

我国污染排放差异变化及其 收入分区治理对策^①

齐红倩^{1,2} 王志涛²

(1. 吉林大学数量经济研究中心; 2. 吉林大学商学院)

【摘要】本文采用泰尔指数和面板平滑迁移模型(PSTR),分析我国30个省份(2003~2012年)的区域污染排放差异变化,并基于测度结果和区域收入与污染阈值特征,提出我国区域污染治理对策。结果显示,我国区域污染排放差异主要表现为以中、东部为主的区域内差异,西部区域内差异也正迅速拉大。整体上污染排放强度随收入增长呈现出“拖尾式”倒“U”型发展趋势,人均GDP较低省份在越过1.22万元收入阈值后,收入提升对于污染减排的影响将由抑制转为促进;而人均GDP较高省份在越过4.27万元收入阈值后,收入增长的减排效应将明显减弱。格局分析表明,当前我国污染排放正呈现出一种“双期叠加”的“橄榄形”格局分布,为提高减排有效性,政府应依据不同区域的收入特征采取差异化的分区治理政策。

关键词 污染排放 泰尔指数 PSTR模型 空间差异

中图分类号 F062.2 **文献标识码** A

引 言

近年来,大气污染、环境治理已成为我国经济发展无法回避的问题,大范围的环境污染不仅给我国经济带来严重损失,也给居民健康造成了巨大危害。为有效遏制污染势头的蔓延,各级政府均加大了环境污染的治理力度,但与此同时,部分地区为达标完成减排任务,出现了年末突击、盲目照搬效仿等非理性治理现象。这种不顾区域经济发展实际的非科学治理模式不仅不可持续,而且极易导致低效治理、重复治理等问题。考虑到我国幅员辽阔,受区域经济、人口分布以及科技发展水平影响,各地污染排放强度以及综合治理能力均存在显著差异。因此,就治理层面而言,准确把握污染排放的区域性差异,将有助于政府有的放矢地制定节能减排政策,保证地区经济更高质量的发展。

从现有研究看,目前学术界对区域污染及防治的研究主要集中在污染损失评价与污染关联因素分析上,相关学者的理论研究表明,引起区域间环境污染差异的主要潜在因素可归结为三个方面。第一,区域收入差异。依据环境库茨涅茨曲线理论,区域环境污染将随人均收入的增长呈倒“U”型的变动趋势。第二,区域环境规制差异。环境规制具有双重效应,成本假说指出环境规制将直接导致企业成本的上升,而依据波特假说,适度提升环境规制水平

^① 本文获得国家社科基金项目(14BJL063)、教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(13JJD790011)和国家社科基金青年项目(11CJL012)的资助。

将有助于推动企业自主创新, 地方政府规制强度选择不同, 相应区域污染排放水平也存在显著差异。第三, 产业结构差异。一般而言, 随着产业结构的不断优化, 区域污染排放强度将不断降低, 但总体上环境污染企业多集中于以工业为主的第二产业区域 (Costantini 等, 2013; Sueyoshi 和 Yan, 2015; 肖挺和刘华, 2014; 邹庆等, 2014)。基于上述理论^①, Poon 等 (2006)、Matus 等 (2012) 分别利用时间序列和面板数据, 对不同地区因要素赋存不同而引致的污染排放差异进行实证检验。从学者们的研究结论可知, 学术界对环境污染与经济增长 (收入增长) 间是否存在倒“U”关系依然存在分歧 (Brajer 等, 2008; Victor 等, 2011), 但多数学者均认为两者间存在着非线性关系。在产业结构及环境规制方面, Su 等 (2011)、牛海鹏等 (2012) 的研究证实, 在长期视角下, 无论是产业结构优化, 还是环境规制的加强均能有效降低环境污染。

通过梳理我们发现, 在污染衡量指标的选择上, 受我国特有能源消费结构及相关统计数据质量影响, 在国内省域中长期污染排放研究中, 学者们一般选择二氧化硫排放总量、浓度或强度等作为主要污染衡量指标^②, 但相关研究很少从结构特征的角度对二氧化硫的排放来源做进一步区分, 这间接削弱了治污减排的针对性, 例如对于一般省份而言, 二氧化硫排放主要集中于工业领域, 但对于北京、上海、江苏等部分较发达省市而言, 民用领域的二氧化硫排放则较为突出, 因此从治理效率和治理成本的角度看, 笼统的总量或强度指标分析无法体现治理差异。在区域污染排放差异研究中, 基于要素引致思维, 众多学者主要从区域要素赋存差异的角度对区域污染排放变动进行深入探讨, 也在一定程度上揭示了我国污染排放的区域差异特征和趋势, 但无法回避的是, 由于缺少内部结构上的地域排放差异分解分析, 要素引致分析仅能揭示区域污染排放差异的外部影响特征, 而区域间和区域内差异分化和集聚特征却难以显现。

以上述观点为基础, 本文利用 2003~2012 年 30 个省份的环境面板数据, 分析我国区域污染排放的差异特征和变动趋势, 并从分区治理角度探讨当前我国的区域污染治理对策。同时考虑到不同地区工业化水平不同, 且经济落后地区多处于刚性排放上升期, 因而本文在对策分析中并未直接按区域污染排放强度进行比例化减排分担的讨论, 而是主张结合 EKC 理论和地区经济发展实际, 并依据区域收入水平采取分区域、阶段化的治理。因此在完成区域污染排放的差异测度后, 本文在实证部分进一步探讨了高收入地区和低收入地区在不同收入水平上的污染排放变动特征。最后, 文章对我国污染排放的收入门槛格局和空间分布差异进行总结和归类, 为不同省份有针对性地实施污染减排措施提供参考。

本文主要学术贡献: 一是利用泰尔指数完成了对我国工业二氧化硫排放的三区域分解, 并对区域污染排放的内部差异进行研究。考虑到我国生活二氧化硫排放主要源于基础民生领域, 不但排放较为分散, 而且减排弹性较小, 具有短期内难以规制的特点, 因此本文将占我国二氧化硫排放总量 80% 以上的工业二氧化硫作为污染排放结构分解的测量主体, 以此提

^① 对于外商直接投资 (FDI) 是否为引起我国区域污染排放差异的潜在因素目前学术界尚存争议。曾贤刚 (2010)、林季红和刘莹 (2013) 的研究表明, 在考虑环境规制的内生性特征后, 外商直接投资的“污染天堂假说”在我国并不真实存在。同时考虑到当前我国多数省份外商直接投资占地区生产总值份额相对较少, 因此本文分析中并未将其列为主要影响因素。

^② 选用二氧化硫作为主要污染衡量指标, 除了因为二氧化硫中长期统计数据质量较高外, 另外还考虑了两方面因素, 一方面, 长期以来煤炭在我国能源结构比重中占 65% 以上份额, 而燃煤的主要污染物便为二氧化硫; 另一方面, 2014 年战略研究机构兰德公司的中国污染调研报告表明, 我国环境污染以空气污染最为严重, 空气污染成本约占我国 GDP 总量的 6.5%, 约为水污染和土壤污染总治理成本的 2 倍。

高区域对比性和加强减排针对性。二是在减排对策分析中,本文主要基于区域收入水平特征进行研究,相对于一般研究中按污染排放水平进行地域划分的分析方法,按收入划分不仅避免了组内省份差异过大问题,而且也更符合 EKC 曲线变动趋势特征和我国地方发展实际。三是在以人均 GDP 为门槛变量的污染排放与收入阈值的检验过程中,针对普通面板门槛回归并不能精准地反映出变量系数的平滑转移趋势问题,本文利用 PSTR 模型分别探讨了不同收入区域污染排放的阶段性特征。

一、我国污染排放的区域差异描述及分解

1. 可视化差异描述

为从直观上考察我国污染排放的总体差异,本文基于各省份的单位工业增加值和人口数,利用 GeoDa 软件分别绘制了 2003 年与 2012 年各省份工业二氧化硫排放强度的可视分布图(图 1~图 4)。限于数据的可获取性,图中所列省份并未包含我国港澳台地区,各省份采用五种不同程度的颜色标记,颜色越深表示排放强度相对越高。

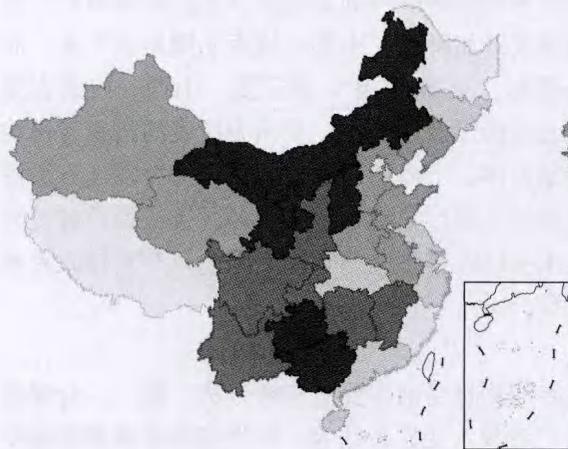


图 1 2003 年单位工业增加值排放强度

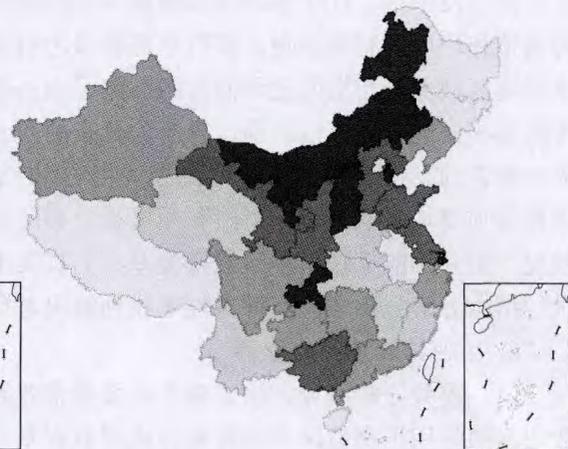


图 2 2003 年人均排放强度

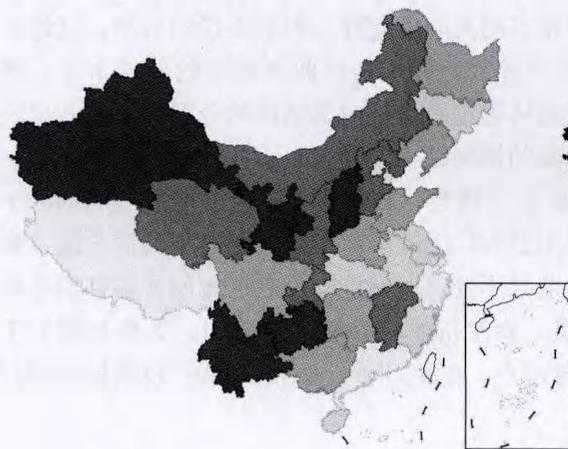


图 3 2012 年单位工业增加值排放强度

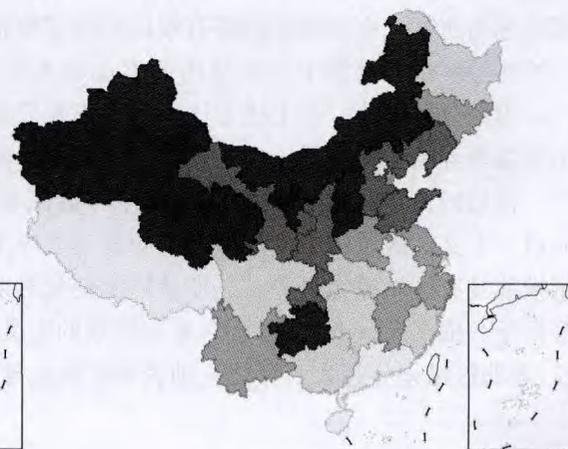


图 4 2012 年人均排放强度

从图1~图4可以看出,我国区域污染排放存在较为显著的差异。2003年基于单位工业增加值排放强度的观测结果显示:西部区域^①的宁夏排放强度最高(1803吨/亿元),内蒙古、山西、甘肃、贵州以及广西均处于较高排放水平,而北京、黑龙江、福建、广东、西藏等省份排放强度相对较低。基于人均排放强度的观测结果也表明类似结论,即宁夏、内蒙古、山西、天津、重庆、广西排放强度较大,北京、安徽、黑龙江、海南、西藏等省份相对较低。整体上看,2003年观测结果表明,除黑龙江、吉林、西藏等省份外,我国中西部地区整体排放强度较大,东部地区除山东、辽宁等省份外,整体强度相对较低。2012年基于单位工业增加值的观测结果表明,宁夏排放强度虽有所降低,但仍为我国排放水平最高的省份(448吨/亿元),山西、甘肃、贵州等传统高排放省份污染排放强度依旧较高,而北京、天津等发达省市,以及上海、浙江、广东等沿海省份的排放强度降低明显。这一结论也与人均排放强度的观测结果高度吻合,即2012年我国西北、西南地区,以及山西等中部地区省份排放强度较高,西藏及东部沿海地区排放强度相对较低。

总体看,这种格局变动也与我国经济发展实际相符。2003年高污染排放区域主要集中在中部以及山东、辽宁等部分东部地区,但随着中部崛起战略的实施以及发达区域落后产能的调整和环境规制的加强,多数东部省市污染强度开始降低,中部区域南北则出现分化,而重污染区域也开始沿西北和西南两条路径向外辐射。至2012年,除宁夏、山西、内蒙古等传统高排放地区外,以新疆、青海为代表的西北省份以及以云南、贵州为代表的西南省份均成为新进的高排放区域。与此形成鲜明对比的是天津、上海、江苏、广东等沿海发达省份污染排放强度均降低显著。虽然利用可视分布图能够直观形象地揭示我国各区域污染排放差异状况,但并不能反映出各阶段排放差异的真实水平以及排污结构状况,因此只有对排放差异进行结构分解分析才能有针对性地找到解决对策。

2. 区域排放差异的分解

(1) 差异分解测算方法。对于区域要素差异的测量当前主要有三类方法。第一,合成指数法。通常用于衡量区域差异的合成指数有基尼系数、变异系数等,该类指数能够客观地反映出区域的整体差异水平,但不能体现出区域内部的差异化结构变动,即不能深入阐释何地存在差异的问题。第二,空间差异指数法。空间计量理论认为,地域相连的空间单元在同质属性领域存在一定的地理关联特征,因此借助于对空间Moran指数、G指数等整体和局部指标的测算,空间指数能够有效识别区域要素空间关联度差异。但需要说明的是,这种差异的衡量仅仅能够揭示出区域内要素集聚水平的差异,并不能反映区域间的差异水平。第三,指数分解方法。与上述方法不同,指数分解法通过对指标内部结构的分解,不但能反映出区域差异的整体水平,也能够客观展示区域间的横向结构差异。

常用的衡量区域能源及排放差异的指标有迪氏指数(LMDI)和泰尔指数(Theil Index),本文对区域污染排放差异的测量选取应用更为广泛的泰尔指数。相对于其他方法,泰尔指数具有区域差异可分解、变量同比变化时差异不变,以及能够反映区域间转移补偿差异等特征。依据Theil(1967)对泰尔指数的定义,泰尔指数取值范围为0~1,数值越接近于1,表明区域差异越大,反之,则表明区域差异越小。借鉴Shorrocks(1980)以及杨骞和刘

^① 依据国家统计局三大经济带划分,东部区域:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、广西、海南12个省份;中部区域:山西、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南9个省份;西部区域:四川、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、西藏10个省份。

华军 (2012) 的泰尔指数结构差异分解思路, 本文对泰尔指数测量公式作如下设定:

$$T = \sum_i \sum_j \left(\frac{S_{ij}}{S} \right) \ln \left(\frac{S_{ij}/S}{N_{ij}/N} \right) \quad (1)$$

式 (1) 中, i 表示省份, j 表示区域, T 表示污染排放总体泰尔指数, S 表示全国工业二氧化硫排放总量, S_{ij} 表示区域 j 内第 i 个省份工业二氧化硫排放量。 N 代表全国工业增加值总量, N_{ij} 表示区域 j 内第 i 个省份的工业增加值。

为进一步测算区域间及区域内差异水平, 令 T_m 表示区域 j 内各省份间的工业二氧化硫排放量差异, 总体泰尔指数可分解成如下形式:

$$T_m = \sum_i \left(\frac{S_{ij}}{S_j} \right) \ln \left(\frac{S_{ij}/S_j}{N_{ij}/N_j} \right) \quad (2)$$

总体:

$$T = T_{wr} + T_{br} = \sum_j \left(\frac{S_j}{S} \right) T_m + T_{br} \quad (3)$$

组内:

$$T_{wr} = \sum_j \left(\frac{S_j}{S} \right) T_m = \sum_j \sum_i \left(\frac{S_j}{S} \right) \left(\frac{S_{ij}}{S_j} \right) \ln \left(\frac{S_{ij}/S_j}{N_{ij}/N_j} \right) \quad (4)$$

组间:

$$T_{br} = \sum_j \left(\frac{S_j}{S} \right) \ln \left(\frac{S_j/S_j}{N_j/N} \right) \quad (5)$$

上式中 T_{wr} 与 T_{br} 分别表示组内泰尔指数与组间泰尔指数, S_j 表示区域 j 内工业二氧化硫排放总量, N_j 表示区域 j 内的工业增加值总量。

此外, 为考察总体差异中区域内与区域间差异的相对贡献程度, 本文以 T_{wr}/T 、 T_{br}/T 分别表示区域内和区域间排放差异对总体排放差异的贡献度, 并以加权处理后的泰尔指数占比, 即 $(T_m/T) \times (S_j/S)$ 表示组内差异中各个子区域的差异贡献水平。

(2) 整体排放差异分解。为精确度量我国污染排放的区域性差异特征, 本文以工业增加值为权重, 利用式 (2)、式 (4)、式 (5) 测算 2003~2012 年我国工业二氧化硫污染排放的泰尔指数及其增长率, 如表 1 所示。

表 1 2003~2012 年我国整体泰尔指数及其增长率

年份	泰尔指数	增长率	年份	泰尔指数	增长率
2003	0.3092	—	2008	0.2641	-0.0520
2004	0.2927	-0.0534	2009	0.2523	-0.0447
2005	0.2763	-0.0560	2010	0.2497	-0.0103
2006	0.2936	0.0626	2011	0.2823	0.1306
2007	0.2786	-0.0511	2012	0.2793	-0.0106

注: 相关指标原始数据源于历年《中国环境统计年鉴》和各省份统计年鉴, 此外考虑到数据的连续完整性及可对比性, 计算中未包含我国西藏自治区及港澳台地区。

表1 总体泰尔指数测量结果表明,我国区域污染排放存在较为显著的差异性特征。污染排放强度差异最大和最小的年份分别为2003年(泰尔指数为0.3092)和2010年(泰尔指数为0.2497)。从泰尔指数增长率变动看,2003~2012年我国污染排放差异整体呈指数衰减态势,但2010年以后泰尔指数触底回升,表明近年来我国污染排放差异出现了一定的反弹势头。造成这种污染排放先降后升的原因表现在:一方面,排放差异真正开始逐年走低的时期主要集中于“十一五”期间,这一时期我国经济整体发展迅速,钢铁、水泥等高能耗产业逐渐趋于饱和,因而国家重点加强对该类污染密集型行业和地区的治理力度,部分地区为顺利完成减排目标,甚至实施了拉闸限电等极端措施,这也直接导致“十一五”末期我国整体排放差异降到历年最低水平;另一方面,2010年以后,受次贷危机及之后的欧债危机等外部因素的滞后影响,我国经济增速明显放缓,为保增长、稳就业,政府随即启动了以基础设施建设为主的一揽子投资计划,受区域投资差异及东部污染产业内迁影响,区域污染排放差异出现了回弹趋势。

(3) 三区域排放差异分解。为进一步分析区域间和区域内污染排放的结构差异,本文分别测算了区域内以及区域间的泰尔指数,并以东、中、西三区域为例对区域内泰尔指数进行分解,进而以各区域工业增加值为权重测算了相应泰尔指数贡献率,如表2所示。

表2 东、中、西三区域泰尔指数及其贡献率

年 份	泰尔指数					泰尔指数贡献率				
	东部	中部	西部	区域内	区域间	东部	中部	西部	区域内	区域间
2003	0.1309	0.2630	0.0746	0.2101	0.0991	0.3080	0.2108	0.1608	0.6796	0.3204
2004	0.1302	0.1922	0.0582	0.1833	0.1094	0.2785	0.1980	0.1497	0.6262	0.3738
2005	0.1346	0.1130	0.0637	0.1625	0.1138	0.2587	0.1942	0.1355	0.5883	0.4117
2006	0.1343	0.1080	0.1091	0.1670	0.1266	0.2414	0.1862	0.1410	0.5686	0.4314
2007	0.1361	0.0845	0.1003	0.1574	0.1212	0.2404	0.1848	0.1397	0.5648	0.4352
2008	0.1297	0.0865	0.0836	0.1483	0.1158	0.2363	0.1862	0.1390	0.5615	0.4385
2009	0.1303	0.0893	0.0816	0.1436	0.1087	0.2367	0.1910	0.1415	0.5692	0.4308
2010	0.1218	0.1052	0.0970	0.1494	0.1003	0.2454	0.2028	0.1502	0.5984	0.4016
2011	0.1173	0.1063	0.1883	0.1705	0.1118	0.2359	0.2048	0.1634	0.6040	0.3960
2012	0.1154	0.1129	0.1907	0.1706	0.1087	0.2374	0.2070	0.1664	0.6108	0.3892
均值	0.1281	0.1261	0.1047	0.1663	0.1115	0.2519	0.1966	0.1487	0.5971	0.4029

注:同表1。

从泰尔指数结构分解看,区域间泰尔指数整体较为稳定,而区域内泰尔指数变动则具有明显的两阶段特征,2009年以前逐年降低,2009年以后有小幅回升。具体到各个时期,区域内泰尔指数(均值0.1663)均大于区域间泰尔指数(均值0.1115),表明2003年以来,我国污染排放的主要差异为区域内差异。对区域内泰尔指数进行三区域分解后发现,2005年以前,中部区域排放差异最大,西部最小,东部区域处于中间水平;2005年以后,东部区域排放差异小幅回落,中部区域排放差异在迅速降低后反弹至与东部相当水平,而西部区域差异则迅速拉大,泰尔指数数值由2005年的0.0637上升至2012年的0.1907。从三区域泰

尔指数贡献率看, 历年区域内泰尔指数贡献率均位于 60% 左右, 表明区域内差异是我国污染排放强度差异的主要方面。进一步对区域内差异进行分解可知, 东部区域对总体差异的贡献接近 25%, 中部次之接近 20%, 西部大致为 15%。

从整体变动趋势上看, 近年西部区域污染排放差异正快速上升, 结合前文 2003 年与 2012 年污染排放强度的可视分布图可知, 这种差异变动主要表现为西北和西南两个地区相对污染强度的大幅提升。一方面, 随着东部发达地区居民收入水平的提升, 不仅区域环境规制强度随居民对个体健康要求的上升而增强, 而且区域产业结构也随劳动力成本的提高而被迫转型升级, 这都促使一批高污染、高能耗产业逐步转移到经济相对落后的中西部区域。并且与中部区域相比, 西部区域并不具有地域临近优势, 加之基础设施相对落后, 因而整体上西部区域的污染排放强度相对较高。另一方面, 西部区域内部各省份间的经济发展也存在较大差异, 尤其是地缘劣势更为明显的西北和西南区域。长期经济发展水平的落后使这两个区域对于经济发展具有更为迫切的需求, 但从产业转移承接的视角看, 这两个区域所承接企业的数量和质量均落后于西部其他地区, 而极易成为未来重污染产业的“集聚池”, 这也间接拉升了西部区域内部的排放差异。

此外, 对比三区域泰尔指数值可以发现, 虽然近年西部区域的泰尔指数已经高于中、东部区域, 但差异贡献度分析表明, 西部区域对总体差异的贡献度却小于中、东部区域。这主要与排放权重系数有关 (现阶段中部和东部区域二氧化硫排放量占全国排放总量的 70% 以上, 因而对总体差异的影响较大)。由此可见, 今后一段时期, 在有效控制中、东部区域污染排放规模的同时, 政府应当采取有效措施及时遏制西部区域污染排放差异的进一步扩大。作为进一步研究我国区域污染治理对策的基础, 本文利用面板平滑转换模型, 对我国不同收入区域的污染排放阈值特征进行定量考察。

二、环境污染与收入关系的计量模型及数据选取

1. 面板平滑转换模型

对于环境污染与收入关系的探讨, 多数研究均基于环境库兹涅茨曲线 (EKC) 理论^①。但当前学者们对 EKC 曲线在我国是否成立依旧存在一定争议。相关研究表明, 我国环境污染与居民收入水平间既存在 EKC 曲线的倒“U”型关系, 同时存在“U”型、“N”型以及“W”型等其他关系 (Poon 等, 2006; Brajer 等, 2008; Victor 等, 2011; Matus 等, 2012; 林伯强和蒋竺均, 2009), 虽然所得结论不尽一致, 但多数学者都排除了两者存在线性关系的可能。基于这种非线性假设, 本文选择 González 等 (2005) 提出的面板平滑转换模型 (PSTR) 对不同收入阶段我国各区域污染排放差异进行研究。相对于传统门槛回归模型, 由于 PSTR 模型在分析变量非线性关系时能够实现估计系数的平滑转换, 因而能够更精准地刻画截面数据在不同时点上的异质性特征。基于 González 等 (2005)、Fouquau 等 (2008) 的相关理论, 本文建立的 PSTR 模型如下:

$$Y_{it} = \mu_i + \beta_{11} PGDP_{it} + \beta_{12} IE_{it} + \beta_{13} IS_{it} + \beta_{14} ER_{it} + \sum_{k=1}^n (\beta_{21}^k PGDP_{it} + \beta_{22}^k IE_{it} + \beta_{23}^k IS_{it} + \beta_{24}^k ER_{it}) g_k(q_{it}; \gamma, c) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

^① 邹庆等 (2014)、Matus 等 (2012) 均对 EKC 理论做过详细阐述, 限于篇幅, 此处不再赘述。

式(6)中, i 表示省份、 t 表示年份, $k: 1 \sim n$ 为非线性转换函数个数^①, 被解释变量 Y_{it} 为区域污染排放强度, 解释变量 $PGDP$ 、 IE 、 IS 、 ER 分别表示人均GDP、能源强度、产业结构以及环境规制强度, β 表示变量的估计参数, μ_i 表示个体固定效应参数, ε_{it} 表示随机扰动项。转换函数 $g_k(q_{it}; \gamma, c)$ 为关于转换变量 q_{it} 的连续函数, 其中, γ 为体现绝对转换速度的平滑参数, c 为转换函数的 m 维位置参数 (c_1, c_2, \dots, c_m) ^②, $g_k(q_{it}; \gamma, c)$ 的 Logistic 函数形式如下:

$$g_k(q_{it}; \gamma, c) = [1 + \exp(-\gamma^k \prod_{j=1}^m (q_{it} - c_j^k))]^{-1} \quad (\gamma > 0, c_1^k \leq c_2^k \leq \dots \leq c_m^k) \quad (7)$$

由式(7)可知, 当 q_{it} 趋于无穷时, PSTR模型将存在两种体制状态: 当 $q_{it} \rightarrow +\infty$ 时, 转换函数 $g_k(q_{it}; \gamma, c) \rightarrow 1$, 此时式(6)对应的体制被称为高体制; 当 $q_{it} \rightarrow -\infty$ 时, 转换函数 $g_k(q_{it}; \gamma, c) \rightarrow 0$, 此时式(6)所对应的体制被称为低体制。因而, 当转换函数 $g_k(q_{it}; \gamma, c) \in (0, 1)$ 时, PSTR模型能实现估计系数在高低体制间的平滑转换。

此外, 考虑两种特殊情形, 当 $\gamma \rightarrow 0$ 或 $q_{it} = c$ 时, $g_k(q_{it}; \gamma, c) = 0.5$, PSTR模型将转变为普通线性固定效应模型; 而当 $\gamma \rightarrow +\infty$ 时, 转换函数将在位置参数附近直接跳跃, 此时 PSTR模型将转换为一般面板门槛模型。可见, 普通线性固定效应模型与面板门槛模型均可视为 PSTR模型的特殊形式。在式(6)的基础上, 为分析污染排放强度与区域收入水平的直接关系, 本文进一步计算污染排放的收入弹性:

$$\varphi_{it} = \frac{\partial Y_{it}}{\partial PGDP_{it}} = \beta_{11} + \sum_{k=1}^n \beta_{21}^k g_k(q_{it}; \gamma, c) + \sum_{k=1}^n (\beta_{21}^k PGDP_{it} + \beta_{22}^k IE_{it} + \beta_{23}^k IS_{it} + \beta_{24}^k ER_{it}) \frac{\partial g_k(q_{it}; \gamma, c)}{\partial PGDP_{it}} \quad (8)$$

由式(8)可知, PSTR模型对于变量收入弹性的测量主要包含线性和非线性两个方面, 实际弹性系数为线性弹性系数与加权转换后非线性弹性系数的加总。

2. 变量选取与处理

基于 Costantini 等(2013)、肖挺和刘华(2014)等关于区域环境污染差异潜在因素的总结, 本文在实证研究中将区域污染排放强度设为被解释变量, 将区域人均收入水平作为门槛变量和核心解释变量, 并以能源强度、产业结构及区域环境规制作为控制变量, 分别表示区域科技水平、产业优化水平以及政府治理对于污染排放的影响。相关数据以2003年为基期进行了转换, 同时为降低异方差影响, 更加直观地反映出变量弹性水平, 本文在收入阈值检验中对所有变量均取对数处理。

被解释变量区域污染排放强度用工业二氧化硫排放强度进行衡量, 并用区域工业二氧化硫排放量与实际工业增加值的比值表示(单位: 吨/亿元), 其中, 工业增加值为区域名义工业增加值占地区生产总值的比重乘以各地区实际生产总值(实际生产总值为利用历年各省GDP指数进行调整后的值), 数据源于2004~2013年《中国环境统计年鉴》。门槛变量和核心解释变量为人均收

① 利用 PSTR模型进行分析时, 必须首先对模型的线性特征进行检验。对于符合非线性特征的模型, 则需对其进行逐级非线性残余检验, 以确定非线性转换函数的个数 k 。一般可以对 $\gamma=0$ 处的转换函数进行泰勒展开, 而后通过构建 LM或 F统计量进行判定, 详细过程可参见 Fouquau 等(2008)。

② 依据 González 等(2005)以及 Colletaz 和 Hurlin(2006)的研究成果, 位置参数个数一般为1或2, 具体可以利用不同位置参数下模型估计参数的拒绝强度以及 AIC、BIC值进行辅助判定。

入水平,以人均 GDP 表示,为各省实际生产总值与区域人口数的比值(单位:元/人),其中,区域人口为上年末人口与本年末人口的平均值,相关数据源于中经网统计数据库与各省历年统计年鉴。

控制变量中能源强度为年度总能耗与地区实际生产总值的比值(单位:万吨标准煤/亿元)。此外,参考肖挺和刘华(2014)、沈能(2012)等文献的处理方法,本文选择各地生产总值中第二产业占比表示产业结构状况,并以废气治理完成投资与工业二氧化硫排放总量之比表示区域环境规制强度,相关控制变量数据均源于历年各省份统计年鉴与 2004~2013 年《中国环境统计年鉴》。

三、实证结果及分析

参考 Fouquau 等(2005)、Colletaz 和 Hurlin(2006)关于 PSTR 建模的相关理论,本文在分析前首先对模型进行非线性检验,如果检验结果符合 PSTR 模型的先决条件,则进一步确定模型非线性转换的个数以及位置参数个数;而后利用非线性最小二乘法对变量参数进行估计,并对模型拟合结果进行评价和解释。上文分析表明,我国高排放强度区域主要集中于收入水平相对较低的西部和少数中部省份,而低排放强度区域主要分布于收入水平相对较高的东部以及多数中部省份。因此,考虑到传统东、中、西三区域划分并未完全依照收入等级进行,为体现出不同收入地区的污染排放差异,在收入阈值检验过程中,本文依据人均收入水平差异将现有省份划分为两个收入等级。参考日、韩等发达国家在人均 GDP 越过 3000 美元门槛后,不仅产业升级逐步加快而且经济发展也较前一阶段有大幅提升,本文也将这一水平作为分类标准,并利用 MATLAB2008a 软件分别对 19 个人均 GDP 相对较高省份和 11 个相对较低省份进行收入阈值检验^①。

1. PSTR 模型的检验

由于在小样本情形下,F 统计量比卡方统计量具有更好的渐近性特征,因此本文选用基于 Fisher 思想的 F 统计量作为模型线性与非线性残余检验的统计量。不同位置参数下的线性检验与非线性检验结果如表 3 所示。

表 3 PSTR 模型的线性检验与非线性残余检验

	指标值	模型 1		模型 2	
		$m=1$	$m=2$	$m=1$	$m=2$
线性检验 ($H_0: k=0; H_1: k=1$)	LMF 统计量	15.0961	13.9445	5.0193	2.4739
	P 值	0.0000	0.0000	0.0034	0.0291
非线性残余检验 ($H_0: k=1; H_1: k=2$)	LMF 统计量	0.7514	0.8654	0.4057	0.2832
	P 值	0.5230	0.5229	0.9167	0.9720
	AIC	-3.9405	-3.8417	-3.8353	-3.8084
	BIC	-3.8043	-3.6879	-3.6392	-3.5877

注:模型 1 与模型 2 分别为人均 GDP 相对较高区域与人均 GDP 相对较低区域的检验结果。

由表 3 可知,在 1% 的显著性水平下,两个模型均显著拒绝了模型为线性的原假设,可见面板数据存在截面异质性,污染排放强度与人均 GDP、产业结构、能源强度间存在较为

^① 经转换计算,除河南、湖南、青海、宁夏、四川、安徽、江西、广西、云南、甘肃、贵州外,2012 年其他省份的实际人均 GDP 均到达 3000 美元以上。

显著的非线性关系，这也间接表明本文选用 PSTR 模型进行估计的合理性。对模型进行非线性残余检验显示，在 10% 的显著性水平下，两个模型均不能拒绝原假设，表明两个模型的最佳转换函数个数均为 $k=1$ 。进一步，对比两列模型不同位置参数的统计量可见， m 取值为 1 时，绝大多数 F 统计量能够更强的拒绝原假设，这一结论也在 AIC 与 BIC 检验中得到验证，因此，可以得出两个模型转换函数与位置参数的最佳组合为 $(k=1; m=1)$ 。

2. 模型参数估计与解释

表 4 为 PSTR 模型的参数估计，从检验结果看，在 5% 的显著性水平下，多数变量的估计参数显著。不仅同一收入区域内不同变量对污染排放强度的影响存在显著差异，且不同收入区域间相同变量对污染排放强度的影响也不尽相同，因此有必要对估计结果作进一步分析。

表 4 PSTR 模型的参数估计结果

参数估计	变量名称	变量系数	模型 1	模型 2
线性部分	PGDP	β_{11}	-0.7706***	0.9343**
	IE	β_{12}	0.3724*	-0.7909**
	IS	β_{13}	-1.4328***	-3.6171*
	ER	β_{14}	-1.1672**	-0.6449***
非线性部分	PGDP	β_{21}	0.3271***	-1.8685**
	IE	β_{22}	0.7091**	1.5818*
	IS	β_{23}	1.6769***	7.2341*
	ER	β_{24}	0.4259	-1.4583**
斜率系数	—	γ	5.5712	0.5644
位置参数	—	C_1	1.4527	0.2000

注：*、**与***分别表示显著性水平为 10%、5%与 1%，模型 1 与模型 2 分别为人均 GDP 相对较高区域与人均 GDP 相对较低区域的检验结果。

3. 收入阈值分析

从模型 1 估计结果看，在不同发展水平上人均 GDP 对污染排放的影响存在显著差异，且收入增长与环境污染间的倒“U”型关系并不成立。当人均 GDP 低于 4.27 ($e^{1.4527}$) 万元时，收入的增长将有助于降低排污强度且弹性值为 -0.7706；而当人均 GDP 达到阈值点后，依据式 (8) 知，收入的减排效应将降低，相应弹性值降为 -0.6071 ($-0.7706 + 0.3271 \times 0.5$)；此后，随着人均收入的持续增长，人均 GDP 的减排效应将进一步减弱，最终在完全越过阈值后，收入排放弹性将稳定于 -0.4435 ($-0.7706 + 0.3271$)。此外，模型的斜率系数为 5.5712，表明模型在高低体制间实现了相对较为平滑的转换。可见，收入水平相对较高的地区在越过人均 GDP 阈值后，受污染技术治理成本上升，以及资本对于能源替代作用减弱等因素影响，收入增长的综合污染减排效应将被逐渐削弱。

从模型 2 估计结果看，与人均 GDP 相对较高区域不同，收入水平相对较低的区域环境污染随人均 GDP 增长呈现出典型的倒“U”型趋势特征。当人均 GDP 低于 1.22 ($e^{0.2}$) 万元时，污染排放强度将随人均 GDP 的增长而逐渐增强，边际效应为 0.9343，表明在低收入区域污染排放具有增长刚性特征；而当人均 GDP 达到阈值点后，随着收入的增长，区域的整体减排效果将迅速减弱，边际弹性接近于 0 ($-0.9343 + 1.8685 \times 0.5$)；在人均 GDP 超过 1.22 万元后，人均 GDP 的增长将显著促进污染排放强度的降低，且最终弹性水平稳定于

-0.9342 (0.9343-1.8685)。此外,模型斜率系数为0.5644,表明模型2比模型1在高低体制间转换更为平滑。可见对于人均GDP相对较低区域,收入对于污染减排的阈值效应更为明显。

对比模型1与模型2的收入弹性系数可知,无论在达到阈值以前,还是突破阈值以后,人均GDP相对较低区域的收入减排弹性系数绝对值均大于人均GDP相对较高区域,这表明就政府治理层面而言,优先提升低收入省份的收入水平,将有助于提升整体治理效果。此外,综合人均GDP相对较低区域(污染排放随收入增长变动呈倒“U”型趋势)和人均GDP相对较高区域(排放递减趋势)的特征,我们发现,整体上我国污染排放强度随收入增长呈现出一种“拖尾式”倒“U”型趋势特征,这一结论也恰好支持了环境库茨涅兹曲线在我国实际存在的观点。

4. 控制变量分析

从污染排放与能源强度的关系看,变量系数估计整体较为显著。模型线性部分估计显示人均GDP相对较高区域能源强度的排放弹性为0.3724,表明能源强度的增长拉动了污染排放,而人均GDP相对较低区域能源强度的排放弹性为-0.7909,表明在低收入阶段,收入水平较低区域能源强度的提升反而有助于降低区域污染排放,我们认为可能的原因是在减排初期低收入区域存在一定的规模集约效应;模型非线性部分估计显示,收入水平较高区域非线性部分的估计系数为0.7091,大于线性部分,可见在越过收入阈值后,能源强度的提升将进一步拉升区域污染排放强度。而对于收入水平相对较低区域,在越过人均GDP的1.22万元阈值后,能源强度对污染排放的弹性系数将由负转正,表明较高的能源强度将不利于污染减排。

从污染排放与产业结构的关系看,模型估计系数较为显著且线性部分均为负值,表明在收入水平未达到阈值前,污染排放强度将随产业结构的优化而降低,且对比弹性系数可知,人均GDP相对较低区域显著快于人均GDP相对较高区域。但当收入水平越过阈值以后,产业结构优化对于污染排放将表现出一定的抑制作用,且不同收入区域表现不同,相比于高收入区域,人均GDP相对较低区域在收入越过阈值后,污染排放强度将随产业结构的提升而快速增长。这里造成产业结构减排效应逆向转变的原因,我们认为在于低收入区域省份多处于工业化中期中前段,因而产业结构升级多以提升第二产业占比为主,而大规模工业化的快速发展也将导致污染排放强度的增加。

从污染排放与环境规制强度的关系看,除了人均GDP相对较高区域非线性部分变量系数不显著外,其余系数均较为显著。模型线性估计部分系数均为负值,表明加强环境规制将有助于降低区域污染排放强度,这也与事实相符。在收入水平未达到阈值前,人均GDP相对较高区域环境规制的减排效应大于人均GDP相对较低区域,但当收入越过阈值后,人均GDP相对较低区域环境规制的减排效应将显著高于人均GDP相对较高区域(弹性值分别为-2.1032和-0.7413)。由此可见,对于收入相对较高的区域而言,适宜在收入水平越过阈值前加强环境规制,而对于低收入区域,则适宜在收入水平越过低收入阈值后加强环境规制。

四、收入门槛格局及空间差异与相关治理对策

在系统分析我国污染排放的差异化结构,以及不同收入阶段区域污染排放的阈值特征和影响因素后,本节将从两者融合的角度,对我国污染排放的收入门槛格局以及不同收入水平下的差异分布特征进行探讨,以期环境污染的分区治理提供相应理论支持。

1. 污染排放的收入门槛格局

依据不同收入区域的人均 GDP 水平,我们对 2007 年、2010 年、2012 年我国污染排放的收入门槛格局进行归类^①,如表 5 所示。

表 5 我国污染排放的收入门槛格局

年份	人均 GDP 相对较低省份		人均 GDP 相对较高省份	
	PGDP<1.22 万元	PGDP>1.22 万元	PGDP<4.27 万元	PGDP>4.27 万元
2007	安徽、江西、湖南、广西、四川、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏	河南	天津、河北、辽宁、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、内蒙古、吉林、黑龙江、湖北、山西、四川、重庆、新疆、陕西	北京、上海
2010	贵州、云南、甘肃	安徽、江西、湖南、广西、四川、青海、宁夏	河北、辽宁、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、内蒙古、吉林、黑龙江、湖北、山西、四川、重庆、新疆、陕西	北京、上海、天津
2012	贵州	安徽、江西、湖南、广西、四川、云南、甘肃、青海、宁夏	河北、辽宁、福建、山东、广东、海南、内蒙古、吉林、黑龙江、湖北、山西、四川、重庆、新疆、陕西	北京、上海、天津、江苏、浙江

注:由于已越过低收入阈值的人均 GDP 相对较低省份与尚未越过高收入阈值的人均 GDP 相对较高省份均处于收入减排弹性较大阶段,因此并未对低收入上限与高收入下限省份的交叉部分进行严格区分。

由表 5 可知,现阶段我国绝大多数人均 GDP 相对较低省份已经越过污染排放强度随收入增长而逐渐上升的阶段,同时门槛跳跃集中度表明,多数低收入省区均于 2007 年以后越过阈值点。考虑到低收入省区污染排放强度随收入分布呈倒“U”型特征,因此可以得出我国多数低收入省区的污染排放强度均于近年达到顶峰期的结论,这也在一定程度上解释了为何近年来我国大气污染日益严重。在人均 GDP 相对较高省份中,截至 2012 年多数省份尚未越过高收入门槛,仍处于收入增长的有效减排期,而已经越过高收入门槛的 5 个省份则步入了收入减排瓶颈期。

整体上,当前我国污染排放主要呈现出一种“双期叠加”的“橄榄形”格局分布。一方面,在分布于“橄榄”两端的省份中,除少数低收入省份仍处于污染排放刚性上升阶段外,其余越过高收入门槛的人均 GDP 相对较高省份均已步入到减排瓶颈期;另一方面,在“橄榄”中部,多数省份或者已经越过低收入阈值,或者尚未越过高收入阈值,但均处于污染排放随收入增长而快速降低的时期,具有较大的减排潜力。

^① 考虑到人均 GDP 相对较低区域 2007 年以前尚未有省份越过门槛值,而多数省份的门槛跳跃期主要集中于 2007~2010 年间。在人均 GDP 相对较高区域,前期只有北京、上海越过门槛值,期间仅有天津在 2010 年越过该门槛值,因此为避免篇幅冗长,此处仅列出了 2007 年、2010 年以及临近的 2012 年代表年份进行说明。

2. 各省污染排放的空间差异分布

图5为2012年不同收入水平下,我国污染排放的空间差异分布。为更能直观和形象地揭示各省份的空间分布状况,图中对所有散点按收入排名进行了连接,并依据散点分布集聚特征构建了二维象限图,分别定义第一象限为高收入高排放强度区域,第二象限为低收入高排放强度区域,第三象限为低收入低排放强度区域,第四象限为高收入低排放强度区域。

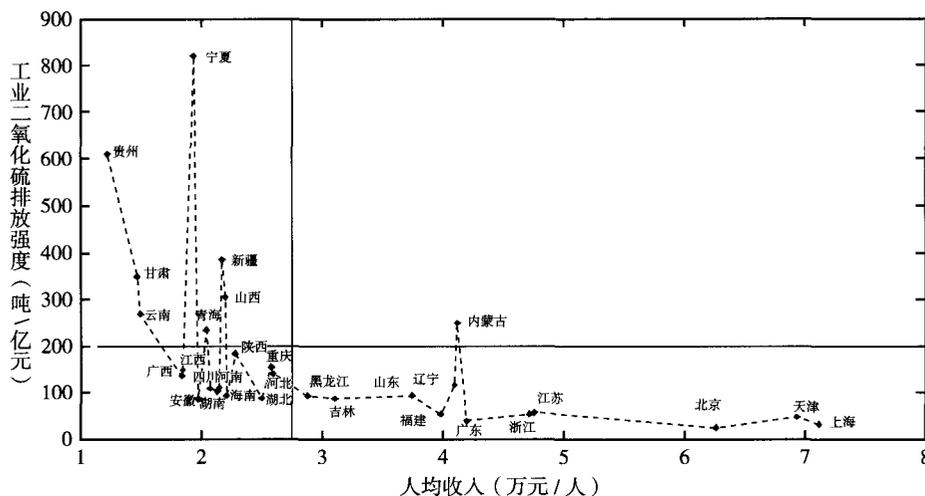


图5 2012年我国各省收入与排放强度散点分布

图5中低收入省份到高收入省份的散点连线表明,整体上随着收入水平的提升,我国污染排放强度将呈渐近式指数衰减趋势^①。进一步,由不同象限的散点集中分布特征可知,在高收入区域中,以东部发达省份为主的第四象限各样本点,随收入增长呈现出一种低矮而狭长的离散分布特征,可见该区域内收入增长的减排效应相对较低;与此同时在低收入区域中,以西部省份为主的第二象限样本点分布较为散乱,而以中部省份为主的第三象限样本点分布则较为集中,表明西部地区排放差异显著大于中部地区。

对比西部与中、东部的整体发展特征可以发现,相对于高收入区域,随着收入水平的提升,西部低收入区域的染排放强度和区域内排放差异均呈现出快速降低势头。其原因在于,一是收入的增长间接提升了居民的健康环境需求,进而促使政府提升环境规制强度;二是经济发展水平和收入的提升也间接促进了区域产业升级和技术进步,为政府环境规制和有效节能减排奠定了基础。因而人均收入的提高本身并不能直接导致区域污染强度的降低,只有在高收入水平基础上增强环境规制力度,才能逐渐降低区域污染水平。为此,对于经济发展水平相对较低的西部地区而言,在以居民增收为主线的同时,也必须适度提升区域环境规制水平,进而实现节能减排目标。此外对比不同区域的排放格局特征可以看出,多数中部区域的污染排放强度与西部的差距显著大于东部,但从图5中的东部收入排放趋势看,在人均收入位于4万元左右时,中部区域依旧具有较大的减排空间和潜力,这也与本文阈值检验结论基

^① 需要说明的是内蒙古产业结构主要以煤炭等高能耗产业为主,加之人口较少(约占全国1.7%),因此处于第一象限。而黑龙江、吉林与内蒙古、山西等以煤炭资源为主的省份不同,两省虽均为能源大省,但能源类型主要以石化能源为主,加之人口也相对较少,因而相对于其他中西部省份,两省在污染排放格局分布中处于第四象限并被凸显了出来。

本一致。

从地域空间的角度看,导致这种现象的原因可能在于,相对于西部地区,中部地区临近东部发达地区,因而在贸易投资、技术溢出等方面均存在比较优势,为前期减排奠定了基础。而西部省份则在资源赋存、引资发展以及环境规制方面存在较大的内部差异,加之污染产业的整体西进,故而造成了西部地区呈现整体排放强度高、内部排放强度差异大的格局。但从整体上看,由于西部地区在资源和劳动力成本方面较中、东部地区仍有较大的比较优势,因而,在转型发展中,该地区的收入减排弹性要显著高于中、东部地区。

3. 污染排放的治理对策分析

随着环境污染问题的日益严重,我国先后在“十二五”规划、《大气污染防治行动计划》等一系列政策法规中提出相应减排目标和治理措施。现有应对措施虽然在总量控制、市场调节以及重污染领域防治等多方面做出规定,但整体治理策略依旧较为笼统,且并未针对具体区域差异和排放格局变动做出灵活调整。因而在治理操作过程中,部分地区极易采用非理性治理措施,或者机械被动贪大求全而失去治理重心,或者急于求成而出现盲目效仿、低效治理等现象。

因此,本文认为在微观治理的具体操作方面,地方政府除直接加强燃料脱硫、末端治理等措施外,可以结合收入阈值特征,依据不同时期减排弹性大小,从降低能源强度、优化产业结构以及加强环境规制等方面,选择最优减排组合。与此同时,宏观治理是微观治理的保证,结合我国污染排放的收入门槛格局及空间分布差异,本文认为当前我国宏观层面大气污染治理应当重点围绕两个方面展开:

一是在治理区域上,应牢牢把握收入减排弹性较大的“橄榄形”中间区域,即已经越过低收入阈值的多数西部省份和尚未越过高收入阈值的中部及部分东部省份。其中,对于越过收入阈值的西部省份,则应以促增收为主线,并以降低总体污染排放强度和控制在东部区域污染向西北和西南方向转移为核心,推进减排工作;而对于多数尚未越过高收入阈值的中部省份,在提升收入水平的同时,应在控制排污总量的前提下,围绕重点行业和地区实施更具针对性的污染减排策略。

二是在治理策略选择上,应逐步实现由政策减排向市场控排的转变。当前我国污染排放治理在很大程度上仍然依赖中央政府的治理意志和对地方政府的强制考核,由于环境污染具有显著的负外部性特征,在市场失灵以及产出价格发生扭曲的背景下,直接排污有利于企业降低成本,因此仅靠政府监管或社会道德约束,企业治污的内生动力将明显不足。主流方法中能够解决外部性问题的主要有征税、内部化以及排污权交易等,其中马士国和石磊(2014)的研究表明,排污税的征收虽然长期能够有效降低污染排放水平,但短期内对经济的冲击影响较为明显。考虑到当前我国经济下行压力较大,因而本文认为利用污染内部化和排污权交易进行污染减排更适合我国国情。结合区域格局分布特征及污染转移趋势,我们认为传统研究中被忽视的西南地区与邻近“珠三角”地区,以及西北地区与邻近中北部地区的污染内部化治理应当得到进一步加强。此外,基于产权基础和初始化差异分配原则,在全国范围内,应当进一步提升环境容量较大地区与发达地区间的排污权交易体系建设。

五、结论及政策启示

本文主要结论为:我国区域污染排放差异主要表现为以中、东部为主的区域内差异,

西部区域内差异也在迅速拉大；收入阈值的非线性检验表明，污染排放强度随收入增长而整体呈现出一种“拖尾式”倒“U”型发展趋势，在人均GDP相对较低区域和较高区域分别存在1.22万元和4.27万元两个收入排放阈值点；进一步的格局分析表明，“橄榄形”格局分布中多数人均GDP相对较低省份（突破低收入阈值）与多数人均GDP相对较高省份（尚未越过高收入阈值）仍处于快速减排的机遇期，随着收入的提升，该部分区域的污染排放强度和排放差异有望得到大幅降低。基于上述结论，本文得出以下几条政策启示。

(1) 越过低收入阈值的西部区域宏观治理。考虑到人均GDP相对较低的西部省份普遍污染排放强度较高，而从居民健康需求和产业优化的角度看，收入提升的减排弹性相对较大，故此政府在治理西部区域环境污染中应主要以提升收入水平为治理的切入点。一方面，依托“一带一路”、西部大开发等发展战略，持续加大对西部落后省份基础设施、民生工程等重点领域的投入，并利用区域优势重点引导和扶持一批具有可成长性的战略性新兴产业，进而促进居民增收。另一方面，政府应当加大对西部地区对污染密集型产业的监管力度，既要防止发达地区产业内迁所带来的二次污染问题，又要积极推进市场化排污权交易体系建设，并对西北和西南部分地区的污染内迁进行对接补偿。

(2) 尚未越过高收入阈值的中部区域宏观治理。虽然该区域省份收入减排弹性依旧较大，但考虑到与东部发达地区相比，该区域的收入减排空间已经相对有限，因而政府应以促增收与调结构并重的方式降低该区域污染排放强度。这里既需要以新型城镇化建设为契机，通过努力建设一批具有区域影响力的城市群、城市带，进而辐射到周边卫星城镇，并以此推动区域居民收入水平的提升；与此同时，考虑到当前我国黄河以北区域（包括河北、山西、内蒙古等）为我国主要污染聚集区，因而政府应围绕钢铁、水泥等重污染型产业，大力削减该区域的落后产能，并对区域内部的污染扩散问题进行内部化协调治理。

(3) 低收入区域省份的微观治理。在人均GDP相对较低区域中，尚未越过低收入阈值的仅有贵州，由于仍处于人均收入增长的污染排放刚性上升阶段，未来该省的减排形势依旧较为严峻。考虑到人均GDP相对较低区域在尚未越过低收入阈值时产业结构提升的减排弹性较大，因此贵州应该适宜利用区域生态、旅游及民族文化等方面优势，积极引导产业转型，进而缓解经济发展带来的环境压力；对于已经越过低收入阈值的安徽、湖南、江西等9个省份，除需持续提升居民收入水平外，模型分析显示增强环境规制力度以及降低能源强度对于该区段省份也均具有较好的减排效果，因此，该区段省份应增强对高污染、高能耗等产业的监管力度，尤其是宁夏、青海等收入水平低而且污染排放强度相对较高的省份。

(4) 中高收入区域省份的微观治理。在人均GDP相对较高区域中，对于尚未达到高收入阈值的地区，如山西、河北、黑龙江等省份应当适度提升环境规制水平，同时注重产业结构多元化，并逐步减轻经济发展对于资源的依赖。对于广东、山东、辽宁等经济基础较好省份，应当重点围绕贸易出口、农产品深加工、装备制造等重点领域培育和发展一批集群化、生态化产业。而对于北京、上海、天津等已经越过高收入阈值的发达省市，由于产业结构已经较为合理，人均收入水平也相对较高，因而收入增长、产业结构提升的减排效果并不显著。但数理分析表明这些省市能源强度的减排弹性较大，因此，这些省市应以降低能源强度为突破口，通过利用金融、外资以及排污权交易等方面的优势，积极鼓励和引导企业进行技术创新，进而打破收入减排瓶颈，实现更深层次的节能发展。

参 考 文 献

- [1] Brajer V., Mead R., Xiao F., 2008, *The Health Benefits of Tunneling through the Chinese Environmental Kuznets Curve* [J], *Ecological Economics*, 66 (4), 674~686.
- [2] Colletaz G., Hurlin C., 2006, *Threshold Effects of the Public Capital Productivity: An International Panel Smooth Transition Approach* [R], LEO Working Paper No. 1.
- [3] Costantini V., Mazzanti M., Montini A., 2013, *Environmental Performance, Innovation and Spillovers. Evidence from a Regional NAMEA* [J], *Ecological Economics*, 89, 101~114.
- [4] Fouquau J., Hurlin C., Rabaud I., 2008, *The Feldstein-Horioka Puzzle: A Panel Smooth Transition Regression Approach Original Research Article* [J], *Economic Modelling*, 25 (2), 284~299.
- [5] González A., Teräsvirta T., Dijk D. V., 2005, *Panel Smooth Transition Regression Model* [R], Quantitative Finance Research Centre Research Paper, No. 165.
- [6] Matus K., Nam K., Selin N. E., Lamsal L. N., Reilly J. M., Paltsev S., 2012, *Health Damages from Air Pollution in China* [J], *Global Environmental Change*, 22 (1), 55~66.
- [7] Poon J. P., Casas I., He C. F., 2006, *The Impact of Energy, Transport, and Trade on Air Pollution in China* [J], *Eurasian Geography and Economics*, 47 (5), 568~584.
- [8] Shorrocks R., 1980, *The Class of Additively Decomposable Inequality Measures* [J], *Econometrica*, 48 (3), 613~625.
- [9] Sueyoshi T., Yan Y., 2015, *China's Regional Sustainability and Diversified Resource Allocation: DEA Environmental Assessment on Economic Development and Air Pollution* [J], *Energy Economics*, 49, 239~256.
- [10] Su S. S., Li B. G., Cui S. Y., Tao S., 2011, *Sulfur Dioxide Emissions from Combustion in China: from 1990 to 2007* [J], *Environmental Science & Technology*, 45 (19), 8403~8410.
- [11] Theil H., 1967, *Economics and Information Theory* [M], Amsterdam: North Holland Publishing Company.
- [12] Victor B., Robert W. M., Xiao F., 2011, *Searching for an Environmental Kuznets Curve in China's Air Pollution* [J], *China Economic Review*, 22 (3), 383~397.
- [13] 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》[J],《管理世界》2009年第4期。
- [14] 林季红、刘莹:《内生的环境规制:“污染天堂假说”在中国的再检验》[J],《中国人口·资源与环境》2013年第1期。
- [15] 马士国、石磊:《征收硫税对中国宏观经济与产业部门的影响》[J],《产业经济研究》2014年第3期。
- [16] 牛海鹏、朱松、尹训国、张平淡:《经济结构、经济发展与污染物排放之间关系的实证研究》[J],《中国软科学》2012年第4期。
- [17] 沈能:《环境效率、行业异质性与最优规制强度——中国工业行业面板数据的非线性检验》[J],《中国工业经济》2012年第3期。
- [18] 肖挺、刘华:《产业结构调整与节能减排问题的实证研究》[J],《经济学家》2014年第9期。
- [19] 杨寿、刘华军:《中国二氧化碳排放的区域差异分解及其影响因素——基于1995~2009年省际面板数据的研究》[J],《数量经济技术经济研究》2012年第5期。
- [20] 邹庆、陈迅、吕俊娜:《我国经济增长与环境协调发展研究——基于内生增长模型和EKC假说的分析》[J],《中央财经大学学报》2014年第9期。
- [21] 曾贤刚:《环境规制、外商直接投资与“污染避难所”假说——基于中国30个省份面板数据的实证研究》[J],《经济理论与经济管理》2010年第11期。

(下转第141页)

A Comparative Research for Finite-sample Properties of the Second Generation of Panel Unit Root Tests

Yang Zihui¹ Ke Shuojia² Zhao Yongliang³

(1. Lingnan College, Sun Yat-sen University; 2. PBC School of Finance, Tsinghua University; 3. College of Economics, Jinan University)

Abstract: Since first generation panel unit root tests do not take account of cross-sectional independence, conclusions based on these tests may be biased. To overcome these limitations, second generation panel unit root tests have been recently proposed. However, there is lack of systemic investigation on finite-sample properties of second generation tests. In light of this, this paper employs Monte Carlo simulations to examine the power and over-rejection properties of second generation tests, and further analyze their finite-sample properties when near unit root, structure changes and nonlinear characteristics exist. At last this paper puts forward to some advice for future nonstationary panel analysis.

Key Words: Monte Carlo Simulation; Structure Change; Nonlinearity

JEL Classification: C15

(责任编辑: 焦云霞)

(上接第 72 页)

Research on the Change of Emission Differences and Its Income Partition Countermeasures in China

Qi Hongqian^{1,2} Wang Zhitao²

(1. Quantitative Research Center of Economics, Jilin University;
2. Business College, Jilin University)

Abstract: Based on the 2003~2012 data of China's 30 provinces, this article analyzes the regional differences of China's environmental pollution and its income threshold characteristics with the Theil index and Panel Smooth Transition Regression model (PSTR). The results show that the primary emission difference in China is caused by the central and eastern regions. The pollution intensity increases with income and appears a "trailing-inverted U" type trend. Pattern analysis shows that China's pollution appears a "double stack" and "olive" pattern of distribution. In order to improve the effectiveness of the emission reduction, different regions should take different pollution governance methods according to the characteristics of income thresholds.

Key Words: Pollution Emission; Theil Index; PSTR Model; Spatial Difference

JEL Classification: C23; Q52

(责任编辑: 焦云霞)