

# 大气污染的空间关联与区域间防控协作

## ——基于全国 288 个地市工业 SO<sub>2</sub> 污染数据的空间统计分析

白永亮, 郭 珊, 孙 涵

**摘 要:** 污染物的空间集聚与扩散是污染联防联控的微观现实基础, 直接影响到防控协作的路径选择与治理成效。以工业 SO<sub>2</sub> 污染为例, 选取全国 288 个地级市 2012 年工业 SO<sub>2</sub> 排放量截面数据, 通过计算全国工业 SO<sub>2</sub> 污染的全局空间自相关、局部空间自相关、空间核密度及未来空间集聚趋势预测。发现: 工业 SO<sub>2</sub> 污染总体呈现多中心、条带状、不均衡的“两带六极”空间集聚特征; 通过热点探测模型, 发现污染呈现以长江为界北重南轻的空间聚类趋势。根据污染区空间格局和聚类趋势得出了协同防控的空间协作、协同机制构建、分类分级分区管理和技术创新等四个方面防控协作的启示。

**关键词:** 大气污染; 工业 SO<sub>2</sub> 排放; 空间聚类趋势; 防控协作

**中图分类号:** F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2016)03-0063-10

**DOI:**10.16493/j.cnki.42-1627/c.2016.03.024

### 一、引 言

我国大气污染总体形势不容乐观, 空气质量成为居民最关心的生态环境问题。大气污染物存在明显的空间集聚与扩散的特征, 决定了对其治理必须要破除现有的环境保护和管理体制中的区域枷锁, 加强区域之间的联防联控。另外, 不同大气污染物之间的差异直接影响到合作治理模式和方法的选择, 也直接影响到重点合作治理区域的选择。比如 SO<sub>2</sub> 是有毒气体, 在大气中能催化毒性更强的硫酸雾; CO<sub>2</sub> 是温室气体, 能引起全球性变暖。污染物空间分布与特征也会影响治理手段和方式的选择。因此, 大气污染的防控协作需要向精准化、专业化、区域化和机制化的方向发展。首先, 应当摸清污染物集聚与扩散的基本规律; 其次要明确治理主体及其根本利益所在和应该担当的责任, 构建防控协作多边机制; 然后, 根据污染物的特征和污染空间集聚的差异来制定防控协作的具体行动措施。

本文研究基于以下两点假设: (1) 大气污染存在污染叠加, 污染物治理也存在技术差别, 大气污染防控协作迫切需要探索一条分类治理的路径。(2) 大气污染空间数据间存在统计关系, 可以通过构建模型认识与空间相关的数据间的空间依赖、空间关联、空间自相关等关系和规律, 为区域间联防联控提供技术支撑, 为提高治理效果的精准性提供技术保障。为了准确验证本研究的假设, 重

基金项目: 湖北改革智库中国地质大学(武汉)湖北省生态文明研究中心课题“湖北省水生态文明建设体制机制改革研究”(SWSZK201510)

作者简介: 白永亮, 中国地质大学(武汉)经济管理学院副教授、中国地质大学(武汉)资源环境经济研究中心研究员(湖北 武汉 430074); 郭珊, 中国地质大学(武汉)经济管理学院硕士研究生

点选择了中国工业 SO<sub>2</sub> 排放数据进行深入研究,以期对中国工业 SO<sub>2</sub> 污染布局、空间相关性和未来集聚趋势等给予理论解释;为工业 SO<sub>2</sub> 污染区域的联防联控协作找到理论依据和方法启示。

## 二、文献综述

### (一) 基于空间维度的环境污染研究

一个区域的污染排放并非孤立存在,由于受到不同区域间的污染转移,污染可能在空间维度上存在空间依赖或空间自相关。环境污染的空间维度研究集中在以下几个方面:(1)把时空纳入统一整体框架来探究单一污染物如 SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 和 O<sub>3</sub> 等的时空变化规律<sup>[1][2][3][4][5]</sup>。以上研究多集中在一个城市或地区,虽然 Lewne 等<sup>[3]</sup>对德国、荷兰和瑞典三国选定 42 个观测点进行观测比较,但仍然属于点源观测,对总体污染的区域布局规律的解释力不够。关于发展中国家的城市污染分布研究较多,但大部分是局限于几个相邻城市间的污染布局或某一个城市内和社区内的污染物分布,关于整个国家污染布局的研究成果甚少。尽管可供收集的环境监测数据有限,污染物化学性质也各具特性,但关注污染空间格局研究的学者都已经意识到了把握污染物的时空变化规律对环境污染的认识与治理至关重要。(2)环境污染的空间溢出效应。不同的学者从不同视角就环境污染对地区经济发展的空间溢出效应进行了实证研究。Rupasingha 等<sup>[6]</sup>首次把空间依赖性和空间溢出效应的研究纳入 EKC 实证研究中。苏桂芳<sup>[7]</sup>认为区域污染不仅与本地区人均收入有关,也与邻近区域的污染物的空间溢出作用有关,并通过空间面板模型进行了实证分析。Huang 等<sup>[8]</sup>以发达地区与不发达地区为例,研究了我国环境污染的空间溢出差异,总结了环境污染空间溢出的榜样效应和转移效应,得出了随着距离增加,环境污染对空间溢出效应逐渐减弱的结论。Sun 等<sup>[9]</sup>运用 Moran 指数和地理加权回归研究了区域碳排放的空间转移特征和经济扩散效应。(3)环境污染的空间分异以及空间演化趋势。Jessie Lc 等<sup>[10]</sup>运用 GIS 分析工具研究了美国匹兹堡城市的多种污染物的空间分异问题,发现污染物空间分布受地形、海拔、季节等的影响。赵海霞等<sup>[11]</sup>以 2000—2010 年长江三角洲地区 16 市 GDP、工业总产值、工业废水、工业废气和工业固体废物排放数据为基础,运用重心模型,通过测算重心坐标及其偏移距离,揭示地区经济重心和工业污染重心移动轨迹和演变规律,并从经济结构、环保投资等方面解析其演变机理。

### (二) 环境污染区域联动治理研究

王立平等<sup>[12]</sup>研究认为中国各地区间的经济联动既可能影响本地区的环境质量,同时也会对其他地区尤其是周边地区环境质量产生影响。地域间环境质量的空间相关性成为环境治理过程中必须面对的问题,环境污染治理需要区域联动。大气污染治理区域联动是通过区域之间的分工合作,统筹协调,实现大气环境的空间均衡。

治理大气污染问题的主要管理方法有总量控制方法和联防联控方法。最初我国以总量控制方法来治理大气污染问题,但随着工业化进程的加快,大气污染的复合性、区域性和连续性日益凸显,区域联动的方法在大气污染管控中显得非常必要。美国、欧盟、日本和加拿大等发达国家或地区早已建立了完善的大气污染联防联控制度和机制<sup>[13]</sup>。国内对于大气污染联防联控方面的研究和实践还很少。1998 年,国务院批准“两控区”划分方案,对 SO<sub>2</sub> 和酸雨控制地区实施分区域管理,开启了我国大气污染治理的联防联控。2010 年《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》出台,明确提出建立大气污染区域联防联控机制,健全区域大气环境管理的法规、标准和政策体系。我国当前的大气污染联防联控研究呈现出以下特点:(1)宏观理论体系的初步构建。王金南等<sup>[14]</sup>对区域大气污染联防联控的基本理论进行了总结,指出大气污染联防联控需要防控区域划分、控制技术、总量控制目标确定与区际分配等具体技术方法的支撑。(2)研究区域多集中在

城市或者城市群, 全国范围内的大气污染联防联控研究较少。如对南昌、南京、镇江、扬州、京津冀地区等的环境污染联防联控机制进行了研究讨论。(3) 集中于政策研究。冯贵霞<sup>[15]</sup>、李雪松等<sup>[16]</sup>从不同视角分析了政策变迁。赵新峰等<sup>[17]</sup>研究了京津冀区域政府间大气污染治理政策的协调性。区域选择的局限性直接影响到对大气污染总体格局的宏观把握, 也影响到联防联控技术方法的选择及防控效果, 空间因素必须纳入联防联控研究。

基于此, 本文运用 ArcGIS、Geoda 等空间计量工具, 针对全国 288 个地级市 2012 年的工业 SO<sub>2</sub> 排放量截面数据, 全面分析工业 SO<sub>2</sub> 污染的空间格局, 探讨其全局空间自相关、局部空间自相关和空间核密度, 揭示工业 SO<sub>2</sub> 污染的空间格局及其分异。通过建立热点探测模型, 测度工业 SO<sub>2</sub> 污染的空间变化趋势, 探索新的大气污染治理区域划分方法, 为污染的区域性特征判断提供技术工具。本文的主要创新之处在于: 借助空间环境数据和空间分析工具对单一污染物的空间格局和空间变化趋势进行解释与刻画, 为污染防治协提供了科学依据。

### 三、数据与模型

#### (一) 数据

本文选取 2012 年中国 288 个地级市工业 SO<sub>2</sub> 排放量为研究对象, 研究工业 SO<sub>2</sub> 排放量的空间分布规律。数据来源于 2013 年《中国城市统计年鉴》以及 288 个地市(州)的统计年鉴。

#### (二) 中国工业 SO<sub>2</sub> 排放的空间集聚

空间自相关工具根据要素位置和要素值来度量空间自相关。在给定一组要素及相关属性的情况下, 空间自相关工具评估所表达的模式是聚类模式、离散模式或随机模式。

1. 全局空间自相关。全局空间自相关用于验证整个研究区域的空间模式, 描述的是某个参数均值在整个研究区域中的总体变化性, 用全局自相关指数来描述其趋势。本文选择 Moran 指数进行分析, 其表达式为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \quad (1)$$

其中,  $w_{ij}$  是 K-nearest 邻近权重矩阵, 表示两个单元之间的邻接关系。如果某属性指标倾向于在空间上发生聚类, 即高值聚集在其他高值附近, 低值聚集在其他低值附近, 则 Moran's I 将为正。如果高值排斥其他高值, 而倾向于靠近低值, 则 Moran's I 将为负。如果正义积值与负义积值相抵消, 则指数将接近于零。由于分子通过方差进行归一化, 因此该指数的值将落在区间 (-1, +1) 内。利用 Geoda 软件对 2012 年度的工业 SO<sub>2</sub> 排放量进行全局空间自相关分析, 得到 Moran 的散点图如图 1 所示。

2012 年我国工业 SO<sub>2</sub> 排放量 Moran's I 为 0.2675, 经检验,  $p$  值小于 0.001, 通过显著性检验。说明中国的工业 SO<sub>2</sub> 排放量呈现正的全局空间自相关, 具有明显的空间集聚特征, 存在高污染地区与高污染地区邻接, 低污染地区与低污染

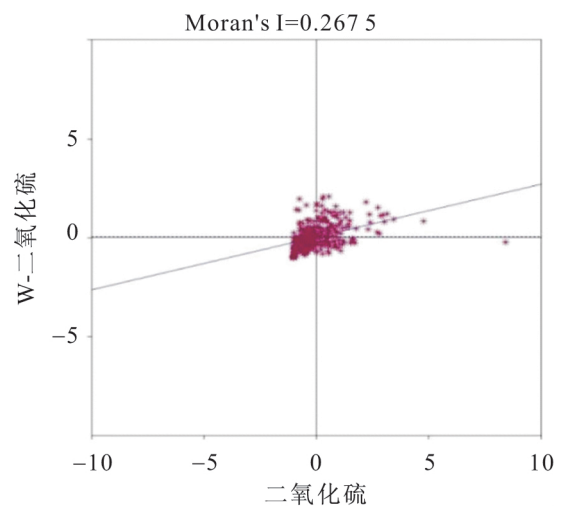


图 1 2012 年中国工业 SO<sub>2</sub> 排放量 Moran 散点图

地区邻接的特征。由图 1 可以发现,我国大多数城市都落在了 HH、LL 象限,LL 象限的城市个数最多且数值相对比较集中,说明大多数城市的工业 SO<sub>2</sub> 排放量较低,且与其相邻城市的 SO<sub>2</sub> 排放量也较低,反映出环境污染情况具有一定的正的空间依赖关系。

2. 局部空间自相关。全局空间自相关主要是分析中国工业 SO<sub>2</sub> 排放量的总体变化情况,即全局的趋势。而局部空间自相关则反映一个区域单元上与邻近单元上同一研究现象的相关程度,即表达了工业污染相关指标相互趋同的倾向。本文采用 Local Moran's I 和 LISA 图来分析,Local Moran's I 表达式为:

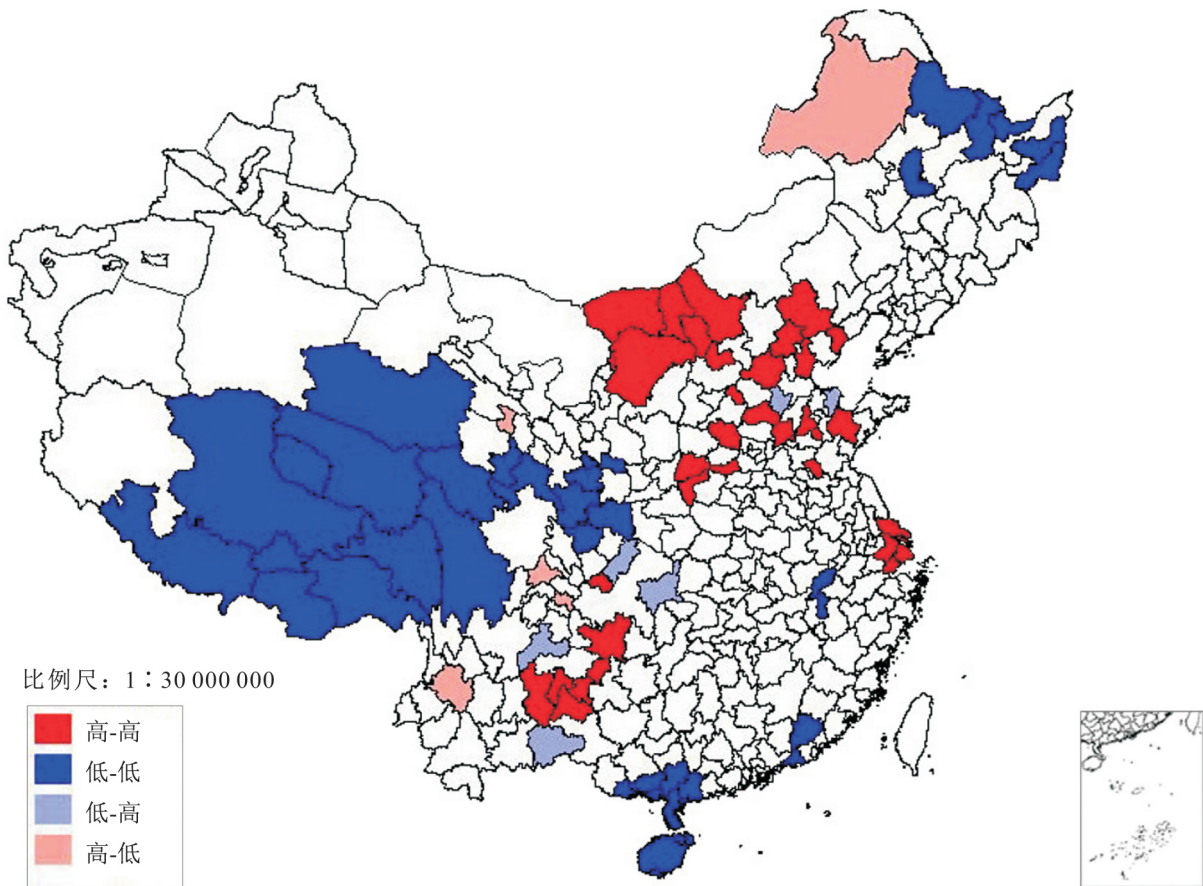
$$I = \frac{n(x_i - \bar{x})^2 \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

其中,  $w_{ij}$  是 K-nearest 邻近权重矩阵,表示两个单元之间的邻接关系。LISA 图中 HH 区域表示区域自身连同周边区域的某属性均处于较高水平,且两个区域的空间差异程度较小; LH 区域表示区域自身的某属性处于较低水平,而周边区域该属性的水平较高,且两个区域的空间差异程度较大; LL 区域表示区域自身连同周边区域的某属性均处于较低水平,且两个区域的空间差异程度较小; HL 区域表示区域自身的某属性处于较高水平,而周边区域该属性的水平较低,且两个区域的空间差异程度较大。LISA 图可以直观地表现出 2012 年工业 SO<sub>2</sub> 排放量的局部空间分布特征。

2012 年工业 SO<sub>2</sub> 排放量具体情况如表 1、图 2 所示。华北以及青藏高原地区具有较强的空间集

表 1 2012 年中国工业 SO<sub>2</sub> 排放量空间集聚

集聚类型	区域
HH	内蒙古自治区: 巴彦淖尔市、包头市、乌兰察布市、呼和浩特市、鄂尔多斯市 河北省: 承德市、保定市、秦皇岛市、邢台市 山西省: 朔州市、运城市、长治市、阳泉市 山东省: 济南市、潍坊市、枣庄市、聊城市、莱芜市 河南省: 三门峡市、焦作市 北京市 天津市
LL	西藏自治区: 日喀则地区、那曲地区、拉萨市、山南地区、昌都地区、林芝地区 甘肃省: 甘南藏族自治州、陇南市、天水市、平凉市 陕西省: 汉中市 青海省: 玉树藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、海南藏族自治州、果洛藏族自治州、黄南藏族自治州 四川省: 甘孜藏族自治州、广元市 广西壮族自治区: 防城港市、钦州市、北海市、玉林市 广东省: 茂名市、梅州市、湛江市、汕尾市 安徽省: 池州市 江西省: 景德镇市
LH	云南省: 文山壮族苗族自治州、邵通市 四川省: 达州市 湖北省: 恩施土家族苗族自治州 山东省: 东营市 河北省: 衡水市
HL	内蒙古自治区: 呼伦贝尔市 云南省: 大理白族自治州 青海省: 西宁市 四川省: 成都市、内江市

图2 2012年中国工业SO<sub>2</sub>排放量的LISA图

聚特征。华北地区SO<sub>2</sub>排放量以包头为中心的呼包鄂银榆经济区以及以北京为中心的京津冀区域呈现高高集聚。呼包鄂银榆经济区地处鄂尔多斯盆地腹地,拥有丰富的煤、天然气、石油等矿产资源,是中国目前最大的能源和煤化工基地,也是北方重要的冶金和装备制造业基地,工业SO<sub>2</sub>污染情况呈现正相关的高高集聚类型。京津冀城市群以汽车工业、电子产业、机械工业、冶金工业为主要产业,是全国主要的高新技术和重工业基地,其工业SO<sub>2</sub>污染也呈现出高高集聚特征。青藏高原区的工业化水平相对较低,工业SO<sub>2</sub>排放量也更少,集聚类型为低低集聚。黄河中下游的山东、河南、山西一带的污染存在高高集聚区域,并呈“碎片化”分布状态。长三角地区则表现为“抱团状”的高高集聚状态,属于集聚的高污染区。西南地区只有川渝地区呈现高高集聚,呈密集型污染状态。华中、华南、西南地区污染情况较轻,没有呈现较为明显的集聚状态。

3. 空间密集度。空间密集度主要是分析中国工业SO<sub>2</sub>污染相关指标在空间上的布局是聚集分布、均匀分布还是随机分布。分布模式研究可以帮助探索该指标分布形成的数理原因,核密度估计(KDE)是常用的分析方法。各城市SO<sub>2</sub>污染核密度估计值反映了SO<sub>2</sub>污染在其邻近城市中分布的密集程度。对于任意一个城市,以一个固定搜索半径,搜索该半径范围内SO<sub>2</sub>排放量的密度,根据搜索的密度结果进行分等定级。落入搜索区内的点具有不同的权重,靠近格网搜索区域中心的点被赋予较大的权重,随着其与格网中心距离的加大,权重逐渐降低。对于系列数据 $x_1, x_2, \dots, x_n$ ,核密度估计的形式为:

$$f_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (3)$$

其中,  $x_i$  表示第  $i$  个城市空间位置,  $n$  表示距离阈值范围内包含的空间实体数量。核函数  $K$  是一个变权函数,  $K$  的形状和值域控制着估计函数  $f_h(x)$  在一点所利用的数据点的个数以及利用程度。核密度估计的好坏取决于核函数  $K$  以及带宽  $h$  的选取。所选核密度函数为二次核函数, 带宽为默认值。

图 3 为中国工业  $SO_2$  排放量的核密度估计结果。工业  $SO_2$  排放量核密度值总体呈现多中心、

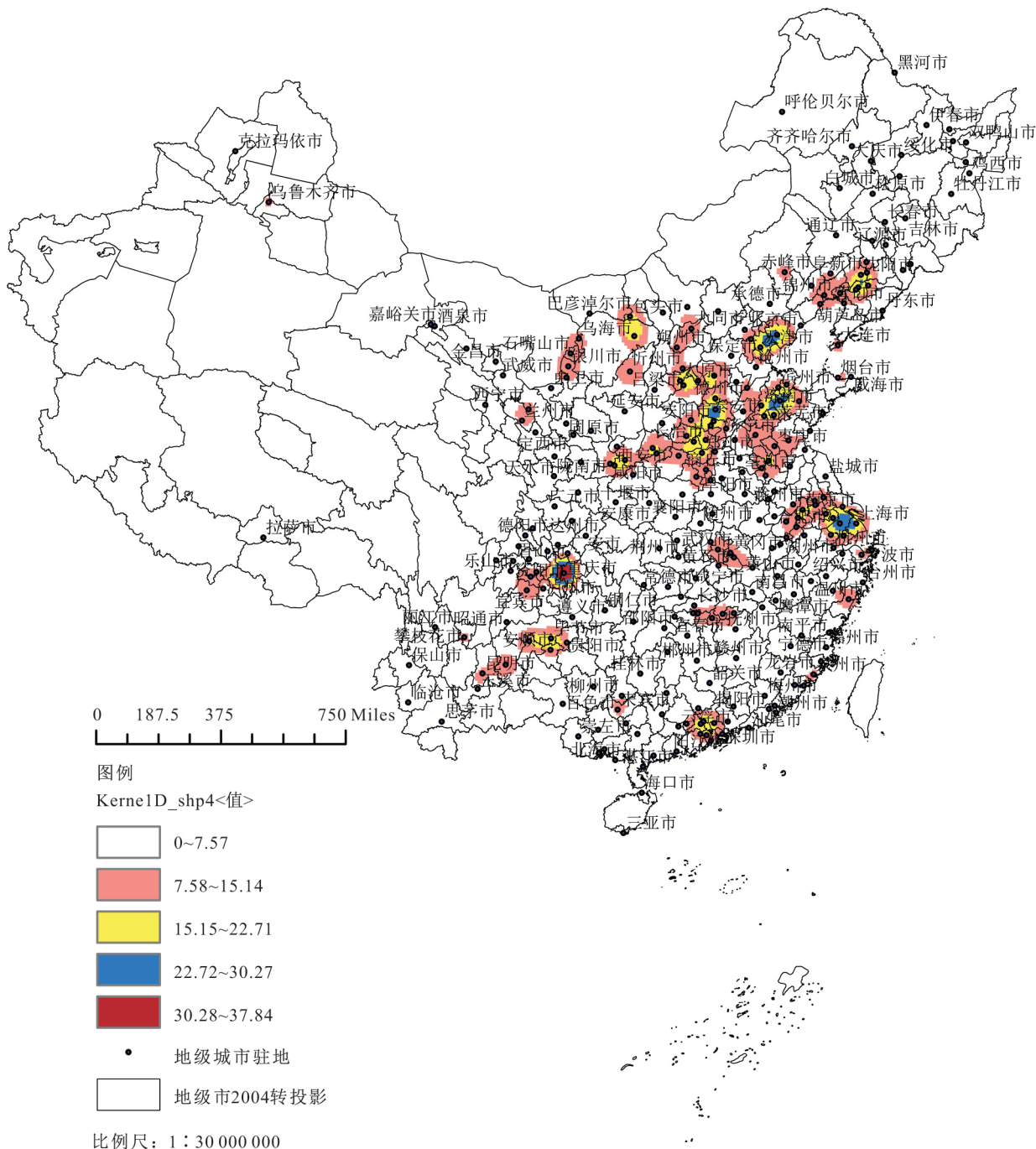


图 3 中国工业  $SO_2$  排放量核密度

条带状、不均衡的分布特性, 华北地区呈现出非常强的集聚效应。污染集聚基本上以长江流域为界, 南北差异较大, 整体表现为“两带六极”的空间特征。“两带”是指在华北沿太行山走向的两个平行的污染扩散叠加带, 一是以邯郸为中心, 沿西安—三门峡—焦作—邯郸—石家庄—太原—大同走向的污染扩散叠加带; 另一个是以淄博和唐山为双中心的, 沿淮北—济南—淄博—天津—唐山走向污染扩散叠加带。“六极”是指在各“两带”之外以极状分布的六个不同程度的污染集聚区: 在西部川渝地区以重庆为扩散极的Ⅳ级污染集聚区, 在华东长三角地区以苏州为扩散极的Ⅲ级污染集聚区, 在东北地区以沈阳—抚顺—本溪—鞍山为扩散极的Ⅲ级污染集聚区, 在华南珠三角地区以广州—东莞—江门—佛山为扩散极的Ⅱ级污染集聚区, 在西南云贵高原区以毕节和六盘水为扩散极的Ⅱ级污染集聚区, 在内蒙古高原区以包头—鄂尔多斯为扩散极的Ⅱ级污染集聚区。

### (三) 中国工业 SO<sub>2</sub> 排放的空间聚类趋势分析

热点探测是一种典型的空间统计挖掘技术, 不仅可以度量局部的相关程度, 分析空间分布特征, 还可以识别污染高值、低值的集聚特性及空间聚类趋势, 通过热点和冷点对未来的空间聚类趋势做出特征判断, 可以在整体区域内分辨属性值具有明显差别的异常子区域。热点分析工具可对数据集中的每一个要素计算  $G_i^*$  统计。通过热点和冷点分析, 可以知道高值或低值要素在空间上发生聚类的位置, 预测各类异常子区域的空间分布特征。具体过程为: 查看邻近要素环境中的每一个要素。孤立的高值要素不一定是显著统计学意义的热点, 需要被其他同样具有高值的要素所包围才具有显著的统计学意义。通过某一要素及其相邻要素的局部总和与所有要素的总和进行比较, 当局部总和与所预期的局部总和有很大差异, 以至于无法成为随机产生的结果时, 会产生一个具有显著统计学意义的  $z$  得分。

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}}$$

其中,  $x_j$  是  $j$  城市的工业 SO<sub>2</sub> 排放量,  $w_{i,j}$  是城市  $i$  和  $j$  之间的空间权重,  $n$  为城市个数, 且:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

$G_i^*$  统计就是  $z$  得分。

利用 ArcGIS 空间统计工具, 采用欧氏距离权重, 对中国 2012 年 288 个城市的工业 SO<sub>2</sub> 排放量数据, 识别空间上具有统计显著性的高值 (热点) 和低值 (冷点) 的空间聚类, 得到高值或低值要素在空间发生聚类的位置 (如图 4 所示)。

可以发现, 热点和冷点以长江为界, 南北相对集中。北部华北大部分地区、西北地区东部、黄淮地区大部分地区、山东省大部分地区和辽宁省大部分地区为高污染聚类区, 整体污染趋势明显, 污染转移风险较大。长江以南的江南地区南部、华南大部分地区、西南地区东部为低污染聚类区, 污染趋势不明显, 污染集聚风险低。长江流域沿线整体污染不集聚, 随机性较强。东北地区的吉林省和黑龙江省污染也不集聚, 呈现出随机排放的态势。



图4 中国工业SO<sub>2</sub>排放量空间聚类趋势图

#### 四、防控协作的政策启示

##### (一) 推动市域间联防联控

基于环境污染的负外部性和污染排放的规律性，大气污染在市域间表现为一种环境利益网，市域间存在不同程度的外部环境福利损失，逐渐形成污染的利益关联，在治理过程中却陷入“公地悲剧”的困境，表现出一种个体行动的低效与动力不足，因而在市域间开展防控协作是有效治理大气

污染的必然选择。通过防控协作可以实现环境利益融合, 在共治过程中重新实现利益分享。

大气污染联合防控首先要达成共识。在全国范围内达成共同防控大气污染的合作共识。其次, 构建畅通的协调沟通渠道。通过完善立法, 共同严格环境执法、共同开展科技开发、加大宣传教育等保证区域间沟通畅通。再次, 建立相关机构。根据污染状况成立相应的联防联控机构。针对不同污染物要做到精细化、科学化和专业化管理。最后, 共同制定排放标准和减排目标, 加大污染物限值管理的力度和协同度。

#### (二) 开展污染防控分类分级分区管理

本研究发现工业  $\text{SO}_2$  污染总体呈现多中心、条带状、不均衡的空间分布特性, 并识所别出未来的空间集聚趋势, 提供了有效的污染物空间治理依据。污染物的空间分布是大气污染精准治理的基础而污染物空间差异性为区域的差别化环境管理提供了理论依据。污染物防控应该采取分类分级分区管理。首先, 污染物的差异性为污染危害差异性的根源, 应针对不同污染物实行分类管理。其次, 污染物的毒性、活性、持久性、生物分解性和生物积累性有差异, 存在环境容量, 因此污染的危害是有级别的, 应依据污染的危害程度进行分级防控。最后, 污染物的自然属性与区域资源环境禀赋有着密切关系, 不同区域的污染程度也会有差异, 区域的差异性也应纳入防控管理, 应依据污染物的空间分布特征进行分区管理。

据此, 工业  $\text{SO}_2$  污染治理应以“两带六极”为重点开展联合防控布局, 在热点地区建设全国  $\text{SO}_2$  防控的重要核心区, 依据“两带”的空间分布特征设置重点防控带, 以“六级”为基础设置核心防控区, 梯度分层次推进分类分级分区管理。划定区域并非大气污染治理的根本目标。在划定的各类防控区开展探索性的创新才是联合防控区域划定的目标所在。应尝试建立大气污染治理的各类创新示范区, 探索分类分级分区的具体管理模式和制度变革, 积极开展制度创新、技术创新和管理创新, 探索共同消减目标和区域总量调控实施手段。在不同类别、不同级别的管理区域探索区域治理共同行动的方式和办法。在更大范围的防控区内, 应尝试推行市场手段, 优化治理工具, 如探索排污费、开征环境税、完善排污权交易和生态补偿机制等, 适当选择政策实验区。

#### (三) 借助环境垂直管理改革, 构建环境治理多边协同机制

从各区域视角来看, 环境协作治理的根本点仍然是各区域利益主体间的利益平衡。在信息共享的基础上建立谈判交流机制, 达成多方共识, 采取共同选择, 集体行动。另外, 需要构建各级地方政府的责任担当机制。在翔实的污染排放数据基础上的, 坚持建立公开排放数据、主动承担责任、积极投入治理、相互开展监督、共同技术进步、扩大协同效应、提升协作治理效果的内在机制, 逐步把多边协同机制转化为环境治理的社会内生力量, 成为推动环境区域协作治理和保障环境安全的发动机。

当前中国处于环境管理体制改革的 key 时期, 环境垂直管理的实行将为防控协作机制的建立提供绝佳时机, 为中央与地方之间的交流与沟通提供更加有效的制度平台。实行垂直管理就是要强化地方政府环保责任, 建立起督促地方政府依法履行环保主体责任、独立公正评价地方政府环保政绩的环境管理体系。落实政府和部门环保责任是实现环境垂直管理的关键所在, 需要一系列机制和制度来推进, 区域间防控协作机制可以作为环境垂直管理体制改革的 key 项重要机制来推行。

#### (四) 基于 GIS 技术和污染物数据平台, 推进防控管理技术创新

环境管理技术创新主要包括, 把 GIS 软件和空间技术应用到污染防控, 实现动态监控; 把污染物的现代检测技术, 协同引入大气污染监测, 共同推进环境管理技术更新换代; 通过市域间信息共享, 在全国范围内构建基于大数据的污染物监测网络; 开发污染物分类管理技术, 实现污染治理的精准化和高效化; 根据不同的污染物特征和相应的技术差别, 可以将其他先进技术形成技术模块, 镶嵌在整个环境管理过程。借助于当前环境管理的地理数据系统, 运用 GIS 软件和空间关联

技术分析, 研究各类大气污染物的空间分布特征, 发现各类污染物的集聚趋势, 划分联合防控区, 根据污染物的污染属性进行联合防控治理。

### 参考文献

- [1] Johansson, C., M. Norman, L. Gidhagen. Spatial & temporal variations of PM<sub>10</sub> and particle number concentrations in urban air[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2007, (1-3).
- [2] Karar, K., A. K. Gupta, A. K. Biswas. Seasonal variations of PM<sub>10</sub> and TSP in residential and industrial sites in an urban area of Kolkata, India[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2006, (1-3).
- [3] Lewne, M., J. Cyrus, K. Meliefste, et al. Spatial variation in nitrogen dioxide in three European areas[J]. *Science of the Total Environment*, 2004, (1-3).
- [4] Rooney, M. S., R. E. Arku, K. L. Dionisio. Spatial and temporal patterns of particulate matter sources and pollution in four communities in Accra, Ghana[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, (7).
- [5] Tayanc, M. An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over Istanbul, Turkey[J]. *Environmental Pollution*, 2000, (1).
- [6] Rupasingha, A., S. J. Goetz, D. L. Debertin. *The Environmental Kuznets Curve for U. S. Counties: A Spatial Econometric Analysis with Extensions*[Z]. Paper in Regional Science, 2004.
- [7] 苏栳芳, 胡日东, 林三强. 环境质量与经济增长库兹尼茨关系空间计量分析[J]. *地理研究*, 2009, (2).
- [8] Huang, L. X., L. Zhang, Y. Shu. Pollution spillover in developed regions in China—Based on the analysis of the industrial SO<sub>2</sub>[J]. *Energy Procedia*, 2011, (5).
- [9] Sun, L., Q. Wang, P. Zhou, et al. Effects of carbon emission transfer on economic spillover and carbon mission reduction in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 112.
- [10] Jessie Lc, S. D. R. Michanowicz, C. Leah, et al. Saturation sampling for spatial variation in multiple air pollutants across an inversion-prone metropolitan area of complex terrain[J]. *Enviromental Health*, 2014, (1).
- [11] 赵海霞, 蒋晓威. 长江三角洲经济与工业污染重心演变及脱钩机理[J]. *中国环境科学*, 2013, (10).
- [12] 王立平, 管杰, 张纪东. 中国环境污染与经济增长: 基于空间动态面板数据模型的实证分析[J]. *地理科学*, 2010, (6).
- [13] 常纪文. 域外借鉴与本土创新的统一: 《关于推进大气污染联防联控工作 改善区域空气质量的指导意见》之解读(下)[J]. *环境保护*, 2010, (11).
- [14] 王金南, 宁淼, 孙亚梅. 区域大气污染联防联控的理论与方法分析[J]. *环境与可持续发展*, 2012, (5).
- [15] 冯贵霞. 大气污染防治政策变迁与解释框架构建——基于政策网络的视角[J]. *中国行政管理*, 2014, (9).
- [16] 李雪松, 孙博文. 大气污染治理的经济属性及政策演进: 一个分析框架[J]. *改革*, 2014, (4).
- [17] 赵新峰, 袁宗威. 京津冀区域政府间大气污染治理政策协调问题研究[J]. *中国行政管理*, 2014, (11).

(责任编辑 朱 蓓)

mental civil public interest litigation.

**On the Conflict and Balance between Public Trust Doctrine and Water Rights System — Investigation Based on the Case of Mono Lake**

WANG Ling-bo

Public trust doctrine and water rights system in the United States developed independently. Each developed comprehensive rules and principles, which, if applied to the full extent of their scope, would occupy the field of allocation of stream waters to the exclusion of any competing system of legal thought. Both the public trust doctrine and the water rights system embody important precepts which make the law more responsive to the diverse needs and interests involved in the planning and allocation of water resources. The most characteristic and extremely successful legal system of water resources in United States is to protect water resources common to all by using public trust doctrine. Based on the demand of sustainable development of the economy, ecology and society, China can learn from and localize the public trust doctrine. Compared with the public property theory of civil law system, the public trust doctrine has theoretical advantages. Chinese law sets up the dual structure of State and the whole people ownership of water resources, which provides the foundation of for the localization of the public trust in terms of the Constitution and the law. The issue and implementation of Trust Law signifies that trust system has taken roots in China, which serves as a reference for the localization of public trust.

**Spatial Correlation of Air Pollution and Control Cooperation among Different Regions — A Spatial Correlation Analysis of Industrial SO<sub>2</sub> Pollution Based on 288 Nationwide Municipal Data**

BAI Yong-liang, GUO Shan, SUN Han

Spatial agglomeration and diffusion of pollutants are the microscopic basis of the realistic joint between the prevention and the control of pollution, directly affecting path selection and prevention efficiency. This paper selects 288 prefecture-level cities and gets sectional data of the industrial SO<sub>2</sub> emissions from these cities in 2012, then calculates the global spatial autocorrelation, the local spatial autocorrelation, the spatial nucleation density and hot spot detection by the industrial SO<sub>2</sub> pollution of all the country. The study found: 1) The spatial agglomeration of industrial SO<sub>2</sub> pollution presents the features of multi-center, strip, and uneven “two-belt six-pole”; 2) The pollution presents the spatial clustering trend of “North serious while South light”, with the Yangtze River being the boundary via hot-spot detection model. According to the spatial pattern of contaminated areas and the trend about the spatial derived clustering, the study draws the inspiration from four aspects: collaborative prevention and control of spatial cooperation, the construction of coordination mechanism, sorting, grading, partition management methods and the innovation of management technology.

**Do Donors Care about the Operational Efficiency of Nonprofits? — Empirical Evidence from Top 500 Chinese Nonprofit Foundations**

HOU Jun-dong, ZHUANG Xiao-li

With the information disclosures of the watchdog agencies, the operating process of the nonprofit organization has been increasingly paid wide attentions by the resource providers, while there is not enough explanation to whether operational efficiency impacts donation decisions. This paper adopts a sam-