

# 集聚空间组织型式对中国地市尺度 工业SO<sub>2</sub>排放的影响

胡志强<sup>1,2</sup>, 苗长虹<sup>1,2</sup>, 袁 丰<sup>3</sup>

(1. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心暨黄河文明传承与现代文明建设河南省协同创新中心, 开封 475001; 2. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

**摘要:** 集聚外部性是集聚影响工业污染排放的重要机制, 不同的集聚空间组织型式具有不同的污染排放行为和减排效果。以中国285个地市工业SO<sub>2</sub>排放为例, 依据集聚经济理论, 将集聚空间组织型式细分为集聚密度、企业地理临近度、专业化、多样性、相关多样性、非相关多样性等不同类型, 在系统分析工业SO<sub>2</sub>排放与集聚空间格局的基础上, 通过构建计量经济模型, 考察了不同集聚空间组织型式对工业SO<sub>2</sub>排放强度的影响。结果表明: ①工业SO<sub>2</sub>排放强度与工业集聚密度在空间上具有非对称性, 污染排放强度西高东低, 工业集聚密度、企业地理临近、多样性、相关和非相关多样性为东中高西部低; ②工业集聚对工业SO<sub>2</sub>排放强度的影响存在空间溢出效应, 相邻地区集聚密度、多样性和相关多样性水平的上升有利于本区域工业污染排放强度的下降, 但专业化水平的上升则会提升本区域的工业污染排放强度; ③提高集聚密度、引导企业集中布局有利于工业SO<sub>2</sub>排放强度下降, 多样且关联的产业组织结构有利于污染减排, 而专业化和非关联产业的集中会提高污染排放强度; ④集聚型式对工业SO<sub>2</sub>排放强度的影响存在区域和城市规模上的异质性, 集聚密度、企业地理临近、多样性和相关多样性对中西部污染减排的作用比东部明显, 专业化和非相关多样性不利于东中部地区的污染减排; 城区人口规模20万以下的小城市提高集聚密度、减少多样性特别是非相关多样性更有利于污染减排; 城区人口规模20~50万的小城市和50~100万的中等城市, 提高企业的地理接近度和多样性水平特别是相关多样性水平, 有利于其降低污染排放强度; 城区人口规模在100万以上的大城市, 提高集聚密度和产业多样性水平在一定程度上有利于其污染减排, 但其减排效果因拥挤效应而明显下降; ⑤进一步降低工业SO<sub>2</sub>排放强度, 需要走集聚化道路, 坚持提高集聚密度, 因地制宜引导企业集中布局, 着力提高产业在关联基础上的多样性水平, 加强区域间联防联控, 重视区域间的产业联系与环保合作。

**关键词:** 集聚外部性; 污染排放强度; 集聚空间组织型式; 空间溢出; 工业SO<sub>2</sub>排放

DOI: 10.11821/dlxb201910007

## 1 引言

集聚是经济活动最突出的地理特征。20世纪80年代以来, 集聚经济逐渐成为经济学和经济地理学理解区域和产业发展的重要视角之一<sup>[1-2]</sup>。产业集聚所产生的要素共享、技

收稿日期: 2018-06-03; 修订日期: 2019-05-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(41430637); 河南省博士后基金2018年项目(216305) [Foundation: National Nature Science Foundation of China, No.41430637; Henan Province Postdoctoral Science Foundation Funded 2018 Project, No.216305]

作者简介: 胡志强(1988-), 男, 江苏连云港人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 中国地理学会会员(S110012623M), 研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: whhuzhiqiang@163.com

通讯作者: 苗长虹(1965-), 男, 河南鄢陵人, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为经济地理与区域发展。  
E-mail: chhmiao@henu.edu.cn

术外溢和规模报酬递增效应,能提高资源要素的配置效率、降低生产成本,正成为区域经济发展的重要组织形式。但不容否认的是,经济活动集聚在提高发展效率的同时也带来了潜在的环境威胁。据不完全统计,截至2017年,中国各级工业园区超7000家,其中环境达标的园区仅占20%~30%<sup>①</sup>。面对严峻的环境形势,中央提出了以“绿水青山就是金山银山”为核心的绿色发展理念,把生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局,实施了史上最严的“新环保法”和“大气十条”“水十条”“土十条”。因此,怎样看待经济发展与环境保护的关系,需要学术界从理论与现实层面给予回答。

集聚及其对环境的影响是当前经济学和经济地理学关注的重要领域<sup>[3-5]</sup>。伴随着环境经济地理研究的兴起<sup>[5-7]</sup>,经济地理学的相关研究成果也日趋丰富,在研究内容上主要包括集聚与污染的空间关系和计量关系两个方面。空间关系研究多采用空间分析方法,比较集聚与污染的空间分布和空间关联特点,如二者在总体上的相关关系,以及在局域上的高一低组合差异<sup>[8-10]</sup>。关于集聚与污染的计量关系研究大多是通过构建计量模型检验集聚对污染的影响<sup>[5]</sup>,也有学者基于不同外部性视角考察不同集聚型式对污染的影响差异,并从外部性是否来源于同一产业将集聚细分为专业化集聚和多样性集聚<sup>[11-12]</sup>。但是,学术界并未就集聚与污染的关系达成一致意见,流行的观点主要有3种:①集聚导致的产能扩张、能源消耗及拥挤效应会加剧区域污染排放及强度<sup>[13-16]</sup>;②集聚能产生治污规模效应、技术溢出等环境正外部性,进而有利于污染减排和强度下降<sup>[17-18]</sup>;③集聚与污染的关系具有不确定性,存在非线性或多重门槛特征<sup>[19-21]</sup>。此外,还有学者就集聚的空间溢出<sup>[20]</sup>以及集聚与污染的双向作用<sup>[22]</sup>进行了考察,认为产业集聚对污染的影响具有空间溢出特征,集聚与污染存在双向相互作用。综观已有研究文献,学术界虽然就集聚与污染的关系进行了大量且深入的探讨,但仍有以下几个方面的问题值得进一步讨论:①不同集聚型式与污染排放的关系差异。集聚有着不同的空间组织型式,不同集聚型式的环境外部性特征差异极大,而已有研究多将集聚笼统的视为一个整体,这会严重影响研究结论的准确性;②研究样本异质性对集聚与污染关系的影响。已有研究大多未对研究样本的异质性及其对集聚与污染关系的影响进行考察,而中国的区域差异巨大,不同区域、不同规模城市有着不同的集聚特征,对污染排放的作用也会有所不同;③集聚对污染影响的空间溢出性。已有研究往往建立在工业集聚地理空间不相关假设的基础上,忽视了空间溢出效应,而相邻近区域的产业政策、环保政策和产业发展存在着相互联系和相互影响,忽视空间关联可能会导致研究结果的有偏性。

基于此,本文以中国285个地级及以上城市为例,依据集聚经济理论研究的最新进展,将工业集聚进一步细分为不同的空间和组织型式,尝试研究不同集聚型式对工业SO<sub>2</sub>排放强度的影响,并构建空间计量模型考察集聚的空间溢出效应,以期探索集聚经济的环境效应、在工业布局和污染治理中选取适宜的集聚方式提供理论依据和决策参考。

## 2 理论框架

集聚经济理论和经济增长的环境效应是理解集聚与污染关系的关键。经济学家的研究表明,规模、结构和技术是经济增长影响环境质量的主要因素<sup>[23]</sup>。基于集聚经济理论,产业集聚主要通过环境正、负外部性影响规模、结构和技术等要素进而作用于环境污染。其中,环境正外部性可以降低污染排放总量及强度,主要包括:企业集聚可以产

① [http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2017-08/28/content\\_1801041.htm](http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2017-08/28/content_1801041.htm).

生污染治理的规模效应、可以产生为保持企业优势而形成的竞争效应、可以产生因跨界交流合作而形成的示范效应和技术溢出效应;环境负外部性会导致环境恶化,主要包括:集聚规模扩大会提高能源资源消耗、区域间无序竞争而形成的产业同构会产生恶性竞争效应、集聚密度提高而形成的拥挤效应会导致成本和污染水平上升。

随着研究发展,不少学者指出集聚有着不同的类型,并从各自研究目标出发对“集聚型式”进行定义,包括集聚企业的规模、所有制和技术结构以及集聚的两种基本组织型式:具有地方化经济的专业化集聚和具有城市化经济的多样性集聚。本文从集聚外部性差异出发,将集聚分为空间型式和组织型式,其中空间型式包括集聚密度与企业地理邻近度,是指空间分布上所形成的规模和疏密差异<sup>[24]</sup>;组织型式包括专业化、多样性、相关多样性和非相关多样性,是指区域集聚产业的结构类型及内在技术关联特点<sup>[25]</sup>。已经有研究关注到不同集聚型式对产业增长、经济发展和创新的影响<sup>[26-27]</sup>,但对工业污染排放的影响关注不足。同时,由于工业集聚在不同区域、不同城市规模背景下,其外部性特征差异较大,本文对因区域和城市规模差异而形成的样本异质性进行了特别的关注。本文旨在探讨不同的集聚空间组织型式对工业污染排放所产生的影响,基本的分析框架如图1所示。

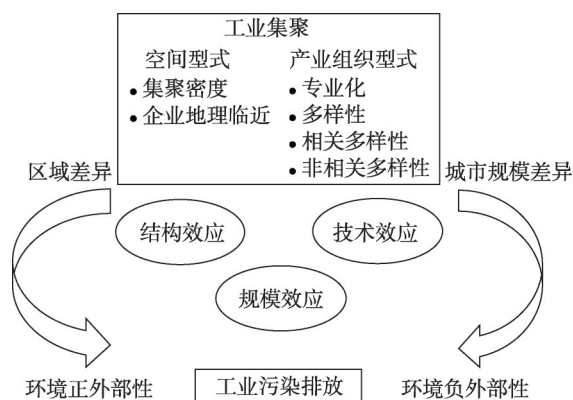


Fig. 1 Analysis framework

## 2.1 集聚空间型式与污染排放

地理集聚密度和企业地理邻近主要通过要素共享和面对面交流实现成本节约和技术外溢,进而促进污染排放规模和排放强度的下降。首先,企业集中可以降低运输和沟通交流成本,避免信息不对称而形成的交易成本上升<sup>[28]</sup>,促进企业技术创新和产品升级,实现污染下降;其次,知识或技术的传播有着显著的地理衰减效应,尤其是产业中存有大量缄默知识时,地理空间的邻近显得尤其重要<sup>[29]</sup>。最后,企业集中分布可以提高区域治污设施的利用效率,甚至可以衍生出相应的专门的治污产业,形成治污规模效应,降低治污成本,促进污染减排并降低污染强度。

## 2.2 集聚组织型式与污染排放

按照外部性是否来自同一产业可以将集聚分为专业化集聚和多样性集聚。专业化集聚对应于马歇尔外部性<sup>[30]</sup>,强调相同产业的空间集中有利于共享专业化的劳动力市场、中间品投入和同行企业之间的知识溢出,从而降低生产风险和成本,提高效率,利于污染水平下降。多样性集聚对应于雅各布斯外部性<sup>[31]</sup>,认为类型多样的产业的空间集聚为不同行业的跨界交流与合作、共享基础设施、扩大市场需求、吸引熟练劳动力的流入等提供了便利条件,有利于技术溢出和创新活动的产生,降低熟练劳动力成本。近些年,随着演化经济地理学研究的兴起,一些学者强调技术关联是多样性集聚产生技术外溢的重要条件,并提出了相关多样性和非相关多样性的概念<sup>[32]</sup>。按照演化经济地理学理论,与非关联产业集聚相比,存在认知关联的产业会因为共同的知识基础而激发相互学习与合作,促进技术外溢和创新水平提高,降低生产中废弃物的排放强度<sup>[33]</sup>。同时,具有关联的产业能够通过内在物质交换而实现共生,所产生的副产品可成为其他企业的投入品,通过企业间的循环经济实现污染减排。



## 2.3 集聚空间组织型式与污染排放的空间异质性

区域发展和集聚水平及城市规模是影响集聚与污染关系的重要因素,而区域与城市发展具有明显的空间异质性。首先,按照集聚生命周期理论,在集聚成长阶段,随着大量企业进驻,集聚规模的扩张和水平上升所带来的成本下降与技术溢出更为明显,污染减排效应更强,但非关联产业的集聚所形成的环境负外部性也会因为集聚规模的扩大而增强。在成熟、衰退阶段,集聚的规模已趋于稳定,技术外溢与成本下降逐渐趋缓,而因为产业淘汰、资源枯竭、成本上升、拥挤效应所形成的负外部性开始不断上升<sup>[34]</sup>。所以,该阶段集聚对污染的减排作用会较成长阶段降低,非相关产业集聚所形成的环境负外部性会更为明显。其次,从城市规模差异看,根据已有文献,与大城市相比,小城市集聚规模的提升可能会产生更高的增速和技术外溢效果<sup>[35]</sup>。然而,不同规模城市的产业结构特点差异明显,按照Henderson的观点<sup>[36]</sup>,小城市产业集聚的规模小、类型单一,而大城市的产业类型更为多样且关联水平较高。所以,对于结构单一的小城市,专业化反而能发挥更大的减排作用,但企业空间邻近分布和非关联产业集中会加剧污染排放;多样性、相关多样性的减排作用发挥需要多样的产业结构为基础,故而对规模较大城市的污染减排作用更大。

## 3 指标界定与数据来源

### 3.1 指标界定

**3.1.1 工业SO<sub>2</sub>排放强度** 工业SO<sub>2</sub>排放强度的计算方法为工业SO<sub>2</sub>排放量与工业总产值的比值。首先,选择工业SO<sub>2</sub>作为研究对象的原因是:①中国是世界上工业SO<sub>2</sub>污染最为严重的国家,且工业SO<sub>2</sub>在中国SO<sub>2</sub>污染中占有极高的比例,该指标有较强的代表性<sup>[37]</sup>;②该指标应用广泛,有利于本文与已有研究的讨论和对话;③工业SO<sub>2</sub>数据有着较高的可获取性、连续性以及可靠性。其次,本文选择污染强度而非总量规模,主要是考虑到中国尚处于工业化进程中,实现可持续发展的重要标准是在降低污染水平的同时保证一定的增长水平,工业污染强度的下降对于控制污染排放总量进而实现总量的下降具有现实意义。

**3.1.2 工业集聚空间组织型式** 根据工业集聚空间型式和组织型式的差异,本文将集聚分为集聚密度、企业地理邻近度、专业化、多样性、相关多样性、非相关多样性。

(1) 集聚密度。以相对工业密度表征区域工业集聚密度的相对水平,计算公式为:

$$R_{ind_i} = \frac{ind_i \sum ind_i}{area_i \sum area_i} \quad (1)$$

式中:  $R_{ind_i}$  表示*i*区域的工业集聚密度;  $ind_i$ 、 $area_i$ 分别表示*i*地区的工业总产值、国土面积;  $\Sigma$ 是计算某种属性在大区域的累积。

(2) 企业地理邻近度。城市内部属于较为微观的尺度,企业的分布点是量化产业分布集散水平的较好指标。本文以企业点的纬度值的变异系数( $CV_{latitude}$ )和经度值的变异系数( $CV_{longitude}$ ),构建地理邻近度指标,计算公式为:

$$proximity = -\ln(CV_{latitude} \times CV_{longitude}) \quad (2)$$

式中:  $proximity$ 表示企业地理邻近度,值越大说明企业分布越集中,反之说明分布相对分散。

(3) 专业化与多样性。本文分别以城市规模最大行业的区位商和赫芬达尔指数的倒

数表示专业化和多样性, 计算公式为:

$$rzi = s_{ij}/s_j, \quad rdi = 1/\sum_j |s_{ij} - s_j| \quad (3)$$

式中:  $s_{ij}$ 表示是*i*城市*j*产业总产值占*i*城市工业总产值的比例;  $s_j$ 是全国*j*产业的总产值占所有产业产值的比例;  $rzi$ 、 $rdi$ 分别表示专业化和多样性, 值越大表示专业化或多样性水平越高, 反之越低。

(4) 相关多样性与非相关多样性。产业关联性的测度方法较多, 本文根据产业间的“投入产出”关系和“技术距离”, 参考Frenken等<sup>[33]</sup>研究中的方法, 采用熵指标刻画相关和非相关多样性。首先按照技术联系进行产业分类, 基于潘文卿等<sup>[38]</sup>研究中根据投入产出表计算得到的产业分类结果, 将37个产业分为4大类<sup>②</sup>聚集体, 大类内的行业间具有关联性, 大类之间具有非关联性, 据此计算大类行业的熵可得非相关多样性, 对每一大类中行业的熵进行加权求和得到相关多样性。计算公式为:

$$uv = \sum_{g=1}^4 p_g \log_2 \left( \frac{1}{p_g} \right), \quad rv = \sum_{g=1}^4 p_g h_g, \quad h_g = \sum_{j \in g} \frac{p_j}{p_g} \log_2 \left( \frac{1}{p_j/p_g} \right) \quad (4)$$

式中:  $j$ 为37个细分行业;  $g$ 指根据细分行业合并的4个行业大类;  $p_j$ 、 $p_g$ 分别表示各个(类)行业产值占总产值的比例;  $uv$ 表示非相关多样性, 越大说明集聚产业的非关联度越高;  $h_g$ 表示大类内细分行业的多样性熵指标;  $rv$ 表示相关多样性, 越大表示集聚产业关联度越高。

### 3.2 数据来源

以285个地级及以上城市为研究样本, 基于《中国工业企业数据库(2003-2013)》整理出各地市国民经济行业分类代码介于06-46之间的二位数工业行业产值, 涵盖了采矿业、制造业和电力、热力、燃气及水生产和供应业, 并据此归并得出各地市工业总产值。在使用前本文对数据进行了必要的处理, 包括剔除异常值、统一行业分类至2002年国民经济行业分类代码(GB/T4754-2002)等。工业SO<sub>2</sub>排放量和相关控制变量整理自2004-2014年《中国城市统计年鉴》和各省2004-2014年的统计年鉴。

## 4 工业 SO<sub>2</sub>排放与工业集聚的时空格局

### 4.1 工业 SO<sub>2</sub>排放强度

中国工业SO<sub>2</sub>排放强度: 西高东低, 整体呈下降趋势。2003年中国工业SO<sub>2</sub>排放强度较高的区域主要集中在中西部内陆, 如山西、陕西、宁夏、甘肃、内蒙古、广西、贵州、湖南等, 其中来宾、石嘴山、达州、金昌、广安、渭南、中卫、乌兰察布的排放强度均达到了每亿元600 t以上, 水平位于全国前列。东部沿海的排放强度除了辽宁部分地市外则整体不高, 像海口、中山、深圳的排放强度每亿元尚不足10 t, 位于低排放强度行列(图2a)。2013年地市工业SO<sub>2</sub>排放强度整体下降明显, 东中部大部分城市的排放水平平均降到每亿元50 t以下, 高排放强度区域收缩至山西、陕西、甘肃、宁夏、黑龙江以

② 第一类: 煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、黑色金属矿采选业、有色金属矿采选业、非金属矿采选业、非金属矿物制品业、电力、热力的生产和供应业、水的生产和供应业; 第二类: 农副食品加工业、食品制造业、饮料制造业、烟草制品业、纺织业、纺织服装、鞋帽制造业、皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业、木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业、家具制造业、造纸及纸制品业、印刷业和记录媒介复制业、文教体育用品制造业、石油加工、炼焦及核燃料加工业、医药制造业、工艺品及其他制造业、燃气生产和供应业; 第三类: 化学原料及化学制品制造业、化学纤维制造业、橡胶制品业、塑料制品业; 第四类: 黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、金属制品业、通用设备制造业、专用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、通信设备、计算机及其它电子设备制造业、仪器仪表及文化、办公用机械制造业。

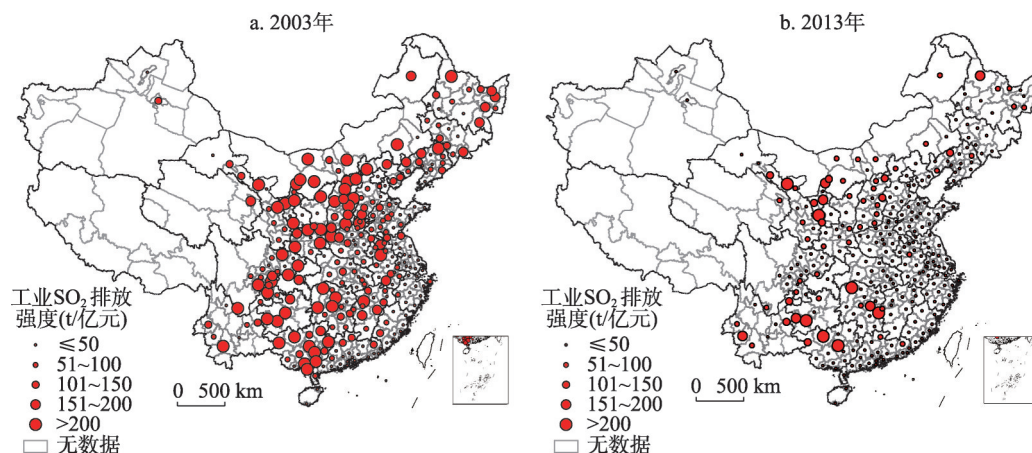


图2 2003-2013年中国地市工业SO<sub>2</sub>排放强度的空间特征

Fig. 2 Spatial patterns of industrial SO<sub>2</sub> emission intensity at prefecture-level city in China from 2003 to 2013

及广西、云南、贵州、湖南的部分地市（图2b）。

#### 4.2 集聚空间型式:集聚密度与企业地理临近度

（1）工业集聚密度：高度集中在东部沿海，整体上升态势明显。2003年，工业集聚密度较高的区域主要分布在东部沿海，该类地区为改革开放的前沿，市场化和工业化起步早、水平高，有着良好的工业发展条件和基础。中西部内陆的集聚水平明显较低，除河南中北部地市存在连片工业高集聚区以外，其他的高工业集聚区域多为省域中心城市，呈零散点状分布；其余城市的工业集聚度均相对较低，工业密度多在0.03以下（图3a）。至2013年，工业集聚密度东高西低的分布格局变化不大，但整体呈现上升态势，低值区间由2003年的0~0.025上升至2013年的0.005~0.540，高值区间由0.312~0.952上升至6.658~17.198（图3b）。

（2）企业地理临近度：东中部的企业地理邻近度较高，东北、西北、西南地区相对较低。2003年，地理邻近度指数较高的地市主要分布在东部的京津冀、辽宁、山东、长三角、福建沿海和珠三角，中部地区河南部分地市的企业地理邻近度同样较高，西部地区高邻近度地市集于四川东部，还包括陕西（西安、铜川）、宁夏吴忠、甘肃（金昌、嘉峪关）、贵州（贵阳、安顺）等，这些区域的企业分布存在更强的“扎堆”现象。邻近度较低的城市主要分布在中西部（图3c），这些地市的工业分布相对分散，地理距离较远。至2013年，企业地理邻近度高值及低值的空间格局整体变化不大（图3d）。

#### 4.3 集聚组织型式:专业化、多样性、相关与非相关多样性

（1）专业化的空间格局为东低西高，而多样性为东高西低。2003年，中国地市尺度专业化水平较高的城市主要集中在西部。东中部除了黑龙江、山西部分地区存在较高专业化外，整体水平较低。多样性水平的地市分布与专业化整体相反，较高的区域集中在东中部，西部地市多样性指数大多为不到1的低和较低级别，高多样性水平城市相对较少，且分布较为零散（图4a、4c）。至2013年，东中部以及西部的成渝城市群地区的专业化水平有了明显下降，与此对应的多样性水平则有较为明显的提高，高专业化水平、低多样性水平地区仍集中在西部，如陕西、甘肃、宁夏、云南、贵州和广西等（图4b、4d）。

（2）相关多样性水平较高的地市主要集中在东中部，且随时间上升显著。2003年，高相关多样性地市主要分布在东中部，说明东中部地区在工业化进程中，在实现了产业多样化的同时还实现了不同产业间的技术关联与跨界合作；相关多样性水平较低区域主



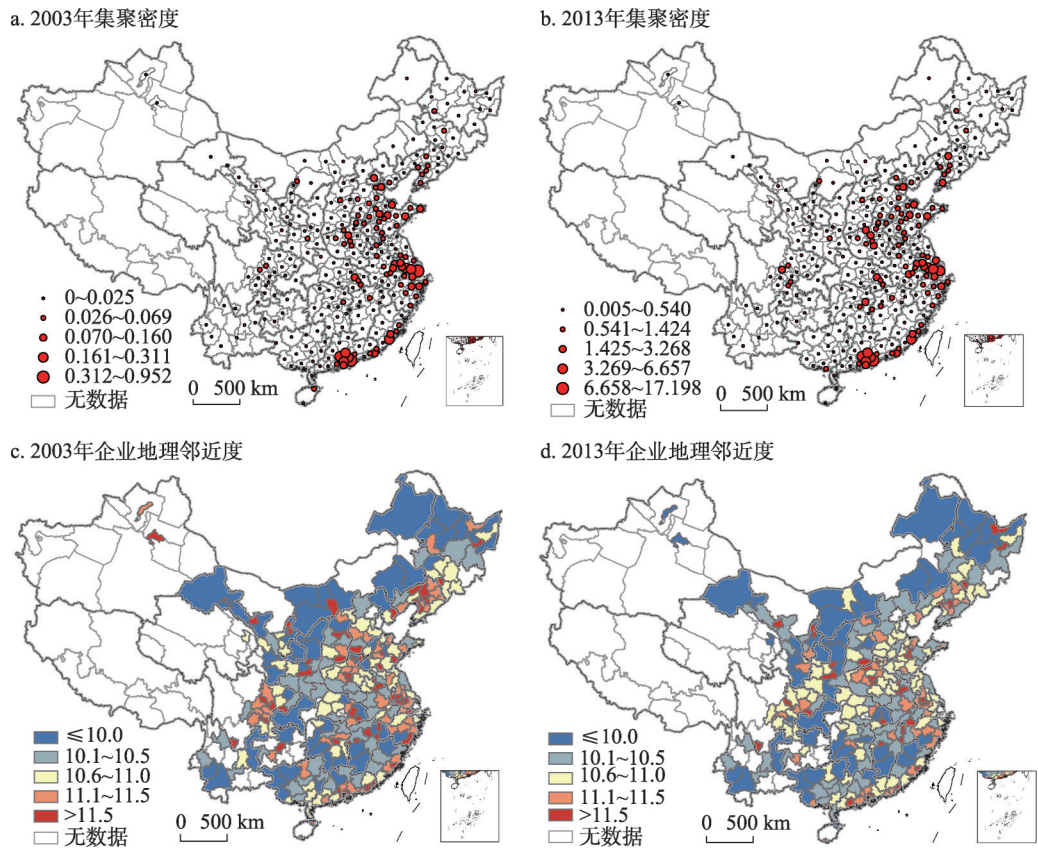


图3 2003-2013年中国地市工业集聚密度和企业地理邻近度的空间特征

Fig. 3 Spatial patterns of agglomeration level and enterprise' geographic proximity at prefecture-level city from 2003 to 2013

要分布在山西以及西部的陕西、内蒙古、甘肃、云南、广西、贵州等地(图5a),说明该类地区的工业化水平和集聚度均较低,产业之间的关联度也相对不高。至2013年,东中部、东北、成渝城市群地区的相关多样性水平整体呈上升态势,山西、陕西、甘肃、宁夏、云南、贵州仍为低水平区域(图5b)。

(3) 非相关多样性整体呈东南高西北低的分布特点。2003年,非相关多样性水平较高的地市多位于东部和南部,北方仅包括辽宁、山东、甘肃、河南、宁夏等地,非相关多样性较低地市主要分布在西部和北部的山西、陕西、内蒙古、黑龙江等地(图5c)。至2013年,山西、宁夏的非相关多样性水平上升较为明显,也有不少地区的非相关多样性水平有较大下降,如甘肃、辽宁以及河南、湖北、湖南和成渝城市群的部分城市(图5d)。

## 5 集聚型式对工业 SO<sub>2</sub>排放强度影响的计量模型分析

### 5.1 变量选取与模型构建

从可量化、能代表以及可获取3个标准出发来进行相关指标的选取,其中被解释变量以工业 SO<sub>2</sub>排放强度来表征,解释变量以不同的工业集聚型式(空间型式和组织型式)来表征,具体包括集聚密度、企业地理邻近度、专业化、多样性、相关多样性、非相关多样性,控制变量包括人口集聚水平(*pop*)、产业结构(*sstr*)、对外开放(*open*)、科技投入水平(*tec*)、环境规制(*er*)。按照经济增长的环境效应的相关论述,经济规

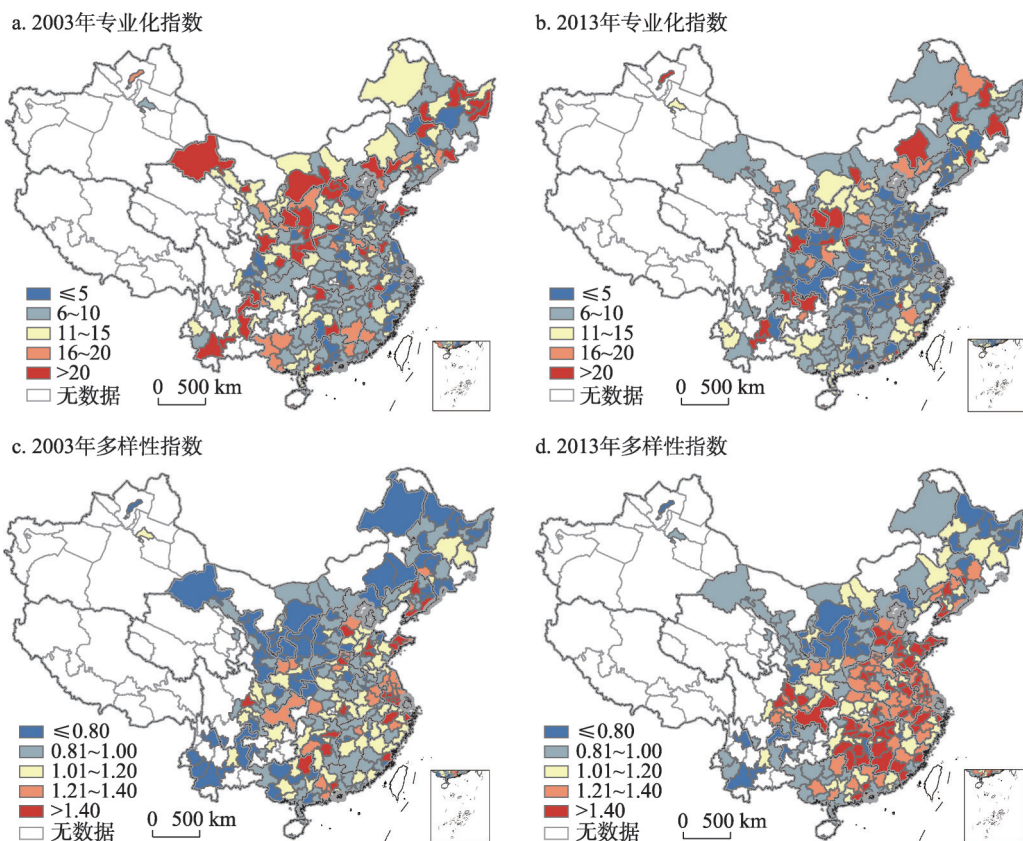


图4 2003-2013年中国地市产业专业化和多样性的空间特征

Fig. 4 Spatial patterns of industrial specialization and diversity level at prefecture-level city in China from 2003 to 2013

模、产业结构和技术进步决定了经济发展对环境的影响。人口集聚水平上升往往意味着生产规模的扩大,将导致资源消耗和污染强度的加剧,本文以区域人口密度表示人口集聚水平;地区产业结构对污染有重要影响,第二产业或污染产业占比上升会提高污染排放规模和强度,本文以工业 $\text{SO}_2$ 污染密集型产业占GDP比例表示产业结构<sup>③</sup>;对外开放度提高有利于强化与外界的交流 and 外资进入,外资企业有可能会将承接地作为污染避难所而使区域环境质量恶化,也有可能带来技术外溢提高区域技术水平,进而降低污染排放,本文以实际利用外资额占GDP比例表示区域对外开放水平;科技投入水平高的区域往往有着更优的产业结构、生产工艺和治污技术,所以污染水平更低;以区域公共财政预算支出中的科学技术项目的支出比例表示科技投入水平;强环境规制有利于降低污染产业的规模,同时可以促进企业加大技术创新力度并采用更先进的生产工艺,进而降低污染强度,本文以工业 $\text{SO}_2$ 处理率表示环境规制强度。

为反映相邻区域工业集聚的空间溢出对本区域污染排放强度的影响,本文构建空间面板模型分析全国尺度工业集聚对工业污染的影响。已有空间计量模型主要包括空间滞

③ 为保证回归结果的准确,本文尽可能对集聚内部行业的污染密集度进行控制。根据全国层面工业二位数分行业工业 $\text{SO}_2$ 排放强度值,确定有色金属矿采选业、非金属矿采选业、造纸及纸制品业、石油加工、炼焦及核燃料、化学原料及化学制品制造业、化学纤维制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、电力、热力的生产和供应业等10个行业为工业 $\text{SO}_2$ 污染密集型行业。



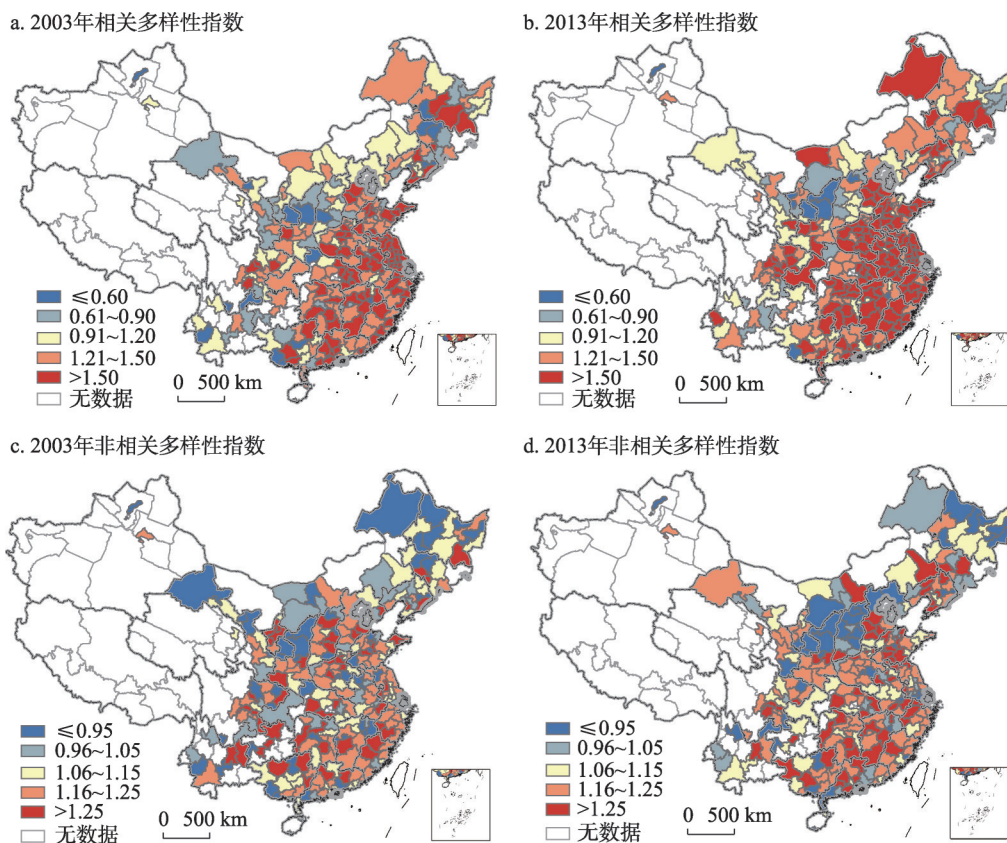


图5 2003-2013年中国地市产业相关多样性和非相关多样性的空间特征

Fig. 5 Spatial patterns of industrial related variety and unrelated variety level at prefecture-level city from 2003 to 2013

后模型 (SLM)、空间误差模型 (SEM) 和空间杜宾模型 (SDM), 与 SLM 和 SEM 相比, SDM 还同时考虑了被解释变量的溢出效应, 更符合本文的研究需要, 故而本研究将计量模型设置为 SDM。具体表达式为:

$$\ln pol_{it} = \alpha_{it} + \rho_1 \sum W \ln pol_{it} + \beta_1 aggl_{it} + \beta_2 \ln pop_{it} + \beta_3 ss tr_{it} + \beta_4 open_{it} + \beta_5 tec_{it} + \beta_6 \ln er_{it} + \rho_2 \sum W aggl_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

对于不同区域、不同城市规模的回归分析仍采用一般面板回归模型, 表达式为:

$$\ln pol_{it} = \alpha_{it} + \beta_1 aggl_{it} + \beta_2 \ln pop_{it} + \beta_3 ss tr_{it} + \beta_4 open_{it} + \beta_5 tec_{it} + \beta_6 \ln er_{it} + \varepsilon_{it}$$

式中:  $pol$  表示工业 SO<sub>2</sub> 的排放强度;  $\rho_2$  表示邻近地区  $aggl$  对本区域工业污染强度的影响;  $W$  表示空间权重矩阵;  $aggl$  表示集聚密度、企业地理邻近度、专业化、多样化、相关多样性、非相关多样性等集聚指标, 其后依次是影响工业污染排放强度的相关控制变量;  $\alpha_{it}$  为个体固定效应;  $\beta_1 \sim \beta_6$  为相关变量的回归系数;  $\varepsilon_{it}$  为随机扰动项,  $i$ 、 $t$  分别表示区域和时间。

为保证回归结果的准确, 本文对模型进行了必要的处理和检验: ① 为保证数据平稳性, 削弱序列的共线性、异方差对估计结果的影响, 对模型部分指标取对数; ② 以当年人民币对美元平均汇率将外资额换算为万元; ③ 以 Hausman 检验对随机效应模型的可行性进行测度, 若模型的卡方  $P$  值小于 0.1, 则说明应选择固定效应作为模型的估计方法, 反之则应以随机效应作为估计方法。

5.2 回归结果

5.2.1 不同集聚型式与工业 SO<sub>2</sub> 强度排放关系的计量检验——全国层面 本文首先对 2003-2013 年全国层面不同集聚型式与工业污染的关系进行检验, 模型 1 和模型 2 分别考察了集聚密度、企业地理邻近度对污染排放强度的影响, 模型 3 分析了专业化、多样性与污染排放强度的关系, 模型 4 描述了相关多样性和非相关多样性对污染排放强度的作用, 具体结果如表 1 所示。

(1) 集聚对污染的影响存在空间溢出效应。从不同工业集聚型式看, 企业地理邻近和非相关多样性的空间溢出特征不明显, 集聚密度、多样性、相关多样性的空间滞后项回归系数显著为负, 专业化空间滞后项回归系数显著为正, 说明城市的工业污染排放水平会受到相邻地市集聚状况的影响, 相邻城市的集聚密度、多样性和相关多样性所产生的空间外溢有利于本区域工业污染排放强度的下降, 而相邻地区单一产业的集中会加剧本区域的工业污染。

(2) 工业集聚密度和企业地理邻近度的提高有利于降低工业污染。① 由模型 1 可知, 工业地理集聚度与工业 SO<sub>2</sub> 排放强度的回归系数显著为负, 说明工业集聚密度的提高可以有效降低工业污染排放。该结论与诸多研究一样, 说明集聚水平上升所带来的环境正外部性对工业污染下降有着重要作用, 如王晓硕等<sup>[39]</sup>对中国省域的研究发现工业集聚可以有效降低污染排放强度。② 由模型 2 可知, 企业地理邻近度与工业 SO<sub>2</sub> 排放强度的回归系数同样显著为负, 说明企业的邻近分布有利于污染减排。该结论可与已有研究相互印证, 如李琳等<sup>[34]</sup>以汽车产业集群为例进行研究发现, 企业空间邻近可以产生有利于企业创新的外溢效应, 而技术水平的提升恰是污染强度降低的重要影响因素。

(3) 多样性集聚比专业化集聚更能降低工业污染排放水平。由模型 3 可知, 专业化集聚与工业 SO<sub>2</sub> 排放强度的回归系数为正, 但未通过显著性检验; 多样性集聚与工业 SO<sub>2</sub>

表 1 不同集聚型式与工业 SO<sub>2</sub> 排放强度关系的回归结果(全国层面)

Tab. 1 Regression result of the relationship between agglomeration pattern and industrial SO <sub>2</sub> emission intensity at the national level				
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
$\rho/\lambda$	0.536*** (0.016)	0.565*** (0.016)	0.497*** (0.017)	0.506*** (0.017)
$dens$	-0.064** (0.026)			
$pro$		-0.036*** (0.012)		
$rzi$			0.003 (0.002)	
$rdi$			-0.622*** (0.100)	
$rv$				-0.456*** (0.090)
$uv$				0.458*** (0.117)
$pop$	-1.538*** (0.227)	-1.799*** (0.223)	-1.474*** (0.222)	-1.573*** (0.221)
$sstr$	0.273** (0.119)	0.290** (0.120)	0.102 (0.120)	0.052 (0.123)
$open$	-0.261 (0.735)	0.938 (0.723)	1.635** (0.715)	1.428** (0.716)
$tec$	-5.294*** (1.508)	-11.141*** (1.380)	-8.557*** (1.369)	-10.118*** (1.358)
$er$	-0.034** (0.015)	-0.040*** (0.015)	-0.033** (0.015)	0.041*** (0.015)
$W \times dens$	-0.245*** (0.045)			
$W \times pro$		0.021 (0.020)		
$W \times rzi$			0.007** (0.004)	
$W \times rdi$			-1.079*** (0.172)	
$W \times rv$				-1.420*** (0.159)
$W \times uv$				0.323 (0.213)
$R^2$	0.322	0.308	0.368	0.377
$Lli$	-2579.101	-2608.052	-2539.161	-2545.846
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应

注: \*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 0.1、0.05、0.01 水平上显著; 括号内数字为残差值。

排放强度的回归系数显著为负,说明专业化集聚对工业污染的影响不明显,而多样性集聚则有利于工业污染水平下降。从已有研究看,谢荣辉<sup>[12]</sup>分析了集聚动态外部性的污染减排效应,同样发现多样化集聚的污染减排效应要明显优于专业化集聚。

(4) 相关多样性集聚有利于污染减排,非相关多样性集聚会加剧工业污染。由模型4可知,相关多样性与工业 SO<sub>2</sub>排放强度的回归系数显著为负,而非相关多样性的回归系数显著为正,说明以产业关联为基础的多样化有利于工业污染的减排,而非相关产业的集聚会加剧污染排放。已有关于产业关联对污染影响的研究尚不多见,但相关文献证实了相关多样性比非相关多样性有着更强的技术外溢和产业联系,进而有利于经济<sup>[26]</sup>和产业<sup>[27]</sup>的发展,这在一定程度上能够证实本文研究结论的可靠性,因为技术外溢、产业间投入产出联系正是集聚促进工业污染下降的重要因素。

**5.2.2 不同集聚型式与工业 SO<sub>2</sub>排放强度关系的计量检验——东中西不同区域** 为进一步分析不同集聚型式对污染排放作用的区域差异,本文将全国地市按照所在省域的地理区位分东部、中部和西部<sup>④</sup>分别进行回归,回归结果如表2和表3所示。

(1) 工业集聚密度在东中西区域均有利于工业污染水平的下降,在西部地区的作用最大,东部最小。工业集聚密度与工业 SO<sub>2</sub>排放强度的回归结果在东中西部均显著为负,从回归系数绝对值大小看,西部最大,中部次之,东部最小,说明工业集聚的污染减排效应大小依次是西部、中部和东部。这与不同区域所处的产业集聚发展阶段有关。东部地区产业集聚起步早、水平高、规模大,集聚产生的环境正外部性正趋于稳定,而集聚规模的进一步上升同时会带来资源稀缺、成本上升、利润下降等问题,使得环境负外部性不断凸显,所以其集聚的减排作用相对较小;中西部地区尚处于工业集聚发展或起步阶段,集聚规模较小但发展很快,大量企业的入驻可以形成更高的减排效应,所以集聚在中西部的污染减排作用更大。

(2) 企业地理邻近有利于中西部地区工业污染的下降,但会加剧东部的污染水平。企业地理邻近性与工业 SO<sub>2</sub>排放强度的回归结果在中部和西部均显著为负,东部显著为正,说明企业地理邻近分布在中西部均有利于降低污染,但会导致东部工业污染水平上升。这一结论同样与不同区域的产业集聚发展阶段密切相关,东部地区的产业集聚起步较早,多处于集聚阶段后期,企业地理邻近的“拥挤效应”更明显;而中西部地区尚处于工业集聚的成长或起步阶段,企业地理邻近有利于区域污染治理设施的建设和运营,其产生的环境正外部性明显大于负外部性。

(3) 专业化和非相关多样性不利于东中部地区的污染减排,而多样性和相关多样性对中西部的污染减排作用大于东部。专业化和非相关多样性与工业 SO<sub>2</sub>排放强度的关系在东部、中部均显著为正,在西部均不显著,说明专业化和非相关多样性是东中部工业污染排放水平上升的影响因素。多样性和相关多样性在东中西部与工业 SO<sub>2</sub>排放强度的系数均为显著负向,且在中西部回归系数的绝对值要大于东部,说明产业在关联基础上的多样化发展能够促进污染水平下降,且对中西部的减排作用更大,因为东部沿海的产业结构完善且类型多样、关联度高,但集聚已经进入高级阶段,产业间技术溢出的污染减排效应已基本稳定。中西部处于产业集聚成长或起步阶段,产业类型多样性和产业关联合作网络正处于不断完善的进程中,产业多样性和关联度的提升能产生更强的环境正外部性。

**5.2.3 不同集聚型式与工业 SO<sub>2</sub>排放强度关系的计量检验——大中小不同城市规模** 为进

④ 东部包括北京、上海、天津、辽宁、山东、河北、江苏、福建、浙江、广东、海南,中部包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、湖南、湖北、江西,西部包括内蒙古、陕西、宁夏、青海、甘肃、新疆、西藏、重庆、四川、贵州、云南、广西。



表2 地理集聚密度和企业地理临近对工业SO<sub>2</sub>排放强度影响的分区域回归结果  
Tab. 2 Regression results of the relationship between geographical agglomeration, enterprises geographic proximity and industrial SO<sub>2</sub> emission intensity in different regions of China

	东部	中部	西部	东部	中部	西部
<i>dens</i>	-0.163*** (0.025)	-0.941*** (0.096)	-2.275*** (0.260)			
<i>pro</i>				0.054** (0.025)	-0.074*** (0.022)	-0.061** (0.024)
<i>pop</i>	-0.302 (0.344)	-2.005*** (0.460)	-1.468** (0.648)	-0.926*** (0.336)	-3.235*** (0.461)	-3.638*** (0.638)
<i>sstr</i>	1.093*** (0.271)	1.088*** (0.222)	-0.023 (0.234)	1.173*** (0.276)	1.157*** (0.231)	0.277 (0.241)
<i>open</i>	-1.161 (0.998)	-0.909 (1.972)	4.120** (1.906)	-0.649 (1.014)	-1.339 (2.052)	0.668 (1.938)
<i>tec</i>	-16.815*** (1.993)	-0.111 (2.476)	-54.787*** (7.370)	-21.836*** (1.858)	-12.005*** (2.442)	-77.033*** (7.172)
<i>er</i>	-0.708*** (0.072)	-1.453*** (0.098)	0.008 (0.021)	-0.713*** (0.074)	-1.722*** (0.098)	-0.004 (0.022)
<i>c</i>	5.478*** (2.126)	15.878*** (2.640)	12.613*** (3.304)	8.686*** (2.112)	23.717*** (2.658)	24.216*** (3.299)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.369	0.467	0.314	0.344	0.423	0.258
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应	固定效应

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在0.1、0.05、0.01水平上显著；括号内数字为残差值。

表3 专业化、多样性、相关(非相关)多样性对工业SO<sub>2</sub>排放强度影响的分区域回归结果  
Tab. 3 Regression results of the relationship between specialization, diversity, related and unrelated variety levels and industrial SO<sub>2</sub> emission intensity in different regions of China

	东部	中部	西部	东部	中部	西部
<i>rzi</i>	0.012** (0.005)	0.015*** (0.004)	0.002 (0.004)			
<i>rdi</i>	-0.545*** (0.149)	-1.380*** (0.167)	-1.772*** (0.292)			
<i>rv</i>				-0.446*** (0.145)	-1.195*** (0.159)	-0.872*** (0.197)
<i>uv</i>				0.485* (0.242)	0.741*** (0.211)	0.304 (0.246)
<i>pop</i>	-0.948*** (0.332)	-2.507*** (0.446)	-3.093*** (0.624)	-0.339*** (0.088)	-3.072*** (0.452)	-3.020*** (0.635)
<i>sstr</i>	1.076*** (0.276)	0.701*** (0.227)	0.170 (0.237)	1.093*** (0.242)	0.525** (0.244)	0.095 (0.243)
<i>open</i>	-0.343 (1.006)	0.004 (1.965)	1.710 (1.912)	-0.944 (0.906)	-0.355 (2.016)	0.979** (1.931)
<i>tec</i>	-21.942*** (1.833)	-6.600*** (2.276)	-71.874*** (7.099)	-23.996*** (1.728)	-10.613*** (2.321)	-77.865*** (7.118)
<i>er</i>	-0.689*** (0.073)	-1.522*** (0.096)	-0.003 (0.022)	-0.702*** (0.072)	-1.627*** (0.097)	0.001 (0.022)
<i>c</i>	9.993*** (2.065)	20.060*** (2.547)	22.424*** (3.186)	5.820*** (0.635)	22.938*** (2.595)	21.146*** (3.238)
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.356	0.474	0.286	0.346	0.447	0.270
估计方法	固定效应	固定效应	固定效应	随机效应	固定效应	固定效应

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在0.1、0.05、0.01水平上显著；括号内数字为残差值。

一步分析不同集聚型式对污染排放影响的规模差异,参考国务院印发的《关于调整城市规划标准的通知(2014)》所设定的城市规划标准,同时考虑数据可获取性,依据2006-2013年各地市城区常住人口的均值,按小城市Ⅰ型、小城市Ⅱ型、中等城市、大城市<sup>⑤</sup>等4种不同规模类型进行回归分析,分别对应于城区常住人口小于20万、20~50万、50~100万和大于100万,城区常住人口数据来自2006-2013年《中国城市建设统计年鉴》。表4列出了解释变量的回归结果。

表4 集聚型式对工业 SO<sub>2</sub>排放强度影响的分城市规模回归结果  
Tab. 4 Regression results of the relationship between industrial agglomeration patterns and industrial SO<sub>2</sub> emission intensity at different urban scales

	小城市Ⅰ型	小城市Ⅱ型	中等城市	大城市
<i>dens</i>	-5.386*** (1.274)	-0.580*** (0.120)	-0.965*** (0.094)	-0.132*** (0.020)
<i>pro</i>	0.008 (0.048)	-0.062*** (0.023)	-0.072** (0.023)	0.032 (0.022)
<i>rzi</i>	0.009 (0.006)	0.009** (0.004)	0.013** (0.005)	0.005 (0.007)
<i>rdi</i>	2.016*** (0.604)	-1.483*** (0.234)	-1.720*** (0.176)	-0.416*** (0.132)
<i>rv</i>	-0.175 (0.309)	-0.813*** (0.177)	-1.674*** (0.173)	-0.105 (0.190)
<i>uv</i>	1.415*** (0.314)	0.153 (0.250)	0.208 (0.257)	0.032 (0.295)

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示在0.1、0.05、0.01水平上显著;括号内数字为残差值。

(1) 集聚空间组织型式对不同城市规模类型污染排放的影响存在明显的异质性。对于城区人口规模小于20万的城市类型来讲,工业集聚密度对污染减排的效果最大,而产业的多样化发展特别是非相关的产业多样化发展,则明显不利于其污染减排。对于城区人口规模50~100万的中等城市 and 20~50万的小城市来讲,提升集聚密度对中等城市类型的污染减排作用要比小城市更为明显,增加企业的地理临近度和产业多样性水平特别是相关多样性水平,则均有利于其污染强度的下降。对于城区人口规模在100万以上的大城市而言,虽然进一步提升集聚密度和产业多样性水平仍有利于其污染强度的下降,但从回归系数的大小看,其效应要明显小于中等城市。

(2) 城区人口规模在一定程度上反映了经济活动的空间集聚规模,而无论专业化经济还是城市化经济、产业的相关多样性还是非相关多样性,其正的和负的外部性均对集聚规模有显著的依赖性。两种类型的小城市之间、大城市和中等城市之间解释变量的回归系数的符号、大小和显著性检验,存在着明显的差异,而小城市Ⅱ型和中等城市之间则存在明显的相似性。这说明,集聚的空间和组织型式对工业污染排放的影响在集聚的规模上是非线性的。城市规模越小,集聚经济的潜力越大,单位面积上工业集聚量的上升能产生更多的技术外溢,但关键是要避免非相关产业的集聚;伴随着城市规模的扩大,承载的经济活动类型增多,企业地理临近的减排效应开始显现,工业集聚密度的进一步上升所产生的减排效应则相对较小<sup>[34]</sup>,而提升产业多样性水平特别是相关多样性水平所产生的减排效应则更为突出;但当城市规模进一步扩大进入大城市的行列之后,工业集聚密度和多样性水平上升的减排作用因集聚的“拥挤效应”而显著下降,企业地理临近和相关多样性对污染排放的影响已不再显著。由此可以推断,企业空间邻近和产业相关多样性对城市规模非常敏感,城市规模过小或过大,均不利于不同类型的跨界合作和技术外溢。

⑤ 国务院印发的《关于调整城市规划标准的通知(2014)》中,将城区常住人口100万以上500万以下的城市为大城市,其中300万以上500万以下的城市为Ⅰ型大城市,100万以上300万以下的城市为Ⅱ型大城市;城区常住人口500万以上1000万以下的城市为特大城市;城区常住人口1000万以上的城市为超大城市。为了能在回归分析中保证有充足的样本数量,本研究将城区常住人口100万以上的大城市、特大城市和超大城市统一归为大城市类型。

## 6 结论与讨论

本文从空间型式、产业组织型式两个维度将工业集聚细化为集聚密度、企业地理邻近度、专业化、多样性、相关多样性和非相关多样性等不同类型,以中国285个地市为例,分析工业SO<sub>2</sub>排放与工业集聚型式的空间格局并考察不同集聚型式对工业SO<sub>2</sub>排放的影响。本文的研究有以下发现和启示:

(1) 工业SO<sub>2</sub>排放强度与工业集聚密度的空间分布具有非对称性。工业污染排放强度和专业化水平的分布呈西高东低格局,而集聚密度、企业地理邻近度、多样性、相关和非相关多样性水平整体呈东中高西部低的特点。

(2) 集聚对工业SO<sub>2</sub>排放的影响存在空间溢出性,区域污染水平会受到相邻区域集聚水平的影响。相邻地区集聚密度、多样性和相关多样性水平的上升有利于本区域工业SO<sub>2</sub>排放强度的下降,而相邻地区专业化水平的上升则会加剧本区域的污染强度。

(3) 集聚的不同空间和产业组织型式有着不同的工业污染排放效应。提高集聚密度、促进企业空间集中布局有利于降低工业SO<sub>2</sub>排放强度;多样且关联的产业组织结构有利于污染减排,而非关联产业的集聚则会提高污染强度水平。

(4) 集聚型式对工业SO<sub>2</sub>排放的影响存在显著的区域差异。集聚密度、企业地理邻近、多样性和相关多样性对中西部污染水平下降的作用更大,专业化、非相关多样性对东中部污染水平的加剧作用更为明显。

(5) 集聚型式对工业SO<sub>2</sub>排放的影响对城市规模非常敏感。对城区人口规模小于20万人的城市类型,工业集聚密度对污染减排的效果最为突出,而产业多样化发展特别是技术不相关的产业多样化发展,则明显不利于其污染减排。对城区人口规模50~100万的中等城市和20~50万的小城市类型,提升集聚密度、增加企业的地理邻近度和产业多样性水平特别是相关多样性水平,则有利于其污染排放强度的下降。对城区人口规模在100万以上的大城市而言,工业地理集聚和多样性水平的减排作用因集聚的“拥挤效应”而显著下降,企业地理邻近和相关多样性对污染排放的影响已不再显著。企业空间邻近和产业相关多样性对城市规模比较敏感,城市规模过小或过大,均不利于企业间的跨界合作和技术外溢。

(6) 治理工业SO<sub>2</sub>污染要坚持走集聚化道路,在提高集聚规模的同时,积极引导企业的集中布局,加强工业园区和开发区建设,提高集聚产业在关联基础上的多样性水平,避免非关联产业的空间集中。要加强区域联防联控,重视邻近区域的产业联系与环保合作,在联合监测与治理、信息共享、产业协同合作等方面协调一致,形成合力。

(7) 要依据不同区域、不同城市规模因地制宜制定差异化集聚措施。中西部内陆要进一步提高工业的区域集聚水平和企业空间邻近度,注意加强不同产业间的技术关联;东部要在提高产业关联的同时促进集聚产业的优化升级,降低因过度集聚形成的负面效应。小城市要重视招商引资,着力提升集聚密度,引导专业化产业和技术关联产业的共同发展;具有一定规模的中小城市则应在提升集聚密度的基础上,引导企业在空间上集中布局,促进技术关联产业的多样化集聚;大城市要着重治理集聚引起的“拥挤效应”。

本文对集聚空间和组织型式的划分以及对不同集聚型式与工业SO<sub>2</sub>排放关系的模型测度,在一定程度上丰富了集聚外部性理论,透视了集聚经济及其环境效应的多样性、复杂性以及空间异质性,提高了研究结论的准确性和决策制定的针对性。但是,受限于数据的可获取性以及缺乏更加精准的集聚空间组织型式测度方法,本文未充分考虑不同城市污染密集型产业规模和结构差异下不同集聚型式与不同工业污染物排放强度之间的



关系,也未能就集聚空间组织型式对工业污染排放密度的影响进行讨论,这有待今后在完善相关数据和模型方法的基础上作进一步研究。

## 参考文献(References)

- [1] He Canfei, Guo Qi. Agglomeration Economies, Technological Relatedness and Industrial Development in China. Beijing: Economic Science Press, 2016. [贺灿飞, 郭琪. 集聚经济、技术关联与中国产业发展. 北京: 经济科学出版社, 2016.]
- [2] Li Jiaming, Zhang Wenzhong, Sun Tieshan, et al. Characteristics of clustering and economic performance of urban agglomerations in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(4): 474-484. [李佳铭, 张文忠, 孙铁山, 等. 中国城市群集聚特征与经济绩效. 地理学报, 2014, 69(4): 474-484.]
- [3] Zheng D, Shi M. Multiple environmental policies and pollution haven hypothesis: Evidence from China's polluting industries. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 141(1): 295-304.
- [4] Liu S, Zhu Y, Du K. The impact of industrial agglomeration on industrial pollutant emission: Evidence from China under New Normal. *Clean Technologies & Environmental Policy*, 2017, 19(9): 2327-2334.
- [5] He Canfei, Zhou Yi. Studies on Environmental Economic Geography. Beijing: Science Press, 2016. [贺灿飞, 周沂. 环境经济地理研究. 北京: 科学出版社, 2016.]
- [6] Tian Guanghui, Miao Changhong, Hu Zhiqiang, et al. Environmental regulation, local protection and the spatial distribution of pollution-intensive industries in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(10): 1954-1969. [田光辉, 苗长虹, 胡志强, 等. 环境规制、地方保护与中国污染密集型产业布局. 地理学报, 2018, 73(10): 1954-1969.]
- [7] Cheng Yu, Ren Jianlan, Chen Yanbin, et al. Spatial evolution and driving mechanism of China's environmental regulation efficiency. *Geographical Research*, 2016, 35(1): 123-136. [程钰, 任建兰, 陈延斌, 等. 中国环境规制效率空间格局动态演变及其驱动机制. 地理研究, 2016, 35(1): 123-136.]
- [8] Gao Shuang, Wei Yehua, Chen Wen. Study on spatial-correlation between water pollution and industrial agglomeration in the developed region of China: A case study of Wuxi City. *Geographical Research*, 2011, 30(5): 902-912. [高爽, 魏也华, 陈雯. 发达地区制造业集聚和水污染的空间关联: 以无锡市区为例. 地理研究, 2011, 30(5): 902-912.]
- [9] Zhang Shanshan, Zhang Lei, Zhang Luocheng, et al. Coupling relationship between polluting industrial agglomeration and water environment pollution in southern Jiangsu of Taihu Lake Basin. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6): 954-962. [张姗姗, 张磊, 张落成, 等. 苏南太湖流域污染企业集聚与水环境污染空间耦合关系. 地理科学, 2018, 38(6): 954-962.]
- [10] Zhao Haixia, Jiang Xiaowei, Cui Jianxin. Shifting path of industrial pollution gravity centers and its driving mechanism in Pan-Yangtze River Delta. *Environmental Science*, 2014, 35(11): 4387-4394. [赵海霞, 蒋晓威, 崔建鑫. 泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究. 环境科学, 2014, 35(11): 4387-4394.]
- [11] Shen N, Zhao Y, Wang Q. Diversified agglomeration, specialized agglomeration, and emission reduction effect: A nonlinear test based on Chinese city data. *Sustainability*, 2018, 10(6): 2002-2024.
- [12] Xie Ronghui, Yuan Yijun. Research on the pollution abatement effect of industrial agglomeration's evolution. *Economic Review*, 2016(2): 18-28. [谢荣辉, 原毅军. 产业集聚动态演化的污染减排效应研究. 经济评论, 2016(2): 18-28.]
- [13] Verhoef E T, Nijkamp P. Externalities in urban sustainability environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city. *Ecological Economics*, 2002, 40(2): 157-179.
- [14] Wang S, Fang C, Wang Y, et al. Quantifying the relationship between urban development intensity and carbon dioxide emissions using a panel data analysis. *Ecological Indicators*, 2015, 49(2): 121-131.
- [15] Wang Bing, Nie Xin. Industrial agglomeration and environmental governance: The power or resistance. *China Industrial Economics*, 2016(12): 75-89. [王兵, 聂欣. 产业集聚与环境治理: 助力还是阻力. 中国工业经济, 2016(12): 75-89.]
- [16] Shi Minjun, Pang Rui, Zheng Dan, et al. Spatial differentiation and environmental consequences of industrial structural evolution of China's manufacture. *Economic Geography*, 2017, 37(10): 108-115. [石敏俊, 逢瑞, 郑丹, 等. 中国制造业产业结构演进的区域分异与环境效应. 经济地理, 2017, 37(10): 108-115.]
- [17] Otsuka A, Goto M, Sueyoshi T. Energy efficiency and agglomeration economies: The case of Japanese manufacturing industries. *Regional Science Policy & Practice*, 2014, 6(2): 195-212.
- [18] Effiong E L. On the urbanization-pollution nexus in Africa: A semiparametric analysis. *Quality & Quantity*, 2018, 52(1): 1-12.
- [19] Wang Y, Yan W, Ma D, et al. Carbon emissions and optimal scale of China's manufacturing agglomeration under heterogeneous environmental regulation. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 176(3): 140-150.

- [20] Liu Yaobin, Yuan Huaxi, Feng Yidai. Spatial spillover and threshold effects for emissions reduction of industrial agglomeration. *Journal of Applied Statistics and Management*, 2018, 37(2): 224-234. [刘耀彬, 袁华锡, 封亦代. 产业集聚减排效应的空间溢出与门槛特征. *数理统计与管理*, 2018, 37(2): 224-234.]
- [21] He C, Huang Z, Ye X. Spatial heterogeneity of economic development and industrial pollution in urban China. *Stochastic Environmental Research & Risk Assessment*, 2014, 28(4): 767-781.
- [22] Zhou Ruiibo, Shi Siwen. The interaction mechanism between industrial agglomeration and environmental pollution in China. *Soft Science*, 2018, 32(2): 30-33. [周锐波, 石思文. 中国产业集聚与环境污染互动机制研究. *软科学*, 2018, 32(2): 30-33.]
- [23] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-378.
- [24] Shao Yihang, Li Zeyang. Spatial agglomeration, firm dynamics and economic growth: An analysis based on China's manufacturing industries. *China Industrial Economics*, 2017(2): 5-23. [邵宜航, 李泽扬. 空间集聚、企业动态与经济增长: 基于中国制造业的分析. *中国工业经济*, 2017(2): 5-23.]
- [25] Guo Q, He C, Li D. Entrepreneurship in China: The role of localisation and urbanisation economies. *Urban Studies*, 2015, 53(12): 2584-2606.
- [26] Sun Xiaohua, Cai Lingling. Related diversification, unrelated diversification and regional economic development: Evidences from panel data on China's 282 prefecture-level city. *China Industrial Economics*, 2012(6): 5-17. [孙晓华, 柴玲玲. 相关多样化、无关多样化与地区经济发展: 基于中国282个地级市面板数据的实证研究. *中国工业经济*, 2012(6): 5-17.]
- [27] He Canfei, Dong Yao, Zhou Yi. Evolution of export product space in China: Path-dependent or path-breaking? *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(6): 970-983. [贺灿飞, 董瑶, 周沂. 中国对外贸易产品空间路径演化. *地理学报*, 2016, 71(6): 970-983.]
- [28] He Canfei, Jin Lulu, Liu Ying. How does multi-proximity affect the evolution of export product space in China? *Geographical Research*, 2017, 36(9): 1613-1626. [贺灿飞, 金璐璐, 刘颖. 多维邻近性对中国出口产品空间演化的影响. *地理研究*, 2017, 36(9): 1613-1626.]
- [29] Lin Lan. Innovation dynamics and spatial response of heavy-chemical industry: Rethinking the cluster innovation. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1400-1415. [林兰. 重化工业集群式创新机制与空间响应研究. *地理学报*, 2016, 71(8): 1400-1415.]
- [30] Marshall A. *Principles of Economics*. London: MacMillan, 1920.
- [31] Jacobs J. *The Economy of Cities*. New York: Vintage Books, 1969.
- [32] Boschma R, Iammarino S. Related variety, trade linkages, and regional growth in Italy. *Economic Geography*, 2009, 85(3): 289-311.
- [33] Frenken K, Oort F, Verburg T. Related variety, unrelated variety and regional economic growth. *Regional Studies*, 2007, 41(5): 685-697.
- [34] Li Lin, Xiong Xuemei. Dynamic effect of geographic proximity on cluster innovation in perspective of industrial cluster's life cycle: A case study of Chinese automobile industry. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 2017-2030. [李琳, 熊雪梅. 产业集群生命周期视角下的地理邻近对集群创新的动态影响: 基于对我国汽车产业集群的实证. *地理研究*, 2012, 31(11): 2017-2030.]
- [35] Luan Guiqin, Tian Fang, Meng Renzhen. The chosen of the cities' scale in China based on the concentration economy. *On Economic Problems*, 2008(11): 44-47. [栾贵勤, 田芳, 孟仁振. 集聚经济条件下的中国城市规模选择. *经济问题*, 2008(11): 44-47.]
- [36] Henderson V, Kuncoro A, Turner M. Industrial development of cities. *Political Economy*, 1995, 103(5): 1067-1090.
- [37] Yang Renfa. Whether industrial agglomeration can reduce environmental pollution or not. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(2): 23-29. [杨仁发. 产业集聚能否改善中国环境污染. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(2): 23-29.]
- [38] Pan Wenqing, Li Zinai, Liu Qiang. Inter-industry Technology Spillover Effects in China: Evidence from 35 Industry Sectors. *Economic Research Journal*, 2011(7): 18-29. [潘文卿, 李子奈, 刘强. 中国产业间的技术溢出效应: 基于35个工业部门的经验研究. *经济研究*, 2011(7): 18-29.]
- [39] Wang Xiaoshuo, Yu Chaoyi. Impact of spatial agglomeration on industrial pollution emissions intensity in China. *China Environmental Science*, 2017, 37(4): 1562-1570. [王晓硕, 宇超逸. 空间集聚对中国工业污染排放强度的影响. *中国环境科学*, 2017, 37(4): 1562-1570.]

## Impact of industrial spatial and organizational agglomeration patterns on industrial SO<sub>2</sub> emissions of prefecture-level cities in China

HU Zhiqiang<sup>1,2</sup>, MIAO Changhong<sup>1,2</sup>, YUAN Feng<sup>3</sup>

(1. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development & Collaborative Innovation Center on Yellow River Civilization of Henan Province, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 2. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China; 3. Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Agglomeration externality is an important mechanism for reducing industrial pollution emission. Different agglomeration patterns correspond to different pollution emission behaviors and effects. Based on the theory of agglomeration economies and the industrial data from 285 China's prefecture-level cities, this paper differentiates the agglomeration patterns into different types such as agglomeration density, geographical proximity, specialization, diversity, related diversity, and unrelated diversity from the spatial and organizational perspectives, and investigates the spatial patterns of industrial SO<sub>2</sub> pollution intensity and industrial agglomeration levels, and examines the effects of different agglomeration types on industrial SO<sub>2</sub> emissions by building econometric models. The main conclusions are as follows: (1) There exists the asymmetric spatial distribution between the industrial SO<sub>2</sub> pollution intensity and the industrial agglomeration levels. The pollution intensity is higher in the west, but lower in the east. The levels of agglomeration density, geographic proximity, diversity, related diversity and unrelated diversity are higher in the eastern and central regions, but lower in the western. (2) There is the spatial spillover effect of industrial agglomeration on industrial SO<sub>2</sub> pollution. The geographical agglomeration, diversity, and related diversity in neighboring regions have a negative impact on industrial pollution, while specialization has a positive effect. (3) Raising the agglomeration scale and guiding enterprises concentrated in industrial parks can help to reduce industrial SO<sub>2</sub> emissions, and promoting the diverse and related industrial agglomeration is conducive to pollution reduction, while unrelated industries agglomeration will increase pollution emissions. (4) The impact of industrial agglomeration on industrial SO<sub>2</sub> emissions has a notable spatial heterogeneity. Agglomeration density, geographic proximity, diversity and related diversity play a more significant role in pollution reduction in the central and western regions, while specialization and unrelated diversity are not conducive to pollution reduction in the eastern and central regions; Increasing agglomeration density and reducing diversity and unrelated diversity level are more beneficial to the small cities; Improving the geographic proximity, industrial diversity and related diversity levels are more helpful to the medium- and small-sized cities, but the reduction effect for the large cities goes obviously down because of the crowding effect. (5) To further reduce the intensity of industrial SO<sub>2</sub> emissions, it is necessary to take the road of agglomeration, persist on increasing agglomeration density, guide enterprises' centralized layout, improve the level of industrial diversity based on technology association, strengthen the joint prevention and control among neighboring regions, and focus on the industrial linkage and environmental protection cooperation between regions.

**Keywords:** agglomeration externality; pollution emission intensity; spatial and organizational agglomeration pattern; spatial spillover; industrial SO<sub>2</sub> emissions