

# 科研创新提高了“一带一路”沿线国家的绿色全要素生产率吗

葛鹏飞 徐璋勇 黄秀路

**摘要：**本文构建包含科研创新和绿色全要素生产率（TFP）的一个新经济增长模型，从理论层面阐述了基础性的科研创新对绿色TFP的影响机制。随后，利用“一带一路”沿线国家的跨国面板数据，在测算绿色TFP的基础上，实证检验科研创新是否提高了沿线国家的绿色TFP。研究表明：“一带一路”国家的绿色TFP整体呈缓慢增长态势；科研创新能够显著提升沿线国家的绿色TFP，影响路径主要为纯技术进步；科研创新对沿线亚洲国家绿色TFP的促进作用，仅通过提高纯技术进步实现；而对沿线欧洲国家的促进作用则通过纯技术进步和规模效率双重路径实现。支持沿线国家科研合作，倡导建立“一带一路”国际科学研究院，对“一带一路”沿线国家的经济发展有着重要意义。

**关键词：**科研创新；“一带一路”；绿色全要素生产率；新经济增长模型

DOI:10.13510/j.cnki.jit.2017.09.005

## 一、引言与文献回顾

为应对气候变化，减少碳排放，世界各国签署了《巴黎协定》，以推动经济的绿色低碳发展。“一带一路”作为中国主导的区域经济合作倡议，已把发展绿色低碳经济纳入到合作重点中<sup>①</sup>。但是，“一带一路”沿线国家的绿色低碳经济发展现状不容乐观。从1995年到2012年，沿线国家经济增长、能源投入和碳排放的年均增长率分别为6.04%、3.67%和3.16%，远高于同期世界年均增长率3%、2.17%和2.08%。在1995年，沿线国家的经济总量、能源投入和温室气体排放，占世界的15.06%、35.5%和38.45%。到2012年，三者上升为24.68%、45.5%和45.97%，碳排放量几乎占世界碳排放量的一半<sup>②</sup>。由此可见，沿线国家的经济呈

[基金项目]教育部人文社会科学重点研究基地重大项目“丝绸之路经济带战略背景下西部地区金融资源配置效率提升研究”（16JJD790048）。

[作者简介]葛鹏飞：西北大学中国西部经济发展研究中心，西北大学经济管理学院；徐璋勇：西北大学中国西部经济发展研究中心；黄秀路（通讯作者）：西安交通大学金禾经济研究中心 710049 电子信箱：jdjhxl@126.com。

①国家发改委、外交部、商务部联合发布的《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》指出“合作重点”要“强化基础设施绿色低碳化建设和运营管理，在建设中充分考虑气候变化影响”，“在投资贸易中突出生态文明理念，加强生态环境、生物多样性和应对气候变化合作，共建绿色丝绸之路”。

②本文研究对象为“一带一路”沿线42个国家，其经济增长和碳排放的统计数据由笔者根据世界银行数据库计算得出。

现出“高增长、高能耗、高排放”的粗放式特征，亟待向绿色低碳经济转型。实施经济转型须依靠技术进步和创新驱动（洪银兴，2011），转型的目的在于实现绿色全要素生产率（绿色TFP）的持续增长。绿色TFP将能源环境因素纳入到经济增长分析的框架中，与传统TFP无法评估环境约束下的经济绩效相比，绿色TFP可以客观地评价经济绩效，避免环境因素引起的评估偏差导致误导性的政策建议。因此，绿色TFP已经成为判断一个国家或地区的经济能否实现长期可持续发展的依据（王兵、刘光天，2015）。

经济长期增长的动力在于创新驱动。但发展中国家面临的难题在于，如何将有限的资源有效地配置到最终产品生产活动、模仿活动和创新活动之间（Acemoglu et al., 2006）。随着经济增长，经济会逐渐从依靠要素驱动向创新驱动转型。在转型过程中，经济体的创新模式，存在先模仿再创新的过程，而创新也有基础性和应用性之分。基础性的科研创新不像应用性的技术创新那样，可以直接作用于生产，达到促进经济增长的目的。但是，一国即便接近世界前沿技术水平，若没有基础研究的重大突破，应用研究通常也很难取得实质性进展（孙早、许薛璐，2017）。

“一带一路”沿线国家多数为发展中国家，其技术水平与发达国家存在差距。发展中国家在经济发展初期，一般通过模仿提升自身技术水平，缩小与技术先进国的差距。随着发展中国家技术水平的提升，通过模仿已不能满足发展的要求，这时就需要进行自主创新。自主创新对知识的积累有着更高的要求，而基础科研创新对知识的累积起到关键作用，但由于无法直接作用于生产，所以，科研创新一般需要政府的支持，通过市场机制很难得到足够的资源。

因此，现阶段科研创新是否促进了“一带一路”沿线国家的绿色TFP，成为沿线国家实施创新驱动的依据。纵观研究“一带一路”的现有文献，多从宏观倡议发展（白永秀、王颂吉，2014）、经贸领域（孔庆峰、董虹蔚，2015；王亮、吴滨源，2016）和能源合作（石莹、何爱平，2015）等方面展开讨论。不仅缺乏科研创新方面的议题，而且尚未有学者从绿色TFP的角度探讨“一带一路”倡议。当前，有关绿色TFP在区域经济层面的探索，集中于欧盟及其次区域（Puskarova、Piribauer，2016）、经济合作与发展组织（Ng and Ying，2016）、东亚及东盟（Park，2012）等，这些研究为区域经济发展提供了许多有益的建议。

为推动“一带一路”经济的绿色发展，需要掌握其绿色发展现状。测算沿线国家的绿色TFP成为一项重要的研究工作，而进一步讨论“一带一路”沿线国家的科研创新是否能够推动绿色TFP的提升，则有助于沿线国家正确认识科研在实现经济可持续发展方面的作用。基于此，本文尝试把科研创新与绿色TFP引入到一个统一的分析框架内，从理论和实证双重角度，研究科研创新对“一带一路”沿线国家绿色TFP的影响；并通过绿色TFP的分解项，探讨科研创新的影响路径；通过亚欧对比，分析科研创新影响的区域差异性。这些研究对经济新常态下中国构建“一带一路”倡议，实现自身经济转型升级，并带动沿线各国经济实现绿色低碳发展有着重要的现实意义。

## 二、科研创新对绿色 TFP 的作用机理：一个新经济增长模型

为分析科研创新对“一带一路”沿线国家的绿色 TFP 的作用机理，本文在 Romer (1990) 的新经济增长模型的基础上，构建一个包含科研创新与绿色 TFP 的新经济增长模型。模型由 5 个部门组成：最终产品生产部门、中间投入品生产部门、技术研发部门、基础科研部门和家庭消费部门。根据 Romer (1990) 的方法，假定中间投入品生产部门不需要劳动投入，而是将 1 单位原材料转成 1 单位中间品，因此，劳动力总量分布于最终产品生产部门、技术研发部门和基础科研部门之间。

### (一) 新经济增长模型构建

(1) 最终产品生产部门。完全竞争的最终产品生产部门投入劳动、中间品、能源以及 CO<sub>2</sub> 等，生产单一的最终产品 (陈诗一, 2009)，生产函数为：

$$Y_t = L_{Y_t}^\alpha \left[ \int_0^{A_t} x_i^\beta di + \int_0^{\eta A_t^*} x_{i^*}^\beta di^* \right] E_t^\gamma O_t^\theta \quad (1)$$

其中， $Y_t$  是  $t$  时期的最终产出； $L_{Y_t}$  和  $E_t$  分别是  $t$  时期投入到最终产品生产的劳动和能源； $x_i$  和  $x_{i^*}$  表示第  $i$  和  $i^*$  种中间品的数量； $O_t$  是  $t$  时期的 CO<sub>2</sub> 投入。本国在  $t$  期的生产技术可能性边界，通过本国自主创新  $A_t$  和模仿外国先进技术  $\eta A_t^*$  两种方式来实现 (Aghion、Howitt, 2009；孙早、许薛璐, 2017)； $A_t$  即为考虑能源和环境等因素的绿色 TFP (陈诗一, 2009)； $\eta$  为衡量模仿的强度，受制度和经济环境等的影响。

将最终产品的销售价格标准化为 1，那么依据完全竞争市场下代表性厂商利润最大化的原则，可得如下限制条件：

$$w_{L_{Y_t}} = \alpha L_{Y_t}^{\alpha-1} \left[ \int_0^{A_t} x_i^\beta di + \int_0^{\eta A_t^*} x_{i^*}^\beta di^* \right] E_t^\gamma O_t^\theta = \frac{\alpha Y_t}{L_{Y_t}} \quad (2)$$

$$P_{x_{i,t}} = \beta L_{Y_t}^\alpha x_{i,t}^{\beta-1} E_t^\gamma O_t^\theta \text{ 或 } x_{i,t} = (\beta/P_{x_{i,t}})^{\frac{1}{1-\beta}} L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\theta}{1-\beta}} \quad (3)$$

$$P_{x_{i^*,t}} = \beta L_{Y_t}^\alpha x_{i^*,t}^{\beta-1} E_t^\gamma O_t^\theta \text{ 或 } x_{i^*,t} = (\beta/P_{x_{i^*,t}})^{\frac{1}{1-\beta}} L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\theta}{1-\beta}} \quad (4)$$

(2) 中间投入品生产部门。垄断的中间投入品生产厂商每消耗 1 单位原材料即可获得 1 单位中间产出。根据中间投入品厂商的对称性，设定生产函数为： $x_{ii} = x_{i^*i} = \bar{Y}_i$ 。联立式 (3) 和式 (4)，求得均衡的中间产品价格  $P_{x_{i,t}} = P_{x_{i^*,t}} = \frac{1}{\beta}$ 。这样，便可求得最终部门的产出和劳动工资以及中间投入品的利润：

$$Y_t = \beta^{\frac{2\beta}{1-\beta}} (A_t + \eta A_t^*) L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\theta}{1-\beta}} \quad (5)$$

$$w_{L_{Y_t}} = \alpha \beta^{\frac{2\beta}{1-\beta}} (A_t + \eta A_t^*) L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\theta}{1-\beta}} \quad (6)$$

$$\pi_{ii} = (1-\beta) \beta^{\frac{1+\beta}{1-\beta}} L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\theta}{1-\beta}} \quad (7)$$

(3) 技术研发部门。技术研发部门在现有技术水平  $A_t$  和通用基础知识  $B_t$  上，雇佣研发人员  $L_A$  通过模仿先进技术和自主创新两种方式开发新技术 (或新知识)  $\hat{A}_t$ ，并将成果以价格  $P_A$  卖给中间产品的生产商，从而获取利润。生产函数为：

$$\dot{A}_t = \delta A_t^\theta \left[ \lambda L_{A_t} + (1-\lambda) L_{A_t} \left( \frac{\eta A_t^*}{A_t} \right)^\varphi \right] B_t^\xi \quad (8)$$

其中， $\lambda$  比例的研发人员拥有自主创新能力，而  $1-\lambda$  比例的研发人员主要依靠与先进技术水平的技术差距  $\eta A_t^*/A_t$  进行模仿； $\lambda L_{A_t}$  表示自主创新的技术生产， $(1-\lambda)L_{A_t} \left( \frac{\eta A_t^*}{A_t} \right)^\varphi$  则是模仿的技术生产；参数  $\delta > 0$  代表新技术生产的整体效率， $0 < \theta, \varphi, \xi < 1$  分别衡量技术外溢、模仿和通用基础知识扩展的能力。

技术研发部门的利润函数为  $\pi_{A_t} = P_{A_t} \dot{A}_t - w_{L_{A_t}} L_{A_t}$ 。同时，假定技术研发部门可以自由进出，那么在均衡条件下研发成果的价格应该等于垄断的中间投入品厂商利润的贴现值，即：

$$P_{A_t} = \frac{1}{r_t} \pi_{A_t} = \frac{1}{r_t} (1-\beta) \beta^{\frac{1+\beta}{1-\beta}} L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\vartheta}{1-\beta}} \quad (9)$$

$$w_{L_{A_t}} = \frac{1}{r_t} (1-\beta) \beta^{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \delta A_t^\theta \left[ \lambda + (1-\lambda) \left( \frac{\eta A_t^*}{A_t} \right)^\varphi \right] B_t^\xi L_{Y_t}^{\frac{\alpha}{1-\beta}} E_t^{\frac{\gamma}{1-\beta}} O_t^{\frac{\vartheta}{1-\beta}} \quad (10)$$

(4) 基础科研部门。科研人员  $L_{B_t}$  在现有基础知识的水平上进一步开发新的通用基础知识。考虑到基础知识具有非排他性和非竞争性特征，即一旦被发现，所有人都可以无成本地获得并使用该知识，其生产函数设定为：

$$\dot{B}_t = \phi L_{B_t} B_t^\psi \quad (11)$$

其中，参数  $\phi > 0$  代表整体生产效率， $0 < \psi < 1$  衡量基础知识外溢程度。

根据 Prettner 和 Werner (2016) 的结论，基础科研人员的工资收入依靠经济体全部劳动收入的税收转移支付，即  $w_{L_{B_t}} L_{B_t} = \tau w_t L_t$ 。套利原理表明，劳动力会根据最终产品部门、中间投入品的研发部门和基础科研部门之间工资的不同而自由流动，直到各部门的工资相等为止。因此，在均衡状态下有：

$$w_t = w_{L_{Y_t}} = w_{L_{A_t}} = w_{L_{B_t}}, \quad L_{B_t} = \tau L_t, \quad L_{Y_t} + L_{A_t} = (1-\tau)L_t \quad (12)$$

(5) 家庭消费部门。假定代表性家庭具有固定弹性消费偏好，依据经典的拉姆齐模型规则，均衡条件下消费增长率应为：

$$g_c = \frac{\dot{c}_t}{c_t} = \frac{1}{\sigma} (r_t - \rho) \quad (13)$$

其中， $1/\sigma$  为消费的跨期替代弹性， $\rho$  为时间偏好系数。

(二) 均衡条件下科研创新对绿色 TFP 的影响分析

在经济的长期均衡状态下， $g = g_y = g_k = g_c = g_A$ 。联立式 (6)、(8)、(10)、(12) 及 (13)，可求得市场长期均衡增长率为：

$$g = \frac{(1-\tau)\delta L_t A_t^\theta \left[ \lambda + (1-\lambda) \left( \frac{\eta A_t^*}{A_t} \right)^\varphi \right] B_t^\xi - \frac{\alpha\rho}{\beta(1-\beta)} (A_t + \eta A_t^*)}{A_t + \frac{\alpha\sigma}{\beta(1-\beta)} (A_t + \eta A_t^*)} \quad (14)$$

本文关注的重点是科研创新对绿色 TFP 的影响情况。通过将式 (14) 分别对 A

和B求偏导发现,  $\frac{\partial g}{\partial B} > 0$ , 但  $\frac{\partial g}{\partial A}$  符号存在不确定性。进一步利用隐函数求导法则, 有  $\frac{\partial A}{\partial B} = -\frac{\partial g/\partial B}{\partial g/\partial A}$ , 其符号也不确定, 具体表述为:

$$\frac{\partial A}{\partial B} \propto -\frac{1}{a_1 \left[ 1 + b_1 \left( \frac{\eta A_i^*}{A_i} \right)^\varphi \right] + \alpha \frac{\eta A_i^*}{A_i} \left\{ a_2 \left[ 1 + b_2 \left( \frac{\eta A_i^*}{A_i} \right)^\varphi \right] + c_1 \right\}} \quad (15)$$

$$\text{其中, } a_1 = \frac{\beta(1-\beta) + \alpha\sigma}{\lambda(\theta-1)} < 0, \quad b_1 = \frac{(1-\lambda)(\theta-\varphi-1)}{\lambda(\theta-1)} > 0, \quad a_2 = \sigma\lambda\theta > 0, \\ b_2 = \frac{(1-\lambda)(\theta-\varphi)}{\lambda\theta} > 0, \quad c_1 = \frac{\rho}{(1-\tau)\delta L_i A_i^{\theta-1} B_i^\xi} > 0。$$

从式(15)可以得出, 存在一个临界技术水平  $A_i^0$ 。当  $A_i > A_i^0$  时,  $\frac{\partial A}{\partial B} > 0$ , 说明科研创新对绿色 TFP 有促进作用; 当  $A_i < A_i^0$  时,  $\frac{\partial A}{\partial B} < 0$ , 说明科研创新对绿色 TFP 不存在促进作用。科研创新对“一带一路”沿线国家绿色 TFP 的促进作用, 与沿线国家当前的技术水平  $A_i$  密切相关。那么, 科研创新是否提高了“一带一路”沿线国家的绿色 TFP, 需要通过实证研究进行检验。

### 三、计量模型、变量说明与数据描述

#### (一) 计量模型

本文研究的核心问题为, 科研创新是否提高了“一带一路”沿线国家的绿色 TFP, 其对实施“民心相通”有支撑作用。上文构建包含科研创新和绿色 TFP 的新经济增长模型, 从理论上证实科研创新对绿色 TFP 的影响存在不确定性。这里从实证角度设计模型如下:

$$gtfp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 sr_{it} + \beta X_{it} + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

其中, 下标  $i$  表示国家,  $t$  代表时间,  $\lambda$  为不可观测的个体效应,  $\varepsilon$  是模型的随机扰动项。  $gtfp$  指绿色 TFP。  $sr$  代表科研创新,  $X$  为控制变量,  $\beta$  表示控制变量的系数向量。根据相关研究文献, 再结合本文的研究需要及数据的可得性和完整性, 选取利用外资水平 ( $fdi$ )、政府行为 ( $gov$ )、对外贸易 ( $tra$ )、工业化水平 ( $ind$ ) 和互联网发展程度 ( $net$ ) 等作为控制变量, 则式(16)改写为:

$$gtfp_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 sr_{it} + \beta_1 fdi_{it} + \beta_2 gov_{it} + \beta_3 tra_{it} + \beta_4 ind_{it} + \beta_5 net_{it} + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (17)$$

#### (二) 变量说明

本文使用“一带一路”沿线国家的跨国面板数据进行实证分析。当前, 普遍认为“一带一路”沿线国家共65个, 在剔除数据缺失的样本后, 最终确定沿线42个国家1995—2012年的数据作为研究样本<sup>①</sup>, 变量说明如下。

<sup>①</sup>需要说明的是, 本文研究的核心问题为科研创新对“一带一路”沿线国家绿色 TFP 的影响情况, 并非对“一带一路”倡议效果的评估。因此, 所使用数据的时间节点与“一带一路”倡议提出的时间节点不存在矛盾。

(1) 被解释变量：绿色 TFP (*gtfp*)。本文使用基于 SBM-DDF 模型的 Luenberger 生产率指数测算沿线国家绿色 TFP 的变动情况。由于测算所得绿色 TFP 属于动态分析，在做计量分析时，本文将绿色 TFP、纯技术效率、纯技术进步、规模效率和技术规模等指数均转化为以 1995 年为基期的累积增长指数。测算过程中所需的投入产出变量包括：期望产出为 GDP，非期望产出是碳排放总量，投入要素为劳动力、资本存量和能源投入。

SBM-DDF 模型同时考虑期望产出的增加和非期望产出的减少，并将投入和产出的松弛效应纳入到生产率的分析框架中，更加符合经济系统的实际生产过程。此外，SBM-DDF 有明确的对偶规划，能从经济意义上得到很好的解释。依据 Fukuyama 和 Weber (2009) 的研究，设定 SBM-DDF 模型如下：

$$\vec{S}_v^t(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'}; g^x, g^y, g^b) = \underset{s^x, s^y, s^b, \lambda}{\text{Max}} \left\{ \frac{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^x}{g_m^x} + \frac{1}{N+L} \left( \sum_{n=1}^N \frac{s_n^y}{g_n^y} + \sum_{l=1}^L \frac{s_l^b}{g_l^b} \right)}{2} \right.$$

$$x_{km}^t = \sum_{k=1}^K \lambda_k^t x_{km}^t + s_m^x, \forall m; y_{kn}^t = \sum_{k=1}^K \lambda_k^t y_{kn}^t - s_n^y, \forall n;$$

$$b_{kl}^t = \sum_{k=1}^K \lambda_k^t b_{kl}^t + s_l^b, \forall l; \sum_{k=1}^K \lambda_k^t = 1, \lambda_k^t \geq 0, \forall k; s_n^x \geq 0, \forall n; s_m^y \geq 0, \forall m; s_l^b \geq 0, \forall l \left. \right\}$$

在以上规划中， $\vec{S}_v^t$  表示 VRS 下的 DDF，若去掉权重变量和为 1 的约束条件，则使用  $\vec{S}_c^t$  表示 CRS 下的 DDF。 $(x^{t,k'}, y^{t,k'}, b^{t,k'})$  为每个 DMU 生产  $k'$  的投入和产出向量； $(g^x \in R_m^+, g^y \in R_n^+, g^b \in R_l^+)$  分别表示投入压缩、期望产出扩张和非期望产出压缩的正方向向量， $(s_m^x, s_n^y, s_l^b)$  代表投入和产出的松弛变量。松弛变量的意义在于，只有当松弛变量各元素皆为零时，其观测点才是最优的。

Luenberger 生产率指数。根据 Chambers 等 (1996) 定义一个跨期的 Luenberger 指数为： $TFP_t^{t+1} = \frac{1}{2} \left\{ [\vec{S}_c^t(x^t, y^t, b^t; g) - \vec{S}_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g)] + [\vec{S}_c^{t+1}(x^t, y^t, b^t; g) - \vec{S}_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g)] \right\}$ 。

依照 Grosskopf (2003) 的做法，Luenberger 指数可分解为纯技术效率 (GPTE)、纯技术进步 (GPTP)、规模效率 (GSE) 和技术规模 (GTS) 等， $GTFP = GPTE + GPTP + GSE + GTS$ 。

(2) 核心解释变量：科研创新 (*sr*)，使用各国发表的科技论文数量并取对数进行量化。

(3) 控制变量：利用外资水平，用外国直接投资净流入占 GDP 的比例量化。政府行为用政府一般消费占 GDP 的比例表示。对外贸易指贸易额占 GDP 的比重。工业化程度采用工业增加值占 GDP 的比例。互联网发展程度为互联网用户与总人口的比值。

### (三) 数据描述

关于数据来源，被解释变量使用 SBM-DDF 模型的 Luenberger 生产率指数测算得出，核心解释变量和各控制变量则使用原始数据经计算得出。本文使用的所有原

始数据均来自世界银行数据库。表1报告了各变量的样本统计结果。

表1 “一带一路”沿线国家整体及亚欧分地区的变量描述性统计

地区	统计量	<i>tfp</i> ch	<i>gfp</i>	<i>sr</i>	<i>fdi</i>	<i>gov</i>	<i>tra</i>	<i>ind</i>	<i>net</i>
整体	均值	0.004	1.032	6.874	0.047	0.153	0.962	0.326	0.179
	标准差	0.055	0.194	2.075	0.083	0.054	0.574	0.097	0.211
	最小值	-0.452	0.518	0.916	-0.797	0.035	0.216	0.136	0.000
	最大值	0.361	2.119	12.827	1.424	0.299	4.397	0.741	0.784
亚洲	均值	0.005	1.047	6.475	0.048	0.130	0.943	0.338	0.130
	标准差	0.059	0.220	2.254	0.097	0.053	0.684	0.111	0.175
	最小值	-0.452	0.518	0.916	-0.797	0.035	0.216	0.136	0.000
	最大值	0.267	2.119	12.827	1.424	0.299	4.397	0.741	0.720
欧洲	均值	0.003	1.007	7.523	0.046	0.191	0.993	0.307	0.259
	标准差	0.048	0.135	1.543	0.055	0.025	0.323	0.062	0.239
	最小值	-0.257	0.701	3.428	-0.161	0.103	0.372	0.156	0.000
	最大值	0.361	1.269	10.423	0.508	0.274	1.799	0.454	0.784

注：*tfp* ch 指绿色 TFP 的增长率；*gfp* 为绿色 TFP 的累积值。

#### 四、实证分析

在计量模型估计方法的选择上，首先使用 Hausman 检验得出应该使用固定效应模型。为校正个体扰动项可能存在的组间异方差及组内自相关对估计结果的影响，需放松随机扰动项独立同分布的假设，使用可行广义最小二乘法 (FGLS) 进行估计。为考察科研创新对绿色 TFP 的滞后影响，在 FGLS 估计的基础上对科研创新进行滞后处理，并估计结果。为进一步解决回归中可能存在的内生性问题，采用二阶段系统 GMM 估计方法对结果进行估计。在使用二阶段系统 GMM 估计方法时，依据惯例采用内生变量的滞后项作为工具变量，通过枚举法，本文发现以 *sr*、*gov*、*tra* 和 *ind* 等变量的四阶滞后项作为工具变量可以很好地通过 AR(1) 检验、AR(2) 检验、Sargan 检验与 Hansen 检验，从而解决回归模型存在的内生性问题。表 2 展示了以上模型的估计结果。

表2 科研创新对“一带一路”沿线国家绿色 TFP 的影响情况

变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6	模型7
<i>C</i>	1.305*** (28.57)	1.052*** (34.18)	1.375*** (19.77)	1.286*** (31.05)	1.026*** (33.72)	1.937*** (28.11)	1.953*** (31.20)
<i>sr</i>	0.014*** (5.53)	0.012*** (3.27)	0.0193*** (6.73)	0.013*** (6.07)	0.010*** (4.07)	0.0102*** (3.63)	0.006** (1.98)
<i>fdi</i>	-0.081*** (-13.21)	-0.077*** (-15.68)	0.091*** (4.20)	-0.084*** (-12.58)	-0.078*** (-14.69)	-0.096*** (-4.27)	-0.109*** (-5.05)
<i>gov</i>	-0.582*** (-10.04)	-0.505*** (-6.20)	-0.671*** (-6.10)	-0.552*** (-9.80)	-0.493*** (-7.17)	-0.484*** (-5.33)	-0.357*** (-4.73)
<i>tra</i>	-0.096*** (-14.55)	-0.094*** (-10.25)	-0.213*** (-25.35)	-0.076*** (-13.07)	-0.070*** (-10.95)	-0.089*** (-10.69)	-0.083*** (-10.17)
<i>ind</i>	-0.287*** (-7.35)	-0.233*** (-4.94)	-0.228*** (-4.29)	-0.259*** (-6.36)	-0.215*** (-4.59)	-0.196*** (-7.07)	-0.150*** (-4.99)
<i>net</i>	0.133*** (9.57)	0.139*** (7.06)	0.165*** (9.65)	0.126*** (10.25)	0.139*** (10.38)	0.164*** (8.41)	0.173*** (16.35)
Wald	3473***	2450***	-	3178***	3119***	2515***	2964***
N	756	714	756	756	714	672	630

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示统计值在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著；括号内为 z 统计量（下同）；FGLS 和二阶段系统 GMM 的估计分别采用 Stata 的 “xtgls” 和 “xtabond2” 命令完成；在系统 GMM 估计结果中，Sargan 检验与 Hansen 检验的统计量值和伴随概率分别为 56.10、0.257 和 40.20、0.838；AR(1) 与 AR(2) 检验的统计量和伴随概率分别为 -2.12、0.034 和 -1.13、0.259；各检验结果显示二阶系统 GMM 的工具变量和估计结果是合理的。

### （一）科研创新对绿色TFP的影响

假定不同个体的扰动项同期相关且有不同方差，并充分考虑固定效应后，模型1使用FGLS估计了“一带一路”沿线国家的科研创新对绿色TFP的影响。在模型1的基础上，令科研创新滞后1期得出模型2。模型3是二阶段系统GMM方法的估计结果。对比模型1、模型2和模型3的估计结果，发现在考虑异方差、自相关和内生性问题以后，核心解释变量的估计结果基本没有发生变动。由此，印证了本文所得结论的可靠性。

根据回归结论，科研创新的系数显著为正，说明科研创新可以有效提高“一带一路”沿线国家的绿色TFP，创新驱动是一国经济可持续发展的内在动力和增长源泉，科研作为基础性的创新活动对绿色TFP有着促进作用，表明“一带一路”沿线国家经济已经进入新的阶段。科技论文的载体集中于科研机构 and 高等院校，中国现在是全球第二大高质量论文贡献国，在全球的科研机构中，中科院连续蝉联榜首，成为世界最有影响力的科研机构。目前，中国正实施创新驱动倡议，以创新促进经济的绿色低碳发展。经济转型是一个长期的过程，需要科研创新的不断推动。由中国主导的“一带一路”新型国际经济一体化，需要中国与沿线国家进行科研方面的深度合作，促进科研机构和大学间的国际交流，发挥各自的优势，提高知识的外溢性。各控制变量显示，利用外资水平、政府行为、对外贸易和工业化程度对绿色TFP均不存在促进作用。而互联网发展有效促进了绿色TFP的增长，互联网可以有效降低由交易成本、组织成本等非对称信息对经济带来的效率损失，而且随着大数据的应用，互联网会使需求和供给都有的放矢，减少了生产和消费的无效率性。

### （二）稳健性检验

为保证研究的可靠性，除了采用滞后效应、二阶段系统GMM估计方法等措施外，本文还做了以下稳健性检验：第一，为消除非随机性和异常值对回归结果的影响，剔除绿色TFP1%的极大值和极小值后进行回归（模型4）；第二，在此基础上进一步采用科研创新滞后1期进行估计（模型5）；第三，剔除1995年和2012年的样本后采用1996—2011年的数据进行估计（模型6）；第四，在模型6基础上，把科研创新滞后1期，进行FGLS估计（模型7）。几种稳健性检验的估计结果均显示出科研创新对绿色TFP影响的稳健性。

### （三）科研创新对绿色TFP影响的亚欧差异

表3中模型8和模型11为考虑固定效应的FGLS估计结果；模型9和模型12在模型8和模型11的基础上，考察科研创新的滞后效应；模型10和模型13则是剔除

表3 科研创新对“一带一路”沿线国家绿色TFP影响的亚欧对比

变量	亚洲			欧洲		
	模型8	模型9	模型10	模型11	模型12	模型13
<i>c</i>	1.273*** (59.23)	1.100*** (43.43)	1.280*** (60.10)	1.137*** (49.87)	1.224*** (58.89)	1.136*** (50.43)
<i>sr</i>	0.010*** (10.83)	0.006*** (3.18)	0.010*** (10.02)	0.002* (1.70)	0.005*** (4.06)	0.002 (1.86)
控制变量	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Wald	6177***	53473***	5170***	8243***	42365***	9573***
N	468	442	468	288	272	288



绿色TFP1%极大值和极小值的FGLS估计结果。从表3得出,当期的科研创新对亚洲绿色TFP的促进作用要大于欧洲;欧洲的科研创新对绿色TFP的促进作用主要体现在滞后期,即欧洲科研创新对绿色TFP的促进作用有着持续性。

#### (四) 科研创新对绿色TFP的影响路径

表4中模型14、16、18、20的回归结果分别表示科研创新对纯技术效率、规模效率、纯技术进步和技术规模的影响情况。模型15、17、19、21是科研创新滞后1期的回归结果。结果表明,科研创新对绿色TFP的促进作用仅通过提高纯技术进步的方式来实现,对其余各分解项的影响均为负。说明基础性的科研创新可以有效提高沿线国家的技术进步水平,但不能提升资源配置效率、规模效率和技术规模等。

表4 科研创新对“一带一路”沿线国家绿色TFP影响的路径分析

变量	GPTE		GSE		GTP		GTS	
	模型14	模型15	模型16	模型17	模型18	模型19	模型20	模型21
C	1.335*** (18.56)	1.303*** (17.70)	1.083*** (17.08)	1.206*** (21.93)	1.170*** (18.25)	1.047*** (16.05)	0.762*** (16.31)	1.264*** (16.25)
sr	-0.037*** (-7.44)	-0.037*** (-7.27)	-0.013*** (-4.67)	-0.014*** (-4.81)	0.034*** (9.93)	0.030*** (7.40)	-0.012*** (-3.49)	-0.004 (-1.34)
控制变量	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Wald	1039***	14053***	637***	1950***	1105***	1598***	1354***	5132***
N	756	714	756	714	756	714	756	714

#### (五) 科研创新对绿色TFP影响途径的亚欧对比

通过表5可以发现,对“一带一路”沿线亚洲国家来说,持续投入的科研创新可通过促进纯技术进步来提高绿色TFP,而对纯技术效率、规模效率和技术规模等均有抑制作用;对“一带一路”沿线欧洲国家而言,科研创新对绿色TFP的提升则通过纯技术进步和规模效率双重路径实现,而对技术规模的影响存在着不确定性。

表5 科研创新对“一带一路”沿线国家绿色TFP影响途径的亚欧对比

变量	亚洲				欧洲			
	模型21 GPTE	模型22 GSE	模型23 GTP	模型24 GTS	模型25 GPTE	模型26 GSE	模型27 GTP	模型28 GTS
C	2.120*** (31.39)	1.065*** (27.49)	1.102*** (19.60)	1.281*** (17.66)	1.759*** (128.89)	0.551*** (22.59)	0.694*** (26.47)	0.878*** (54.04)
sr	-0.021*** (-10.19)	-0.018*** (-7.59)	0.044*** (30.07)	-0.034*** (-10.28)	-0.088*** (-80.82)	0.033*** (17.85)	0.043*** (21.86)	-0.001 (-0.90)
控制变量	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Wald	7409***	1409***	4283***	4838***	34619***	1764***	2791***	15047***
N	468	468	468	468	288	288	288	288

## 五、主要结论与政策建议

本文通过构建包含科研创新和绿色TFP的新经济增长模型,从理论层面得出科研创新对绿色TFP的影响与经济体当前的技术水平有关。当技术水平小于某一临界值时,科研创新对绿色TFP不存在促进作用,只有大于这一临界值,科研创新才会对绿色TFP有提升作用。那么,科研创新是否促进了“一带一路”沿线国家的绿色TFP呢?随后,本文利用基于SBM-DDF模型的Luenberger生产率指数,测算沿线国家的

绿色 TFP, 得出沿线国家的绿色 TFP 整体增长缓慢。根据测算结果, 运用回归分析检验了科研创新能否促进“一带一路”沿线国家的绿色 TFP。在考虑异方差、自相关和内生性后, 发现科研创新可以显著提高“一带一路”沿线国家的绿色 TFP, 主要通过提升纯技术进步来实现绿色 TFP 的增长, 稳健性检验也支持这一结论。分亚、欧地区的研究得出, 科研创新对沿线亚洲国家绿色 TFP 的促进作用大于欧洲国家, 科研创新对沿线亚洲国家的促进作用与总体一致, 通过提升纯技术进步实现, 而对欧洲国家的促进作用则通过纯技术进步和规模效率双重路径实现。上述结论对中国建设“一带一路”倡议, 实现沿线各国经济与环境的协同发展具有重要的政策含义。

政策建议如下: 第一, 明确“一带一路”沿线国家绿色 TFP 的增长较缓慢这一事实, 从“高能耗、高排放、高增长”的经济增长模式向绿色低碳可持续的经济增长方式转型任重道远, 转型过程需要创新驱动来实现。第二, 实施“一带一路”倡议时, 要注重基础性科研创新的溢出效应, 提高科研创新的溢出乘数。重视国家内的科研活动, 重点支持“一带一路”倡议下中国 18 个省份的科研机构和研究型大学的科研建设。鉴于西部地区是“一带一路”的核心区, 又是经济发展程度较落后的地区, 要加大对西部地区科研机构和高校的支持力度。第三, 注重沿线国家间的科研交流与合作, 倡议设立“一带一路”国际科学研究院, 以促进沿线国家的科研创新水平。第四, 科研创新对绿色 TFP 的影响存在地区差异, 针对亚洲国家, 不仅要强化科研创新对纯技术进步的促进作用, 更要关注创新外溢的乘数效应, 以实现规模效率的提升。

### [参考文献]

- [1]白永秀,王颂吉.丝绸之路经济带的纵深背景与地缘战略[J].改革,2014(3):64-73.
- [2]陈诗一.能源消耗,二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J].经济研究,2009(4):41-55.
- [3]洪银兴.科技创新与创新型经济[J].管理世界,2011(7):1-8.
- [4]孔庆峰,董虹蔚.“一带一路”国家的贸易便利化水平测算与贸易潜力研究[J].国际贸易问题,2015(12):158-168.
- [5]石莹,何爱平.丝绸之路经济带的能源合作与环境风险应对[J].改革,2015(2):115-123.
- [6]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.
- [7]王兵,刘光天.节能减排与中国绿色经济增长——基于全要素生产率的视角[J].中国工业经济,2015(5):57-69.
- [8]王亮,吴滨源.丝绸之路经济带的贸易潜力——基于“自然贸易伙伴”假说和随机前沿引力模型的分析[J].经济学家,2016(4):33-41.
- [9]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.
- [10]Aghion, P., Howitt, P. W. The Economics of Growth[M]. Cambridge: The MIT Press, 2009.
- [11]Chambers, R. G., Chung, Y., Fare, R. Benefit and Distance Functions[J]. Journal of Economic Theory, 1996, 70(2): 407-419.
- [12]Fukuyama, H., Weber, W. L. A Directional Slacks-Based Measure of Technical Inefficiency[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2009, 43(4): 274-287.
- [13]Grosskopf, S. Some Remarks on Productivity and its Decompositions[J]. Journal of Productivity Analysis, 2003, 20(3): 459-474.
- [14]Ng, E. C. Y., Ying, C. N., What Explains the Total Factor Productivity Gap between OECD Economies and the US?[J]. Applied Economics, 2016, 48(32): 1-15.
- [15]Park, J. Total Factor Productivity Growth for 12 Asian Economies: The Past and the Future[J]. Japan and the World Economy, 2012, 24(2): 114-127.
- [16]Prettner, K., Werner, K. Why it Pays off to Pay Us Well: The Impact of Basic Research on Economic Growth and Welfare[J]. Research Policy, 2016, 45(5): 1075-1090.
- [17]Puskarova, P., Piribauer, P. The Impact of Knowledge Spillovers on Total Factor Productivity Revisited:

New Evidence from Selected European Capital Regions[J]. *Economic Systems*, 2016, 40(3): 335~344.  
[18]Romer, P. M. Endogenous Technological Change[J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5): 71-102.

(责任编辑 王 瀛)

## Does Basic Scientific Research Innovation Enhance Green TFP of “The Belt and Road” Countries

Ge Pengfei Xu Zhangyong Huang Xiulu

**Abstract:** By constructing a new model of economic growth, which synthesizes scientific research innovation and green TFP, this paper theoretically documents the influential mechanism of basic scientific research on green TFP. Based on the measurement of green TFP, the panel data of “the Belt and Road” countries is applied to empirically examine whether basic scientific research promotes green TFP. Results tell us that green TFP of “the Belt and Road” countries show a slow increasing trend. Moreover, scientific research innovation markedly enhances “the Belt and Road” countries’ green TFP. Regional differences are also witnessed in influential paths; specifically, scientific research heightens Asian countries’ green TFP only through pure technological progress while improves European countries’ through both pure technological progress and scale efficiency. The conclusion supports international scientific research cooperation, advocates construction of “the Belt and Road” international scientific research center in order to realize communication, and has great implications on economic development of “the Belt and Road” countries.

**Keywords:** Scientific Research Innovation; “The Belt and Road”; Green Total Factor Productivity; The New Model of Economic Growth