

辽宁省环境规制约束下的雾霾脱钩效应分析

于冠一¹, 修春亮², 赵昌松¹
(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 东北大学 江河建筑学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要: 基于2006年—2015年辽宁省57个地区的统计和卫星遥感数据,使用空间杜宾模型,检验政府和市场环境规制工具对邻近地区工业发展与雾霾脱钩的空间效应.空间自相关结果表明,辽宁各地雾霾脱钩呈现空间正相关特征,大部分地区处于绝对和相对脱钩状态.实证结果表明:由于资源税成本较低及地方政府对大企业环保责任的有效监督,辽宁省政府环境规制的雾霾脱钩效果优于市场型环境规制;示范效应和大气运动使得本地环境规制强度提高,这对邻近地区的雾霾脱钩带来了积极的引导和波及效应.

关 键 词: 环境规制;雾霾污染;脱钩;空间相关性;空间杜宾模型

中图分类号: F 061.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2019)03-0435-06

Haze Decoupling Effect Under the Constraints of Environmental Regulation in Liaoning Province

YU Guan-yi¹, XIU Chun-liang², ZHAO Chang-song¹
(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. School of JangHo Architecture, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: XIU Chun-liang, E-mail: xiuchunliang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: Based on the statistical and satellite remote sensing data of 57 regions in Liaoning Province from 2006 to 2015a, the spatial Durbin model was used to test the spatial effect of government and market environment regulation tools on the decoupling of industrial development and haze in the neighboring regions. The results of spatial autocorrelation showed that haze decoupling in Liaoning Province presents a spatial positive correlation, and most of the regions are absolutely and relatively decoupled. The empirical results show that due to the low resource tax cost and effective supervision of local governments on the environmental responsibility of large enterprises, the government's environmental regulation effect is better than the market environmental regulation; the demonstration effect and atmospheric movement have brought positive guidance and ripple effects to the neighboring regions.

Key words: environmental regulation; haze pollution; decoupling; spatial correlation; spatial Durbin model

中国的环境规制经历了由指控命令式的政府调节逐渐过渡到与市场法规相结合的阶段.不同类型的环境调节工具存在显著差异,对减排和技术进步有不同的影响^[1].近年来,以细颗粒物PM_{2.5}为主要来源的雾霾污染频频发生,据辽宁省环保厅统计,雾霾天数占总供暖期85%,严重影响人们的生产生活.随着居民和政府对于环保质量要求的日益提高,环境规制成为实现经济发展与雾霾污染脱钩的重要保障.据此,辽宁省政府颁布了大气污染防治条例等政策性文件,把环境保护作为改善民生的重要任务.本文从环境规制的效果出发,分析政府和市场两种类型的环境规制工具能否实现工业发展与雾霾污染脱钩,以期更加科学合理比较不同类型环境调节工具效果.

传统观点认为,环境规制迫使企业增加用于环境投资的成本,不利于产业发展和经济效益提

高. Porter^[2]质疑传统观点,环境规制可以激励企业在约束条件下进一步优化资源配置,提高管理效率,减少生产过程中的低效行为. 环境规制不仅可以提高环境质量,还可以促进工业发展和经济增长.

许多学者对波特假说进行了检验. 第一种观点认为,环境规制对企业的生产行为施加了诸多约束,不利于生产率增长和技术进步^[3]; 第二种观点运用世界各国实例,证实环境管制能够提高企业生产率、促进企业技术进步^[4]; 第三种观点认为,环境规制对生产力和技术进步的影响受到制度基础、市场效率、经济发展水平、人力资本和研发投入等诸多因素制约,这些影响与环境规制的质量、形式、工业技术水平和污染程度密切相关. 因此,环境规制对生产率增长和技术进步的影响并不显著^[5].

综上,现有文献一直从技术进步的角度分析本地环境规制的影响,忽略了环境规制节能减排的本质和对邻近地区间的溢出效应. 本文欲从下述内容和方法上进行新的尝试:①以对城市环境危害最大的雾霾污染细颗粒物 PM2.5 脱钩指数为研究对象,分析政府和市场环境规制工具能否实现工业发展与雾霾污染脱钩,比较不同类型环境调节工具效果;②采用恰当的空间计量模型,对周边地区工业发展与雾霾脱钩的空间效应进行检验,为辽宁省有效实施环境规制提出政策建议.

1 变量选择与数据处理

本文将城市内多个区整合为一个样本,辽宁省范围内存在沈阳、鞍山、铁岭等 14 个城市区域,再加上地级市所属县级市和县城,共 57 个行政单元,时间区间为 2006 年—2015 年.

1.1 脱钩指数指标选取与数据来源

很多机构和学者都尝试编制脱钩指数,以探求随着时间推移,经济增长与环境污染的变化过程. 其中应用最为广泛的指标是 OECD(2002 年)提出的脱钩指数(DI)^[6]. 该指标定义为

DI = (M'/Y') / (M^0/Y^0) = EPI' / EPI^0 . (1)

式中:上标 0 表示初始年份;M, Y 分别为污染排放指标和以不变价格计算的经济发展水平指标;EPI 是 M 与 Y 的比值,代表整体环境压力强度. 脱钩水平分成以下三种情形:

绝对脱钩:Y' > Y^0 且 M' ≤ M^0, 此时,经济总量增长且污染排放没有增加. 在绝对脱钩的情形

下,DI ∈ (0 1).

相对脱钩:Y' > Y^0, M' > M^0 且 Y'/Y^0 > M'/M^0, 此时,经济总量和污染排放同时增加,经济增长速度快于污染排放速度. 在相对脱钩情况下,DI 的范围依然在 0 到 1 之间,且 DI 值越大,相对脱钩水平越低.

挂钩:Y' > Y^0, M' > M^0 且 Y'/Y^0 < M'/M^0, 此时经济总量和污染排放同时增加,经济增长速度慢于污染排放增加速度,即没有实现脱钩,此情形下 DI > 1.

绝对脱钩是最佳状态,其次为相对脱钩,挂钩在经济发展和环境管理中应尽量避免.

本文将环境压力强度(EPI)定义为地区工业总产值与雾霾污染的比值,反映工业经济发展与雾霾的脱离程度,工业总产值数据来源于历年辽宁省统计年鉴. 我国从 2013 年开始统计 PM2.5 的观测数据,但受观测站选择的偶然因素影响,观测数据不能全面反映当地雾霾的真实程度. 目前,国内外学者获取 PM2.5 数据主要通过两种途径:①魏巍贤等^[7]计算《2013 年中国环境状况公报》中 SO₂ 与 PM2.5 浓度的比例,并以此比率为基准估测历年 PM2.5 值;②Donkelaar 等^[8]通过气溶胶值估测 PM2.5 浓度,数据精确到 0.1 经纬度. Donkelaar 等为相关研究提供了开创性的数据支持,但数据精确度欠佳,不能满足小城市或县域尺度研究需要. 为解决数据缺失问题,本文突破以上限制,将达尔豪斯大学公布的 2006 年—2015 年全球 PM2.5 栅格数据,解析为辽宁省各地区 PM2.5 年均值. 达尔豪斯大学基于地理加权回归模型最终校准了全球范围内的 PM2.5 浓度值,其数据精确到 0.01 经纬度,能够满足县级市、市辖区等小尺度研究需要.

1.2 解释变量选取与数据来源

1) 环境规制:环境规制分为政府环境规制与市场环境规制. ①政府环境规制工具选用公众环境研究中心(IPE)公示的企业监管记录;②资源税有利于促进化石能源产品合理市场价格体系的建立,因此市场环境规制工具用资源税替代. 数据来源于历年辽宁省统计年鉴,但其公布的数据为省辖市尺度,本文将各地区生产总值作为权重计算得到 57 个县市和市辖区的资源税估测值.

2) 控制变量:①地区经济发展水平,近年来辽宁省经济进入调整结构和速度的新常态,再加上统计纠偏问题,2013 年起,辽宁省的各项经济指标呈下滑趋势,其经济动态分析面临着严重的数据困惑. 本文利用美国国家海洋和大气管理局

国家环境信息中心监测的城市稳定灯光数据作为经济发展水平的替代变量^[9],用 ArcGIS 软件将其解析为辽宁省各地区的矢量值。②供热总量,辽宁省现有供热企业以煤炭作为主要的供热能源,煤炭燃烧产生大量的粉尘和有害气体,化学变化后形成 PM2.5 污染物,非供暖期没有此变量,由于供暖期雾霾频发,本文分供暖期和非供暖期进行讨论。③工业产值比重,辽宁省是我国老工业基地,其经济发展一直依赖于煤炭、钢铁、石化和装备制造产业为主导的重工业,高能耗、高污染的生产模式没有得到根本性转变。④汽车尾气排放量,近年来居民汽车保有量呈逐年上涨趋势,再加上货运的刚性需求,汽车尾气导致的交通污染成为雾霾污染的重要诱因。本文采用民用汽车拥有量

作为汽车尾气的替代变量。⑤万元产值能耗替代工业发展水平,计算公式为:年能源消费总量/年地区生产总值。⑥能源结构,化石燃料的燃烧是雾霾的主要来源,本文选取煤炭消费占总能源消费的比重衡量能源结构,考察脱钩效应。统计数据只公布了各县市规模以上工业能源消费量和各省辖市煤炭消费占总消费占比,限于数据的可获得性,本文用各县市规模以上工业能源消费量与县所在地级市煤炭消费占总消费量比重乘积作为各县市煤炭消费比重的替代变量。供热总量、煤炭消费数据、各县市能源消费总量数据来源于历年辽宁省城乡建设统计年报,工业产值、地区生产总值、民用汽车拥有量和各省辖市煤炭消费占比数据均来源于历年辽宁省统计年鉴。

表 1 变量说明
Table 1 Variable description

分类	变量	变量符号	定义及说明
内生变量	脱钩指数	DI	PM2.5 ¹ /工业生产总产值 ¹ /PM2.5 ⁰ /工业生产总产值 ⁰
核心变量	政府环境规制	GER	企业监管记录数/个
	市场环境规制	MER	资源税/万元
控制变量	经济发展水平	LIGHT	稳定灯光强度
	供热总量	HEAT	热水供热总量/万吉焦
	工业产值比重	PIND	不变价格工业产值与地区生产总值比重/%
	汽车尾气排放量	CAR	民用汽车拥有量/辆
	工业发展水平	IND	年能源消费总量/年地区生产总值
	能源结构	STR	能源消费量×煤炭消费占总消费量比重

2 环境规制对雾霾脱钩效应检验

2.1 空间相关性检验

图 1 展示了奇数年份辽宁省各地区雾霾脱钩空间分布图,10 年间辽宁省大部分地区均处于绝对和相对脱钩状态,且存在高-高集聚和低-低集聚的空间正相关特征。大连及周边地区脱钩指数全省最低,表明大连市及周边地区经济增长且雾霾污染较低;只有铁岭周边县市和辽宁西部地区处在挂钩状态,经济发展进程慢于雾霾污染程

度;但辽西地区脱钩状况逐渐好转,由挂钩转为脱钩状态,铁岭周边县市脱钩进程倒退且范围呈现逐步扩大趋势。

为对辽宁省各地区各指标空间溢出效应进行全面考察,本文采用 Moran's I 进行测度,公式为

$$\text{Moran's } I = [n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})] / [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \times \sum_{i=1}^n (x_j - \bar{x})^2] \quad (2)$$

选用邻接矩阵,计算可得,Moran's I 大于 0 且在 1% 的水平上显著,说明各指标分布均呈现高-高和低-低集聚的空间正相关特征。

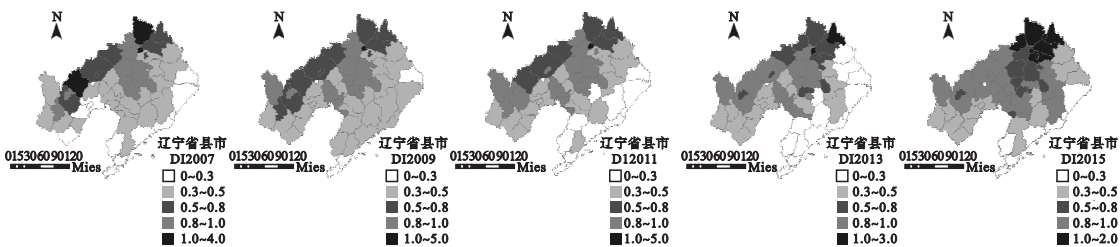


图 1 2006 - 2015 奇数年份辽宁省各地区雾霾脱钩情况空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of haze decoupling at Liaoning province in odd-numbered years from 2006 to 2015

2.2 计量模型构建

上节探索性空间分析表明各指标分布均呈现空间正相关特征. 为了科学地探求辽宁省环境规制对雾霾脱钩的影响关系, 本文首先建立空间杜宾模型量化政府行政性和市场型环境规制对雾霾污染脱钩的直接影响及对邻近地区的空间溢出效应, 供暖期无供热数据项, 回归方程具体设定为

$$\ln DI_{it} = \alpha + \delta \sum_{j=1}^n W_{ij} \times \ln DI_{it} + \beta_1 \ln GER_{it} + \theta_1 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln GER_{it} / (\beta_1 \ln MER_{it} + \theta_1 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln MER_{it}) + \beta_2 \ln LIGHT_{it} + \theta_2 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln LIGHT_{it} + (\beta_3$$

$$\ln HEAT_{it} + \theta_3 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln HEAT_{it}) + \beta_4 \ln PIND_{it} + \theta_4 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln PIND_{it} + \beta_5 \ln CAR_{it} + \theta_5 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln CAR_{it} + \beta_6 \ln IND_{it} + \theta_6 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln IND_{it} + \beta_7 \ln STR_{it} + \theta_7 \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln STR_{it} + \varepsilon_{it}.$$

2.3 回归结果及讨论

表 2 第二、三列分别为政府和市场环境规制模型估计结果, 运算使用 Matlab7.0 及相关软件包.

表 2 邻接矩阵下空间杜宾模型(SDM) 估计结果

Table 2 Space Durbin model(SDM) regressions and relative test results of the adjacency matrix

系数	政府环境规制		市场环境规制	
	供暖期	非供暖期	供暖期	非供暖期
δ	0.168 ***	0.145 ***	0.109 **	0.089 **
β_1	-0.140 ***	-0.145 ***	-0.088 ***	-0.093 ***
β_2	-0.113 ***	-0.133 ***	-0.109 ***	-0.116 ***
β_3	0.664 ***	NULL	0.549 ***	NULL
β_4	1.821 ***	1.809 ***	1.346 ***	1.334 ***
β_5	0.076 ***	0.064 ***	0.074 ***	0.062 ***
β_6	-0.571 ***	-0.648 ***	-0.475 ***	-0.408 ***
β_7	0.458 ***	0.403 ***	0.434 ***	0.241 ***
θ_1	-0.021 ***	-0.009 ***	-0.041 ***	-0.039 ***
θ_2	0.014	0.005	-0.006	-0.008
θ_3	-0.091	-0.075	-0.054	-0.043
θ_4	0.081 ***	0.077 ***	0.062 **	0.058 *
θ_5	-0.000 5	0.005 5	-0.021	-0.015
θ_6	-0.073 ***	-0.057 ***	-0.025 **	-0.013 *
θ_7	0.074 ***	0.040 ***	0.059 ***	0.037 ***
Wald 内生变量空间滞后统计量	18.363 ***	38.115 ***	19.702 ***	39.922 ***
Wald 误差项空间滞后统计量	12.317 **	37.763 ***	29.228 ***	38.104 ***
LR 内生变量空间滞后统计量	10.359 ***	41.310 ***	18.484 ***	14.986 ***
LR 误差项空间滞后统计量	41.488 ***	31.646 ***	22.286 ***	37.183 ***

注: ***, **, * 分别表示在 1% ,5% 和 10% 水平上显著.

空间杜宾模型估计结果显示, 除集中供热、经济发展水平和民用汽车拥有量的空间溢出效应系数 θ_2 、 θ_3 和 θ_5 外, 其他系数均通过显著性检验. 供暖期(有利于雾霾脱钩的因素, 系数是负的项绝对值较小) 雾霾脱钩效应弱于非供暖期. 两种类型环境规制结果均表明, 辽宁省环境规制不仅有利于本地雾霾脱钩, 也对邻近地区产生正向溢出效应, 各指标分析如下.

2.3.1 雾霾脱钩的空间关联

从雾霾脱钩的空间维度上看, 邻接矩阵下, 空间滞后系数 δ 在政府环境规制和市场环境规制模型中均显著为正, 再次证明辽宁省地区间雾霾脱钩存在明显的空间集聚特征. 在资本、劳动力等因素跨区域流动下, 以及区域产业转移和区域联合治理的双重驱动下, 本地区与地理距离相近地区雾霾脱钩水平密切相关. 表 2 结果显示, 本地雾霾

脱钩指数每提高 1%，政府和市场环境规制模型中邻近地区雾霾脱钩指数会提高 0.168%，0.145%，0.109% 和 0.089%，表明减排措施必须采取联防联控的策略，防止地区间向底线看齐，使得当地单边环境治理无效。

2.3.2 雾霾脱钩的促进因素

β_1 环境规制对雾霾脱钩具有显著的正向影响，系数为负，两种不同类型的环境调节工具达到了减排的要求，有利于脱钩的实现。1989 年 12 月《中华人民共和国环境保护法》确立以来，中国颁布了 30 多项环保法律法规。辽宁省地方政府也通过了若干项环保法规，这些法律法规以行政命令的形式直接和间接管理企业生产过程。与此同时，自 1982 年全国实施污染收费制度以来，资源税在能源市场上发挥了重要作用，污染企业可以根据自身的经济效益做出最优选择。市场类型的环境规制工具不仅对企业研发进行正向激励，采用更先进的技术和环保设备，还能鼓励企业加强管理和综合利用资源，实现雾霾脱钩。

比较两种规制的系数可知，政府环境规制的脱钩效应更为明显，可能的原因是：1) 辽宁省的产业以重工业为基础，能耗较高，企业缴纳的资源税相对于污染防治费用较低，很难达到重新分配和利用能源的效果；2) 辽宁省国有企业占比较高，地方政府对其进行有效规制，落实企业责任，提高企业的环保标准。

地区经济发展水平 β_2 对雾霾脱钩起到了正向的调节作用，一个地区的经济水平提高，当地居民对环境质量的诉求相应提高，对大气污染企业起到了间接环境规制作用，有利于环境规制的顺利实施，实现本地工业发展和雾霾污染脱钩。

工业发展水平 β_3 为负，有利于雾霾脱钩，这一结论与预期矛盾。其深层次的原因不限于经济学领域，以后研究需进一步探讨。

2.3.3 雾霾脱钩的抑制因素

β_3 城市供暖系数为正值，两种模型中均在 1% 的水平上对雾霾脱钩具有显著的负向影响，辽宁省以煤为主要能耗的冬季供暖是雾霾污染的重要驱动因素。不同规制模式下，工业产值比重 β_4 增加不利于雾霾脱钩的实现。辽宁省第二产业占比较高，经济发展一直依赖以煤炭、钢铁、石化和装备制造产业为主导的重工业刚性生产模式，当

前粗放式发展模式和以重工业为主的产业结构是雾霾污染的最主要原因，对雾霾脱钩造成不利影响。汽车尾气 β_5 对雾霾脱钩有显著的负向影响，城市人口集聚产生的交通拥挤，不利于汽车燃料的充分燃烧，且汽车尾气排放的固体悬浮微粒、一氧化碳、碳氢化合物等成为雾霾的重要污染源，汽车尾气排放不利于实现本地雾霾脱钩。煤炭占总能源的比重越高，越不利于实现雾霾脱钩，和众多学者研究成果一致，我国国产和进口煤炭质量较低，燃烧后产生大量硫化物等危害空气的物质，煤炭燃烧产生的 PM2.5 高于其他能源，不利于脱钩的实现。

2.3.4 溢出效应分析

溢出效应的分析结果见表 3。环境规制溢出效应系数显著为负，说明环境规制政策对邻近地区产生了积极的正向溢出效应和正外部性影响，可以通过示范效应和大气运动进行解释。1) 本地加强了环境监督和资源市场调节，出台一系列大气污染防治政策并要求能耗较高的企业缴纳更多的税费，当地经济发展的同时降低了雾霾污染。示范效应下，邻近地区居民提高了当地的环保诉求，对污染行业起到监督的非正式环境规制作用，政府部门在上级政府要求和当地居民的环保诉求压力下，提高了当地的规制力度，从而使得现有环境制度资源突破各地区的限制产生外溢效应，有利于整体脱钩的实现；2) 很多学者都证实由于大气运动的作用，雾霾污染具有扩散效应，环境规制下本地雾霾污染水平降低，雾霾污染交叉影响相应减弱，某地区较强的环境监督和市场规制推动邻近地区的雾霾脱钩。

工业产值比重对雾霾脱钩具有显著的抑制作用，但同直接影响相比间接影响数值较小。从我国地区间产业结构分布看，大部分污染严重企业从发达地区转向急需提高经济指标的相对落后地区，通常经济发达地区居民对环境质量的要求较高，当地环境规制相应较强，重污染企业在权衡迁移成本和环境成本后，迁至环境规制较低的地区，从而加重落后地区的雾霾污染，不利于雾霾污染状况的改善和脱钩的实现。从数值上看，辽宁省重污染企业转移现象较少，溢出效应影响较弱。以煤为主的能源结构越高，越加剧了当地和邻近地区的雾霾污染，不利于脱钩实现。

表 3 邻接矩阵下各因素对雾霾脱钩的分解结果

Table 3 Decomposition results of the decoupling of haze from each factor in the adjacency matrix									
模型	效应	环境规制	ln LIGHT _{it}	ln HEAT _{it}	ln PIND _{it}	ln CAR _{it}	ln IND _{it}	ln STR _{it}	
供暖期	政府环境规制	直接效应	-0.159***	-0.126***	0.655***	1.872***	0.080***	-0.525***	0.492***
		间接效应	-0.014***	0.006	-0.034	0.095***	0.006	-0.031***	0.013***
		总效应	-0.173***	-0.120***	0.621***	1.967***	0.086**	-0.556***	0.505***
	市场环境规制	直接效应	-0.092***	-0.104***	0.546***	1.341***	0.073***	-0.339***	0.325***
		间接效应	-0.041***	-0.002	-0.029	0.016**	-0.015	-0.028**	0.011***
		总效应	-0.132***	-0.106**	0.517***	1.356***	0.057**	-0.367***	0.335***
非供暖期	政府环境规制	直接效应	-0.197***	-0.141***	NULL	1.857***	0.043***	-0.540***	0.455***
		间接效应	-0.022***	0.005	NULL	0.094**	-0.003	-0.032***	0.004***
		总效应	-0.219***	-0.136*	NULL	1.951***	0.040*	-0.572***	0.459***
	市场环境规制	直接效应	-0.125***	-0.119***	NULL	1.326***	0.04***	-0.354***	0.292***
		间接效应	-0.050***	-0.107	NULL	1.355*	-0.024	-0.368*	0.002*
		总效应	-0.175***	-0.226**	NULL	2.681**	0.016*	-0.722***	0.294***

3 结 论

1) 本文的探索性空间数据分析表明,辽宁省大部分地区处于绝对和相对脱钩状态. 大连的脱钩状态全省最佳;铁岭周边县市和辽宁西部地区处于挂钩状态,经济发展进程慢于雾霾污染程度;近两年辽西地区逐渐好转,铁岭周边地区呈现加重和范围扩大趋势.

2) 空间杜宾模型分析结果表明:①重工业为基础的经济模式和行政命令式的经营管理传统,辽宁省政府环境规制对雾霾脱钩效果优于市场环境规制;②示范效应和大气运动作用,使得本地环境规制强度的提高对邻近地区产生了积极的引导作用和正向溢出效应;③经济发展起到间接环境规制作用,有利于本地雾霾脱钩的实现;④城市供暖和汽车尾气排放是导致雾霾污染的重要原因,对当地雾霾脱钩起到了抑制作用,供暖期脱钩效应弱于非供暖期;⑤辽宁省重污染企业转移现象不明显的作用使得工业产值比重对雾霾脱钩的溢出效应较小;⑥以煤炭为主的能源结构不利于本地和邻近地区的脱钩.

参考文献:

[1] Ribeiro F M, Kruglianskas I. Principles of environmental

regulatory quality: a synthesis from literature review [J]. *Journal of Cleaner Production*,2015,96(1):58-76.

[2] Porter M E. America' s green strategy [J]. *Scientific American*,1991,264(4):193-246.

[3] Lanoie P, Lucchetti J L, Johnstone N, et al. Environmental policy, innovation and performance; new insights on the Porter hypothesis[J]. *Social Science Electronic Publishing*,2011,20(3):803-842.

[4] Wang Z H,Zhang B,Zeng H L. The effect of environmental regulation on external trade: empirical evidences from Chinese economy[J]. *Journal of Cleaner Production*,2016,1114(2):55-61.

[5] Randy B A. Local environmental regulation and plant-level productivity [J]. *Ecological Economics*, 2011, 70 (11): 2516-2522.

[6] Organization for Economic Co-operation and Development. Sustainable development (OECD) indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth [R]. Paris:OECD,2002.

[7] 魏巍贤,马喜立. 能源结构调整与雾霾治理的最优政策选择[J]. *中国人口·资源与环境*,2015,25(7):6-14. (Wei Wei-xian, Ma Xi-li. Optimal policy for energy structure adjustment and haze governance in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25 (7): 6-14.)

[8] Donkelaar A V, Martin R V, Brauer M, et al. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter [J]. *Environmental Health Perspectives*,2015,23(2):135-143.

[9] 徐康宁,陈丰龙,刘修岩. 中国经济增长的真实性:基于全球夜间灯光数据的检验[J]. *经济研究*,2015(9):17-57. (Xu Kang-ning, Chen Feng-long, Liu Xiu-yan. The truth of China economic growth: evidence from global night-time light data [J]. *Economic Research Journal*,2015(9):17-57.)