

发展阶段变迁与中国环境政策选择^{*}

林伯强 邹楚沅

摘 要：由于东西部经济发展程度的差异性，以及政府重力治理东部雾霾政策，中国环境污染状况可能出现变化。在 ACT 模型框架下，使用 2000—2011 年的相关数据，检验“世界—中国”和“东部—西部”两种经济活动转移过程中的环境污染机制，结果表明：对中国来说，前者引致的环境污染正在减弱，而后者引致的环境污染不仅存在，而且对于西部地区来说，其环境污染转移弹性高于前者。因此，新一轮以环境治理为标的引致的东西部经济转移过程，可能加速东西部的污染转移。在中国环境污染治理过程中，迫切需要设计政策工具，协调东西部经济发展与环境保护的关系，以避免西部重蹈东部的覆辙。

关键词：经济增长 环境污染 污染转移 环境政策选择

作者林伯强，厦门大学经济学院能源经济与能源政策协同创新中心教授（厦门 361005）；邹楚沅，厦门大学经济学院中国能源经济研究中心博士生（厦门 361005）。

一、引 言

近年来，环境污染问题的集中出现（全国大面积雾霾），似乎预示着我国环境问题（尤其是东部的环境污染）进入了某种“临界阶段”。国务院于 2013 年 9 月 12 日发布的《大气污染防治行动计划》表明，^① 由雾霾引发的新一轮大气污染防治政策设计的具体抓手，是控制东部能源（煤炭）消费，加快调整能源结构，增加清洁能源供应。^②

^{*} 本研究得到新华都商学院低碳发展项目、国家社科基金重大项目（12&ZD059）、能源基金会中国可持续能源项目（G-1305-18257）和教育部重大项目（10JBG013）的资助。

① 该计划要求到 2017 年，我国煤炭消费占能源消费总量的比重降到 65% 以下。京津冀、长三角、珠三角等区域力争实现煤炭消费总量负增长。积极有序发展水电，开发利用地热能、风能、太阳能、生物质能，安全高效发展核电。

② PM_{2.5} 是形成雾霾的直接内因，二氧化硫、氮氧化物及烟尘又是形成 PM_{2.5} 的重要污染物。我国二氧化硫、氮氧化物及烟尘的排放，绝大部分来自于煤炭消费。

该计划将以环境容量为标的,引导高耗能经济活动向中西部转移。2014 年 1 月 7 日环境保护部与全国 31 个省(区、市)签署《大气污染防治目标责任书》,从其实施细则与目标看,作为一项环境政策,在特定的发展阶段,东部地区(包括京津冀)环境治理背景下的高耗能经济活动转移,可能使环境污染向西部转移。因为,目前东部的环境治理措施,主要针对能源消耗和能源结构,更简单地说,就是减少东部煤炭消费;而西部省份的能源强度政策权衡了经济发展与环境容量,在目标设定上留有余地。东部的环境治理、西部的能源开发和产业调整是否会导致环境污染梯度转移和污染范围扩大?东部环境治理如何兼顾西部环境污染控制?这些都是我国目前经济增长和环境治理政策急需探索的问题。

改革开放后,世界经济通过国际贸易等形式向中国传导(简称为“世界—中国”经济转移过程),这一过程帮助中国实现了发展初期最为稀缺的资金、管理与技术的初始积累,但与之伴随的是经济开放过程中带来的环境污染。随着全球经济环境的变化,这一转移过程面临的空间上的不确定性日益加强。自 2008 年金融危机爆发以来,内生性增长与向内部寻找发展空间的经济增长方式的转变,使得东部经济通过区域贸易等形式向西部传导(简称为“东部—西部”经济转移过程)的重要性日益凸显。而现有的环境政策,是建立在“世界—中国”经济转移过程基础之上的,如果不能真正理解和把握经济发展模式与环境污染的阶段性特征,并在此基础上进行相应的政策设计,西部可能重蹈东部环境污染的覆辙。因此,探究经济发展模式引致的环境污染作用机制的阶段性特征,进而前瞻性地选择环境政策方向,并进行相应的政策设计,成为一个迫切需要研究的重要课题。本文即对此展开研究和分析,并且根据研究结果提出相应的政策建议。

二、中国开放过程中的经济增长模式与环境污染:一个文献综述

对于改革开放 30 年来经济增长的驱动因素,国内外学者主要将其归因于生产要素投入、技术进步和制度创新等。刘瑞翔、安同良提出,1987—2007 年间中国经济的依存结构发生了本质变化,经历了从“内需依存型”向“出口导向型”的转变。^①从某种意义上讲,生产要素投入、技术进步和制度创新,正是在开放导向的经济增长路径中,通过全球化释放的正的需求效应实现的。在这样一种增长过程中,生产要素的大量投入带动了资源能源的消费。陈诗一认为,改革开放以来中国工业总体上已经实现了以技术驱动为特征的集约型增长方式转变,能源和资本仍是技术进步以外驱动中国工业增长的主要源泉。^②在这一背景下,国内学者在国外经典文献的

① 刘瑞翔、安同良:《中国经济增长的动力来源与转换展望》,《经济研究》2011 年第 7 期。

② 陈诗一:《中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980—2008)》,

基础上,将环境污染问题纳入宏观开放的框架下加以分析。^①

Grossman 和 Krueger 在分析北美自由贸易区对环境的影响时,建立了分析经济开放的环境效应的理论框架。^② Copeland 和 Taylor 建立了南北贸易模型,对贸易与环境质量的关系进行了理论分析。^③ Antweiler、Copeland 和 Taylor 开创性地推导出一个可以将经济开放的环境效应分解成规模效应、结构效应和技术效应的理论模型,即 ACT 模型,并运用 44 个国家 1971—1996 年的数据,以二氧化硫浓度作为环境污染指标,对其进行了验证。^④ 盛斌、吕越在 Copeland-Taylor 模型的基础上引入技术因素,将外国直接投资对东道国的环境影响分解为规模效应、结构效应和技术效应三种机制,并使用中国 2001—2009 年 36 个工业行业的面板数据,对 FDI 进入程度与污染排放的关系进行经验检验。^⑤ 张友国运用 1987—2006 年的可比价格投入产出表,计算了中国贸易增长的能源环境代价,指出贸易对中国能源消耗和环境影响的不断增强是伴随着中国贸易的快速增长而来的,这在经济发展方式没有发生重大转变之前是不可避免的。^⑥ 彭水军、刘安平基于一个开放经济系统的环境投入—产出模型,利用中国 1997—2005 年可比价投入产出表以及环境污染数据,测算了主要污染物进出口含污量和污染贸易条件,衡量对外贸易对中国环境的整体影响和相对影响。^⑦

总体来看,已有就中国开放过程对环境的影响研究,并未得出一致性的结论。但从研究样本区间上却体现出一定的规律性,即样本区间越早,结论越乐观。这预示着,开放经济下的环境问题具有阶段性特征。同时已有研究表明,任何环境政策都具有时效性,当条件变化时,它们可能会部分甚至全部失效,因此,对于阶段性特征的把握尤为重要。^⑧

针对中国经济发展的阶段性特征与环境的关系,国内学界已展开了相关研究,蔡昉等通过拟合环境库兹涅茨曲线预测碳排放水平从提高到下降的转折点,分析了

《经济研究》2010 年第 11 期。

- ① 陆昉:《从开放宏观的视角看环境污染问题:一个综述》,《经济研究》2012 年第 2 期。
- ② G. Grossman and A. Krueger, "Environmental Impacts of a North-American Free Trade Agreement," NBER Working Paper, no.3914, 1991.
- ③ B. Copeland and M. Taylor, "North-South Trade and the Environment," *Quarterly Journal of Economics*, vol.109, no.3, 1994, pp.755-787.
- ④ W. Antweiler, B. Copeland and S. Taylor, "Is Free Trade Good for the Environment?" *The American Economic Review*, vol.91, no.4, 2001, pp.877-908.
- ⑤ 盛斌、吕越:《外国直接投资对中国环境的影响——来自工业行业面板数据的实证研究》,《中国社会科学》2012 年第 5 期。
- ⑥ 张友国:《中国贸易增长的能源环境代价》,《数量经济技术经济研究》2009 年第 1 期。
- ⑦ 彭水军、刘安平:《中国对外贸易的环境影响效应:基于环境投入产出模型的经验研究》,《世界经济》2010 年第 5 期。
- ⑧ 张晓:《中国环境政策的总体评价》,《中国社会科学》1999 年第 3 期。

经济发展方式转变与节能减排的内在动力。^① 韩玉军、陆旸以 108 个国家和地区作为横截面数据,对影响环境库兹涅茨曲线的多个因素进行了门槛效应分析。^② 林伯强、蒋竺均从化石能源消耗的角度分析了我国环境库兹涅茨曲线的拐点及其对应的收入阶段,并结合能源强度、产业结构和能源消费结构等方面分析了我国碳排放变化的原因。^③ 张友国基于投入产出结构分解方法,实证分析了 1987—2007 年经济发展方式变化对中国 GDP 碳排放强度的影响。^④ 但总体来讲,上述研究并未从宏观开放的角度对阶段性特征展开深入分析。而随着国际贸易环境的变化、国际形势的转变,以及我国经济发展模式的转变,区域间环境污染的空间特征将会尤为突出。林伯强、黄光晓认为,我国区域碳排放存在着空间分布的非均衡性特征,不仅在碳生产效率方面,而且在碳排放增量上,表现出京津沪—东部沿海地区—中部地区—西北地区—西南地区的分布状况。^⑤ 邵帅、齐中英基于“资源诅咒”假说,分析了西部地区能源开发与经济增长之间的相关性及其传导机制,但并未进一步分析其对环境污染的影响。^⑥

从现有文献看,开放过程中我国的经济增长模式与环境污染研究存在两个不足。一是,没有充分考虑我国经济发展的阶段性特征对污染传导机制的影响,而环境库兹涅茨曲线可以在宏观开放的背景下进一步展开研究;二是,目前几乎所有的文献对于开放环境下的污染传导的研究对象均为“世界—中国”,我国“东部—西部”经济转移过程中可能存在的污染传导检验,并未引起关注,而这将是未来中国环境面临的最紧迫问题。

本文余下部分的结构安排如下:第三部分,在 ACT 模型框架下,探讨我国经济开放过程中“贸易引致型”环境污染的阶段性特征;^⑦ 第四部分,在该模型框架下,引入省际间经济联系,探讨我国东西部省份之间的污染传导特征;第五部分为结论与政策建议。

① 蔡昉、都阳、王美艳:《经济发展方式转变与节能减排内在动力》,《经济研究》2008 年第 6 期。

② 韩玉军、陆旸:《门槛效应、经济增长与环境质量》,《统计研究》2008 年第 9 期。

③ 林伯强、蒋竺均:《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》,《管理世界》2009 年第 4 期。

④ 张友国:《中国贸易增长的能源环境代价》,《数量经济技术经济研究》2009 年第 1 期。

⑤ 林伯强、黄光晓:《梯度发展模式下中国区域碳排放的演化趋势——基于空间分析的视角》,《金融研究》2011 年第 12 期。

⑥ 邵帅、齐中英:《西部地区的能源开发与经济增长——基于“资源诅咒”假说的实证分析》,《经济研究》2008 年第 4 期。

⑦ W. Antweiler, B. Copeland and S. Taylor, “Is Free Trade Good for the Environment?” pp. 877-908.

三、开放过程中“贸易引致型”环境污染的阶段特征

(一) 理论模型

根据 Antweiler 等构造的模型 (ACT 模型), 考虑一个小的开放经济, 使用资本 K 和劳动 L 两种要素, 生产 X 和 Y 两种最终商品。^① X 为产生污染的资本密集型产品, Y 为不产生污染的劳动密集型产品。假定商品 X 的相对价格为 p 。由于存在国际贸易壁垒, 经济体内商品 X 的价格 p 不同于其世界价格 p^w , 可以表示为:

$$p = \beta p^w \quad (1)$$

β 表示经济体的国际贸易开放程度。如果该国进口 X , 则 $\beta > 1$; 若该国出口 X , 则 $\beta < 1$ 。 β 偏离 1 的程度越大表示该国的国际贸易开放度越低。

污染物 z 为生产 X 的副产品, 可以通过治理来减少污染物的排放。用 θ 表示厂商治理污染的投入, $e(\theta)$ 为每单位 X 产生的污染物排放量。同时, 假定经济体的总产出为 S , 其中产品 X 的份额用 ϕ 表示。从而可以将污染排放量分解为规模效应、结构效应和技术效应:

$$\hat{z} = \hat{S} + \hat{\phi} + \hat{e} \quad (2)$$

其中上标 $\hat{\cdot}$ 表示百分比变动。第一项代表规模效应, 表示在行业比重和生产技术保持不变的情况下, 经济规模的变动带来污染物排放量的变化。第二项代表结构效应, 表示经济中污染密集型产品 X 份额的增加, 将增加污染物排放。第三项表示技术效应, 表示污染密集型行业的污染程度的增加, 也将增加污染物排放。

同时考虑污染排放物的供给和需求方程, 得到将污染排放量用一些经济变量表示的简单形式:

$$\hat{z} = \pi_1 \hat{S} + \pi_2 \hat{k} - \pi_3 \hat{I} + \pi_4 \hat{\beta} + \pi_5 \hat{p}^w - \pi_6 \hat{T} \quad (3)$$

其中, k 为资本富集度 (资本劳动比), I 为实际人均收入, T 表示经济体类型。^② (3) 式中所有的 π_i 均为正。 $\pi_4 > 0$ 表示: 对于出口污染密集型产品 X 的经济体, 随着国际贸易开放度的增加, $\hat{\beta} > 0$, 因此 $\hat{z} > 0$, 表示贸易开放将增加污染物的排放; 相反, 对于进口污染密集型产品 X 的经济体, 贸易的开放意味着 $\hat{\beta} < 0$, 则会降低污染物的排放。这种效应被称为贸易引致的结构效应。

具体而言, 对一个出口污染密集型产品 X 的经济体来说, 贸易开放度增加带来的商品 X 的价格上涨, 造成生产 X 的行业的份额增加, 同时也使治理污染的成本增

① W. Antweiler, B. Copeland and S. Taylor, "Is Free Trade Good for the Environment?" pp. 877-908.

② “经济体类型”用经济体中关心环境的居民与不关心环境的居民的比重来衡量。

加,从而使产生污染的行业污染更严重。这两个因素增加了该经济体污染排放的需求。同时,由于 X 价格上涨的替代效应,政府增加排污税率,从而减少污染排放的供给。但是,由于需求侧的效应大于供给侧的替代效应,总的污染排放量增加。反之,对于进口污染密集型产品的经济体而言,这种贸易引致的结构效应将降低污染物的排放。

由(3)式可以看出,国际贸易开放程度对污染排放的影响不仅包括直接影响,还应该包括通过影响经济规模和人均收入带来的对污染排放的间接影响。将(3)式对 β 求导,可以将贸易开放程度影响污染排放的总效应,分解为规模效应、技术效应和贸易引致的结构效应三部分:

$$\frac{dz}{d\beta} \frac{\beta}{z} = \pi_1 \frac{dS}{d\beta} \frac{\beta}{S} - \pi_3 \frac{dI}{d\beta} \frac{\beta}{I} + \pi_4 \quad (4)$$

可以看出,贸易开放程度对污染排放的影响在不同的经济体之间并不相同,取决于经济体的经济特征和比较优势。在 ACT 模型中,比较优势是相对要素富集度和相对人均收入的函数。令 Ψ 表示衡量贸易开放程度对污染影响的偏效应的函数,则可以写成 $\Psi = \Psi(k_i, l_i)$, 其中, k_i 为经济体 i 相对世界平均的人均资本量,反映了经济体要素禀赋情况, l_i 为经济体 i 相对世界平均的实际收入,影响经济体的环境规制强度。由于具体的影响形式未知,模型采用该方程的二阶 Taylor 展式来近似估计,即:

$$\Psi \approx \phi_0 + \phi_1 k_i + \phi_2 k_i^2 + \phi_3 l_i + \phi_4 l_i^2 + \phi_5 k_i l_i \quad (5)$$

ACT 模型采用(5)式与贸易开放度的交叉项,捕捉贸易引致的结构效应,将经济体比较优势的来源,解释为要素禀赋效应和污染避风港效应。

(二) 实证模型与数据选取

本文在 ACT 模型的基础上,结合现实的数据情况,主要根据(3)式构造了如下计量模型:

$$\begin{aligned} E_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 I_{i,t-1} + \alpha_2 KL_{it} + \alpha_3 (KL_{it})^2 + \alpha_4 O_{it} + \alpha_5 O_{it} RKL_{it} \\ & + \alpha_6 O_{it} (RKL_{it})^2 + \alpha_7 O_{it} RI_{it} + \alpha_8 O_{it} (RI_{it})^2 + \alpha_9 O_{it} RKL_{it} RI_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

本文数据来源于历年《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》,World Bank 世界发展指数 WDI 等。由于本文的目的在于分析“世界—中国”与“东部—西部”的经济转移过程中引致的环境污染问题,因此选择的研究时期为 2000—2011 年。大量文献已经证明,改革开放初期“世界—中国”经济转移过程处于相对主导地位,因此我们选择较近的时间窗口,以考察相应的阶段性特征。

1. E_{it} 表示人均污染排放总量,本文采用各省二氧化硫排放量代表环境污染的水平。我国的能源结构以煤炭为主,燃煤产生的二氧化硫排放造成的大气污染是我国环

境污染的主要形式。鉴于二氧化硫排放可能对环境与健康造成的严重后果,我国政府将其列为计划减排目标中的主要污染物指标之一,加之二氧化硫排放数据的可获得性和高质量,用二氧化硫排放量表示我国环境污染水平是恰当的。^①

2. I_{it-1} 表示真实人均收入的一期滞后项,用真实的国内生产总值除以年末总人口数得到。在 ACT 模型原文中,用 GDP/km^2 来捕捉影响污染物排放的规模效应,而使用人均收入的一阶滞后项,表示环境规制的强度,从而捕捉影响污染物排放的技术效应。由于本文的被解释变量为污染物的排放量而不是 ACT 原模型中的污染物浓度, GDP/km^2 不再能捕捉规模效应,在这种情况下,规模效应和技术效应需同时通过人均 GDP 来衡量,无法分离。^② 因此,本文使用人均 GDP 来捕捉规模效应和技术效应的合效应。

3. KL_{it} 表示资本劳动比,用于衡量经济结构。资本—劳动比率(即人均资本存量)的提高,将导致资本密集型部门产出的提高,从而增加污染排放。由于资本积累的边际效应递减,所以在模型中加入其平方项。资本劳动比用资本存量除以年末就业人数得到。其中,各省的资本存量数据,根据张军等的方法计算。^③

4. O_{it} 表示外贸依存度,用于衡量经济开放的程度。本文采用较为通用的经济开放的衡量指标,即用进出口总额占国内生产总值的比例,计算外贸依存度。

5. RKL_{it} 表示相对于世界的资本劳动比,用于衡量要素禀赋的比较优势。本文用本国各省市的资本与劳动的比例除以世界的资本与劳动的比例,得到相对于世界的资本劳动比。世界资本存量的计算方法参考 Caselli 和 Feyrer,以 1970 年为基期,采用永续盘存法计算,^④ 数据来源于 World Bank。

6. RI_{it} 表示相对于世界的人均收入,用于衡量环境规制的严格程度。本文用本国各省市的真实人均收入水平除以世界的真实人均收入水平计算得到相对世界的人均收入水平。

7. $O_{it}RKL_{it}$ 为贸易强度与该经济体相对资本劳动比的交叉项。 $O_{it}RI_{it}$ 为贸易依存度与该经济体相对收入的交叉项。 $O_{it}RKL_{it}RI_{it}$ 则表示贸易强度、相对资本劳动比和相对收入三者的交互作用。

① 盛斌、吕越:《外国直接投资对中国环境的影响——来自工业行业面板数据的实证研究》,《中国社会科学》2012 年第 5 期。

② M. Cole and R. Elliott, "Determining the Trade-Environment Composition Effect: The Role of Capital, Labor and Environmental Regulations," *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 46, no. 3, 2003, pp. 363-383.

③ 张军、吴桂英、张吉鹏:《中国省际物质资本存量估算:1952—2000》,《经济研究》2004 年第 10 期。

④ F. Caselli and J. Feyrer, "The Marginal Product of Capital," *Quarterly Journal of Economics*, vol. 122, no. 2, 2007, pp. 535-568.

国际贸易引致的结构效应，包括贸易开放程度和比较优势的共同作用。彭水军等引入贸易开放度与多种虚拟变量的交叉项，识别污染密集型产品贸易模式的比较优势来源，即考察要素禀赋效应和污染避风港效应的相互作用对贸易引致的结构效应的影响。^① 根据 (5) 式，贸易引致的结构效应 (TC) 可以表示为：

$$TC_{it} = \psi_0 O_{it} + \psi_1 O_{it} RKL_{it} + \psi_2 O_{it} (RKL_{it})^2 + \psi_3 O_{it} RI_{it} + \psi_4 O_{it} (RI_{it})^2 + \psi_5 O_{it} RKL_{it} RI_{it} \quad (7)$$

根据要素禀赋效应，预期 $\psi_1 < 0$ ， $\psi_2 > 0$ ；而根据污染避风港效应，预期 $\psi_3 > 0$ ， $\psi_4 < 0$ 。

本文需要对经济开发过程中，贸易引致型的环境污染的阶段性特征进行测度，进而回答，随着我国经济发展，外贸引致型环境污染的影响是否已经发生改变？传统上对 ACT 模型的处理，可以通过增加人均收入的二次项，刻画人均收入与环境污染直接的非线性关系，但此方法无法描述 ACT 模型中，经济发展变量阶段性影响效应的变化，而且无法直接给出分组的门槛值，无从进一步分析贸易引致型污染的非线性特征，需要引入其他方法。Hansen 利用非动态平衡面板数据，采用自举法对门限效应显著性进行假设检验，构建个体固定效应的面板门限回归模型 (PTR)。^②

根据 Hansen 提供的方法，考虑如下的面板数据固定效应门限回归模型：

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1' x_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2' x_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma) + \omega' z_{it} + \epsilon_{it}$$

其中， q_{it} 为门限变量（可以是解释变量的一部分）， γ 为待估计的门限值， x_{it} 为核心变量，即模型重点考察的在不同门限区间内，对因变量的影响发生变化的解释变量， z_{it} 为其他控制变量，扰动项 ϵ_{it} 独立同分布。要求解释变量 x_{it} 和 z_{it} 为外生变量，与扰动项不相关。

结合计量方程 (6) 的设定，本文的核心变量为人均收入，其余为控制变量，则最终包含门限效应的计量方程为：

$$E_{it} = \alpha_0 + \beta_1 I_{it-1} \cdot I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2 I_{it-1} \cdot I(q_{it} > \gamma) + \alpha_2 KL_{it} + \alpha_3 (KL_{it})^2 + \alpha_4 O_{it} + \alpha_5 O_{it} RKL_{it} + \alpha_6 O_{it} (RKL_{it})^2 + \alpha_7 O_{it} RI_{it} + \alpha_8 O_{it} (RI_{it})^2 + \alpha_9 O_{it} RKL_{it} RI_{it} + \mu_i + \epsilon_{it} \quad (8)$$

对该模型估计采用面板固定效应模型方法，计算平均值消除个体固定效应值 μ_i ，可以获取其残差平方和 $SSR(\gamma)$ ，则其门限估计值为： $\hat{\gamma} = \argmin [SSR(\gamma)]$ ，一旦确定了门限估计值 $\hat{\gamma}$ ，参数 β_i ($i=1, 2$) 也可以确定。得到参数估计值之后，对于是否存在“门限效应” (threshold effect)，可以检验原假设： $H_0: \beta_1 =$

① 彭水军、张文城、曹毅：《贸易开放的结构效应是否加剧了中国的环境污染——基于地级城市动态面板数据的经验证据》，《国际贸易问题》2013 年第 8 期。

② Bruce E. Hansen, “Threshold Effects in Non-Dynamic Panels: Estimation, Testing and Inference,” *Journal of Econometrics*, vol.93, no.2, 1999, pp.345-368.

β_2 。如果原假设成立,则不存在门限效应。令 SSR^* 表示原假设下的残差平方和,如果 $[SSR^* - SSR(\hat{\gamma})]$ 越大,则越倾向于拒绝原假设。

Hansen 提出使用以下似然比检验统计量:^①

$$LR = [SSR^* - SSR(\hat{\gamma})] / \hat{\sigma}^2$$

其中, $\hat{\sigma}^2 = SSR(\hat{\gamma}) / n(T-1)$ 为对扰动项方差的一致估计。由于在原假设成立的情况下, γ 的取值对模型没有影响,故参数 γ 不可识别。因此,统计量 LR 的渐进分布不是标准的 χ^2 分布,只能用自举法 (bootstrap) 得到其临界值。如果统计量超过临界值,则拒绝原假设,表明只存在一个门限值。

引入本文关心的人均收入与产业结构两个经济发展阶段指标作为门限变量,根据门槛模型的检验结果将样本内生分为两组,分别对子样本组进行回归。从经济发展的角度来说,收入水平与产业结构是衡量其阶段性最为核心的两个指标,上述指标在经济体发展不同阶段均体现出显著的特征。

模型在 5% 的水平下,均拒绝了存在两个门限值的假设。模型估计结果见表 1。

表 1 国际贸易环境影响的模型估计结果

	无门限的固定效应 模型 1	门限变量人均收入 模型 2 (Income)	门限变量产业结构 模型 3 (Industry)
人均收入 I (区制 1)	1.901	12.381***	-5.337**
人均收入 I (区制 2)		2.939***	2.514*
资本劳动比 K/L	4.799**	5.796***	3.389**
资本劳动比平方 (K/L) ²	-0.197**	-0.248***	-0.049
贸易依存度 (O)	32.253	26.252*	25.221
交叉项 O×relativeK/L	193.789	198.872***	190.197***
交叉项 O×relative (K/L) ²	-152.434	-155.286***	-170.511***
交叉项 O×relative I	-65.088	-2.753	-9.978
交叉项 O×relative I ²	-398.946	-540.613**	-482.237**
门限效应检验			
H ₀ : 无门限效应	—	24.5574 (0.0001)	10.759 (0.0005)
H ₀ : 1 个门限	—	2.2833 (0.135)	3.9323 (0.075)
门限值	—	1.601 (万元, 2000 年不变价)	38.90%

注:***、**、* 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平。

表 1 给出了分别以人均收入和产业结构为门限变量的门限回归,以及与此对照的无门限的固定效应模型的结果。模型 1 是不考虑门限效应的固定效应模型,在该模型中,人均收入对环境污染的影响不显著。由于人均收入对环境污染的影响,同时反映了规模效应和技术效应,在整个样本空间内这两种效应可能相互抵消,从而

① Bruce E. Hansen, "Threshold Effects in Non-Dynamic Panels: Estimation, Testing and Inference," pp. 345-368.

不可捕捉。因此,考虑用门限模型,将样本按不同的门限变量进行分组之后,再衡量人均收入的影响。模型 2 以收入水平作为门限变量,对原模型进行估计。模型估计结果显示,在两个区制内的人均收入对环境污染的影响均为正,即规模效应对污染排放的正效应,大于技术效应对排放的负效应。但是,当人均收入低于门限值时,人均收入对环境污染的正影响,大于其高于门限值时对环境污染的正影响。可以看出,随着人均收入的增长,其对环境污染的技术效应(负效应),虽然仍未超过规模效应而占据主导,但已经开始逐渐占据更重要的位置。

模型 3 采用产业结构,作为门限变量进行估计。结果显示,在第二产业占比较低的区制内,人均收入的增加会减少环境污染,即技术效应占主导地位;在第二产业占比较高的区制内,人均收入的规模效应将抵消技术效应,从而表现为人均收入的增加带来更多的污染排放。这一方面是由于第二产业占比高表示人均收入的增加大部分要归因于第二产业的规模增长,而第二产业相比其他产业会带来更多的排放;另一方面,考虑到本文的样本期限,从 2000 年以后,我国一些经济较发达省份由于第三产业的迅速发展,第二产业占比开始下降,根据基本的理论模型,经济发达地区人均收入的技术效应将大于其规模效应。

在这三个模型中,资本劳动比对环境污染的影响均为正,模型 1 和 2 中,其二次项为负,体现了资本积累的边际效应递减。这种正向影响反映了污染排放的结构效应,即要素禀赋对环境污染的总体效应。

由于模型结果关于贸易对环境污染的直接影响并不直观,下面根据模型 2 的结果,进一步量化贸易引致的结构效应,并在此基础上,按不同的收入阶段,分析贸易开放程度对我国环境的总体效应。表 2 报告了基于模型 2 的规模和技术效应弹性、结构效应弹性以及贸易引致的结构效应弹性。

表 2 不同区制下弹性的估计结果

区 制	规模效应和技术效应	结构效应	贸易引致的结构效应
低收入阶段	0.139	0.091	0.143
高收入阶段	0.108	0.226	0.041

可以看出,经济开放总体上加剧了我国的环境污染。一方面,贸易引致的结构效应为正,说明贸易使我国生产并出口更多的污染密集型产品,从而增加污染排放;另一方面,由于经济开放扩大了我国的经济规模,提高了收入水平,通过规模效应(正向)和技术效应(负向)的共同作用,也加剧了我国的环境污染。

通过比较高收入阶段和低收入阶段的各种弹性,可以看出,在高收入阶段,不论是规模与技术弹性,还是贸易引致的结构弹性,都小于低收入阶段。尤其是从贸易引致的结构效应来看,在低收入阶段,贸易开放度增加 1%,将带来污染排放增

加 0.143%，而到高收入阶段，弹性下降了 71.3%。模型 2 的检验得到唯一的门槛值为 16010 元（2000 年不变价）。随着中国经济的发展，这一门槛对于大部分中国省区来说，并不难跨越，2011 年的数据显示，大部分省份已经或即将跨过这一门槛。^① 而跨过这一门槛意味着，由“世界—中国”经济转移过程中国际贸易关系引致的环境污染影响会明显减小。

四、东部与西部之间环境污染的省际转移

上一节分析了经济开放过程中“贸易引致型”环境污染的阶段特征，随着经济的稳定高速增长，中国正逐步跨过这一发展门槛。同时，随着中国经济发展模式的转变，东西部之间的环境污染转移问题凸显。我国东西部之间的收入和发展差异，类似发达国家和发展中国家之间的差距。从这个意义上说，遵循贸易的基本规律，东部高耗能产业和污染产业将逐步向中、西部转移，严格的东部环境污染治理会加速这一过程。西部有广阔的经济发展空间、充足的资源、相对低廉的劳动力价格，而且中西部的环境成本和人口密度要远低于东部。因此，即使是政府有意识地在政策上对高耗能产业向中、西部转移进行抑制或者管理，也无法改变市场资源配置作用下的基本发展趋势。

事实似乎也证明西部正在加速污染。根据各省公布的 2013 年 GDP 预期增速，西部地区的 GDP 预期增速普遍高于中、东部。西部地区的增长将主要以基础设施建设和资源（能源）输出为特征，所以西部 GDP 增速和环境污染很可能同步。

因此迫切需要研究近十年中国中、西部省份与东部沿海地区的经济联系加强过程与环境污染省际转移过程的关系。与“世界—中国”经济转移过程中国际贸易引致型污染传导的过程相类似，ACT 模型所刻画的机制分析同样适用于“东部—西部”经济转移过程的污染传导。^② 因此，本节仍然在 ACT 模型的框架下研究该问题。其中，原方程中的中国与世界的相对资本劳动比以及相对收入，其总体单位相应地变换为中、西部省份与东部沿海省份。使用该模型刻画本文所要研究的问题，难点在于东部与西部省份之间的国内贸易关系如何度量。

目前国内的相关文献较少，Poncet、行伟波和李善同、徐现祥和李郇分别采用了投入产出表、金税工程数据与省际铁路货运量，刻画省际贸易这一省际经济联系

① 以 2000 年不变价折算的人均 GDP 计，2011 年我国仅有贵州、云南、甘肃、广西、安徽 5 个省区未跨过这一门槛。

② 从现有的理论进展看，ACT 模型的框架在分析经济体之间的贸易引致型污染传导方面具有广泛的应用价值。当然也可以从东部对中西部的投资、产业转移等角度展开研究，这将是重要的研究方向。

加强的过程。^① 由于所需数据为面板数据，且需要测度单一中、西部省份与东部沿海的经济联系，因此，我们通过 2000—2011 年国家铁路行政区域间货物交流数据构建了省际贸易指标 T （见图 1）。图 1 显示，近十年来，以国内贸易体现的省际经济联系在不断加强，铁路货运反映了大宗商品在东西部之间的流通。

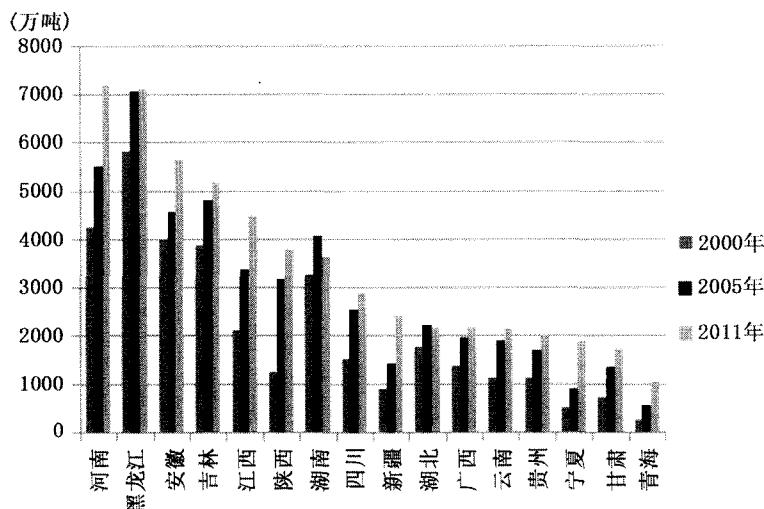


图 1 2000—2011 年中国中西部省区与东部沿海地区的经济联系程度

注：由于山西和内蒙古以铁路货运测度的省际贸易的绝对值较大，为使表述更为清晰，未在图中反映。

我们选择工业二氧化硫排放量作为环境污染指标，对样本进行区域估计，以考察国内“东—西”部贸易对西部省份环境的影响。静态模型设定为：

$$E_{kt} = \alpha_0 + \alpha_1 KL_{kt} + \alpha_2 (KL_{kt})^2 + \alpha_3 I_{kt} + \alpha_4 (I_{kt})^2 + \alpha_5 T_{kt} + \alpha_6 T_{kt} NKL_{kt} + \alpha_7 T_{kt} (NKL_{kt})^2 + \alpha_8 T_{kt} NI_{kt} + \alpha_9 T_{kt} (NI_{kt})^2 + \epsilon_{kt} \quad (9)$$

其中， E_{kt} 表示西部各省份的二氧化硫排放量； T_{kt} 表示省区间的经济联系，即用该省与东部沿海省的铁路货运总量表示； NKL_{kt} 为中西部省份相对于全国的资本劳动比，用以测度污染传导的要素禀赋效应； NI_{kt} 为相对于全国的收入水平，用以衡量污染传导的“污染天堂”效应。

由于经济变量本身可能具有一定的惯性，本文参考李锴、齐绍洲的做法，引入动态模型，以更好地控制各地区污染排放可能存在的滞后效应。^② 根据静态模型 (9)，本文设定的动态模型为：

$$E_{kt} = \alpha_0 + \alpha_1 KL_{kt} + \alpha_2 (KL_{kt})^2 + \alpha_3 I_{kt} + \alpha_4 (I_{kt})^2 + \alpha_5 T_{kt} + \alpha_6 T_{kt} NKL_{kt}$$

① S. Poncet, “Measuring Chinese Domestic and International Integration,” *China Economic Review*, vol. 14, no. 1, 2003, pp. 1-21; 行伟波、李善同：《本地偏好、边界效应与市场一体化——基于中国地区间增值税流动数据的实证研究》，《经济学（季刊）》2009 年第 4 期；徐现祥、李郁：《中国省际贸易模式：基于铁路货运的研究》，《世界经济》2012 年第 9 期。

② 李锴、齐绍洲：《贸易开放经济增长与中国二氧化碳排放》，《经济研究》2011 年第 11 期。

$$+\alpha_7 T_{kt} (NKL_{kt})^2 + \alpha_8 T_{kt} NI_{kt} + \alpha_9 T_{kt} (NI_{kt})^2 + \gamma E_{kt-1} + \epsilon_{kt} \quad (10)$$

在静态模型 (9) 中, 二氧化硫的排放与国内“东—西”部贸易之间的关系有内生性问题的存在, 并且在该模型中不再考虑国际贸易的影响, 因此需要使用工具变量来解决。本文采用省区间经济联系的滞后项作为该模型的工具变量。

在动态模型 (10) 中, 由于解释变量与扰动项相关, 一般的组内估计量 (固定效应估计) 也是不一致的。Arellano 和 Bond 对一阶差分消除个体效应后的动态面板模型, 使用所有可能的滞后因变量作为工具变量, 对差分后模型进行广义矩估计 (GMM), 即“Arellano-Bond 估计量”, 也被称为“差分 GMM”。^① 本文采用差分 GMM 的方法, 将省区间经济联系作为内生变量, 采用因变量的滞后项作为动态面板模型的工具变量对模型进行估计。表 3 报告了静态模型和动态模型的结果。

表 3 东西部环境污染省际转移的模型估计结果

	静态模型			动态模型	
	(a) FE	(b) IV-FE	(c) IV-FE	(d) 差分 GMM	(e) 差分 GMM
KL	5.1007	22.8983	10.0239*	16.5248*	5.2258
KL ²	-1.7829	-5.0583		-3.0333**	
I	70.8401***	123.8423**	63.6511***	44.9061**	3.1260*
I ²	-25.406***	-41.8022**	-26.4544***	-14.4959***	-2.3299
T	0.0028	-0.0893	-0.0882	0.0100***	0.0124***
T · NKL	0.0017	-0.0126	-0.0295	-0.0027	-0.0121***
T · (NKL) ²	-0.0012	0.0069	0.0132	-0.0001	0.0033***
T · NI	-0.0082	0.1736	0.1969	-0.0081***	0.0024
T · (NI) ²	0.0072	-0.0848	-0.0686	0.0035**	-0.0031***
E (-1)	—	—	—	0.6660***	0.6658***
Observations	216	198	198	180	180
F-value	109.78***	52.33***	51.37***		
Sargan test (p 值)				1.0000	—
AR1 (p 值)				0.0946	—
AR2 (p 值)				0.4938	—

注:***、**、* 分别代表在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著。模型 (e) 的估计存在严重问题, 常数项被省略, 因此 Sargan 检验和自相关检验无法进行。

在静态模型中, 模型 (a) 没有考虑内生性问题, 直接采用固定效应模型进行估计, 模型中资本劳动比对污染排放的影响不显著, 这与理论及常识并不相符。模型 (b) 在模型 (a) 的基础上, 采用省区间的贸易联系, 作为工具变量对原面板模型进行估计。结果发现, 虽然资本劳动比和人均收入的系数均与预期一致, 但是资本劳动比的系数仍不显著。模型 (c) 在 (b) 中不再考虑资本劳动比的二次项的影响,

① M. Arellano and S. Bond, “Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations,” *The Review of Economic Studies*, vol. 58, no. 2, 1991, pp. 277-297.

得到与预期一致且显著的结果。

模型 (d) 和 (e) 估计了动态模型 (10)，进一步将二氧化硫排放量的一阶滞后项纳入分析。结果显示，上期二氧化硫排放对本期排放有显著为正的影。两个模型的区别仅在于，是否考虑资本劳动比的二次项的影响。差分 GMM 方法要求 ϵ_{kt} 不存在自相关，因此需要对扰动项进行自相关检验。可以通过检验扰动项的差分是否存在一阶或二阶自相关，检验扰动项是否存在自相关。上表中 AR1 和 AR2 分别表示扰动项差分的一阶和二阶自相关检验，如果拒绝不存在一阶自相关，而不能拒绝不存在二阶自相关，则说明扰动项 ϵ_{kt} 不存在自相关，可以使用差分 GMM 方法。由于模型的估计使用了较多的工具变量，需要对所使用的工具变量进行过度识别检验，来判断其是否有效。在表 3 中，Sargan test 表示该检验的结果。可以看出，模型的各项检验均支持选择 (d) 模型来估计动态模型。根据静态模型 (c) 和动态模型 (d) 来分别计算弹性，结果见表 4。

表 4 静态模型和动态模型下弹性的估计结果

	规模效应和技术效应	结构效应	贸易引致的结构效应
静态模型 (c)	0.134	0.236	0.162
动态模型 (d)	0.239	0.176	0.334

可以看出，模型的解释及效果较好。相对于“世界—中国”经济转移过程中，关于环境传导的阶段性的特征的探讨，本节更注重其存在性与传导机制的探讨。

现有研究表明，改革开放以来的相对时期，国内分工体系的作用下降，而国际分工体系的作用在上升，该过程导致国内省际贸易在增长的相对位势上发生“塌陷”。^① 因此，本文在理论上预期，在本期的研究时间区间内，东部向中西部的污染转移，目前正处在相对位势上的“塌陷”阶段。即在这一阶段，我国的国际分工体系仍发挥重要作用。但随着整体经济结构发生转变，向内生增长转型，很有可能导致省际分工在相对位势上处于主导。从动态模型与静态模型估计的结果来看，在弹性效应上，固定效应模型估计的规模效应和技术效应、贸易引致的结构效应弹性分别为 0.239 和 0.334，证实了东西部经济联系增加带来的环境污染。通过比较国际贸易和国内“东—西”部贸易引致的结构效应的弹性大小，可以看出，国内“东—西”部贸易对西部地区污染物排放增加的正向效果，甚至大于国际贸易对低收入地区（西部地区）污染物排放增加的正向效果。如果不通过环境政策设计扭转这一过程，新一轮以环境治理为标的所引致的东西部经济转移过程，将加速污染的同向转移。

① 张少军：《中国的省际贸易与国际贸易：特征、关系与传导机制》，2013 年厦门大学经济学院工作论文；张少军、李善同：《中国省际贸易的演变趋势、特征与展望：1987—2007》，《财贸经济》2013 年第 10 期。

五、结论与政策建议

针对当前中国经济发展的阶段性特征,本文在 ACT 模型的框架下,分析了“世界—中国”和“东部—西部”经济转移过程中的环境污染转移问题。利用 2000—2011 年的相关数据,检验了“世界—中国”经济转移过程中国际贸易引致型环境污染的阶段性特征。结果表明,中国的国际贸易引致型环境污染的作用机制已经发生变化,随着越来越多的省份迈过发展门槛,外向型贸易引致的污染正在减弱。同时,对 2000—2011 年相关数据的检验也证实,国内东部和中、西部经济联系的日益紧密也带来了东部向西部的污染转移,而且对于西部地区来说,“东部—西部”经济转移过程中引致的环境污染转移弹性甚至高于“世界—中国”传导机制。

基于本文的研究结果,我们提出如下政策建议。

从目前政府的环境治理政策来看,控制东部煤炭消费、东部污染产业转移,以及向西部购买电力、煤制气等措施,可能加速西部的环境污染。我国应该尽量避免这一污染转移机制在东部和西部之间发生。中央政府应通过政策协调,改变和减少西部污染。这一过程需要更为审慎的顶层政策设计。中央政府需要在政策上给予西部更多的支持,使西部在对东部的能源贡献中为自己留下相应的份额,能有更多的资金投入环境污染治理。同时,中央政府需要协调和保证合理的能源价格,这一举措除了可以支持西部的经济发展,还有利于抑制东部不合理的能源消费。

从某种意义上说,“东部—西部”经济转移过程中的环境保护政策设计更值得深入研究。在以“世界—中国”经济转移过程为主导的发展阶段,我们已经积累了足够的政策经验与教训,并且从财力与结构调整的角度,政策设计所面临的条件也更为成熟。由于技术与环保观念的提升,加上东部的经验,如果监管到位,西部或许可以避免重蹈东部的覆辙。

本研究还存在一些不足。首先,限于数据的可获得性,刻画国内“东—西”部贸易联系采用的铁路货运量数据,可能无法包含国内全部的省际间贸易联系。其次,文中基于门限模型的阶段性检验可以考虑更多的门限变量,针对其机理的分析可以展开其他有意义的研究。本文主要在于分析我国环境污染受经济发展影响的阶段性特征,在未来的研究中,可进一步考察环境、国际贸易与国内贸易的交互影响,构建联立模型,整体考察三者之间的反馈机制。

〔责任编辑:梁 华 责任编审:许建康〕