

技术进步路径选择

——基于一般均衡的研究

韩 松 习媛杰 赵进钢*

摘要 本文将 Samuelson (2004) 的贸易模型推广到技术进步内生化的研究, 研究了在两国相对劳动力禀赋不同时后发国家技术进步路径的选择问题。主要贡献有: (1) 导出了均衡状态下两国的最优产出、消费及最大效用的一般表达式; (2) 导出了后发国家的技术引进成本和自主研发能力与两国均衡效用和最优技术进步路径之间的两个因果关系; (3) 得出了后发国家技术进步的成本在不同参数区间时最优的技术进步路径, 并尝试讨论了本文结论在全球价值链中的适用性。

关键词 技术引进, 自主研发, 一般均衡模型

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2022.02.16

一、引言

技术进步是人类社会发展的永恒话题。自人类文明出现以来, 技术进步一直在驱动社会发展, 这才有了今天经济的繁荣。国际贸易中, 贸易双方的技术进步会影响双方的福利, 不同的技术进步路径也会带来不同的影响。

Samuelson (2004) 是国际贸易理论中一篇著名的文章, 他利用一般均衡模型来说明, 两个国家各自生产比较优势产品, 自由贸易可以增进两国的福利。而当两国的生产率发生变化时, 贸易双方的福利也会变化。特别是, 当一国在原来没有比较优势的产品上提高了生产率时, 模型结果表明, 这可能会“损害另一国的福利水平”。

Samuelson (2004) 的模型假定后发国家的生产技术是外生提高的, 即生产技术的提高不需要成本。显然, 该假定并不符合现实——技术的提高可通过使用相对先进国家的技术实现, 也可通过自主研发实现, 两者都需要付出

* 韩松, 中国人民大学经济学院; 习媛杰, 中国人民大学经济学院博士研究生; 赵进钢, 加拿大萨斯喀彻温大学 (University of Saskatchewan) 经济系。通信作者及地址: 习媛杰, 北京市海淀区中国人民大学明德主楼 856 室, 100872; 电话: 15810807480; E-mail: ruc_xyj@ruc.edu.cn。本成果受北京高校“双一流”建设资金支持。作者非常感谢两位匿名审稿人以及主编提出的建设性意见, 文责自负。

成本。在现实世界中,例如专利许可、资本引进或输出中的模仿学习中的创新,就是技术内生性的两个代表。前者使用经许可的专利,需向专利提供方付费;而后者在模仿中需要有研发人员研究生产技术,或者称“干中学”。而这两种技术进步的方式如何影响双方国家的福利,何种方式才是技术进步的最优选择?针对这些问题,本文将技术进步内生化,比较两种技术进步路径——技术引进或自主创新(前者通过专利许可,后者通过研发人员自主研发),对两国的福利影响。我们通过建立一般均衡模型,研究在均衡状态下两种技术进步路径对贸易双方效用水平的影响,由此得到不同参数区间下的均衡技术进步路径的选择。

目前关于技术进步路径选择的文献,理论上大多为博弈论、内生增长理论、最优化模型等视角,实证上则多基于知识产权保护、外资引进等视角,使用一般均衡模型来分析技术进步路径选择差异对贸易双方福利变化的文献不多,故本文在方法论上是一个创新。

本文模型的基础是 Samuelson (2004) 里的贸易模型,又简称萨翁模型¹。萨翁模型实际上是一个简单的应用一般均衡模型 (applied general equilibrium, AGE²)。AGE 系统抽象地总结了亚当·斯密 (Adam Smith)、大卫·李嘉图 (David Ricardo) 和里昂·瓦尔拉斯 (Léon Walras) 等人对人类经济活动描述的精华,是经济学人从鼻祖到近代在数百年内共同取得的最辉煌成就,其理论部分在 Arrow and Debreu (1954) 和 McKenzie (1954) 文中完善,其广泛应用通过 Scarf (1967, 1973) 创建的算法和现代计算机的计算能力得以实现。因此,AGE 被一些学者称为 Arrow-Debreu-McKenzie-Scarf 模型或 ADMS 模型。

Samuelson (2004) 一文通过计算认为,当后发国家在原先不具备比较优势的部门大幅度提高生产率时,可能会损害先发国家的利益。这个结论引起了强烈的反响,与此相关,胡方和彭诚 (2009) 用一般化的数学形式将其扩展到了四种 (或 N 种) 产品的两国贸易;李坤望和赵兴军 (2006) 则认为 Sam-

¹ 萨缪尔森自己称其为李嘉图模型,更一般地被称为 GBS 模型 (Gomory and Baumol, 2000; Samuelson, 2004)。

² AGE 的简史可参见 Arrow (2005)。AGE 模型也经常被称为 CGE (computational general equilibrium) 模型。二者有很多相似之处,但仍有三点不同:(1) CGE 主要自投入产出模型衍生;(2) CGE 侧重于宏观变量的平准;(3) CGE 允许个别产业或市场处于非均衡状态。AGE 或 CGE 模型已有很多扩展,常见的变种包括:(1) DFS 模型——由鲁迪格·多恩布什 (Rüdiger Dornbusch)、斯坦利·费希尔 (Stanley Fischer) 和保罗·安东尼·萨缪尔森 (Paul Anthony Samuelson) 建立,用于研究多国多产品条件下如何确定比较优势的典型模型;(2) GTAP 模型——由美国普渡大学 (Purdue University) 开发的多国家可计算一般均衡模型,其框架最早由 Hertel (1996) 提出,并应用于多国多部门的贸易政策分析;(3) PRGEM 模型——由中国社会科学院数量经济与技术经济研究所与澳大利亚莫纳什大学 (Monash University) 政策研究中心 (1996) 合作提出,主要研究中国的经济新变化;(4) 其他基于 CGE 模型细节改进的模型。

uelson (2004) 文中关于中国技术进步有损于美国的结论有误；Holz (2008) 认为中国自改革开放以来取得的技术进步和经济增长成就使美国受益；Costinot *et al.* (2012) 则使用 OECD 双边贸易数据指出中国的技术进步使双方国家受益等。这些研究结果与 Samuelson (2004) 的结论不尽相同。近几年也有不少文章间接地与其形成了对比，尤其是将统计口径放在全球价值链 (GVC) 的视角下，王直等 (2015) 使用一种考虑了中间品投入的新 RCA 指数，以增加价值衡量的显性比较优势表明，中国高技术产品出口的竞争优势并不显著。倪红福 (2017) 则在对一国技术含量的计算中纳入了国外中间投入品因素，并通过实际数据认为中国出口的技术含量几乎锁定在世界最低端，远低于美日等发达国家且根本无法对其构成技术威胁。吕越等 (2018) 则基于 2000—2006 年的中国企业创新数据，通过回归得到结论，全球价值链对企业研发创新具有显著的抑制作用，且对高技术产业的抑制作用尤为突出。放在 GVC 的视角下，Samuelson (2004) 中关于中国在原先不具备比较优势的部门大幅度提高 (相对) 生产率的论断目前尚不成立，但未来如果这种情况发生，双方国家的福利状况如何变化，而中国该如何选择技术进步的路径都值得进一步研究。

如上所述，Samuelson (2004) 是本文的研究基础，本文除了一般化其模型外，还内生化了技术进步，并侧重于讨论不同进步路径下两国的福利状况以及路径选择问题。相关的最新研究以 Acemoglu *et al.* (2012)、Acemoglu and Azar (2020) 为代表，其研究将最终产品的生产过程推广到依赖于整个生产网络情况下的技术进步，分析此时如何决定均衡价格、福利状况，最终实现经济增长。还有研究提到贸易开放对技术进步的影响，如 Navas (2018) 通过一个纳入了企业异质性的 Heckscher-Ohlin 模型，认为贸易开放带来的创新增长在具有比较优势的产业中更强；Impullitti and Licandro (2018) 也在一般均衡模型中考虑了企业的异质性，通过引入寡头竞争以内生化技术创新，认为贸易开放可为企业带来福利改进。除了上述文章，在一般均衡模型中内生化的技术进步的研究并不多，一方面可能是在一般均衡的框架中考虑技术进步的内生性，涉及的因素多，刻画困难；另一方面即使要计算两国家两部门的均衡解，某个变量的变动也会引起状态变化，计算难度较大。

在一般均衡框架之外，也有大量关于技术进步路径选择的文献。理论上，丁树桁 (2005) 使用了一个最优化模型，认为路径的选择主要由技术产出弹性和技术进步成本决定；刘小鲁 (2011) 则结合知识产权构建了一个内生增长模型，认为知识产权的保护对于一国自主研发的投入有双向作用；袁礼等 (2015) 在经济史和技术前沿视角下认为路径选择应与技术差距以及要素禀赋相关，技术差距大时应选择技术引进，否则选择自主创新等。在实证上，一

些学者认为后发国家可以通过固定的方式来实现技术进步,如 Acemoglu (2005) 等认为发展中国家的最优选择是模仿发达国家的现有技术,潘士远 (2008) 认为发挥后发优势可能实现向发达国家的收敛。另外一些学者则认为后发国家需要根据不同技术的特点、国家特点来选择合适的技术进步路径,例如傅晓霞和吴利学 (2012) 基于我国研发结构数据认为企业的技术差距、开放程度和人力资本共同决定企业自主研发的强度;邵玉君 (2017) 基于欧盟、日本、美国和全球的面板数据认为 2004—2015 年欧美日对我国的 FDI 和我国对欧美日的 OFDI 阻碍了我国的技术进步,即这段时间的技术引进不利于我国技术进步。从已有的文献来看,考察技术进步的选择路径的角度不一,结论也不完全相同。

综上,本文有三个主要贡献:第一,不仅一般化了 Samuelson (2004) 的模型³,并将技术进步外生性假设更改为内生性,纳入技术进步成本,得到了更加一般化的结果。第二,在该框架下研究了技术进步的不同路径对贸易双方的福利影响。第三,进一步计算得到了在劳动力禀赋、技术引进成本、自主研发能力三类参数的不同取值区间下,后发国家的最优技术进步路径选择,并讨论了扩展到全球价值链下模型结论的适用性。此外,文章还利用中美两国的制造业数据进行了模拟,在当前的现实背景下或许能得到一些启示。最后,本文的结果不仅显示了 AGE 模型具有的优势,也有助于理清对 AGE 模型可能存在的误解和推动其更广泛的应用。

二、模型构建

Samuelson (2004) 一文是他生前最后一篇有重大影响的论文。他用一个简洁的一般均衡模型,不仅清晰地解释了自由贸易相对于自给自足(即封闭经济)的优势,也推算了后发国家的技术进步可能引起的福利影响。本部分首先用一般均衡的框架重新定义萨翁模型,之后内生生化技术进步并导出均衡状态的最大效用的一般表达式。

(一) 一般均衡框架下的萨翁模型

萨翁模型的基本假设是:

假设 1:

(1) 两个国家进行两种商品的生产交换活动,分别为国家 1 和国家 2,商品 1 和商品 2;

(2) 两个国家都具备生产两种产品的能力,但生产能力上有所差距,即技术存在差距;

³ 也扩展了胡方和彭诚 (2009) 模型中的效用函数规模报酬不变的假设。

(3) 在生产方面，产量由生产能力和劳动力决定，并与这两者均成正比，厂商追求利润最大化；

(4) 在消费方面，消费者的效用函数为 CD 型，追求效用最大化，并且生产者的利润全部归消费者所有。

1. 消费者行为

$$\begin{aligned} \max U_1 &= x_{11}^{\alpha_1} x_{12}^{\beta_1}, \\ \text{s. t. } x_{11} p + x_{12} &= \pi_1. \end{aligned} \quad (1)$$

国家 1 的消费行为如式 (1)，国家 2 类似。其中 x_{ij} 表示国家 i 消费商品 j 的数量， α_i 和 β_i 分别表示国家 i 对商品 1 和商品 2 的偏好程度。国家 1 将选择两种商品的数量 x_{11} 和 x_{12} 来最大化自身的效用 U_1 。不失一般性，将商品 2 的价格标准化⁴ 为 1，可得到最优需求 x_{ij}^D ⁵。

2. 生产者行为

$$\begin{aligned} \max \pi_1 &= p x_{11} + x_{12}, \\ \text{s. t. } x_{11} &= m_1 L_1, \\ x_{12} &= n_1 L_2, \\ L_1 + L_2 &= L_0. \end{aligned} \quad (2)$$

国家 1 的生产行为如式 (2)，国家 2 类似。生产者将选择投入生产两种产品的劳动力数量 L_1 和 L_2 ，以最大化其利润 π_1 ，其中 m_i 、 n_i 分别代表国家 i 生产产品 1 和产品 2 的技术水平， L_0 、 l_0 分别为国家 1、2 的劳动力总量，由式 (2) 可以进一步求得最优产量 x_{ij}^S ⁶。

3. 市场出清

$$\begin{aligned} x_{11}^S + x_{21}^S &= x_{11}^D + x_{21}^D, \\ x_{12}^S + x_{22}^S &= x_{12}^D + x_{22}^D. \end{aligned} \quad (3)$$

在一般均衡状态下市场出清，如式 (3)。给定两类外生参数（即 L_0 、 l_0 、 m_i 、 n_i ）的不同取值，对 p^* 进行分类讨论，即可得到均衡的价格、产出和效用水平的一般表达式。⁷

(二) 技术进步内生化的—般均衡模型

本文提出第二个基本假设以内生化技术进步。

假设 2 后发国家提升其不具备相对优势产品生产技术水平的方式可以有两种，一是技术引进，二是自主研发。

⁴ 即 p 为商品 1 的相对价格。

⁵ 此处上标 D 表示需求。

⁶ 此处上标 S 表示供给。

⁷ 具体推导过程见附录 A，限于篇幅，附录从略，感兴趣的读者欢迎来函索取。以下提到的附录均可来函索取。

为了便于分析,模型设定初始状态下,发达国家(国家2)在产品1的生产上具备相对比较优势,而后发国家(国家1)在产品1的生产上实现技术进步后,可能出现国家2继续保持产品1的相对生产优势(即 $m_1/n_1 \geq m_2/n_2$),或失去该相对生产优势(即 $m_1/n_1 < m_2/n_2$)。

随着知识产权保护力度的不断加大,以付费为特征的技术引进,以及付出人力成本的自主研发成为目前技术进步的两条重要路径。在以下模型中,假定技术引进的费用与产量挂钩,这个假定与往年高通向苹果、三星、华为等公司按产量收取专利许可费的方式一致。同时为了更好地比较国家1在不同技术进步路径下的福利状况,假定两种路径下技术进步幅度相同。⁸为了简化模型,在生产或者创新过程中,只考虑劳动投入而不考虑资本,这点与萨翁模型是一致的。

1. 技术引进需要支付费用

在技术引进下,国家1要提升产品1的生产技术,需要从国家2引进。相较于萨翁模型,只有生产者的目标和约束发生改变:一是在国家1对产品1的生产能力 m_1 ⁹上,因为引进了技术而发生改变;二是在利润上,国家1需要支付一定的专利许可费用 $c_0 x_{11}$ 给国家2。

$$\begin{aligned} \max \pi_1 &= p x_{11} + x_{12} - c_0 x_{11}, \\ \text{s. t. } x_{11} &= m_1 L_1, \\ x_{12} &= n_1 L_2, \\ L_1 + L_2 &= L_0. \end{aligned} \quad (4)$$

如式(4),国家1支付专利许可费给国家2,不考虑固定成本,并假定可变成成本与产量成正比,且边际成本为 c_0 。此处认为通过该方法引进技术后, $m_1 \leq m_2$,即国家1生产其相对弱势产品1的技术水平仍然低于国家2。¹⁰为了简化分析,假定其他参数都不变。

$$\begin{aligned} \max \pi_2 &= p x_{21} + x_{22} + c_0 x_{11}, \\ \text{s. t. } x_{21} &= m_2 l_1, \\ x_{22} &= n_2 l_2, \\ l_1 + l_2 &= l_0. \end{aligned} \quad (5)$$

如式(5),国家2相应地获得了一笔专利许可费。此时可得到技术引进下两国的最优商品生产量 x_{ij}^S 。

⁸ 一般而言,为了达到更高的技术水平,国家或自主研发,或技术引进,为了比较两类技术进步方式对两国的影响,比较的对象是同样技术提高程度下的效用。

⁹ 此处只进行均衡计算,并不进行比较静态分析, m_1 尽管数值发生变化,但此处我们仍用该符号表示进步后的技术水平。

¹⁰ 这个假设设定比较直观:考虑到技术的转移和扩散是逐步的,优先获得新专利的企业往往已经掌握了最新技术。

2. 自主研发需要付出人力成本

$$\begin{aligned} \max \pi_1 &= px_{11} + x_{12}, \\ \text{s. t. } x_{11} &= (m_1 + aL_3)L_1, \\ x_{12} &= n_1L_2, \\ L_1 + L_2 + L_3 &= L_0. \end{aligned} \quad (6)$$

m_1 提高的方式亦可是自主研发, 如式 (6)。总劳动力中有一部分劳动力 L_3 专门用于研发, 且技术提高程度也与创新能力 a 相关, aL_3 表示国家 1 提升产品 1 生产技术的程度。此时国家 2 生产者的目标和约束均不变。

(三) 一般均衡计算结果

根据三种不同的技术情况, 即技术外生、技术引进、自主研发, 可以得到三种情形下的一般均衡。¹¹

情形 1 在技术外生或不考虑技术进步时, 由式 (1)—(3) 可得, 两国的效用水平与两国劳动力、消费者偏好以及两国的技术水平的相对大小相关。

i. 当 $0 \leq L_0 \leq \frac{An_2l_0}{n_1}$ (令 $A = \frac{\beta_2(\alpha_1 + \beta_1)}{\alpha_1(\alpha_2 + \beta_2)}$, 下同), 均衡价格 $P^* = \frac{n_2}{m_2}$, 效用水平如式 (7)。此时国家 1 的全部劳动力都在生产其优势商品 2, 同时国家 2 需要分出一定的劳动力来生产商品 2, 以保证两国的总供需均衡。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 n_1 m_2 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1) n_2} \right]^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (7)$$

ii. 当 $\frac{An_2l_0}{n_1} < L_0 < \frac{Am_2l_0}{m_1}$, 均衡价格 $P^* = \frac{n_1L_0}{Am_2l_0}$, 效用水平如式 (8)。此时国家 1 将使用全部的劳动力来生产商品 2, 而国家 2 则使用全部的劳动力来生产商品 1, 两个国家形成优势互补, 完全发挥了各自的优势。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left(\frac{\beta_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (8)$$

iii. 当 $\frac{Am_2l_0}{m_1} \leq L_0$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1}{m_1}$, 效用水平如式 (9)。国家 1 除了生产商品 2 外, 还会分出一部分劳动力用于生产商品 1, 国家 2 则使用全部的劳动力来生产商品 1, 以保证均衡状态。

¹¹ 具体推导过程见附录 A, 限于篇幅, 附录从略。

$$\begin{aligned}
 U_1^* &= \left(\frac{\alpha_1 m_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\
 U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 L_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 n_1 m_2 L_0}{(\alpha_2 + \beta_2) m_1} \right]^{\beta_2}.
 \end{aligned} \tag{9}$$

在以下两类技术进步路径中,分两类情况进行讨论。后发国家技术进步后,情形2-1和情形3-1假定其弱势产业仍不具备比较优势(即 $m_1/n_1 < m_2/n_2$),情形2-2和情形3-2则假定其弱势产业已具备比较优势(即 $m_1/n_1 \geq m_2/n_2$)。

情形2-1 若进行技术引进并支付边际费用,且引进技术后,后发国家在其弱势产业中仍不具备比较优势($m_1/n_1 < m_2/n_2$),由式(1)、式(3)—(5)可得,两国的效用水平不仅与两国劳动力、消费者偏好、技术水平的相对大小相关,也或与技术引进的成本相关。

i. 当 $0 \leq L_0 \leq \frac{An_2 l_0}{n_1}$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_2}{m_2}$, 效用水平如式(10)。此时两国的效用水平与技术引进成本无关,国家1引进的技术并未投入生产,依旧将全部的劳动力用于生产商品2——在劳动力较少时只调动生产力生产其相对优势商品。而国家2则会分出部分劳动力来生产商品2,以填满两国对商品2的需求缺口。

$$\begin{aligned}
 U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 n_1 m_2 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1) n_2} \right]^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\
 U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 L_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 L_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

ii. 当 $\frac{An_2 l_0}{n_1} < L_0 < \frac{Am_2 l_0}{n_1} (c_0 + \frac{n_1}{m_1})$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1 L_0}{Am_2 l_0}$, 效用水平如式(11)。此时国家1同样引进了技术却并未使用,其将全部的劳动力用于生产商品2。而国家2则完全投入商品1,两国形成完全的优势互补。

$$\begin{aligned}
 U_1^* &= \left(\frac{\beta_2 m_2 L_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\
 U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 L_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_2}.
 \end{aligned} \tag{11}$$

iii. 当 $\frac{Am_2 l_0}{n_1} (c_0 + \frac{n_1}{m_1}) \leq L_0$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1}{m_1} + c_0$, 效用水平如式(12)。

$$\text{国家1将分出部分劳动力来生产商品1} \left[L_1^* = \frac{\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1)} - \frac{\beta_2 \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right) m_2 l_0}{(\alpha_2 + \beta_2)}}{n_1 + \frac{\beta_2 c_0 m_1}{(\alpha_2 + \beta_2)}} \right],$$

另一部分劳动力接着生产具有相对优势的商品2。而国家2则将全部的劳动力用

于生产商品 1。

$$U_1^* = \left[\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1) \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right)} \right]^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1},$$

$$U_2^* = \left[\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} + \frac{\alpha_2 c_0 m_1 L_1^*}{(\alpha_2 + \beta_2) \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right)} \right]^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 \left(c_0 m_1 L_1^* + \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right) m_2 l_0 \right)}{\alpha_2 + \beta_2} \right]^{\beta_2}. \quad (12)$$

情形 2-2 假定后发国家引进技术后，原相对弱势产业已具备比较优势 ($m_1/n_1 \geq m_2/n_2$)，可能出现：

- (1) $n_1/m_1 + c_0 > n_2/m_2$;
- (2) $n_1/m_1 + c_0 = n_2/m_2$;
- (3) $n_1/m_1 + c_0 < n_2/m_2$ 。

其中第 (1) 种的计算结果和情形 2-1 相同，第 (2) 种由于两国的相对价格没有差别，等同于封闭经济状态，以下展示第 (3) 种情况的计算结果。

i. 当 $0 \leq L_0 \leq \frac{\alpha_2 (\alpha_1 + \beta_1) n_2 l_0}{\beta_1 (\alpha_2 + \beta_2) m_1 n_2 - (\beta_1 \alpha_2 - \beta_2 \alpha_1) c_0 m_1}$ ，均衡价格 $p^* =$

$\frac{n_2}{m_2}$ ，效用水平如式 (13)。国家 1 将所有劳动力用于生产现阶段其具备相对生产优势的商品 1，国家 2 则同时生产商品 1 和 2，以补充两国对商品 1 的需求缺口。

$$U_1^* = \left[\frac{\alpha_1 m_1 L_0 \left(\frac{n_2}{m_2} - c_0 \right)}{(\alpha_1 + \beta_1) \frac{n_2}{m_2}} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 m_1 L_0 \left(\frac{n_2}{m_2} - c_0 \right)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_1}, \quad (13)$$

$$U_2^* = \left[\frac{\alpha_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_0)}{(\alpha_2 + \beta_2) \frac{n_2}{m_2}} \right]^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_0)}{\alpha_2 + \beta_2} \right]^{\beta_2}.$$

ii. 当 $\frac{\alpha_2 (\alpha_1 + \beta_1) n_2 l_0}{\beta_1 (\alpha_2 + \beta_2) m_1 n_2 - (\beta_1 \alpha_2 - \beta_2 \alpha_1) c_0 m_1} < L_0 < \frac{\alpha_2 (\alpha_1 + \beta_1) n_2 l_0}{\beta_1 (\alpha_2 + \beta_2) n_1 + \beta_2 (\alpha_1 + \beta_1) c_0 m_1}$ ，

均衡价格 $p^* = \frac{(\beta_1 \alpha_2 - \beta_2 \alpha_1) c_0}{\beta_1 (\alpha_2 + \beta_2)} + \frac{B n_2 l_0}{m_1 L_0}$ (令 $B = \frac{\alpha_2 (\alpha_1 + \beta_1)}{\beta_1 (\alpha_2 + \beta_2)}$ ，下同)，效用水平如式 (14)。国家 1 同样将所有劳动力投入生产商品 1，国家 2 则完全生产商品 2，形成新阶段的优势互补。

$$U_1^* = \left[\frac{\alpha_1 m_1 L_0 (p^* - c_0)}{(\alpha_1 + \beta_1) p^*} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 m_1 L_0 (p^* - c_0)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_1}, \quad (14)$$

$$U_2^* = \left[\frac{\alpha_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_0)}{(\alpha_2 + \beta_2) p^*} \right]^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_0)}{\alpha_2 + \beta_2} \right]^{\beta_2}.$$

iii. 当 $\frac{\alpha_2(\alpha_1 + \beta_1)n_2l_0}{\beta_1(\alpha_2 + \beta_2)n_1 + \beta_2(\alpha_1 + \beta_1)c_0m_1} \leq L_0$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1}{m_1} + c_0$, 效用水平如式(15)。国家1将分出部分劳动力来生产商品1

$$L_1^* = \frac{\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1)} + \frac{\alpha_2 n_2 l_0}{(\alpha_2 + \beta_2)}}{n_1 + \frac{\beta_2 c_0 m_1}{(\alpha_2 + \beta_2)}},$$

另一部分劳动力生产商品2。国家2完全生产商品2。

$$U_1^* = \left[\frac{\alpha_1 n_1 L_0}{(\alpha_1 + \beta_1) \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right)} \right]^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1},$$

$$U_2^* = \left[\frac{\alpha_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_1^*)}{(\alpha_2 + \beta_2) \left(\frac{n_1}{m_1} + c_0 \right)} \right]^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 (n_2 l_0 + c_0 m_1 L_1^*)}{\alpha_2 + \beta_2} \right]^{\beta_2}.$$

情形3-1 若后发国家自主研发且投入专门的研发人力资本, 而技术进步后在其弱势产业中仍不具备比较优势 ($(m_1 + aL_3)/n_1 < m_2/n_2$), 由式(1)、式(3)和式(6)可得到, 两国的效用水平不仅与两国劳动力、消费者偏好、两国技术水平的相对大小相关, 也与研发能力(或研发人员数量)相关。

i. 当 $0 \leq L_0 \leq L_3 + \frac{An_2l_0}{n_1}$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_2}{m_2}$, 效用水平如式(16)。此时国家1的自主研发成果对本国的效用无实际生产上的帮助, 其生产上完全投入商品2。而国家2同时生产两种商品以补充商品2的需求缺口。

$$U_1^* = \left[\frac{\alpha_1 n_1 m_2 (L_0 - L_3)}{(\alpha_1 + \beta_1) n_2} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 n_1 (L_0 - L_3)}{(\alpha_1 + \beta_1)} \right]^{\beta_1},$$

$$U_2^* = \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}.$$

ii. 当 $L_3 + \frac{An_2l_0}{n_1} < L_0 < L_3 + \frac{Am_2l_0}{(m_1 + aL_3)}$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1(L_0 - L_3)}{Am_2l_0}$, 效用水平如式(17)。此时自主研发成果对于国家1的当下生产同样无益, 其生产上也完全投入商品2。国家2则完全生产商品1, 两国形成完全优势互补。

$$U_1^* = \left(\frac{\beta_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 n_1 (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_1},$$

$$U_2^* = \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left[\frac{\alpha_1 n_1 (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_2}.$$

iii. 当 $L_3 + \frac{Am_2l_0}{(m_1 + aL_3)} \leq L_0$, 均衡价格 $p^* = \frac{n_1}{m_1 + aL_3}$, 效用水平如式(18)。国家1将利用这部分研发成果, 同时生产两种商品。国家2则完全

生产商品 1。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 (m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 n_1 (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left[\frac{\beta_2 n_1 m_2 l_0}{(\alpha_2 + \beta_2) (m_1 + aL_3)} \right]^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (18)$$

情形 3-2 假定后发国家进行自主研发后，原相对弱势产业已具备比较优势 $((m_1 + aL_3) / n_1 > m_2 / n_2)$ ，类似于情形 2-2，可得到：一般均衡下两国的效用水平不仅与两国劳动力、消费者偏好、两国技术水平的相对大小，也与研发能力（或研发人员数量）相关。

i. 当 $0 \leq L_0 \leq L_3 + \frac{Bm_2 l_0}{m_1 + aL_3}$ ，均衡价格 $p^* = \frac{n_2}{m_2}$ ，效用水平如式 (19)。此时国家 1 的自主研发成果对于本国的效用完全有益，其生产上完全投入商品 1。国家 2 则同时生产两种商品以补充两国对商品 1 的需求缺口。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 (m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 (m_1 + aL_3) n_2 (L_0 - L_3)}{(\alpha_1 + \beta_1) m_2} \right]^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (19)$$

ii. 当 $L_3 + \frac{Bm_2 l_0}{m_1 + aL_3} < L_0 < L_3 + \frac{Bn_2 l_0}{n_1}$ ，均衡价格 $p^* = \frac{Bn_2 l_0}{(m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}$ ，效用水平如式 (20)。此时均衡状态下的自主研发成果对于国家 1 的当下生产同样完全有益，生产上完全投入商品 1。国家 2 则完全生产商品 2。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 (m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\alpha_1} \left(\frac{\alpha_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left[\frac{\beta_1 (m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (20)$$

iii. 当 $L_3 + \frac{Bn_2 l_0}{n_1} \leq L_0$ ，均衡价格 $p^* = \frac{n_1}{m_1 + aL_3}$ ，效用水平如式 (21)。国家 1 将利用这部分研发成果，同时生产两种商品。国家 2 则完全生产商品 2。

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left[\frac{\alpha_1 (m_1 + aL_3) (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\alpha_1} \left[\frac{\beta_1 n_1 (L_0 - L_3)}{\alpha_1 + \beta_1} \right]^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left[\frac{\alpha_2 n_2 (m_1 + aL_3) l_0}{(\alpha_2 + \beta_2) n_1} \right]^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (21)$$

由以上三类均衡结果，我们得到命题 1。

命题 1 无论是技术进步外生，还是考虑技术内生性的技术引进模型或者自主研发模型，劳动力相对数量（这个“相对”涵盖了两国的技术水平、消

费者偏好和技术进步成本因素) 决定了均衡状态, 进而决定了均衡价格水平和效用水平。¹²

另外, 为了方便说明两国自由贸易的优势, 本文还计算了各自为封闭经济状态下两国的效用水平, 如下:

$$\begin{aligned} U_1^* &= \left(\frac{\alpha_1 m_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{\beta_1 n_1 L_0}{\alpha_1 + \beta_1} \right)^{\beta_1}, \\ U_2^* &= \left(\frac{\alpha_2 m_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\alpha_2} \left(\frac{\beta_2 n_2 l_0}{\alpha_2 + \beta_2} \right)^{\beta_2}. \end{aligned} \quad (22)$$

如式 (22), 若两国各自为封闭经济, 需自给自足达到国内均衡状态, 此时无法充分发挥各自的生产优势。

三、均衡技术进步路径选择

本部分通过比较技术引进和自主创新下的均衡效用水平, 得到后发国家技术进步路径的最优选择。为了更好地比较两种进步路径, 假设国家 1 生产商品 1 的能力在两种技术进步路径下提升程度相同, 满足 $m_1 = m_1^0 + aL_3$, 其中 m_1^0 、 m_1 分别为技术进步前、后的生产能力, aL_3 为自主研发带来的技术进步幅度。

在技术进步前, 遵循萨翁模型中 $m_1^0/n_1 < m_2/n_2$, 即国家 2 在商品 1 的生产中具备相对优势, 而在 m_1^0 提升至 m_1 后, 可能出现:

(1) 国家 2 仍具备生产商品 1 的相对优势, 但优势缩小; 对应到第二部分的情形 2-1 和情形 3-1。

(2) 相对优势发生了逆转, 国家 1 技术进步较大, 具备了生产商品 1 的相对优势; 对应情形 2-2 和情形 3-2。

上述两类情形中, 国家 1 的技术能力提升幅度是不同的, 为了便于比较, 以下将情形 2-1 和情形 3-1、情形 2-2 和情形 3-2 分开比较。

以下符号中, U_i^{*FT} 、 U_i^{*TI} 和 U_i^{*RD} 分别表示技术提升前、自由贸易下国家 1 分别选择技术引进、自主研发时国家 i 的效用水平。其中:

(1) FTL、FTM 和 FTH 分别表示国家 1 劳动力相对较少 ($L_0 \in [0, \frac{An_2 l_0}{n_1}]$)、适中 ($L_0 \in (\frac{An_2 l_0}{n_1}, \frac{Am_2 l_0}{m_1^0})$) 和较多 ($L_0 \in [\frac{Am_2 l_0}{m_1^0}, +\infty)$),

¹² 考虑到现实中国家之间可能存在仅发生专利许可行为, 却不发生交换行为的现象, 例如 2019 年, 中美之间就发生过类似的情况, 本文同样进行了类似的计算, 发现此时无法达到均衡状态, 授予许可的国家 2 供不应求, 获得许可的国家 1 供大于求, 这也是两国之间进行合作协商以寻找新的均衡状态的一个契机。

对应于情形 1-1 中的三种情况。

(2) TIL、TIM 和 TIH 分别表示考虑技术引进成本后，国家 1 劳动力相

对较少 $\left[L_0 \in \left[0, \frac{An_2 l_0}{n_1} \right] \right]$ 或 $\left[0, \frac{\alpha_2(\alpha_1 + \beta_1)n_2 l_0}{\beta_1(\alpha_2 + \beta_2)m_1 n_2 - (\beta_1 \alpha_2 - \beta_2 \alpha_1)c_0 m_1} \right]$ 、
 适中 $\left(L_0 \in \left(\frac{An_2 l_0}{n_1}, \frac{Am_2 l_0}{n_1} \left(c_0 + \frac{n_1}{m_1} \right) \right) \right)$ 或 $\left(\frac{\alpha_2(\alpha_1 + \beta_1)n_2 l_0}{\beta_1(\alpha_2 + \beta_2)m_1 n_2 - (\beta_1 \alpha_2 - \beta_2 \alpha_1)c_0 m_1}, \right.$
 $\left. \frac{\alpha_2(\alpha_1 + \beta_1)n_2 l_0}{\beta_1(\alpha_2 + \beta_2)n_1 + \beta_2(\alpha_1 + \beta_1)c_0 m_1} \right)$ 和较多 $\left(L_0 \in \left[\frac{Am_2 l_0}{n_1} \left(c_0 + \frac{n_1}{m_1} \right), +\infty \right) \right)$
 或 $\left[\frac{\alpha_2(\alpha_1 + \beta_1)n_2 l_0}{\beta_1(\alpha_2 + \beta_2)n_1 + \beta_2(\alpha_1 + \beta_1)c_0 m_1}, +\infty \right)$ ，分别对应于情形 2-1 和情形 2-2
 中的三种情况。

(3) RDL、RDM 和 RDH 分别表示考虑研发成本后，国家 1 劳动力相对

较少 $\left(L_0 \in \left[0, L_3 + \frac{An_2 l_0}{n_1} \right] \right)$ 或 $\left[0, L_3 + \frac{Bm_2 l_0}{m_1 + aL_3} \right]$ 、适中 $\left(L_0 \in \left(L_3 + \frac{An_2 l_0}{n_1}, \right. \right.$
 $\left. L_3 + \frac{Am_2 l_0}{m_1 + aL_3} \right)$ 或 $\left(L_3 + \frac{Bm_2 l_0}{m_1 + aL_3}, L_3 + \frac{Bn_2 l_0}{n_1} \right)$ 和较多 $\left(L_0 \in \left[L_3 + \right. \right.$
 $\left. \frac{Am_2 l_0}{m_1 + aL_3}, +\infty \right)$ 或 $\left[L_3 + \frac{Bn_2 l_0}{n_1}, +\infty \right)$ ，分别对应于情形 3-1 和情形 3-2
 中的三种情况。

(一) 技术进步路径选择的理论分析

比较三类均衡下国家 1 的相对劳动力水平的区间，可知关系如图 1 所示：

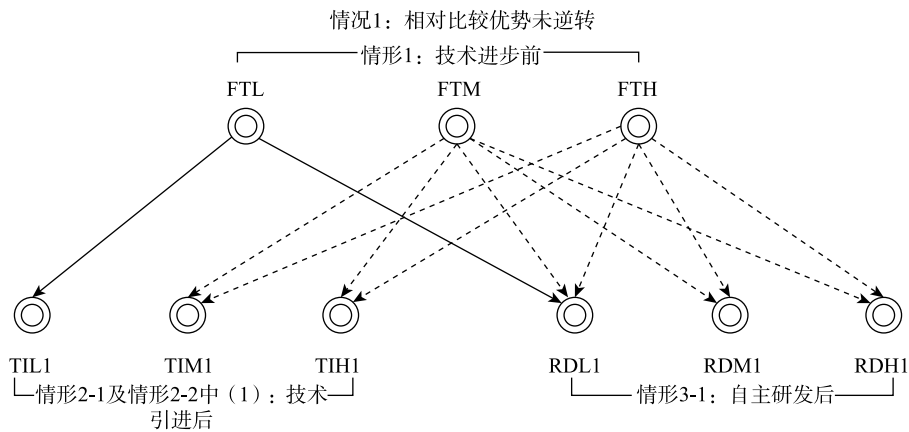


图 1 相对比较优势未逆转时技术进步后状态变化情况

注：实线表示概率为 1，虚线表示概率小于 1，下同。

若国家2仍保持产品1的相对优势,根据区间对比可知,均衡状态转移路径为:

(1)在FTL下,无论选择何种技术进步路径,考虑引进成本和研发成本后劳动力相对更少,转移至状态TIL1和RDL1,国家1继续只生产商品2。

(2)在FTM下,可转移至TIM1或TIH1,和RD1¹³中的任一种状态,较为充分的劳动力为国家1提供了生产产品1的可能性,若该活动带来的收益较其付出的技术引进成本或人力成本更多,则转移至TIH1或RDH1,否则仍只生产其优势产品,转移至TIM1或RDM1;在研发能力低时更甚,将会耗费大量原本的非研发生产式劳动力,使商品1的需求缺口只得由国家2补充,转移至RDL1。

(3)在FTH下,类似于FTM中的情形,更为充分的劳动力为国家1提供了其利用新技术生产非优势产品1的可能性,但也可能由于研发能力过低而得不偿失,均衡状态可转移至TIM1或TIH1,或者RD1状态中的一种。

如图2,若国家2失去了产品1的相对优势,均衡状态转移路径则更为复杂,具体的讨论见附录E。这里只给出结论:无论技术进步前两国的劳动力相对水平如何,选择何种技术进步路径,TI2或RD2中的三种情况均有可能发生。

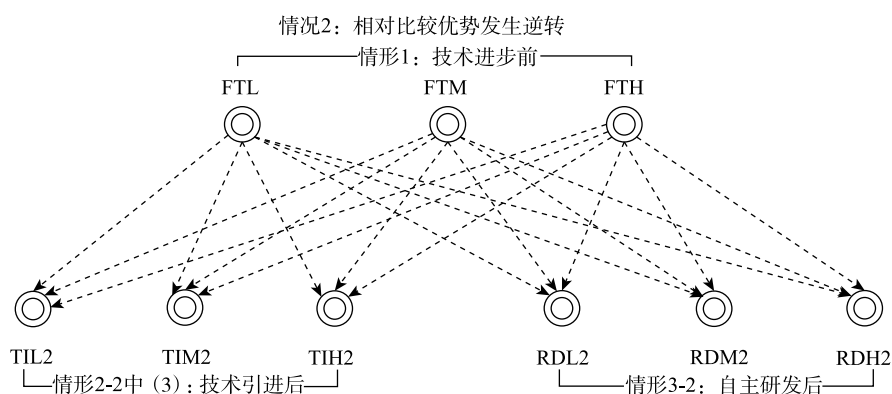


图2 相对比较优势逆转时技术进步后状态变化情况

依次对两类技术进步路径进行比较,可得到以下三个命题。

命题2 当先发国家继续保持相对优势时,后发国家采取技术引进或自主研发时两国的效用变化与创新成本——技术引进资金成本,或是研发人力成本相关。技术引进的边际成本越低或研发能力越强,越有利于后发国家;对于先发国家而言,后发国家若技术引进可能使其效用不受损,但在后发国家

¹³ RD1包括RDL1、RDM1和RDH1,下文相同的符号意义相同,FT、TI2、RD2类似。

选择自主研发时，先发国家从自由贸易中的受益不会增加，尽管研发能力越强其损失越小。

i. 当后发国家的劳动总量相对较少时，技术引进下两国效用均不变；自主研发下后发国家的利益将受损，而先发国家的效用将保持不变。

ii. 当后发国家的劳动总量相对适中时，技术引进时后发国家的效用不会受损，且技术引进成本越低、对其越有利，先发国家的效用在后发国家技术引进时才可能不受损。

iii. 当后发国家的劳动总量相对较高时，技术引进时后发国家的效用是否受损与引进成本、技术进步幅度相关，先发国家的福利是否受损也与两国的效用偏好、生产能力、技术进步幅度等因素相关。

证明 见附录 B。

综合来看，在相对比较优势未发生逆转时，于国家 1 而言，不管相对劳动力总量如何变化，低成本引进总是优于高成本引进。技术进步前，国家 1 的劳动力若相对适中，且以低成本引进技术时，将分出部分劳动力生产商品 1，并提高其优势商品 1 的相对价格，这部分收益高于技术引进成本，此时其效用会提高。而当劳动力总量相对较多时，由于付出的技术引进成本与生产产品 1 带来的收益增加与边际成本定价和技术水平提高幅度都有关，因此效用水平是否增加不能确定。对于国家 2 而言，无论国家 1 劳动力总量如何，在较高的技术输出边际费用下总能保持其利益不受损害。¹⁴

表 1 为比较优势不逆转的情况，进一步比较了不同路径下两国效用变化的区间。

相较于技术进步前，在技术引进下，两个国家的效用水平是否提升与技术引进成本、相对技术水平、两国消费者偏好都相关。而在自主研发情况下，国家 1 的研发能力越高，其效用损失越小，即 RDH1 优于 RDM1，再优于 RDL1，且只有在 RDH1 下国家 1 的效用水平才可能增加。而对于国家 2 而言，此时无论国家 1 以何种研发能力进行自主创新，其效用水平都不会提高。因此命题 3 将在 FT 的三种情况下比较 TIL1、TIH1 和 RDH1 下两国的效用水平，得到最优的技术进步路径选择。

¹⁴ 注意到以上命题与 Samuelson (2004) 中的观点有所区别。Samuelson (2004) 认为在中美贸易中，一旦中国的相对劣势行业发生了较为显著的技术进步，则会永久地损害美国的利益。但其文章中美国的效用仍与封闭经济持平，无“损害”一说。技术的外生进步导致 L 的相对大小发生变化，此时两国的国际分工会发生变化，效用也自然发生变化，在 AGE 模型中考虑到技术进步的内生性后，先发国家不必有此忧虑。

表1 不同技术进步路径下两国效用水平对比(比较优势不逆转)

	TIH1	TIM1	RDH1
FTL	不存在	不存在	不存在
FTM	$\left[1, \left(\frac{m_1 L_0}{Am_2 l_0}\right)^{\alpha_1}\right]$, \triangle .	1, 1.	$\left[\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1 L_0}\right)^{\beta_1}, \left(\frac{m_1 L_0}{Am_2 l_0}\right)^{\alpha_1}\right]$, $\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1 L_0}\right)^{\beta_2}$.
FTH	$\left[\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1^0 L_0}\right)^{\alpha_1}, \left(\frac{m_1}{m_1^0}\right)^{\alpha_1}\right]$, \triangle .	$\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1^0 L_0}\right)^{\alpha_1}$, $\left(\frac{L_0 m_1^0}{Am_2 l_0}\right)^{\beta_2}$.	$\left[\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1 L_0}\right)^{\alpha_1 + \beta_1}, \left(\frac{m_1}{m_1^0}\right)^{\alpha_1}\right]$, $\left(\frac{m_1^0}{m_1}\right)^{\beta_2}$.

注:表中内容为不同路径下效用变化的区间,逗号前后分别为国家1和国家2。 \triangle 关于 c_0 非单调,而本文主要讨论后发国家的路径选择问题,因此不进一步说明,另外在两国无法达到均衡状态时,由于状态不稳定,在此不做比较。推导过程见附录C。

命题3 后发国家需要根据技术引进成本和自主研发能力,选择合适的技术进步方式。

具体如表1,并结合附录B,可得:

i. 在FTL下,国家1选择技术引进要优于自主研发。此时国家1引进技术时效用不变,而选择自主研发时仅在其研发能力较低时(即RDL1),两国的总供需才能达到均衡状态,且其效用下降——在劳动力相对少时转移大量劳动力用于低效的研发活动,反而会降低效用。而对于国家2来说,此时国家1选择何种路径并无差异,其效用水平较之前的自由贸易状态持平。

ii. 在FTM下,技术进步路径的选择取决于技术引进成本和自主研发能力的相对大小。RDH1下国家1的效用变化区间为 $\left[\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1 L_0}\right)^{\beta_1}, \left(\frac{m_1 L_0}{Am_2 l_0}\right)^{\alpha_1}\right]$,该区间的最大值与TIH1下区间的最大值相同:此时若国家1技术引进的边际成本较低(TIH1),满足 $c_0 < \frac{n_1}{m_1} \left[\left(\frac{L_0}{L_0 - L_3}\right)^{\frac{\alpha_1 + \beta_1}{\alpha_1}} - 1 \right]$,则国家1应选择技术引进(且国家2不一定变好),否则选择自主研发。当国家1技术引进的边际成本较高时(TIM1),满足 $L_3 > L_0 - \left[\frac{Am_2 l_0}{m_1}\right]^{\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \beta_1}} L_0^{\frac{\beta_1}{\alpha_1 + \beta_1}}$,应选择技术引进(此时国家2的效用不变),否则选择自主创新。

iii. 在FTH下,技术进步路径的选择同样取决于技术引进成本和自主研发能力的相对大小。TIH1下的效用变化区间为 $\left[\left(\frac{Am_2 l_0}{m_1^0 L_0}\right)^{\alpha_1}, \left(\frac{m_1}{m_1^0}\right)^{\alpha_1}\right]$,与RDH1中的区间可能出现重合,此时国家1对技术进步路径选择的临界参考

值与情形 ii 相同。并且，当技术引进的边际成本较高时 (TIM1)，国家 2 的效用增加；当边际成本较低时 (TIH1)，国家 2 的效用变化不一定。

进一步考虑比较优势逆转的情况，可得到命题 4，具体讨论见附录 E。

命题 4 当先发国家逆转了相对优势，其采取技术引进或自主研发时两国的效用变化与创新成本——技术引进资金成本，以及研发人力成本相关。并且何种路径于两个国家更有利，取决于技术引进成本和自主研发能力的相对大小。

此时均衡状态转移路径较复杂，如图 2。需注意的是，转移路径除了与两国的技术引进成本、研发能力等相关以外，各条转移路径出现的可能性与两国的消费结构和生产结构的适配性相关。若供需不适配，将会产生福利的损失。

综合来看，两国的福利都会随着国家 1 的研发能力下降而受损增加。研发能力低时强行增加研发人员转移了原可用来生产相对优势产品的劳动力，对双方国家都不利。而对国家 1 而言，在其研发能力较强时，效用水平可能会提高；对国家 2 却不然，只要国家 1 研发能力不高，其福利较之都不会有改善。

最后，将考虑技术进步内生性的自由贸易和封闭经济进行对比，容易证明（见附录 D），自由贸易对于国家 2 来说，不管是在技术引进还是自主研发下，都是不差于封闭经济。

（二）数值模拟

为了让上述命题更加直观和现实，本小节使用中美两国的真实数据估计模型中的参数，并模拟得到不同技术进步路径下两国的福利变化。

1. 参数估计

关于模型中的参数，主要需要估计生产能力 m 和 n ，消费结构 α 和 β ，具体如下：

（1）关于生产能力 m 和 n ，取制造业中高技术行业和非高技术行业两类产品¹⁵以区分产品 1 和产品 2¹⁶，承袭模型设定，取劳动生产率表示，具体计算方式为总产出¹⁷/劳动人数。并利用 GDP 平减指数（以 1999 年为基期）和

¹⁵ 由于中美两国行业分类标准不同，本文统一按照国家统计局给出的《高技术产业（制造业）分类（2017）》进行了整理。

¹⁶ 该做法直觉上会缩小高技术产品和非高技术类产品的生产能力差距，制造业本身在整个产业中技术成分相对就高，但第一产业和第三产业中的产品很难区分高技术类产品和非高技术类产品，为了进行可行的区分并区分两类产品的生产能力，本文仍采用该种方式。

¹⁷ 美国经济分析局（BEA）对总产出（gross output）的定义为“Gross output is principally a measure of sales or receipts, and it's roughly equal to the market value of the products an industry sells”，本文将该定义对应于《中国工业统计年鉴》中的主营业务收入。

购买力平价指数对两国的产出数据进行了处理。(2) 人口数据为两国的人口总数。¹⁸ (3) 效用函数中的参数 α 和 β , 对于高技术类产品和非高技术类产品, 不同的地区可能有不同界定。以农产品为例, 国内一些地区的手工劳作方式产生的产品应该算非高技术类产品, 但在发达国家若使用机械化劳作方式应倾向于算作高技术类产品, 这样的现实使得两国的消费结构很难区分。这里方便起见, 取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1/2, \beta_1 = \beta_2 = 1/2$, 但模型本身可以考虑不同的消费结构。

以上可获得的数据最新到 2016 年, 取 2016 年为技术进步后年份, 取 1999 年为技术进步前的基期 (中国加入 WTO 之前)。

如表 2 可知, 中国的劳动生产率, 无论是高技术类还是非高技术类产品, 都远低于美国, 绝对差距在增加, 但相对差距在缩小。1999—2016 年中国两类产品的劳动生产率平均年增长 7.14% 和 8.49%, 美国为 3.09% 和 4.37%。1999 年, 中国高技术类产品劳动生产率是非高技术类产品的 1.18 倍, 但 2016 年, 随着技术的发展, 该比例缩小到 0.95; 而美国该比例则从 1999 年的 1.21 缩小到 0.99, 这两个数字均大于中国的同期水平。从 1999 年至 2016 年, 美国继续在高技术产品上保持着相对比较优势, 且比较优势有所扩大。

表 2 中美两国参数估计结果

	1999 年		2016 年	
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2
生产能力: 亿美元/千人	(0.52, 2.66)	(0.44, 2.19)	(1.69, 4.47)	(1.77, 4.53)
人口数量: 亿	(12.58, 2.79)		(13.71, 3.23)	

注: 表中括号内逗号前后分别为中国和美国。

2. 模拟结果

假定其他参数不变, 只将 m_1^0 增加至 m_1 , 这与中国高技术类产品生产率增长相对更快的事实相符 ($7.14/8.49 > 3.09/4.37$), 同时认为增长方式有两种: 技术引进或自主研发。以下比较这两类方式对中美两国的福利影响情况, 图 3 至图 6 中 U_{i0} 、 U_{i1} 分别表示在国家 1 技术进步前, 国家 i 自由贸易和封闭经济下的效用水平。

1999 年, 根据参数估计结果, 中国的技术水平为 (0.52, 0.44), 美国为 (2.66, 2.19), $L_0 = 12.58, l_0 = 2.79$ 。假定 m_1^0 进步到 0.53, 相对比较优势未逆转, 根据本文模型, 可得到图 3:

¹⁸ 其中美国的行业数据来自美国经济分析局 (BEA), 中国的行业数据来自《中国工业统计年鉴》, 指数计算用到的相关数据来自世界银行和国家统计局。两国的人口数据来自世界银行。

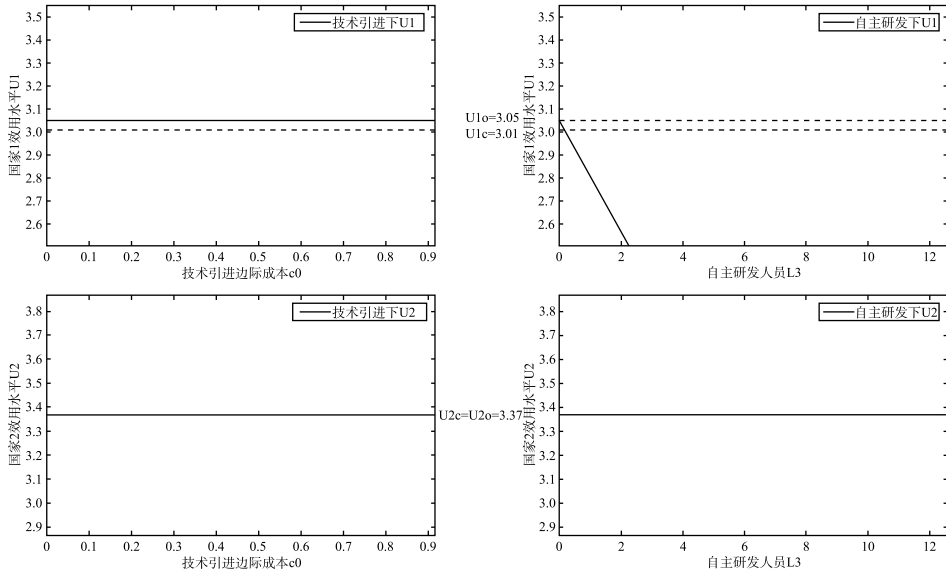


图 3 1999 年技术进步前后两国效用对比 ($m_1 = 0.53$)

如图 3，无论 c_0 为何值，中国和美国效用水平与技术引进前的开放经济体持平。实际上，由本模型，1999 年，美国封闭经济体系和开放经济体系无异。若中国采取自主研发，仅当其研发能力非常强时，才与之前自由贸易状态持平，否则不如封闭经济体系；而美国则在中国采取自主研发时不受到任何损伤。可以看出中国此时应该选择技术引进，美国则对中国的技术进步路径无偏好。

假定 m_1^0 进步为 0.56，发生了优势逆转，可得到图 4：

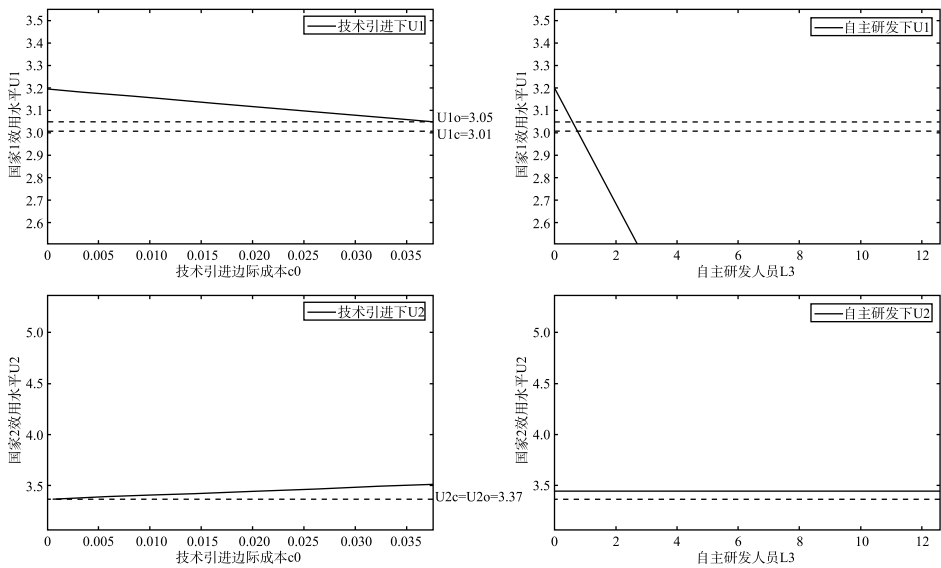


图 4 1999 年技术进步前后两国效用对比 ($m_1 = 0.56$)

如图 4, 若 1999 年后能逆转相对优势, 中国无论 c_0 为何值, 两国的效用水平都高于技术进步前。若中国采取自主研发, 同样仅当其研发能力非常强时才能从中获利, 否则不如封闭经济体系, 但此时美国也会受益。同样地, 若研发能力不足, 中国最好选择技术引进, 美国则会倾向于对中国收取较高的专利许可费。

如上述, 1999 年, 美国不会因中国技术进步受损, 无论其是否继续保持原有的比较优势, 此时优势逆转反而是一件好事。优势逆转对中国也是一件好事, 但选择自主研发同时也需要更强的研发能力, 否则选择技术引进是占优策略。

2016 年, 中国的技术水平为 (1.69, 1.77), 美国的技术水平为 (4.47, 4.53), $L_0 = 13.71, l_0 = 3.23$ 。假定 m_1^0 进步到 1.72, 此时不发生逆转, 可得到图 5:

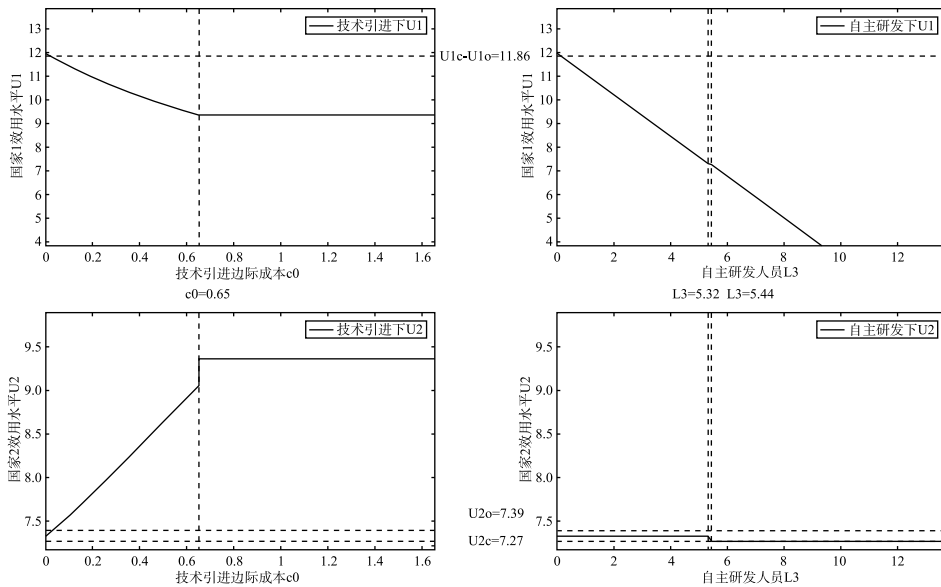


图 5 2016 年技术进步前后两国效用对比 ($m_1 = 1.72$)

如图 5, 此时技术进步前, 开放经济和封闭经济于中国无差异。技术引进下, 仅当 c_0 极小时中国的效用水平才能提高, 而于美国而言, 效用会低于技术进步前的开放经济体系, 但仍优于封闭经济。若中国采取自主研发, 仅当其研发能力非常强时, 才能从技术进步中获利, 否则还不如封闭经济体系, 也不如低成本引进技术。而美国在中国自主研发时同样优于封闭经济。可以看出中国应该在相对低研发水平选择技术引进, 美国则会更偏好中国选择技术引进。

假定 m_1^0 进步为 1.79, 比较优势发生了逆转, 可得到图 6:

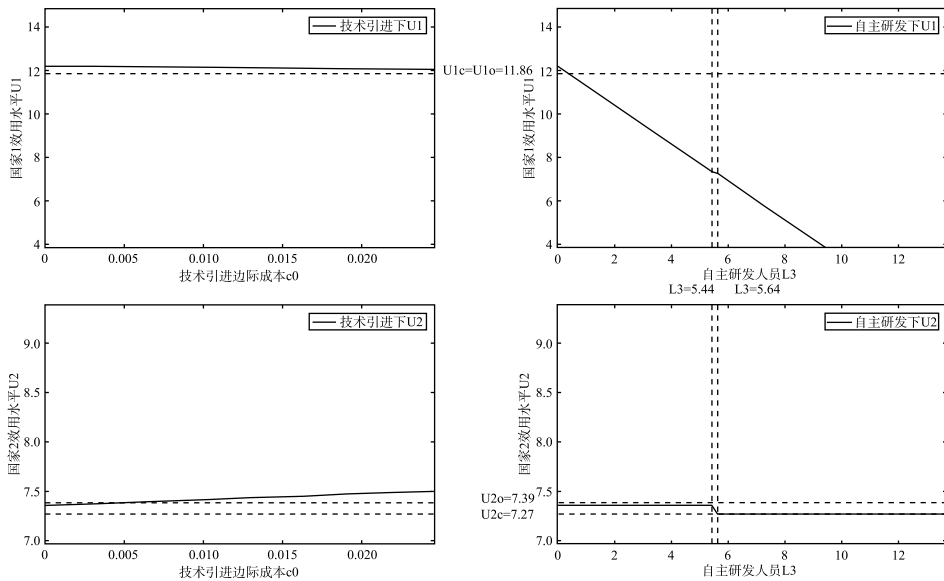


图 6 2016 年技术进步前后两国效用对比 ($m_1 = 1.79$)

如图 6，若 2016 年后能发生相对优势的逆转，中国无论 c_0 为何值，其效用水平都高于技术进步前，而美国在专利授权上收取相对高费用才会使其福利改善。若中国采取自主研发，同样仅当其研发能力非常强时，才能从技术进步中获利，否则还不如封闭经济体系。美国在中国采取自主研发时效用会低于其技术进步前的开放经济体系，且中国研发能力强，对美国更有益。同样地，若研发能力不足，中国最好选择技术引进，美国则会倾向于对中国的技术引进收取较高的专利许可费。

如上所述，2016 年的情形与 1999 年已经有所区别，此时美国的福利可能因中国技术进步受到影响，低于技术进步前的开放经济体系，但美国只要知识产权授权费用足够高，依然可以从中受益。而中国若研发能力低，想要提升效用只能考虑技术引进，但此时主动权掌握在美国手中，美国为了提升自身福利会提高收费。中国若能从技术引进中逆转比较优势也可以提升福利，但若无法逆转，则会受损。反过来，如果中国自主研发能力强，则占据了主动权，此时可采取自主研发，而这却会让美国较之前的自由贸易状态受损。但对比 1999 年，美国在 2016 年依旧能从自由贸易中受益。¹⁹

四、全球价值链比较优势下可能的推广

本文的研究基础是 Samuelson (2004) 的一般均衡模型，针对最终消费品

¹⁹ 除此之外，本文还根据 Samuelson (2004) 中的参数设定进行了模拟和分析，结论类似，详见附录 F，限于篇幅，附录从略。

的比较优势定义技术进步。而近年来的发展表明,最终产品的生产越发依赖于中间产品构成的生产网络。如何度量产业链比较优势及生产网络下的技术进步,成为最前沿的研究课题,而在此类比较优势和技术进步下,同时对贸易双方福利影响和技术进步路径选择的研究,目前几乎没有。

Acemoglu *et al.* (2012)、Acemoglu and Azar (2020) 的系列研究,将传统一般均衡模型中生产部分的生产要素从简单的资本和劳动,推广到劳动和中间产品的生产网络——不同投入要素的组合会影响生产率从而影响成本和价格。Acemoglu 等人在此背景下,基于一般均衡框架讨论了均衡的存在性和唯一性,以及参数变化如何影响均衡价格和内生生产网络的选择。该研究表明,技术进步可以通过生产网络的链接降低成本,提高比较优势。那么,如果将本文的框架扩展到生产网络技术进步,此时贸易双方的福利有何变化,本文结论是否依然成立,这些问题同样值得研究。基于 Acemoglu 等人的思路,本文尝试讨论变化趋势。

正如上文所述,两国完全生产优势互补对应于模型中,后发国家劳动力禀赋相对中等的状态(即 FTM、TIM 和 RDM)。在生产中进一步考虑中间品投入,并结合 GVC 不断深化的背景:由美国、日本等国家占据的高端技术生产环节的出口技术含量在传统统计口径下会被低估,而中国的同类生产技术含量会被高估。²⁰这个现象的产生一方面是因为生产不同产品投入的中间品成本不同,低端生产环节往往附加值较低,高端生产环节的附加值则较高;另一方面,GVC 的发展使中国的低端位置有锁定倾向。尽管这些研究主要是针对出口品,但该逻辑同样适用于内销的产品。因此考虑中间品后,本模型中的劳动生产率会存在高估或低估的现象。具体来说,价值链统计口径中的 $\frac{Am_2l_0}{m_1}$ 更高,而 $\frac{An_2l_0}{n_1}$ 更低,即 TIM1、RDM1 的区间会有所扩大²¹,并且 GVC 往往伴随着技术进步的发生,从而 TIM1 和 RDM1 中区间的扩大幅度相对于 FTM 会更大。

结合上述结论与本文的模型设定,可对照图 1、图 2 以及命题 3,在技术进步前:(1)若两国自由贸易且后发国家的劳动力禀赋相对较少(即 FTL),后发国家其会优先选择技术引进,发达国家并不受损,且与区间无关。(2)若后发国家劳动力禀赋相对中等(即 FTM),此时两国的状态转移至 TIM1、RDM1 的概率同时增大,但在 TIM1 下后发国家的福利不受损,在 RDM1 下受损,选择技术引进的可能性增加。(3)若后发国家劳动力禀赋相对较多(即 FTH),

²⁰ 这个说法的根据是王直等(2015)、倪红福(2017)、吕越等(2018)的研究。

²¹ 由于比较优势发生逆转后两国的福利变化与供需结构的适配性相关,情况较为复杂,此处仅指比较优势不发生逆转的情况,且现实中,仍是先发国家占据着高技术类产品的比较优势。另外,若国家 1 技术进步后两国的比较优势发生逆转,可结合数值模拟结果来看,比较优势发生逆转 RDM2 和 TIM2 的区间会缩小,此时对国家 1 更加有利。

同样，国家 1 的转移路径为 TIM1 时其福利受损，转移路径为 RDM1 时其受损更加严重，则国家 1 选择技术引进的概率增加。注意国家 1 在比较优势未发生逆转时选择技术引进对国家 2 更有利。因此，考虑 GVC 时，国家 1 选择技术引进的可能性会增加，国家 2 的优势也会扩大。但尽管如上所述，GVC 的深入会使本模型中 TIM1 和 RDM1 的区间扩大，但若国家 1 的研发能力本身很强（即 RDH1，考虑研发成本国家 1 的劳动力禀赋相对较多），尤其是在国家 1 自主研发仍能改善其福利的高研发能力状态，那么国家 1 仍有选择自主研发的主动权。但此时，在其他变量不变的情况下，研发能力要足够“高”，这个“高”标准也相应提高了。

因此，将本文的模型放在考虑中间品的 GVC 中，本文的结论尤其是命题 3 基本不变，而对于技术进步后在高技术类产品上具备相对比较优势的国家，GVC 加深更是一个改善社会福利的契机。

五、结 论

随着国际贸易的发展，后发国家的技术进步路径也在不断变化。在当今世界技术进步动态的环境中，知识产权保护力度在不断增加，技术引进和自主创新两类技术进步路径也逐渐成为焦点。本文基于 Samuelson (2004) 的一般均衡模型，将技术进步内生化的探讨不同技术进步路径下贸易双方福利的变化，不仅拓展了原模型，同时还使用一般化的数学表达式得出了更为一般的结论，并基于中美实际数据进行模拟，让结论更加直观，对于后发国家的技术进步路径选择上有一定的借鉴意义。

本文发现：第一，在技术引进下，后发国家效用变化与引进技术的边际费用相关。一个较低的边际费用可以让后发国家的效用水平较技术引进前有所提升，一个较高的边际费用也不一定会使其受损；而对先发国家而言，技术输出总是不差于封闭经济。第二，在自主研发下，后发国家的效用水平受到其研发创新能力的限制。若研发能力不足，强行投入大量研发人员进行研发反而对两个国家都不利，甚至于后发国家的效用水平会低于封闭经济状态，只有在研发能力足够强的时候才能提高本国的效用水平。第三，后发国家需要根据技术引进成本和其自主研发能力，选择合适的技术提高方式，当然也需要结合劳动力的相对大小、两国消费者的偏好、技术差距等因素来综合进行衡量。而考虑到技术内生性后，无论后发国家选择何种技术进步路径，先发国家的效用水平总不会低于封闭经济状态。

本文拓宽了 AGE 模型的应用范围，并导出了后发国家技术进步路径的临界值。本文认为，后发国家在选择技术进步路径时需要结合自身禀赋和自身偏好结构，衡量技术引进成本和自主研发能力进行决策；同时要不断提升自主研发能力以摆脱先发国家的技术控制带来的高成本引进下效用受损的情况，

占据主动权。而发达国家适当地进行技术输出并不会造成其收益的永久损失,相反,一味地进行技术封锁,倒逼后发国家在研发能力不足的情况下进行自主研发反而对自身损伤更大。

随着全球价值链的深化,本文的模型未来可考虑的变量和因素还有许多,不仅仅是中间投入品,各国之间、国内各行业间的技术溢出效应、金融摩擦,其他技术引进的方式等都是本文未来可改进的方向。

参考文献

- [1] Acemoglu, D., "Politics and Economics in Weak and Strong States", *Journal of Monetary Economics*, 2005, 52 (7), 1199-1226.
- [2] Acemoglu, D., and P. D. Azar, "Endogenous Production Networks", *Econometrica*, 2020, 88 (1), 33-82.
- [3] Acemoglu, D., V. M. Carvalho, A. Ozdaglar, and A. Tahbaz-Salehi, "The Network Origins of Aggregate Fluctuations", *Econometrica*, 2012, 80 (5), 1977-2016.
- [4] Arrow, K. J., "Personal Reflections on Applied General Equilibrium Models", In: Kehoe, T. J., T. N. Srinivasan, and J. Whalley (eds.), *Frontiers in Applied General Equilibrium Modeling: In Honor of Herbert Scarf*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, 13-23.
- [5] Arrow, K. J., and G. Debreu, "Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy", *Econometrica*, 1954, 22 (3), 265-290.
- [6] Costinot, A., D. Donaldson, and I. Komunjer, "What Goods Do Countries Trade? A Quantitative Exploration of Ricardo's Ideas", *The Review of Economic Studies*, 2012, 79 (2), 581-608.
- [7] 丁树桥, "技术进步路径选择: 理论及中国的经验研究", 《工业技术经济》, 2005年第4期, 第61—63+70页。
- [8] Dornbusch, R., S. Fischer, and P. A. Samuelson, "Comparative Advantage, Trade, and Payments in a Ricardian Model with a Continuum of Goods", *American Economic Review*, 1977, 67 (5), 823-839.
- [9] Dornbusch, R., S. Fischer, and P. A. Samuelson, "Heckscher Ohlin Trade Theory with a Continuum of Goods", *Quarterly Journal of Economics*, 1980, 95 (2), 203-224.
- [10] 傅晓霞、吴利学, "技术差距、创新环境与企业自主研发强度", 《世界经济》, 2012年第7期, 第101—122页。
- [11] Gomory, R. E., and W. J. Baumol, *Global Trade and Conflicting National Interests*. Cambridge: MIT Press, 2000.
- [12] Hertel, T. W., *Global Trade Analysis: Modeling and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- [13] Holz, C. A., "China's Economic Growth 1978-2025: What We Know Today about China's Economic Growth Tomorrow", *World Development*, 2008, 36 (10), 1665-1691.
- [14] 胡方、彭诚, "技术进步引起国际贸易摩擦的一个模型", 《国际贸易问题》, 2009年第9期, 第61—67页。
- [15] Impullitti, G., and O. Licandro, "Trade, Firm Selection and Innovation: The Competition Channel", *The Economic Journal*, 2018, 128 (608), 189-229.
- [16] 李坤望、赵兴军, "自由贸易损害了美国吗?——对萨缪尔森的质疑", 《经济社会体制比较》,

- 2006年第1期,第70—77页。
- [17] 刘小鲁,“知识产权保护、自主研发比重与后发国家的技术进步”,《管理世界》,2011年第10期,第10—19+187页。
- [18] 吕越、陈帅、盛斌,“嵌入全球价值链会导致中国制造的‘低端锁定’吗?”,《管理世界》,2018年第8期,第11—29页。
- [19] McKenzie, L., “On Equilibrium in Graham’s Model of World Trade and Other Competitive Systems”, *Econometrica*, 1954, 22 (2), 147-161.
- [20] Navas, A., “Technology and the Dynamics of Comparative Advantage”, *Review of International Economics*, 2018, 26 (1), 140-164.
- [21] 倪红福,“中国出口技术含量动态变迁及国际比较”,《经济研究》,2017年第1期,第44—57页。
- [22] 潘士远,“最优专利制度、技术进步方向与工资不平等”,《经济研究》,2008年第1期,第127—136页。
- [23] Samuelson, P. A., “Where Ricardo and Mill Rebut and Confirm Arguments of Mainstream Economists Supporting Globalization”, *Journal of Economic Perspectives*, 2004, 18 (3), 135-146.
- [24] Scarf, H., “On the Computation of Equilibrium Prices”, In: Fellner, W. J., and I. Fisher (eds.), *Ten Economic Studies in the Tradition of Irving Fisher*. New York: Wiley, 1967, 207-230.
- [25] Scarf, H., and T. Hansen, *The Computation of Economic Equilibria*. New Haven: Yale University Press, 1973.
- [26] 邵玉君,“FDI、OFDI与国内技术进步”,《数量经济技术经济研究》,2017年第9期,第21—38页。
- [27] 王直、魏尚进、祝坤福,“总贸易核算法:官方贸易统计与全球价值链的度量”,《中国社会科学》,2015年第9期,第108—127+205—206页。
- [28] 袁礼、王林辉、张伊依,“后发国家的适宜性技术进步路径选择——基于世界经济近代史的分析”,《上海财经大学学报》,2015年第4期,第68—81页。

Choice of Technology Progress Path in an Applied General Equilibrium Model

SONG HAN YUANJIE XI*

(Renmin University of China)

JINGANG ZHAO

(University of Saskatchewan)

Abstract This article extends Samuelson's (2004) trade model to endogenous technological progress. It focuses on the developing country's optimal path for technological progress with different labor endowments and provides three main contributions: (1) Equilibrium expressions of the optimal output, consumption and maximum utility for each country; (2) how technology introduction's cost and R&D capability in the developing country affect the equilibrium utility and optimal path for technological progress; (3) characterizations of the optimal paths for technological progress in different ranges of cost of technology choices and R&D capabilities.

Keywords technology introduction, independent R&D, general equilibrium model

JEL Classification D58, F11, C61

* Corresponding Author: Yuanjie Xi, Room 856, Mingde Main Building, Renmin University of China, Beijing 100872, China; Tel: 86-15810807480; E-mail: ruc_xyj@ruc.edu.cn.