

# 不确定环境下新技术投资策略模型研究

陈黎明, 邱菀华

(北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:** 探讨企业关于可升级换代新技术的投资策略选择问题, 建立了基于实物期权方法的投资分析模型, 模型有完备的解析解. 阐述分析了企业可选择的五种基本投资策略, 这些策略充分考虑了隐含的期权价值, 可为企业管理者提供有益的决策参考和实践指导.

**关键词:** 实物期权; 技术创新; 投资策略

**中图分类号:** F830.59      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-9807(2005)04-0009-06

## 0 引言

新技术投资策略的选择是许多企业在战略投资决策过程中会经常遇到的问题. 当今技术发展日新月异, 企业欲投资的技术有可能会不断地更新换代. 有的技术有效寿命长, 有的技术很快就会过时, 必须及时升级更新. 企业在这一系列投资选择面前, 面临着很大的不确定性, 如何把握未来是企业战略决策者必须重点关注的问题.

作为价值评估和战略决策制定的一种重要的思维方式, 实物期权方法为企业管理者提供了如何在不确定性环境下进行战略投资决策的思路<sup>[1]</sup>. 所谓实物期权方法, 是金融期权定价理论在实物资产投资决策上的推广应用. 现代金融期权定价理论始于20世纪70年代初期, 默顿(Merton)和斯科尔斯(Scholes)等因他们在这方面的开创性工作而荣获诺贝尔经济学奖<sup>[2]</sup>. 期权定价理论诞生初期, 学者们就发现该理论在实物资产投资方面具有重要的应用前景, 迈尔斯(Myers)因此首创术语“实物期权(real-options)”来表达这方面的应用<sup>[1,3]</sup>. 20多年来, 许多经济学家将投资机会看作实物期权, 在这一领域进行深入研究探索并积极与实践相结合, 至今该领域的学术研究仍是前沿热点之一. 国外的经典文献和研究综述主要有平

迪克(Pindyck)、特里乔治斯(Trigeorgis)、库拉蒂拉卡(Kulatilaka)等著名学者的论著<sup>[1~7]</sup>. 近几年, 国内不少学者也对实物期权理论方法进行了深入研究, 参见文献<sup>[8~12]</sup>等等.

基于实物期权的投资决策方法重新发现并利用了曾被传统理论所忽略的三方面基本特征: (1) 投资是部分或完全不可逆的, 投资的初始成本至少部分是沉没的; (2) 来自投资的未来收益或回报是不确定的; (3) 投资时机的选择是灵活的. 这三方面特征之间的相互作用决定了投资者的最优决策<sup>[5]</sup>. 借助于实物期权的思维方式, 若决策和定位得当, 企业的战略投资决策者就能积极利用不确定性, 规避不利影响, 保持获得潜在机遇的能力, 把握立足于市场的主动权<sup>[1]</sup>.

可升级换代技术的投资策略可视为一系列隐含的期权<sup>[13]</sup>, 文献<sup>[10, 11]</sup>对此已有一定程度的论述. 企业投资当前技术后将获得进一步升级到新一代技术的投资选择权(期权), 当前技术的投资选择是未来新技术投资选择链条中的一个环节, 前一阶段的投资期权是后一阶段投资期权的期权, 这是一种复合期权<sup>[14]</sup>. 企业面临的投资决策问题就是如何确定新技术选择的最优投资路径. 在文献<sup>[13]</sup>的基础上, 本文给出关于新技术价值不确定性的新假设, 建立新的投资分析模型框

收稿日期: 2003-08-25; 修订日期: 2005-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70372011); 高校博士点专项科研基金资助项目(20030006009).

作者简介: 陈黎明(1971-), 男, 浙江台州人, 博士生.

架,最后阐述了企业可选择的五种基本投资策略.

### 1 新技术投资模型

#### 1.1 模型假设

基本假设 企业将投资的技术来源于技术市场,技术的发展状态是不确定的.

基本假设 企业将投资的技术是可升级更新的,新技术给企业带来的价值大小是不确定的.

记当前技术进入市场的初始时间  $t = 0$ , 对于企业的价值记为  $P_0$ . 一旦选择投资, 设企业购买该技术的成本为  $C_e$ . 那么此时投资的收益为  $P_0 - C_e$ . 这里不妨设  $P_0 > C_e$ .

新一代技术到达的时间记为  $T$ , 此时企业可获得的期权依赖于它先前的投资策略<sup>[13]</sup>. 如果企业已经选择购买了旧技术, 那么它有两种选择: 要么升级投资该新一代技术, 获得价值  $P_T$ , 要么继续持有原技术. 当决定升级到新一代技术时, 升级成本记为  $C_u$ , 获得收益  $P_T - P_0 - C_u$ . 当决定不升级时, 不再有新的现金流. 如果企业没有投资当前技术, 那么它有两种选择: 直接投资新一代技术, 投资成本记为  $C_l$ , 或者可打折购买旧技术, 此时投资成本记为  $C_d$  ( $C_d < C_e < C_l$ ). 为了避免出现简单的套利情况, 设  $C_l < C_d + C_u$ , 否则企业会先购买旧技术然后立即升级到新技术, 这样更合算. 另一方面, 考虑到企业在投资使用旧技术时具备学习能力, 所获得的经验有助于对新一代技术的熟练掌握, 不妨设升级成本低于直接投资新技术的成本, 即  $C_u < C_l$ .

设随机过程  $X(t)$  表示技术发展状态, 当未来新一代技术到达时,  $X(t)$  的取值达到上限值  $X_h$ , 即  $X(T) = X_h$ .

假设  $X(t)$  服从几何布朗运动

$$dX = \mu X dt + \sigma X dz \tag{1}$$

其中:  $\mu$  表示单位时间  $X$  的瞬时期望漂移率,  $\sigma$  表示单位时间  $X$  的方差的瞬时变动率, 而  $dz$  表示标准维纳过程的增量.

设随机过程  $P(t)$  表示在时间  $t$  到达的新一代技术的价值,  $P(0) = P_0, P(T) = P_T$ . 假设  $P(t)$  也服从几何布朗运动

$$dP = \mu P dt + \nu P dw \tag{2}$$

其中:  $\mu$  表示单位时间  $P(t)$  的瞬时期望漂移率,

表示单位时间  $P(t)$  的方差的瞬时变动率, 而  $dw$  表示标准维纳过程的增量, 并可能与  $dz$  相关,  $dz$  和  $dw$  之间的相关系数记为  $\rho$ .

#### 1.2 模型框架

由于未来新一代技术作为本模型中的基础资产并不实际存在, 其隐含的投资期权价值的推导, 不能应用传统的套利定价方式, 但用随机动态规划的方法能等价地建立模型进行求解<sup>[4,5]</sup>. 在此, 假设决策者是风险中性的, 并设投资的期望回报率等于无风险利率, 记为  $r_f$ .

下面利用动态规划的思路来推导企业的最优投资策略<sup>[13]</sup>, 新技术的投资问题可以划分为两个决策阶段: 第 1 阶段是考虑投资当前技术的最佳策略, 包括是否投资该技术以及投资时机的选择问题; 第 2 阶段是假设企业已经投资于当前技术, 则企业持有了升级到未来新一代技术的隐含期权, 必须对是否投资升级到新一代技术作出决策.

首先, 考虑第 2 阶段的投资决策, 此时企业已经投资于当前技术. 除了获得投资的直接收益 ( $P_0 - C_e$ ) 外, 企业获得了潜在的期权价值: 在新一代技术到达的时间点  $T$ , 拥有从当前技术价值  $P_0$  升级到新一代技术价值  $P_T$  的期权, 其中升级成本为  $C_u$ . 设  $F(X, P)$  表示相应的期权价值, 其中  $X$  表示技术发展的当前状态,  $P$  表示新一代技术的价值, 均是外生随机变量. 应用伊藤引理, 可得到如下关于期权价值微分  $dF$  的表达式

$$dF = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial X^2} dX^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial P^2} dP^2 + \frac{\partial^2 F}{\partial X \partial P} dX dP + \frac{\partial F}{\partial X} dX + \frac{\partial F}{\partial P} dP \tag{3}$$

利用随机动态规划方法, 将方程式 (1)、(2) 和 (3) 代入 Bellman 优化基本方程<sup>[5,15]</sup>, 可得出  $F(X, P)$  满足下列二阶偏微分方程:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 F_{XX} + \frac{1}{2} \nu^2 P^2 F_{PP} + \rho \sigma \nu X P F_{XP} + \mu F_X + \mu P F_P - r_f F = 0 \tag{4}$$

且应满足下列边界条件

$$F(X_h, P_T) = E[\max(P_T - P_0 - C_u, 0)] \tag{5}$$

$$F(0, P) = 0 \tag{6}$$

其中式 (5) 是价值匹配条件, 刻划了当新技术来临时升级期权的价值等于期望收益, 而条件式 (6) 表示当新技术永远不会来临时该期权将是无价

值的。

假设相关系数  $\rho_{XP} = 0$  以简化计算 (一般可假设  $z(t)$  和  $w(t)$  之间相互独立), 因此, 得到简化的方程如下:

$$\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 F_{XX} + \frac{1}{2} v^2 P^2 F_{PP} + X F_X + \mu P F_P - r_f F = 0 \quad (4')$$

在分析第 2 阶段的投资决策期权的基础上, 接着考虑第 1 阶段的最优投资策略。该阶段期权的最优执行策略采用这样的形式: 设  $X_l$  是  $X(t)$  中待定的下限临界值,  $X(t)$  的取值跌落到该临界值的时刻即是投资当前技术的最佳时机, 而  $X_l$  的取值将最大化该阶段投资所获得的期权价值。设  $T_l$  表示投资选择当前技术的临界时间, 则  $T_l = \inf\{t \geq 0 \mid X(t) = X_l\}$ 。

设  $G(X)$  表示购买当前技术所获得的期权价值。由式(1)和相应的 Bellman 优化基本方程, 可得到下列微分方程 (Euler 方程)

$$\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 G + X G - r_f G = 0 \quad (7)$$

受约束于下列边界条件

$$G(X_l) = P_0 - C_e + F(X_l, P_0) \quad (8)$$

$$G'(X_l) = F_X(X_l, P_0) \quad (9)$$

$$G(X_h) = E[\max(P_T - C_l, P_0 - C_d)] \quad (10)$$

其中: 式(8)和(10)是价值匹配条件, 表示技术发展状态处于上限和下限两个临界值时所对应期权价值必须满足的期望回报, 而式(9)则是平滑粘贴 (smooth-pasting) 条件<sup>[5]</sup>, 表示的是期权价值的连续性要求。

## 2 新技术投资模型的解析解

首先考虑第二阶段投资模型——方程(4') (约束条件式(5)和(6))的解。根据  $P(t)$  的假设, 由方程(2)推得<sup>[16]</sup>

$$\ln P_t \sim N\left[\ln P_0 + \left(\mu - \frac{v^2}{2}\right)t, v\sqrt{t}\right] \quad (11)$$

其中:  $N(m, s)$  表示均值为  $m$  和标准差为  $s$  的正态分布。方程(11)表明  $\ln P_t$  是正态分布, 从而  $P_t$  服从对数正态分布。

由边界条件(5)和方程(11), 有

$$F(X_h, P_T) = \int_{P_0 + C_u}^+ (P_T - P_0 - C_u) f(P_T) dP_T =$$

$$P_0 \exp\left\{\mu\left(\frac{d_{11}}{P_0 + C_u} - \frac{d_{12}}{P_0 + C_u}\right) - K_0\right\} \quad (12)$$

其中

$$d_{11} = \left[ \left( \mu + \frac{v^2}{2} \right) T + \ln P_0 - \ln(P_0 + C_u) \right] / v\sqrt{T} \quad (13)$$

$$d_{12} = d_{11} - v\sqrt{T} \quad (14)$$

而  $\Phi(\cdot)$  是标准正态的累积分布函数。

方程(4')是标准的二阶椭圆型偏微分方程, 可利用分离变量法求解这类方程<sup>[17]</sup>。设  $F(X, P)$  是方程(4')的分离解, 那么它有如下形式

$$F(X, P) = X^\alpha * P^\beta \quad (15)$$

将形式解(15)代入方程(4'), 得到如下一对常微分方程:

$$\frac{1}{2} v^2 P^2 \frac{(\beta)(\beta-1)}{P^2} + \mu P \frac{\beta}{P} - r_f = -\frac{1}{2} \sigma^2 X^2 \frac{\alpha(\alpha-1)}{X^2} - X \frac{\alpha}{X} \quad (16)$$

其中,  $\alpha$  称为分离常数 (separation constant), 其特定的经济含义将在下文中解释。

因此有

$$\frac{1}{2} v^2 X^2 (\alpha(\alpha-1) + X \alpha) - (X) = 0 \quad (17)$$

约束边界条件  $F(0) = 0, F(X_h) = 0$ 。

以及

$$\frac{1}{2} v^2 P^2 (\beta(\beta-1) + \mu P \beta) - (r_f - \mu) (P) = 0 \quad (18)$$

约束边界条件  $F(0) = 0$ 。

上述齐次 Euler 方程(17)和(18)的解析解分别有如下形式

$$F(X) = a_0 X^{\alpha_0} \quad (19)$$

$$F(P) = b_0 P^{\beta_0} \quad (20)$$

其中

$$\alpha_0 = \left( - \left( \mu - \frac{v^2}{2} \right) + \sqrt{\left( \mu - \frac{v^2}{2} \right)^2 + 2(r_f - \mu)} \right) / v^2 \quad (21)$$

$$\beta_0 = \left[ - \left( \mu - \frac{v^2}{2} \right) + \sqrt{\left( \mu - \frac{v^2}{2} \right)^2 + 2(r_f - \mu)} \right] / v^2 \quad (22)$$

且  $\alpha_0 > 1, \beta_0 > 0$ 。分离常数  $\alpha_0$  的取值范围:  $[\mu - r_f, \mu]$ ,  $a_0$  和  $b_0$  均为未知的待定常数。由  $F(X_h,$

$P_T) = K_0$ , 得  $a_0 b_0 = K_0 / (X_h P_T)$ .

方程 (4') (约束条件 (5) 和 (6)) 的解析解如下:

$$F(X, P) = \begin{cases} K_0 & X = X_h \\ \left(\frac{X}{X_h}\right)^{\alpha} \left(\frac{P}{P_T}\right)^{\beta} & X < X_h \end{cases} \quad (23)$$

其中,  $K_0, d_{11}, d_{12}$  分别见式 (12)、(13) 和 (14), 并记

$$K_1 = \left(\frac{P_0}{P_T}\right)^{r_0} K_0$$

对于式 (23) 中的分离常数  $[\alpha, r_f]$ , 该常数可在取值范围内任意选定, 其意义在于显示决策者对于未来技术发展变化的风险偏好. 现在来考察它的变化对期权价值的影响. 可以验证有  $\frac{\partial F}{\partial \alpha} > 0$ , 若  $\alpha > 0$ , 则有  $\left(\frac{X}{X_h}\right)^{\alpha} > \left(\frac{X}{X_h}\right)^{\alpha'}$ ,  $\left(\frac{P}{P_T}\right)^{\beta} > \left(\frac{P}{P_T}\right)^{\beta'}$ .

$F(X, P)$ . 若  $\alpha = r_f$ , 且  $\mu < \frac{r_f^2}{2}$ , 则有  $\alpha = 0$ , 此时式 (23) 等价于 GW 模型的结果<sup>[13]</sup>.

现在来考虑求解第一阶段投资模型——方程 (7), 约束条件: (8)、(9)、(10).

当  $X = X_l$  时, 有

$$G(X) = P_0 - C_e + F(X_l, P_0) \quad (24)$$

当  $X = X_h$  时, 由边界条件 (10) 以及式 (11), 可推导得出下列解

$$G(X) = P_0 \exp\{\mu\} (d_{21}) - (P_0 - C_d + C_i) \cdot (d_{22}) + P_0 - C_d - K_2 \quad (25)$$

其中

$$d_{21} = \left[ \left( \left[ \mu + \frac{r_f^2}{2} \right] T + \ln P_0 - \ln(P_0 - C_d + C_i) \right) / v \sqrt{T} \right] \quad (26)$$

$$d_{22} = d_{21} - v \sqrt{T} \quad (27)$$

当  $X_l < X < X_h$  时, Euler 方程 (7) 的通解具有如下形式<sup>[18]</sup>

$$G(X) = A_1 X^{-1} + A_2 X^2 \quad (28)$$

其中

$$1 = \left[ \left( -\frac{2}{2} \right) + \sqrt{\left( -\frac{2}{2} \right)^2 + 2r_f^2} \right] / 0 \quad (29)$$

$$2 = \left[ -\left( -\frac{2}{2} \right) + \sqrt{\left( -\frac{2}{2} \right)^2 + 2r_f^2} \right] / 2 \quad (30)$$

且  $\alpha > 0, \beta > 1$ . 待定常数  $A_1, A_2$  和临界值  $X_l$  由边界条件 (8)、(9) 和 (10) 来确定.

结合边界条件, 有下列方程组:

$$A_1 X_l^{-1} + A_2 X_l^2 = P_0 - C_e + \left(\frac{X_l}{X_h}\right)^{\alpha} K_1 \quad (31)$$

$$A_1 X_h^{-1} + A_2 X_h^2 = K_2 \quad (32)$$

$$-A_1 X_l^{-1} + A_2 X_l^2 = -\left(\frac{X_l}{X_h}\right)^{\alpha} K_1 \quad (33)$$

解此方程组, 结果如下:

$$X_l = k X_h \quad (34)$$

$$A_1 = \frac{2}{1 + 2} (P_0 - C_e) X_l^{-1} + \frac{2 - \alpha}{1 + 2} K_1 X_h^{-\alpha} X_l^{\alpha + 1} \quad (35)$$

$$A_2 = \frac{1}{1 + 2} (P_0 - C_e) X_l^{-2} + \frac{1 + \alpha}{1 + 2} K_1 X_h^{-\alpha} X_l^{\alpha - 2} \quad (36)$$

其中,  $0 < k < 1, k$  是方程  $Q(t) = 0$  的根, 而函数  $Q(t)$  如下所示:

$$Q(t) = \frac{1(P_0 - C_e)}{1 + 2} t^{-2} + \frac{2(P_0 - C_e)}{1 + 2} t^{-1} + \frac{0 + 1}{1 + 2} K_1 t^{\alpha - 2} + \frac{2 - \alpha}{1 + 2} K_1 \cdot t^{\alpha + 1} - K_2 \quad (37)$$

为了进一步了解  $k$  的情况, 这里需要探讨函数  $Q(t)$  ( $0 < t < 1$ ) 的性质. 易验证函数  $Q(t)$  有下列性质:

$$Q(1) = P_0 - C_e + K_1 - K_2, Q(0) = -\infty;$$

$$Q'(1) = 0, Q'(0) = -\infty;$$

并且  $Q(t)$  ( $0 < t < 1$ ) 满足:

$$Q(t) > Q(1) = \frac{1}{2} (P_0 - C_e) + K_1 (t^{\alpha + 1} - 1) (2 - \alpha) > 0,$$

有  $Q(t) < 0$  ( $t < 1$ ), 函数  $Q(t)$  的基本轮廓见图 1 所示.

若  $P_0 - C_e + K_1 - K_2 > 0$ , 方程  $Q(t) = 0$  没有实根; 仅当  $P_0 - C_e + K_1 - K_2 = 0$  时, 方程  $Q(t) = 0$  有唯一的实解  $k$ .

若  $P_0 - C_e + K_1 - K_2 < 0$ , 将  $K_1 = (P_0/P_T)^{r_0} \cdot K_0$  代入此不等式, 经整理后有

$$P_T > P_0 \left( \frac{K_0}{K_2 - P_0 + C_e} \right)^{1/r_0} = P^* \quad (38)$$

其中： $K_0, 0, K_2$  可分别由式 (12)、(22)、(25) 求得，易证下列关系式成立：

$$K_2 - K_0 = P_0 - C_d - P_0 - C_e.$$

因此， $K_2 - P_0 + C_e = K_0$ ，从而有

$$P^* = P_0 - P_0 + C_1 - C_d.$$

式(38) 给出了本模型有解析解的一个必要条件。

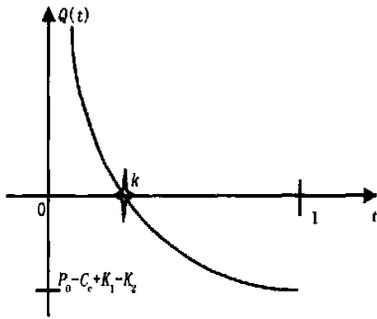


图 1 函数  $Q(t)$  图示

Fig. 1 Sketch of function  $Q(t)$

### 3 新技术投资策略分析

当未来新技术尚未到达，企业在考虑是否投资当前技术时持有相应的期权。该期权有价值的必要条件是  $P_T > P^*$ ，此时期权价值为  $G(X)$ 。企业的最佳执行策略在新技术到达前，当  $X(t)$  跌落到临界值  $X_l = kX_h (0 < k < 1)$  的时刻选择投资当前技术，其最佳投资时机  $T_l = \inf [t | 0 < X(t) < X_l]$  (当  $P_T < P^*$  时，则定义  $T_l = \infty$ )。

一旦企业投资于当前技术，它也同时拥有了升级到新一代技术的升级期权，期权价值为  $F(X, P)$ 。

当新一代技术到达时，若企业已经投资于当前技术，那么当  $P_T - P_0 - C_u > 0$  时，企业将选择立即升级到新技术，否则企业将继续观望。若企业在新一代技术到达前没有投资于当前技术，那么当  $P_T - C_1 > P_0 - C_d$  时，它将直接投资新一代技术，否则它将愿意以折扣价  $C_d$  购买旧技术。

根据前述分析，针对技术选择的问题，企业主要有下述 5 种基本投资策略(见图 2 所示，因为假设  $C_1 = C_d + C_u$ ，所以有  $P_0 + C_1 - C_d = P_0 + C_u$ )：

( I ) 持有追随策略 即在新一代技术来临前已投资当前技术，当新一代技术到达时立即升级到新技术。执行前提： $T_l < T, P_T > P_0 + C_u$ ；

( II ) 持有守旧策略 在新一代技术来临前

已投资当前技术，当新一代技术到达时，不愿升级到新技术。执行前提： $T_l < T, P_T < P_0 + C_u$ ；

( III ) 观望跃进策略 在新一代技术来临前没有投资当前技术，当新一代技术到达时直接投资新技术。执行前提： $T_l > T, P_T > P_0 + C_1 - C_d$ ；

( IV ) 观望保守策略 在新一代技术来临前没有投资当前技术，当新一代技术到达时宁愿投资购买旧技术。执行前提： $T_l > T, P^* < P_T < P_0 + C_1 - C_d$ 。

( V ) 冷眼旁观策略 在新一代技术来临前没有投资当前技术，当新一代技术到达时仍继续观望，这是一种不投资的投资策略。执行前提： $T_l > T, P_T < P^*$ 。

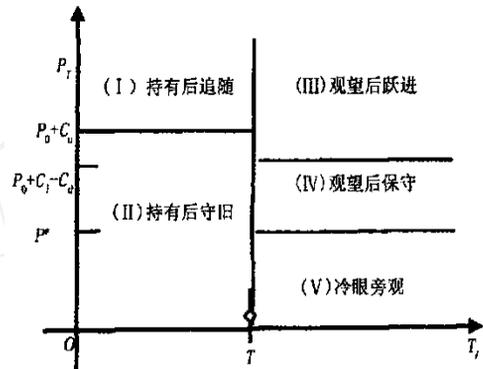


图 2 技术投资策略

Fig. 2 Investment strategy of technological innovations

文献[13]GW 模型阐述了前四种基本投资策略，而本模型框架则分析了上述五种投资策略。由于建模方式的不同，企业投资当前技术的最佳时机  $T_l$  的临界值水平与 GW 模型的结果将有所不同，而两者关于新技术价值  $P_T$  不确定性的处理方式也不一样，因此企业关于各种投资策略的偏好程度会有明显差异。在实证研究中检验比较上述两模型的结果应是非常有意义的。

### 4 结论

本文考察的一类技术是可升级更新的，而技术发展状态和新技术的价值都是不确定的，所阐述的五种基本投资策略充分考虑了隐含的实物期权价值。在实证研究中分析比较本模型和 GW 模型的结果将是非常有意义的。另外，本文模型框架有一定的普遍性，对于有两个外生随机变量的情

形的研究有一定的参考价值,但模型中关于分离常数 的处理及经济意义解释尚有待进一步深入分析.本模型对于技术的发展状态,仍设定为外生

变量,并没有考虑技术研发供应者的因素以及存在竞争的情况.因此,在博弈论框架下(参考文献[19])分析上述情形是值得进一步研究的.

### 参 考 文 献:

- [1]Amram M, Kulatilaka N. 实物期权:不确定性环境下的战略投资管理[M]. 北京:机械工业出版社,2001.  
Amram M, Kulatilaka N. Real Options: Managing Strategic Investment in an Uncertain World[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1999. (in Chinese)
- [2]Merton R C. Applications of option-pricing theory: Twenty-five years later[J]. The American Economic Review, 1998, 88(3): 323—349.
- [3]Myers S C. Determinants of corporate borrowing[J]. Journal of Financial Economics, 1977, 5(2): 147—175.
- [4]Pindyck R S. Irreversibility, uncertainty, and investment[J]. Journal of Economic Literature, 1991, 29: 1110—1148.
- [5]Dixit A K, Pindyck R S. 不确定条件下的投资[M]. 北京:中国人民大学出版社,2002.  
Dixit A K, Pindyck R S. Investment Under Uncertainty[M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.
- [6]Trigeorgis L. Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation[M]. Cambridge: MIT Press, 1996.
- [7]Kester W C. Today's options for tomorrow's growth[J]. Harvard Business Review, 1984, 62(2): 153—160.
- [8]范龙振,唐国兴. 投资机会的价值与投资决策——几何布朗运动模型[J]. 系统工程学报, 1998, 13(3): 8—12.  
Fan Long-zhen, Tang Guo-xing. The value of investment opportunity and investment decision—Geometric Brownian motion model [J]. Journal of Systems Engineering, 1998, 13(3): 8—12. (in Chinese)
- [9]谭 跃,何 佳. 实物期权与高科技战略投资——中国 3G 牌照的价值分析[J]. 经济研究, 2001, 4: 58—66.  
Tan Yue, He Jia. Real option and Hi-Tech strategic investment: Value analysis of China 3G License[J]. Economic Research Journal, 2001, 4: 58—66. (in Chinese)
- [10]刘国新,唐振鹏. 传统产业技术创新投资决策的实物期权分析[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(3): 93—95.  
Liu Guo-xin, Tang Zhen-peng. Real option analysis of project investment decision in traditional industries under technological innovation[J]. Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University, 2002, 24(3): 93—95. (in Chinese)
- [11]何 佳,曾 勇. 技术创新速度对新技术购买行为的影响——两代未来创新的情况[J]. 管理科学学报, 2003, 6(1): 13—19. (in Chinese)  
He Jia, Zeng Yong. Impact of speed of innovation arrival on innovation adoption timing: Case of two generations of future innovations[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 13—19. (in Chinese)
- [12]李洪江,曲晓飞,冯敬海. 阶段性投资最优比例问题的实物期权方法[J]. 管理科学学报, 2003, 6(1): 20—26.  
Li Hong-jiang, Qu Xiao-fei, Feng Jing-hai. Definition of optimal proportion of phased investment: Real options approach[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(1): 20—26. (in Chinese)
- [13]Grenadier S R, Weiss A M. Investment in technological innovations: An option pricing approach[J]. Journal of Financial Economics, 1997, 44: 397—416.
- [14]Geske R. The valuation of compound options[J]. Journal of Financial Economics, 1979, 7: 63—81.
- [15]Schwartz E S, Zozaya Groszta C. Investment under uncertainty in Information Technology: Acquisition and development projects [J]. Management Science, 2003, 49(1): 57—70.
- [16]Hull J C. Options, Futures, and Other Derivatives[M]. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.
- [17]薛兴恒. 数学物理偏微分方程[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1995.  
Xue Xing-heng. Partial Differential Equations of Mathematical Physics[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1995.
- [18]Pinsky M A. Introduction to Partial Differential Equations with Applications[M]. New York: McGraw Hill, 1984.
- [19]安瑛晖,张 维. 期权博弈理论的方法模型分析与发展[J]. 管理科学学报, 2001, 4(1): 38—44.  
An Ying-hui, Zhang Wei. Analysis and development of the method and model of option game theory[J]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4(1): 38—44. (in Chinese)

(下转第 27 页)

[32] Massey A P, Wallace W A. Understanding and facilitating group problem structuring and formulation: Mental representation, interaction, and representation aids[J]. Decision Support Systems, 1996, 17: 255—257.

## Research on visualization of group decision argument opinion's distributing —Design and development of electronic common brain audiovisual room

ZHANG Xing-xue, ZHANG Peng-zhu

Aetna School of Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China

**Abstract:** In the course of decision group meta-synthetic argumentation, it is necessary to analyze and design the attributes, the structure and the relationships of argument information strictly, to explore new visual technology of group argument information. This paper designs a new visual organizing and revealing of argument information to adapt to the group dynamic communication. The semantic relationships between different speeches are classified as supporting, opposing, querying, supplying and correlating. According to the group argumentation course, the argument information is organized as an argument net based on the cognitive mapping. A Web and java-based visual system called Electronic Common Brain Audiovisual Room (ECBAR) is designed and developed. Consequently, experiments are done to analyze the validity and applied effects of ECBAR.

**Key words:** group decision argumentation; visualization; electronic common brain audiovisual room

---

(上接第 14 页)

## Study on investment strategy model of technological innovations under uncertainty

CHEN Li-ming, QIU Wan-hua

School of Economics & Management, Beihang University, Beijing 100083, China

**Abstract:** This paper extends the Grenadier-Weiss work of the optimal investment strategy for a firm confronted with a sequence of technological innovations, and provides a new model which has analytical solution. This extension entails a substantial increase in the complexity of the model. The innovation investment strategy is viewed as a sequence of embedded options, and the consequences of a current innovation investment decision have ramifications on the future options available to the firm. It sets forth five fundamental investment strategies for technological innovations which have taken into account the value of embedded options.

**Key words:** real options; technological innovations; investment strategy