文章编号: 1001-0920(2007)06-0613-05

基于期权博弈的新产品项目战略投资决策

余冬平, 邱菀华
(北京航空航天大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘 要: 同时考虑企业投资的先动优势和后动优势,建立了新产品项目战略投资决策的期权博弈分析框架. 研究了双头垄断企业最优均衡投资产量和最优投资时机决策,分析了其均衡战略投资策略规则及其条件,探讨了投资成本差异和市场不确定性程度对企业价值和投资临界值的影响. 最后通过数值释例对理论结果进行了验证.

关键词: 实物期权; 双头垄断; 期权博弈; 先动优势; 后动优势
中图分类号: F830.59 **文献标识码**: A

Strategic investment of new product projects based on option games

YU Dong-ping, QIU Wan-hua
(School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China. Correspondent: YU Dong-ping, E-mail: yudp2000@163.com)

Abstract: An option games analysis framework of the strategic investment decision of new product project is provided, with first-mover's and second-mover's advantages considered. The optimal output and the time of equilibrium investment under duopoly are studied. Decision rules and conditions in equilibrium strategy investment are analyzed. The effect of the investment cost difference and market uncertain degree on firm value and investment thresholds is discussed. At last, above results are verified by a numerical example.

Key words: Real options; Duopoly; Option games; First-mover's advantages; Second-mover's advantages

1 引 言

高新技术产品投资一般都有投资成本的不可逆性、未来收益的不确定性和投资时机的可推迟性等特征. 应用传统的 DCF 方法进行投资估价和决策,往往会造成项目价值的低估、投资的严重不足和企业竞争地位的实际下降,从而导致企业短期行为决策. 实物期权的发展为衡量投资项目的不确定性价值提供了理论工具,较好地解决了投资项目中的不确定性和管理灵活性问题[1]. 然而,企业所拥有的新产品项目投资机会的共享性特征,使得标准的实物期权方法不能满足竞争环境下项目投资决策的要求. 近年来,实物期权和博弈论相结合的产物——期权博弈方法得到了快速发展,已成为竞争环境下项目投资估价和战略决策的研究热点[2-11].

本文同时考虑企业投资的先动优势和后动优势,运用期权博弈方法研究双头垄断企业的最优产量和最优时机决策,以及最优均衡投资策略及其条件,探讨成本差异和需求不确定性程度对企业价值和投资临界值的影响. 考虑投资的先动优势,源于先行企业能先建立良好的原材料供应渠道和便捷的销售网络,形成自己的品牌优势、质量和技术标准、商业信誉等,从而获得较大的市场份额和超额利润;考虑投资的后动优势,源于后行企业利用新产品的技术溢出效应、学习效应和网络效应,获得比先行企业较低的投入成本.

本文与已有文献主要有两点不同:一是深入到企业博弈的微观层面,同时考察企业最优产量和最优时机两方面决策;二是同时结合投资的先动优势和后动优势,探讨两企业最优均衡投资策略规则. 现有文献[2-9]都将产量的 Cournot 均衡利润退化为一个常数,因而屏蔽了市场的微观信息. 虽然文献[10]深入到企业的微观层面,但其主要考察内生竞争和不对称信息对新技术实物期权战略执行的影响,建立的只是一个多期离散时间的期权博弈模型. 另外,文献[2-8]考察的只是投资的先动优势,并且文献

收稿日期: 2006-02-01; **修回日期**: 2006-05-08.
基金项目: 国家自然科学基金项目(60674020); 山东省科学基金重点项目.
作者简介: 余冬平(1976-),男,湖北当阳人,博士生,从事投资决策理论方法及应用的研究; 邱菀华(1946-),女,江西临川人,教授,博士生导师,从事决策与风险分析、项目管理等研究.

[6-8]研究的是投资成本不对称的情形,主要是指两企业投资成本的不同,且低成本企业具有先占优势.本文中成本差异是指后行企业具有较低投入的成本优势.

同时考虑投资的先动和后动优势的文献非常少见,如文献[9,11].但文献[9]主要是引入投资成本的不完全信息,考察两种优势下的抢先占有和消耗战博弈对企业投资行为的共同影响;而文献[11]中后动优势是指企业通过竞争对手采用新技术是否有利可图,从而修订自己投资决策时所得到的信息优势,并不是本文所指的投资成本优势.

2 模型框架

2.1 基本假设

在连续时间 $t \in [0,\infty)$ 内,考虑市场上两家对称企业 i 和 j,它们都有一个新产品项目不可逆投资机会.企业均为理性和风险中性,经营目标是实现利润最大化,并以固定的无风险利率 $r(>0)$ 贴现.在时间 $t(\geq 0)$ 企业新产品的反需求函数为

$$P(Y(t),Q_T(t)) = Y(t)(a - bQ_T(t)). \quad (1)$$

其中:$P(t)$ 为 t 时刻新产品的市场价格;$a,b>0$,且 $a > bQ_T$;$Q_T(t) = q_{it} + q_{jt}$ 为两企业在 t 时刻新产品的总产量;$Y(t)$ 表示市场需求的不确定性,服从几何布朗运动

$$\mathrm{d}Y(t) = \mu Y(t)\mathrm{d}t + \sigma Y(t)\mathrm{d}z. \quad (2)$$

其中:$\mu(<r)$ 为瞬时漂移参数;$\sigma(>0)$ 为瞬时标准差;$\mathrm{d}z$ 是标准的维纳过程增量,服从均值为 0 方差为 $\mathrm{d}t$ 的正态分布;$Y(0) = y > 0$,在不产生混淆的情况下,将 $Y(t)$ 简记为 Y.

设两家企业具有相同的单位可变成本 c.若两企业同时进行投资,则它们有相同的初始投资成本 I;若一家企业先投资,其初始投资成本为 I,则另一家企业后投资的初始成本为 kI,$k \in (0,1]$,表示成本差异程度.

2.2 均衡产量及利润

1) 垄断产量及利润:若市场上只有一家企业,则其垄断产量和利润分别为

$$q_{mt} = \frac{a-c}{2b},\ \pi_{mt} = \frac{Y(t)(a-c)^2}{4b}.$$

2) Stackelberg 均衡产量及利润:若两企业序贯地进行投资,即此时是一个完全且完美信息动态博弈过程,则先行企业具有先动优势和承诺价值[12].同时考虑后行企业的成本优势,根据 Kulatilaka[13] 的观点,存在 Stackelberg 均衡.领先企业和追随企业的 Stackelberg 均衡产量和利润分别为

$$q_{lt} = \frac{a-c}{2b},\ q_{ft} = \frac{a-c}{4b};$$

$$\pi_{lt} = \frac{Y(t)(a-c)^2}{8b},\ \pi_{ft} = \frac{Y(t)(a-c)^2}{16b}.$$

3) Cournot 均衡产量及利润:若两家企业都具有对方企业真实行动的不完美信息,即此时是一个完全且不完美信息静态博弈过程,相当于同时投资的情形[12],则两企业最终获得的 Cournot 均衡产量和利润分别为

$$q_{kt} = \frac{a-c}{3b},\ k = i,j,$$

$$\pi_{kt} = \frac{Y(t)(a-c)^2}{9b}.$$

2.3 企业价值与投资临界值

企业的角色是由内生所决定的.本节首先导出企业 $i(j)$ 分别作为追随者、领先者和同时投资者的价值函数和投资临界值.

2.3.1 追随者价值与投资临界值

领先者在 T_L 时刻已投资生产 q_{lt} 的情况下,追随者没有任何抢占的威胁,通过观察领先者产量后确定自己的最优产量 q_{ft},并等待最优投资时机 T_F 到达时投资.当 $t \geq T_L$ 时,追随者价值可表示为

$$F(Y) = E\Big[\mathrm{e}^{-r\max[T_F - t,0]}\Big(\int_{\max[t,T_F]}^{\infty}\mathrm{e}^{-r(s-\max[t,T_F])} \times \frac{Y(s)(a-c)^2}{16b}\mathrm{d}s - kI\Big)\Big]. \quad (3)$$

利用标准动态规划方法,求解所满足的 Bellman 方程及相应的价值匹配条件、平滑粘贴条件及初始零值条件[1],直接给出追随者的价值函数表达式

$$F(Y) = \begin{cases} \Big(\frac{(a-c)^2}{16b}\frac{Y_F}{r-\mu} - kI\Big) \times \\ (Y/Y_F)^{\beta},\ Y < Y_F; \\ \frac{Y(a-c)^2}{16b(r-\mu)} - kI,\ Y \geq Y_F. \end{cases} \quad (4)$$

追随者最优投资时机 $T_F = \inf(t \geq 0 \mid Y \geq Y_F)$,相应的最优投资临界值为

$$Y_F = \frac{\beta}{\beta - 1}\frac{16b(r-\mu)}{(a-c)^2}kI. \quad (5)$$

其中 β 是二次方程 $\frac{1}{2}\sigma^2\beta(\beta-1) + \mu\beta - r = 0$ 的正根.

2.3.2 领先者价值与投资临界值

领先者以最优产量 q_{lt} 首先进行投资,获得垄断利润 π_{mt};当追随者投资后,领先者获得利润 π_{lt}.于是,在时刻 $t = T_L$ 投资,领先者价值可表示为

$$L(Y) = E\Big[\int_t^{T_F}\mathrm{e}^{-r(s-t)}\frac{Y(s)(a-c)^2}{4b}\mathrm{d}s - I + \int_{T_F}^{\infty}\mathrm{e}^{-r(s-t)}\frac{Y(s)(a-c)^2}{8b}\mathrm{d}s\Big]. \quad (6)$$

求解所满足的 Bellman 方程及相应的价值匹配

条件[1],直接给出领先者的价值函数表达式

$$L(Y)=\begin{cases}\frac{(a-c)^2}{4b}\frac{Y}{r-\mu}-\frac{(a-c)^2}{8b}\times\\ \frac{Y_F}{r-\mu}\left(\frac{Y}{Y_F}\right)^{\beta}-I,\ Y<Y_F;\\ \frac{Y(a-c)^2}{8b(r-\mu)}-I,\ Y\geq Y_F.\end{cases}\tag{7}$$

领先者最优投资时机为 $T_L=\inf(t\geq 0\mid Y\geq Y_L)$,在没有抢先威胁时,其最优投资临界值即为垄断时的最优投资临界值

$$Y_M=\frac{\beta}{\beta-1}\frac{4b(r-\mu)}{(a-c)^2}I.\tag{8}$$

在有抢先威胁时,有 $Y_L<Y_M$,领先者最优投资临界值为

$$Y_L=\inf\{0<Y<Y_F\mid L(Y)=F(Y)\}.\tag{9}$$

2.3.3　同时投资者价值与投资临界值

当两企业同时投资时,获得 Cournot 均衡产量 $q_{it}(q_{jt})$ 和利润 $\pi_{it}(\pi_{jt})$,同时投资者价值可表示为

$$S(Y)=E\Big[\int_{\max[t,T_S]}^{\infty}e^{-r(s-\max[t,T_S])}\frac{Y(s)(a-c)^2}{9b}ds-Ie^{-r\max[T_S-t,0]}\Big].\tag{10}$$

同理,可直接给出同时投资者价值函数表达式

$$S(Y)=\begin{cases}\left(\frac{(a-c)^2}{9b}\frac{Y_S}{r-\mu}-I\right)\times\\ (Y/Y_S)^{\beta},\ Y<Y_S;\\ \frac{Y(a-c)^2}{9b(r-\mu)}-I,\ Y\geq Y_S.\end{cases}\tag{11}$$

最优同时投资时机为 $T_S=\inf(t\geq 0\mid Y\geq Y_S)$,相应的最优投资临界值为

$$Y_S=\frac{\beta}{\beta-1}\frac{9b(r-\mu)}{(a-c)^2}I.\tag{12}$$

3　均衡投资策略及其条件

由于两企业是对称的,其投资策略也是对称的.由于先动优势和后动优势的存在,企业的投资行为受到先占博弈和消耗战博弈的共同影响,而博弈的结果取决于两企业角色的不同所产生的成本差异程度 k.可定义

$$\xi(Y)=L(Y)-F(Y).\tag{13}$$

在区域 $(0,Y_F]$ 内,若有 $\xi(Y)>0$,则可能出现抢先投资的情形.这时,两个企业都有动力抢先成为领先者,其抢先投资临界值 Y_L 由式(9)给出.在区域 $(0,Y_F]$ 内,若有 $\xi(Y)\leq 0$,则可能出现消耗战的情形.这时,两个企业都没有动力成为领先者,都试图等待对方先投资,自己作为追随者获得比领先者更大的价值.

定理 1　在 $k\in(0,1]$ 内存在唯一的 k^* 值,即

$$k^*=\left(\frac{2\beta+1}{4^{\beta}}\right)^{\frac{1}{\beta-1}}.\tag{14}$$

$k^*<1$ 可分为两企业抢先投资和消耗战两种博弈的情形:当 $k\leq k^*$ 时,在 $(0,Y_F]$ 两企业出现消耗战;当 $k>k^*$ 时,两企业出现抢先投资.

证明　企业没有动机成为领先者,只需令在 $Y\in[0,Y_F)$ 内,使 $\xi(X)\leq 0$ 成立即可,因此满足方程组

$$\begin{cases}\xi(Y^*;k^*)=0,\\ \partial\xi(Y^*;k^*)/\partial Y\mid_{Y=Y^*}=0.\end{cases}\tag{15}$$

将式(4)和(7)代入方程组(15),即可得到式(14).其涵义非常明显,点 $(Y^*;k^*)$ 为 $L(X)$ 与 $F(X)$ 的切点. □

图 1 绘出了追随者、领先者和同时投资者的价值函数曲线.

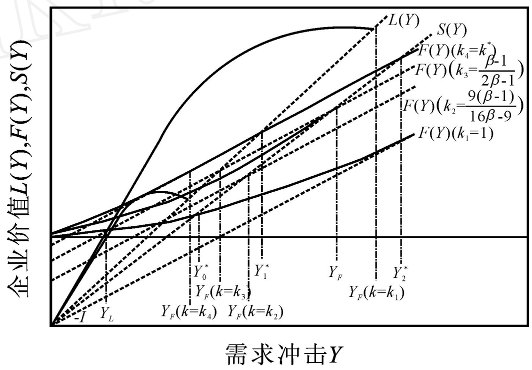

图 1　企业价值函数曲线

从图 1 可以看出,同时投资者价值函数曲线始终保持不变,而领先者和追随者价值函数曲线随着 k 值的变化而变化,因此存在不同形式的均衡投资策略.图 1 完整地画出了 $k=k_1$ 和 $k=k_4$ 时各企业价值函数曲线.对于 $k=k_2$ 或 k_3,只是画出了追随者部分价值函数的两条截线.记

$$L^*(Y)=\frac{Y(a-c)^2}{8b(r-\mu)}-I,$$

$$F^*(Y)=\frac{Y(a-c)^2}{16b(r-\mu)}-kI,$$

$$S^*(Y)=\frac{Y(a-c)^2}{9b(r-\mu)}-I.$$

同时定义

$$\zeta(Y)=S^*(Y)-F(Y),\ Y<Y_F,\tag{16}$$

$$\theta(Y)=L^*(Y)-F^*(Y),\tag{17}$$

$$\psi(Y)=S^*(Y)-F^*(Y).\tag{18}$$

图 1 中 Y_0^*, Y_1^*, Y_2^* 分别为 $\zeta(Y)=0$, $\theta(Y)=0$, $\psi(Y)=0$ 的值;k_2 为 $Y_0^*=Y_F$ 时的值;k_3 为 $Y_1^*=Y_F$ 时的值.依据不同的 k 值,可以得到以下定理:

定理 2(两企业最优均衡投资策略规则)

1) 当 $k\in\left(\frac{9(\beta-1)}{16\beta-9},1\right]$ 时,若 $0\leq y<Y_L$,则两

企业均等待;若 $Y_L \le y < Y_0^*$,一家企业成功抢先投资,则另一企业等待 Y 达到 Y_F 时投资;若 $y \ge Y_0^*$,则两企业同时投资.

2) 当 $k \in \left(\frac{\beta-1}{2\beta-1}, \frac{9(\beta-1)}{16\beta-9}\right]$ 时,若 $0 \le y < Y_L$,则两企业均等待;若 $Y_L \le y < Y_F$,一家企业成功抢先投资,则另一企业等待 Y 达到 Y_F 时投资;若 $Y_F \le y < Y_2^*$,一家企业抢先投资,则另一企业立即跟随投资;若 $y \ge Y_2^*$,则两企业同时投资.

3) 当 $k \in \left(k^*, \frac{\beta-1}{2\beta-1}\right]$ 时,若 $0 \le y < Y_L$,则两企业均等待;若 $Y_L \le y < Y_P^*$,一家企业成功抢先投资,则另一企业等待 Y 达到 Y_F 时投资;若 $Y_P^* \le y < Y_1^*$,则两企业均等待;若 $Y_1^* \le y < Y_2^*$,一家企业成功抢先投资,则另一企业立即跟随投资;若 $y \ge Y_2^*$,则两企业同时投资. 其中

$$Y_P^* = \sup\{0 < Y < Y_F \mid L(Y) = F(Y)\}.$$

4) 当 $k \in (0, k^*]$ 时,若 $0 \le y < Y_1^*$,则两企业均等待;若 $Y_1^* \le y < Y_2^*$,一家企业成功抢先投资,则另一企业立即跟随投资;若 $y \ge Y_2^*$,则两企业同时投资.

定理 3 依据不同的 k 值,有下列性质成立:

1) 当 $k = 9/16$ 时,有 $Y_F = Y_S$;

2) 当 $k = \frac{9(\beta-1)}{16\beta-9}$ 时,有 $Y_0^* = Y_F$;

3) 当 $k = \frac{\beta-1}{2\beta-1}$ 时,有 $Y_1^* = Y_F$,且

$$\frac{\beta-1}{2\beta-1} < \frac{9(\beta-1)}{16\beta-9} < \frac{9}{16};$$

4) 当 $k = 1/4$ 时,有 $Y_M = Y_F$;

5) 当 $k = \frac{1}{4}\left(\frac{2\beta+1}{4}\right)^{\frac{1}{\beta-1}}$ 时,有 $Y_M = Y_L$;

6) 当 $k = (9/16)^{\frac{\beta}{\beta-1}}$ 时,$F(Y)$ 与 $S(Y)$ 曲线重合 $(Y < Y_F)$;

7) 当 $k = \frac{9\beta-16}{16(\beta-1)}$ 时,有 $Y_0^* = Y_S$,且

$$\frac{9\beta-16}{16(\beta-1)} < \left(\frac{9}{16}\right)^{\frac{\beta}{\beta-1}} < \frac{9(\beta-1)}{16\beta-9}.$$

根据式(4),(5),(7)～(9),(11),(12),(16)和(17)及相应条件即可证得.

4 比较静态分析

从式(4),(5),(7),(9),(11)和(12)看出,同时投资者价值和最优投资临界值与 k 无关,而领先者和追随者的价值与投资临界值都是关于 k 的函数. 分别对式(4),(5)和(7)关于 k 求导,有

$$\frac{\partial F(Y)}{\partial k} = \begin{cases} -I(Y/Y_F)^\beta < 0, & Y < Y_F; \\ -I < 0, & Y \ge Y_F. \end{cases} \tag{19}$$

$$\frac{\partial L(Y)}{\partial k} = \begin{cases} 2\beta I(Y/Y_F)^\beta > 0, & Y < Y_F; \\ 0, & Y \ge Y_F. \end{cases} \tag{20}$$

$$\frac{\partial Y_F}{\partial k} = \frac{\beta}{\beta-1}\frac{16b(r-\mu)}{(a-c)^2}I > 0. \tag{21}$$

求 $\xi(Y)$ 关于 k 的导数,可以得出

$$\frac{\mathrm{d}\xi(Y)}{\mathrm{d}k} = (\beta-1)\frac{(a-c)^2}{8b(r-\mu)}\left(\frac{Y}{Y_F}\right)^\beta \times \frac{\partial Y_F}{\partial k} + I\left(\frac{Y}{Y_F}\right)^\beta > 0. \tag{22}$$

通过上述导数的符号关系,可得到如下定理:

定理 4 领先者价值随着 k 的减小而减小,而其最优投资临界值随着 k 的减小而增大;追随者价值随着 k 的减小而增大,而其最优投资临界值随着 k 的减小而减小;同时投资者价值和最优投资临界值与 k 无关.

定理 4 与人们的直觉完全相符. 同样,独立于 k 的变化来分析企业最优投资临界值与市场需求不确定性程度 σ 的关系,可以得到如下定理:

定理 5 各投资者最优投资临界值随着市场需求不确定性程度 σ 的增大而增大.

证明 因为 $\frac{\partial\beta}{\partial\sigma} < 0$,所以有 $\frac{\partial Y_F}{\partial\sigma} > 0$, $\frac{\partial Y_S}{\partial\sigma} > 0$. 下面证明 Y_L 随 σ 递增,由式(9)知 $\xi(Y_L) = 0$,求其关于 β 的微分

$$\frac{\partial\xi(Y)}{\partial\beta}\Big|_{Y=Y_L} + \frac{\partial\xi(Y)}{\partial Y}\Big|_{Y=Y_L}\frac{\partial Y_L}{\partial\beta} = 0.$$

由此,只需知道 $\partial Y_L/\partial\beta$ 的符号即可. 由式(9)和(13)以及图 1,显然有 $\partial\xi(Y)/\partial Y\,|_{Y=Y_L} > 0$. 又因

$$\frac{\partial\xi(Y)}{\partial\beta} = -\frac{\beta kI}{\beta-1}(2\beta+1)\left(\frac{Y}{Y_F}\right)^\beta \times \ln(Y/Y_F) > 0,$$

所以 $\frac{\partial Y_L}{\partial\beta} < 0$. 结合 $\frac{\partial\beta}{\partial\sigma} < 0$,于是有 $\frac{\partial Y_L}{\partial\sigma} > 0$. □

由定理 5 可知,尽管竞争加速了企业投资和侵蚀了实物期权价值,但需求不确定性的增加,使得企业投资临界值也得到增大,因此企业仍然具有延时投资的可能性.

5 数值释例

假设市场上两家竞争的对称企业都有机会开发同一种新产品. 新产品反需求函数基本参数为:$a = 50$, $b = 5$, $c = 20$;市场需求的几何布朗运动基本参数为:$\mu = 0.02$, $\sigma = 0.2$, $r = 0.05$;投资成本 $I = 1\,000$. 根据第 2 节和第 3 节的分析,求出均衡分离区域的 4 个特殊的 k 值,并给出不同 k 值下的企业投资临界值,如表 1 所示,其中"—"表示非均衡区域分离点;同时绘出 $k_1 = 1$ 时企业价值函数曲线,如图 2 所示.

表 1　不同 k 值下的企业投资临界值

k	Y_L	Y_F	Y_0^*	Y_1^*	Y_2^*
k_1	0.818 1	7.255 4	1.779 8	—	—
k_2	1.213 6	2.328 2	—	—	2.328 2
k_3	1.691 3	1.950 2	—	1.950 2	2.507 0
k_4	—	1.942 3	—	1.952 8	2.510 7

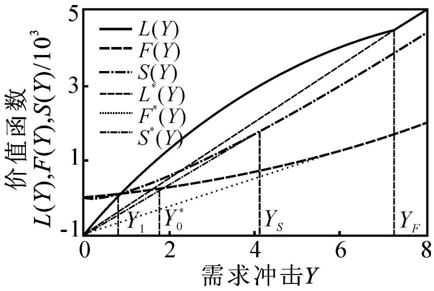

图 2　企业价值函数曲线($k_1 = 1$)

表 1 中 $k_1 = 1$; $k_2 = 0.320\ 9$,且 $Y_2^* = Y_F$; $k_3 = 0.268\ 8$,且 $Y_P^* = Y_1^* = Y_F$; $k_4 = 0.267\ 7$. 对于不同的 k 值,始终有 $Y_S = 4.081\ 1$. 由此看出, Y_L 随 k 的增大而增大, Y_F 随 k 的增大而减小, Y_S 与 k 无关,从而验证了定理 4 的正确性. 另外,由图 2 可以得出:当 $0 \leq y < 0.818\ 1$ 时,两企业均会等待;当 $0.818\ 1 \leq y < 1.779\ 8$ 时,若一企业成功抢先投资,则另一企业等待 Y 达到 7.255 4 时投资;当 $y \geq 1.779\ 8$ 时,两企业同时投资. 这与根据定理 2 得出的最优均衡投资策略是一致的,因此定理 2 也得到了验证.

6　结　　语

本文建立一个新产品项目战略投资决策的期权博弈分析框架,给出了完整的不同成本差异程度下的企业最优均衡战略投资决策规则;结合投资的先动优势和后动优势,深入到企业的微观层面,同时考察企业最优产量和时机两方面决策. 这样既贴近于现实投资背景,又在一定程度上说明了企业进行战略投资决策时的整个博弈关系. 本文在描述和解释现实经济现象的同时,为不确定和竞争环境下的新产品项目投资估价与决策提供了一种战略思维方式,为企业战略投资决策的实践提供了有益的帮助.

参考文献(References)

[1] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under uncertainty [M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

[2] Grenadier S R. The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real estate market[J]. J of Finance ,1996, 51(5): 1653-1679.

[3] Huisman K J M. Technology investment: A game theoretic real options approach[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

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

[5] 黄学军, 吴冲锋. 竞争作用不对称下技术创新投资的期权博弈分析[J]. 系统工程, 2005, 23(11):75-78.
(Huang X J, Wu C F. An option game analysis about technology innovation investment under asymmetric competition interaction[J]. Systems Engineering, 2005, 23(11): 75-78.)

[6] Pawlina G, Kort P M. Real options in an asymmetric duopoly: Who benefits from your competitive disadvantage? [J]. J of Economics and Management Strategy, 2006, 15(1):1-35.

[7] 余冬平, 邱菀华. R&D 投资决策的不对称双头垄断期权博弈模型[J]. 系统工程, 2005,13(2): 31-34.
(Yu D P, Qiu W H. Strategic R&D investment under asymmetric duopoly: A real option and game-theoretic approach[J]. Systems Engineering, 2005, 13(2): 31-34.)

[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 H, Zeng Y. Strategic investment of technology innovation with asymmetric cost under imperfect competition[J]. J of Management Sciences in China, 2005, 8(1): 30-41.)

[9] Moretto M. Irreversible investment with uncertainty and strategic behavior[J]. Economic Modelling, 2000, 17(4): 589-617.

[10] Zhu K, Weyant J. Strategic exercise of real options: Investment decisions in technological systems[J]. J of Systems Science and Systems Engineering, 2003, 12(3): 256-278.

[11] Hoppe H C. Second- mover advantages in the strategic of new technology under uncertainty5 [J]. Int J of Industrial Organization, 2000, 18 (2): 315-338.

[12] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996.
(Zhang W Y. Game theory and information economics [M]. Shanghai: Shanghai People Press, 1996.)

[13] Kulatilaka N, Perotti E C. Time-to-market capability as stackelberg growth options[C]. Innovation and Strategy: New Developments and Applications in Real Options. New York: Oxford University Press, 2000.