]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 1988.

[11] Rosenkranz S. Innovation and cooperation under vertical production differentiation[J]. International Journal of Industrial Organization, 1995, 13(1): 1－22.

[12] Dixit A K, Pindyck R S. Investment Under Uncertainty[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994: 135－174.

Decision about competition of technology investment under double asymmetric

DENG Guang-jun, ZENG Yong

School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China

Abstract: The sequence of introduction of different technologies or product is affected by the difference in technology level (product quality) and investment cost between two technologies or products, and the preference of market. By taking in to consideration of the factors of the preference of market, the difference in technology level and product quality and cost this paper constructs a real option model to analyze the equilibrium of competition investment strategy and cooperation investment of two competitive firms. This study shows that (1) firms either with a high quality and high cost or a low quality and low cost may become a leader; further the larger the quality difference the shorter the interval between the two competition firms and the higher market preference the longer the interval between to two competition firms the. (2) As a result of cooperation investment the low quality technology always appears first and then the high quality one. In the two cases of cooperation investment and competition investment the interval of the introduction of corresponding technologies increases with the of the cost difference decreases with the quality difference and increases with of market preference.

Key words: technology innovation; real options; game equilibrium; cooperation innovation

附录 A

式(15)的推导:

根据 Dixit和 Pindyck[12](中译本第 295页)关于期望折现因子的结论, 即

$$E(e^{-rT_i^F})=\left(\frac{Y_T}{Y_i^F}\right)^{\beta_0}$$

在时间 $T\leqslant T_i^F$, 领先者投资价值为

$$\begin{aligned}V_i^L&=E\left[\int_T^{T_i^F}\pi_i^M Y_t e^{-r(t-T)}\,dt-K_i+\int_{T_i^F}^{\infty}\pi_i^D Y_t e^{-r(t-T)}\,dt\right]\\&=E\left[\int_T^{T_i^F}\pi_i^M Y_t e^{-r(t-T)}\,dt-K_i+\int_T^{\infty}\pi_i^D Y_t e^{-r(t-T)}\,dt-\right.\\&\qquad\left.\int_T^{T_i^F}\pi_i^D Y_t e^{-r(t-T)}\,dt\right]\\&=\frac{\pi_i^M Y_T}{r-\mu}-\frac{(\pi_i^M-\pi_i^D)}{r-\mu}Y_i^F\left(\frac{Y_T}{Y_i^F}\right)^{\beta_0}-K_i\end{aligned}\qquad(A-1)$$

附录 B

引理 2的证明.

根据式(6)和(8), 可得

$$\pi_l^M-\pi_l^D=\left[\frac{(b+1)^2}{4}-\frac{(1-b)^2}{9}(\alpha-1)\right]S$$

令

$$f=\frac{(b+1)^2}{4}-\frac{(1-b)^2}{9}(\alpha-1)$$

因为 $1\leqslant\alpha\leqslant\left(\frac{3b}{1-b}+1\right)$, 令

$$\alpha=\frac{3b}{1-b}+1$$

代入 $\pi_l^M-\pi_l^D$ 得

$$\begin{aligned}f&=\frac{(b+1)^2}{4}-\frac{(1-b)^2}{9}\frac{3b}{1-b}\\&=\frac{(b+1)^2}{4}-\frac{b(1-b)}{3}\\&=\frac{7b^2+2b+3}{12}>0\end{aligned}$$

所以 $\pi_l^M>\pi_l^D$.

$$\begin{aligned}\pi_h^M-\pi_h^D&=\frac{(b+1)^2}{4}\alpha S-\frac{(b+2)^2}{9}(\alpha-1)S\\&=\frac{(5b+7)(b-1)}{36}\alpha S+\frac{(b+2)^2}{9}S\end{aligned}$$

因为 $0\leqslant b\leqslant 1$, 所以 $\frac{(5b+7)(b-1)}{36}\alpha S\leqslant 0$, 令质量差距 α 取最大值, $\alpha=\frac{3b}{1-b}+1$, 那么

$$\begin{aligned}\pi_h^M-\pi_h^D&>\frac{(5b+7)(b-1)}{36}\left(\frac{3b}{1-b}+1\right)S+\frac{(b+2)^2}{9}S\\&=\frac{-6b^2-3b+9}{36}S\end{aligned}$$

令 $g=-6b^2-3b+9$, 则 $\frac{\partial g}{\partial b}=-12b-3$.

因为 $g(b)$ 是单调递减函数, $g(0)=9$, $g(1)=0$, 所以, $\pi_h^M-\pi_h^D$.

附录 C

引理 3的证明.

$$\pi_h^D-\pi_h^M+\pi_l^D=\frac{-b^2-10b+11}{36}\alpha S-\frac{2b^2+2b+5}{9}S$$

因为 $1\leqslant\alpha\leqslant\left(\frac{3b}{1-b}+1\right)$, 令

$$\alpha=\frac{3b}{1-b}+1$$

代入上式得

$$\pi_h^D-\pi_h^M+\pi_l^D=\frac{-2b^2+5b-3}{12}S$$

令 $f(b)=-2b^2+5b-3$, 可知 $b\in(0,1)$时, f为单增函数. 又因为 $f(0)=-3$, $f(1)=0$, 所以 $\pi_h^D-\pi_h^M+\pi_l^D\leqslant 0$.

采用相同的方法可证明

$$\pi_h^D-\pi_l^M+\pi_l^D=\frac{(b+2)^2}{9}(\alpha-1)S+\frac{(1-b)^2}{9}(\alpha-1)S-\frac{(b+1)^2}{4}S$$

$$=\frac{2b^2+2b+5}{9}\alpha S-\frac{17b^2+26b+29}{36}S$$

因为 $1\leqslant\alpha\leqslant\left(\frac{3b}{1-b}+1\right)$，令

$$\alpha=\frac{3b}{1-b}+1$$

代入上式得

$$\pi_h^D-\pi_l^M+\pi_l^D=\frac{2b^3+2b+5}{9}\frac{2b+1}{1-b}S-\frac{17b^2+26b+29}{36}S$$

$$\pi_h^D-\pi_l^M+\pi_l^D=\frac{33b^3+33b^2+51b-9}{36(1-b)}S$$

令 $g=33b^3+33b^2+51b-9$，$g(0)=-9$，$g(1)=108$，$\frac{\partial g}{\partial b}=99b^2+66b+51>0$所以，必存在一个惟一的 b_l^*，从而当 $b>b_l^*$ 时，只要满足$\frac{3b_l^*}{1-b_l^*}+1<\alpha\leqslant\frac{3b}{1-b}+1$就能保证

$$\pi_h^D-\pi_l^M+\pi_l^D>0$$

附录 D

定理 1的证明.

为了保证低质量企业占先的序贯均衡发生，则在 $Y\geqslant 0$的任何范围内，高质量企业作为领先者的价值都低于其作为追随者的价值而不愿成为领先者，因此必须满足

$$R_h(Y)=V_h^L(Y)-V_h^F(Y)<0 \tag{A-2}$$

同时要保证低质量企业在 $Y\in(Y_l^{P1},Y_l^{P2})$内作为领先者的价值高于其作为追随者的价值，而愿意成为领先者，即

$$R_l(Y)=V_l^L(Y)-V_l^F(Y)\geqslant 0 \tag{A-3}$$

其中，Y_l^{P1}、Y_l^{P2}为 $V_l^L(Y)$和 $V_l^{P1}(Y)$的两个交点. 下面，根据两不等式(A-2)、(A-3)分别得到满足它们的条件.

1)先根据条件(A-2)，由 $V_h^L(Y)$和 $V_h^F(Y)$的表达式得

$$R_h(Y)=\frac{\pi_h^M Y}{r-\mu}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}Y_l^F\left(\frac{Y}{Y_l^F}\right)^{\beta_0}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y}{Y_h^F}\right)^{\beta_0} \tag{A-4}$$

如果存在成本差距条件，使得(A-4)取得的最大值始终小于 0，那么就能满足条件(A-2).

首先

$$R_h(0)=-K_h<0$$

其次

$$R_h(Y_l^F)=\frac{\pi_h^M Y_l^F}{r-\mu}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}Y_l^F-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y_l^F}{Y_h^F}\right)^{\beta_0}=\frac{\pi_h^D Y_l^F}{r-\mu}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y_l^F}{Y_h^F}\right)^{\beta_0}<0$$

因为期权价值大于净现值，故 $R_h(Y_l^F)<0$，然后，求 $R_h(Y)$的一阶和二阶导

$$\frac{\partial R_h(Y)}{\partial Y}=\frac{\pi_h^M}{r-\mu}-\beta_0\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}\left(\frac{Y}{Y_l^F}\right)^{\beta_0-1}-\frac{\beta_0K_h}{\beta_0-1}\frac{1}{Y_h^F}\left(\frac{Y}{Y_h^F}\right)^{\beta_0-1}$$

$$\frac{\partial^2R_h(Y)}{\partial Y^2}=-\beta_0(\beta_0-1)\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}\frac{1}{Y_h^F}\left(\frac{Y}{Y_l^F}\right)^{\beta_0-2}-\beta_0K_h\frac{1}{Y_h^{F2}}\left(\frac{Y}{Y_h^F}\right)^{\beta_0-2}<0$$

判断是否存在一个 Y^* 使得式(A-4)取得最大值且最大值为 0，即满足

$$R_h(Y^*)=\frac{\pi_h^M Y^*}{r-\mu}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}Y_l^F\left(\frac{Y^*}{Y_l^F}\right)^{\beta_0}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y^*}{Y_h^F}\right)^{\beta_0}=0 \tag{A-5}$$

$$\frac{\partial R_h(Y^*)}{\partial Y}=\frac{\pi_h^M}{r-\mu}-\beta_0\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}\left(\frac{Y^*}{Y_l^F}\right)^{\beta_0-1}-\frac{\beta_0K_h}{\beta_0-1}Y_h^{F-1}\left(\frac{Y^*}{Y_h^F}\right)^{\beta_0-1}=0 \tag{A-6}$$

$(A-6)\times\frac{Y^*}{\beta_0}$得

$$\frac{Y^*}{\beta_0}\frac{\partial R_h(Y^*)}{\partial Y}=\frac{Y^*}{\beta_0}\frac{\pi_h^M}{r-\mu}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}Y_l^F\left(\frac{Y^*}{Y_l^F}\right)^{\beta_0}-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y^*}{Y_h^F}\right)^{\beta_0}=0 \tag{A-7}$$

根据式(A-5)、(A-7)得

$$Y^*=Y_h^M=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{r-\mu}{\pi_h^M}K_h$$[17]

---

[17] 这是一种简便的求法. 如果先判断$\frac{\partial R_h(Y^*)}{\partial Y}=0$，可以得到 $Y^*=\frac{\beta_0(r-\mu)}{(\beta_0-1)\pi_h^M}K_h\times\left[\frac{\pi_h^{M\beta_0}}{\left[\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}\left(\frac{K_h}{K_l}\right)^{\beta_0-1}+\pi_h^{D\beta_0}\right]}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}}$，因为$\frac{\partial R_h(Y)}{\partial Y^2}<0$，所以 $R_h(Y)$是严格的凹函数，再把 Y^* 代入 $R_h(Y)$使其最大值为 0时也可得到成本差距条件 $\varsigma_h^*=\frac{K_h}{K_l}=\frac{1}{\pi_l^D}\left[\frac{\pi_h^{M\beta_0}-\pi_h^{D\beta_0}}{\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}}$，此时，把 ς_h^* 代入 Y^* 表达式得 $Y^*=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{r-\mu}{\pi_h^M}K_h$，本文类似的证明都采取文中的方法.

把 Y^* 代入式(A-5)得最大值

$$R_h(Y^*)=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}K_h-\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{\pi_l^D}K_l\left(\frac{\pi_l^D}{\pi_h^M}\frac{K_h}{K_l}\right)^{\beta_0}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{\pi_h^D}{\pi_h^M}\right)^{\beta_0}=0 \qquad (A-8)$$

求解式(A-8)可得满足式(A-4)最大值为 0的成本差距条件为

$$\varsigma_h^*=\frac{K_h}{K_l}=\frac{1}{\pi_l^D}\left[\frac{\pi_h^{M\beta_0}-\pi_h^{D\beta_0}}{\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}} \qquad (A-9)$$

此时 Y^* 是 $\varsigma_h^*(\alpha,\beta,\sigma)$ 的函数. 当 $\varsigma>\varsigma_h^*$, $R_h(Y^*(\varsigma>\varsigma_h^*))<0$, 则可以保证 $Y>0$时, $\max(R_h)<0$. 反之,当 $\varsigma\leqslant\varsigma_h^*$, $R_h(Y^*(\varsigma\leqslant\varsigma_h^*))\geqslant0$, 则可以保证存在 $Y\in(Y_h^{P1},Y_h^{P2})$ 使得 $\max(R_h)\geqslant0$.

2)不等式(A-3)与(A-2)的区别仅在于逻辑符号的变化, 因此,同理可证, 如果

$$\frac{K_l}{K_h}\leqslant\frac{1}{\pi_l^D}\left\{\frac{(\pi_l^{M\beta_0}-\pi_l^{D\beta_0})}{\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)}\right\}^{\frac{1}{\beta_0-1}}$$

则 $R_l(Y)$ 的最大值大于等于 0, 则低质量企业存在成为领先者的可能. 因为成本差距定义为 K_h/K_l, 令

$$\varsigma_l^*=\pi_h^D\left\{\frac{\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)}{\pi_l^{M\beta_0}-\pi_l^{D\beta_0}}\right\}^{\frac{1}{\beta_0-1}}$$

则 $\varsigma\geqslant\varsigma_l^*(\beta,\alpha,\sigma)$ 时, 存在满足式(A-3)的条件.

总之, 如果一定存在低质量企业占先的序贯均衡, 则成本差距必须满足 $\varsigma>\varsigma_h=\min\{\varsigma_h^*,\varsigma_l^*\}$, 此时, 定理 1的 1)两种情况成立;

为了保证高质量企业竞争中占先, 采用相同的证明方法, 如果均衡是高质量企业占先的序贯均衡, 其先投资的成本差距必须满足 $\varsigma>\varsigma_l=\max\{\varsigma_h^*,\varsigma_l^*\}$, 此时, 定理 1的 2)两种情况成立.

附录 E

定理 2的证明.

首先, 要保证低质量企业具有成为领先者的动机, 即存在 $Y>0$, 使得

$$R_l(Y)=V_l^L(Y)-V_l^F(Y)\geqslant0$$

为了保证该条件成立, 根据定理 1中的证明, 可得成本差距条件 $\varsigma>\varsigma_l$

其次, 为了保证均衡是低质量企业占先的序贯均衡, 即 $Y_l^L\leqslant Y_h^{P1}$, 因此低质量企业在 Y_l^L 处投资时, 要满足在该处高质量企业不能抢先成为领先者, 即 $V_h^L(Y_l^L)\leqslant V_h^F(Y_l^L)$. 其中, Y_h^{P1} 为 $V_h^L(Y)$ 和 $V_h^F(Y)$ 相交时最小的一个交点. 为了证明存在使该条件成立的成本差距条件, 根据 V_h^F, V_h^L 表达式, 令 $R_h(Y)=V_h^L(Y)-V_h^F(Y)$ 得

$$R_h(Y)=\frac{\pi_h^M Y}{r-\mu}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{r-\mu}Y_l^F\left(\frac{Y}{Y_l^F}\right)^{\beta_0}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{Y}{Y_h^F}\right)^{\beta_0} \qquad (A-10)$$

把 $Y_l^L=\frac{\beta_0}{\beta_0-1}\frac{r-\mu}{\pi_l^M}K_l$ 代入上式得

$$R_h(Y^L)=\frac{\pi_h^M}{\pi_l^M}\frac{\beta_0K_l}{\beta_0-1}-\frac{\pi_h^M-\pi_h^D}{\pi_l^D}\frac{\beta_0}{\beta_0-1}K_l\left(\frac{\pi_l^D}{\pi_l^M}\right)^{\beta_0}-K_h-\frac{K_h}{\beta_0-1}\left(\frac{\pi_h^D}{\pi_l^M}\right)^{\beta_0}\left(\frac{K_l}{K_h}\right)^{\beta_0} \qquad (A-11)$$

式(A-11)$\times\frac{\beta_0-1}{K_h}\pi_l^{M\beta_0}$得

$$f=\frac{\pi_h^M}{\pi_l^M}\beta_0\pi_l^{M\beta_0}\frac{K_l}{K_h}-\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}\frac{K_l}{K_h}-(\beta_0-1)\pi_l^{M\beta_0}-\pi_h^{D\beta_0}\left(\frac{K_l}{K_h}\right)^{\beta_0} \qquad (A-12)$$

令 $z=\frac{K_l}{K_h}$, 因为$\frac{\pi_h^M}{\pi_l^M}=\alpha$, 代入式(A-12)得

$$f(z)=z\alpha\beta_0\pi_l^{M\beta_0}-z\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}-(\beta_0-1)\pi_l^{M\beta_0}-z^{\beta_0}\pi_h^{D\beta_0} \qquad (A-13)$$

如果能够证明 z在某区间能保证 $f(z)$小于 0, 就能确定高质量企业在区间 $V_h^F(Y_l^L)\geqslant V_h^L(Y_l^L)$ 而不能抢先成为领先者. 下面证明该区间的存在性.

因为

$$\frac{\partial f(z)}{\partial z}=\alpha\beta_0\pi_l^{M\beta_0}-\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}-\beta_0z^{(\beta_0-1)}\pi_h^{D\beta_0} \qquad (A-14)$$

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2}=-\beta_0(\beta_0-1)z^{(\beta_0-2)}\pi_h^{D\beta_0}<0 \qquad (A-15)$$

$$f(0)=-(\beta_0-1)\pi_l^{M\beta_0}<0 \qquad (A-16)$$

$$\left.\frac{\partial f(z)}{\partial z}\right|_{z=0}=\alpha\beta_0\pi_l^{M\beta_0}-\beta_0(\pi_h^M-\pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}=\beta_0[\pi_h^M(\pi_l^{M(\beta_0-1)}-\pi_l^{D(\beta_0-1)})+\pi_h^D\pi_l^{D(\beta_0-1)}]>0 \qquad (A-17)$$

根据式(A-15)可知$\frac{\partial f(z)}{\partial z}$是单调递减函数, 再根据式(A-17)可知必定存在区间 $z\in[0,\hat{z}]$使得$\left.\frac{\partial f(z)}{\partial z}\right|_{z\in[0,\hat{z}]}\geqslant0$, 从而保证在此区间内 $f(z)$是单调递增的凹函数. 如果进一步能够保证 $f(\hat{z})$是最大值并且 $f(\hat{z})\geqslant0$, 再根据式

（A—16）$f(0) < 0$，则存在一个 $\hat{z} \in [0, \hat{z}]$ 使 $f(\hat{z}) = 0$，在 $z \in [0, \hat{z}]$ 使得高质量企业不能成为领先者，即 $V_h^L(Y_l^L) \leqslant V_h^F(Y_l^L)$.

因此，寻找 $F(\hat{z})$ 是最大值并且 $f(\hat{z}) \geqslant 0$的成本差距条件. 根据式（A—18），令 $\frac{\partial f(z)}{\partial z}\Big|_{z=\hat{z}} = 0$得

$$\hat{z} = \left[\frac{\alpha\pi_l^{M\beta_0} - (\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}}{\pi_h^{D\beta_0}}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}} \quad (A—18)$$

把 $\hat{z}$代入式（A—13）得

$$f(\hat{z}) = \hat{z}\alpha\beta_0\pi_l^{M\beta_0} - \hat{z}\beta_0(\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)} - (\beta_0 - 1)\pi_l^{M(\beta_0)} - \hat{z}^{\beta_0}\pi_h^{D\beta_0} \quad (A—19)$$

把 $\pi_h^M = \alpha\pi_l^M$代入上式并整理得

$$f(\hat{z}) = (\beta_0 - 1)[\hat{z}^{\beta_0}(\pi_h^{D\beta_0} - \pi_l^{M\beta_0}] \quad (A—20)$$

要使 $f(\hat{z}) \geqslant 0$，根据式（A—24）必须满足条件：$\hat{z}^{\beta_0}\pi_h^{D\beta_0} - \pi_l^{M\beta_0} \geqslant 0$，即 $\hat{z} \geqslant \frac{\pi_l^M}{\pi_h^D}$，不等式变为

$$\hat{z} = \left[\frac{\alpha\pi_l^{M\beta_0} - (\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)}}{\pi_h^{D\beta_0}}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}} \geqslant \left(\frac{\pi_l^M}{\pi_h^D}\right) \quad (A—21)$$

消去分母得

$$\alpha\pi_l^{M\beta_0} - (\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)} \geqslant \pi_l^{M(\beta_0-1)}\pi_h^{D(\beta_0)}\pi_h^{D(1-\beta_0)}$$

为证明该不等式成立，令

$$g = \alpha\pi_l^{M\beta_0} - (\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)} - \pi_l^{M(\beta_0-1)}\pi_h^{D\beta_0}\pi_h^{D(1-\beta_0)}$$

因为 $\pi_h^M = \alpha\pi_l^M$，所以，$\alpha\pi_l^{M\beta_0} = \pi_h^M\pi_l^{M(\beta_0-1)}$，对 g化简得

$$g = (\pi_h^M - \pi_h^D)(\pi_l^{M(\beta_0-1)} - \pi_l^{D(\beta_0-1)}) \geqslant 0$$

所以能够保证 $f(\hat{z})$是最大值并且 $f(\hat{z}) \geqslant 0$，可以断定存在一个 $\hat{z} \in [0, \hat{z}]$满足单调递增函数 $f(\hat{z}) = 0$，在 $z \in [0, \hat{z}]$ 内满足 $V_h^F(Y_l^M) \geqslant V_h^L(Y_l^M)$. 因为成本差距 $c = K_h/K_l$，而 $z = K_l/K_h$，所以满足以上条件的成本差距为 $1/\hat{z}$，令 $c_m^* = 1/\hat{z}$，$\hat{z}$ 由式（A—13）确定

$$\hat{z}\alpha\beta_0\pi_l^{M(\beta_0)} - \hat{z}\beta_0(\pi_h^M - \pi_h^D)\pi_l^{D(\beta_0-1)} - (\beta_0 - 1)\pi_l^{M\beta_0} - \hat{z}^{\beta_0}\pi_h^{D(\beta_0)} = 0$$

虽然上式要得到的是 $\hat{z} \in [0, \hat{z}]$ 的解[18]，但是，因为 $f(\infty) < 0$，那么上式在 $[\hat{z}, \infty]$ 还存在另一个解[19]，为得到有意义的解，所以应取 $c_m^* \geqslant \alpha$ 的解. 因为，如果高质量企业本身具有先投资的动机，那么在 $Y \in (Y_h^{P1}, Y_h^{P2})$ 内，满足 $V_h^L(Y) \geqslant V_h^F(Y)$，在交点 Y_h^{P1} 处有 $V_h^F(Y_h^{P1}) = V_h^L(Y_h^{P1})$. 如果低质量企业能够先于高质量企业投资，并有能力在对手抢先投资之前选择最优投资时机（临界值 Y_l^L对应的时间）投资，那么应满足 $Y_l^L \leqslant Y_h^{P1}$，又因为高质量企业（能够从容选择的）最优投资临界值为 $Y_h^L \in (Y_h^{P1}, Y_h^{P2})$，所以应满足 $Y_l^L \leqslant Y_h^L$，因为 $Y_h^L = Y_h^M$，$Y_l^L = Y_l^M$，根据 $Y_l^L/Y_h^L = \alpha/c$，要获得有意义的解，质量差距与成本差距应满足 $c \geqslant c_m^* \geqslant \alpha$ 条件（注意，α 和 c 仅仅是系数，量纲为 1）.

最后，为了与定理 1中低质量企业序贯均衡条件 $c \geqslant c_h$ 保持一致，并结合前面的 3个条件可知，当 $c \geqslant c_m = \min(\max(c_l, c_m^*), c_h)$ 时定理成立.

附录 F

定理 3的证明.

对定理 3的证明同样遵循定理 2的证明逻辑.

首先，要保证在 Y_h^L处高质量企业的领先价值高于其作为追随者的价值

$$R_h(Y_h^L) = V_h^L(Y_h^L) - V_h^F(Y_h^L) \geqslant 0$$

为了保证该条件成立，根据定理 1中的证明，可得成本差距条件 $c < c_l$.

其次，为了保证均衡是高质量企业占先的序贯均衡，即 $Y_h^L \leqslant Y_l^{P1}$，因此高质量企业在 Y_h^L处投资时，只需满足在该处低质量企业不能抢先成为领先者，即 $V_l^L(Y_h^L) \leqslant V_l^F(Y_h^L)$. 其中，$Y_l^{P1}$为 $V_l^L(Y)$ 和 $V_l^F(Y)$ 相交时最小的一个交点. 为了证明该不等式成立，令

$$R_l(Y) = V_l^L(Y_h^L) - V_l^F(Y_h^L)$$

根据 V_l^L、V_l^F表达式得

$$R_l(Y) = \frac{\pi_l^M Y}{r-\mu} - \frac{\pi_l^M - \pi_l^D}{r-\mu} Y_h^F\left(\frac{Y}{Y_h^F}\right)^{\beta_0} - K_l - \frac{K_l}{\beta_0 - 1}\left(\frac{Y}{Y_l^F}\right)^{\beta_0} \quad (A—22)$$

把 $Y_h^L = \frac{\beta_0}{\beta_0 - 1}\frac{r-\mu}{\pi_h^M}K_h$代入上式得

$$R_l(Y_h^L) = \frac{\pi_l^M}{\pi_h^M}\frac{\beta_0 K_h}{\beta_0 - 1} - \frac{\pi_l^M - \pi_l^D}{\pi_h^D}\frac{\beta_0}{\beta_0 - 1}K_h\left(\frac{\pi_h^D}{\pi_h^M}\right)^{\beta_0} - K_l - \frac{K_l}{\beta_0 - 1}\left(\frac{\pi_l^D}{\pi_h^M}\right)^{\beta_0}\left(\frac{K_h}{K_l}\right)^{\beta_0}$$

上式乘 $\frac{\beta_0 - 1}{K_l}\pi_h^{M\beta_0}$ 得

⑱ 该解对应的情况是 $Y_l^L = Y_h^{P1}$.

⑲ 该解对应的情况是 $Y_l^L = Y_h^{P2}$.

$$f=\frac{\pi_l^M}{\pi_h^M}\beta_0\pi_h^{\beta_0}\frac{K_k}{K_l}-\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_k^{D(\beta_0-1)}\frac{K_k}{K_l}-(\beta_0-1)\pi_h^{M\beta_0}-\pi_l^{D\beta_0}\left(\frac{K_k}{K_l}\right)^{\beta_0} \quad (A-23)$$

令: $z=\frac{K_h}{K_l}$, 因为 $\pi_l^M/\pi_h^M=1/\alpha$, 由式(A-23)得

$$f(z)=z(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-z\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-(\beta_0-1)\pi_h^{M\beta_0}-z^{\beta_0}\pi_l^{D\beta_0} \quad (A-24)$$

同定理 2中证明类似, 如果能够证明 z 在某区间能保证 $f(z)$ 小于 0就能确定低质量企业在此区间不能抢先成为领先者. 下面, 证明该区间的存在性.

$$\frac{\partial f(z)}{\partial z}=(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-\beta_0 z^{(\beta_0-1)}\pi_l^{D\beta_0} \quad (A-25)$$

$$\frac{\partial^2 f(z)}{\partial z^2}=-\beta_0(\beta_0-1)z^{\beta_0-2}\pi_l^{D\beta_0}<0 \quad (A-26)$$

$$f(0)=-(\beta_0-1)\pi_h^{M\beta_0}<0 \quad (A-27)$$

$$\left.\frac{\partial f(z)}{\partial z}\right|_{z=0}=(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}=\beta_0\pi_l^M(\pi_h^{M(\beta_0-1)}-\pi_h^{D(\beta_0-1)})+\beta_0\pi_l^D\pi_h^{D(\beta_0-1)}>0 \quad (A-28)$$

根据式(A-26)可知 $\frac{\partial f(z)}{\partial z}$ 是单调递减函数, 再根据式(A-28)可知必定存在一个区间 $z\in[0,\bar z]$, 使得 $\left.\frac{\partial f(z)}{\partial z}\right|_{z\in[0,\bar z]}\geqslant 0$ 从而保证在 $z\in[0,\bar z]$ 区间内, $f(z)$ 是一个单调递增的凹函数. 如果进一步能够保证 $f(\bar z)$ 是最大值并且 $f(\bar z)\geqslant 0$, 再根据式(A-31)有 $f(0)<0$, 则必存在 z^* 使 $f(z^*)=0$, 在 $z\in[0,z^*]$ 使得低质量企业不能成为领先者, 即 $V_l^F(Y_h^M)\geqslant V_l^L(Y_h^M)$.

下面, 寻找 $f(\bar z)$ 是最大值并且 $f(\bar z)\geqslant 0$的条件. 根据式(A-25), 令 $\left.\frac{\partial f(z)}{\partial z}\right|_{z=\bar z}=0$得

$$(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-\beta_0\bar z^{(\beta_0-1)}\pi_l^{D\beta_0}=0$$

求解上式得

$$\bar z=\left[\frac{(1/\alpha)\pi_h^{M\beta_0}-(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}}{\pi_l^{D\beta_0}}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}} \quad (A-29)$$

把 $\bar z$ 代入式(A-24)得

$$f(\bar z)=\bar z(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-\bar z\beta_0(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-(\beta_0-1)\pi_h^{M\beta_0}-\bar z^{\beta_0}\pi_l^{D\beta_0}$$

把 $\pi_h^M=\alpha\pi_l^M$ 代入上式并整理得

$$f(\bar z)=(\beta_0-1)[\bar z^{\beta_0}\pi_l^{D\beta_0}-\pi_h^{M\beta_0}] \quad (A-30)$$

要使 $f(\bar z)\geqslant 0$ 必须满足条件 $\bar z^{\beta_0}\pi_l^{D\beta_0}-\pi_h^{M\beta_0}\geqslant 0$, 即 $\bar z\geqslant\frac{\pi_h^M}{\pi_l^D}$, 该不等式变为

$$\bar z=\left[\frac{(1/\alpha)\pi_h^{M\beta_0}-(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}}{\pi_l^{D\beta_0}}\right]^{\frac{1}{\beta_0-1}}\geqslant\frac{\pi_h^M}{\pi_l^D}$$

展开上式

$$(1/\alpha)\pi_h^{M\beta_0}-(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}\geqslant\pi_h^{M(\beta_0-1)}\pi_l^D$$

证明上面的不等式成立, 令

$g=(1/\alpha)\pi_h^{M\beta_0}-(\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-\pi_h^{M(\beta_0-1)}\pi_l^D$, 因为 $\pi_h^M=\alpha\pi_l^M$, 化简得

$$g=(\pi_h^{M(\beta_0-1)}-\pi_h^{D(\beta_0-1)})(\pi_l^M-\pi_l^D)\geqslant 0$$

所以能够保证 $f(\bar z)$ 是最大值并且 $f(\bar z)\geqslant 0$, 可以断定存在一个 $z^*\in[0,\bar z]$ 满足单调递增函数 $f(z^*)=0$, 在 $z\in[0,z^*]$ 内满足 $V_l^F(Y_h^M)\geqslant V_l^L(Y_h^M)$. 把 z^* 代入(A-24)得

$$z^*(1/\alpha)\beta_0\pi_h^{M\beta_0}-z^*\beta_0((\pi_l^M-\pi_l^D)\pi_h^{D(\beta_0-1)}-(\beta_0-1)\pi_h^{M\beta_0}-z^{*\beta_0}\pi_l^{D\beta_0}=0$$

z^* 由上式确定, 并令 $z^*=c_n^*$. 虽然上式要得到的是 $z\in[0,z^*]$ 的解(该解对应的情况正好是 $Y_h^L=Y_l^{n1}$), 但是, 因为 $f(\infty)<0$, 那么上式在 $[\bar z,\infty]$ 还存在另一个解(该解对应的情况正好是 $Y_h^L=Y_l^{n2}$), 为了得到有意义的解, 所以还应取 $c_n^*\leqslant\alpha$ 的解. 因为, 如果低质量企业本身具有先投资的能力, 那么在 $Y\in(Y_l^{n1},Y_l^{n2})$ 内, 满足 $V_l^L(Y)\geqslant V_l^F(Y)$, 在交点 Y_l^{n1} 处有 $V_l^F(Y_l^{n1})=Y_l^L(Y_l^{n1})$. 如果高质量企业能够先于低质量企业投资, 并有能力在对手抢先投资临界值之前选择最优投资时机(临界值 Y_h^L 对应的时间)投资, 应满足 $Y_h^L\leqslant Y_l^{n1}$, 又因为, 低质量企业的最优时机对应的投资临界值为 $Y_l^L\in(Y_l^{n1},Y_l^{n2})$, 所以存在且至少要满足 $Y_h^L\leqslant Y_l^L$ 条件. 因为 $Y_h^L=Y_h^M$, $Y_l^L=Y_l^M$, 根据 $Y_l^L/Y_h^L=\alpha/c$, 要获得有意义的解, 质量差距与成本差距应满足 $c\leqslant c_n^*\leqslant\alpha$ 条件.

最后, 为了与定理 1中高质量企业的序贯均衡条件 $c\leqslant c_l$ 保持一致, 并结合上面的 3个条件可知, $c\leqslant c_n=\max(\min(c_h,c_h^*),c_l)$ 时定理成立.

附录 G

推论 1的证明.

已知 $c_m=\min(\max(c_l,c_m^*),c_h)$, $c_n=\max(\min(c_h,c_n^*),c_l)$, $c_m^*>\alpha>c_n^*$, 且 $c_h>c_l$, 证明见附录 G中表 1.

表 1　推论 1证明过程

Table 1　The procedure of proof of corollary 1

$\max(c_l, c_m^*)$	$\min(c_h, c_n^*)$	c_m	c_n	结果
如果 $c_l > c_m^*$，则 $\max(c_l, c_m^*) = c_l$	如果 $c_n^* < c_h$ 则 $\min(c_h, c_n^*) = c_n^*$	$\min(c_l, c_h) = c_l$	如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_l$	$c_m = c_n$
			如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_n^*$，则与 $c_l > c_m^*$、$c_m^* > c_n^*$ 假设矛盾	
	如果 $c_n^* > c_h$ 则与 $c_l > c_m^*$、$c_m^* > c_n^*$ 和 $c_h > c_l$ 矛盾			
如果 $c_l < c_m^*$，则 $\max(c_l, c_m^*) = c_m^*$	如果 $c_n^* < c_h$ 则 $\min(c_h, c_n^*) = c_n^*$	如果 $\min(c_m^*, c_h) = c_h$	如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_l$	$c_m > c_n$
			如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_n^*$	$c_m > c_n$
		如果 $\min(c_m^*, c_h) = c_m^*$	如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_l$	$c_m > c_n$
			如果 $\max(c_n^*, c_l) = c_n^*$	$c_m > c_n$
	如果 $c_n^* > c_h$ 则 $\min(c_h, c_n^*) = c_h$	$\min(c_m^*, c_h) = c_h$	$\max(c_h, c_l) = c_h$	$c_m = c_n$
		如果 $\min(c_m^*, c_h) = c_m^*$ 则与 $c_m^* > c_n^*$ 矛盾		

根据上表可知，$c_m \geqslant c_n$.

附录 H

不存在同时投资情况的证明.

同时投资时企业价值为

$$V_i^s(Y) = \begin{cases} A_i^s Y^{\beta_0} & Y < Y_i^s \\ \dfrac{\pi_i^D Y}{r-\mu} - K_i & Y \geqslant Y_i^s \end{cases}$$

其中，$A_i^s = A_i^F$，追随者的投资临界值为 $Y_i^s = Y_i^F$，且同时投资的价值与他们各自作为追随者投资的价值相同.

假设企业 i 具有综合优势，由企业 i 主导的同时均衡的存在必须满足

1) $Y_i^s < Y_{-i}^s$，此时，企业 i 在 $Y \in (Y_{-i}^M, Y_{-i}^F)$ 应满足 $V_i^s(Y) > \max(V_i^L(Y), V_i^F(Y))$，否则企业 i 将在 $\min(Y_{-i}^M, Y_i^L)$ 处投资，而企业 $-i$ 则在 Y_{-i}^F 处投资. 在此区间内，对手 $-i$ 也无意成为领先者，即 $V_{-i}^s(Y) > \max(V_{-i}^L(Y), V_{-i}^F(Y))$；

2) $Y_{-i}^F < Y_i^s$，即 i 选择同时投资，$-i$ 也被迫立即投资. 由于 $Y_l^s = Y_l^F$，$Y_h^s = Y_h^F$，很显然，1)和 2)的假设存在矛盾. 加之，本文假设 $E_0\left(\int_0^{\infty} e^{-rt}\pi_i^{(*)} Y_t dt\right) - K_i < 0$，故不存在同时投资的情况.

附录 I

定理 4的证明.

根据式(26)，首先求高质量企业占先的序贯均衡中两企业投资时间间隔的变化，因为

$$\frac{Y_l^F}{Y_h^M} = \frac{K_l\pi_h^M}{K_h\pi_l^D} = \frac{1}{c}\frac{9\alpha}{4(\alpha-1)}\left(\frac{1+b}{1-b}\right)^2$$

令

$$f = \ln\frac{1}{c}\frac{9\alpha}{4(\alpha-1)}\left(\frac{1+b}{1-b}\right)^2$$

对 c、α 和 b 分别求导得

$$\frac{\partial f}{\partial c} = -\frac{1}{c} < 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = \frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha-1} < 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \frac{2}{1+b} + \frac{2}{1-b} > 0$$

再求低质量企业占先的序贯均衡中两企业投资时间间隔的变化，因为

$$\frac{Y_h^F}{Y_l^M} = \frac{K_h\pi_l^M}{K_l\pi_h^D} = c\frac{9}{4(\alpha-1)}\left(\frac{b+1}{b+2}\right)^2$$

令

$$f = \ln\left[c\frac{9}{4(\alpha-1)}\left(\frac{b+1}{b+2}\right)^2\right]$$

对 c、α 和 b 分别求导得

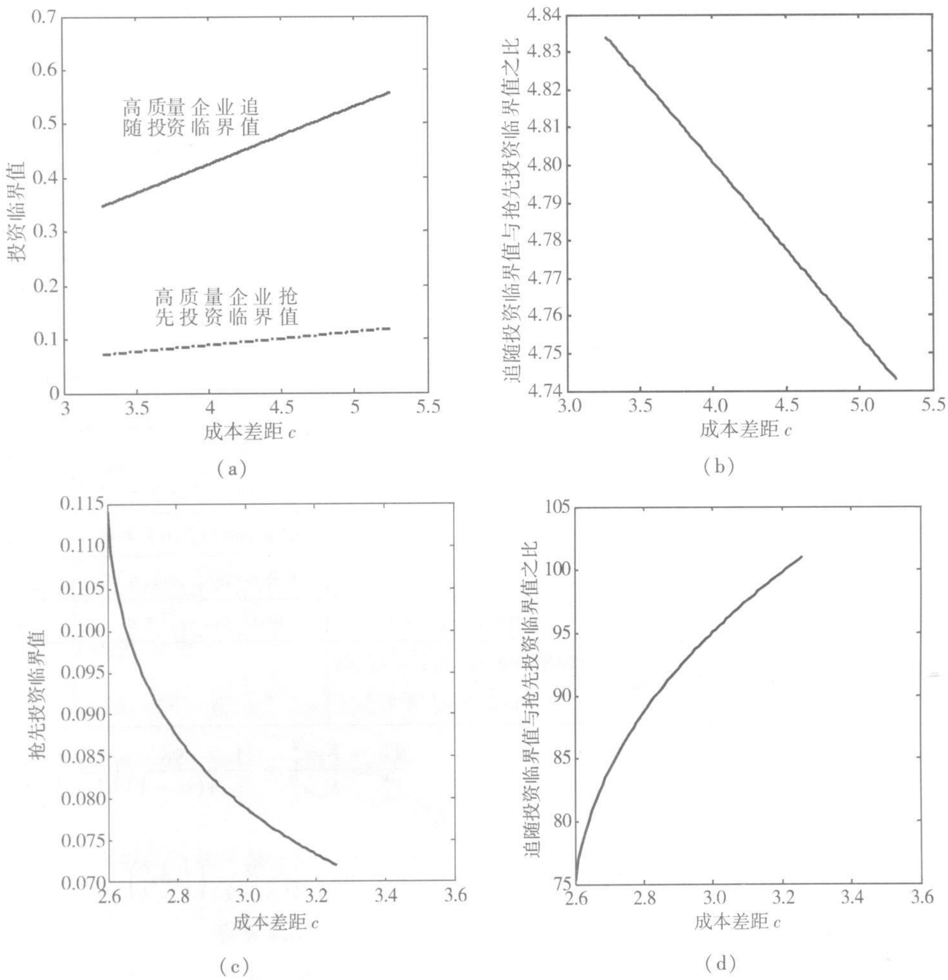
$$\frac{\partial f}{\partial c} = 1/c > 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial \alpha} = -1/(\alpha-1) < 0$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \frac{2}{b+1} - \frac{2}{b+2} > 0$$

附录 J

抢先均衡中各投资临界值的比较如图 4.



图(a) 表示在低质量企业占先的抢先均衡中,随着成本差距的变化高质量企业抢先投资临界值的变化情况;图(b) 表示作为追随企业,高质量企业追随投资临界值和抢先投资临界值之比;图(c) 表示在高质量企业占先的抢先均衡中,低质量企业抢先投资临界值随着成本差距的扩大而变化的情况. 注意,由于在本文假设中,低质量企业的投资成本固定不变,所以,其追随投资临界值不变,因而图(c) 省略了低质量企业的追随投资临界值;图(d) 表示低质量企业追随投资临界值和抢先投资临界值之比.

图 4　抢先均衡中各投资临界值的比较

Fig. 4 Comparisons of investment threshold values of preempt equilibrium