

国际技术溢出、人力资本与丝绸之路经济带能源效率改进

——基于投影寻踪模型和随机前沿分析法

郝晓莉^{1,2}, 卓乘风², 邓峰²

(1. 新疆大学 新疆创新管理研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830000;

2. 新疆大学 经济与管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要: 采用2003~2015年的省际面板数据, 运用投影寻踪模型和随机前沿分析法测算了丝绸之路经济带各地区的能源效率, 考察了两种国际技术溢出渠道对能源效率的影响, 并探讨了人力资本在两种国际技术溢出影响能源效率过程中的调节作用, 最后, 通过反事实检验法对两种国际技术溢出对丝绸之路经济带能源效率的改进作用以及人力资本的调节作用进行了量化核算。研究表明: 两种国际技术溢出渠道均能提升丝绸之路经济带地区的能源效率, 且外商直接投资的提升作用更为明显; 人力资本的积累能强化国际技术溢出对能源效率的改进作用, 且对进口贸易的调节作用更为明显; 反事实检验结果表明, 进口贸易和外商直接投资能将丝绸之路经济带的能源效率分别提升3.64%和2.74%, 人力资本的积累则能将两种技术溢出的能源效率改进作用分别提升11.3%和13.1%, 并且, 上述作用机制在西北地区表现更为明显。上述结论为全面开放新格局下丝绸之路经济带通过提高人力资本、承接国际技术溢出, 进而实现绿色低碳发展提供了政策启示。

关键词: 进口贸易; 外商直接投资; 人力资本; 能源效率; 反事实检验

[中图分类号] F206; F127 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4034(2019)02-0013-12

引言

推进能源生产和消费革命, 构建清洁低碳、安全高效的能源体系是十九大报告

[收稿日期] 2017-10-20

[基金项目] 国家社会科学基金项目“区域协调发展机制问题中的‘产业援疆’路径研究”(18BJL083); 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目“基于提升‘自身造血能力’的产业援疆路径研究”(2017D01C031); 新疆维吾尔自治区人文社会科学重点研究基地重大项目“区域创新与区域信息化的耦合协调性分析”(010116A03); 新疆大学经济与管理学院研究生“丝路科研奖学金”项目“世界经济新形势下教育输出与经济增长相关性研究”(JGSL16003)。

[作者简介] 郝晓莉(1982~), 女, 新疆奎屯人, 新疆大学经济与管理学院博士研究生, 新疆大学新疆创新管理研究中心博士研究生, 研究方向: 世界经济; 卓乘风(1991~), 男, 湖北安陆人, 新疆大学经济与管理学院博士研究生, 研究方向: 西方经济学; 邓峰(1970~), 男, 湖北武汉人, 新疆大学经济与管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 技术创新、西方经济学。

中提出的发展观念。丝绸之路经济带地区处于全面开放新格局中的“桥头堡”，进出口贸易与招商引资的空间不断扩张、力度不断增强。然而，经济带地区在全国总体发展格局中仍扮演着“追随者”的角色，丰富的煤炭、石油等自然资源如一把“双刃剑”，既驱动这一地区的经济发展，同时又容易诱发资源依赖，导致一系列环境问题。那么，在“一带一路”建设背景下，充分发挥丝绸之路经济带向西开放的“桥头堡”作用，通过吸收国际技术溢出，促进该地区绿色经济发展就成为一项亟待解决的问题。与此同时，落后的经济状况也制约了这些地区人力资本的积累，那么，提升人力资本将会如何影响开放格局中丝绸之路经济带地区的能源效率呢？深入探讨国际技术溢出对能源效率的影响以及人力资本在其中的作用，对于推动丝绸之路经济带地区实现绿色低碳发展尤为重要。

一、文献综述

资源型地区的能源利用问题一直都是学者们关注的重点（窦睿音和刘学敏，2016；张维阳等，2012；Fan et al.，2016）。窦睿音和刘学敏（2016）以山西省、黑龙江省、吉林省以及辽宁省为例，研究了这些资源型地区能源消耗与经济增长的长期动态关系；张维阳等（2012）将现代工业型的无锡市与传统资源型的包头市进行对比分析，发现前者具有高国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）低碳排放的特点，而后者则具有低GDP高碳排放的特点，且碳排放量有进一步增大的可能；赵欣（2015）重点关注了鄂尔多斯市的低碳发展，提出了该市在发展低碳经济过程中存在的问题、面临的挑战以及所采取的应对措施；周灵（2018）则以新疆地区为研究对象，分析发现能源强度会增加地区碳排放量，而能源结构对地区碳排放量的影响则是有限的。也有一些学者开始对能源效率进行研究，如李博等（2016）对中国资源型地级市的全要素能源效率进行测算，并考察其分布差异，发现多数资源型城市处于非效率状态；王兆华和丰超（2015）以中国的省级行政单位为研究样本，在考察全要素能源效率的同时，从外部运营环境和行业内部因素重点关注了能源效率的影响因素。

国际技术溢出是影响地区能源消费的重要因素，学者们对此也做了一定的探讨。从进出口贸易的角度看，周浩和傅京燕（2011）发现国际贸易能显著降低能源消耗；高大伟和周德群（2009）在测算能源全要素生产率的基础上发现，增加进出口能显著提高中国全要素能源效率；许启钦等（2011）从省区间比较优势和非线性视角进行分析，发现对外贸易通过规模、技术以及结构效应等对中国的能源效率产生不同程度和效果的影响；杨恺钧和刘思源（2017）则发现贸易开放在高收入国家和低收入国家均能显著降低碳排放量。也有学者从外资角度考虑能源消费情况，如Doytch和Narayan（2016）从产业层面出发，发现外商直接投资可作为一种技术来源用于提高能源效率；与此同时，Zhu等（2016）运用面板数据分位数回归模型，也得出类似的结论，并发现能源消耗越大的地区，外商直接投资的减排效应越强；此外，高宏伟和程仕英（2017）以山西省为例，对外商直接投资的碳排放效应进行了研究，发现当期的外资会加大碳排放，而滞

后一期的外资则会降低碳排放；丁锋和姚新超（2018）发现外商投资的技术溢出效应能够对中国的能源效率产生正影响；张小漫等（2017）还发现外商直接投资能显著降低能源消费强度。

关于人力资本与能源利用的关系，赵领娣等（2013）测算了包含非期望产出的绿色经济绩效，并基于熵权 TOPSIS 方法刻画了人力资本，研究发现人力资本对于绿色经济绩效的正向提升效应有限，其弱化了能源禀赋对绿色经济绩效的负向冲击程度；尹宗成等（2008）的研究发现人力资本和科技研发投入对提高我国能源效率具有显著的正向作用；李思慧（2011）以高新技术企业为例，研究发现人力资本对企业能源效率的影响存在“低创新企业组”大于“高创新企业组”的特点。此外，Salim 等（2017）、李荣杰等（2016）也做过类似的研究。

通过梳理现有文献可以发现，学者们对能源利用的相关问题做了大量的研究，但不免存在以下几点有待完善的地方：第一，已有研究一般从全国层面进行分析，而对资源型地区特别是资源密集且逐步开放的丝绸之路经济带地区而言，对其能源效率问题的研究则相对较少；第二，缺乏对不同国际技术溢出渠道的对比研究，如滕玉华（2010）仅考虑了进口贸易对工业能源效率的影响，而开放环境下获取国际技术溢出的渠道较多，甄选出更为有效的承接技术溢出的渠道，对于丝绸之路经济带地区绿色发展尤为重要；第三，现有文献一般研究人力资本对能源消耗的影响，而忽视了开放格局下人力资本对国际技术溢出影响能源效率的过程中可能发挥的异质性作用。

二、模型设定与数据说明

（一）模型设定

1. 随机前沿模型

参考已有研究（林伯强和杜克锐，2013），笔者采用随机前沿模型对丝绸之路经济带能源效率进行测算。随机前沿模型是在确定性生产函数的基础上提出的具有复合扰动项的随机边界模型，其一般表达式的形式如下：

$$Y_{it} = f(x_{it}, t) \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (1)$$

式（1）中， y_{it} 为*i*地区第*t*年的经济总产出， x_{it} 为*i*地区第*t*年的投入要素， $f(\cdot)$ 为生产边界上的前沿产出。 $v_{it} - u_{it}$ 为复合误差项， v_{it} 为随机扰动项，独立于 u_{it} ，且 $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ ； u_{it} 表示个体冲击，即技术非效率项，且 $u_{it} \sim N^+(u, \sigma_u^2)$ ，若 $u_{it} = 0$ ，表示技术有效，决策单元处于生产前沿面上，否则，决策单元就位于生产前沿面的下方。此外，为了系统地反映能源效率的变异统计特征，Battese 和 Coelli（1995）构建了方差参数 γ ，其表达式为：

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (2)$$

式（2）中， $\gamma \in (0, 1)$ ，当 γ 趋向于1时，表明 u_{it} 在决策单元与前沿面的偏差中占据主要成分，此时运用随机前沿分析法是合适的；当 γ 趋向于0时，表明各

决策单元几乎都位于生产前沿面曲线上,此时用普通最小二乘法即可分析。

由于超越对数生产函数允许更多的替代和转换模式,在实际利用过程中也显得更为灵活,并且,在长期中技术是否为中性以及产出弹性是否固定都无法确定。因此,笔者选用超越对数生产函数形式作为随机前沿生产函数 $f(\cdot)$ 。经过取对数处理,最终的表达式为:

$$\ln Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{it} + \beta_2 \ln K_{it} + \beta_3 \ln E_{it} + \beta_4 \ln L_{it} \ln K_{it} + \beta_5 \ln L_{it} \ln E_{it} + \beta_6 \ln E_{it} \ln K_{it} + \beta_7 \ln L_{it}^2 + \beta_8 \ln K_{it}^2 + \beta_9 \ln E_{it}^2 + v_{it} - u_{it} \quad (3)$$

式(3)中, β_0 为常数项, β_0, \dots, β_9 分别表示生产活动中劳动力投入、资本投入、能源投入以及各二次项的回归系数。进一步地,技术非效率项可以表示为:

$$u_{it} = \alpha_0 + \alpha_k Z_{it} + \mu_{it} \quad (4)$$

式(4)中, α_0 为常数项; Z_{it} 表示 k 个影响生产非效率的因素; α_k 为待估参数,反映各影响因素对各省能源效率的影响程度,当 α_k 为正时,表明该因素对于能源效率损失有正向作用,即该因素对能源效率有负向影响,反之则有正向影响; μ_{it} 为随机误差项。

能源效率 (EE) 可以表示为实际产出期望值与生产前沿面期望值之比,即:

$$EE_{it} = \frac{E [f(L_{it}, K_{it}, E_{it}) / \exp(v_{it} - u_{it})]}{E [f(L_{it}, K_{it}, E_{it}) \exp(v_{it}) / u_{it} = 0]} \quad (5)$$

式(5)中,若 $u_{it} = 0$,此时 $EE = 1$,表示决策单元的生产活动处于前沿面上,生产活动是有效的;若 $u_{it} > 0$,则 $EE < 1$,表示决策单元的生产活动处于前沿面的下方,生产活动是无效的,存在一定的效率损失。 L 、 K 和 E 分别是劳动力、资本以及能源消费总量三类投入要素,最终选择考察期内丝绸之路经济带各地区历年全部从业人员数作为劳动力投入,将各省份历年固定资产投资运用永续盘存法^①进行存量化处理作为资本投入,选取各地区历年能源消费总量(万吨标准煤计)作为能源投入要素。可以看出, EE 的核算与产出 (Y)、劳动力投入 (L)、资本投入 (K)、能源投入 (E) 以及技术非效率项密切相关。

2. 投影寻踪模型

需要注意的是,随机前沿模型存在一个较大的缺陷,即生产函数的经济产出必须为单一产出。考虑到生产活动具有多样性和复杂性,且产出类型较多,如黄德春等(2012)采用三阶段数据包络分析模型测算能源效率时,就将工业总产值作为经济产出之一,可见,单独考察某一种产出显然存在一定的片面性。为了弥补这一缺陷,笔者既遵循传统的做法,将地区 GDP 作为经济产出之一,还将人均 GDP 纳入考量范围,最后,将与能源消耗密切相关的工业总产值视为一项重要的经济产出。在此基础上,笔者选用投影寻踪模型将这一组高维数据进行降维处理,最终获得各地区经济产出数值。对三种产出指标采用极差法进行无量纲处理的具体计算过程如下:

^①已有大量研究对永续盘存法进行了说明,限于篇幅,笔者在此处并未报告永续盘存法的具体步骤。如有需要,可向作者索取。

首先,评价指标的无量纲化:

$$x(i, j)'_t = \frac{x^*(i, j)_t - x_{\min}(i, j)_t}{x_{\max}(i, j)_t - x_{\min}(i, j)_t} \quad (6)$$

式(6)中, $x^*(i, j)'_t$ 表示 i 省第 t 年 j 变量值, $x_{\max}(i, j)_t$ 、 $x_{\min}(i, j)_t$ 分别表示 i 地区第 t 年 j 变量里的最大值和最小值。

无量纲化后的数据会出现 0, 在后期的计算中为消除 0 的影响, 这里对无量纲化后的数据进行平移:

$$x(i, j)_t = x(i, j)'_t + \alpha \quad (7)$$

式(7)中, α 为平移幅度, 为尽可能减少平移的数据的影响, 选取 $\alpha = 0.01$ 。囿于篇幅, 在此不列出无量纲化后的数据。

其次, 构造投影指标函数 $Q(\alpha)$:

$$Q(\alpha) = S_z \times D_z \quad (8)$$

式(8)中, S_z 为 $z(i)_t$ 的标准差, D_z 为 $z(i)_t$ 的局部密度, 其计算公式如下:

$$S_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z(i)_t - E_z)^2}{n-1}} \quad (9)$$

$$D_z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (R - r(i, j)) u(R - r(i, j)) \quad (10)$$

计算最优投影方向上的最优投影值 $z(i)_t$:

$$z(i)_t = \sum_{j=1}^p a(j)_t \times x(i, j)_t \quad (11)$$

式(9)和式(10)中, E_z 为序列 $z(i)_t$ 的均值, R 为局部密度的窗口半径, $r(i, j) = |z(i)_t - z(j)_t|$ 表示样本之间的距离, $u(R - r(i, j))$ 为单位阶跃函数, 当 $R \geq r(i, j)$ 时, 函数值为 1, 反之为 0。式(11)中, $a(j)_t$ 表示第 t 年 i 地区的 j 变量的投影方向。 $x(i, j)_t$ 为无量纲化及平移后得到的数据。

最后, 优化投影指标函数:

$$\begin{aligned} \max Q(a) &= S_z \times D_z \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^3 a^2(j)_t &= 1 \end{aligned} \quad (12)$$

由于传统方法难以解决此复杂的非线性优化, 因而笔者通过 MATLAB 编程, 采用加速遗传算法来实现高维数据全局上的寻优, 最终测算出地区 GDP、人均 GDP 以及地区工业总产值 3 个产出指标的最佳投影方向 a 以及考察期内各地区创新产出的最佳投影值 z , 即随机前沿生产函数中的经济产出值 Y 。最后, 笔者将通过投影寻踪模型计算出的经济产出代入随机前沿模型, 根据式(5)即可算出丝绸之路经济带各地区能源效率。3 个指标计算出的投影值与最佳投影方向如表 1 所示。

表1 各变量的投影值与最佳投影方向

年份	投影值									最佳投影方向		
	广西	重庆	四川	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	地区GDP	人均GDP	工业总产值
2003	0.631	0.631	1.431	0.620	0.699	0.361	0.018	0.050	0.432	0.707	0.008	0.707
2004	0.622	0.603	1.414	0.600	0.724	0.362	0.015	0.056	0.416	0.597	0.002	0.802
2005	0.666	0.677	1.450	0.601	0.785	0.339	0.093	0.129	0.601	0.764	0.171	0.622
2006	0.688	0.702	1.453	0.587	0.847	0.329	0.146	0.175	0.688	0.737	0.265	0.622
2007	0.645	0.571	1.438	0.571	0.728	0.328	0.032	0.063	0.429	0.717	0.029	0.696
2008	0.631	0.549	1.432	0.538	0.713	0.290	0.021	0.050	0.397	0.704	0.009	0.710
2009	0.569	1.132	1.132	0.288	1.127	0.151	0.553	0.773	0.764	0.326	0.838	0.437
2010	0.682	0.677	1.476	0.465	0.828	0.271	0.116	0.181	0.465	0.642	0.143	0.753
2011	0.703	0.683	1.478	0.457	0.825	0.269	0.113	0.181	0.457	0.661	0.145	0.736
2012	0.777	0.777	1.495	0.498	0.965	0.276	0.165	0.247	0.527	0.702	0.225	0.676
2013	0.776	0.760	1.486	0.508	0.934	0.278	0.141	0.208	0.508	0.708	0.190	0.681
2014	0.784	0.784	1.477	0.488	0.899	0.271	0.123	0.180	0.488	0.663	0.174	0.728
2015	0.810	0.387	1.460	0.533	0.810	0.244	0.075	0.127	0.387	0.689	0.091	0.719
均值	0.691	0.687	1.433	0.519	0.837	0.290	0.124	0.186	0.505	0.663	0.176	0.684

(二) 数据来源与变量说明

1. 数据来源

文中数据主要来源于2004~2016年《中国统计年鉴》《中国科技年鉴》以及《中国能源统计年鉴》。部分数据来自于丝绸之路经济带各地区统计公报。最终采用2003~2015年丝绸之路经济带9个地区13年的面板数据进行实证分析。

2. 变量说明

(1) 能源效率 (EE)。笔者采用随机前沿模型和投影寻踪模型计算出能源效率。计算中涉及到的投入变量为劳动力、资本以及能源消费总量,分别采用考察期内丝绸之路经济带各地区历年全部从业人员数、将各省份固定资产投资存量以及各地区历年能源消费总量(万吨标准煤计)进行衡量。产出为投影寻踪模型进行计算的经济产出值,计算过程中包括地区GDP、地区人均GDP以及地区规模以上工业企业历年工业总产值。

(2) 技术非效率项。文中的技术非效率项主要包括产业结构、能源价格、能源消费结构、进口贸易以及人力资本,其中进口贸易与人力资本是重点关注的核心变量。

产业结构 ($indus$): 一般来说,第二产业以工业为主,而第三产业多为服务业,第二产业的能源消费量比第三产业高,这意味着随着产业结构的不断升级,地区生产活动中的能源效率将会提高,因此,笔者将地区产业结构纳入非效率项,借鉴魏燕和龚新蜀(2012)的做法,对丝绸之路经济带各地区产业结构高级化程度进行测算,具体公式如下:

$$indus_{it} = \sum_{m=1}^3 y_m \times m = y_1 \times 1 + y_2 \times 2 + y_3 \times 3 \quad (13)$$

能源价格 (ep): 能源价格会影响能源的使用成本,当价格上升时,能源使用成本提高,这将促使生产者提高节能意识,降低能源浪费,从而提高能源效率。借鉴张志辉(2015)的做法,采用丝绸之路经济带各地区燃料、动力类购进指数来表示。

能源消费结构 (*es*): 能源消费结构会对能源效率产生重要影响, 当煤炭等利用率较低的低级能源占能源消费比重较高时, 能源效率就会降低 (李梦蕴等, 2014), 反之, 能源效率则较高, 因此, 有必要将地区能源结构予以考虑。笔者采用煤炭消费量占地区能源消费总量的比重来衡量能源消费结构。

国际技术溢出 (*import*、*fdi*): 借鉴郑展鹏和王洋东 (2017) 的做法, 选取进口贸易和 FDI 作为主要的国际技术溢出渠道, 因此, 笔者采用考察期内各地区历年进口贸易额和外商直接投资额, 并根据当年人民币兑美元的平均汇率将单位转化为人民币, 记为 *import* 和 *fdi*。

人力资本 (*hum*): 人力资本是指依附人体体力和智力所具有的劳动 (包括体力劳动和脑力劳动) 价值总和, 教育水平的高低直接影响着脑力劳动的贡献程度, 笔者也借鉴这一做法度量丝绸之路经济带各地区人力资本水平。

各技术非效率项的描述性统计情况如表 2 所示。

表 2 变量的描述性统计分析

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
产业结构 (<i>indus</i>)	117	2.249	0.059	2.127	2.404
能源价格 (<i>ep</i>)	117	103.092	7.274	82.400	125.300
能源消费结构 (<i>es</i>)	117	0.456	0.175	0.202	1.174
进口贸易 (<i>import</i>)	117	3.569	3.897	0.054	19.677
外商直接投资 (<i>fdi</i>)	117	0.911	1.411	0.017	6.372
人力资本 (<i>hum</i>)	117	7.957	0.735	6.041	9.675

三、实证结果与分析

(一) 基本模型估计结果分析

在上述研究方法和变量设计的基础上, 笔者采用 SFA 模型对能源效率及两种国际技术溢出渠道对能源效率的影响进行了估计, 结果如表 3 所示。

由表 3 可知, 在主效应模型中, σ^2 在 0.01 的显著性水平下通过检验, $\gamma = 0.928$ 且在 0.01 的显著性水平下通过检验, 说明 92.8% 的能源效率缺口是由技术非效率项造成, 采用 SFA 对能源效率进行估算是合适的。*import* 和 *fdi* 的系数为 -0.175 和 -0.222, 且通过显著性检验, 这说明, 两种国际技术溢出均能明显缩小能源效率缺口, 提升能源效率, 并且, FDI 的系数绝对值大于进口贸易系数的绝对值, 这表明, 积极引进外资能更为高效地促进丝绸之路经济带绿色发展。进口贸易会通过技术转移和技术模仿来提高丝绸之路经济带技术水平, 进口国外中间产品时, 包含在中间产品中的先进技术会向丝绸之路经济带各地区溢出, 一些先进的管理经验和知识技能会直接转移到丝绸之路经济带, 从而提高地区技术水平, 而引进外资能通过行业内水平外溢发挥其技术示范效应 (蒋仁爱和冯根福, 2012), 并且, 伴随外资进入本地市场的先进生产技术和经验都会促进本地技术水平的提升, 而这些技术中包括产品生产和使用过程中的节能技术、高效能源的研制开发技术。此外, 技术水平的提高还能优化现有能源的要素配比以提高能源利用效率等。因此, 两种国际技术溢出均能显著提升丝绸之路经济带地区的能源效率。进一步看, 先进的技术、管理经验以及管理团队能更为直接地伴随外资进入本地市场, 但进口贸易在实现技术溢出时需要本地市场对

最终产品和中间品中包含的信息充分掌握,并进行内化处理,只有这样,才能真正承接技术溢出。因此,从整体上看,FDI对能源效率的改进作用更为明显。

表3 国际技术溢出下的估计结果

主效应				调节效应			
距离函数		无效率函数		距离函数		无效率函数	
<i>lnL</i>	3.247*** (8.20)	<i>indus</i>	0.699*** (8.30)	<i>lnL</i>	2.436*** (7.21)	<i>indus</i>	0.799*** (7.46)
<i>lnK</i>	1.804*** (3.20)	<i>ep</i>	-0.011*** (-5.44)	<i>lnK</i>	3.845*** (6.88)	<i>ep</i>	-0.006*** (-4.08)
<i>lnE</i>	-3.683*** (-3.74)	<i>es</i>	-0.213* (-1.88)	<i>lnE</i>	-5.739*** (-6.88)	<i>es</i>	-0.131** (-2.28)
$[\ln L]^2$	0.007 (0.14)	<i>import</i>	-0.175*** (-7.63)	$[\ln L]^2$	0.004 (0.11)	<i>import</i>	-0.153* (-1.67)
$[\ln K]^2$	-0.011 (-0.21)	<i>fdi</i>	-0.222*** (-10.53)	$[\ln K]^2$	0.047 (1.10)	<i>fdi</i>	-0.435* (-1.85)
$[\ln E]^2$	0.627*** (3.51)			$[\ln E]^2$	0.933*** (6.21)	<i>hum</i>	-0.082*** (-3.05)
<i>lnL×lnK</i>	0.194*** (2.63)			<i>lnL×lnK</i>	0.252*** (3.80)	<i>import×hum</i>	-0.125*** (-2.89)
<i>lnL×lnE</i>	-0.530*** (-3.61)			<i>lnL×lnE</i>	-0.480*** (-3.94)	<i>fdi×hum</i>	-0.068*** (-2.75)
<i>lnK×lnE</i>	-0.337* (-1.76)			<i>lnK×lnE</i>	-0.747*** (-4.80)		
σ^2	(0.015)*** (6.12)			σ^2	0.009*** (7.90)		
γ	0.928 (20.44)			γ	0.857*** (15.63)		
log 值	104.740			log 值	115.928		
单边 LR 检验值	77.964			单边 LR 检验值	100.340		

注：“***”“**”“*”分别表示1%、5%和10%的显著性水平,括号内为t统计量。

从调节效应模型来看, $\gamma = 0.857$ 且在 0.01 的显著性水平下通过检验,说明 85.7% 的能源效率缺口是由技术非效率项造成。*import×hum* 的系数为 -0.125, *fdi×hum* 的系数为 -0.068, 且均通过显著性检验,说明地区人力资本的提高能正向调节国际技术溢出对能源效率的改进作用,且对进口贸易的调节作用更为明显。事实上,无论是进口中间品还是吸引外资进入,丝绸之路经济带地区的企业、从业人员在吸收和模仿两种渠道下的先进技术及管理知识时,存在一个技术吸收的问题(唐未兵等,2014),如果进口的中间品和伴随外资流入的技术无法被本地企业所吸收,则无法有效促进本地企业生产活动中节能技术的改进,因此,人力资本的积累是吸收两种国际技术溢出的基础条件,人力资本水平的提高意味着本地企业、从业人员技术吸收能力的提升,并最终促进进口贸易和 FDI 对能源效率发挥改进作用。此外,进口贸易在发挥技术溢出效应时存在更多隐形障碍,中间品中所包含的技术信息需要进行前期“解剖”,因此,人力资本在进口贸易技术溢出中所发挥的作用相比 FDI 而

言则更加突出，因而人力资本对进口贸易技术溢出的调节作用更为明显。

(二) 进一步讨论：能源效率改进的核算与时空演变分析

根据上文可以看出，两种国际技术溢出均能显著改善丝绸之路经济带能源效率，人力资本的提升能强化两种国际技术溢出对能源效率的改进作用，那么，从现实来看，这种改进作用能否量化呢？进一步，这种改进作用的大小是否存在区域异质性？为此，笔者借鉴相关学者的研究（林伯强和杜克锐，2013；白俊红和卞元超，2016），通过对随机前沿分析中的非效率函数进行设定，采用反事实检验法对两种国际技术溢出以及人力资本的能源效率改进作用的大小进行核算。首先，以考察人力资本对 FDI 下的能源效率的提升作用为例，对式（4）做如下设定：

$$u_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{indus}_{it} + \alpha_2 \text{ep}_{it} + \alpha_3 \text{es}_{it} + \alpha_4 \text{fdi}_{it} + \mu_{it} \quad (14)$$

将式（14）代入式（5）中，计算出此时的能源效率 EE_1 ，进一步地，笔者将人力资本的调节作用进行考虑，并对非效率函数做如下假定：

$$u_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{indus}_{it} + \alpha_2 \text{ep}_{it} + \alpha_3 \text{es}_{it} + \alpha_4 \text{fdi}_{it} + \alpha_5 \text{hum}_{it} + \alpha_6 \text{fdi} \times \text{hum}_{it} + \mu_{it} \quad (15)$$

将式（15）代入式（5）中，计算出此时的能源效率 EE_2 。则人力资本对能源效率的改进作用为：

$$\Delta EE = EE_2 - EE_1, EE = EE_2 - EE_1 \quad (16)$$

当单独考察国际技术溢出对能源效率的改进作用时，需计算出式（14）中的国际技术溢出项在保留和去掉两种情形下的效率值，再采用式（16）的形式进行核算。

根据式（16），笔者核算出人力资本对国际技术溢出情形下丝绸之路经济带的西南地区、西北地区以及全带能源效率的改进作用。具体结果如表4所示。

表4 人力资本对能源效率的改进作用

年份	进口贸易对能源效率的提升作用			FDI对能源效率的提升作用			人力资本作用下进口贸易对能源效率的提升作用			人力资本作用下FDI对能源效率的提升作用		
	西南	西北	全带	西南	西北	全带	西南	西北	全带	西南	西北	全带
2003	0.022	0.018	0.019	0.046	0.022	0.033	0.095	0.162	0.131	0.059	0.097	0.080
2004	0.023	0.017	0.020	0.029	0.018	0.023	0.037	0.211	0.124	0.018	0.146	0.082
2005	0.026	0.019	0.022	0.021	0.017	0.019	0.065	0.187	0.126	0.042	0.134	0.088
2006	0.023	0.018	0.020	0.018	0.019	0.018	0.080	0.168	0.124	0.058	0.134	0.096
2007	0.017	0.018	0.018	0.023	0.028	0.026	0.080	0.153	0.117	0.096	0.125	0.110
2008	0.018	0.023	0.021	0.024	0.040	0.032	0.068	0.151	0.109	0.089	0.123	0.106
2009	0.026	0.030	0.028	0.021	0.040	0.031	0.087	0.132	0.109	0.094	0.091	0.093
2010	0.026	0.028	0.027	0.018	0.054	0.036	0.078	0.185	0.132	0.131	0.154	0.143
2011	0.024	0.031	0.027	0.015	0.071	0.043	0.097	0.167	0.132	0.110	0.152	0.131
2012	0.029	0.038	0.034	0.015	0.081	0.048	0.134	0.135	0.134	0.116	0.128	0.122
2013	0.031	0.041	0.036	0.016	0.086	0.051	0.142	0.176	0.159	0.110	0.167	0.139
2014	0.038	0.041	0.040	0.020	0.089	0.054	0.160	0.162	0.161	0.124	0.153	0.138
2015	0.052	0.037	0.044	0.028	0.087	0.057	0.176	0.173	0.175	0.126	0.164	0.145
提升幅度均值 (%)	2.72	2.76	2.74	2.26	5.02	3.64	9.99	16.63	13.31	9.02	13.61	11.31

由表4可以看出，在不考虑人力资本的作用下，考察期内丝绸之路经济带进口贸易

对能源效率的提升幅度为 2.74%，FDI 的提升幅度为 3.64%，人力资本能将进口贸易对能源效率的提升作用扩大至 13.31%，将 FDI 对能源效率的提升作用扩大至 11.31%。可以看出，两种国际技术溢出对能源效率的提升作用存在明显差异，其中 FDI 的提升作用更为明显，然而，人力资本却能更加明显地强化进口贸易的能源效率提升作用。

进一步分析西南地区 and 西北地区的组间差异，可以看出，两种国际技术溢出渠道均对西北地区能源效率具有更为明显的改进作用，在考虑人力资本时，进口贸易和 FDI 对西北地区的能源效率改进幅度分别为 16.63% 以及 13.61%，远大于西南地区。这与李思慧（2011）的结论相近。这主要是由于，西北各地区相比西南各地区而言，其经济发展水平和开放程度都较低，而其技术水平也相对落后，在此情形下，两种国际技术溢出对西北地区技术水平和能源效率的“边际”提升作用更为显著，此外，西北地区教育水平和人才吸引力尚不及西南地区，对技术的学习吸收能力较弱，由进口贸易和 FDI 所带来的技术溢出效应无法充分发挥出来，在此情形下，人力资本水平的提高对两种国际技术溢出发挥技术进步效应的促进作用将会明显大于西南地区，这将有利于提升西北地区的节能技术、推动西北地区高效新能源的研发利用进程。因此，从均值上看，两种国际技术溢出渠道均对西北地区能源效率具有更为明显的改进作用，人力资本的强化作用在西北地区也表现得更为明显。

四、结论与建议

（一）结论

在“一带一路”倡议的背景下，充分发挥丝绸之路经济带向西开放的“桥头堡”作用，通过吸收国际技术溢出，促进该地区绿色经济发展就成为一项亟待解决的问题，为此，笔者深入探讨国际技术溢出对能源效率的影响以及人力资本在其中的作用，并采用反事实检验对上述作用进行了量化核算。研究发现进口贸易和 FDI 均明显提升了丝绸之路经济带地区的能源效率，且前者能将丝绸之路经济带能源效率提升至 2.74%，后者的提升幅度则为 3.64%；人力资本能强化国际技术溢出对能源效率的改进作用，在人力资本的作用下，进口贸易对能源效率的提升作用扩大至 13.31%，FDI 对能源效率的提升作用扩大至 11.31%。此外，两种国际技术溢出渠道均对西北地区能源效率具有更为明显的改进作用，人力资本的强化作用在西北地区也表现得更为明显。

（二）建议

（1）国际技术溢出能通过提高丝绸之路经济带地区技术水平进而促进能源效率的提升，因此，丝绸之路经济带地区应当抓住“一带一路”建设契机，继续扩大对外开放，增加进口贸易，积极搭建合作交流平台，吸引外资进入，引进和吸收先进技术和管理经验，充分发挥进口贸易和 FDI 的技术溢出效应，进而提高丝绸之路经济带技术水平，促进能源效率的提升。此外，西北地区要更加重视对外开放，大力进行招商引资，从而充分发挥这一地区的后发优势。

（2）人力资本的提高能强化国际技术溢出对能源效率的提升作用，因此，丝绸之路经济带地区要充分重视地区人力资本的积累。地方政府要着力发展基础教

育,扩大义务教育覆盖范围,同时要加大对高等教育的投入,积极引进专家学者,培养具备高素质、高水平的人才,扩大丝绸之路经济带人力资本存量。要更加重视丝绸之路经济带的人才流失现象,通过推动户籍制度改革、下调人才落户门槛、改善地区福利待遇和工作环境以吸引人才。此外,人力资本对西北地区能源效率的改进作用明显强于西南地区,因此,西北地区要格外重视基础教育和高等教育,扩大人力资本存量,强化西北地区的技术吸收能力,进而提升能源效率。

[参考文献]

- [1]白俊红,卞元超.要素市场扭曲与中国创新生产的效率损失[J].中国工业经济,2016(11):39-55.
- [2]丁锋,姚新超.外商投资、技术溢出与能源效率[J].工业技术经济,2018,37(6):154-160.
- [3]窦睿音,刘学敏.中国典型资源型地区能源消耗与经济增长动态关系研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(12):164-170.
- [4]高大伟,周德群.进口贸易与中国各地区能源强度之间的协整分析[J].统计与决策,2009(14):106-107.
- [5]高宏伟,程仕英.外商直接投资与碳排放规模——基于山西省的实证研究[J].经济问题,2017(4):113-115.
- [6]蒋仁爱,冯根福.贸易、FDI、无形技术外溢与中国技术进步[J].管理世界,2012(9):49-60.
- [7]李博,张文忠,余建辉.考虑环境约束的中国资源型城市全要素能源效率及其差异研究[J].自然资源学报,2016,31(3):377-389.
- [8]李梦蕴,谢建国,张二震.中国区域能源效率差异的收敛性分析——基于中国省区面板数据研究[J].经济科学,2014(1):23-38.
- [9]李荣杰,张磊,赵领娣.能源开发、人力资本与全要素能源效率[J].北京理工大学学报(社会科学版),2016,18(1):30-37.
- [10]李思慧.产业集聚、人力资本与企业能源效率——以高新技术企业为例[J].财贸经济,2011(9):128-134.
- [11]林伯强,杜克锐.要素市场扭曲对能源效率的影响[J].经济研究,2013(9):125-136.
- [12]唐未兵,傅元海,王展祥.技术创新、技术引进与经济增长方式转变[J].经济研究,2014(7):31-43.
- [13]滕玉华.国际R&D溢出与工业能源效率——基于进口贸易的实证分析[J].国际贸易问题,2010(5):104-110.
- [14]王兆华,丰超.中国区域全要素能源效率及其影响因素分析——基于2003-2010年的省际面板数据[J].系统工程理论与实践,2015,35(6):1361-1372.
- [15]魏燕,龚新蜀.技术进步、产业结构升级与区域就业差异——基于我国四大经济区31个省级面板数据的实证研究[J].产业经济研究,2012,(04):19-27.
- [16]杨恺钧,刘思源.贸易开放、经济增长与碳排放的关联分析:基于新兴经济体的实证研究[J].世界经济研究,2017(11):112-120.
- [17]尹宗成,丁日佳,江激宇.FDI、人力资本、R&D与中国能源效率[J].财贸经济,2008(9):95-98.
- [18]张维阳,段学军,于露,等.现代工业型与传统资源型城市能源消耗碳排放的对比分析——以无锡市与包头市为例[J].经济地理,2012(1):121-127.
- [19]张志辉.中国区域能源效率演变及其影响因素[J].数量经济技术经济研究,2015(8):73-88.
- [20]张小漫,傅强,张亚军.经济增长、能源消费与外商直接投资的双向耦合关系——基于污染物排放强度分组[J].国际商务——对外经济贸易大学学报,2017(4):87-99.
- [21]赵领娣,张磊,李荣杰,等.能源禀赋、人力资本与中国绿色经济绩效[J].当代经济科学,2013,35(4):74-84.
- [22]赵欣.煤炭资源型城市发展低碳经济的路径研究——以鄂尔多斯市的低碳发展为例[J].生态经济,2015,31(4):68-72.
- [23]郑展鹏,王洋东.国际技术溢出、人力资本与出口技术复杂度[J].经济学家,2017(1):97-104.
- [24]周浩,傅京燕.国际贸易提高了中国能源的消费?[J].财贸经济,2011(1):94-100.

- [25]周灵. 绿色“一带一路”建设背景下西部地区低碳经济发展路径——来自新疆的经验[J]. 经济问题探索, 2018(7):184-190.
- [26]BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics, 1995,20(2):325-332.
- [27]DOYTCH N, NARAYAN S. Does FDI influence renewable energy consumption? An analysis of sectoral FDI impact on renewable and non-renewable industrial energy consumption[J]. Energy Economics, 2016, 54:291-301.
- [28]FAN J, HU S, CHEN D, et al. Study on the construction and optimization of a resource-based industrial ecosystem[J]. Resources Conservation & Recycling, 2016(119):90-108.
- [29]SALIM R, YAO Y, CHEN G. Does human capital matter for energy consumption in China? [J]. Energy Economics, 2017,67:49-59.
- [30]ZHU H, DUAN L, GUO Y, et al. The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: Evidence from panel quantile regression[J]. Economic Modelling, 2016, 58:237-248.

(责任编辑 范红波)

International Technology Spillover, Human Capital and Energy Efficiency Improvement in Silk Road Economic Belt —Based on Projection Pursuit Model and Stochastic Frontier Analysis

HAO Xiaoli^{1,2}, ZHUO Chengfeng², DENG Feng²

(1. Xinjiang Innovation Management Research Center, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830000;

2. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830000)

Abstract: Based on the provincial panel data from 2003 to 2015, this paper uses projection pursuit model and stochastic frontier analysis method to calculate the energy efficiency of various regions of the Silk Road Economic Belt, and examines the impacts of two international technology spillovers on energy efficiency. Through the counterfactual test, we quantify and assess the energy efficiency improvement by two international technology spillovers in the Silk Road Economic Belt, and the coordination by human capital during the process herein. The results show that both international technology spillovers can improve the energy efficiency in the Silk Road economic zone, and the promotion effect of FDI is more obvious. The accumulation of human capital can strengthen the improvement of international technology spillover on energy efficiency and more enhance the efficiency of import trade. The counterfactual test shows that import trade and FDI can increase the energy efficiency in the Silk Road Economic Belt by 3.64% and 2.74% respectively, while the accumulation of human capital can increase the energy efficiency improvement of the two technology spillovers respectively by 11.3% and 13.1%, and such mechanism is more obvious in the northwest. The above conclusion has provided policy suggestion for the development in the Silk Road Economic Belt through raising the level of human capital, undertaking international technology spillovers to realize green and low-carbon development under the new pattern of opening up.

Keywords: Import Trade; International Technology Spillover; Human Capital; Energy Efficiency; Counterfactual Test