

# 不确定性、学习与新技术序列投资决策<sup>①</sup>

邢小强<sup>1</sup>, 仝允桓<sup>2</sup>

(1. 对外经济贸易大学国际商学院, 北京 100029; 2. 清华大学技术创新研究中心, 北京 100084)

**摘要:** 以不同性质不确定性与其解决方式(学习)和效率对投资价值的影响为切入点, 研究新技术序列投资行为背后的决策机制与路径. 在现有研究基础上, 引入企业内部学习的异质性特征, 把技术不确定性的解决效率分解为学习能力、累积学习效应与边际学习效应 3 个层次进行讨论. 运用实物期权方法构建包含学习效应的新技术序列投资决策模型, 并得到最优决策规则, 通过数值方法对不同参数进行比较静态分析, 并阐述结果的经济与管理涵义.

**关键词:** 序列投资; 实物期权; 不确定性; 学习效率

**中图分类号:** F272.3 F830.59 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2010)03-0029-09

## 0 引言

新技术投资是企业获取竞争优势的战略性投资, 需要投资者理性决策. 由于新技术自身及其未来市场具有很大的不确定性, 实物期权方法在该领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>. 在现有实物期权文献中, 新技术投资概念通常指新技术的采纳, 投资发生即可获得新技术收益, 研究重点在于决定最优采纳时机<sup>[2]</sup>; 但对于新技术的研发与商业化投资来说, 在最终获得新技术收益前存在一段不确定的项目建设时间 (time to build), 期间需要多次投资直至项目完成后才能获得收益, 企业需要对整个过程中的序列决策进行优化以实现创新的最大价值.

由于存在建设时间, 新技术序列投资决策不仅要关注市场与外部技术进步的不确定性, 还要考虑项目内部的技术不确定性. 文献 [3-5] 最早研究了建设时间及特属于项目的技术不确定性对最优投资决策的影响. 在此基础上, 文献 [6] 分析了研发过程中技术不确定性的分布对投资时机的影响; 文献 [7-8] 建立技术评估模型, 包含技术

与市场不确定性及可能的突发事件; 文献 [9] 则在离散化条件下把项目建设时间内技术不确定性的解决内生性; 文献 [10] 对新产品开发过程中的学习期权进行探究; 文献 [11] 研究存在学习与“干中学”效应时的最佳研发投资决策. 国内研究中, 文献 [12] 确定了序列投资中阶段投资的最优比例, 文献 [13] 建立研发投资的多阶段决策模型, 文献 [14] 分析了分阶段投资的延期与风险效应.

纵观国内外的相关研究, 只是从一般意义上考察不同类型不确定性对投资的影响, 而没有更深入分析不确定性本身的解决机制与效率. 不确定性依赖于企业通过学习获得新的知识或信息来降低或消除, 不同企业针对同一问题花费相同的时间、精力或投资, 其通过学习解决的不确定性会有很大差异, 但现有模型都隐含假定所有企业都有相同的边际投资的学习效率. 因此, 本文将在现有研究基础上引入企业间的学习异质性特征, 运用实物期权方法构建新技术序列投资的评估与决策模型, 得到最优投资决策准则并利用数值解进行比较静态分析, 阐述结果的经济或管理涵义.

① 收稿日期: 2008-08-14; 修订日期: 2009-02-02

基金项目: 国家自然科学基金青年资助项目 (70802013); 国家自然科学基金重点资助项目 (70233001); 对外经济贸易大学校级课题资助项目 (08QD11).

作者简介: 邢小强 (1978-), 男, 山东东明人, 博士, 讲师. E-mail: xinxq\_03@sem.tsinghua.edu.cn

# 1 基本思路

新技术投资过程中会面临多种程度不同的不确定性影响投资决策, 但实际起作用的只是企业解决或了解的不确定性, 而非全部的不确定性. 企业只有通过学习获得新的知识和信息, 从而把(部分)不确定转化为确定状态后才能更新对项目价值的评估, 而那些没有解决的不确定对企业而言仍然是未知的, 不会对决策产生影响. 换句话说, 企业只会根据自己已经掌握的知识进行决策. 企业学习效率越高, 通过不确定性的解决对其评价预期收益或成本的影响越大. 没有学习发生, 企业决策的信息集就不会改变, 不确定性没有影响. 或者说, 不确定对投资决策的影响已经体现在现有决策中, 当没有获取新的信息时, 企业不会改变决策. 实物期权视角下的新技术序列投资就是企业通过学习不断评价不确定性及其影响并调整投资策略以实现项目价值最大化的过程.

具体到一个新技术项目, 企业需要多阶段的投资把新技术转化为新的产品或服务推向市场后才能获得收益. 在建设时间内, 企业会始终面临 4 种不确定性, 分别为影响新技术预期收益的市场与技术进步不确定性和影响项目预期完成成本的技术与投入成本不确定性. 其中市场与投入成本不确定性由未来新产品或投入原材料的价格等因素的波动引起, 不受企业自身控制, 具有系统风险特征. 其相关信息会随时间自然显现, 决策者可以通过“等待中学”(learning by waiting)的方式无成本地获得, 不需要额外投资, 可认为这种学习的效率在不同企业间没有差异. 而技术不确定性则与完成项目过程中的技术困难相关, 其程度和性质取决于项目特征, 不随外部环境变化而改变, 属个体风险. 技术不确定性的相关信息只有通过投资推进项目以“干中学”(learning by doing)的方式获取. 而不同企业“干中学”的效率会有很大差异, 本文把其分解为企业自身的学习能力、累积式学习效率与扩张式学习效率 3 个层次: 1) 学习能力, 代表对新知识的消化吸收能力, 是企业的学习基础. 从投资角度看, 学习能力强意味着每单位投资都会获得更多或更高质量的知识或信息. 2) 累积式学习, 类似于生产研究中的学习曲线效应, 即

通过对以往经历的学习可以提高后续学习活动的效率. 在新技术投资过程中, 前期累积的知识种类与数量越多, 对知识的掌握程度越系统和深入, 其后续学习效率越高. 3) 扩张式学习, 是指企业通过增加投资进行外延式的学习来解决更多技术不确定性, 反映了投资的边际学习效果. 从三者关系看, 扩张本身就意味着进行累积, 而累积式学习又为扩张式学习提供了知识基础, 两者作用的结果表现为企业学习能力的提升. 三者最终决定了投资过程中“干中学”的学习效率. 最后, 技术进步不确定性主要表现为替代或新一代技术出现时机和对现有技术造成贬值程度的不确定, 但其作用方向确定(贬值效应), 这与其他不确定性有很大区别.

综上分析, 新技术项目建设时间内不同类型不确定性对投资决策有两种相反的效应: 市场与投入成本不确定性使得延迟投资更有价值, 而技术不确定性则会促进投资来披露更多信息. 最终决策由投资者对两类学习解决的不确定程度引起的新技术预期收益与成本变动的权衡所决定.

# 2 模型构建

## 2.1 模型设定

本文用随机过程  $V(t)$  表示  $t$  时刻新技术的预期收益, 它主要受未来市场不确定性与技术进步不确定的影响, 两者对企业来说都是外生的. 经过标准化处理, 假定在风险中性等价鞅测度条件下,  $V(t)$  服从

$$dV(t) = (r_f - \delta_v)V(t)dt + \sigma_v V(t)dy(t) - Vdh(t) \tag{1}$$

这是个包含几何布朗运动与齐次泊松过程的混合过程, 其中  $r_f$  为无风险利率,  $\delta_v$  为拥有新技术的便利收益或等待投资的机会损失,  $dy(t)$  为标准维纳过程的增量,  $\sigma_v$  为收益的波动率, 衡量了市场不确定性的程度大小,  $dh(t)$  则代表  $t$  时刻发生技术进步对现有技术造成的贬值程度, 有

$$dh(t) = \begin{cases} 1 & \text{概率为 } \phi dt \\ 0 & \text{概率为 } 1 - \phi dt \end{cases} \tag{2}$$

$\phi$  为单位时间内技术进步的发生率. 本文假定技术进步的替代效应是完全替代, 即替代技术一旦出现, 就会使新技术的预期收益  $V(t)$  减少为

0 这种假定只是固定贬值程度, 并没有改变技术进步对现有技术价值的作用方向, 不会影响模型的主要结论. 且一般而言, 影响新技术的市场需求因素与技术替代因素往往不相关, 因此  $dh(t)$  和  $dy(t)$  相互独立,  $E(dhdy) = 0$

新技术项目的完成成本在建设时间内任意时刻可以分为两个部分: 一部分是已经发生的投资, 这是确定的沉没成本, 没有包含任何不确定性; 另一部分则是预计的剩余完成成本, 包含了该时刻之后所有未解决的技术不确定性与投入成本不确定性. 本文用  $K(t)$  表示项目完成前  $t$  时刻企业面临的剩余完成成本,  $K(t)$  的变动服从

$$dK(t) = -I(t)dt + \sigma_{\omega}K(t)d\omega(t) + \sigma_z(e^{-\lambda K(t)}\theta I(t))^{\alpha}K(t)^{\beta}dz(t) \quad (3)$$

式 (3) 中第 1 项为  $d$  时间内发生的投资,  $I(t)$  为投资率, 是决策变量, 投资者可以通过选择不同时点投资率的大小来控制项目进程.  $I(t) = 0$  时表示  $t$  时刻没有投资发生, 项目被暂时搁置或中止;  $I(t) > 0$  时表示项目在进行, 且  $I(t)$  越大, 项目预期完成时间越短.  $I(t)$  的大小会受到新技术项目本身物理特征或企业融资的限制, 本文用常数  $I_m$  来表示投资率的上限, 即  $0 \leq I(t) \leq I_m$ .

第 2 项代表投入成本不确定性的影响,  $d\omega$  为标准维纳过程增量,  $\sigma_{\omega}$  衡量了投入成本不确定性程度大小. 投入成本不确定性对企业是外生的, 处理方式与市场不确定性相同.

第 3 项代表技术不确定性的影响,  $dz$  为标准维纳过程增量. 首先可以看出,  $I(t) = 0$  时, 该项全部为零, 表示没有投资就不会有学习发生, 也不会有技术不确定性得到解决. 其次,  $K(t) = 0$  时, 该项也为零, 表示项目结束后不会再有学习发生, 技术不确定性全部得到解决. 第三, 从结构上看, 第 3 项可以分为两个部分, 其中  $\sigma_z K(t)^{\beta}$  衡量了技术不确定性的程度与分布,  $\beta$  越大, 技术不确定性越集中于项目前端.  $(e^{-\lambda K(t)}\theta I(t))^{\alpha}$  则为学习效率函数, 体现出建设时间内企业学习的微观机制与效率, 包含了前面分析的学习能力和两种学习效应.  $\theta$  为固定的学习能力参数, 表示企业固有的学习能力, 能力越强,  $\theta$  越大.  $e^{-\lambda K(t)}$  则衡量了投资过程中的累计学习效应,  $K(t)$  越小表明项目越接近完成阶段, 技术不确定性大部分得到解决且累积了大量的知识, 学习效率很高; 而当  $K(t)$  越大

则说明项目完成还需要很高的成本, 仍然有很多技术难题需要解决, 此时累积式学习的效率相对较低.  $I(t)^{\alpha}$  代表投资的扩张学习效应, 其边际学习效果一般随投资增加而递减, 有  $0 < \alpha < 1$

学习效率函数的表达式清楚显示出不同要素影响学习效率的内在机制, 学习能力  $\theta$  代表初始学习基础, 投资发生后, 累积式学习效应会提高企业的学习能力  $e^{-\lambda K}\theta$  这种提高的学习能力会表现为更有效的投资  $e^{-\lambda K}\theta I$ , 而投资的最终学习效果则取决于扩张式学习效应的大小  $\alpha$ . 最后,  $\sigma_z(e^{-\lambda K(t)}\theta I(t))^{\alpha}K(t)^{\beta}$  衡量了在  $t$  时刻企业通过学习解决或消除的技术不确定性, 并进一步决定了此时学习期权的价值.

最后, 为简化求解过程, 结合文献 [5-8], 令  $\alpha = \beta = 1/2$ , 则预期剩余完成成本  $K(t)$  变动的最终形式为

$$dK(t) = -I(t)dt + \sigma_{\omega}K(t)d\omega(t) + \sigma_z(e^{-\lambda K(t)}\theta I(t))^{1/2}K(t)^{1/2}dz(t) \quad (4)$$

此外, 本文允许投入成本的波动与预期收益变化之间存在联系, 即有

$$dyd\omega = \rho_{\omega B}dt \quad (5)$$

如果  $\rho_{\omega B}$  为负值, 则可能意味着如果决策者无法控制建设时间内的投入成本, 很可能会降低项目完成后的预期收益.

## 2.2 贝尔曼方程与最优投资规则

以  $F$  表示  $t$  时刻的新技术项目价值, 它由新技术的预期收益  $V(t)$  和预期剩余成本  $K(t)$  所决定, 记为  $F(V(t), K(t))$ , 大小依赖于投资率  $I(t)$  的选择. 下面借助实物期权建模的动态规划方法, 利用贝尔曼方程推导出满足新技术价值最大化的偏微分方程及约束条件, 并导出最优投资规则. 为简化起见, 省略各变量的时间标示  $t$

在项目完成前的任意时刻  $t$  新技术项目的价值等于在时间区间  $(t, t + dt)$  内的净现金流量与  $t + dt$  后的持续净收益之和. 在此过程中, 企业通过选择最优投资率  $I$  来最大化项目价值, 满足的贝尔曼方程为

$$F(V, K) = \max_{I \in [0, I_m]} \{ -I dt + E[F(V + dV, K + dK)e^{-r dt}] \} \quad (6)$$

其中  $dV$  与  $dK$  满足式 (3) 和式 (4), 化简可得

$$r_t F(V, K) dt = \max_{I \in [0, I_m]} \{- I dt + E[dF(V, K)]\} \quad (7)$$

利用 Ito引理展开  $dF(V, K)$ , 有

$$dF(V, K) = \frac{\partial F}{\partial V} dV + \frac{\partial F}{\partial K} dK + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} (dV)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial K^2} (dK)^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V \partial K} dV dK \quad (8)$$

将表达式 (1)、(4) 和 (8) 带入贝尔曼优化方程 (7) 得到

$$r_t F(V, K) dt = \left\{ \begin{aligned} & - I dt + (r_t - \delta) VF_V dt - \phi F dt - \\ & IF_K dt + \frac{1}{2} \sigma_\omega^2 K^2 F_{KK} dt + \\ & \max_{I \in [0, I_m]} \left[ \frac{1}{2} \sigma_z^2 \theta e^{-\lambda K} KF_{KK} dt + \frac{1}{2} \sigma_V^2 V^2 F_{VV} dt + \right. \\ & \left. \frac{1}{2} \sigma_\omega^2 K^2 F_{KK} dt + \rho_{\omega V} \sigma_V \sigma_\omega KF_{VK} dt \right] \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

此时需要选择  $I$  使方程 (9) 最大化, 但可以发现, 方程右边是关于  $I$  的线性函数, 对其求导即可得到最优投资率  $I$  因为不存在与改变投资率相联系的调整成本或其他成本, 因此新技术序列投资的最优决策问题就有一种 Bang-Bang 解, 即最大化  $F(V, K)$  的投资率  $I$  或者是 0 或者是最大值  $I_m$ , 取决于  $I$  的系数是正还是负. 对式 (9) 进行整理并消去  $dt$  即可得到本文最后要求的偏微分方程

$$\max_I \left[ \begin{aligned} & \frac{1}{2} \sigma_V^2 V^2 F_{VV} + \frac{1}{2} \sigma_z^2 \theta e^{-\lambda K} KF_{KK} + \\ & \frac{1}{2} \sigma_\omega^2 K^2 F_{KK} + \rho_{\omega V} \sigma_V \sigma_\omega KF_{VK} dt + \\ & (r_t - \delta) VF_V - IF_K - (r_t + \phi) F - I = \theta \end{aligned} \right] \quad (10)$$

而企业的最优投资率满足

$$I = \begin{cases} I_m, & \frac{1}{2} \sigma_z^2 \theta e^{-\lambda K} KF_{KK} - F_K - 1 \geq 0 \\ 0, & \frac{1}{2} \sigma_z^2 \theta e^{-\lambda K} KF_{KK} - F_K - 1 < 0 \end{cases} \quad (11)$$

由式 (11) 可知, 偏微分方程沿曲线  $V^*(K)$  有条自由边界, 即当  $V \geq V^*(K)$  时,  $I = I_m$ ; 而当  $V < V^*(K)$  时,  $I = 0$  这表明, 如果决策者在预期剩余成本为  $K$  时对新技术未来收益的评估低于  $V^*(K)$ , 就会停止投资等待新的外部市场信息; 相反, 如果预期收益高于  $V^*(K)$ , 企业就会以最

大投资率投资, 推进项目的同时也获得更多内部信息.

偏微分方程 (10) 的解也必须满足下列边界条件

$$F(V, 0) = V \quad (12)$$

$$F(0, K) = 0 \quad (13)$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} F(V, K) = 0 \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} \sigma_z^2 \theta e^{-\lambda K} KF_{KK} - F_K - 1 = 0 \quad (15)$$

同时还得满足  $F(V, K)$  和  $F_V(V, K)$  在  $V = V^*$  时连续的价值匹配条件和平滑粘贴条件. 条件 (12) 说明, 当预期剩余成本  $K = 0$  时, 新技术项目结束, 企业从新技术中得到收益  $V$ ; 条件 (13) 表明, 如果新技术的预期收益为 0 则该技术没有经济价值, 对这项技术的投资价值也为 0 条件 (14) 是说, 当  $K$  非常大时, 在某一有限时间区间内的投资价值  $F(V, K)$  下降到使得继续投资该项目的概率很小. 从直观上讲, 如果一项新技术的开发成本非常大, 则证明该技术要么存在巨大的技术难题, 或者其投入成本会非常高, 使得在当时几乎没有可能去应用该技术, 这表明该技术在“当时”对其拥有者来说价值非常小; 条件式 (15) 由式 (10) 得来, 且等价于  $F_V(V, K)$  在点  $V^*(K)$  连续的平滑粘贴条件.

### 3 数值释例

首先给出模型参数初始值作为基础例子来求出包含期权价值在内的新技术投资价值与投资决策门槛, 然后进一步分析主要参数变动对投资价值与决策规则的影响.

参数初始值设置如下: 预期剩余成本  $K$  与预期收益变动  $V$  的变动范围均为 0 至 42 技术不确定性  $\sigma_z = 0.5$  市场不确定性  $\sigma_V = 0.35$  投入成本不确定性  $\sigma_\omega = 0.05$  期权持有成本  $\delta = 0.12$  学习能力初始值  $\theta = 1$ ; 技术进步速度  $\phi = 0.12$  累积学习效率  $\lambda = 0.01$ ; 无风险利率  $r_t = 0.06$  最大投资  $I_m = 2$  成本与收益的波动相关系数  $\rho_{\omega V} = -0.1$

#### 3.1 新技术价值与投资门槛

如图 1 所示, 新技术投资价值  $F(V, K)$  随着新技术收益  $V$  的增加而增加, 随着预期剩余成本

$K$  的增加而减少。当  $K = 0$  时, 项目结束, 新技术项目价值等于此时可获得收益  $V$ , 这符合条件 (12), 在图中的  $(K = 0, V, F)$  平面上,  $F$  与  $V$  为斜率为  $-1$  的直线; 而当  $V = 0$  时, 新技术没有任何投资价值, 这符合条件 (13), 在  $(V = 0, K, F)$  平面上,  $F$  与  $K$  为与坐标轴重合的直线。

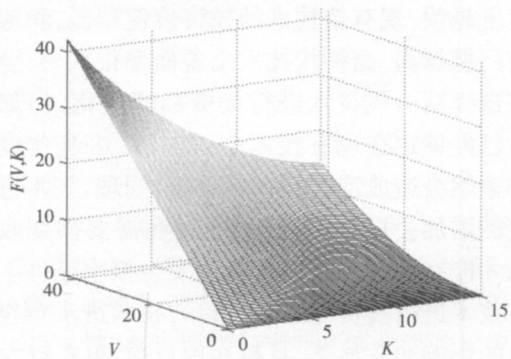


图 1 新技术价值与预期收益、剩余完成成本关系图

Fig. 1 Relationship between the value of new technology, expected revenue and expected cost to completion

在模型构建中, 企业在建设时间内的投资决策取决于投资门槛值  $V^*(K)$ , 即企业在对预期剩余完成成本评估的基础上, 根据预期收益是否会超过  $V^*(K)$  来决定是继续投资推进项目还是延迟甚至放弃项目。根据模型中出现的主要不确定类型得到 4 条投资门槛曲线, 如图 2 所示, 其中 Base 代表  $\sigma_v$  与  $\sigma_z$  都不为 0 的一般情况, 其余 3 条曲线则分别表示只存在一种不确定性 (技术或市场) 及两者都不存在的 NPV 情形。当预期剩余成本增加时, 企业继续推进项目的未来收益门槛值也随之增加。可以看出, 包含不确定性的投资门槛总是高于由  $NPV = 0$  的确定情形, 因为期权的存在使得企业需要更多的回报才愿意放弃持有期权而选择执行期权。图 2 也反映出不同类型不确定性对投资门槛影响的差异: 当只存在市场不确定性时, 投资门槛值最高, 此时影响企业投资价值的主要是新技术未来收益的波动, 激励企业延迟投资通过“等待中学”获取更有价值的信息; 只存在技术不确定性时, 则会激励投资通过“干中学”来对新技术特性与预期完成成本有更准确的把握, 从而降低了投资的门槛值。当两者都不为 0 时, 技术不确定性对市场不确定性对投资的延迟有抵消作用, 投资门槛位于两者都为 0 的极端情形之间。

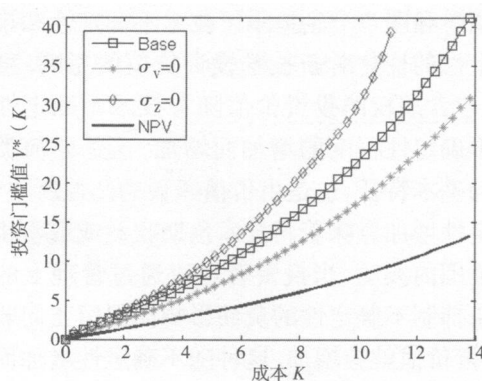


图 2 新技术投资决策的自由边界

Fig. 2 Free boundary of new technology investment decision

### 3.2 比较静态分析

下面通过研究模型主要参数变化对新技术投资价值与投资门槛的影响来分析新技术序列投资决策背后的经济与管理意义。

#### 3.2.1 不确定因素影响分析

技术不确定性与市场不确定性是实物期权不同于金融期权的关键特征, 首先有必要分析两者的变动对投资价值与决策规则的影响。

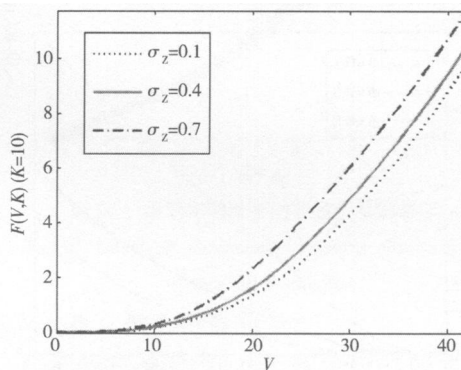


图 3 技术不确定性对投资价值的影响

Fig. 3 Effects of technical uncertainty on investment value

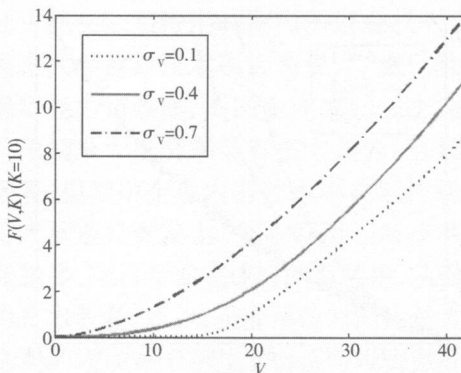


图 4 市场不确定性对投资价值的影响

Fig. 3 Effects of technical uncertainty on investment value

图 3和图 4分别显示了技术不确定性和市场不确定性的变化对新技术投资价值的影响. 可以看出, 包含期权的投资价值随着技术不确定性和市场不确定性程度的增加而增加, 这是任何类型期权的基本特征, 也是由价值函数的凸性所决定. 不确定性增加意味着新技术预期收益或成本将在更大范围内波动, 当投资者可以通过管理上的灵活性来抑制不确定性的负面影响而保留正向收益时, 投资价值就会增加. 这种随不确定性增加而增加的投资价值完全来自于期权价值, 充分反映出在新技术投资中与期权相关的成本与收益的不对称性, 体现了实物期权方法与传统折现现金流方法在评估新技术项目时的核心差异. 且从两图的对比中可以看出, 市场不确定性对其影响效果更加显著. 这是因为, 市场不确定性独立于企业的内部环境, 始终外在的影响着创新的潜在收益, 而技术不确定性则随着项目的进展不断被解决, 当项目完成后全部消失, 而此时市场不确定性仍然会在新技术未来的生命周期中继续起作用. 两者对投资门槛的影响已经在图 2中分析.

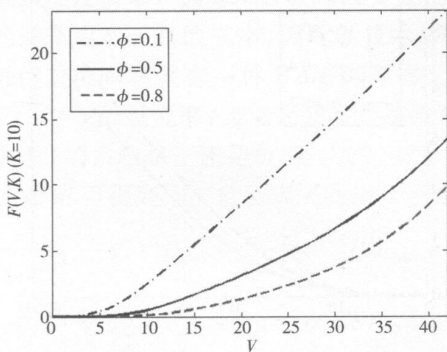


图 5 技术进步不确定性对投资价值的影响

Fig. 5 Effects of technological uncertainty on investment value

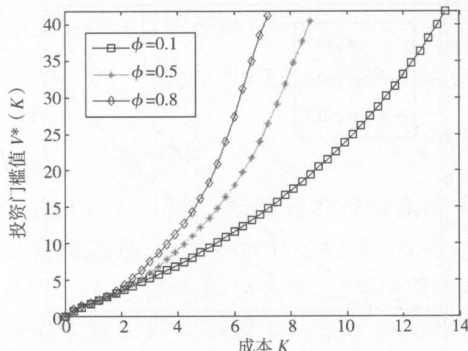


图 6 技术进步不确定性对投资门槛的影响

Fig. 6 Effects of technological uncertainty on investment threshold

与技术 and 市场不确定性不同, 技术进步不确定性主要表现在替代技术出现的时机不确定, 其对现有技术的影响方向则是确定的. 因此, 技术进步不确定性对现有技术投资价值与规则的影响机制是通过纯粹的贬值效应在起作用, 而不包含等待和学习的期权价值. 如图 5与图 6所示, 技术进步速度越快, 现有新技术的投资价值越低, 相应的投资门槛越高. 当替代技术出现概率很大时, 企业应该选择新一代技术进行投资和商业化. 但如果企业已经锁定在现有技术, 则技术进步速度的增加显然会造成现有技术的贬值. 同理, 技术进步速度的增加会提高投资门槛, 企业需要预期收益提高才能在面临较高技术贬值发生概率条件下对现有技术进行投资. 如图 6所示, 技术进步对投资门槛的影响非常显著, 且越在项目前端 ( $K$  越大), 不同替代概率导致的投资门槛差异越大. 表明在项目前期企业就面临巨大的被替代的可能性时, 其对新技术未来预期收益的要求会非常高, 当这种要求不能满足时, 企业应该选择放弃或暂时中止项目, 等待新的信息足以支持其决定是继续还是直接采纳新一代技术.

综合以上分析可知, 在新技术投资过程中, 各种类型的不确定因素以不同的方式与路径影响着新技术的投资价值与决策, 其背后的影响机制各不相同, 反映出不确定性及其解决方式的结构性特征.

### 3.2.2 学习因素影响分析

任何企业在特定新技术投资前都具有一定程度的学习能力, 是企业在以往不同技术领域和路径上逐渐积累起来的核心能力的重要组成部分. 学习能力越强, 企业就越容易在创新中抓住关键技术问题, 并在有效路径上进行探索, 节省成本并提高创新效率. 在理论模型构建中, 企业学习能力越强, 则对技术不确定性的探索范围越广, 解决的技术不确定性程度越大. 图 7与图 8分别显示了学习能力参数变动对投资价值与门槛的影响. 可以看出, 企业学术能力越强, 则新技术项目价值越高, 而企业推进创新投资的门槛越低, 这充分反映出企业异质性对新技术投资的影响. 相同的技术项目对于不同企业具有不同的价值, 而这种价值上的差异由于市场失灵或交易成本等因素往往不能通过市场机制进行调节, 所以新技术投资机会

对企业的价值应被视为合理的经济评估 (valuation) 而不是严格意义上的期权定价 (pricing).

部不确定性的主要方式与机制, 对增加投资价值和推进创新总有正向的提升与激励作用.

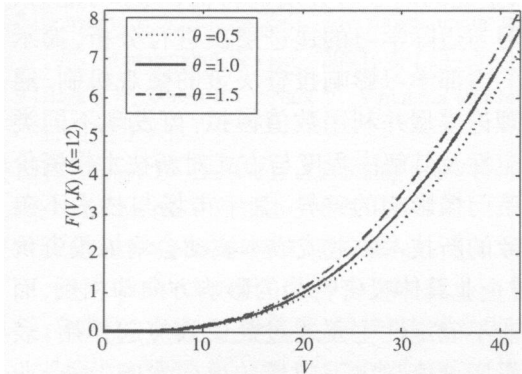


图 7 学习能力对投资价值的影响

Fig. 7 Effects of learning capability on investment value

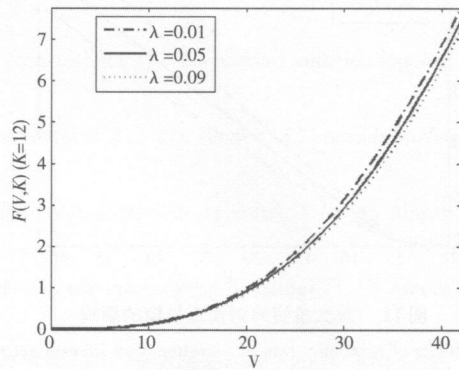


图 9 累积学习效率对投资价值的影响

Fig. 9 Effects of accumulated learning efficiency on investment value

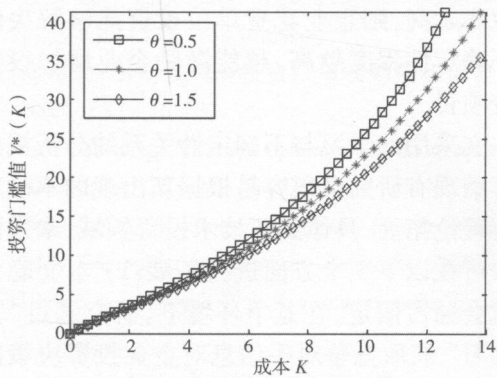


图 8 学习能力对投资门槛的影响

Fig. 8 Effects of learning capability on investment threshold

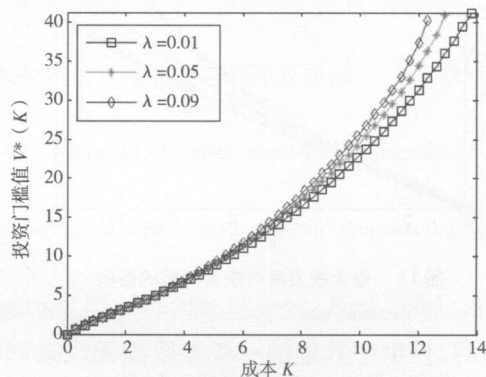


图 10 累积学习效率对投资门槛的影响

Fig. 10 Effects of accumulated learning efficiency on investment threshold

累积学习效应体现的是企业在创新过程中通过不断创新实践进行知识积累从而提高后续阶段的学习效率, 和企业前面学习积累的知识数量与质量有关. 由于创新中知识的缄默性与复杂性以及不同类型知识之间联结的系统性, 累积学习效率会随知识存量增加而不断提高. 模型构建中用  $\lambda$  代表累积学习效率参数, 通过  $e^{-\lambda K}$  起作用, 所以  $\lambda$  值越小, 累计学习效应越强. 图 9 与图 10 分别显示了累积学习效率变动对投资价值与投资门槛的影响. 可以看出, 累计学习效率越高, 投资越有价值且企业更有激励创新.

### 3 2 3 最大投资率影响分析

在模型构建中, 企业特定阶段的最大投资率  $I_m$  在整个创新过程内被设定为固定值, 反映出企业在该阶段的资金约束. 虽然新技术本身的物理特征可能会限制特定时期内的资金投入量, 但对现实中大多数新技术项目来说,  $I_m$  更反映出企业的融资能力与效率, 不同企业或同一企业不同投资阶段的最大投资率会有很大差异. 且从学习方式来看, 模型中企业内部技术不确定性解决的表现形式就是投资发生. 企业可用于新技术项目的资金越多, 项目预期完成时间就越短, 从而能尽早获得技术收益. 所以, 企业单位时间内最大可投入资金量的增加对于新技术价值与投资激励的影响都是正向的, 如图 11 与图 12 所示,  $I_m$  增加将提高项目价值并降低投资门槛.

本文为了得到明确的最优投资规则和便于求解, 固定边际学习效率参数  $\alpha = 1/2$  但从预期剩余成本波动的表达式以及文献 [15] 的分析都可以得出, 边际学习效应越高, 单位投资解决的技术不确定性越大. 总之, “干中学” 作为解决企业内



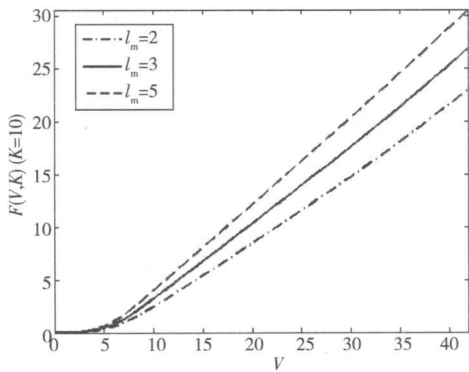


图 11 最大投资率对投资价值的影响

Fig. 11 Effects of maximum rate of investment on investment value

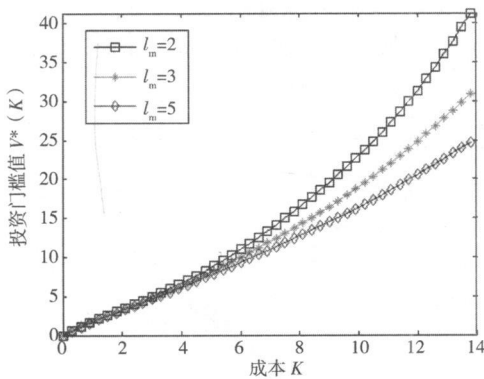


图 12 最大投资率对投资门槛的影响

Fig. 12 Effects of maximum rate of investment on investment threshold

最后,模型中其他的一些参数如无风险利率  $r_f$  与红利率  $\delta_v$  等参数对投资价值与决策的影响不再专门讨论,可参看文献 [16], 本文的模型不会改变其基本结论.

## 4 结束语

本文以解决新技术投资项目内外部环境内不

同类型不确定性的学习方式与效率为切入点,研究决定新技术序列投资行为背后的决策机制与路径.特别在分析技术不确定性对投资决策的影响时,引入企业间的学习异质性特征,从学习能力、累积学习与边际学习的递进层次进行分析,揭示出企业的内部学习影响投资决策的微观机制.通过建立理论模型并利用数值模拟,可发现不同类型不确定性及其解决程度与方式对新技术投资价值与决策门槛影响的差异.其中市场与技术不确定性导致的新技术收益或成本波动会增加投资价值,但对企业具体投资行为的影响方向却相反,而技术进步不确定性主要通过贬值效应起作用,表现为对投资价值与决策门槛的单向影响.而企业面临不确定性时的学习异质性特征对投资决策的影响表现为学习能力越强,累积学习效率与边际学习效率越高,则企业花费单位投资能够解决的技术不确定性程度越高,越能激励企业增加投资来推进项目.

本文采用的学习与不确定性关系的分析视角既可容纳现有研究又很容易根据新出现的不确定性进行理论拓展.具体到新技术投资领域,未来研究至少可在以下 3 个方面进行拓展: 1) 本文隐含投资机会独占假定,在竞争环境下,研究通过“互动中学习”获取竞争对手信息对企业投资决策的影响是对本研究的自然拓展; 2) 由于现实中新技术产品或服务的未来市场波动很难预测,并不一定符合本模型预先设定的随机过程,通过有成本的“探索性学习”来获取未来市场信息以优化决策是对本模型的深化; 3) 本文只考虑了技术进步的贬值效应,而配套与互补技术带来的技术溢出效应对投资的影响值得进一步分析.

## 参考文献:

[1] 夏 晖, 曾 勇, 唐小我. 技术创新战略投资的实物期权方法综述 [J]. 管理科学学报, 2004, 7(1): 88-96  
 Xia Hui, Zeng Yong, Tang Xiaowei. Survey of real option approach to analyze strategic investments of technology innovations [J]. Journal of Management Sciences in China, 2004, 7(1): 88-96 (in Chinese)

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

[3] Robert K. Weitzman M. Funding criteria for research development and expansion projects [J]. Econometrica, 1981, 49(5): 1261-1288

[4] Majid R. S. Pindyck R. S. Time to build, option value, and investment decisions [J]. Journal of Financial Economics, 1987, 18: 7-27.



- [ 5] Pindyck R S. Investment of uncertain cost[ J]. Journal of Financial Economics, 1993, (34): 53- 76
- [ 6] Kort P M. Optimal R&D investments of the firm[ J]. OR Spectrum, 1998, (20): 155- 164
- [ 7] Schwartz E S. Patent and R&D as real options[ J]. Review of Banking Finance and Monetary Economics, 2004, 33(1): 23- 54
- [ 8] Schwartz E S, Carlos Z-G. Investment under uncertainty in information technology Acquisition and development projects [ J]. Management Science, 2003, 49(1): 57- 70
- [ 9] Berk J B, Green R C, Nakh V. Valuation and return dynamics of new ventures[ J]. The Review of Financial Studies, 2004, 17(1): 1- 35
- [ 10] Sadowsky E. The Value of Learning in the Product Development Stage: A Real Options Approach[ C]. 9th Annual International Conference, Paris, 2005.
- [ 11] Koussis M,artzoukos S H, Trigeorgis L. Real R&D options with time to learn and learning-by-doing[ J]. Annals of Operations Research, 2008, (151): 29- 55.
- [ 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] 李启才, 杨明, 肖恒辉. 研究与开发投资的多阶段实物期权分析[ J]. 经济数学, 2004, (2): 130- 135.  
Li Qi-cai, Yang Ming, Xiao Heng-hui. Multistage investment analysis on R&D [ J]. Mathematics in Economics, 2004, (2): 130- 135. (in Chinese)
- [ 14] 刘晓宏. 分阶段风险投资决策实物期权价值分析——分阶段投资的延期效应与风险效应[ J]. 中国管理科学, 2005, (3): 26- 31.  
Liu Xiaohong. The real option value of the multi-period venture investment[ J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, (3): 26- 31. (in Chinese)
- [ 15] Sadowsky E. Valuing pilot projects in a learning by investing framework: An approximate dynamic programming approach [ J]. Computers & Operations Research, 2008, (35): 90- 112
- [ 16] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under Uncertainty[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1994.

## Uncertainty, learning and new technology sequential investment decision

XING Xiao-qiang<sup>1</sup>, TONG Yun-huan<sup>2</sup>

1. School of International Business, University of International Business and Economics, Beijing 100029, China

2. Research Center for Technological Innovation, Tsinghua University, Beijing 100084, China

**Abstract** This paper analyzes the implicit mechanism supporting the new technology sequential investment decision from the perspective of the ways and efficiency of the resolution of different types of uncertainty embedded in the project. After comparing the relevant models, the paper introduces the learning heterogeneity in the resolving efficiency of the technical uncertainty, which is determined by learning capability, accumulated learning effect and marginal learning effect. Finally, this paper adopts the real options approach and builds a new technology sequential investment decision model in which the optimal investment rule is derived. According to the numerical solutions and comparative static analysis, the economic implications of the results are analyzed.

**Key words** sequential investment; real option; uncertainty; learning efficiency