

# 高技术产业技术投入和生产率 增长之间关系的研究

王 玲 Adam Szirmai\*

**摘 要** 本研究通过一个基于内生增长理论的生产函数模型分析了中国高技术产业行业部门水平上各类技术投入和生产率变动之间的关系。文章使用永续盘存法估算了资本存量和 R&D 存量,估计了 R&D 存量和其他知识存量的产出弹性系数,结果显示,当考虑各类技术投入的单独作用时,R&D 与国内购入技术的作用比较显著,而当考虑各类技术的交互影响时,R&D 与从国外引进技术的合作对生产率的作用非常显著,反映了它们之间的互补关系,即 R&D 具有提高进口技术吸收能力的作用。

**关键词** 技术投入, 生产率, R&D

## 一、引 言

中国高技术产业<sup>1</sup>在制造业乃至整个国民经济中起着越来越重要的作用,根据国家统计局和科技部(2005)和国家统计局(1995—2005)的资料,2004年,高技术产业的增加值是6341亿元人民币,1998到2004年,高技术产业增加值占制造业增加值的比重从8.1%增加到10.9%,占GDP的比重从2.1%增加到4.0%。另一方面,中国高技术产业出口业绩更为显著,1995到2002年,高技术产业出口占全部出口份额已从9%增加到22.8%,高技术产业的增加值增长率和出口增长率均超过同期国民经济增长率及其出口增长率,显示出强劲的增长势头和外向型特点。<sup>2</sup>

但是与工业化国家相比,中国高技术占制造业的比重还是偏低。2003年,中国高技术产业增加值占制造业增加值的比重是10.5%,同期美国的比重为18.6%,日本的比重为16.8%,韩国的比重为23.6%(国家统计局和科技部,2005)。从增加值率(单位产值的增加值)看,2004年,中国高技术产业

\* 王玲,中国社会科学院世界经济与政治研究所;Adam Szirmai,荷兰 Eindhoven University of Technology。通信作者及地址:王玲,北京建国门内大街5号中国社会科学院世界经济与政治研究所,100732;E-mail:wangling\_126@126.com。作者感谢荷兰皇家科学院(Royal Dutch Academy Of Sciences)赞助第一作者2002/2003年在 ECIS 访问半年做本研究,第二作者感谢2005年在耶鲁大学经济增长中心访问获得的收益,感谢匿名审稿人有益的建议。文责自负。

<sup>1</sup> 中国高技术产业的定义与 OECD 的标准相同,包括5类行业,详见附表2注。

<sup>2</sup> 有关更多的中国高技术产业的统计描述可以参考 Wang and Szirmai(2003)。

的增加值率为 22.8%，低于同期中国制造业的增加值率 29.3%，而 2003 年美国和日本高技术产业的增加值率分别为 43.1% 和 38.7%（国家统计局网站，2007），这显示出中国高技术产业在生产效率上的落后<sup>3</sup>。中国高技术产业的持续增长已成为对其进一步发展来说非常重要的问题，而持续的增长必须依赖于生产率水平的提高。

高技术产业的发展对全部制造业乃至整个国民经济的发展均有重要影响，今天，传统外生的技术进步理论已被强调技术进步内生、创新和规模经济等特征的新增长理论替代。Cornwall (1977) 提出了这种思想，倡导技术进步内生模型，同时指出制造业对国民经济起着非常关键的作用。Fagerberg and Verspagen (1999) 等的研究证实制造业对一些快速发展的新工业化经济体和其他发展中国家起着决定性的作用。他们进一步发现，一些高技术行业（特别是电子行业）中的技术是许多服务性行业增长的重要源头。所以，研究技术投入与高技术产业生产率增长的关系对于整体经济的发展也具有重要的意义。

对于生产率提高和技术进步内生性问题的讨论，研究和开发 (R&D) 自然成为关注的焦点，20 世纪 80 年代中后期兴起的新经济增长理论打破了新古典增长理论中的一些假说，提出技术进步内生等假说，其中以 Romer (1990) 为起点的基于 R&D 的内生增长理论成为新经济增长理论中最重要的内容。对于 R&D 与生产率关系的实证研究比理论研究更早，它最初由 Kendrick、Abramovitz 等提议，许多人做了这方面的实证研究，由于所采用的方法、数据来源和样本大小等诸多不同而导致结论差异较大，但多数研究显示 R&D 对生产率变动的作用是显著的，详细文献综述可参考 Griliches (2000) 和 Congress of the United States (2005)。但是也有研究显示 R&D 的作用在统计上根本不显著，这让人们对 R&D 提高生产率的作用又产生怀疑，如 Nadiri and Kim (1996) 的研究显示，R&D 对美国和日本的生产率增长有积极的效应，而对韩国却没有影响。

与有形资本不同，R&D 支出形成的知识存量具有两个显著的特征：即非竞争性 (nonrival) 和部分非排他性 (partially nonexcludable)，这决定了 R&D 投资容易发生“溢出效应”，即本公司从事 R&D 活动的成果可能惠及其他没有涉及知识创造过程的公司里，当然它本身也可能受惠于本行业其他公司的知识创造成果或整体经济上所有的知识创造成果。由于知识这个特殊性质，技术进步的渠道一般有自主创新和模仿两类。模仿可以通过商业性的技术购买或者吸收 FDI 技术溢出等方式获得转移技术，对于技术落后国家，模仿往往是技术进步非常重要的渠道。对于自主创新与技术转移，如果它们

<sup>3</sup> 从经济学理论看，增加值率也反映经济发展到一定水平后的专业化水平等，就目前中国高技术产业发展的现状，这个指标只是效率低下的体现。

相互独立,对生产率提高的作用是相似的,那么它们之间存在一定的替代关系,如果它们之间相互合作对生产率的提高存在积极效应,那么它们之间存在一定的互补关系,即R&D具有增强吸收外部技术的能力。实际中有众多关于R&D“两面性”的研究,如Cohen and Levinthal (1989)提出了R&D不仅具有创新的功能,同时有增加企业吸收能力和增加技术转移效率的功能。

在已有研究R&D与生产率相互关系的文献中,大部分是针对发达国家,针对发展中国家的研究相对较少。对于中国生产率增长的实证研究,多从经济改革和经济自由化方向入手,从R&D方面的研究相对较少,其中Jefferson and Hu (2004)利用总量生产函数从企业层面对北京市国有工业企业进行了R&D收益率的估计,发现在1991—1997年间,R&D收益率在1.21—1.07之间;Jefferson *et al.* (2006)对中国大中型制造业企业使用递进的三个方程,即从R&D决策过程、知识生产过程和创新过程对公司绩效的影响三个方面考察了全部创新过程对经济业绩的影响,认为创新对中国制造业增长作用显著,R&D收益率至少是固定资产收益率的3—4倍;吴延兵 (2006)利用2002年中国工业企业普查数据估计R&D的产出弹性系数约为0.04。本研究从行业部门层面上着力研究中国高技术产业技术投入与生产率变动之间的关系,考虑到中国高技术产业技术来源渠道的不同,分别考察直接R&D支出获得的技术、从国外购买的技术和从国内购买的技术对生产率作用的不同以及它们相互作用的结果,考察判断R&D在行业范围内是否存在“两面性”。全文安排如下:第二部分是文献综述和本文模型选择,第三部分是数据,第四部是生产函数模型拟合的结果和分析;最后是结论。

## 二、R&D与生产率关系研究的文献综述和模型选择

尽管对于经济增长的认识流派众多,很少有一致的认识,但技术进步通过创新过程对经济增长的启动、加速和持续性的关键作用已被广为接受,内生技术进步理论对于经济增长和发展具有的深层次贡献(Mokyr, 2005)。研究技术进步和创新与增长的关系,R&D自然是关注的焦点,以下分别从R&D与增长研究的理论和实证两个方面进行文献综述,同时选择适合本研究的模型。

### (一) 基于R&D的内生增长理论模型的发展

以Robert Solow为代表的新古典经济增长理论认为技术进步是经济增长最重要的源泉,但技术进步是外生的(Solow, 1957),20世纪80年代中后期,以Romer (1986)和Lucas (1988)为代表的新增长理论打破传统理论中技术进步外生性假设,认为经济增长是由经济系统内生地决定,提出技术进步内生、外部性和资本边际收益递增等假说,对于技术进步内生性的探讨,

Romer (1986) 和 Lucas (1988) 的模型分别借助于有形资本和人力资本进行研究, 而 Romer (1990) 开发了直接基于 R&D 的内生增长模型, 认为技术进步体现在中间产品的增加上, 它是由受市场利益驱动的私人机构专门的 R&D 投资所形成。Romer (1990) 成为后来一系列基于 R&D 的技术进步内生化的模型的基础, 被称为推动了继 Romer (1986) 和 Lucas (1988) 之后新增长理论的“第二次浪潮”(Helpman, 2004)。从创新的渠道上看, 技术进步内生化的模型可分三类, 即水平创新模型、垂直创新模型和包括水平和垂直创新共同特征的模型, 水平创新指增长由中间投入品数量增加所驱动, 其模型又称为中间产品增加的 R&D 模型, 垂直创新指增长由中间投入品质量提高所导致, 其模型又称为产品质量改进的 R&D 模型, 而第三类模型既包含产品种类增加, 也包含产品质量变化。

区别于新古典增长模型, 基于 R&D 的内生增长模型基于三个假设: (1) 经济增长由技术进步和资本积累所驱动; (2) 技术进步是私人机构根据市场激励采取专门行为的结果; (3) 技术知识是非竞争性投入 (Romer, 1990)。在以上假设基础上, Romer (1990) 把经济体分为住户、最终产品生产部门、耐用品生产部门和研究部门四个部分, 住户部门最优消费路径满足凯恩斯-拉姆齐规则 (Keynes-Ramsey rule, KRR), 最终产出部门在充分竞争环境下按照劳动节约型 Cobb-Douglas 技术生产, 耐用品生产部门购买“蓝本” (blueprint) 进行生产, R&D 部门生产体现在蓝本上有经济价值的新思想, 在满足劳动市场均衡和资本市场均衡的条件下, 沿着均衡的增长路径 (BGP), 在分散经济条件下 (the decentralized economy), 长期经济增长显示出规模效应, 而在社会计划生产条件下 (the social planner's solution), 长期经济增长速度大于分散经济条件下的增长速度 (Chiang, 1992), 即分散经济条件下有较低的经济增长率。Romer (1990) 认为, 由于市场经济两个固有的不完备性, 一是 R&D 技术存在知识溢出, 二是大部分耐用品生产公司意识到通过卖出新的资本品可获得垄断收益, 但仍然不能占有全部消费者剩余, 社会从创新中获得的收益超过垄断者私人获得的收益, 因此, R&D 存在明显的投资不足。这个结论与经验研究中 R&D 私人收益率与社会收益率的差距是一致的, 如 Griliches (1991) 认为 R&D 社会收益率为 40%—60%, 大大超过私人收益率。

对于 Romer (1990) 基于 R&D 的内生技术增长模型, Jones (1995a, 1995b) 认为其规模收益的假设在经验中是有问题的, 他使用五个工业国的时间序列数据研究显示, 科学家和工程师的数量自二战后一直快速上升, 甚至科学家和工程师占全部就业人数的比率整体上也在上升, 然而同期人均 GDP 的增长和全要素生产率 (TFP) 的增长相对平稳, 或者说至少没有上升, 这与上述以 R&D 为基础的内生增长模型是不相符的, 因此, Jones (1995a,

1995b) 排除了 Romer (1990) 模型中的规模效应, 并开发了基于 R&D 的半内生增长模型, 认为增长一方面是由内生的, 由市场激励下私人机构的专门 R&D 行为决定, 另一方面某种程度上存在外生性, 长期增长率与劳动力增长率呈比率。

Romer (1990) 和 Jones (1995a, 1995b) 的增长模型只考虑了单一的 R&D 过程, Acemoglu (1998, 2002) 和 Gancia and Zilibotti (2005) 等进行了扩展, 它们开发了具有两部门、两生产要素和两类 R&D 过程的模型, 研究了技术变动的方向, 模型能够较好地理解一个经济体内部的工资差异, 较好地解释发达国家为什么熟练劳动力一直增加而其工资还一直增加的经济现象。在 Romer (1990) 的基础上, Acemoglu and Zilibotti (2001) 利用水平创新模型解释了工业化国家与不发达国家之间持续的收入差距, 认为不发达国家之所以不发达是由于使用了“不合适的技术” (inappropriate technologies)。Rivera-Batiz and Romer (1991) 开发了国际联系下的长期经济增长模型, 认为国际经济联系通过两个渠道推动长期经济增长, 一是规模效应, 二是生产要素再配置, 贸易和流动的知识对增长有重要的影响。

以 Aghion and Howitt (1992, 1998) 为代表的垂直创新模型认为技术进步体现在现存物品质量的改进或生产过程的改进上, 这类研究思想起源于熊彼特“创造性毁坏”的概念, 认为 R&D 投资提高了创新的概率, 改进了中间品的质量, 中间品生产者具有价格制定力, 但当新创新来临时, 原有的创新就变得毫无价值, 即使其专利被无限期保护。Aghion and Howitt (1992, 1998) 模型的结论除了规模收益外, 也认为市场竞争度的加强会减少 R&D 投资, 并由此阻碍增长, 这个结论与经验研究的许多发现并不相符, 也不能够解释大公司是各行业的主要创新者, 为此, Aghion and Howitt (2005) 考虑了异质性公司的模型, 并较好地解释了这个问题。

Young (1998) 提出了既包含中间品数量增加也包含质量改进的内生增长模型, 在它的模型中, 产品质量的均衡增长率就是真实消费的增长率, 它没有显示出规模收益, Young (1998) 与 Jones (1995a, 1995b) 的不同在于, 尽管没有规模收益, 模型允许没有人口增长下的长期增长, 这表示长期增长一般不受 R&D 津贴等公共政策的影响。Aghion, Howitt and Mayer-Foulkes (2005) 通过对 Young (1998) 的扩展, 提出了金融发展与基于 R&D 的内生增长之间关系的模型, 发现受信贷约束的经济体 (穷国) 比发达经济体增长要慢, 证实了经济增长率依赖金融深化的程度。

以上分三类模型综述了以 R&D 为基础内生增长理论模型的发展, 从这些模型设计上可以看出, 微观层面上公司的 R&D 动机对于理解宏观经济长期增长非常重要, 以 R&D 为基础的内生增长模型对于我们理解国家间收入差距扩大、国际贸易与增长、一个经济体内部收入差异等均有重要的价值。尽管如此, 对于 R&D 为基础的内生增长模型, 许多问题还远远没有解决, 如市场环

境、宏观波动、收入分配、人力资本存量和知识产权保护等方面对增长的长期影响以及它们内生性的一些问题等, 这些均是基于 R&D 的技术进步内生模型在当下研究的热点 (Grossman and Steger, 2007), 也是内生技术增长模型进一步发展的趋势。

## (二) 关于 R&D 与生产率关系的实证研究综述

研究 R&D 与生产率之间的关系一般利用生产函数或成本函数的方法, 由于二者在一定条件下可以互相推导, 所以本质上没有什么区别。利用生产函数方法即把 R&D 存量当作另外一种形式的资本, 也就是和物质资本投入和劳动投入一样的生产投入要素放在总量生产函数中, R&D 存量即过去 R&D 支出累积形成的知识存量 (knowledge stock), 加入了 R&D 存量的生产函数模型可表述为:

$$Y_{it} = A e^{\lambda t} K_{it}^{\alpha} L_{it}^{\beta} R_{it}^{\gamma} e^{\epsilon_{it}}, \quad (1)$$

其中  $Y$  是产出,  $K$  和  $L$  是有形资本投入和劳动投入,  $R$  是 R&D 存量投入。  $A$  是常数,  $\lambda$  是非体现型的“外生的”技术进步, 假定它随时间变化而系统变化。  $\alpha$  是产出对资本投入的弹性系数,  $\beta$  是产出对劳动投入的弹性系数,  $\gamma$  是产出对 R&D 存量投入的弹性系数。

对 (1) 两边取对数可得到 (2) 式:

$$y_{it} = a + \lambda t + \alpha k_{it} + \beta l_{it} + \gamma r_{it} + \epsilon_{it}, \quad (2)$$

其中,  $y = \text{Log}(Y)$ ,  $k = \text{Log}(K)$ ,  $l = \text{Log}(L)$ ,  $r = \text{Log}(R)$ ,  $a$  为常数项,  $\epsilon_{it}$  为误差项。

有众多的研究从企业、行业或经济总体水平上估计生产函数模型 (2), 由于使用的数据不同、估计方法不同或使用样本的差异等估计结果差异较大, 一般利用截面数据估计的  $\gamma$  显著大于时间序列数据估计的结果。在行业或部门水平上, R&D 产出弹性系数一般在 0.05—0.6 之间, 如 Mansfield (1988) 利用截面数据, 发现 17 个日本制造业的 R&D 产出弹性系数为 0.42, Sveikauskas and Sveikauskas (1982) 发现美国 1959—1969 年 144 个制造行业 R&D 产出弹性系数为 0.22—0.16; 利用时间序列数据, Griliches and Lichtenberg (1984) 发现 1959—1976 年 27 个美国制造业的 R&D 产出弹性系数为 0.04。

对于方程 (2) 进行差分可得:

$$d \log(Y) = \lambda + \alpha d \log(K) + \beta d \log(L) + \gamma d \log(R),$$

而

$$\gamma d \log(R) = \gamma d(R)/R = \gamma [d(R)/Y] (Y/R) = \gamma (Y/R) [d(R)/Y]$$

$$= \rho(E/Y) \quad (\text{记 } \rho = \gamma(Y/R), E = d(R)).$$

这样以上生产函数可写为:

$$d\log(Y) = \lambda + \alpha d\log(K) + \beta d\log(L) + \rho(E/Y), \quad (3)$$

其中,  $d\log(X) = dX/X$ , 即变量  $X$  的增长率;  $E$  为 R&D 存量的增加, 即 R&D 投入减去 R&D 折旧, 以当年实际 R&D 投入来计算  $E$ , 即假设 R&D 没有折旧, R&D 存量的增加就是 R&D 当年投入值。这样利用方程 (3) 就可以考察 R&D 投入强度 ( $E/Y$ ) 与生产率变动的关系, 利用  $\rho$  就可以看出对 R&D 资本投资的收益率 (Griliches, 2000)。

许多研究利用方程 (3) 估计了公司或行业水平上的 R&D 收益率, 同样估计的结果差异很大, 在不显著到 0.6 的范围。Griliches and Lichtenberg (1984) 使用 1959—1978 年美国 193 个制造业行业的数据发现, R&D 投入收益率在 0.04—0.3 之间, Griliches (1994) 发现 1958—1989 年 142 个美国制造业的 R&D 投入收益率在 0.12 和 0.46 之间, Goto and Suzuki (1989) 发现日本制造业的 R&D 投入收益率在 0.26 左右。

### (三) 实证研究的模型选择

模型 (2) 与模型 (3) 各自有自己的优势, 由于与有形资本存量相比, 知识资本存量最明显的特点是其折旧率更高, 而模型 (3) 假设了 R&D 存量没有折旧, 所以本文选择使用模型 (2) 作为实证研究的基础, 与通常使用的经验假设类似, 这里假设资本、劳动和知识存量投入存在规模收益不变的假设 (Basant and Fikkert, 1996)。目前的中国高技术产业技术来源主要有三个渠道, 即除了 R&D 外, 也有部分来源于国外技术购买和国内技术购买, 为了分析这些不同源头技术的效率, 这里把技术引进形成的知识存量和国内购买技术形成的知识存量与 R&D 存量一样放进生产函数。在考虑各类技术投入单独作用时, 模型设定为:

$$y_{it} = a + \lambda t + \alpha k_{it} + \gamma_1 r_{it} + \gamma_2 pfl_{it} + \gamma_3 pdl_{it} + \epsilon_{it}, \quad (4)$$

其中,  $x_l = \log(X/L)$ ,  $pfl = \log(PF/L)$ ,  $PF$  是从国外技术购买形成的知识存量,  $pdl = \log(PD/L)$ ,  $PD$  是国内技术购买形成的知识存量。这样,  $\gamma_1$  表示 R&D 知识存量的产出弹性系数,  $\gamma_2$  表示从国外购买知识存量的产出弹性系数,  $\gamma_3$  表示从国内购买知识存量的产出弹性系数。

在实际中, 各类技术往往相互作用, 为了反映各类技术间的交叉作用, 这里同时把三类知识存量中的两两乘积作为被解释变量放入方程:

$$y_{it} = a + \lambda t + \alpha k_{it} + \gamma_1 r_{it} + \gamma_2 pfl_{it} + \gamma_3 pdl_{it} + \gamma_{12} r_{it} \times pfl_{it} + \gamma_{13} r_{it} \times pdl_{it} + \gamma_{23} pfl_{it} \times pdl_{it} + \epsilon_{it}, \quad (5)$$

其中,  $\gamma_{12}$  表示自主研发技术和国外购进技术交互作用对产出或生产率的影响,  $\gamma_{13}$  表示自主研发技术和国内购进技术交互作用的影响,  $\gamma_{23}$  表示国外购进技术与国内购进技术交互作用的影响。

### 三、资本存量、R&D 存量的估算和其他数据

利用生产函数估计 R&D 存量产出弹性系数, 首先必须利用 R&D 支出估计其存量, 另外由于目前中国官方公布的资本存量相关数据只有固定资本净值和原值, 它们与国际标准使用的永续盘存法 (PIM) 有一定的差异, 所以这里对中国高技术产业资本存量按照 PIM 思路进行估计。

#### (一) 中国高技术产业 R&D 存量的估算

R&D 存量是某一时点上所拥有的知识存量, 它通过过去的 R&D 支出形成, 与有形资本类似, 一般人们使用永续盘存法 (The Perpetual Inventory Method, PIM) 估计, 这种方法被 Goto and Suzuki (1989)、Griliches and Mairesse (1984)、Griliches (2000) 和 Coe and Helpman (1995) 等研究中被使用。在 Griliches (2000) 和 Goto and Suzuki (1989) 等中, 本期 R&D 存量的变化依赖于上期 R&D 存量和 R&D 投入, 以下面公式表示:

$$R_t = \sum_{i=1}^n \mu_i E_{t-i} + (1 - \delta) R_{t-1}, \quad (6)$$

其中  $R_t$  是第  $t$  期的 R&D 存量,  $\mu$  是滞后算子, 它把过去的 R&D 支出  $E_{t-i}$  与目前知识存量的增量联系在一起,  $\delta$  是 R&D 存量的折旧率。  $\mu$  某种程度上是分布滞后的, 由于很难获得其特定的滞后结构, 一般简单使用平均滞后结构  $\theta$ , 即假定第  $t-\theta$  期 R&D 支出形成了第  $t$  期 R&D 存量的增量, 这样以上方程可以写成:

$$R_t = E_{t-\theta} + (1 - \delta) R_{t-1}. \quad (7)$$

本文效仿 Coe and Helpman (1995), 假定  $R$  的增长率等于  $E$  的增长率, 也假定滞后期  $\theta$  为 1 年, 这样基期 R&D 存量  $R_0$  和  $t$  期 R&D 存量  $R_t$  可分别可以写成:

$$R_0 = E_0 / (g + \delta), \quad (8)$$

$$R_t = E_{t-1} + (1 - \delta) R_{t-1}, \quad (9)$$

其中,  $g$  是  $E$  的增长率。

本文基于以上公式和假设进行中国高技术产业 R&D 存量的估算, 首先构建 R&D 价格指数把名义 R&D 支出缩减为真实 R&D 支出, 对于 R&D 价格指数的构建, 文献中有很多种方法, 如 Jaffe (1972) 将 R&D 支出价格指数



表示为非金融企业中工资价格指数和 GNP 隐含指数的加权平均值, Coe and Helpman (1995) 表示为隐含的企业产出价格指数和平均企业工资指数的加权平均值, 朱平芳和徐伟民 (2003) 将 R&D 支出价格指数设定为消费者价格指数和固定资产投资价格指数的加权平均值, 其中消费价格指数的权重为 0.55, 固定资产投资价格指数的权重为 0.45, 本文在前期研究成果的基础上设定 R&D 价格指数 (PR) 为:

$$PR = 0.5 \times P + 0.5 \times W, \quad (10)$$

其中  $P$  是固定资产投资价格指数,  $W$  为消费者价格指数 (CPI),  $PR$  的这种定义表示 R&D 支出一半是劳动成本, 另一半是由机器、设备和原材料, 平均的权重根据国家统计局和科技部 (2003—2005) 各年科技活动经费内部支出中“劳务费”和“仪器设备费”的平均比重基本相同的结果获得。

对于 R&D 存量折旧率的计算, 文献中一般有三种方法: 一是根据经验直接设定为 15%; 二是通过计算专利净收益的方法, 即计算各期收益贴现值总和与专利更新费用的差额; 三是假定折旧率是专利生产寿命跨度 (“life span”) 的反函数。这里效仿 Griliches (2000) 等众多的研究, 假定折旧率  $\delta$  为 15%。Goto and Suzuki (1989) 使用专利生产使用寿命估计 R&D 存量的折旧率, 发现通信设备和运输设备 (包括航空器) 的折旧率为 14.5%, 非常接近 15% 的折旧率。这里效仿 Griliches (1980) 中  $g$  的计算方法, 即  $g$  为 1995—2002 年 R&D 支出增长率对数的年平均值, 利用公式 (8)、(9) 和 (10), 我们通过 R&D 支出计算了中国高技术产业总体和各分行业部门 1996 年价格的 R&D 存量。

使用同样的 PIM 方法, 本文估算了以 1996 年价格表示的通过国外技术购买获得的知识存量和通过国内技术购买获得的知识存量, 它们与 R&D 存量计算的唯一差异在于用 GDP 缩减指数替代了 R&D 价格指数, GDP 缩减指数根据国家统计局 (2005) 的 GDP 现价和不变价指数计算获得。

## (二) 中国高技术产业资本存量的估算

为了获得进入生产函数的资本投入, 这里进行资本存量的核算。对于资本存量的核算, 联合国 1993 年 SNA 建议使用永续盘存法 (PIM), 目前这个方法被 OECD 大部分国家采用, 但是目前中国官方没有公布利用 PIM 计算的资本存量数据, 只公布固定资本原值和固定资本净值两项指标, 固定资本原值是按照当年价格计的固定资产投资的资本品价值总和, 固定资本净值是固定资本原值减去折旧, 这个折旧是公司财务会计的概念, 与 PIM 中的折旧不同, 所以本文根据现有的关于资本方面的数据依据 PIM 思路估计中国高技术产业的资本存量。

按照 OECD (1996), 标准或传统资本存量的算法需要以下资料: (1) 起

初的资本存量(基准存量);(2)如果没有基准存量,需要全部固定资本形成数据,包括役龄最长的投资品当年固定资本形成数;(3)资产价格指数;(4)不同资产的平均寿命(或服务年限);(5)不同年份资产的相对效率递减模式和退役模式(retired pattern)。所以用PIM计算的资本存量是所有过去以不变价计量的资本形成的加权和,以公式表示为:

$$K_t = \sum_{r=0}^T \delta_r I_{t-r}, \quad (11)$$

$$K_t = (1 - \delta)K_{t-1} + I_t,$$

其中,  $K_t$  是当期资本存量,  $I_{t-r}$  是第  $t$  期为基准的  $r$  年前以不变价表示的投资数。 $\delta$  指重置率,包含着生存率和相对效率的含义,如果资产的服务效率是几何方式下降的,重置率才等于折旧率,这也是实际中常采用几何方式折旧模式的原因。

利用以上PIM的思路和公式,本文首先利用递增的资本产出比率方法(ICORs)计算1996年基准期固定资本存量,这个方法被Timmer(1999)等人在缺乏相应数据的情况下计算一些发展中国家资本存量时使用。该方法的经济学理论是,如果资本处于充分利用状态,资本存量的增量与产出的增量之比将近似等于平均的资本存量产出之比,以固定资本原值的增量作为固定资本存量的增量。考虑到中国高技术产业的快速发展,我们假定中国高技术产业处于资本完全利用状态。为了避免大的波动,我们使用1997—2002年间6年ICORs的平均值,以此估计1996年中国高技术产业各行业的现价资本存量。然后利用黄永峰(2002)制造业建筑和设备现价资本存量的比率<sup>4</sup>,把1996年中国高技术产业的固定资本存量分为两部分:建筑和设备。

计算资本存量的第二步是利用中国高技术产业固定资本原值数据,计算本期与上期的固定资产原值的差额,这个差额为固定资产净投资(NI),即本期投资减去报废值,假定高技术产业投资的设备和建筑比率与全部经济的设备和建筑投资比率相同,利用《中国统计年鉴》1995—2005年各年固定资产投资建筑和设备比值把这些净投资分为建筑和设备两部分,再利用建筑和设备两类固定资产投资价格指数进行缩减,获得1996年不变价的建筑和设备固定资产投资净值。两类固定资产投资价格指数来源于《中国统计年鉴》。

第三步是利用公式  $K_t = (1 - \delta) K_{t-1} + NI$  计算1996—2004年按照1996年不变价的中国高技术产业各行业部门固定资本存量。其中,折旧率使用了Wu

<sup>4</sup> 按照黄永峰等(2002)的估计,按照1985年价格,1995年中国制造业建筑资本存量为3044亿元,设备资本存量为2564亿元,我们通过建筑和设备固定资产投资价格指数把它们换算成为1996年价格,计算建筑资本存量和设备资本存量的比率为4.37:1。把这个比重用来拆分1996年高技术产业资本存量基于以下假设:(1)中国高技术产业资本存量的设备和建筑比重和全部制造业设备和建筑比重相同;(2)1995年的制造业设备和建筑资本存量的比重与1996年相同。

and Xu (2002) 计算的工业品折旧率, 即建筑类年折旧率均为 2.44%, 设备类折旧稍有不同, 医药制造业设备年折旧率为 8.11%, 电子和通信设备制造业设备年折旧为 9.45%, 其他设备类年折旧率均为 8.99%。关于资本存量估计的文献综述及本文计算资本存量更详细的说明可参考 Wang and Szirmai (2005)。

### (三) 数据

原始数据除特别说明全部来源于国家统计局和科技部(2003—2005)中国高技术产业的总体及行业部门数据。产出用增加值表示, 用 1996 年价格为基准的 GDP 缩减指数缩减为 1996 年不变价, GDP 缩减指数根据国家统计局(2005)的现价 GDP 和不变价 GDP 指数计算获得。按照 OECD (2001), 进入生产函数的资本投入应该使用资本服务流量, 这里假定资本服务与存量成比率, 使用以上 PIM 思路计算的 1996 年不变价资本存量。标准的劳动投入应该利用劳动时间投入, 这里由于缺乏资料, 只利用就业人数表示。为了避免重复计算, 以各行业全部就业人数减去从事 R&D 的全职人数计算。R&D 存量  $R$ , 从国外购买的知识存量  $PF$  和从国内购买的知识存量  $PD$  根据以上 PIM 方法计算获得, 并以 1996 年不变价格表示。全部样本包括 1996—2004 年中国高技术产业 5 个行业范围内 21 个行业部门的面板数据, 由于部分部门缺乏“国内购买技术支出”数据, 样本为非均衡的面板数据, 数据基本统计特征见表 1。

表 1 中国高技术产业数据基本统计描述(1996—2004)

	Y	K	R	PF	PD
水平值(2004, 亿元)	5 961.14	5 361.09	663.44	337.47	30.41
增长率, %	21.45	20.36	25.73	9.25	4.40
	Y/L(千元)	K/L(千元)	$E_1/Y(\%)$	$E_2/Y(\%)$	$E_3/Y(\%)$
水平值(2004)	103.71	93.27	4.90	1.88	0.14
增长率, %	18.26	17.15	9.86	5.85	4.90

说明:  $R$  是自主研究和开发(R&D)获得的知识存量,  $PF$  是从国外购买的知识存量,  $PD$  是从国内购买的知识存量;  $Y/L$  指劳动生产率,  $K/L$  是人均资本存量,  $E_1$  是 R&D 支出,  $E_2$  是从国外进口技术的支出,  $E_3$  是从国内购买技术的支出, 它们占增加值  $Y$  的比重根据当年价计算。

资料来源: 国家统计局和科技部(2003—2005)。

从表 1 中可见, 2004 年, 按照 1996 年价格, 中国高技术产业增加值为 5 961.14 亿元, 资本存量为 5 361.09 亿元, R&D 存量为 663.44 亿元, 行业总体上资本存量与 R&D 存量的比值为 8.08, 劳动生产率为人均 10.37 万元, 人均资本存量为 9.33 万元。按照现价计算, 2004 年, 中国高技术产业的 R&D 强度, 即 R&D 支出占增加值的比重为 4.90%, 远远高于同期全部经济 1.23% 的 R&D 强度(国家统计局网站, 2007), 国外购买的技术支出占增加值的比重为 1.88%, 从国内购买的技术支出占增加值的比重为 0.14%。

从增长率上看, 1996—2004 年, 中国高技术产业增加值和资本存量的年增长率分别为 21.45% 和 20.36%, 各类技术投入中, R&D 存量的年平均增长

率为 25.73%，国外购入的知识存量和国内购入的知识存量各增长 9.25% 和 4.4%，可见 R&D 存量增长率最高。劳动生产率的年增长率为 18.26%，超出了人均资本年均 17.15% 的增长率。从相对份额上说，R&D 支出占增加值份额的增长率也超过国内和国外购入技术份额的增长率。

#### 四、模型拟合的结果与分析

本文使用静态的面板数据估计技术估计方程 (4) 和 (5)，分加入时间  $t$  和不加入时间  $t$  两种情况估计。因为使用面板数据，有三种模型可供选择，即 OLS 模型、固定效应 (Fixed Effects, FE) 模型和随机效应 (Random Effects, RE) 模型。利用  $F$  检验识别使用 OLS 模型还是 FE 模型，再利用 LM 检验 (Lagrangian multiplier test) 识别使用 OLS 模型还是 RE 模型，最后用 Hausman 检验使用 RE 模型还是 FE 模型。全部过程用 Stata 8 完成。Hausman 检验大部分都估计支持 FE 模型，由于 RE 模型某种程度上比 FE 模型更有效，其结果也列在表中，全部样本的估计结果见表 2。

表 2 生产函数的估计(行业部门水平上)  
(括号内的是  $t$  值, 1996—2004)

被解释 变量:yl	Without $t$				With $t$			
	FE 模型 (1)	RE 模型 (2)	FE 模型 (3)	RE 模型 (4)	FE 模型 (5)	RE 模型 (6)	FE 模型 (7)	RE 模型 (8)
kl	0.375*** (7.25)	0.436*** (8.76)	0.373*** (7.11)	0.431*** (8.54)	0.275*** (5.10)	0.327*** (6.87)	0.246*** (4.81)	0.314*** (6.50)
rl	0.340*** (7.78)	0.317*** (7.48)	0.349*** (3.33)	0.380*** (3.63)	0.127*** (2.41)	0.139*** (2.93)	0.150 (1.52)	0.174* (1.77)
pfl	0.018 (0.46)	0.007 (0.17)	0.046 (0.35)	-0.01 (-0.09)	-0.036 (-0.96)	-0.035 (-0.96)	0.116 (0.98)	0.104 (0.89)
pdl	0.132*** (3.60)	0.078** (2.33)	0.138 (1.77)	0.085 (1.14)	0.084*** (2.47)	0.057* (1.83)	0.102 (1.46)	0.062 (0.92)
rl×pfl	—	—	0.005 (0.23)	0.005 (0.22)	—	—	0.030 (1.39)	0.031 (1.41)
rl×pdl	—	—	-0.001 (-0.04)	0.009 (0.40)	—	—	-0.008 (-0.41)	-0.008 (-0.39)
pfl×pdl	—	—	0.002 (0.13)	-0.006 (-0.48)	—	—	0.010 (0.81)	0.007 (0.56)
$t$	—	—	—	—	0.104*** (2.47)	0.096*** (6.37)	0.111*** (6.36)	0.101 (6.55)
Hausman 值	13.9	—	55.06	—	122.37	—	43	—
$N$	189	189	189	189	189	189	189	189
$R^2$	0.48	0.56	0.48	0.56	0.56	0.62	0.56	0.63

注: 标记“\*\*\*、\*\*、\*”分别表示显著性水平是 1%、5%、10%。 $N$  为样本量。

说明: 全部样本包括高技术产业 5 个行业中 3 位码与 4 位码水平上的 21 个部门行业, 5 个行业为医药制造业、航空航天器制造业、电子及通信设备制造业、电子计算机及办公设备制造和医疗设备业及仪器仪表制造业。

资料来源: 国家统计局和科技部(2003—2005)。

从表2中可见,利用1996—2004年中国高技术产业21个行业部门水平上的面板数据估计发现,当单独考虑各类知识存量对产出的贡献时,在不加入或加入时间 $t$ 变量的情况下,即在不考虑或考虑外生技术进步的情况下,Hausman检验都支持FE模型,第(1)列和第(5)列显示,R&D与国内购进知识存量具有显著的收益,虽然在考虑 $t$ 的情况下各项系数都显著下降,而国外购买知识存量对产出的贡献整体上是显著的。在考虑外生技术进步的情况下,R&D存量产出弹性系数为0.127,国内购买知识存量的产出弹性系数为0.084,说明在各类技术投入中,自主研发对中国高技术产业技术进步和生产率提高的作用是绝对领先的,这个结果与吴延兵(2006)利用2002年中国经济普查4位码水平上的高技术产业数据获得的0.20系数相比偏低,差异主要原因在于数据类型的不同,文献中一般截面水平上的R&D产出弹性系数相对会更高。

利用总体样本在考虑各类知识存量的交互作用时,Hausman检验仍然支持FE模型,从表2第(3)列和第(7)列显示,R&D与国内购进知识存量仍然具有显著的收益,而国外购买知识存量收益不显著。在考虑外生技术进步的情况下,各类技术投入的系数有所下降,显著性也在降低,R&D与国内购入技术之间或国内外购入技术之间的联合作用对生产率提高的影响都不显著,而R&D与国外购入知识存量乘积的系数(0.03)有一定的显著性,这反映国内自主研发活动与国外购入技术具有一定的互补而不是替代关系,当它们相互合作的时候,对生产率的贡献是积极显著的,R&D具有增强对国外购入技术吸收能力的作用,它使得购入技术更为有效。

为了考察各类技术投入对生产率贡献的趋势,这里把样本分为1996—1999年和2000—2004年两个子样本,回归结果见表3。Hausman检验仍然支持FE模型。在单独考虑各类技术投入的作用时,第(1)列和第(4)列的结果显示,R&D和国内购入知识存量的生产率效果没有明显趋势,而国外购入知识存量系数的大小和显著性都有所下降,说明进口技术的直接生产率效应在下降。进一步考虑各类技术投入的相互作用,比较第(2)列和第(5)列的结果发现,进口知识存量系数的显著性明显下降,而R&D和国外购入知识存量之间相互作用对生产率的影响从相对不显著到非常显著,2000—2004年,R&D存量与购入技术存量乘积的产出弹性为0.072,几乎为总体样本系数(0.03)的2.4倍,这反映一个重要的信息:中国高技术产业R&D在增强国外购入技术的吸收能力上作用越来越显著,而R&D存量和国内购入知识存量以及国内外购入知识存量交互作用的产出弹性系数都不显著。

利用行业部门水平上估计结果,可以计算1996—2004年中国高技术产业的R&D平均收益率(returns of R&D),即模型(3)中的 $\rho$ 。考虑到与一般文献的可比性,这里用0.127乘以高技术产业增加值与R&D存量的比值,得到中国高技术产业行业平均R&D投入收益率为1.45,这个结果与Jefferson

表3 生产函数的估计(分区间)(括号内的是  $t$  值)

被解释变量: $yl$	1996—1999年			2000—2004年		
	FE 模型(1)	FE 模型(2)	RE 模型(3)	FE 模型(4)	FE 模型(5)	RE 模型(6)
kl	0.163 (1.62)	0.171 (1.58)	0.652*** (7.70)	0.251*** (4.00)	0.203*** (3.33)	0.200*** (3.21)
rl	0.112 (1.18)	0.369 (1.58)	0.294 (1.18)	-0.059 (-0.56)	0.138 (1.47)	0.541*** (2.37)
pfl	0.105 (1.37)	0.424** (1.93)	0.096 (0.47)	0.096 (0.47)	0.438 (1.38)	0.202 (0.93)
pdl	-0.0001 (-0.00)	0.044 (0.47)	0.156 (1.46)	-0.057 (-1.23)	0.067 (0.70)	-0.012 (-0.09)
rl×pfl	—	0.009 (1.51)	0.019 (0.40)	—	0.072** (2.34)	0.089** (2.14)
rl×pdl	—	-0.005 (-0.17)	0.023 (0.69)	—	-0.006 (-0.17)	0.029 (0.708)
pfl×pdl	—	0.012 (0.71)	0.014 (0.85)	—	0.012 (0.346)	-0.028 (-0.979)
$t$	0.120*** (2.79)	0.110*** (2.41)	0.080* (2.25)	0.090*** (3.25)	0.086*** (2.44)	0.052*** (2.23)
Hausman 值	111.35	106.84	—	35.94	69.8	—
$N$	84	84	84	105	105	105
$R^2$	0.26	0.24	0.75	0.31	0.95	0.65

注:同表2。

(2004)对北京市的国有工业企业 1.21—1.07 的收益率相比偏高,说明中国高技术产业 R&D 投入存在相对高的收益。利用与计算 R&D 收益率类似的方法计算资本存量边际收益率,我们在表 4 的结果中发现,1997—2004 年,中国制造业的资本存量年平均边际收益率为 0.29, R&D 存量的收益率是资本存量收益率的 5.10 倍,与 Jefferson (2006) 发现中国大中型制造业企业 R&D 的收益率至少是固定资产收益率的 3—4 倍的结论基本接近。可见,尽管中国高技术产业的 R&D 存量产出弹性与一般发达国家经验研究的发现相比水平不是很高,但由于中国高技术产业的 R&D 投入水平低, R&D 存量相对产出的比率也很低,使得中国高技术产业的 R&D 收益率较高。

表4 中国高技术产业各年收益率(1997—2004)

	Y/R	Y/K	R&D 收益率	资本收益率
1997	11.801	0.951	1.499	0.262
1998	12.466	0.993	1.583	0.273
1999	12.493	1.034	1.587	0.284
2000	12.244	1.098	1.555	0.302
2001	12.971	1.262	1.647	0.347
2002	10.662	1.040	1.354	0.286
2003	9.495	0.809	1.206	0.222
2004	9.546	1.194	1.212	0.328
平均值	11.460	1.048	1.455	0.288

注:根据表1和表2估计结果计算。Y/R 为增加值除以 R&D 存量值, Y/K 为增加值除以资本存量值, R&D 收益率  $DY/DR=0.127 \times Y/R$ , 资本收益率  $DY/DK=0.275 \times Y/K$ 。

资料来源:国家统计局和科技部(2003—2005)。

## 五、结 论

本研究利用了1996—2004年中国高技术产业21个行业部门水平上的面板数据研究了各类技术投入和生产率增长之间的关系,当单独考虑各类技术投入的增长效应时,R&D与国内购入技术的效果是显著的,而国外购入技术效果并不显著,R&D存量产出弹性系数为0.127,国内购入知识存量的产出弹性系数为0.084,各类估计结果都显示R&D对中国高技术产业生产率提高的推动作用最为显著。当考虑各类技术投入交互作用的时候发现,R&D与进口技术相互合作对生产率提高的作用相对较显著,这说明中国高技术产业进口技术与自主研发之间存在互补性,R&D具有提高吸收进口技术能力的作用,利用分阶段数据研究显示,这个作用有随时间扩大的趋势。

本研究的结论具有一定的政策含义,对于后发国家的技术选择,许多观点认为应该根据比较优势原则,中国目前应该倡导生产性投资而不是R&D投资,中国的技术进步应该走模仿学习的道路而不要提倡R&D,但本研究认为,中国高技术产业R&D投入对技术进步的促进作用非常显著,R&D投资收益率大大超过资本收益率,R&D与技术引进或模仿并不矛盾,它们之间具有一定的互补关系,R&D加大外部技术转移的吸收能力越来越强,所以尽管后发经济在技术落后状况下离不开模仿学习,但仍然必须加大自身R&D投入的力度。另一方面,发展中国家在购买外国技术时,往往会担心会对本国自主R&D存在“挤出”效应,如印度对购买技术的限制(Deoalikar and Even-son, 1989),本研究结论显示,国外技术转移对中国的技术进步也起着非常重要的作用,它与R&D没有替代关系,但发挥其技术转移的效率需要一定的技术吸收能力,所以必须在具备一定吸收能力的前提下加大技术引进的投入力度。基于R&D的内生增长理论和实证研究显示,由于知识存在外部性和部分非排他性,在市场经济条件下,企业扩大技术投入需要一定的政策环境,如果缺乏一定的知识产权保护体系,创新企业得不到相应的补偿,企业就会放弃R&D投入,所以应该加大知识产权保护力度,对于某些行业,R&D投入私人收益率和社会收益率总有差异,政府应该就其差额给予一定的补贴。当然,创新还需要其他方面的系统环境,如充分竞争的市场条件、完备的风险保障体系和发达金融系统支持等。

本文作为内生增长理论背景下的实证研究,估计了中国高技术产业技术投入与生产率变动关系,相对众多复杂精致的R&D研究和当前的政策需要来说,本文只是基础性工作,可以开拓的研究有:(1)关于溢出问题的研究,Coe and Helpman (1995)的研究表明,国际贸易往往是技术进步的重要来源,大量研究通过投入产出表测度包含R&D的资本投入或其他投入对本国技术进步的溢出效应,在数据许可的情况下,能够完成这些研究对中国技术进

步的快速提高具有非常重要的意义。(2)关于 R&D 收益率的计算,由于资料的约束,本文对于 R&D 存量的计算非常简单,实际上需要对专利生产和使用寿命、知识折旧率和折旧方式等许多方面进行细致研究,计算相对准确的 R&D 社会收益率和私人收益率,对于政府补贴或优惠政策的制定很有帮助。(3)对于 R&D 投入过程的系统研究,目前大部分研究都认为中国 R&D 对生产率提高的作用是显著的,但 R&D 投入明显不足,在市场机制条件下,如果 R&D 的收益率高,应该有大量的投入涌现,显然存在一定的硬性约束,可能是资金、制度或其他方面,需要一定的实证研究分析中国 R&D 投入内生生化过程中的障碍,这种分析对中国技术进步内生化的促进作用是显然的。

本研究缺陷有许多,在资本存量和各类知识存量的计算上都存在大量的估算,资本投入存在重复计算的情况,因为 R&D 投入中包括一部分设备投入,由于资料限制使得结果不可避免地存在一定的偏差。另外,模型估计时中也存在常见的缺失变量以及自变量和因变量之间联立性问题,尽管利用面板数据一定程度上克服了这些问题,但还是没有根本解决。估计 R&D 对生产率增长的贡献是非常困难的工作,正如 Griliches (2000) 所提出的,知识资本总是和有形资本和人力资本相互作用,很难分开估计各自对产出或生产率提高的贡献,经验研究一般低估了 R&D 的贡献,对于中国高技术产业 R&D 对生产率的贡献还需要进一步细致的研究工作。

## 参 考 文 献

- [1] Acemoglu, D., and F. Zilibotti, "Productivity Differences", *Quarterly Journal of Economics*, 2001, 116(2), 563—606.
- [2] Acemoglu, D., "Why Do New Technologies Complement Skills? Directed Technical Change and Wage Inequality", *Quarterly Journal of Economics*, 1998, 113(4), 1055—1090.
- [3] Acemoglu, D., "Directed Technical Change", *Review of Economic Studies*, 2002, 69(4), 781—809.
- [4] Aghion, P., and P. Howitt, "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, 1992, 60(2), 323—351.
- [5] Aghion, P., and P. Howitt, *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998.
- [6] Aghion, P. and Howitt, P., "Growth with Quality-improving Innovations: An Integrated Framework", in Aghion, P., and S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland, 2005.
- [7] Aghion, P., P. Howitt, and D. Mayer-Foulkes, "The Effect of Financial Development on Convergence: Theory and Evidence", *Quarterly Journal of Economics*, 2005, 120(1), 173—222.
- [8] Chiang, A., *Elements of Dynamic Optimization*. New York: McGraw-Hill, 1992.



- [9] Basant, R. , and B. Fikkert, “The Effects of R&D, Foreign Technology Purchase, and International and Domestic Spillovers on Productivity in Indian Firms”, *Review of Economics and Statistics*, 1996, 8(2), 197—199.
- [10] Coe, S. , and M. Helpman, “International R&D Spillovers”, *European Economic Review*, 1995, 39(5), 859—887.
- [11] Cohen, W. , and D. Levinthal, “Innovation and Learning: The Two Faces of R&D”, *Economic Journal*, 1989, 99(397), 569—596.
- [12] Cornwall, J. , *Modern Capitalism: Its Growth and Transformation*. London: Martin Robertson, 1977.
- [13] Congress of the United States, Congressional Budget Office, “R&D and Productivity Growth”, <http://www.cbo.gov/ftpdocs/64xx/doc6482/06-17-R-D.pdf>, 2005.
- [14] Deolikar A. , and R. Evenson, “Technology Production and Technology Purchase in Indian Industry: An Econometric Analysis”, *Review of Economics and Statistics*, 1989, 71(4), 689—692.
- [15] Fagerberg, J. , and B. Verspagen, “Modern Capitalism in the 1970s and 1980s”, in Setterfield, M. (ed.), *Growth, Employment and Inflation*. London: Macmillan, 1999, 113—126.
- [16] Gancia, G. , and F. Zilibotti, “Horizontal Innovation in the Theory of Growth and Development”, in Aghion, P. and S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland, 2005.
- [17] Goto, A. , and K. Suzuki , “R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries”, *Review of Economics and Statistics*, 1989, 71 (4), 555—564.
- [18] Griliches, Z. , and F. Lichtenberg, “R&D and Productivity Growth at the Industry Level: Is There Still A Relationship?” in Griliches, Z. (ed.), *R&D and Productivity*. Chicago: University of Chicago Press, 1984, 465—501.
- [19] Griliches, Z. and J. Mairesse, “Productivity and R&D at Firm Level”, in Griliches, Z. (ed.), *R&D and Productivity*. Chicago: University of Chicago Press, 1984, 339—375.
- [20] Griliches, Z. , “The Search for R&D Spill-overs”, *Scandinavian Journal of Economics*, 1991, 94 (1), 29—47.
- [21] Griliches, Z. , “Explanations of Productivity Growth: Is the Glass Half Empty?” *American Economic Review*, 1994, 84(1), 1—25.
- [22] Griliches, Z. , *R&D, Education, and Productivity*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 2000.
- [23] Griliches, Z. , “Returns to Research and Development Expenditure in the Private Sector”, in Kendrick, J. , and B. Vaccara (eds.), *New Developments in Productivity Measurement*. Chicago: Chicago University Press, 1980, 419—454.
- [24] Grossman, V. , and T. Steger, “Growth, Development, and Technological Change”, CESifo Working Paper No. 1913, 2007.

- [25] Hall, H., and J. Mairesse, "Exploring the Relationship between R&D and Productivity in French Manufacturing Firms", *Journal of Economics*, 1995, 65(1), 263—293.
- [26] Helpman, E., *The Mystery of Economic Growth*. Cambridge, Massachusetts and London England: The Belknap Press of Harvard University Press, 2004.
- [27] 黄永峰、任若恩、刘晓生, "中国制造业资本存量永续盘存法估计", 《经济学(季刊)》, 2002年第1卷第2期, 第377—395页。
- [28] Jaffe, S., *A Price Index For Deflation of Academic R&D Expenditure*. Washington, D. C., The National Science Foundation 72—310, 1972.
- [29] Jones, C., "R&D-based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 1995a, 103(4), 759—784.
- [30] Jones, C., "Time Series Tests of Endogenous Growth Models", *Quarterly Journal of Economics*, 1995b, 110(2), 495—525.
- [31] Jefferson, G., and A. Hu, "Returns to Research and Development in Chinese Industry: Evidence from State-owned Enterprises in Beijing", *China Economic Review*, 2004, 15(4), 86—107.
- [32] Jefferson, G., H. Bai, X. Guan, and X. Yu, "R&D Performance in Chinese Industry", *Economics of Innovation and New Technology*, 2006, 15(4—5), 345—366.
- [33] Lucas, R., "On the Mechanics of Development", *Journal of Monetary Economics*, 1988, 22(1), 3—42.
- [34] Mokyr, J., "Long-term economic growth and the history of technology", in Aghion, P. and S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam: North-Holland, 2005.
- [35] Mansfield, E., "Industrial R&D in Japan and the United States: A Comparative Study", *American Economic Review*, 1988, 78(2), 223—228.
- [36] Nadiri, M., and S. Kim, "R&D, Production Structure and Productivity Growth: A Comparison of the US, Japanese, And Korea Manufacturing Sectors", NBER Working Paper, No. 5506, 1996.
- [37] OECD, *Measuring capital, A Manual on the Measurement of Capital Stocks, Consumption of Fixed Capital and Capital Services*. Paris: OECD, 1996.
- [38] OECD, *OECD Productivity Manual: A Guide to the Measurement of Industry-Level and Aggregate Productivity Growth*. Paris: OECD, 2001.
- [39] Basant, R., and B. Fikkert, "The Effects of R&D, Foreign Technology Purchase and Domestic and International Spillovers on Productivity in Indian Firms", *Review of Economics and Statistics*, 1996, 78(2), 187—199.
- [40] Romer, P., "Increasing Returns and Long-run Growth", *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5), 1002—1037.
- [41] Romer, P., "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5), s71—s102.
- [42] Rivera-Batiz, L., and P. Romer, "Economic Integration and Endogenous Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 1991, 106(2), 531—555.

- [43] Solow, R., "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 1957, 39(3), 312—320.
- [44] Sveikauskas, C., and L. Sveikauskas, "Industry Characteristics and Productivity Growth", *South Economic Journal*, 1982, 48(3), 769—774.
- [45] Timmer, M., "The Dynamics of Asian Manufacturing: A comparative Perspective", PhD thesis, Eindhoven University of Technology, 1999.
- [46] Wang, L and A. Szirmai, "Technological Inputs and Productivity Growth in China's High-Tech Industries", ECIS Working Paper, No. 327, 2003, <http://fp.tu.tue.nl/ecis/>.
- [47] Wang, L., and A. Szirmai, "Comparative Analysis of Capital Productivity in China's High-Tech Industries", *China & World Economy*, 2005, 13(2), 93—105.
- [48] Wu, H., and X. Xu, "Measuring the Capital of Stock in Chinese Industry", Paper in IARIW Conference, 2002.
- [49] 吴延兵, "R&D与生产率", 《经济研究》, 2006年第11期, 第60—69页。
- [50] Young, A., "Growth without Scale Effects", *Journal of Political Economy*, 1998, 106(1), 41—63.
- [51] 朱平芳、徐伟民, "政府的科技激励政策对大中型工业企业 R&D 投入及其专利产出的影响", 《经济研究》, 2003年第6期, 第45—53页。
- [52] 中国国家统计局, 《中国统计年鉴》, 1995—2005。北京: 中国统计出版社, 1995—2005年。
- [53] 中国国家统计局和科技部, 《中国高技术产业统计年鉴》, 2003—2005。北京: 中国统计出版社, 2003—2005年。
- [54] 中国国家统计局网站, <http://www.sts.org.cn/KJNEW/maintitle/MainTitle.htm>, 2007年。

## Technological Inputs and Growth in China's High-Tech Industries

LING WANG

(Chinese Academy of Social Science)

ADAM SZIRMAI

(Eindhoven University of Technology)

**Abstract** This paper presents an empirical study of growth and R&D at sectoral level in China's high-tech manufacturing industries. Using a production function based on endogenous growth theory, we calculate the elasticities of output with respect to R&D stocks and other

knowledge stocks. We find R&D and knowledge stock purchased domestically have positive effect on growth, and there is significantly complement relationship between R&D and knowledge stock purchased aboard.

**JEL Classification** A00, C10, C23