
长江经济带雾霾污染的空间特征及影响因素研究¹

刘婉琪^{1.a} 任毅^{1.b,2} 丁黄艳^{1.c}

(1. 重庆工商大学 a. 经济社会应用统计重点实验室;

b. 经济学院;c. 长江上游经济研究中心, 重庆 400067;

2. 国家智能制造服务国际科技合作基地, 重庆 400067)

【摘要】近年来,我国长江经济带沿岸地区雾霾天气频发,雾霾污染问题愈加严峻。选取长江经济带 2000—2016 年省级面板数据,基于莫兰指数、空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型对雾霾污染的空间特征和影响因素进行了深入剖析,并对雾霾治理的路径选择进行了探讨。研究发现:分布上,长江经济带雾霾污染具有一定的差异性特征,但整体具有显著的空间相关性;经济成因上,能源消费结构、经济发展水平和产业结构是影响长江经济带雾霾污染的主要因素,以煤炭为主的能源消耗越多、经济发展水平越高、工业产业比重越大,雾霾污染程度越严重。从能源结构、产业升级和协同治理等方面提出了雾霾污染治理对策。

【关键词】长江经济带;雾霾污染;空间特征;影响因素

【中图分类号】X823.3**【文献标志码】**A**【文章编号】**1005-8141(2017)10-1220-07

2017 年我国明确提出“加大生态环境保护治理力度,是可持续发展的内在要求”。长江流域以水为纽带,资源丰富度高,作为连接丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的重要枢纽,发展潜力大,是我国经济的重心和活力所在。长江流域得天独厚的水路纵横物流体系,使这一区域汇集了我国一大批钢铁、汽车、电子、石化等现代工业,工业产业的繁荣发展引致能源消费的急剧攀升,而工业部门高投入、高排放和高耗能的粗放型发展方式严重制约了长江经济带绿色循环的低碳发展。中国气象局发布的《2016 年中国气候公报》显示,2016 年我国共出现 8 次大范围、持续性雾霾天气,其中以长江经济带沿岸的长三角、中三角和成渝三大城市群最为严峻。

收稿日期:2017-08-27

修订日期:2017-09-24

基金项目:重庆市教委科学技术研究项目“长江经济带雾霾污染治理与能源消费结构转型研究”(编号:KJ1600636);全国统计科学研究重点项目“能源消费结构对雾霾污染影响的统计测度与预测研究”(编号:2016LZ07)。

第一作者简介:刘婉琪(1993-),女,重庆市人,硕士研究生,主要从事宏观经济统计研究。

通讯作者简介:任毅(1979-),女,河南省洛阳人,副教授,主要从事产业经济研究。

雾霾污染成为我国重点城市可持续发展的短板，不但直接影响了居民的身体健康和日常社会活动，而且对植物生长和文物古迹的保护产生了负面影响。同时，雾霾污染严重威胁到社会经济生产，成为区域吸引投资、引进人才、发展旅游服务业的重要障碍，持续严重的雾霾天气还将损害城市的整体形象。鉴于此，国务院发布了《大气污染防治行动计划》，一方面针对区域大气污染制定明确的可控目标，另一方面综合提出调整能源结构、优化产业布局和推动技术进步等治霾路径。

随着《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》的确定，长江经济带成为我国生态经济的新支撑带，推进长江经济带生态文明建设、构造稳健发展的生态安全格局，使长江流域成为水清地绿天蓝的生态廊道至关重要。因此，厘清长江经济带雾霾污染现状，深入剖析长江经济带雾霾污染的空间特征及其影响因素，探索长江经济带雾霾污染治理的有效路径，对长江经济带可持续发展目标的可及性有基本认识，是破解区域范围内联合治霾问题的实践深化。

1 文献综述

关于雾霾污染的影响因素，不同学科均进行了深入研究。中国科学院“大气灰霾追因与控制”专项组研究发现，自然天气因素是造成国内强雾霾频发的重要原因之一。目前，从经济学视角对雾霾污染成因进行研究的文献不多。近年来，一些学者陆续对这一问题开展了研究，并取得了有价值的研究成果。例如，刘晓红、江可申以PM10浓度作为研究对象，构建了环境规制、能源消费结构与雾霾污染的FMOLS回归模型，研究发现能源消费结构与PM10呈同方向变化。同时，一些学者研究发现，以化石能源为主导的能源消费是雾霾天气频发的根源。例如，东童童研究发现，工业集聚在支撑经济快速发展的同时加剧了雾霾污染，要破解雾霾污染难题，就必须权衡好工业集聚与环境污染的关系，通过调节工业效率实现工业集聚与环境治理的良性互动；魏巍贤等研究了能源消费结构对雾霾的影响，通过一般均衡模型进行模拟发现，能源结构调整与技术进步是治理雾霾的根本手段。另一些学者从空间溢出视角对雾霾污染问题进行了研究。例如，马丽梅等学者研究发现，雾霾污染具有区内和区际空间的传输性，且存在显著的外部性和空间溢出效应；AnSelin从多重视角探讨了空间因素对于环境经济问题的重要性。还有学者从雾霾污染的经济成因角度对雾霾治理对策进行了研究。因此，学者们普遍认为：从长期看，产业结构优化和能源消费结构转型升级是雾霾治理的长效方法，减轻劣质煤的使用力度、增加优质资源和可再生能源的消耗比重是降低雾霾污染的短期手段。

综上所述，关于雾霾污染的研究为本文提供了重要的理论参考和方法借鉴。然而，既有研究大多是在低碳视角下探讨环境问题，所建立的指标结构不够全面，未能充分剖析雾霾污染的成因，且缺乏从空间视阈下考虑雾霾污染的区域传输特性。因此，在分析区域间雾霾污染问题时，有必要对雾霾污染的影响机理进行空间测度，据此得到的综合评价结果将更加科学有效。在雾霾污染的研究领域内，当前鲜有文献就长江经济带的雾霾污染问题进行探讨，使长江经济带相关的治霾对策缺乏必要的事实依据。本文创新之处在于以长江经济带雾霾污染为研究对象，以多种空间计量模型为实证依据，以机制设计为工具，提出长江经济带雾霾污染治理的综合政策框架和可行性制度保障，其结论是对长江经济带雾霾污染现有研究成果的进一步理论深化，对处理我国生态环境治理和区域间经济社会协调发展具有示范意义。

2 长江经济带雾霾污染现状分析

2.1 数据来源

为了更加准确地剖析我国长江经济带雾霾污染的发展现状，本文主要选取PM2.5浓度和空气质量指数(AQI)作为衡量雾霾污染程度的指标。其中，PM2.5是指环境空气中空气动力学当量直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的细颗粒

物,它是雾霾天气的主要污染物。PM2.5浓度数据来源于哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心(CIE-SIN)和巴特尔研究所(2000—2012年数据)、《中国空气质量在线监测分析平台》(2013—2016年数据),AQI数据来源于《中国空气质量在线监测分析平台》。以上相关数据与国家环保部对中国近几年雾霾形势的剖析相符,可信度较高。由于我国自2013年起才开始报告PM2.5与AQI数据,因此本文对这两个指标的对比分析时段为2013—2016年。

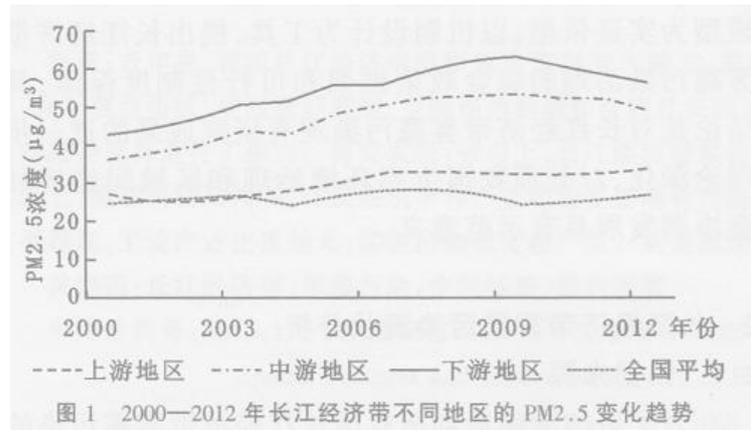
表1 长江经济带雾霾污染全国排名情况

项目	2013年		2014年		2015年		2016年	
	AQI	PM2.5	AQI	PM2.5	AQI	PM2.5	AQI	PM2.5
上海	14	12	9	11	16	13	10	10
南京	21	20	21	22	19	16	19	12
杭州	17	16	13	14	13	15	15	14
合肥	25	24	23	25	17	23	17	22
南昌	10	11	7	10	8	8	8	9
武汉	28	27	25	26	25	24	20	21
长沙	20	23	17	23	12	18	13	16
重庆	13	13	15	15	9	14	11	19
成都	22	22	20	21	21	20	23	23
贵阳	6	6	5	6	4	5	5	7
昆明	1	2	2	4	2	4	3	4

2.2 长江经济带雾霾污染现状与演变

本文从污染现状与发展演变两个维度对长江经济带雾霾污染情况进行了分析,长江经济带11个省区会城市雾霾污染排名情况见表1。其中,AQI和PM2.5浓度排名越靠前,空气质量越高。表1中的数据显示,在长江经济带11个省会城市中,昆明、贵阳、南昌的AQI和PM2.5浓度在近几年全国排名靠前,其中昆明2013年的AQI指数在全国排名第一,城市空气质量优秀;合肥、武汉、南京和成都的AQI和PM2.5浓度的全国排名则相对靠后,雾霾污染程度较高,合肥、武汉和南京则属于我国高污染城市,城市空间内高排放的工业产业集聚,加剧了雾霾污染。长江经济带其他城市的空气质量大多处于全国的中等水平。

2000—2012年长江经济带不同地区的PM2.5浓度变化趋势见图1。长江上游地区包括四川、云南、重庆、贵州,长江中游地区包括湖南、湖北、江西,长江下游地区包括江苏、安徽、浙江、上海。从图1可见,以20K年作为节点,长江经济带不同区域雾霾污染情况呈现两种变化趋势:2000—2009年,区域雾霾污染水平整体为上升趋势;2010—2012年,区域雾霾污染水平开始降低,且下降幅度较平稳。从区域情况看,下游地区雾霾污染程度最高,区域PM2.5浓度均值在2010年达到 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$,为世界卫生组织建议的健康PM2.5浓度值($10\mu\text{g}/\text{m}^3$)的6倍之多,远远超出全国平均水平,雾霾污染情况十分严峻。长江中游地区的雾霾污染程度也处于较高水平,长江上游地区的雾霾污染程度相对较轻。2002—2003年,上游地区基本与全国PM2.5浓度均值持平;2004年开始略高于全国平均水平,呈现平缓上升态势。



综上所述，空气污染最为严重的省份是江苏省，PM2.5 浓度均值达到 67.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，其次是安徽、上海、湖北、重庆、湖南三省二市，这些省市在地理位置上紧密相连，雾霾污染状况在近十年期间未能得到明显改善；江西省雾霾污染情况从 2010 年开始有所减轻，云南省空气质量相对最优，但 PM2.5 浓度值也呈逐年增加的态势。

从我国现实情况看，雾霾污染的发展和蔓延一方面源于自然环境因素，一方面源于人为因素，如人们不合理的生产生活方式等。自然环境因素主要表现为城市间大气环流对雾霾污染消散的阻碍作用，粗放型的发展方式是雾霾污染的“罪魁祸首”。目前，我国工业经济生产过程中的废气排放量占雾霾污染构成的 70%，对生态环境造成了严重影响，长江经济带作为我国重工业经济发展的重要集聚区，工业污染排放更不容小觑。由此可见，本文对长江经济带雾霾污染现状的分析与现实情况基本一致。

3 长江经济带雾霾污染的空间相关性

3.1 方法说明

为了判断长江经济带 11 省市间的雾霾污染是否具有空间相关性，本文选取全局空间自相关和局域空间自相关两种方法进行测度。其中，全局空间自相关采用 Moran' sI 指数进行检验，计算公式为：

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \dots\dots\dots (1)$$

式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, X_i 和 X_j 分别表示长江经济带不同地区的 PM2.5 年均值; n 为长江经济带地区数; $W = (w_{ij})_{n \times n}$ 为空间权重矩阵, 该矩阵由式(2)可以得到。全局空间莫兰指数的取值范围为 $-1 \leq I \leq 1$ 。当 I 值接近 1 时, 表明长江经济带 11 个省市间的 PM2.5 具有空间正相关性; 当 I 值接近 -1 时, 表明 11 个省市间的 PM2.5 具有空间负相关性; 当 I 值接近 0 时, 表明 11 个省市间的 PM2.5 不具有空间相关性。

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ 与 } j \text{ 相邻} \\ 0 & i \text{ 与 } j \text{ 不相邻} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

为了进一步考察长江经济带 11 个省市间雾霾污染的空间集聚效应, 本文选取局域空间 Moran's I 指数, 计算公式为:

$$Moran's I = \frac{(X_i - \bar{X}) \sum_{i \neq j} w_{ij} (X_j - \bar{X})}{S^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中, S^2 , \bar{X} , X_i , X_j , w_{ij} 的含义同式(1)。当局域空间 Moran's I 指数大于 0 时, 表示长江经济带 11 个省市中具有相似 PM2.5 的地区聚集在一起, 呈现高值被高值包围, 低值被低值包围的情境; 当局域空间 Moran's I 指数小于 0 时, 表示长江经济带 11 个省市中相异 PM2.5 浓度的省份聚集在一起, 呈现高值被低值包围、低值被高值包围的情境。

3.2 全局空间相关性

2000—2012 年长江经济带 PM2.5 的全局空间自相关检验结果见表 2。从表 2 可见, 2000—2012 年的 Moran's I 均在 1% 的统计水平上显著为正, 这说明长江经济带的 PM2.5 具有较为明显的空间正向相关性, 即对 PM2.5 较高的省市至少存在一个 PM2.5 较高的省市与之相邻, 对 PM2.5 较低的省市, 也至少存在一个 PM2.5 较低的省市与之相邻。尤其要值得注意的是, 这种正向相关性从 2001—2012 年均处在 0.4—0.5 之间波动, 表明该空间相关性持续稳定且处在一个较高的水平。

为了进一步深入观测该空间相关性的变化情况, 本文绘制了长江经济带各省份的 PM2.5 浓度 Moran's I 的散点图, 见图 2。由于篇幅的限制, 本文仅仅选取了 2000 年、2004 年、2008 年和 2012 年作为描述的对象。散点图的横轴和纵轴分别表示标准化处理后的 PM2.5 浓度值及其空间滞后项。其中, 第一象限至第四象限分别表示高一高正相关性、低一高负相关性、低一低正相关性、高一低负相关性, 第一、三象限为典型观测区域。

表 2 全局空间自相关检验结果

年份	Morans'I	z	年份	Morans'I	z
2000	0.291***	2.081	2007	0.424***	2.789
2001	0.464***	2.887	2008	0.460***	2.931
2002	0.501***	3.124	2009	0.478***	2.999
2003	0.498***	3.092	2010	0.456***	2.904
2004	0.484***	3.068	2011	0.411***	2.686
2005	0.476***	3.025	2012	0.370***	2.480
2006	0.408***	2.721			

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%的统计水平下显著；z为Morans'I值的z检验值。

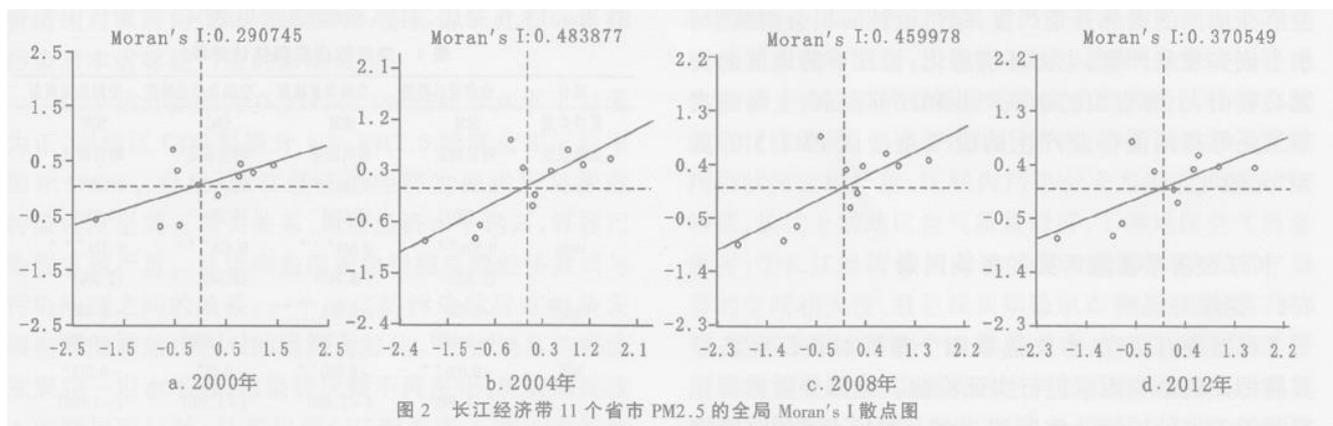


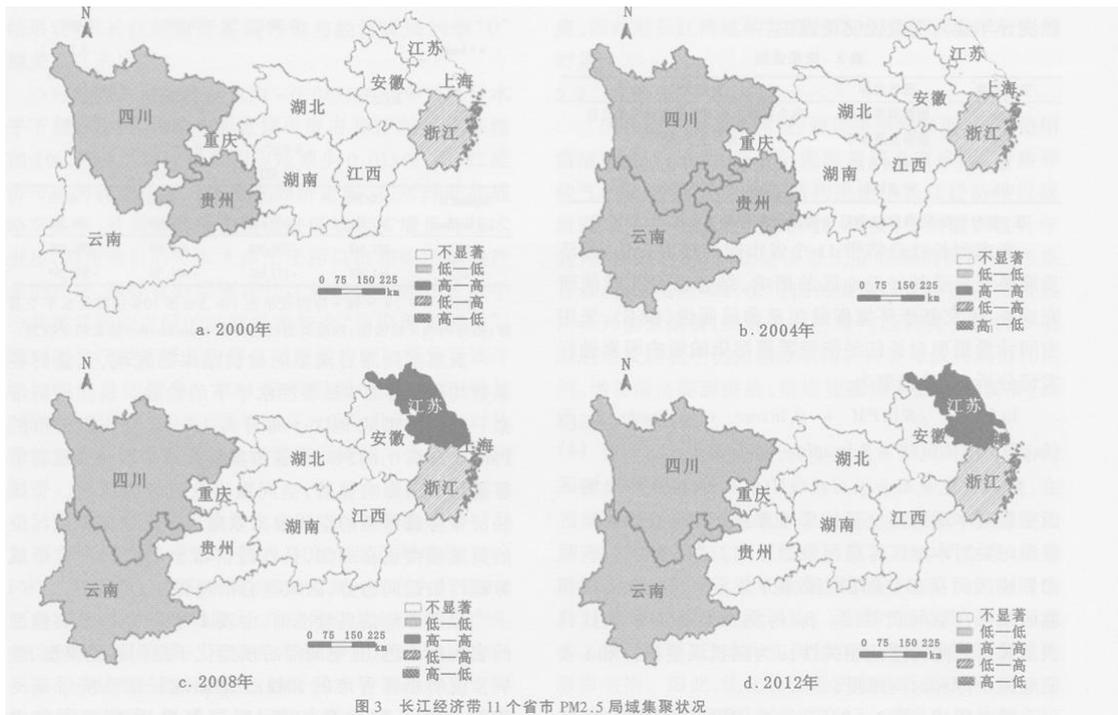
图 2 长江经济带 11 个省市 PM2.5 的全局 Moran's I 散点图

从图 2 可见，随着时间的推移，长江经济带大部分省市均位于典型观测区内，这充分说明长江经济带 PM2.5 浓度值的空间正相关性具有长期稳定性。

3.3 局域空间相关性

根据长江经济带 11 省市的局域空间 Moran's I 指数，本文运用 GeoDa1.6.7 和 ArcGIS10.2 绘制了长江经济带 11 个省市 PM2.5 局域集聚地图（图 3）。由于篇幅限制，本文仅选取 2000 年、2004 年、2008 年和 2012 年作为描述对象。

由图 3 可知，高一高类型集聚主要分布在长江下游地区，以江苏为首；低一低类型集聚主要分布在长江上游地区，主要包括四川、云南和贵州。结合全局空间 Moran's I 指数的分析结果可见，长江经济带雾霾污染悬浮颗粒高污染集聚区主要分布在长江下游地区，且空间集聚效应明显，呈长期稳定状态。近年来，长江上游沿江地区的毁林开荒严重，绿色植被面积急剧减少，水土流失现象严重，生态环境恶化；长江下游地区的安徽马鞍山、上海宝山的钢铁产业和江苏南京、上海的汽车工业等高耗能行业产生的废气是造成 PM2.5 的重要“元凶”。



4 长江经济带雾霾污染的影响因素

4.1 变量与模型

根据现有研究，本文选取四个指标对长江经济带雾霾污染的影响因素进行实证检验。该部分数据指标来源于各省份的统计年鉴和2000—2012年的《中国能源统计年鉴》，变量说明见表3。

变量名称	指标名称	变量含义
ener	能源消费结构	电力消费总量与煤炭消费总量之比
gdp	经济发展水平	地区生产总值
fdi	对外开放度	外商直接投资占GDP的比重
indu	产业结构	工业总产值占GDP的比重

考虑到长江经济带11个省市间的环境变化、经济发展必定会受其邻近地区的影响，结合已有文献的研究成果，本文基于环境库兹涅茨曲线假说(EKC)，采用空间计量模型对长江经济带雾霾污染的影响因素进行实证分析，构建模型为：

$$\ln PM = \rho W \ln PM + \beta_1 \ln ener + \beta_2 \ln gdp + \beta_3 (\ln gdp)^2 + \beta_4 \ln fdi + \beta_5 \ln indu + \delta W \ln ener + u \dots \dots (4)$$

式中, $\mu_{i,t} = \lambda w_{ij} \mu_{j,t} + \epsilon$, $\epsilon: N(0, \sigma_{\epsilon}^2)$; ρ 为其他地区因变量对本地区因变量的影响系数, 反映了邻近地区雾霾污染对本地区雾霾污染的影响。当 $\rho > 0$ 时, 表明相邻地区间存在空间溢出效应; 当 $\rho < 0$ 时, 表明相邻地区间存在空间负效应。 $\beta_1: \beta_5$ 为变量的参数估计; λ 表示残差之间的空间相关性; ϵ 为随机误差项; i 和 t 表征地区个体和时间维度。

综上所述, 若 $\delta = 0$ 且 $\lambda = 0$, 则为空间滞后模型

(SLM), 解释某一空间个体的因变量同时受到相邻空间个体因变量及自身自变量的影响; 若 $\rho = 0$ 且 $\delta = 0$, 则为空间误差模型 (SEM), 解释其他未知变量对空间个体的影响; 若 $\delta = 0$, 则为空间自相关模型 (SAC), 是 SLM 和 SEM 的通用形式; 若 $\lambda = 0$, 则为空间杜宾模型 (SDM), 因其含有空间滞后解释变量, 相比其他空间模型一般能更精准地考察被解释变量的空间相关性与集聚效果, 有利于避免遗漏变量偏差。

4.2 实证结果与分析

为量化分析不同空间特征下长江经济带雾霾污染的影响因素, 同时体现模型选择上的科学性与有效性, 本文比较了不同计量模型的输出结果, 数据处理主要由 Stata13.0 完成, 具体检验结果见表 4。

观察空间滞后模型的检验结果后发现, 变量的各系数均通过了 5% 显著性水平下的检验。长江经济带某一相邻省市的 PM2.5 每升高 1%, 就会使该省市的 PM2.5 升高 0.632%, 本省市雾霾污染水平受邻近省市雾霾污染的影响显著, 空间溢出效应较为明显。长江经济带雾霾污染的空间溢出效应反映出区域雾霾污染的集聚程度正在加深, 长江经济带全局空间中将形成雾霾污染趋同态势, 区域联合治理势在必行。

根据赤池信息量准则, 由表 4 可见, 空间杜宾模型的表现最出色, 且空间滞后模型优于空间误差模型, 进一步说明相邻省市的 PM2.5 是影响长江经济带某一省市 PM2.5 的主导因素, 而被忽略因素对该省市 PM2.5 的影响较小, 因此本文将重点依据空间杜宾模型 SDM 的检验结果对长江经济带雾霾污染的影响机理进行实证探讨。

能源消费估计系数为 0.118, 在 1% 的统计水平下显著为正, 表明能源消费每增加 1%, PM2.5 浓度会相应地增加 0.118%。衡量能源消费结构的指标为电力消费总量与煤炭消费总量之比, 说明能源消费结构改善并没有以减少煤炭消费量为主导, 虽然电力消费总量在增加, 但煤炭消费总量的增长幅度更大。能源消费的空间相关系数估计结果为 -0.118, 在 5% 的统计水平下显著为负, 表明周边地区 PM2.5 浓度的降低会使本地

PM2.5 浓度随之降低。同时，若不考虑能源消费结构对雾霾污染的空间影响，将高估邻近省市雾霾污染对本省雾霾污染的影响程度。

表 4 空间效应模型估计结果

项目	空间滞后模型	空间误差模型	空间自相关模型	空间杜宾模型
模型类别	SLM	SEM	SAC	SDM
面板效应	时空固定	随机效应	时空固定	时空固定
lnener	0.090 ** (2.320)	0.110 *** (2.670)	0.139 *** (3.690)	0.118 *** (2.730)
lngdp	0.504 *** (3.620)	0.644 *** (16.760)	0.438 *** (3.240)	0.374 *** (2.260)
(lngdp) ²	-0.058 *** (-3.180)	-0.056 *** (-7.360)	-0.024 (-1.390)	-0.038* (-1.690)
lnfdi	-0.020 ** (-1.490)	-0.030 ** (-2.500)	-0.017 (-1.350)	-0.015* (-1.060)
lnindu	0.024 ** (0.830)	0.012* (0.390)	0.001* (0.050)	0.012** (0.410)
w * lnener				-0.118** (-1.430)
ρ	0.632 *** (11.990)		-0.399** (-2.430)	0.626 *** (11.760)
λ		0.670 *** (12.630)	0.819 *** (15.170)	
Adjusted R ²	0.290	0.206	0.132	0.211
Log likelihood	347.974	307.682	352.249	349.000
AIC	-681.948	-699.364	-688.498	-582.000
BIC	-661.208	-675.662	-664.796	-558.297

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%的统计水平下显著；括号内为z检验值；效应类型的选择由Hausman test检验结果决定。

GDP 估计系数为 0.374, 在 1% 的统计水平下显著为正, 即地区 GDP 每提升 1%, PM2.5 浓度会相应地增加 0.374%。可见, 长江经济带经济发展水平与雾霾污染程度呈现正相关关系, 地区经济水平越高, 雾霾污染程度越严重。环境库兹涅茨曲线能反映经济发展与污染问题之间的关系, 一个地区的污染状况在经济发展初期随着居民收入的增加而恶化。当该地区的经济发展到一定水平时, 污染状况则不再恶化, 随着居民收入的增加而好转, 呈现出倒“U”型关系。表 4 的实证结果表明, 长江经济带雾霾污染与经济发展的倒“U”型关系还未出现。

对外开放度估计系数为-0.015, 在 10% 的统计水平下显著为负, 说明外商直接投资占 GDP 的比重每增加 1%, PM2.5 浓度就会相应地减少 0.015%。长江经济带作为我国重要的高密度经济走廊, 在对外开放战略背景下, 外商直接投资能促进区域经济增长与技术进步, 但所吸引的资本大多用于污染型和碳密集型产业的投资, 因此有必要测评长江经济带对外开放水平与其雾霾污染之间的关联是否符合“污染天堂假说”, 即判断长江经济带是否存在对外开放度的提升导致环境污染加重的现象。SDM 结果表明, 长江经济带与“环境倾销”、“污染天堂”等定义的关联并不显著, 对外开放水平的提升并不是地区雾霾污染的一个主要影响因素。

产业结构估计系数为 0.012, 在 5% 的统计水平下显著为正, 表明工业总产值占 GDP 的比重每增加 1%, PM2.5 浓度就会相应地增加 0.012%。在三大产业中, 工业对 PM2.5 的贡献极大, 油品和煤炭的消耗是产生 PM2.5 的主要来源。工业总产值占 GDP 的比重这一反映产业结构的指标在 5% 显著性水平下通过了空间杜宾模型检验, 说明该指标能有效评定长江经济带 PM2.5 的具体情况。对长江经济带经济较发达的省市(如上海、

南京等），工业结构对PM2.5的影响显著。部分省市构想通过产业转移的方式来降低本地PM2.5浓度，该构想的可行性较低。由于空间因素的存在，本地PM2.5浓度的降低会造成邻省PM2.5浓度升高的局面，即“损人利己”效应，可见产业结构也属于雾霾污染的主导因素之一。

5 结论与政策启示

5.1 研究结论

本文以长江经济带雾霾污染问题作为研究主题，从污染现状和经济成因作为切入点，综合运用莫兰指数和多种空间计量模型考察了长江经济带雾霾污染的空间差异及影响机理，从环境、经济、能源、产业结构等视角探讨了长江经济带雾霾污染变动趋势及其科学治霾的可行性路径，主要得出以下结论：①长江经济带雾霾污染状况比较严重，区域内污染分布具有空间差异性特征，长江上游地区空气质量较好，下游地区空气质量恶劣；②长江经济带11个省市的PM2.5浓度值存在显著的空间相关性，且呈现长期稳定态势；③能源消费结构、经济发展水平和产业结构是影响长江经济带雾霾污染的重要因素，以煤炭为主的能源消耗越多、经济发展水平越高、工业产业比重越大、雾霾污染程度越严重，因此对长江流域的雾霾污染治理应设计针对性的对策。

5.2 政策启示

优化能源消费结构，控制煤炭消耗强度，科学使用清洁能源。长江经济带的能源禀赋具有多煤、少油和缺气的特点，该能源储备结构决定了长江经济带以煤炭资源为主的能源消费结构。根据《中国能源统计年鉴》的数据显示，长江经济带工业能源消费的71%来自煤炭，清洁能源的使用比例较低。长江经济带发展离不开能源消费，破解生态环境与经济社会协调发展难题的关键在于优化能源结构。即要降低煤炭消耗比例，增加清洁能源供给，促进能源体系多元化发展，长期进行有效治霾。

建立利益协调机制，转变工业布局，实现产业结构升级。一方面，长江中下游地区工业产业集聚发展，在一定程度上产生了集聚的负外部性，导致环境污染加剧；另一方面，长江中下游地区产业结构不合理、产业重构现象严重等导致资源能源错配，造成大量能源浪费，进一步加剧了环境污染。调整产业结构，建立环境准入负面清单，已成为实现长江经济带可持续发展的重要举措。因此，优化长江经济带的工业布局，建立产业分工的利益协调机制势在必行。政府应引导各省市立足本地区的资源禀赋，发展具有自身特点的产业集群，形成长江上中下游地区相互配套、专业化分工合作的产业链与长江经济带一体化发展格局，实现环境资源与能源的高效配置。此外，可在沿江传统产业中注入创新元素，加大新兴产业的开发力度，促进第三产业发展。

科学规划建设，加大土地利用的管理力度，增强对雾霾天气的环境监控。在治霾路径的选择上应充分考虑城市布局的合理优化，严格管控在区域主导风向上设立高排放、高污染企业，有效推进绿色产业协调发展战略。从环境友好型土地利用模式角度考虑，沿江城镇应增大生态用地面积，提升生态使用空间，保证农用地域有绿色植被覆盖，避免农田裸露，造成水土流失。长江经济带11个省市务必贯彻落实新《环境保护法》的相关内容，加大对钢铁、化工等高污染企业的监管力度，严厉打击违规排放行为。

增强联防联控意识，构建协同治理机制，实现区域间合作治霾。《长江经济带发展规划纲要》和《促进中部地区崛起“十三五”规划》中明确指出：为真正实现黄金水道产生“黄金效益”，就必须打破行政区划界限和壁垒，加强环境污染联防联控，推动建立区域间、上下游的生态补偿机制，加快形成长江流域

统筹协调的区域发展体系。同时，长江经济带各省市应明确自身的环境容量，制定负面清单，强化日常监管和监测。更具战略意义的是：各省市应进一步优化雾霾污染预警应急体系，推行省际间环境信息共享，建立起跨部门、跨区域突发环境事件应急响应机制，实现优势互补。科学利用沿江城市的整体力量，构建上中下游协作互动格局，实现长江经济带的蓝天碧水。

参考文献

- ① 刘晓红, 江可申. 环境规制、能源消费结构与雾霾——基于省际面板数据的实证检验[J]. 国土资源科技管理, 2016, 33(1): 59-65.
- ② 赵敏, 黄东风, 何斯征, 等. 从区域能源消费探寻雾霾成因[J]. 上海节能, 2015, (3): 331-334.
- ③ Zhang X, Zhang Y, Rao R, et al. Exploring the Drivers to Energy-related Carbon Emissions Changes at China's Provincial Levels[J]. Energy Efficiency, 2015, 8(4): 699-712.
- ④ 东童童. 雾霾污染 (PM2.5)、工业集聚与工业效率的交互影响? [J]. 软科学, 2016, 30(3): 26-30.
- ⑤ 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]. 人口·资源与环境, 2015, 25(7): 14.
- ⑥ 马丽梅, 张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J]. 中国工业经济, 2014, (4): 19-31.
- ⑦ Anselin L. Spatial Effects in Econometric Practice in Environmental and Resource Economics[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2001, 83(3): 705-710.
- ⑧ 刘华军, 裴延峰. 我国雾霾污染的环境库兹涅茨曲线检验[J]. 统计研究, 2017, 34(3): 45-54.
- ⑨ 王立平, 陈俊. 中国雾霾污染的社会经济影响因素——基于空间面板数据EBA模型实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(10): 3833-3839.
- ⑩ 冷艳丽, 冼国明, 杜思正. 外商直接投资与雾霾污染——基于中国省际面板数据的实证分析[J]. 国际贸易问题, 2015, (12): 74-84.
- ⑪ 李力, 唐登莉, 孔英, 等. FDI对城市雾霾污染影响的空间计量研究——以珠三角地区为例[J]. 管理评论, 2016, 28(6): 11-24.
- ⑫ 冷艳丽, 杜思正. 产业结构、城市化与雾霾污染[J]. 中国科技论坛, 2015, (9): 49-55.
- ⑬ 马丽梅, 刘生龙, 张晓. 能源结构、交通模式与雾霾污染——基于空间计量模型的研究[J]. 财贸经济, 2016, 37(1): 147-160.

⑭ 东童童, 李欣, 刘乃全. 空间视角下工业集聚对雾霾污染的影响——理论与经验研究[J]. 经济管理, 2015, (9):29-41.

⑮ 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, (9):73-88.