

# 人口迁移、技术追赶与中国内外经济循环

## ——基于世界动力学模型的理论分析

安同良 吴致冶

(南京大学 经济学院, 江苏 南京 210093)

**摘要:** 国际国内经济循环是一个多重因素相互嵌套的复杂系统, 传统的新古典经济学分析方法难以揭示多个变量间的相互作用, 世界动力学模型则能够将复杂的世界浓缩为多个变量相互反馈的闭合系统, 以明晰变量之间的嵌套关系。利用世界动力学模型, 从人口迁移与技术追赶切入, 对中国内外经济循环的多层嵌套关系进行了理论分析。研究发现, 在“两个经济循环”的多层反馈和嵌套关系中, 人口迁移、技术追赶是最为关键的变量。在国内循环中, 人口迁移对于发达地区与外围地区人口的双向流动和刺激经济增长有显著的作用; 而在国内国际双循环中, 前沿技术公开程度、信息与制度的不确定性对企业资金配置效率的影响呈现收敛状态。为此, 重塑国内经济大循环, 需要适度的人口跨地区流动, 引导生产要素在地区间更有效率地配置; 而要重塑国际经济大循环, 则需要高度重视信息与制度的不确定性, 最为关键的是要有序引导发达地区企业的资金投向对世界前沿技术的追赶和学习。

**关键词:** 世界动力学; 人口迁移; 技术追赶; 内外经济循环; 前沿技术公开度

**中图分类号:** F062.9    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1671-9301(2021)03-0057-12

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2021.03.005

### 一、引言

改革开放以来, 中国对外经济和技术联系日益密切, 贸易规模不断扩大, 不断加深嵌入以发达国家跨国公司为主导的全球价值链, 尤其是与“一带一路”沿线国家的产业融合, 无论是广度还是深度都在不断提高<sup>[1]</sup>。与此同时, 中国凭借丰富的劳动力资源和土地成本优势, 深度融入国际经济大循环, 在国际分工中获得了应有的收益。不过, 对于中国而言, 在这种出口导向的战略模式下, 虽然价值共享对技术进步具有正向作用<sup>[2]</sup>, 但生产和组装依然是处于低附加值环节的国际产能合作, 高附加值环节被发达国家牢牢把控, 因此很难实现真正意义上的自主创新与中国创造。

从国际经济环境来看, 当前逆全球化趋势在不断加强, 贸易保护主义和单边主义势力正在抬头, 全球产业链、创新链和供应链遭受着巨大的冲击。发达国家希望高端制造业回流, 美国更是加强了对华科技封锁。从国内经济环境来看, 中国劳动力成本、土地成本不断攀升, 人口红利逐步消退。受劳动力和土地成本等因素的影响, 低技术行业向更具优势的东南亚国家和地区等转移。近期受新冠肺炎疫情的影响, 国际贸易和投资出现衰减迹象。在这种情形下, 世界经济的循环模式正从传统的“中心-外围”结构, 逐渐向以中国为枢纽的“双环流”或“双循环”模式演变<sup>[3]</sup>。在这种双环流模式

收稿日期: 2021-01-25; 修回日期: 2021-04-26

**作者简介:** 安同良(1966—)男, 河北唐山人, 管理学博士, 南京大学经济学院教授、博士生导师, 教育部长江学者特聘教授, 研究方向为创新经济学、复杂经济学; 吴致冶(1998—)男, 江苏南京人, 南京大学经济学院硕士研究生, 研究方向为演化经济学与技术创新。

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(72073061); 国家社会科学基金重大项目(20&ZD123)

中,中国经济不仅通过产业分工、资本互换与发达国家形成循环联系,还通过双向贸易、直接投资与发展中国家形成循环关联。

从理论上讲,发展中国家在参与国际分工时,通常会处于不利地位,并主要反映在垂直贸易方面。然而,中国由于具有较为完善的产业链和产业分工体系,不仅有处于垂直分工体系下的劳动密集型和资本密集型产业,还有处于水平分工体系下的现代产业<sup>[3]</sup>。同时,中国凭借互联网对企业的牵引优势,形成了逐渐分散化的经济地理格局<sup>[4]</sup>。因此,中国参与的国际分工正在向“十字”型方向展开。

在这种向垂直和水平维度“十字”型方向展开的国际国内经济循环体系中,各种因素相互作用、相互嵌套,构成了复杂的循环系统。此时,传统的新古典经济学分析方法难以揭示多个变量间的相互作用,相反世界动力学模型则能够将复杂的世界浓缩为多个变量相互反馈的闭合系统,揭示各个变量之间的传导机制。正如 Forrester<sup>[5]</sup>在 *World Dynamics* 一书中首次提出“世界动力学”概念时所指出的,世界是一个复杂的统一整体。世界动力学模型框架,不仅描绘了整个经济生态系统的循环以及其内部各子系统的联系机制,还十分强调各个子系统间的相互作用,从而揭示了经济发展的非线性化过程。基于此,本文借助世界动力学模型对两个经济循环提供理论解释,重点考察人口流动和技术进步两个关键变量。

基于当前中国技术进步尚处于技术追赶阶段这一特征事实,本文在构建投入产出理论模型时,还重点借鉴了 Acemoglu *et al.*<sup>[6]</sup>提出的“前沿技术差距”建模思想。安同良等<sup>[7]</sup>研究指出,当前中国中高等级技术以及高技术行业仍处于以技术追赶和追随模仿为主的阶段。《牛津创新手册》也指出,国家必须根据其追赶的特性要素来考虑追赶途径,如最新的全球化条件下的技术和制度、相关经济主体(特别是企业)的行为和需要,以及追赶所依赖的特定环境等要素<sup>[8]</sup>。

特定国家技术追赶战略的制定,更需要结合该国自身的特性。就当前的实际情况而言,中国显然具备了经济主体众多、市场潜力巨大等方面的天然优势,同时还具有市场经济主体独立性方面的制度优势。关于技术追赶的已有研究,包括微观企业层面和宏观国家层面。在微观层面:彭新敏等<sup>[9]</sup>强调,企业要在现有知识和能力开发与新知识、新技能探索之间取得平衡;吴晓波等<sup>[10]</sup>基于机会窗口视角的案例,对比研究后发企业创新演进过程;安同良等<sup>[7]</sup>基于微观创新调查数据,对中国制造业企业创新进行测度。在宏观层面:孙早和许薛璐<sup>[11]</sup>通过部门分类和一般均衡分析法,将基础研究与应用研究进行对比;黄先海和宋学印<sup>[12]</sup>利用熊彼特内生增长模型,研究了技术进步路径,强调政府在技术进步动力转换中的重要作用。本文拟从宏观视角研究技术学习带来的生产效率提升和净产出的增长效应。

在利用 Acemoglu *et al.*<sup>[6]</sup>的前沿技术差距思想分析发达地区生产效率提升路径时,通常都假定最前沿的技术进步都有一个恒定的数值。不过,现实中通常会发生两个方面的重要变化:一方面,伴随着对外开放程度的提高,虽然出口机会增加,但竞争程度加剧,这使得新技术会加快被采用<sup>[13]</sup>;另一方面,先进技术往往难以从富国流向穷国<sup>[14]</sup>。基于此,本文拟引入前沿技术公开度及制度因素变量来衡量我国发达地区对世界前沿技术地区学习作用的不完全程度。在考虑发达地区技术进步时,本文将用于技术进步的资本分为两种类型:一是用作企业自身的研发,二是用作对前沿技术地区的模仿与学习。另外,本文还借鉴全球价值链贸易主要是中间品贸易的核算思想<sup>[15]</sup>,在分析产出决定因素时将中间品投入看作是资本品投入。本文对中间品均衡价格的分析,吸收了杨文溥<sup>[16]</sup>的基本观点,即在垄断性较低的行业中,竞争程度加剧不利于生产效率的提高。本文在研究地区间的国内经济循环时,参考了程李梅等<sup>[17]</sup>和陈宏权等<sup>[18]</sup>对产业内企业行为的基本假定,即为了谋求降低交易费用,同时为了获取聚集的知识溢出效应,企业会极力寻求外部分工合作,并且在重大工程创新活动中需要全部创新主体深度嵌入和全员参与。除此之外,本文还将作为创新主体的人口要素纳入分析框架。

在揭示人口迁移、技术追赶与中国内外经济循环关联时,本文利用世界动力学模型的因果回路、存量流量等方法,将复杂的世界浓缩为变量相互嵌套、相互反馈的循环系统。新古典经济学模型方法的不足在于,寻求通过简洁的模型构建突出经济系统的循环作用,导致在抓住主要经济变量的同时,却忽

略了其他变量和不确定性因素的影响。为此,新古典经济学分析方法往往难以系统地解释复杂的真实世界。而本文的世界动力学模型方法具有以下优势:第一,通过打开黑箱,各个变量之间的激励和传导机制变得更加明晰;第二,通过仿真模拟,不确定性变量对整个经济系统的作用更容易量化呈现。本文创新之处在于,通过尝试运用系统动力学建模方法,揭示国内国际两个经济循环的作用机制,并借助系统动力学相关软件,仿真和模拟国民经济运行系统中的关键变量对内外经济循环的作用。

## 二、世界动力学模型

### (一) 世界动力学的基准模型

在 *World Dynamics* 中,Forrester<sup>[5]</sup>将人口规模、投资规模、农业投资占比、自然资源、环境污染五个基本因素作为基石和基本分析单元,同时将整个世界看成是一个复杂的流动性循环整体,重点考察了循环中的各种反馈效应。

首先,人口规模  $P$  (Population) 由出生率  $BR$  (Birth Rate) 和死亡率  $DR$  (Death Rate) 决定,自身构成第一个小循环,并影响投资、自然资源、环境污染等循环。其次,投资  $CI$  (Capital Investment) 由资本的产生  $CIG$  (Capital-Investment Generation) 和资本的废弃  $CID$  (Capital-Investment Discard) 决定。其中,投资规模决定投资率  $CIR$  (Capital-Investment Ratio),并通过投资率影响着投资效率  $ECIR$  (Effective Capital-Investment Ratio),而投资效率的高低又决定着物质生活水平  $MSL$  (Material Standard Living),物质生活水平相应地对投资产生乘数效应,反过来又影响着投资规模。一系列的正反馈机制,构成第二个小循环。在第二个小循环中,投资率的高低,首先决定的是投资在农业部门  $CIGA$  (Capital-Investment Generation in Agriculture) 产出水平的高低。而投资在用于农业生产部门时,会直接影响食物供给量。在不考虑技术进步的情况之下,食物供给量的高低由资本在农业中使用的占比来决定。而食物供给量与现有人口规模又共同制约着出生率,这样就形成了与第一个循环的关联。第三个循环以自然资源为中心来展开,即自然资源占用率  $NRUR$  (Natural-Resource-Usage Rate) 由自然资源禀赋  $NR$  (Natural Resources) 与人口规模  $P$  决定,并通过资源结构性剩余  $NRFR$  (Natural-Resource Fraction Remaining) 与资源开采  $NRU$  (Natural-Resource Usage) 相互作用,形成资源开采乘数  $NREM$  (Natural-Resource Extraction Multiplier),从而影响资源利用的效率。而从原理上讲,资源利用效率与投资效率有着直接的正相关关系,并且它还与人口规模有着直接的正相关关系,这两条正反馈路径连通了人口、投资以及自然资源三个循环。最后,环境污染  $POL$  (Pollution) 由环境污染程度  $POLS$  (Pollution Standard)、环境污染率  $POLR$  (Pollution Ratio) 以及环境自净能力  $POLA$  (Pollution Absorption) 决定。其中,环境污染程度影响自净的时间,从而影响环境自净能力,如此构成了第四个循环。相反,环境污染程度与自然资源总量、食物供给水平有着明显的负相关性。因此,四个循环通过正反馈、负反馈效应相互作用,彼此贯通,形成不同的回路,从而构成了世界动力学系统。

这种由多因素共同决定的世界动力学模型,不仅将世界连成了一个整体,而且构造了一个复杂的系统。现实中,经济发展是一种非线性的复杂过程,受到人口、投资、资源供给、环境污染等多重因素的合力作用。这里,人口、投资、资源供给、环境污染等方面循环的动态关系,还可以构造为  $\frac{dP}{dt} = F_1$

$(BR(FR, MSL), DR), \frac{dCIR}{dt} = F_2(CI(CIG, CID), P), \frac{dFR}{dt} = F_3(CIGA(CIR), PLU), \frac{dPLU}{dt} = F_4(P, PLUA)$  等微分形式。

### (二) 基于人口和技术因素的扩展模型

上述世界动力学基准模型<sup>[5, 19]</sup>,虽然考察了人口、资源、环境、投资、农业等因素和变量,却没有考虑技术进步因素的循环反馈关系,并且在纳入人口因素时,只考虑了出生率和死亡率等影响人口数量的因素,并未考虑人口迁移、技术进步因素的影响。一方面,人口迁移带来的人力资本和劳动力

的跨区域流动影响着相关地区企业的产出水平和产出结构,从而影响不同地区的产出水平。尤其是在研究国内循环时,人口在地区间的迁移是重要的模型变量。另一方面,科学技术作为知识形态的生产力,一旦被应用而转化为物质形态的生产力,其对经济增长的贡献将会超过资本和劳动力,具有决定性作用。特别是在研究国际循环时,对技术的学习与追赶是极为重要的方面,很有必要将其纳入研究框架。基于此,本节引入人口迁移和技术进步两个关键变量,重点考察人口迁移、技术追赶对经济增长的反馈效应,试图对基准世界动力学模型进行扩展。首先,在人口总量不变、技术进步速度恒定的假定下,讨论地区内的经济循环;其次,引入人口动态迁移、技术模仿与学习等因素研究地区间的经济循环;最后,再引入世界技术最先进地区的技术水平变量,即前沿技术公开度指标。这里,代表性的发达地区和其他地区之间的循环被看成是国内经济循环,而国内发达地区向世界前沿技术的学习与跟进,则被看成是国内-国际经济的双循环。

### 1. 模型设定与我国地区内部的经济循环

假定整个经济系统只有厂商和家庭两个部门,产品的生产过程经由中间产品生产和最终产品生产两个部门。其中,最终产品生产部门面临着完全竞争市场,中间产品生产部门面临不完全竞争市场。

最终产品生产者的生产函数满足柯布道格拉斯性质:  $Y_t = \frac{1}{\alpha} (A_t N_t)^{1-\alpha} (K_t)^\alpha$ , 其中  $A_t$  表示  $t$  时期生产效率,  $N_t$  表示  $t$  时期劳动力供给量,  $K_t$  表示  $t$  时期投入的资本量。中间产品以资本品存在,并假设每种最终产品只需投入一种中间产品即可。最终产品的生产函数可以写为:

$$Y_t = \frac{1}{\alpha} (A_t N_t)^{1-\alpha} (x_t)^\alpha \quad (1)$$

将最终产品看作计价物  $P=1$ 。中间产品生产者有着不同的生产效率,因此拥有不同的生产成本,并且边际成本固定。为了避免潜在厂商的进入,均衡时中间产品的供给价格应该等于生产效率处于边缘的厂商的边际成本,设为  $\lambda_t$  (则  $1 < \lambda_t < \frac{1}{\alpha}$ )。因此,中间产品的供给价格  $p_s = \lambda_t$ 。在需求方面,由于最终产品生产者面临完全竞争的要素市场,需求应满足边际产品价值等于边际要素成本,即  $P \times MP = MFC$  原则。对生产函数的中间产品求一阶导数得到资本的边际产量  $MP_K = \frac{\partial Y_t}{\partial K_t} = (A_t N_t)^{1-\alpha} (x_t)^{\alpha-1}$ 。由中间产品的供给函数得到边际要素成本  $MFC = \lambda_t$ ,从而得到均衡时中间产品产量为:

$$x_t = \lambda_t^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_t N_t \quad (2)$$

将其代入最终产品表达式,可得到净产出的表达式:

$$Y_t^n = Y_t - x_t = \frac{\lambda_t - \alpha}{\alpha} \lambda_t^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_t N_t \quad (3)$$

再将生产函数对劳动求一阶偏导数,并代入均衡产量,可得到工资水平的表达式:

$$w_t = \frac{\partial Y_t}{\partial N_t} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \lambda_t^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_t \quad (4)$$

均衡时的净产出由最终产品生产效率、劳动力投入量、中间产品生产成本决定。在均衡分析时,由于中间产品生产成本在不同企业之间存在差异,边缘厂商的生产成本应当取决于所有企业生产成本的动态分布情况。假定每一时期边缘厂商的边际生产成本即均衡时的中间产品定价服从  $(1, \frac{1}{\alpha})$  区间内的均匀分布,且劳动力供给量仅和总人口有关,占总人口的一定比例,在不发生人口流动时假定总人口不变。生产效率主要取决于初始技术水平以及技术进步速度,随时间变化的函数关系表达式为:

$$A_t = A_0 (1+g)^t \quad (5)$$

其中  $A_0$  表示初始技术水平,  $g$  代表技术研发投入带来的技术增长速度。

## 2. 引入人口动态转移的国内地区间循环

如果将前面的地区内部循环看作是发达地区的循环,那么在引入其他欠发达地区所形成的地区间循环之后,就构成了国内经济大循环。在地区间的循环中,由于人口可以在不同地区间迁入和迁出,因而就从固定变量变成了流动变量。假定迁入人口等于迁入率乘以迁出地区人口总量,因而迁出人口就等于迁出率乘以迁入地区人口总量。在做模拟时,可以假定不同的迁入率和迁出率会发生变化,据此可以研究人口流动对短期内经济增长的影响。

假定其他地区净产出表达式的形式与发达地区一致,净产出也取决于最终产品生产效率、劳动力投入量、中间产品生产成成本,并假定中间产品生产成成本与发达地区一致,而最终产品生产效率还将取决于其他地区的生产技术水平,因而初始值低于发达地区。假定其他地区生产效率的提高主要来自模仿与学习效应,并且模仿带来的技术增长速度取决于该地区与发达地区之间的技术差距。通常,技术差距越大,技术进步的速度也越快。为此,其他地区技术水平随时间变化的函数表达式为:

$$A_t' = A_0' \left( 1 + g \times \left( \frac{A_{t-1} - A_{t-1}'}{A_{t-1}} + 1 \right) \right)^t \quad (6)$$

式中,  $\frac{A_{t-1} - A_{t-1}'}{A_{t-1}}$  表示其他地区与发达地区的技术差距。差距越大,其他地区的模仿速度越快。随着技术差距的缩小,模仿获得的技术进步效应减弱。

将式(6)代入前面的产出表达式,得到均衡时其他地区的净产出表达式:

$$Y_t' = \frac{\lambda_t - \alpha}{\alpha} \lambda_t^{-\frac{1}{1-\alpha}} A_t' N_t' \quad (7)$$

将两个地区净产出相加,即式(3)、式(7)相加,得到国内净产出表达式为:

$$Y_t^* = Y_t + Y_t' = \frac{\lambda_t - \alpha}{\alpha} \lambda_t^{-\frac{1}{1-\alpha}} (A_t N_t + A_t' N_t') \quad (8)$$

从式(8)可以看出,全国净产出水平与各地区劳动供给  $N_t$ 、 $N_t'$ ,生产效率水平  $A_t$ 、 $A_t'$ ,以及中间产品定价  $\lambda_t$  正相关。

## 3. 引入前沿技术差距的国内-国际循环

前面在讨论发达地区技术进步时,假定发达地区的生产技术进步仅仅来源于自身研发带来的技术创新。然而,当引入国际前沿技术因素时,发达地区的生产技术进步不仅来源于自身研发的进步,还来源于对发达国家技术的跟进与学习。假设发达地区将用于技术研发资金的其中一部分  $\delta$  ( $\delta \in (0, 1)$ ) 用作技术模仿,剩余部分  $1 - \delta$  用作自主研发。同时,还要考虑到,即便参与跟进学习,通常也不能完全地获得国外前沿技术信息等因素。这里,用随机参数  $\mu_t$  ( $0 < \mu < 1$ ) 表示前沿技术公开度与制度因素等。

假设前沿技术生产效率表达式为:

$$\bar{A}_t = \bar{A}_0 (1 + \bar{g})^t \quad (9)$$

式(9)中  $\bar{g}$  表示前沿技术进步速度,  $\bar{A}_0$  表示前沿技术初始效率参数 ( $\bar{A}_0 > A_0$ )。

因此,发达地区企业的生产效率表达式可以改写为:

$$A_t = A_0 \left( 1 + \mu_t \delta \bar{g} \times \left( \frac{\bar{A}_{t-1} - A_{t-1}}{A_{t-1}} + 1 \right) + (1 - \delta) g \right)^t \quad (10)$$

式(10)中  $\mu_t \delta \bar{g} \times \left( \frac{\bar{A}_{t-1} - A_{t-1}}{A_{t-1}} + 1 \right)$  代表发达地区企业通过技术跟踪模仿获得的生产效率的提高值,其主要取决于拥有世界前沿技术国家和地区的技术进步速度,以及前沿技术与我国发达地区的技术势差。势差越大,追赶速度越快,获得的模仿效应收益越高。 $(1 - \delta) g$  代表企业通过自主研发



给水平则要受到地区总人口的影响,中间产品的均衡价格主要受到中间产品生产成本的影 响。最后,发达地区对前沿技术的跟进速度主要受到国外前沿技术公开度以及制度因素的影响,中间产品生产成本受到中间产品生产部门中企业分布状况的影响。对于其他地区的净产出,与研究发达地区类似,不同的是其生产效率的进步主要来源于对发达地区的直接模仿与学习效应,而模仿速度又取决于发达地区同其他地区的技术差距。

接下来本文开始考虑全国净产出、发达地区生产效率、其他地区生产效率以及工资水平等变量的动态变化。其中,发达地区生产效率这一变量起着枢纽性作用,其通过技术跟进以及发达地区技术进步决定自身水平,并影响中间产品均衡产量、发达地区净产出、发达地区技术进步、工资水平、技术差距等变量,同时还通过技术差距影响其他地区的模仿与学习效应等变量,通过发达地区净产出影响全国净产出等变量的取值。

实践中,国内发达地区包括长江三角洲地区、京津冀地区、粤港澳大湾区等,国外前沿技术地区主要包括纽约、旧金山、东京、伦敦等地区。为了简化分析,本文模型中的国内循环,选取了上海市、江苏省、浙江省、广东省作为发达地区,“一市三省”之外为模型中的其他地区,国际循环以纽约市同时期的技术水平作为前沿技术水平样本。

在模拟之前,需要对模型中各个参数进行初始值赋值。第一类是需要通过估算来确定的参数,包括生产函数性质类的参数 $\alpha$ ,以及国内各地区生产效率、前沿技术地区生产效率的初

表1 初始值选取结果

参数名称	初始值	参数名称	初始值
前沿技术地区生产效率 $A_0$	6.078	前沿技术地区技术进步速度 $\bar{g}$	0.234
国内发达地区生产效率 $A_0$	3.216	国内发达地区技术进步速度 $g$	0.108
国内其他地区生产效率 $A_0'$	1.543	生产函数参数 $\alpha$	0.35
国内发达地区人口初始值	27 869 万	国内其他地区人口初始值	112 136 万

始值 $A_0$ 、 $A_0'$ 、 $\bar{A}_0$ ,还有不同地区的增长率 $g$ 、 $\bar{g}$ 。第二类是可以直接通过相关数据观察获取的初始值,包括各地区人口和迁入、迁出率等。具体方法如下:首先,对生产函数取对数,并将两边求全微分可得产出、资本、劳动力增长率的关系式为 $g_Y = \alpha g_k + (1 - \alpha) g_A + (1 - \alpha) g_N$ ,再利用2008—2019年我国国民收入、资本形成总量以及劳动供给总量数据,估算出我国生产函数中的 $\alpha$ 值。其次,借鉴荣兆梓和李亚平<sup>[20]</sup>对中国1978—2017年经济增长率的估算方法作初步核算,发现在过去四十年的增长中,中国全劳动生产率的贡献率大约为65%。再次,选取2010—2019年全国以及长三角“一市三省”的人口、资本、总产出数据,计算出相应增长率水平,并取平均值代替 $g_k$ 、 $g_N$ 、 $g_Y$ ,利用已经估算出的 $\alpha$ 取值,进一步估算年度增长率 $g$ 。最后,根据表达式 $Y_t = 1/\alpha (A_t N_t)^{1-\alpha} (K_t)^\alpha$ ,并以2019年为基期,可计算得出 $\bar{A}_0$ 、 $A_0$ 、 $A_0'$ 的初始值,然后利用 $t = 10$ 年的增长率表达式计算得到 $\bar{g}$ 。另外,利用统计年鉴数据,可以推算出2019年底我国上海、江苏、浙江、广东“一市三省”人口总量以及我国其他地区人口总量。本文将上述结果汇总到表1中。

### 三、模拟仿真及结果分析

根据前面估算的参数再利用世界动力学模型进行数值模拟,发现经济系统中一个变量哪怕是发生微小的变化,均能够引起整个经济系统的显著性改变。为了全面考察不同变量的取值变化对整个经济系统的影响,本文首先假定每次系统中只有单一变量取值发生改变,其他变量取值恒定。模拟的过程是:首先不考虑技术进步情形,先对一些变量做出静态仿真的整体描述,然后再引入技术进步因素,分别考察基于人口流动的国内循环效应,以及基于前沿技术学习的国内-国际循环效应。

#### (一) 不考虑技术进步时经济系统的模拟结果

由于其他地区的生产效率进步只依赖于模仿与学习发达地区,并且模仿与学习的速度取决于地区间生产效率的差距,差距越大模仿效应收益越大,所以在发达地区不存在技术进步时,其他地区的模仿与学习效应将从一个较高水平迅速下降并最终收敛到零,同时其他地区生产效率会以一个递减



的速度增加,并最终收敛到与发达地区一致的水平(图2-a和图2-b)。工资水平取决于产出函数对劳动力的一阶导数,与生产效率正相关。在其他变量不变化时,由于生产效率不随时间提高,发达地区工资水平将在一个稳定水平之内上下波动(图2-c)。

在迁入率和迁出率相一致时,由于其他地区人口基数远远高于发达地区人口基数,因此发达地区人口随时间递增,其他地区随时间递减,并且两者都会收敛于一个稳定的水平区间(图2-d和图2-e)。

当不考虑技术进步时,劳动力在地区间的流动不会改变最终净产出水平(图2-f)。而在不同的迁入率和迁出率水平下(包括迁入率、迁出率均为初始值,迁入率翻倍、迁出率不变,迁出率翻倍、迁入率不变,迁入、迁出率均翻倍四种情况),全国净产出(每单位25万元,后文各图沿用此单位)随时间变化的轨迹近乎重合。

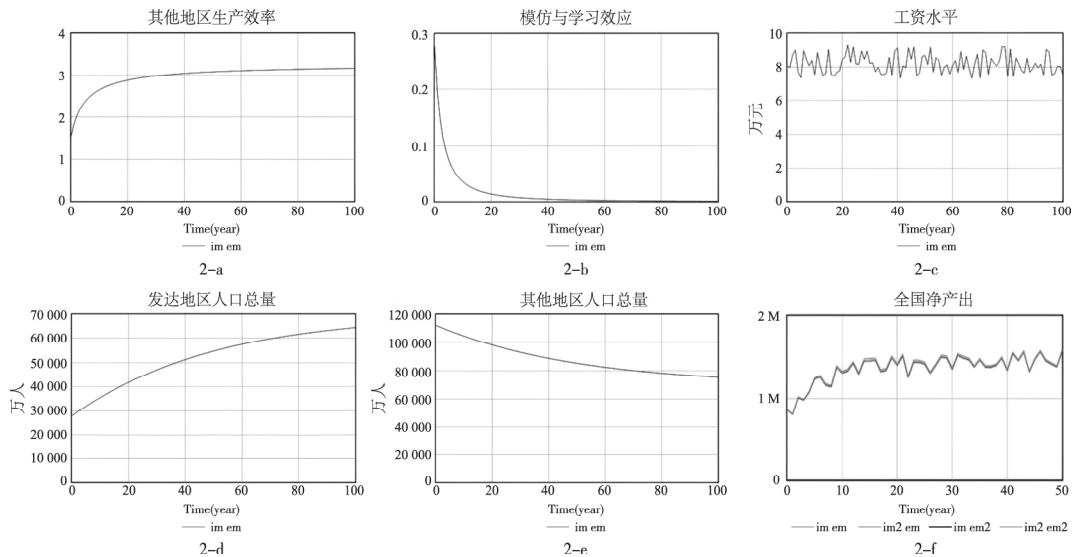


图2 不考虑技术进步时经济系统的模拟结果

### (二) 考虑人口流动效应时的国内经济循环分析

在考虑国内发达地区自主研发带来的技术进步,但不考虑对国际前沿技术的学习与追赶效应时,人口在东中西部之间的流动速度不同导致的各地区以及全国净产出水平变化的仿真结果如图3-a、图3-b所示。以发达地区为参照,迁入代表其他地区人口向发达地区转移,迁出代表发达地区人口向其他地区转移。 $ie_{-}$ 曲线代表以100为基数时不同人口迁入率和迁出率水平之下的产出水平,比如 $i200e200$ 代表迁入率、迁出率为原来迁移速度200%时的情形。

从模拟的结果可以得出:(1)人口双向流动能够促进资源向更有效率的地区配置;(2)加速人口双向流动能够带来产出的增加;(3)人口流动带来的产出增加幅度具有地区间的收敛效应。与不考虑人口流动的情形相比,在人口双向流动时,发达地区净产出占全国净产出的比例会上升,并且人口迁移速度越快,发达地区的产出占比会越高(图3-a)。主要原因在于,发达地区具有更高的生产效率,会引导资源向更有效率的地方转移。同时,由于生产函数中的劳动力部分包含了技术因素,因此劳动力向生产效率更高地区的转移会带来全国产出水平的显著上升。随着人口迁入率、迁出率的进一步提高,由于其他地区人口基数和比例较大,地区间的人口进一步从其他地区转移到发达地区,而发达地区普遍拥有比其他地区更高的生产效率,这使得这样的人口流动趋势会进一步促使全国净产出水平远高于初始值,模拟的结果与直观感受相符合。图3-b进一步展示了迁入率、迁出率分别为原来的2倍和5倍的情形。也就是说,随着迁入率、迁出率的共同提高,全国净产出也相应增加。不过,从增加的幅度来看,净产出水平的增加速度呈现出随边际人口流动速度增加而逐渐递减的趋势。



进一步地,当地区间人口流动速度从原来的5倍变为10倍时,两条国内净产出曲线基本重合(图3-c)。可见,人口加速流动带来的产出增加,最终会收敛到总产出水平趋于稳定的区间。

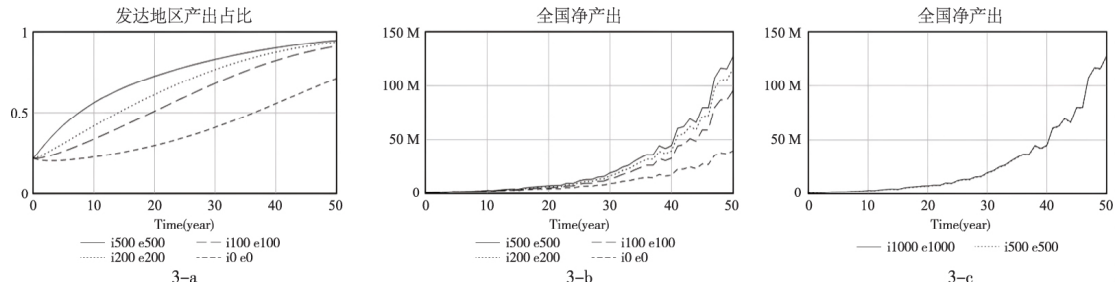


图3 不同人口流动速率下的国内经济循环

### (三) 引入前沿技术学习效应的国内-国际循环

最后引入前沿技术扩散和学习效应,考虑信息和制度因素对产出水平的影响。从分类角度来看:首先,根据前沿技术公开程度可以将系统分为两类,分别为前沿技术公开程度整体较低的情形和前沿技术公开程度整体较高的情形。其次,根据不确定性因素 $\sigma_i$ 取值的大小,可以分为不确定性较低、较高、很高三种情形。再次,根据企业用于技术模仿与自主研发的资金份额比率变量 $\delta$ 的不同,可细分为主要依赖国内循环、兼顾国内国际循环、主要依赖国际循环三种类型。其中,后面两种分类标准将利用矩阵的形式来呈现,以方便针对不同的情形进行比较分析。

#### 1. 前沿技术公开程度整体较低的情形

在前沿技术公开程度整体较低时,“技术公开程度与制度因素”变量 $\mu_i$ 的均值较低。假设 $\mu_i$ 服从均值为0.4、方差为 $\sigma_i^2$ 的正态分布(取值参见表2)。为了分析和比较不完全公开的信息条件与不稳定的制度环境对总体产出水平的影响,本文选取了 $\mu_i$ 的标准差 $\sigma_i$ 作为衡量指标。同时,为了研究技术进步依赖于国内循环或国际循环的程度,本文选取了发达地区企业用于技术模仿与自主研发的资金份额比率变量 $\delta$ 。根据不同的 $\sigma_i$ 与 $\delta$ 取值,可以得到不同的模拟结果。矩阵形式结果如下:表中从左到右表示技术进步更加依赖于国际循环,从上到下表示信息与制度因素的不确定程度在增加。

首先,根据 $\delta$ 的不同取值划分,可以按照矩阵纵向比较。模拟结果1、4、7对应图4-a,模拟结果2、5、8对应图4-b,模拟结果3、6、9对应图4-c。其次,根据 $\sigma_i$ 的不同取值划分,即按照矩阵横向比较。模拟结果1、2、3对应图4-d,模拟结果4、5、6对应图4-e,模拟结果7、8、9对应图4-f。

从模拟结果可以得到前沿技术公开程度整体较低情形下参与国际技术循环时的基本结论:第一,不确定性因素增强时,净产出水平增加。第二,不确定性因素较小时,依托国内循环受益更高。第三,存在较大的不确定时,无论是依托国内循环还是国际循环,最终期望受益基本一致。图4-a为技术进步主要依托国内循环,净产出水平由高到低排序依次为:结果7→结果4→结果1。图4-b为对国内和国际循环均有依托,净产出水平由高到低排序依次为:结果8→结果5→结果2。图4-c为主要依托国际循环,净产出水平由高到低排序依次为:结果9→结果6→结果3。可见,不管技术进步主要依靠内循环还是外循环,在不确定性更高时,产出水平也更高。图4-d为不确定性较小的情形,净产出水平由高到低排序依次为:结果1→结果2→结果3。可见,在不确定性程度较小时,依托国内循环时获得的收入更高。随着不确定性程度的增加,用于技术进步的资本份额比率变量的影响效果将不断减小(图4-e和4-f)。而当不确定性程度足够大时,无论资金如何分配,对最终产出产生的

表2 技术公开程度与制度因素取值对照表(一)

$\sigma_i$	$\delta$		
	0.2	0.5	0.8
0.2	结果1	结果2	结果3
0.4	结果4	结果5	结果6
0.8	结果7	结果8	结果9

注: $E(\mu_i) = 0.4$ 。

影响几乎可以忽略 结果 7、8、9 中代表产出水平的三条曲线几乎重合。

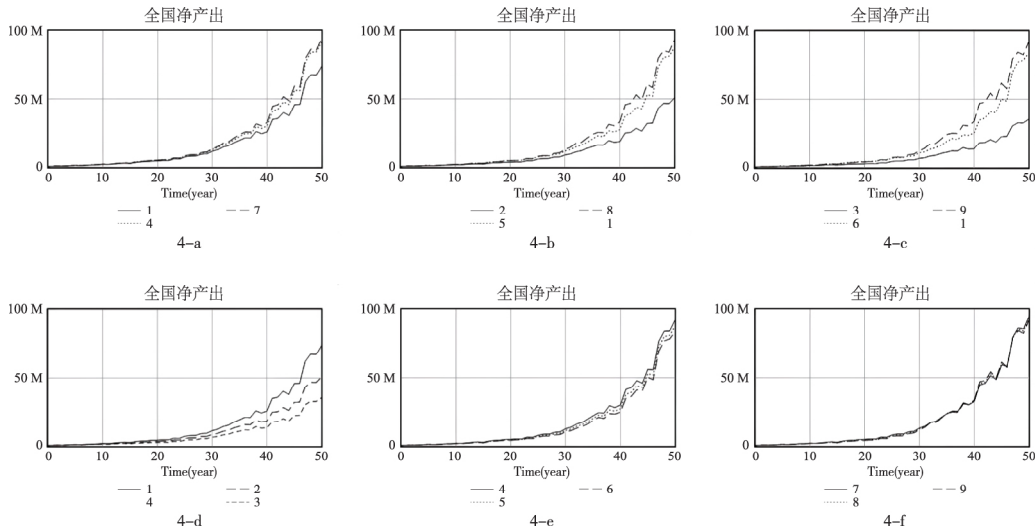


图4 前沿技术公开程度整体较低的模拟结果

2. 前沿技术公开程度整体较高的情形

在前沿技术公开程度整体较高时,“技术公开程度与制度因素”变量  $\mu_t$  的均值较高。假设  $\mu_t$  服从均值为 0.8、方差为  $\sigma_t^2$  的正态分布(取值参见表 3)。这里同样选取了  $\mu_t$  的标准差  $\sigma_t$ ,以及发达地区企业用于技术模仿与自主研发的资金份额比率变量  $\delta$  作为衡量指标。根据不同的  $\sigma_t$  与  $\delta$  取值,也可以得到不同的模拟结果。同理,矩阵形式结果如下:表中从左到右表示技术进步更加依赖于国际循环,从上到下表示信息与制度因素的不确定程度增加。

表3 技术公开程度与制度因素取值对照表(二)

$\sigma_t$	$\delta$		
	0.2	0.5	0.8
0.2	结果 10	结果 11	结果 12
0.4	结果 13	结果 14	结果 15
0.8	结果 16	结果 17	结果 18

注:  $E(\mu_t) = 0.8$ 。

同理,将所得结果根据  $\delta$  的不同取值划分,按照矩阵纵向比较:模拟结果 10、13、16 对应图 5-a,模拟结果 11、14、17 对应图 5-b,模拟结果 12、15、18 对应图 5-c。根据  $\sigma_t$  的不同取值划分,按照矩阵横向比较:模拟结果 10、11、12 对应图 5-d,模拟结果 13、14、15 对应图 5-e,模拟结果 16、17、18 对应图 5-f。

从模拟结果可以得到前沿技术公开程度整体较高情况下参与国际技术循环时的基本结论:第一,当不确定性因素减弱时,净产出水平增加。第二,不论不确定性因素是增强还是减弱,依托国际循环的受益都会更高。第三,不确定性对资金分配决策的影响呈现出收敛状态。因此,当前沿技术公开程度整体较高时,不确定性因素起到了与之前情形截然相反的作用,而稳定的环境则使得依赖国际循环时能够获得显著的净产出水平。尤其是当世界先进技术整体公开程度较高时,依托国际循环进行技术跟进能够收获大量知识和技术扩散效应带来的红利,使得对全国净产出水平以及生产效率水平的进步作用明显高于依靠自身研发带来的进步作用。从图 5-a 至图 5-c 可以看出,随着不确定性增强,净产出水平曲线的位置会不断下降。这一结论通过比较图 5-d 至图 5-f 也可以得到。类似地,比较图 5-a 至图 5-c 还可以发现,经济依赖于国际循环的程度越高,净产出水平也越高。这一结论也可以在图 5-d 至图 5-f 内部反映出来。各种不确定性情形下的模拟,有助于企业的资金分配决策。当  $\sigma_t$  取值超过一定阈值时,其对产出水平的影响将会大幅下降。进一步比较图 5-e 和图 5-f 可以发现,在不确定性因素变量均取较高数值时,两张图均呈现了基本一致且一一对应的模拟结果,这说明不确定性对资金分配决策的影响呈现出收敛状态。

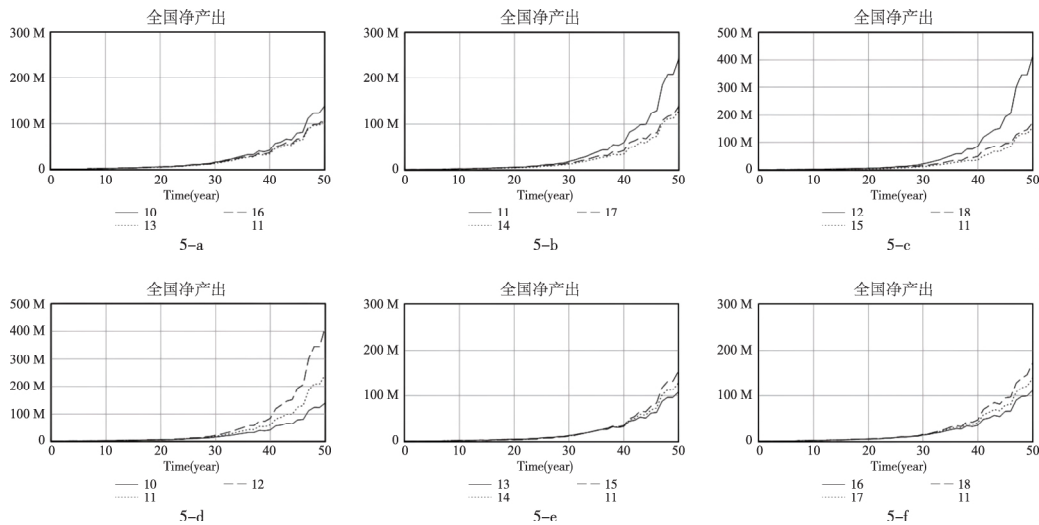


图5 前沿技术公开程度整体较高的模拟结果

#### 四、研究结论

本文拓展了世界动力学模型的分析框架,首次引入人口迁移和前沿技术公开度,同时基于中国经济运行的特征事实,对国际国内经济循环进行了模拟,得出如下结论:

第一,在世界动力学模型框架下,“双循环”发展体系作为一个复杂的经济系统,由不同的子系统相互嵌套构成。在其最内层是地区内部人口相对固定、技术进步依赖于自身研发的经济循环子系统。第二层经济循环子系统包括地区之间的循环,在考虑地区之间人口跨区域流动之后,欠发达地区能够向发达地区进行技术模仿学习。最外层是经济循环上层系统,包括地区之间的循环和国际之间的循环,能够对世界前沿技术水平进行模仿与追赶。在这种相互嵌套的多层经济子系统中,人口迁入迁出、信息与制度的不确定因素、发达地区生产效率是重点观测变量。其中,在研究国内的经济循环子系统时,人口的地区间流动对净产出水平的最终决定最为重要,而信息与制度的不确定因素在研究国际循环时对企业资金分配的决策更是举足轻重。在国内-国际经济循环中,发达地区生产效率起着枢纽性的作用,影响了其余各个变量的变化和方向的调整。

第二,在扩展的世界动力学模型的地区间循环子系统中,人口的跨区域流动能够带来整个社会的净产出变化。由于发达地区与其他地区存在着生产效率上的差异,同样的劳动力供给在发达地区带来的产出会高于其在欠发达地区带来的产出。如果人口在地区间的流动不受政策因素的制约,当地区间的迁入和迁出率均增加时,欠发达地区人口基数大于发达地区的人口基数,人口会从欠发达地区向发达地区转移。在人口转移发生之后,人口基数的差距会逐渐缩小,转移的速度会放缓,最终两个地区的人口会收敛到一致且恒定的水平。此时,全国净产出水平会远远高于人口不流动的情形。不过,随着其他地区对发达地区的技术模仿与学习,生产效率的差距会缩小,人口流动带来的产出增长效应在长期内也会减小,这导致人口流动带来的产出增加幅度具有收敛趋势。

第三,在扩展的世界动力学模型的国际循环体系中,发达地区的企业用于技术进步的资金投入,会受到世界前沿技术整体公开程度以及信息不对称、制度因素等不确定因素的影响。当世界前沿技术整体公开程度较高时,发达地区的企业将一部分资金用于技术模仿所带来的社会净产出会高于只进行自主研发时的情形。相反,当世界前沿技术整体公开程度较低时,发达地区的企业将一部分资金用于技术模仿所带来的社会净产出,却不如主要进行自主研发时的情形,即主要依托国际循环要低于依托国内循环的水平。此外,在世界前沿技术整体公开程度较高时,不确定性的增加会带来产出水平的下降,并且下降的幅度从一个较高的水平逐渐收敛。此时,不确定情形下的模拟有助于企

业的资金分配决策。当世界前沿技术信息整体公开程度较低时,不确定因素的增加会带来产出水平的上升,上升的幅度会在一个较高的水平逐渐趋向收敛。

#### 参考文献:

- [1]姚星,蒲岳,吴钢,等.中国在“一带一路”沿线的产业融合程度及地位:行业比较、地区差异及关联因素[J].经济研究,2019(9):172-186.
- [2]JUAREZ R, CHIU Y K, XUE J Y. Sharing sequential values in a network[J]. Journal of economic theory, 2018, 177:734-779.
- [3]国家开发银行,联合国开发计划署,北京大学.“一带一路”经济发展报告[M].北京:中国社会科学出版社,2017:80-81.
- [4]安同良,杨晨.互联网重塑中国经济地理格局:微观机制与宏观效应[J].经济研究,2020(2):4-19.
- [5]FORRESTER J W. World dynamics[M]. Cambridge: Wright-Allen Press, 1971:20-25.
- [6]ACEMOGLU D, AGHION P, ZILIBOTTI F. Distance to frontier, selection, and economic growth[J]. Journal of the European Economic Association, 2006, 4(1):37-74.
- [7]安同良,魏婕,舒欣.中国制造业企业创新测度——基于微观创新调查的跨期比较[J].中国社会科学,2020(3):99-122+206.
- [8]詹·法格博格,戴维·莫利,理查德·纳尔逊.牛津创新手册[M].柳卸林,郑刚,蒲雷,等译.北京:知识产权出版社,2009:529.
- [9]彭新敏,郑素丽,吴晓波,等.后发企业如何从追赶前沿?——二元性学习的视角[J].管理世界,2017(2):142-158.
- [10]吴晓波,付亚男,吴东,等.后发企业如何从追赶超越?——基于机会窗口视角的双案例纵向对比分析[J].管理世界,2019(2):151-167+200.
- [11]孙早,许薛璐.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[J].中国工业经济,2017(3):5-23.
- [12]黄先海,宋学印.准前沿经济体的技术进步路径及动力转换——从“追赶导向”到“竞争导向”[J].中国社会科学,2017(6):60-79+206-207.
- [13]PERLA J, TONETTI C, WAUGH M E. Equilibrium technology diffusion, trade, and growth[J]. American economic review, 2021, 111(1):73-128.
- [14]COLE H L, GREENWOOD J, SANCHEZ J M. Why doesn't technology flow from rich to poor countries? [J]. Econometrica, 2016, 84(4):1477-1521.
- [15]江小涓,孟丽君.内循环为主、外循环赋能与更高水平双循环——国际经验与中国实践[J].管理世界,2021(1):1-19.
- [16]杨文溥.行业竞争对企业全要素生产率的影响——基于中国工业企业的经验研究[J].南京财经大学学报,2020(1):33-41.
- [17]程李梅,庄晋财,李楚,等.产业链空间演化与西部承接产业转移的“陷阱”突破[J].中国工业经济,2013(8):135-147.
- [18]陈宏权,曾赛星,苏权科.重大工程全景式创新管理——以港珠澳大桥工程为例[J].管理世界,2020(12):212-227.
- [19]德内拉·梅多斯,乔根·兰德斯,丹尼斯·梅多斯.增长的极限[M].李涛,王智勇,译.北京:机械工业出版社,2013:134-136.
- [20]荣兆梓,李亚平.全劳动生产率与马克思主义基本增长方程[J].上海经济研究,2021(1):15-27.

(责任编辑:李敏)

## Population migration, technology catch-up and the internal external cycle: a theoretical analysis based on the framework of the world dynamics model

AN Tongliang, WU Zhiye

(School of Economics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The international and domestic economic cycle is a complex system with multiple factors nested inside each other. The traditional neoclassical analysis method is difficult to reveal the interactions of multiple variables, whereas the world dynamics model condenses the complex world into a closed system with multiple variables feeding back on each other in

(下转第127页)

## Can the opening of high-speed rail improve urban green total factor productivity?

WANG Keliang , PANG Suqin , ZHANG Fuqin

( School of Economics , Ocean University of China , Qingdao 266100 , China)

**Abstract:** This article regards the opening of high-speed rail as a quasi-natural experiment. Based on the panel data of 281 prefecture-level cities in China from 2006 to 2016 , this paper innovatively combines social network analysis with the continuous difference-in-differences method to empirically verify the impact of opening high-speed rail and high-speed rail networks on urban green total factor productivity , and further analyzes the impact path and spatial spillover effects. The results are as follows. The opening of high-speed rail can significantly improve the urban green total factor productivity , but the effect is significantly heterogeneous in terms of city size , location , geographic circle and level. Obviously , the impact of high-speed rail opening on urban green total factor productivity lags somewhat: it is significant in the second year after opening , and begins to weaken in the fourth year. As the importance of cities connected to the high-speed rail network continues to increase , the effect of high-speed rail opening on urban green total factor productivity will continue to increase. The technical innovation effect and structural optimization effect indirectly brought about by the opening of high-speed rail are the main forces driving the increase of urban green total factor productivity , while there is a time lag , and the direct substitution effect has not yet appeared. In addition , the opening of high-speed rail has had a significantly positive spatial spillover effect on the green total factor productivity of neighboring cities. Our research enables us to further evaluate the economic and environmental effects of high-speed rail , provides new evidence for understanding the relationship between high-speed rail and the quality of urban development , and also highlights important implications for optimizing the layout of high-speed rail.

**Key words:** high-speed rail( HSR) ; green total-factor productivity( GTFP) ; difference-in-differences( DID) ; social network analysis( SNA) ; spatial spillover

.....  
( 上接第 68 页)

such a way as to clarify the transmission mechanism between the variables. Based on this , this paper constructs a theoretical analysis of the multi-layered nested relationships in China's internal and external economic cycle by using the world dynamics model framework , taking population migration and technology catch-up as the breakthrough variables. We find that population migration and technology catch-up are the key variables in the multi-level feedback relationship of the "two economic cycles". Within the domestic cycle , population migration has an obvious effect on the two-way flow of population between developed and developing regions and stimulating economic growth. In the domestic and international double cycle , the impact of information and institutional uncertainty on capital allocation efficiency presents a convergence state. Therefore , to reshape the domestic economic cycle , we should pay more attention to guiding population flow across regions to allocate the relevant factors among regions more efficiently; while to reshape the international economic cycle , we also need to pay attention to the uncertainty of information and system , and orderly guide the funds of enterprises in developed regions to catch up with and learn the world's cutting-edge technology.

**Key words:** world dynamics; population migration; technological catch-up; internal and external economic cycle; cutting-edge technology openness