

文章编号:1000-6788(2005)09-0008-07

# 企业技术采纳时间的优化模型与模拟

代宏坤,徐玖平

(四川大学工商管理学院,四川成都610064)

**摘要:** 运用动态规划的方法建立企业技术采纳时间的优化模型来研究技术的不确定性对企业技术采纳时间的影响,模型涉及的技术不确定性可用技术演化过程中新技术出现的速度和技术效率改进程度的不确定来表示;模型分析的结果表明了企业最优技术采纳时间(技术效率)与折现率、技术出现速度、技术提升程度、企业目前的技术效率和企业的产出弹性系数之间的关系;从技术不确定性的层面很好的解释了企业滞后采纳技术的行为;模型模拟验证了模型的有效性。

**关键词:** 创新采纳;技术不确定性;最优时间

**中图分类号:** F113.2

**文献标识码:** A

## Optimal Model of Enterprise Technology Adoption and Its Simulating

DAI Hong-kun, XU Jiu-ping

(School of Business and Administration, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** This paper constructs an optimal model of enterprise technology adoption to study the impact of technology uncertainty on enterprise technology adoption time using a dynamic programming method. The uncertainty of technology involved in model is mainly expressed by the uncertainty of the arrival of new technology and the improvement level of technology efficient. The results of model analyzing show the relations between adoption time (or technology efficient) and discount rate, arrival speed of technology, improvement level of technology, beginning technology efficient and output elasticity. The results interpret enterprise-adopting behavior well from uncertainty of technology aspects. Model simulation tests the validity of the model.

**Key words:** innovation adoption; technology uncertainty; optimal model

### 1 引言

在人类发明的许多技术中,只有一小部分被采纳后商业化,而且技术采纳的时间往往滞后于其发明时间.企业在面对是否采纳技术和何时采纳技术这一问题时,为何显得如此小心?国外针对这一问题的研究已取得了一些成果<sup>[1-11]</sup>,国内以定性分析为主也取得了不少研究结论<sup>[12-15]</sup>.这些研究表明,企业采纳技术时的谨慎行为可以由企业面对的各种不确定性来解释,这些不确定性包括技术获利能力的不确定和技术的外部效应引起的不确定<sup>[16-19]</sup>,对此问题最重要的解释是技术本身的不确定性.技术的不确定性包括新技术出现速度的不确定和新技术效率提高程度的不确定等等因素.因此,对于技术不确定因素是如何影响技术采纳时间的研究,是解释企业技术采纳行为的一个关键问题.

目前技术不确定的研究是把技术的不确定性作为一个单一的随机变量来建立模型.例如:Balce和Lippman假设技术演化的过程是多次连续的技术创新,并且每次技术创新时间是随机的<sup>[20]</sup>;Farzin假设在技术演化过程中隐藏着不确定获利能力的随机技术序列<sup>[21]</sup>;Doraszelski在Farzin的基础上研究了多次技术采纳<sup>[22-23]</sup>.这些研究表明当一项技术的效率超过了一个特定的阈值,企业就会采纳这一技术,否则,企业

收稿日期:2004-09-07

资助项目:国家自然科学基金(70171021);教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目

作者简介:代宏坤(1973-),男,讲师,博士生,研究方向:现代企业管理技术;徐玖平(1962-),男,教授,博士,博士生导师,研究方向:决策理论与方法、现代企业管理技术.

就会跳过这项技术,这不能解释在技术发明与技术采纳之间存在的滞后期这一现象.因此,现有的研究没有很好的描述出技术演化过程中影响技术不确定性的因素,以及企业技术采纳时间(技术效率)与技术不确定性因素之间的关系.

本文重点研究技术演化过程中新技术出现速度和效率改进程度这两个不确定因素对于技术采纳时间的影响.先按照实物期权思想和动态规划的方法构建了一个优化模型,进而通过模型分析讨论技术不确定因素与技术采纳时间之间的关系,最后,对模型进行模拟以检验模型的有效性.

## 2 模型构建

采用实物期权的思想,按照使企业获得最大利益的思路,综合考虑技术演化动态过程中不同的技术状态及不同时点下采纳技术的利润值,描绘出技术采纳时间的概念模型,进而归纳出数学模型.

### 2.1 建模思路

企业在进行技术采纳决策时,面临着两类风险:一类是不及时采纳新技术而遭受到效率的损失;另一类是过早的采纳,导致不能采纳更高效的技术而带来的机会成本.这种不确定性,使得企业在采纳技术时具有实物期权.由于实物期权的存在,企业就面临一个最优技术采纳时间的决策问题.所谓最优,是指企业在这时点上采纳某一效率的技术可以得到最大化的利润,其利润与新技术的技术效率相关.在具体的决策过程中,当目前新技术的技术效率低于一定的阈值时,企业的最优决策是以目前的技术来生产,而等待最优技术效率的出现,从而存在了技术采纳的时滞;当新技术的技术效率高于这一阈值时,企业的最优决策是停止使用目前的技术,采纳新技术.因此,关键是要确定这一技术效率的阈值.在此阈值处,企业采纳新技术的预期利润等于现有技术的生产利润与等待利润之和.

技术效率阈值受技术不确定性的影响, Farzin 假设在技术演化过程中隐藏着一个不确定获利能力的随机技术序列<sup>[21]</sup>,但是他没有对这些随机的技术序列进行深入的研究.本文沿着 Farzin 的思路,用新技术出现速度和技术效率提升程度的随机性来描述一项随机技术,并假设技术出现速度服从泊松分布,技术效率提升程度服从均匀分布,从而构建了优化模型.

### 2.2 概念模型

根据上述建模思路,给出企业采纳技术的预期利润概念模型,见图 1.

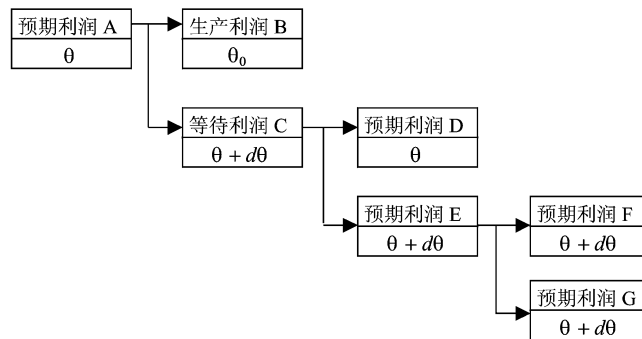


图 1 企业采纳技术预期利润概念模型

图中每个方框上半部分的标识,表明不同的状态;方框下半部分里面的标识,表明不同状态对应的技术效率.

A:表示在时刻  $t$ ,采纳当前的技术效率为  $\theta$  的技术时的预期利润.

B:表示在时刻  $t$ ,不采纳当前的技术效率为  $\theta_0$  的技术,而以已有的技术效率  $\theta_0$  进行生产时的预期利润.

C:表示不采纳当前技术效率为  $\theta$  的技术,而是等待技术效率进一步改进到  $\theta + d$  的等待利润.

企业采纳技术的决策方程是  $A = B + C$ .

在等待中,根据技术效率是否提高,可分为两种情况:

D:表示在等待中,技术效率不提高时的预期利润,此时的技术效率仍为  $\theta$ 。

E:表示在等待中,技术效率提高时的预期利润,此时的技术效率为  $\theta + d$ 。

所以,等待的期望利润为  $C = D + E$ 。

更进一步地,虽然技术效率提升了,但企业要视技术效率改进程度是否满意来决定何时采纳技术,这又可以分为两种情况。

F:表示技术效率改进的程度不够理想,企业不采纳此技术时的预期利润。

G:表示技术效率改进的程度满意,企业决定采纳此技术的预期利润。

所以,技术效率提升时的期望利润  $E = F + G$ 。

综上所述,企业采纳技术的决策方程表达为  $A = B + D + F + G$ 。

### 2.3 数学模型

对公司生产、利率和技术投资的情况,沿用 Farzin 研究的基本假设如下<sup>[21]</sup>:

假设 1:企业在生产中投入的固定单位成本是  $w$ ,产品的价格是  $p$ ,并且企业在采纳一项新技术后保持了已有的竞争性,其产出的价格  $p$  不发生变化。

假设 2:银行的贷款利率为  $r$ ,企业采纳一项新技术投入的固定成本为  $I$ 。

为了构建企业技术采纳时间的优化模型,进一步做如下假设:

假设 3:企业只进行一次技术采纳,随后一直以此技术进行生产。

假设 4:技术演化过程中只存在新技术出现速度和新技术技术效率改进程度两种不确定性因素。

假设 5:考虑在  $(t, t + \Delta t)$  内,技术出现的速度服从泊松分布,技术效率提升的程度  $u$  在  $(0, \bar{u})$  上服从均匀分布。

在技术采纳的研究中, Farzin 得到了一个基本利润流模型,这个模型分析了企业采纳技术  $\theta$ , 随后一直以此技术生产得到的利润流<sup>[21]</sup>。利润流模型并不能作为企业技术采纳的决策方程,而要考虑企业在动态决策过程中的总期望利润,这个期望利润既要考虑不采纳该技术,而以现有技术生产得到的生产利润,又要考虑不采纳这一新技术所造成的损失,后者称为等待利润。记企业目前的技术效率为  $\theta_0$ ,  $t$  时刻新技术的效率为  $\theta$ , 企业要决定是否在  $t$  时刻采纳这一新技术。随后,随着技术的进一步演化,在  $(t, t + \Delta t)$  时间内对应的技术效率提升到  $(\theta, \theta + \bar{u})$  内。因此,企业的最优决策,就是要在  $(\theta, \theta + \bar{u})$  内寻找一个最优的技术效率阈值  $\theta^*$ 。

由概念模型,企业采纳技术的决策方程为  $A = B + C$ 。设  $F(\theta)$  为企业使用技术效率  $\theta_0$  进行生产,当前的可得技术效率为  $\theta$  时的期望利润现值,这就是概念模型中的状态 A。

记企业的生产利润为  $f(\theta)$ , 技术效率为  $\theta_0$  时的生产利润为  $f(\theta_0)$ 。如果企业不采纳当前的技术  $\theta_0$ , 从  $t$  到  $t + \Delta t$  的生产利润为  $f(\theta_0) \Delta t$ , 即概念模型中的 B。

如果企业等待一定时间后再采纳技术,技术效率演化到  $\theta + \bar{u}$ , 等待的期望利润是  $E[F(\theta + \bar{u})]$ , 并要以因子  $\frac{1}{(1+r)\Delta t}$  进行折现,这是概念模型中的等待利润 C。所以,技术采纳时间的模型为:

$$F(\theta) = f(\theta_0) \Delta t + \frac{1}{(1+r)\Delta t} E[F(\theta + \bar{u})] \quad (1)$$

根据 Farzin 对生产函数的假设,一个企业的生产函数为<sup>[21]</sup>:

$$h(v, \theta) = v^a \theta^{1-a}, 0 < a < 1, \quad (2)$$

其中:  $v$  是投入变量;  $a$  ( $0 < a < 1$ ) 是固定产出弹性;  $\theta$  是技术效率参数, 值由技术演化的过程决定。

由假设 1, 企业以技术效率  $\theta$  生产的收入是  $p v^a$ , 生产成本是  $wv$ , 所以, 在某个时点采纳技术  $\theta$  后的生产利润是  $f(\theta) = p v^a - wv$ , 这里取生产利润的最大值  $f(\theta) = \max(p v^a - wv)$ , 括号里使得  $f(\theta)$  最大时的变量  $v$  的值由下式给出:

$$v^* = (ap/w)^{1/(1-a)} \quad (3)$$

$f(\theta)$  可进一步表达式为:

$$f(\theta) = (1-a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \theta^{1/(1-a)} = b \theta^c, \quad (4)$$

其中： $\alpha = (1 - a) (a/w)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)}$  ;  $b = a/(1 - a) > 1$ . 因此，

$$f(0) = t = (1 - a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \int_0^t p^{1/(1-a)} \frac{1}{0^{1/(1-a)}} dt. \tag{5}$$

将(6)代入(2). 可以得到技术采纳时间的优化模型:

$$F(t) = (1 - a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \int_0^t p^{1/(1-a)} \frac{1}{0^{1/(1-a)}} dt + \frac{1}{(1 + r t)} E[ F(t + \Delta t) ], \tag{6}$$

这里  $\Delta t$  给定.

### 3 模型分析

按照技术效率的演化,把(6)式进一步具体化. 由于(6)式是一个动态规划方程,可根据求解此类方程的 Bellman 最优性原理得到 Bellman 方程,同时,最优性原理也给出了方程的边界条件.

#### 3.1 模型的具体化

在等待的过程中,某一时段  $t$  内技术演化的情况分为两类:

- 1) 技术效率没有进一步的提升. 技术效率仍然是  $\alpha$ , 发生这种情况的可能性为  $1 - dt$ , 这是概念模型中的  $D$ , 此时企业得到的利润为  $F(t)$ , 所以期望利润为  $(1 - dt) F(t)$ .
- 2) 技术效率在  $\alpha$  的基础上有所提高. 发生这种情况的可能性为  $dt$ , 但是企业要根据技术提升后技术效率的大小来决定采纳技术还是继续等待.

根据技术效率改进的程度可分为两种情况:

技术效率仍然很低,企业不予采纳. 这就是概念模型中的  $F$ , 如果技术改进的效率还是很低,落在  $[0, \alpha - \Delta\alpha]$  内,那么,企业还是不采纳此技术,期望利润是  $F(t + \Delta t)$ , 由于是均匀分布,所以,密度函数是  $F(t + \Delta t) \frac{1}{\Delta\alpha}$ , 因此,在  $[0, \alpha - \Delta\alpha]$  的期望利润就是  $\int_0^{\alpha - \Delta\alpha} F(t + \Delta t) \frac{1}{\Delta\alpha} du$ .

技术效率满意,企业采纳此技术. 这就是概念模型中的  $G$ , 技术效率落在  $[\alpha - \Delta\alpha, \bar{u}]$  内,那么,企业就采纳此技术,根据 Farzin 对利润流的研究<sup>[21]</sup>, 记  $V(t)$  为采纳技术  $\alpha$  的利润流,  $V(t) = (1 - a) (a/w)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \alpha^b / r$ . 在此处,记  $V(t + \Delta t)$  为采纳此技术的利润流,采纳成本为  $I$ , 采纳技术后的利润为  $V(t + \Delta t) - I$ , 所以,密度函数是  $(V(t + \Delta t) - I) \frac{1}{\Delta\alpha}$ , 在  $[\alpha - \Delta\alpha, \bar{u}]$  的期望利润就是  $\int_{\alpha - \Delta\alpha}^{\bar{u}} (V(t + \Delta t) - I) \frac{1}{\Delta\alpha} du$ .

综上所述,企业采纳技术的决策方程是  $A = B + D + F + G$ , 所以,数学模型(6)可以具体化为:

$$\begin{aligned} F(t) &= (1 - a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \int_0^t p^{1/(1-a)} \frac{1}{0^{1/(1-a)}} dt + \frac{1}{(1 + r t)} E[ F(t + \Delta t) ] \\ &= F(t) + \left\{ \int_0^{\alpha - \Delta\alpha} F(t + \Delta t) \frac{1}{\Delta\alpha} du + \int_{\alpha - \Delta\alpha}^{\bar{u}} (V(t + \Delta t) - I) \frac{1}{\Delta\alpha} du - F(t) \right\}. \end{aligned} \tag{7}$$

从方程(6)和方程(7),得到:

$$\begin{aligned} (1 + r t) F(t) &= (1 - a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \int_0^t p^{1/(1-a)} \frac{1}{0^{1/(1-a)}} dt + F(t) + \\ &\quad \left\{ \int_0^{\alpha - \Delta\alpha} F(t + \Delta t) \frac{1}{\Delta\alpha} du + \int_{\alpha - \Delta\alpha}^{\bar{u}} (V(t + \Delta t) - I) \frac{1}{\Delta\alpha} du - f(t) \right\}. \end{aligned} \tag{8}$$

如果用  $(r + \dots)$  除方程(8),得到:

$$F(t) = \frac{f(0)}{(r + \dots)} + \frac{1}{(r + \dots)} \left\{ \int_0^{\alpha - \Delta\alpha} F(t + \Delta t) \frac{1}{\Delta\alpha} du + \int_{\alpha - \Delta\alpha}^{\bar{u}} (V(t + \Delta t) - I) \frac{1}{\Delta\alpha} du \right\}. \tag{9}$$

#### 3.2 模型的 Bellman 方程

根据 Bellman 最优性原理,即如果最优值通过某一技术效率  $\alpha^*$ , 则从  $\alpha^*$  出发到达终点的所有可能的技术效率也必定是最优的,得到:

$$F(\bar{u}) = \frac{(1-a) \left( \frac{a}{w} \right)^{a/(1-a)} p^{1/(1-a)} \bar{u}_0^{1/(1-a)}}{(r+\bar{u})} + \frac{1}{(r+\bar{u})} \int_{\bar{u}_0}^{\bar{u}} (V(\bar{u}+u) - I) \frac{1}{u} du. \quad (10)$$

重新调整方程(10),得到:

$$F(\bar{u}) = \frac{\bar{u}_0^b}{(r+\bar{u})} + \frac{(\bar{u} + \bar{u}_0)^{b+1}}{ur(r+\bar{u})(b+1)} - \frac{(\bar{u})^{b+1}}{ur(r+\bar{u})(b+1)} - \frac{I}{(r+\bar{u})}. \quad (11)$$

### 3.3 方程的边界条件

在  $\bar{u} = \bar{u}_0$  处,企业在投资和等待一个更高效的技术之间没有区别,即当前可以采纳的技术效率是  $\bar{u}_0$ ,企业以  $\bar{u}_0$  生产时得到的利润  $F(\bar{u}_0)$  等于企业采纳技术  $\bar{u}_0$  并一直进行生产的利润,因此,得到了下面的方程:

$$F(\bar{u}_0) = V(\bar{u}_0) - I = \frac{(\bar{u}_0)^b}{r} - I. \quad (12)$$

使用方程(11)中的  $F(\bar{u}_0)$  来替换方程(12),得到:

$$\frac{\bar{u}_0^b}{ur(b+1)} ((\bar{u} + \bar{u}_0)^{b+1} - (\bar{u}_0)^{b+1}) - \frac{(r+\bar{u})}{r} (\bar{u}_0)^b + \frac{\bar{u}_0^b}{r} + rI = 0. \quad (13)$$

(13)式是隐函数,表明了最优技术效率  $\bar{u}$  与利率  $r$ 、技术出现速度  $u$ 、技术提升程度  $\bar{u}$ 、企业开始的技术效率  $\bar{u}_0$  以及企业的产出弹性系数  $a$  之间的关系。

## 4 模型模拟

为了深入研究最优技术效率与其他参数之间的关系,使用 Matlab 数学软件来对(13)式进行模拟,以明确最优技术效率  $\bar{u}$  如何受各个参数的影响。

### 4.1 参数设定

产出弹性  $a=0.5$  的假设比较符合一般企业投入与产出的效率;投入的单位成本  $w=60$ ,产出价格  $p=300$ ,符合一般企业的利润要求;企业当前以技术效率  $\bar{u}_0=1$  进行生产,是因为技术效率为相对值,以当前的技术效率值为 1;技术演化过程中技术出现的速度  $u=1$ ,说明平均每年有一项新技术出现在市场上;技术效率提升的程度  $\bar{u}=0.3$ ,表明技术效率提升的程度不会太大;折现率  $r=0.12$ ,较目前的银行利率高,企业以此作为折现率,表明了一种慎重的投资态度;企业投资购买一项新技术的成本为  $I=18000$ ,这是与产出价格的一定比例来确定的。因此,以上参数的设置是合理的。用这些参数来解方程(13),得到最优采纳技术效率为  $\bar{u}^*=2.6184$ 。

### 4.2 模拟图形及分析

把最优采纳技术效率  $\bar{u}^*$  视为某一变量的函数,其他的参数固定,分别对折现率  $r$ 、技术出现速度  $u$ 、技术提升程度  $\bar{u}$ 、企业开始的技术效率  $\bar{u}_0$  和企业的产出弹性系数  $a$  的函数进行模拟,模拟的结果如图 1 至图 5 所示。

#### 1) $\bar{u}^*$ 与 $r$ 的关系

$\bar{u}^*$  与  $r$  的关系见图 1,折现率越高,技术效率就越低,也就是说,企业会较早的采纳技术。

#### 2) $\bar{u}^*$ 与 $u$ 的关系

$\bar{u}^*$  与  $u$  的关系见图 2,如果技术出现速度快,技术效率值就会降低,企业会越早采纳技术。

#### 3) $\bar{u}^*$ 与 $\bar{u}$ 的关系

$\bar{u}^*$  与  $\bar{u}$  的关系见图 3,在一个给定的时间段内,如果期望技术效率改进的程度越低,最优采纳技术效率就会降低,因此,企业会越早采纳技术。

#### 4) $\bar{u}^*$ 与 $\bar{u}_0$ 的关系

$\bar{u}^*$  与  $\bar{u}_0$  的关系见图 4,对于那些处于技术效率前沿的企业(具有一个高的技术效率)来说,新技术采纳的时间会比那些使用较低技术效率的企业晚。企业拥有的技术效率  $\bar{u}_0$  越低,最优采纳的技术效率也越低,因此,技术采纳的最优时间也越早。这是因为,如果目前使用的是高效率的技术,采纳的机会成本就会

相对较高,相反,如果当前使用的技术效率低,那么新技术效率会很高,机会成本会较低.所以,如果所有的条件相同,拥有先进技术的企业会比技术效率较低的企业采纳的可能性小.

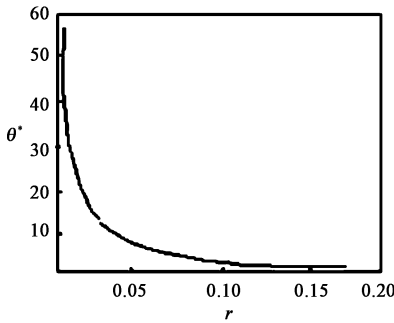


图 1 最优采纳效率  $\theta^*$  与  $r$  的关系图

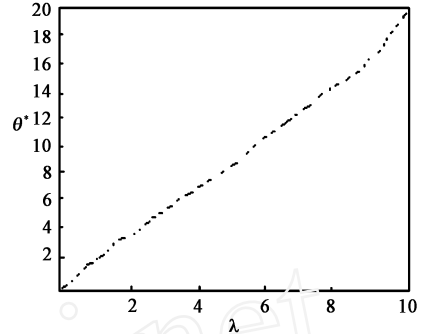


图 2 最优采纳效率  $\theta^*$  与  $\lambda$  的关系图

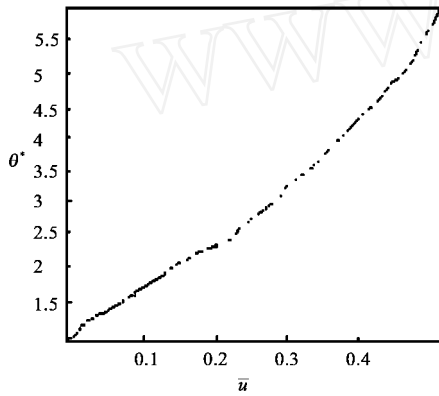


图 3 最优采纳效率  $\theta^*$  与  $\bar{u}$  的关系图

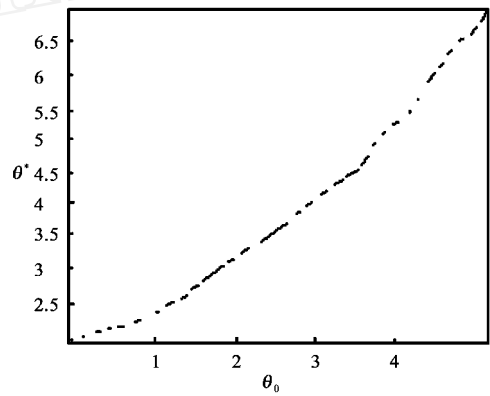


图 4 最优采纳效率  $\theta^*$  与  $\theta_0$  的关系图

5)  $\theta^*$  与  $a$  的关系

$\theta^*$  与  $a$  的关系见图 5,在所有条件相同的情况下,对于具有较低或较高投入效率的企业来说,新技术的采纳都会相对较晚.  $\theta^*$  是产出弹性  $a$  的函数,产出弹性是企业生产效率的另外一个指标.对于一个具体的生产函数,产出弹性独立于技术演化.在  $a = 1$  的极端情形下,最优采纳效率  $\theta^*$  是无限的,这意味着技术采纳永远不会是最优的;在  $0 < a < 1$  的情形下,从图 5 中看到,  $\theta^*$  不是  $a$  的单调函数.因为相对  $a$  的较大值,最优技术效率随着  $a$  增加.这与  $\theta_0$  的情形相似,企业投入的效率越高,创新采纳的最优时间会越慢.然而,对于相对较小的  $a$  值,最优技术效率的值随着  $a$  的下降而增加,因此,当企业的投入效率低于一定的程度,投入效率越低,最优效率会越高,这个结果表明,高投入效率的企业与低投入效率的企业一样,都倾向于滞后采纳新技术.

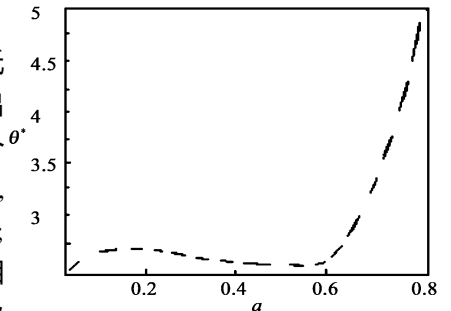


图 5 最优采纳效率  $\theta^*$  与  $a$  的关系图

5 结论

本文关注的问题是技术采纳的时间如何受技术演化过程中不确定性因素的影响.把技术的不确定性表达为在技术演化过程中技术出现速度和技术改进程度的不确定,从而改进了现有的模型.数值模拟的结果显示了企业采纳技术的最优时间(技术效率)受折现率、技术出现速度、技术提升程度、企业开始的技术效率以及企业的产出弹性系数的影响效应.对技术出现速度应该用更能反映技术不确定性的分布来替代,投资的成本会随着时间下降或者随着新技术效率的提升而提高等,这将是我们的后继研究工作.

## 参考文献:

- [ 1 ] Nigel Meadea, Towhidul Islam. Modelling the dependence between the times to international adoption of two related technologies [J]. *Technological Forecasting & Social Change*, 2003, 15(3): 759 - 778.
- [ 2 ] Comina D, Hobijn B. Cross-country technology adoption: making the theories face the facts[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2004, 22(5): 39 - 83.
- [ 3 ] Thomas F, Golob A, Amelia C, Regan B. Trucking industry adoption of information technology: a multivariate discrete choice model[J]. *Transportation Research Part C*, 2002, 10(1): 205 - 228.
- [ 4 ] Luis H R, Alvarez A, Rune Stenbacka. Adoption of uncertain multi-stage technology projects: a real options approach[J]. *Journal of Mathematical Economics*, 2001, 35(2): 71 - 97.
- [ 5 ] Chester Chambers. Technological advancement learning and the adoption of new technology[J]. *European Journal of Operational Research*, 2004, 32(4): 226 - 247.
- [ 6 ] Soren T, Anderson A, Richard G, Newell B. Information programs for technology adoption: the case of energy-efficiency audits [J]. *Resource and Energy Economics*, 2004, 26(10): 27 - 50.
- [ 7 ] James P. Gander. Technology adoption and labor training under uncertainty[J]. *Economics of Education Review*, 2003, 22(1): 285 - 289.
- [ 8 ] Donna K, Fiszera, Jonathan Norvellb, Steven Sonkaa, Mark J. Nelsonc. Understanding technology adoption through system dynamics modeling: implications for agribusiness management[J]. *International Food and Agribusiness Management Review*, 2000, 18(3): 281 - 296.
- [ 9 ] Mark Huggett, Sandra Ospina. Does productivity growth fall after the adoption of new technology? [J]. *Journal of Monetary Economics*, 2001, 48(5): 173 - 195.
- [ 10 ] William L. Dougan, James W. Bronson. Suboptimal technology adoption: the case of computer reservation systems in the travel industry[J]. *Journal of High Technology Management Research*, 2003, 33(3): 289 - 305.
- [ 11 ] Georg Gotz. Strategic timing of adoption of new technologies under uncertainty: a note [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2000, 18(5): 369 - 379.
- [ 12 ] 耿新. 技术创新与企业技术源选择[J]. *企业技术进步*, 2002, 8: 33 - 34.  
Gen Xing. Technology innovation and choice of enterprise technology resource[J]. *Enterprise Technology Progress*, 2002, 8: 33 - 34.
- [ 13 ] 喻金田, 万君康. 我国企业技术创新调查分析[J]. *科学学与科学技术管理*, 2002, 9: 46 - 48.  
Yu Jingtian, Wan Junkan. Enterprise technology innovation investigation of china [J]. *Science and Science & Technology Management*, 2002, 9: 46 - 48.
- [ 14 ] 李纪珍. 企业技术源的选择[J]. *中国软科学*, 1999, 10: 76 - 79.  
Li Jizheng. The choice of enterprise technology resource[J]. *China Soft Science*, 1999, 10: 76 - 79.
- [ 15 ] 郭斌, 许庆瑞. 从通信产业看高技术企业国外技术获取模式及其特征[J]. *科学管理研究*, 1997, 4: 65 - 69.  
Guo Bin, Xu Qingrui. Technology acquisition pattern of high-tech enterprise and character [J]. *Science Management Research*, 1997, 4: 65 - 69.
- [ 16 ] Hoppe, H. The timing of new technology adoption: theoretical models and empirical evidence [J]. *Manchester School*, 2002, 70(6): 56 - 76.
- [ 17 ] Jensen R. Adoption and diffusion of an innovation of uncertain profitability [J]. *Journal of Economic Theory*, 1982, 27(3): 182 - 192.
- [ 18 ] Lippman S, McCardle K. Preemption in R&D races [J]. *European Economic Review*, 1988, 32(5): 1661 - 1669.
- [ 19 ] Mamer J, McCardle K. Uncertainty, competition, and the adoption of new technology [J]. *Management Science*, 1987, 33(2): 161 - 177.
- [ 20 ] Balcer Y, Lippman S. Technological expectations and adoption of improved technology [J]. *Journal of Economic Theory*, 1984, 34(4): 292 - 318.
- [ 21 ] Farzin Y, Huisman K, Kort P. Optimal timing of technology adoption [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 1998, 22(2): 779 - 199.
- [ 22 ] Doraszelski U. Innovations, Improvements and the optimal adoption of new technology [J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2004, 28(3): 1461 - 480.
- [ 23 ] Doraszelski U. The net present value method versus the option value of waiting: a note on farzin [J]. 2001, 23(7): 78 - 100.