

自由探索式研究、产学研融合与经济增长： 理论分析与中国现实^{*}

□ 何怡瑶 潘士远

内容提要 本文构建一个同时包含基础研究与应用研究的内生经济增长模型,探讨了自由探索式研究影响经济增长的机制,并在此基础上利用数值模拟量化了自由探索式研究对中国经济增长的影响。自由探索式研究程度的提高可以吸引科学家向基础研究部门流动,推动基础研究发展,进而通过基础研究对应用研究的“溢出效应”促进经济增长,但这又会减少应用研究部门科学家的数量,进而产生“挤出效应”,不利于经济增长。自由探索式研究能否促进经济增长取决于产学研融合程度的高低。当产学研融合程度较高时,“溢出效应”更强且“挤出效应”更弱,自由探索式研究促进经济增长。基于中国数据的模拟分析显示,提高1%的自由探索式研究程度,经济增长率上升约0.13%;提高1%的产学研融合程度,经济增长率上升约0.66%;同时提高1%的自由探索式研究和产学研融合程度,经济增长率上升约0.79%。

关键词 自由探索式研究 基础研究 应用研究 产学研融合 经济增长

作者何怡瑶,杭州师范大学经济学院副教授;(杭州 311121)通讯作者潘士远,浙江大学民营经济研究中心、浙江大学经济学院教授、博士生导师。(杭州 310058)

一、引言

研发对经济增长的影响一直是内生经济增长理论的一个重要研究话题(Romer, 1990; Grossman & Helpman, 1990; Aghion & Howitt, 1992)。近二十年来,经济学家开始强调基础研究在经济增长中的重要作用(Aghion et al., 2008; Gersbach et al., 2018)。^①基础研究关注基础理论、新知识和新思想的创新,它与市场需求的适配性较低,但为应用研究提供了思想与理论知识的源泉,即基础研究会在产学研融合^②中对应用研究产生很强的“溢出效应”。由于基础研究不以任何专门或特定的应用或使用为目的,所以相对于应用研究而言,基础研究

更需要自由探索式研究(Gersbach et al., 2018)。有些崇尚自由探索式研究的科学家偏好于在高校或学术机构按自身的兴趣开展研究。也就是说,自由探索式研究会通过影响科学家在基础研究部门和应用研究部门的配置对经济增长产生作用。

尽管中国高度重视研发投入,但基础研究投入增速仍略慢于应用研究投入。如图1所示,1991—2018年,中国的基础研究支出绝对量平均增速高达20.67%,但基础研究与应用研究支出比值稳中略降,基本保持在0.05上下。而美国同期比值为0.21,大约是中国的3.85倍;2015—2020年,俄罗斯基础研究与应用研究的支出比值约为0.198。同时,本文发现1995—2021年中国R&D

* 基金项目:国家社会科学基金重点项目“实现科技自立自强支撑国家发展战略研究”(22AZD047)。

基础研究人员全时当量占比也是稳中有降。所以，自由探索式研究如何影响以及在多大程度上影响基础研究、应用研究和中国经济增长的问题值得深入探讨。

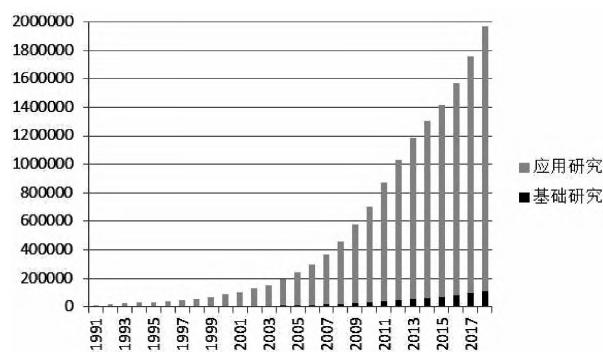


图1 中国研发支出结构(单位:百万元)
注:资料来源于经济合作与发展组织(OECD)数据库。

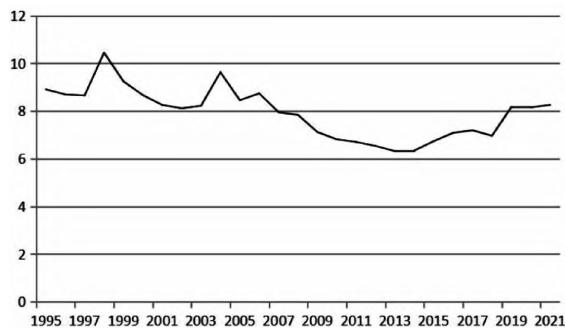


图2 中国R&D基础研究人员全时当量占比(单位:%)
注:资料来源于国家统计局。

大量文献认为研发会促进经济增长(Lichtenberg, 1992; Freire-Seren, 2001; Gittleman & Wolff, 1995; Sylwester, 2001; Guillec & Pottlesberghe, 2004; Gumus & Celikay, 2015)。国内大部分学者也持研发会促进中国经济增长的观点。吴建新(2008)指出,中国目前处在技术引进阶段,国内研发和国外研发都显著地促进了中国经济增长,但后者的促进作用远大于前者。严成樑(2009)、黎欢和龚六堂(2014)、严成樑和朱明亮(2016)研究发现,企业R&D投入和政府研发投入等都能够有效提高企业的研发投入强度、全要素生产率和技术水平,进而促进中国经济增长。严成樑和龚六堂(2014)的研究结果表明,在1989—2005年间,由于中国R&D投资占比低,R&D对GDP增长贡献度仅为2.5%;若能将其份额提高至5%,则R&D对经济增长的贡献度将超过10%。朱云欢(2010)强调,中国研发投入在短期内对GDP影响较小,但在长期

内对GDP有正向拉动效果,且影响大、时间长。

然而,以上文献只关注研发投入总量对经济增长的影响,忽视了研发投入的结构问题。许多文献指出,将研发投入区分为基础研究投入与应用研究投入是十分重要的(Mansfield, 1980; Link, 1981; Griliches, 1986; Aghion & Howitt, 1996; Akcigit et al., 2019)。Mansfield(1995)为以大学或科研机构为主的基础研究的重要性提供了实证证据。近年来,已有不少文献将研发部门区分为基础研究部门和应用研究部门,探究了基础研究和应用研究如何影响经济增长(Gersbach et al., 2013; Cozzi & Galli, 2014)。严成樑和龚六堂(2013)指出,相比于应用研究,基础研究对中国经济增长具有更显著的促进作用,基础研究支出占R&D总支出的比例每提高1个百分点,经济增长率可以上升约0.06个百分点。Prettner & Werner(2014)发现基础研究支出与人均GDP水平存在正向关系。Gersbach et al.(2018)指出,基础研究和应用研究共同决定了长期的经济增长,若一个国家的应用研究处于前沿水平,则该国的经济增长完全由基础研究决定,且从长期来看科研补贴与经济增长息息相关。Akcigit et al.(2019)同时在私有部门和公共部门中引入基础研究与应用研究,其研究结果显示:以研发税收补贴等为代表的科技创新政策一方面通过支持基础研究促进经济增长,另一方面也可能加重应用研究的资源动态错配。本文通过构建一个同时包含基础研究与应用研究的内生经济增长模型,考察了自由探索式研究影响经济增长的机制,并探讨了在不同产学研融合程度下自由探索式研究对经济增长的影响。

本文的主要贡献如下:第一,在一个同时包含基础研究和应用研究的内生经济增长模型中引入了自由探索式研究,探讨了自由探索式研究影响经济增长的理论机制;第二,提出了自由探索式研究影响经济增长的“溢出效应”和“挤出效应”,并在此基础上研究了在不同的产学研融合程度下自由探索式研究对经济增长的影响;第三,基于中国数据,通过数值模拟定量分析自由探索式研究和产学研融合对中国经济增长的影响。

本文余下部分安排如下:第二部分建立理论模型,第三部分基于理论模型进行机制分析,第四部分进行校准的量化分析和模型拓展分析,第五

部分为结论与政策建议。

二、理论模型

本文拓展了 Gersbach et al.(2018)的理论,在一个同时包含基础研究和应用研究的内生经济增长模型中引入自由探索式研究,考察其对经济增长的影响机制。在模型中,劳动力分为普通劳动力(工人)和人力资本(科学家),他们都无弹性地提供1单位劳动。工人是最终产品的生产要素,科学家可以选择在基础研究部门或应用研究部门中开展研究。基础研究和应用研究相互具有“溢出效应”,但二者存在本质区别。基础研究是指可以产生新的思想、方法论和理论知识的研究,但它与经济的适配度不高,即有许多基础研究可能暂时还没有被商业化,所以主要依靠政府财政支持。应用研究是市场导向的,可以产生收益。

在经济中存在完全竞争的最终产品企业,这些企业使用工人和中间产品进行生产。中间产品企业是垄断的,通过基础研究和应用研究可以发明新的中间产品。与 Gersbach et al.(2018)一样,本文假设发明新的中间产品需要通过两个步骤:第一步,基础研究产生新想法和新知识理论;第二步,这些想法通过应用研究的实践创造出新的中间产品。但为了分析方便且不失一般性,与 Gersbach et al.(2018)不同,本文假设应用研究和基础研究想法不需要一一对应。^③

(一)生产

最终产品企业使用 L_t 工人和 A_t 种中间产品 x_{it} 进行生产,其生产函数满足规模报酬不变性质:

$$Y_t = L_t^{1-\alpha} \int_0^{A_t} x_{it}^\alpha di \quad (1)$$

令最终产品为计价物,则最终产品企业的利润为:

$$\pi_t = L_t^{1-\alpha} \int_0^{A_t} x_{it}^\alpha di - \int_0^{A_t} p_{it} x_{it} di - w_t L_t \quad (2)$$

其中, p_{it} 为中间产品 i 的价格, w_t 为工人的工资。最终产品企业利润最大化问题的一阶条件为:

$$p_{it} = \alpha L_t^{1-\alpha} x_{it}^{\alpha-1} \quad (3)$$

$$w_t = (1 - \alpha) L_t^{-\alpha} A_t x_{it}^\alpha \quad (4)$$

最终产品市场是完全竞争的,故在均衡中 $\pi_t = 0$ 。(3)式显示,在其他条件不变的情况下当中间产品价格越高时,最终产品企业对中间产品的需求量越低。(4)式表示,工人的劳动收入占产出的份

额为 $(1-\alpha)$ 。

中间产品市场是垄断的,假设生产一单位中间产品需使用 η 单位的最终产品,则中间产品企业的利润函数为:

$$\pi_{it}^m = (p_{it} - \eta)x_{it} \quad (5)$$

由中间产品企业利润最大化可得:

$$p_{it} = \eta/\alpha \quad (6)$$

$$x_{it} = L_t \left(\frac{\alpha^2}{\eta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (7)$$

参照 Acemoglu et al.(2012),令 $\eta=\alpha^2$ 。因此,每家中间产品企业的利润等于:

$$\pi_{it}^m = \alpha(1 - \alpha)L_t \quad (8)$$

这表明市场规模越大(L_t 越大),中间产品企业的利润越高。结合(4)式和(7)式可得工人的工资等于:

$$w_t = (1 - \alpha)A_t \quad (9)$$

(9)式表明工人工资随中间产品种类数量增加而提高。

(二)代表性家庭

经济中包含 \bar{L} 个普通工人和 \bar{A} 个科学家。普通工人无弹性地提供 1 单位劳动力,最大化其一生效用:

$$U = \int_0^\infty e^{-\rho t} \log c_t dt \quad (10)$$

其中, c_t 代表工人在 t 时刻的消费, ρ 代表时间贴现率。工人的预算约束为:

$$\dot{a}_t = r_t a_t + (1 - \tau)w_t - c_t \quad (11)$$

其中, a_t 为工人的人均资产, r_t 为利息率, w_t 为工人的工资率, τ 表示政府对工人工资征收的比例税率。利用标准的最优控制方法可得到消费者的效用最大化一阶条件,即欧拉方程:

$$g_c = \frac{\dot{c}}{c} = r_t - \rho \quad (12)$$

(12)式中的 g_c 为消费增长率,它表明如果工人更看重未来(跨时替代弹性变高、时间偏好率降低),那么工人会选择用更多的未来消费来替代现时消费。

为了分析方便,本文假设初始时期所有科学家初始资产 a_t^* 为 0。科学家进行研发活动,且可以内生选择进行基础研究还是应用研究。科学家的一生效用等于:

$$U = \int_0^\infty e^{-\rho t} [\log c_t^s + f(1 - L_{At})] dt \quad (13)$$

其中, c_t^s 为科学家的消费。当 $L_{At}=1$, 科学家选择进行应用研究;当 $L_{At}=0$, 科学家选择进行基础

研究。Aghion et al.(2008)指出,由于科学家在基础研究中可以自由探索学术,不受市场需求约束地研究任何自己感兴趣的科学问题,所以他们可以享受自由探索式研究带来的正效用 f 。相反,应用研究必须以利润最大化的市场需求为导向,应用研究的领域未必是科学家喜欢的,这会导致正效用 f 的消失。

每一期,科学家都需要进行职业选择,要么选择进行应用研究并得到工资 w_t^A ,要么选择进行基础研究获得工资 w_t^B 和自由探索式研究带来的效用 f 。科学家的预算约束满足:

$$\dot{a}_t^s = r_t a_t^s + (1 - \tau) w_t^A L_{At} + w_t^B (1 - L_{At}) - c_t^s \quad (14)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\int_0^t r_s ds} a_t^s = 0 \quad (15)$$

通过构建汉密尔顿函数可以求得科学家效用最大化问题的一阶必要条件:

$$\frac{\dot{c}_t^s}{c_t^s} = r_t - \rho \quad (16)$$

$$(1 - \tau) w_t^A = f c_t^s + w_t^B \quad (17)$$

(16)式为标准的欧拉方程。(17)式表示科学家在选择应用研究还是基础研究上的权衡:等式左边表示进行应用研究的边际收益(税后工资),等式右边表示进行基础研究的边际收益(工资加上自由探索式研究带来的正效用)。从(17)式的无套利条件可知,科学家在应用研究部门的工资 w_t^A 要高于基础研究部门的工资 w_t^B 。尽管基础研究部门工资较低,但科学家可以从自由探索式研究中获得效用 f ,当经济达到均衡时科学家在应用研究和基础研究中获得的效用无差异。

(三)基础研究和应用研究

在模型中同时存在两个研究部门,一个是基础研究部门,其研发成果为理论知识;另一个是应用研究部门,其研发结果为应用知识。参考 Gersbach et al.(2018),假设基础研究和应用研究之间相互存在“溢出效应”,但二者不同之处在于:其一,基础研究不产生产品,应用研究会产生中间产品,且一项应用研究与一种中间产品是一一对应的;其二,一种新的中间产品的生产需要经过两个阶段,先是基础研究提供新的思想和理论,接着应用研究基于基础研究的思想和理论进行应用创新。所以,基础研究可以视作应用研究的上游,是更为根本的经济增长动力。如果没有基础研究的进展,应用研究和新的中间产品也就不会再增加。

假设应用研究部门的知识累积方程为:

$$\dot{A}_t = \phi_A A_t^{1-\gamma_A} B_t^{\gamma_A} L_{At} \quad (18)$$

其中, \dot{A}_t 表示应用研究增加量, A_t 表示当前的应用研究水平, B_t 表示当前的基础研究水平, L_{At} 表示应用研究的科学家投入, ϕ_A 表示应用研究部门的效率参数, γ_A 表示基础研究对应用研究溢出的重要性。若一个国家(地区)产学研融合程度高,基础研究就能对应用研究产生更大的外部性,故本文也用 γ_A 来衡量一个国家的产学研融合程度,它越大(小),产学研融合程度越高(低)。由于基础研究是应用研究的上游,对经济增长具有更根本、更重要的作用,所以衡量产学研融合程度的 γ_A 是本文的一个重要参数。

应用研究部门通过选择雇佣应用研究人员的数量最大化其利润。其利润表达式为:

$$\pi_{At} = P_{At} \dot{A}_t - w_t^A L_{At} \quad (19)$$

其中, P_{At} 表示一项应用研究成果专利的价格。因此,应用研究部门的工资等于:

$$w_t^A = P_{At} \frac{\dot{A}_t}{L_{At}} = \phi_A P_{At} A_t^{1-\gamma_A} B_t^{\gamma_A} \quad (20)$$

在垄断市场中,一个中间产品企业购买一项应用研究(专利)来生产一种中间产品。假设专利的期限是无穷的,则有:

$$P_{At} = \int_t^\infty e^{-\int_t^s r(v) dv} \pi(s) ds \quad (21)$$

在均衡时 $P_A = \frac{\pi^m}{r}$,即一项专利的价值等于其利润的贴现值。

相应地,基础研究部门的基础知识积累方程等于:

$$\dot{B}_t = \phi_B B_t^{1-\gamma_B} A_t^{\gamma_B} L_{Bt} \quad (22)$$

其中, \dot{B}_t 表示基础研究增加量, L_{Bt} 表示基础研究的科学家投入, ϕ_B 表示基础研究部门的效率参数, γ_B 表示应用研究对基础研究溢出的重要性。^④

(四)政府部门

在模型经济中,因为基础研究不能直接商业化,所以理性的企业不愿意投入资源进行基础研究,它要完全依靠政府财政支持。政府通过对工人和应用研究科学家的工资征税为基础研究人员提供工资,且每个时期政府的预算约束都保持平衡:^⑤

$$w_t^B L_{Bt} = \tau w_t^A L_{At} + \tau w_t L_t \quad (23)$$

(五)市场出清

普通工人市场出清意味着:

$$L_t = \bar{L} \quad (24)$$

科学家市场出清意味着:

$$L_{At} + L_{Bt} = \bar{L}_s \quad (25)$$

三、均衡分析

在这一部分,本文通过求得上述理论模型的解析解,研究在经济增长的稳态路径下,自由探索式研究和产学研融合如何影响经济增长。本部分依次分析了自由探索式研究对科学家配置和经济增长的影响,以及产学研融合在其中的重要作用。

上文已得(17)式的无套利条件 $(1-\tau)w_t^A = fc_t^s + w_t^B$,本文再将(9)、(20)、(21)和(23)式代入其中可得,在平衡增长路径上:

$$(1-\tau)\frac{\pi}{r}\phi_A A_0 \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A} - \tau\frac{\pi}{r}\phi_B A_0 \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_B} - \frac{\tau(1-\alpha)A_0 \bar{L} (\phi_A + \phi_B \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A - \gamma_B})}{\phi_A} = fc_0 \quad (26)$$

其中, B_0/A_0 表示均衡的研发结构——基础研究和应用研究的比例。对(26)式进行全微分可得:

$$\frac{d(B_0/A_0)}{df} = \frac{c_0}{\left[(1-\tau)\frac{\pi}{r}\phi_A A_0 \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A - 1} + \tau\frac{\pi}{r}\phi_B A_0 \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_B - 1} + \frac{\tau(1-\alpha)A_0 \bar{L} (\gamma_A + \gamma_B) \phi_B \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A - \gamma_B - 1}}{\phi_A} \right]} > 0 \quad (27)$$

由(27)式可知,在其他条件不变的情况下,自由探索式研究程度上升会导致基础研究发展快于应用研究。于是本文有如下引理:

引理1:在实数域 R 上,基础研究和应用研究的比例 B_0/A_0 是 f 的单调递增函数。

进一步地,科学家的均衡配置满足:^⑥

$$\begin{cases} L_{At} = \frac{\phi_B \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_B}}{\phi_A \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_A} + \phi_B \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_B}} = \frac{\phi_B}{\phi_B + \phi_A \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_A + \gamma_B}} \\ L_{Bt} = \frac{\phi_A \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_A}}{\phi_A \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_A} + \phi_B \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_B}} = \frac{\phi_A}{\phi_A + \phi_B \left(\frac{B_t}{A_t}\right)^{\gamma_A + \gamma_B}} \end{cases} \quad (28)$$

故在平衡增长路径上 $g_c = g_A = g_B = g^*$,经济增长率等于:

$$g^* = \phi_A \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A} \frac{L_A}{\text{溢出效应}} = \frac{\phi_A \phi_B \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A}}{\phi_B + \phi_A \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A + \gamma_B}} \quad (29)$$

(一)自由探索式研究与经济增长:“溢出效应”和“挤出效应”

根据(27)和(28)式,本文有 $\frac{dL_B}{df} = \frac{dL_B}{d(B_0/A_0)} > 0$ 。这意味着,自由探索式研究程度上升导致科学家向基础研究部门流动,基础研究得到

加强。接着,本文分析自由探索式研究程度上升如何影响经济增长。因为 $\frac{dg^*}{df} = \frac{dg^*}{d(B_0/A_0)} \frac{d(B_0/A_0)}{df}$,

所以利用引理1可知存在一个 \hat{f} 使得:^⑦

$$\text{sign}\left[\frac{dg^*}{df}\right] = \text{sign}\left[\frac{dg^*}{d(B_0/A_0)}\right] = \begin{cases} > 0, & f_0 \leq f < \hat{f} \\ \leq 0, & f \geq \hat{f} \end{cases} \quad (30)$$

故得到如下命题:

命题1:自由探索式研究程度对经济增长率的影响呈现“倒U型”。

根据(17)式的无套利条件可知,在其他条件不变的情况下,自由探索式研究所带来的效用 f 上升使科学家基础研究的边际收益上升,科学家逐渐流向基础研究部门, L_B 上升。科学家向基础研究部门的流动促使基础研究发展快于应用研究,即 (B_0/A_0) 上升,这会对经济增长带来一正一负的“溢出效应”和“挤出效应”。其中,“溢出效应”由(29)式中的 $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A}$ 表示,它衡量了基础研究对应用研究的正外部性;“挤出效应”由(29)式中的 $L_A = \frac{\phi_B}{\phi_B + \phi_A \left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A + \gamma_B}}$ 表示,它表明自由探索式研究

程度上升会减少应用研究部门科学家的数量,进而阻碍经济增长。所以,自由探索式研究对经济增长率 g^* 的影响最终取决于这两个效应的大小,二者都与产学研融合指数 γ_A 密切相关。因此,下一小节本文将重点探讨产学研融合对经济增长的重要作用。

(二)产学研融合的重要作用

分别计算“溢出效应”和“挤出效应”对 γ_A 的偏导可得:

$$\frac{d(B_0/A_0)^{\gamma_A}}{d\gamma_A} = \frac{1}{\gamma_A + \gamma_B} \left[\frac{A_0}{B_0} + \ln\left(\frac{\gamma_A \phi_B}{\gamma_B \phi_A}\right) \left(1 - \frac{\gamma_A}{\gamma_A + \gamma_B} \frac{A_0}{B_0} \right) \right] > 0 \quad (31)$$

$$\frac{dL_A}{d\gamma_A} = \frac{\frac{dL_A}{d(B_0/A_0)}}{\frac{d(B_0/A_0)}{d\gamma_A}} > 0 \quad (32)$$

由(31)式和(32)式可知,其他条件不变的情况下,当产学研融合增强时:第一,“溢出效应”上升,即基础研究与应用研究的比值上升;第二,“挤出效应”下降,即科学家向基础研究部门流动下降、应用研究部门科学家数量 L_A 上升。所以,在其他条件不变的情况下, $dg^*/d\gamma_A > 0$,即当产学研融合程度较高(低)时,经济增长率越高(低)。故本文有如下命题:

命题 2：产学研融合增强可以促进经济增长。

命题 2 意味着：在其他条件不变的情况下，当产学研融合程度较高时，基础研究对应用研究的正外部性很大，即较少的基础研究也会对应用研究产生很强的促进作用，应用研究发展变快，留在应用研究部门的科学家的比例提高。此时基础研究的“溢出效应”变大且“挤出效应”变小，所以 $dg^*/d\gamma_A > 0$ 成立。

进一步地，本文想知道产学研融合如何调节自由探索式研究对经济增长速度的影响。通过计算均衡经济增长率的一个二阶导数可得：

$$\frac{d^2g^*}{df d\gamma_A} = \phi_A(\phi_B)^2 \frac{\left[1 - \gamma_A \ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right)\right] \left[\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A} + \phi_A\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_B}\right] + 2 \ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right) \left[\phi_B\gamma_A\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A} - \phi_A\gamma_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_B}\right]}{\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A+1} \left[\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A} + \phi_A\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_B}\right]^3} \quad (33)$$

因此：

$$\text{sign}\left[\frac{d^2g^*}{df d\gamma_A}\right] = \text{sign}\left[\frac{\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A-\gamma_B}}{\ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right)} + \frac{\phi_A}{\ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right)} - \gamma_A\phi_A - 2\gamma_B\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A-\gamma_B}\right] \quad (34)$$

因为 $\frac{\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A-\gamma_B}}{\ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right)} + \frac{\phi_A}{\ln\left(\frac{B_0}{A_0}\right)} + \gamma_A\phi_B\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_A-\gamma_B}$ 是关于 $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)$ 的单调递减函数， $-(\gamma_A\phi_A + 2\gamma_B\phi_B)$ 是常数，所以存在唯一的阈值 $\left(\frac{\tilde{B}_0}{A_0}\right)$ 使得：当 $\frac{B_0}{A_0} < \left(\frac{\tilde{B}_0}{A_0}\right)$ 时， $\text{sign}\left[\frac{d^2g^*}{df d\gamma_A}\right] > 0$ ；当 $\frac{B_0}{A_0} \geqslant \left(\frac{\tilde{B}_0}{A_0}\right)$ 时， $\text{sign}\left[\frac{d^2g^*}{df d\gamma_A}\right] \leqslant 0$ 。因此，由(33)式可知，当基础研究相对落后，即 $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)$ 小于某一个阈值时，产学研融合程度上升 (γ_A 越大)，自由探索式研究程度的提升会更有利于经济增长。也即，如果基础研究与应用研究的比例过大，即基础研究非常先进时，产学研融合对经济增长的影响不大。这是因为，随着自由探索式研究和产学研融合程度的提升，较少的基础研究也会对应用研究产生较大的正外部性，所以 $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)$ 比值的增速在下降，即 $\frac{d^2(B_0/A_0)}{df d\gamma_A} < 0$ ，再利用引理 1 可知 $\frac{dg^*}{df} > 0$ 成立的条件更容易满足。综上所述本文有：

命题 3：当基础研究与应用研究的比值小于某一阈值时，自由探索式研究对经济增长的促进作

用随产学研融合程度提升而增大。

命题 3 意味着当基础研究与应用研究的比值小于某一阈值时，若自由探索式研究程度提高，科学家逐渐向基础研究部门流动，产学研融合强化了基础研究的“溢出效应”，使之占优于“挤出效应”，那么自由探索式研究程度的提升会更好地促进经济增长。命题 3 也意味着，对于像中国这样基础研究还需要进一步发展的经济体而言，深化产学研融合有助于更好地发挥自由探索式研究和基础研究的外部性，促进经济增长。

四、量化分析

在这一部分本文使用量化分析对上述模型进行模拟，以论证理论的合理性并定量分析自由探索式研究和产学研融合影响中国经济增长的效应大小。本文通过参数校准进行仿真模拟验证理论模型，并在不同税率政策下和在劳动力市场完全流动情形下对自由探索式研究与经济增长的关系进行深层次探讨。

(一) 参数校准

本小节介绍了量化分析运用的参数值的校准和估计过程。不失一般性地，令 $\bar{L}=\bar{L}_s=1$ 。已有文献在校准中国资本份额时的标准选值都是 0.5，所以本文也令 $\alpha=0.5$ (Chang et al., 2015)。根据 1998—2020 年中国经济年均增长率数值，本文以 1998 年为基期，使用 GDP 平减指数经过价格调整后得到实际年均中国经济增长率 g ，约等于 7.60%。令贴现率 ρ 等于 0.025，这与 Jones & Tonetti (2020) 保持一致。因为在本文模型中税收用于支持基础研究，所以本文使用 2003—2020 年^⑧中国国家公共财政教育和科学技术支出占 GDP 的比重（约为 3.82%）校准税率 τ 。最后，本文使用 1998—2020 年国家统计年鉴中的宏观数据校准 A_0/c_0 的比值。根据(9)式可知， $w_0/c_0=(1-\alpha)A_0/c_0$ 。其中 c_0/w_0 表示人均收入中消费的占比，本文使用 1998—2020 年中国国内总储蓄率数据和公式 (1—中国国内总储蓄率)，校准得到 c_0/w_0 约等于 0.55， $A_0/c_0=\frac{w_0/c_0}{1-\alpha} \approx 3.66$ 。

由于剩下关于中国基础研究和应用研究的四个参数 $\{\phi_A, \phi_B, \gamma_A, \gamma_B\}$ 暂时没有文献可参照，所以本文采用模拟矩估计进行拟合。本文选取了四组宏观数据作为拟合目标（记为 M^{data} ），分别为：1998—

2020年中国实际GDP增长率和加总层面的人均消费占收入比值、1999—2019年中国科技活动人员中科学家与工程师的占比、2003—2020年中国国家公共财政教育和科学技术支出占GDP的比重。本文最小化 $(M_{model} - M^{data})\widehat{W}(M_{model} - M^{data})$,其中 M_{model} 表示模型中包含上述四个参数的内生变量方程。为了简化计算,这里令权重矩阵 \widehat{W} 等于1。在表1中本文列示了参数估计的结果和拟合度,结果显示参数估计与实际数据拟合度非常高,^⑨且结果符合Gersbach et al.(2018)的合理区间。在上述参数校准下,中国自由探索式研究带来的正效用 f 等于0.94, $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)$ 等于21.84。

(二)自由探索式研究、产学研融合与经济增长

在图3中,本文以0.94为自由探索式研究程度的初始值,模拟了在不同的产学研融合强度下,自由探索式研究程度上升对中国经济增长的影响。图3显示:第一,随着 γ_A 上升,当自由探索式

研究程度增加时,科学家向基础研究部门的流动速度变得缓慢[子图(a)]。这是因为,此时基础研究的“溢出效应”变大使得在平衡增长路径上,即使较少的科学家配置在基础研究部门也会带来很大的正外部性,所以科学家向基础研究部门的流动速度在较大的 γ_A 下变慢了,同时工资差距也逐步缩小[子图(c)]。第二,随着 γ_A 上升,当自由探索式研究程度增加时,由于科学家流向基础研究部门的速度下降,基础研究与应用研究的比值在下降[子图(b)]。因为在更强的产学研融合程度下,较少的基础研究也会产生很强的“溢出效应”,所以基础研究与应用研究的发展差距就不会很大。第三,随着 γ_A 上升,经济增长的速度上升[子图(d)],且自由探索式研究更容易促进经济增长[子图(d)]。当 γ_A 约等于0.56的基准值,自由探索式研究程度从初始的0.94提高约49.09%至1.4时,经济增长率从7.60%上升至最大值7.82%。当 γ_A 提高到0.65时,经济增长率进一步上升至8.98%。图3的

表1

参数估计结果和拟合度

参数	参数估计结果 ^⑩	
	模型估计结果	实际数据
ϕ_A	0.0236	0.0760
ϕ_B	0.7235	0.5469
γ_A	0.5587	0.4308
γ_B	0.4548	0.0382
1998—2020年中国实际GDP增长率	0.0760	0.0760
1998—2020年中国加总层面的人均消费占收入比值	0.5469	0.5469
1999—2019年中国科技活动人员中科学家与工程师的占比 ^⑪	0.4308	0.4308
2003—2020年中国国家公共财政教育和科学技术支出占GDP的比重	0.0382	0.0382

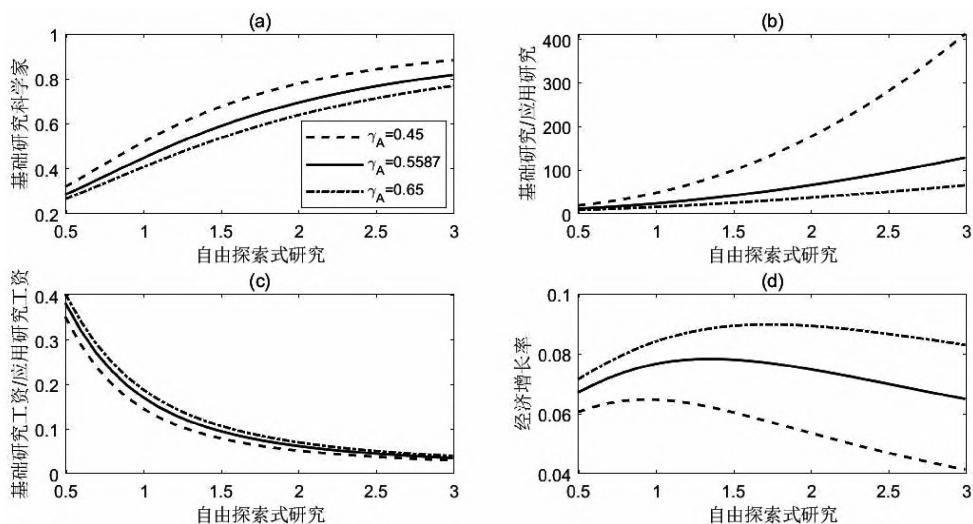


图3 自由探索式研究、产学研融合与中国经济增长

量化结果验证了本文的主要结论，也说明在目前的数据校准下中国的基础研究与应用研究比值还没达到临界阈值，加深产学研融合可以促进中国经济增长。

进一步地，本文在初始值的基础上进行了以下三个反事实动态模拟：第一，若给定产学研融合，仅加强自由探索式研究时，每提高1%的自由探索式研究程度，经济增长率上升约0.13%。第二，若给定自由探索式研究，仅加强产学研融合时，每提高1%的产学研融合程度，经济增长率上升约0.66%。第三，同时提高1%的自由探索式研究和产学研融合程度，中国实际经济增长率会提高约0.79%。

(三)政府税收的作用

在图4中，本文模拟了在不同税率条件下，自由探索式研究程度上升对中国经济增长的影响。图4显示：随着 τ 上升，当自由探索式研究程度增加时，科学家向基础研究部门的流动速度加快[子图(a)]，基础研究相对于应用研究的比值上升[子图(b)]。这是因为，政府对基础研究的支持是以对应用研究征税为代价的，^⑫税率上升意味着政府对基础研究的支持力度增加，资源向基础研究加速倾斜，相对于应用研究，基础研究发展更快。本文根据比较静态分析可以得出：

$$\frac{d(B_0/A_0)}{d\tau} = \frac{\frac{(1-\alpha)\bar{I}}{\phi_A} \left(\frac{\phi_A + \phi_B}{A_0} \right)^{-\gamma_A - \gamma_B} + \frac{\pi}{r} \phi_B \left(\frac{B_0}{A_0} \right)^{-\gamma_B} + \frac{\pi}{r} \phi_A \left(\frac{B_0}{A_0} \right)^{\gamma_A}}{(1-\tau) \frac{\pi}{r} \phi_A \left(\frac{B_0}{A_0} \right)^{\gamma_A - 1} + \frac{\tau(1-\alpha)\bar{I}\phi_B(\gamma_A + \gamma_B)}{\phi_A} \left(\frac{B_0}{A_0} \right)^{-\gamma_A - \gamma_B - 1} + \tau \frac{\pi}{r} \phi_B \left(\frac{B_0}{A_0} \right)^{-\gamma_B - 1}} > 0 \quad (35)$$

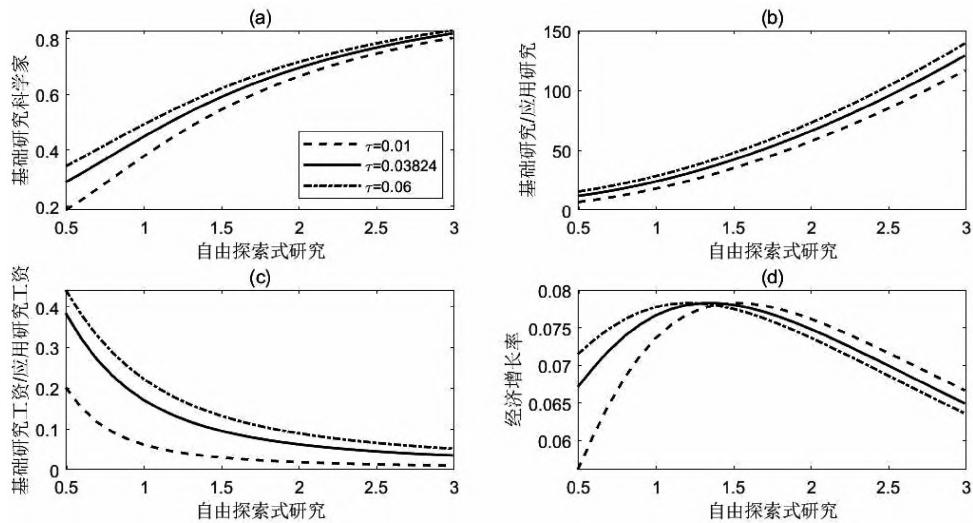


图4 税率与中国经济增长 ($\gamma_A=0.56$)

但当基础研究发展过快时，基础研究对应用研究的边际“溢出效应”下降且“挤出效应”上升。在图4的子图(d)中经济增长率的上升区间随着 τ 上升而缩小。即随着税率提高，基础研究相对于应用研究发展更快，“挤出效应”也会更快地占优， $\frac{dg}{df} > 0$ 的区间变窄，自由探索式研究对经济增长的影响会更快进入 $\frac{dg}{df} < 0$ 区间[子图(d)]。

(四)模型拓展：劳动力自由流动

在基准模型中，本文假设个人不能自由择业，工人只能从事生产，科学家只能从事科学研究。在本部分的拓展模型中，本文放松了这一限制。^⑬此时个人选择职业的无套利条件变为：

$$(1-\tau)w_t = (1-\tau)w_t^A = fc_t + w_t^B \quad (36)$$

劳动力市场出清意味着：

$$L_{At} + L_{Bt} + L_t = 1 + \bar{L} \quad (37)$$

根据 $w_t=w_t^A$ 和市场出清 $L_{At}+L_{Bt}=1+\bar{L}-L_t$ 可得劳动力的配置满足：

$$\begin{cases} L_{At} = \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_A - \gamma_B} \frac{1 + \bar{L} - \frac{r}{\alpha \phi_A} \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_A}}{\frac{\phi_A + (B_t)}{A_t}^{-\gamma_A - \gamma_B}} \\ L_{Bt} = \frac{\phi_A}{\phi_B} \frac{1 + \bar{L} - \frac{r}{\alpha \phi_A} \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_A}}{\frac{\phi_A + (B_t)}{A_t}^{-\gamma_A - \gamma_B}} \\ L_t = \frac{r}{\alpha \phi_A} \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_A} \end{cases} \quad (38)$$

在平衡增长路径上 $g_c=g_A=g_B=g^*$ ，经济增长率等于：

$$g^* = \phi_A \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_B} \frac{1 + \bar{L} - \frac{r}{\alpha \phi_A} \left(\frac{B_t}{A_t} \right)^{-\gamma_A}}{\frac{\phi_A + (B_t)}{A_t}^{-\gamma_A - \gamma_B}} \quad (39)$$

对(36)式的无套利条件求全微分可得：
 $\frac{d(B_0/A_0)}{df} > 0$ 且 $\frac{d(B_0/A_0)}{d\tau} > 0$ ，自由探索式研究程度上升会促进基础研究发展。再结合(38)式的劳动力配置解析解可知 $\frac{dL_B}{d(B_0/A_0)} > 0$, $\frac{dL_A}{d(B_0/A_0)} < 0$ ，但 $\frac{dL_A}{d(B_0/A_0)}$ 的符号不确定，它取决于生产劳动力和基础研究科学家重新配置效应的大小。综上本文有：

引理2：当个体可以自由择业时，自由探索式研究程度上升会导致进行基础研究的科学家数量上升，生产劳动力数量下降。

引理2意味着，在拓展模型中，当自由探索式研究程度上升时，生产劳动力数量 L_t 会随着自由探索式研究程度的上升而下降，劳动力整体上是从生产部门向研发部门流动的。这意味着，自由探索式研究程度的提高会吸引更多的劳动力参与研发活动，进而对经济增长产生影响。接着，本文探讨在拓展模型中上述劳动力的配置如何影响经济增长。对(39)式求导可得：

$$\begin{aligned} \text{sign}\left[\frac{dg^*}{d(B_0/A_0)}\right] &= \text{sign}\left[\gamma_A(1+\bar{L})\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_B} - \gamma_B(1+\bar{L})\right. \\ &\quad \left.\phi_A\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A} + (\gamma_A + \gamma_B)\frac{1-r}{\phi_B \alpha}\right] \end{aligned} \quad (40)$$

第一部分 $\gamma_A(1+\bar{L})\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{-\gamma_B} - \gamma_B(1+\bar{L})\phi_A\left(\frac{B_0}{A_0}\right)^{\gamma_A}$

是关于 $\left(\frac{B_0}{A_0}\right)$ 的单调递减函数，第二部分 $(\gamma_A + \gamma_B)$

$\frac{1}{\phi_B} \frac{r}{\alpha}$ 是常数，所以一定存在一个阈值 $\left(\frac{\widehat{B}_0}{A_0}\right)$ 使得：当 $1 \leq \frac{B_0}{A_0} < \left(\frac{\widehat{B}_0}{A_0}\right)$ 时， $\frac{dg^*}{d(B_0/A_0)} > 0$ ；当 $\frac{B_0}{A_0} \geq \left(\frac{\widehat{B}_0}{A_0}\right)$ 时， $\frac{dg^*}{d(B_0/A_0)} \leq 0$ 。进一步地，本文可知存在一个阈值，在这一阈值左侧时 $\text{sign}\left[\frac{d^2g^*}{df d\gamma_A}\right] > 0$ 。所以在命题3依然成立的基础上有：

命题4：与基准模型相比，当劳动力可以自由择业时，产学研融合程度越高，自由探索式研究程度上升会让更多的生产劳动力转移至基础研究部门，基础研究发展更快，这会促进经济更快速地增长。

接着，本文进行了拓展模型的量化分析。图5显示，当劳动力可以自由择业时，自由探索式研究程度上升提高了从事基础研究的科学家的边际效用，劳动力逐渐从生产部门流动到科研部门[子图(c)]，且与基准模型相比，基础研究部门劳动力数量增加得更快[子图(a)]。此时基础研究与应用研究的比值也更高[子图(d)]，基础部门工资下降幅度更大[子图(e)]。由于拓展模型中的基础研究与应用研究之比上升更快，所以基础研究的“挤出效应”也会更快地占优， $\frac{dg^*}{df}$ 的“倒U型”区间变窄，^⑩但经济增长率的绝对值更高。

在图6中，本文以基准模型的稳态学术自由

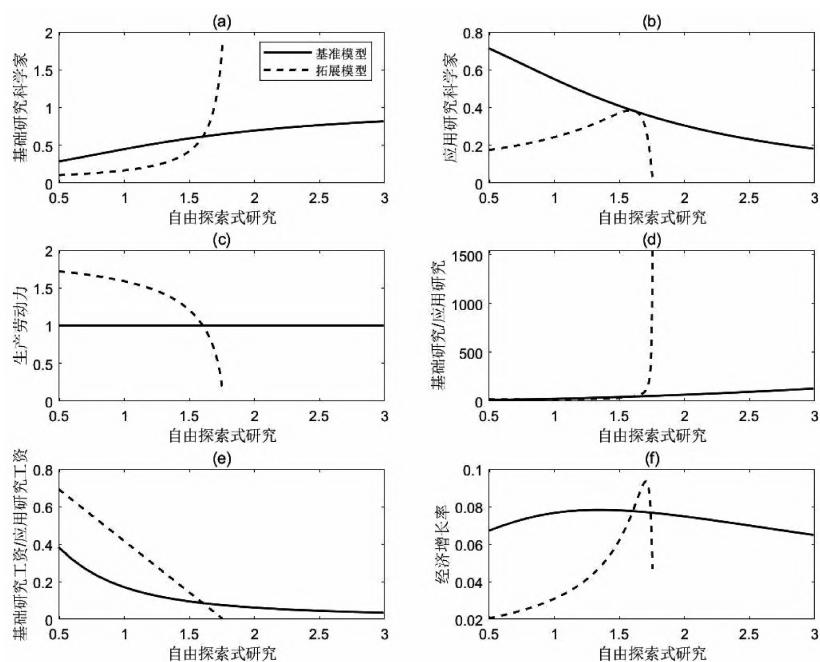


图5 基准模型 vs 拓展模型

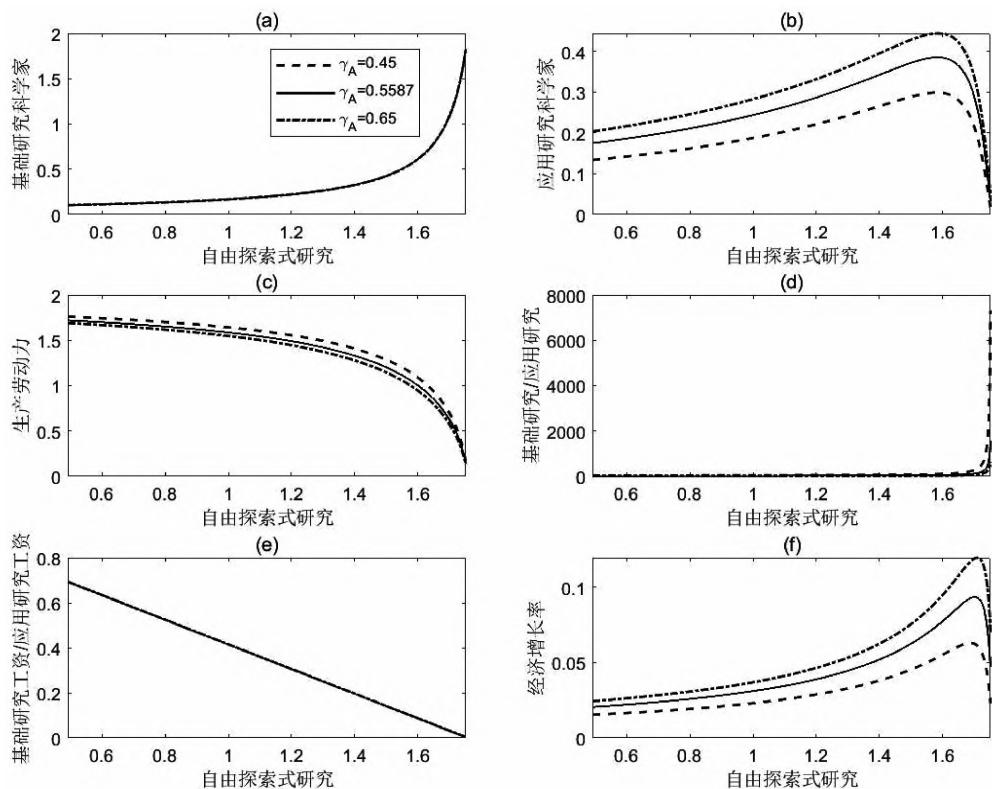


图 6 自由探索式研究、产学研融合与中国经济增长(拓展模型)

值 0.94 为起点，模拟了当劳动力可以自由择业时的情形。图 6 显示，当劳动力可以自由择业时，产学研融合程度提高(γ_A 变大)会强化基础研究的“溢出效应”并减弱其“挤出效应”，有利于应用研究发展，所以此时的应用研究科学家数量增加(从生产劳动力部门流入)、基础研究和应用研究之比相对更低[子图(b)和(d)]。最终，产学研融合程度上升会促进中国经济增长速度提高并拓宽经济增长区间，即自由探索式研究在产学研融合增强时可以更快地提高中国经济增长率， $\frac{dg}{df} > 0$ 的条件也更容易满足。图 6 显示，当产学研融合程度 γ_A 等于 0.45，经济增长率在自由探索式研究程度 f 等于 1.69 时达到最大；当产学研融合程度 γ_A 等于 0.56，经济增长率在自由探索式研究程度 f 等于 1.70 时达到最大；当产学研融合程度 γ_A 继续上升至 0.65，经济增长率会在自由探索式研究程度 f 等于 1.71 时达到最大；经济增长率最大值从 6.28% ($\gamma_A=0.45$) 递增至 11.95% ($\gamma_A=0.65$)，上升了 90.28%。同时本文还发现，在当前的数据校准下，产学研融合程度提高有助于提高中国应用研究科学家的数量，且不会影响基础研究部门科学家的数量。所以，劳动力

整体上是从生产部门流向科研部门，^⑮ γ_A 越大，生产劳动力向应用研究部门转移的数量越大。

在图 7 中本文发现，税率上升依旧会通过影响基础研究对经济增长产生作用。当 τ 分别等于 1%、3.82% 和 6% 时，自由探索式研究促进经济增长 ($\frac{dg}{df} > 0$) 的区间逐渐变窄。这是因为税率越高，政府对研发活动的支持力度越大，基础研究得到更多支持，基础研究科学家数量上升更快 [子图(a)]，生产劳动力的流出更多 [子图(c)]， $(\frac{B_0}{A_0})$ 也更快到达阈值 [子图(d)]，基础研究和应用研究科学家的工资差距拉大 [子图(e)]。此时，基础研究的“挤出效应”会更快地占优于“溢出效应”，所以自由探索式研究促进经济增长 ($\frac{dg}{df} > 0$) 的区间变窄。

五、结论与政策建议

本文在一个同时包含基础研究与应用研究的内生经济增长模型中引入自由探索式研究，考察了自由探索式研究影响经济发展的机制，并探讨了在不同产学研融合程度下自由探索式研究对经济增长的影响。本文发现：自由探索式研究程度上

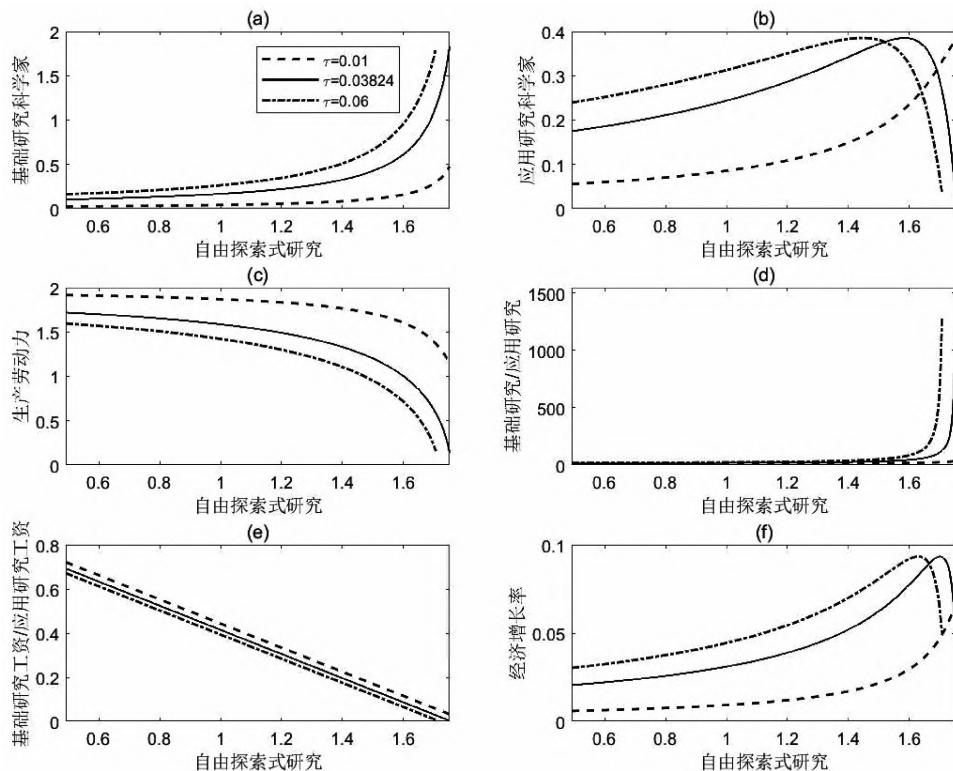


图7 税率与中国经济增长(拓展模型)

升导致科学家向基础研究部门流动，基础研究得到更快发展。基础研究的更快发展会对应用研究产生“溢出效应”，从而促进经济增长。但是，自由探索式研究程度上升也会通过减少应用研究部门科学家数量的“挤出效应”阻碍经济增长。因此，自由探索式研究是否促进经济增长取决于产学研融合程度的高低，当产学研融合程度比较高(低)时，自由探索式研究促进(阻碍)经济增长。本文基于中国数据的定量研究显示，每提高1%的自由探索式研究程度，经济增长率上升约0.13%；每提高1%的产学研融合程度，经济增长率上升约0.66%；同时提高1%的自由探索式研究和产学研融合程度，中国实际经济增长率上升约0.79%。因此，在加强产学研深度融合的背景下鼓励自由探索式研究、强化基础研究，对于促进中国经济高质量发展是非常必要的。

根据上述研究结论，本文提出以下三点政策建议：

第一，鼓励和支持在基础研究中的自由探索式研究。实现高水平科技自立自强、建设世界科技强国必须真正重视、稳定支持和有效推进基础研究工作，切实提升基础研究的地位，鼓励基础研究

科学家自由探索新知识、构建新体系、建立新理论和揭示新规律，为技术创新指明方向、提供方法。为此，既要营造良好的学术氛围，鼓励和支持在基础研究中的自由探索，完善以增加知识价值为导向的支持政策，提高基础研究的投入回报，改善基础研究的评价机制，构建以政策法规为支撑的基础研究支持体系，又要强化对基础研究的财政支持，不仅需要进一步加强中央财政的投入，也需要积极引导地方财政和企业等社会力量对基础研究的投入，有效推动基础研究的高质量发展。

第二，在鼓励自由探索式研究的基础上，加强产学研融合和有组织科研。进入大科学时代，必须提高基础研究的组织化程度，推动产学研深度融合。宏观层面，需要深化基础研究体制机制改革，形成高质量、全要素、深层次的产学研融合局面。健全同基础研究长周期相匹配的科技评价激励、成果应用转化、科技人员薪酬等制度，有组织地推进战略导向的体系化基础研究和前沿导向的探索性基础研究。微观层面，要建立合作共赢、风险共担的利益共同体，明确国家实验室、科研机构、高等研究院校和科技领军企业的定位和责任，创新产学研合作模式。为夯实中国基础研究能力，需要

发挥国家实验室的引领作用、高校和科研院所的主力军作用，同时推动企业以应用为牵引，面向产业发展，与高校等创新主体协作融通，共建实验室、创新创业中心，共同参与重大科技项目，形成长期稳定的项目合作关系，共同培育引领性原创成果，打造具有国际竞争力的战略科技力量。

第三，增加科研人才的输送。创新型人才是建设科技强国的力量源泉，基础研究更是要依靠高水平人才。一要培养战略科技人才和科技领军人才，围绕国家重大需求，聚焦基础学科及前沿交叉领域，建立面向未来的领军人才引进和培育机制，培养一批具有前瞻性和国际眼光的科研人员。二要加强对中青年科技人才的培养，对符合条件的基础研究领域高层次人才和优秀青年人才实施人才安居工程，加强各类人才计划的支持力度，支持青年科技人才挑大梁、担重任，聚焦重点领域，不断壮大科技领军人才队伍、打造一流创新团队。同时，要完善基础研究人才差异化评价和长周期支持机制，构建符合基础研究规律和人才成长规律的评价体系。三要坚持走基础研究人才自主培养之路，贯彻落实“强基计划”和“基础学科拔尖学生培养计划”，发挥高校基础研究人才培养主力军的作用，加强研究后备人才队伍建设，为基础研究的持续推进输送源源不断的后备力量。

注释：

①根据国家统计局的定义，基础研究是指为了获得关于现象和可观察事实基本原理的新知识（揭示客观事物的本质、运动规律，获得新发现、新学说）而进行的理论性或实验性研究，它不以任何专门或特定的应用或使用为目的。应用研究是指针对某一特定的目的或目标，为获得新知识而进行的创造性研究。

②“产学研融合”是指产业、学校和科研单位三者的结合，学校和科研单位创造的基础研究可以对经济产生实际应用价值。近年来，我国产学研融合获得了长足进步，高校和科研机构的一批科研成果在实践中得到了应用并产生价值。例如，中国科学院深圳先进技术研究院高达 83% 的科研经费都依靠与产业合作等多种方式获得，他们已在合成生物、脑科学、医疗器械等方面取得了重大突破。但目前中国的产学研融合也存在成果转化成功率低、成果转化路径不完善等问题。

③这样，与 Gersbach et al. (2018) 不同，本文就不需要讨论应用研究是否完全转化基础研究的问题。当然，假设两者一一对应也不会改变本文的主要结论。

④产学研融合程度可能也会影响参数 γ_B 的大小。但产学研融合程度对参数 γ_A 的影响应该会大于其对 γ_B 的影响，即产学研融合加深有利于基础研究的转化。因此，为了分析的方便且不失一般性，本文假设产学研融合不影响参数 γ_B 的大小。

⑤无论政府通过征比例税还是总量税来支持基础研究都不会改变本文的主要结论。

⑥不失一般性地，本文令 L_s 等于 1。

⑦其中， $f_0 \leq f < \hat{f} \Leftrightarrow 1 \leq \frac{B_0}{A_0} < \left(\frac{\gamma_A \phi_B}{\gamma_B \phi_A}\right)^{\frac{1}{\gamma_A + \gamma_B}}$, $f \geq \hat{f} \Leftrightarrow 1 \leq \frac{B_0}{A_0} \geq \left(\frac{\gamma_A \phi_B}{\gamma_B \phi_A}\right)^{\frac{1}{\gamma_A + \gamma_B}}$ 。由科学家市场出清条件(25)式和科学家市场配置结果(28)式可知， $\frac{B_0}{A_0}$ 大于或小于 $\left(\frac{\gamma_A \phi_B}{\gamma_B \phi_A}\right)^{\frac{1}{\gamma_A + \gamma_B}}$ 都有可能成立。Gersbach et al. (2018) 指出 γ_B 的取值范围为 [0.4, 0.8], $\gamma_B < \gamma_A < 1$ 且 $\phi_A < \phi_B$, 所以 $\frac{\gamma_A \phi_B}{\gamma_B \phi_A} > 1$ 恒成立。

⑧目前可得的国家财政教育支出数据的起始年份是 2003 年。

⑨四组估计差值都小于 1e-12。

⑩基础研究与应用研究的效率参数之比约等于 30.66, 这一结果与 Gersbach et al. (2018) 使用美国数据得出的 33.3 非常接近，说明中国的基础研究效率并不低。

⑪1999—2008 年，教育部公布了中国科技活动人员数量和其中的科学家与工程师的数量，科学家与工程师大约占了 65.79%，此数据在 2009 年停更。2010 年后，教育部只公布中国 R&D 活动单位中从事科技活动人员的数量和总计的从业人数，由此可以计算出 2010—2019 年从事科技活动人员约占 43.08%。考虑到本文讨论话题的时效性，本文选择了后者作为参数估计的拟合目标。本文也使用前者做了稳健性检验，结果稳健。

⑫在子图(c)中本文发现，税率越高，工资差距越小。这是因为，一方面税率上升加速了科学家向基础研究部门流动，基础研究工资下降，工资差距加大；另一方面税率上升又让应用研究工资下降，工资差距缩小。在本文参数校准下，后者占优，所以税率越高工资差距越小。

⑬尽管工人与科学家在能力上存在异质性，但现实中可以通过教育等手段提高人力资本水平，所以本文希望就此探讨劳动力自由流动下的相关机制变化。

⑭在拓展模型中，由于劳动力总量有上限，所以当自由探索式研究值接近 1.72 时，几乎所有的劳动力都会聚集于基础研究部门，量化模拟结果就会发散，所以图 5~7 的横坐标值比基准模型小。

⑮因为拓展模型中劳动力在生产部门和应用研究部门的选择是无差异的，二者工资相等，所以基础研究和应用研究的相对工资不变。

参考文献：

1. 黎欢、龚六堂：《金融发展、创新研发与经济增长》，

- 《世界经济文汇》2014年第2期。
2. 吴建新:《开放经济条件下的研发、专利与中国经济增长》,《世界经济研究》2008年第3期。
 3. 严成樑:《政府研发投入与长期经济增长》,《经济科学》2009年第2期。
 4. 严成樑、龚六堂:《R&D 规模, R&D 结构与经济增长》,《南开经济研究》2013年第2期。
 5. 严成樑、龚六堂:《R&D 对我国经济增长的贡献测度》,《投资研究》2014年第1期。
 6. 严成樑、朱明亮:《我国 R&D 投入对经济增长的影响及其传导机制分析》,《产业经济评论》2016年第1期。
 7. 朱云欢:《我国研发投入与经济增长的动态分析》,《科学管理研究》2010年第2期。
 8. Acemoglu D., Aghion P., Bursztyn L. & Hemous D. The Environment and Directed Technical Change[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(1): 131~166.
 9. Akcigit U., Hanley D. & Serrano-Velarde N. Back to Basics: Basic Research Spillovers, Innovation Policy and Growth[R]. *NBER Working Paper*, 2019.
 10. Aghion P. & Howitt P. A. Model of Growth through Creative Destruction[J]. *Econometrica*, 1992, 60(2): 323~351.
 11. Aghion P. & Howitt P. Research and Development in the Growth Process[J]. *Journal of Economic Growth*, 1996, 1(1): 49~73.
 12. Aghion P., Dewatripont M. & Stein J. C. Academic Freedom, Private-Sector Focus, and the Process of Innovation [J]. *RAND Journal of Economics*, 2008, 39(3): 617~635.
 13. Chang C., Liu Z. & Spiegel M. M. Capital Controls and Optimal Chinese Monetary Policy[J]. *Journal of Monetary Economics*, 2015, 74(1): 1~15.
 14. Cozzi G. & Galli S. Sequential R&D and Blocking Patents in the Dynamics of Growth[J]. *Journal of Economic Growth*, 2014, 19(2): 183~219.
 15. Freire-Seren M. J. R&D-Expenditure in an Endogenous Growth Model[J]. *Journal of Economics*, 2001, 74(1): 39~62.
 16. Gersbach H., Schneider M. T. & Schnelle O. Basic Research, Openness, and Convergence[J]. *Journal of Economic Growth*, 2013, 18(1): 33~68.
 17. Gersbach H., Sorger G. & Amon C. Hierarchical Growth: Basic and Applied Research[J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2018, 90(C): 434~459.
 18. Gittleman M. B. & Wolff E. N. R&D Activity and Cross-Country Growth Comparisons[J]. *Cambridge Journal of Economics*, 1995, 19(1): 189~207.
 19. Griliches Z. Productivity, R&D, and the Basic Research at the Firm Level in the 1970's[J]. *American Economic Review*, 1986, 76(1): 141~154.
 20. Grossman G. M. & Helpman E. Trade, Innovation, and Growth[J]. *American Economic Review*, 1990, 80(2): 86~91.
 21. Guellec D. & Pottelsberghe B. From R&D to Productivity Growth: Do the Institutional Settings and the Source of Funds of R&D Matter? [M]. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 2004.
 22. Gumus E. & Celikay F. R&D Expenditure and Economic Growth: New Empirical Evidence[J]. *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 2015, 9(3): 205~217.
 23. Jones C. & Tonetti C. Nonrivalry and the Economics of Data[J]. *American Economic Review*, 2020, 110(9): 2819~2858.
 24. Lichtenberg F. R. R&D Investment and International Productivity Difference[R]. *NBER Working Paper*, 1992.
 25. Link A. N. Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing: Additional Evidence[J]. *American Economic Review*, 1981, 71(5): 1111~1112.
 26. Mansfield E. Basic Research and Productivity Increase in Manufacturing[J]. *American Economic Review*, 1980, 70(5): 863~873.
 27. Mansfield E. Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics, and Financing[J]. *Review of Economics and Statistics*, 1995, 77(1): 55~65.
 28. Prettner K. & Werner K. Human Capital, Basic Research, and Applied Research: Three Dimensions of Human Knowledge and Their Differential Growth Effects[R]. *Working Paper*, 2014.
 29. Romer P. M. Endogenous Technological Change[J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5): 71~102.
 30. Sylvester K. R&D and Economic Growth[J]. *Knowledge, Technology & Policy*, 2001, 13(4): 71~84.

责任编辑 张翔宇

ABSTRACTS

Key words: uncertainty shocks; credit spread; financial frictions; NK-DSGE model; Bayesian estimation

Free Exploratory Research, Integration of Industry, Academia and Research, Economic Growth: Theoretical Analysis and Chinese Reality (23)

He Yiyao¹, Pan Shiyuan²

(1. School of Economics, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121; 2. School of Economics, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract: This paper constructs an endogenous economic growth model that includes both basic and applied research, explores how free exploratory research affects economic growth, and uses numerical simulation to quantitatively analyze the impact of free exploratory research on China's economic growth. The increase in the degree of free exploratory research promotes the development of basic research by attracting scientists to flow to the basic research, and then promotes economic growth through the "spillover effect" of basic research on applied research. However, this will reduce the number of scientists in the applied research, resulting in a "crowding out effect" that is not conducive to economic growth. Whether free exploratory research promotes economic growth depends on the degree of integration between industry, academia, and research. When the degree of integration between industry, academia, and research is high, the "spillover effect" is stronger and the "crowding out effect" is weaker, and free exploratory research promotes economic growth. Simulation analysis based on Chinese data shows that by increasing the level of free exploratory research by 1%, the economic growth rate will increase by about 0.13%; increase the integration of industry, academia, and research by 1%, resulting in an increase in economic growth rate of approximately 0.66%; increase the level of free exploratory research and integration of industry, academia, and research by 1% at the same time, resulting in an increase in economic growth rate of approximately 0.79%.

Key words: free exploratory research; basic research; applied research; integration of industry, academia and research; economic growth

Digital Transformation, External Pressures and Carbon Performance in Manufacturing Companies (36)

Deng Huihui¹, Zeng Qingge², Zhao Xiaokun³

(1&2. School of International Trade and Economics, University of International Business and Economics, Beijing 100029; 3. School of Business, Shanxi Datong University, Datong 037009)

Abstract: The digital transformation of manufacturing enterprises is of great significance to achieve win-win situation of economic growth and energy saving and emission reduction in China. We explore the impact of the digital transformation of manufacturing enterprises on carbon performance based on the data of China's A-share listed manufacturing companies from 2010 to 2019, using the standard implementation pilot of integration management system of industrialization and industrialization as a quasi-natural experiment. We find that for manufacturing companies, the digital transformation can drive improvements in their carbon performance, but external pressures such as market competition, financing constraints, and economic policy uncertainty profoundly affect the sustainability of the improvement effect; the results of the mechanism analysis show that collaborative innovation, integration of manufacturing and services, and improvement of management effectiveness are the possible paths through which the digital transformation of manufacturing enterprises affects carbon performance; and that the effect of the digital transformation of manufacturing enterprises on the en-