引用格式:张帆,邓宏兵,彭永樟.长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应与门槛特征[J].资源科学,2021,43(1): 57-68. [Zhang F, Deng H B, Peng Y Z. Spatial spillover effect and threshold characteristics of economic agglomeration on industrial wastewater discharge in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2021, 43(1): 57-68.] DOI: 10.18402/resci.2021.01.05

长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应与门槛特征

张帆^{1,2}, 邓宏兵¹, 彭永樟²

(1. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 武汉 470074;

2. 东华理工大学资源与环境经济研究中心, 南昌 330013)

摘要:经济集聚促进长江经济带区域经济发展的同时也会影响环境质量,为探讨经济集聚对工业废水排放的影响效应,本文基于2003—2017年长江经济带110个地级及以上城市面板数据,采用探索性空间数据分析、空间计量模型和门槛回归模型等方法,考察经济集聚与工业废水排放的空间分布与聚类状况,解析经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应并验证其门槛特征。结果表明:①经济集聚、工业废水排放总量和排放强度均存在显著的正向空间自相关性,长三角地区经济集聚与工业废水排放总量多呈现“高-高”型聚类,长江上游地区多为“低-低”型聚类,且保持较为稳定的态势;而工业废水排放强度的聚类状况则呈现出较大差异;②经济集聚存在明显的空间溢出效应且抑制工业废水排放的直接效应和间接效应均较为显著,集聚过程中经济发展水平、人口密度、二产占比和交通便利度提升会对工业废水排放总量产生正向影响。技术水平和对外开放对工业废水排放总量的影响不显著,但对排放强度却有抑制作用;③经济集聚对工业废水排放总量和排放强度的影响存在单一门槛,当经济集聚度跨越门槛值后对工业废水排放总量和排放强度的抑制作用均有所减弱。最后,建议在促进经济集聚过程中应充分关注空间因素及其独特特征,针对工业废水减排可同步实施区域内针对性治理和跨区域协同治理的策略举措,切实推进长江经济带高质量发展。

关键词:经济集聚;工业废水排放;空间溢出效应;门槛特征;空间杜宾模型;门槛回归模型;长江经济带

DOI :10.18402/resci.2021.01.05

1 引言

长江经济带横跨中国东中西三大区域11个省市,以21%的国土面积承载全国42.8%的人口数量和42.2%的经济总量,是新时期经济发展的重要战略支撑带。推动长江经济带高质量发展是关系国家发展全局的重大决策。当前,长江经济带已形成“一轴、两翼、三极、多点”的空间发展格局,经济集聚正以都市圈和城市群为载体快速提升区域水平。与此同时,伴随工业化和城市化的持续推

进,经济集聚式发展模式对长江经济带水环境质量也会造成一定程度上的影响。2019年5月29日,国家生态环境部发布的中国生态环境状况公报中显示,长江流域监测的509个水质断面中,Ⅳ类、Ⅴ类和劣Ⅴ类水质占比与上一年同期相比分别下降了2.3%、0.8%和1.2%。即便如此,由于长江沿岸重化工产量全国占比约为46%,集聚了全国43%的废水排放量,工业废水无序和过量排放导致的“化工围江”现象仍严重影响水环境状况。习近平总书记多

收稿日期:2019-12-30 修订日期:2020-12-20

基金项目:国家社会科学基金青年项目(19CTJ012);江西省社会科学规划项目(18YJ17);东华理工大学资源与环境经济研究中心开放基金项目(18JJ03)。

作者简介:张帆,男,江西南昌人,博士,讲师,研究方向为区域经济学。E-mail: hasbaning@163.com

通讯作者:邓宏兵,男,湖北五峰人,博士,教授,研究方向为区域经济学。E-mail: denghongbing_2005@126.com

次强调“推动长江经济带发展必须走生态优先、绿色发展之路,涉及长江的一切经济活动都要以不破坏生态环境为前提,共抓大保护、不搞大开发”,体现了党中央对长江经济带可持续发展的政策重心与实施决心。长江经济带所辖城市地理位置、自然条件、经济水平和禀赋基础差异较大且在某种程度上存在空间异质性和空间依赖性,在促进经济集聚与水环境质量协调发展中需要特别关注空间因素的作用。因此,深入研究经济集聚与工业废水排放的空间关系,解析经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应及其独特特征,探索工业废水减排的实现路径与实施举措,对推动长江经济带高质量发展和践行“既要绿水青山又要金山银山”理念来说具有重要的现实意义。

经济集聚是指生产、交易、消费等经济活动在某一地理范围内相对集中的现象^[1],是城市化的空间形态表现^[2],其对地区经济发展的促进作用已得到广泛认同^[3],但经济集聚也可能对污染排放产生影响^[4]。国内外学术界对此展开了诸多富有成效的研究,在探索经济集聚与污染排放的关系方面,Cicccone^[5]、Verhoef等^[6]、孟美侠等^[7]认为经济集聚的规模效应增加了地区资源和能源消耗,污染物过度排放导致空气、土壤和水资源严重污染,弱化了生态系统的自净能力致使地区环境质量恶化。程晨等^[8]、Zeng等^[9]、朱英明等^[10]、许和连等^[11]则认为经济集聚可以充分发挥知识溢出和共享经济优势,促进产业融合与结构调整,形成企业间竞争与互补、知识共享与成本分摊,通过技术效应和结构效应提高资源利用效率进而达到降污效果。汪聪聪等^[12]、黄庆华等^[13]认为经济集聚与污染排放之间关系复杂,在时间跨度、指标数据和范围样本设定等不同条件下会呈现非线性形态。在分析经济集聚对污染排放的驱动因素方面,多数研究表明经济集聚对污染排放的影响效果是多种因素的综合交织且正负向影响并存。其中,环境规制^[14]、城市规模^[15]、外部性^[16]、劳动生产率^[17]、技术水平、技术溢出、治污成本、经济结构、能源消耗^[18]、人口密度、产业转移^[19]和FDI^[20]等因素备受关注。

梳理上述文献发现,已有研究较少涉及经济集聚与污染排放之间的空间关系,且未在市域尺度上

深入探讨经济集聚对污染排放影响的空间溢出效应及其非线性特征。特别是对长江经济带这一特定区域的经济集聚状况与水环境质量而言,详细考察空间因素、溢出效应和典型特征恰恰是实施针对性和可操作性工业废水污染治理举措的关键,应当予以重视。基于此,本文以2003—2017年长江经济带经济集聚与工业废水排放数据为研究对象,运用探索性空间数据分析方法考察经济集聚与工业废水排放的空间分布和聚类特征,采用空间计量模型和门槛回归模型检验经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应及门槛特征,在“共抓大保护”背景下提出工业废水污染区域内针对性治理和跨区域协同治理策略方案,为促进长江经济带高质量和可持续发展提供决策参考。

2 研究方法、变量选取与数据来源

2.1 研究方法与模型构建

2.1.1 探索性空间数据分析

地理学第一定律描述,事物间在地理上存在普遍关联且与距离密切相关。采用探索性空间数据分析方法(ESDA)对长江经济带经济集聚与工业废水排放的空间依赖和聚类特征进行考察。全局空间自相关检验表达式为:

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

式中:Moran's I 为莫兰指数; n 代表样本总数; i 和 j 代表样本个体; w_{ij} 代表空间权重矩阵,设定为空间邻接矩阵; x 代表具体变量; $\bar{x}$ 为变量均值。全局Moran's I 的取值在-1~1之间,正值表示变量在空间上存在正相关性,值越大相关性越显著;负值表示变量在空间上存在负相关性,值越小则差异性越大;取值为0表示变量之间无相关性,空间上呈现随机分布。考虑到变量在局域范围内的非典型特征,还需要通过局域空间自相关进一步检验其在局部空间内的集聚状况,表达式为:

$$\text{Moran's } I = \left[(x_i - \bar{x}) / S^2 \right] \cdot \sum_{j \neq i} w_{ij} (x_j - \bar{x}), \quad (2)$$

$$S^2 = \left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right] / n$$

2.1.2 空间计量模型

York等^[21]以随机形式构建的STIRPAT模型反

2021年1月

映了环境压力及其主要影响因素之间的关系,其对数形式表达式为:

$$\ln I_{it} = \ln \alpha + b \ln P_{it} + c \ln A_{it} + d \ln T_{it} + \ln e_{it} \quad (3)$$

式中: I 、 P 、 A 、 T 分别代表环境压力、人口规模、富裕程度和技术水平; α 为常数项; b 、 c 、 d 分别为 P 、 A 、 T 的弹性系数; e 为随机扰动项。STIRPAT模型既允许将各系数作为参数来进行估计,又允许对各影响因素进行适当分解与拓展^[22]。为检验长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应,采用同时包含被解释变量和解释变量空间滞后项的空间杜宾模型(SDM)对STIRPAT模型进行拓展。SDM模型既能够分析变量对本地区产生的直接效应,也能够分析变量对邻近地区产生的间接效应^[23]。

为了便于直观理解,在拓展模型表达式中使用具体变量代码进行替换,被解释变量环境压力(I)用工业废水排放($Water$)表征;解释变量人口规模(P)、富裕程度(A)、技术水平(T)分别用人口密度($popd$)、经济发展水平($pgdp$)和技术水平(tec)表征;添加核心解释变量经济集聚度(agg)以及包括产业结构(sec)、对外开放($open$)和交通便利度($tran$)构成的控制变量集合(X)。拓展模型对数形式的表达式为:

$$\begin{aligned} \ln Water_{it} = & \beta_0 + \rho W \ln Water_{jt} + \beta_1 \ln agg_{it} + \beta_2 \ln popd_{it} + \\ & \beta_3 \ln pgdp_{it} + \beta_4 \ln tec_{it} + \beta_5 \sum \ln X_{it} + \\ & \theta_1 W \ln agg_{jt} + \theta_2 W \ln popd_{jt} + \theta_3 W \ln pgdp_{jt} + \\ & \theta_4 W \ln tec_{jt} + \theta_5 \sum W \ln X_{jt} + \varepsilon_{it} \quad (4) \end{aligned}$$

式中: W 为空间邻接矩阵; β_0 为不随个体变化的截距项; ρ 为被解释变量空间滞后项的弹性系数; $\beta_1 \sim \beta_5$ 为解释变量与控制变量的弹性系数; $\theta_1 \sim \theta_5$ 为解释变量与控制变量空间交互项的弹性系数; $\varepsilon \sim iid(0, \sigma^2)$ 为随机扰动项; i 和 j 为样本城市;下标 t 为所对应年份。

需要特别指出,LeSage等^[24]认为传统的点估计方法在估计空间模型时可能存在偏差,因此提出采用偏微分分解方法对空间模型进行处理和检验。

2.1.3 门槛回归模型

门槛效应是指当某一变量达到特定临界值后引发其他变量阶段性变化的现象,临界值即为门槛值^[25]。门槛变量既可以是模型中的解释变量也可以是其他独立变量^[26]。采用Hansen^[27]提出的门槛回归

模型检验经济集聚对工业废水排放影响的非线性门槛效应,并将经济集聚度(agg)设为门槛变量。模型的对数形式表达式为:

$$\begin{aligned} \ln Water_{it} = & (\beta_1 \ln agg_{it} + \beta_2 \ln popd_{it} + \beta_3 \ln pgdp_{it} + \\ & \beta_4 \ln tec_{it} + \beta_5 \sum \ln X_{it}) I(\ln agg_{it} \leq \gamma) + \\ & (\theta_1 \ln agg_{it} + \theta_2 \ln popd_{it} + \theta_3 \ln pgdp_{it} + \\ & \theta_4 \ln tec_{it} + \theta_5 \sum \ln X_{it}) I(\ln agg_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (5) \end{aligned}$$

式中: $I(\cdot)$ 为指示函数,取值1或0,当括号内条件满足时, $I(\cdot)=1$,反之为0; γ 为门槛变量对应的门槛值。

2.2 变量选取与指标说明

主要变量及其指标说明为:

(1)被解释变量:与以往研究中采用单一指标衡量水污染排放不同,本文采用工业废水排放总量($twater$)和工业废水排放强度($rwater$)两个指标来衡量被解释变量工业废水排放($Water$)以兼顾体量和效率两方面情况。

(2)解释变量:经济集聚度(agg)衡量的是某一地理区域内整体经济活动的集中程度,与产业集聚衡量单一产业的地理集中有所差别^[28]。借鉴邵帅等^[29]、董直庆等^[30]的做法,采用城市区划面积上非农产出衡量经济集聚程度;人口密度($popd$)能够较好地反映人口集聚程度,比采用人口绝对规模指标更具科学上的可比性^[22]。人口密度提升会加强市场效应,企业为获取本地市场效益则会加大生产从而加剧污染物排放。人口密度采用城市年末总人口与城市区划面积之比衡量;经济发展水平($pgdp$)处于不同阶段对污染排放会产生不同的影响,环境库兹涅茨曲线理论认为经济发展与污染排放之间存在倒U型关系,污染排放伴随经济发展水平的提高会出现先升后降的趋势。经济发展水平采用人均GDP衡量;技术水平(tec)会对污染排放产生直接影响,生产端节能技术和治理端减排技术水平提升可以提高资源利用效率、降低污染物排放从而减小环境损害。技术水平采用科技支出在财政支出中的占比衡量。

(3)控制变量:产业结构(sec)代表不同产业间比例关系,第二产业是工业废水排放的重要来源,调节和优化第二产业占比通常能起到改善水环境质量的效果。产业结构采用二产产值在GDP中占比衡量;对外开放($open$)可以通过“晕轮效应”促使

本地企业引入FDI中的环境友好型技术和环保理念实现污染减排,但也可能迫使高能耗和高污产业转移到环境规制较弱的地区使之成为“污染避难所”^[31]。对外开放采用FDI在GDP中的占比衡量;由于难以获取市域层面与水路运输直接相关的数据,借鉴陈旭等^[2]的做法,用交通便利度(*tran*)作为代理变量,采用人均道路面积衡量。便利的交通会增大交通运输频率和运输强度,使生产企业更加贴近市场从而刺激企业扩大生产规模,由此可能加剧工业废水排放。为消除异方差影响对上述变量取自然对数,变量说明与描述性统计如表1所示。

2.3 数据来源

本文研究样本由2003—2017年长江经济带110个地级及以上城市面板数据构成,样本选取标准依据华东师范大学城市发展研究院发布的《长江经济带城市协同发展能力指数(2018)》。原始数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》及长江经济带所辖各省、市统计年鉴,少量缺失数据采用插值法补齐。涉及价格的相关数据均以2003年作为基期进行CPI平减;FDI数据中的汇价来源于国家外汇管理局的公开数据;地理坐标数据来自国家基础地理信息1:400万地形数据库。

3 结果与分析

3.1 长江经济带经济集聚与工业废水排放的时空分布与集聚特征

检验经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应之前需要考察其各自空间关联性。表2显示,经济集聚度、工业废水排放总量和排放强度的

全局Moran's *I*均为正值且通过了1%水平的显著性检验,表明经济集聚、工业废水排放总量和排放强度均存在显著的正向空间自相关关系。经济集聚度全局Moran's *I*值在0.513~0.542之间,最大差值为0.029;工业废水排放总量全局Moran's *I*值在0.168~0.340之间,最大差值为0.172;工业废水排放强度全局Moran's *I*值在0.281~0.465之间,最大差值为0.184。从绝对值来看,经济集聚度高于工业废水排放总量和排放强度,说明经济集聚的空间自相关性强于工业废水排放;从波动情况来看,经济集聚度呈现微小变动,其空间自相关性较为平稳,而工业废水排放总量和排放强度波动较大,表明其空间自相关性存在强弱互变态势。总体而言,经济集聚与工业废水排放均呈现较为显著的空间依赖性和集聚特征,即高值区通常与其他高值区邻近,低值区与其他低值区邻近。

为反映经济集聚与工业废水排放局部空间相关的非典型特征,采用局域空间自相关考察变量在局域空间内与其邻近地区间的相关关系和空间聚类分布状况。一般包括“高-高”型,即局域空间内经济集聚或工业废水排放高值区域被高值区域围绕;“低-低”型,即低值区域被低值区域围绕;“高-低”型,即高值区域被低值区域围绕;“低-高”型,即低值区域被高值区域围绕等4种聚类分布特征^[32]。

表3显示,2003年和2017年经济集聚的空间聚类分布特征保持了较为稳定的态势。其中,“高-高”型分布多位于以上海、南京、苏州、杭州为核心节点的长三角地区和以武汉、长沙、南昌为核心节点的长江中游地区;而“低-低”型分布如宜宾、巴

表1 变量说明与描述性统计

Table 1 Explanation and descriptive statistics of variables

变量	说明	样本容量	均值	标准差	最小值	最大值
<i>lnwater</i>	工业废水排放总量/万t	1650	8.496	1.074	4.094	11.359
<i>lnrwater</i>	工业废水排放强度(工业废水排放总量/工业总产值)/%	1650	-7.417	1.119	-10.652	-3.823
<i>lnagg</i>	经济集聚度(城市非农产出/城市区划面积)/(万元/km ²)	1650	6.394	1.316	2.444	10.408
<i>lnpopd</i>	人口密度(城市年末总人口/城市区划面积)/(人/km ²)	1650	5.987	0.640	3.965	7.733
<i>lnpgdp</i>	人均GDP(GDP/年末总人口)/(元/人)	1650	9.821	0.783	7.771	11.615
<i>ln tec</i>	技术水平(科技支出/财政支出)/%	1650	-0.216	1.071	-3.342	2.789
<i>ln sec</i>	产业结构(第二产业产值/GDP)/%	1650	3.847	0.216	2.874	4.329
<i>ln open</i>	对外开放(FDI在GDP中的占比)/%	1650	0.264	1.271	-5.112	3.001
<i>ln tran</i>	交通便利程度(人均道路面积)/(km ² /人)	1650	2.104	0.654	-0.528	3.604

表2 2003—2017年经济集聚与工业废水排放的全局Moran's I指数

Table 2 Global Moran's I index of economic agglomeration and industrial wastewater discharge, 2003-2017

年份	经济集聚度		工业废水排放总量		工业废水排放强度	
	Moran's I	z统计量	Moran's I	z统计量	Moran's I	z统计量
2003	0.531***	7.951	0.168***	2.615	0.424***	6.361
2004	0.537***	8.039	0.173***	2.696	0.438***	6.564
2005	0.535***	8.006	0.234***	3.595	0.465***	6.971
2006	0.539***	8.058	0.304***	4.627	0.387***	5.822
2007	0.542***	8.104	0.311***	4.738	0.345***	5.206
2008	0.537***	8.025	0.340***	5.159	0.291***	4.421
2009	0.535***	8.001	0.314***	4.780	0.301***	4.570
2010	0.534***	7.995	0.309***	4.703	0.281***	4.285
2011	0.529***	7.907	0.310***	4.698	0.364***	5.578
2012	0.522***	7.813	0.260***	3.980	0.355***	5.426
2013	0.518***	7.762	0.276***	4.209	0.337***	5.126
2014	0.519***	7.774	0.248***	3.794	0.308***	4.710
2015	0.513***	7.681	0.227***	3.485	0.380***	5.763
2016	0.532***	7.961	0.220***	3.392	0.384***	5.853
2017	0.525***	7.861	0.246***	3.764	0.187***	2.905

注:***、**、* 分别表示在1%、5%和10%的水平上显著,下同。

中、六盘水、遵义、丽江、普洱等城市多位于长江上游云贵川地区。值得注意的是重庆、成都、贵阳和昆明4个区域核心城市,均呈现“高-低”型分布,其在各自局域空间内的经济集聚度相对较高,但周边城市受经济水平和城市规模等条件限制暂未进入高值区;其余呈现“低-高”型和“高-低”型分布特征的城市如滁州、宿州、宣城、自贡、内江等多位于长江上中下游结合部地带,其特点是与本地区或周边地区的核心节点城市邻近。

2003年和2017年工业废水排放总量与经济集聚度的聚类分布状况大体相似,表明它们呈现同向变化且存在较高程度的关联趋势。而工业废水排放强度的空间聚类分布却呈现较大差异^①,2003年长三角城市群所辖上海、南京、无锡、扬州、杭州、宁波等城市呈现“低-低”型分布,与其经济集聚分布恰好相反;“高-高”型分布城市如株洲、湘潭、永州、娄底、广元、遂宁、南充、资阳等则多位于长江中上游的湖南和四川境内。但2017年上述“高-高”型分布城市已转入“低-低”型分布区域。

综上所述,对比2003年和2017年两个时间截面发现,长江中下游地区经济集聚度较高的核心城市通过辐射作用带动邻近城市进入高值区实现协

同发展。但上游地区经济集聚度较高的核心城市却未能对周边地区形成有效辐射,可能的原因是这一地区多数城市经济水平较弱,区域一体化发展缓慢,经济集聚效应还不明显。工业废水排放总量与经济集聚的聚类分布密切相关且呈现同步变化特征。长三角地区工业废水排放强度与经济集聚的聚类分布相反,经济集聚“高-高”型区域却是工业废水排放强度“低-低”区域,表明长三角地区在促进经济集聚过程中重视工业废水排放效率。但长江中上游地区工业废水排放强度的聚类分布发生了转变,部分说明自国家实施长江经济带发展战略以来,中上游地区开始通过产业升级和结构转型等方式提升效率,在控制工业废水排放强度方面取得了一定成效。

3.2 长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的驱动因素分析

长江经济带所辖城市个体差异较大且多数情况下经济与环境的相关变量会随时间推移发生变化。采用SDM模型检验经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应,Hausman检验结果分别为 $\chi^2=36.23$ ($p=0.000$)和 $\chi^2=82.65$ ($p=0.000$),均在1%水平上显著拒绝随机效应的原假设,因此采用固

① 注:因篇幅限制,未列出2003年和2017年工业废水排放总量和强度的局域空间聚类分布特征表。

表3 2003年、2017年经济集聚的局域空间聚类分布特征

Table 3 Local spatial clustering characteristics of economic agglomeration, 2003 and 2017

聚类特征	2003年				2017年			
高-高	上海市(1)	南京市(2)	无锡市(3)	徐州市(4)	上海市(1)	南京市(2)	无锡市(3)	徐州市(4)
	常州市(5)	苏州市(6)	南通市(7)	连云港市(8)	常州市(5)	苏州市(6)	南通市(7)	连云港市(8)
	淮安市(9)	盐城市(10)	扬州市(11)	镇江市(12)	淮安市(9)	盐城市(10)	扬州市(11)	镇江市(12)
	泰州市(13)	杭州市(15)	宁波市(16)	温州市(17)	泰州市(13)	宿迁市(14)	杭州市(15)	宁波市(16)
	嘉兴市(18)	湖州市(19)	绍兴市(20)	金华市(21)	温州市(17)	嘉兴市(18)	湖州市(19)	绍兴市(20)
	舟山市(23)	台州市(24)	合肥市(26)	芜湖市(27)	金华市(21)	台州市(24)	合肥市(26)	芜湖市(27)
	蚌埠市(28)	马鞍山市(30)	南昌市(42)	萍乡市(44)	蚌埠市(28)	马鞍山市(30)	南昌市(42)	萍乡市(44)
	新余市(46)	宜春市(50)	武汉市(53)	十堰市(55)	新余市(46)	宜春市(50)	抚州市(51)	武汉市(53)
	襄阳市(57)	长沙市(65)	株洲市(66)	湘潭市(67)	十堰市(55)	长沙市(65)	株洲市(66)	湘潭市(67)
	岳阳市(70)	张家界市(72)	德阳市(83)		岳阳市(70)	张家界市(72)	德阳市(83)	
低-低	黄山市(34)	阜阳市(36)	池州市(40)	九江市(45)	衢州市(22)	黄山市(34)	阜阳市(36)	池州市(40)
	赣州市(48)	上饶市(52)	黄石市(54)	宜昌市(56)	九江市(45)	景德镇市(43)	赣州市(48)	上饶市(52)
	鄂州市(58)	荆门市(59)	孝感市(60)	荆州市(61)	黄石市(54)	宜昌市(56)	襄阳市(57)	鄂州市(58)
	黄冈市(62)	咸宁市(63)	随州市(64)	衡阳市(68)	荆门市(59)	孝感市(60)	荆州市(61)	黄冈市(62)
	邵阳市(69)	常德市(71)	郴州市(74)	永州市(75)	咸宁市(63)	随州市(64)	衡阳市(68)	邵阳市(69)
	怀化市(76)	娄底市(77)	攀枝花市(81)	泸州市(82)	常德市(71)	郴州市(74)	永州市(75)	怀化市(76)
	绵阳市(84)	广元市(85)	遂宁市(86)	乐山市(88)	攀枝花市(81)	泸州市(82)	绵阳市(84)	广元市(85)
	南充市(89)	眉山市(90)	宜宾市(91)	广安市(92)	遂宁市(86)	乐山市(88)	南充市(89)	眉山市(90)
	达州市(93)	巴中市(95)	六盘水市(98)	遵义市(99)	宜宾市(91)	广安市(92)	达州市(93)	巴中市(95)
	安顺市(100)	毕节市(101)	铜仁市(102)	曲靖市(104)	六盘水市(98)	遵义市(99)	安顺市(100)	毕节市(101)
高-低	玉溪市(105)	保山市(106)	昭通市(107)	丽江市(108)	铜仁市(102)	曲靖市(104)	玉溪市(105)	保山市(106)
	普洱市(109)	临沧市(110)			昭通市(107)	丽江市(108)	普洱市(109)	临沧市(110)
	淮南市(29)	淮北市(31)	铜陵市(32)	景德镇市(43)	淮南市(29)	淮北市(31)	铜陵市(32)	鹰潭市(47)
	抚州市(51)	重庆市(78)	成都市(79)	自贡市(80)	衡阳市(68)	重庆市(78)	成都市(79)	自贡市(80)
低-高	内江市(87)	贵阳市(97)	昆明市(103)		内江市(87)	贵阳市(97)	昆明市(103)	
	宿迁市(14)	衢州市(22)	丽水市(25)	安庆市(33)	丽水市(25)	安庆市(33)	滁州市(35)	宿州市(37)
	滁州市(35)	宿州市(37)	六安市(38)	亳州市(39)	六安市(38)	亳州市(39)	宣城市(41)	吉安市(49)
	宣城市(41)	鹰潭市(47)	吉安市(49)	益阳市(73)	益阳市(73)	娄底市(77)	雅安市(94)	资阳市(96)
	雅安市(94)	资阳市(96)						

注:括号内数字为样本城市的顺序代码。

定效应具有较优效果。

表4显示,工业废水排放总量和排放强度的空间滞后项系数 ρ 分别为0.253和0.225,均通过了1%水平的显著性检验,印证了前文空间自相关检验结果。现实情况表明工业废水会随河流的自然流动扩散至周边水域恶化水环境质量。

对解释变量和控制变量的系数进行研判发现:

①经济集聚度的弹性系数分别为-0.451和-0.465,均在1%水平上显著,表明经济集聚度的提升显著抑制了工业废水排放总量和排放强度。可能的原因是经济集聚通过集聚效应、成本节约及各类溢出效应等正外部性改变生产消费方式和提高经济产

出效率^[33],抑制工业废水排放并有效抵消规模效应对工业废水排放的正向影响。同时,经济集聚度与空间权重矩阵交互项的参数估计结果也显著为负,分别为-0.475和-0.585,表明经济集聚对工业废水排放的影响向邻近地区辐射,抑制作用具有空间依赖性;②人口密度的弹性系数分别为0.654和0.699且通过了显著性水平检验,表明人口密度增大将加剧工业废水排放总量和排放强度,可能的原因是人口集聚放大了本地市场效应,企业为获取市场利益倾向于扩大生产规模从而加剧工业废水排放;③经济发展水平的弹性系数分别为0.278和-0.360,虽然均通过了显著性水平检验,但对工业废水排放总量

表4 经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应检验结果

Table 4 Test results of the spatial spillover effect of economic agglomeration on industrial wastewater discharge

变量	ln _{twater}			ln _{rwater}		
	系数	z统计量	p值	系数	z统计量	p值
lnagg	-0.451***	-3.90	0.000	-0.465***	-3.91	0.000
lnpopd	0.654*	1.96	0.050	0.699**	2.03	0.042
lnpgdp	0.278**	2.31	0.021	-0.360***	-2.91	0.004
ln _{tec}	-0.030	-1.25	0.212	-0.062**	-2.50	0.012
ln _{sec}	0.280**	2.14	0.033	-0.909***	-6.72	0.000
lnopen	-0.020	-1.37	0.170	-0.029*	-1.86	0.063
ln _{tran}	0.115***	3.02	0.003	0.071*	1.80	0.072
W×lnagg	-0.475**	-2.17	0.030	-0.585***	-2.60	0.009
W×lnpopd	1.296**	2.09	0.037	1.085*	1.70	0.089
W×lnpgdp	0.634***	3.17	0.002	0.759***	3.68	0.000
W×ln _{tec}	0.088**	2.49	0.013	-0.008	-0.22	0.830
W×ln _{sec}	-0.929***	-4.95	0.000	-0.896***	-4.51	0.000
W×lnopen	-0.047**	-2.01	0.045	-0.047*	-1.91	0.056
W×ln _{tran}	0.140**	1.99	0.047	0.227***	3.15	0.002
ρ	0.253***	8.70	0.000	0.225***	7.74	0.000
σ^2	0.122***	28.53	0.000	0.129***	28.58	0.000

和排放强度的影响作用方向却相反。可能的原因是经济发展水平提升过程中规模效应仍占据主导作用加剧了工业废水排放总量,而结构优化、产业升级、工艺改进等结构效应提升了减排效率,对工业废水排放强度产生抑制作用;④技术水平对工业废水排放总量的弹性系数为负但在统计意义上不显著,对工业废水排放强度的弹性系数为-0.062,虽然显著为负但绝对值较小,表明技术投入在降低工业废水排放强度上体现的效率较为有限;⑤产业结构的弹性系数分别为0.280和-0.909,均通过了显著性检验,表明提升二产占比显著加剧了工业废水排放总量,但对排放强度却有抑制作用,可能的原因是工业行业在转型升级中改变了以往粗放式发展模式,更加重视产出效率;⑥对外开放对工业废水排放总量的弹性系数为负但在统计意义上不显著;对工业废水排放强度的弹性系数为-0.029,在10%水平上显著,表明加大对外开放引入的减排技术和环保理念对降低工业废水排放强度有所体现,但对降低工业废水排放总量的效果不明显;⑦交通便利程度的弹性系数分别为0.115和0.071,表明提升交通便利度对工业废水排放总量和排放强度均产生显著的正向影响,可能的原因是交通便利提高了运

输通达性和运输频率,拉近了生产企业与市场之间的关系,进一步刺激了企业生产,扩大生产带来的规模效应加剧了工业废水排放从而恶化水环境质量。

3.3 长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应分解

由于存在空间依赖性,经济集聚不仅对本地工业废水排放产生影响,也会通过空间溢出效应波及邻近地区。采用偏微分分解方法对空间溢出效应进行分解。

表5显示:①核心解释变量经济集聚度的直接效应、间接效应和总效应均在1%水平上显著为负。直接效应显著,说明加强本地区经济集聚是抑制工业废水排放的有效手段;间接效应显著,则表明加强长江经济带各地区尤其是邻近地区的经济联系也能够有效缓解工业废水排放。间接效应约为直接效应的1.55~1.71倍,二者共同构成总效应。这启示我们,若要充分利用经济集聚来实现长江经济带的工业废水减排,需要在保证一定经济集聚水平的基础上,更注重加强邻近地区之间的经济联系;②其他解释变量和控制变量直接效应和间接效应的弹性系数分别在不同的显著性水平上通过了

表5 经济集聚对工业废水排放空间溢出效应分解结果

Table 5 Decomposition results of spatial spillover effects of economic agglomeration on industrial wastewater discharge

变量	直接效应		间接效应		总效应	
	lnwater	lnrwater	lnwater	lnrwater	lnwater	lnrwater
lnagg	-0.488*** (-4.08)	-0.503*** (-4.10)	-0.758*** (-2.88)	-0.860*** (-3.25)	-1.246*** (-4.15)	-1.364*** (-4.55)
lnpopd	0.740** (2.33)	0.759** (2.31)	1.926*** (2.62)	1.602** (2.17)	2.666*** (3.57)	2.361*** (3.17)
lnpgdp	0.334*** (2.84)	-0.310** (-2.56)	0.896*** (3.71)	0.837*** (3.46)	1.230*** (4.66)	0.526** (2.01)
ln tec	-0.025 (-1.10)	-0.064*** (-2.71)	0.101** (2.46)	-0.027 (-0.64)	0.076* (1.84)	-0.091** (-2.19)
lnsec	0.218* (1.82)	-0.979*** (-7.91)	-1.075*** (-4.78)	-1.337*** (-5.94)	-0.857*** (-3.83)	-2.315*** (-10.50)
lnopen	-0.023 (-1.57)	-0.031** (-2.02)	-0.069** (-2.43)	-0.068** (-2.37)	-0.093*** (-2.71)	-0.099*** (-2.89)
lntran	0.127*** (3.18)	0.085** (2.08)	0.215** (2.40)	0.300*** (3.34)	0.342*** (3.37)	0.385*** (3.81)

注:表中括号内为相应的t统计量。

检验。提升人口密度会显著加剧本地区和邻近地区的工业废水排放;提高经济发展水平将通过间接效应加剧邻近地区工业废水排放总量和排放强度,但直接效应中对本地工业废水排放强度却有显著的抑制效果,表明本地区在经济发展过程中更加重视工业废水减排效率,但这种行为可能存在行政壁垒并未传导至邻近地区;提升技术水平对本地工业废水排放总量的影响在统计意义上不显著,但却能有效降低工业废水排放强度,表明现有技术多应用在工业废水减排效率方面;产业结构对本地和邻近地区工业废水排放的影响效果不同,提高二产占比会增大本地区工业废水排放总量和排放强度但却会减缓邻近地区工业废水排放。这与现实情况较为吻合,流域存在一定的承载能力和自净功能,部分水污染沿流域扩散时会被稀释;对外开放对本地和邻近地区工业废水排放总量和排放强度均有减

缓作用但系数过小,表明其所发挥的降污作用有限;交通便利程度对工业废水排放的影响说明与前文相似,不再赘述。

3.4 长江经济带经济集聚对工业废水排放影响的门槛特征

考虑到经济集聚对工业废水排放可能存在非线性影响,采用门槛回归模型进行检验。门槛特征检验包括门槛效应的显著性检验、门槛值估计的真实性检验和门槛回归模型的参数估计3个步骤^[34,35]。

首先,检验经济集聚对工业废水排放门槛效应的显著性。表6显示,工业废水排放总量和排放强度的F统计量分别在5%和1%水平上仅通过了单一门槛检验,表明经济集聚对工业废水排放的影响只存在单一门槛。

其次,确定门槛值的置信区间并考察门槛估计

表6 经济集聚对工业废水排放的门槛效应检验

Table 6 Test of threshold effect of economic agglomeration on industrial wastewater discharge

工业废水排放指标	门槛数量	F统计量	p值	结论	Bootstrap 次数	临界值		
						10%	5%	1%
lnwater	单一门槛	50.36**	0.024	接受	1000	34.3211	41.8152	57.8334
	双重门槛	11.90	0.650	拒绝	1000	45.8562	59.4524	79.2743
lnrwater	单一门槛	60.89***	0.006	接受	1000	31.4089	37.1389	48.5389
	双重门槛	9.38	0.746	拒绝	1000	43.2260	57.6829	87.1891

2021年1月

值 $\hat{\gamma}$ 与真实值 γ 是否一致。采用Hansen^[27]提出的极大似然法检验门槛真实值 γ ,原假设 H_0 为: $\hat{\gamma}=\gamma$,备择假设 H_1 为: $\hat{\gamma}\neq\gamma$,似然比统计量为:

$$LR=[S_1(\gamma)-S_1(\hat{\gamma})]/\sigma^2(\hat{\gamma}) \quad (6)$$

式中: LR 为非标准正态分布,当 $\leq -2\ln(1-\sqrt{1-\alpha})$ 时(α 为显著性水平),接受原假设。一般来说, α 在5%显著性水平下 LR 的临界值为7.35。表7显示,工业废水排放总量和排放强度的单一门槛值均为3.6216,对应的经济集聚度参数值为37.397万元/ km^2 ($e^{3.6216}=37.397$)。经济集聚度未达到门槛值的城市主要位于长江上游云贵川地区,包括丽江、昭通、普洱、保山、临沧、铜仁、广元等城市,其共同特点是城市规模较小、经济欠发达且距离本区域核心节点城市较远。由于自身基础条件较为薄弱,暂未融入以经济集聚为典型特征的都市圈和城市群发展中。因此,在发展过程中这些城市应加强与核心节点城市的关联与互通,分享经济集聚的辐射效应。

最后,对门槛回归模型进行参数估计。表8显示,经济集聚度在不同门槛区间内对工业废水排放总量的弹性系数分别为-1.176和-0.963,对工业废水排放强度的弹性系数分别为-1.482和-1.243,且均在1%水平上显著,说明提升经济集聚度能够抑制工业废水排放。当经济集聚度跨越门槛值3.6216之后对工业废水排放总量和排放强度的弹性系数绝对值均有不同程度的降低,表明减排效应有所减弱。原因可能是多方面的,虽然经济集聚的外部效应能够部分抵消规模效应带来的环境污染,但达到一定程度后,城市的生产规模增加必然会加剧工业

废水排放。此外,经济的高度集聚还可能带来主导产业上下游行业的发展、城市化进程加速进而催生更多元化的产业发展需求,这些都将增大工业废水的减排难度。

4 结论与启示

4.1 结论

基于2003—2017年长江经济带110个地级及以上城市面板数据,采用探索性空间数据分析、空间计量模型和门槛回归模型等方法,考察经济集聚与工业废水排放的空间分布与聚类状况,解析经济集聚对工业废水排放影响的空间溢出效应并验证其门槛特征。主要结论为:

(1)经济集聚和工业废水排放均存在显著的正向全局空间自相关性,长三角地区经济集聚和工业废水排放总量多为“高-高”型聚类,长江上游地区多为“低-低”型聚类,而长江中游地区则出现分化,邻近长三角地区呈现“低-高”型聚类,邻近上游地区则多为“高-低”型聚类,表明经济集聚与工业废水排放总量高值区存在一定程度上的关联。但工业废水排放强度的聚类状况有所不同,经济发达地区多为“低-低”型聚类,2017年长江中部地区多数城市也进入“低-低”型聚类区,表明经济集聚过程中发达地区更加重视对工业废水排放效率的控制,自国家推动长江经济带建设以来长江中部地区在注重工业废水减排效率方面实施的产业转型升级已见成效。

(2)经济集聚存在明显的空间溢出效应且抑制工业废水排放的直接效应和间接效应均较为显著。但伴随集聚过程的经济发展水平、人口密度、二产占比和交通便利度提升带来的规模效应却会加剧工业废水排放。技术水平提升对工业废水减排作用有限,表明当前节能减排技术暂未实现减缓工业废水排放的预期效果。对外开放程度对工业废水排放影响不显著,表明引入FDI对工业废水排放可能同时存在正向和负向两方面互有抵消的作用。因此,在促进经济集聚的同时应加快新型城镇化建设、加速区域一体化进程、持续优化产业结构,利用国内国际双循环环境,通过绿色生产和生活方式以及节能减排技术实现经济集聚的减排效果。

(3)经济集聚对工业废水排放总量和排放强度的非线性影响均存在单一门槛值,参数值为39.397

表7 经济集聚对工业废水排放的门槛值及其置信区间

Table 7 Threshold value and confidence interval of industrial wastewater discharge from economic agglomeration

工业废水排放指标	门槛数	门槛估计值	95%置信区间	
$\ln twater$	单一门槛	3.6216	3.4295	3.7612
$\ln rwater$	单一门槛	3.6216	3.4295	3.7612

表8 经济集聚对工业废水排放的门槛特征检验结果

Table 8 Test results of threshold characteristics of economic agglomeration on industrial wastewater discharge

门槛变量	$\ln twater$			$\ln rwater$		
	系数	t 统计量	p 值	系数	t 统计量	p 值
$\ln agg \leq \gamma_1$	-1.176***	-9.88	0.000	-1.482***	-12.20	0.000
$\ln agg > \gamma_1$	-0.963***	-8.62	0.000	-1.243***	-10.91	0.000

万元/km²。当经济集聚度跨越门槛值之后对工业废水排放的抑制作用有所减弱。经济集聚度未达到门槛值的城市多位于长江上游云贵川三省,而长江中下游城市经济集聚度则已跨越门槛值。对长江上游未达门槛值城市而言,可继续促进经济集聚实现降污效果。对长江中下游已跨越门槛值城市而言,应适度控制经济集聚以减缓规模效应导致的污染加剧。

4.2 启示

本文的政策启示在于:

(1)长江经济带所辖城市空间异质性明显,工业废水排放的治理过程中需结合地区特点实施针对性治理。对长江经济带上游地区未跨越门槛值的城市,应加强其与所属城市群中核心节点城市的联系,充分吸纳经济集聚的辐射效应,并通过政策引导更多的资源用于提升经济集聚度实现工业废水减排效果;对中下游地区已跨越门槛值的城市,应依靠优化产业结构、创新节能减排技术、引入FDI环保理念和生产工艺等方式促进工业废水减排。

(2)长江经济带工业废水污染因空间溢出效应导致区域间存在普遍关联现象,针对工业废水污染的治理举措应充分考虑空间依赖性,可采取建立长江经济带整体区域联防联控机制,构建统一的水污染监测平台、实现水环境信息共享、联合预警和执行统一的环境规制行动等方式,在同步实施差异化治理和“大保护”策略两种路径下推动长江经济带高质量发展。

参考文献(References):

- [1] 张可. 经济集聚与区域创新的交互影响及空间溢出[J]. 金融研究, 2019, (5): 96-114. [Zhang K. Interaction and spatial spillover between economic agglomeration and regional innovation[J]. Journal of Financial Research, 2019, (5): 96-114.]
- [2] 陈旭, 姜馨慧, 秦蒙. 地理集聚、城市规模与雾霾污染: 基于中国城市数据的实证研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2020, 26(5): 30-42. [Chen X, Lou X H, Qin M. The impact of geographical agglomeration and urban size on haze pollution: An empirical study based the data of Chinese cities[J]. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), 2020, 26(5): 30-42.]
- [3] 刘修岩. 产业集聚与经济增长: 一个文献综述[J]. 产业经济研究, 2009, (3): 70-78. [Liu X Y. Industrial agglomeration and economic growth: A literature review[J]. Industrial Economics Research, 2009, (3): 70-78.]
- [4] 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, 25(2): 23-29. [Yang R F. Whether industrial agglomeration can reduce environmental pollution or not[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(2): 23-29.]
- [5] Ciccone A. Agglomeration effects in Europe[J]. European Economic Review, 2002, 46(2): 213-227.
- [6] Verhoef E T, Nijkamp P. Externalities in urban sustainability environmental 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.
- [7] 孟美侠, 曹希广, 张学良. 开发区政策影响中国产业空间集聚吗? 基于跨越行政边界的集聚视角[J]. 中国工业经济, 2019, (11): 79-97. [Meng M X, Cao X G, Zhang X L. Does the special economic zones policy affect industrial agglomeration in China? Based on the agglomeration perspective of the cross administrative boundary[J]. China Industrial Economics, 2019, (11): 79-97.]
- [8] 程晨, 张毅, 陈丹玲. 城市集聚对经济发展质量的影响: 以长江经济带为例[J]. 城市问题, 2020, (4): 4-13. [Cheng C, Zhang Y, Chen D L. The impact of urban agglomeration on the quality of economic development[J]. Urban Problems, 2020, (4): 4-13.]
- [9] Zeng D Z, Zhao L X. Pollution havens and industrial agglomeration[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2009, 58(2): 141-153.
- [10] 朱英明, 刘素霞, 李玉见. 产业集聚对环境污染的减缓效应: 理论与实证[J]. 环境经济研究, 2019, 4(1): 86-107. [Zhu Y M, Liu S X, Li Y J. Mitigation effect of industrial agglomeration on environmental pollution: Theory and evidence[J]. Journal of Environmental Economics, 2019, 4(1): 86-107.]
- [11] 许和连, 邓玉萍. 外商直接投资、产业集聚与策略性减排[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(9): 112-128. [Xu H L, Deng Y P. Foreign direct investment, industrial agglomeration and strategic emission reduction[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2016, 33(9): 112-128.]
- [12] 汪聪聪, 王益澄, 马仁锋. 经济集聚对雾霾污染影响的空间计量研究: 以长江三角洲地区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 1-11. [Wang C C, Wang Y C, Ma R F. Impact of economic agglomeration on pollution of smog based on spatial econometric model: The case study of Yangtze River Delta[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(1): 1-11.]
- [13] 黄庆华, 时培豪, 胡江峰. 产业集聚与经济高质量发展: 长江经济带107个地级市例证[J]. 改革, 2020, (1): 87-99. [Huang Q H, Shi P H, Hu J F. Industrial agglomeration and high-quality economic development: Examples of 107 Prefecture-level Cities in the Yangtze River Economic Belt[J]. Reform, 2020, (1): 87-99.]
- [14] 丁绪辉, 高素惠, 吴凤平. 环境规制、FDI集聚与长江经济带用水效率的空间溢出效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(8): 148-155. [Ding X H, Gao S H, Wu F P. Study on the spa-

- tial spillover effect of environmental regulation, FDI agglomeration and water utilization efficiency in the Yangtze River Economic Belt [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(8): 148-155.]
- [15] 陈大峰, 闫周府, 王文鹏. 城市人口规模、产业集聚模式与城市创新: 来自 271 个地级及以上城市的经验证据[J]. *中国人口科学*, 2020, (5): 27-40, 126. [Chen D F, Yan Z F, Wang W P. Urban population, industrial agglomeration pattern and urban innovation: Evidence from 271 Cities in China[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2020, (5): 27-40, 126.]
- [16] 刘焰. 中国高污染工业行业环境负外部性计量及其影响因素分析[J]. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2018, 71(1): 157-166. [Liu Y. Calculating on negative externality of environment of high pollution industries in China[J]. *Wuhan University Journal (Philosophy & Social Science)*, 2018, 71(1): 157-166.]
- [17] 陈乐, 李郇, 姚尧. 人口集聚对中国城市经济增长的影响分析[J]. *地理学报*, 2018, 73(6): 1107-1120. [Chen L, Li X, Yao Y. Effects of population agglomeration on urban economic growth in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1107-1120.]
- [18] 刘华军, 乔列成, 孙淑惠. 黄河流域用水效率的空间格局及动态演进[J]. *资源科学*, 2020, 42(1): 57-68. [Liu H J, Qiao L C, Sun S H. Spatial distribution and dynamic change of water use efficiency in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 57-68.]
- [19] 徐志伟, 殷晓蕴, 王晓晨. 污染企业选址与存续[J]. *世界经济*, 2020, 43(7): 122-145. [Xu Z W, Yin X Y, Wang X C. Polluting firms' location and survival[J]. *The Journal of World Economy*, 2020, 43(7): 122-145.]
- [20] 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, 28(6): 93-102. [Cai H Y, Xu Y Z. Co-agglomeration, trade openness and haze pollution[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(6): 93-102.]
- [21] York R, Rosa E A, Dietz T. Bridging environmental science with environmental policy: Plasticity of population, affluence, and technology[J]. *Social Science Quarterly*, 2002, 83(1): 18-34.
- [22] 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, 51(9): 73-88. [Shao S, Li X, Cao J H, et al. China's economic policy choices for governing smog pollution based on spatial spillover effects[J]. *Economic Research*, 2016, 51(9): 73-88.]
- [23] Elhorst J P. Dynamic spatial panels: Models, methods and inference[J]. *Journal of Geographical System*, 2012, 14(1): 5-28.
- [24] LeSage J, Pace R K. *Introduction to Spatial Econometrics*[M]. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009.
- [25] 侯孟阳, 姚顺波. 中国农村劳动力转移对农业生态效率影响的空间溢出效应与门槛特征[J]. *资源科学*, 2018, 40(12): 2475-2486. [Hou M Y, Yao S B. Spatial spillover effects and threshold characteristics of rural labor transfer on agricultural eco-efficiency in China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(12): 2475-2486.]
- [26] 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. [Xie R H, Yuan Y J. Research on the pollution abatement effect of industrial agglomeration's evolution[J]. *Economic Review*, 2016, (2): 18-28.]
- [27] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.
- [28] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. *经济研究*, 2019, 54(2): 119-132. [Lin B Q, Tan R P. Economic agglomeration and green economy efficiency in China[J]. *Economic Research*, 2019, 54(2): 119-132.]
- [29] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应理论与中国经验[J]. *管理世界*, 2019, 35(1): 36-60. [Shao S, Zhang K, Dou J M. Effects of economic agglomeration on energy saving and emission reduction: Theory and empirical evidence from China[J]. *Management World*, 2019, 35(1): 36-60.]
- [30] 董直庆, 王辉. 城镇化、经济集聚与区域经济增长异质性: 基于空间面板杜宾模型的经验证据[J]. *学术月刊*, 2019, 51(10): 54-66. [Dong Z Q, Wang H. Urbanization, economic agglomeration and heterogeneity of regional economic growth[J]. *Academic Monthly*, 2019, 51(10): 54-66.]
- [31] 邓玉萍, 许和连. 外商直接投资、集聚外部性与环境污染[J]. *统计研究*, 2016, 33(9): 47-54. [Deng Y P, Xu H L. Foreign direct investment, agglomeration externalities and environmental pollution[J]. *Statistical Research*, 2016, 33(9): 47-54.]
- [32] 杨冕, 王银. 长江经济带 PM_{2.5} 时空特征及影响因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1): 91-100. [Yang M, Wang Y. Spatial-temporal characteristics of PM_{2.5} and its influencing factors in the Yangtze River Economic Belt[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(1): 91-100.]
- [33] 张可. 空间视角下经济集聚的减排效应研究[J]. *华中科技大学学报(社会科学版)*, 2017, 31(3): 86-97. [Zhang K. The reduction emissions effect of agglomeration based on spatial perspectives[J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Social Science Edition)*, 2017, 31(3): 86-97.]
- [34] 陶长琪, 彭永樟. 从要素驱动到创新驱动制度质量视角下的经济增长动力转换与路径选择[J]. *数量经济技术经济研究*, 2018, 35(7): 3-21. [Tao C Q, Peng Y Z. From factors driven to innovation driven: Switch of economic growth impetus and selection of pathway based on the perspective of institutional quality[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2018, 35(7): 3-21.]
- [35] 代丽华, 林发勤. 双向 FDI 影响区域创新能力的门槛效应研究: 基于知识产权保护的视角[J]. *中山大学学报(社会科学版)*, 2020, 60(4): 171-182. [Dai L H, Li F Q. Threshold effect of two way FDI on regional innovation capability: Based on the perspective of intellectual property protection[J]. *Journal of Sun Yat-sen University (Social Science Edition)*, 2020, 60(4): 171-182.]

Spatial spillover effect and threshold characteristics of economic agglomeration on industrial wastewater discharge in the Yangtze River Economic Belt

ZHANG Fan^{1,2}, DENG Hongbing¹, PENG Yongzhang²

(1. School of Economics and Management, China University of Geosciences, Wuhan 470074, China;

2. Economic Research Center for Resources and Environment, East China University of Technology, Nanchang 330013, China)

Abstract: Economic agglomeration can promote the regional economic development of the Yangtze River Economic Belt, but also affect the environmental quality. In order to explore the impact of economic agglomeration on industrial wastewater discharge, based on the panel data of 110 cities in the Yangtze River Economic Belt from 2003 to 2017, this study used exploratory spatial data analysis, spatial econometric model, and threshold regression model to investigate the spatial distribution and clustering of economic agglomeration and industrial wastewater discharge, and analyzed the spatial spillover effect of economic agglomeration on industrial wastewater discharge. The results show that: (1) There is a significant positive spatial autocorrelation among economic agglomeration, total amount and intensity of industrial wastewater discharge, and verified the threshold characteristics. The economic agglomeration and total industrial wastewater discharge of the Yangtze River Delta cities mostly show a high-high clustering, and the cities in the upper reaches of the Yangtze River form mostly low-low clusters, and maintain a relatively stable situation, while the clustering of industrial wastewater discharge intensity is different; (2) Economic agglomeration has obvious spatial spillover effect, and the direct and indirect effects of inhibiting industrial wastewater discharge are significant. Economic development level, population density, proportion of secondary industry, and traffic convenience have a positive impact on the total amount of industrial wastewater discharge. The impact of technological development level and openness on the total amount of industrial wastewater discharge is not significant, but have a restraining effect on the discharge intensity; (3) There is a single threshold for the impact of economic agglomeration on industrial wastewater discharge. When the economic agglomeration degree crosses the threshold, the inhibition of industrial wastewater discharge is weakened. Finally, it is suggested that the spatial factors and their unique characteristics should be paid attention to in the process of promoting economic agglomeration. In view of industrial wastewater emission reduction, we can simultaneously implement the regional targeted governance and cross-regional coordinated governance strategies and measures, and effectively promote the high-quality development of the Yangtze River Economic Belt.

Key words: economic agglomeration; industrial wastewater discharge; spatial spillover effect; threshold characteristics; spatial Durbin model; threshold regression model; Yangtze River Economic Belt