

前沿技术差距与科学研究的创新效应

——基础研究与应用研究谁扮演了更重要的角色

孙 早, 许薛璐

[摘要] 当中国的科研投入总量开始被归入世界第一梯队、总体科技水平逐步接近世界前沿水平(前沿差距缩小)时,国家的科研投入方向(偏向应用还是偏向基础)开始在越来越大的程度上决定着科学研究对创新增长的贡献度。本文从理论与经验两个层面证明,面对不同的前沿差距水平,客观上存在一个最优技术差距水平,当前沿差距小于最优技术差距时,应用研究投入持续维持在一个过高水平上将会对创新增长产生抑制作用;持续加大基础研究投入则可通过增强本国企业自主创新能力,缩小最优技术差距,扭转应用研究对创新增长边际递减的负面效应。本文的政策含义是,中国产业发展正处在一个新的历史性拐点之上,只有持续保持对基础研究投入的强劲势头,才能最终使得中国的产业创新实现从模仿创新向原始创新的转变。

[关键词] 基础研究; 应用研究; 前沿差距; 产业创新

[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2017)03-0005-19

一、问题提出

在经历了30余年的高速发展后,随着整体国力的增强,中国的科研投入总量亦开始被归入世界第一梯队。在日益增强的科技实力支撑下,中国开始进入到从“模仿创新”转向“自主创新”的关键时期。在这个过程中,一个值得注意的现象是,持续上升的科研投入中应用研究投入相比于基础研究投入始终维持在一个较高水平,而同期以发明专利授权增长率表示的创新效率则呈现出持续下降的趋势(见图1)。这意味着,在中国整体科技实力逐渐接近世界前沿水平(前沿差距缩小)的大背景下,很有必要重新全面审视应用研究与基础研究之间的关系及其对创新效应的决定,即需要从更加科学的角度来认识新时期中国产业创新模式转换背后的决定性因素。

根据Romer(1990)的观点,技术进步是推动产业创新与经济增长的核心力量,而基础研究和应用研究的积累则是实现技术进步的主要途径。正如World Bank(2006)年度报告所指出的,随着技术追赶国(后发国家)国内技术水平不断提升,与世界技术前沿差距逐渐缩小,需要更加注重基础研

[收稿日期] 2016-12-23

[基金项目] 国家社会科学基金面上项目“以企业为主体的战略性新兴产业自主创新机制研究”(批准号11BJY006);教育部新世纪优秀人才支持计划面上项目“公司成长与现代产业的演进”(批准号NCET-11-0429)。

[作者简介] 孙早(1966—),男,江苏泰兴人,西安交通大学经济与金融学院教授,博士生导师;许薛璐(1990—),女,陕西西安人,西安交通大学经济与金融学院博士研究生。通讯作者:孙早,电子邮箱:sunz@mail.xjtu.edu.cn。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

究投入,果断减少对国外的技术依赖,逐步形成以自主研发与原始创新为主要内容的新型发展模式。自2000年以来,尽管中国基础研究投入的绝对数量逐年攀升,但其占GDP的比重却始终不足1%,远低于应用研究占GDP的比重。在新的形势下,应用研究占比远高于基础研究现象的持续存在,极有可能对中国创新模式的转换带来负面影响,甚至可能会对创新驱动国家战略的实施产生阻碍作用。世界现代产业发展史表明,当一个大国越来越接近世界前沿技术水平时,若没有进一步的基础(科学)研究的重大突破,应用(创新)研究通常很难取得实质性进展。

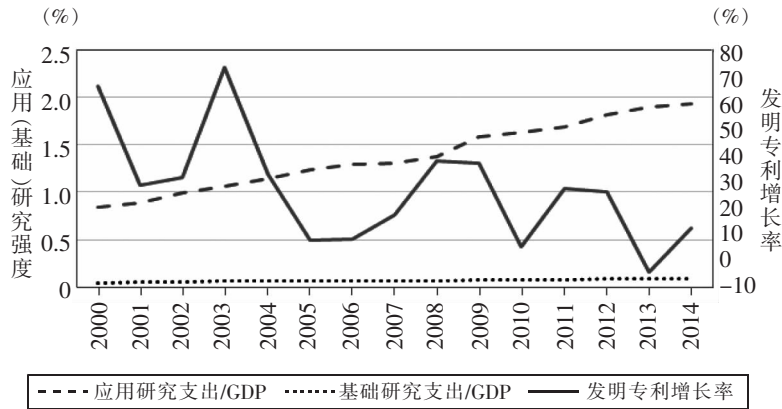


图1 2000—2014年研发强度与发明专利增长率的比较

注:应用研究支出为“研究与试验发展应用研究经费支出”和“研究与试验发展试验发展经费支出”两部分的加总。

资料来源:作者根据国家统计局公布数据绘制。

Acemoglu et al.(2002)发展了一个以“前沿差距”(Distance to Frontier)为核心概念的理论框架,分析了前沿差距的动态变化与企业创新模式选择之间关系。他们认为,技术追赶国究竟实施“模仿增长模式”还是“创新增长模式”,取决于追赶国与技术领先国的差距水平以及与之相适应的企业经理人选择制度。当追赶国距世界前沿水平较远时,本国企业可选择长期聘用非创新型经理,实现企业绝对规模的扩张。随着追赶国技术水平的提升,企业对经理人的聘用政策应逐步转为寻求创新型经理人,以求实现从技术模仿向创新的转变,避免陷入创新与经济增长的低水平均衡。Vandenbussche et al.(2004)则从人力资本角度阐述了随着追赶国技术水平与前沿国技术差距的缩小,追赶国应更加注重提高技能型劳动的占比,从而提高高技能劳动对产业创新增长边际递增的效应。以上学者虽然强调了追赶国在接近前沿技术水平时,应更注重本国企业自主创新,但他们主要聚焦于应用研究层面,未考虑基础研究投入与技术差距变动间的配适关系对创新增长的影响。作为补充,Ha et al.(2009)进一步强调了基础研究、应用研究以及异质性人力资本在不同技术差距水平下对技术追赶国创新增长(TFP)的影响,他们认为,在技术差距较小的阶段,追赶国需要更加关注基础研究投入,例如,增加高等教育入学率,从而提高均衡条件下的经济增长率。虽然Ha et al.(2009)引入了基础研究变量,但其未将企业对先进技术的吸收能力作为一个独立变量放入分析框架,考虑基础研究与应用研究间的相互作用可能对创新绩效的影响。受数据可得性限制,Ha et al.(2009)仅利用中国台湾、日本与韩国的时间序列数据进行实证检验,降低了研究的解释能力。Belenzon(2006)从企业自主创新的角度刻画了基础研究与应用研究的互补关系及其对创新增长的效应,然而却没

有考虑到一国前沿差距的动态变化可能带来的影响。赖明勇等(2005)利用中国的经验数据证明,在一个适度的前沿差距范围内追赶国科学研究的创新增长效应最强。尽管赖明勇等(2005)引入了“前沿差距”变量,但他们没有注意到不同技术差距条件下科学研究(基础研究、应用研究)对创新增长的差异化影响。在某种意义上,有关新时期中国的技术水平变化、科学研究与创新增长之间关系的研究依然不够充分,特别是在提供具有前瞻性和导向性的公共政策建议方面进展有限。

本文尝试从理论与经验两个层面将基础研究、应用研究和前沿差距三个变量纳入到一个统一的分析框架内。从自主创新能力和技术吸收能力两个角度进一步分析在前沿技术差距动态变化条件下,基础研究、应用研究对技术追赶国创新增长的影响机理和效果。本文可能的贡献在于:①在理论层面上,通过一个包含先进技术中间投入品的内生增长模型,在考虑了技术差距的行业异质性前提下,从“技术引进到自主创新”动态转换的视角出发,刻画了不同技术差距水平下基础研究与应用研究的关系及其对自主创新增长的效应,揭示出不同前沿技术差距水平下基础研究和应用研究促进创新增长的不同作用机理;②在经验层面上,利用中国2001—2013年工业分行业数据,将全部行业按技术差距水平分为高低两组,检验了不同行业技术差距水平下基础研究与应用研究对产业创新的影响。本文的研究工作不仅能为政府制定更精准的科研政策和产业政策提供有力的理论与经验证据,还将在一定程度上丰富有关新时期中国的科学研究与创新增长关系的理解,可视为对现有文献的有益补充。

二、模型与假说

为强调技术追赶国从技术引进、技术吸收到技术创新的动态转变过程,本文在Romer(1990)和Park(1998)创新产品种类扩张模型的基础上进一步引入了包含技术前沿国家先进技术的中间品内生增长模型,以阐述基础研究如何通过知识积累效应、技术吸收效应和创新激励效应提高企业应用研究水平从而促进创新增长的作用机理。本文假设应用研究投入的主体为追求利润最大化的企业,而基础研究投入则由政府全部承担(Park, 1998)。

技术追赶国经济长期均衡取决于以下四个部门:①完全竞争的最终产品生产部门,生产单一的最终产品 Y ;②垄断的中间产品生产部门,包含拥有本国技术水平的中间产品生产者和拥有国际前沿技术的中间生产者,分别生产包含国内技术的中间产品 i 和国外前沿技术的中间产品 i^* ;③由本国企业主导的应用研究部门,生产可供中间产品厂商投入使用的技术型知识;④由政府主导的基础研究部门,生产通用型知识用以扩展已有知识边界,为应用研究部门以及中间生产者提供最新的观点与技能。本文假定人力资本总量 H 分布于最终产品生产部门、应用研究部门和基础研究部门,即 $H=H_Y+H_A+H_B$ 。

1. 基本模型

(1)最终产品生产部门。最终产品由投入到最终产品部门的人力资本以及中间投入品共同决定,其生产函数设定为:

$$Y_t = H_{Y_t}^\alpha \left[\int_0^{A_t} x_i^\beta d_i + \int_0^{A_t^*} (e^{\theta-1} x_{i^*})^\beta d_{i^*} \right], \quad (\alpha+\beta=1) \quad (1)$$

其中, Y_t 代表 t 时期的最终产出; H_{Y_t} 为 t 时期投入到最终产品部门的人力资本; x_i 和 x_{i^*} 分别代表中间投入品 i 与 i^* 的数量; A_t 和 A_t^* 则分别表示技术追赶国与技术前沿国的技术可能边界; θ ($\theta \leq 1$)为“有效中间投入品参数”,用以说明受制度、环境等因素的影响,本国可获得的包含国外先进技术的中间投入品的数量小于前沿技术的绝对数量(赖明勇等,2005)。

本文假定最终产品的销售价格标准化为 1, 在完全竞争性市场条件下, 最终产品部门中代表性厂商的生产决策满足投入要素价格等于其边际产出的限制条件:

$$w_{H_{i,t}} = \frac{\alpha Y_{i,t}}{H_{i,t}} \quad (2)$$

$$P_{x_{i,t}} = \beta H_{Y_{i,t}}^\alpha x_{i,t}^{-\alpha}, \text{ 即 } x_{i,t} = H_{Y_{i,t}} (\beta/P_{x_{i,t}})^{1/\alpha} \quad (3)$$

$$P_{x_{i^*,t}} = \beta e^{\beta(\theta-1)} H_{Y_{i^*,t}}^\alpha x_{i^*,t}^{-\alpha}, \text{ 即 } x_{i^*,t} = H_{Y_{i^*,t}} (\beta e^{\beta(\theta-1)}/P_{x_{i^*,t}})^{1/\alpha} \quad (4)$$

假定所有中间投入品厂商具有对称性, 则(3)、(4)式中下标 i, i^* 可省略。

(2) 中间投入品生产部门。假设中间产品厂商的生产函数为: $x_{i,t} = x_{i^*,t} = \bar{Y}_t$ 。由(3)、(4)式可得中间产品价格为: $P_{x_{i,t}} = P_{x_{i^*,t}} = \frac{1}{\beta}$ 。将该结果与(1)、(3)、(4)式结合, 可得最终产出:

$$Y_t = H_{Y_t} \beta^{\frac{2\beta}{\alpha}} (A_t + F(\vartheta) A_t^*), \quad F(\vartheta) = e^{\frac{(\theta-1)\beta}{\alpha}} \quad (5)$$

(3) 应用研究部门。技术追赶国应用研究企业雇佣人力资本 H_{A_t} 开发新蓝图(技术型知识), 企业可以通过将发明专利 P_{A_t} 卖给国内中间生产商获取利润。生产技术型知识的多寡取决于该部门的人力资本投入水平 H_{A_t} 、国内已有的技术水平 A_t 、国外可利用的技术水平 A_t^* (前沿差距水平 u_t) 以及本国通用型知识总量 B_t , 则应用研究部门的技术生产函数为:

$$\dot{A}_t = \delta H_{A_t} A_t^\theta \left(\frac{A_t^*}{A_t}\right)^\varphi B_t^\xi = \delta H_{A_t} A_t^\theta (u_t - 1)^\varphi B_t^\xi \quad (6)$$

其中, \dot{A}_t 代表 t 时期技术追赶国新增的技术型知识水平; δ 表示应用研究部门人力资本 H_{A_t} 的生产效率 ($\delta > 0$); A_t 与 A_t^* 分别代表技术追赶国已有的技术水平以及可获得的国外先进技术水平; B_t 为技术追赶国的基础型知识积累水平; $\frac{A_t^*}{A_t}$ 表示本国和发达经济体技术水平的差距; 进一步地, 本文设定技术总量水平 $A_t^T = A_t + A_t^*$, 且 $A_t = \frac{1}{u_t} A_t^T$ ($u_t > 1$), 则技术领先国与技术追赶国的技术差距水平为 $\frac{A_t^*}{A_t} = u_t - 1$; θ, φ, ξ 分别代表应用研究部门的自主创新能力、对先进技术吸收能力以及对基础研究的知识扩展能力 ($\theta > 0, \varphi > 0, \xi > 0$)。

由(6)式可知, 总体看, 技术追赶国的技术型知识增量 \dot{A}_t 与本国已有的技术水平 A_t 、本国基础知识水平 B_t 以及与技术前沿国的技术差距 u_t 有关: 当追赶国技术初始水平 A_t 较低且与技术前沿差距 u_t 较大时, 仅依靠较高的技术引入和本国的基础知识积累就可推动本国应用知识(技术)快速增长; 当追赶国技术水平 A_t 较高且与前沿技术差距 u_t (可获得的国外先进技术) 较小时, 本国利用、吸收并改进先进技术的难度与成本会大幅度上升, 技术溢出对本国应用研究知识增长的推动作用将显著降低。因此, 本国现有的技术水平 A_t 以及基础知识存量 B_t 将是决定本国技术进步的主要力量。从行业异质性角度看, 追赶国技术初始水平 A_t 较低且与技术前沿差距 u_t 较大的行业(高技术差距行业)一般具有较低的自主创新能力 (θ_d), 而技术水平 A_t 较高, 与前沿技术差距 u_t 较小的行业(低技术差距行业)则具有较高的自主创新能力 (θ_c) ($0 < \theta_d < \theta_c$)。对于高技术差距行业来说, 应采取有效措施加强行业内企业对先进技术的吸收能力 φ , 从而更快更好地促进高技术

差距行业中应用知识(技术)的积累。技术吸收能力的高低不仅取决于本国已有的人力资本存量和技术水平,还取决于基础知识存量的发展程度。增加基础研究投入可以通过加强高技术差距行业企业对外部先进技术的理解,提高企业的技术吸收能力($\varphi'_B > 0$),从而提高整个行业应用研究的知识积累水平(Cohen and Levinthal, 1989)。对于低技术差距行业来说,企业可获得的外部技术有限,技术吸收能力 φ 的高低对企业进一步提高技术水平的影响十分有限。此时应以提高行业内企业的自主创新能力 θ 为目标,加快对前沿技术的理解、应用与创新速度,从而更好地推动整体技术进步。Martínez-Sendra et al.(2015)的研究表明,企业自主创新能力在很大程度上取决基础知识积累水平。基础研究成果越丰富,企业消化、吸收、转化既有技术并再创新的能力就越强($\theta'_B > 0$)。应用研究部门的利润、工资水平可表述为:

$$\pi_{A_t} = P_{A_t} \times \dot{A}_t - \omega_{H_t} \times H_{A_t} \quad (7)$$

$$\omega_{H_t} = \delta P_{A_t} A_t^\theta (u_t - 1)^\varphi B_t^\xi \quad (8)$$

假定应用研究部门可自由进出,均衡条件下专利价格应与中间商垄断利润的贴现值相等,即:

$$P_{A_t} = V(t) = \frac{1}{r} \pi_{A_t} = \frac{1}{r} \alpha \beta^{\frac{2}{\alpha} - 1} H_{Y_t} \quad (9)$$

结合(8)、(9)式,应用研究人力资本的工资水平 ω_{H_t} 应为:

$$\omega_{H_t} = \frac{1}{r} \delta \alpha \beta^{\frac{2}{\alpha} - 1} H_{Y_t} A_t^\theta (u_t - 1)^\varphi B_t^\xi \quad (10)$$

(4)基础研究部门。基础知识增量取决于人力资本水平 H_{B_t} 和既有通识型知识水平 B_t ,则有:

$$\dot{B}_t = \delta H_{B_t} B_t^\lambda \quad (11)$$

其中, λ 代表对追赶国已有基础知识存量的利用效率($\lambda > 0$)。从(6)式和(11)式可以看出,本文假设基础知识存量对应用知识(技术)增量具有单向影响。原因在于,通识型知识一旦被发现和扩展,所有研究人员、部门均可无成本地获得该知识。同时,技术型知识具有部分排他性特征,基础研究部门无法无成本地获取应用研究的知识成果(杨立岩和潘慧峰,2003)。

基础研究人力资本的工资来源于全部人力资本收入的税收情况(Prettner and Werner, 2016):

$$\tau \times \omega_t \times H_t = \omega_{H_t} H_{B_t} \quad (12)$$

其中, τ_t 为收入税率; ω_t 为人力资本收入水平;均衡状态中有 $\omega_t = \omega_{H_t} = \omega_{H_{A_t}} = \omega_{H_{B_t}}$,可得出基础研究的人力资本水平 $H_{B_t} = \tau H_t$ 。

(5)消费偏好。假定存在永续时间内代表性家庭,其消费偏好满足固定弹性效用函数。均衡条件下消费者消费增长率为:

$$g_C = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma} (r - \rho) \quad (13)$$

2. 均衡市场分析

在长期均衡水平上, $g = g_y = g_k = g_C = g_A$ ^①,由(2)、(5)、(6)、(10)、(13)式可得,市场长期均衡增长率为:

① 在均衡增长路径上, $g_B = \frac{1 + \varphi - \theta}{\xi} g$ 。

$$g = \frac{\delta(1-\tau)H_t A_t^\theta (u_t - 1)^\varphi B_t^\xi - \rho [A_t + F(\vartheta)A_t^*]}{A_t + \frac{\sigma}{\beta} [A_t + F(\vartheta)A_t^*]} \quad (14)$$

本文重点关注技术追赶国的通识型知识(基础研究) B 、技术型知识(应用研究) A 以及前沿差距水平 u 动态变化对创新增长的影响。由(14)式可得, $\frac{\partial g}{\partial B} > 0$, 说明政府加强对基础研究的投入力度, 提高本国基础研究知识总量水平, 可直接推动产业创新。但 $\frac{\partial g}{\partial A}$ 的符号具有不确定性, 具体可表述为:

$$\frac{\partial g}{\partial A_t} \propto (\theta - 1) \left(1 + \frac{\sigma}{\beta}\right) + \frac{F(\vartheta)}{\beta} [\sigma \theta (u_t - 1) + \frac{\rho (u_t - 1)^{1-\varphi}}{\Lambda}] \quad (15)$$

其中, $\Lambda = \delta(1-\tau)H_t A_t^{\theta-1} B_t^\xi$ 。从(15)式可以看出, 当 $\theta \in [0, 1]$ 时, 存在一个最优技术差距水平 $u_{\theta_t}^0$ 使 $\frac{\partial g}{\partial A} = 0$ 。当 $u_t > u_{\theta_t}^0$, $\frac{\partial g}{\partial A} > 0$ 时, 技术追赶国和技术前沿国差距较大, 技术追赶国提高应用研究投入有利于本国创新产出的增长; 当 $u_t < u_{\theta_t}^0$, $\frac{\partial g}{\partial A} < 0$ 时, 追赶国的技术水平与前沿差距小于某一临界值, 其他条件不变, 追赶国继续增加应用研究投入将对创新增长产生负面影响。

由上文分析可知, 技术水平不同行业的自主创新能力 θ 有所差别。从行业异质性视角看, 若 $0 < \theta_{Dt} < \theta_t^0 < \theta_{Ct} < 1$ 且 $u_{\theta_{Dt}} < u_{\theta_t}^0 < u_{\theta_{Ct}}$, 即当高技术差距行业自主吸收能力 θ_{Dt} 低于最优吸收能力 θ_t^0 且技术差距 $u_{\theta_{Dt}}$ 大于最优技术差距 $u_{\theta_t}^0$ 、低技术差距行业自主吸收能力 θ_{Ct} 高于最优吸收能力 θ_t^0 且技术差距 $u_{\theta_{Ct}}$ 小于最优技术差距 $u_{\theta_t}^0$ 时, 高技术差距行业仅提高应用研究投入就可以促进本行业的创新增长, 而低技术差距行业中应用研究投入持续增长则对本行业的创新增长具有负面影响, 见图 2。据此, 本文提出:

假设 1: 在不同前沿技术差距水平上, 增加基础研究投入对创新增长始终具有知识积累效应, 基础研究知识总量越多, 对创新的推动作用越强; 增加应用研究投入对创新增长的影响则呈现出行业异质性特征; 当前沿差距大于最优技术差距水平 ($u_{\theta_t}^0$) 时 (高技术差距行业), 应用研究投入增加可促进创新增长; 当前沿差距小于最优技

术差距水平 ($u_{\theta_t}^0$) 时 (低技术差距行业), 应用研究投入持续增加则表现出对创新增长的抑制。

以上分析仅从应用研究和基础研究知识积累水平的角度分别论证了二者在不同差距水平下对创新增长的作用机理, 没有考虑影响应用研究知识积累水平的自主创新能力 (θ)、技术吸收能力 (φ) 在技术差距动态变化的过程中可能对产业创新产生的影响, 也没有考

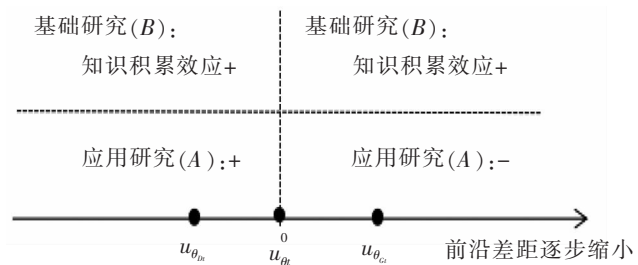


图 2 基础研究、应用研究影响创新增长的作用机理
资料来源:作者绘制。

考虑基础研究知识积累水平对自主创新能力和技术吸收能力的间接推动作用。这里在假说1的基础上,进一步将基础研究知识积累水平(通识型知识)和应用研究知识积累水平(技术型知识)的相互作用纳入分析框架,在考虑行业异质性基础上,探讨其对创新增长的不同影响:①通识型知识、技术吸收能力对技术型知识积累的推动作用。由基本模型分析(6)式可知,技术吸收能力对应用研究知识的积累具有推动作用,而基础研究成果作为通识型知识积累与扩展的唯一来源,可增强企业对先进技术的理解水平,提高企业技术吸收能力($\varphi_B' > 0$)。在高技术差距行业中,当追赶国企业的自主创新能力 θ 较小($\theta_{Dt} < \theta_t^0$)、本国与先进技术的实际差距 $u_{\theta_{Dt}}$ 较大($u_{\theta_{Dt}} > u_{\theta_t}^0$)且本国企业应用研究知识积累实际水平 A_{Dt} 小于最优应用研究知识积累水平 $A_{u_{\theta_t}^0}$ ($0 < A_{Dt} < A_{u_{\theta_t}^0}$)时,政府提高基础研究投入力度,将通过技术吸收效应,加快应用研究知识的积累速度(使 A_{Dt} 更快的向 $A_{u_{\theta_t}^0}$ 移动)。由(15)式可知,当 $\frac{\partial g}{\partial A} > 0$ 时,加快应用研究知识总量的积累速度可使创新增长率更快地向最高水平收敛,缩短高技术差距行业内企业从研发投入到创新产出的时间,提高高技术差距行业的研发效率。②通识型知识、自主创新能力对创新增长的推动作用。由上文分析可知,基础研究的知识扩展功能还可提高技术追赶国企业自主创新能力($\theta_B' > 0$)。随着自主创新能力 θ 提高到 θ^* ,最优技术差距水平 $u_{\theta_t}^0$ 将逐步下降至 $u_{\theta_t}^{0*}$ 。在低技术差距行业中,当 $\theta_t^0 < \theta_{Gt} < \theta_t^*$, $u_{\theta_t}^{0*} < u_{\theta_{Gt}} < u_{\theta_t}^0$ 时, $\frac{\partial g}{\partial A} > 0$ 。对比上文(当 $u_{\theta_{Gt}} < u_{\theta_t}^0$ 时, $\frac{\partial g}{\partial A} < 0$)即可发现,基础研究知识的持续积累还可通过提高本国低技术差距行业中企业最优自主创新能力 θ ,从而提高应用研究投入对创新增长促进作用的阈值水平,进一步促进创新(见图3)。值得注意的是,从(15)式可以看出,当 $\theta \geq 1$ 时,不论追赶国技术水平与前沿水平差距有多小,追赶国提高应用研究投入都可以推动创新($\frac{\partial g}{\partial A} > 0$)。也就是说,技术追赶国要想实现“蛙跳”式发展,政府应更加关注基础研究的投入水平,提高基础研究的知识积累与扩展水平,进一步强化本国企业自主研发能力,使本国企业可以最大限度摆脱技术差距缩小以及发达经济体技术封锁对企业创新的制约。据此,本文提出:

假设2:在高技术差距行业中,追赶国与目标国间技术差距较大($u_{\theta_{Dt}} > u_{\theta_t}^0$),本国企业应用研究投入不足($0 < A_{Dt} < A_{u_{\theta_t}^0}$),基础研究具有技术吸收效应,持续提高基础研究投入可以通过增强追赶国应用研究的技术吸收能力(φ)促进创新;在低技术差距行业中,追赶国与目标国间技术差距较小($u_{\theta_{Gt}} < u_{\theta_t}^0$),本国企业应用研究实力增强($A_{Gt} > A_{u_{\theta_t}^0}$),基础研究则具有创新激励效应,增加基础研究投入可通过提高本国企业自主创新能力(θ),降低最优技术差距($u_t^{0*} < u_{\theta_t}^0$),扭转应用研究投入过度增加对创新增长边际递减的负面效应。

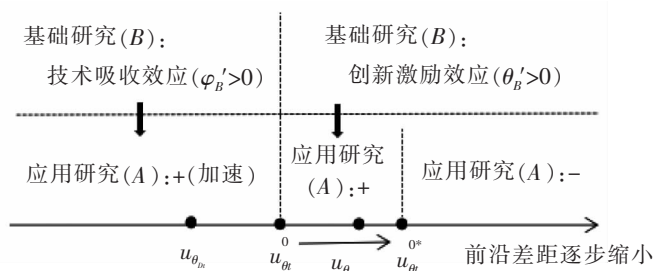


图3 基础研究与应用研究相互作用影响创新增长的作用机理

资料来源:作者绘制。

三、计量模型、数据来源与特征事实描述

1. 联立方程模型

由理论分析可知,技术追赶国创新增长主要由本国的基础研究和应用研究^①共同决定。同时,由(6)式可以看出,基础研究知识积累量、技术溢出与人力资本水平对提高应用研究知识积累水平也具有正面影响。据此,本文分别以产业创新和应用研究作为被解释变量,设定联立方程模型。基本联立方程模型设定如下:

$$TFPC_{it} = \alpha_{10} + \alpha_{11} A_{it} + \alpha_{12} A_{it}^2 + \alpha_{13} B_{it} + \alpha_{14} H_{it} + \alpha_{15} FDI_{it} + \alpha_{16} Size_{it} + \alpha_{17} State_{it} + \alpha_{18} Inf_t + \alpha_{19} Pgdpt_t + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

$$A_{it} = \alpha_{20} + \alpha_{21} TFPC_{it} + \alpha_{22} B_{it} + \alpha_{23} H_{it} + \alpha_{24} FDI_{it} + \alpha_{25} Size_{it} + \alpha_{26} Profit_{it} + \mu_i + v_t + \psi_{it} \quad (17)$$

式(16)为创新方程。其中,下角标 i 和 t 分别代表不同的行业与时间; u_i 表示行业固定效应; v_t 表示时间固定效应; ε_{it} 表示随机误差项; $TFPC_{it}$ 代表产业创新绩效; A_{it} 为应用研究知识累积水平; B_{it} 为基础研究知识累积水平; H_{it} 为人力资本水平; FDI_{it} 为国外先进技术的溢出水平。控制变量包括行业规模($Size_{it}$)、国有企业占比($State_{it}$)、基础设施状况(Inf_t)以及人均 GDP 水平($Pgdpt_t$) (Higòn, 2016)。由(16)式可知,当 α_{11} 显著为正而 α_{12} 显著为负时,应用研究对创新增长具有倒 U 型特征^②;当 α_{13} 显著为正时,基础研究对创新增长具有知识积累效应。

式(17)为技术积累方程,包含了理论推演中影响技术追赶国技术革新的基础研究知识存量 B_{it} 、人力资本 H_{it} 与技术溢出 FDI_{it} 。同时,加入了影响应用研究积累水平的行业规模 $Size_{it}$ 以及行业利润 $Profit_{it}$ 两个控制变量(Alfaro and Chen, 2010)。

为进一步结合理论分析,显示基础研究的技术吸收效应和创新激励效应对创新增长的影响,本文用基础研究与技术溢出的交互项表示基础研究的技术吸收效应,并用基础研究与应用研究的交互项表示基础研究的自主创新效应。同时,为控制行业异质性,更好地说明不同行业技术差距水平的变化对追赶国技术改进以及创新的影响,本文在(16)式、(17)式的基础上将行业按与前沿国技术差距的大小分为两组,以表征在不同技术差距条件下追赶国基础研究知识存量、应用研究知识存量及二者间相互作用对创新的不同影响效果。分组联立方程模型设定如下:

$$TFPC_{it} = \beta_{10} + \beta_{11} A_{it} + \beta_{12} A_{it} \times B_{it} + \beta_{13} FDI_{it} + \beta_{14} H_{it} + \beta_{15} Size_{it} + \beta_{16} State_{it} + \beta_{17} Inf_t + \beta_{18} Pgdpt_t + u_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (18)$$

$$A_{it} = \beta_{20} + \beta_{21} TFPC_{it} + \beta_{22} FDI_{it} + \beta_{23} B_{it} \times FDI_{it} + \beta_{24} H_{it} + \beta_{25} Size_{it} + \beta_{26} Profit_{it} + \mu_i + v_t + \psi_{it} \quad (19)$$

可以预期,其他条件不变,应用研究在前沿技术差距较大的组别内对产业创新具有促进作用($\beta_{11} > 0$);应用研究在技术差距水平较小的组别内对产业创新则直接表现为抑制效应($\beta_{11} < 0$);以 β_{12} 表示的基础研究创新激励效应和以 β_{23} 表示的技术吸收效应预计为正。

① 为避免冗长,后文实证分析阶段的基础知识积累水平、应用知识(技能)积累水平在表述上均简称为基础研究、应用研究。

② 描述应用研究持续投入对创新增长具有边际递减作用的总述性方法。

2. 数据来源与处理方法

本文采用 2000—2013 年大中型工业企业分行业数据,数据均来自《国家统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国科技统计年鉴》^①。为保证数据可得性与连续性,本文删除了其他采矿业、工艺品及其他制造业、废弃资源和废旧材料回收加工业。进一步地,将 2012 年后汽车制造业和铁路、船舶、航空航天及其他运输设备制造业合并为交通运输设备制造业,并将 2012 年前橡胶制品业和塑料制品业合并为橡胶和塑料制品业。经过处理,最终保留了 35 个二位码行业。变量说明如下:

(1)被解释变量:TFPC(产业创新绩效)^②。理论模型中均衡创新增长率表达了全要素生产率在长期的均衡增长情况。据此,本文参照 Kumbhakar(2000)的方法,采用随机前沿生产函数(SFA)^③,利用超越对数生产函数测算各行业全要素生产率,从而得到以全要素生产率变动率表征的产业创新绩效。超越对数生产函数方程设定如下:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_k \ln K_{it} + \beta_l \ln L_{it} + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{kk} \ln K_{it}^2 + \frac{1}{2} \beta_{ll} \ln L_{it}^2 \\ & + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + \beta_{kl} t \ln K_{it} + \beta_{lt} t \ln L_{it} + \beta_{kl} \ln K_{it} \ln L_{it} - u_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (20)$$

其中, u_{it} 表示技术无效率项,采用 Battese and Coelli(1992)设定的形式 $u_{it} = u_i e^{-\eta_i}$; $\varepsilon_{it} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$; $\text{cov}(u_{it}, \varepsilon_{it}) = 0$; Y_{it} 为产出水平,由各行业工业增加值表示; K_{it} 为各行业资本存量; L_{it} 为各行业年末劳动力数量。

式(20)中需要测度的变量包括:①工业增加值 Y_{it} 。《中国工业统计年鉴》直接给出了各行业大中型工业企业 2008 年前的工业增加值 Y_{it} 数据,本文以 2000—2007 年工业增加值占工业总产值的平均比重为参数,用工业总产值数据对 2008 年后的增加值数据进行估算,从而得到 2000—2013 年连续的工业增加值数据^④。利用工业品出厂价格指数^⑤,以 2000 年为基期,将工业增加值时数据平减为实际值。②固定资本存量 K_{it} 。采用张军等(2004)的处理办法得出行业各年度固定资本存量, δ_{it} 取固定值 9.6%。初始年份的资本存量以 2000 年固定资本形成总额表示。③劳动力人数 L_{it} 。《中国工业统计年鉴》直接给出了各行业年末劳动力数量,其中,2002 年与 2012 年缺少统计数据,2002 年用行业职工人数代替,2012 年用《中国人口统计年鉴》中分行业城镇就业人数代替。经过以上处理后,本文通过(21)式得到 TFP 累计增长率^⑥:

$$TFP_{it} = \exp(\beta_0 + \beta_t t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + \beta_{kl} t \ln K_{it} + \beta_{lt} t \ln L_{it}) \times TE_{it} \quad (21)$$

- ① 由于在计算产业创新绩效的过程中会损失一期数据,故本文计量模型中最终仅包含 2001—2013 年的数据。
- ② 本文在后续实证分析中,均以“产业创新绩效”代表“创新增长”。
- ③ 计算 TFP 的主要方法包括非参数分析方法(DEA)、半参数分析方法(OP 与 IP)以及参数分析方法(SFA)。SFA 的优点在于可以通过设定影响生产效率的随机噪声的分布形式,降低极端值的影响以及数据收集与处理的复杂程度,并得出较为准确的结果,故本文选择 SFA 计算 TFP,以提高 TFP 结果的准确性。
- ④ 《中国工业统计年鉴》未直接给出 2011—2013 年工业总产值数据,本文利用各行业工业销售产值与工业总产值的比例关系推算出 2011—2013 年工业总产值数据。
- ⑤ 《国家统计年鉴》仅给出了 2004 年后工业品出厂价格指数分行业数据,故本文 2000—2003 年工业品出厂价格指数在各行业中保持不变。
- ⑥ 式(21)由 Fuentes et al.(2001)给出,其基本思想为技术进步 TC 与技术改进效率 TE 共同决定了 TFP 累计增长率。 $TFPC$ 可由 TFP 累计增长率逐年相减获得。因式(21)分母部分始终为正,不会对求导结果产生影响,限于篇幅,省略了分母部分。

(2)解释变量:①应用研究 A 。本文借鉴 Toole (2012)的方法,计算出应用研究累积水平:

$$R\&Dstock_{it} = R\&Dflow_{it} + \sum_{j=1}^n (1-\delta)^j R\&Dflow_{it-j}$$

其中,各年度研发存量由研发支出流量与研发折旧率共同决定,应用研究折旧率 δ 与 Toole (2012)相同,取 20%。应用研究流量数据计算处理过程如下:《中国科技统计年鉴》报告了 2003—2010 年两位码行业大中型工业企业的研发支出水平,而 2011—2013 年仅报告了规模以上工业企业的研发支出水平。为保证数据的可比性与连续性,本文利用 2011—2013 年大中型工业企业固定资产原价占同期规模以上工业企业固定资产原价的比重,对 2011—2013 年大中型工业企业的研发水平进行了近似计算^①。《中国科技统计年鉴》没有直接报告非制造业行业大中型工业企业 2001—2002 年研发支出数据,只报告了制造业行业大中型工业企业研发支出数据,本文则利用非制造业行业 2003—2010 年科技活动经费支出与研发支出的比例关系近似得到 2001—2002 年非制造业研发支出数据。《中国科技统计年鉴》没有直接报告非制造业行业大中型工业企业 2001—2002 年研发支出数据,只报告了制造业行业大中型工业企业研发支出数据,本文则利用非制造业行业 2003—2010 年科技活动经费支出与研发支出的比例关系近似得到 2001—2002 年非制造业研发支出数据。将消费价格指数与固定资产投资指数按比例加总(朱平芳和徐伟民,2003)形成研发支出价格指数,利用 2000 年为基期的研发支出价格指数对研发支出流量数据平减得到实际值。②基础研究 B 。与应用研究的处理方法类似,利用(22)式将各年份基础研究投入流量转换为存量数据,其中折旧率 δ 取 0(Toole, 2012)。本文将各年份高校与研究机构基础研究经费加总,计算出基础研究投入流量数据,然后根据研发支出价格指数进行平减,得到各年份基础研究的实际累积水平。③技术溢出水平 FDI 。本文将外商资本与港澳台资本加总,计算总技术溢出水平(FDI)的名义数据,并利用固定资产投资价格指数平减为实际值。④人力资本水平 H 。用各行业各年份年末劳动力数量表示。

(3)控制变量。创新方程包含的变量为:行业规模($Size$),用各行业平均资产总数表示,具体算法为总资产/企业个数;国有企业占比($State$),用国有资本占实收资本的比重表示;基础设施投入(Inf),用人均道路面积表示;人均 GDP 水平。技术积累方程包含的变量包括:行业利润水平($Profit$)和行业规模($Size$),其中行业利润水平($Profit$)用营业利润/营业收入表示^②。

3. 特征事实描述

本文在进行计量回归模型分析之前,先通过数据的特征事实,直观地展现应用研究、基础研究对创新增长(产业创新绩效)的影响,见图 4。

通过建立在不同前沿差距水平下包含应用研究和基础研究的内生增长模型,本文从理论层面论证了当技术追赶国基础研究投入不变,应用研究对追赶国创新增长的影响具有倒 U

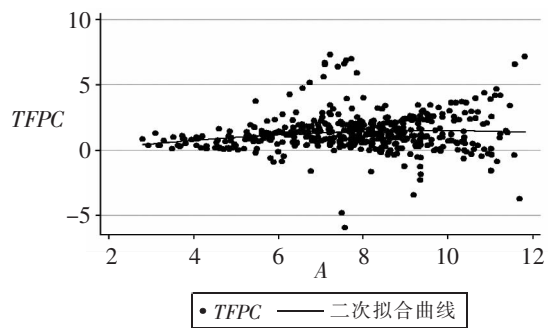


图 4 应用研究影响产业创新绩效特征事实

资料来源:作者绘制。

① 由于 2011 年前后统计口径的变化,许多国内研究或仅利用 2011 年前的数据进行分析讨论,或不考虑数据口径的变化,直接将 2011 年前后不同口径的数据排序,对回归结果造成较大影响。本文认为,中国研发支出中固定资本投资的占比较大,用两种口径的固定资产原价占比进行调整具有一定的合理性。

② 全部变量中所有非分数(百分数)数据均取自然对数(取对数的变量包括 A 、 B 、 H 和 FDI)。

型特征,即随着追赶国技术水平提升,与前沿技术差距的缩小,应用研究当先表现为对创新的促进,然后逐步转变为抑制作用。基础研究对创新增长则具有持续推动的特征。

由图4可知,应用研究对产业创新绩效的影响表现出倒U型特征,但并不十分显著。主要原因在于图中并未控制各行业不同的技术差距水平以及其他具有行业异质性与时间异质性的影响因素。进一步地,本文以追赶国和前沿国之间的技术差距水平为标准,将全部行业分为高技术差距行业与低技术差距行业两组,重新描述应用研究对产业创新绩效的影响特征。

由图5(a)、图5(b)可知,在控制了国内外技术差距水平后,应用研究积累水平对产业创新绩效差异化的影响效果更为清晰。具体地,当中国产业与前沿国技术差距较大时,提高应用研究投入可显著推动产业创新绩效的提升;当中国产业与前沿国技术差距缩小并超过一定阈值后,继续提高应用研究投入对产业创新则具有抑制作用。

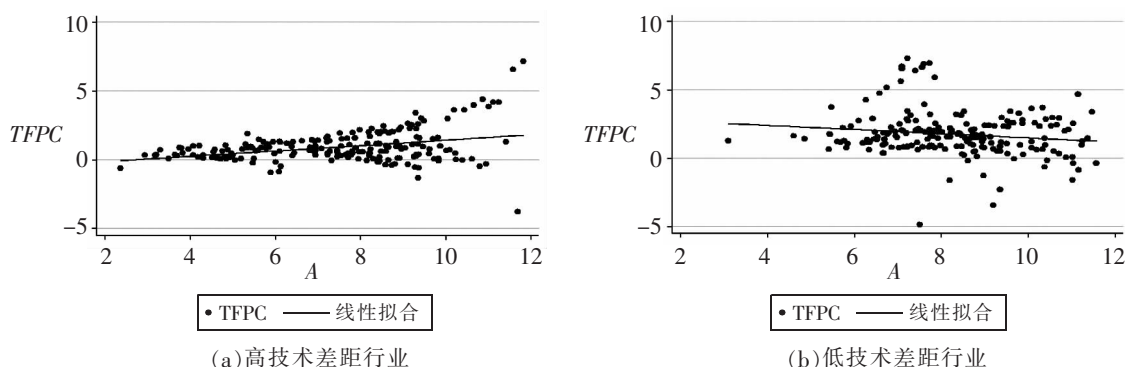


图5 应用研究对产业创新绩效的影响

资料来源:作者绘制。

以上分析仅从应用研究角度初步展示了其对产业创新的不同影响。由理论部分可知,基础研究作为推动产业持续创新的核心变量,对产业创新绩效应具有正面影响。图6描述了全要素生产率与基础研究比率随时间的变动轨迹(TFPC为各年度行业平均值)。由图6可知,2001—2009年,TFPC/B呈上升趋势,说明基础研究对TFPC具有一定的促进作用。受金融危机的影响,2009年后以TFPC/B表示的创新绩效表现出明显的断崖式下降,但随着中国产业结构升级的推进,TFPC/B的数值开始逐步回升,基础研究从总体上依然表现出对产业创新绩效的促进效应。

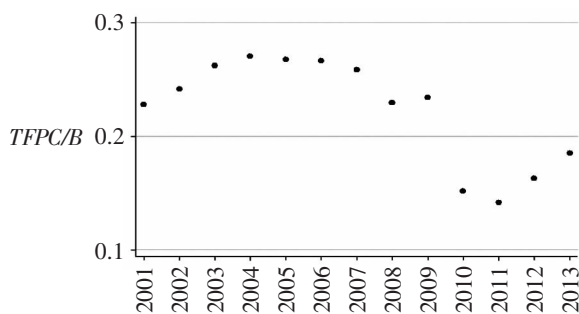


图6 基础研究影响产业创新绩效特征事实

资料来源:作者绘制。

四、实证结果与稳健性检验

1. 基本结果

在描述计量结果之前,本文首先对联立方程的使用条件以及选择方法进行判定和说明。在使用

条件方面,联立方程可进行估计的前提条件是其参数“可识别”,而参数“可识别”的充要条件是其结构方程中外生变量个数大于等于内生变量个数。由(16)式、(17)式可知,两个方程所排斥的外生变量个数均大于1,满足联立方程参数估计的基本假设。在方法选择方面,联立方程估计方法包含单一方程估计法与系统方程估计法两种。第一种方法不考虑方程之间的可能联系,仅根据方程的各自特征独立进行参数估计(如两阶段最小二乘法、GMM法等),而系统估计方法将各个方程视为一个整体进行估计,更能反映变量间的联动关系(如三阶段最小二乘法),得到一致且最有效的估计系数。故本文主要采用系统估计法对计量模型进行估计。在具体操作过程中,需要说明的是:①本文将产业创新绩效 $TFPC$ 、应用研究 A 及其平方项设定为方程内生变量,并利用联立方程第一阶段回归结果 F 值的大小作为是否解决内生性的判断依据。一般认为, F 值大于 10 就表明本文较好地控制了内生性问题,得到了一致的估计结果。②考虑到应用研究、基础研究对产业创新绩效具有滞后影响,本文在创新方程中对应用研究取一期滞后值,并对基础研究取两期滞后值,用以反映应用研究与基础研究对产业创新的不同影响路径和效果。在技术积累方程中,基础研究取两期滞后值,而 $TFPC$ 取一期滞后值,用以反映创新绩效改善对技术改进的反向影响。③为控制行业个体差异及不随行业变化的其他经济发展因素对解释变量的影响,所有回归方程均加入行业、时间固定效应^①,并采用迭代的 3SLS 法进行回归分析,回归结果见表 1。

表 1 中第(1)、(4)列,第(2)、(5)列,第(3)、(6)列分别是同一联立方程的回归结果。从创新方程结果看,第(1)列未考虑基础研究对产业创新绩效的直接影响,仅将应用研究与其平方项纳入回归方程,结果显示应用研究 A 对 $TFPC$ 显著的倒 U 型影响;第(2)列则将基础研究纳入创新方程,但忽略了应用研究对产业创新的影响,表现出基础研究对产业创新显著的正面促进作用;第(3)列是创新方程的核心,表明当同时考虑应用研究和基础研究对产业创新绩效的影响后,应用研究 A 对 $TFPC$ 具有显著的倒 U 型作用。基础研究 B 的系数显著为正,其对 $TFPC$ 存在知识积累效应,初步验证了本文假设 1。

值得注意的是,第(3)列基础研究 B 的系数为 0.497,远小于第(2)列系数 1.197,说明若不将应用研究纳入分析,会夸大基础研究对产业创新的影响,该结论与 Toole(2012)的结论基本一致。本文主要以第(3)、(6)列的回归结果进行分析说明:①人力资本 H 。不论是在创新方程还是技术积累方程中,以行业劳动力人数表示的人力资本都对技术进步与创新绩效改善具有显著的推动作用,这与本文理论模型的预期相符,该结果也和 Higdon(2016)结果一致。②技术溢出 FDI 。从第(3)、(6)列可以看出,技术溢出仅对本国以应用研究积累量表示的技术进步具有显著的促进作用,而对以 $TFPC$ 代表的产业创新绩效改善没有明显影响,该结论与近期国内相关研究的结论高度一致(孙早和刘李华,2016),充分说明技术溢出对产业创新绩效改善并没有直接的推动作用。 FDI 仅能通过为本国企业提供国外先进技术,提高本国企业既有知识存量和技能水平,对企业扩大研发投入、改进技术具有重要影响。③产业规模 $Size$ 。与技术溢出 FDI 的作用机制类似,也表现为对企业研发投入、技术进步的直接作用以及对产业创新绩效改进的间接影响,说明规模越大的产业(企业)越有增强研发投入和改善技术水平的能力。但大规模企业对创新绩效的改善并不显著,部分原因可能是大型企业的机构设置复杂、管理成本较高,导致企业虽具有较强的自我创新能力,但其创新效率则由于体制机制的影响,受到较大程度的削弱。④产业利润 $Profit$ 。根据经验分析,企业盈利能力越高,企业的资金压力越小,对创新投入将越多,即产业利润系数应显著为正,而本文回归的结果却显示出了产业利

① 由于在创新方程中加入了不随行业变化的人均 GDP 变量,用以反映时间变化趋势,故不在该方程中加入时间固定效应,以避免高度线性相关。

表 1 基本回归结果(全行业)

解释变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	创新方程(被解释变量:TFPC)			技术积累方程(被解释变量:A)		
<i>A</i>	0.7732*** (2.88)		0.5516** (2.02)			
<i>A</i> ²	-0.0336* (-1.95)		-0.0309* (-1.79)			
<i>B</i>		1.1968** (2.20)	0.4971* (1.68)	0.5729*** (18.26)	0.5705*** (18.16)	0.5705*** (18.15)
<i>H</i>	0.9938*** (3.56)	1.1628*** (4.42)	1.0094*** (3.58)	0.4994*** (6.70)	0.5123*** (6.87)	0.5082*** (6.81)
<i>FDI</i>	0.0173 (0.31)	0.0063 (0.11)	0.0101 (0.18)	0.0356** (2.46)	0.0351** (2.42)	0.0356** (2.46)
<i>Size</i>	0.3309 (1.06)	0.2059 (0.66)	0.2768 (0.88)	0.1485* (1.71)	0.1548* (1.79)	0.1536* (1.77)
<i>State</i>	0.0005 (0.79)	0.0005 (0.91)	0.0005 (0.82)			
<i>Inf</i>	-0.7802 (-0.26)	-4.0955 (-1.05)	-2.6360 (-0.77)			
<i>Pgdp</i>	-414.5000 (-1.64)	-587.8500** (-2.32)	-444.3500* (-1.75)			
<i>TFPC</i>				-0.0403*** (-2.87)	-0.0306** (-2.15)	-0.0358** (-2.53)
<i>Profit</i>				-0.9532* (-1.82)	-0.9962* (-1.88)	-0.9942* (-1.88)
<i>N</i>	420	420	420	420	420	420
<i>R</i> ²	0.5856	0.5966	0.5956	0.9786	0.9786	0.9786
<i>F</i> 值	15.98	16.28	15.96	867.91	438.59	874.93

注:括号内数值为 *t* 值或 *z* 值,*、** 和 *** 分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著。

资料来源:作者计算整理。

润对研发投入有显著的负面影响。造成该结果与直觉相悖的原因主要在于,受政府补贴或税收减免的影响,中国企业对研发的投入不完全受自身盈利能力和资金流的约束。部分企业为获取政府补助,会盲目增加研发投入,展示其“表面的研发能力”,导致盈利能力越差的企业研发投入反而越强。⑤其他控制变量。在创新方程中,本文还控制了国有企业占比、基础设施投入以及人均 GDP 水平。从

结果看,国有企业占比和基础设施投入均对创新绩效改善没有显著影响,而人均 GDP(P_{gdp})对产业创新绩效表现出了显著的负相关关系。Cheung and Lin(2004)用专利申请量作为创新替代变量检验中国经济发展水平对创新的影响,结果显示出发展与创新的正相关关系。将本文结果与 Cheung and Lin(2004)的结果对比可以发现,虽然中国经济的发展对提高本国创新成果的绝对数量具有推动作用,但这种经济发展模式是以效率损失,尤其是创新效率损失为代价的,对以全要素生产率表示的产业创新绩效具有负面作用。

2. 按前沿技术差距分组的结果

整体行业层面的分析不能充分说明应用研究对产业创新表现出的倒 U 型特征是技术差距影响的直接结果,也没有考虑行业异质性条件下基础研究、应用研究及两者相互作用对产业创新的不同影响。有必要进一步考察前沿差距变化在应用研究对产业创新作用机制中所发挥的作用以及异质性行业条件下技术吸收能力与自主创新能力对产业创新影响的异同。本文将前沿技术差距纳入分析,全部行业按与技术领先国(美国)差距的大小分为两组,从而进一步支撑本文假设 1,并验证假设 2。为合理度量技术追赶国与前沿国间技术差距的水平,本文参考 Driffield and Taylor(2000),将技术追赶国(中国)与技术前沿国(美国)的技术差距水平设为: u =美国劳动生产率/中国劳动生产率。其中,两国的劳动生产率分别以各国行业增加值实际数值除以当年劳动力人数计算得出。

技术差距水平 u 的数据处理过程如下:①美国工业各行业增加值、平减指数与劳动力人数数据来源于 OECD 数据库。OECD 数据库中行业的分类标准为国际标准工业分类法(ISIC),该方法与中国以国民经济标准划分的工业行业分类方法(2002 年版)具有一定分歧。为保证数据可比性,本文按 ISIC 分类方法,将中国工业行业进行了删除与归并处理,最终得到 31 个二位码行业。②为保证中美两国工业增加值可比,本文按各年份两国汇率中间价水平将中国工业增加值的实际值转换为美元后,计算出以美元衡量的中国工业劳动生产率。③本文中的行业最终按中国与美国各行业劳动生产率差距的大小划分为两个组:高技术差距组与低技术差距组^①。高技术差距组包含了 16 个二位码中国工业行业,低技术差距组包含了 15 个二位码中国工业行业^②。表 2 展示了以中美劳动生产率差距水平为基准的基础研究、应用研究对产业创新绩效的作用效果。

从表 2 可以看出,应用研究影响在高技术差距组和低技术差距组中具有显著不同的特征:第(1)列中,应用研究 A 系数显著为正,提高应用研究投入可促进产业创新,而在第(3)列中,该系数显著为负,应用研究投入与产业创新绩效表现出负相关关系。这可与本文表 1 全样本回归模型的结果互为对照。与表 1 结果不同的是,基础研究在分行业回归结果中对产业创新的促进作用不再一致。低技术差距组中(第(3)列),基础研究 B 系数显著为正,且高于表 1 整体回归结果的系数水平,而高技术差距组中(第(1)列),基础研究 B 对产业创新绩效的知识积累效应虽为正但不显著,说明从行业分类看,当本国技术水平越高,与前沿技术差距越小,可获取、吸收的国外技术程度越低时,基础研究对产业创新的促进作用越强。人力资本水平 H 也表现出了与基础研究投入相似的特征,本国产

① 中美两国以劳动生产率计算技术差距的行业均值为 0.99,中间值为 0.85,说明从分行业情况看,中美技术差距较大的行业占比更多。需要说明的是,虽然从技术差距均值与中间值的绝对数值看,中国技术表现出高于美国整体的水平($E(u)<1$)。造成该结果的可能原因是中国工业增加值数据虚高,导致以增加值计算的中国劳动生产率水平整体偏高。但本文重点关注的是各行业间的相对差距,并以此作为分组依据。因此,技术差距绝对水平整体上可能存在的统计偏差不会对本文基本结果造成影响。

② 限于篇幅,未列示的中美两国工业分行业类比标准与分组的对照表,可登陆《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)下载。

表 2 以前沿技术差距变化分组的回归结果

高技术差距行业				低技术差距行业			
(1)被解释变量:TFPC		(2)被解释变量:A		(3)被解释变量:TFPC		(4)被解释变量:A	
<i>A</i>	0.3330*** (4.36)	<i>TFPC</i>	-0.0476 (-1.63)	<i>A</i>	-0.5234* (-1.64)	<i>TFPC</i>	0.0076 (0.23)
<i>B</i>	0.4693 (1.20)	<i>B</i>	0.5242*** (11.42)	<i>B</i>	1.3181** (2.37)	<i>B</i>	0.2748*** (4.76)
<i>H</i>	-0.0950 (-0.79)	<i>H</i>	0.4037*** (2.99)	<i>H</i>	1.9622*** (3.70)	<i>H</i>	0.9715*** (12.32)
<i>FDI</i>	0.0244 (0.59)	<i>FDI</i>	0.0042 (0.18)	<i>FDI</i>	-0.0665 (-0.55)	<i>FDI</i>	0.2420*** (5.99)
<i>Size</i>	-0.4925*** (-6.71)	<i>Size</i>	0.2633** (1.99)	<i>Size</i>	0.8766* (1.64)	<i>Size</i>	0.8314*** (16.66)
<i>State</i>	0.2658** (1.98)	<i>Profit</i>	-0.2284*** (-10.66)	<i>State</i>	0.0263** (1.96)	<i>Profit</i>	-1.3870 (-0.60)
N	192	N	192	N	180	N	180
R ²	0.3732	R ²	0.9785	R ²	0.5609	R ²	0.8733
F 值	17.82	F 值	945.74	F 值	13.33	F 值	427.46

注:括号内数值为 t 值或 z 值,*、** 和 *** 分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著;为节省篇幅,省略了 *Inf*、*Pgdp* 的回归结果。
资料来源:作者计算整理。

业技术水平越高,越应该增强人力资本投入,提高基础知识的转换能力和自主创新能力。*FDI* 分行业回归结果与表 1 结果类似,在创新方程中对产业创新绩效 *TFPC* 没有直接的推动作用。但从技术积累方程看,*FDI* 在低技术差距组中对企业应用研究投入具有显著的促进作用,而在高技术差距组中没有显著影响,说明本国技术与国外可获得的技术前沿存在一定程度的配比性,只有当本国技术与前沿技术差距较小时,本国企业才有吸收技术溢出以及工业行业内依然存在盲目扩张企业规模、不重视生产效率的问题。

为验证假设 2,本文在表 2 的基础上进一步在创新方程中加入基础研究与应用研究的交互项,表征基础研究的创新激励效应,并在技术积累方程中加入基础研究与技术溢出的交互项,说明基础研究的技术吸收效应。从表 3 的第(1)、(2)列可知,在高技术差距行业中,基础研究不具有创新激励效应,但具有技术吸收效应,说明当国内外技术差距较大时,提高基础研究对先进技术的吸收能力是促进本国产业创新的关键。第(3)、(4)列表明,在低技术差距行业内,基础研究既存在技术吸收效应,也存在创新激励效应,当基础研究投入超过 5.11 时,基础研究对本国企业自主研发的推动作用

表 3 以前沿技术差距变化分组的进一步分析

高技术差距行业				低技术差距行业			
(1)被解释变量:TFPC		(2)被解释变量:A		(3)被解释变量:TFPC		(4)被解释变量:A	
A	0.5020*** (3.16)	TFPC	-0.0349 (-1.16)	A	-0.5007 (-1.54)	TFPC	0.0348* (1.83)
A×B	-0.0266 (-1.09)	FDI	-0.3951*** (-5.47)	A×B	0.0979** (2.12)	FDI	-0.6583*** (-8.84)
H	-0.1217 (-0.92)	B×FDI	0.0655*** (6.52)	H	0.6087** (2.05)	B×FDI	0.1075*** (10.67)
FDI	0.0189 (0.43)	H	0.9633*** (6.21)	FDI	-0.7349*** (-5.62)	H	0.5991*** (4.03)
N	176	N	176	N	165	N	165
R ²	0.3535	R ²	0.9775	R ²	0.3368	R ²	0.9756
F 值	15.07	F 值	1179.82	F 值	13.21	F 值	350.77

注:括号内数值为 t 值或 z 值,*、** 和 *** 分别表示在 10%、5%和 1%的水平上显著;其他变量均参与回归,受篇幅限制未列出。
资料来源:作者计算整理。

显著增强,扭转应用研究对产业创新绩效边际递减的负面影响。值得注意的是,与表 1、表 2 结果不同,加入基础研究与 FDI 交互项后,FDI 在第(2)、(4)列中系数显著为负,说明 FDI 对产业技术改进具有阈值影响,在高技术差距组内,当基础研究累积投资超过 6.03 时,增加 FDI 才能激发企业的应用研究投入,从而提高产业创新绩效。在低技术差距组内,基础研究提高企业技术吸收能力的阈值水平为 6.12,高于第(3)列的阈值水平,说明本国技术越接近前沿,越需要更多的基础研究投入以发挥技术吸收效应。

3. 稳健性检验

为验证以上结果的稳健性,本文通过以下两种方式对联立方程模型重新进行了回归分析^①:
①基础研究与应用研究均用相关部门科研人员全时当量的积累水平代替。考虑到中国资本投入水平偏高,尤其是应用研究资本投入水平受政策影响存在高估的可能,以应用研究与基础研究资本投入积累量计算的结果可能存在偏误。为此,本文以应用研究、基础研究的从业人数全时当量为替代变量,按照(22)式计算出累计水平,重新对假设 1、假设 2 进行计量回归分析。结果表明,以应用研

^① 限于篇幅,稳健性检验的回归结果未列示,可登陆《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)下载。

究人员存量水平得出的结论依然显示出其对产业创新绩效影响具有显著倒U型特征,通过提高技术吸收能力与自主创新能力,基础研究则表现出对产业创新显著的间接影响。②基础研究与应用研究均增加一期滞后。考虑到基本计量回归方程中滞后期选取可能存在随意性,本文在原方程基础上分别对基础研究与应用研究的资本积累水平增加了一阶滞后,该结果显示,虽部分变量回归系数的显著性水平低于预期(p 值接近10%),但系数的符号与基本回归结果依然一致。系数显著性水平低于预期的解释变量均与应用研究相关,一种可能解释是,相比于基础研究,应用研究从投入到实现创新的周期短,若增加其滞后阶数就会造成解释能力与显著性水平的下降。总体看,以上两种方式与本文基本回归结果一致,本文计量回归结果是稳健的。

五、结论与建议

随着技术引进与鼓励创新政策的广泛实施,中国部分实现了从技术引进向自主创新的转变。但从创新成果看,中国的创新主要以改进式创新为主,发明专利数量远低于外观设计专利与实用新型专利的数量,与核心技术相关的自主创新能力依旧薄弱。进入21世纪以来,基础研究作为拓展应用研究知识宽度与深度的重要渠道,正在成为中国产业技术进步与企业自主创新的核心推动力量。中国若要顺利完成从技术追赶式发展向自主创新式发展的动态转换,避免陷入“引进—改进—再引进”的技术进步低水平循环,亟需通过增强基础研究投入力度,尤其是与高技术产业发展相关的基础研究投入力度,提高中国企业自主创新实力,减少对核心技术的进口依赖,从而实现“引进—改进—自主发展”的高水平循环。

本文首先通过建立包含先进技术中间投入品的内生增长模型,从理论上阐述了基础研究、应用研究在企业“技术引进”到“自主创新”的动态转换过程中对创新增长的不同影响机理。在经验研究层面上,利用2001—2013年中国分行业大中型工业企业数据,在联立方程模型的基础上,采用迭代三阶段最小二乘法实证检验了理论假说的合理性。结果表明:①从全行业看,应用研究对产业创新绩效的影响具有倒U型特征,而基础研究作为知识扩展的重要渠道,对产业创新绩效则表现出知识积累效应。②从以技术差距水平分组的分行业样本看,在高技术差距组中,应用研究对产业创新具有直接推动作用,基础研究则通过技术吸收效应间接促进产业创新。在低技术差距组中,应用研究直接表现为对产业创新绩效的抑制,而加强基础研究则可以通过增强企业自主创新能力,在一定程度上扭转应用研究的负面影响,最终推动产业创新。

本文具有深刻的政策含义:①随着中国与发达经济体技术差距逐步缩小,政府应果断转变科研政策导向,调整研发投入结构,大幅度提高基础研究在GDP中的比重(基础研究强度),充分发挥基础研究对技术突破与创新增长的支撑作用。过去的30多年里,尽管中国基础研究投入力度逐年增强,但基础研究强度始终不足1‰,没有表现出明显的攀升态势。与此同时,美国同期基础研究强度却高达5‰,是中国的五倍。在客观上,中国基础研究投入绝对数量还有很大的增长空间,基础研究持续推动产业创新的潜在动力还有待进一步释放。政府需要从基础研究项目投入和人力资本投入两方面着手,为从事基础研究的科研人员提供更多的设备、资金支持,提高科研人员的研究热情,从而收获更多基础研究成果。②政府应采取有效措施,制定更具针对性的科研政策和产业政策,进一步打通基础研究与应用研究联系的纽带,使基础研究与相关产业(企业)的对接模式更有针对性、更具多元化,从而提高基础研究在科技成果产业化过程中的利用效率。正如贺俊等(2011)指出的,生物医药、电子计算机、纳米材料等高技术产业的技术突破和产品创新,离不开生物、物理、数学等基础学科的发展。但基础科学在扩展通识性知识的过程中,不会自动转化为可供高技术产业直接使用

的成果。政府应作为协调者,巩固高校、科研院所和相关企业的联系,鼓励企业与相关基础学科带头人建立长期合作关系,帮助企业更好更快地吸收前沿知识,提高知识运用能力。在降低企业获取论文、实验报告等书面科技成果的成本上政府应扮演更具主动性的角色,激发企业进行自主创新的热情,加速基础研究向产业生产的转化速度。③政府应充分考虑不同地区(高校、科研院所)基础研究的特点,不断增强政府科研投入(导向)政策与外资(技术)引入政策之间适配性,提高基础研究与先进技术的耦合程度,从而进一步提升本土企业技术再造和自主创新水平。从本文经验研究(表3)可以看出,以往的外资(技术)引入政策对产业创新的正面影响总体上较为有限,甚至在高技术行业中呈现出较为明显的抑制趋势。相反的,基础研究与FDI交互项却对产业创新绩效表现为显著的促进作用。单纯依靠外资(技术)引入政策,不顾及科研政策的配套适应将会导致资源错配,不仅会加剧本土企业与外资企业在要素、成本分布上的不平等,还会弱化中国企业的自主创新能力。为提高中国的整体科研实力和企业创新水平,科研投入政策应突出“优势基础学科”的导向性,需要根据各地区、各高校(科研院所)的科研优势将有限的资源投入到具有优势的基础学科中,充分发挥优势学科与企业技术吸收能力的互补作用。在吸引外资过程中,对外商投资要有所甄别,应重点引进与优势学科、高技术产业紧密相关的投资,最大限度提高高技术产业集群度和创新能力。政府应紧紧抓住当前全球新一轮科技革命和产业结构性转型的契机,通过加强基础研究投入,打通基础研究与技术升级的连接渠道,为实现突破式技术革新与产业升级的“弯道超车”奠定坚实基础。

[参考文献]

- [1]贺俊,黄阳华,沈云昌. 校企合作研发的最优制度安排[J]. 中国工业经济, 2011,(2):151-160.
- [2]赖明勇,包群,彭水军,张新. 外商直接投资与技术外溢:基于吸收能力的研究[J]. 经济研究, 2005,(8):95-105.
- [3]孙早,刘李华. 中国工业全要素生产率与结构演变:1990—2013年[J]. 数量经济技术经济研究, 2016,(10):57-75.
- [4]杨立岩,潘慧峰. 人力资本、基础研究与经济增长[J]. 经济研究, 2003,(4):72-94.
- [5]张军,吴桂英,张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算:1952—2000[J]. 经济研究, 2004,(10):35-44.
- [6]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——上海市的实证研究[J]. 经济研究, 2003,(6):45-53.
- [7]Acemoglu, D., P. Aghion, and F. Zilibotti. Distance to Frontier, Selection, and Economic Growth [R]. NBER Working Papers, 2002.
- [8]Alfaro, L., and M. X. Chen. Surviving the Global Financial Crisis: Firm Ownership, Organization and Establishment Performance[R]. Harvard Business School Working Paper, 2010.
- [9]Battese, G. E., and T. J. Coelli. Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India[J]. Journal of Productivity Analysis, 1992,3(1-2):153-169.
- [10]Belenzon, S. Basic Research and Sequential Innovation[R]. CEP Discussion Papers, 2006.
- [11]Cheung, K. Y., and P. Lin. Spillover Effects of FDI on Innovation in China: Evidence from the Provincial Data[J]. China Economic Review, 2004,15(1):25-44.
- [12]Cohen, W. M., and D. A. Levinthal. Innovation and Learning: The Two Faces of R&D [J]. Economic Journal, 1989,99(3):569-596.
- [13]Driffield, N., and K. Taylor. FDI and the Labour Market: A Review of The Evidence and Policy Implications [J]. Oxford Review of Economic Policy, 2000,16(3):90-103.
- [14]Fuentes, H. J., E. Grifell-Tatjé, and S. Perelman. A Parametric Distance Function Approach for Malmquist Productivity Index Estimation[J]. Journal of Productivity Analysis, 2001,15(2):79-94.
- [15]Ha, J., J. K. Yong, and J. W. Lee. Optimal Structure of Technology Adoption and Creation: Basic Versus

- Development Research in Relation to the Distance from the Technological Frontier [J]. *Asian Economic Journal*, 2009, (23):373-395.
- [16]Higòn, D. A. In-house Versus External Basic Research and First-to-Market Innovations [J]. *Research Policy*, 2016,45(4):816-829.
- [17]Kumbhakar, S. C. Estimation and Decomposition of Productivity Change When Productions not Efficient: A Panal Data Approach[J]. *Economic Reviews*, 2000,19(4):312-320.
- [18]Martínez-Senra, A. I., M. A., Quintás, A., Sartal, and X. H. Vázquez. How Can Firms' Basic Research Turn into Product Innovation? The Role of Absorptive Capacity and Industry Appropriability[J]. *IEEE Transactions On Engineering Management*, 2015,62(2):1-12.
- [19]Park, W. G. A Theoretical Model of Government Research and Growth [J]. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 1998,34(1):69-85.
- [20]Prettner, K., and K. Werner. Why It Pays off to Pay Us Well: The Impact of Basic Research on Economic Growth and Welfare[J]. *Research Policy*, 2016,45(5):1075-1090.
- [21]Romer, P. M. Endogenous Technological Change[J]. *Journal of Political Economy*, 1990,98(5):71-102.
- [22]Toole, A. A. The Impact of Public Basic Research on Industrial Innovation: Evidence from the Pharmaceutical Industry[J]. *Research Policy*, 2012,41(1):1-12.
- [23]Vandenbussche, J., P. Aghion, and C. Meghir. Growth. Distance to Frontier and Composition of Human Capital[R]. Mimeo Harvard-IFS Working Paper, 2004.
- [24]World Bank. Korea as a Knowledge Economy: Evolutionary Process and Lessons Learned Overview [R]. World Bank Working Paper, 2006.

Technology Distance to Frontier and the Innovative Effect of Scientific Research—Which One Plays More Important Role, Basic Research or Applied Research

SUN Zao, XU Xue-lu

(Economics and Finance School of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

Abstract: When China's total scientific research spending began to be classified as the first tier of the world, and the science and technology were closing to the world frontier, the country's R&D spending direction (toward application research or basic research) also began to be important to determine the industrial innovation in a large extent. This paper testifies from both theory and experience aspects that there objectively exists an optimal technology distance level to frontier among all level of distance to frontier. When the technology distance to frontier is smaller than the optimal one, overmuch application research spending will have inhibitory effect on industrial innovation. Continuing to increase investment in basic research can enhance the ability of innovation among Chinese companies and reverse diminishing marginal negative effect of application research to industrial innovation by narrower the optimal gap between Chinese technology and the world frontier. The policy implication is that when the development of Chinese industries are at a historic turning point, only increasingly invest in the basic research can finally make China's industrial innovation transform from the imitation innovation to the original innovation.

Key Words: basic research; applied research; distance to frontier; industrial innovation

JEL Classification: O33 O47 L52

[责任编辑:马丽梅]