

长江经济带大气污染治理异质性研究

张康康

(天津社会科学院生态文明研究所, 天津 300191)

摘要:环境规制是大气污染治理最有效的手段之一,然而其异质性往往被忽略,无法深入研究环境规制的治污效应和精准、科学地治理大气污染问题。本文基于长江经济带110个城市2011—2019年的数据研究了环境规制对大气污染影响的异质性,包括污染前环境规制和污染后环境规制,以及对废气排放污染和雾霾污染的治理效率,增强了环境规制对大气污染影响的研究。研究发现:(1)环境规制对大气污染的空间转移特征呈现显著的推动作用,且污染前的环境规制更能抑制大气污染排放。(2)环境规制程度在时空上存在显著的粘性特征,表现出正向的策略互动特征,而且污染前的环境规制策略互动程度较强。本文通过研究环境规制对大气污染的异质性影响,发现了环境规制治污的异质性,包括时空异质性和异质性的环境规制对不同大气污染种类的影响,为深入治理长江经济带的大气污染提供了参考。

关键词:长江经济带;大气污染;环境规制;异质性

DOI:10.48014/csdr.20230724001

引用格式:张康康. 长江经济带大气污染治理异质性研究[J]. 中国可持续发展评论, 2023, 2(3): 49-59.

0 引言

大气污染具有极强的负外部性^[1],给人类健康带来了巨大威胁^[2],是世界上第四大导致过早死亡的原因之一^[3]。已经引起了社会大众和各级政府的高度重视。为了更高效地治理大气污染,中央和各省、市人民政府制定了一系列环境保护和治理政策,不断地加大环境治理力度,先后出台了《环境保护法》《放射性污染防治法》《大气污染防治法》《大气污染防治行动计划》等一系列的法规、规章、规划和方案等。然而,复合型大气污染仍是中国当前和今后面临的重大污染问题^[4,5]。

在环境治理的政策法规中,环境规制能够有效地控制大气污染^[6],显著地提升区域生态效率,并能够促进绿色经济效率^[7],对保护环境、促进经济高质

量发展具有正向推动作用^[8]。但是大气污染具有较强的流动性和外溢性^[9],即使某一城市加强环境规制程度,由于其他城市的大气污染物的空间流动影响,该城市的环境质量也不一定会得到提升。尽管中央已经将环境质量纳入地方政府的政绩考核体系,但“逐底竞争”现象依然存在^[10]。因此在环境规制的制定或执行过程中,地方政府之间存在博弈关系。与此同时,环境规制还存在空间溢出特征^[11],导致环境规制引发污染就近转移的特征^[12]。较高环境规制程度的城市易引致污染产业向邻地转移^[13],引发城市间的环境竞争行为^[14-16],呈现明显的“搭便车”倾向^[17]和相互“模仿”行为^[18]。这一仿效行为虽然有利于地方经济的发展,但环境规制程度非完全执行的现象削弱了环境规制的治污效果^[19],形成环境规制竞相到底的现象,导致属地治

通讯作者 Corresponding author: 张康康, zkk@cug.edu.cn

收稿日期: 2023-07-24; 录用日期: 2023-08-07; 发表日期: 2023-09-28

基金项目: 天津市哲学社会科学规划研究项目(TJYJ22-011)资助

理模式不能达到最优的治污效率,生态问题日益突出,极大地降低了人民的福祉。

因此,环境规制对大气污染的治理效果受大气污染空间流动和环境规制策略互动的影 响,导致无法明确辩证环境规制对大气污染的治理效应。而大气污染治理异质性的研究不仅能够深入认识环境规制治污效应,还能够明确大气污染的多元化治理策略,促进大气污染的高效治理。

1 文献综述

由于大气污染治理需要投入巨额的成本,但治理的结果是共享的,官员往往会由于追求本地利益最大化和自身升迁机会而存在“搭便车”倾向,既没有影响本地的经济发展,又享受大气污染治理的成果,导致政策制定和执行主体对于大气污染治理不积极甚至懈怠。

作为一种政府干预资源环境的手段,环境规制对于解决环境污染的外部性、纠正市场失灵具有不可替代的作用,已得到学者们的肯定,也得到了环保部门等政府机构的认可和实践。大多数学者认为,环境规制在一定程度上对污染的治理具有积极作用,环境规制能够显著减少污染^[20,21]。邹伟勇^[22]研究发现环境规制有利于提升城市绿色创新水平,进而在源头降低污染排放。同时,环境规制作为政府竞争的工具,调控产业结构,影响城市的经济发展。在当前大气污染属地治理背景下,为了增强该城市的经济发展程度,政府在治理大气污染过程中往往与邻近城市形成博弈关系。在分权制度下,作为经济活动主体的地方政府彼此竞争,各自发展,为本城市效用最大化而引发了对流动要素的争夺,往往与其他城市形成了策略性行为^[15,23-25]。虽然经济发展得到了长足进步,但放松环保事务的监督管理,带来的是环境质量的不断下降^[26]。而企业为了降低生产成本,往往选择到环境规制程度较低的城市发展。同时,环境规制引发污染就近转移^[14,27],较高环境规制程度的城市易引致污染产业向邻地转移,导致污染避难所现象^[28-30]。

而由于大气污染具有公共物品属性和空间转移特征,降低环境规制程度导致的大气污染会通过自然因素转移到邻近城市,导致环境规制程度弱的

城市的污染程度不一定严重,环境规制程度强的城市的污染程度不一定轻的现象^[31]。汤旖璆等^[32]研究了财政压力对地方环境规制执行强度的影响,发现财政压力显著抑制环境规制有效执行。为了吸引偏好优质环境要素,更可能形成竞相向上的环境规制策略互动特征^[33]。龚海林和范宏达^[22]通过研究发现环境规制对清洁技术创新的影响呈倒“N”型。政府间互动形式研究的文献十分丰富^[34,35],但是研究对象及时间的差异导致学界对此存在不同的观点。比如政府会降低环境规制程度竞争流动性要素^[36]、地方政府的邻避主义和优质环境的争夺而竞相提升环境规制程度^[37]等。王玥冉和高显义^[38]研究了跨省区域内多个城市主体的大气污染治理策略。差异化的环境规制也会存在不同的治污效率。王飞和文震^[39]通过研究发现不同类型的环规制对生态效率的影响存在差异。刘经珂等^[40]研究了自愿型环境规制的治理效果,发现自愿型环境规制对企业生存能力有显著提升作用。杜可等^[41]探究异质性环境规制与绿色技术创新关系,发现各类规制对绿色技术创新的积极影响从强到弱依次为市场激励型、自愿参与型和命令控制型。

已有文献主要研究了环境规制对大气污染的影响,忽略了大气污染和环境规制的异质性,无法全面深入理解大气污染的时空特征和环境规制治污的差异。本文根据大气污染流动轨迹将其划分为废气排放污染和雾霾污染,并根据环境规制实施对象将其划分为污染前环境规制和污染后环境规制,交叉深入研究了环境规制治污效率的异质。本文的研究结论为相关部门对环境规制的制定和执行提供借鉴,并对大气污染区域协同治理的全面实施提供参考。

2 研究区域概况

2016年9月正式印发的《长江经济带发展规划纲要》确立了长江经济带的发展新格局。长江经济带覆盖11个省级行政区域和长三角、长江中游、成渝等城市群,长江经济带流域内发展不平衡不充分是我国区域发展不平衡不充分的缩影。因此,对长江经济带大气污染治理的异质性研究,一方面是对大气污染流动性的再认识,另一方面也是对差异化

治理大气污染的探索,有助于高效治理大气污染,是长江经济带生态文明建设的必然要求,为全国实现大气污染区域协同治理目标提供参考依据。

长江经济带的地级市数量在 2011 年前都在不断的变化,有部分城市逐渐被设为地级市,也有部分地级市被取消。其中,2007 年经国务院批准成立的普洱市为地级市,2011 年经国务院批准成立的毕节市和铜仁市为地级市,巢湖市于 2011 年调整为县级市,划归合肥市代管。因此,为了更完整地研究长江经济带所有区域,研究时间起始点为 2011 年。因此,本文选择长江经济带的 110 个地级市为研究对象。通过统计发现,长江经济带自 2011 年至今共有 110 个地级城市,由于行政区划调整和数据确实等原因,长江经济带 2011 年之前的地级城市数量不固定。为了最大程度地不遗漏城市节点,本文选择 2011—2019 年期间长江经济带 110 个地级市为研究的面板数据组成。

3 研究设计

为研究大气污染的时空演变特征和环境规制对大气污染的治理效应,本文首先通过逻辑推理提出空间计量模型的可行性及科学性,其次构建相应的空间计量模型研究大气污染时空特征和环境规制治污效率。

3.1 模型

根据已有研究成果^[9,42],某城市的大气污染主要来源可分为三类,第一类是该城市由于经济发展而造成的污染排放程度(L_{it});第二类是由于自然条件和污染物属性,由其他城市的大气污染扩散到该城市的污染程度(FW_{it});以及该城市的大气污染扩散到其他城市的污染程度(FL_{it})。前两类导致该城市的大气污染程度的增加,而第三类减少了该城市的大气污染程度。三者之间的关系是 $EP_{it} = L_{it} + FW_{it} - FL_{it}$ 。其中, EP_{it} 表示第 i 城市在第 t 期的大气污染程度。该城市产生的污染程度 L_{it} 与该城市的经济发展、产业结构和环境治理能力密切相关,即 $L_{it} \sim X_{it}$, X_{it} 表示该城市大气污染的影响因素; $FW_{it} - FL_{it}$ 反映了大气污染在城市间的净空间依存关系,结合空间经济学中对大

气污染采用空间滞后的方式进行刻画,即: $FW_{it} - FL_{it} \sim \sum_{j=1}^N \omega_{ij} EP_{jt}$, 大气污染存在空间转移特征。

大气污染治理研究的主要对象是不同城市间的大气污染相关关系和环境规制在空间上对大气污染的影响情况,时间序列模型针对的是某一变量对时间的变化过程,而面板模型适用于研究多城市的自变量对因变量的影响,都不是研究本部分问题的适当模型。而研究城市间空间关系的空间计量经济学可以解决本部分提出的城市因素相关性的问题研究,因此本部分以空间计量经济学为工具。

空间计量经济学在面板模型的基础上,添加城市间的关系特征,进一步研究空间溢出效应。地方政府通过控制该城市的环境规制执行程度间接影响大气污染区域间的相关性,在大气污染区域协同治理过程中占据重要作用。本文设定空间计量模型验证环境规制对环境污染的影响,研究环境规制对大气污染的治污效率,并加入了环境规制空间滞后项分析环境规制策略互动机制。环境规制对大气污染的影响程度模型如式(1)所示:

$$EP_{it} = \alpha + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 \sum_{j=1}^N \omega_{ij} ER_{j,t} + X_{it}\theta + \mu_i + \eta_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

式中, EP_{it} 表示第 i 城市第 t 年的大气污染程度, ER_{it} 表示环境规制程度; $\sum_{j=1}^N \omega_{ij} ER_{j,t}$ 表示邻近城市的环境规制程度; ω_{ij} 是空间权重矩阵; X_{it} 表示城市层面的控制变量; ν_t 和 μ_i 分别表示时间固定效应和城市固定效应; ϵ_{it} 表示误差项,且服从独立同分布特征(iid)。

环境规制作为地方政府经济与环境博弈的主要工具之一,不仅与该城市的大气污染治理强度相关,还为了共享邻近城市治污成果的“搭便车”行为,与邻近城市的环境规制强度进行博弈。因此,本部分在以上假设得到验证的基础上,对地方政府间的环境规制策略互动进行研究。通过加入环境规制空间滞后项分析环境规制在区域间的策略互动强度,而通过加入环境规制时间滞后项和时空滞后项分析环境规制的时间和时空的粘性特征。本文构建动态空间计量模型检验环境规制执行互动形式。模型结构如式(2)所示:

$$ER_{it} = \alpha_1 \sum_{j=1}^N \omega_{ij} ER_{j,t} + \alpha_2 ER_{i,t-1} + \alpha_3 \sum_{j=1}^N \omega_{ij} ER_{j,t-1} + \beta X_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中, ER_{it} 表示第 i 个城市第 t 年的环境规制执行程度, $ER_{i,t-1}$ 表示第 i 个城市第 $t-1$ 年的环境规制执行程度。

3.2 变量设定

3.2.1 大气污染程度

《大气污染防治法》在第二章中明确将大气污染防治标准划分为大气环境质量和大气污染排放标准。并根据上文关于大气污染主要来源的逻辑推理,可将大气污染划分为雾霾污染和废气排放污染。雾霾污染程度是污染空间流动后的结果。废气排放污染表示实际向大气中排放的污染物,仅受污染产生地的经济发展水平等的影响,不受邻近城市大气污染的空间溢出影响。

人们对于大气环境质量最为关注莫过于雾霾污染,雾霾治理是打好污染防治的第一要务,而 $PM_{2.5}$ 是其最主要的成分。与其他大气颗粒物相比, $PM_{2.5}$ 存在更大的健康风险和危害^[43], $PM_{2.5}$ 成为我国主要的大气污染物^[44]。而且高浓度 $PM_{2.5}$ 是形成雾霾的主要原因之一,科学识别 $PM_{2.5}$ 浓度的空间异质性与驱动因素对区域大气联动治理意义重大^[45]。而且 $PM_{2.5}$ 悬浮在空气中,不仅受到污染排放地的影响,由于自然因素等的影响,还受空间流动的影响,是最能够表示大气环境质量的污染物,因此,将 $PM_{2.5}$ 作为环境质量污染的代表污染物。

大气污染排放表示实际向大气中排放的污染物,仅受污染产生地的经济发展水平等的影响,不受邻近城市大气污染的空间溢出影响。在众多废气污染排放物中, SO_2 不仅是大气污染治理的主要目标物,而且严重影响了公众的身体健康。自 2005 年以来,中国成为全球 SO_2 排放量最大的国家^[46], SO_2 污染比较严峻,我国就已经在 1995 年 8 月 29 日第一次修正的《中华人民共和国大气污染防治法》提出了划分酸雨控制区和二氧化硫污染控制区(两控区)政策。因此, SO_2 污染不仅是政府部门重

要的治理目标,而且是最受关注的排放污染物,本文将 SO_2 作为废气排放污染的代表污染物。

虽然在空气质量指数中还对 CO 、 NO_2 和 O_3 的浓度进行了统计,但是由于其与 $PM_{2.5}$ 同根同源,且其化学性质不稳定,在空气中易受氧化等的干扰导致无法对其精准统计,尤其是 $PM_{2.5}$ 和 O_3 污染具有同源性,呈高度非线性关系^[47],并受 NO_x 、 $VOCs$ 、 $HONO$ 、 NH_3 以及人为氯等排放多种外界环境因素的影响。与此同时, AQI 将 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 CO 和 O_3 等 6 项污染物用统一的评价标准呈现,结果仅表示表示城市的短期空气质量状况和变化趋势,无法分析其数值变化的来源。

本文选用的 $PM_{2.5}$ 数据来自达尔豪斯大学大气成分分析组, SO_2 数据为工业 SO_2 排放量。彭智敏和向念^[48]在研究汉江生态经济带工业二氧化硫排放影响因素时提出,第二产业是 SO_2 排放量的主要来源,而第二产业中以工业为主。因此,使用工业 SO_2 排放量的计算结果印证从废气污染排放的角度对大气污染排放量进行度量^[49]。

3.2.2 环境规制程度

参考董直庆和王辉^[15]的研究成果通过计算各城市各类污染物排放的综合指数来衡量环境规制强度。为了提高环境规制强度测算的科学性,本部分参考已有文献^[25],采用政府查处的环境违法企业数占工业企业数的比重(ers)表征地方政府环境规制执行程度。环境违法企业数据来自于公众环境研究中心公布的全国企业环境监管信息数据库,城市工业企业总数来自于《中国城市统计年鉴》。

3.2.3 控制变量

控制变量:参考相关文献^[14,25],在回归中加入了其他控制变量,主要包括三类。首先是城市经济发展特征,包括经济发展水平、产业结构、对外开放程度、对内开放程度、支出规模和财政自主程度,不仅影响了大气污染排放程度,而且还影响了环境规制的制定和执行程度。其次是城市居民特征,包括人口密度、平均工资和失业率,在建设城市的同时影响着大气污染程度和经济发展。最后是城市建设水平和人居环境,包括人均道路面积、人均用电量、医院数比和图书馆藏书比,也在一定

程度上反映了城市经济发展水平,对大气污染程度和环境规制具有显著的影响。数据指标如表 1 所示。

表 1 变量选取与度量方式

Table 1 Variable selection and measurement approach

指标	简称	度量方式
环境规制 1	er	各城市各类污染物排放的综合指数
环境规制 2	ers	政府查处的环境违法企业数占工业企业数的比重
经济发展水平	pgdp	人均 GDP
产业结构	struc	第二产业产值占城市生产总值的比重
对外开放程度	opene	城市实际利用外商直接投资占 GDP 总额的比重
对内开放程度	openi	城市社会消费品零售总额占 GDP 总额的比重
财政自主程度	fiscal	城市本级预算内财政收入占本级预算内财政总支出的比重
人口密度	density	年末总人口与行政区域面积的比值
失业率	unemp	城镇登记失业人员占单位从业人员、私营和个体从业人员、城镇登记失业人员三项总和的比重
平均工资	wage	职工平均工资对数值
支出规模	scale	政府支出/城市 GDP
人均道路面积	perroad	人均城市道路面积的对数
人均邮电量	pertele	人均邮电量的对数
医院数比	perhosp	每万人拥有医院数的对数
图书馆藏书比	perlib	每百人公共图书馆藏书的对数

3.2.4 空间权重矩阵

本文选择 3 种空间权重矩阵刻画邻近城市:第一,Queen 型 0-1 邻接矩阵(WQ)。当城市 i 与 j 边界相邻时, w_{ij} 等于 1;当城市 i 与 j 不相邻时, w_{ij} 等于 0。第二,经济距离权重(WE)。 $w_{ij} = 1/|pgdp_i - pgdp_j + 1|$,其中 $pgdp$ 表示人均 GDP。第三,地理距离权重矩阵(WD)。 w_{ij} 等于城市 i 与 j 之间直线距离的倒数。与 0-1 邻接矩阵相比,经济距离和地理距离权重矩阵均假定任何城市间都可能存在互动行为,只是经济水平相近或距离更近的城市互动行为更加明显。上述 3 种矩阵均进行了行标准化处理使得空间滞后项具有加权平均的含义,且设定对角线元素为 0。

所有价格型变量均为当年价,采用地级市层面

GDP 指数进行平减处理以消除通货膨胀对数据的影响,基期为 2011 年。 SO_2 数据来源于中国城市统计年鉴,其他数据来源于城市统计年鉴和各城市统计公报。为了减少异方差和数量级的不一致,对部分变量进行对数处理。本文的被解释变量、解释变量和控制变量数据特征如表 2 所示。

表 2 变量数据特征描述

Table 2 Characterization of variable data

变量	均值	最大值	最小值	标准差
$PM_{2.5}(\ln)$	3.730	4.520	2.128	0.388
$SO_2(\ln)$	9.991	13.183	5.357	1.125
er(ln)	-1.949	4.081	-9.924	1.978
ers(ln)	2.453	6.933	-1.222	1.330
pgdp(ln)	10.387	12.050	9.068	0.556
struc	47.768	75.860	14.740	8.621
opene	2.027	9.317	0.000	1.731
openi	38.028	67.303	3.211	8.826
fiscal	48.679	154.126	8.771	22.942
density(ln)	6.007	7.748	4.009	0.633
unemp	2.452	11.977	0.253	1.358
wage(ln)	10.611	11.439	10.079	0.214
scale(ln)	20.101	67.504	7.602	8.829
perroad(ln)	1.130	3.218	-1.559	0.816
pertele(ln)	6.683	9.493	3.990	0.696
perhosp(ln)	-1.027	1.781	-3.009	0.562
perlib(ln)	3.693	6.934	0.557	0.866

注:变量列中(ln)表示该变量经过对数化处理。

4 研究结果

4.1 环境规制对大气污染的影响研究

本文基于环境执法文件占比和大气污染强度表征环境规制程度,一方面研究环境规制对大气污染的治理效率,另一方面研究不同种类的环境规制对大气污染影响的异质性。根据指标背景的解释可知,本部分构建的两个环境规制程度变量是负向指标,数值越大,环境规制程度越弱,反之,环境规制程度越强。实证结果如表 3 所示。

表3 环境规制对大气污染的影响强度
Table 3 Strength of impact of environmental regulation on air pollution

Panel A. 大气污染排放强度						
变量	雾霾污染			废气排放污染		
	WQ	WE	WD	WQ	WE	WD
ER	-0.004* (-1.906)	-0.005 (-1.158)	-0.006* (-1.628)	0.320*** (26.113)	0.327*** (26.723)	0.323*** (27.355)
W×ER	0.012*** (3.182)	-0.021* (-1.971)	-0.055** (-2.800)	0.099*** (4.916)	0.083*** (2.416)	0.586*** (8.485)
R ²	0.917	0.739	0.822	0.731	0.725	0.742
Log L	668.761	191.430	329.325	-872.373	-882.957	-851.523
Panel B. 环境执法文件占比						
ER	-0.016*** (-3.035)	-0.034*** (-3.935)	-0.019** (-2.501)	0.093*** (4.497)	0.108*** (5.369)	0.100*** (4.813)
W×ER	-0.018** (-2.356)	0.021 (0.859)	-0.121*** (-2.888)	0.060* (1.851)	0.145* (2.667)	0.202 (1.568)
R ²	0.917	0.742	0.823	0.899	0.897	0.897
Log L	673.750	196.303	333.728	-389.382	-396.792	-397.921

注:括号内是 t 值, *、**、*** 分别代表在 10%、5% 和 1% 显著性水平下显著。

表4 环境规制治污的异质性结果

Table 4 Heterogeneity results of environmental regulation for pollution control

	废气排放污染	雾霾污染
污染前环境规制	有效	失效
污染后环境规制	有效	失效

环境规制对大气污染的空间转移特征呈现显著的推动作用。表3的结果显示,环境规制对环境污染呈现显著的影响,无论是以环境污染程度度量的环境规制,还是以环境执法文件占比度量的环境规制,都对雾霾污染和废气排放污染的空间流动性产生显著的影响,是引起大气污染区域转移的重要控制变量之一。

环境规制对废气排放污染和雾霾污染呈现差异化的影响。无论是环境执法文件占比还是大气污染排放强度,环境规制对废气排放污染的影响强度都显著为正,环境规制有显著的治污效应,与已有研究成果一致。同时,环境规制对邻近城市的废气排放污染也同样具有抑制效应,环境规制程度的增强不仅能够减缓本城市的大气污染排放,而且能

够减少邻近城市的大气污染排放,污染避难所效应应在长江经济带地级城市间不成立。与环境规制对废气排放污染结果相反,环境规制对雾霾污染的抑制效应失效。环境规制和雾霾污染呈现负相关关系,环境规制程度越强,雾霾污染反而越严重。也说明了当前我国大气污染治理的局限性,“单打独斗”已不适应于当前的治污减排任务,必须实施区域联合才能够更有效的发挥环境规制治污减排效应以及高效治污,与环境规制对废气排放污染结果相反,环境规制对雾霾污染的抑制效应失效。

污染前环境规制能更抑制大气污染排放。对比表3中两种环境规制对废气排放污染的影响程度和表4的结果发现,以大气污染排放强度表征的环境规制对废气排放污染的影响程度更强,表明了排放端的污染治理能够对大气污染排放的治理效果有更高的效率。而在末端的污染治理虽然也能够发挥显著的治污效应,但是治理程度较弱,不能发挥更强的环境规制治污效率。

4.2 环境规制策略互动研究

由于中国地方政府在环境政策制定及执行时

呈现非独立的特征,为了最大化该城市的经济效用,与其他城市存在博弈行为,因此环境规制执行

程度受其他城市的影响。长江经济带地级城市间环境规制执行交互效应结果如表 5 所示。

表 5 环境规制的时空影响特征

Table 5 Characteristics of spatio-temporal impacts of environmental regulation

变量	环境执法文件占比			大气污染排放强度		
	WQ	WE	WD	WQ	WE	WD
ER_{t-1}	0.295*** (5.120)	0.265*** (3.891)	0.304*** (5.110)	0.501*** (13.050)	0.531*** (13.941)	0.544*** (14.273)
$W \times ER_{t-1}$	-0.174** (-2.493)	-0.147 (-1.198)	-0.290*** (-3.678)	-0.325*** (-5.313)	-0.458*** (-6.611)	-0.539*** (-6.835)
$W \times ER$	0.731*** (29.799)	0.793*** (23.489)	0.918*** (48.405)	0.312*** (7.425)	0.267*** (4.603)	0.573*** (6.660)
R^2	0.823	0.803	0.814	0.875	0.872	0.872
Log L	-754.364	-787.868	-772.820	-919.108	-926.169	-926.361

注:括号内是 t 值,*、**、*** 分别代表在 10%、5% 和 1% 显著性水平下显著。

环境规制程度逐年增强,地理距离的空间交互是环境规制执行时空交互影响的主要形式。由表 5 可知,环境规制执行程度的时间滞后项的系数都显著大于 0,环境规制程度受上一年的环境规制程度的影响,上一年的环境规制执行程度越强,对今年的环境规制执行程度影响强度越强,环境规制执行程度呈现逐年递增。中国地方政府非常重视环境规制政策,并且逐年增强环境规制执行程度,我国在环境治理方面取得了显著的成效。考虑空间因素对环境规制程度的影响发现,中心城市的环境规制程度受地理临近、经济水平邻近和距离邻近城市显著为正的影响,本城市的环境规制程度随着邻近城市的环境规制程度的增强而增强。通过对比表 5 中不同环境规制的空间影响强度,研究发现地理距离邻近的城市对中心城市的环境规制程度的影响最大,强于地理位置邻近和经济邻近的城市。由于中国各城市的面积差距较大,并包含直辖市、省会城市及副省会城市等,因此相对于地理位置邻近和经济邻近,地理距离邻近的城市间更能够引起环境规制的策略互动。由于地理位置邻近的城市不止一个,在构建空间权重矩阵时,空间计量模型计算的空间邻近效应是所有邻近城市的均值对其的影响,导致地理位置邻近城市的空间效应小于地理距离邻近的城市。经济邻近城市之间的环境规制策略互动程度小于地理距离邻近城市是由于虽然同

等经济发展水平的城市间存在“竞争锦标赛”,但是由于同等经济发展水平城市的大气污染程度存在差异,因此环境规制程度也会存在显著性差异的执行程度。

5 研究结论

本文基于长江经济带 110 个城市的 2011—2019 年数据,将大气污染划分为雾霾污染和废气排放污染,并添加了两类环境规制,深入研究了长江经济带大气污染异质性治理特征,包括大气污染的时空特征、环境规制对大气污染影响的异质性和环境规制策略互动的异质性。主要研究结论如下:

(1)环境规制对大气污染的空间转移特征呈现显著的推动作用,且污染前环境规制能更抑制大气污染排放。首先,环境规制对雾霾污染和废气排放污染的空间流动性产生显著的影响,是引起大气污染区域转移的重要控制变量之一。其次,环境规制对废气排放污染和雾霾污染呈现差异化的影响。环境规制对废气排放污染能够发挥显著的治理效率,但是对雾霾污染的治理效率不足,反而加剧了雾霾污染程度。最后,污染前环境规制能更抑制大气污染排放,在排放端的污染治理能够对大气污染排放的治理效果有更高的效率。

(2)环境规制程度也在时空上存在显著的粘性特征,表现出正向的策略互动特征,而且污染前的

环境规制策略互动程度较强。环境规制程度逐年增强,地理距离的空间交互是环境规制执行时空交互影响的主要形式,长江经济带地级城市间的环境规制程度存在时空负向的策略互动。对比环境规制程度的时间效应和空间效应分析结果,虽然环境规制程度逐年递增,而且与邻近城市的环境规制程度形成空间同步,但是环境规制程度在时空视角存在负向的现象仍然存在,各城市会根据临近城市上一年的环境规制程度降低本年度的环境规制程度。通过对比环境规制策略互动的异质性可知,污染前的环境规制策略互动程度较强,说明在污染发生后对其的治理程度并未有过强的反映。

本文通过研究大气污染、环境规制及其关系,发现了大气污染和环境规制的时空特征和环境规制的治污效率,对进一步治理长江经济带的大气污染提供了参考。针对研究结论,本文认为:① 差异化制定环境规制程度。依据大气污染程度和环境规制治污效率的不同制定科学、合理的环境规制程度,增强环境规制的治污效果,最大化治理大气污染。② 强化环境规制策略互动程度。基于当前城市间环境规制互动程度,一方面精准度量策略互动的方向和程度,全面了解区域内环境规制治污情况;另一方面要积极探索区域协同治理过程中的分区方案设计,解决“与谁协同”的重大分区问题。

在研究过程中,根据大气污染的演变逻辑和环境规制治理对象,将大气污染和环境规制分别划分为雾霾污染和废气排放污染、污染前环境规制和污染后环境规制,深入探讨了环境规制对大气污染治理的异质性问题。研究发现了两个问题。首先是大气污染流动性。虽然大量的文献都提到了大气污染这个特征,对大气污染的空间相关性进行了深入讨论,但是关于大气污染流动性的相关研究不足,主要原因是对大气污染的测度指标单一,或者同类型的,没有基于大气污染的流动轨迹研究测度变量。而本文根据大气污染的流动逻辑,分别从排放端和末端对比分析,一方面可以检验环境规制的治理效率,为相关部门提供参考,另一方面有助于深入了解大气污染的特征,为大气污染区域协同治理的实施提供依据。其次是环境规制治污的异质性。当前存在大量的环境规制,本文对比研究了污染前后的两种环境规制,不仅检验了两种环境规制

的治污效率,而且还辨析了环境规制在大气污染过程中的作用程度,有助于增强环境规制的制定或执行程度,促进环境规制治污的高效化。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] Xue S, Zhang B, Zhao X. Brain drain: The impact of air pollution on firm performance[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2021, 110: 102546. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102546>
- [2] Ebenstein A, Fan M, Greenstone M, et al. Growth, pollution, and life expectancy: China from 1991-2012 [J]. *American Economic Review*, 2015, 105(5): 226-31. <https://doi.org/10.1257/aer.p20151094>
- [3] Cohen A J, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 [J]. *The Lancet*, 2017, 389(10082): 1907-1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- [4] 张生玲, 王雨涵, 李跃, 等. 中国雾霾空间分布特征及影响因素分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(09): 15-22. <https://doi.org/10.12062/cpre.20170707>
- [5] 刘华军, 孙亚男, 陈明华. 雾霾污染的城市间动态关联及其成因研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(03): 74-81. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2104.2017.03.009>
- [6] Zhang K, Xu D, Li S. The impact of environmental regulation on environmental pollution in China: an empirical study based on the synergistic effect of industrial agglomeration [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(25): 25775-25788. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05854-z>
- [7] 胡安军, 郭爱君, 钟方雷, 等. 高新技术产业集聚能够提高地区绿色经济效率吗? [J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(09): 93-101. <https://doi.org/10.12062/cpre.20180404>
- [8] 何爱平, 安梦天. 地方政府竞争、环境规制与绿色发展效率[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(03): 21-30. <https://doi.org/10.12062/cpre.20181015>
- [9] 邵帅, 李欣, 曹建华, 等. 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*,

- 2016,51(09):73-88.
- [10] 刘华军,彭莹. 雾霾污染区域协同治理的“逐底竞争”检验[J]. 资源科学,2019,41(01):185-195.
<https://doi.org/10.18402/resci.2019.01.17>
- [11] Zhou Q,Zhong S,Shi T,et al. Environmental regulation and haze pollution: Neighbor-companion or neighbor-beggar? [J]. Energy Policy,2021,151:112183.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112183>
- [12] Chen L,Xu L,Cai Y, et al. Spatiotemporal patterns of industrial carbon emissions at the city level[J]. Resources, Conservation and Recycling,2021,169:105499.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105499>
- [13] 卞元超,吴利华,周敏,等. 国内市场分割与雾霾污染——基于空间自滞后模型的实证研究[J]. 产业经济研究,2020(02):45-57.
<https://doi.org/10.13269/j.cnki.ier.2020.02.004>
- [14] 沈坤荣,金刚,方娟. 环境规制引起了污染就近转移吗? [J]. 经济研究,2017,52(05):44-59.
- [15] 董直庆,王辉. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济,2019(01):100-118.
<https://doi.org/10.19581/j.cnki.ciejournal.2019.01.006>
- [16] 王文普. 环境规制、空间溢出与地区产业竞争力[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(08):123-130.
<https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-2104.2013.08.018>
- [17] 高明,郭施宏,夏玲玲. 大气污染府际间合作治理联盟的达成与稳定——基于演化博弈分析[J]. 中国管理科学,2016,24(08):62-70.
<https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2016.08.008>
- [18] 李胜兰,初善冰,申晨. 地方政府竞争、环境规制与区域生态效率[J]. 世界经济,2014,37(04):88-110.
<https://doi.org/10.19985/j.cnki.cassjwe.2014.04.006>
- [19] 张华. 地区间环境规制的策略互动研究——对环境规制非完全执行普遍性的解释[J]. 中国工业经济,2016(07):74-90.
<https://doi.org/10.19581/j.cnki.ciejournal.2016.07.006>
- [20] Chen H,Yu H,Li J, et al. The impact of environmental regulation, shadow economy, and corruption on environmental quality: Theory and empirical evidence from China[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 195: 200-214.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.206>
- [21] Wang H, Liu H. Foreign direct investment, environmental regulation, and environmental pollution: an empirical study based on threshold effects for different Chinese regions[J]. Environmental Science and Pollution Research,2019,26(1):5394-5409.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3969-8>
- [22] 邹伟勇. 环境规制能否促进城市绿色创新? [J]. 经济经纬,2023,40(02):24-33.
<https://doi.org/10.15931/j.cnki.1006-1096.2023.02.009>
- [23] 郑新业,王宇澄,张力. 政府部门间政策协调的理论和经验证据[J]. 经济研究,2019,54(10):24-40.
- [24] 朱平芳,张征宇,姜国麟. FDI与环境规制:基于地方分权视角的实证研究[J]. 经济研究,2011,46(06):133-145.
- [25] 金刚,沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴? ——环境规制执行互动与城市生产率增长[J]. 管理世界,2018,34(12):43-55.
<https://doi.org/10.19744/j.cnki.11-1235/f.2018.0032>
- [26] Wu M, Cao X. Greening the career incentive structure for local officials in China: Does less pollution increase the chances of promotion for Chinese local leaders? [J]. Journal of Environmental Economics and Management,2021:102440.
<https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102440>
- [27] Zeng C, Stringer L C, Lv T. The spatial spillover effect of fossil fuel energy trade on CO₂ emissions[J]. Energy,2021,223:120038.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120038>
- [28] Sun C,Zhang F,Xu M. Investigation of pollution haven hypothesis for China: an ARDL approach with break-point unit root tests[J]. Journal of cleaner production, 2017,161:153-164.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.119>
- [29] Shen J,Wei Y D,Yang Z. The impact of environmental regulations on the location of pollution-intensive industries in China[J]. Journal of Cleaner Production,2017,148(Complete):785-794.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.050>
- [30] Cohen G, Jalles J T, Loungani P, et al. Decoupling of emissions and GDP: Evidence from aggregate and provincial Chinese data[J]. Energy Economics, 2019, 77: 105-118.
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.030>
- [31] 李永友,沈坤荣. 我国污染控制政策的减排效果——基于省际工业污染数据的实证分析[J]. 管理世界,2008,178(07):7-17.
<https://doi.org/10.19744/j.cnki.11-1235/f.2008.07.002>
- [32] 汤旂璆,苏鑫,刘琪. 地方财政压力与环境规制弱化——环境机会主义行为选择的经验证据[J]. 财经理

- 论与实践,2023,44(03):82-91.
<https://doi.org/10.16339/j.cnki.hdxbcjb.2023.03.011>
- [33] 张征宇,朱平芳. 地方环境支出的实证研究[J]. 经济研究,2010,45(05):82-94.
- [34] Case A C, Rosen H S, Hines Jr J R. Budget spillovers and fiscal policy interdependence: Evidence from the states[J]. *Journal of public economics*, 1993, 52(3): 285-307.
[https://doi.org/10.1016/0047-2727\(93\)90036-S](https://doi.org/10.1016/0047-2727(93)90036-S)
- [35] Brueckner J K, Saavedra L A. Do local governments engage in strategic property—Tax competition? [J]. *National Tax Journal*, 2001, 54(2): 203-229.
<https://doi.org/10.1287/mksc.20.3.315.9763>
- [36] Woods N D. Interstate competition and environmental regulation: a test of the race-to-the-bottom thesis[J]. *Social Science Quarterly*, 2006, 87(1): 174-189.
<https://doi.org/10.1111/j.0038-4941.2006.00375.x>
- [37] Fredriksson P G, Millimet D L. Strategic interaction and the determination of environmental policy across US states [J]. *Journal of urban economics*, 2002, 51(1): 101-122.
<https://doi.org/10.1006/juec.2001.2239>
- [38] 王玥冉,高显义. 跨省多城市大气污染合作治理联盟的形成——基于演化博弈分析[J]. 运筹与管理,2023,32(05):62-70.
<https://doi.org/10.12005/orms.2023.0150>
- [39] 王飞,文震. 环境规制、技术创新与生态效率——基于2006—2020年中国省际面板数据的实证研究[J]. 技术经济与管理研究,2023(04):15-19.
[https://doi.org/10.1004-292X\(2023\)04-0015-05](https://doi.org/10.1004-292X(2023)04-0015-05)
- [40] 刘经珂,陈艳莹,于千惠. 自愿型环境规制如何影响企业生存? [J]. 财经问题研究,2023(05):39-51.
<https://doi.org/10.19654/j.cnki.cjwtyj.2023.05.004>
- [41] 杜可,陈关聚,梁锦凯. 异质性环境规制、环境二元战略与绿色技术创新[J]. 科技进步与对策,2023,40(08):130-140.
<https://doi.org/10.6049/kjbydc.Q202207004>
- [42] 刘净然,范庆泉,储成君,等. 雾霾治理的经济基础: 动态环境规制的适用性分析[J]. 中国人口·资源与环境,2021,31(08):80-89.
<https://doi.org/10.12062/cpre.20210114>
- [43] Wang H, Dwyer-Lindgren L, Lofgren K T, et al. Age-specific and sex-specific mortality in 187 countries, 1970-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010 [J]. *The Lancet*, 2012, 380(9859): 2071-2094.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61719-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61719-X)
- [44] Ravishankara A, David L M, Pierce J R, et al. Outdoor air pollution in India is not only an urban problem[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020, 117(46): 28640-28644.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2007236117>
- [45] 周亮,周成虎,杨帆,等. 2000-2011年中国PM_{2.5}时空演化特征及驱动因素解析[J]. 地理学报,2017,72(11):2079-2092.
<https://doi.org/10.11821/dlxb201711012>
- [46] 任胜钢,郑晶晶,刘东华,等. 排污权交易机制是否提高了企业全要素生产率——来自中国上市公司的证据[J]. 中国工业经济,2019(05):5-23.
<https://doi.org/10.19581/j.cnki.ciejournal.2019.05.001>
- [47] Wang T, Xue L, Brimblecombe P, et al. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 575: 1582-1596.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.081>
- [48] 彭智敏,向念. 空间溢出视角下汉江生态经济带地级市工业二氧化硫排放影响因素研究[J]. 生态经济,2019,35(11):182-187+193.
- [49] Qian H, Xu S, Cao J, et al. Air pollution reduction and climate co-benefits in China's industries [J]. *Nature Sustainability*, 2021, 4(5): 417-425.
<https://doi.org/10.1038/s41893-020-00669-0>

Study on the Heterogeneity of Air Pollution Control in the Yangtze River Economic Belt

ZHANG Kangkang

(Research Institute for Eco-civilization, Tianjin Academy of Social Sciences, Tianjin 300191, China)

Abstract: Environmental regulation is one of the most effective means of air pollution control. However, its heterogeneity is often neglected, which prevents in-depth study of the pollution control effects of environmental regulation and accurate and scientific control of air pollution. This paper studies the heterogeneity of the impact of environmental regulation on air pollution based on the data from 110 cities in the Yangtze River Economic Belt from 2011 to 2019. This includes pre-pollution environmental regulation, post-pollution environmental regulation, as well as the efficiency of controlling exhaust emission pollution and haze pollution. The study enhances the study of the impact of environmental regulation on air pollution. It is found that: (1) Environmental regulation presents a significant driving effect on the spatial transfer characteristics of air pollution, and pre-pollution environmental regulation is more effective in suppressing air pollution emissions. (2) The level of environmental regulation exhibits significant temporal and spatial stickiness, showing positive strategic interaction characteristics, and the degree of interaction of pre-pollution environmental regulation strategies is stronger. By studying the heterogeneity of the impact of environmental regulation on air pollution, this paper reveals the heterogeneity of environmental regulation for pollution control, including spatiotemporal heterogeneity and the impact of heterogeneous environmental regulation on different air pollutant types, which provides a reference for in-depth air pollution control in the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: Yangtze River Economic Belt; air pollution; environmental regulation; heterogeneity

DOI: 10.48014/csdr.20230724001

Citation: ZHANG Kangkang. Study on the Heterogeneity of air pollution control in the Yangtze River Economic Belt [J]. Chinese Sustainable Development Review, 2023, 2(3): 49-59.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

