

出口贸易、地理特征与空气污染

胡 艺, 张晓卫, 李 静

[摘要] 全球价值链分工所致商品消费地和生产地分离是中国空气污染的重要原因, 本文以 2004—2013 年中国 274 个地级市为样本, 研究出口贸易对空气污染的影响以及地理特征对出口空气污染效应的作用。实证结果显示: 出口贸易对空气污染存在显著正向影响, 采用工具变量法控制可能的内生性问题后这一结论仍然成立。出口的空气污染效应在不同地理区位呈现显著异质性, 海拔、气压、温度等地理气候条件对出口的空气污染效应起到重要调节作用, 经济活动与空气污染的地理相关性使出口的空气污染效应被低估, 预测中国通过经济和贸易质量升级治理空气污染的效果将好于预期。研究表明, 中国必须转变服务外部市场的生产型增长模式和外贸模式以防治污染, 西部地区应重点发展当地绿色产业以突破“胡焕庸线”, 各级政府的产业规划应重视地理特征对产业发展和环境承载力的影响, 空气污染的联防联控应从市级联合逐步过渡到省级联合。

[关键词] 出口贸易; 空气污染; 地理特征; 空间计量模型; 全球价值链

[中图分类号]F124 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2019)09-0098-19

一、问题提出

党的十九大报告指出, 新时代“美丽中国”建设必须坚持人与自然和谐共生, 贯彻“绿水青山就是金山银山”(“两山”理论)的发展理念。近年来, 中国生态文明建设成效显著, 但污染防治攻坚战仍任重道远, 空气污染问题随着多地频发的雾霾锁城现象而显得尤为突出。2018 年中国 338 个地级及以上城市, 仍有 217 个城市的环境空气质量超标, 占比高达 64.2%, 全年发生重度污染 1899 天次、严重污染 822 天次。^①

现有研究主要探讨伴随中国经济增长的居民收入提升、产业结构变动和开放度提高等对环境的影响, 其结论容易让人产生一种误解, 即中国现今的污染是中国自身经济增长导致的问题, 中国必须为“不清洁增长”带来的全球负外部性负责。然而, 在经济全球化时代的全球价值链分工体

[收稿日期] 2019-02-21

[基金项目] 国家自然科学基金面上项目“环境规制与中国式产能过剩的防治: 基于空间经济理论与实证方法的研究”(批准号 71873097); 教育部人文社会科学研究一般项目“人力资本扩张对制造业企业出口产品质量的影响机制及实证研究”(批准号 19YJC790061); 湖北省科技创新专项软科学研究类项目“《湖北省自主创新条例》实施效果评估”(批准号 2017ADC092)。

[作者简介] 胡艺, 武汉大学经济发展研究中心、经济与管理学院副教授, 经济学博士; 张晓卫, 武汉大学经济与管理学院硕士研究生; 李静, 对外经济贸易大学国际经济贸易学院讲师, 经济学博士。通讯作者: 李静, 电子邮箱: jingli@uibe.edu.cn。感谢匿名审稿人和编辑部的宝贵意见, 当然文责自负。

^① 数据来源于生态环境部《2018 中国生态环境状况公报》(<http://www.mee.gov.cn/hjzl/zghjzkgb>)。

系下,国际贸易活动使商品生产从最终消费地区转移到新兴生产地区,与生产相关的污染排放也随之发生转移,从而改变了大气污染的时空分布特征(Zhang et al.,2017)。改革开放四十多年来,中国深度融入全球价值链和生产网络,现已成为世界第二大经济体、第一大工业国与第一大货物贸易国和出口国。作为世界制造业中心,中国在很大程度上承接了全球消费品的加工生产环节,从外部市场进口大量元器件、零部件和资源,再将加工生产的工业制成品出口至最终消费地区。在此过程中,美欧等传统商品生产地的低端制造业逐步外移,而将资源聚焦于高端产业。中美贸易即具有这种典型特征,中国自美进口最大宗商品是电子机电产品中的零部件和元器件,而中国出口至美国的商品中电子机电产品占比超过45%,其中绝大部分是最终产品。^①

商品加工制造是产生各类污染的主要环节,世界环境史上大规模污染问题集中出现在工业生产高速发展的时期。比如产业革命带来工业生产大爆发使英国在19世纪经历了严重的环境污染,19世纪末20世纪初逐步成为世界工业翘楚的美国和德国频发各类恶性污染事件,日本在“二战”后一跃成为新的世界工业强国,但也不可避免地在20世纪40—60年代经历了一系列极其严重的环境公害事件(梅雪芹,2000)。中国贸易模式的最大特征是通过自身生产服务外部消费需求,外部最终消费需求引致的出口贸易可能是导致中国当前严重空气污染的重要原因。这一结论的证实将有助于缓解中国面临的国际减排压力,并增强中国在全球环境治理中的话语权。

地理特征既是空气污染的重要影响因素,又在国际贸易等经济活动中发挥着重要作用(Eaton and Kortum,2002)。经纬度等地理区位因素可能使中国发展外向型经济过程中,出口贸易的空气污染效应呈现区域异质性,海拔、气压、温度、湿度等对经济活动和污染扩散有着显著影响的地理气候条件有可能对出口贸易的空气污染效应起到一定的调节作用。经贸活动和空气污染都存在地理相关性(Copeland and Taylor,1995),出口商品生产链条的空间分离和空气污染物的空间扩散都可能使出口贸易对空气污染的影响不仅限于本地,而且一定会向邻近地区溢出,基于地理特征设定空间权重矩阵的空间计量模型有助于测度这一溢出效应。此外,地理距离的天然外生性或许有助于构造合适的工具变量,用于讨论因果识别中的内生性问题。

本文基于2004—2013年中国274个城市的面板数据,检验了出口贸易与空气污染的因果关系,分析了地理特征对出口贸易空气污染效应的影响,并讨论了可能存在的内生性问题。实证结果证明了出口贸易对空气污染有着显著的正向效应,这种效应受到地理区位、地理气象条件和地理相关性等因素的影响。本文后续结构安排如下:第二部分进行相关文献综述,第三部分是理论机制与模型设定,第四部分是数据和变量说明,第五部分是实证检验结果,第六部分将讨论内生性问题,最后是结论与政策建议。

二、文献综述

国际贸易与环境污染之间的关系一直都是极具吸引力的经济学研究主题,环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve,EKC)、“污染天堂”假说(Pollution Haven Hypothesis,PHH)等环境经济学经典命题都源于贸易相关问题的研究。EKC最早可追溯至Grossman and Krueger(1991)关于北美自由贸易协定对环境影响的研究。他们检验了43个国家的空气污染数据,发现污染水平会随着人均收入的增加先提高然后下降呈现倒U型关系,并提出贸易对环境污染影响的规模效应(Scale Effect)、结构效应(Composition Effect)和技术效应(Technology Effect)三个概念。部分学者的研究支持EKC的成立(Cropper and Griffiths,1994;Selden and Song,1994;Grossman and Krueger,

^① 根据海关总署商品贸易统计数据(<http://www.customs.gov.cn/customs/302249/302274/302277/index.html>)计算。

1995),也有学者通过实证研究否定了EKC的存在(Harbaugh et al.,2002;Smulders et al.,2011;刘笑萍等,2009;邵帅等,2016)。

PHH同样起源于国际贸易问题的研究。Copeland and Taylor(1994)构建了一个静态的南北贸易一般均衡模型,提出并初步检验了南北贸易中可能存在的PHH,即在开放经济条件下,污染密集型产业会通过贸易渠道,从环境规制严格的发达国家转移到环境规制宽松的发展中国家,加重后者的环境污染,使之成为污染避难所。PHH得到了大量学者理论和实证研究支持(Becker and Henderson,2000;Keller and Levinson,2002;Levinson and Taylor,2008;Cai et al.,2016;包群等,2010;谢锐和赵果梅,2016),但是采用不同国别、不同污染指标和不同方法的研究结果并不总是支持PHH成立(Reppelin-Hill,1999;Eskeland and Harrison,2003;许和连和邓玉萍,2012;盛斌和吕越,2012)。PHH不成立的原因可能是贸易流向仍主要由要素禀赋决定而非由环境规制强度决定。Antweiler et al.(2001)构建了一个结合了要素禀赋贸易理论和PHH的全新理论模型,分解了贸易对环境污染的规模、结构和技术效应,并基于SO₂浓度数据对理论进行了量化估计。这一理论框架逐步成为贸易对环境影响的主流范式,在国内外得到广泛应用(Cole and Elliott,2003;Frankel and Rose,2005;沈利生和唐志,2008;李小平和卢现祥,2010;李锴和齐绍洲,2011)。

本文可能的边际贡献在于:①不同于现有研究大多从收入提高、产业结构变化和对外开放度等内部因素探寻中国空气污染的视角,本研究感兴趣的是全球价值链分工带来最终消费地和生产地分离的背景下,以出口贸易额衡量的外部需求对中国空气污染的影响。②本研究重点关注地理区位、地理气候条件和地理相关性等地理特征对出口贸易空气污染效应的影响,并基于地理特征构造工具变量探讨内生性问题,以弥补现有相关研究对地理特征因素缺乏关注的不足。③因受制于数据的可获得性,中国现有空间计量应用研究主要基于省级面板数据(张学良,2012;李涵和唐丽森,2015;邵帅等,2016;白俊红等,2017)。然而中国幅员辽阔,面积超过100万平方千米的省份超过3个,有8个省份的面积超过欧洲大国德国,省际间的距离超出了几乎所有空间依赖关系的地理范围约束条件(LeSage and Pace,2009;Elhorst,2014;肖光恩等,2017)。本研究采用中国地级市面板数据进行规范的空间计量分析,以提高出口贸易空气污染效应测度的准确性和可信度,并为更低层级空气污染联防联控机制设计提供佐证。

三、理论机制与模型设定

1. 理论机制

根据Grossman and Krueger(1991)的概念框架和Antweiler et al.(2001)的模型设定,一国总的污染排放取决于经济总体规模、污染行业的份额和污染行业单位产出的污染排放,即规模效应、结构效应和技术效应。假设政府污染税税率不变,污染行业没有改进污染排放的激励,此时不存在技术效应。那么,资本密集型污染品的全球需求增加就会提高该产品的全球均衡数量和均衡价格,外部需求数量和价格的上升会刺激该产品出口国的污染行业份额增加和经济总体规模扩张,从而增加出口国的污染排放水平。

在国内生产服务外部市场的贸易模式下,外部需求引致的资本密集型产品出口通过规模效应和结构效应对空气污染产生正向影响。地理特征会通过生产机制和扩散机制两个渠道作用于出口贸易的空气污染效应:①生产机制。地理特征对一个地区的生产效率有重大影响,比如温带地区相比热带和寒带地区更适应各种经济活动的展开,平原和盆地相比山地和高原地区的综合经济成本优势巨大。地理条件也在一定程度上影响人类生理和心理状况,继而导致劳动者生产效率的差别。

此外,温度、地形、降水量等地理条件也会促进或限制一个地区的产业选择和产业规模。因此,地理特征就可通过规模效应和结构效应对出口贸易的空气污染产生影响。^②扩散机制。空气污染相比固定废弃物污染和水污染的一个特殊之处就是其广泛的空间扩散性。外部需求引致的资本密集型污染品生产过程中排放的气体污染物在不同的地理扩散条件下对空气污染水平的影响是存在很大差异的。地形、人口密度、温度、湿度、降雨和气压等地理特征共同构成了空气污染扩散条件,对单位有害气体所致的区域空气质量起到关键性作用(Masters and Ela,2007)。地理特征通过生产机制和扩散机制对出口贸易的空气污染效应产生调节作用,以下三个问题备受关注。

(1)地理区位特征会使不同区域出口贸易的环境污染效应呈现显著的异质性。在特定区域,经度可能决定了一个地区到海岸线的地理距离,在海运作为国际贸易主要运输方式的条件下,也决定了该地区的对外开放度。更为开放的近海地区通常更具经济活力,社会组织高效而灵活,能快速调整适应外部变化。外部需求引致的商品出口在这些地区或许更能促进经济规模的扩张和产业结构的深度调整,从而对环境产生更大的影响。纬度刻画了一个地区的地理风貌、生产方式和文化习俗等,高低纬度地区温度、日照和季风等不同带来的生产生活方式和产业选择差异以及空气污染物扩散条件的不同,都可能使出口贸易的空气污染效应呈现地区异质性。此外,地理区位还往往决定了地区的人口密度,很多国家都存在明显的人口密度地理分割线。人口密度低的区域通常经济活动密度也较低,环境承载力较强,出口贸易在经济上的规模效应和结构效应较低,所产生的污染物扩散条件也较好,出口所致的污染效应通常会更低。但是,综合其他地理特征的影响,结果也有可能不同。

(2)地理气候条件会影响经贸活动和空气污染扩散的效率,对出口贸易的环境污染效应产生调节作用。海拔决定了一个地区的地形条件,高海拔地区通常是山地和高原,外部需求带来的出口贸易很难大面积展开,对当地经济规模和产业结构影响的广度和深度有限,因而出口的污染效应会较低。气压影响空气中的氧含量,低气压会使人出现头痛、乏力、精神不振等症状的频率升高,相反气压较高地区的劳动者有较高的生产率,更有利于规模效应和结构效应的发挥,因而出口的污染效应也越高。此外,气压是大气污染物扩散的重要影响因素,当某地区被高压中心控制时,空气作下沉运动,并形成下沉逆温,不利于污染物向上扩散。温度、降雨量和湿度等会影响地区的产业选择和分布,对出口的空气污染产生影响。比如低温地区因冬季取暖的需要更可能大量聚集煤炭、石化和能源等资本密集型污染产业,结构效应会非常突出,从而加剧低温地区的空气污染。同时,这些地理条件也是大气污染物扩散的重要影响因素,更高的气温、降雨量和湿度都有利于大气污染物的扩散,从而降低出口所致的空气污染水平(何强等,2004)。

(3)地理相关性会影响出口贸易空气污染效应评估的准确性。通常,存在两类潜在的地理相关性,即经济活动的地理相关性和空气污染的地理相关性。全球价值链分工造成消费地和生产地的分离,国内价值链分工又会造成出口地和生产地的分离。出口商品的所有生产环节通常并不完全在出口地完成,其中一部分生产环节会在邻近地区完成。由此,一地出口增长所致的规模效应和结构效应就不仅发生在本地,而且会发生在邻近地区,从而同时影响本地和邻近地区的环境污染。此外,本地出口品生产导致的空气污染也会随气流向邻近地区扩散,从而影响邻近地区的空气污染水平。如果只考虑本地出口贸易对本地空气污染的影响,忽视经济活动和空气污染的地理相关性,则会错误评估出口贸易的空气污染效应。值得注意的是,经济活动和空气污染的地理相关性应该限于一定的空间范围,随着地理距离的扩大而衰减,甚至消失(Anderson,2012)。

2. 模型设定

基于理论机制分析,本文实证部分的基准回归模型设置如下:

$$Z_{it} = \gamma \ln EX_{it} + X_{it}' \phi + \alpha_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (1)$$

其中,下脚标 i 和 t 分别代表城市和年份, Z_{it} 表示空气污染水平, $\ln EX_{it}$ 表示出口额, γ 是解释变量出口额的系数, X_{it}' 表示控制变量矩阵, ϕ 是控制变量的系数向量, α_i 和 λ_t 分别表示城市固定效应和年份固定效应, μ_{it} 表示随机扰动项。

本文加入地理特征变量与出口额交叉项来检验地理区位特征和地理条件对出口贸易空气污染效应的调节作用,回归模型设置如下:

$$Z_{it} = \beta GEO_i \times \ln EX_{it} + \gamma \ln EX_{it} + X_{it}' \phi + \alpha_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (2)$$

其中, GEO_i 表示各城市地理区位特征和地理条件的前定变量,它在样本期内不随时间的变化而变化。 β 表示地理特征和出口额交乘项的系数。

本文将使用空间计量经济学模型来评估空气污染和经贸活动地理相关性对出口贸易空气污染效应的影响。考虑空气污染本身的空间相关性,在基准回归方程右边加上因变量的空间滞后项,构造如下空间自回归模型(SAR模型):

$$Z_{it} = \rho W Z_{it} + \gamma \ln EX_{it} + X_{it}' \phi + \alpha_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (3)$$

其中, W 是空间权重矩阵, $W Z_{it}$ 是因变量的空间滞后项,表示 i 市邻近城市的平均空气污染指数。 ρ 是因变量空间滞后项的系数,用以衡量空气污染的空间依赖度。

同时考虑经贸活动的空间相关性,在 SAR 模型的右边再加上自变量的空间滞后项,构造如下空间杜宾模型(SDM):

$$Z_{it} = \rho W Z_{it} + \gamma \ln EX_{it} + \zeta W \ln EX_{it} + X_{it}' \phi + W X_{it}' \xi + \alpha_i + \lambda_t + \mu_{it} \quad (4)$$

其中, $W \ln EX_{it}$ 表示解释变量的空间滞后项, $W X_{it}'$ 表示控制变量的空间滞后项,代表 i 市邻近城市的平均出口额和经济指标。 ζ 和 ξ 分别是解释变量空间滞后项的系数和控制变量空间滞后项的系数向量。

四、数据和变量说明

1. 数据来源

本文选取 2004—2013 年中国 274 个地级市的面板数据作为研究样本。^①空气污染指数和可吸入颗粒物(PM₁₀)等环境污染数据来自历年《中国环境状况公报》和《中国环境年鉴》。城市经济社会数据来自历年的《中国城市统计年鉴》和《中国区域经济统计年鉴》。地理气象数据来自国家气象信息中心的中国地面累年值年值数据集(1981—2010年)。地理空间数据基于百度地图确定的经纬度坐标计算得出。

2. 变量说明

(1)被解释变量。本文选择空气污染指数(API)和可吸入颗粒物 PM₁₀ 浓度的对数值($\ln PM_{10}$)作为被解释变量。API 是反映和评价空气质量的综合性指标,指数越高表示空气污染越严重,它将二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO₂)和可吸入颗粒物(PM₁₀)三大类空气污染物浓度简化成单一数值指标,克服了单个空气污染指标不能综合衡量“系统范围内”空气污染变化的缺点(陆昉,2012)。2013 年中国开始实施《环境空气质量标准》(GB3095-2012),在原有 SO₂、NO₂ 和 PM₁₀ 的基础上新引入 PM_{2.5}、臭氧(O₃)和一氧化碳(CO),构建新的空气质量指数(AQI)。但新标准第一阶段只在 74 个城市实施,考虑到指标定义的一致性和样本容量,本文没有纳入 2013 年后的相关数据(黎文靖和郑曼

^① 主要变量的描述性统计,请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

妮,2016)。由于雾霾近年来成为民众最关注的空气污染问题,因此,还选择了造成雾霾的可吸入颗粒物代表性指标 PM_{10} 浓度的对数值作为被解释变量,增强实证结果的稳健性。^①

(2)解释变量。本文使用出口贸易额的对数值($\ln EX$)作为主解释变量,它在某种程度上可以反映外国对中国工业制成品的最终消费需求。因为中国在全球价值链分工中的位置决定了中国大量进口元器件和零部件等中间产品,而出口加工组装完成的最终工业品。海关数据显示中国出口商品前十位都是工业制成品,且高度集中于资本密集型工业品,仅电子机电产品出口占比就超过40%。

(3)控制变量。根据国际贸易与环境污染相关理论和已有实证研究的通行处理方式,为保证实证分析结果更接近条件独立假设,本文主要控制以下控制变量:

进口额的对数值($\ln IM$)。在全球价值链下,零部件和原材料的进口是制成品出口的基础,共同塑造消费与生产环节相分离的现代贸易体系,对生产国和全球的环境产生影响,本文选择控制进口额的对数值。

地区生产总值的对数值($\ln GRP$)。地区生产总值标识该地区的经济规模,对其出口商品规模和污染物排放都有直接影响,本文选择控制当年价格核算的地区生产总值的对数值。

产业结构(IS)。产业结构深刻影响着—个地区出口贸易的同时影响着当地的空气污染。本文选择控制各城市的第二产业增加值占比来衡量该市的产业结构。

科技支出强度($STEI$)。技术水平是一个地区综合经济实力的基础,影响当地产品的国际市场竞争力,同时也可以有效提高清洁生产技术的应用,提高资源的利用效率和环境质量。本文选择控制政府科技支出占财政支出的比例来衡量地区的技术水平。

外商直接投资额的对数值($\ln FDI$)。生产全球化背景下,外商直接投资(FDI)是商品出口的决定性因素之一,FDI对东道国环境污染的研究也一直是PHH研究的重点,本文控制各城市实际利用外资额的对数值。

此外,还控制了城市空气污染研究中通常会加以控制的人口密度(PD)、人均城市道路面积($PSTRE$)、每万人公共汽车数量($PBUS$)和人均绿地面积($PGRE$)等常见的控制变量。

(4)其他变量说明。本文使用的地理特征前定变量包括:城市经度($LONG$,单位:度)、纬度($LATI$,单位:度)、海拔($ALTI$,单位:米)^②以及各城市气压(AP ,单位:百帕)、气温($TEMP$,单位:摄氏度)、相对湿度($HUMI$,单位:%)和20—20时降水量($PRECI$,单位:毫米)的1981—2010年累计年平均。^③

五、实证检验结果

1. 基准回归结果

表1报告了出口贸易对空气污染影响的基准回归结果。第(1)列和第(2)列的结果说明,无论是否加入控制变量,出口贸易对空气污染指数都有着显著的正向影响。其他条件不变时,商品出口额增加100%,空气污染指数将会有约0.046的上升。2004—2013年,中国商品出口从5933.2亿美元增加到23422.9亿美元,增长了大约3倍^④,这意味着如果其他条件不变,外部消费需求增加引致的

① 本文的空气污染指数和 PM_{10} 等空气污染指标均按照《环境空气质量标准》(GB3095-1996)的规定。

② 城市的经纬度和海拔高度都是根据城市行政中心所在位置测得。

③ 根据各城市与各观测台站名称一致性进行数据匹配,个别城市无与其名称相同观测台站,则选择距离该城市中心城区最近的台站数据。少数观测台站的数据并非严格来自1981—2010年,本文对这些数据均按照国家气象中心数据集的说明进行处理。

④ 数据来源于国家统计局(<http://data.stats.gov.cn>)。

出口贸易增长使中国的 API 提高了约 0.18, 相当于在 2004 年 274 个城市空气污染指数均值 3.20 基础上提高了 6%。考虑到经济活动影响可能的滞后效应, 将解释变量滞后一期 ($\ln EX_{-1}$) 的回归结果报告在第(3)列, 结果显示, 出口贸易对空气污染指数的正向影响依然显著。第(4)—(6)列报告了 $\ln PM_{10}$ 作为被解释变量的结果, 出口贸易对该指标衡量的空气污染同样存在显著正向效应。其他条件不变时, 出口贸易额增加 100%, PM_{10} 浓度会提高大约 2%, 解释变量滞后一期的结果依然显著为正。

表 1 出口贸易对空气污染影响的基准回归结果

	API			$\ln PM_{10}$		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$\ln EX$	0.0456*** (0.0164)	0.0456** (0.0191)		0.0195*** (0.0059)	0.0287*** (0.0070)	
$\ln EX_{-1}$			0.0370** (0.0181)			0.0161** (0.0069)
控制变量	否	是	是	否	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R^2	0.7154	0.7165	0.7335	0.7514	0.7607	0.7704
样本量	2726	2563	2310	2726	2563	2310

注: 利用 Stata15 软件计算得出, 括号里为稳健标准误, ***, ** 和 * 分别表示在 1%, 5% 和 10% 的水平下显著。以下各表同。

2. 地理区位特征的影响

城市所处地理区位的不同可能使出口贸易的空气污染效应呈现异质性, 表 2 报告了中国的东中部和西部地区、南方与北方城市以及“胡焕庸线”两侧城市出口贸易对空气污染影响的差异。^① 同时, 本文也将经纬度加入回归, 检验上述结果的稳健性。

(1) 东中西部地区的异质性。中国东中西部地区的划分不仅刻画了中国城市距离海岸线远近所带来的经济地理影响, 更标识了中国梯度开放政策的经济社会影响。表 2 中第(1)列的结果显示, 相对于西部地区, 东部地区 ($EAST$) 和中部地区 ($CENTRAL$) 对应城市出口贸易对空气污染有着显著的正向影响。这表明开放度和经济发展水平相对更高的东中部地区, 外部需求引致的出口贸易的规模效应和结构效应更为明显, 对空气污染的负面效果显著, 仍面临贸易粗放式增长向集约式增长转型的重大任务。表 2 中第(2)列使用经度指标 ($LONG$) 替代东中西部虚拟变量进行回归, 结果显示经度越大的中国近海地区出口贸易的空气污染效应越明显, 与上述结果基本一致。

(2) 南方和北方的异质性。中国南方和北方的温度、湿度、降水等自然条件迥异, 由此带来地理风貌、生产方式和文化习俗的较大差异, 这既导致南北产业发展差异, 也可能对南北空气污染产生不同影响。地理学家张相文(1908)年在《新撰地文学》中首次界定了中国南北方自然地理分界线为秦岭—淮河线, 位列“中国地理百年大发现”之首, 该线既是中国 800 毫米年降水量分界线和 1 月 0℃ 等温线, 还是水田旱地分界线和亚热带季风气候和温带季风气候分界线。表 2 中第(3)列的结果显示, 北方地区 ($NORTH$) 出口贸易对空气污染的影响显著的高于南方地区。可能的原因, 一是北方冬季低温的供暖需求使其能源石化相关高污染产业的比重高于南方, 结构效应更显著; 二是北方的

^① $\ln PM_{10}$ 作为被解释变量的估计结果, 请参见《中国工业经济》网站 (<http://www.ciejjournal.org>) 附件。

表 2 地理区位对出口贸易空气污染效应的影响

	API				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\ln EX \times EAST$	0.1280** (0.0466)				
$\ln EX \times CENTRAL$	0.0746** (0.0283)				
$\ln EX \times LONG$		0.0076*** (0.0020)			
$\ln EX \times NORTH$			0.0784** (0.0308)		
$\ln EX \times LATI$				0.0054*** (0.0021)	
$\ln EX \times HU-LINE$					-0.0358 (0.0465)
$\ln EX$	-0.0102 (0.0231)	-0.8070 (0.2152)	0.0236 (0.0194)	-0.1234* (0.0655)	0.0775* (0.0449)
控制变量	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R ²	0.7180	0.7184	0.7174	0.7172	0.7165
样本量	2563	2563	2563	2563	2563

注:①根据“七五”计划和“西部大开发”战略的划分标准确定东中西部地区。表 2 中的 *EAST* 表示东部地区城市的虚拟变量,北京、天津、上海及河北、山东、辽宁、江苏、浙江、福建、广东、海南各省份所辖城市设定为 1,其他为 0;*CENTRAL* 表示中部地区城市的虚拟变量,山西、黑龙江、吉林、安徽、江西、河南、湖北、湖南各省份所辖城市设定为 1,其他为 0。②根据张相文(1908)提出的秦岭—淮河线和张剑等(2012)《基于 GIS 的中国南北分界带分布图》划分中国中东部的南方和北方城市。中国西部的南北划分采用基于原中国科学院地理研究所自然区划方案的北线标准,即以秦岭—祁连山—阿尔金山—昆仑山—帕米尔高原为界划分南方和北方。表 2 中的 *NORTH* 表示北方城市的虚拟变量,按上述标准的北方城市设定为 1,南方城市设定为 0。③根据地理学家胡焕庸 1935 年提出的黑河(瑗珲)—腾冲线将中国分为面积大体相当、人口疏密悬殊的东南和西北两部分。表 2 中的 *HU-LINE* 表示“胡焕庸线”两部分的虚拟变量,该线东南部的城市设定为 1,西北部的城市设定为 0。

低温、干燥等气候特征导致空气污染扩散条件弱于南方。表 2 中第(4)列使用纬度指标(*LATI*)代替南北地区虚拟变量进行回归,结果显示纬度更高的中国北方地区的出口贸易空气污染效应更为明显,与上述结论一致。这提示政府在“美丽中国”建设中关注地理特征对产业选择与发展、环保理念以及生活与社交方式等方面的影响,在区域发展规划的空间布局与环境治理的政策选择上要因地制宜,重视各地地理条件在区域产业规划环境评估中的作用。

(3)“胡焕庸线”两侧的异质性。“胡焕庸线”(又称黑河—腾冲线或瑗珲—腾冲线)是 1935 年提出的中国人口密度对比线,将中国分成地理面积大体相当但人口和经济活动密度完全不同的西北和东南两部分。本文设置虚拟变量 *HU-LINE*,如果城市位于“胡焕庸线”两侧,则取值为 1,否则为 0。表 2 中第(5)列的结果表明,“胡焕庸线”两侧地区出口贸易对空气污染的影响没有显著区别,说明即便人口和经济密度的巨大差异也未必会造成现实中出口贸易对空气污染影响的不同。80 多年来,“胡焕庸线”的东南一侧始终集中了中国超过 90%的人口和产值,中国正计划通过新型城镇化突破“胡焕庸线”,这里产业规划与发展是关键。部分地区提出积极承接东南沿海地区的产业转移,通过外向型出口贸易带动经济发展。但是,在可能有着更高环境承载力的人口低密度地区,出口贸易

的空气污染效应仍不可小觑。突破“胡焕庸线”必须坚持贯彻“两山”理论,密切关注环境质量问题,利用生态自然优势重点发展当地特色产业,不必承接加工装配产业,不必走服务外部市场的出口发展之路。

3. 地理气候条件的影响

地理气候条件会通过生产机制和扩散机制对出口贸易的空气污染效应产生调节作用,表3报告了海拔、气压、温度、湿度和降雨量对出口贸易所致空气污染影响的回归结果。^①

表3 地理气候条件对出口贸易空气污染效应的影响

	API				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$\ln EX \times ALTI$	-0.0860*** (0.0204)				
$\ln EX \times AP$		0.0085*** (0.0021)			
$\ln EX \times TEMP$			-0.0042*** (0.0003)		
$\ln EX \times HUMI$				-0.0018 (0.0016)	
$\ln EX \times PRECI$					-0.0020 (0.0028)
$\ln EX$	0.0955*** (0.0253)	-0.7665*** (0.1934)	0.0416*** (0.0162)	0.1709 (0.1175)	0.0673* (0.0376)
控制变量	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R ²	0.7184	0.7181	0.7165	0.7166	0.7165
样本量	2563	2553	2563	2563	2563

注:为保持报告结果有效位数的一致性,调整了地理气候条件变量的单位量纲,这不影响结果的统计显著性和经济意义。

(1)海拔对出口贸易的空气污染效应存在显著负向影响。表3中第(1)列的结果显示,随着海拔的提升,出口贸易带来的空气污染会降低,这既反映了高海拔的山地和高原地区出口贸易的规模效应和结构效应难以发挥,也可能意味着较高的地势有着相对更好的空气污染扩散条件,在区域产业规划和空间布局时需要考虑地形地势问题。

(2)气压对出口贸易的空气污染效应存在显著正向影响。表3中第(2)列的结果显示,气压越高会加剧出口贸易的空气污染,这既可能是因为高气压地区劳动者高效率引起的更加显著的规模效应和结构效应,也可能与高气压条件不利于空气污染物扩散有关。气压受海拔、温度和空气运动等因素影响的机制复杂,但一地气压条件较为稳定和规律,在经济条件相当的情况下,或许应避免将污染产业布局在低气压地区。

(3)温度对出口贸易的空气污染效应存在显著负向影响。表3中第(3)列的结果显示,气温越高会降低出口贸易的空气污染,这可能与南方相比北方更低的出口贸易空气污染效应的逻辑一致,即气温较低地区的产业选择与发展会相对更倾向于部分污染密集型产业且空气污染扩散条件也较差。这意味着北方低温地区的空气污染防治应彻底改用新型环保取暖方式,并加快传统能源石化产业调整和升级的速度,国家相关产业规划布局也应将气温条件纳入考虑。

^① $\ln PM_{10}$ 作为被解释变量的估计结果,请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件。

(4)湿度和降水量对出口贸易所致颗粒物污染存在一定的负向影响。一个地区的湿度和降水量高度相关,表3的结果显示,它们对出口贸易的空气污染效应存在一定程度的负向影响。值得注意的是,湿度和降水量对出口贸易所致颗粒物污染 $\ln PM_{10}$ 的负向影响在统计上较为显著,但对综合空气污染指数 API 的影响在统计上并不显著。这表明地理气候条件对出口贸易所致的不同类型空气污染的调节作用可能存在差异,各地区需根据本地主要空气污染物的类型进行科学分析和应对。

4. 地理相关性的影响

城市的出口贸易不仅影响本市的空气污染,还会影响邻近城市的空气污染。这种空间溢出效应既可能通过空气污染物的空间流动,也可能通过城市间产品生产和流通的空间分离而产生。因此,本部分重点考察地理相关性对出口贸易空气污染效应的影响。

(1)中国空气污染与经贸活动的地理相关性。2004—2013年,加入世界贸易组织后的中国空气污染最严重城市有明显向东转移的迹象,逐步从山西和川渝地区集中到更靠近北方主要港口城市的河北和鲁西一带。图1报告了2013年中国城市 API 和 $\ln PM_{10}$ 的全局Moran指数(Moran's I)和Moran散点图,结果显示无论是 API 或是 $\ln PM_{10}$,采用各种空间权重矩阵的情况下^①,样本城市大都散落在第一象限和第三象限,具有显著的高—高型聚集和低—低型聚集的空间正相关性^②。空气污染的Moran's I都在0.5左右,显示了很强的空间正相关性,统计上也非常显著。此外,区域经济活动也具有空间相关性,一个地区的经贸活动对周边地区经贸活动产生关联,继而对周边地区的空气污染都可能产生影响。比如某城市为满足外部商品消费需求而增加的产品出口,其生产环节可能配置在本市和邻近城市完成,从而对本市和邻近城市的空气污染产生影响。图2报告了使用 $W5$ 计算的城市经济指标Moran's I和Moran散点图^③,结果显示样本城市在所选经济指标中大部分落入第一和第三象限,城市经济活动具有明显的正向空间相关性。相关经济指标的Moran's I介于0.2—0.5之间,统计上也都非常显著。

(2)空间权重矩阵设定。通过Moran's I计算初步判定空气污染和经济活动地理相关性的存在,因而采用模型设定部分(3)式和(4)式的SAR模型和SDM进行空间计量分析。针对空间计量模型中 W 非内生的问题,本文使用多种空间权重矩阵检验估计结果敏感度的标准方法来克服。本文基于城市地理特征构造了三个空间权重矩阵:① WI 是逆地理距离空间权重矩阵。根据各城市经纬度信息,计算任意两城市之间的地理距离,将 w_{ij} 记作城市 i 到城市 j 地理距离的倒数得到。② WO 是共同边界空间权重矩阵。根据每个城市所处的地理位置,找到与其存在共同边界的城市,如果城市 i 与城市 j 拥有共同边界,就将 w_{ij} 记作1,否则记作0。③ $W5$ 是5个最邻近城市空间权重矩阵^④。根据城市间的地理距离,可以找到每一个城市最邻近的5个城市,将每个城市对应行或列中最邻近5个城市的元素 $w5_{ij}$ 记作1,其他记作0。以上三个空间权重矩阵都进行了行标准化处理^⑤。

① WI 、 WO 和 $W5$ 是基于城市地理特征构造的三个空间权重矩阵,后文将给出具体说明

② 这里,第一象限的高—高型聚集是指空气污染程度高于均值的城市其邻近城市的空气污染也高于均值,第三象限的低—低型聚集是指空气污染程度低于均值的城市其邻近城市的空气污染也低于均值。

③ 本文也使用了 WI 和 WO 两个空间权重矩阵进行计算,其结果与 $W5$ 的基本一致。

④ 最邻近城市数量5的确定基于两个理由:一是中国地级市有共同边界的城市的平均数为4.6个;二是基于贝叶斯后验模型概率对2013年的截面数据进行检验确定为5。本文还构造了4个和6个最邻近城市的空间权重矩阵 $W4$ 和 $W6$ 进行估计,进一步增强结果的稳健性,其与 $W5$ 的估计结果基本一致。

⑤ 行标准化处理是指对该矩阵进行处理使得矩阵每一行元素加总的和等于1,该处理确保所有的权重都在0—1之间,且可以将其他城市对某城市的影响均等化。

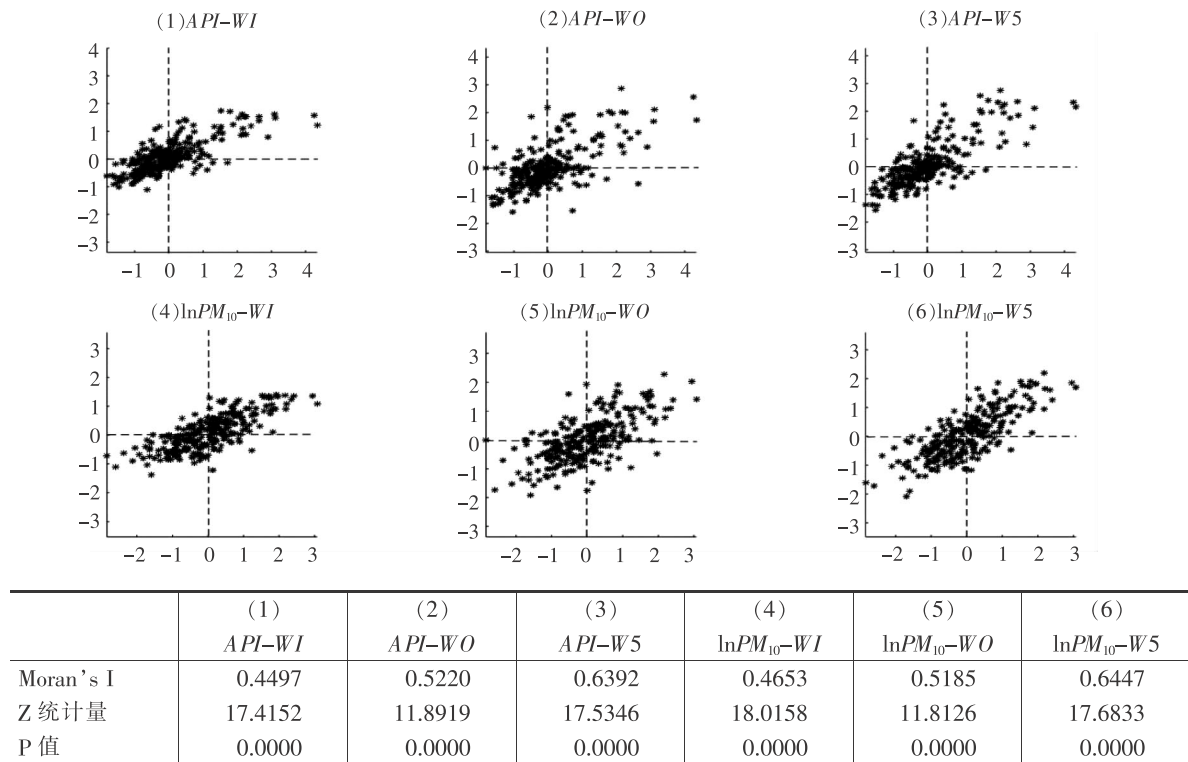


图 1 2013 年中国城市空气污染地理相关性的 Moran's I

注:利用 MATLAB 程序计算,图 2 同。

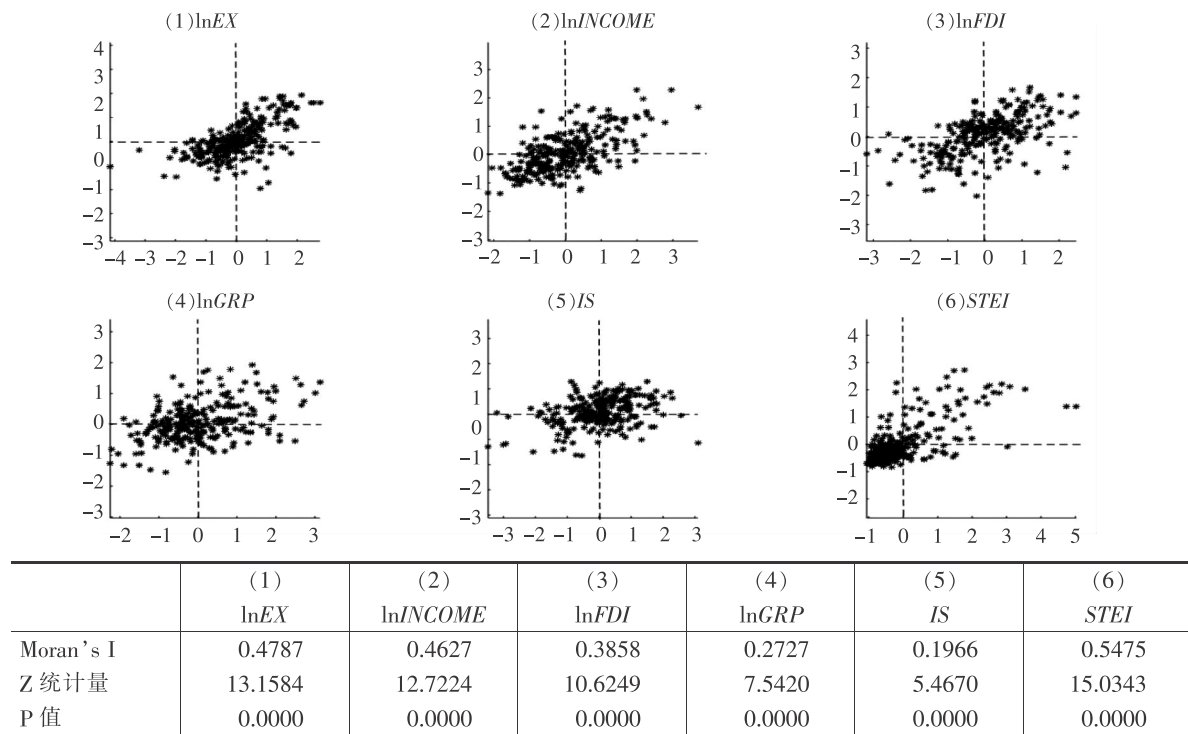


图 2 2013 年中国城市经济活动地理相关性的 Moran's I

(3)空间计量模型估计结果。表4报告了不同空间权重矩阵下,出口贸易空气污染效应SAR和SDM极大似然估计(MLE)^①与模型比较的结果^②。

表4 出口贸易空气污染效应的空间计量结果

API						
	SDM			SAR		
	(1) WI	(2) WO	(3) W5	(4) WI	(5) WO	(6) W5
$W \times API$	0.7143*** (0.0269)	0.4508*** (0.0216)	0.5243*** (0.0214)	0.7413*** (0.0255)	0.4638*** (0.0213)	0.5491*** (0.0206)
$W \times \ln EX$	0.0982* (0.0557)	0.0500* (0.0285)	0.0503 (0.0341)			
$\ln EX$	0.0222 (0.0167)	0.0224 (0.0164)	0.0246 (0.0163)	0.0277* (0.0163)	0.0304* (0.0165)	0.0291* (0.0161)
X'	是	是	是	是	是	是
$X' \times W$	是	是	是	否	否	否
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
Log L	-1417.9426	-1433.6072	-1379.3799	-1434.8029	-1459.3271	-1392.1874
R ²	0.7784	0.7752	0.7843	0.7767	0.7721	0.7835
样本量	2570	2570	2570	2570	2570	2570
模型比较结果						
Wald 空间滞后项	29.4052*** (0.0011)	39.3460*** (0.0000)	23.6850** (0.0085)			
LR 空间滞后项	33.7114*** (0.0002)	51.4326*** (0.0000)	25.7128*** (0.0041)			
Wald 空间误差项	34.7218*** (0.0001)	45.8486*** (0.0000)	31.7718*** (0.0004)			
LR 空间误差项	40.2995*** (0.0000)	57.8837*** (0.0000)	34.4905*** (0.0002)			

注:利用MATLAB程序计算,表中LogL为MLE对数似然值。Wald和LR空间滞后项检验的原假设:SDM模型可简化为SAR模型;Wald和LR空间误差项检验的原假设:SDM模型可简化为SEM模型。Wald和LR检验统计值下面的括号内为P值。

结果显示:①因变量的空间滞后项系数很大,在0.45—0.74之间,统计上也非常显著,表明邻近城市的空气污染对本市的空气污染具有显著的正向影响。空气污染的显著负外部性说明,空气污染需要超越行政区划的约束在更大范围内联防联控。同时,严重污染城市的空气治理将会有助于该市和周边城市空气质量的改善,其总体效果将远超预期。②SDM模型中,解释变量空间滞后项 $W \times \ln EX$ 的系数都为正,采用WI和WO时统计上显著,表明邻近城市的出口在很大程度上也会加剧本市的空气污染,间接验证了经济活动地理相关性对空气污染的影响。③利用SAR和SDM估计结果进行的Wald检验和似然比(LR)检验一致显示:可以拒绝SDM模型能简化为SAR模型或SEM模型的

① 因SAR和SDM等空间计量模型的数据生成过程(DGP)非线性,不能采用OLS估计,故此处采用MLE估计方法。部分空间计量模型DGP非线性的主要原因是回归方程包括因变量空间滞后项。比如SAR的DGP可以写作 $y = (I - \rho W)^{-1} X' \beta + (I - \rho W)^{-1} \mu$, I是 $N \times N$ 的单位矩阵,显然 X' 与 y 之间不再是线性关系。但是,只包括自变量空间滞后项的SLX模型仍是线性模型。

② $\ln PM_{10}$ 作为被解释变量的估计结果,请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejjournal.org>)附件。

原假设,因而重点关注 SDM 的估计结果^①。

(4)地理相关性直接效应与间接效应的分解。由于 SDM 的数据生成过程(DGP)非线性,表 4 中 $\ln EX$ 的系数不能作偏效应解释,需要基于其 DGP 表达式求偏导数分解出某一城市出口贸易对自身空气污染影响的直接效应和对邻近城市空气污染的间接效应(溢出效应)以及两者的总效应^②。这里的直接效应包括本市对邻近城市溢出效应的空间反馈累积效应。本文基于 LeSage and Pace(2009)的思路和方法,计算出直接效应、间接效应和总效应报告于表 5。

表 5 出口贸易对空气污染影响 SDM 的直接效应、间接效应和总效应

空间权重矩阵	API			lnPM ₁₀		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	WI	WO	W5	WI	WO	W5
lnEX 直接效应	0.0330* (0.0178)	0.0302* (0.0172)	0.0323* (0.0174)	0.0247*** (0.0061)	0.0232*** (0.0062)	0.0248*** (0.0062)
lnEX 间接效应	0.3845** (0.1899)	0.1007** (0.0481)	0.1261* (0.0666)	0.1378*** (0.0440)	0.0515*** (0.0139)	0.0405** (0.0207)
lnEX 总效应	0.4175** (0.1955)	0.1309** (0.0557)	0.1584** (0.0744)	0.1625*** (0.0452)	0.0747*** (0.0153)	0.0653*** (0.0231)

注:利用 MATLAB 程序计算。

结果显示:①出口贸易不仅对本市空气污染有着显著的正向直接效应,对邻近城市空气污染也存在显著的正向间接效应,且间接效应都大于直接效应。选用 WO 和 W5 两个稀疏空间权重矩阵意味着对间接效应的地理溢出范围做了相对严格的限定,可能更符合经济活动和空气污染地理相关性的现实情况,出口贸易对 API 的间接效应为直接效应的 3—4 倍,对 lnPM₁₀ 的间接效应大约是直接效应的 2 倍。从两项总效应的均值看,出口贸易增加 100%,API 会提高约 0.14,PM₁₀ 浓度会提高约 7%^③。②无论采取哪种标准,考虑了空气污染和经济活动地理相关性的空间计量模型估计出的出口贸易空气污染总效应都远高于基准回归模型估计的结果。基准回归中,对国外消费需求引致的中国出口贸易空气污染影响的低估,这一看似令人沮丧的结论却有理由使人们对中国污染防治攻坚战的效果有更乐观的期待。“入世”红利让中国商品出口额 2013 年相比 2004 年增长了大约 3 倍,使中国面临现今严峻的空气污染形势。随着中国进入对外开放新时代以及污染防治攻坚战的推进,出口增速下降、出口质量提升、价值链升级和环境综合治理增强等都将系统性降低空气污染水平,在显著空间溢出效应作用下,其效果将会倍增。③对比 SDM 和 SAR 两个模型直接效应和间接效应分解结果^④,只包含空气污染地理相关性的 SAR 模型的间接效应和总效应明显低于同时包含

① 从理论上考虑,相对 SAR 模型,SDM 本身也是一个更好的选择。因为 SDM 嵌套了 SAR 模型,具有更一般的设定形式(LeSage and Pace,2009)。SAR 模型还有一个重要缺陷,就是自变量的间接效应与直接效应的比率与该变量的估计系数无关,这意味着 SAR 模型中间接效应与直接效应之间的比率对于每一个自变量都是相同的(Elhorst,2014)

② 对于 SDM,直接效应为 $(I-\rho W)^{-1}(\gamma+W\zeta)$ 的对角线元素,间接效应为 $(I-\rho W)^{-1}(\gamma+W\zeta)$ 的非对角线元素;对于 SAR 模型,直接效应为 $(I-\rho W)^{-1}\gamma$ 的对角线元素,间接效应为 $(I-\rho W)^{-1}\gamma$ 的非对角线元素。 I 为单位矩阵。

③ WI 为密集空间权重矩阵,对间接效应的地理溢出范围未做限定,某城的出口会影响它邻居的空气污染,继而影响它邻居的邻居的空气污染,不断持续,会有无限的扩散效应和反馈效应累积,从而扩大它的间接效应与总效应。这里,出口贸易对 API 和 lnPM₁₀ 的间接效应分别约为直接效应的 11.6 倍和 5.6 倍。

④ SAR 模型直接和间接效应的结果,请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

了空气污染和经济活动地理相关性的SDM的结果,这证明了经济活动地理相关性对出口贸易空气污染效应的重要影响。导致这一结果的可能的原因是,中国城市间的价值链分工导致部分商品的出口地和生产地分离。一个城市的出口商品,其部分污染密集生产环节可能是在邻近城市完成,从而加剧了邻近城市的空气污染。这表明,环境治理绝不单单是严重污染城市的责任,而更应该采取全局性和系统性的战略,在国家层面出台政策和措施加快推进价值链向中高端升级,提高出口产品质量,降低“两高一低”产品出口。同时,针对空气污染的空间溢出效应,应加快设计并实施区域层面的空气污染联防联控工作机制,以有效降低全局性的空气污染水平。

六、内生性问题的讨论

基准回归模型中控制了合适的变量,尝试了滞后一期解释变量,回归结果都证明了出口贸易存在空气污染效应。然而,潜在的遗漏变量、双向因果和测量误差等导致的估计偏误仍悬而未决,本部分将讨论因果识别中的内生性问题。

1. 遗漏周期性省级政策变动差异所致内生性

中国省级政府通常会周期性地制定各类规划来布局省内区域经济和重点产业发展,也会相应调整环境规制的力度和措施,最具代表性的就是每隔5年一次的国民经济和社会发展规划。虽然各省份都根据中央政府的规划精神同步规划,但各省份面临的经济贸易状况和环境污染压力存在较大差别,因而就存在各省份规划与政策实施重点在时间趋势上的差异。同一省份地级市的出口贸易和空气污染水平都在一定程度上受到省内经贸政策和环境规制调整的影响,遗漏这一因素可能导致有偏估计。考虑到2004—2013年的样本期跨越了“十五”规划、“十一五”规划和“十二五”规划三个时期,本文通过(5)式,引入 $t \times d_p$ 表示年份时间趋势与省级固定效应的乘积,以允许不同省份的政策可以有不同的时间趋势来进行检验(Shi and Xi, 2018)。

$$Z_{it} = \gamma \ln EX_{it} + X_{it}' \phi + \alpha_i + \lambda_t + t \times d_p + \mu_{it} \quad (5)$$

从表6可见,相对于没有控制 $t \times d_p$ 的第(3)列和第(6)列的结果,控制了省级政策不同时间趋势的第(1)、(2)、(4)、(5)列,虽然系数估计值有所下降,但仍然没有改变出口贸易对空气污染的显著正向影响。第(2)列在统计上不显著,可能是因为控制变量增加导致自由度下降。

2. 遗漏其他变量、双向因果等所致内生性

(1)内生性的潜在来源:①遗漏变量偏误。由于本文使用中国地级市面板数据,完整数据的可获得性相对省级数据较差,回归中难免会遗漏部分对城市出口贸易具有正向影响和负向影响的时变变量,前者可能造成回归系数的高估,后者则可能造成回归系数的低估。②双向因果。外部需求所引

表6 遗漏周期性省级政策变动差异的影响

	API			lnPM ₁₀		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnEX	0.0320** (0.0153)	0.0218 (0.0172)	0.0456** (0.0191)	0.0123** (0.0057)	0.0178*** (0.0066)	0.0287*** (0.0070)
控制变量	否	是	是	否	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
$t \times d_p$	是	是	否	是	是	否
R ²	0.7823	0.7806	0.7165	0.7995	0.8001	0.7607
样本量	2726	2563	2563	2726	2563	2563

致出口贸易增长可能会通过规模效应、结构效应和技术效应作用于本地空气污染。同时,空气污染状况所反映的环境规制严格程度也可能是该地区承接国际产业转移的重要区位因素,宽松的环境规制吸引污染产业入驻,扩大污染密集型工业品的出口(Cole and Elliott, 2003; 陆旸, 2009)。双向因果所致内生性非常复杂,很难判断偏误的方向。为了尝试解决以上内生性问题导致的偏误,本文将 Frankel and Romer(1999)、黄玖立和李坤望(2006)以及李锴和齐绍洲(2011)的思路与城市样本的复杂性相结合,基于各城市与中国主要海港间的地理距离构造工具变量,用两阶段最小二乘法(2SLS)来识别出口贸易和空气污染之间的因果关系。

(2)工具变量(IV)的设定:①先在百度地图上定位 274 个样本城市,确定每个城市的经纬度信息。基于中国交通运输部公布的规模以上港口的外贸货物年均吞吐量数据确定中国排名前 15 位的港口^①,在百度地图上确定每个港口的经纬度信息。根据经纬度信息,计算出每一个城市到每一个港口的地理距离。从出口的全局地理分布考虑,中国出口货物的港口选择非常集中,前 5 名港口的货物吞吐量约占 50%,本文选择每个城市到中国前 5 大港口的平均距离($Adma$)作为城市商品出口的海外市场可达距离之一。从出口的局部地理分布考虑,其他条件接近情况下,每个城市会优先考虑距离本市最近的港口出口,本文选择每个城市到前 15 大港口中离该市最近的 5 个港口的平均距离($Admi$)作为城市商品出口的海外市场可达距离之二。②这些地理距离不随时间变化,不适用于面板数据模型(杨勇, 2017)。本文引入国家发展和改革委员会确定的成品油定价机制中参考的布伦特、迪拜和米纳斯三种原油现货价样本期内的年度均值(P_{BDM})与上述地理距离相乘,从而将地理距离变成代表出口商品到港运输成本的时变变量。③构成到港运输成本的地理距离可视作随机外生的,三种国际原油现货价格的均值相比国内汽柴油价格对中国各城市而言在相当程度上也可认为是外生决定的。在当前国际货物贸易 80%以上都通过海上运输完成的情况下,各城市到港运输成本是其出口成本的重要组成部分,与其出口贸易高度相关。到港运输成本除影响一地出口贸易外,还可能对进口贸易和 FDI 产生影响。但进口贸易额在本文所有回归结果中始终没有显示出对空气污染的显著影响^②。重视到港运输成本的 FDI 应主要是出口导向型,其对空气污染可能产生的影响仍会通过出口贸易渠道发生作用,而市场寻求型 FDI 通常不会受到当地到港运输成本的影响。因而,本文构造的工具变量基本能满足相关性和排他性的要求。

(3)IV-2SLS 回归结果。为了研究的方便,参照惯常做法,取上述到港运输成本的倒数作为出口贸易额的 IV,表 7 报告了 2SLS 估计的结果。在控制全部控制变量和双重固定效应的情况下,采用 IV-2SLS 方法,出口贸易对空气污染仍有显著的正向影响,且系数估计值较 OLS 回归系数估计值更大,说明此前基准回归低估了出口贸易的空气污染效应。一阶段 F 统计量在 15 左右,显示工具变量与内生解释变量存在显著相关性。本文还尝试了每个城市到中国最大的 3 个港口距离和每个城市到前 15 大港口中离其最近的 3 个港口距离分别乘以三地原油现货价格均值乘积的倒数作为工具变量进行稳健性检验,2SLS 回归结果仍然显示出口贸易对空气污染存在显著的正向影响。

① 该数据来源于中华人民共和国交通运输部网站(<http://www.mot.gov.cn/tongjishuju>),年均值基于网站公告的 2007—2013 年各年外贸货物吞吐量除以公告年数,排名前 15 名的港口分别为:上海港、宁波舟山港、青岛港、天津港、深圳港、日照港、唐山港、大连港、广州港、连云港港、厦门港、北部湾港、烟台港、营口港、湛江港。这些海港在过去 10 年间基本稳居中国外贸货物吞吐量前列,相对位次有所改变。前 5 名上海港、宁波舟山港、青岛港、天津港、深圳港长期位次稳定,占全部沿海外贸货物吞吐量的 50%左右。

② 进口贸易空气污染效应的回归结果,可通过《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件中的原始数据和程序获取。

表 7 出口贸易对空气污染影响的工具变量结果

IV	$1/(Adma \times P_{BDM})$		$1/(Admi \times P_{BDM})$	
	API (1)	$\ln PM_{10}$ (2)	API (3)	$\ln PM_{10}$ (4)
$\ln EX$	1.2024*** (0.3225)	0.5781*** (0.1441)	1.3097*** (0.3370)	0.5749*** (0.1403)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.2246		0.1292	
样本量	2563	2563	2563	2563
第 1 阶段 F 统计量	15.4300		16.3564	

七、结论与政策建议

本文研究了全球价值链中商品消费地与生产地分离所导致的出口贸易对中国空气污染的影响,重点关注地理特征对出口贸易的空气污染效应的各种影响。研究发现:①外部需求引致的出口贸易对中国空气污染存在显著的正向影响,考虑可能的内生性问题而采用工具变量法的估计结果仍然支持这一结论。②出口贸易的空气污染效应在地理区位上呈现显著异质性,地理气候条件对出口贸易的空气污染效应有着重要的调节作用。③经济活动和空气污染的地理相关性使出口贸易的空气污染效应被低估,通过经济与贸易增长模式转型的污染治理效果将好于预期。

污染防治攻坚战中,坚决打赢蓝天保卫战是重中之重。本文的研究为中国空气污染治理提供了新的实证证据和启示,根据研究结论提出如下政策建议:

(1)将转变服务外部市场的生产型增长模式和外贸模式作为污染防治的根本。生态环境问题归根结底是发展方式的问题,环境污染是经济社会活动的结果。近年来,中国在环境污染问题上受到诸多非议和指责,承受着巨大的国际压力,污染问题甚至成为西方否认中国经济成就的重要依据。本文研究表明,“入世”后的中国承接了全球价值链中最大份额的加工制造环节,出口了大量物美价廉的各类工业制成品,满足了全世界消费者的多样化需求,抑制了全球通货膨胀,为世界经济持续增长做出了贡献,却在此过程中加剧了本国的环境污染。因此,一方面,中国必须坚决反对国际上对中国污染问题的无端指责,增强在全球环境治理体系中的话语权和影响力;另一方面,必须转变客观上造成中国环境污染的服务外部市场的生产型增长模式和外贸模式。新时代的中国必须扎实推进国内市场的培育,加大研发投入强度,以实现经济增长与对外贸易的高质量增长。要用最严格的制度和最严密的法治切实保护生态环境,健全环保体制,完善环保法律,严格环境执法,加大惩处力度,才能倒逼价值链和产业升级,促进企业绿色生产,从源头上消减各类污染。

(2)西部地区应重点发展当地绿色产业而非承接东南地区的产业转移。本文研究表明,粗放式的贸易增长在污染密集型产品出口所致的规模效应和结构效应作用下对环境质量的负面效果明显。同时,人口密度差异巨大的“胡焕庸线”两侧地区出口贸易的空气污染效应没有显著差异。西部地区通过承接东南沿海地区的加工制造业转移,带动经济梯次发展以突破“胡焕庸线”的主张一度非常流行。但是,人口与经济密度低不代表环境承载力强,西部地区在此过程中必须特别警惕出口贸易所致的污染问题。事实上,中国西部地区在劳动力和运输成本等方面与东南亚、南亚国家相比,并没有从事加工制造业的优势。以当前中国的整体经济发展水平,西部地区也完全没有必要再走一遍服务外部市场的生产型增长之路。西部地区更应以“两山”理论为引领,另辟蹊径,充分利用现有

生态优势,重点规划和发展西部特色产业,走出一条不同于中东部的绿色发展新路,在新时代才更有现实基础和实践意义。

(3)各级政府的产业规划应重视地理特征对产业发展和环境承载力的影响。本文研究表明,海拔、气温、湿度和降水量对出口贸易的空气污染效应存在显著负向影响,而气压则有着显著的正向影响。这启示中国各级政府在产业发展规划的空间布局上要因地制宜,充分考虑地形、气候等地理因素的影响,重视地理条件在产业规划和环境评估中的作用。特定产业重点项目选址不能仅从产业配套、交通便利、就业等经济成本方面考虑,更需加强地貌、气温、气压、水文、植被等地理因素对当地环境承载力影响的科学分析。同时,还要根据各地主要空气污染物构成,分析地理气候条件对不同空气污染物的异质性影响。

(4)空气污染联防联控应从市级联合逐步过渡到省级联合。空气污染的空间扩散性与污染密集型产品生产体系的地理分割,使人们相信其治理不仅仅是严重污染地区的责任,而更应该采取全局性和系统性战略,超越行政区划约束在更大范围内联防联控,才能取得更好的治理效果。胡志高等(2019)的最新研究成果已经提出了大气污染联合治理的理论原则和逻辑框架,并设计了京津冀、东北、中原、长三角、长江中游、东南和西南地区七个省级层面的联合治理小组。本文在地级市层面测度了出口贸易对空气污染的溢出效应,结果显示:一个城市出口贸易对邻近城市空气污染的间接效应是对本市直接效应的3—4倍,相比基准回归结果,出口贸易每翻1倍,空间溢出效应会使API多提高约0.14,PM₁₀浓度会多提高约7%。考虑到中国各省份地理面积巨大和空气污染省级联合机制的运作效率,以省级政府作为空气污染治理的责任主体,首先在地级市层面实施空气污染联合治理机制在当前中国行政治理框架内也许更为可行,也更高效。在此基础上,再组成空气污染的省际联合治理机制,重点针对跨省邻近城市间的空气污染联防联控进行协调和管理。随着污染防治攻坚战向纵深发展、创新驱动发展战略的实施以及中国出口战略重心转向提高出口产品质量和实现价值链向中高端升级,对空气污染的联防联控必将在空间溢出效应作用下取得事半功倍的效果。

未来,如何将地理特征嵌入主流的贸易环境理论模型,如何在考虑地理相关性影响的基础上精准描绘中国空气污染时空演变的路线图,以及如何构建更底层的区域污染联防联控工作机制和实施细则等,都将成为下一步研究的方向。

[参考文献]

- [1]白俊红,王钺,蒋伏心,李婧. 研发要素流动、空间知识溢出与经济增长[J]. 经济研究, 2017,(7):109-123.
- [2]包群,陈媛媛,宋立刚. 外商投资与东道国环境污染:存在倒U型曲线关系吗[J]. 世界经济, 2010,(1):3-17.
- [3]何强,井文涌,王翊亭. 环境学导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [4]胡志高,李光勤,曹建华. 环境规制视角下的区域大气污染联合治理——分区方案设计、协同状态评价及影响因素分析[J]. 中国工业经济, 2019,(5):24-42.
- [5]黄玖立,李坤望. 出口开放、地区市场规模和经济增长[J]. 经济研究, 2006,(6):27-38.
- [6]黎文靖,郑曼妮. 空气污染的治理机制及其作用效果——来自地级市的经验数据[J]. 中国工业经济, 2016,(4):93-109.
- [7]李涵,唐丽森. 交通基础设施投资、空间溢出效应与企业库存[J]. 管理世界, 2015,(4):126-136.
- [8]李锴,齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J]. 经济研究, 2011,(11):60-72.
- [9]李小平,卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业CO₂排放[J]. 经济研究, 2010,(1):15-26.
- [10]刘笑萍,张永正,长青. 基于EKC模型的中国实现减排目标分析与减排对策[J]. 管理世界, 2009,(4):75-82.
- [11]陆旸. 环境规制影响了污染密集型商品的贸易比较优势吗[J]. 经济研究, 2009,(4):28-40.
- [12]陆旸. 从开放宏观的视角看环境污染问题:一个综述[J]. 经济研究, 2012,(2):146-158.
- [13]梅雪芹. 工业革命以来西方主要国家环境污染与治理的历史考察[J]. 世界历史, 2000,(6):20-28.

- [14]邵帅,李欣,曹建华,杨莉莉. 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角[J]. 经济研究, 2016,(9):73-88.
- [15]沈利生,唐志. 对外贸易对我国污染排放的影响——以二氧化硫排放为例[J]. 管理世界, 2008,(6):21-29.
- [16]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[J]. 中国社会科学, 2012,(5):54-75.
- [17]肖光恩,刘锦学,谭赛月明. 空间计量经济学——基于 MATLAB 的应用分析[M]. 北京:北京大学出版社, 2017.
- [18]谢锐,赵果梅. GMRIO 模型视角下中国对外贸易环境效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2016,(5):84-102.
- [19]许和连,邓玉萍. 外商直接投资导致了中国的环境污染吗? ——基于中国省际面板数据的空间计量研究[J]. 管理世界, 2012,(2): 30-43.
- [20]杨勇. 产业关联、市场竞争与地区新生企业产能累积[J]. 中国工业经济, 2017,(9):63-80.
- [21]张剑,柳小妮,谭忠厚,陈全功. 基于 GIS 的中国南北地理气候分界带模拟[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012,(3):28-33.
- [22]张相文. 新撰地文学[M]. 天津:中国地学会出版部, 1908.
- [23]张学良. 中国交通基础设施促进了区域经济增长吗? ——兼论交通基础设施的空间溢出效应[J]. 中国社会科学, 2012,(3):60-77.
- [24]Anderson, W. Economic Geography[M]. New York: Routledge, 2012.
- [25]Antweiler, W., B. Copeland, and M. Taylor. Is Free Trade Good for the Environment [J]. American Economic Review, 2001,91(4):877-908.
- [26]Becker, R., and V. Henderson. Effects of Air Quality Regulations on Polluting Industries [J]. Journal of Political Economy, 2000,108(2):379-421.
- [27]Cai, X., Y. Lu, M. Wu, and L. Yu. Does Environmental Regulation Drive away Inbound Foreign Direct Investment? Evidence from a Quasi-Natural Experiment in China [J]. Journal of Development Economics, 2016,(123):73-85.
- [28]Cole, M., and R. Elliott. Determining the Trade-Environment Composition Effect: The Role of Capital, Labor and Environmental Regulations [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2003,(46):363-383.
- [29]Copeland, B., and M. Taylor. North-South Trade and the Environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1994,109(3):755-787.
- [30]Copeland, B., and M. Taylor. Trade and Transboundary Pollution [J]. American Economic Review, 1995,85(4):716-737.
- [31]Cropper, M., and C. Griffiths. The Interaction of Population Growth and Environmental Quality [J]. American Economic Review, 1994,84(2):250-254.
- [32]Eaton, J., and S. Kortum. Technology, Geography and Trade[J]. Econometrica, 2002,70(5):1741-1779.
- [33]Elhorst, J. Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels[M]. Berlin: Springer, 2014.
- [34]Eskeland, G., and A. Harrison. Moving to Greener Pastures? Multinationals and the Pollution Haven Hypothesis[J]. Journal of Development Economics, 2003,(70):1-23.
- [35]Frankel, J., and A. Rose. Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting out the Causality [J]. Review of Economics and Statistics, 2005,87(1):85-91.
- [36]Frankel, J., and D. Romer. Does Trade Cause Growth[J]. American Economic Review, 1999,89(3),379-399.
- [37]Grossman, G., and A. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [R]. NBER Working Paper, 1991.
- [38]Grossman, G., and A. Krueger. Economic Growth and the Environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1995,110(2):353-377.
- [39]Harbaugh, W., A. Levinson, and D. Wilson. Reexamining the Empirical Evidence for an Environmental

- Kuznets Curve[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2002,84(3):541–551.
- [40]Keller, W., and A. Levinson. Pollution Abatement Costs and Foreign Direct Investment Inflows to U.S. States [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2002,84(4):691–703.
- [41]LeSage, J., and K. Pace. *Introduction to Spatial Econometrics*[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [42]Levinson, M., and S. Taylor. Unmasking the Pollution Heaven Effect[J]. *International Economic Review*, 2008, 49(1):223–254.
- [43]Masters, G., and W. Ela. *Introduction to Environmental Engineering and Science* [M]. New York: Pearson, 2007.
- [44]Reppelin–Hill, V. Trade and Environment: An Empirical Analysis of the Technology Effect in the Steel Industry[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1999,(38):283–301.
- [45]Selden, T., and D. Song. Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1994,(27):147–162.
- [46]Shi, X. Y., and T. Y. Xi. Race to Safety: Political Competition, Neighborhood Effects, and Coal Mine Deaths in China[J]. *Journal of Development Economics*, 2018,(131):79–95.
- [47]Smulders, S., L. Bretschger, and H. Egli. Economic Growth and the Diffusion of Clean Technologies: Explaining Environmental Kuznets Curves[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2011,49(1),79–99.
- [48]Zhang, Q., X. Jiang, D. Tong, S. J. Davis, H. Zhao, G. Geng, T. Feng, B. Zheng, Z. Lu, D. G. Streets, R. Ni, M. Brauer, A. van Donkelaar, R. V. Martin, H. Huo, Z. Liu, D. Pan, H. Kan, Y. Yan, J. Lin, K. He, and D. Guan. Transboundary Health Impacts of Transported Global Air Pollution and International Trade[J]. *Nature*, 2017,543(7647):705–709.

Export, Geography Conditions and Air Pollution

HU Yi¹, ZHANG Xiao–wei¹, LI Jing²

- (1. CEDR and EMS, Wuhan University, Wuhan 430072, China;
2. School of International Trade and Economics UIBE, Beijing 100029, China)

Abstract: The separation between the final consumption country and production country of commodities from GVC is an important reason for China’s air pollution. Based on panel data of 274 prefecture–level cities in China from 2004 to 2013, this paper studies the impact of export on air pollution and the impact of geography on the air pollution effects of export. The empirical results indicate that export has a significant positive impact on air pollution, and the results of IV still support the positive impact in consideration of endogeneity. The air pollution effects of export show significant heterogeneity in different areas. Geographic climatic conditions such as altitude, air pressure, temperature and so on can adjust the air pollution effects of export. The geographic correlations of economic activities and air pollution lead to the air pollution effects of export underestimated. The effectiveness of air pollution control through economic and trade quality upgrading will be better than expected. China has to transfer to new economic and export growth model based on quality and innovation for pollution abatement. Western Region of China should develop local green industries to break through the Hu–line. Government should emphasize the effects of geographical features on industry development and environmental capacity when planning. The joint prevention and control of air pollution should start from prefecture–level firstly and transfer to the provincial level gradually.

Key Words: export; air pollution; geography; spatial econometrics; global value chain

JEL Classification: F18 C31 R12

[责任编辑:许明]