第4卷第1期
2001年2月
管理科学学报
JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA
Vol. 4 No. 1
Feb. 2001

技术的演化与锁定[①]

蒋德鹏，盛昭瀚
（东南大学经济管理学院，南京 210096）

摘要：试用演化经济理论研究与市场用户具有动态回报递增和动态回报递减关系的两类技术的演化问题．通过建立一个动态随机系统模型，论证了这类技术演化的长期均衡对应于某个函数的稳定不动点，提出了动态回报递增效应技术演化的多重均衡性和主导技术出现的可能性，分析了动态回报递减效应技术演化的不同特征，最后给出了一些政策含义．

关键词：动态随机模型；技术演化；动态回报递增；技术的锁定；主导技术

中图分类号：F224.12　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1007-9807(2001)01-0058-06

0 引言

技术在产业演化过程中起着关键的作用，企业选择何种技术直接关系到企业的生死存亡，而技术本身和产业一起演化，一开始可能有许多技术在竞争市场用户，能够有较多市场用户的技术生存下来并可能成为主导技术，没有市场用户的技术被淘汰．例如在早期的汽车工业，汽车的发动机有汽油机、蒸汽机、电动机，后来汽油机变成了主导技术，而其它的两种都被废弃了，为什么呢？传统的解释[1]是因为汽油机好于其它两种．事实上，技术的扩散，不仅与技术本身的优劣息息相关，还与其现有市场用户及一些随机因素有关．有些技术特别是知识密集型技术具有回报递增效应[2-4]，即技术现有市场用户越多，技术越易被改进，技术的回报越高，从而技术被选中的概率越大．像计算机、导弹、飞机发动机、软件、通讯设备、光纤等类产品，设计和制造过程技术含量较高，研究与开发通常需要大量的初始投资，但是随着销售量的增加，单位生产成本降低，企业的获利就增加，就会吸引更多的用户．有些技术特别是资源密集型技术存在回报递减效应，即技术现有市场用户越多，技术的回报反而减少，从而技术被选中的概率就小．例如水力发电技术，随着水力发电技术用户的增加，由于可供建成水库的地理资源有限，从而再建水力发电厂的成本增加，收益不如转向火力发电技术．同样道理，当火力发电技术用户不断增加时，煤的价格上涨或控制污染的呼声加大，此时又有利于水力发电技术．

本文主要应用演化经济理论[5,6]探讨具有动态回报递增效应（市场用户越多回报越高）和动态回报递减效应（市场用户越多回报越低）类技术的演化问题[7]．通过建立一个动态随机模型，论证了这两类技术演化的长期均衡特征，分析了两种不同效应的技术演化结果，并给出了一些政策含义．

1 模型

设有 A、B 两个技术在市场上争夺使用者的份额．初期 $t=0$，共有 N 个人使用了技术 A 和 B，其中技术 A 的市场份额为 x_0^A，$0 \leqslant x_0^A \leqslant 1$；从 $t=1$ 开始，每期有且仅有一个新的参与人选择 A 或 B，技术 A 或 B 是否被选中具有一定的随机性，参与人选择 A 的概率依赖于 A 目前的市场份额及参

① 收稿日期：2000-02-25；修订日期：2000-09-14．

基金项目：国家自然科学基金资助重点项目（79830010）．

作者简介：蒋德鹏（1965-），男，江苏南京人，高级经济师，博士生．

与人进人市场的时刻.用$q_t(x_t^A)$表示技术A被t期参与人选中的概率,其中x_t^A表示t期技术A的市场份额.显然,$\{x_t^A\}, t=1,2,\cdots$是一个随机过程,目的就是要刻画这个随机过程的特征.

定义离散型随机变量$\beta_t(x_t^A)$如下,$\beta_t(x_t^A)$仅取1和0两个值,分别对应于选择A和B,其概率分布为

$$P\{(\beta(x_t^A)=1\}=q_t(x_t^A),$$

$$P\{(\beta(x_t^A)=0\}=1-q_t(x_t^A)$$

由上述$\beta_t(x_t^A)$的定义有

$$E[\beta_t(x_t^A)\mid x_t^A]=q_t(x_t^A) \tag{1}$$

这里$E[\cdot\mid\cdot]$表示条件数学期望.

t期选择A的参与人总数为$x_t^A\cdot(t+N)$,在$t+1$期有一个新的参与人进行选择,如果他选择A,则$\beta_t(x_t^A)=1$,如果他选择B,则$\beta_t(x_t^A)=0$,因而$t+1$期选择A的参与人总数为$x_t^A\cdot(t+N)+\beta_t(x_t^A)$.另一方面,$t+1$期选择$A$的参与人总数为$x_{t+1}^A\cdot(t+N+1)$.故有如下的等式

$$x_{t+1}^A\cdot(t+N+1)=x_t^A\cdot(t+N)+\beta_t(x_t^A) \tag{2}$$

对式(2)进行整理得

$$\begin{aligned}x_{t+1}^A&=\frac{t+N}{t+N+1}\cdot x_t^A+\frac{\beta_t(x_t^A)}{t+N+1}\\&=x_t^A+\frac{\beta_t(x_t^A)-x_t^A}{t+N+1}\\&=x_t^A+\frac{\beta_t(x_t^A)-q_t(x_t^A)}{t+N+1}+\frac{q_t(x_t^A)-x_t^A}{t+N+1}\end{aligned} \tag{3}$$

由(1)和(3)得

$$E[x_{t+1}^A\mid x_t^A]=x_t^A+\frac{1}{t+N-1}\cdot(q_t(x_t^A)-x_t^A) \tag{4}$$

定理1　记$S=[0,1]$,设$q_t(x)$收敛于$q(x)(t\to\infty)$,$q_t(x)$在S上连续且可微,并满足下面两个条件:

(i)$\exists\ a_t,\sup\limits_{x\in S}\|q_t(x)-q(x)\|\leqslant a_t$,$a_t$为常数且$\sum\limits_{t=1}^{\infty}\frac{a_t}{t}<\infty$

(ii)$F=\{x\mid q(x)=x,x\in S\}$为函数$q(x)$的不动点,$F$为有限点集

那么上述随机过程$\{x_t^A\}$几乎处处收敛于F中某一点.

证明　1)先证明$\forall\ \varepsilon>0$,$\exists$开域$U_\varepsilon(F)\supset F$,$\{x_t^A\}$从某一时刻必退出$S\backslash U_\varepsilon(F)$.

事实上,由定理1的已知条件容易推得$q(x)$是连续可微的,这样一来,$\forall\ \varepsilon>0$,据$q(x)$的连续性,$\exists\ \delta>0$和开域$U_\varepsilon(F)$,$U_\varepsilon(F)\supset F$,
使得$[q(x)-x]\cdot[x-q(x)]<-\delta,\forall\ x\in S\backslash U_\varepsilon(F)$

定义　$V(x)=\int_0^x(t-q(t))\mathrm{d}t+C$

这里C为常数,取C足够大,保证$V(x)$非负.则

$$V'(x)=x-q(x)$$

如果$\{x_t^A\}$存在无穷子序列落在$S\backslash U_\varepsilon(F)$,为方便起见,不妨记为$\{x_t^A\}$据式(4)有

$$E[x_{t+1}^A-x_t^A\mid x_t^A]=\frac{q_t(x_t^A)-x_t^A}{t+N+1}$$

由$q(x)$可微性及一阶泰勒展开式,有

$$\begin{aligned}&E[V(x_{t+1}^A-V(x_t^A)\mid x_t^A]\cong V'(x_t^A)E[x_{t+1}^A-x_t^A\mid x_t^A]\\&=(x_t^A-q(x_t^A))\cdot\frac{(q(x_t^A)-x_t^A)}{t+N+1}\leqslant-\frac{\delta}{t+N+1}\end{aligned}$$

$$\sum_{t=T}^{\infty}E[V(x_{t+1}^A-V(x_t^A)\mid x_t^A]\leqslant\sum_{t=T}^{\infty}-\frac{\delta}{t+N+1}=-\infty$$

这与V是下有界相矛盾,故$\{x_t^A\}$从某一时刻必退出$S\backslash U_\varepsilon(F)$.

2)记$\eta_t(x_t^A)=\beta_t(x_t^A)-q_t(x_t^A)$

$$D_T^S(x_t^A)=\sum_{t=T+1}^{t}\frac{\eta_t(x_t^A)}{t+1+N}$$

据随机系统极限理论[8],有$P\{D_T^\infty(x_t^A\xrightarrow[T\to\infty]{}0\}=1$

由1)可知,$\forall\ \varepsilon>0$,$\exists$充分大的T_1,当$t>T_1$时,$\{x_t^A\}$在$U_\varepsilon(F)$内.

由2)可知,$\forall\ \varepsilon>0$,$\exists$充分大的T_2,当$t>T_2$时,$P\{\sup D_T^S\leqslant\varepsilon\}\geqslant1-\varepsilon$

故$\{x_t^A\}$几乎处处收敛于F.如果$\{x_t^A\}$有两个极限点$x^*,x^{**}\in F$

取ε充分小,使得$|x^*-x^{**}|>\varepsilon$,这与$P\{\sup\limits_t D_T^S\leqslant\varepsilon\}\geqslant1-\varepsilon$相矛盾.

综上所述,定理1得证.

定理2　设$\theta\in(0,1)$为$q(x)$的不动点,$q(x)\in[0,1]$

①$\exists\ \delta>0$,当$x\in(\theta,\theta+\delta)$时,$x>q(x)$;当$x\in(\theta-\delta,\theta)$时,$x<q(x)$,$x_0\in(0,1)$,那么$P\{x_t^A\to\theta\}>0$.

②$\exists\ \delta>0$,当$x\in(\theta,\theta+\delta)$时,$x<q(x)$;当$x\in(\theta-\delta,\theta)$时,$x>q(x)$,$x_0\in(0,1)$,那么

$P\{x_t^A \to \theta\} = 0.$

证明 1° 取 $E = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$，显然 E 为对称正定阵.

$[(x, 1-x) - (\theta, 1-\theta)]\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}[(x, 1-x) - (q(x), 1-q(x))]^T$

$= 2(x-\theta)(x-q(x)) > 0,$

$\forall\, x \in (\theta-\delta, \theta+\delta)$ 且 $x \neq \theta$

故 $x = \theta$ 是 $q(x)$ 的稳定不动点①，据 Nevelson 和 Hasminski 提出的随机渐近理论[9]，

$P\{x_t^A \to \theta\} > 0$

2° 与 1° 同样可证，$x = \theta$ 是 $q(x)$ 非稳定的不动点，从而 $P\{x_t^A \to \theta\} = 0$.

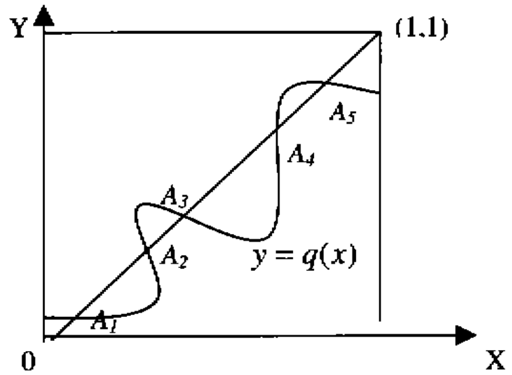

图 1 稳定不动点和不稳定不动点

定理 1 说明了 $\{x_t^A\}$ 几乎处处收敛于 F 中某一点，定理 2 说明了并非所有的不动点都可以作为 $\{x_t^A\}$ 的极限点，如图 1 所示，A_1、A_2、A_3、A_4、A_5 都是 $q(x)$ 的不动点，不难看出 A_1、A_3、A_5 满足定理 2 中 1° 的条件，故 A_1、A_3、A_5 可能是 $\{x_t^A\}$ 的极限点，而 A_2、A_4 满足定理 2 中 2° 的条件，故 A_2、A_4 不是 $\{x_t^A\}$ 的极限点. 一般地 $y = q(x)$ 向下与 $y = x$ 交叉的不动点可能是 $\{x_t^A\}$ 的极限点，而向上与 $y = x$ 交叉的点则不是 $\{x_t^A\}$ 的极限点.

2 应用

利用定理 1，2，可以研究技术 A、B 争夺市场份额的长期均衡行为. 为此，仅需检查函数 $q(x)$ 的不动点的特征，$q(x)$ 为 $q_t(x)$ 极限函数，而 $q_t(x)$ 表示技术 A 被 t 期参与人选中的概率，x 为 t 期技术 A 的市场份额. 不稳定的不动点不会成为长期均衡，而稳定的某一不动点将成为长期的均衡结构.

例 1 （动态回报递增效应）[6,10] 设两个技术 A、B 的初始市场份额分别为 x_0，$1-x_0$，$x_0 \in (0,1)$，假设当技术 A、B 的市场用户分别为 a，b 时，使用技术 A、B 的单位成本分别为 $C_a = \frac{1}{a}$，$C_b = \frac{\alpha}{b}$

这里 α 为大于 1 的参数. 这说明在技术 A 与技术 B 的市场用户相同情况下，使用技术 A 的成本总是低于使用技术 B 的成本，换句话说，技术 B 是劣技术. 假设每一期 A、B 被选中的可能性与使用它的单位成本成反比，即单位成本越高的技术被选中的概率越小，即

$P\{$技术 A 被选中$\} \propto \left(\frac{1}{C_a}\right)^\beta$，$P\{$技术 B 被选中$\} \propto \left(\frac{1}{C_b}\right)^\beta$

这里 $\beta > 0$ 为参数，"$\propto$"表示成比例.

由此可见，当技术 A 的市场占有率增加时，使用技术 A 的成本降低，A 被选中的可能性变大，这说明 A 具有动态回报递增效应. 同样，技术 B 也具有动态回报递增效应.

设某一时刻 t，技术 A、B 的用户分别为 a、b，则技术 A 市场份额为 $x_t^A = \frac{a}{a+b}$，A 被选中的概率为 $q(x_t^A)$ 为

$$q(x_t^A) = \frac{(1/C_a)^\beta}{(1/C_a)^\beta + (1/C_b)^\beta} = \frac{a^\beta}{a^\beta + (\frac{1}{\alpha})^\beta b^\beta} = \frac{\frac{a^\beta}{(a+b)^\beta}}{\frac{a^\beta}{(a+b)^\beta} + (\frac{1}{\alpha})^\beta \cdot (\frac{b}{a+b})^\beta} = \frac{(x_t^A)^\beta}{(x_t^A)^\beta + (\frac{1}{\alpha})^\beta \cdot (1-x_t^A)^\beta}$$

显然，$q(x_t^A)$ 与时刻 t 无关，故 $q(x) = \frac{x^\beta}{x^\beta + \gamma(1-x)^\beta}$，这里 $\gamma = (\frac{1}{\alpha})^\beta$.

---

① 设 $x = \theta$ 为 $q(x)$ 的不动点，$x \in R^n$，如果存在 n 维正定对称矩阵 C，使 $(C \cdot (x - q(x)), x - \theta) < 0$，对 θ 某一领域内的任一非 θ 的点都成立，则称 $x = \theta$ 为不稳定的不动点.

如果 $(C \cdot (x - q(x)), x - \theta) > 0$，对 θ 某领域内的任一非 θ 的点都成立，则称 $x = \theta$ 为稳定的不动点.

令 $q(x)=x$ 得 $x=0,1,\dfrac{\gamma^{\frac{1}{\beta-1}}}{1+\gamma^{\frac{1}{\beta-1}}}$. 由图2容易看出 $\theta=\dfrac{\gamma^{\frac{1}{\beta-1}}}{1+\gamma^{\frac{1}{\beta-1}}}$ 是 $y=q(x)$ 向上与 $y=x$ 交叉的点,为不稳定的不动点.

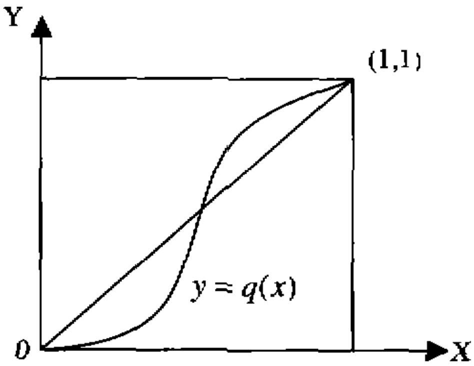

图2 动态回报递增

根据定理1和定理2,有

$P\{x_t^A\to\theta\}=0, P\{x_t^A\to 0\}>0,$
$P\{x_t^A\to 1\}>0$

因为 $P\{x_t^A\to\theta\}=0$,故 $P\{x_t^A\to 0\}+P\{x_t^A\to 1\}=1$,即技术进化的长期均衡结果必定是 $x=0$ 或 $x=1$,也就是某一技术占有所有的市场.但究竟哪一种技术最终垄断市场,很难预测,它依赖于演化的路径.一旦某一技术垄断了市场,均衡很难打破.

由 $P\{x_t^A\to 0\}>0$ 对所有的 $x_0\in(0,1)$ 都成立,可知 $x=0$ 可能是市场竞争的长期均衡,此时,劣技术 B 占有所有的市场.也就是说,不论初始市场份额多少,技术市场演化的结果可能锁定于劣技术 B.

例2 (动态回报递减效应)假设一类人选择城市定居,可供选择的城市仅为纽约和芝加哥.每个人选择的方法如下:随机询问3个同类人,如果有2个以上的人在纽约,他便选择另一城市,即纽约的人越多,下一个人选择纽约的概率越小.

设时刻t,在纽约和芝加哥定居的人数分别为 b_1^t 和 b_2^t,定居纽约和芝加哥的所占比例分别为

$$x_t=\frac{b_1^t}{b_1^t+b_2^t}, 1-x_t=\frac{b_2^t}{b_1^t+b_2^t}$$

随机从 $b_1^t+b_2^t$ 中选取3个人,有1个人来自纽约的概率为

$$P\{1\}=\frac{C_{b_1^t}^1C_{b_2^t}^2}{C_{b_1^t+b_2^t}^3}$$
$$=3\frac{b_1^tb_2^t(b_2^t-1)}{(b_1^t+b_2^t)(b_1^t+b_2^t-1)(b_1^t+b_2^t-2)}$$
$$=3\frac{b_1^t}{b_1^t+b_2^t}\cdot\frac{b_2^t}{b_1^t+b_2^t-1}\cdot\frac{b_2^t-1}{b_1^t+b_2^t-2}$$
$$\cong 3x_t(1-x_t)^2$$

没有人来自纽约的概率为

$$P\{0\}=\frac{C_{b_2^t}^3}{C_{b_1^t+b_2^t}^3}$$
$$=\frac{b_2^t(b_2^t-1)(b_2^t-2)}{(b_1^t+b_2^t)(b_1^t+b_2^t-1)(b_1^t+b_2^t-2)}$$
$$\cong(1-x_t)^3$$

纽约被t期参与人选中的概率 $q_t(x_t)$ 为

$$q_t(x_t)=P\{1\}+P\{0\}$$
$$\cong 3x_t(1-x_t)^2+(1-x_t)^3$$

当 $t\to\infty$ 时,易知 $q_t(x_t)\to q(x_t)$, $q(x)=3x(1-x)^2+(1-x)^3$,且可以证明这种收敛满足定理1的条件(i),由图3可知,$q(x)=x$ 仅存在唯一解 $x=1/2$,且 $x=1/2$ 是向下与交叉的点.故 $P\{x_t\to 1/2\}=1$ 市场演化的结果是该类人中定居纽约和芝加哥的各占一半.

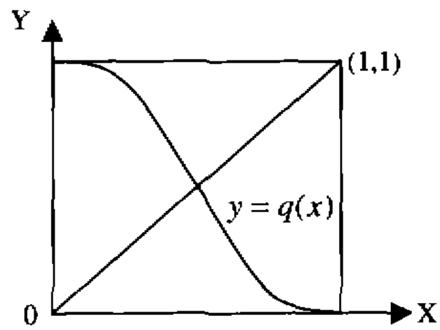

图3 动态回报递减

3 结论

技术的演化和其它社会经济领域存在的大量非线性动力系统一样[11,12],也表现出许多异常复杂的特征.本文假使了技术被市场选中的概率高度依赖于技术目前的市场份额,对技术演化这个复杂系统进行了大量的简化,抽象出一个动态随机模型,由该模型的分析可知,技术演化有如下的

特点;对于具有动态回报递增效应的技术,技术演化可能存在多重均衡,均衡结果可能是某一技术垄断市场,也可能是几个技术共享市场,究竟到达哪一个均衡依赖于演化的路径,一旦到达了某一个均衡,便锁定于此均衡;对于具有动态回报递减效应的技术,均衡结果一般是几个技术共享市场,它与演化的路径无关.

对于具有动态回报递增效应的技术或产品,其市场演化的结果有如下特征.第一,演化的结果事前难以预料,很难指出哪一种技术将成为主导技术或哪一个产品会垄断市场.例如,19世纪90年代,汽油机曾被认为最不可能作为汽车发动机,而事实上后来它成为汽车发动机的主导技术.第二,最终成为主导技术或主导产品的并不一定是最有效的技术或最好的产品.某一偶发事件,可能使系统锁定于逆技术.文[13]指出,如果蒸汽机当初发展到和汽油机一样的程度,使用蒸汽机作为汽车发动机可能是更好的选择.20世纪50年代,FORTRAN语言曾垄断许多程序设计,事实上,如果这些程序设计使用Algol语言可能会更方便,这说明50年代成为主导技术的FORTRAN语言并非当时最优的技术.第三,一旦某一主导技术垄断了市场并且是自动形成的,此时再设法破除它就比较困难.例如,汽油机变成了汽车发动机的主导技术后,再试图去发展蒸汽机或电动机就很困难,并且不再是好的选择.

在哪些领域会出现主导技术还有待于进一步讨论,动态回报递增对某些产品适用,对另外一些可能就不适用.对于具有动态回报递减效应或动态回报不变的技术,市场竞争的结果可能导致多种技术分享市场,实现资源的最优分配.此外,在某些技术市场,即使存在动态收益递增现象,有些消费者群体可能会阻碍市场主导技术的出现.例如,药品的价值与疾病的类型及病人的特征有关,对一些病人有效的药品对另一些病人可能毫无价值.

在产业和技术演化过程中,运行环境起着重要的作用[14].许多研究产业和技术演化的社会学家强调产业本身可以塑造"环境","环境"的塑造主要是通过产业政策的制定、企业行为和交往规则的形成,与产业有关的各种社会组织的出现、或通过政治手段.反过来,这样的手段又决定了什么样的技术会变成主导技术.

潜在的好技术需开发和学习才有现实意义.对于具有回报递增效应的技术或产品,政府应鼓励企业积极进行产品和过程革新,以防止锁定于劣技术现象的发生,政府应鼓励产业内企业联合共享市场网络、技术知识和行业标准,尤其是产业技术发展的早期,要努力挖掘潜在的好技术,使它发挥应有的效益,一旦产业已锁定于某一技术,再让企业去开发其它技术,将消耗更大成本.而对于具有动态回报递减效应或动态回报不变的技术,政府的政策应是鼓励竞争,让市场去实现资源的优化配置.

参考文献:

[1] Silverberg G, Dosi G, Orsenigo L. Innovation, diversity, and diffusion: a self organizing model[J]. Economic Journal, 1988,98(393):1032-1054

[2] Arthur W B. Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events[J]. Economic Journal, 1989,99(394):116-131

[3] Arthur W B. Competing technologies: an overview[J]. In Dosi Giovanni et al eds. Technical Change and Economic Theory. Landon: Printer Publishers, 1988

[4] David P. Heroes herds and hysteresis in technologies history[J]. Industrial and Corporate Change. 1992,1(1):129-179

[5] Nelson, Richard and Winter, Sidney. An evolutionary theory of economic change[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1982

[6] Yong H P. Individual strategy and social structure: an evolutionary theory of institute[M]. Princeton: Princeton University Press, 1998

[7] Basalla, George. The evolution of technology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1988

[8] Arthur W B, Ermoliev Y M, Kaniovski Y M. Strong laws for a class of path-dependent stochastic processes, with applications[C]. In Proc. Conf. On Stochastic Optimization. Kiev, Arkin, Shiryayev. Wets. (eds.) Springer, Lecture Notes in Control and Information Science, 1984

[9] Nevelson M B. Hasminskii R Z. Stochastic approximation and recursive estimation[M]. Amer. Math. Soc. Translations of Math. Monographs, 1972, 47, Providence. RI.

[10] Romer P. Increasing returns and new development in the theory of growth[M]. In Barnett W et al., eds. Equilibrium Theory and Applications. Cambridge: Cambridge University Press, 1991

[11] 盛昭瀚,马军海. 管理科学:面向复杂性(Ⅰ)—混沌时序经济动力系统重构技术[M]. 管理科学学报,1988, 1(1):31-42

[12] 盛昭瀚,马军海,陈国华. 管理科学:面向复杂性(Ⅱ)—经济时序经济动力系统分形及混沌特性分析[M]. 管理科学学报,1988,1(4):15-19

[13] Burton R L. Recent advances in vehicular steam engine efficiency of automotive[R]. Eng. Preprint no. 760340, 1976

[14] Rosenberg N. Inside the black box: technology and economics[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1982

The evolution and lock-in of technology

JIANG De-peng, SHENG Zhao-han

The School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: This paper focuses on the competition between technologies with increasing and decreasing returns to adoption. We present a dynamic stochastic model to explore the properties of the evolution of technology. These long-run outcomes of the evolutionary process, we show, correspond to the stable fixed points of a decision function, and can easily be identified. The evolution of technology under increasing returns to adoption (the probability of adoption rises with the share of the market) could show multiple equilibrium and may drive the adopter market to a single dominant technologies and cause lock-in, with small events early on "selecting" the technology that takes over. However, there is no guarantee that the "fittest" technology (in the long-run sense) will be the one that survives. Under diminishing returns, static analysis is sufficient: the outcome is unique, insensitive to the order in which choices are made, and insensitive to small events that occur during the formation of the market. The reasonable government policy was suggested for the technology-based parts where increasing returns dominate. Policies that are appropriate to success in high-tech production and international trade would encourage industries to be aggressive in seeking out product and process improvements.

Key words: dynamic stochastic model; evolution of technology; dynamic increasing returns; lock-in of technology; dominant technology