

长江经济带制造业集聚对环境污染的门槛效应研究

叶云岭^{1, 3} 吴传清^{2, 3} 周西一敏²¹

(1. 中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100006;

2. 武汉大学经济与管理学院, 湖北 武汉 430072;

3. 武汉大学中国发展战略与规划研究院, 湖北 武汉 430072)

【摘要】: 基于 2009~2018 年长江经济带 108 个地级及以上城市面板数据, 采用区位商指数测度制造业集聚水平, 从大气环境、水环境、能源消耗 3 个维度选取指标构建环境污染指数; 在厘清制造业集聚的环境效应形成机理的基础上, 构建基准回归模型、门槛回归模型实证检验长江经济带制造业集聚对环境污染的影响。研究结果显示: (1) 2009~2018 年长江经济带下游地区制造业集聚水平最高, 中游地区次之, 上游地区最低。(2) 长江经济带环境污染水平整体呈下降趋势, 且下游地区城市环境污染改善速度高于中上游地区。(3) 长江经济带整体及中下游地区制造业集聚与环境污染表现出先促增、后抑制、再加剧的“N”型曲线关系, 而上游地区制造业集聚仍处于加剧污染的阶段。为促进长江经济带制造业绿色发展, 应统筹兼顾长江经济带制造业集聚与生态环境的良性互动关系, 因地制宜推动制造业差异化发展, 实施更严格的环境规制标准, 提升制造业绿色技术创新水平, 加强绿色制造体系建设。

【关键词】: 长江经济带 制造业集聚 环境污染 门槛效应

【中图分类号】: X22;F427 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)06-1282-11

当前我国正在加快培育制造业集群, 制造业已成为区域经济繁荣的有效推动力量。一方面, 随着制造业集聚水平的提升, 集聚经济所带来的规模效应、知识溢出效应等正外部性有助于区域经济高速发展; 另一方面, 制造业在特定区域的高度集中会加剧当地能源资源消耗, 往往伴随着生态环境恶化问题, 不利于社会经济的可持续发展^[1]。因此, 制造业集聚在推动经济快速发展的同时如何减少环境污染, 已成为制造业发展的重点方向与重要议题。

长江经济带制造业是我国制造业高质量发展的排头兵, 在我国制造业发展格局中占据主导地位^[2]。然而, 长江经济带制造业以低端制造加工为主, 低端产能过剩、高污染制造业占比较高, 导致制造业发展所带来的环境污染问题仍然较为严重, 经济发展与生态保护难以实现协调统一。2017 年 6 月 30 日工业和信息化部等五部门颁布的《关于加强长江经济带工业绿色发展的指导意见》指出, 要推进传统制造业绿色化改造, 全面推进绿色制造, 减少工业发展对生态环境的影响。2020 年 11 月 14 日, 习近平总书记在长江经济带发展座谈会上强调要加强生态环境综合治理、系统治理、源头治理。要统筹优化产业布局, 严禁污染型产业、企业向上中游地区转移。因此, 长江经济带制造业高质量发展的重点任务在于推进传统制造业绿色转型升级, 培育绿色新兴产业, 提高资源能源利用效率, 降低环境污染排放。

作者简介: 叶云岭(1990~), 男, 助理研究员, 主要研究方向为产业经济。E-mail: yeyunling@whu.edu.cn

基金项目: 国家社科基金项目(19BJL06); 中国社会科学院博士后创新项目“双碳目标与中国制造业质量发展研究”

基于此，本文描绘 2009~2018 年长江经济带 108 个地级及以上城市制造业集聚水平演变特征及环境污染态势，构建基准回归模型、门槛回归模型考察制造业集聚与环境污染的非线性关系，实证检验长江经济带整体及各区域制造业集聚对环境污染的门槛效应，系统分析长江经济带制造业集聚对环境污染的影响机理，为后续理论机制研究提供参考，探究实现制造业增长与长江经济带生态环境保护双赢局面的现实路径，为加快长江经济带制造业高质量发展提供现实依据。

1 相关文献综述

1.1 制造业集聚与环境污染的关系研究

学术界关于制造业集聚与环境污染的研究大致可以分为以下 3 种：第一种研究结论显示制造业集聚加剧环境污染排放。在短期内，制造业集聚会使得环境污染排放量上升，随着生态环境自我修复以及人工治理措施实施，环境污染得到有效改善。但如果制造业集聚水平超过当地环境承载力和人工治理能力，可能进一步加剧环境污染。李建明等^[3]研究发现工业集聚会加剧环境污染，但并未进一步探究其相关关系的动态特征。杨帆等^[4]从规模经济的角度研究环境污染的影响因素，研究发现我国制造业集聚现阶段处于过度集聚水平，制造业集聚水平的进一步提高将加剧环境污染。

第二种研究结论显示制造业集聚能够缓解环境污染。制造业集聚缓解环境污染主要得益于企业间的知识溢出、基础设施共享，以及规模经济的作用。即便区域内制造业集聚水平增长，环境污染排放量短期上升，企业之间的竞争机制促使企业提升环境治理水平，企业生产效率有效提升，资源消耗得到有效改善，进而减少环境污染排放。闫逢柱等^[5]通过我国制造业集聚的面板数据研究发现，短期内制造业集聚水平提升将减少环境污染排放。胡志强等^[6]通过空间计量模型，发现制造业集聚与环境污染存在较为显著的区域差异性，且制造业集聚有助于环境污染的治理。

第三种研究结论显示制造业集聚与环境污染的关系呈非线性特征。相关研究结论显示两者关系表现为倒“U”型、“N”型、倒“N”型等几类，且这种非线性相关关系受城市规模、人口规模、技术创新等因素调节^[7]。陆凤芝等^[8]研究发现制造业集聚与环境污染呈倒“U”型关系，即短期内制造业协同集聚会抑制环境污染，但长期将加剧环境污染，并且研究结果不存在地区异质性。吴传清等^[9]研究制造业集聚水平与环境效率的相关关系，发现两者间呈“N”型关系，并且影响作用因制造业集聚水平的变化而变化，存在阶段性特征。

1.2 制造业集聚对环境污染的影响路径研究

基于现有文献梳理，制造业集聚影响环境污染的路径主要包括规模效应、技术溢出效应、产业结构效应、拥挤效应 4 种^[10]。

(1) 规模效应。

制造业集聚对环境污染产生的规模效应既包括规模经济的负向抑制作用也包括规模不经济的正向加剧作用。从企业的角度来看，制造业企业规模扩大意味着具有更加雄厚的资金，使得企业能够投入更多的资金进行技术改良，有利于企业进一步改善生产效率，进而减少企业在生产过程中的资源消耗和污染排放。从居民的角度来看，制造业规模的扩大意味着更多的就业岗位产生，随着人才的大量引进，居民将对生活环境质量产生更高的要求，进而倒逼企业减少环境污染排放，抑或是推出更加符合绿色生产生活理念的创新产品，以满足市场的需要^[11]。从政府的角度来看，制造业集聚规模扩大将引起政府对环境污染排放问题的关注，有效的政府会及时出台有关环境规制制度，以此保护当地生态环境可持续发展并促进产业转型升级。规模不经济效应方面，制造业集聚规模扩大的背后离不开资源的快速消耗，倘若此时资源消耗的速度快于自然再生的速度，环境污染排放的速度快于环境吸收修复的速度，则将在短期内造成环境污染排放的加剧。

(2) 技术溢出效应。

制造业集聚对环境污染产生的技术溢出效应主要呈负向抑制作用。一方面,与相对分散的制造业企业布局相比,制造业集聚能够为企业技术创新提供温床。相对集中的空间布局进一步加剧了企业间的竞争,推动企业主动开展技术创新研发活动,以此提升企业自身的生产效率和竞争力^[12]。研发环境污染排放治理技术、开发更符合绿色发展理念的产品、应用更低能耗的绿色生产工艺,均对制造业企业竞争力具有重要作用。另一方面,空间上集聚的制造业分布格局为企业间知识溢出提供机会,部分企业先进的生产技术通过技术外溢效应能够带动一个地区制造业企业技术水平提升^[13]。产生的知识溢出效应能够提升企业生产效率,带来经济效益的增长,为企业投入绿色科技研发提供保障,使得企业进一步提升绿色生产效率进而减少环境污染^[14]。

(3) 产业结构效应。

制造业集聚对环境污染的产业结构效应具有正向加剧和负向抑制两种方向^[15]。一方面,制造业集聚加剧了企业间竞争,随着制造业集聚水平的提升,这种竞争将逐渐加大,对于那些占据市场优势的企业来说,应对竞争是企业转型升级的重要契机。但对于本身生产力不足、竞争力处于弱势地位的企业来说,竞争意味着残酷的淘汰。于是制造业集聚水平的提升将倒逼一部分企业升级为低污染、低能耗、高效益的清洁型企业,促使一部分高污染、高能耗、低效益的低端制造业退出市场,进而优化区域内产业结构,减少环境污染排放。另一方面,制造业集聚对环境污染的产业结构效应与政府产业政策密切相关,具有正向加剧和负向抑制两种方向^[16]。对于一些制造业集聚水平较低的地区,政府将实行宽松的市场准入机制,引导更多的制造业企业进入,而此时区域的产业吸附力较低,往往吸引一些生产力尚不发达、资源消耗较高、环境污染排放较高的企业入驻本地区,进而加剧环境污染。而对于制造业集聚水平较高的地区,区域的资源要素的稀缺性更为凸显,政府通常采取较为严格的市场准入机制,以更为审慎的态度引入企业,吸引更为清洁、规模较大、发展成熟的企业入驻,进而将减少环境污染排放。

(4) 拥挤效应。

制造业集聚对环境污染产生的拥挤效应主要体现为正向加剧作用。制造业集聚水平过高时,将引发交通堵塞、环境污染等问题,使得区域内的居民面临更高的通勤成本和房租,进而产生空间拥挤成本^[17]。在区域内地理空间、资源供给有限的情况下,制造业过度集聚将对生态环境产生较大压力。对于环境承载力较弱的区域,生态环境对制造业污染排放的容纳吸收能力较弱,严重的可能会对生态环境产生不可逆转的破坏,导致无法有效自我修复,进而加剧环境污染。对于环境承载力较强的区域,虽能修复一部分环境污染带来的损伤,但环境修复是一个长期的动态过程,往往需要较长时间,并非一朝一夕能够完成,制造业过度集聚在短期内仍对环境污染起加剧作用。

长江经济带作为我国制造业重要集聚区,制造业高质量发展对引领我国制造业高质量发展具有重大意义。那么,长江经济带沿线城市制造业集聚水平如何?环境污染态势如何?制造业与环境污染间具有怎样的关系?本文在探究以上议题的同时,进一步考虑到长江经济带横跨我国东、中、西三大地区,区域经济发展水平差距较大,中上游地区自然资源丰富、劳动力充足,是长江经济带重要的初级产品制造业生产基地,而下游地区经济外向程度比较高,对先进思想、知识和技术的吸收能力较强,那么制造业集聚对环境污染的作用大小和方向可能在长江经济带不同的区域会产生不同的效果。因此,通过梳理制造业集聚对环境污染的影响机理,首先将制造业集聚的平方项、三次项引入基准回归模型,探讨制造业集聚对环境污染的影响大小和方向,而后通过门槛回归模型讨论制造业集聚在长江经济带整体及上中下游地区对环境污染的异质性门槛效应,随后采用考虑企业规模差异的 E-G 指数、考虑区域面积差异的产出密度模型两种方式测度长江经济带城市制造业集聚水平,运用主客观赋权法重新构造环境污染指数指标权重进行稳健性检验,进而证明本文结论的稳健性。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 长江经济带制造业集聚水平测度

本文采用区位商方法测算长江经济带制造业集聚水平，其测算方法具体如下：

$$LQ = \frac{y_{ij} / \sum_i y_{ij}}{\sum_j y_{ij} / \sum_i \sum_j y_{ij}} \quad (1)$$

式中： y_{ij} 为制造业单位从业人数； $\sum_i y_{ij}$ 为年末单位从业人数； $\sum_i \sum_j y_{ij}$ 为全国城镇单位从业人数； $\sum_j y_{ij}$ 为全国制造业单位从业人数。

2.1.2 长江经济带环境污染指数指标体系的建立

长江经济带在我国生态文明建设方面发挥着巨大功效。但是，随着长江经济带工业化进程逐步推进，制造业集聚过程中的资源消耗量持续增长，而煤炭等能源的燃烧也是污染物的主要来源之一。因此，考虑到数据可获得性以及所表征环境污染的全面性，本文考虑大气环境、水环境、能源消耗 3 个维度，构建长江经济带环境污染指标体系，采用熵值法赋予权重，综合评估长江经济带环境污染水平。

表 1 长江经济带环境污染指数指标体系

指标维度	指标名称	单位
大气环境	工业二氧化硫排放量	t
	工业烟(粉)尘排放量	万 t
水环境	工业废水排放量	万 t
能源消耗	单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元

2.1.3 基准回归模型的建立

为探究制造业集聚对环境污染是否存在非线性关系，将制造业集聚的平方项以及制造业集聚的三次方项引入基准回归模型，其形式如式(2)所示：

$$Pol_{it} = \alpha_i + \beta_1 agg_{it} + \beta_2 (agg_{it})^2 + \beta_3 (agg_{it})^3 + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中： pol_{it} 表示环境污染指数； agg_{it} 表示制造业集聚水平； $(agg_{it})^2$ 、 $(agg_{it})^3$ 分别表示制造业集聚的平方项和三次方项； X_{it} 是一组对环境污染有影响的控制变量，包括对外开放度、产业结构、人口规模、科学技术投入、环境规制。下标 i 和 t 分别表示地区和年份， β 代表变量所对应的影响系数， ε_{it} 代表随机扰动项。

2.1.4 门槛回归模型的建立

根据 Hansen^[18] 建立门槛面板模型, 验证在不同制造业集聚水平下, 长江经济带制造业集聚对环境污染是否会产生不同影响。首先设定传统的单一门槛回归模型:

$$\begin{aligned}
 Pol_{it} = & \alpha_i + \beta_1 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \leq \gamma_1) + \\
 & \beta_2 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \geq \gamma_2) + \\
 & \beta_3 \sum X_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{3}$$

式中: $thre_{it}$ 表示门槛变量, 为门槛值; I 代表指示性函数, 其余变量同式(2)。

式(3)假设仅存在一个门槛, 为分析更加准确, 二重门槛检验和三重门槛检验的公式如下, 三重门槛以上的多重门槛不再赘述:

$$\begin{aligned}
 Pol_{it} = & \alpha_i + \beta_1 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \leq \gamma_1) + \\
 & \beta_2 agg_{it} \cdot I(\gamma_1 < thre_{it} < \gamma_2) + \\
 & \beta_3 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \geq \gamma_2) + \\
 & \beta_4 \sum X_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 Pol_{it} = & \alpha_i + \beta_1 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \leq \gamma_1) + \\
 & \beta_2 agg_{it} \cdot I(\gamma_1 < thre_{it} < \gamma_2) + \\
 & \beta_3 agg_{it} \cdot I(\gamma_2 < thre_{it} < \gamma_3) + \\
 & \beta_4 agg_{it} \cdot I(thre_{it} \geq \gamma_3) + \\
 & \beta_5 \sum X_{it} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \tag{5}$$

2.2 指标选取和数据来源

2.2.1 指标选取

(1) 被解释变量。

环境污染指数(pol), 从大气环境、水环境、能源消耗 3 个方面选择指标, 采用熵权法合成所得。

(2) 解释变量及门槛变量。

制造业集聚水平(agg), 由区位商方法测算所得。

(3) 控制变量。

对外开放度($open$), 采用实际利用外商投资额占 GDP 的比重表示。一方面, 对外开放度的提高将吸引外资进入, 如若没有相应的环境规制对引进外资进行绿色化筛查, 将导致长江经济带污染排放的加剧; 另一方面, 对外开放通常伴随着技术外溢, 促进绿色生产技术及绿色治污技术的引进与推广, 进而推动长江经济带制造业绿色化转型升级, 减少环境污染排放效应^[19]。产业结构

(stru),采用第三产业占GDP比重表示。此处的产业结构为长江经济带第三产业占GDP比重,产业结构中第三产业占比越大,代表着服务业发展水平越高,产业转型升级水平越高,环境污染排放越少^[20]。人口规模(pop),采用年末人口数表示。人口规模的扩大为制造业集聚提供了充足的人力资本要素,对于制造业尚未饱和的地区,则有利于制造业集聚发展,制造业集聚的环境污染效应将进一步提升。然而对于制造业过度密集的地区,城市资源的过度挤占将导致制造业企业转移至人口密集度较低的地区,进而导致制造业集聚的污染排放的降低^[21]。科学技术投入(tec),采用教育与科学支出表示。科技投入能够促进制造业绿色生产技术进步,进而提升企业节能减排及废物循环利用能力,减少环境污染排放^[22]。环境规制(er),由于长江经济带环境规制水平高低受政府政策影响,本文借鉴Chenetal.^[23]相关做法,通过搜集整理长江经济带108个地级及以上城市政府工作报告,整理出2009~2018年长江经济带108个地级及以上城市有关环境规制、环保视频作为衡量长江经济带环境规制水平的代理变量。

2.2.2 数据来源

本文的变量数据来源于《中国城市统计年鉴》(2010-2019)、长江经济带108个地级及以上城市政府工作报告(2009~2018)、长江经济带各省份统计年鉴、EPS数据库等。为减少异方差和统计误差对估计结果的影响,本文将模型中的人口规模、科学技术投入变量进行对数变换。

3 实证结果与分析

3.1 长江经济带制造业集聚水平的时空分异特征

根据2009~2018年长江经济带108个城市制造业集聚水平的测度结果,得出上中下游制造业集聚水平平均值,如表2所示。从时间维度来看,2009~2018年长江经济带制造业集聚水平变化不大,且上中下游地区制造业集聚水平存在差异性波动的现象。分区域来看,上游地区波动较小,呈现小幅度下降趋势;中游地区整体呈现上升趋势,下游地区则呈现出先降后升的趋势。可以发现,长江经济带上中下游地区制造业集聚水平存在较大的区域异质性,整体上呈现上中下游地区制造业集聚水平依次升高的梯度特征,且长江经济带制造业主要集聚于中下游地区。

表2 2009~2018年长江经济带上中下游地区制造业集聚水平平均值

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
上游地区	0.70	0.69	0.70	0.69	0.70	0.69	0.68	0.67	0.68	0.66
中游地区	0.90	0.94	0.95	0.95	0.95	0.98	0.99	1.01	1.01	0.99
下游地区	1.11	1.12	1.07	1.06	0.98	0.99	1.00	1.02	1.02	1.08
平均值	0.90	0.92	0.91	0.90	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91

注:资料来源于测算结果的整理。

3.2 长江经济带环境污染态势的时空分异

根据2009~2018年长江经济带108个地级及以上城市环境污染指数,测度长江经济带上中下游环境污染指数平均值,如图1所示。分区域来看,长江经济带上中下游地区环境污染水平存在较大的地区差异性,其中下游地区环境污染水平最高,41个城市环境污染整体水平居于0.046~0.099之间,在研究期内呈先升后降趋势;上游地区次之,31个城市环境污染整体水平居于

0.033~0.069 之间,在研究期内呈显著下降趋势;中游地区最低,36个城市环境污染整体水平居于0.026~0.069之间,在研究期内呈先上升后下降趋势。可见,长江经济带环境污染主要集中于下游地区和上游地区,绿色发展效益有待提高。从时间维度来看,长江经济带上中下游地区环境污染水平均呈现显著下降趋势,且下游地区城市的环境污染改善速度高于中上游地区。

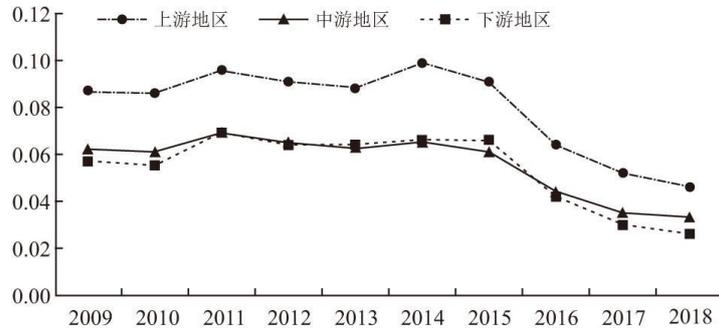


图1 长江经济带 2009~2018 年上中下游地区环境污染指数平均值

3.3 长江经济带制造业集聚对环境污染的影响分析

3.3.1 基准回归分析

为验证长江经济带制造业集聚与环境污染之间是否存在非线性关系,将制造集聚的平方项与三次方项引入基准回归模型,利用 stata15.1 软件得到回归结果, Hausman 检验结果显示采用固定效应模型,如表 3 所示。从长江经济带整体及中下游地区来看,制造业集聚的一次项显著为正,平方项显著为负,三次方项显著为正,即长江经济带制造业集聚与环境污染之间呈现“先加剧、后抑制、再促进”的“N”型曲线关系;从长江经济带上游地区来看,制造业集聚的一次项、平方项与三次方项都显著为正,但其系数不断减小,即长江经济带上游地区制造业集聚对环境污染一直表现为促增作用,但随着制造业集聚水平的提升,这种促增作用在不断减弱。因此,本文进一步采用门槛回归模型探究长江经济带制造业集聚对环境污染的门槛效应。

表 3 基准回归分析

变量	长江经济带	上游地区	中游地区	下游地区
agg	0.7107** (2.01)	0.3245*** (2.81)	0.7413** (2.03)	0.5504** (1.98)
(agg) ²	-1.1330*** (-3.53)	0.2896* (1.72)	-0.8421*** (-2.72)	-1.1223*** (2.78)
(agg) ³	0.4031*** (4.37)	0.1265* (1.85)	0.3954* (1.71)	0.4317*** (4.37)
er	-0.0003* (-1.88)	-0.0006* (-1.77)	-0.0007* (-1.88)	-0.0007** (-2.52)
stru	-2.1641*** (-8.70)	-2.1740*** (-4.48)	-2.3473*** (-4.68)	-2.5802*** (-7.20)
pop	0.1044* (1.91)	-1.2155** (-2.55)	0.4436*** (3.16)	0.3678*** (2.73)
open	0.0166* (1.95)	0.0186* (1.76)	0.3497*** (5.05)	0.0641* (1.79)
tec	-0.1199*** (-5.50)	-0.1151** (-2.40)	-0.1973*** (-5.25)	-0.0052*** (-3.17)
Constant	3.3221*** (3.84)	9.7144*** (3.43)	-16.8173*** (-2.86)	3.6016*** (4.51)

AdjR ²	0.6543	0.4987	0.5201	0.6098
Obs	1080	310	360	410

***、**、*依次代表 1%、5%、10%的显著性水平，括号内代表 t 值。资料来源：根据测算结果整理。

3.3.2 门槛效应分析

借鉴 Hansen^[18]的门槛模型，通过(3)、(4)、(5)式，利用 stata15.1 软件得到检验和测算结果，所得结果详见表 4~表 6。门槛检验结果如表 4 所示，长江经济带整体及上中下游地区制造业集聚水平都在 1%的显著性水平上通过双门槛检验，且显著性程度都高于单门槛检验和三门槛检验。因此，本文对长江经济带整体及上中下游地区都采用双门槛分析。

表 4 门槛效果检验

区域	长江经济带	上游地区	中游地区	下游地区
单门槛检验	6.273** (0.033)	8.917* (0.050)	1.549 (0.187)	29.385** (0.015)
双门槛检验	18.038*** (0.000)	6.925*** (0.001)	11.300*** (0.005)	35.101*** (0.000)
三门槛检验	0.000* (0.080)	4.289 (0.120)	0.000 (0.190)	-0.000 (0.930)

注：***、**、*依次代表 1%、5%、10%的显著性水平，括号内为 P 值。资料来源：根据测算结果整理。

表 5 门槛值估计

区域	门槛估计值 1	95%置信区间	门槛估计值 2	95%置信区间
长江经济带	0.438	[0.381, 1.682]	1.923	[0.475, 1.996]
上游地区	0.382	[0.269, 1.070]	0.731	[0.505, 1.070]
中游地区	0.453	[0.438, 1.211]	1.268	[1.211, 1.417]
下游地区	0.928	[0.886, 0.946]	1.450	[0.475, 1.923]

资料来源：根据测算结果整理。

表 6 双门槛模型参数估计

变量	长江经济带	上游地区	中游地区	下游地区
----	-------	------	------	------

er	-0.0012***(-4.91)	-0.0028***(-5.53)	-0.0024(-0.78)	-0.0011***(-3.71)
stru	-0.2842**(-1.96)	-1.3447***(-2.80)	-1.0132**(-2.42)	-2.7101***(-7.56)
pop	0.7180*** (10.96)	0.9810*** (7.40)	0.2969*** (3.21)	0.9264*** (4.15)
open	0.1702*** (10.72)	0.1075*** (3.33)	0.0923*** (2.78)	0.2951*** (9.00)
tec	-0.1869***(-8.08)	-0.0350***(-3.11)	-0.1496***(-4.64)	-0.1048***(-2.97)
agg • I(Tit < γ 1)	0.5985** (2.17)	1.4971** (2.15)	1.5607*** (3.17)	0.0871* (1.69)
agg • I(γ 1 < Tit < γ 2)	-0.0480* (-1.67)	0.9170*** (3.35)	-0.6104*** (-4.25)	-0.2651** (-2.38)
agg • I(Tit > γ 3)	0.1527** (2.18)	0.1687*** (3.77)	0.4495*** (3.72)	0.0913*** (5.20)
Constant	-3.5672***(-9.98)	-5.7762***(-9.82)	-0.6189(-0.92)	-1.8576***(-3.85)
Adj R ²	0.5580	0.5978	0.6010	0.5560
Obs	1080	310	360	410

注：***、**、*依次代表 1%、5%、10%的显著性水平，括号内代表 t 值。资料来源：根据测算结果整理。

如表 5~6 所示，在不同的制造业集聚水平下，长江经济带制造业集聚对环境污染存在显著的双门槛效应，与基准回归结果一致，长江经济带制造业集聚与环境污染之间存在“N”型曲线关系。当长江经济带制造业集聚水平小于第一个门槛值 0.438 时，制造业集聚与环境污染呈现出正相关关系，其弹性系数为 0.5985；随着长江经济带制造业集聚进一步提升，大于第一个门槛值 0.438 小于第二个门槛值 1.923 时，制造业集聚与环境污染呈现出负相关关系，其弹性系数为 -0.0480；当长江经济带制造业集聚水平大于第二个门槛值 1.923 时，制造业集聚对环境污染表现为促增作用，其弹性系数为 0.1527。究其原因，当长江经济带城市制造业集聚水平低于第一个门槛值 0.438 时，长江经济带的制造业集聚水平整体较低，规模不经济效应发挥主要作用，技术溢出效应、拥挤效应尚不显著。一方面，集聚区内制造业企业空间分布较为分散，企业间交流合作机制欠缺，企业竞争压力较小，产业链单一且不完善，同时制造业企业存在规模扩张的集聚趋势。这个阶段下的制造业企业为了在短期内获得快速扩张，将迅速对区域内的自然资源产生消耗，超过生态环境的资源再生速度。另一方面，制造业企业此时规模较小，尚未具备充足的研发资金用于绿色技术攻关，导致生产经营过程中的污染排放量增加。此外，政府为追逐短期经济效益，进一步提升制造业集聚水平，对进入区域内的企业采取较为宽松的环境规制措施，因此将吸引一批高能耗、高污染的制造业企业入驻集聚区，进而加剧环境污染。当城市制造业集聚水平高于 0.438 而低于 1.923 时，制造业集聚的规模经济效应、技术溢出效应显现，产业结构效应主要呈现为负向抑制作用，拥挤效应尚不显著。这是由于集聚区内的企业间逐步建立了合作机制，产业链逐步完善，企业间联系增强，且企业间通过集聚区内知识共享提升技术水平，进而提升企业的生产效率，减少污染排放。制造业企业集聚到一定水平后，将为规模经济效应提供基础，增强企业间基础设施和劳动力共享，从而降低企业生产成本，为绿色技术进步提供资金支持。与此同时，企业间逐渐增强的竞争环境，迫使一批低端的高污染、高耗能企业退出市场竞争，区域内产业结构得到进一步优化，产业结构效应开始显现负向抑制作用，减少区域内的污染排放。当长江经济带城市制造业集聚水平高于 1.923 时，制造业集聚将进一步加剧环境污染，但其弹性系数有所下降。此时制造业集聚水平过高，受限于区域的空间范围、交通基础设施、自然资源禀赋、资源环境承载能力等因素，这一阶段制造业持续集聚将更多地产生拥挤效应。虽然这一阶段制造业规模较大且技术共享机制日益成熟，理应产生规模经济效应和技术溢出效应，但拥挤效应导致集聚区内的企业之间竞争愈发激烈甚至陷入恶性竞争，资源与劳动力成本大幅提高，生产经营成本高涨，企业的经济效益相应下滑，难以支撑绿色技术的研发投入，导致集聚区内环境污染加剧。

分区域回归结果来看,长江经济带中下游地区的双门槛估计结果方向与长江经济带整体一致,存在显著的双门槛效应,制造业集聚对环境污染表现为“先促增、后抑制、再加剧”的“N”型曲线关系;而长江经济带上游地区制造业集聚水平对环境污染只表现为非线性的促增作用。究其原因,上游地区城市制造业集聚水平较低,制造业集聚的规模经济效应仍未显现,无法发挥制造业集聚所带来的知识溢出、劳动力共享等正外部性,且产业结构仍处于较低水平,创新能力不足,企业的环保意识淡薄,仍采用粗放式经济发展模式加剧环境污染。从控制变量的实证结果来看,对外开放度的提升加剧环境污染,长江经济带对外开放度的提升导致更多的污染密集型企业进入,进而加剧环境污染。产业结构则对环境污染起抑制作用,表明随着第三产业占比的提升,高污染高排放的产业占比减少,进一步说明目前制造业转型升级初见成效,清洁型企业占比逐渐提升,进而促进环境污染排放的减少。人口规模的影响系数显著为正,表明人口规模对环境污染具有显著的加剧作用。科学技术投入的影响系数显著为负,表明科学技术投入的提高会抑制环境污染,原因在于科技投入对制造业生产技术绿色化改造具有促进作用,应进一步加大科技投入,以绿色技术创新驱动制造业清洁化发展。环境规制对环境污染的影响显著为负,表明应进一步加强长江经济带环境规制力度,完善相关生态环境保护法律法规和制度体系,以更严格的环境规制倒逼制造业绿色化发展。

3.3.2 稳健性检验

本文对于门槛回归模型的稳健性做了如下检验:为避免不同制造业企业规模对制造业集聚水平测算结果的影响,模型(1)采用 E-G 指数方法重新测算长江经济带 108 个地级及以上城市制造业集聚水平;为消除不同城市面积的差异对制造业集聚水平测算结果的影响,模型(2)中采用产出密度的方式测算长江经济带 108 个地级及以上城市制造业集聚水平;模型(3)中采用主客观赋权法重新对长江经济带环境污染指标体系赋予权重。结果显示如表 7 所示,模型(1)~(3)中长江经济带制造业集聚对环境污染均存在双门槛效应,与整体回归分析结果一致,故而研究结果具有较好的稳健性。

表 7 稳健性检验

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)
$agg \cdot I(Tit < \gamma_1)$	0.8019*** (2.71)	0.2044*** (2.87)	0.7491* (1.81)
$agg \cdot I(\gamma_1 < Tit < \gamma_2)$	-0.1076*** (-2.88)	-0.0122** (-1.98)	-0.3016* (-1.77)
$agg \cdot I(Tit > \gamma_3)$	0.0604** (2.01)	0.0882** (2.24)	0.1726*** (3.04)
er	-0.0008*** (-7.01)	-0.0024** (-1.98)	-0.0150** (-2.23)
stru	-0.0892*** (-2.93)	-1.0201*** (-2.89)	-0.0340*** (-5.09)
pop	0.0140** (1.96)	0.2093*** (4.28)	0.4560*** (4.26)
open	0.0328*** (4.62)	0.1325* (1.69)	0.1042*** (2.81)
tec	-0.0234* (-1.80)	-0.1036** (-2.06)	-0.0501* (-1.70)
Constant	-0.5474*** (-6.56)	-0.4572*** (-5.78)	-1.1546*** (-7.41)

注:***、**、*依次代表 1%、5%、10%的显著性水平,括号内代表 t 值。资料来源:根据测算结果整理。

4 研究结论与政策启示

4.1 研究结论

本文在考察长江经济带制造业集聚水平、环境污染水平的基础上，将制造业集聚的平方项、三次方项引入基准回归模型检验制造业集聚与环境污染之间的非线性关系，采用门槛回归模型进一步探讨制造业集聚对环境污染的门槛效应，并基于替换制造业集聚水平测度方法、重构环境污染指数指标权重等方式对模型进行稳健性检验。得出以下结论：

(1) 长江经济带制造业整体集聚水平波动较为平稳，呈现先升后降趋势，且长江经济带制造业主要集中于中下游地区，上游地区制造业集聚水平较低，存在明显的空间非均衡性。分区域来看，上游地区制造业集聚水平较低且呈小幅下降趋势；中游地区制造业集聚水平较上游地区更高且呈上升趋势；下游地区制造业集聚水平最高，呈先降后升趋势。

(2) 长江经济带环境污染水平呈显著下降趋势，且存在较大的空间差异，下游地区环境污染指数最高，中游地区次之，上游地区最低。分区域来看，长江经济带上游地区环境污染水平较低且呈显著下降趋势；中游地区环境污染水平较上游地区略低且呈先升后降趋势；下游地区环境污染水平呈先升后降趋势。但是，长江经济带中下游地区环境污染改善程度排名却与污染指数排名相反，下游地区由于严格的环境规制和清洁环保技术的应用，环境污染指数下降最快，而上游地区环境污染指数下降最慢且环境污染一直处于较低水平。

(3) 无论是基准回归结果还是门槛回归结果，长江经济带制造业集聚与环境污染都呈现出“N”型非线性关系，两者间关系与制造业集聚水平有关。从长江经济带整体来看，当长江经济带制造业集聚水平小于第一个门槛值 0.438 时，制造业集聚会加剧环境污染；随着长江经济带制造业集聚进一步提升，当制造业集聚水平大于第一个门槛值 0.438 小于第二个门槛值 1.923，制造业集聚有助于减缓环境污染；当长江经济带制造业集聚水平大于第二个门槛值 1.923，制造业集聚对环境污染表现为促增作用，其弹性系数为 0.1527。不同地区制造业集聚的环境效应存在区域异质性特征，长江经济带中下游地区制造业集聚主要对环境污染也表现为“N”型曲线关系，而上游地区制造业集聚主要对环境污染起促增作用。对外开放度、人口规模是制造业集聚加剧环境污染的重要途径，产业结构优化、科学技术投入、环境规制则能有效改善环境污染。

4.2 政策启示

基于上述研究结论，得到如下政策启示：

(1) 因地制宜推动制造业差异化发展。

长江经济带制造业集聚态势呈现出显著的空间差异，不论是从省域尺度还是城市尺度，长江经济带各地区间制造业集聚水平的差异都不容忽视。长江经济带各地区制造业集聚所处阶段也不尽相同，因此不能一刀切地疏散所有下游地区制造业，也不能一味地加速上游地区制造业集聚。应当立足主体功能定位、产业基础、环境容量、资源承载力，对制造业发展进行整体规划布局，加强长江经济带制造业集聚的空间协同，明确沿江各制造业集聚区发展方向，提前规避产能过剩、同质化竞争等问题，促进生产要素合理流动和创新资源优化配置。同时，还应站在更微观的空间尺度，针对制造业集聚水平所处阶段对不同地区制定差异化产业规划政策。针对制造业集聚水平过高的下游地区，应当合理引导制造业企业疏散转移，缓解生态环境压力。而对于制造业集聚水平居中的中游地区，应适度引导制造业集聚，防止制造业过度集聚导致生态环境过载。同时应发挥好制造业集聚的规模效应、知识溢出效应，促进制造业绿色化、高端化发展。针对制造业集聚水平尚低的上游地区，应当做好产业规划，利用好上游地区丰富的自然资源禀赋，积极引导制造业集聚，培育绿色化制造业种子企业，推动上游地区制造业集聚的正向效应发挥作用。

(2) 实施更严格的环境规制标准。

长江经济带环境规制对环境污染呈显著抑制作用，可见近年来长江经济带深入贯彻绿色发展理念成效显著。2020 年 12 月通

过的《长江保护法》在立法层面为长江流域生态保护提供制度支撑，各地区要深入贯彻落实《长江保护法》有关规定，通过严格落实权责清单、强化生态环境执法和监督管理力度、完善制度保障等措施促进《长江保护法》落地实施。要继续实施最严格的环境規制标准，加大环境隐患排查和集中治理力度，对污染企业和偷排行为零容忍。

(3) 提升制造业绿色技术创新水平。

长江经济带科学技术投入对环境污染呈尚不显著的抑制作用，科技投入对长江经济带环境质量改善具有正向促进作用，但当前仍然存在科技投入力度不足、绿色科技转化率低、科技投入针对性不强等问题。因此，要强化企业在环境治理中的主体地位，综合施策倒逼排污严重的制造业企业转型升级，引导制造业企业提升环保科技投入，支持长江经济带制造业企业联合组建绿色技术创新联合体，鼓励制造业头部企业联合科研机构、金融机构围绕绿色技术研发加强攻关。

(4) 加强绿色制造体系建设。

制造业既是我国能源消耗大、碳排放突出的产业部门，也是节能减排的主战场。围绕碳达峰、碳中和目标，实施制造业低碳行动、绿色制造工程。着力培育一批具有示范带动作用的绿色制造业产品、绿色制造业园区，以长江经济带制造业绿色发展引领带动全国制造业绿色化转型。推广循环经济模式，提高制造业“三废”综合利用率，打造链接共生、原料互供、资源共享的一体化生态链。针对重点污染物开展清洁生产技术改造，切实降低污染物排放水平，破解生态环境与经济发展矛盾难题，努力实现经济效益与环境效益同步。

参考文献：

- [1]陈诗一，陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究，2018, 53(2):20-34.
- [2]李建新，梁曼，钟业喜. 长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别[J]. 长江流域资源与环境，2020, 29(12):2584-2596.
- [3]李建明，罗能生. 高铁开通改善了城市空气污染水平吗?[J]. 经济学(季刊)，2020, 19(4):1335-1354.
- [4]杨帆，周沂，贺灿飞. 产业组织、产业集聚与中国制造业产业污染[J]. 北京大学学报：自然科学版，2016, 52(3):563-573.
- [5]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, 29(1):79-83, 120.
- [6]胡志强，苗健铭，苗长虹. 中国地市尺度工业污染的集聚特征与影响因素[J]. 地理研究，2016, 35(8):1470-1482.
- [7]余昫霞，王英. 中国制造业产业集聚的环境效应研究[J]. 统计与决策，2019, 35(3):129-132.
- [8]陆风芝，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, 35(1):16-29.
- [9]吴传清，邓明亮. 长江经济带高耗能产业集聚特征及影响因素研究[J]. 科技进步与对策，2018, 35(16):67-74.
- [10]原毅军，谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J]. 科学学研究，2015, 33(9):1340-1347.

-
- [11]纪玉俊, 邵泓增. 产业集聚影响环境污染: 加剧抑或抑制?——基于我国城市面板数据的实证检验[J]. 经济与管理, 2018, 32(3):59-64.
- [12]孙博文. 环境经济地理学研究进展[J]. 经济学动态, 2020(3):131-146.
- [13]贺灿飞, 周沂. 环境经济地理研究[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [14]李青原, 肖泽华. 异质性环境规制工具与企业绿色创新激励——来自上市企业绿色专利的证据[J]. 经济研究, 2020, 55(9):192-208.
- [15]刘云强, 权泉, 朱佳玲, 等. 绿色技术创新、产业集聚与生态效率——以长江经济带城市群为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(11):2395-2406.
- [16]黄磊, 吴传清. 外商投资、环境规制与长江经济带城市绿色发展效率[J]. 改革, 2021(3):94-110.
- [17]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.
- [18]HANSEN B E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation testing and inference [J]. Journal of Econometrics, 1999, 93(2):345-368.
- [19]袁华锡, 刘耀彬, 胡森林, 等. 产业集聚加剧了环境污染吗?——基于外商直接投资视角[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(4):794-804.
- [20]罗良文, 赵凡. 工业布局优化与长江经济带高质量发展: 基于区域间产业转移视角[J]. 改革, 2019(2):27-36.
- [21]YU H C, LIU Y, LIU C L. Spatiotemporal variation and inequality in China's economic resilience across cities and urban agglomerations [J]. Sustainability, 2018, 10(12):4757.
- [22]AZAM M. Role of human capital and foreign direct investment in promoting economic growth evidence from Commonwealth of Independent States[J]. International Journal of Social Economics. 2015, 42(2):98-111.
- [23]CHEN Z, KAHN M E, LIU Y, et al. The Consequences of Spatially Differentiated Water Pollution Regulation in China[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2018, 88(5):468-485.