

# 产业集聚对环境污染的影响及其空间溢出效应

周蓉

(顺德职业技术学院, 广东 佛山 528333)

**摘要:** 采用区位熵和环境污染综合指数测算产业集聚水平和环境污染,通过空间相关性对全产业集聚水平和环境污染的空间分布特性进行详尽的分析。综合空间误差模型、空间滞后模型和空间杜宾模型检验,选择带有空间溢出效应的杜宾模型。通过产业集聚对环境污染影响的空间溢出效应进行实证分析,分析广东省产业集聚与环境污染的内在联系及其表现,从规模增长、规模效应和结构效应给出结论和建议。

**关键词:** 产业集聚; 环境污染; 空间溢出效应

**中图分类号:** F062.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)24-0170-05

产业集聚作为一种关键的地域组织形态,在驱动区域经济发展和提升区域竞争优势方面扮演了举足轻重的角色,并已逐渐演变为各地域经济增长的主要路径。然而,在广东省内,由于产业发展存在着空间布局上的不均衡现象,产业集聚表现出明显的“集群化”特点,即资源和产业高度集中在特定地理区域。这种集聚现象导致不同区域内的产业集聚对环境污染的影响程度具有显著的差异化特征。研究产业集聚的程度如何激励区域内企业采用更先进的生产技术和绿色创新手段以减少对环境的污染负荷,以及产业集聚与环境污染二者间存在的互动关系显得尤为迫切。具体来说,关注的是产业集聚发展模式能否在追求经济效益的同时,成功实现环境保护,构建一种经济与环境和谐共生、互利共赢的发展新模式。要解决上述问题,需要对产业集聚与环境污染进行全面梳理和深入理解,旨在促使集聚区域内部的企业最大限度地提高效率,并在此基础上,确保区域经济能够在保护环境的前提下实现长期、持续且健康的成长。

## 1 变量和计量模型

### 1.1 被解释变量: 关于环境污染的综合指数(EP)

借鉴孔晴<sup>[1]</sup>评估环境污染的方法,具体的计算步骤如下。

首先,为了消除单位不一致带来的影响,先要对3种不同污染物的排放量进行标准化处理。具体

的计算公式为

$$EP_{cjt} = (EP_{cjt} - \min EP_{cjt}) / (\max EP_{cjt} - \min EP_{cjt}) \quad (1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, 21$ ;  $j=1, 2, 3$ ;  $EP_{cjt}$  和  $EP_{jt}$  分别为某地级市  $c$  在特定年份  $t$ , 针对第  $j$  种污染物排放量的标准化值及其未经处理的原始数值。同时,  $\max EP_{jt}$  和  $\min EP_{jt}$  为每年3种不同污染物在所有地级市范围内的排放量最高值和最低值。

其次,为了精确衡量  $c$  地级市在第  $t$  年中第  $j$  种污染物排放的实际影响程度,需要计算其特定的调整系数  $\omega_{cjt}$ 。鉴于各地级市的工业发展水平存在显著差异,有必要针对各个地级市设定不同的权重系数,以体现不同地级市内部3种主要污染物排放量之间的不均衡状况。具体的计算公式为

$$\omega_{cjt} = \frac{EP_{cjt}}{\sum_{c=1}^{21} EP_{cjt}} \bigg/ \frac{Y_c}{\sum_{c=1}^{21} Y_c} \quad (2)$$

式中:  $\sum_{c=1}^{21} EP_{cjt}$  为广东省在同一时段即第  $t$  年中针对第  $j$  种污染物的总排放量;  $Y_c$  为  $c$  地级市在第  $t$  年的工业总产值数值;  $\sum_{c=1}^{21} Y_c$  为广东省在第  $t$  年度内的整体工业总产值。

最后,采用加权平均法计算各个地级市的环境污染综合性评分,本文选取的环境污染物有3项(工业  $SO_2$  排放量、烟(粉)尘排放量和工业废水排

收稿日期: 2024-05-27

基金项目: 广东省2024年度教育科学规划项目(高等教育专项)(2024GXJK756); 广东省普通高校特色创新类项目(哲学社会科学类)(2023WTSCX296); 广东省哲学社会科学规划项目(GD22XGL63)

作者简介: 周蓉(1984—),女,湖北荆州人,博士,副教授,研究方向为区域经济、环境经济。

放量),因此计算公式为

$$p_{\alpha} = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \omega_{cjt} EP_{cjt} \quad (3)$$

式中: $p_{\alpha}$ 为 $c$ 地级市 $t$ 年的环境污染综合性评分。

研究时间为2013—2023年。基于上述所提及的环境污染综合指数计算方法,对2013—2023年各个地级市的环境污染综合指数进行严谨的计算。这些数据的获取途径主要数据来源于广东省统计年鉴<sup>[2]</sup>,以及各地市发布的统计年鉴和环保局年度统计报告。结果如表1所示。

### 1.2 解释变量:产业集聚水平(IA)

针对产业集聚的程度,学界普遍采用一系列关键指标进行深入剖析,如空间基尼系数<sup>[3]</sup>、区位熵指数<sup>[4]</sup>、就业密度概念<sup>[5]</sup>及专业化指数<sup>[6]</sup>等指标,均在相关领域有着重要应用,用以精确描绘和比较产业集聚的不同层面。区位熵这一指标特别值得关注,它体现了一个行业在特定地区的分布占比与其在全国范围内的总体占比之间的比率关系。该指数的重要价值在于,能够有效校正不同地区的规模效应,从而准确揭示出地理要素在空间布局上的真实集聚状态,因而在衡量产业集聚水平的研究中得到了广泛的应用和认可。本文基于数据的可获得性和准确性,选择区位熵来进行产业集聚水平的测度。其计算公式为

$$IA = \frac{X_{mi}}{X_i} / \frac{X_m}{X} \quad (4)$$

式中: $X_{mi}$ 为地区 $i$ 制造业工业总产值; $X_i$ 为地区 $i$ 的工业总产值; $X_m$ 为广东省制造业工业总产值; $X$ 为广东省的工业总产值。当某一行业的产业集聚指数 $>1$ 时,意味着该行业在该区域内拥有相对竞争优势,该地区的行业 $i$ 专业化水平明显高于广东省的平均水平,这有力地揭示了行业 $i$ 在地区 $m$ 内呈现强烈的集聚发展趋势。反之,如果产业集聚指数恰好等于1,则意味着行业 $i$ 在地区 $m$ 的专业化程度与广东省的整体平均水平相一致。即在此区域内,行业 $i$ 并未展现明显的集聚偏好。

考虑到数据的针对性和可获取性,选取广东省制造业产业作为分析对象,时间跨度选择2013—2023年,数据来源于广东省统计年鉴<sup>[2]</sup>。

### 2 进行空间关联性研究

在全球化和地方化交织的经济背景下,产业集聚与环境污染之间的关系逐渐凸显。为了深入理解这种关系,本文首先运用全局相关性检验,对产业集聚水平和环境污染的空间分布特性进行详尽的分析。

空间相关性分析是评估属性在空间范围内的相互依赖程度的有效工具。采用莫兰(Moran's  $I$ )指数进行计算,其计算公式为

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (5)$$

表1 2013—2023年广东省环境污染综合指数

地区	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	
珠三角	广州	0.062	0.047	0.069	0.015	0.077	0.037	0.041	0.043	0.051	0.036	0.042
	深圳	0.019	0.006	0.040	0.017	0.008	0.009	0.009	0.013	0.009	0.014	0.009
	珠海	0.007	0.006	0.011	0.006	0.005	0.005	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006
	佛山	0.117	0.090	0.071	0.082	0.064	0.056	0.053	0.070	0.067	0.075	0.076
	江门	0.035	0.033	0.035	0.018	0.025	0.026	0.022	0.024	0.013	0.022	0.020
	东莞	0.056	0.027	0.053	0.048	0.065	0.078	0.091	0.108	0.111	0.055	0.052
	中山	0.015	0.010	0.015	0.009	0.010	0.011	0.010	0.018	0.013	0.009	0.009
	惠州	0.022	0.020	0.022	0.020	0.026	0.033	0.037	0.035	0.026	0.022	0.022
肇庆	0.041	0.039	0.048	0.049	0.092	0.075	0.121	0.034	0.020	0.065	0.067	
粤东	汕头	0.008	0.006	0.009	0.008	0.013	0.016	0.003	0.003	0.005	0.009	0.009
	汕尾	0.006	0.015	0.005	0.012	0.019	0.022	0.001	0.001	0.001	0.016	0.015
	潮州	0.027	0.024	0.018	0.040	0.036	0.026	0.001	0.002	0.002	0.037	0.038
	揭阳	0.004	0.003	0.004	0.003	0.005	0.005	0.005	0.004	0.016	0.005	0.004
粤西	湛江	0.013	0.007	0.018	0.021	0.022	0.026	0.036	0.025	0.027	0.021	0.021
	茂名	0.010	0.010	0.014	0.004	0.005	0.002	0.002	0.007	0.007	0.005	0.005
	阳江	0.011	0.033	0.020	0.045	0.028	0.039	0.012	0.015	0.008	0.039	0.041
粤北	韶关	0.028	0.056	0.057	0.084	0.049	0.041	0.056	0.066	0.059	0.054	0.080
	河源	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
	梅州	0.016	0.024	0.009	0.003	0.006	0.019	0.013	0.017	0.034	0.004	0.004
	清远	0.047	0.047	0.076	0.056	0.093	0.102	0.089	0.106	0.096	0.085	0.071
	云浮	0.008	0.010	0.006	0.006	0.010	0.010	0.006	0.011	0.007	0.009	0.009

式中: $n$ 为研究区域的数量; $x_i$ 和 $x_j$ 分别为区域 $i$ 的产业集聚水平和区域 $j$ 的环境污染水平; $\bar{X}$ 为相应的均值; $S^2$ 为方差; $W_{ij}$ 为空间权重矩阵。为了表述区域 $i$ 与区域 $j$ 之间的空间关联关系,可以借助莫兰指数(Moran's  $I$ )。

基于对2013—2023年广东省产业集聚程度及环境污染程度运用莫兰指数(Moran's  $I$ )的分析,得出结论:两者之间存在显著的空间关联特征。具体来说,在这段时期内,产业集聚的莫兰指数表现相对稳定的态势;然而,环境污染的莫兰指数则经历了较大的波动,尤其是在2019年后,这一指数出现

明显的下滑趋势。这反映了随着环境治理力度的加大,环境污染的空间相关性已有所下降,并维持在较低水平。这一变化表明,广东省在环境保护方面的努力已经取得了显著的成效。

为了更深入地探讨产业集聚与环境污染之间的关系,进一步构建空间计量模型。为了确保模型选择的科学性和精确性,采用多元化的统计检验手段,如LM检验、稳健LM检验、Hausman检验、Wald检验及LR检验等一整套严谨的验证方法。经过这一系列详尽的检验步骤后,最终确定采用具有空间溢出效应的双固定效应杜宾模型作为实证分

表2 2013—2023年广东省制造业产业集聚水平

地区	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	
珠三角	广州	0.994	0.988	0.976	0.974	0.962	0.956	0.945	0.95	0.945	0.969	0.965
	深圳	1.028	1.029	1.034	1.034	1.030	1.031	1.030	1.028	1.030	1.031	1.033
	珠海	0.995	0.978	0.962	0.957	0.938	0.934	0.939	0.950	0.939	0.952	0.946
	佛山	1.026	1.027	1.026	1.024	1.013	1.016	1.034	1.026	1.034	1.017	1.016
	江门	0.985	0.997	1.007	1.010	0.997	0.982	0.968	0.963	0.970	1.003	1.000
	东莞	1.024	1.026	1.028	1.029	1.035	1.038	1.039	1.032	1.038	1.030	1.035
	中山	1.03	1.024	1.016	1.011	1.008	1.038	1.009	1.012	1.017	1.009	1.010
	惠州	1.035	1.035	1.031	1.028	1.025	1.025	1.024	1.017	1.024	1.025	1.027
粤东	肇庆	0.921	0.926	0.938	0.936	0.922	0.948	0.935	0.96	0.948	0.932	0.929
	汕头	0.950	0.954	0.966	0.975	0.990	0.989	0.969	0.980	0.969	0.978	0.984
	汕尾	0.979	0.988	0.970	0.965	0.993	0.995	0.961	0.964	0.961	0.976	0.969
	潮州	0.842	0.857	0.878	0.893	0.905	0.914	0.955	0.902	0.914	0.898	0.897
粤西	揭阳	1.012	1.020	1.026	1.026	1.027	1.005	1.009	0.967	0.999	1.027	1.026
	湛江	0.851	0.877	0.905	0.931	0.929	0.886	0.871	0.879	0.891	0.931	0.930
	茂名	1.017	1.011	0.984	0.975	0.984	0.991	0.996	0.980	0.985	0.982	0.980
粤北	阳江	0.970	0.954	0.954	0.939	0.888	0.762	0.823	0.857	0.881	0.899	0.897
	韶关	0.853	0.866	0.872	0.869	0.899	0.891	0.897	0.898	0.897	0.877	0.877
	河源	0.892	0.909	0.939	0.944	0.961	0.968	0.946	0.967	0.946	0.948	0.958
	梅州	0.833	0.844	0.860	0.856	0.909	0.911	0.860	0.860	0.860	0.892	0.908
	清远	0.803	0.816	0.790	0.806	0.878	0.908	0.916	0.947	0.956	0.816	0.847
云浮	0.937	0.964	0.969	0.971	0.901	0.891	0.895	0.900	0.912	0.947	0.937	

表3 2013—2023年广东省产业集聚水平的莫兰指数值

变量	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
Moran's $I$	0.710***	0.711***	0.732**	0.719***	0.742***	0.723***
$P$	0.000	0.000	0.034	0.000	0.000	0.003
变量	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	
Moran's $I$	0.752***	0.710***	0.706**	0.701***	0.694**	
$P$	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平。

表4 2013—2023年广东省环境污染水平的莫兰指数值

变量	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年
Moran's $I$	0.312***	0.320**	0.313**	0.381***	0.313***	0.554**
$P$	0.001	0.047	0.036	0.000	0.026	0.012
变量	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年	
Moran's $I$	0.482***	0.386**	0.347***	0.326***	0.310***	
$P$	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平。

析的基础工具,以期得到更为准确和可靠的结论。这一选择不仅充分考虑了空间依赖性对模型估计的影响,也保证了模型的稳健性和适用性。如表 5~表 7 所示。

表 5 LM 检验结果

LM 检验	统计值	P
Lm-lag	152.256	0.000
Robust LM-lag	5.832	0.000
LM-err	302.259	0.000
Robust LM-err	142.170	0.000

表 6 Wald 检验结果

Wald 检验	统计值	P
Wald test spatial lag	47.485	0.000
Wald test spatial error	44.622	0.000

表 7 LR 检验结果

LR 检验	统计值	P
Lr test ind both	95.998	0.000
Lr test time both	234.605	0.000

表 5 和表 6 说明存在显著的空间滞后和空间误差效应。这进一步验证了选择带有空间溢出效应的双固定效应杜宾模型的合理性。表 7 说明模型的选择是合理的,且模型的拟合度较好。因此采用空间杜宾模型作为计量模型。空间杜宾模型 (spatial Durbin model,SDM)的计算公式为

$$EP = \beta IA + \rho WEP + \epsilon \quad (6)$$

式中:EP 为污染综合指数;IA 为产业集聚水平;W 为空间矩阵;WEP 为空间滞后项; $\rho$  为空间回归系数,揭示了相邻区域之间的相互影响程度; $\beta$  为回归系数,用于衡量变量之间的关系强度; $\epsilon$  为随机误差项。

### 3 产业集聚对环境污染影响的空间溢出效应分析

为了确保回归分析结果的可靠性与稳定性,运用空间杜宾模型进行深入计量分析,SDM、结构方程模型(SEM)、空间滞后模型(SLM)以及普通最小二乘法(OLS)的回归结果如表 9 所示。

统计结果显示,产业集聚水平(IA)显著为正,其二次项(IA<sup>2</sup>)显著为负,说明二者间存在非线性、倒 U 形关系。在产业集聚初期,产业集聚水平可能加剧污染;但达到一定阈值后,会抑制污染。空间滞后项系数为负,表明邻近地区产业集聚对本地污染有负向溢出效应,即有助于减少污染。加强地区间产业集聚合作与协同,可有效改善整个区域环境质量,实现可持续发展和生态平衡。

表 8 分析空间杜宾模型的实验结果

变量	SDM	SEM	SLM	OLS
IA	1.876*** (3.996)	1.965*** (4.762)	1.254*** (3.756)	-0.817*** (-0.643)
IA <sup>2</sup>	-0.689*** (-0.692)	-2.367** (-1.584)	-1.824*** (-0.869)	-2.896 (-3.851)
R <sup>2</sup>	0.336	0.445	0.468	0.348
常数项	—	—	—	-0.331
$\rho$	0.426*** (1.475)	—	0.556 (1.542)	—
LogL	699.445	678.439	663.845	—

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示 10%、5%、1%的显著性水平;括号内为稳健标准误。

表 9 空间杜宾模型直接效应

变量	直接效应
IA	0.007** (0.010)
IA <sup>2</sup>	-0.048*** (-0.014)

注:\*、\*\*、\*\*\*分别表示 10%、5%、1%的显著性水平;括号内为稳健标准误。。

当产业集聚水平(IA)的空间滞后项为零时,显示了产业集聚水平与环境污染之间存在着显著的空间关联性。然而,仅依赖相关系数的数值并不能全面反映这一现象的本质,为此,有必要对空间溢出效应进行深入剖析。从直接效应的角度切入,具体的回归分析结果如表 9 所示。经过直接观察,产业集聚水平(IA)对环境污染的直接影响显著且为正值,这意味着随着产业集聚程度的提升,当地的环境污染问题将更为严重。然而,值得注意的是,产业集聚水平的二次项系数(IA<sup>2</sup>)的直接影响呈现显著负值特征,这显示了产业集聚程度与环境污染之间存在倒 U 形关系。

### 4 结论和建议

产业集聚与环境污染的关联并非直接且一成不变,而是表现为一种动态的、非线性的倒 U 形关系。在制造业产业集聚的萌芽阶段,企业因资源和市场的吸引而迅速聚集,然而,这一时期的合作机制尚不完善,与周边经济体系的融合尚处于初级阶段。这种初步聚集往往伴随着资源的快速消耗和环境的初步压力。特别对于绿色制造业而言,如何在快速发展的同时确保环境质量的维护,成为一个亟待解决的难题。

随着产业集聚的逐步深入,规模效应开始显现。集群内的企业通过资源的高效利用、产业链的紧密衔接,显著降低了生产成本,提高了生产效率。在绿色制造领域,这种规模效应进一步推动了环保设施的共享,减少了污染物的排放,提升了废物处理的效率。

此外,规模效应还促进了产业内部的专业化分工和大规模交易,增强了整个产业的综合竞争力。

与此同时,技术效应也在产业集聚的过程中逐渐凸显。集群内的企业通过相互学习、技术交流和研发合作,推动了技术的创新和知识的传播。在绿色制造领域,这种技术效应促进了环保技术的研发和应用,推动了不同行业间技术的融合,使得制造业向更加环保、高效的方向发展。例如,智能制造技术的应用不仅提高了生产效率,还降低了能耗和排放,实现了绿色生产的目标。

在产业集聚的后期阶段,结构效应开始发挥重要作用。随着市场需求的变化和技术的不断进步,产业结构得到了调整和优化。在绿色制造业中,这种结构效应尤为显著。一方面,市场需求的变化推动了绿色产品的开发和生产;另一方面,技术的进步推动了制造业向更高端、更环保的方向发展。这种结构效应不仅提高了制造业的附加值和竞争力,还促进了整个社会的可持续发展。

综上所述,制造业产业集聚与环境保护之间的

关系并非简单的线性关系。在产业集聚的初期阶段,可能会对环境造成一定的压力;然而,随着产业集聚的深入和技术、结构效应的显现,这种压力将逐渐减轻。因此,在制定制造业产业发展政策时,应充分考虑产业集聚对环境的影响,通过政策引导和市场机制相结合的方式,推动制造业产业集聚与环境保护的和谐共生。

### 参考文献

- [1] 孔晴. 中国环境污染区域差异的产业集聚因素研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2021.
- [2] 广东省统计局. 广东统计年鉴[EB/OL]. (2023-10-31) [2024-03-25]. <http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/>.
- [3] 王琢卓. 生产性服务业空间集聚、溢出效应与经济增长[J]. 湖南社会科学, 2013(6): 152-155.
- [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.
- [5] 范剑勇. 产业集聚与地区间劳动生产率差异[J]. 经济研究, 2006(11): 72-81.
- [6] 陈长石. 资本配置失衡与制造业转型: 理论体系与研究展望[J]. 东北财经大学学报, 2019(6): 12-18.

## Spatial Spillover Effect of Industrial Agglomeration on Environmental Pollution

ZHOU Rong

(Shunde Polytechnic, Foshan 528333, Guangdong, China)

**Abstract:** The level of industrial agglomeration and environmental pollution were measured by location entropy and comprehensive index of environmental pollution, and the spatial distribution characteristics of industrial agglomeration and environmental pollution were analyzed through spatial correlation. Combined with the spatial error model, spatial lag model, and spatial Durbin model, the Durbin model with spatial spillover effect was selected. The spatial spillover effect of the influence of industrial agglomeration on environmental pollution was analyzed empirically, and the intrinsic connection between industrial agglomeration and environmental pollution and its manifestation in Guangdong Province were analyzed. Through the spatial spillover effect of industrial agglomeration on environmental pollution, the intrinsic connection between industrial agglomeration and environmental pollution in Guangdong Province and its performance are proposed.

**Keywords:** industrial agglomeration; environmental pollution; spatial spillover effect