

知识生产、创新与研发投入回报

严成樑 周铭山 龚六堂*

摘要 关于现实经济支持哪种类型的知识生产函数一直是一个有争议的问题,知识生产函数的性质不同决定了经济发展特征也可能存在较大差异。基于内生增长理论关于知识生产函数的基本设定,本文首先给出了一个扩张形式的知识生产函数,而后根据1998—2007年我国31个省份的数据,通过面板数据模型考察了我国知识生产函数的性质。研究发现,相对于Romer(1990)类型的知识生产函数而言,我国现实经济更支持Jones(1995)类型的知识生产函数,这说明我国知识生产中不存在规模效应(scale effect)。在此基础上,根据Jones and Williams(1998)的方法,本文进一步估算了我国研发投入的回报率以及最优研发投入规模。研究发现,我国现实经济的研发投入回报率要高于资本投资的回报率,最优研发投入规模比实际研发投入规模更大。

关键词 知识生产, 研发, 创新, 经济增长

一、引言

20世纪80年代中期以来,新增长理论(new growth theory)的兴起极大地丰富和发展了经济增长理论。新增长理论突破了新古典增长理论(neo-classical growth theory)关于技术进步与经济增长外生性的假设,强调技术进步速度和经济增长率取决于经济参与者(包括家庭、企业与政府等)的最优化行为,从而是内生的。根据Romer(1993)、Zeng(1997),我们可以将新增长理论分为资本为基础的增长理论(capital-based growth theory)和研发为基础的增长理论(R&D-based growth theory)。资本为基础的增长理论成长于20世纪80年代中后期,这类增长理论强调物质资本积累、人力资本积累和政府公共资本对技术进步和经济增长的促进作用,代表性的工作有Romer(1986)、Lucas(1988)、Barro(1990)。研发为基础的增长理论成长于

* 严成樑,中央财经大学经济学院;周铭山,北京大学光华管理学院;龚六堂,北京大学光华管理学院。通信作者及地址:严成樑,中央财经大学经济学院,100081;E-mail:yanchengliang@gsm.pku.edu.cn。本文的研究得到了中央财经大学学科建设基金和国家自然科学基金委杰出青年基金项目(70725006)的资助,特此致谢。同时,作者感谢两位匿名审稿人极富教益的评论和修改意见。当然,文责自负。

20世纪90年代初期,这类增长理论强调研发、创新和知识积累对技术进步和经济增长的促进作用,代表性的工作有 Segerstrom *et al.* (1990)、Romer (1990)、Grossman and Helpman (1991)、Aghion and Howitt (1992)。¹

研发为基础的增长理论认为企业通过 R&D 投入可以生产出新知识(新产品、新方法),知识积累形成知识存量,知识存量又推动了技术创新,并进一步引致经济增长。Romer (1990) 认为知识最重要的两个性质是非竞争性(non-rivalrous)和累积性(cumulative),这两个性质是使得知识成为推动技术进步和经济增长的重要因素。非竞争性指同一知识可以同时被不同的经济参与者使用,而不会产生额外的成本;累积性是指知识生产具有正的溢出效应(spillover effect)。²需要说明的是,知识的非竞争性是经济中产生递增规模报酬的重要条件。例如,Romer (1990) 给出了如下形式的总产出函数:

$$Y = F(A, X), \quad (1)$$

其中 Y 表示产出, A 表示知识存量, X 表示竞争性要素投入。根据复制性原理(replication argument),总产出对于竞争性要素满足常数规模报酬,给定 $\theta > 1$,我们有:

$$F(A, \theta X) = \theta Y, \quad (2)$$

当知识存量也按同样的比例增加时,我们可得到递增规模报酬:

$$F(\theta A, \theta X) > \theta Y. \quad (3)$$

累积性突出地表现在知识生产中存在着很强的溢出效应,我们可以通过考察知识生产函数加深对知识累积性的认识。例如,Romer (1990) 和 Jones (1995) 给出了如下的知识生产函数:

$$\dot{A} = \delta L_A^\lambda A^\phi, \quad (4)$$

其中 \dot{A} 表示新生产的知识, A 表示知识存量, L_A 表示 R&D 部门劳动力(包括科学家、工程师)的数量, δ 是除 R&D 人员与知识存量之外,其他作用于知识生产各种因素的综合。

研发推动的创新和知识积累是促进技术进步和经济增长的重要因素,知识生产函数反映了研发投入与产出之间的关系,知识生产函数的性质不同决定了经济增长的特征可能也存在很大差别。学术界两类代表性的知识生产函数分别是 Romer (1990) 类型的知识生产函数和 Jones (1995) 类型的知识生

¹ 国内学者严成樑和龚六堂(2009)较好地综述了这方面的文献研究。

² 也被称为是站在巨人肩膀上的效应(standing on the giants' shoulders effect),详细的讨论见 Jones (1995)。

产函数。³ 值得注意的是, 根据方程(4), 尽管 Romer (1990) 和 Jones (1995) 都假定 R&D 人员和知识存量是知识生产的必要因素, 但两者在参数设定上却存在较大的差异。Romer (1990) 的核心假定是 $\phi=1$, 从而知识增长的速度为 $\gamma_A = \delta L_A^\lambda$, 也即 R&D 部门的劳动力投入越多, 知识积累的速度越快, 经济中存在规模效应 (scale effect)。⁴ Jones (1995) 的核心假定是 $\phi < 1$, 也即随着知识存量的增加, 知识存量的边际生产率越来越低, 知识增长的速度为 $\gamma_A = \delta L_A^\lambda A^{\phi-1}$ 。根据 Jones (1995), 当经济处于平衡增长路径 (balanced growth path) 上时, 知识生产的增长速度为 $\gamma_A = \lambda n / (1 - \phi)$, 其中 n 表示劳动力增长率。知识增长速度与研发投资规模的大小无关, 经济是非规模的 (non-scale)。事实上, Romer (1990) 与 Jones (1995) 的核心区别在于, 知识积累速度与研发投资规模是否一定呈正向关系。

关于现实经济是支持 Romer (1990) 类型还是 Jones (1995) 类型的知识生产函数一直是一个有争议的话题。一些学者通过实证检验考察了现实经济中知识生产函数的性质, 代表性的工作有 Porter and Stern (2000)、Pessoa (2005)、Madsen (2007)。Porter and Stern (2000) 运用 16 个 OECD 国家 1973—1993 年的面板数据, 检验发现不能拒绝这些国家知识生产函数中知识存量对应的指数等于 1 的原假设, 从而认为这些国家的特征事实支持 Romer (1990) 类型的生产函数。Pessoa (2005) 根据 21 个 OECD 国家 1980—2002 年的面板数据, 检验发现这些国家知识生产函数中知识存量对应的指数严格小于 1, 从而支持 Jones (1995) 类型的知识生产函数。Madsen (2007) 根据 21 个 OECD 国家 1965—2004 年的 R&D 投入和专利申请数量数据, 研究发现, 这些国家的知识生产函数对于研发投入满足常数规模报酬, 从而支持 Romer (1990) 类型的知识生产函数。

研发推动的创新和知识积累是促进技术进步和经济增长的重要因素, 与之相关的一个问题是现实经济中研发投资的回报率是多少, 现实经济中研发投资规模是最优的吗? 值得注意的是, 以往的文献主要是从微观角度, 运用行业或是企业数据估算行业或是企业研发投资回报率的, 其中 Nadiri (1993) 较为系统地综述了这方面的文献研究。当然, 由于计量方法、数据选择、解释变量多少等要素的差异, 这些学者得到的结论差别很大。例如, Scherer (1982) 估算的研发投资回报率为 64%—147%, Griliches and Lichtenberg (1984) 估算的研发投资回报率为 11%—62%。基于研发为基础的增长理论, Jones and Williams (1998) 提出了一个估算研发投资回报率与最优研发投资规模的方法, 他们认为美国最优研发投资规模至少是实际研发投资规模的

³ Grossman and Helpman (1991)、Aghion and Howitt (1992) 与 Romer (1990) 的知识生产函数具有相同的性质; Kortum (1997)、 Segerstrom (1998) 与 Jones (1995) 的知识生产函数具有相同的性质。

⁴ 关于从实证角度考察经济中是否存在规模效应的文献研究, 见 Backus *et al.* (1992)、Kremer (1993)。

2—4倍。Jones and Williams (1998) 为我们从宏观角度, 通过经济增长框架考察研发投资的回报率, 进而估算最优研发投资规模提供了一个一般性的分析框架。

现有的文献主要是在研发为基础的增长模型中, 通过参数化 (calibration) 和数值模拟来考察现实经济下的研发投资规模是否为最优的。Jones (1995) 在一个非规模 (non-scale) 经济中研究发现, 在合理的参数区间内, 现实经济中的研发投资规模要比最优的研发投资规模更小; Stokey (1995) 在一个包含垂直创新 (vertical innovation) 的经济中研究发现, 现实经济中研发投资规模与最优的研发投资规模差别不大; Jones and Williams (2000) 的结论是, 现实经济中研发投资要比最优投资规模更小。基于 Jones and Williams (2000) 的框架, Comin (2004) 假设全要素生产率不仅受 R&D 投入的影响, 而且受人力资本等因素的影响, 研究发现, 现实经济中研发投资的规模与最优的研发投资规模差别不大。Reis and Sequeira (2007) 在 Romer (1990) 的框架中内生人力资本积累, 同时考虑到技术进步对人力资本积累的侵蚀效应 (erosion effect), 研究发现, 现实经济中存在研发过度投资的可能性。综上所述, 通过数值模拟的方法考察现实经济中研发投资规模是否为最优时, 运用不同框架以及考虑的因素不同, 相应的结论也差别较大。

基于研发为基础的增长理论, 本文探讨的实际上是一个关于我国创新的问题。值得注意的是, 尽管国外关于创新问题的研究相对已经成熟, 而关于我国创新和研发问题的研究却处于刚刚起步阶段。事实上, 现有的关于我国创新问题的研究大多是从微观角度, 运用产业或企业数据来考察的, 其中 Hu (2001)、Jefferson *et al.* (2006)、周黎安和罗凯 (2005)、吴延兵 (2006) 等作了较为重要的工作。这些研究主要集中在以下几个方面: (1) 分析市场结构等因素对企业 R&D 投入的影响; (2) 考察 R&D 投入对全要素生产率影响; (3) 考察企业规模等因素对创新 (用专利数量或新产品销售额来刻画) 的影响。其中, 吴延兵 (2007) 较好地综述了从微观角度考察我国创新问题的文献研究。

需要说明的是, 相对于从微观视角考察我国创新问题的文献研究而言, 从宏观角度考察我国创新问题的文献更少, 其中 Cheung and Lin (2004)、赖明勇等 (2005)、李平等 (2007) 做了较为重要的工作。Cheung and Lin (2004) 根据我国 30 个省份 (除西藏外) 1995—2000 年的数据, 通过面板数据模型考察了外商直接投资对我国创新的影响。研究发现, 外商直接投资对我国创新具有显著的促进作用。赖明勇等 (2005) 考察了国外 R&D 资本对我国全要素生产率的影响, 研究发现, 国外 R&D 资本对我国全要素生产率具有促进作用; 人力资本水平与开放性程度越高, 国外 R&D 资本的溢出效应越大。李平等 (2007) 考察了国外 R&D 资本对我国自主创新的影响, 他们认为中国自主创新能力的提升主要依靠国内自主研发的投入, 但国外研发对中国

研发创新能力的贡献也不容忽视。据我们所知，现有的研究中还没有文献从经济增长理论视角考察我国知识生产函数的性质，并估算研发投资回报率的。因此，本文选择这样一个题目作为研究内容。

本文其余部分的组织安排如下：第二部分在 Romer (1990)、Jones (1995) 知识生产函数设定的基础上给出了一个扩张形式的知识生产函数，并据此通过 31 个省份 1998—2007 年的数据考察了我国知识生产函数的性质；第三部分首先给出了 Jones and Williams (1998) 的一般性分析框架，而后根据第二部分的回归结果估算了我国 31 个省份 1998—2007 年研发投资的回报率和最优研发投资规模；第四部分是结语。

二、中国知识生产函数性质的分析

Romer (1990) 知识生产函数的核心特征是，研发投资 (R&D 人员或 R&D 经费) 规模越大，知识积累速度越快，从而知识生产中存在规模效应。Jones (1995) 知识生产函数的核心特征是，研发投资规模越大，知识积累的速度并不一定越快，从而知识生产中没有规模效应。图 1 至图 4 是我国 31 个省份 1998—2007 年研发投资规模和知识增长率之间的散点图。根据 Romer (1990)、Jones (1995)、Jones and Williams (1998)，我们用 R&D 人员和 R&D 经费的数量表示研发投资规模；用专利数量 (新生产的知识) 与知识存量的比值表示知识增长的速度；其中专利数量、R&D 人员、R&D 经费的数据均来自历年《中国科技统计年鉴》，关于知识存量的详细推导见本部分第二小节。

图 1、图 2 对应的是知识存量的折旧率取 5% 的情形，图 3、图 4 对应的是知识存量的折旧率取 10% 的情形。图中的 R&D Staff 表示研发人员数量

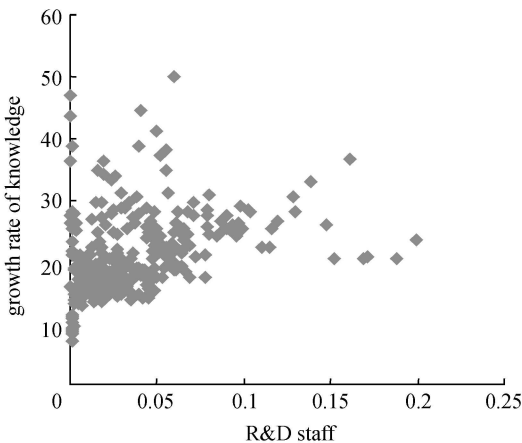


图 1 R&D 人员与知识增长率的散点图

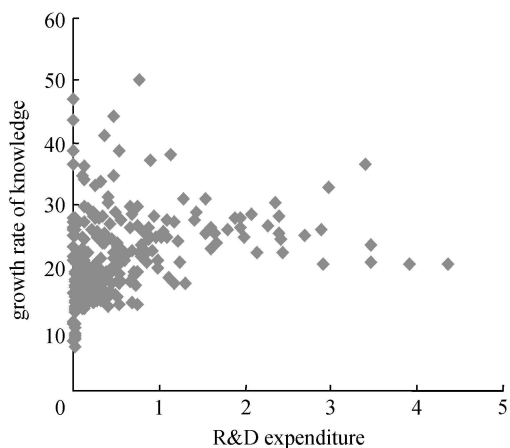


图2 R&D经费与知识增长率的散点图

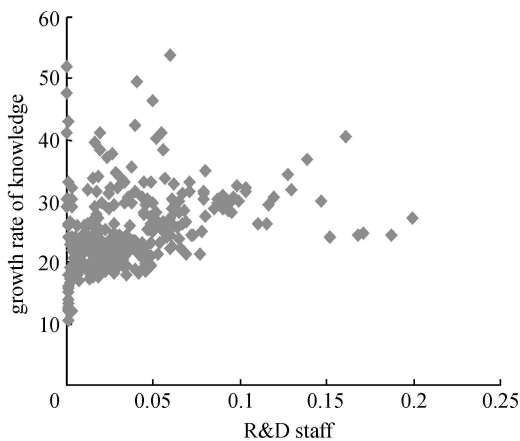


图3 R&D人员与知识增长率的散点图

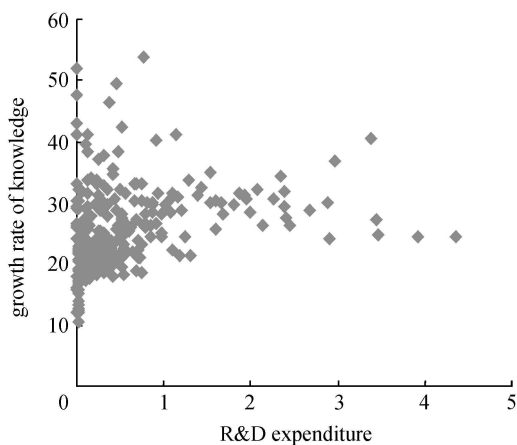


图4 R&D经费与知识增长率的散点图

(单位：百万人)；R&D Expenditure 表示研发经费数量 (单位：百亿元)；growth rate of knowledge 表示知识增长率 (单位：%)。我们可以看出，研发投入规模越大，知识增长的速度并不一定越快。这说明相对于 Romer (1990) 类型的知识生产函数而言，Jones (1995) 类型的知识生产函数可能更符合我国现实经济。

基于 Porter and Stern (1990) 和 Pessoa (2005) 的分析框架，我们首先给出一个扩张形式的知识生产函数，并据此得到回归方程，而后根据我国 31 个省份 1998—2007 年的数据，通过面板数据模型估算知识生产函数的各个参数值。值得注意的是，通过计量分析来估算知识生产函数的参数已成为一种重要的研究方法。事实上，现有的估算知识生产函数参数的代表性工作除了上述两篇文献外，还有 Caballero and Jaffe (1993)、Eaton and Kortum (1996)。

(一) 回归方程的设定

Romer (1990)、Jones (1995) 假定知识生产取决于研发人员的数量和知识存量，以及刻画知识生产效率的参数。根据 Romer (1990)、Jones (1995)，我们给出如下形式的知识生产函数：

$$\dot{A}_i = \delta L_i^\lambda A_i^\phi, \quad (5)$$

其中 \dot{A}_i 、 L_i 和 A_i 分别表示第 i 个省份第 t 年新生产的知识、R&D 人员与总的知识存量。 λ 表示研发人员的生产效率， λ 越大，表示 R&D 人员的生产效率越高。 ϕ 是刻画知识生产效率的参数，根据 Jones (1995)， $\phi > 0$ 表示正的溢出效应，企业的知识生产对经济具有正的外部性； $\phi < 0$ 表示拖出效应 (fishing out effect)，即越是简单的知识越容易被发现，而后发现新知识的难度越来越大。事实上，Romer (1990) 与 Jones (1995) 的关键区别是关于 ϕ 的假定，Romer (1990) 的核心假定是 $\phi = 1$ ，而 Jones (1995) 的核心假定是 $\phi < 1$ 。

值得注意的是，与 Romer (1990)、Jones (1995) 不同，Rivera-Batiz and Romer (1991)、Jones and Willams (2000) 用 R&D 经费表示研发投入，他们分别给出了 $\dot{A} = \delta R^\lambda A^\phi$ 形式的知识生产函数，其中 R 表示 R&D 经费。事实上，根据 Cheung and Lin (2004)，我们可以将 R&D 经费看做是知识生产的资本投入。我们用 R_i 表示 i 个省份第 t 年的 R&D 经费，从而可以将 (5) 扩张为：

$$\dot{A}_i = \delta R_i^\lambda L_i^\lambda A_i^\phi. \quad (6)$$

根据 Porter and Stern (2000)，一个地区的知识生产不仅受本地区知识存

量的影响,而且受其他地区知识存量的影响。这种影响又主要体现在以下两个方面:(1)知识生产具有溢出效应。别的地区的知识存量越大,知识的溢出效应越强,从而越有利于本地区知识的生产;(2)别的地区的知识生产具有“提升标准效应”(raising the bar effect)。别的地区生产的知识越多,越有助于提升创新水平的标准,这使得本地区生产新知识的难度更大。⁵我们这里用 A_{-i} 表示除第 i 个省份外其余省份总的知识存量,从而可以将(6)扩张为:

$$\dot{A}_i = \delta R_i^\kappa L_i^\lambda A_i^\phi A_{-i}^\psi. \quad (7)$$

研发为基础的增长理论强调知识生产具有跨国溢出效应,这种溢出效应主要是通过外商直接投资和进口两种途径来实现的。外商直接投资可以通过人员培训效应、竞争效应、示范效应、产业促进效应等几种效应提升东道国的自主创新能力,Cheung and Lin (2004) 较为系统地论述了外商直接投资对创新溢出效应的几种作用机制。值得注意的是,外商直接投资还可能具有“挤出效应”(crowding-out effect)。所谓“挤出效应”是指从国外购买先进技术以替代本国的技术创新,尤其是当 R&D 投资的风险较大或对技术的要求较高时,这种替代效应更明显。外商直接投资可能引起东道国对国外技术的过度依赖,这又削弱了东道国的创新能力。进口尤其是对一些高科技含量、高附加值机器设备的进口有利于提升一个国家的自主创新能力。由于不同国家专利申请标准的差别很大,为更好地统一衡量口径,我们这里不用这些国家专利数量构建的知识存量表示国外知识的溢出效应,而是用各个省份外商直接投资和进口的数量表示国外技术溢出效应,这与 Coe *et al.* (1997)、Cheung and Lin (2004) 的设定是一致的。考虑到知识生产的跨国溢出效应,我们可以将知识生产函数(7)扩张为如下的形式:

$$\dot{A}_i = \delta \text{FDI}_i^\mu \text{IMP}_i^\nu R_i^\kappa L_i^\lambda A_i^\phi A_{-i}^\psi, \quad (8)$$

其中 FDI_i , IMP_i 分别表示 i 个省份第 t 年的外商直接投资和进口数额, μ 和 ν 分别刻画了外商直接投资和进口对知识生产影响力度的大小。将(8)两端分别取自然对数,我们可以得到如下的回归方程:

$$\ln \dot{A}_i = \alpha + \mu \ln \text{FDI}_i + \nu \ln \text{IMP}_i + \kappa \ln R_i + \lambda \ln L_i + \phi \ln A_i + \psi \ln A_{-i} + \epsilon_i. \quad (9)$$

(二) 数据及其描述

现有的文献通常用专利申请数量来表示新生产的知识,例如 Porter and Stern (2000)、Pessoa (2005) 等。需要说明的是,根据 Cheung and Lin

⁵ 关于这一效应的更多论述见 Porter and Stern(2000)。

(2004)、Pessoa (2005), 用专利数量来衡量创新产出时可能存在以下两方面的缺陷: (1) 不同专利的技术含量不同, 包含的价值也差别很大, 专利数量并不能体现专利包含的价值。例如, 专利包括发明、实用新型和外观设计, 其中发明的技术含量最高, 而实用新型和外观设计的技术含量则较低。(2) 一些企业可能不会将其创新成果申请专利。原因是, 一旦申请专利, 企业要在专利保护期限结束后, 公布其技术, 这又可能使其丧失市场垄断权利。尽管如此, 在现有的环境下, 相对于其他一些指标而言, 专利数量仍是反映创新活动产出的较好指标。根据 Cheung and Lin (2004), 相对于新产品销售额等指标而言, 专利数量可以更好地反映创新活动的成果。正如 Pessoa (2005) 所言, “我们根据专利数量来构建知识存量, 并不是说专利是创新活动的唯一产物, 也不是说专利是刻画创新活动产出的最理想指标。相反, 我们只是假设专利是描述创新活动的一个有用指标。我们的一个关键假定是, 创新活动产出中的一个比例包含的价值足够高, 以至于应当授予专利, 而这一比例通常是固定的”。

根据 Porter and Stern (2000)、Pessoa (2005), 我们用每年专利申请数量表示新生产的知识, 并通过永续盘存法 (perpetual inventory method) 估算出知识存量:

$$A_{i,t+1} = (1-d)A_{i,t} + P_{i,t}, \quad (10)$$

其中 $P_{i,t}$ 表示第 i 个省份第 t 年新生产的知识, 也被称为知识流量, d 表示知识存量的折旧率。按照 Pessoa (2005) 的方法, 我们取知识存量的折旧率分别为 0%、5%、10% 和 15%; 期初的知识存量 $A_{i,0} = P_{i,0}/(g_i + \delta)$, 其中 g_i 表示第 i 个省份 1998—2007 年新生产知识的平均增长率。

图 5 描述了 1998 年和 2007 年我国分省的知识流量 (专利申请数量)。我们可以看出, 各省的知识流量差别较大, 广东、浙江、江苏、上海、北京、山东、辽宁的知识流量最大; 1998 年上述 7 个省份的知识流量占全国知识流量比例的 56.35%, 2007 年这一比例进一步提高到了 72.29%。而山西、内蒙古、江西、广西、海南、贵州、云南、西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆的知识流量很少; 1998 年上述 12 个省份的知识流量占全国知识流量比例的 9.98%, 2007 年这一比例进一步降低到了 4.29%。

图 6 是当知识存量的折旧率取 10% 时, 根据方程 (10) 估算出的 1998 年和 2007 年我国分省的知识存量。我们可以看出, 各省知识存量的差异较大: 广东、浙江、江苏、上海、北京、山东、辽宁的知识存量最大; 1998 年上述 7 个省份的知识存量占全国知识存量比例的 48.64%, 2007 年这一比例进一步提高到了 67.80%; 而山西、内蒙古、江西、广西、海南、贵州、云南、西藏、甘肃、青海、宁夏、新疆的知识存量很少, 1998 年上述 12 个省份的知识存量占全国知识存量比例的 13.41%, 2007 年这一比例进一步降低到 5.89%。

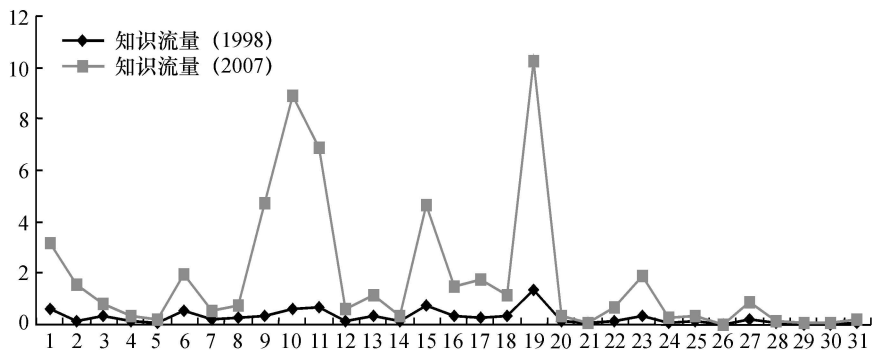


图5 1998年和2007年我国分省的知识流量(单位:万)

注:图中横轴上的1—31分别表示北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东、河南、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。下同。

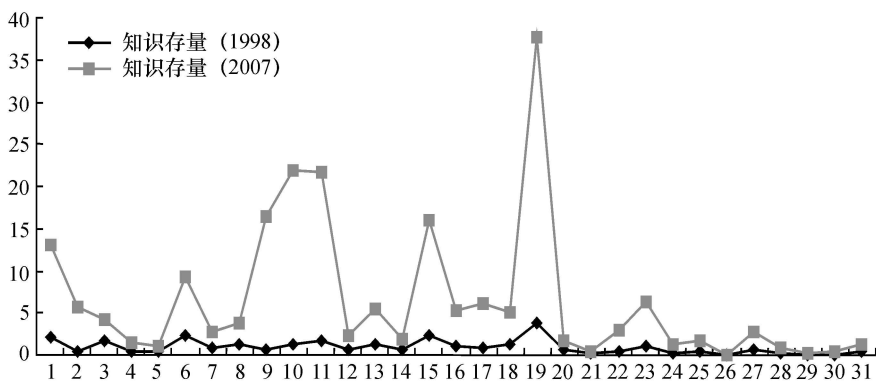


图6 1998年和2007年我国分省的知识存量(单位:万)

由于我们只能找到1998年后分省的R&D人员与R&D经费数据,因此,我们选取的时间段是1998—2007年。R&D人员、R&D经费以及专利申请数来源于相应各年的《中国科技统计年鉴》;外商直接投资与进口的数据来源于相应各年的《中国统计年鉴》;本省的知识存量以及其余省区的知识存量可以通过方程(10)求得,R&D经费、进口、外商直接投资均按可比价格计算。表1是各主要变量的简单统计描述,我们这里分别给出了当知识存量的折旧率取0、5%、10%和15%时本省知识存量和其余省份总的知识存量。

表1 主要变量的简单统计描述

变量名称	均值	标准差	最小值	最大值
知识流量	8 095	13 685	10	102 449
研发人员	36 000	34 695	204	199 464
研发经费	498 362	712 470	944	4 353 567
外商直接投资	1 986 480	4 622 561	3 854	51 160 072

(续表)

变量名称	均值	标准差	最小值	最大值
进口	10 792 837	25 098 130	8 552	178 423 896
本省知识存量($d=0$)	43 291	60 167	33	513 751
其余省份总的知识存量($d=0$)	1 298 740	741 626	406 698	2 881 132
本省知识存量($d=5\%$)	34 888	51 236	30	434 550
其余省份总的知识存量($d=5\%$)	1 046 632	611 375	311 080	2 353 839
本省知识存量($d=10\%$)	29 432	44 788	27	376 143
其余省份总的知识存量($d=10\%$)	882 952	522 225	253 762	2 001 145
本省知识存量($d=15\%$)	25 531	39 646	25	331 197
其余省份总的知识存量($d=15\%$)	765 919	456 435	214 973	1 744 477

注：知识流量、本省知识存量、其余省份总的知识存量的单位为个，研发人员的单位为人，研发经费、外商直接投资、进口的单位为万元。

(三) 实证结果及分析

由于是面板数据，我们分别使用了 Pooled-OLS、固定效应模型以及随机效应模型进行估计，并通过 F 检验、LM 检验以及 Hausman 检验进行模型设定检验。通过回归估计发现，Pooled-OLS、固定效应模型以及随机效应模型估计中，本地区知识存量对应的系数均显著为正，且严格小于 1。表 2 是方程 (9) Pooled-OLS 的回归结果，其中回归 (1) — (4) 对应的是知识存量的折旧率分别取 0、5%、10% 和 15% 的情形。根据回归结果，我们有如下的结论：

(1) R&D 人员对应的系数始终为正，但有时不显著（例如，回归 (3) 和 (4)）。这说明 R&D 人员越多，生产的知识可能并不一定越多。可能的原因是，尽管增加 R&D 人员投入有利于促进专业化和技术分工，从而加快我国的创新进程，但我国知识生产中可能存在 R&D 人员使用效率低下的情形；也可能是因为研发活动主要是资本密集型的，并非劳动密集型的，单纯地增加 R&D 人员的数量并不一定能加快我国的自主创新进程。R&D 经费对应的系数显著为正，说明 R&D 经费越多，生产的知识也越多。可能的原因是，R&D 经费越多，企业可以购买更多的先进技术设备，从而越有利于知识生产。

(2) 刻画本省份知识存量的系数显著为正，说明知识生产过程中存在很强的溢出效应，这与研发为基础的增长理论关于知识生产函数的基本假定是一致的。从数值大小上分析，知识存量对应的系数严格小于 1。事实上，通过 t 检验，我们同样可以拒绝回归方程 (5) 中 $\phi=1$ 的原假设。这说明相对于 Romer (1990) 类型的知识生产函数而言，Jones (1995) 类型的知识生产函数可能更符合我国现实经济，我国知识生产中没有规模效应。

(3) 刻画其余省份总的知识存量的系数显著为负，这说明其余省区知识存量的增加使得本省创新的难度增加。可能的原因是，尽管存在知识的跨地区

溢出效应,但“提升标准效应”更大,因而其余省区知识存量对本省区知识生产的影响显著为负。事实上,Porter and Stern (2000)通过对OECD国家特征事实的考察,同样发现这些国家之间“提升标准效应”要比溢出效应更大。

(4)外商直接投资对知识生产的影响显著为正,这说明相对于外商直接投资对我国知识生产的“挤出效应”(crowding out effect)而言,其技术溢出效应更大,这与Cheung and Lin (2004)的结论是一致的。进口对应的系数显著为正,这说明进口,尤其是一些先进技术设备的进口,可以显著提升我国的创新水平,这与Coe and Helpman (1995)、Coe *et al.* (1997)的结论是一致的。这说明增加外商直接投资和进口有利于加快我国的自主创新进程。从数值大小上分析,进口对应的系数比外商直接投资对应的系数更高,说明进口对我国知识生产的促进作用可能要更大。

表2 我国知识生产影响因素的分析

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
R&D人员	0.201*** (2.84)	0.119* (1.92)	0.078 (1.44)	0.057 (1.19)
R&D经费	0.147** (2.53)	0.123** (2.47)	0.095** (2.20)	0.071* (1.87)
本省知识存量	0.613*** (17.90)	0.760*** (22.78)	0.846*** (26.74)	0.897*** (30.43)
其余省份总的知识存量	-0.087** (-2.13)	-0.114*** (-3.48)	-0.118*** (-4.35)	-0.113*** (-4.90)
外商直接投资	0.038*** (2.64)	0.029** (2.42)	0.024** (2.34)	0.022** (2.37)
进口	0.094*** (4.99)	0.059*** (3.47)	0.039** (2.50)	0.026* (1.86)
R^2	0.964	0.975	0.982	0.986

注:括号内为稳健 t 值,***、**、*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著。

三、中国研发投资回报率的估算

本部分首先给出了Jones and Williams (1998)提出的在内生增长框架下估算研发投资回报率以及求解最优研发投资规模的方法,而后运用1998—2007年分省的数据以及第二部分回归的结果进一步估算了我国31个省份1998—2007年的研发投资回报率与最优研发投资规模。

(一)一般性的分析框架

Jones and Williams (1998)给出了 $A_{t+1} - A_t = G(R_t, A_t)$ 的知识生产函数和 $Y_t = F(A_t, X_t)$ 的总产出函数,其中 R_t 表示研发投资, X_t 表示用于生产最

终产品的其他投入要素。他们定义的研发投资回报率是指将第 t 期 1 单位消费用做研发投资，到第 $t+1$ 期时消费可以增加的量。这又包括两部分：(1) 第 t 期研发投资的增加使得第 $t+1$ 期的知识存量增加，这又使得第 $t+1$ 期的总产出增加；(2) 第 $t+1$ 期知识存量增加使得第 $t+2$ 期的知识存量有偏离平衡增长路径增加的趋势。为使第 $t+2$ 期的知识存量等于平衡增长路径上的知识存量，可以减少第 $t+1$ 期的研发投资。第 $t+1$ 期总产出增加的量以及研发投资减少的量都可用作第 $t+1$ 期的消费，从而可以看做是第 t 期 1 单位研发投资的回报。

第 t 期 1 单位研发投资对第 $t+1$ 期知识生产的贡献为 $\Psi A_{t+1} = (\partial G / \partial R)_t$ ，其中 Ψ 表示对平衡增长路径状态的偏离。由于 $A_{t+2} = A_{t+1} + G(R_{t+1}, A_{t+1})$ ，我们可以求得对平衡增长路径状态偏离的方程：

$$\Psi A_{t+2} = \Psi A_{t+1} + (\partial G / \partial R)_{t+1} \Psi R_{t+1} + (\partial G / \partial A)_{t+1} \Psi A_{t+1}. \quad (11)$$

为使得从第 $t+2$ 期开始各期知识存量与平衡增长路径上的知识存量相同，可减少第 $t+1$ 期的研发投资，这是因为第 $t+1$ 期的知识存量要比平衡增长路径上的知识存量更高。令 $\Psi A_{t+2} = 0$ ，我们可求得：

$$\Psi R_{t+1} = - \frac{(\partial G / \partial R)_t}{(\partial G / \partial R)_{t+1}} \left[1 + \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{t+1} \right], \quad (12)$$

从而研发投资的回报率 \tilde{r} 满足如下关系：

$$1 + \tilde{r} = \left(\frac{\partial G}{\partial R} \right)_t \left(\frac{\partial Y}{\partial A} \right)_{t+1} + \frac{(\partial G / \partial R)_t}{(\partial G / \partial R)_{t+1}} \left[1 + \left(\frac{\partial G}{\partial A} \right)_{t+1} \right], \quad (13)$$

其中方程 (13) 右端的第一项表示第 t 期增加 1 单位研发投资通过增加第 $t+1$ 期知识存量，进而对总产出的贡献；第二项表示为使得第 $t+2$ 期后各期知识存量与平衡增长路径上的情形保持一致，第 $t+1$ 期研发投资可以减少的量。假设知识的价格为 $P_{A,t}$ ，1 单位研发投入可以生产出 $(\partial G / \partial R)_t$ 单位的知识，因此， $P_{A,t} = (\partial G / \partial R)_t^{-1}$ 。将 $P_{A,t}$ 代入 (13)，我们可求得 \tilde{r}^6 ：

$$\tilde{r} = \frac{\frac{\partial Y}{\partial A} + \frac{\partial G}{\partial A} P_A}{P_A} + g_{P_A}, \quad (14)$$

其中 g_{P_A} 表示 $P_{A,t}$ 的增长率。我们以最终产品为计价物 (numeraire)，1 单位研发投资可以生产出 $1/P_A$ 单位知识，每单位知识可以使得产出增加 $(\partial Y / \partial A)$ 单位，使得知识生产增加 $(\partial G / \partial A) P_A$ 单位。此外，从第 t 期到第 $t+1$ 期知识价格也会发生变化， g_{P_A} 表示 1 单位研发投资生产知识的价格变化。给定 $Y_t =$

⁶ 关于方程(14)和(15)中 \tilde{r} 的详细推导过程,感兴趣的读者可以向作者索要。

$BA_t^\sigma K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$, $A_{t+1} - A_t = \delta R_t^\kappa A_t^\phi$, 我们可求得:

$$\tilde{r} = \kappa \sigma g_A / s + \phi g_A + (g_R - g_A). \quad (15)$$

方程(15)包括三项,分别表示单位研发投资对总产出的贡献、对知识生产的贡献以及知识价格变化获得的利得。当经济处于稳定状态(steady state)时,研发投资的回报率应与资本投资的回报率相等,即 $\tilde{r} = r$,从而我们可求得最优的研发投资规模 s^{optimal} :

$$s^{\text{optimal}} = \frac{\kappa \sigma g_A}{r - g_R + (1 - \phi) g_A}. \quad (16)$$

(二) 我国研发投资的回报率以及最优研发投资规模的估算

根据 Jones and Williams (1998), 我们给出 $Y_{it} = BA_{it}^\sigma K_{it}^\alpha L_{it}^{1-\alpha}$ 的总产出函数, 其中 Y_{it} 、 A_{it} 、 K_{it} 、 L_{it} 分别表示第 i 个省份第 t 年的总产出、知识存量、资本存量和劳动力数量。通过永续盘存法, 根据历年固定资产投资的数据, 我们可以估算出 K_{it} 。⁷ 将总产出函数两端同时除以 L_{it} , 可求得人均产出函数 $y_{it} = BA_{it}^\sigma k_{it}^\alpha$, 其中 y_{it} 和 k_{it} 分别表示人均产出和人均资本存量。将人均产出函数两端同时取对数, 我们可得到回归方程。再根据我国 31 个省份 1998—2007 年的数据, 通过面板数据模型回归, 我们估算出 $\sigma = 0.152$, $\alpha = 0.455$ 。根据方程(15)和(16), 我们可以给出第 i 个省份第 t 年研发投资的回报率与最优研发投资规模:

$$\tilde{r}_{it} = \kappa \sigma g_{A_{it}} / s_{it} + \phi g_{A_{it}} + (g_{R_{it}} - g_{A_{it}}), \quad (17)$$

$$s_{it}^{\text{optimal}} = \frac{\kappa \sigma g_{A_{it}}}{r_{it} - g_{R_{it}} + (1 - \phi) g_{A_{it}}}. \quad (18)$$

根据样本经济的数据, 我们可以求得知识增长速度 $g_{A_{it}}$ 、R&D 经费增长速度 $g_{R_{it}}$ 、实际研发投资规模 s_{it} 、资本投资回报率 $r_{it} = \alpha BA_{it}^\sigma k_{it}^{\alpha-1} - \delta_k$ 。当知识存量的折旧率取 10% 时, 根据表 2, 我们可知广义知识生产函数中 R&D 经费和本省知识存量对应的系数分别是: $\kappa = 0.095$, $\phi = 0.846$ 。将这些参数值代入方程(17)和(18), 我们可求得分省的研发投资回报率与最优研发投资规模。表 3 是当知识存量的折旧率取 10% 时, 我国 31 个省份 1998—2007 年资本投资回报率、研发投资回报率、最优研发投资规模以及实际研发投资规模都取平均值时的结果。

⁷ 根据龚六堂和谢丹阳(2004), 我们取资本存量的折旧率均为 10%; 根据廖楚晖(2006), 期初资本存量 $K_{i0} = I_{i0} / (g_i + \delta)$, 其中 I_{i0} 和 g_i 分别表示第 i 个省份的期初投资和样本期间真实投资的平均增长率, δ 表示资本存量的折旧率。

表3 1998—2007年中国分省平均的研发投资回报率与最优研发投资规模($d=10\%$)

省份	r_{it}	\bar{r}_{it}	\bar{r}_{it}/r_{it}	s_{it}^{optimal}	s_{it}^{actual}	$s_{it}^{\text{optimal}}/s_{it}^{\text{actual}}$
北京	12.34%	13.85%	1.12	10.37%	5.94%	1.74
天津	10.88%	41.95%	3.86	8.26%	1.48%	5.57
河北	20.02%	35.57%	1.78	1.14%	0.53%	2.14
山西	23.31%	44.43%	1.91	1.75%	0.60%	2.90
内蒙古	20.57%	75.69%	3.68	6.23%	0.27%	23.15
辽宁	18.95%	29.21%	1.54	2.65%	1.31%	2.03
吉林	19.73%	28.96%	1.47	3.34%	0.89%	3.74
黑龙江	20.48%	34.73%	1.70	1.63%	0.67%	2.43
上海	9.51%	22.99%	2.42	18.77%	2.44%	7.68
江苏	16.76%	52.66%	3.14	7.13%	1.60%	4.45
浙江	16.92%	42.98%	2.54	7.60%	1.44%	5.28
安徽	27.39%	42.16%	1.54	1.90%	0.79%	2.40
福建	18.24%	46.40%	2.54	4.21%	0.69%	6.06
江西	26.93%	53.37%	1.98	4.26%	0.56%	7.65
山东	23.47%	52.93%	2.25	3.99%	0.85%	4.71
河南	29.38%	62.15%	2.12	8.92%	0.52%	17.22
湖北	21.12%	48.02%	2.27	3.39%	0.90%	3.76
湖南	28.59%	49.36%	1.73	2.40%	0.67%	3.59
广东	21.52%	41.34%	1.92	3.92%	1.26%	3.10
广西	26.39%	53.67%	2.03	7.31%	0.54%	19.85
海南	14.23%	22.24%	1.56	1.67%	0.18%	9.52
重庆	22.82%	62.11%	2.72	5.55%	0.76%	7.31
四川	27.83%	39.38%	1.42	2.90%	1.23%	2.36
贵州	31.19%	62.87%	2.02	3.19%	0.49%	6.53
云南	24.78%	61.10%	2.47	4.88%	0.42%	11.61
西藏	9.13%	120.23%	13.16	0.54%	0.17%	3.21
陕西	23.75%	18.09%	0.76	1.85%	2.55%	0.73
甘肃	22.20%	27.84%	1.25	1.69%	0.88%	1.92
青海	11.91%	52.16%	4.38	3.29%	0.45%	7.26
宁夏	14.26%	52.76%	3.70	1.50%	0.52%	2.89
新疆	13.04%	69.74%	5.35	1.73%	0.23%	7.48

注： r_{it} 表示资本投资的回报率， \bar{r}_{it} 表示研发投资的回报率， \bar{r}_{it}/r_{it} 研发投资回报率与资本投资回报率的比值， s_{it}^{optimal} 表示最优研发投资规模， s_{it}^{actual} 表示实际研发投资规模， $s_{it}^{\text{optimal}}/s_{it}^{\text{actual}}$ 表示最优研发投资规模与实际研发投资规模的比值。

根据表3，我国分省研发投资的平均回报率普遍在20%—60%。一些地区研发投资的回报率较高，例如，西藏为120.23%。但这可能是合理的，根据Nadiri (1993)，现有的从微观视角估算研发投资回报率的文献发现，研发投资的回报率高于20%，有时甚至超过100%，社会平均的研发投资回报率为50%左右。值得注意的是，上述研究与根据我国企业数据估算研发投资回报率文献的结论差别不大。例如，基于北京市88个国有大中企业1991—1997年的数据，Hu and Jefferson (2004)研究发现，这些企业平均的研发投资回报率为31%；不同行业之间研发投资的回报率差别较大：电子行业企业研发投资的回报率为16%，化学行业企业研发投资的回报率为54%。王玲和Adam Szirma (2008)通过1996—2004年中国高技术产业21个行业部门的面板数据，研究发现，这些企业平均的研发投资回报率高达145%。

需要说明的是,根据表3,各个省份之间研发投资的回报率差异较大。我们认为这一方面归因于本文特定的模型框架,另一方面也取决于各个省份自身的特点。具体而言,本文模型框架设定方面的原因主要包括以下两个方面:(1)在知识生产函数中,R&D经费对应的系数严格小于1,这说明研发投资的边际回报率是递减的,研发投资越多,研发投资的回报率越低;(2)在总产出函数中,知识存量与资本存量是互补的,资本存量越大,知识存量的边际生产率越高,从而研发投资的回报率也越高。各个省份自身的特点主要是指各个省份研发投资数量和资本存量的大小。各个省份自身的特点通过本文模型框架的作用,从而决定了研发投资回报率。

根据表3,除陕西省外,其余省份最优研发投资规模都比实际研发投资规模更大。一个重要的原因是,这些省份研发投资的回报率要比资本投资的回报率更高。事实上,根据估算结果,除陕西省外,其余省份的研发投资回报率均高于资本投资的回报率。需要说明的是,一些学者根据企业或是产业数据,同样发现研发投资的回报率高于资本投资的回报率。例如,Jefferson *et al.* (2006)通过1999年我国近20 000个大中型企业的数据,研究发现,这些企业研发投资的回报率是资本投资回报率的3.6倍。王玲和Adam Szirma (2008)通过1996—2004年中国高技术产业21个行业部门的面板数据,研究发现,平均的研发投资回报率为145%,而资本的投资回报率为29%,研发投资的回报率是资本投资回报率的5.10倍。这些研究说明适当减少资本投资,增加研发投资可能更有利于提高经济效率。

研发投资回报率高于资本投资回报率的一个重要原因是,我国资本投资已经达到较大的规模,而研发投资规模则很小。根据上述知识生产函数和总产出函数的设定,资本投资和研发投资的边际回报率都是递减的,研发投资规模很小,所以研发投资的边际回报率较高;资本投资规模较大,所以资本投资的边际回报率较低。根据1998—2007年我国的统计数据,我国资本投资占GDP比例的平均值为41.06%,而研发投资占GDP比例的平均值仅为1.09%,资本投资规模是研发投资规模的37.53倍。事实上,根据鲁志国(2006),我国研发投资的规模不仅远低于美国、日本等发达国家,而且也低于印度等发展中国家,这说明我国应进一步增加研发投资。当然,这又包括以下两个方面的含义:(1)政府应增加对研发投资的支持力度,增加财政研发投入,尤其是加大对基础研究的支持力度;(2)加强制度建设,营造有利于创新的氛围,鼓励个人、企业增加研发投入,使企业真正成为技术创新主体和创新收益的主体。

四、结 语

基于研发为基础的内生增长理论,本文分析了我国知识生产函数的性质,并考察了相关因素对我国知识生产的影响。研究发现,我国知识生产函数中,

知识存量对应的指数严格小于1。这说明相对于 Romer (1990) 类型的知识生产函数而言,我国经济的特征事实更支持 Jones (1995) 类型的知识生产函数。即研发投资规模越大,知识增长的速度并不一定越快。进一步根据 Jones and Williams (1998) 的方法,我们根据我国 31 个省份 1998—2007 年的数据,通过面板数据模型估算了我国研发投资回报率与最优研发投资规模。研究发现,我国研发投资的回报率要比资本投资的回报率更高,最优研发投资规模要比实际研发投资规模更大。

需要说明的是,无论是对我国知识生产函数性质的分析还是对最优研发投资规模的估算,本文都存在许多不足之处。例如,本文在考察知识生产函数性质时可能存在变量缺失、测度误差、内生性等问题,本文在一些技术性细节的处理上也较为粗糙,如何修正这些缺陷是本文进一步的工作。Jones and Williams (1998) 的框架给出了很多严格的假定,这些假定在多大程度上与现实经济相吻合也是一个值得探究的问题。尽管如此,本文从经济增长理论的视角考察了我国的创新问题,一方面加深了我们对现实经济的认识,提出了一些政策建议;另一方面丰富了现有的文献研究,同时也为国内学者研究类似的问题提供一些研究线索。事实上,我们的工作是从经济增长理论的角度考察我国创新和知识生产问题的有益尝试。基于以上几点,本文是有意义的。

我们可以从如下几个方面对本文予以扩张:第一,本文使用的是省级数据,如果运用产业或是企业数据来分析类似的问题,本文的结论还成立吗?第二,本文用专利申请量来衡量创新水平,如果我们用新产品销售额来衡量创新水平时,⁸ 本文的结论还成立吗?事实上,上述两点都可以看做是本文结论的稳健性检验 (robust test)。此外,研发投资主要包括政府投资与民间投资。根据 Lichtenberg (1988),政府研发投资与民间研发投资对经济影响的差别较大。因此,关于政府研发投资与民间研发投资回报率以及两者最优研发投资规模的估算也是未来的一个重要扩张。

参 考 文 献

- [1] Aghion, P., and P. Howitt, "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, 1992, 60(2), 323—351.
- [2] Barro, R., "Government Spending in A Simple Model of Endogenous Growth", *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5), S103—S125.
- [3] Backus, D., P. Kehoe, and T. Kehoe, "In Search of Scale Effects in Trade and Growth", *Journal of Economic Theory*, 1992, 58(2), 377—409.

⁸ 需要说明的是,相对于新产品销售额而言,专利数量可能是刻画我国创新活动产出的更好指标,详细的讨论见 Cheung and Lin(2004)。

- [4] Caballero, R., and A. Jaffe, "How High Are the Giants' Shoulders: An Empirical Assessment of Knowledge Spillovers and Creative Destruction in a Model of Economic Growth", *NBER Macroeconomic Annals*, 1993, 8(1), 15—74.
- [5] Cheung, K., and P. Lin, "Spillover Effects of FDI on Innovation in China: Evidence from the Provincial Data", *China Economic Review*, 2004, 15(1), 25—44.
- [6] Coe, D., and E. Helpman, "International R&D Spillovers", *European Economic Review*, 1995, 39(5), 859—887.
- [7] Coe, D., E. Helpman, and A. Hoffmaister, "North-South R&D Spillovers", *Economic Journal*, 1997, 107(440), 134—149.
- [8] Comin, D., "R&D, A Small Contribution to Productivity Growth", *Journal of Economic Growth*, 2004, 9(4), 391—421.
- [9] Eaton, J., and S. Kortum, "Trade in Ideas: Patenting and Productivity in the OECD", *Journal of International Economics*, 1996, 40(3), 251—278.
- [10] 龚六堂、谢丹阳, "我国省份之间的要素流动和边际生产率的差异分析", 《经济研究》, 2004 年第 1 期, 第 45—53 页。
- [11] Griliches, Z., and T. Lichtenberg, "Interindustry Technology Flows and Productivity Growth: A Reexamination", *Review of Economics and Statistics*, 1984, 66(2), 324—329.
- [12] Grossman, G., and E. Helpman, "Quality Ladders in the Theory of Growth", *Review of Economic Studies*, 1991, 58(1), 43—61.
- [13] Hu, A., "Ownership, Government R&D, Private R&D, and Productivity in Chinese Industry", *Journal of Comparative Economics*, 2001, 29(1), 136—157.
- [14] Hu, A., and G. Jefferson, "Returns to Research and Development in Chinese Industry: Evidence from Stated-owned Enterprises in Beijing", *China Economic Review*, 2004, 15(4), 86—107.
- [15] Jefferson, G., H. Bai, X. Guan, and X. Yu, "R&D Performance in Chinese Industry", *Economics of Innovation and New Technology*, 2006, 15(4), 345—366.
- [16] Jones, C., "R&D-based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 1995, 103(4), 759—784.
- [17] Jones, C., and J. Williams, "Measuring the Social Returns to R&D", *Quarterly Journal of Economics*, 1998, 113(4), 1119—1138.
- [18] Jones, C., and J. Williams, "Too Much of a Good Thing? The Economics of Investment in R&D", *Journal of Economic Growth*, 2000, 5(1), 65—85.
- [19] Kortum, S., "Research, Patenting, and Technological Change", *Econometrica*, 1997, 65(6), 1389—1419.
- [20] Kremer, M., "Population Growth and Technological Change: One Million B. C to 1990", *Quarterly Journal of Economics*, 1993, 108(3), 681—716.
- [21] 赖明勇、张新、彭水军、包群, "经济增长的源泉:人力资本、研究开发与技术外溢", 《中国社会科学》, 2005 年第 2 期, 第 32—46 页。
- [22] 李平、崔喜君、刘建, "中国自主创新中研发资本投入产出绩效分析——兼论人力资本和知识产权保护的影响", 《中国社会科学》, 2007 年第 2 期, 第 32—42 页。

- [23] 廖楚晖,“中国人力资本和物质资本的结构及政府教育投入”,《中国社会科学》,2006年第1期,第23—33页。
- [24] Lichtenberg, F., “The Private R&D Investment Response to Federal Design and Technical Competitions”, *American Economic Review*, 1988, 78(3), 550—559.
- [25] 鲁志国,《广义资本投入与技术创新能力相关关系研究》,上海三联书店,2006。
- [26] Lucas, R., “On the Mechanism of Economic Development”, *Journal of Monetary Economics*, 1988, 22(1), 3—42.
- [27] Madsen, J., “Are There Diminishing Returns to R&D?” *Economics Letters*, 2007, 95(2), 161—166.
- [28] Nadiri, M., “Innovations and Technological Spillovers”, NBER Working Papers No. 4423, 1993.
- [29] Pessoa, A., “Ideas Driven Growth: the OECD Evidence”, *Portuguese Economic Journal*, 2005, 4(1), 46—67.
- [30] Poter, M., and S. Stern, “Measuring the Ideas Production Function: Evidence from International Patent Output”, NBER Working Paper No. 7891, 2000.
- [31] Reis, A., and T. Squeira, “Human Capital and Over-investment in R&D”, *Scandinavian Journal of Economics*, 2007, 109(3), 573—591.
- [32] Rivera-Batiz, L., and P. Romer, “Economic Integration and Endogenous Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 1991, 106(2), 531—555.
- [33] Romer, P., “Increasing Returns and Long-run Growth”, *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5), 1002—1037.
- [34] Romer, P., “Endogenous Technological Change”, *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5), S71—S102.
- [35] Romer, P., “Two Strategies for Economic Development: Using Ideas and Producing Ideas”, *World Bank Economic Review*, 1993, 7(1), 63—91.
- [36] Scherer, F., “Inter-industry Technology Flows and Productivity Growth”, *Review of Economics and Statistics*, 1982, 64(4), 627—634.
- [37] Segerstrom, P., T. Anant, and E. Dinopolous, “A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle”, *American Economic Review*, 1990, 80(5), 1077—1091.
- [38] Segerstrom, P., “Endogenous Growth without Scale Effect”, *American Economic Review*, 1998, 88(5), 1290—1310.
- [39] Stokey, N., “R&D and Economic Growth”, *Review of Economic Studies*, 1995, 62(3), 469—489.
- [40] 王玲, Adam Szirmai, “高技术产业技术投入和生产率增长之间的关系研究”,《经济学(季刊)》,2008年第7卷第3期,第913—932页。
- [41] 吴延兵, “R&D存量、知识函数与生产效率”,《经济学(季刊)》,2006年第7卷第4期,第1129—1156页。
- [42] 吴延兵, “企业规模、市场力量与创新:一个文献综述”,《经济研究》,2007年第5期,第125—138页。
- [43] 严成樑、龚六堂, “熊彼特增长理论:一个文献综述”,《经济学(季刊)》,2009年第8卷第3期,第1163—1196页。

- [44] Zeng, J., "Physical and Human Capital Accumulation, R&D and Economic Growth", *Southern Economic Journal*, 1997, 63(4), 1023—1038.
- [45] 周黎安、罗凯,“企业规模与创新:来自中国省级水平的经验证据”,《经济学(季刊)》,2005年第4卷第3期,第623—638页。

Knowledge Production, Innovation and the Return to R&D Investment

CHENGLIANG YAN

(*Central University of Finance and Economics*)

MINGSHAN ZHOU LIUTANG GONG

(*Peking University*)

Abstract It has been controversial about whether the reality supports the Romer(1990) knowledge production function or the Jones(1995)knowledge production function. Under the basic setup of the R&D-based growth theory, this paper offers an extended knowledge production function and studies China's knowledge production function with the provincial-level data during 1998—2007. We find that the facts of China support the Jones-type knowledge production function, rather than the Romer-type one, and there is no scale effect in China's knowledge production. With the method provided by Jones and Williams (1998), we estimate the return of R&D and the optimal R&D investment. We find that the return of R&D is higher than that of capital, and the optimal R&D investment is larger than the actual level.

JEL Classification O300, O310, O400