

OFDI 逆向技术溢出能够改善中国能源效率吗

江 洪^{1,2}, 纪成君¹

(1. 辽宁工程技术大学 工商管理学院; 2. 辽宁工程技术大学 管理科学与工程研究院, 辽宁 葫芦岛 125105)

[摘 要]从理论和实证两个层面考察了 OFDI 逆向技术溢出对中国能源效率的影响。采用 2002—2016 年中国 30 个(非全部)省(直辖市、自治区)的面板数据,运用 DEA 博弈交叉效率模型测算了碳排放约束下各省(直辖市、自治区)能源效率的现状。选取技术进步、产业结构等 7 类控制变量,采用动态面板 GMM 方法分析了 OFDI 逆向技术溢出与区域能源效率之间的动态关系。研究表明:OFDI 逆向技术溢出对区域能源效率具有显著的正向促进作用,其每增加 1%,将带来能源效率 0.0613% 的提升;在其他控制变量中,技术进步、产业结构优化、能源结构优化、外商直接投资对能源效率具有正向促进作用,城镇化水平对能源效率具有负向抑制作用,人力资本水平与对外开放度对能源效率具有正向促进作用,但不显著。以上发现为“一带一路”背景下区域节能减排政策的制定提供了经验证据。

[关键词]逆向技术溢出;能源效率;DEA 博弈交叉效率模型;动态面板 GMM 方法

[中图分类号]F206 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1004-4833(2020)03-0102-09

一、引言

能源利用效率低下成为当前中国供给侧结构性改革的一个重要诱因,也是中国经济发展过程中不可避免的关键问题。煤炭的禀赋和价格优势,决定了中国在相当长时间内以煤为主的能源消费格局不会改变,通过优化能源结构实现节能减排空间并不大^[1]。同时,产业结构调整对能源效率的促进作用在 20 世纪 90 年代已经逐渐衰退,甚至转向了负面抑制作用^[2]。技术进步和创新使提升能源效率在技术上成为可能^[3]。一国的技术进步一般有两种途径:一是国内研发活动;二是国外研发溢出。2003 年以后,中国对外开放战略逐渐由“引进来”向“走出去”转变。从流量数据看,2002 年至 2014 年的 13 年间,中国对外直接投资(Outward Foreign Direct Investment,以下简称 OFDI)规模年均增幅达到 37.5%,并实现了吸收外资与对外投资的平衡;从存量数据看,13 年间,中国在全球对外直接投资的所占比由 0.4% 激增至 3.4%,中国进入全球对外直接投资规模前十名。中国 OFDI 逆向技术溢出效应受到诸多学者的关注,相对于进出口贸易和引进外资,通过 OFDI 能够更直接、主动地获取国际先进技术外溢。OFDI 逆向技术溢出能否通过作用于技术进步最终促进或者抑制能源效率的提升尚鲜见报道。为了回答这个问题,本文以碳排放约束下区域能源效率为研究对象,探索 OFDI 逆向技术溢出对其作用路径和机理。

本文的研究贡献主要体现在两个方面:第一,丰富了能源经济的研究方法。本文将博弈交叉效率模型纳入能源效率评价框架,并且选择碳排放作为非合意产出约束,构建了 DEA 博弈交叉效率模型,使能源效率的评价结果更加科学、客观。第二,拓展了能源效率影响因素的研究。对于 OFDI 逆向技术溢出是否对区域能源效率产生影响,尚鲜见报道。为了弥补该空白,本文以碳排放约束下的区域能源效率为研究对象,探索 OFDI 逆向技术溢出对其影响机理和路径,对于“一带一路”背景下,区域节能减排政策的制定具有很好的借鉴意义。

二、文献综述

(一) 能源效率评价方法的研究

早期关于能源效率的研究主要从单要素视角展开,集中于偏要素框架,大部分研究都是探索能源消费与 GDP

[收稿日期]2019-07-29

[基金项目]教育部人文社科规划基金项目(12YJC630071);辽宁省社科规划基金项目(L18BJY016);辽宁省教育厅科学研究项目(LJ2019JW001)

[作者简介]江洪(1982—),男,江苏沭阳人,辽宁工程技术大学工商管理学院副教授,硕士生导师,博士,从事低碳经济与区域可持续发展研究, E-mail:19727201@qq.com;纪成君(1962—),男,黑龙江牡丹江人,辽宁工程技术大学工商管理学院教授,博士生导师,从事区域可持续发展研究。

的关系^[4-5],而忽略其他投入要素。为了弥补单要素能源效率评价指标的缺陷,Hu 和 Wang 提出了全要素能源效率指标及其评价框架^[6]。该框架应用 DEA(Data Envelopmnet Analysis)数据包络分析模型评价能源、劳动力、资本等多投入与 GDP 产出之间的生产关系,以能源目标值与实际值之间的比率作为全要素能源效率的评价指标,在以后的研究中,DEA 方法被广泛应用^[7-8]。随着经济发展从数量向质量转变,众多学者在研究能源效率的同时,开始考虑能源消费带来的污染物排放问题。用曲线测度法、方向距离函数、数据转换函数法等,将污染物排放作为非合意产出纳入 DEA 模型,使能源效率的评价结果更加客观、科学^[9]。随着研究的逐步深入,部分学者为了分析内部因素对能源效率变动的影 响,运用 DEA-Malmquist 方法,从纯技术效率、技术进步和规模效率三个角度将能源效率进行分解,并进行跨时期比较^[10]。近年来,为了探索外部环境对区域能源效率的影响,很多研究采用分阶段 DEA 方法,先测算能源效率,再用 Tobit 回归分析产业结构、外商直接投资、能源结构等外部环境对能源效率的影响^[11]。

(二)OFDI 逆向技术溢出效应的研究

目前学术界对 OFDI 逆向技术溢出效应的研究集中于以下两个方面:一是 OFDI 逆向技术溢出效应的存在性。Kogut 和 Chang^[12]最早研究此论题并推测技术寻求是跨国企业对外直接投资的重要动因。随后 Head 等^[13]证实日本企业对美直接投资使一些国内公司的技术水平得到提升。Lichtenberg^[14]在前人的研究基础上提出一国的“国外研发资本存量”计算公式,首次定量验证了 OFDI 是国际技术溢出的重要渠道。Chen 等^[15]则从国家和行业的层面检验了 OFDI 的逆向技术溢出效应。Yuan^[16]等通过实证研究发现,中国西部地区企业海外并购是获取 OFDI 逆向技术溢出的有效途径。Jiang 等^[17]用多变量灰色预测模型,对中国 OFDI 逆向溢出效应进行了预测。近年来,国内学者也开始关注发展中国家尤其是中国的逆向技术溢出。杨连星等^[18]发现 OFDI 逆向技术溢出对中国全球价值链升级呈现显著的促进效应。杜龙政、林伟芬^[19]发现我国 OFDI 存在逆向技术溢出效应。二是母国对于 OFDI 逆向技术溢出吸收能力的研究。Siotis^[20]进一步发现,只有母国吸收能力达到“门槛值”,OFDI 才能显著促进母国技术进步。李平,史亚茹^[21]通过实证分析发现 OFDI 逆向技术溢出在经济发展水平、对外开放度、吸收能力等因素均存在门槛效应。

(三)OFDI 逆向技术溢出对能源效率影响的研究

关于 OFDI 逆向技术溢出对能源效率影响的研究相对较少,国外学者 Witajewski-Baltvilks 等^[22]证实 R&D 能够促进技术进步以提高能源使用效率。韩玉军和王丽^[23]利用 2003—2013 年省际数据,发现 OFDI 逆向技术溢出能改善全要素能源效率。陶长琪,王慧芳^[24]基于模拟退火和 NLS 法的面板平滑转换模型考察了 OFDI 逆向技术溢出对长三角地区全要素能源效率的影响。

(四)文献评述

从现有研究来看,全要素能源效率评价方法绝大部分都是基于 DEA 模型展开,然而,DEA 模型的测算结果存在不唯一解,即多个决策单元效率值都为 1 时,无法再进行分级排序。同时,测算决策单元效率值过程中,权重系数往往被人为放大,导致互评过程中由于处于不利地位的决策单元 DEA 伪有效。能源效率影响因素的研究也很少涉及 OFDI 逆向技术溢出视角。为了弥补前期研究的不足,本文构建 DEA 博弈交叉效率模型,更加客观地测算区域能源效率,并从 OFDI 逆向技术溢出视角探索能源效率的提升路径,为“一带一路”背景下区域节能减排政策的制定提供有效参考。

三、机理分析与研究假设

(一)机理分析

1. 技术进步对能源效率的影响

技术进步促进区域能源效率提升的一种路径是,伴随着技术的进步,整个社会劳动力素质和科技水平得到提高,生产过程中能源浪费现象被有效抑制,能源效率得到提升。然而,在这个过程中,技术进步对区域能源效率只起到间接作用;技术进步促进区域能源效率提升的另一种途径是,伴随着技术的进步,生产部门的设备工作效率得到提高,进而降低了能源的消耗强度,提升了能源效率,这种作用是直接的,而且更显著。

值得注意的是,技术进步作用于任何经济系统都需要通过一定的资源配置方式来实现,对于宏观系统的效率评价,这个问题更加重要。根据古典经济学企业同质化假设,在要素自由流动的前提下,企业的存续及整体经济效率取决于技术进步率的高低。假设经济系统中存在三种企业:技术先进企业、技术落后企业和“僵尸企

业”,如果三类企业具有同样的产业结构,且面临同等的要素和要素价格,则根据企业生产成本函数,生产要素将从低技术经济体向高技术经济体流动。下面通过一般均衡框架的一个简单推导进行阐述:

假设经济系统中存在高技术 and 低技术两个经济体,两者的技术水平分别为 T_1 和 T_2 。作为技术驱动型的高技术经济体,具有更高的能源利用效率。在技术进步的作用下,其能源要素呈规模报酬不变;作为能源驱动型的低技术经济体,由于缺乏技术进步驱动,能源要素呈规模报酬递减。在既定能源总量的前提下,根据全局能源效率函数,整个经济系统能源利用效率达到最优时,能源配置应满足如下条件:

$$\max EE = \frac{f_1(E_1, K_1) + f_2(E_2, K_2)}{E_1 + E_2}$$

$$\text{s. t. } E_1 + E_2 = E \tag{1}$$

式中, E, K 分别表示能源投入和资本投入。

本文设 $f(K, E)$ 为 (C-D) 型 Cobb-Douglas 生产函数,考虑约束条件下,分别对 E_1 和 E_2 求一阶条件得:

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)\left(\frac{K_1}{K_2}\right)^{1-\alpha} = \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{1-\alpha} \tag{2}$$

设两个经济体的能源使用量分别为 E_1^0 和 E_2^0 ,经济系统的初始状态满足公式(2)的最优状态,全局初始最优能源效率为 EE_0^* 。如果 T_1 上升,即经济体 1 发生技术进步,此时,经济系统仍然满足公式(2)的最优状态,两个经济体的能源使用量变为 E_1^1 和 E_2^1 ,全局最优能源效率为 EE_1^* 。如前文所述,如果不存在能源价格扭曲的状态,则能源要素从低技术经济体向高技术经济体流动,将在边际上提升全局能源效率,使 $EE_1^* > EE_0^*$ 。

2. OFDI 逆向技术溢出对母国技术进步的影响

一般情况下,OFDI 通过两条途径影响母国技术进步:其一,改变母国熟练劳动和非熟练劳动的构成;其二,技术溢出。与发展中国家相比,发达国家具有更高的技术水平和技术创新能力,然而发达国家先进技术和创新产业的研发投入基本都发生在国内,如何获取其先进的技术和知识成为发展中国家面临的问题。大量研究表明,投资国可以通过 OFDI 接近东道国的 R&D 资源,进入其高端技术聚集地以学习、获取其先进技术及知识。研究表明,对外投资国企业通过 OFDI 逆向技术溢出促进本国技术进步,一般依靠技术互动、技术传递和技术吸收三种机制联合循环作用实现。可以从两个方面进行剖析:首先,宏观层面上,由于对外投资企业所在地区经济发展存在差异性,将 OFDI 逆向技术溢出区分为两类(发达国家、新兴经济体及发展中国家);其次,微观层面上,对于对外投资企业,可以通过人员流动、模仿跟踪、联系交流和平台利用效应获取东道国的 OFDI 逆向技术溢出。针对发达国家,可以通过研发要素吸纳、跨国并购以及跨国战略联盟共享东道国的研发成果并吸收其先进技术;针对新兴经济体及发展中国家,可以通过扩大出口、就地生产获取利润和市场份额,进而分摊研发费用。

综上所述,对外投资企业可以通过技术互动、技术传递和技术吸收三个环节循环联动,吸收和获取东道国的先进技术和知识以促进本国技术进步。然后,通过技术进步的直接和间接作用,提升本国的能源利用效率。由此,一条以“技术互动-技术传递-技术吸收-技术进步-能源效率提升”为主要环节的链条循环模型得以建立,如图 1 所示。

(二) 研究假设

通过上述机理分析可以看出,OFDI 逆向技术溢出促进本国能源利用效率的提升需要通过技术互动、技术传递和技术吸收三种机制联合循环作用实现。技术互动和技术传递得以实现的前提条件是区域间存在一定的技术差距,而技术吸收过程中的决定性要素是人力资本。沈能和赵增耀^[25]研究发现,技术差距与逆向技术溢出之间存在非线性关系,当我国各省技术差距过大时,OFDI 逆向技术溢出效应会减弱,仅当技术差距适中时,溢出效应才会显著。当技术差距过大时,技术落后方很难吸收和消化技术先进方的技术溢出,此时,溢出效应难以实现,技术进步与技术溢出呈现负相关关系,该结论在 Glass 和 Saggi^[26]的研究中得到证实。Siotis^[20]研究发现,只有当人力资本达到一定水平时,对于发达地区的技术获取、吸收和转化才能实现,此时,技术溢出效应得以发挥;相反,当地区人力资本水平低于吸收能力门槛时,OFDI 逆向技术溢出对本国技术进步的影响将不显著。

如果我国区域技术进步水平与投资国存在显著差距,同时,人力资本水平并未跨过技术吸收能力门槛,OFDI 逆向技术溢出效应无法实现,不能带来能源效率的提升,为此本文提出如下假设 H0。

假设 H0: OFDI 逆向技术溢出对能源效率的促进作用不显著。

相反,中国区域技术技术进步水平与投资国存在适当差距,同时,人力资本水平高于技术吸收能力要求。此时,技术互动、技术传递和技术吸收的联合循环作用带来显著的 OFDI 逆向技术溢出效应,提升了本国能源利用技术,促进了能源效率的提升,为此,本文提出假设 H1。

假设 H1:OFDI 逆向技术溢有利于能源利用效率的提升。

四、研究设计

(一) 变量选取与数据来源

1. 被解释变量

本文借鉴 Liang 等^[27]提出的 DEA 博弈交叉效率模型的基础上,将碳排放作为非合意产出纳入能源效率评价模型。本文假设决策单元(不同省市)DMU_d 的能源效率值为 ee_d,其他决策单元 DMU_j 在保持 DMU_d 的能源效率值不被降低的前提下,使自身效率达到最大化,定义决策单元 DMU_j(相对于 DMU_d)的博弈交叉能源效率值为:

$$ee_{dj} = \frac{\sum_{r=1}^s \mu_{ij}^d y_{rj}}{\sum_{i=1}^m \omega_{ij}^d x_{ij}} , d = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

式中,ee_{dj}为决策单元 DMU_j 相对于 DMU_d 的博弈交叉效率值;μ_{ij}^d和 ω_{ij}^d为模型的可行权重,可以通过以下线性规划模型求解:

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_{r=1}^s \mu_{ij}^d y_{rj} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{r=1}^m \omega_{ij}^d x_{il} - \sum_{r=1}^s \mu_{rl}^d y_{rl} \geq 0, l = 1, 2, \dots, n, \sum_{r=1}^m \omega_{ij}^d x_{ij} = 1 \\ & ee_d \times \sum_{r=1}^m \omega_{ij}^d x_{id} - \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d y_{rd} \leq 0 \\ & \omega^d \geq 0, i = 1, 2, \dots, m \\ & \mu_{rj}^d \geq 0, r = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \tag{4}$$

公式(4)中,ee_d≤1 是一个初始参数值,表示决策单元 DMU_d 的平均交叉效率值。若上述模型的最优解为 μ_{rj}^d(ee_d),则决策单元 DMU_j 的平均博弈交叉效率可定义为:

$$ee_j = \frac{1}{n} \sum_{d=1}^n \sum_{r=1}^s \mu_{rj}^d \times (ee_d) y_{rj} \tag{5}$$

2. 核心解释变量逆向技术溢出

鉴于以往文献对于 OFDI 逆向技术溢出的测度尚无统一口径,本文将中国 OFDI 所得国外研发资本存量作为 OFDI 逆向技术溢出的代理指标,可以由以下公式计算得到:

$$S_{jt}^f = \sum \frac{ofdi_{jt}}{k_{jt}} S_{jt}^d \tag{6}$$

式中,S_{jt}^f表示 t 年中国向 j 国对外直接投资所得国外研发资本存量,ofdi_{jt}表示 t 年中国向 j 国直接投资存量,k_{jt}表示 t 年 j 国的固定资本形成额,S_{jt}^d表示 t 年 j 国的国内研发资本存量。其中,东道国的国内研发资本存量采用永续盘存法,选取 5% 折旧率计算得到。计算过程中,研发资本存量和国内生产总值数据、中国对外直接投资存量数据、固定资本形成额数据,分别运用 GDP 平减指数、消费者物价指数、固定资本形成额指数进行评价,得到以 2002 年为基期的数据。固定资本形成额和平减指数取自世界银行数据库,国

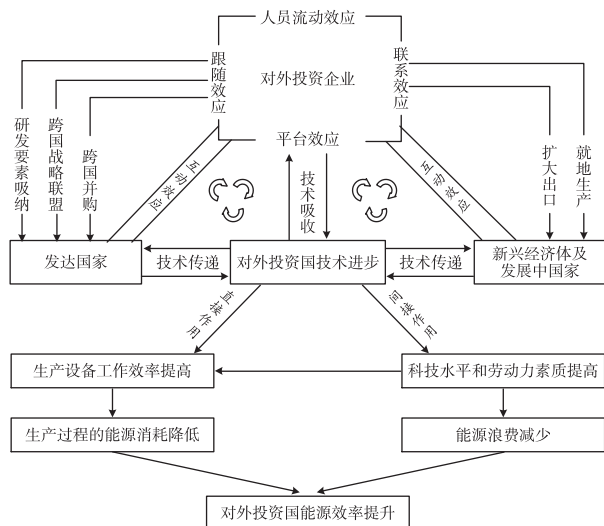


图 1 OFDI 逆向技术溢出对能源效率的作用机理

内生产总值、GDP评价指数和消费者物价指数取自联合国贸发会议数据库(UNCTAD),东道国国内研发经费支出数据取自《OECD Main Science and Technology Indicators》,中国对外直接投资存量数据取自《2016年度中国对外直接投资公报》。

3. 控制变量

参考现有相关研究,本文选取如下变量作为控制变量:技术进步水平(tp)。技术水平的提高将带来生产设备的效率提高,节约生产过程中的能源消耗,进而直接作用于能源效率;同时,技术水平的提高有利于提高生产者的素质和节能意识,进而间接作用于能源效率。以往大量研究也证实了技术水平提高对能源效率具有正向的促进作用。人力资本水平(hr)。人力资本水平的提高是教育水平提高的重要标志,人力资本与技术创新之间具有紧密联系,人力资本量的增加有利于能源技术人才的培养,加快能源利用技术的开发。同时,人力资本水平的提高,有助于更好地吸收 OFDI 带来的能源利用技术的逆向溢出,促进能源利用效率的提高。产业结构(is)。结构变动对能源效率的影响最初反映在“结构红利假说”中,由于各行业的生产效率水平和经济增长速度存在差别,能源作为生产要素之一,从生产效率较低部门向生产效率较高的部门转移时,就会促进各部门共同构成的经济系统的总效率提高,而总生产率的增长值超过各部门生产率增长率加权和的部分,就是产业结构变化带来能源生产效率增长的部分。城镇化水平(ul)。城镇化水平对能源效率的影响方面,不同学者给出了差异化的结论。一方面,城镇化水平的提高将加剧社会经济系统对于能源的需求和消费量,从而抑制能源效率的提升;另一方面,城镇化必然带来经济发展水平和居民节能意识的提升,从而促进能源效率的提升。外商直接投资(fdi)。如前文所述,外商直接投资的增加有利于带来国际技术溢出,提升能源效率。然而,“污染天堂”假说对该论点提出了质疑,认为跨国公司在向发展中国家进行海外投资过程中,有可能转移污染,从而加重被投资国的污染程度,不利于能源效率的提升。对外开放度($open$)。对外开放水平提高有利于增加进出口贸易额和外商直接投资,这两个要素对于能源效率的影响方向可能有差异。一方面,外商直接投资的增加,尤其是来自发达国家的外商直接投资可能带来国际技术溢出,提升能源效率;另一方面,进出口贸易的增加意味着出口规模的扩大,若出口商品的附加值较低,同时对能源依赖性较强,则不利于能源效率的提升。能源消费结构(es)。结构调整主要包括产业结构和能源消费结构的调整。地区能源消费结构直接影响能源效率,这是各种能源自身的差异和特性导致的。在各种能源中,煤炭发热值最低且含碳因子最高,其次为石油、天然气和电力。值得注意的是,不同能源之间具有替代性,如果增加了电力的使用就会减少煤炭、石油和天然气的需求,进而使整体能源使用效率提升。中国目前能源效率偏低,主要是能源消费结构中煤炭比重过大所导致。

(二) 模型设计

本文构建以下动态效应模型,探索 OFDI 逆向技术溢出对区域能源效率的影响:

$$\ln ee_{it} = \alpha_0 + \beta_0 \ln r_{it} + \beta_1 \ln tp_{it} + \beta_2 \ln hr_{it} + \beta_3 \ln is_{it} + \beta_4 \ln ul_{it} + \beta_5 \ln fdi_{it} + \beta_6 \ln open_{it} + \beta_7 \ln es_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中, $\ln ee_{it}$ 表示*i*省份第*t*年的能源效率值, $\ln r_{it}$ 表示*i*省份第*t*年的 OFDI 逆向技术溢出水平, $\ln tp_{it}$ 、 $\ln hr_{it}$ 、 $\ln is_{it}$ 、 $\ln ul_{it}$ 、 $\ln fdi_{it}$ 、 $\ln open_{it}$ 、 $\ln es_{it}$ 分别表示*i*省份第*t*年的技术进步水平、人力资本水平、产业结构、城镇化水平、外商直接投资、对外开放度、能源消费结构。

(三) 样本选取与数据来源

本文选择 2002—2016 年中国 30 个省(直辖市、自治区)为研究对象,被解释变量能源效率由公式(5)计算得到,解释变量 OFDI 逆向技术溢出由公式(6)计算得到,其他控制变量及解释变量、被解释变量计算过程中所涉及的数据,均取自《中国能源统计年鉴》(2003—2017)、《中国统计年鉴》(2003—2017)、《各省统计年鉴》(2003—2017)、《中国对外投资公报》(2002—2016)等。具体如下表 1 所示。

五、实证结果分析

(一) 省际能源效率测算结果及时空分布

通过计算机编程,根据表 1 的指标,运用公式(3)、公式(4)、公式(5)计算得到 2002—2016 年中国 30 个(非全部)省(直辖市、自治区)碳排放约束下的能源效率值,运用 Arcgis 空间地理分析软件,分别选取 2002 年、2009 年和 2016 年省际能源效率值,绘制矢量地图如图 2 所示。

表 1 变量选取及数据来源

模型	指标	说明	来源
博弈交叉 DEA 模型	产出	经济产出 二氧化碳	地区生产总值(亿元,2002 年为基期) 能源消耗带来的碳排放(万吨)
	投入	劳动力	上年年末从业人口+本年年末从业人口/2(万人)
		能源 资本	地区能源消费总量(万吨标准煤) 地区资本存量(亿元,2002 年为基期)
动态面板 GMM 模型	被解释变量	能源效率	博弈交叉 DEA 效率模型计算得到
	解释变量	OFDI 逆向技术溢出	对外直接投资获得当地研发资本存量
	控制变量	技术水平	发明专利申请数
		产业结构	第三产业于第二产业增加值比
		能源结构	煤炭消费量占能源消费总量的比重
		城镇化水平	城镇人口占总人口比重
		人力资本	初中以上受教育人数与总人口加权比重
对外开放度		进出口货物总额/国内生产总值	
外商直接投资	外商直接投资实际利用金额		

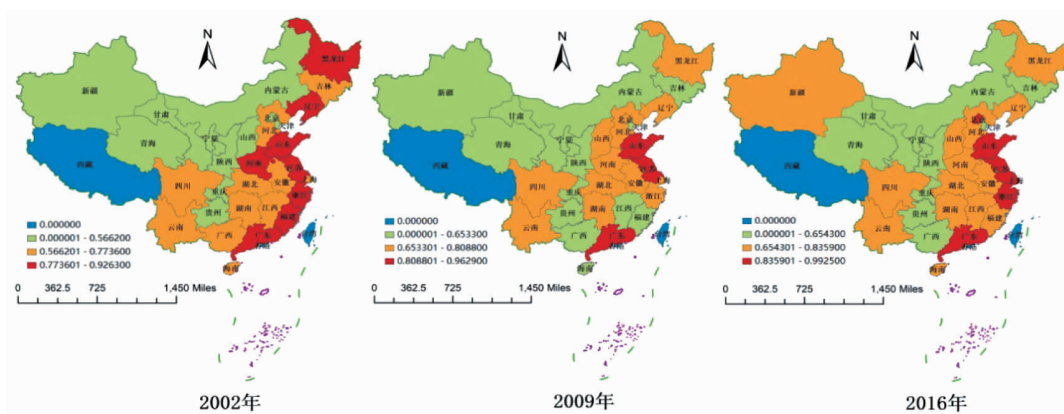


图 2 各省区能源效率分布图

从图 2 的结果可以看出,2002 年中国省际能源效率的空间分布较为均衡,高效率地区主要集中在东部沿海省份以及东北地区的辽宁和黑龙江等 9 省市;中等能源效率主要集中在中部地区以及东部地区的北京、天津、河北、海南和西部地区的四川、云南等 12 省市;而低能源效率地区主要集中在西部地区以及中部地区的内蒙古、山西等 9 省市。不难发现,2002 年前后,各省区的能源效率与地区经济发展水平具有明显的空间对应性。从 2009 年的能源效率空间分布图可以看出,中国省际能源效率的分布特征发生了根本性变化,高效率地区与 2002 年相比更为显著,主要集中在广东、山东、江苏和上海 4 省市;中等能源效率地区由原来的 12 个增加到 13 个。究其主要原因,是本文的测算模型中考虑了决策单元间的竞争,2009 年前后,广东、山东、江苏和上海 4 省市的经济发展水平、产业结构、对外开放度等要素较其他省市的优势凸显,从而导致高效地区相对集中。从 2016 年省际能源效率的分布图可以看出,能源效率的演变呈现两大特征。第一,高效地区由集中逐步趋于均衡。与 2009 年相比,高效地区由 4 个增加为 6 个,京津冀地区的 3 个省市全部成为高效地区;第二,全国总体能源效率得到显著提升,新疆、福建和江西 3 省份由低能效地区转变为中等能效地区,全国高效和中等能效地区由 2009 年的 17 个增加为 21 个。究其主要原因是,2016 年前后,京津冀、长三角、珠三角地区的经济发展水平、科技创新能力、基础设施建设等优势显著,高效省份主要集中于此三个地区。

综上所述,2002—2016 年,中国省际能源效率的分布特征为“均衡—集中—相对均衡”。全国总体能源效率逐年显著提升,高效地区主要集中在东部地区,中部地区能源效率提升速度平稳,西部地区赶超势头强劲。

(二)OFDI 逆向技术溢出对区域能源效率的影响

为了检验各变量之间是否存在多重共线性问题,本文在进行估计之前先进行共线性检验,结果如表 2 所示。

从表 2 的结果可以看出,除了 FDI 与技术进步的相关系数超过 0.8 以外,其余变量间的相关系数都比较低,且方差膨胀因子远低于 10,只有 0.267,说明变量不存在多重共线性问题。

为了避免异方差随时间序列的影响,提高模型的拟合度,本文对变量进行单位根检验,避免“伪回归”导致的分析结果无效。本文采用 PP-Fisher、LLC、IPS 和 Hadri 四种方法对变量进行单位根检验,结果如表 3 所示。

表 2 变量相关矩阵

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
$\ln ee_{it}$	1								
$\ln f_{it}$	0.5237	1							
$\ln p_{it}$	0.5144	0.8275	1						
$\ln hr_{it}$	0.0972	0.2477	0.0863	1					
$\ln is_{it}$	0.1545	0.1178	0.1462	-0.4055	1				
$\ln ul_{it}$	0.1855	0.4322	0.4251	0.0968	0.1963	1			
$\ln es_{it}$	-0.3225	-0.1647	-0.2113	0.3602	-0.5571	-0.2774	1		
$\ln fdi_{it}$	0.5365	0.7103	0.8177	0.1388	0.0156	0.4255	-0.2303	1	
$\ln open_{it}$	0.3833	0.4476	0.5498	-0.2364	0.3999	0.4023	-0.5411	0.5604	1

从表 3 的结果可以看出,所有变量都通过了单位根检验,说明都是平稳变量。

本文分别运用系统 GMM 和差分 GMM 方法对模型进行估计,具体结果如表 4 所示。

表 4 的结果显示,从系数估计值上看,两个模型的估计结果相差并不大,但标准误的结果差异较大,系统 GMM 模型的标准误要显著低于差分 GMM 模型,因此,系统 GMM 模型的估计结果更准确。从自相关检验的结果看,变量在 5% 的显著水平上存在一阶自相关,但不存在二阶自相关。因此,模型的工具变量选择被解释变量的之后一期,变量 Sargan 检验结果的 P 值显示,所有 P 值都介于 0.9916 至 0.9995 之间,可以认为接受原假设:“所有工具变量均有效”。

从估计结果看,OFDI 逆向技术溢出对区域能源效率具有正向促进作用,其每增加 1% 将带来能源效率 0.0613% 的提升,其估计结果与预期相符。然而,OFDI 逆向技术溢出对能源效率的促进作用,远远低于能源效率滞后一期、产业结构升级和能源消费结构改善

对其产生的影响。究其主要原因是,首先,相对于内生要素而言,OFDI 逆向技术溢出作为一种外部性技术冲击,需要足够的技术积累以及吸收能力来承接。目前,中国大部分省份能源利用技术相对落后,人力资本、基础设施建设等吸收能力相对较弱。因此,很难将国外先进的能源利用技术引为己用,从而制约了 OFDI 逆向技术溢出对本区域能源效率的改善力度。其次,OFDI 去向是否合理也是制约其对区域能源效率改善的重要原因。中国东部地区虽然具有较高的人力资本水平,但是其技术水平与发达国家相比仍有很大差距。只有不断将人力资本优势转换为技术优势,才能缩小与投资国的技术差距,吸收其技术溢出,实现能源效率的改善。而从本文的估计结果看来,中国大部分省份忽略了 OFDI 去向合理性问题,盲目投资与本地区技术差距较大的国家或地区,无法充分吸收能源利用技术溢出,从而限制了 OFDI 逆向技术溢出应有的对能源效率的改善作用。

能源效率滞后一期对其自身有显著的促进作用,估计系数值达到 0.4357,在所有影响要素中,促进作用最显著。可以看出,能源效率变动具有一定的动态性和路径依赖性,即本期的能源效率变动值取决于往期能源效率变动情况。因此,针对中国各省市来说,全要素能源效率的优化是一个循序渐进、逐步累积的过程,各地区要结合自身情况进行长期规划,构建能源效率在时间维度下的正向互动循环机制。

在其他控制变量中,技术进步水平对区域能源效率有正向促进作用,其每增加 1% 将带来能源效率 0.0156% 的提升。人力资本水平对区域能源效率具有促进作用,但没有通过显著性检验。究其主要原因是:一方面,人力资本总量的增加会带来节能创新技术人才的增加,从而促进能源效率的提升;另一方面,人力资本总量的增加必然带来能源消费总量的提升,从而抵消了节能创新技术人才对能源效率的促进作用。产业结构对能源效率具有显著的促进作用,其增加 1% 将带来能源效率 0.1565% 的提升,此结论应该与本文选取的产业结构代理指标有关,因为第

表 3 单位根检验

变量	PP-Fishe 检验	LLC 检验	IPS 检验	Hadri 检验
$\ln ee_{it}$	364.608 *** (0.0000)	-6.594 *** (0.0000)	-2.586 *** (0.0000)	10.073 *** (0.0000)
$\ln f_{it}$	89.375 ** (0.0257)	-12.192 *** (0.0000)	-2.235 *** (0.0000)	3.141 *** (0.0008)
$\ln p_{it}$	383.189 *** (0.0000)	-14.053 *** (0.0000)	-2.114 *** (0.0000)	10.373 *** (0.0000)
$\ln hr_{it}$	654.227 *** (0.0000)	-6.598 *** (0.0000)	-2.175 *** (0.0000)	14.559 *** (0.0000)
$\ln is_{it}$	78.935 ** (0.0351)	-13.101 *** (0.0000)	-2.327 *** (0.0000)	6.633 *** (0.0000)
$\ln ul_{it}$	118.227 *** (0.0000)	-88.390 *** (0.0000)	-11.662 *** (0.0000)	7.478 *** (0.0000)
$\ln es_{it}$	98.307 *** (0.0009)	-9.988 *** (0.0000)	-2.018 *** (0.0000)	7.226 *** (0.0000)
$\ln fdi_{it}$	358.441 *** (0.0000)	-21.012 *** (0.0000)	-3.078 *** (0.0000)	9.496 *** (0.0000)
$\ln open_{it}$	76.354 * (0.05725)	-8.872 *** (0.0000)	-2.355 *** (0.0000)	2.022 ** (0.0217)

注:统计值下括号内为 P 值,***、**、* 分别表示 1%、5%、10% 显著水平下拒绝原假设。下同。

三产业对于能源的依赖和消耗程度要远远低于第二产业。城镇化水平的估计结果为负值,说明其对能源效率产生了反向抑制作用。该结论与目前大部分研究相悖,究其主要原因是,本文选取城镇人口占总人口的比重作为城镇化水平的代理指标,该指标更能反映出城镇化的水平和速度,并不能体现城镇化的质量。西部地区城镇化水平、速度激增带来对能源效率的抑制作用抵消了东部地区城镇化质量提升对能源效率的促进作用,最终整体呈现城镇化水平对能源效率的抑制作用,这就是以往学者提到的“回弹效应”。能源消费结构的估计系数也为负值,说明其每增加 1% 将带来能源效率 0.1581% 的下降,这个结论与本文选取的能源结构代理指标有关,本文选取煤炭在能源消费总量中的所占比作为能源结构的代理指标,因此该结论也可以理解为,能源结构的优化有利于能源效率的提升,与前文的预期相符。外商直接投资对能源效率有正向促进作用,其每增加 1% 将带来能源效率 0.0939% 的提升。对外开放对能源效率有促进作用,但没有通过显著性检验,其原因见前文分析,不再赘述。

表 4 模型估计结果

变量	FGLS 回归		差分 GMM 回归		系统 GMM 回归	
$\ln rf_{it}$	0.03289 *** (6.42)	0.03093 *** (4.27)	0.07256 *** (3.25)	0.08655 *** (3.10)	0.06133 *** (3.88)	0.06055 *** (3.75)
$\ln ec_{i,t-1}$			0.4491 *** (0.512)	0.4529 * (1.75)	0.4357 * (1.93)	0.4621 *** (3.42)
$\ln tp_{it}$	0.0192 *** (2.65)	0.0295 ** (2.08)	0.0315 *** (2.72)	0.0284 *** (2.93)	0.0156 *** (3.85)	0.0195 *** (3.44)
$\ln hr_{it}$	0.1333 * (1.92)	0.0636 (1.62)	0.0531 (0.84)	0.0384 (0.96)	0.0229 (0.91)	0.0301 (1.31)
$\ln is_{it}$	0.0268 *** (4.41)	0.0201 *** (5.14)	0.1231 ** (2.12)	0.1368 *** (3.04)	0.1565 *** (4.22)	0.1626 *** (3.11)
$\ln ul_{it}$	-0.0922 ** (-2.09)		-0.051 *** (-3.96)		-0.0545 *** (-3.78)	
$\ln es_{it}$	-0.1893 *** (-3.11)	-0.1611 *** (-3.62)	-0.1332 *** (-5.34)	-0.1212 *** (-4.56)	-0.1581 *** (-3.01)	-0.1422 *** (-4.76)
$\ln fdi_{it}$	0.0603 *** (5.05)		0.1129 ** (2.21)		0.0939 *** (4.27)	
$\ln open_{it}$	0.0156 (0.62)		0.0369 (0.50)		0.0211 (0.11)	
常数项	0.1162 (0.32)	0.0425 (0.20)	0.6291 (0.97)	0.8898 (0.47)	0.5176 (0.19)	1.2901 (0.79)
联合显著 Wald 检验	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
一阶自相关检验 (Z 统计量)			-3.6285 (0.0002)	-2.0623 (0.0401)	-1.8876 (0.0074)	-2.639 (0.0078)
二阶自相关检验 (Z 统计量)			-0.1952 (0.7344)	-0.5725 (0.5677)	-0.2609 (0.7945)	-0.3795 (0.7233)
Sargan 检验 (P 值)			24.7765 (0.9916)	24.2115 (0.9941)	24.2041 (0.9998)	24.9622 (0.9995)

六、结论与政策启示

本文采用 2002—2016 年中国 30 个省(直辖市、自治区)的面板数据,构建 DEA 博弈交叉效率模型并测算了各省市能源效率的现状。采用动态面板 GMM 模型分析了 OFDI 逆向技术溢出与区域能源效率之间的动态关系,研究结论如下:(1)样本期内,中国总体能源效率水平偏低,且呈现“均衡-聚焦-相对均衡”的时空分布趋势;(2)OFDI 逆向技术溢出对区域能源效率具有显著的正向促进作用,但其对能源效率的改善力度远远低于能源效率自身、产业结构优化和能源结构优化;(3)控制变量中,技术进步、产业结构优化、能源结构优化、外商直接投资对能源效率具有正向促进作用,城镇化水平对能源效率具有负向抑制作用,人力资本水平与对外开放度对能源效率具有正向促进作用,但不显著。

基于以上研究结论,本文提出几点政策启示:第一,加大能源利用技术研发投入的力度,努力缩小与发达国家的技术差距,提升识别、接触、获取 OFDI 技术溢出的能力。第二,继续加大人才培养的财政支出比例,同时,加强人才引进和留住人才的力度。第三,促进区域间人力资本与技术差距协同。不同省份之间形成各具特色、优势互补的协同发展格局。吸收能力较弱的省份应该向吸收能力强的省份借鉴、学习提升人力资本和技术水平的经验,不断缩小区域间的人力资本和技术差距。第四,多策并举,改善能源效率。提升 OFDI 逆向技术溢出承接力和吸收能力的同时,不能忽略地区经济发展水平、产业结构、能源消费结构、城镇化水平、对外开放度等因素对能源效率的影响。总之,能源效率提升是一个长期动态的过程,应当循序渐进,多策并举,加以推进。

参考文献:

- [1] 林伯强,李江龙. 环境治理约束下的中国能源机构转变——基于煤炭和二氧化碳峰值的分析[J]. 中国社会科学,2015(9):84-107.
[2] 史丹. 中国经济增长过程中能源利用效率的改进[J]. 经济研究,2002(9):49-56.

- [3] Fisher-vanden K, Jefferson G H, Ma J, et al. Technology development and energy productivity in China[J]. Energy Economics, 2006, 28(5): 690-705.
- [4] 蒋金荷. 提高能源效率与经济结构调整的策略分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2004(10): 16-23.
- [5] 史丹. 中国能源效率的地区差异与节能潜力分析[J]. 中国工业经济, 2006(10): 49-58.
- [6] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [7] 师博, 沈坤荣. 政府干预、经济聚集与能源效率[J]. 管理世界, 2013(10): 6-18.
- [8] 于斌斌. 产业结构调整如何提高地区能源效率? ——基于幅度与质量双维度的实证考察[J]. 财经研究, 2017(1): 86-97.
- [9] 陈星星. 非期望产出下我国能源消耗产出效率差异研究[J]. 中国管理科学, 2019(8): 191-198.
- [10] 江洪, 赵宝福. 碳排放约束下能源效率与产业结构解构、空间分布及耦合分析[J]. 资源科学, 2015(1): 152-162.
- [11] 吴江, 谭涛, 杨珂, 杨君. 中国全要素能源效率评价研究——基于不可分的三阶段 DEA 模型[J]. 数理统计与管理, 2019(3): 418-432.
- [12] Kogut B, Chang S J. Technological capabilities and Japanese foreign direct investment in the United States[J]. Review of Economics & Statistics, 1991, 73(3): 401-413.
- [13] Head C K, Ries J C, Swenson D L. Attracting foreign manufacturing: Investment promotion and agglomeration[J]. Regional Science & Urban Economics, 2004, 29(2): 197-218.
- [14] Lichtenberg F. Does foreign direct investment transfer technology across borders? [J]. Review of Economics & Statistics, 2001, 83(3): 490-497.
- [15] Chen V Z, Li Jing, Shapiro D M. International reverse spillover effects on parent firms: Evidences from emerging-market MNEs in developed markets[J]. European Management Journal, 2012, 30(3): 204-218.
- [16] Yuan Xianping, Zhang Yuanyuan. OFDI reverse technology spillovers of western China[J]. Open Journal of Social Sciences, 2018, 6(2): 62-70.
- [17] Jiang Hang, Hui Yi-Chun, Lin Jan-Yan, et al. Analyzing China's OFDI using a novel multivariate grey prediction model with Fourier series[J]. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 2019, 12(3): 352-371.
- [18] 杨连星, 罗玉辉. 中国对外直接投资与全球价值链升级[J]. 数量经济技术经济研究, 2017(6): 54-70.
- [19] 杜龙政, 林伟芬. 中国“一带一路”沿线直接投资的产能合作效应研究——基于24个新兴国家、发展中国家的数据[J]. 数量经济技术经济研究, 2018(12): 3-21.
- [20] Siotis G. Foreign direct investment strategies and firms' capabilities[J]. Journal of Economics & Management Strategy, 1999, 8(2): 251-270.
- [21] 李平, 史亚茹. 知识产权保护对 OFDI 逆向技术溢出的影响[J]. 世界经济研究, 2019(2): 99-110+137.
- [22] Witajewski-Baltvilks J, Verdolini E, Tavoni M. Directed technological change and energy efficiency improvements[R]. Fondazione Eni Enrico Mattei, working paper No. 2015. 78, 2015.
- [23] 韩玉军, 王丽. OFDI 逆向技术溢出对中国能源效率的影响[J]. 经济问题, 2016(3): 95-101.
- [24] 陶长琪, 王慧芳. OFDI 逆向技术溢出对长三角地区全要素能源效率的影响[J]. 研究与发展管理, 2018(3): 100-110.
- [25] 沈能, 赵增耀. 空间异质性假定下 OFDI 逆向技术溢出的门槛效应[J]. 科研管理, 2013(12): 1-7.
- [26] Glass A J, Saggi K. International technology transfer and the technology gap[J]. Journal of Development Economics, 1998, 55(2): 369-398.
- [27] Liang L, Wu J, Cook W D, et al. DEA game cross efficiency model and its Nash equilibrium[J]. Operations Research, 2008, 56(5): 1278-1288.

[责任编辑: 杨志辉]

Could the OFDI Reverse Technology Spillovers Improve the Energy Efficiency of China

JIANG Hong^{1,2}, JI Chengjun¹

(1. College of Business Administration,

2. Institute of Management Science and Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In this paper, we first examine the impact of OFDI reverse technology spillover on China's energy efficiency from both theoretical and empirical perspectives, and based on the panel data of 30 provinces (municipalities directly under the Central Government and autonomous regions) in China from 2002 to 2016, we used the DEA game cross-efficiency model to calculate the energy efficiency of 30 provinces (municipalities directly under the Central Government and autonomous regions) under the carbon emission constraints, then, we use the dynamic panel GMM model to analyze the dynamic relationship between the OFDI reverse technology spillover and the regional energy efficiency by selecting 7 kinds of control variables, such as technological progress and industrial structure. The results show that: OFDI reverse technology spillover had a positive effect on regional energy efficiency, and its increase of 1% would bring 0.0613% improvement of energy efficiency. Among other control variables, technological progress, industrial structure optimization, energy structure optimization and foreign direct investment play a positive role in energy efficiency, the level of urbanization had a negative effect on energy efficiency, the level of human capital and the degree of opening to the outside world had a no significant positive effect on energy efficiency. The above findings provide empirical evidence for the formulation of regional energy saving and emission reduction policies under the background of "one belt and one road".

Key Words: reverse technology spillovers; energy efficiency; DEA game cross-efficiency model; dynamic panel GMM method