

文章编号:1000-6788(2006)08-0063-06

# 基于元胞自动机的技术扩散和吸收能力问题研究

祝树金<sup>1</sup>,赖明勇<sup>1</sup>,聂普焱<sup>1,2</sup>

(1. 湖南大学经济与贸易学院,湖南长沙 410079;2. 暨南大学数学系,广东广州 510632)

**摘要:** 旨在通过建立国际技术扩散的复杂系统演化模型和仿真实验分析技术扩散的演化机制和吸收能力对于技术扩散的影响作用.基于技术扩散的微观机制,初步建立基于元胞自动机的国际技术扩散的演化模型.通过对不同初始状态、演化规则的仿真分析,认为企业的吸收能力对于整个经济系统长期的技术扩散和创新起到关键的作用;若没有企业的内部研发,长期的技术扩散不会发生,技术创新率的均衡值趋于零;并且企业吸收能力的提高对于经济系统整体的技术创新具有非线性效应.

**关键词:** 元胞自动机;技术扩散;吸收能力;演化经济学

**中图分类号:** O31;F47

**文献标识码:** A

## Study on Technology Spillovers and Absorptive Capability Based on Cellular Automata Model

ZHU Shu-jin<sup>1</sup>, LAI Ming-yong<sup>1</sup>, NIE Pu-yan<sup>1,2</sup>

(1. College of Economics and Trade, Hunan University, Changsha 410079, China; 2 Department of Mathematics, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

**Abstract:** This paper aims at analyzing evolutionary mechanism of technology spillover and the effect of absorptive capability on spillover by building the complex system model of international technology spillover and simulating experiment. Based on the micro mechanism of technology spillovers, a cellular automata model is formulated to study the evolving of international technology spillovers. For the different initial states and evolving rules, the simulation results show that the absorptive capability of firms may play a key role in the technology spillovers and overall innovativeness of the whole economy system in the long run. Without the inhouse R&D of firms, innovativeness spillovers in the long-term would not take place and the rate of innovativeness would be reduced to zero. Furthermore the simulations present that increasing the level of inhouse research has a nonlinear effect on the average innovativeness of the economy.

**Key words:** cellular automata; technology spillover; absorptive capability; evolutionary economics

### 1 引言

新增长理论的核心是肯定技术进步对经济增长的决定作用,大量的实证研究及各国的经济实践也证实了这一点.一般而言,一国技术进步除了自主创新以外,还可以从外部吸收、模仿和学习,即技术外溢或扩散.

许多增长模型和经验研究都肯定了这种技术扩散的作用. Arrow(1962)假定存在全经济范围内的技术溢出,提出了第一个将技术进步内生的新增长模型;Romer(1986)沿着 Arrow 的思路建立了知识溢出模型;Lucas(1988)认为全经济范围内的外部性是由人力资本的溢出效应造成的,这种溢出效应可以解释为向他人学习或相互学习.实证研究中国际贸易和 FDI 被认为是国际技术扩散最主要的两种渠道. Coe 和 Helpmann(1995)、Verspiger(1997)的实证支持通过贸易形式的技术溢出的假设,他们发现通过贸易形式的

收稿日期:2004-02-19

资助项目:国家社会科学基金(04AJL006;05JL022);教育部人文社会科学研究项目(05JC630072)

**作者简介:** 祝树金(1974-),男,汉族,湖南省隆回县人,博士,副教授,主要研究领域:国际贸易系统工程、国际贸易与经济增长, E-mail: zhushujin@sohu.com;赖明勇(1965-),男,汉族,江西省吉安市人,湖南大学经济与贸易学院院长,教授、博士生导师,主要研究领域:系统工程理论与应用、国际贸易与经济增长, E-mail: laimingyong@hnu.net.cn.

国际技术扩散对国家的生产力水平的影响是统计显著的;Eaton 和 Kortum(1999)对 OECD 国家技术进步的研究表明,OECD 国家的技术进步主要的并不是依赖于国内研发投入,相反,国际技术扩散对 OECD 国家技术进步起着关键作用.通过国际经济活动的学习,对欠发达国家的技术进步、生产率的提高非常重要,而活动学习途径之一就是通过使用国外已经有的先进的中间产品而获得技术的扩散;Nadiri(1991)、Imbriani 和 Reganati(1997)等对澳大利亚、加拿大以及意大利等欧洲国家的检验结果均表明外资企业对当地企业产生明显的外溢效应,FDI 技术外溢效应假设在这里是成立的.然而 Cantwell(1989)、Kokko(1994)等的研究表明,当地企业的技术能力是决定技术外溢效果的关键因素,如果外资企业技术水平显著高于国内企业,则几乎不存在任何外溢效应;Haddad 和 Harrison(1993)、Haksar(1995)、Aitken 和 Harrison(1999)对墨西哥、印度、委内瑞拉等发展中国家的检验结果也不支持 FDI 技术外溢假设,或者发现 FDI 的技术外溢效应只在一定条件下成立.赖明勇,包群(2003)对该方面的研究进行了综述.

对发达国家和发展中国家的技术外溢效应假设检验得到不一致的结论,研究者将其解释为各国吸收能力的差异,即一个国家或企业只有具备一定的人力资本水平、研究能力和自身的创新能力等时,才能够吸收技术扩散来源地区的已有技术、知识.否则可能妨碍其对扩散技术的学习、模仿及吸收.东道国或企业的吸收能力主要依赖于人力资本和 R&D 投入水平. Cohen 和 Levinthal(1990)在分析一国研发作用时首次提出了“吸收能力”(absorptive capability)的概念,他们认为研发成果不仅直接促进了本国的技术进步,而且同时增强了对外来技术的学习和模仿能力,使得本国拥有更强的技术能力去吸收国际技术扩散;Meij 和 Tongeren(1998)在分析中国食品生产通过贸易的技术溢出时,考虑通过贸易的知识总量在接收地区的影响效果,他们认为东道国在使用国外技术时,主要受两方面的约束,其中之一就是吸收能力问题;Xu(2000)也发现人力资本的临界水平(threshold effect)较好地解释了为什么相对富裕的国家能够从美国等发达国家的跨国公司中获益,而贫穷的国家却不能获得相应的利益;Griffith、Redding 和 Van Reenen(2000)采用 12 个 OECD 国家 1974~1990 年产业数据,研究了本国的 R&D 对来自于国外技术扩散促进作用的重要性,结果发现,在低生产率工业国家中,如果有重要的 R&D 投入,则他们的赶超(catch-up)速度就明显加快.

可以看到,上述文献已经表明内部吸收能力对于技术扩散以及企业创新的重要性,为了进一步理解吸收能力的这种关键作用,区分吸收能力和技术扩散在经济系统长期的技术创新过程中的相对地位,本文试图借鉴演化经济学的思想,采用复杂科学的研究方法——元胞自动机(cellular automata,简记为 CA),从微观机制来研究宏观系统演化.元胞自动机是一种时间、空间都离散的非线性网络动力学模型,它可以构建简单的局部规则,模拟系统内在的微观机制,直观地体现出宏观系统演化的复杂整体行为.1950s 初, Von Neumann 在模拟细胞的自我复制行为时首次提出了 CA 模型,1970 年剑桥大学 Conway 在《科学美国人》发表了一个关于“生命的游戏”(The Game of Life)的程序,引起了人们对 CA 模型广泛地关注与重视.20 世纪 80 年代以来,CA 获得了很大发展并不断应用于物理学、生物学、数学和经济学等研究领域.在经济学领域主要应用于寡头垄断行为(Cyert 和 De Groot, 1970)、市场营销(陈荣、余亮等,2000)、股市模拟(Wei Yiming 等,2003)等,应尚军等(2000)对此进行了综述.Meagher 和 Rogers(1997)构建一个二维 CA 模型研究国际技术溢出,旨在指出新增长理论关于技术外溢的全局扩散假定和实证表明的局部扩散结果之间的联系和差异,研究表明两者不仅仅是规模大小的问题,还有内在机理的差异;并且技术扩散的强度对总的技术创新具有非线性作用,而内部研发对技术创新只有线性效应,祝树金,赖明勇(2005)通过建立 CA 模型,研究研发的双重效应对技术创新扩散的作用.本文基于国际技术局部扩散的微观机制,采用 Von Neumann 邻域建立二维 CA 模型,重点分析企业内部研发(吸收能力)对长期技术外溢、企业创新的关键作用.研究表明,若撇开内部研发,长期的技术外溢不会发生,整个经济的创新率下降至 0,从而证实企业吸收能力对长期技术扩散和企业创新起着不可忽略的作用;并且对于一定强度的技术外溢,存在吸收能力的临界值,只有企业的内部研发投入处在这个临界值以上,长期的技术扩散才会发生.本文的研究从演化经济学的角度为企业的吸收能力在国际技术扩散中的重要性提供了直观的解释.

## 2 理论模型

### 2.1 元胞自动机

从结构上看,元胞自动机由元胞空间、元胞、元胞状态集、邻居和演化规则组成,可用以下四元组表示为

$$CA = (d, C, N, F). \tag{1}$$

CA 为一个元胞自动机;  $d$  代表元胞空间( $d$  指空间维数),它是一种离散的空间网格集合,现有研究主要集中在二维情形,二维元胞空间通常有三角形、正方形或六边形三种网格排列,为了便于计算机实现和仿真,经常借助仿射变换为正方形网格处理;元胞是元胞自动机的基本单元,分布在元胞空间的网格点上,是演化模型中的模拟对象; $C$  表示元胞的状态空间,是一个有限的状态集,严格说来元胞只有一个状态变量,但在实际应用中扩展到多个状态变量,Wei Yiming 等(2003)使用二维状态变量来描述股民的投资行为和偏好; $N$  表示一个元胞的邻域:对中心元胞下一时刻的状态值产生影响的元胞集合.在一维元胞自动机中通常以半径  $r$  来确定邻居:距离中心元胞在  $r$  之内的元胞被认为是中心元胞的邻居;二维元胞自动机的邻居定义相对复杂一些,但常用的主要是 Von Neumann 型和 Moore 型(如图 1)两种形式.

$F$  是元胞的状态转换函数,它表示了一个中心元胞的邻居状态到中心元胞下一时刻状态的局部演化规则,它取决于元胞邻居的定义、状态等,较简单的规则有总和规则(totalistic rules)、可加规则(additive rules)、压迫规则(forcing rules)和可逆规则(reversible rules),特别是总和规则,它规定每个元胞的状态,只与其邻域元胞状态之和有关,Wolfram 证明,总和规则描述的自动机展现所有元胞自动机可能表现的动态行为,而这些行为可以用类似于连续动态系统中的吸引子来表示,他将所有元胞自动机的动力学行为归纳为平稳型、周期型、混沌型和复杂型四大类.

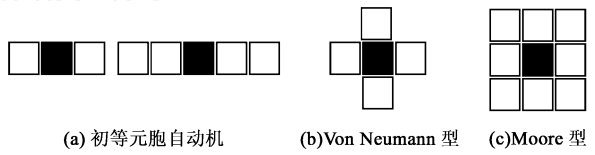


图 1 一维、二维元胞自动机的邻居形式

在应用 CA 模型研究经济管理问题时,就在于通过对具体宏观经济现象的微观机制的分析,构建出可行的元胞空间、邻居形式,定义相应的元胞状态集和演化规则,即可进行仿真研究,模拟系统的宏观演化;再进一步分析仿真结果,把握经济系统的复杂性和内在演化规律.与一般的数理模型比较,CA 模型能够使用简单的局部规则,把系统的动态演化过程直观地展现出来,从而把静态模型和动态演化、原因和结果联系起来.

### 2.2 基于元胞自动机的国际技术扩散模型

经济系统中所有的企业组成了一个网络系统,用一个  $n \times n$  的正方形元胞空间来表示,正方形网格中每一个网格或元胞表示一个国家或企业,元胞之间距离不一定表示地理距离,可以理解为技术差距,或代表对其他企业知识、技术的可获得性程度.网格中邻居形式选取 Von Neumann 型.元胞的状态集  $C = \{0, 1\}$ ,  $c = 0$  表示企业没有创新,  $c = 1$  表示企业存在创新.进一步假定企业的创新是一个离散的过程,即存在一个临界值  $1$ ,只有每个企业的知识存量  $K > 1$  时,企业才可能创新,并且认为研发是一个无记忆过程,上一时刻的知识积累或创新对下一时期的创新不起作用.

新增长理论认为,技术进步主要有两种来源,一种是企业的内部研发,一种是向其他企业模仿、学习,即技术外溢.网络中每一个企业均可能经历创新外溢,应该注意到,这种创新外溢不是对已有创新的完全拷贝,而是通过内部研发,综合所有扩散企业的创新产生一个新思想,这反映了 Weitzman(1996)的增长源于对不同思想的整合的观点,Mokeyr(1990)也强调在技术进步中对不同技术进行重构的重要性.并且假定这种外溢作用仅在企业存在一个有意义的、可观察到的创新时方能产生.所以企业  $t$  时刻的创新取决于企业  $t$  时的研发投入  $K_R(t)$  和  $t$  时技术外溢的作用  $K_S(t)$ ,即

$$K(t) = K_R(t) + K_S(t). \tag{2}$$

根据 Meagher 和 Rogers(1997),假定企业内部研发  $K_R(t)$ ,服从  $[0, r]$  上的均匀分布,从而  $t$  时企业创造

本质上,采用 Moore 型邻居形式不会改变本文的结果,但对于说明文中的结论不如采用 Von Neumann 型所得到的仿真图形直观明了. Weitzman(1996, p. 209) 也认为,新思想本质上是对已存在的、事先还没有互相组合的各种思想的成功整合和重构.

的平均知识为  $r/2$ ,因此  $r$  反映了企业的内部研发效率,称为企业的吸收能力系数;另一方面中心企业由于技术外溢所获得知识总量定义为:

$$K_s(t) = \phi(t) \sum_{k=1}^N I_k(t-1). \tag{3}$$

$\phi(t)$  表示企业所观察到的邻居的知识总量对于该企业创新有效的比例,服从  $[0, s]$  上的均匀分布  $(0 < s < 1)$ ,  $s$  表示了技术扩散的强度,称为技术外溢系数.  $s$  的经济含义非常直观:  $s$  越大,意味着所有邻居企业  $t-1$  时刻的技术外溢对于中心企业  $t$  时创新的平均有效性越高.  $N$  表示中心企业的邻居企业,  $I_k(t-1)$  表示中心企业的邻域中第  $k$  个元胞  $t-1$  时刻的状态,其值可能为 1 或 0.

另外采用技术创新率来反应技术扩散的程度,它等于采用创新的企业数占全部潜在采用者总数的比例来衡量.

### 3 国际技术扩散的仿真分析与讨论

基于以上建立的国际技术扩散模型,可以通过模拟来考察创新外溢的时间路径.考虑到计算机仿真的速度,选取  $n=50$  进行;同时技术创新的初始状态、演化规则等均可能对技术扩散产生影响,在模拟当中区别这些不同情形.

#### 3.1 不存在内部研发投入( $r=0$ )时国际技术扩散模拟

在这种条件下重点考虑企业不存在吸收能力时,技术扩散的状态和演化规律.初始状态包括随机型和对称的确定型(图2).在随机型情形下,初始的创新率为 50%,创新企业和非创新企业随机分布(图2.2);对称的确定型假定初始时技术创新仅发生发达国家(北方),发展中国家(南方)没有创新,致力于模仿北方已有的先进技术(图2.1).图中黑色表示创新企业,白色表示非创新企业.从图3中技术扩散的演化曲线可以看到,不论国际技术扩散的初始状态如何,没有吸收能力存在时,即使技术外溢系数为 1,也就是说企业所观察到的邻居的知识总量对于该企业的创新是全部有效的,长期的技术扩散也很难发生;随着时间的发展,技术创新率最终会趋近于 0.

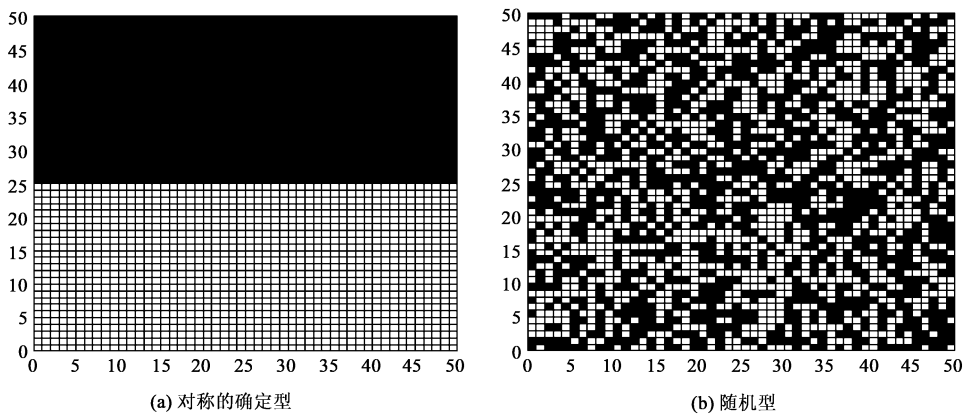


图2 国际技术扩散仿真的初始状态

#### 3.2 企业存在一定程度的吸收能力( $r > 0$ )时国际技术扩散模拟

通过大量仿真研究,结果表明当企业在某个技术领域具备一定的吸收能力时,长期的技术扩散可能发生,整个经济系统的技术创新率会得到提高.但对于固定的技术外溢系数,存在吸收能力的临界值:当企业的吸收能力低于该临界值时,即使技术外溢系数等于 1,技术创新率的均衡值仍然会随时间降低到最低水平.例如实验表明当技术外溢系数为 1 时,吸收能力的临界值大约是 0.45,当吸收能力系数低于 0.45,不存在技术扩散.图4 例举了  $s=1, r=0.4$  时不同初始状态和初始创新率条件下,技术扩散的演化规律.当吸

Olfsson(1998)认为东道国的人力资本存量、研发投入、经济开放度、政府政策等共同决定吸收能力的大小.本文模型中使用企业的研发效率来衡量吸收能力,事实上,研发效率是前述因素综合作用的结果,在这种意义上比较接近于实证文献中所描述的吸收能力.

收能力强度大于该临界值时,存在技术外溢,整个经济系统内企业的技术创新率上升到某一长期均衡水平值,随着时间的演化,然后在这个均衡值附近产生一个持续的周期性波动,演化的时间序列很明显地展现了这种均值回复所引起的不平稳增长——经济周期;并且在随机型初始状态条件下,可以看到经济系统的“起飞”:技术创新率迅速上升到长期均衡水平.图 5 给出了吸收能力系数等于 0.5 时的不同初始状态的技术扩散曲线,直观地呈现了以上这些性质.

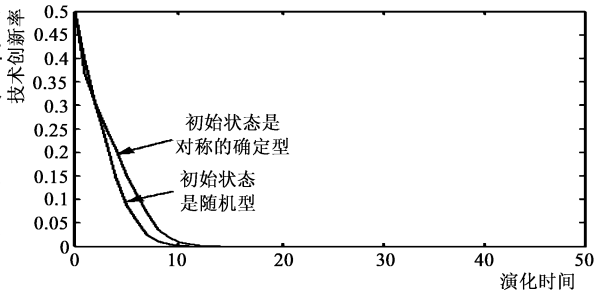


图 3  $r=0$  时不同初始状态下技术扩散的演化曲线

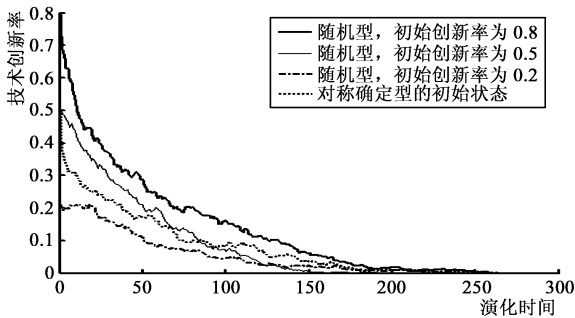


图 4 不同初始状态下技术扩散的演化曲线  
( $s=1, r=0.4$ )

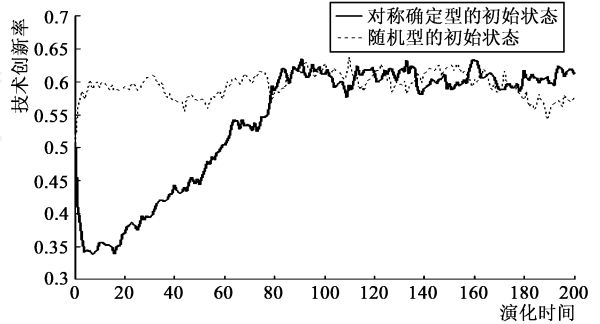


图 5 不同初始状态下技术扩散的演化曲线  
( $s=1, r=0.5$ )

同时,针对不同的外溢系数和吸收能力系数组合,本文都进行了计算机仿真.图 6 综合绘出了在随机型的初始状态条件下长期技术扩散的终态.由于模拟速度的限制,这里  $n=20$ ,演化时间步长为 50,技术扩散率取最终 10 次运行的技术扩散率的平均值.图 6 明显表明对于不同的技术外溢系数,吸收能力的临界值效应.另一方面,图 6 也体现技术外溢和内部研发投入对于技术创新的非线性作用.本文的仿真结果与 Meagher 和 Rogers(1997)略有差异:后者研究表明技术外溢引起企业创新的非线性效应,但内部研发水平的提高,也就是企业吸收能力的提高对经济系统的平均创新仅具有线性作用.实际上,研发投入对一个国家或者企业技术进步往往具有双重效应:研发作用不仅在于直接带来了新技术成果,同时增强了企业、本国对外来技术的模仿、学习,即提高对已有知识总量的利用水平(Cohen 和 Levinthal, 1990).因此,内部研发效率或者吸收能力系数的提高,势必对经济系统的创新水平产生复杂的非线性效应,本文的仿真结果证实这种效应.

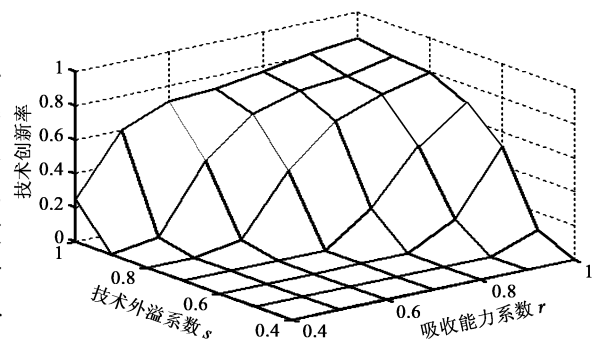


图 6 不同参数组合下技术外溢的终态

#### 4 结论及政策建议

新增长理论表明技术进步是影响一国经济长期增长的关键因素,技术进步来源于自主创新和技術外溢,部分实证研究表明,技术外溢对于企业创新起主要作用,而另一些研究则主张技术外溢作用远远不及本国研发(Haksar, 1995),技术扩散的程度很大部分取决于企业的内部研发投入,即吸收能力.国际技术扩散涉及技术、经济、信息交流以及企业行为等各方面的因素,包括企业间的正负反馈作用和博弈行为,本质上是一个复杂的非线性系统.本文通过建立一个元胞自动机模型模拟企业的吸收能力对长期的技术扩散和创新的主要作用,试图对研究这类企业网络系统提供了一种新的理论工具.

通过仿真研究,本文主要获得两个方面的结论.一方面,仿真结果表明企业的吸收能力为 0 时,长期的技术扩散不会发生,均衡状态的技术创新率趋近于 0,从而说明企业内部的吸收能力对于企业创新乃至整

个经济系统的技术扩散起到不可忽视的作用.这与一些实证文献的研究结果是一致的.另一方面,对于不同的技术外溢系数存在吸收能力的临界值,当企业的内部研发水平高于这个临界值时,经济系统的技术创新率最终趋于一个长期的均衡水平,并在该水平值附近产生持续的周期性波动,而对于演化时间序列的这种均值回复性质有待进一步的研究.与 Meagher 和 Rogers(1997)不同的是,本文不仅表明技术扩散对于创新的非线性作用,而且体现吸收能力的提高对于经济系统的创新同样具有复杂的非线性效应.

本文研究对于各国制定促进经济发展和技术进步等方面的相关政策具有重要的启示.从长期来看一国产业国际竞争力和创新水平的提高必须以本国的自主研发能力为基础,它不仅直接推动技术创新和进步,同时也决定该国能够在多大程度上消化、吸收外溢技术.实证研究已经证明国内所具有的人力资源丰裕程度、内部研发投入等是决定对技术外溢的吸收程度的主要因素,所以要加强对于技术外溢的吸收能力,应加大教育投资,注重人力资本积累,尤其是研发人员培养,以缩小目前国内企业与外资企业的技术差距.特别是中国目前主要是通过吸引大规模的外商直接投资来引进世界前沿技术,如何充分利用技术外溢效应来提高本国技术进步是今后引资政策的调整重点.现阶段我国人力资本存量仍然处于相对较低的初始水平,并且多年来在技术引进方面投入有余,用于消化、吸收的投入却严重不足,只为前者的 1/3,与日本、韩国等国的情况刚好相反.因此完善我国创新体系、提高国内企业的吸收能力、加强自主研发能力的培育,尤其是支持对技术含量高的技术密集型产业的研发投入,才能利用外资企业的技术外溢效应带动本国技术进步的关键所在.

#### 参考文献:

- [ 1 ] Arrow K. The economic consequences of learning by doing[J]. *Review of Economic Studies*, 1962, 80: 155 - 173.
- [ 2 ] Romer P. Increasing returns and long run growth[J]. *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5): 1002 - 1037.
- [ 3 ] Lucas R E. On the mechanics of economic development[J]. *Journal of Monetary Economics*, 1988, 22: 3 - 42.
- [ 4 ] Coe D T, Helpman E. International R&D spillovers[J]. *European Economic Review*, 1995, 39: 859 - 887.
- [ 5 ] Keller W. Geographic localization of international technology diffusion[J]. *American Economic Review*, 2001, 92: 120 - 142.
- [ 6 ] Eaton B, Kortum S. International patenting and technology diffusion: Theory and measurement[J]. *International Economic Review*, 1999, 40: 537 - 570.
- [ 7 ] Nadiri I U S. Direct Investment and the Production Structure of the Manufacturing Sector in France, Germany, Japan and the UK [R] Mimeograph. New York: New York University, 1991.
- [ 8 ] Imbriani C, Reganati F. International efficiency spillovers into the Italian manufacturing sector English summary[J]. *Economic Internazionale*, 1997, 50: 583 - 595.
- [ 9 ] Kokko A. Technology, market characteristics, and spillovers[J]. *Journal of Development Economics*, 1994, 43: 279 - 293.
- [ 10 ] Haksar, Vikram. Externalities, growth and technology transfer: application to the Indian manufacturing sector[R]. 1975 - 90, Washington, DC: International Monetary Fund, Mimeo, 1995.
- [ 11 ] Aitken B, Harrison A. Do domestic firms benefit from direct foreign investment, evidence from Venezuela[J]. *American Economic Review*, 1999, 89(3): 605 - 618.
- [ 12 ] 赖明勇,包群.关于技术外溢与吸收能力的研究综述[J]. *经济动态*, 2003, 9: 75 - 79.  
Lai Mingyong, Bao Qun. A review on technology spillover and absorptive ability[J]. *Economic Perspective*, 2003, 9: 75 - 79.
- [ 13 ] Cohen W, Levinthal D. Innovation and learning: The two faces of R&D[J]. *Economic Journal*, 1989, 99: 569 - 596.
- [ 14 ] Xu B. Multinational enterprises, technology diffusion, and host country, productivity growth [J]. *Journal of Development Economics*, 2000, 62: 477 - 493.
- [ 15 ] Grittith R, Redding S, Van Reenen J. R&D and absorptive capacity: From theory to data [R]. mimeo, London School of Economics, 2000, November.
- [ 16 ] Cyert R, Degroot M. Multiperiod decision models with alternating choice as a solution to the duopoly problem[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1970, 84(3): 410 - 429.
- [ 17 ] 陈荣,余亮,何宜柱.元胞自动机模拟在市场营销中的应用[J]. *预测*, 2000, (2): 58 - 61.  
Chen Rong, Yu Liang, He Yizhu. Application of cellular automata simulation in market sales[J]. *Forecast*, 2000, (2): 58 - 61.

(下转第 80 页)

们对田口式测量质量工程学与传统 MSA 的比较分析中可以看到,传统的测量系统分析(MSA)方法的理论基础是统计质量控制(SPC),其主要任务是确定测量系统的性能.田口测量工程学用损失函数描述测量质量,不仅能使决策者认识到是顾客满意、偏好和期望决定了质量损失,而且其独特的方法可以更好地分析和完善测量系统能力,有利于促使工程技术人员从技术和经济两个方面分析改进测量系统的设计与制造过程.我们认为田口测量质量工程学与传统 MSA 存在互补关系.田口测量质量工程学没有对测量系统稳定受控分析及合格与否的评定内容,而传统 MSA 对测量系统的经济性则关注不够.结合 MSA 分析,在测量系统研究中推行田口式测量工程学可以有效促进我国计量检测领域的质量管理水平.

#### 参考文献:

- [1] 蒋鸿章. 2000 版 ISO9000 族质量管理体系国际标准应用指南[M]. 北京:国防工业出版社,2001.  
Jiang Hongzhang. Appliance Guidance of ISO9000/2000 Quality Management System. International Standards[M]. Beijing:Defence Industry Press,2001.
- [2] Ford G M, Chrysler. Measurement System Analysis Reference Manual[M]. AIAG Detroit Michigan,1990.
- [3] Grubbs F E. On estimating precision of measuring instruments and product variability[J]. Journal of the American Statistical Association,1998,43.
- [4] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京:机械工业出版社,2000.5.  
Fei Yetai. Error Theory and Data Processing[M]. Beijing:China Machine Press,2000.5.
- [5] 韩之俊,靳京民. 测量质量工程学[M]. 中国计量出版社,2000.  
Han Zhijun, Jin Jingmin. Calibration Quality Engineering[M]. Measurement Press, China, 2000.
- [6] 韩之俊,章渭基. 质量工程学——线内、线外质量管理[M]. 北京:科学出版社,1991.  
Han Zhijun, Zhang Weiji. Quality Engineering - On-Line, Off-Line Quality Management[M]. Beijing:Science Press,1991.
- [7] Taguchi G, Wu Y. Introduction to Off-line Quality Control[M]. Central Japan Quality Control Association,1979.

---

#### (上接第 68 页)

- [18] 应尚军,魏一鸣,蔡嗣经. 元胞自动机及其在经济学中的应用[J]. 中国管理科学,2000,8:272-278.  
Ying Shangjun, Wei Yiming, Cai Cijing. On cellular automata and its applications to economics[J]. China Journal of Management Science, 2002, 8: 272 - 278.
- [19] Wei Yiming, Ying Shangjun, Fan Ying, Wang Binghong. The cellular automaton model of investment behavior in the stock market [J]. Physica A, 2003, 325: 507 - 516.
- [20] Meagher K, Rogers M. Networks, spillovers and models of economics growth, mimeo, The Australian Econometric Society Meetings, 1997.
- [21] 祝树金,赖明勇. 研发的双重效应和技术创新:基于自动机模型的演化分析[J]. 系统工程理论方法应用,2005,14(5):467-472.  
Zhu Shujin, Lai Mingyong. Dual role of R&D and technology innovation: Evolutionary analysis based on cellular automata model [J]. Systems Engineering Theory, Methodology, Applications, 2005, 14(5): 467 - 472.
- [22] Mokyr J. The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress[M]. Oxford: Oxford University Press, 1990.
- [23] Weitzman M. Hybridizing growth theory[J]. American Economic Review, Papers and Proceedings, 1996, 86(2): 207 - 212.