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①

何　佳[1],曾　勇[2]
(1. 香港中文大学工商管理学院,香港 新界 沙田;2. 电子科技大学管理学院,成都 610054)

摘要:通过引入第二代未来创新更好地实现了将技术创新的购买看作一系列实物期权的思想.讨论了实物期权价值以及触发现有创新购买、跨越或升级到未来创新的状态临界值的求解方法,在假定现有创新和第一代未来创新均出现情况下给出了购买时机的概率模型.数字释例表明,虽然技术创新速度对购买行为的影响在仅有一代未来创新情况下呈现明显的非单调特征,但对第二代未来创新的预期将显著削弱甚至消除创新速度影响中的非单调特征,从而为直观分析特别是实证结果提供了更好的理论支持.

关键词:实物期权;技术创新;购买时机
中图分类号:F830.59　　文献标识码:A　　文章编号:1007-9807(2003)01-0013-07

0　引　言

技术创新已成为新经济时代企业竞争战略的重要组成部分.技术创新过程的不间断性和不确定性决定了企业对技术创新的投资(采用)行为及技术创新的扩散模式受到未来创新的程度、速度等技术环境不确定因素的影响.实际上,技术创新过程的动态随机特征为企业采用创新技术创造了一系列的决策灵活性(flexibility),这些灵活性可以描述为一条实物期权链(real option chain).当一个企业面对一项新技术时,它具有立即采用或推迟采用的选择权,而当采用了该项新技术后,又具有了通过人力、工艺、技术等积累以更低的转移成本、更快的适应速度升级到下一代新技术的选择权.实物期权就是金融期权的特征在实物投资或其它管理决策领域的体现[1~8],实物期权的分析方法为不确定技术环境中技术创新购买行为及扩散模式的分析提供了有效的途径.

然而,虽然已有文献涉及技术改进的预期对技术创新投资决策的影响[9~11],正式应用实物期权的思想和分析方法对技术创新投资决策的理论分析近年来才引起研究者的注意.文献[12]直接将对技术创新的投资考虑成一个嵌入期权流(stream of embedded options),采用期权定价方法导出了企业技术迁徙的4种策略分别为最优策略的条件和概率,并分析了技术环境对企业技术迁徙策略的影响.文献[13]通过将技术创新的出现描述为泊松过程采用实物期权方法分析了技术环境对企业最佳采用时机的影响.文献[14,15]更进一步将文献[13]的方法推广到不完全竞争的情况(关于不完全竞争情况下实物期权分析的综述见文献[16]).然而,文献[12～15]实际上仅涉及触发采用技术创新的技术状态或技术有效性的临界值.正如文献[17]指出的那样,触发实物期权执行的状态临界值不足以描述投资者推迟投资的时间,而且在实证研究中,状态临界值也是无法观测的,只有企业采用新技术的时间是可以观测的.另一方面,从实物期权的观点出发对技术创新投资的实证分析也相当有限.早期

① 收稿日期:2001-05-28;修订日期:2002-08-22.
基金项目:香港特区政府资助项目(CUHK404/99H).
作者简介:何　佳(1956—),男,上海人,博士,教授,博士生导师.

的经验支持主要来源于案例研究,如文献[18,19]分别就技术环境对电子仪表控制技术和计算机集成制造技术扩散的影响进行了案例分析.文献[20]就技术环境对印制线路板自动装配线采用 SMT 工艺的影响采用多元逻辑回归模型进行了实证研究.在以往研究基础上,文献[21]针对不同技术环境下的 7 种医疗设备(CT, MRI, PET, SPECT, Ultra-sonic, Angioplasty 和 Lithotripter)在美国 4 767 家不同类型医院(盈利型、非盈利型、大医院和小医院)中的扩散过程进行了实证分析,并采用实物期权分析方法导出了不同技术进步状态和不同数据记录方式假设下技术创新采用时机的概率模型,对实证结果进行了理论解释.实证和理论结果表明,技术环境和医院的内部状况显著地影响着技术创新的购买行为和扩散模式,技术创新速度的加快、采用成本的增加、未来创新程度的提高、技术创新环境不确定性的增加和医院床位数的减少都会导致技术创新采用的推迟以及典型的产品生命周期扩散模式,而在相反的情况下,技术创新的扩散速度加快,标志市场成熟和饱和的拐点可能不再出现在扩散曲线上.并且,这些特征更明显地体现在盈利型医院的购买中.

文献[21]的不足之处是仅考虑了一代未来技术创新,并且在当前和未来创新技术均在数据记录期间出现的情况下,技术创新速度对购买行为呈现非单调的影响,即随着创新速度的加快,先是出现推迟采用的行为继而出现提前采用的行为,这与实证的结果是不一致的.对这种不一致的直观解释是,由于技术创新是不间断的过程,当第一代未来创新出现后,企业或医院还会预期到第二代甚至第三代创新技术的出现,这种预期将导致采用的推迟,特别是在创新速度很快的情况下,推迟采用的行为将更为显著,从而创新速度的影响呈现单调的特征.本文通过引入第二代未来创新考察创新速度对购买行为的影响,结果表明,第二代未来创新的引入将显著地削弱甚至消除仅有一代未来创新情况下技术创新速度对购买行为的非单调影响,为上述直观解释提供了理论依据.

1 理论框架

设一个技术创新的潜在购买者(企业)面对一项已开发成功并引入市场的新技术,同时预期到未来将出现对该新技术(简记为 CI)的两代改进(简记为 1FI 和 2FI).假定技术进步的状态服从如下几何布朗运动

$$\mathrm{d}X_t = \alpha X_t \mathrm{d}t + \sigma X_t \mathrm{d}W_t \tag{1}$$

其中:W_t 为标准布朗运动.记初始技术状态为 X_0,标志 1FI 和 2FI 面世的技术状态分别为 X_{h1} 和 X_{h2},且 $X_{h2} > X_{h1} > X_0$.CI 对该企业的价值为 P_0,其采用成本为 C_e,且 $P_0 > C_e$.1FI 和 2FI 的不确定价值分别表示为 $P_{T1} = P_0 + \varepsilon_1$, $\varepsilon_1 \sim N(\mu_1, v_1^2)$ 和 $P_{T2} = P_{T1} + \varepsilon_2$, $\varepsilon_2 \sim N(\mu_2, v_2^2)$,且 ε_1、ε_2 和 $\mathrm{d}W_t$ 相互独立.企业的最优技术迁徙策略为:

在 1FI 尚未面世且购买 CI 之前,企业持有采用 CI 的期权;企业的最优期权执行策略应是,在 1FI 面世之前一旦 $X(t)$ 降至临界值 X_{l1} 即采用 CI;

如果企业在 1FI 面世之前采用了 CI,则获得了技术升级的期权;在 1FI 面世后且 2FI 到达之前,若 $X(t)$ 降至 X_{l2} 且 $P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)} \geq 0$,则企业将升级到 1FI,其中 $C_{u0}^{(1)}$ 为升级成本;否则,企业将推迟升级决策至 2FI 面世;

如果企业在 1FI 面世之前未采用 CI,则在 1FI 面世之后 2FI 到达之前,一旦 $X(t)$ 降至 X_{l3},根据条件 $P_{T1} - C_{l1} \geq P_0 - C_{d0}^{(1)}$ 是否满足,企业将跃过 CI 直接采用 1FI 或者按折扣价 $C_{d0}^{(1)}$ 购买 CI,其中 $C_{d0}^{(1)}$ 为 1FI 面世后购买 CI 的成本,C_{l1} 为直接采用 1FI 的成本;否则,企业将推迟采用决策至 2FI 面世;

在 2FI 面世之时,如果企业既未采用 CI 也未投资 1FI,它将或者以成本 C_{l2} 跃至 2FI、或者以成本 C_{d1} 跃至 1FI、或者以进一步的折扣价 $C_{d0}^{(2)}$ 购买 CI,取决于 $P_{T2} - C_{l2}$、$P_{T1} - C_{d1}$ 和 $P_0 - C_{d0}^{(2)}$ 三者中何者最大;如果企业已采用 CI 但尚未升级到 1FI,它将以成本 $C_{u0}^{(2)}$ 直接升级到 2FI、或者以成本 $C_{u0}^{(1)}$ 升级到 1FI、或者放弃升级,取决于 $P_{T2} - P_0 - C_{u0}^{(2)}$、$P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)}$ 和 0 三者中何者最大;如果企业已经采用 1FI,并且 $P_{T2} - P_{T1} - C_{u1} \geq 0$,它将以成本 C_{u1} 升级到 2FI.

进一步假定采用和升级成本满足如下关系:

$C_{d0}^{(1)} \leq C_e$ 和 $C_{d1} \leq C_{l1}$ 表示折扣;

$C_{u0}^{(1)} < C_{l1}$、$C_{u1} < C_{l2}$ 和 $C_{u1} < C_{u0}^{(2)}$ 反映人力和工艺经验的积累;

$C_{l1} < C_e + C_{u0}^{(1)}$、$C_{l1} \le C_{d0}^{(1)} + C_{u0}^{(1)}$、$C_{l2} < C_{l1} + C_{u1}$、$C_{l2} \le C_{d1} + C_{u1}$、$C_{l2} \le C_{d0}^{(1)} + C_{u0}^{(2)}$ 和 $C_{u0}^{(2)} \le C_{u0}^{(1)} + C_{u1}$ 排除技术购买中的套利机会.

触发采用的临界状态和采用时机如图 1 所示.

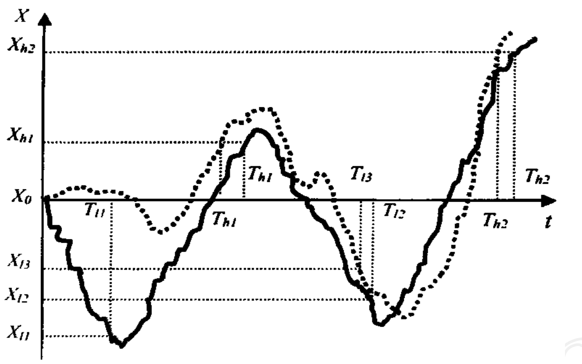


图 1　临界技术状态和新技术采用时机

2　实物期权价值及其解

记采用 CI 的期权价值、从 CI 升级到 1FI 的期权价值及以 1FI 交换 2FI 的期权价值分别为 $G(X)$、$F_1(X)$ 和 $F_2(X)$.

设 $\mathrm{d}W_t$ 的风险状态可由资产或资产组合 V_t 生成,其价值服从如下过程:

$$\mathrm{d}V_t = \mu V_t \mathrm{d}t + \sigma V_t \mathrm{d}W_t$$

首先假定企业已采用 1FI. 现考虑投资组合:持有从 1FI 升级到 2FI 的期权,同时卖空 $n = F_2(X)X/V$ 单位的资产 V_t. 该组合的价值为 $P = F_2(X) - nV$. 由伊藤定理可得

$$\mathrm{d}P = \left[\frac{1}{2}\sigma^2 X^2 F_2''(X) - \delta X F_2'(X)\right]\mathrm{d}t$$

其中:$\delta = \mu - \alpha$,为均衡收益率与“资本利得”之差.

由于 $\mathrm{d}P$ 无随机项,该组合无风险,其收益率应为无风险利率 r,即 $\mathrm{d}P = rP\mathrm{d}t$. 由此可得

$$\frac{1}{2}\sigma^2 X^2 F_2''(Z) + (r - \delta)XF_2'(X) - rF_2(X) = 0$$

由上述最优技术迁徙策略及 $X = 0$ 为 X_t 的吸收域可得上式微分方程的边界条件为

$$\begin{cases} F_2(X_{h2}) = E\left[\max(P_{T2} - P_{T1} - C_{u1}, 0)\right] = K_4 \\ F_2(0) = 0 \end{cases} \tag{2}$$

由此可得

$$F_2(X) = A_{f21}X^{-\beta_1} + A_{f22}X^{\beta_2} \tag{3}$$

式中

$$\beta_1 = \frac{[(r-\delta)-\sigma^2/2] + \sqrt{[(r-\delta)-\sigma^2/2]^2 + 2r\sigma^2}}{\sigma^2} > 0$$

$$\beta_2 = \frac{-[(r-\delta)-\sigma^2/2] + \sqrt{[(r-\delta)-\sigma^2/2]^2 + 2r\sigma^2}}{\sigma^2} > 1$$

$$A_{f21} = 0, A_{f22} = K_4(X_{h2})^{-\beta_2}$$

同理可得

$$G(X) = A_{g1}X^{-\beta_1} + A_{g2}X^{\beta_2} \tag{4}$$

$$F_1(X) = A_{f11}X^{-\beta_1} + A_{f12}X^{\beta_2} \tag{5}$$

$G(X)$ 和 $F_1(X)$ 须满足的边界条件也可由上述最优技术迁徙策略及光滑连接(smooth-pasting)条件导出,即

$$G(X_{h2}) = E[\max(P_{T2} - C_{l2}, P_{T1} - C_{d1}, P_0 - C_{d0}^{(2)})] = K_2 \tag{6}$$

$$G(X_{l1}) = K_{11} + F_1(X_{l1}) \tag{7}$$

$$G'(X_{l1}) = F_1'(X_{l1}) \tag{8}$$

$$F_1(X_{h2}) = E[\max(P_{T2} - P_0 - C_{u0}^{(2)}, P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)}, 0)] = K_3 \tag{9}$$

$$F_1(X_{l2}) = \frac{K_{12}}{1-\phi_2} + F_2(X_{l2}) \tag{10}$$ ①

$$F_1'(X_{l2}) = F_2'(X_{l2}) \tag{11}$$

$$G(X_{l3}) = K_{13} + \phi_3 F_1(X_{l3}) + (1-\phi_3)F_2(X_{l3}) \tag{12}$$ ②

$$G'(X_{l3}) = \phi_3 F_1'(X_{l3}) + (1-\phi_3)F_2'(X_{l3}) \tag{13}$$

式中:$K_{11} = P_0 - C_e$; $K_{12} = E[\max(P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)}, 0)]$; $K_{13} = E[\max(P_{T1} - C_{l1}, P_0 - C_{d0}^{(1)}]$; $\phi_2 = Pr(P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)} < 0)$; $\phi_3 = Pr(P_{T1} - C_{l1} < P_0 - C_{d0}^{(1)})$;且由前面的假设可知 $K_2 > K_3, K_3 > K_4$(若 $\mu_1 \ge C_{u0}^{(1)}$).

由于有 7 个未知参数($A_{g1}, A_{g2}, A_{f11}, A_{f12}, X_{l1}, X_{l2}$ 和 X_{l3})、8 个方程(式(6) ～ (13)),除非存在冗余方程,上述方程组无通常意义的解. 进一步的分析表明,$K_{12} \ge (1-\phi_2)(K_3 - K_4)$ 意味着一旦企业

① 由 $F_1(X_{l2}) = Pr(P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)} \ge 0)\left[E\left(P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)} \mid P_{T1} + P_0 - C_{u0}^{(1)} \ge 0\right) + F_2(X_{l2})\right] + Pr(P_{T1} - P_0 - C_{u0}^{(1)} < 0)F_1(X_{l2})$ 经整理得.

② 由 $G(X_{l3}) = Pr(P_{T1} - C_{l1} \ge P_0 - C_{d0}^{(1)})\left[E(P_{T1} - C_{l1} \mid P_{T1} - C_{l1} \ge P_0 - C_{d0}^{(1)}) + F_2(X_{l3})\right] + Pr(P_{T1} - C_{l1} < P_0 - C_{d0}^{(1)})\left[(P_0 - C_{d0}^{(1)}) + F_1(X_{l3})\right]$ 经整理得.

采用了 CI,则在 2FI 面世之前不会升级到 1FI; $K_{13} \geq (K_2 - K_3) + (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$ 意味着,若企业在 1FI 面世之前未采用 CI,则在 2FI 到达之前不会采用 CI 或跨越到 1FI; $K_{11} \geq (K_2 - K_3)$ 意味着企业不会在 1FI 面世之前采用 CI. 因此,对于 $K_{12} > (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$,若 $K_{13} < (K_2 - K_3) + (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$ 且 $K_{11} < (K_2 - K_3)$,则状态临界值 X_{l1}、X_{l3} 和期权价值可由式(6) ~ (9) 和式(12)、(13) 组成的子系统唯一确定;即使 $K_{13} > (K_2 - K_3) + (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$ 或 $K_{11} > (K_2 - K_3)$,此时虽然期权价值不定,但 X_{l1} 或 X_{l3} 也可由式(6) ~ (11) 组成的子系统或式(6)、(9) 和(12)、(13) 组成的子系统唯一确定,满足了购买时机分析的需要. 同理可分析 $K_{13} > (K_2 - K_3) + (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$ 或 $K_{11} > (K_2 - K_3)$ 情况下的解.

只有当 $K_{11} < (K_2 - K_3)$、$K_{12} < (1 - \phi_2)(K_3 - K_4)$ 且 $K_{13} < (K_2 - K_3) + (1 - \phi_3)(K_3 - K_4)$ 时,式(6) ~ (13) 方程是不一致的. 然而,大量的数字释例表明,对于合理的采用和升级成本,式(6) ~ (11) 组成的子系统的解与式(6)、(9) 和(12)、(13) 组成的子系统的解是高度一致的.

3 购买时机的概率模型及数字释例

有了以上的准备,可以考察技术创新的购买时机并比较不同数据记录假设下的结果.

记新技术的采用时刻为 T,技术过程从初始状态 $X_0 (X_0 < X_{h1})$ 首次到达 X_{h1} 的时间为 $T_{h1} = \inf\{s : X_s = X_{h1}\}$,技术过程从初始状态 $X_0 \in (X_{l1}, X_{h1})$ 首次离开 (X_{l1}, X_{h1}) 的时间为 $T_{l1,h1} = \inf\{s : X_s \notin (X_{l1}, X_{h1})\}$,技术过程从状态 $X_{h1} \in (X_{l3}, X_{h2})$ 首次离开 (X_{l3}, X_{h2}) 的时间为 $T_{l3,h2} = \inf\{s : X_s \notin (X_{l3}, X_{h2})\}$. 假设 CI 和 1FI 在数据记录期间面世(2FI 未到达)、且记录的销售量为 CI 和 1FI 的销量之和,则在不同时间段购买技术创新的概率为

$$P_{(0,t_1)}(X_0) = Pr\{T \leq t_1 \mid X_0, \text{且 } X_{h1} \in (X_{l3}, X_{h2}) \text{ 时 } X_{T_{l3,h2}} = X_{l3}\} \quad (14.1)$$

$$P_{(t_1,t_2)}(X_0) = P_{(0,t_2)}(X_0) - P_{(0,t_1)}(X_0) \quad (14.2)$$

$$P_{(t_2,\infty)}(X_0) = 1 - P_{(0,t_2)}(X_0) \quad (14.3)$$

上述概率模型中,并不需要触发状态 X_{l2}. 式(14.1) 可进一步表示为

$$P_{(0,t_1)}(X_0) = P^{(1)}_{(0,t_1)}(X_0) + P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0) \quad (15)$$

(i) 若 $K_{11} < (K_2 - K_3)$ 且 $K_{13} < (K_2 - K_3) + (1 - \phi_3)(K_3 - K_4)$,则

$$P^{(1)}_{(0,t_1)}(X_0) = \begin{cases} 1 & \text{for } X_{l1} \geq X_0 \\ Pr\{T_{l1,h1} \leq t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{l1} \mid X_0\} & \text{for } X_{l1} < X_0 \end{cases} \quad (16.1)$$

$$P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0) = \begin{cases} Pr\{T_{l1,h1} \leq t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{h1} \mid X_0\} & \text{for } X_{l3} \geq X_{h1} \\ \dfrac{Pr\{T_{l1,h1} + T_{l3,h2} \leq t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{h1}, X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\}}{Pr\{X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\}} & \text{for } X_{l3} < X_{h1} \end{cases} \quad (16.2)$$

(ii) 若 $K_{11} < (K_2 - K_3)$ 且 $K_{13} > (K_2 - K_3) + (1 - \phi_3)(K_3 - K_4)$,则 $P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0) = 0$, $P^{(1)}_{(0,t_1)}(X_0)$ 表示为式(16.1) .

(iii) 若 $K_{11} > (K_2 - K_3)$ 且 $K_{13} < (K_2 - K_3) + (1 - \phi_3)(K_3 - K_4)$,则 $P^{(1)}_{(0,t_1)}(X_0) = 0$, $P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0)$ 表示为

$$P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0) = \begin{cases} Pr\{T_{h1} \leq t_1 \mid X_0\} & \text{for } X_{l3} \geq X_{h1} \\ \dfrac{Pr\{T_{h1} + T_{l3,h2} \leq t_1, X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\}}{Pr\{X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\}} & \text{for } X_{l3} < X_{h1} \end{cases} \quad (16.3)$$

(iv) 若 $K_{11} > (K_2 - K_3)$ 且 $K_{13} > (K_2 - K_3) + (1 - \phi_3)(K_3 - K_4)$,则 $P^{(1)}_{(0,t_1)}(X_0) = 0$, $P^{(2)}_{(0,t_1)}(X_0) = 0$.

记 $\mu = \frac{1}{\sigma}\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)$, $a_1 = \frac{1}{\sigma}\log(X_{l1})$, $a_2 = \frac{1}{\sigma}\log(X_{l3})$, $b_1 = \frac{1}{\sigma}\log(X_{h1})$, $b_2 = \frac{1}{\sigma}\log(X_{h2})$, $x_1 = \frac{1}{\sigma}\log(X_0)$, $x_2 = \frac{1}{\sigma}\log(X_{h1})$, $u_1 = x_1 - a_1$, $u_1' = b_1 - x_1$, $w_1 = w_1' = b_1 - a_1$, $u_2 = b_2 - x_2$, $w_2 = b_2 - a_2$. 由文献[22] 的基本结果经变换

可得:

$$Pr\{T_{l1,h1} \le t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{l1} \mid X_0\} = \exp(u_1' - w_1') \cdot \mathcal{L}_\gamma^{-1}\left(\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\mathrm{sh}(u_1'\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\mathrm{sh}(w_1'\sqrt{2\gamma+\mu^2})}\right) \quad (X_{l1} < X_0)$$

$$Pr\{X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\} = \exp[\mu(u_2 - w_2)] \cdot \frac{\mathrm{sh}(\mu u_1)}{\mathrm{sh}(\mu w_1)}$$

$$Pr\{T_{l1,h1} + T_{l3,h2} \le t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{h1}, X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\} = \exp[\mu(w_1 - u_1 + u_2 - w_2)] \cdot \mathcal{L}_\gamma^{-1}\left(\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\mathrm{sh}(u_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\mathrm{sh}(w_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})} \cdot \frac{\mathrm{sh}(u_2\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\mathrm{sh}(w_2\sqrt{2\gamma+\mu^2})}\right) \quad (X_{l3} < X_{h1})$$

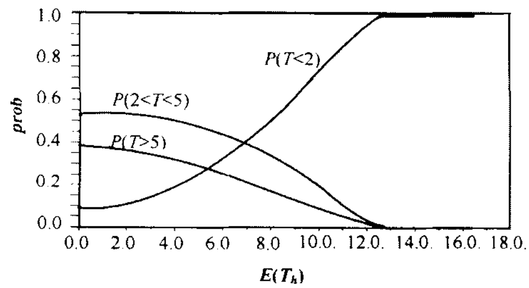
$$Pr\{T_{l1,h1} \le t_1, X_{T_{l1,h1}} = X_{h1} \mid X_0\} = \exp[\mu(w_1 - u_1)] \cdot \mathcal{L}_\gamma^{-1}\left(\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\mathrm{sh}(u_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\mathrm{sh}(w_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}\right)$$

$$Pr\{T_{h1} + T_{l3,h2} \le t_1, X_{T_{l3,h2}} = X_{l3} \mid X_0\} = \exp[\mu(w_1 - u_1 + u_2 - w_2)] \cdot \mathcal{L}_\gamma^{-1}\left(\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\exp(u_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\exp(w_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})} \cdot \frac{\mathrm{sh}(u_2\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\mathrm{sh}(w_2\sqrt{2\gamma+\mu^2})}\right) \quad (X_{l3} < X_{h1})$$

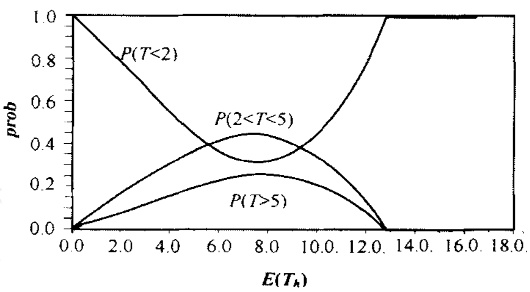
$$Pr\{T_{h1} \le t_1 \mid X_0\} = \exp[\mu(w_1 - u_1)] \cdot \mathcal{L}_\gamma^{-1}\left(\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{\exp(u_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}{\exp(w_1\sqrt{2\gamma+\mu^2})}\right)$$

其中:$\mathrm{sh}(x) \equiv \frac{1}{2}(e^x - e^{-x})$;$\mathcal{L}_\gamma^{-1}()$ 表示相对于 γ 的拉氏逆变换,可由文献[23]的方法数字求解.

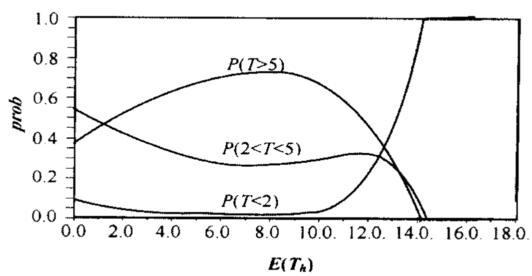
图 2 和图 3 展示了不同数据记录假设下技术创新速度对购买时机影响的两个数字例子. 可以看出,当仅预期到 1FI 且 1FI 在数据记录期间未出现时,在 t_1 之前和 t_2 之后购买的概率分别为新技术预期到达时间的单调增函数和减函数;而当 1FI 在数据记录期间出现又未预期到进一步的创新时,技术创新速度的影响存在一个显著的转折点. 但当预期到第二代未来创新时,技术创新速度的非单调影响大大减弱,在图 3 中,非单调影响完全消失. 3 种数据记录方式下技术创新速度影响的对比再一次说明了未来技术创新的预期在新技术扩散过程中所起的重要作用.



(a) 预期到一代未来创新(1FI),且在数据记录期间 1FI 尚未出现



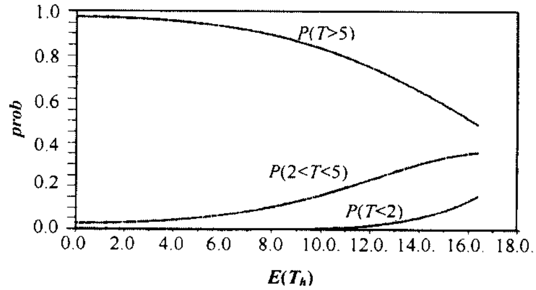
(b) 1FI 在数据记录期间出现,但未预期到 2FI



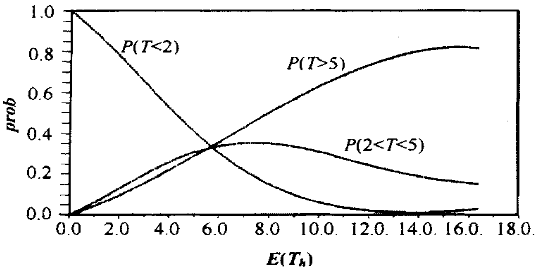
(c) 预期到两代未来创新,且 1FI 在数据记录期间出现

缺省参数值为 $\alpha = 0.01$, $\sigma = 0.03$, $r = 0.07$, $r - \delta = 0.06$, $X_0 = 1$, $p_0 = 1.0$, $\mu_1 = 1.0$, $\mu_2 = 1.0$, $v_1 = 0.2$, $v_2 = 0.5$, $C_e = 0.825$, $C_{d0}^{(1)} = 0.80$, $C_{u0}^{(1)} = 0.95$, $C_{u0}^{(2)} = 1.85$, $C_{l1} = 1.75$, $C_{d1} = 1.70$, $C_{u1} = 1.30$, $C_{l2} = 2.625$; $C_{d0}^{(2)} = 1.00$,表示在 2FI 出现后 CI 无价值;不同水平的 $E(T_h)$ 通过调整 X_{h1} 实现,且 $X_{h2} = X_{h1}^2/X_0$.

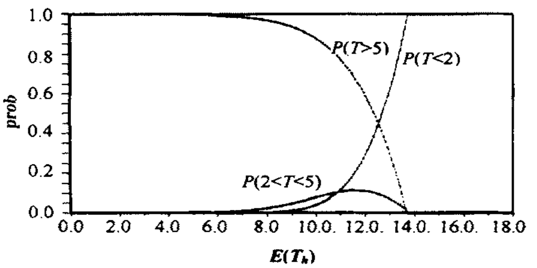
图 2　技术创新速度对新技术购买概率的影响



(a) 预期到一代未来创新(1FI),且在数据记录期间 1FI 尚未出现



(b) 1FI 在数据记录期间出现,但未预期到 2FI



(c) 预期到两代未来创新,且 1FI 在数据记录期间出现

缺省参数值为 $\alpha = 0.01$, $\sigma = 0.03$, $r = 0.07$, $r - \delta = 0.06$, $X_0 = 1$, $p_0 = 1.0$, $\mu_1 = 1.0$, $\mu_2 = 1.0$, $v_1 = 0.2$, $v_2 = 0.5$, $C_e = 0.825$, $C_{d0}^{(1)} = 0.80$, $C_{u0}^{(1)} = 1.00$, $C_{u0}^{(2)} = 2.05$, $C_{l1} = 1.75$, $C_{d1} = 1.70$, $C_{u1} = 1.225$, $C_{l2} = 2.625$; $C_{d0}^{(2)} = 1.00$,表示在 2FI 出现后 CI 无价值;不同水平的 $E(T_h)$ 通过调整 X_{h1} 实现,且 $X_{h2} = X_{h1}^2 / X_0$.

图 3 技术创新速度对新技术购买概率的影响

4 结束语

由于技术创新过程的不间断性和不确定性,每一项新技术都可以看作一条实物期权链中的一环. 因此,新技术的购买决策受到这一系列实物期权价值以及形成实物期权价值的技术环境因素的显著影响. 本文在以往研究基础上,将技术创新购买的实物期权链思想进一步扩展,考察了具有两代未来创新情况下技术环境的重要因素——技术创新速度对新技术购买时机的影响. 数字释例表明,第二代未来创新的引入将显著削弱甚至消除技术创新速度对购买时机影响的非单调程度,从而为直观分析特别是实证结果提供了更好的理论支持.

进一步的研究可在实物期权框架内从理论和实证两方面考察技术创新的采用和提供双方交互的模式,以及不完全竞争环境中作为战略增长期权的技术创新的作用和扩散模式.

参 考 文 献:

[1]Myers S C. Determinants of corporate borrowing[J]. Journal of Financial Economics. 1977, 5(2): 147—175

[2]Brennan M J, Schwartz E S. Evaluating natural resource investments[J]. Journal of Business, 1985, 58(2): 135—157

[3] Pindyck R S. Irreversibility, uncertainty, and investment[J]. Journal of Economic Literature, 1991, 29(3): 1110—1152

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

[5]Trigeogis L. Real Options in Capital Investment: Models, Strategies, and Applications[M]. Weatport, Connecticut: Praeger, 1995

[6]Trigeogis L. Real Options-Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation[M]. Cambridge: MIT Press, 1996

[7]Amram M, Kulatilaka N. Real Options: Managing Strategic Investment in An Uncertain World[M]. Boston: Harvard Business School Press, 1999

[8] Alleman J, Noam E. The New Investment Theory of Real Options and Its Implication for Telecommunications Economics[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999

[9]Balcer Y, Lippman S A. Technological expectations and adoption of improved technology[J]. Journal of Economic Theory, 1984, 34(2): 292 - 318

[10] Nair S K. Modeling strategic investment decisions under sequential technological change[J]. Management Science, 1995, 41(2): 282—297

[11]Rajagopalan S, Singh M R, Morton T E. Capacity expansion and replacement in growing markets with uncertain technological breakthrough[J]. Management Science, 1998, 44(1): 12—30

[12]Grenadier S R, Weiss A M. Investment in technological innovations: An option pricing approach[J]. Journal of Financial Economics, 1997, 44(3): 397—416

[13]Farzin Y H, Huisman KJ M, Kort P M. Optimal timing of technology adoption[J]. Journal of Economic Dynamics and Control,

1998 , 22(5) : 779 —799

[14] Huisman KJ , Kort P. Strategic Technology Investment under Uncertainty[R]. CentER , Tilburg , Netherlands : CentER Discussion Paper 9918 , Tilburg University , 1999

[15] Huisman KJ , Kort P. Strategic Technology Adoption Taking into Account Future Technological Improvements : A Real Iption Approach[R]. CentER , Tilburg , Netherlands : CentER Discussion Paper 2000 - 52 , Tilburg University , 2000

[16] 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 —43

[17] Ingersoll J E , Ross S A. Waiting to invest : Investment and uncertainty[J]. Journal of Business , 1992 , 65(1) : 1 —29

[18] Kaplan R S. Must CIM be justified by faith alone[J]. Harvard Business Review , 1986 , 64(2) : 87 —93

[19] Rosenthal S R. Progress toward the 'factory of the future'[J]. Journal of Operations Management , 1984 , 4(3) : 203 —229

[20] Weiss A M. The effects of expectations on technology adoption : Some empirical evidence[J]. Journal of Industrial Economics , 1994 , 42(4) : 341 —360

[21] He Jia , Zeng Yong. Investing in technology innovation : Empirical evidence and model fitting. Working paper , The Chinese University of Hong Kong , 2001 , presented at the 2001 Annual Peking University-University of Chicago Conference on Capital Markets , Corporate Finance , Money and Banking , 2001 , 北京大学

[22] Borodin A N , Salminen P. Handbook of Brownian motion-Facts and Formulae[M]. Basel : Birkhauser Verlag , 1996

[23] Bellman R E , Kalaba R E. Numerical Inversion of the Laplace Transform[M]. New York : American Elsevier Publishing Company , 1966

Impact of speed of innovation arrival on innovation adoption timing : Case of two generations of future innovations

HE Jia[1] , *ZENG Yong*[2]

1. School of Business Administration , The Chinese University of Hong Kong (CUHK) , Shatin , NT , Hong Kong China ;
2. Management College , University of Electronic Science and Technology of China , Chengdu 610054 , China

Abstract : This paper realizes the concept of treating the adoption of technology innovations as a sequence of real options more completely by introducing the second generation of future innovations. The solutions to the values of the real options and the triggers to adopt the current innovation , to leapfrog or upgrade to the future innovation are discussed in detail. By assuming the first as well as the current innovation emerges over the sales recording period , the relevant probability model regarding adoption timing is given analytically. Our numerical illustrations show that while there is a significant turning point in the impact of the speed of technology progress when only one generation of future innovation is expected and it emerges over the recording period , the impact becomes much less non-monotonic or even monotonic when a further generation of improvements is expected. This confirms the intuitive and our previous empirical results.

Key words : real options ; technology innovation ; adoption timing