

FDI、环境规制与中国的碳排放强度

——基于门槛面板模型的实证

邓荣荣,张翔祥¹

(南华大学 经济管理与法学学院,湖南 衡阳 421001)

[摘要] 基于我国1999—2016年30个省市自治区的平衡面板数据,构建联立方程模型探究FDI对我国碳排放强度的影响机制和作用方向,并采用门槛面板模型研究FDI对碳排放强度的影响是否具有基于环境规制的门槛效应。结果表明,FDI通过规模效应渠道增加了我国的碳排放强度,但能通过结构效应、技术效应和环境规制效应降低我国的碳排放强度。以环境规制作为门槛变量时,发现FDI对我国区域碳排放强度的影响具有双门槛效应,环境规制程度较低或者过高时,FDI的流入会不利于地区的碳减排;环境规制强度适当时,FDI会对地区的碳减排产生有利影响。在目前的环境规制强度下,FDI的流入降低了我国大部分地区的碳排放强度。

[关键词] FDI; 环境规制; 碳排放强度; 门槛效应

[中图分类号] F124.5;F224 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2020)04-0061-08

DOI:10.13967/j.cnki.nhxb.2020.0063

2016年《巴黎协定》的签订为全球各国提供了新的应对气候变化的行动纲领,作为世界上最大的温室气体排放国,中国为《巴黎协定》的通过做出了巨大贡献,提出了自主减排承诺:到2030年左右中国的二氧化碳排放量达到峰值,且单位GDP产生的二氧化碳排放量(碳排放强度)较2005年下降60%~65%。这对尚处于经济快速发展并引致能源需求不断上升的中国而言是一场严峻的挑战。同时,在以贸易自由化和投资自由化为特征的经济全球化趋势下,我国积极引进外来投资作为本国经济增长的源动力。现有研究表明,持续注入的外商投资能通过资本形成、技术提升、管理优化等途径促进中国外贸的发展和本土企业技术与管理水平提升,但在中国温室气体排放量逐年递增和环境质量持续下降的背景下,外资进入引起的环境污染问题也成为近年来学术界关注的焦点。我国在《巴黎协定》中设定的碳排放强度减排目标旨在以较低的能耗和碳排放水平来获得更多的产值,这一目标与近年来我国提出的“绿色发展”理念高度契合。十八大以来,中国的环境规制力度逐渐加大,以环境保护和节

能减排为目的的政策和措施不断出台。那么,FDI对我国各地区碳排放强度产生了怎样的影响效应?其作用机制如何?在不同程度的环境规制强度下,FDI对碳排放强度的影响方向是否会有变化?上述问题的回答对客观认识我国引进外资的生态利益得失,完善招商引资方向和环保政策具有重要的理论与现实意义。

一 文献综述

近年来,随着国际社会对碳排放的广泛关注,FDI对一国碳排放的影响成为学术界研究的焦点议题之一。现有文献大多从三个角度对东道国FDI与碳排放的关系进行研究。第一,FDI促进了东道国的碳排放增加,产生“污染避难所”效应。例如,牛海霞和胡佳雨(2011)基于中国28个省市面板数据的实证研究结果表明,FDI与我国碳排放规模正相关,且导致人均CO₂排放量的增加^[1];Ren S et al.(2014)基于产业面板数据,采用投入产出法和两步GMM估计方法检验FDI对中国CO₂排放的影响,研究结果表明,FDI的大量流入加剧了中国的CO₂

[收稿日期] 2020-05-14

[基金项目] 湖南省自然科学基金青年项目“湖南省碳排放增长的驱动路径分解、关键路径识别及减排政策优化研究”资助(编号:2019JJ50512);2020年度湖南省社会科学成果评审委员会项目“中美经贸摩擦下湖南粮食安全风险聚焦及规避机制研究”资助(编号:XSP20YBZ193)

[作者简介] 邓荣荣(1981—),女,湖南衡阳人,南华大学经济管理与法学学院副教授,博士。

¹ 南华大学经济管理与法学学院硕士研究生。

排放量^[2];Zhang Y et al. (2018)将 FDI 效应纳入美国碳排放函数,实证结果证实 FDI 的增加是通过增加碳排放而阻碍了美国环境质量的提升^[3];王少剑和黄永源(2019)采用面板分位数回归方法,对1992—2013年283个城市碳排放强度的空间溢出效应和驱动因素进行了分析,发现 FDI 和交通排放是增加碳排放强度的主要因素^[4]。第二,FDI 抑制了东道国的碳排放。该观点的支持者认为发达国家在东道国的投资产生了减排技术的外溢,产生“污染光环”效应。例如, Frankel J A 和 Rose A K (2011)的研究表明,FDI 流入可以带动东道国企业实现清洁生产,进而降低温室气体排放,改善东道国环境质量^[5];Elliott R J R et al. (2013)基于2005—2008年中国地市面板数据实证分析了 FDI 与能源强度的关系,发现 FDI 流入与能源强度之间存在显著的负相关,这对流入地的碳减排有利^[6];周杰琦和汪同三(2017)采用弹性分析法测算了 FDI 对我国碳排放绩效的总效应和分效应,结果表明 FDI 改善了我国的碳排放绩效^[7]。第三,FDI 通过不同的渠道对碳排放产生了不同的影响。Grossman 和 Krueger (1995)将经济增长对一国生态环境的影响分解为生产规模、产业结构和技术进步三种效应^[8],现有研究大多遵循这一框架探究 FDI 对环境的影响效应。例如,He J (2006)基于中国29个省份工业 SO₂ 排放面板数据的实证研究结果表明,外商直接投资通过规模效应和结构效应导致 SO₂ 的排放增加,以此来抵消通过技术效应和加强环境规制导致的减排结果,故 FDI 对工业 SO₂ 排放的整体影响较小^[9];张宇和蒋殿春(2014)从产业结构、总体和技术进步三个方面实证研究了 FDI 和政府监管对水污染的影响,结果显示,FDI 在引起产业结构向污染性行业转移的同时没有产生显著的技术促进效应,总体上对我国的环境状况产生了负面影响^[10];周杰琦等(2019)构建联立方程模型实证分析了 FDI 对雾霾污染的影响,结果表明,FDI 通过产业结构渠道加剧雾霾污染,但可通过环境技术与经济发展渠道降低雾霾污染^[11]。随着研究的持续深入,一些学者认为基于线性关系研究 FDI 对碳排放的影响效应具有一定的局限性,即二者可能由于“门槛效应”的存在而产生非线性关系^[12],少量研究开始关注 FDI 对碳排放影响的门槛条件。例如, Song 和 Woo (2008)^[13]的研究结果表明,当东道国收入较低时,FDI 对环境的负面影响可能较大,收入水平达到一定门槛条件时将抑制其对环境的负面影响;李子豪

(2015)^[14]、郑强等(2017)^[15]、黄杰(2017)^[16]、王晓航(2019)^[17]等学者利用门槛面板模型探索了 FDI 对我国环境的影响,发现 FDI 对中国环境污染的影响存在经济发展、环境规制、人力资本、金融发展、对外开放等变量的门槛效应,当越过相应门槛时,FDI 将会改善东道国的环境污染状况。

综合而言,现有的研究在方法上大多借助单方程模型来检验 FDI 的碳排放效应,但 FDI 对碳排放或碳排放强度的影响往往通过一些中介变量来实现,单方程回归难以刻画 FDI 和碳排放强度之间错综复杂的影响渠道和反馈机制,也容易忽略变量之间互为因果而产生的内生性问题。此外,现有研究大多基于线性关系分析 FDI 与碳排放的关系,忽略了二者间由于“门槛效应”的存在而导致非线性关系的存在,在现有研究 FDI 与碳排放的“门槛效应”的相关文献中,从环境规制视角研究 FDI 对碳排放强度“门槛效应”的文献较少。因此,我们基于我国1999—2016年30个省市(除港澳台、西藏外)的平衡面板数据,构建联立方程模型来探究 FDI 对我国碳排放强度的影响机制和作用方向。此外,采用门槛面板模型研究 FDI 对碳排放强度的影响是否具有基于环境规制的门槛效应,并对该“门槛效应”及相应门槛值进行实证检验和估计,以期在招商引资、环境规制政策等方面提出建议。

二 实证模型、变量与数据

(一)碳排放强度的计算及因素分解

本文核心的被解释变量为碳排放强度,通过计算碳排放总量与地区生产总值的比值得到,即 $CI = Tc/GDP$ 。二氧化碳排放总量的计算公式如式(1)所示:

$$Tc_i = \sum_{j=1}^8 E_{ij} \lambda_j \quad (1)$$

式(1)中,下标 j 表示煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气等8种主要能源; E_{ij} 表示 i 地区对第 j 类能源的消耗总量; λ_j 表示第 j 种能源的碳排放系数, λ_j 的计算公式如式(2)所示:

$$\lambda_j = NCV_j \times CEF_j \times COF_j \times (44/12) \quad (2)$$

式(2)中, NCV 为2007年《中国能源统计年鉴》提供的各类能源的平均低位发热量,单位为千焦/千克或千焦/立方米; CEF 为 IPCC (2006)提供的各类能源的缺省排放因子,单位为千克/10⁶千焦; COF 是碳氧化因子(依据 IPCC 的建议取值为1);44和12分别为二氧化碳和碳的分子量,44/12

即为将碳转化为二氧化碳的系数。

进一步,对碳排放强度的影响因素进行因式分解,如式(3)所示:

$$\begin{aligned} CI &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^8 \frac{Tc_{ij}}{GDP} \\ &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^8 \frac{Tc_{ij}}{E_{ij}} \times \frac{E_{ij}}{E_i} \times \frac{E_i}{GDP_i} \times \frac{GDP_i}{GDP} \\ &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^8 \lambda_j Es_j Ee_i Is_i \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中, CI 为碳排放强度; Tc_{ij} 表示第*i*产业第*j*种能源的二氧化碳排放量; λ_j 表示消耗单位第*j*种能源的二氧化碳排放量,即碳排放系数; Es_j 为第*i*产业第*j*种能源消耗量占总一次能源消耗量的比重,即能源结构; Ee_i 为第*i*产业单位GDP所消耗的能源,即能源效率; Is_i 为第*i*产业产值占GDP的比重,即产业结构。式(3)的分解结果显示,决定碳排放强度的直接因素为能源碳排放系数、能源结构、产业结构和能源效率。鉴于能源碳排放系数在短期相对固定,且煤炭在中国为最丰富且廉价的能源,受能源需求及要素禀赋的制约,未来中国的主要能源消耗种类仍将是煤炭资源,能源碳排放系数与能源结构两因素变化的节能减排空间相对有限,因此,产业结构和能源效率的改进对中国碳排放强度的影响为本文关注的重点。此外,能源效率的改进主要通过技术进步实现,故本文研究产业结构和技术进步对碳排放强度的影响效应。

(二)联立方程模型设定

由于普通的单方程模型并不能反映各变量复杂的影响机制,变量间的互相影响也会造成内生性问题,因此本文建立联立方程模型来解决上述问题。模型设定如下:

$$\ln Ci_{it} = \alpha_{10} + \alpha_{11} \ln PGDP_{it} + \alpha_{12} (\ln PGDP_{it})^2 + \alpha_{13} \ln Is_{it} + \alpha_{14} \ln Tec_{it} + \alpha_{15} \ln Reg_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln PGDP_{it} = \alpha_{20} + \alpha_{21} \ln Pk_{it} + \alpha_{22} \ln Pc_{it} + \alpha_{23} \ln FDI_{it} + \mu_{it} \quad (5)$$

$$\ln Is_{it} = \alpha_{30} + \alpha_{31} \ln PGDP_{it} + \alpha_{32} \ln FDI_{it} + \alpha_{33} \ln Reg_{it} + \alpha_{34} \ln Eg_{it} + \varphi_{it} \quad (6)$$

$$\ln Tec_{it} = \alpha_{40} + \alpha_{41} \ln PGDP_{it} + \alpha_{42} \ln FDI_{it} + \alpha_{43} \ln Reg_{it} + \alpha_{44} \ln Rd_{it} + \varphi_{it} \quad (7)$$

$$\ln Reg_{it} = \alpha_{50} + \alpha_{51} \ln PGDP_{it} + \alpha_{52} \ln CI_{it} + \alpha_{53} \ln Is_{it} + \alpha_{54} \ln FDI_{it} + \alpha_{55} \ln Nreg_{it} + \gamma_{it} \quad (8)$$

$$\ln FDI_{it} = \alpha_{60} + \ln PGDP_{it-1} + \alpha_{62} \ln Reg_{it-1} + \alpha_{63} \ln Mar_{it} + \alpha_{64} Open_{it} + v_{it} \quad (9)$$

式(4)至式(9)中, i 表示省份, t 表示年份, α 为

截距参数和斜率参数, ε 、 μ 、 φ 、 γ 和 v 为随机误差项。

式(4)是碳排放强度(CI)的决定方程,解释变量为人均收入水平($PGDP$)、产业结构(Is)、技术创新能力(Tec),同时引入人均收入水平的二次项检验“环境库兹涅茨曲线”(EKC)是否存在。

式(5)是经济增长方程,被解释变量为人均收入水平($PGDP$),以检验FDI通过影响地区经济增长水平对碳排放强度造成的影响。根据内生经济增长理论,人均产出的增加来源于资本的积累和技术进步,在模型中引入了人均资本存量(Pk),技术进步是内生的,考虑到FDI的技术外溢和环境效率会影响生产率,我们在模型中引入了外资依存度(FDI)和人均碳排放量(Pc)。

式(6)是产业结构方程,用来检验FDI和环境规制对东道国产业结构的影响。被解释变量为东道国的产业结构(Is),解释变量包括人均国内生产总值($PGDP$)、外资依存度(FDI)、环境规制强度(Reg)和能源禀赋(Eg)。

式(7)是技术创新方程,主要考察FDI和环境规制对技术创新能力的影响。被解释变量为技术创新能力(Tec),主要解释变量为外资依存度(FDI)、环境规制强度(Reg)和人均国内生产总值($PGDP$),除此之外,我们还引入了研发投入(Rd)。

式(8)是环境规制的决定方程,根据前文的分析,制约政府环境规制决策的因素主要是地区经济发展水平、产业结构、能源要素禀赋和FDI,所以相对应,我们选择被解释变量为环境规制强度(Reg);解释变量为人均国内生产总值($PGDP$)、产业结构(Is)、外资依存度(FDI)和相邻地区环境规制强度($Nreg$)。由于碳排放对于环境规制具有倒逼效应,因此我们还引入了碳排放强度(CI)作为解释变量

式(9)是外商直接投资方程,被解释变量为外资依存度(FDI),解释变量除了人均国内生产总值($PGDP$)和环境规制强度(Reg)外,我们还引入了市场化程度(Mar)、对外开放程度($Open$)。由于外商直接投资具有明显的滞后特征,所以我们引入了人均国内生产总值($PGDP$)和规制强度(Reg)的滞后项来解释现期的外资情况。

(三)门槛面板模型

根据联立方程模型可知,FDI通过产业结构、减排技术、经济发展水平三种渠道对一国碳排放强度产生影响。理论上,FDI这三种效应的发挥一定程度上取决于政府的环境规制强度,那么,环境规制是

否构成 FDI 影响中国碳排放强度的“门槛条件”? FDI 的对碳排放强度的总效应如何,是否会因为环境规制强度不同而存在区间效应?为研究这些问题,我们基于联立方程组中碳排放强度的决定式设定如下门槛模型:

$$\ln Ci = \beta_0 + \beta_1 \ln PGDP_{it} + \beta_2 (\ln PGDP_{it})^2 + \beta_3 \ln Is_{it} + \beta_4 \ln Tec_{it} + \beta_5 \ln Reg_{it} + \beta_6 \ln FDI_{it} * I(thr \leq \gamma) + \beta_7 \ln FDI_{it} * I(thr > \gamma) + u_i + \varphi_{it} \quad (10)$$

其中, i 表示省份, t 表示年份; β 为截距参数或斜率参数; u_i 为不随时间变化的个体效应,如地域文化、地理优势等; $I(\cdot)$ 为指示函数,取值为1或0; thr 为门槛变量; γ 为门槛值,由数据本身决定。对此模型的估计分为两步:第一,估计门槛值以及核心解释变量的参数估计值,这一步主要通过假定门槛条件下最小化残差平方和得到。第二,对门槛效果的检验和对门槛估计值是否真实的检验。

第一步是门槛值的估计,主要通过逐步提高或降低假定门槛值,进行最小二乘回归,残差平方和 $S_1(\hat{\gamma})$ 最小时的门槛值 $\hat{\gamma}$ 即为我们需要的门槛值。假设存在双重门槛,那么需要在确定第一个门槛值后,按相同方法寻找第二个门槛值,然后固定第二个门槛值,再次估计第一个门槛值,直到两个门槛值较为稳定为止。

第二步为检验,门槛效果检验的原假设为无门槛 ($H_0: \beta_1 = \beta_2$), 检验统计量为:

$$F_1 = (S_0 - S_1(\hat{\gamma})) / \hat{\sigma}^2 \quad (11)$$

S_0 为在原假设下得到的残差平方和, $S_1(\hat{\gamma})$ 为根据门槛估计值分组估计后的残差平方和。统计量的分布是非标准的。根据 Hansen 的建议,采用“自抽样法”(Bootstrap)来获得其渐进分布,构造其 P 值。门槛值是否真实检验的原假设为 $H_0: \hat{\gamma} = \gamma_0$ 。构造似然比统计量:

$$LR_1(\gamma) = \frac{S_1(\gamma) - S_1(\hat{\gamma})}{\hat{\delta}^2} \quad (12)$$

该统计量也是非标准分布的, Hansen 计算出了拒绝区间。显著性水平为 α 时, $LR_1(\gamma) \leq C(\alpha) = -2\ln[1 - \sqrt{1 - \alpha}]$, 则不能拒绝原假设。以上是单个门槛的检验,若有多个门槛,可依次进行检验。

(四) 指标构建与数据来源

1. 外资依存度(FDI)。由于存量指标能够更加合理地反映外资对经济发展、产业结构、减排技术、环境规制的影响,本文选择采用(FDI)存量指标,采用永续盘存法进行测算,资本折旧率借鉴张军和章

元(2004)的测算结果,取值为9.6%,初始值取1999年资本流量作为存量^[18]。将外资存量与地区生产总值的比值作为当年该地区的外资依存度。

2. 环境规制强度(Reg)。采用各地区污染治理完成投资占当年GDP的比重来表示环境规制强度。

3. 产业结构(Is)。采用第二产业增加值占GDP的比重来表示。

4. 技术创新能力(Tec)。借鉴白俊红和蒋伏心(2015)的做法,对发明专利、实用新型、外观专利授权数分别附加权重0.5、0.3、0.2进行加总来表示某一地区的技术创新能力^[19]。

5. 人均国民生产总值(PGDP)。先将该地区的GDP平减指数平减至1999年,以此来计算其实际值,再除以当地总人口数得到人均GDP。

6. 人均资本存量(Pk)。资本存量的计算方法与外资存量相同,本文选取1999年资本量作为初始资本存量。计算每年的资本存量,再除以该地区的当年总人口数。

7. 能源禀赋(Eg)。以各地区人均一次能源生产量来表示。鉴于数据的可得性我们选取了焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气7种能源产量折算成标准煤求和得到该地区能源产量水平。

8. 研发投入(Rd)。以各地区研究与试验发展(R&D)资金与从事科技活动人员的比重来表示。

9. 相邻地区环境规制强度(Nreg)。采用接壤地区环境规制强度的平均值来表示。

10. 市场化程度(Mar)。本文借鉴樊纲(2011)等测算的市场化指数来表示市场化程度^[20]。

11. 对外开放度(Open)。以各地区进出口货物总额与GDP的比值来表示。

12. 人均碳排放(Pc)。碳排放量与各地常住人口之比。

鉴于数据的可得性,本文选取1999—2016年除港澳台以及西藏外其他30个省、直辖市、自治区的平衡面板数据。原始数据来源于各年份《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各省市的统计年鉴。

三 实证结果与分析

(一) 联立方程组的估计与分析

本文建立联立方程模型来解释各变量之间的关系,为解决内生性问题,采用3SLS(三阶段最小二乘法)进行估计,该方法既可以解决变量之间的内生性问题,也能解决序列相关问题,比2SLS方法更有

效。估计结果如表1所示。

表1 联立方程组估计结果

自变量	因变量					
	(4) <i>ln_{ci}</i>	(5) <i>lnpgdp</i>	(6) <i>ln_{is}</i>	(7) <i>ln_{tec}</i>	(8) <i>ln_{reg}</i>	(9) <i>ln_{fdi}</i>
<i>lnpgdp</i>	0.416*** (0.08)		0.164***	0.266** (0.11)	-0.256*** (0.05)	
(<i>lnpgdp</i>) ²	0.438*** (0.06)					
<i>ln_{is}</i>	4.368*** (0.30)				2.210*** (0.17)	
<i>ln_{tec}</i>	-0.612*** (0.04)					
<i>ln_{reg}</i>	-0.153** (0.07)		0.208*** (0.02)	-0.342*** (0.10)		
<i>ln_{pk}</i>		0.231*** (0.02)				
<i>ln_{pc}</i>		0.186*** (0.04)				
<i>ln_{fdi}</i>		0.956*** (0.10)	-0.119*** (0.04)	2.862*** (0.25)	0.528*** (0.15)	
<i>ln_{eg}</i>			-0.020*** (0.01)			
<i>ln_{rd}</i>				0.788*** (0.06)		
<i>ln_{ci}</i>					0.553*** (0.05)	
<i>ln_{nreg}</i>					0.230*** (0.04)	
L. <i>lnpgdp</i>						0.197*** (0.04)
L. <i>ln_{reg}</i>						-0.0387* (0.02)
<i>ln_{mar}</i>						0.512*** (0.06)
<i>ln_{open}</i>						0.0337** (0.02)
Constant	8.608*** (0.40)	0.0634 (0.06)	0.461*** (0.11)	4.605*** (0.71)	-3.901*** (0.35)	-1.514*** (0.17)
R-squared	-0.635	-0.044	-0.145	-0.540	0.096	-0.072

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。括号中为标准误差

方程(4)的结果显示,经济的增长加剧了碳排放强度的提升,而 $\ln PGDP$ 的二次项系数为正,表明1999—2016年碳排放强度与地区发展水平并未出现倒“U”型特征,在此期间我国依靠逐步发展工业经济推动国民经济发展,产业结构并未实现转型,环境规制也相对放松,所以环境库兹涅茨曲线下下降的部分并未在我国实现。 $\ln I_s$ 的系数为正,说明第二产业增加值占生产总值比例越高,碳排放强度越高。 $\ln Tec$ 的系数为负,说明技术的发展会对地区的碳减排产生有利影响。 $\ln Reg$ 系数为负,说明环境规制有效地阻止了碳排放强度的提高。

方程(5)、(6)分别刻画了FDI通过影响经济发展对碳排放强度产生的规模效应、结构效应。通过方程(5)的估计结果可以得出FDI通过促进经济增长引起碳排放强度提升的结论,外商直接投资的进入刺激地方经济发展的同时也对地方碳减排产生了不利的影响,从方程(6)的结果来看,FDI引起第

二产业占比的下降,这说明FDI并没有流入高能耗行业集中的第二产业,而是能通过产业关联效应促进产业结构向低能耗低排放的反向转移,对地区碳减排产生了正向的促进作用,因此“污染避难所”的情况并未发生。我们注意到环境规制的系数为正,这说明环境规制并未对产业结构升级产生促进作用,根据以往文献,我们推测其原因可能在于:环境规制产生产业结构升级促进作用需要达到一定的门槛,在此期间,地方可能并未到达一定的门槛,导致对产业结构升级的作用不明显。

方程(7)显示了各种因素对技术变化的影响。人均GDP、FDI和R&D的系数为正,表明三者可以带动技术的进步,从效果来看FDI对技术进步的贡献效果是非常明显的。而环境规制的系数为负,这说明环境规制的“倒逼减排”并没有实现,或许产生了另一种现象“绿色悖论”:当政府提高能源政策强度时,化石燃料供应方对未来行情预期变差,于是在

当期市场大量投入化石燃料,市场会导致供应激增,价格下降,企业会大量购买化石燃料,势必会挤占技术资金和研发投入。

方程(8)分析了各种因素对环境规制强度的制约。其中,lnPGDP的系数为负,表明研究期内经济发展水平和环境规制呈现反方向变动的情况,其原因可能在于“十五”到“十三五”期间,尽管中国环境保护的政策力度加大,但在宏观经济高速发展趋势下,各地政府对经济增长具有乐观的预期,认为地区经济发展有很大的后发优势和潜力,环境政策的“非完全执行”在地区层面是普遍存在的现象^[21]。lnFDI的系数为正,表明外资的流入给地方环境带来了一定的压力。lnCi的系数为正,说明碳排放强度的增加会引起地方政府采取相应的环境保护措施,“绿色发展”对各地方政府提出新的要求,力求控制甚至减少碳排放强度,实现经济高质量发展。此外,邻近地区与本地的环境规制呈正相关,这说明地区间可能存在着示范效应。

方程(9)主要解释了各种因素对FDI流入的影响,可以看出上一期环境规制比较严苛时,会抑制外资的进入。发达国家在外国进行投资的主要目的是进行产业转移,当东道国环境规制变得严苛时,这一动机就不再强烈,但是从系数大小来看效果微弱,并不是阻碍FDI流入的主要因素。上一期人均GDP的增长会促进FDI的流入。

(二)门槛面板模型分析

表1的实证结果表明,FDI通过规模效应增加了碳排放强度,通过结构效应和技术效应降低了碳排放强度。而FDI对产业结构和技术进步的影响一定程度上取决于政府的环境规制强度,FDI对碳排放强度的总效应如何,是否会因为环境规制强度不同而存在区间效应,为研究此问题,我们将对门槛面板模型方程(10)进行估计检验。

首先判定门槛值的数量。采取了自抽样(Bootstrap)的方法对估计的门槛值进行显著性检验,F值和通过自抽样得到的P值如表2所示,当我们以环境规制作为门槛变量时,双重门槛在1%的显著性水平上拒绝了原假设,而三重门槛不能拒绝原假设,因此我们判定模型存在两次结构突变,进而对双重门槛模型进行分析。对双门槛的估计值和95%置信区间如表3所示,我们根据两个门槛值将环境规制分为低环境规制强度($\ln Reg \leq -7.749$)、中等环境规制强度($-7.749 < \ln Reg \leq -5.947$)和高环境规制强度($\ln Reg > -5.947$)三个等级。

表2 门槛效果自抽样检验

门槛数量	F值	P值	临界值		
			1%	5%	10%
单一门槛	16.340**	0.020	20.986	11.779	8.750
双重门槛	19.914***	0.000	9.149	5.215	3.146
三重门槛	0.000	0.120	0.000	0.000	0.000

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著

表3 门槛估计值和置信区间

门槛数	估计值	95%置信区间
门槛 γ_1	-7.749	[-8.169, -7.614]
门槛 γ_2	-5.947	[-8.340, -5.098]

根据前面的分组对双门槛模型变量的系数估计值如表4所示,我们重点看FDI系数的变化。在低环境规制强度下,FDI的系数为正,对碳排放强度的影响并不显著。在中等环境规制强度下,FDI的系数值为负,在1%的水平上显著,说明在这个区间,FDI流入促进了当地碳排放强度的降低。当环境规制到达较高的区间时,FDI系数仍然为负,但是效应比上一区间有所降低。总结分析的结果,当环境规制程度较低时,FDI可能会通过规模效应增加当地的碳排放强度,但效果并不显著;当环境规制跨过一定的门槛时,会充分发挥结构效应和技术效应,对地方碳排放强度的总效应为负;当环境规制强度过高时,总体效应有所降低。

表5给出了2016年30个省市自治区(除港澳台、西藏外)根据环境规制门槛值进行分组的结果,可以看出大部分省市自治区处在第二个区间,说明FDI在现阶段会对中国各地区的碳减排工作产生积极的推动作用。

表4 门槛系数估计结果

变量	变量含义	系数估计值	t值
lnPGDP	人均生产总值	0.354	8.64***
(lnPGDP) ²	人均生产总值二次项	-0.0838	-3.34***
lnTec	技术水平	-0.205	-12.35***
lnIs	产业结构	0.728	9.09***
lnReg	环境规制强度	0.13	8.04***
lnFDIa	低环境规制下的外资依存度	0.0321	0.55
lnFDIb	中等环境规制下的外资依存度	-0.235	11.77***
lnFDIc	高环境规制下的外资依存度	-0.159	-4.21***

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著

表5 2016年30个省市区间分组

环境规制分组	省市分组
低环境规制地区	京、粤、川、渝、琼、湘
中等环境规制地区	苏、蒙、陕、赣、新、晋、冀、鲁、豫、沪、鄂、吉、桂、闽、甘、津、皖、贵、云、辽、浙、黑
高环境规制地区	青、宁

四 结论与政策建议

本文基于我国1999—2016年30个省市自治区(除港澳台、西藏外)的平衡面板数据,构建联立方程模型探究FDI对我国碳排放强度的影响机制和作用方向,并采用门槛面板模型研究FDI对碳排放的影响是否具有基于环境规制的门槛效应。联立方程组的回归结果表明:FDI借助增加生产规模的途径增加了我国的碳排放强度,相反,亦通过结构效应、技术效应和环境规制效应的渠道降低了我国各地区的碳排放强度。门槛面板模型的实证结果表明:当环境规制较低时,FDI对我国碳排放强度的结构效应和技术效应不足以抵消规模效应,当环境规制提高并保持在一定的强度时,FDI才会有效发挥技术效应和结构效应来抵消规模效应对我国碳排放产生的不利影响。从总体上来看,在现阶段我国的环境规制强度下,FDI的流入降低了我国的碳排放强度,有利于我国的环境保护。

针对以上结论,我们提出以下建议:

第一,制定差异化的环境规制政策。各地区的经济发展水平、资源禀赋、资源配置效率等都存在差异,因此各地不应该采取“一刀切”的同等措施,应因地制宜采取合理的环境规制政策。例如,东部地区经济发展速度较快,可制定更加严厉的环境规制政策,尽早完成产业转型升级,推动经济高质量发展。

第二,继续提高环境规制强度。考虑到实现我国2030年碳减排目标任务的紧迫性和艰巨性,各地方可继续适度提高环境规制强度,扩大FDI碳减排效应的同时,发挥环境规制对碳减排的直接促进作用,而处在低环境规制强度组的北京、广东等地将其规制强度提高至能充分发挥FDI碳减排效应的区间。

第三,完善产业结构政策,发挥环境规制通过结构效应对碳减排的促进作用。地方政府应完善企业退出机制,适时更新企业负面清单,通过勒令高能耗企业整改、强制低产能企业兼并重组等方式降低环境负外部性,淘汰落后产能。制定完整持续的产业

发展政策,循序渐进,推动经济绿色发展。

第四,鼓励科技创新。通过环境规制倒逼企业寻求清洁的生产技术,政府可以通过给予技术补贴帮助企业自主创新,完成减排目标。提高外资准入门槛,扩大对高质量外资的引入,对具有清洁技术的外资企业给予政策优惠,寻求扩大FDI的“污染光环”效应。

第五,重视多种环境规制方式的运用,使正式环境规制和非正式环境规制同时发挥作用,加大绿色环保宣传,增强居民环保意识,鼓励绿色产品消费,引导更多群众加入到环境保护的队伍中。

[参考文献]

- [1] 牛海霞,胡佳雨. FDI与我国二氧化碳排放相关性实证研究[J]. 国际贸易问题,2011(5):100-109.
- [2] REN S, YUAN B, MA X, et al. International trade, FDI (foreign direct investment) and embodied CO₂ emissions: A case study of China's industrial sectors[J]. China Economic Review, 2014, 28(C):123-134.
- [3] ZHANG Y, ZHANGS F. The impacts of GDP, trade structure, exchange rate and FDI inflows on China's carbon emissions[J]. Energy Policy, 2018, 120(1):347-353.
- [4] 王少剑,黄永源. 中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素[J]. 地理学报, 2019, 74(6):1131-1148.
- [5] FRANKEL J A, ROSE A K. Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality[J]. Review of Economics and Statistics, 2005, 87(1):85-91.
- [6] ELLIOTT R J R, SUN P, CHEN S. Energy intensity and foreign direct investment: A Chinese city-level study[J]. Energy Economics, 2013, 40:484-494.
- [7] 周杰琦,汪同三. FDI、要素市场扭曲与碳排放绩效:理论与来自中国的证据[J]. 国际贸易问题, 2017(7):96-107.
- [8] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic Growth and the Environment[J]. NBER Working Papers, 1995, 110(2):353-377.
- [9] HE J. Pollution haven hypothesis and environmental impacts of foreign direct investment: The case of industrial emission of sulfur dioxide (SO₂) in Chinese provinces[J]. Ecological Economics, 2006, 60(1):228-245.
- [10] 张宇,蒋殿春. FDI、政府监管与中国水污染:基于产业结构与技术进步分解指标的实证检验[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2):491-514.
- [11] 周杰琦,夏南新,梁文光. 外资进入、自主创新与雾霾污染:来自中国的证据[J]. 研究与发展管理, 2019, 31(2):78-90.
- [12] 余泳泽. FDI技术外溢是否存在“门槛条件”:来自我国高技术产业的面板门槛回归分析[J]. 数量经济技

- 术经济研究,2012,29(8):49-63.
- [13] SONG L G, WOO W T. China's Dilemma: Economic Growth, the Environment and Climate Change [M]. Washington: Brookings Institution Press,2008.
- [14] 李子豪. 外商直接投资对中国碳排放的门槛效应研究[J]. 资源科学,2015, 37(1):163-174.
- [15] 郑强,冉光和,邓睿,谷继建. 中国 FDI 环境效应的再检验[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(4):78-86.
- [16] 黄杰. FDI 对中国碳排放强度影响的门槛效应检验[J]. 统计与决策,2017(21):108-111.
- [17] 王晓航. 金融发展、双向 FDI 与碳排放:基于中国省际面板数据的门槛模型实证分析[J]. 价值工程,2019,38(26):110-112.
- [18] 张军,章元. 对中国资本存量 K 的再估计[J]. 经济研究,2003(7):35-43;90.
- [19] 白俊红,蒋伏心. 协同创新、空间关联与区域创新绩效[J]. 经济研究,2015,50(7):174-187.
- [20] 樊纲,王小鲁,马光荣. 中国市场化进程对经济增长的贡献[J]. 经济研究,2011,46(9):4-16.
- [21] WANG H, JIN Y. Industrial ownership and environmental performance: evidence from China [J]. Environmental and Resources Economics, 2007,36(3):255-273.

FDI, Environmental Regulation and Carbon Emission Intensity in China

—Empirical study based on threshold panel model

DENG Rong-rong, ZHANG Ao-xiang

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: Based on the balance panel data of 30 provinces and cities in China from 1999 to 2016, this paper constructs a simultaneous equation model to explore the impact mechanism and direction of FDI on China's carbon emission intensity, and uses the threshold panel model to study whether the impact of FDI on carbon emission has the threshold effect based on Environmental regulation. The results show that FDI increases the carbon emission intensity of China through the channel of scale effect, but it can improve the carbon emission intensity of China through the structure effect, technology effect and environmental regulation effect. When environmental regulation is taken as threshold variable, it is found that FDI has double threshold effect on regional carbon emission intensity in China. When the level of environmental regulation is low or high, FDI inflow will be detrimental to regional carbon emission reduction. When the intensity of environmental regulation is appropriate, FDI will have a favorable impact on regional carbon emission reduction. And under the current intensity of environmental regulation, the inflow of FDI in most regions of China has improved regional carbon emission reduction.

Key words: FDI; environmental regulation; carbon emission intensity; threshold effect

(本文编辑:魏玮)