

典型城市工业污染排放演变及驱动因素分析

——以无锡为例

严 逗, 骆童靖, 籍艳丽, 崔召磊

(常熟理工学院 数学与统计学院, 江苏 苏州 215500)

摘要:描述无锡 2001—2020 年工业废水、废气与烟(粉)尘排放量时空演变后,运用 LMDI 模型对其影响因素展开分析。研究表明:样本期内,工业废水与烟(粉)尘排放量总体下降,废气排放量数倍增加;当前,市区与江阴污染排放量较多,尤其是废水与废气;经济规模导致工业污染排放量增加、产业结构使其减少、技术水平作用方向不同,且 3 个因素对不同污染物影响效应存在显著差异;从地区角度看,市区与江阴贡献较大,4 个时段不同污染排放量增减方向与驱动主因(因素贡献与地区贡献)也不同。

关键词:工业污染排放;经济规模;产业结构;技术水平;LMDI 模型

中图分类号:F205;X22 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)04-0155-06

无锡作为长三角地区的重要城市,改革开放以来经济实现快速增长。其中,工业贡献较多。相关资料表明,2001—2020 年,无锡地区生产总值(GDP)年均增速高达 10.84%,比全国平均水平高出 2.11 个百分点;工业增加值比重始终维持在 4 成以上,2011 年前该比例超 5 成。然而,伴随经济高速增长,环境污染问题日益严重,导致地区可持续发展面临沉重负担^[1]。究其原因主要是工业污染。因此,降低工业污染排放理应成为推动可持续发展的关键。故而研究无锡工业污染排放演变及其驱动因素,探索减少污染排放潜力非常必要。

围绕“工业污染排放”的研究,主要集中于污染排放的时空分布特征与影响因素等方面。部分学者解析其时空演变,如彭文斌等利用因子分析和聚类分析探析中国省域工业污染空间分布格局^[2]。也有学者在测度污染排放时空分布基础上,进一步探析其原因,如赵海霞等以江浙沪为研究对象,采用重心模型探究地区工业废气、废水与废固重心演变路径及驱动机制^[3],胡志强等选择中国地级市为研究范围,运用空间探索分析和面板回归模型考察工业集聚与工业污染空间特征及其影响^[4],郭政等与

李芸邑等讨论长三角城市群与经济带的工业污染排放问题,主要采用标准差椭圆与空间自相关分析测算其空间分布格局,运用 LMDI 模型解析其驱动因素^[5-6]。还有学者基于环境库兹涅茨曲线理论,讨论工业污染影响因素,如丁焕峰等基于省域面板数据,检验区域污染的环境库兹涅茨曲线效应^[7],杨皎等分析乌鲁木齐工业污染与经济增长的耦合效应^[8]。近来,少数学者综合环境库兹涅茨曲线模型和 LMDI 模型考察工业污染排放变化的影响因素,如胡兰等对湖南工业污染和经济增长关系的研究^[9]。

由此可见,就驱动因素研究方法而言,主要涉及计量模型与因素分解。前者研究结论随控制变量选择、计量方法与样本容量等变化而变化。受限于客观条件,样本容量与控制变量等问题往往不能很好解决。相比较后者更具优势,而 LMDI 是最常见的指数因素分解模型,故本文选择该模型对无锡工业污染排放演变驱动因素进行分析。

1 工业污染排放量时空演变

1.1 时间特征

2001—2020 年,无锡工业废水排放量经历“上升-下降”的演变态势。具体来看,2001 年工业废水

收稿日期:2021-12-03

基金项目:2021 年江苏省大学生创新创业训练计划重点项目(202110333025Z)。

作者简介:严逗(2000—),女,江苏泰州人,常熟理工学院数学与统计学院,学生,研究方向为经济统计分析;骆童靖(2000—),男,江苏淮安人,常熟理工学院数学与统计学院,学生,研究方向为经济统计分析;通信作者籍艳丽(1978—),女,山西长治人,常熟理工学院数学与统计学院,副教授,博士,研究方向为能源环境经济;崔召磊(1981—),男,山东烟台人,常熟理工学院数学与统计学院,讲师,博士,研究方向为数理统计分析。

排放量 27 620 万 t,2006 年增加至 53 751 万 t;2020 年减少为 17 760 万 t,与 2001 年相比,下降了 35.70%。工业烟(粉)尘排放量波动中大幅减少。2001 年烟(粉)尘排放量 40 643.36 t,2020 年降至 16 098.63 t;下降了 60.39%。该时期烟(粉)尘排放量经历“下降-上升-下降-上升-下降”的变化。与工业废水和烟(粉)尘不同,废气排放量数倍增加。样本期内,19 组废气排放量逐期增长量中,仅 4 组为负。由此可见,该时期废气排放总体呈上升态势。2001 年工业废气排放 1 158 亿标立方,2020 年高达 9 474 亿标立方,相比较,提高了 718.21%,具体如图 1 所示。

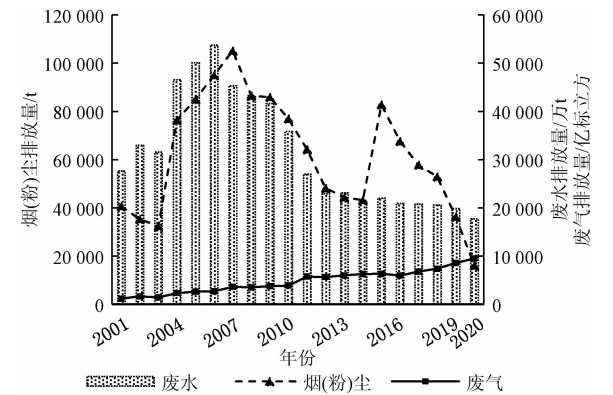


图 1 2001—2020 年工业废水、废气与烟(粉)尘排放量对比

1.2 空间特征

图 2 显示,市区与江阴工业废水排放量较多。2001—2008 年,市区排放占比位居第一,2009 年起江阴反超市区,2020 年两地排放量差距进一步缩小。相比较而言,宜兴废水排放量最小。从趋势上看,宜兴、市区与江阴废水排放量相继于 2002、2004 与 2005 年进入下降通道。当前,市区、江阴与宜兴废水排放比例为 45.66%、43.93%与 10.41%。

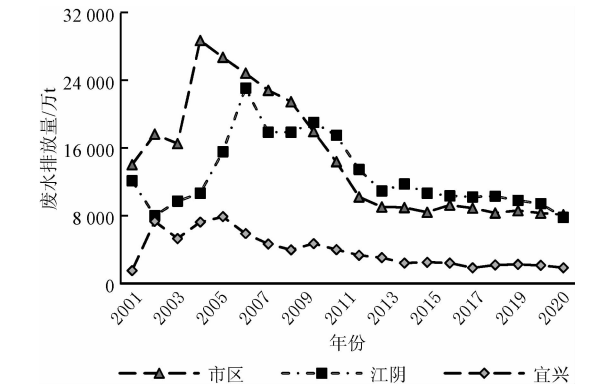


图 2 2001—2020 年地区工业废水排放量时序图

变态势一致,不过程度存在差异。样本期内,宜兴工业废气排放量缓慢增加;江阴 2010 年陡增后,步入缓速上升阶段;市区增速相对较快,尤其是 2016 年以来,也即“十三五”时期,市区废气排放量快速增长。由于地区工业废气排放量增速不同,导致宜兴与市区、江阴的差距逐渐扩大。当前,三地区废气排放量占比为 43.75%、41.41%与 14.84%。

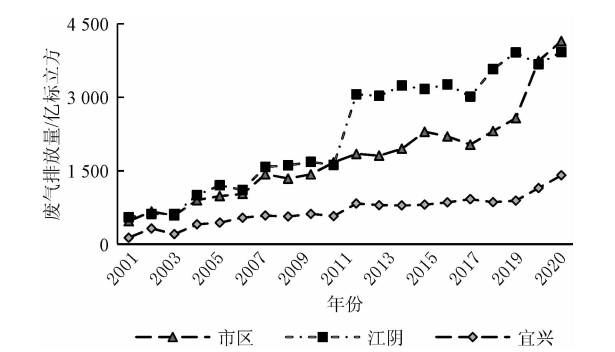


图 3 2001—2020 年地区工业废气排放量时序图

图 4 显示,工业烟(粉)尘排放量市区与宜兴下降、江阴基本持平。具体来看,与 2001 年比,2020 年市区烟(粉)尘排放量大幅下降,降幅高达 86.64%;宜兴同期降幅为 77.41%。江阴相反,2020 年烟(粉)尘排放微幅提升,增幅为 6.10%。由于相反方向与不同幅度的演变态势,导致当前江阴烟(粉)尘排放量比例高达 65.03%、宜兴 23.10%、市区 11.88%。

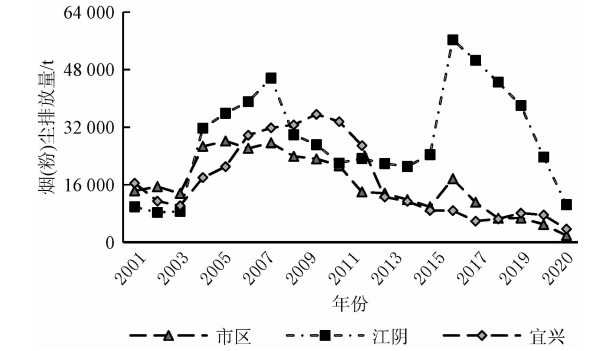


图 4 2001—2020 年地区工业烟(粉)尘排放量时序图

2 工业污染排放量因素分解

研究期间,无锡工业废水与烟(粉)尘排放量总体下降,废气排放量数倍增加。不同污染物排放地区分布存在明显差异。当前,工业废水与废气排放量中,市区与江阴贡献各 4 成以上,宜兴约 1 成;工业烟(粉)尘江阴 6 成,市区最小,约 1 成。且不同地区污染排放增减方向与程度均不一致。进一步,对工业污染排放量演变原因进行因素分析。

2.1 方法与数据

2.1.1 模型

将无锡工业污染排放量分解为经济规模、产业结构与技术水平效应,即

$$P_t = \sum P_{j,t} = \sum \frac{P_{j,t}}{V_{j,t}} \times \frac{V_{j,t}}{G_{j,t}} \times G_{j,t} \triangleq \sum TC_{j,t} \times SR_{j,t} \times G_{j,t} \quad (1)$$

式中: $j = 1, 2, 3$ 表示地区; $t = 1, 2, 3, \dots, 18, 20$, 代表年份; $P_{j,t}$ 、 $V_{j,t}$ 、 $G_{j,t}$ 分别表示某种工业污染排放量、工业增加值与 GDP; $TC_{j,t}$ 、 $SR_{j,t}$ 依次代表技术水平与产业结构。结合对数平均迪氏指数(LMDI)模型^[4-5]与式(1),将基期与报告期工业污染排放量 P_0 与 P_t 的增量 (ΔP) 分解为

$$\Delta P = P_t - P_0 = \Delta P_G + \Delta P_{SR} + \Delta P_{TC} \quad (2)$$

式中: ΔP_G 、 ΔP_{SR} 、 ΔP_{TC} 分别表示经济规模、产业结构与技术水平对污染排放增量的影响,具体公式为

$$\begin{cases} \Delta P_G = \sum \frac{P_{j,t} - P_{j,0}}{\ln P_{j,t} - \ln P_{j,0}} \times \ln \frac{G_{j,t}}{G_{j,0}} \\ \Delta P_{SR} = \sum \frac{P_{j,t} - P_{j,0}}{\ln P_{j,t} - \ln P_{j,0}} \times \ln \frac{SR_{j,t}}{SR_{j,0}} \\ \Delta P_{TC} = \sum \frac{P_{j,t} - P_{j,0}}{\ln P_{j,t} - \ln P_{j,0}} \times \ln \frac{TC_{j,t}}{TC_{j,0}} \end{cases} \quad (3)$$

2.1.2 数据来源

无锡市区、江阴与宜兴工业增加值、GDP 及其环比发展指数数据来自《无锡统计年鉴》(2002—

2021 年)。工业增加值与 GDP 作商,即 ($SR_{j,t}$)。为剔除价格因素影响,将 GDP 环比发展指数以 2001 年 GDP 为基准,换算 2001—2020 年不变价 GDP ($G_{j,t}$)。工业增加值数据类似处理 ($V_{j,t}$) 后,与工业污染排放量 ($P_{j,t}$) 作商,即 ($TC_{j,t}$)。自此,因素分解数据已准备完整。

2.2 结果与分析

采用模型(2)与(3),结合数据展开因素分解。

2.2.1 因素分析

由表 1 可知,2001—2020 年,无锡工业废水、废气与烟(粉)尘排放量增量依次为-9 860 万 t、8 317 亿标立方与-24 545 t。究其原因,经济规模导致污染排放增加、产业结构使其减少、技术水平作用方向不同。废水技术水平与经济规模效应极高,废气经济规模作用占据绝对地位,烟(粉)尘技术水平、经济规模与产业结构效应呈梯次减弱。

分时段来看,2001—2005 年,无锡工业废水、废气与烟(粉)尘排放量增加;2006—2010 年与 2016—2020 年,工业废水与烟(粉)尘减少、废气增加;2011—2015 年,工业废水减少、废气与烟(粉)尘增加。由此可见,废气排放量 4 时段均上升,尤其是 2016—2020 年,增加了 3 506 亿标立方。这说明,“十三五”时期工业废气排放量增幅较多,需引起注意。

表 1 2001—2020 年分时段工业污染排放量影响因素及贡献度

工业污染	时段	经济规模		产业结构		技术水平		合计
		绝对值	贡献度/%	绝对值	贡献度/%	绝对值	贡献度/%	
废水/ 万 t	2001—2005	26 726	119	2 932	13	-7 156	-32	22 502
	2006—2010	26 184	-146	-3 437	19	-40 653	227	-17 905
	2011—2015	5 191	-104	-2 515	50	-7 660	154	-4 984
	2016—2020	5 673	-179	-947	30	-7 901	249	-3 175
	2001—2020	49 904	-506	-4 639	47	-55 125	559	-9 860
废气/ 亿标立方	2001—2005	1 288	87	141	10	45	3	1 474
	2006—2010	1 920	162	-266	-22	-466	-39	1 188
	2011—2015	1 295	223	-592	-102	-121	-21	582
	2016—2020	2 217	63	-389	-11	1 678	48	3 506
	2001—2020	8 884	107	-826	-10	259	3	8 317
烟(粉) 尘/t	2001—2005	41 031	92	4 575	10	-1 187	-3	44 419
	2006—2010	52 029	-288	-8 136	45	-61 934	343	-18 041
	2011—2015	15 386	83	-6 421	-35	9 634	52	18 600
	2016—2020	10 274	-20	-3 257	6	-58 556	114	-51 539
	2001—2020	56 427	-230	-5 252	21	-75 720	308	-24 545

经济规模导致工业污染排放量增加,4 个时段均如此;不过,影响程度不同。如废水排放增量 4 个时段分别为 26 726、26 184、5 191、5 673 万 t,2010—2015 年与 2016—2020 年经济规模效应减弱

许多,烟(粉)尘表现也是如此。废气却不同,4 时段绝对量影响差异较小。

对于产业结构,除 2001—2005 年外,其余 3 个时段促使工业污染排放量下降。如 2006—2010 年,

三废排放量分别减少 3 437 万 t、266 亿标立方和 8 136 t。且 2016—2020 年影响程度减弱。由污染排放增量可知,废水与烟(粉)尘均是 2006—2010 年最大,废气是 2011—2015 年最大。2001 年以来无锡工业化水平不断提高,2005 年达到最大,2006 年起持续缓慢下降。因而,2006 年以后产业结构演化抑制工业污染排量的增加。不过,2016—2020 年工业化水平降速进一步放缓,其影响效应呈弱化态势。

技术水平 2001—2005 年和 2016—2020 年导致工业废气排放量增加,2011—2015 年带来烟(粉)尘排放量增加,其余时段导致工业污染排放量减少。如 2016—2020 年,废气增加 1 678 亿标立方排放;2006—2010 年,烟(粉)尘减少 61 934 t 排放量;2001—2005 年,废水减少 7 156 万 t 排放。这意味着,技术水平在废水与烟(粉)尘方面进步明显,而废气方面技术水平 2016—2020 年呈“倒退”迹象。

比较贡献度不难发现,经济规模与技术水平效应较大。具体而言,技术水平是废水排放量变化的主因(2001—2005 年例外),废气排放量变化的第一因素为经济规模,烟(粉)尘情形复杂,2001—2005 年与 2011—2015 年经济规模为第一因素,2006—2010 年与 2016—2020 年技术水平是主因。

2.2.2 地区表现

经济规模效应方面,市区、江阴和宜兴均是正向促进作用,且贡献度随污染物不同而不同。样本期内(2001—2020 年),对废水而言,市区与江阴贡献相当、远高于宜兴(图 5、图 6);废气不同,江阴、市区与宜兴梯次降低(图 7、图 8);烟(粉)尘江阴、宜兴与市区逐次下降。近期(2016—2020 年)表现略有不同。废水与废气,市区与江阴影响效应基本相当,明显强于宜兴;烟(粉)尘江阴贡献“一枝独秀”,市区与宜兴影响效应较为接近。

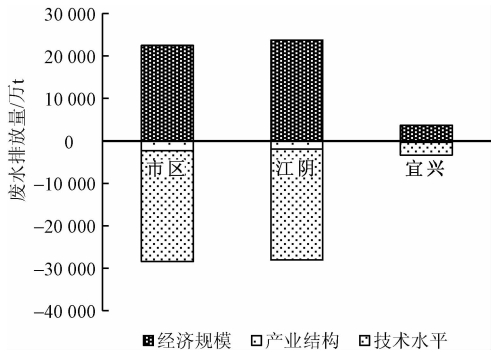


图 5 2001—2020 年废水排放量地区分解

产业结构效应,地区间也存在差异。2001—

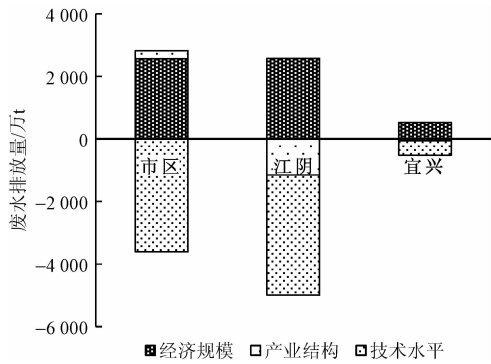


图 6 2016—2020 年废水排放量地区分解

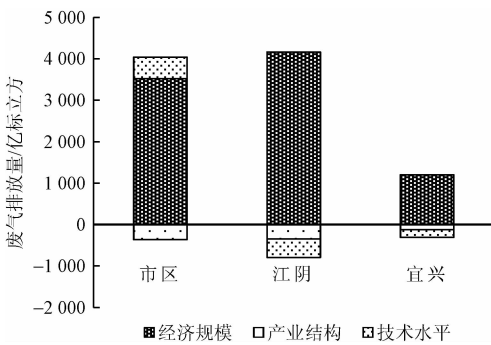


图 7 2001—2020 年废气排放量地区分解

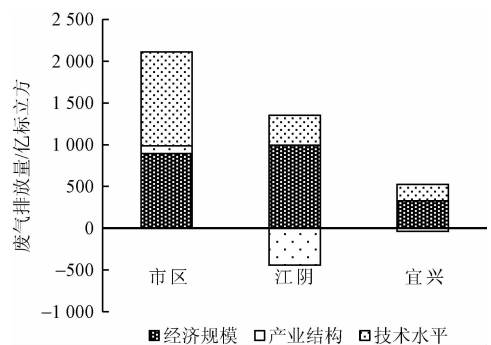


图 8 2016—2020 年废气排放量地区分解

2020 年,产业结构发挥负向抑制作用。市区与江阴影响程度较大,如废水和废气排放增量中,市区与江阴贡献较多,烟(粉)尘排放增量中,江阴贡献较大。2016—2020 年,市区产业结构正向促进工业污染排放的增加,不过程度较小,江阴与宜兴仍是抑制效应,且前者贡献远高于后者。

技术水平效应与产业结构相同,也是负向抑制作用(市区对废气排放的影响例外)。废水排放增量中,江阴与市区贡献相当,远大于宜兴;烟(粉)尘贡献宜兴排居第一(图 9、图 10)。近期看,3 个地区技术水平改善均带来工业废水与烟(粉)尘排放量

下降,江阴和市区抑制效果突出。对工业废气排放影响相反,尤其是市区,其技术水平的“倒退”导致其排放增加 1 125.03 亿标立方。

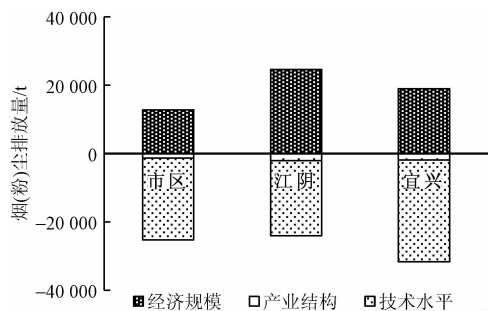


图 9 2001—2020 年烟(粉)尘排放量地区分解

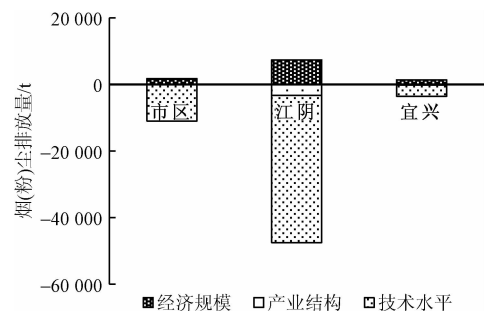


图 10 2016—2020 年烟(粉)尘排放量地区分解

3 结论

基于 2001—2020 年数据,描述无锡工业污染排放变化趋势后,运用 LMDI 模型探析其驱动因素。主要研究结论如下:

- 1)2001—2020 年,无锡工业废水与烟(粉)尘排放量总体呈下降趋势,废气数倍增加。当前,市区与江阴贡献各 4 成以上的工业废水与废气;工业烟(粉)尘排放中,江阴 6 成,市区最小、约 1 成。
- 2)2001—2020 年,经济规模导致工业污染排放增加、产业结构使其减少、技术水平作用方向不同(废气排放上升、废水与烟(粉)尘排放下降),且影响效应存在差别。废水技术水平与经济规模效应极高,废气经济规模效应占据绝对地位,烟(粉)尘技术水平、经济规模与产业结构效应呈梯次减弱。不同时段污染排放量增减方向与幅度也不同。废水排放量除 2001—2005 年,其余 3 个时段均减少;烟(粉)尘排放量 2006—2010 年与 2016—2020 年下降,其余 2 个时段上升;废气排放量 4 个时段均上升,尤其是 2016—2020 年,增幅最多。

3)2001—2020 年,废水经济规模效应,市区与江阴贡献相当、远高于宜兴;废气不同,江阴、市区与宜兴梯次降低;烟(粉)尘江阴、宜兴与市区逐次下降。产业结构效应,市区与江阴程度较大,如废水和废气排放增量中,市区与江阴贡献较多,烟(粉)尘排放增量中,江阴贡献较大。江阴与市区技术水平对废水排放增量贡献相当,远多于宜兴;烟(粉)尘贡献宜兴排居第一。2016—2020 年,废水与废气,市区与江阴经济规模贡献大体相当,显著高于宜兴;烟(粉)尘江阴遥遥领先,市区与宜兴较为接近。市区产业结构正向小幅促进污染排放量增加,江阴与宜兴仍是抑制效应,且前者贡献远高于后者。技术水平促使废水与烟(粉)尘排放量下降,江阴和市区抑制效果表现突出;对工业废气排放作用相反,尤其是市区,其技术水平的“倒退”导致废气大幅增加。

参考文献

[1] 陶锋,王余妃. 环境规制、研发偏向与工业绿色生产率:“波特假说”再检验[J]. 暨南学报(哲学社会科学版), 2018,40(5):45-60.

[2] 彭文斌,吴伟平,邝嫦娥. 中国工业污染空间分布格局研究[J]. 统计与决策,2013(20):115-117

[3] 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[J]. 环境科学,2014,35(11):4387-4394.

[4] 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,2018,38(2):168-176.

[5] 郭政,陈爽,董平,等. 长江三角洲城市群工业污染时空演化及其驱动因素[J]. 中国环境科学,2019,39(3):1323-1335.

[6] 李芸邑,刘利萍,刘元元,等. 长江经济带工业污染排放空间分布格局及其影响因素[J]. 环境科学,2021,42(8):3820-3828.

[7] 丁焕峰,李佩仪. 中国区域污染影响因素:基于 EKC 曲线的面板数据分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(10):117-122.

[8] 杨姣,董晔. 基于 EKC 理论的干旱区典型城市经济增长与工业污染的耦合关系研究:以乌鲁木齐市为例[J/OL]. 内蒙古师范大学学报(自然科学汉文版):1-7[2021-12-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/15.1049.N.20210425.1011.008.html>.

[9] 胡兰,黄和平. 基于 EKC 的工业污染与经济发展关系及驱动因素研究:以湖南省为例[J]. 资源与产业,2021,23(2):11-22.

Analysis on the Evolution and Driving Factors of Industrial Pollution
Emissions in Typical Cities:
Taking Wuxi as an example

YAN Dou, LUO Tongjing, JI Yanli, CUI Zhaolei

(School of Mathematics and Statistics, Changshu Institute of Technology, Suzhou Jiangsu 215500, China)

Abstract: After describing the temporal and spatial evolution of industrial wastewater, waste gas and smoke (powder) dust emissions in Wuxi from 2001 to 2020, the influencing factors are analyzed by LMDI model. The results show that during the sample period, the emission of industrial wastewater and smoke (powder) dust decreases as a whole, and the emission of waste gas has increased several times; At present, there are relatively more pollution emissions in urban areas and Jiangyin, especially wastewater and waste gas. Economic scale leads to the increase of industrial pollution emissions, the reduction of industrial structure, and the action direction of technical level is different, and there are obvious differences in the action degree of the three factors on different kinds of pollution. In terms of regions, the urban area and Jiangyin contribute greatly to the change of industrial pollution emissions. The increase and decrease direction and driving factors (factor contribution and regional contribution) of pollution emissions of different varieties are also different in the four periods.

Keywords: industrial pollution emissions; economic scale; industrial structure; technical level; LMDI model