

文章编号:1671-1556(2020)02-0008-09

2000—2015 年长江经济带工业结构演变及其 环境效应

丁 镭¹, 夏会会², 师 懿³, 程胜高³

(1. 宁波职业技术学院环境经济研究中心, 浙江 宁波 315800; 2. 中国地质大学(武汉)经济管理学院, 湖北 武汉 430074; 3. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 产业结构和环境污染作用的关系研究, 是实现区域经济可持续发展的重要内容。基于 2000—2015 年长江经济带各地区 35 个工业行业的相关数据, 并引入污染密集型产业, 在 Tapio 脱钩分析模型的基础上, 利用工业结构特征偏向指数对长江经济带工业结构演变与环境变化(工业废气、工业废水、工业固废 3 个污染物指标)之间的关系进行定量分析。结果表明:①产业结构, 尤其是污染密集型产业的分布是影响长江经济带各地区污染排放特征差异的重要因素;②长江经济带工业废气和工业固废存在向低环境污染特征发展的趋势, 受污染密集型产业在工业总产值中占比的影响, 呈现出东部地区低、中西部地区高的空间分布特征;③长江经济带工业废水的结构特征受工业废水污染密集型产业在工业总产值中占比的影响, 存在一定的区域差异性, 除上海、江苏、安徽、四川地区工业废水持续向低环境污染排放特征发展外, 其他地区均呈现出增减反复变动的趋势。未来, 在产业结构调整及布局中, 长江经济带东部地区需注重产业整体的优化升级, 中、西部地区需做好产业转移承接过程中的污染防治, 依托技术水平的进步, 寻求绿色环保产业的更新换代。

关键词: 长江经济带; 工业结构; 环境效应; 脱钩分析模型; 污染密集型产业

中图分类号: X22 文献标识码: A DOI: 10.13578/j.cnki.issn.1671-1556.2020.02.002

Evolution of Industrial Structure and Its Environmental Effect in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

DING Lei¹, XIA Huihui², SHI Yi³, CHENG Shenggao³

(1. Institute of Environmental Economics, Ningbo Polytechnic, Ningbo 315800, China; 2. School of Economics and Management, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China; 3. School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The research on the relationship between industrial structure and environmental pollution effect is an important part to realize sustainable development of regional economy. Based on the relevant data of 35 industrial sector in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015, this paper introduces pollution-intensive industries, and conducts a quantitative analysis of the relationship between industrial structure evolution and environmental change in the Yangtze River Economic Belt (3 pollutant indicators as industrial waste gas, industrial waste water, and industrial solid waste) with industrial structure characteristics bias index on the basis of Tapio decoupling state analysis model. The results show that industrial structure is an important factor leading to the difference of pollution emission characteristics in each region in the Yangtze River Economic Belt, especially the distribution of pollution-intensive industries; the industrial waste gas and industrial solid waste in the Yangtze River Economic Belt have a tendency to develop toward low pollution characteristics. Due to the proportion of pollution-intensive industries, the spatial distribution charac-

收稿日期: 2019-06-01 修回日期: 2019-12-31

基金项目: 浙江省高校重大人文社科攻关计划项目(2018QN035)

作者简介: 丁 镭(1988—), 博士, 副教授, 主要从事环境经济和环境管理方面的研究。E-mail: dinglei3616028@163.com

teristic shows that the east is low, and the middle and the west is high; with the influence of the proportion of industrial being stewater pollution-intensive industry in the Yangtze River Economic Belt, the structure characteristic of industrial wastewater shows certain regional differences. Except for Shanghai, Jiangsu, Anhui, and Sichuan provinces, which continue to develop toward low-level wastewater discharge, other regions show a trend of repeated changes. In the future, the eastern regions need to pay attention to the optimization and upgrading of the industry as a whole. The central and western provinces should do a good job in pollution prevention and control in the process of industrial transfer and undertaking, rely on the progress of technological level, and seek for the renewal of green and environmental protection industries.

Key words: Yangtze River Economic Belt; industrial structure; environmental effect; decoupling analysis model; pollution-intensive industry

2018 年习近平总书记在深入推动长江经济带发展座谈会上的讲话中指出:推动长江经济带发展必须从中华民族长远利益考虑,把修复长江生态环境摆在压倒性位置,强调了“共抓大保护,不搞大开发”。长江经济带的经济发展和生态环境问题已成为社会和学界共同关注的焦点问题^[1-3]。作为一项重要的国家发展战略,长江经济带覆盖我国 9 省 2 市,贯穿东中西部,是我国国土空间上重要的东西轴线^[1]。而产业结构作为经济发展和生态环境的重要纽带,一方面通过经济活动投入的“资源转换器”作用于生态环境,另一方面区域环境的承载力反制约着产业结构和经济的发展路径。因此,从产业结构演变的视角探索区域经济发展和环境效应的变化,对长江经济带的可持续发展具有重要的意义^[3-4]。

目前,针对产业结构演变的环境效应,国内外众多专家学者进行了相关的理论探讨和实证分析。如 Grossman 等^[5]利用工业与环境污染程度演变的三阶段模型对东亚地区工业产业结构的环境污染特征进行了研究,指出不同阶段的环境污染程度不同;Llop^[6]利用投入产出法对西班牙产业结构与污染物排放进行了实证研究,结果表明产业结构调整是实现污染物减排的重要驱动力;郭子琪等^[7]通过对综合环境污染指数的计算来衡量我国各地区的环境污染程度,解析了我国各地区环境污染的不平等现象,并指出产业结构升级成为实现污染物减排、提高环境质量的直接和间接影响因素;丁焕峰等^[8]通过构建联立方程模型,实证研究了我国 6 类区域污染指标与经济增长的关系,验证了环境库兹涅茨曲线假说,并指出产业结构的不合理会加剧区域污染物的排放;刘云浪等^[9]通过对危险废弃物与经济关系的 EKC 曲线进行拟合,结果表明通过优化产业结构可实现经济与危险废弃物的减量、无害化发展。此外,

还有不少学者分别从大气污染^[10-11]、水污染^[12-13]、固体废弃物(即固废)污染^[14-15]角度对全国或各省市产业结构与环境污染的关系进行了分析,发现产业结构是造成环境污染的重要影响因素,但不同行业、不同产业结构对环境污染的作用存在显著的区域差异。

从具体的研究尺度来看,考虑到数据的可获性和完整性,国家或省级层面的大范围比较分析以及个别城市的实证研究受到众多学者的关注。如 Zhang 等^[16]、Jiang 等^[17]、邓祥征等^[18]、Wu 等^[19]和付玉芹等^[20]分别对全国、青海省、东莞市和东营市产业结构与生态环境的相互作用机制进行了实证研究,但中观尺度的比较研究相对缺乏。此外,从具体的产业来看,孟祥海等^[21]和杨洁等^[22]分别从畜牧业和农业产业入手,探讨了第一产业与生态环境之间的相互作用关系;王菲等^[23]和胡颖等^[24]分别通过工业结构特征偏向指数和脱钩模型,分析了第二产业的工业、建筑业结构变动对生态环境的影响;李志华等^[25]和马阁华等^[26]则对具体的煤炭和水泥业结构变动带来的环境污染进行了剖析。

虽然在产业结构对生态环境的影响方面专家学者们已取得了丰富的研究成果,但研究内容多集中于产业结构与生态环境两者之间关系的论证和单一行业所带来的环境效应分析,从具体的工业行业内部结构出发,探讨工业结构变动带来的环境效应改变则相对较少。基于此,本文以长江经济带 9 省 2 市为研究对象,基于 2000—2015 年长江经济带各省 35 个工业行业的相关数据,引入污染密集型产业,构建脱钩状态分析模型描述工业经济增长与环境污染之间的关系,并通过工业结构特征偏向指数定量分析长江经济带各地区工业结构的环境污染特征,以为长江经济带总体产业布局和污染减排政策制定提供依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 脱钩分析模型

本文参照 Tapio 脱钩模型^[27-32], 构建了反映长江经济带工业经济增长与环境污染排放之间脱钩程度的计算方法, 即工业经济增长与污染物排放之间的脱钩指数计算公式:

$$E(EA, IO) = \frac{\Delta EA'}{\Delta IO'} = \frac{(EA_{t+1} - EA_t) / EA_t}{(IO_{t+1} - IO_t) / IO_t}$$

其中: $E(EA, IO)$ 为污染物的 IO 弹性, 表示工业经济增长与污染物排放之间的脱钩指数; $\Delta EA'$ 为污染物指标变化率; $\Delta IO'$ 为工业产值增加值变化率; EA_t 和 IO_t 、 EA_{t+1} 和 IO_{t+1} 则分别表示起始年和末端年的污染量 (亿标 m^3 或者 t) 和工业产值增加值 (亿元)。

工业经济增长与环境污染的脱钩程度判定标准见表 1^[11,27], 其中绝对脱钩和绝对负脱钩分别代表最理想状态和最不理想状态。

表 1 工业经济增长与环境污染的脱钩程度判定标准
Table 1 Standard for Judging the Decoupling Degree of Industrial Economic Growth and Environmental Pollution

趋势	类型	$E(EA, IO)$	$\Delta EA'$	$\Delta IO'$	含义
	绝对脱钩	< 0	< 0	> 0	最好: 经济增长, 污染程度下降
脱钩	相对脱钩	$0 \sim 1$	> 0	> 0	经济增长, 污染缓慢增长
	衰退性脱钩	> 1	< 0	< 0	经济缓慢衰退, 污染大幅下降
	绝对负脱钩	< 0	> 0	< 0	最差: 经济衰退, 污染增长
负脱钩	衰退负脱钩	$0 \sim 1$	< 0	< 0	经济衰退, 污染缓慢下降
	扩张性负脱钩	> 1	> 0	> 0	经济缓慢增长, 污染大幅增长

1.2 污染密集型产业的界定

污染密集型产业指在生产过程中产生大量污染物的产业。本文借鉴 Becker 等^[33] 的分类方法, 测度每个污染密集型产业的污染密集度指数 (PDI), 并将 PDI 值大于或等于 1 的产业构成废水、废气和固废 3 种不同的污染密集型产业 (见表 2)。其 PDI 的计算公式如下:

$$PDI_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PDI_{ki} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{EA_{ki}}{IO_{ki}} \bigg/ \frac{\sum_{k=1}^{35} EA_{ki}}{\sum_{k=1}^{35} IO_{ki}} \quad (1)$$

式中: t 为年份; k 为 35 个细分的污染密集型行业; PDI_k 表示 k 行业的污染密集度指数; PDI_{kt} 则表示 t 年份 k 行业的污染密集度指数, 用 k 行业单位产值的污染物排放量和所选的 35 个行业单位产值的污染物排放量的比值来衡量; EA_{kt} 和 IO_{kt} 分别表示 t 年份 k 行业的排污量和工业总产值, 两者之间的比值用来表示单位产值的污染物排放量 (废气单位为标 m^3 /元, 废水和固废单位为 t /万元)。

表 2 污染密集型产业及 PDI 值

Table 2 Pollution-intensive industries and PDI values

污染密集型产业	PDI 值	污染密集型产业	PDI 值
大气污染密集型产业		造纸和纸制品业	10.93
电力、热力生产和供应业	5.36	有色金属矿采选业	3.86
非金属矿物制品业	4.79	化学纤维制造业	2.62
黑色金属冶炼和压延加工业	2.91	化学原料和化学制品制造业	2.37
有色金属冶炼和压延加工业	1.61	水的生产和供应业	2.33
造纸和纸制品业	1.23	黑色金属矿采选业	2.17
黑色金属矿采选业	1.18	纺织业	2.03
化学纤维制造业	1.00	饮料制造业	1.95
黑色金属矿采选业	31.43	电力、热力生产和供应业	1.71
有色金属矿采选业	27.76	煤炭开采和洗选业	1.61
煤炭开采和洗选业	6.29	食品制造业	1.28
电力、热力生产和供应业	3.30	非金属矿采选业	1.23
非金属矿采选业	2.84	黑色金属冶炼和压延加工业	1.14
黑色金属冶炼和压延加工业	2.25	医药制造业	1.14
有色金属冶炼和压延加工业	1.32	农副食品加工业	1.07
化学原料和化学制品制造业	1.12		

1.3 工业结构特征偏向指数

工业结构特征是区域环境质量的重要影响因素, 由于区域和研究期间的选择不同, 伴随着不同的工业结构特征, 由此产生的环境效应也有所差异。为了测算不同地区工业结构的环境污染特征, 本文借鉴了王菲等^[34] 构建的工业结构特征偏向指数计算公式, 即

$$ICB_i = \sum_{k=1}^{35} S_{ki} Z_k \quad (2)$$

式中: i 表示地区; k 表示某污染行业; ICB_i 表示 i 地区的工业结构特征偏向指数; S_{ki} 表示 k 行业在 i 地区工业产值中所占的比重, 即 i 地区的 k 行业工业总产值与该地区工业总产值的比值; Z_k 表示 k 行业单位产值的环境污染指数, 即万元工业产值的“三废”排放量。

由于不同行业单位产值的污染物排放量不同, 且污染物排放量与环境污染指数呈正比, 即高污染行业的环境污染指数高, 低污染行业的环境污染指数低, 因此某地区高污染行业所占的比重越大, 工业结构偏向指数就越大, 反映该地区的工业结构呈现出高环境污染特征; 相反, 某地区工业结构偏向指数越小, 则表

示该地区的工业结构呈现出低环境污染特征。

1.4 数据来源

本次研究选取的时间段为 2000—2015 年,并分为 2000—2005 年、2006—2010 年、2011—2015 年三段时期,研究数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国环境年鉴》和各省历年统计年鉴、中华人民共和国国家统计局等部门相关年份的数据。其中,为了揭示工业内部结构的变化特征,排除技术进步等因素的影响,参照王菲等^[23]的污染数据处理过程,本文将不同地区相同行业的环境污染指数采用阶段性动态变化的系数值进行判定,即分

别选用 2000 年、2006 年、2011 年全国工业分行业单位产值的工业三废排放量数据作为 2000—2005 年、2006—2010 年、2011—2015 年三段时期各省区的参照衡量标准进行计算。

2 研究结果与分析

2.1 工业经济增长与环境污染的脱钩程度分析

2000—2015 年长江经济带各地区工业国内生产总值(GDP)与工业废气、工业废水、工业固废排放之间的脱钩指数计算结果,见表 3。

表 3 2000—2015 年长江经济带各地区工业 GDP 与工业“三废”排放之间的脱钩指数

Table 3 Industrial GDP and “three wastes” decoupling index in each region in the Yangtze River Economic Belt from 2000—2015

地区	工业 GDP 与工业废气排放之间的脱钩指数			工业 GDP 与工业废水排放之间的脱钩指数			工业 GDP 与工业固废排放之间的脱钩指数		
	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年
上海	0.46	0.85	-0.13	-0.29	-0.46	2.91	0.44	0.40	-2.47
江苏	0.84	0.52	1.89	0.32	-0.11	-0.48	0.62	0.55	0.40
浙江	0.87	0.57	0.87	0.36	0.13	-0.89	0.71	0.70	0.14
安徽	0.71	0.81	1.02	0.01	0.06	0.01	0.46	0.61	0.60
江西	0.58	0.64	1.20	0.17	0.18	0.09	0.28	0.18	0.24
湖北	0.66	0.28	0.99	-0.13	0.01	-0.20	0.31	0.49	0.19
湖南	0.68	0.77	0.06	0.09	-0.12	-0.27	0.43	0.38	0.32
重庆	0.88	1.07	-0.18	0.01	-0.25	-0.42	0.35	0.32	-0.01
四川	0.59	0.76	-0.37	0.04	-0.12	-0.48	0.30	0.39	0.20
贵州	-0.01	1.44	0.67	-0.24	-0.04	0.90	0.99	0.60	-0.12
云南	1.49	0.83	0.87	-0.09	-0.05	1.02	0.70	0.83	1.05
合计	0.67	0.73	0.82	0.12	-0.06	-0.28	0.46	0.55	0.34

由表 3 可以看出:

(1) 从工业 GDP 与工业废气排放之间的脱钩指数计算结果来看,长江经济带各地区在研究期间内总体上处于相对脱钩状态,且脱钩指数呈持续上升的趋势,虽然工业废气排放的增长速度未超过经济增长的速度,但整体上工业经济增长已开始向高废气排放特征发展;除安徽、江西的脱钩指数持续上升外,上海、湖南、重庆等地的脱钩指数呈先升后降的趋势,与之相反,江苏、浙江、湖北等地的脱钩指数经历了先降后升的趋势;其中,上海、浙江、贵州等地在三段时期内均处于相对或绝对脱钩状态,工业废气排放的增长率低于经济增长率,经济发展与环境良性互动,相比之下,江苏、安徽、江西由相对脱钩状态向扩张性负脱钩状态发展,工业废气的增长速度开始超过经济增长速度,工业经济增长对环境的压力增大,环境恶化严重。

(2) 从工业 GDP 与工业废水排放之间的脱钩指数计算结果来看,长江经济带各地区在研究期间

内的脱钩指数整体上经历了从相对脱钩状态到绝对脱钩状态的发展阶段,说明工业经济增长不断向低废水排放特征发展,经济发展与环境呈良性互动关系;其中,上海、云南经历了绝对脱钩状态到扩张性负脱钩状态的发展阶段,表明工业废水排放增长率超过经济发展增长率,工业经济增长向高废水排放特征发展,相比之下,江苏、浙江、湖南、重庆等地经历了相对脱钩状态到绝对脱钩状态的发展趋势,工业经济发展的同时,工业废水的排放量开始降低。

(3) 从工业 GDP 与工业固废排放之间的脱钩指数计算结果来看,长江经济带各地区整体上在三段研究期间内均处于相对脱钩状态,其脱钩指数经历了先升后降的发展趋势,表明在此期间经济发展的同时,工业固废带来的环境污染同步增长;其中,上海、重庆、贵州等地经历了相对脱钩状态到绝对脱钩状态的发展趋势,工业经济的增长已开始向低固废排放特征发展;与之相反,云南的脱钩指数持续上升,脱钩状态逐渐向扩张性负脱钩状态发展,工业固

废排放的增长速度超过经济增长速度,经济增长对环境的压力增大;除此之外,其他地区三段时期内均处于相对脱钩状态,工业固废排放的增长率低于经济增长率,经济发展与环境呈良性互动。

2.2 工业结构与污染物排放的时空分布特征分析
2000—2015 年长江经济带各地区工业“三废”单位产值污染排放水平见表 4,各地区工业“三废”污染密集型产业占工业总产值的比重见图 1。

表 4 2000—2015 年长江经济带各地区工业“三废”单位产值污染排放水平

Table 4 Pollution discharge level of industrial “three wastes” per unit output value in each region in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

地区	工业废气/(标 m ³ ·元 ⁻¹)			工业废水/(t·万元 ⁻¹)			工业固废/(t·万元 ⁻¹)		
	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年	2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年
上海	0.76	0.45	0.42	6.24	1.96	1.39	0.17	0.10	0.07
江苏	0.80	0.42	0.40	13.82	4.53	1.85	0.22	0.13	0.08
浙江	0.74	0.46	0.41	12.52	5.48	2.85	0.15	0.10	0.07
安徽	1.95	1.26	0.90	23.25	6.79	2.28	1.28	0.66	0.38
江西	1.90	0.90	0.65	29.44	8.74	3.08	3.54	1.07	0.48
湖北	1.72	0.93	0.57	23.60	7.51	2.54	0.74	0.41	0.22
湖南	1.68	0.88	0.54	42.36	9.57	3.06	1.00	0.43	0.25
四川	0.72	0.60	0.29	23.43	5.15	1.07	0.40	0.16	0.09
重庆	4.19	2.78	1.35	74.77	20.79	4.97	3.28	1.66	0.86
贵州	3.73	2.78	2.27	17.57	4.71	3.20	3.43	2.23	1.04
云南	2.39	1.81	1.68	20.43	7.34	4.58	2.15	1.62	1.61
合计	1.14	0.71	0.57	17.49	5.76	2.36	0.60	0.33	0.23

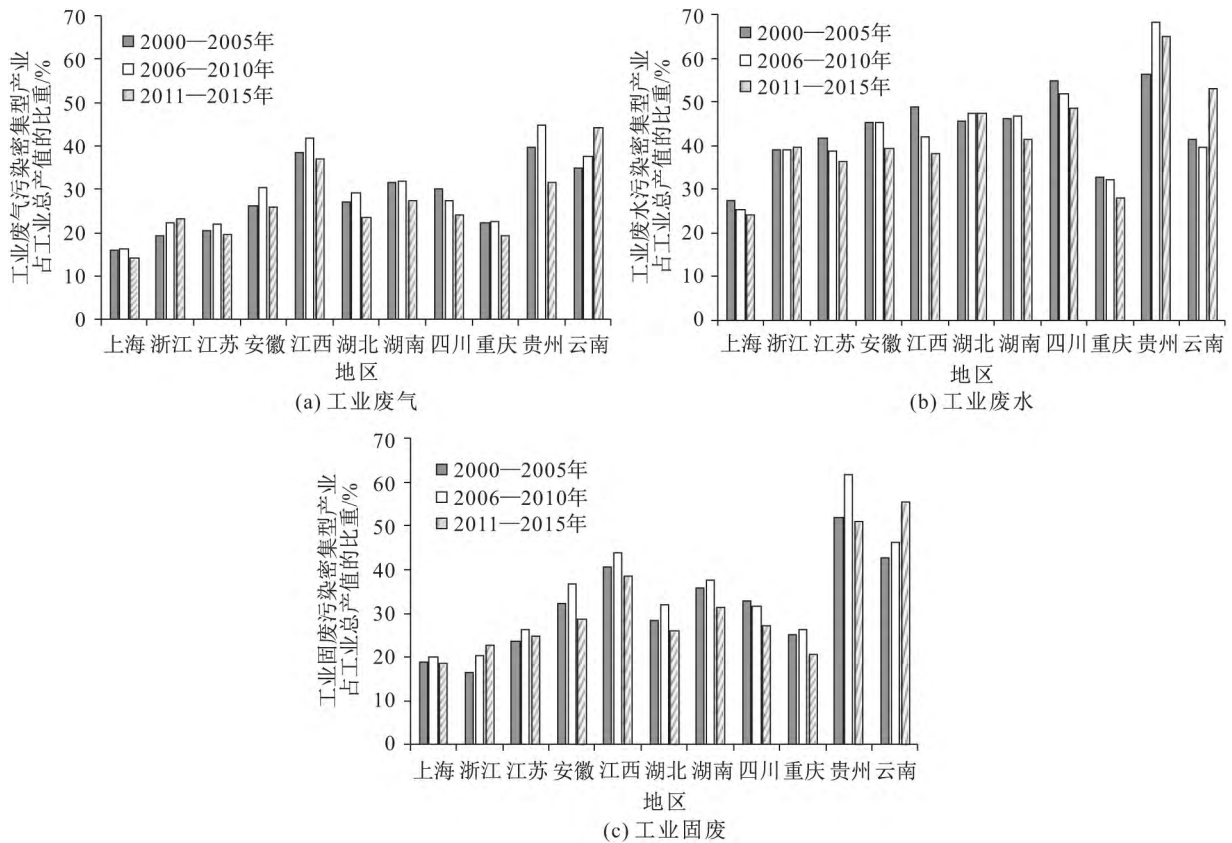


图 1 2000—2015 年长江经济带各地区工业“三废”污染密集型产业占工业总产值的比重

Fig. 1 Proportion of “three waste” pollution intensive industries in total industrial output value of each region in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

由表 4 和图 1 可以看出:在研究期间内,受技术 进步等因素的影响,长江经济带各地区单位产值的

工业废气排放量、工业废水排放量、工业固废排放量均呈现明显的下降趋势,说明工业污染排放的控制效率得到了改善和提升,如长江经济带总体的单位产值工业废气排放量从 1.14 降到了 0.57;在空间分布上,受工业污染密集型行业在工业总产值中占比的影响,大部分地区单位产值的“三废”排放量呈现明显的东部地区低、中西部地区偏高的趋势,其中,上海、四川、重庆的工业废气污染密集型产业,上海、江苏和中西部地区江西、四川、重庆的工业废水污染密集型产业以及近年来上海、四川、重庆的工业

固废污染密集型产业,与各污染排放减少相呼应,其所占工业总产值的比重呈现下降趋势。由此可见,产业与污染排放是相关的,在注重污染物处理的情况下,通过调整工业结构,可以有效地解决产业长期可持续发展与污染物排放量之间的矛盾。

为了描述长江经济带各地区工业结构和环境污染排放水平的变化和现状,与前文一致,将 2000—2015 年共计 16 年划分为 3 个时间段,列举了三个时间段内各地区中工业总产值占比相对较大的 5 个行业,以此来分析污染的主要来源,见表 5。

表 5 2000—2015 年长江经济带各地区主要工业行业及其占工业总产值的比重

Table 5 Main industries and their proportion in total industrial output value in each region in the Yangtze River Economic Belt from 2000 to 2015

地区	主要工业行业	占工业总产值的比重/%			地区	主要工业行业	占工业总产值的比重/%		
		2000— 2005 年	2006— 2010 年	2011— 2015 年			2000— 2005 年	2006— 2010 年	2011— 2015 年
上海	计算机、通信和其他电子设备制造业	18.51	20.94	17.82	安徽	交通运输设备制造业	8.85	8.92	7.21
	交通运输设备制造业	12.17	11.73	18.58		电气机械和器材制造业	8.49	10.37	11.91
	黑色金属冶炼和压延加工业	8.42	6.66	4.91		电力、热力生产和供应业	7.68	8.35	6.28
	通用设备制造业	6.66	8.41	7.91		黑色金属冶炼和压延加工业	6.81	8.69	6.17
	电气机械和器材制造业	6.34	6.74	6.73		化学原料和化学制品制造业	6.32	6.12	5.81
浙江	纺织业	13.28	11.44	9.54	江西	黑色金属冶炼和压延加工业	10.72	8.04	4.94
	电气机械和器材制造业	8.16	8.71	9.09		有色金属冶炼和压延加工业	10.22	18.11	17.38
	通用设备制造业	6.76	7.13	6.75		交通运输设备制造业	9.75	5.56	4.41
	电力、热力生产和供应业	5.49	6.61	6.59		电力、热力生产和供应业	9.52	6.15	4.04
	化学原料和化学制品制造业	5.46	6.23	8.24		石油加工、炼焦和核燃料加工	6.00	3.22	2.01
江苏	计算机、通信和其他电子设备制造业	13.81	14.75	13.08	湖北	交通运输设备制造业	17.91	17.56	14.73
	纺织业	10.09	7.42	5.14		黑色金属冶炼和压延加工业	10.03	11.11	7.84
	化学原料和化学制品制造业	9.47	9.74	10.99		电力、热力生产和供应业	7.75	8.31	4.47
	黑色金属冶炼和压延加工业	7.32	8.82	7.36		化学原料和化学制品制造业	6.51	7.30	8.53
	电气机械和器材制造业	6.50	8.35	10.67		纺织业	5.97	4.53	4.86
四川	黑色金属冶炼和压延加工业	11.36	8.39	6.67	湖南	黑色金属冶炼和压延加工业	8.61	8.06	5.06
	化学原料和化学制品制造业	8.04	7.23	6.70		化学原料和化学制品制造业	8.43	8.16	8.23
	电力、热力生产和供应业	7.45	6.63	5.22		有色金属冶炼和压延加工业	7.04	8.94	8.29
	计算机、通信和其他电子设备制造业	7.40	5.27	8.99		烟草制品业	6.76	3.65	2.45
	酒、饮料和精制茶制造业	7.16	5.65	6.60		电力、热力生产和供应业	6.54	6.13	4.20
重庆	交通制造业	36.07	33.64	28.48	贵州	电力、热力生产和供应业	17.23	23.48	15.63
	化学原料和化学制品制造业	6.96	5.91	5.00		烟草制品业	10.41	5.49	4.16
	电力、热力生产和供应业	5.78	5.73	4.14		黑色金属冶炼和压延加工业	10.20	10.56	5.88
	黑色金属冶炼和压延加工业	5.76	5.14	4.52		化学原料和化学制品制造业	10.00	9.14	7.81
	非金属矿物制品业	5.03	4.68	5.27		有色金属冶炼和压延加工业	8.24	6.57	2.32
云南	烟草制品业	28.80	17.90	15.26					
	有色金属冶炼和压延加工业	11.30	17.86	14.78					
	电力、热力生产和供应业	10.14	11.73	12.49					
	黑色金属冶炼和压延加工业	8.00	11.04	10.14					
	化学原料和化学制品制造业	8.98	8.86	8.65					

由表 5 并结合表 4 可以看出:

(1) 长江经济带东部地区(江苏、浙江、上海),江浙沪地区单位产值的工业“三废”排放量均显著低于中西部地区。上海和江苏两地的主要行业中计算

机、通信和其他电子设备制造业、交通运输设备制造业以及电气机械和器材制造业等装备制造业在工业总产值中的占比较高,属于技术密集型产业,其耗能少、污染低;同时,上海的污染密集型产业中黑色金

属冶炼和压延加工业以及江苏的污染密集型产业中纺织业在工业总产值中的占比均逐渐降低,直至跌出产业占比前五位,这与两地的环境得到改善是相辅相成的;浙江的主导产业中纺织业、化学原料和化学制品制造业均属于工业废水污染密集型行业,纺织业虽然在工业总产值中的比重渐渐降低,但是仍然是较为重要的工业行业,而化学原料和化学制品制造业在工业总产值中的比重上升,进一步成为主要行业,这加剧了近年来浙江地区的工业废水污染的排放情况。

(2) 长江经济带中部地区(安徽、江西、湖北、湖南),总体上来看其污染排放量有减少的趋势,但是污染程度仍较为严重,多项指标仍高于整个长江经济带的平均水平。相比而言,安徽的单位产值工业废气排放量明显高于中部其他各地区,这与安徽的电力、热力生产和供应业以及黑色金属冶炼和压延加工业等工业废气污染密集型产业在工业总产值中的占比水平较高有关;江西的工业废气、工业废水、工业固废的污染情况均较为严重,这主要受黑色金属冶炼和压延加工业以及有色金属冶炼和压延加工业等污染密集型产业的影响;湖北的工业废气和工业固废的污染状况改善明显,总体已低于整个长江经济带的平均水平,这与电力、热力生产和供应业以及纺织业等污染密集型产业在工业总产值中的占比降低、农副食品加工业在工业总产值中的占比增加密切相关。此外,需要注意的是,湖北的工业废水污染排放依然严峻,这与化学原料和化学制品制造业在工业总产值中的比重不断增加有关,湖南的情况与之类似。

(3) 长江经济带西部地区(四川、重庆、贵州、云南),除四川外,工业“三废”排放污染均显著高于中东部地区,四川虽有污染密集型产业,但是其主要行业中计算机、通信和其他电子设备制造业以及酒、饮料和精制茶制造业等低污染产业,在工业总产值中所占的比重较高;重庆的交通制造业占据绝对优势,但是重庆“三废”排放污染状况均较为严重,这与重庆几个主要工业行业为高废气排放的电力、热力生产和供应业、高废水排放的化学原料和化学制品制造业以及高固废排放的非金属矿物制品业密切相关;贵州在研究期间内,工业废气排放和工业固废排放位居整个长江经济带的首位,其主要工业行业中电力、热力生产和供应业是最主要的工业废气污染密集型产业,也是贵州大气污染的主要来源之一;云南的主要工业行业中有色金属冶炼和压延加工业以及电力、热力生产和供应业、黑色金属冶炼和压延加

工业、化学原料和化学制品制造业等均是高污染行业。

2.3 工业结构的环境污染特征演变分析

根据长江经济带各地区 35 个行业的相关数据,测度研究期间内各地区的工业结构特征偏向指数,并选取 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 4 个时间节点,分析长江经济带各地区工业结构的环境污染特征,其结果见图 2。

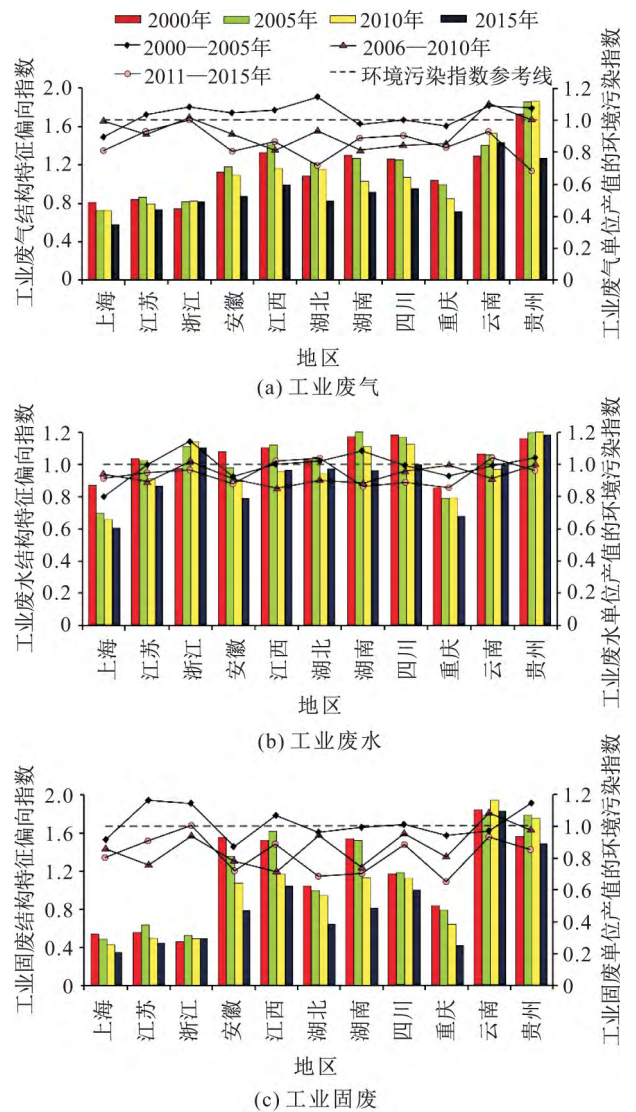


图 2 长江经济带各地区工业结构的环境污染特征变化

Fig. 2 Changes of environmental pollution characteristics of industrial structure in each region in the Yangtze River Economic Belt

由图 2 可以看出:

(1) 长江经济带工业废气结构特征除重庆外,从东部到西部地区呈现出低环境污染到高环境污染发展的趋势,具有明显的空间分布差异。2000—

2005年间,上海、湖南、重庆的工业废气排放强度低于环境污染参考线,其排放强度有减少的趋势,而其他8个地区工业废气排放强度高于环境污染参考线,工业废气污染排放增加明显,并以湖北最为严重;2006—2010年间,大部分地区工业废气结构特征呈现良好发展趋势,除上海、云南、贵州工业废气结构特征出现增强趋势外,其他地区均呈现减弱趋势;2011—2015年间,除浙江受工业废气污染密集型产业中电力、热力生产和供应业在工业总产值所占比重增大的影响,工业废气继续向高环境污染特征发展外,长江经济带其他地区工业废气排放全部出现减弱的趋势。

(2) 长江经济带工业废水结构特征呈现出一定的区域差异性,除东部地区的上海、江苏,中部地区的安徽和西部地区的四川4个省市在研究期间内持续向低废水环境污染特征发展外,其他地区工业废水的结构特征呈现出增减反复变动的现象。其中,2000—2005年间,上海工业废水的结构特征有明显的减弱趋势,江苏、安徽、四川、重庆、云南地区均有减弱表现但不明显,长江经济带的其他地区均有增强的趋势;2006—2010年间,除浙江、重庆、贵州地区外,工业废水的结构特征均在减弱;而2011—2015年间,工业废水的结构特征增强的地区变为江西、湖北、云南,其他地区在减弱。

(3) 长江经济带工业固废的结构特征呈现出一定的空间异质性,东部地区为低固废污染区,高固废污染区则集中于长江经济带的中部和西部地区,由于长江经济带各地区对固废排放的严格控制,固废向低环境污染特征发展的趋势明显优于工业废气和工业废水两种污染。其中,2000—2005年间,除东部地区的江苏、浙江,中部地区的江西以及西部地区的四川、贵州的固废结构特征有所增强外,其他地区均有减弱趋势,在之后的十年里,除2006—2010年的云南和2011—2015年的浙江,工业固废的结构特征有些许增强外,其他各地区在两阶段也均表现出减弱的态势。

3 结论与建议

产业结构与环境污染作用关系的研究,不仅是经济可持续发展的重要内容,也是引导区域产业结构调整、制定环境保护政策的重要依据。基于长江经济带各地区35个行业的相关数据以及构建的工业结构特征偏向指数计算模型,对其工业结构的环境污染特征进行了定量分析,得到的主要结论如下:

(1) 从产业结构来看,污染密集型产业分布与地区环境污染程度密切相关,是影响各地区污染排放特征差异的主要因素。长江经济带西部地区的云南和东部地区的浙江受工业废气污染密集型行业中电力、热力生产和供应业在工业总产值中比重增大的影响,工业废气向高环境污染排放特征发展;中、东部地区工业废水的结构特征受工业废水污染密集型产业中化学原料和化学制品制造业在工业总产值中占比增强的影响存在恶化趋势;中部地区受工业固废污染密集型产业中电力、热力生产和供应业在工业总产值中比重较少的影响,工业固废处理呈现明显向好的趋势。

(2) 从工业废气的结构特征来看,长江经济带各地区整体呈现向好趋势,受工业废气污染密集型产业分布的影响,除重庆外,由东部到西部地区从低废气环境污染到高废气环境污染过渡,存在显著的空间分异特征。

(3) 从工业废水的结构特征来看,长江经济带各地区受工业废水污染密集型产业在工业总产值中占比的影响,存在一定的区域差异性,除上海、江苏、安徽、四川地区向低废水环境污染方向发展外,其他地区均呈现出增减的反复变动趋势。

(4) 从工业固废的结构特征来看,长江经济带各地区工业固废整体上存在向低固废环境污染特征发展的趋势,受工业固废污染密集型产业尤其是黑色金属冶炼和压延加工业和有色金属冶炼和压延加工业在工业总产值中占比的影响,呈现出东部地区低、中西部地区高的空间分布特征。

总体上来看,受污染密集型产业在工业总产值中占比和工业结构布局的影响,长江经济带各地区工业结构的环境污染特征有所差异。因此,针对工业结构相对较好的东部地区,作为经济发展、产业结构升级的前沿阵地,应继续调整其产业结构,降低高污染行业的比重,进一步提高高新技术行业和服务业在产业结构中所占的比重;而针对工业结构呈现向高污染特征发展的中部地区和西部地区,作为产业结构转移的承接地,应重视经济发展过程中由于产业结构布局所带来的环境污染问题,一方面通过优化调整工业内部行业结构,严格把关转移产业,严格控制污染物的排放,从源头上遏制区域工业结构特征的恶化,另一方面重视生产过程的创新、设备的升级、技术水平的进步,以期降低单位产值的能源消耗和污染物的排放,寻求高污染行业的更新换代。

参考文献:

[1] 陆大道. 建设经济带是经济发展布局的最佳选择——长江经济

- 带经济发展的巨大潜力[J]. 地理科学, 2014, 34(7): 769-772.
- [2] 马勇, 董昀, 任洁, 等. 公众参与型环境规制的时空格局及驱动因子研究——以长江经济带为例[J]. 地理科学, 2018, 38(11): 1799-1808.
- [3] 庄芮, 庄惠生. 上海市产业结构调整的战略环境评价[J]. 安全与环境工程, 2014, 21(6): 8-12.
- [4] 李雪松, 龙湘雪, 齐晓旭. 长江经济带城市经济-社会-环境耦合协调发展的动态演化与分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(3): 505-516.
- [5] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment[J]. *Nber Working Papers*, 1994, 110(2): 353-377.
- [6] Llop M. Economic structure and pollution intensity within the environmental input-output framework [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(6): 3410-3417.
- [7] 郭子琪, 温湖炜. 产业结构调整背景下的中国环境不平等[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(增刊): 130-134.
- [8] 丁焕峰, 李佩仪. 中国区域污染与经济增长实证: 基于面板数据联立方程[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 137(1): 49-56.
- [9] 刘云浪, 蓝楠, 李非凡. 我国危险废物产生量与经济发展的关系及政策启示——基于面板 EKC 模型的估计[J]. 安全与环境工程, 2016, 23(5): 29-35.
- [10] 马丽梅, 张晓. 区域大气污染空间效应及产业结构影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(7): 157-164.
- [11] 夏会会, 丁镭, 曾克峰, 等. 1996—2013 年长江经济带工业发展过程中的大气环境污染效应[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(7): 1057-1067.
- [12] 张宇, 蒋殿春. FDI、政府监管与中国水污染——基于产业结构与技术进步分解指标的实证检验[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2): 491-514.
- [13] 杨骞, 王弘儒. 长江经济带水污染排放的地区差异及影响因素研究: 2004-2014[J]. 经济与管理评论, 2016(5): 141-147.
- [14] 郭熙保, 冷成英. 长江流域城市经济增长对工业固体废物影响比较研究——以沿江八城市为例[J]. 湖北社会科学, 2016(11): 65-72.
- [15] 谢海燕, 陈玉新, 蒋平安, 等. 新疆“十五”至“十一五”期间影响工业固废产生及排放的主要社会经济因素分析[J]. 新疆环境保护, 2010, 32(1): 17-19.
- [16] Zhang J, Liu Y, Chang Y, et al. Industrial eco-efficiency in China: A provincial quantification using three-stage data envelopment analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 143: 238-249.
- [17] Jiang Q, Tang C, Zhan J, et al. Environmental cost and pollution risk caused by the industrial transfer in Qinghai Province[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2014, 8(3): 362-374.
- [18] 邓祥征, 刘纪远. 中国西部生态脆弱区产业结构调整的环境风险分析——以青海省为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 55-62.
- [19] Wu P J, Guo G P, Huang W Q. Comprehensive ecological assessment of regional industry structure and ecological reconstruction: A case study on Dongguan, Guangdong[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 33(4): 176-178.
- [20] 付玉芹, 于君宝, 周迪, 等. 黄河三角洲典型滨海城市产业结构转变过程及生态环境效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(增刊 2): 148-156.
- [21] 孟祥海, 张俊飏, 李鹏, 等. 畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(1): 1-8.
- [22] 杨洁, 李忠德, 杨萍, 等. 基于生态足迹模型的山东省农业资源可持续发展分析[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(11): 56-64.
- [23] 王菲, 董锁成, 毛琦梁. 中国工业结构演变及其环境效应时空分异[J]. 地理研究, 2014, 33(10): 1793-1806.
- [24] 胡颖, 诸大建. 中国建筑业 CO₂ 排放与产值、能耗的脱钩分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 50-57.
- [25] 李志华, 王玉琴. 山西煤炭资源型城市如何走出环境污染困境[J]. 环境保护, 2012(20): 62-65.
- [26] 马阁华, 刘凤英, 宗艳丽, 等. 水泥产业结构调整及其环境效益[J]. 中国资源综合利用, 2011, 29(1): 51-54.
- [27] De Bruyn S M, Opschoor J B. Developments in the throughout-income relationship: Theoretical and empirical observations[J]. *Ecological Economics*, 1997, 20(3): 255-268.
- [28] Wang Y, Xie T, Yang S. Carbon emission and its decoupling research of transportation in Jiangsu Province [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 907-914.
- [29] 赵兴国, 潘玉君, 赵波, 等. 区域资源环境与经济发展关系的时空分析[J]. 地理科学进展, 2011, 30(6): 706-714.
- [30] Tapio P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in Finland between 1970 and 2001[J]. *Transport Policy*, 2005, 12(2): 137-151.
- [31] 王君华, 李霞. 中国工业行业经济增长与 CO₂ 排放的脱钩效应[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 106-110.
- [32] 张小平, 郭灵巧. 甘肃省经济增长与能源碳排放间的脱钩分析[J]. 地域研究与开发, 2013, 32(10): 95-104.
- [33] Becker R, Henderson V. Effects of air quality regulations on polluting industries[J]. *Journal of Political Economy*, 2000, 108(2): 379-421.
- [34] 王菲, 董锁成, 毛琦梁, 等. 宁蒙沿黄地带产业结构的环境污染特征演变分析[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 620-631.

通讯作者: 程胜高(1954-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事环境影响评价与环境管理方面的研究。Email: chengsg@cug.edu.cn