

产业协同集聚的工业污染减排效应研究

——基于长三角城市群的实证分析

申伟宁^{1a, 1b} 柴泽阳² 张舒³¹

(1. 河北经贸大学 a. 公共管理学院;

b. 发展战略与规划研究室, 河北石家庄 050061;

2. 华东理工大学商学院, 上海 200237;

3. 上海师范大学全球城市研究院, 上海 200234)

【摘要】: 文章运用长三角 26 个城市 2004-2017 年的面板数据, 通过建立空间计量模型和面板门槛模型, 考察了协同集聚对工业二氧化硫排放强度的影响。结果发现: 协同集聚有利于工业二氧化硫强度的降低, 且协同集聚的污染减排作用能够通过经济网络产生空间溢出效应; 制造业集聚使得协同集聚的污染减排效应呈现逐渐削弱的非线性特征; 而生产性服务业集聚则有利于协同集聚的污染减排效应提升。要发挥协同集聚的污染减排效应: 首先, 应当继续加强长三角地区城市间的合作, 完善长三角地区群体型政策机制; 其次, 重视生产性服务业的集聚发展潜力, 挖掘生产性服务业企业间的关联作用, 以生产性服务为助力, 优化区域产业结构空间分布, 促进区域制造业稳步升级。

【关键词】: 产业协同集聚 工业污染 空间计量模型

【中图分类号】: F263; F424.1 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1007-5097 (2020) 08-0084-11

一、引言

产业集聚是在特定空间范围内所呈现出的产业发展规律, 同时也是助推中国经济发展的重要模式。但是, 在“集聚化”发展初期, 企业更多是为了获得“集聚租”而进行量上的“扎堆式”集聚^[1], 如此的集聚方式给中国带来了严重的环境污染问题。随着中国经济的发展, 跨行业的融合型经济发展模式逐渐走热, 产业集聚也不再是单一产业在地理空间上的不断汇聚, 而是伴随着相关产业的协同集聚。尤为突出的是生产性服务业高度聚集的地区, 其制造业也较为发达^[2]。从西方发达国家的发展轨迹来看, “工业型经济”向“服务型经济”的转变是其制造业竞争力进一步攀升的重要原因。因此, 制造业和生产性服务业的协同

作者简介: 申伟宁 (1985-), 男, 河北宁晋人, 助理研究员, 硕士生导师, 博士, 研究方向: 区域经济学; 柴泽阳 (1990-), 男, 山西晋城人, 博士研究生, 研究方向: 产业经济学; 张舒 (1990-), 女, 福建宁化人, 助理研究员, 博士, 通讯作者, 研究方向: 城市经济学。

基金项目: 国家社会科学基金青年项目“城市群竞合视域下大气污染的区域协同治理研究”(19CJL027)。

集聚（以下简称“协同集聚”）便成为优化产业布局、促进经济动力转换的重要手段和发展趋势。

现有的理论和实证研究指出，集聚经济存在两种相反的作用。一是具有正向外部效应的“集聚效应”；二是具有负向外部效应的“拥塞效应”。集聚效应对于经济增量和经济质量有积极影响，同时对区域环境质量的改善也有积极作用；而拥塞效应不仅阻碍经济质量的提高，还使得资源被过度消耗，污染排放增加。显然，协同集聚也应当存在集聚效应和拥塞效应。随着中国融合型经济的发展，协同集聚也在不断深化，而这种集聚对环境质量的影响如何？是否存在空间外溢效应？协同集聚应侧重制造业还是生产性服务业？回答这些问题，对于厘清当下协同集聚的发展趋势尤为必要。

二、文献回顾

（一）产业集聚与环境污染

国内外学者对产业集聚与环境污染的关系研究大多集中于工业集聚或制造业集聚方面，且基本上形成了以下三种观点：

第一，产业集聚加剧了环境污染。这种观点认为，产业集聚初期更多表现为“扎堆式”数量集聚，而这种简单、粗放的数量型集聚往往伴随着产能的扩张和能源消耗的上升，并且企业为了获取政策红利和巩固自身优势，也会继续扩张和消耗，产生恶性循环，导致环境污染加剧。国内外学者通过实证研究也发现了这种污染效应的存在。如 Verhoef(2002) 和 Cheng(2016) 分别利用欧盟 200 个城市和中国 285 个地级市进行了研究，均发现产业集聚规模与环境污染存在显著相关性^[3,4]。Liu 等（2016）利用中国 2003-2014 年的地级市数据，通过 Copeland-Taylor 模型框架也证实了工业集聚加剧了工业污染^[5]。国内的一些学者还通过将中国的“开发区热”比作一个自然实验，研究认为产业集聚政策导致了集聚区环境污染的加剧^[6]。

第二，产业集聚有利于缓解污染排放。这种观点认为，一方面，由产业集聚所带来的企业竞争行为，激发企业技术创新的动力，提高了企业创新效率，有利于缓解环境污染；另一方面，集聚规模的扩大使得污染治理也具备了规模效应，从而降低了环境治理成本，有助于环境质量的改善。Zeng and Zhao(2009) 利用两地区、两部门的数理模型证明了制造业集聚可以缓解“污染天堂”效应^[7]。雷海等(2017)从行业角度进行研究，发现中国绝大多数行业的集聚水平有助于改善环境质量^[8]。胡志强等(2018)通过研究中国 285 个地级市工业集聚和污染排放的空间特征发现：虽然东中西部地区的工业集聚水平和工业污染水平存在差异，但总体上工业集聚有利于降低污染排放^[9]。

第三，产业集聚与环境污染之间的关系是非线性或不确定的。产业集聚与环境污染呈倒 U 型关系得到了许多学者的支持，认为产业集聚初期的盲目扩张使得环境污染加剧，随着集聚水平的提高，产业集聚的外部性由负转正，环境质量会逐渐改善^[10,11,12]。此外，闫逢柱等（2011）认为产业集聚的污染减排效应是短期的，两者之间并不具有长期的因果关系^[13]。谢荣辉和原毅军（2016）从专业化集聚和多样化集聚出发，认为两种集聚对环境污染的影响作用是有差别的^[14]。

（二）协同集聚与环境污染

自 Ellison and Glaeser(1997) 从制造业视角提出“产业协同式集聚”概念以来，制造业和生产性服务业的协同集聚研究逐渐成为产业集聚研究的热点问题^[15]。协同集聚就是增强当前空间地理上不同产业之间的交流与合作，其目的在于推进制造业和服务业融合发展，强化现代服务业的服务功能，搭建现代制造业的服务平台，通过服务型制造业来实现产业转型升级。现有关于协同集聚的形成机制仍然是在马歇尔外部性，即劳动力、投入产出以及创新溢出三个关键因素的基础上展开的^[16]。在实证研究方面，协同集聚在空间上的经济效应则是区域经济与竞争力研究方面的重要议题^[17,18,19]。但近年来，随着国内环境问题的日益严峻以及制造业转型升级的压力倍增，学者们开始关注制造业和生产性服务业在协同集聚过程中对环境质量的影响，如周明生和王帅（2018）以京津冀地区为例，发现协同集聚加剧了二氧化硫污染排放^[20]。与之相反，蔡海亚和徐盈之（2018）、苗建军和郭红娇（2019）研究发现，协同集聚有利于缓解雾霾污染、降低工业废水排放^[2,21]。此外，黄娟和汪明进（2017）、陆凤芝和

杨浩昌（2020）的研究显示，协同集聚与环境污染呈倒 U 型关系^[22,23]，即短期内协同集聚阻碍了环境质量改善，而长期看又会对环境质量改善起到助推作用。

纵观现有文献，学者们对产业集聚特别是制造业集聚对环境污染的影响进行了大量研究，但对协同集聚与环境污染的关系仍缺乏关注。事实上，随着中国经济进入“新常态”，制造业面临国内要素成本上升以及全球价值链“低端封锁”的双重压力，与生产性服务业的协同发展被认为是推动制造业转型升级的重要途径。“两业”的协同发展必然离不开协同集聚问题，而集聚问题又离不开环境问题。因此，对协同集聚的环境效应进行研究尤为必要。作为中国经济发展的最大增长极，本文以长三角城市群为研究对象，深入分析了协同集聚的环境效应。与现有协同集聚与环境污染的关系研究相比，本文的边际贡献如下：第一，鉴于长三角地区日益紧密的一体化关系，集聚经济存在相当程度的空间相关性，对此本文在空间计量模型的框架下考察了协同集聚的空间溢出效应，同时还利用不同的空间矩阵来识别其空间关联渠道，而现有文献对协同集聚的空间关联性考察相对不足；第二，本文在考察协同集聚的空间溢出过程中，侧重于使用经济层面的空间矩阵来识别空间溢出渠道，因为与地理邻近相比，协同集聚的空间溢出更多体现于物流、人流等经济因素层面^[24]；第三，在非线性的考察方面，现有文献侧重于关注协同集聚本身，而忽略了组成协同集聚的制造业集聚和生产性服务业集聚，对此本文利用门槛模型来捕捉协同发展过程中制造业集聚和生产性服务业集聚对协同集聚的非线性影响。

三、理论分析

由于生产性服务业对制造业具有空间依附性^[25]，协同集聚在初级阶段就主要表现为制造业集聚程度高而生产性服务业集聚不足。因此，协同集聚对环境污染的影响在短期内主要是制造业集聚占主导地位。

从外部性角度来看，马歇尔“产业区”理论认为，制造业集聚的正外部性主要表现在厚劳动力市场、企业间投入产出关联以及知识外溢对经济效率的促进，进而降低了单位产值的污染排放。具体而言，厚劳动力市场集聚了大量的熟练劳动力和专业化人才，降低了企业与劳动者之间的匹配成本，既有助于企业提高生产效率，又使得企业有更多能力去进行研发，改进生产工艺，降低能耗排放；制造业集聚为上下游企业合作提供了机会，地理邻近降低了运输成本和污染排放，产业邻近形成的“链状经济”促使整个产业链实现节能减排；知识溢出效应促进了集群创新网络的发展和集群经济的增长，是集群创新产出和生产率提高的源泉^[26]，将有利于改善企业的能源效率和减排效率，降低环境污染程度。然而，制造业集聚对环境也存在明显负外部性。事实上，企业形成集聚的原因并非马歇尔所述的三大正外部性，而是集聚区所带来的“政策租”^[1]。集聚区依靠政策优势吸引着大量企业，同时地方政府出于经济增长的需要，对进入企业也不加甄别，致使大量低效率、高污染、高耗能企业形成集聚，从而对地区环境产生负面影响。此外，由企业集聚带来的人口规模上升，也在一定程度上刺激了能源消耗，直接影响地区环境承载能力。因此，在以制造业为主导的初级协同阶段，协同集聚对环境污染的影响取决于集聚正、负外部性的相对大小。

随着经济发展和制造业的不断升级，一些生产性服务业逐渐从制造业内部剥离（如设计、营销等），同时也吸引大量知识密集型服务业聚集于此（如法律、财务、商务服务等），协同集聚转为以生产性服务业为主导的高级阶段。生产性服务业集聚通过规模效应和知识溢出效应促使制造业向高端化、清洁化方向发展，降低污染排放。一方面，具有高附加值、高技术含量、低能耗、低污染特征的生产性服务业集聚，可以促使制造业在生产过程中使用更多的清洁外包服务，既使得制造业能够更加专注于核心产品研发，又极大降低了生产过程中的治理成本，有利于环境污染治理^[23]；另一方面，生产性服务业中知识密集型和技术密集型行业聚集了大量专业技术人员，增加了技术人员之间合作交流的机会，由此形成的知识技术密集型交流网有利于激发创新思维，形成集体学习和创新环境^[27]，促使先进技术和前沿理念被嵌入制造环节，生产效率全面提升^[28]，污染排放大大降低。

综上所述，本文可以得到两个重要推断：

第一，协同集聚对环境污染的影响存在短期与长期效应。短期内，协同集聚以制造业为主导，对环境污染的影响具有不确定性；但长期来看，协同集聚升级为以生产性服务业为主导，有利于改善环境质量。这一分析结果与现有文献指出的集聚与污

染的倒 U 型关系相符合。然而，考虑到本文的研究区域为长三角城市群，制造业与生产性服务业都比较发达^[24]，两者的协同集聚水平处于生产性服务业主导的高级阶段，污染减排效应更强，倒 U 型关系可能不太明显。此外，本文还通过对长三角地区的产业协同集聚与环境污染进行非参数回归来表现两者间非线性特征，结果如图 1 所示。

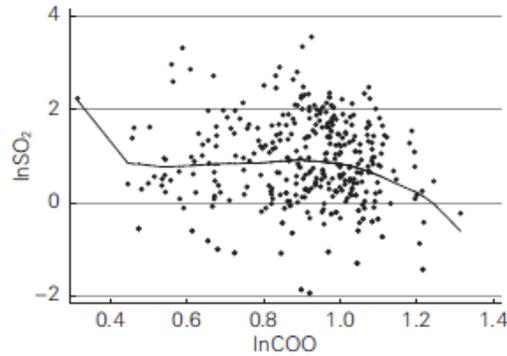


图 1 长三角产业协同集聚与工业 SO₂ 强度的非参数估计

可以发现两者之间并不具有明显倒 U 型关系特征，协同集聚对污染排放强度的影响更有可能表现为抑制作用。据此，本文提出假说 1。

H1：产业发展程度较高的地区，协同集聚有利于降低污染排放强度。

第二，集聚过程中，由不同产业主导的协同集聚对污染排放强度存在差异性。具体而言，当协同集聚由制造业主导时，由于制造业集聚对环境污染的影响既存在正外部性，又存在负外部性，因此协同集聚的污染减排效应也随之不确定，取决于正、负外部性的相对大小；当协同集聚由生产性服务业主导时，由于生产性服务业具有清洁化、知识密集和技术密集等特征，同时也有助于制造业转型升级，因此协同集聚的污染减排效应较强。据此，本文提出假说 2。

H2：制造业主导的协同集聚对污染排放强度的影响不确定，而生产性服务业主导的协同集聚有利于强化污染减排效应。

四、模型构建与数据说明

（一）模型设立与识别

1. 模型设立

环境污染存在空间溢出效应，已在学术界成为不争的事实。此外，某一地区的环境污染水平在受到本地区发展因素影响的同时，还有可能受到来自其他地区发展因素的影响。然而，经典的回归模型并未考虑样本的空间影响因素。虽然空间杜宾模型综合考虑了因变量和自变量的空间影响因素，但该模型容易存在内生性问题。因此，为了考虑模型的空间影响因素，同时避免内生性问题，本文设定了只包含自变量空间滞后的回归模型：

$$\ln SO_{2it} = \beta_1 \ln COO_{it} + \beta_2 (\ln COO_{it})^2 + \beta_3 \ln X_{it} + \delta_1 W \ln COO_{it} + \delta_2 W \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， SO_2 表示工业 SO_2 排放强度； COO 表示协同集聚水平； X 表示其他控制变量； \ln 表示对各变量进行对数化运算。为了验证 H1，在式（1）中加入了协同集聚的二次项； i 表示观测样本地区； t 表示年份； ε_{it} 表示随机扰动项， β_1 、 β_2 和 β_3 表示各变量的待估计参数； δ_1 和 δ_2 表示各变量的空间滞后系数； W 表示空间权重矩阵。

实证分析中，本文主要以城市经济视角设定了三种空间权重矩阵，分别为物流矩阵 W_1 、人口流动矩阵 W_2 和经济引力矩阵 W_3 。电子商务的兴起使得物流行业迎来了发展的“春天”，城市间的物流数据是反映城市间经济影响力的重要指标之一，本文抓取了中国物通网长三角城市之间的物流专线信息，并根据城市间物流专线数量设定了物流空间权重矩阵；城市间人口流动反映了城市之间经济沟通活力，本文参考了北京大学地理信息系统软件实验室整理社交网络定位数据^[29]，选取了长三角城市群的相关数据构建了人口流动矩阵；传统的引力模型是研究地区间经济关系的基础模型，本文基于此模型构建了经济引力矩阵。

此外，为了检验 H2，本文还采用面板门槛模型来捕捉协同集聚分别在制造业主导和生产性服务业主导下对工业 SO_2 排放强度的非线性影响特征。模型设定如下：

$$\begin{aligned} \ln SO_{2it} = & C + \varphi_1 \ln COO_{it} \times I(T < \lambda_1) + \\ & \varphi_2 \ln COO_{it} \times I(T \geq \lambda_1) + \\ & \alpha_2 \ln X_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

其中， C 为常数项； $I(\cdot)$ 为指示函数；指示函数中的 T 为门槛变量； λ 为待估算的门槛值。本文所使用的门槛变量有协同集聚变量、制造业集聚变量以及生产性服务业集聚变量。式（2）为单门槛模型，相应的还有双门槛模型以及三门槛模型，具体模型形式本文不再赘述。若门槛检验显示不存在门槛，则非线性模型退化为线性模型。

2. 模型选择

在空间计量模型中，选择最优的空间权重矩阵尤为重要。空间权重矩阵分为行标准化矩阵和非行标准化矩阵，这与网络分析中的局部平均模型和局部加总模型相对应。两种模型分别对应不同的政策含义，局部加总模型强调刺激中心城市从而带动周边地区发展的溢出型政策；局部平均模型则强调群体型发展政策。

本文参考 Liu 等（2014）提出的 J 检验对两种空间权重矩阵下的模型进行筛选^[30]。具体检验方法如下：

$$H_1: Y_1 = \delta_1 X + \delta_2 NX + \varepsilon_1 \quad (3)$$

$$H_2: Y_2 = \delta_1 X + \delta_2 N^*X + \varepsilon_2 \quad (4)$$

其中， H_1 为局部加总模型； H_2 为局部平均模型； Y 为因变量； X 为自变量； N 为非行标准化矩阵； N^* 为行标准化矩阵； ε 为随机干扰项。为检验选择何种模型，首先需要构造一个扩展模型，形式如下：

$$Y_1 = \alpha_1 Y_{H_2} + \delta_1 X + \delta_2 NX + \varepsilon_1 \quad (5)$$

其中， Y_{H_2} 是模型 H_2 中被解释变量的估计值。J 检验的原假设为 $\alpha_1=0$ ，若无法拒绝原假设，则认为局部加总模型 H_1 更为合适；反之，局部平均模型更为合适。此外，本文还通过对比 Wald 检验值、对数似然函数值、AIC 以及 BIC 值对 J 检验进行补充与验证。

（二）变量说明

1. 被解释变量

工业二氧化硫强度（SO₂）。工业污染是长三角地区污染物的主要来源之一，常用的工业污染指标有工业废水、废气以及固体废弃物等，既有研究也多采用污染物综合指标来衡量环境污染情况。本文主要以工业污染为研究对象，考虑数据的可得性以及综合指标无法反映特定工业污染的情况，本文采用工业二氧化硫排放强度来替代工业污染指标。

2. 核心解释变量

协同集聚（COO）。在协同集聚水平的测度方面，国内学者大多基于区位熵来构建协同集聚指标^[31, 32]。鉴于此，本文首先根据张虎等（2017）的方法^[24]，将交通运输、仓储和邮政业、信息传输、计算机服务和软件业、金融业、租赁和商务服务业、科学研究和技术服务业合并为生产性服务业；然后，采用区位熵来衡量长三角 26 个城市的制造业集聚（MAN）和生产性服务业集聚（SER）；最后，借鉴其计算方法，测量各城市的协同集聚水平，计算公式为：

$$COO = \frac{\left(1 - \frac{|MAN - SER|}{MAN + SER}\right)}{|MAN + SER|} \quad (6)$$

3. 控制变量

经济增长水平（PGDP）。城市经济增长是导致环境污染的因素，环境库兹涅茨曲线理论认为地区经济增长与污染物排放存在倒U型关系。本文利用实际人均地区生产总值作为城市经济增长水平的衡量指标。

外商直接投资（FDI）。污染天堂理论认为，发达国家为了保护其环境质量，往往会将重污染产业转移至发展中国家，加剧了发展中国家的环境污染。本文采用实际利用外商直接投资额占生产总值的比重来表征外商直接投资水平。

人口数量（POP）。随着城市人口数量的增加，人们的工业品消费需求也逐渐上升，从而容易导致污染水平上升。本文利用年末常住人口数量来表示城市人口数量。

技术创新水平（TECH）。技术创新水平能够促进地区产业升级、提高企业生产效率，从而实现污染减量化。现有研究多采用专利数量来衡量地区技术创新水平，然而，专利本身的指代性过于宽泛，很多专利实际上与污染减排并无关联。对此，为了体现技术创新的污染减排属性，本文特别采用绿色专利授权量来衡量城市在环境保护方面的技术创新水平。

产业结构（S₂）。产业结构决定了地区产业类型，工业比重高的城市环境污染相对较为严重。本文利用第二产业生产总值的比重作为产业结构的衡量指标。

环境规制（ER）。根据“波特假说”，有效的环境规制能够倒逼企业技术创新，加速产业绿色化改革进程，从而实现产业低污染、低排放。现有文献对环境规制的衡量主要有两类，一是基于污染排放数据构建单一或综合指标来表征，但该指标主要反映环境污染情况，可能与因变量存在共线性；二是使用环境污染治理投资额来表征，但城市层面的相关数据在 2005 年后不再统计。因此，以上两种指标都不适用本文。对此，本文在张华（2016）^[33]研究的基础上，从废物处理和利用的角度通过熵值法构建了环境规制综合指标，相关的废物处理数据有城镇污水集中处理率、工业二氧化硫去除率和工业固体废物综合利用率，其中的

缺失数据采用插值法补齐。

（三）数据来源与处理

为了确保实证数据的完备性，本文将研究年份划定在 2004-2017 年，相关城市经济数据来源于 2005-2018 年《中国城市统计年鉴》；绿色专利数据是根据世界知识产权组织（World Intellectual Property Organization, WIPO）定义的绿色技术专利分类进行数据整理和筛选，通过国家知识产权局检索统计而得；空间权重矩阵数据来源于中国物通网、北京大学地理信息系统软件实验室以及百度地图。文中的所有经济数据都通过居民消费价格指数进行了平减计算，得出了以 2004 年为基期的实际经济数据，其中 FDI 数据还利用年均汇率转换为人民币计价。

五、实证结果分析

（一）正态性检验

空间计量模型多采用最大似然估计法（MLE），但使用 MLE 需要扰动项的条件概率分布进行正态性假设。为此，在模型估计前，本文首先对工业 SO_2 强度的对数值进行了正态性检验。

本文对被解释变量进行的四种正态性检验均无法拒绝服从正态分布的原假设，因此，被解释变量工业 SO_2 强度的对数值满足正态分布特征，可以通过 MLE 来估计模型。

（二）协同集聚的空间模型分析

利用最大似然估计法，本文基于式（1）首先考察了长三角协同集聚对工业 SO_2 排放强度的非线性影响。协同集聚的二次项系数在三种空间矩阵下均未通过显著性检验，无法判断协同集聚与工业 SO_2 强度之间存在 U 型或倒 U 型关系。说明在控制其他因素不变的条件下，长三角地区产业协同集聚对工业 SO_2 强度的影响是单调的，但具体是加剧还是减轻了环境污染仍需进一步检验。对此，本文剔除了协同集聚的二次项，重新对式（1）进行了回归。

列出了三种空间矩阵下局部平均模型和局部加总模型的回归结果，两种模型的回归结果符号大体一致，但系数大小存在明显差别。J 检验结果显示 J 统计量显著，拒绝原假设，说明局部平均模型比局部加总模型更为适合。同时，在局部平均模型中，Wald 统计量较大且显著，对数似然值更大，AIC 和 BIC 值相对较小，也说明了局部平均模型的估计结果较优。因此，本文选择局部平均模型进行结果分析。这一选择结果，说明了群体型的经济发展政策能够在长三角城市群中发挥较好的环境治理作用，这也正与近年来倡导的长三角一体化发展战略遥相呼应。

局部平均模型回归结果显示，在三种经济型空间权重矩阵下，协同集聚的系数均显著为负值，说明长三角城市产业协同集聚水平的上升有利于工业 SO_2 强度的降低，这一结果验证了前文的 H1。本文认为，长三角城市群作为中国经济增长极之一，产业结构具有明显的高级化和高度化特征，制造业一定程度上实现了转型升级。同时，作为东部沿海地区，长三角集聚了大量知识密集、技术密集型的生产性服务业，为制造业提供了支援性作用。生产专业化与服务专业化的互动发展，便利了各种高端要素流动和显性技术交流，有利于促进各自产业的技术改进和升级，从而提高了生产效率，降低了污染排放强度。值得注意的是，协同集聚空间滞后项的系数也显著为负，说明协同集聚的污染减排效应能够通过长三角城市的经济网络产生空间外溢，且物流网络和人口流动网络中的外溢效应较大。受区域一体化战略和地区间产业关联的影响，交通系统在长三角地区较为发达，不仅使得生产性服务业与制造业形成互动合作，而且也便利了制造业在地区间的生产关联以及专业技术人员的跨区合作交流，强化了城市之间的经济联系，有利于关联城市的协同集聚向高级阶段发展，从而对环境状况起到优化效应。

控制变量中，经济增长水平的系数显著为负，其空间滞后项的系数也为负，但在 W_1 中未通过显著性检验。整体来看，长三角地区的经济增长有利于降低工业 SO_2 强度，改善区域环境质量，且地区间的经济交流也对区域环境质量的改善起到了积极作用。外商直接投资的系数显著为正，其空间滞后项的系数在 W_1 和 W_2 下显著为负且绝对值较大，说明虽然长三角地区表现出一定污染特征，但是由外资所带来的先进管理理念、先进生产技术存在空间溢出作用，进而通过经济网络对周边地区形成了污染减排效应，而且外资的减排溢出效应明显强于其污染效应。因此，总体来看，长三角地区外商投资对该区域工业污染强度有明显抑制作用。人口数量系数显著为负，其空间滞后项系数在 W_1 下显著为负，但在 W_2 和 W_3 下不显著，说明长三角地区的人口规模并不是造成污染的主要原因。绿色技术创新的系数在 W_1 和 W_2 下显著为负，在 W_3 中不显著，但其空间滞后项均不显著，说明整体而言，长三角地区的绿色技术创新降低了本地工业污染强度，但并未形成技术溢出效应，地区之间的“绿色知识”在经济网络中交流不足，相互学习不充分。产业结构及其空间滞后项系数均显著为正，说明第二产业产值的高比重仍然是长三角地区工业污染的重要因素，产业结构优化与升级仍旧是长三角地区的重要任务。环境规制系数显著为负，说明规制力度的提升倒逼企业进行污染减排，对本地区环境的改善有促进作用，同时其空间滞后项多为不显著，也表明环境规制并未对周边地区形成示范效应，未能促进周边地区环境质量的改善，规制功能有待进一步挖掘。

（三）进一步的非线性特征分析

为了进一步检验本文提出的假说，本文利用式（2）的面板门槛模型进行回归。

模型 A 以协同集聚为门槛变量检验了其在自身门槛特征下对工业 SO_2 强度的非线性影响。门槛检验结果显示，协同集聚并不存在门槛特征，即协同集聚对工业 SO_2 强度的影响是线性的。退化为线性模型的回归结果显示，协同集聚的系数显著为负，该结果与前文一致，支撑了 $H1$ 。

模型 B 和 C 对 $H2$ 进行了检验。模型 B 固定了生产性服务业集聚，同时以制造业集聚 $\ln MAN$ 为门槛变量，检验了制造业主导下的协同集聚对工业 SO_2 强度的非线性影响；模型 C 固定了制造业集聚，同时以生产性服务业集聚 $\ln SER$ 为门槛变量，检验了生产性服务业主导下的协同集聚对工业 SO_2 强度的非线性影响。检验结果显示，模型 B 中制造业集聚存在双门槛特征。在控制生产性服务业集聚的情况下，当制造业集聚水平较低时，协同集聚的系数显著，为 -1.653；当制造业集聚水平介于第一门槛值与第二门槛值之间时，协同集聚的系数显著，为 -1.507；当制造业集聚水平跨越第二门槛值后，协同集聚的系数显著，为 -1.345。该结果说明，制造业主导的协同集聚会对环境产生较强的负外部性，导致协同集聚的污染减排效应减弱。模型 C 中生产性服务业集聚存在单门槛特征。在控制制造业集聚的情况下，当生产性服务业集聚低于门槛值时，协同集聚的系数显著，为 -0.821；当生产性服务业集聚高于门槛值时，协同集聚的系数显著，为 -1.165。该结果说明，以生产性服务业为主导的协同集聚有利于强化污染减排效应。这一结果基本支持了 $H2$ 。

（四）稳健性检验

为了确保实证模型的稳定性，本文对空间计量模型和面板门槛模型都进行了稳健性检验。鉴于被解释变量的衡量指标较多，且差异较大，本文选择了工业废水和工业烟粉尘排放强度指标（ $\ln FS_GDP$ 和 $\ln FC_GDP$ ）来替代被解释变量，进行稳健性检验。

在空间计量模型的稳健性检验方面，J 检验显示局部平均模型更为合适，Wald 及对数似然值等也显示局部平均模型的估计结果较为理想。然而，不同污染物的估计结果存在较大差异。就工业废水污染物而言，其估计系数与前文工业 SO_2 的模型估计系数符号一致，表明协同集聚降低了工业废水排放强度，且能够通过经济网络产生空间外溢；就工业烟粉尘而言，其协同集聚系数为正，表明协同集聚加剧了工业烟粉尘排放强度，且对经济关联区域也产生了负外部性。在面板门槛模型的稳健性检验中，两种污染物的估计结果也存在差异。就工业废水污染物而言，其门槛检验结果、模型估计结果与工业 SO_2 的模型估计结果一致。而工业烟粉尘污染物的估计结果与前文存在较大区别，其估计结果显示，协同集聚本身虽不存在门槛，但却加剧了工业烟粉尘的排放强度；制造业集聚和生产性服务业集聚均存在单门槛特征，且协同集聚对工业烟粉尘排放强度的刺激作用随着制造业集

聚和生产性服务业集聚程度的提升而减弱。

总体而言，工业废水排放的估计结果与前文一致，表明了本文估计结果具有一定的稳定性。但是，工业烟粉尘排放的估计结果与前文存在差异，说明了协同集聚的污染减排效应存在污染物差异性。本文认为产生这一差异的原因有两方面：一是协同集聚对环境存在正负外部性之别，对环境污染的影响较为复杂，对不同的污染物也存在一定的减排差异性；二是模型估计过程中为了统一工业烟粉尘排放量的统计口径，缩短了样本年份，也会对模型估计产生一定的影响。

六、结论与启示

本文对产业协同集聚的污染减排效应进行了理论分析，基于长三角城市群 26 个城市 2004-2017 年的面板数据，使用空间计量模型和面板门槛模型研究了协同集聚对工业 SO₂ 强度的影响。研究结论如下：(1) 模型选择中，局部平均模型的检验与估计较优，说明群体型的经济与环境政策更有利于长三角地区的环境治理。(2) 协同集聚自身并不存在门槛效应，且提高协同集聚有利于工业 SO₂ 强度的降低，而且协同集聚的这种污染减排作用能够通过经济网络产生空间溢出效应。(3) 制造业集聚主导的协同集聚导致协同集聚的污染减排效应呈现逐渐削弱的非线性特征；生产性服务业主导的协同集聚有利于强化污染减排效应。(4) 其他影响因素显示，外商投资加剧了污染排放，呈现污染天堂现象；绿色技术创新的污染减排效应较弱，且未形成空间溢出效应；第二产业比重过高加剧了工业污染排放；环境规制能够显著降低本地污染，但对经济关联地区的溢出效应和示范效应有待提高。

本文研究结论蕴含的政策启示如下：

第一，深化改进长三角群体型政策，提高区域一体化水平。本文研究结论表明，群体型的经济与环境政策更利于长三角地区的环境污染治理，协同集聚的空间溢出效应也有利于强化群体型政策效果。因此，政府应当继续加强长三角地区城市间的合作，完善长三角地区群体型政策机制，形成区域产业协同体系、创新协同体系、环境协同体系和民生协同体系；同时，应充分利用城市经济的空间溢出效应，强化中心城市对周边城市的带动作用，既要“强强联合”，也要“强弱搭配”。

第二，推动制造业与生产性服务业的融合，加快产业结构优化与升级的步伐。本文研究结论表明，协同集聚能够显著抑制工业污染强度，且生产性服务业集聚更有利于提高协同集聚的减排效应。因此，政府须坚持“双轮驱动”发展战略，并依靠市场的资源配置功能，促进制造业与生产性服务业的相互渗透与融合，拓展延伸制造业企业的服务功能，强化生产性服务业的辅助功能；在注重协同集聚发展的同时，尤其应当重视生产性服务业的集聚发展潜力，挖掘生产性服务业企业间的关联作用，促进知识与经验的交流与传播，以生产性服务为助力，优化区域产业结构空间分布，促进区域制造业稳步升级。

第三，过去长三角的一体化往往聚焦于交通一体化，而要实现更高质量的一体化需要在产业发展、知识交流、环境制度等方面形成多维度一体化。产业发展方面要利用上海、合肥两个国家级科学中心，加快制造业转型升级步伐，推动工业绿色化、智能化，引进外资时应“弃量从质”，利用高质量的外资促进本地管理效率提升和技术进步；知识交流方面要以核心、次核心和外围城市为创新网络，进一步加强地区之间的“绿色知识”交流，促进绿色技术形成空间溢出效应，最大限度地发挥绿色技术创新的污染减排效应；环境制度方面应加强区域环境的协同治理，既要避免政策“一刀切”，也要构建监管惩治联动机制，促进企业提高环保意识，实现环境与经济双赢。

参考文献：

[1] 郑江淮, 高彦彦, 胡小文. 企业“扎推”、技术升级与经济绩效——开发区集聚效应的实证分析[J]. 经济研究, 2008(5): 33-46.

[2] 蔡海亚, 徐盈之. 产业协同集聚、贸易开放与雾霾污染[J]. 中国人口·资源与环境, 2018(6): 93-102.

-
- [3]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[J]. *Ecological Economics*, 2002, 40(2):157-179.
- [4]CHENG Z H. The Spatial Correlation and Interaction Between Manufacturing Agglomeration and Environmental Pollution[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 61(2):1024-1032.
- [5]LIU S, ZHU Y, DU K. The Impact of Industrial Agglomeration on Industrial Pollutant Emission: Evidence from China under New Normal[J]. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2017(19):2327-2334.
- [6]王兵, 聂欣. 产业集聚与环境治理: 助力还是阻力——来自开发区设立准自然实验的证据[J]. *中国工业经济*, 2016(2):75-89.
- [7]ZENG D Z, ZHAO L X. Pollution Havens and Industrial Agglomeration[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2009, 58(2):141-153.
- [8]雷海, 王皓, 朱明侠. 产业集聚、能源消耗与环境污染[J]. *工业技术经济*, 2017(9):58-64.
- [9]胡志强, 苗健铭, 苗长虹. 中国地市工业集聚与污染排放的空间特征及计量检验[J]. *地理科学*, 2018(2):168-176.
- [10]李筱乐. 市场化、工业集聚和环境污染的实证分析[J]. *统计研究*, 2014(8):39-45.
- [11]杨仁发. 产业集聚能否改善中国环境污染[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015(2):23-29.
- [12]黄娟, 汪明进. 科技创新、产业集聚与环境污染[J]. *山西财经大学学报*, 2016(4):50-61.
- [13]闫逢柱, 苏李, 乔娟. 产业集聚发展与环境污染关系的考察——来自中国制造业的证据[J]. *科学学研究*, 2011(1):79-83, 120.
- [14]谢荣辉, 原毅军. 产业集聚动态演化的污染减排效应研究——基于中国地级市面板数据的实证检验[J]. *经济评论*, 2016(2):18-28.
- [15]ELLISON G, GLAESER E L. Geographic Concentration in US Manufacturing Industries: A Dartboard Approach[J]. *Journal of Political Economy*, 1997, 105(5):889-927.
- [16]RYAN M. Shipping Costs, Information Costs, and the Sources of Industrial Coagglomeration[J]. *Journal of Regional Science*, 2013, 53(2):304-331.
- [17]胡艳, 朱文霞. 基于生产性服务业的产业协同集聚效应研究[J]. *产经评论*, 2015(2):5-14.
- [18]刘叶, 刘伯凡. 生产性服务业与制造业协同集聚对制造业效率的影响——基于中国城市群面板数据的实证研究[J]. *经济管理*, 2016(6):16-28.

-
- [19]豆建民,刘叶.生产性服务业与制造业协同集聚是否能促进经济增长——基于中国 285 个地级市的面板数据[J].现代财经(天津财经大学学报),2016(4):92-102.
- [20]周明生,王帅.产业集聚是导致区域环境污染的“凶手”吗?——来自京津冀地区的证据[J].经济体制改革,2018(5):185-190.
- [21]苗建军,郭红娇.产业协同集聚对环境污染的影响机制——基于长三角城市群面板数据的实证研究[J].管理现代化,2019(3):70-76.
- [22]黄娟,汪明进.制造业、生产性服务业共同集聚与污染排放——基于 285 个城市面板数据的实证分析[J].中国流通经济,2017(8):116-128.
- [23]陆凤芝,杨浩昌.产业协同集聚与环境污染治理:助力还是阻力[J].广东财经大学学报,2020(1):16-29.
- [24]张虎,韩爱华,杨青龙.中国制造业与生产性服务业协同集聚的空间效应分析[J].数量经济技术经济研究,2017(2):3-20.
- [25]陆剑宝.基于制造业集聚的生产性服务业协同效应研究[J].管理学报,2014,11(3):396-401.
- [26]FREEMAN C. Networks of Innovators:A Synthesis of Research Issues[J].Research Policy,1991,20(5):499-514.
- [27]KEEBLE D,NACHAM L. Why Do Business Service Firm Cluster?Small Consultancies,Clustering and Decentralization in London and Southern England[J].Transactions of the Institute of British Geographers,2002,27(1):67-90.
- [28]陈菲,周钰玲,刘艳敏.中国生产性服务业对制造业技术效率的溢出效应研究[J],产经评论,2017(2):20-33.
- [29]LIU Y,SUI Z,KANG C,et al.Uncovering Patterns of Inter-Urban Trip and Spatial Interaction from Social Media Check-In Data[J/OL].Plos One,2014,9(1).DOI:10.1371/journal.pone.0086026.
- [30]LIU X,PATACCHINI E,ZENOU Y. Endogenous Peer Effects:Local Aggregate of Local Average[J]. Journal of Economic Behavior&Organization,2014,103(7):39-59.
- [31]陈晓峰,陈昭锋.生产性服务业与制造业协同集聚的水平及效应——来自中国东部沿海地区的经验证据[J].财贸研究,2014(2):49-57.
- [32]吉亚辉,甘丽娟.中国城市生产性服务业与制造业协同集聚的测度及影响因素[J].中国科技论坛,2015(12):64-68,100.
- [33]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(7):74-90.