

泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究^{*1}

赵海霞¹ 蒋晓威² 崔建鑫¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008;

2. 江苏省环境科学研究院, 南京 210036)

【摘要】:工业污染重心路径演变是制造业转移过程中形成的环境空间响应形式, 为探明经济发达的泛长三角地区工业污染重心对制造业转移的响应关系, 采用 2000~2010 年工业污染排放数据, 运用重心模型, 测算各年份工业废水、废气和固废排放重心坐标, 分析工业污染重心转移路径及演变规律, 探讨重心演变的驱动机制。结果表明: ①泛长三角地区的工业污染重心发生了偏移, 其中工业固废偏移距离最大, 为 180.18km, 而工业废水、废气偏移的方向最大, 分别为 0.40°、0.17°; ②工业污染重心轨迹偏移受多种因素的驱动影响, 其中, 安徽、江西地区重工业的高速发展加剧了污染重心朝西部偏移; 以江苏、上海、浙江为代表的长三角地区产业结构优化与调整在一定程度上缓解了该地区的工业污染, 安徽、江西地区高污染产业份额的增加及宽松的宏观区域政策助推了工业污染向西部地区偏移; 而大规模的清洁化生产、较强的环境治理力度和完善的环保监测制度在一定程度上减缓了工业污染朝东部地区偏移。

【关键词】:工业“三废”; 污染重心; 演变路径; 驱动机制; 泛长三角地区

【中图分类号】:X32 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**0250-3301(2014)11-4387-08

DOI:10.13227/j.hjlx.2014.11.048

随着区域经济一体化的不断深入发展, 产业转移成为推动各种要素在全球范围内优化配置的主要方式。在此背景下, 我国跨区域产业转移成为推动产业结构优化升级、实现区域均衡发展的重要途径^[1]。然而, 产业转移特别是制造业转移必然形成一定的环境空间响应, 其中最重要的是污染物排放空间格局的动态变化^[2, 3], 污染的区域间转移是主要表现形式^[4]。由此, 污染排放格局变化已成为学术界关注的焦点, 同时也是政府决策支持的重要内容^[5~9]。目前, 学者们多运用重心模型, 定量刻画全国或某一特定区域的环境重心转移路径及其演变规律, 并结合经济、产业重心转移与其对比研究, 试图探究环境污染重心转移与经济关联性的^[10, 11], 如 Grther 等^[12]运用重心模型分析贸易交往过程中的污染转移现象, Moussiopoulos 等^[13]、Lehmijoki 等^[14]、赵晨曦等^[15]、李莉等^[16]研究社会经济发展、自然因素对大气污染排放转移的影响; 丁焕峰等^[17]、黄建山等^[18]、赵小

¹ 收稿日期: 2014-03-17; 修订日期: 2014-05-27

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41130750); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-315); 中国科学院南京地理与湖泊研究所“一三五”重点项目(2012135006)

作者简介: 赵海霞(1976 ~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为环境经济与环境地理学, E-mail:zhhx0183@163.com

风等^[19]基于全国、省域视角,分别从移动方向、距离、路径对比等多角度阐述社会经济重心与环境污染重心的动态变化及空间联系。区域经济发展一体化的驱动下,跨区域的环境重心轨迹研究逐渐成为热点^[20, 21],黄海峰^[22]、王怀成等^[23]、赵海霞等^[24]分别对我国的珠三角、长三角与泛长三角地区环境污染重心轨迹进行较为详细的分析。综上所述,已有研究多侧重不同区域污染重心变化轨迹的描述,甚至有学者从经济发展角度分析其形成过程与机制^[25],而实际上区域环境污染重心转移路径驱动因素复杂多样^[26],尤其近年来国家愈加重视经济与环境协调发展的规划引导和政策调控,需要加强区域发展与环境管理等方面多因素协同驱动机制的研究。

作为我国经济发展最活跃的地区之一,泛长三角地区率先实施了国家宏观区域发展战略与环境规划管理,对推动区域产业转移乃至污染排放格局变化产生了较大影响。由此,以泛长三角地区为例,揭示与评估工业污染排放格局变化,探讨宏观区域政策、环境规划管理等因素的驱动机制,可进一步深化和扩展经济发展与环境污染之间关系的研究,以期为转型期泛长三角地区环境污染的综合管控提供理论依据。

1 研究区范围

泛长三角起初指的是自然地理概念,涉及范围包含长江汇入东海的入海口周边区域以及下游支流流经区域(图1),即行政区划下的上海市、江苏、浙江两省的大部以及江西省和安徽省的部分地区^[23]。在2006年《泛长三角区域合作框架协议研究》课题中,第一次赋予泛长三角区域经济属性。目前,关于泛长三角的空间范围,各界的划定范围并不统一,其中主要的范围界定有4种:①“3+2”模式,即苏、浙、沪3省(市)加皖、赣2省;②“5+1”模式,即苏、浙、皖、赣、闽5省加上海市;③“6+1”模式,即苏、浙、沪、皖、赣、闽6省(市)加台湾地区;④“7+1”模式,认为在“6+1”模式范围的基础上再加上山东省。本研究对于泛长三角范围的划定采用“3+2”模式范围,即苏、浙、沪3省(市)加皖、赣2省,全区范围总面积约57.66万km²,占全国土地总面积的6%。截至2010年底,泛长三角地区总人口约2.5亿人,占全国总人口的20.15%,GDP达到108281.6亿元,占全国的25.15%,是全国经济最发达的地区之一。在全球产业转移浪潮的推进下,泛长三角地区经济将迎来新一轮产业结构调整与优化重组。目前产业转移主要表现为传统制造业从上海、浙江和江苏转移到苏北、浙西,甚至是安徽乃至江西等地区^[27]。与此同时,上海、南京、杭州等城市工业废水、废气等排放量有所下降,无锡、合肥等次级城市显著上升,呈现由中心城市向外围扩散的趋势^[28],污染排放格局发生了变化^[24]。由此,以泛长三角地区为实证,揭示与评估工业污染排放重心转移路径及其驱动机制,具有一定的典型性和代表性。



图1 泛长三角地区的区域位置及范围
Fig. 1 Location of Pan-Yangtze River Delta

2 研究方法与数据处理

2.1 研究方法

2.1.1 区域重心

“重心”在物理学意义上是指物体各点所受重力产生合力的作用点。采用几何重心法衡量工业污染排放属性的空间分布状况。假设一个区域由 n 个次级区域构成，第 i 个次级区域中心城市的地理坐标为 (X, Y) ，计算公式如下^[29]：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}, Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

式中， X 、 Y 分别是某属性重心坐标的经度和纬度， X_i 、 Y_i 为第 i 个次级区域中心城市的经度和纬度坐标， W_i 为第 i 次级区域的某种属性的量值。

2.1.2 重心转移路径

当某一地区某一属性值在总体中所占比例较大而且增长较快，则区域重心就会向该地区移动，表明此活动空间属性的不均衡分布，即“重心偏离”。区域重心偏离方向指向某一经济社会活动空间属性的“高密度”增长部位，偏离的距离指示了该经济社会活动的不平衡程度。假若区域重心向某一个方向移动，则表明在这一方向上该经济社会属性发展速度更快，经济社会活

动属性实力增强更多。如果各地区经济社会活动实力持续增长并且发展不均衡，那么区域重心就处于一种不断变化的状态之中。由区域重心的变动便能清楚地反映出该区域经济社会属性发展变化的轨迹及空间差异性。假设 d 表示第 $k+1$ 年重心移动的距离(相对于第 k 年)，具体公式如下^[18]：

$$d_{(k+1)-k} = C \times \sqrt{(\text{long}_{k+1} - \text{long}_k)^2 + (\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k)^2} \quad (2)$$

式中，常数 $C=111.111$ ，表示由地球表面坐标单位($^\circ$)转化为平面距离(km)的系数； $\text{long}_{k+1}-\text{long}_k$ 、 $\text{lat}_{k+1}-\text{lat}_k$ 分别表示从第 k 年到第 $k+1$ 年重心坐标的变化大小， $C \times (\text{long}_{k+1}-\text{long}_k)$ 、 $C \times (\text{lat}_{k+1}-\text{lat}_k)$ 分别表示重心经纬方向上移动的实际距离，则：

$$\frac{C \times (\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k)}{C \times (\text{long}_{k+1} - \text{long}_k)} = \frac{\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k}{\text{long}_{k+1} - \text{long}_k} = \frac{\text{纬度变化速度}}{\text{经度变化速度}}$$

当 $\left| \frac{\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k}{\text{long}_{k+1} - \text{long}_k} \right| < 1$ 时，重心移动方向在 $(-45^\circ, 45^\circ)$ 、 $(135^\circ, 180^\circ)$ 、 $(-135^\circ, -180^\circ)$ 范围内，说明重心在

经度上变化速度大于维度上的变化速度；当 $\left| \frac{\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k}{\text{long}_{k+1} - \text{long}_k} \right| > 1$ 时，重心移动方向在 $(45^\circ, 135^\circ)$ 或 $(-45^\circ, -135^\circ)$ 范

围内，说明重心在经度上变化速度小于维度上变化速度；当 $\left| \frac{\text{lat}_{k+1} - \text{lat}_k}{\text{long}_{k+1} - \text{long}_k} \right| = 1$ 时，重心移动方向在 45° 或 135° 对角线上，说明重心在经纬度方向上变化速度相当；当重心移动方向在 0° 或 90° 坐标轴上时，重心只在经度上或纬度上变化，或者说重心在纬度或经度方向上速度为零。

2.2 数据收集与处理

所涉及的经济、环境数据主要来源于 2001~2011 年《中国城市统计年鉴》^[30]、《中国环境统计公报》^[31] 和江苏省、浙江省、上海市、安徽省、江西省(四省一市)相关年份统计年鉴；部分环境污染数据则参考相关年份四省一市的环境统计公报，其中舟山市的环境污染排放数据主要从《长三角统计年鉴》^[32]、《舟山市统计年鉴》^[33] 获取。环境数据及指标的选取上，收集了 53 个城市 2000~2010 年的工业废水、工业废气和工业固体废物排放量，用以表征工业污染重心的变化；为考察工业经济、污染治理等驱动因素的区域差异性，收集了 2000~2010 年 53 个城市重工业产值，同时收集了四省一市制造业分行业工业增加值，而 53 个城市环境污染治理投资额仅收集到 2007 年数据。在地理坐标的选取上，则假定研究期间地理位置保持不变，采用各城市政府所在地作为该地区的重心位置，其坐标数据源自 GoogleEarth。最后，建立以地级市为单元的泛长三角经济、环境污染属性地理数据库，根据 ArcGIS 属性数据库中的距离计算工具，进行污染重心移动距离的相关分析和制图。

3 结果与分析

3.1 工业污染重心偏移轨迹

根据 2000~2010 年工业废水、废气以及固废重心地理坐标及其动态演变轨迹的测算(如表 1、图 2)，泛长三角地区的工业污染重心主要分布在江苏省南京市、安徽省境内的芜湖市、马鞍山市及宣城市，位于区域几何重心的东北方向；近 10 年来，工业污染重心总体呈现向西部方向偏移的态势，其中工业固废偏移距离最大，为 180.18km，工业废水、废气分别偏移 85.92km 和 109.51km。

表 1 2000~2010 年工业污染重心移动方向和距离

Table 1 Direction and distance of industrial gravity center shifting (2000~2010)

年份	工业废水				工业废气				工业固废			
	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km	经度/(°)	纬度/(°)	方向	距离/km
2000	118.89	31.52	—	—	118.99	31.57	—	—	118.49	30.97	—	—
2001	118.95	31.60	东北	11.13	119.08	31.67	东北	14.39	118.68	31.18	东北	30.75
2002	118.87	31.57	西南	9.03	119.10	31.59	东南	8.68	118.51	31.00	西南	26.56
2003	118.71	31.61	西北	18.28	118.97	31.59	西北	15.06	118.42	30.96	西南	11.57
2004	118.72	31.56	东南	5.70	118.97	31.55	东南	4.51	118.54	31.04	东北	15.97
2005	118.72	31.58	西北	1.80	119.05	31.51	东南	9.69	118.82	31.05	东北	31.77
2006	118.64	31.52	西南	10.43	118.96	31.60	西北	14.12	118.82	31.18	西北	14.43
2007	118.57	31.48	西南	9.24	118.78	31.45	西南	26.81	118.66	31.20	西北	17.59
2008	118.51	31.46	西南	6.59	118.80	31.41	东南	5.37	118.65	31.20	西南	1.17
2009	118.56	31.47	东北	4.92	118.78	31.38	西南	3.83	118.62	31.11	西南	10.17
2010	118.48	31.50	西北	8.81	118.82	31.34	东南	7.05	118.47	31.21	西北	20.19



图 2 2000~2010 年工业污染重心轨迹

Fig. 2 Shifting path of industrial pollution gravity center

3.2 工业污染重心经纬度变化

根据经度方向上的移动轨迹与距离变化，2000~2010 年工业废水、废气、固废重心经度均有所减少，即污染重心有向西部

的安徽、江西地区偏移的态势。工业废水重心持续向西偏移 0.40° ，其中 2000~2005 年偏移 0.17° ，2006~2010 年偏移较大，为 0.23° ；工业废气重心总体向西偏移 0.17° ，虽然 2000~2005 年向东偏移 0.05° ，但 2006~2010 年则朝西部的安徽、江西地区偏移加快，共偏移 0.23° ；工业固废重心总体向西偏移 0.03° ，其中 2006 年后重心向西偏移速度加快，共偏移 0.35° ，表明未来工业固废重心呈现向安徽、江西等西部地区偏移的趋势在加强。

根据纬度方向上的移动轨迹与距离变化，2000~2010 年工业废水、废气排放重心纬度均有所减少，而工业固废重心则有所增加。工业废水总体向南偏移 0.02° ，其中 2000~2005 年先向北偏移 0.05° ，受安徽省南部城市工业废水污染排放加剧的影响，2006~2010 年向南偏移较大，为 0.07° ；工业废气持续向南偏移 0.23° ，其中 2000~2005 年偏移 0.06° ，2006~2010 年偏移 0.17° ，工业废气污染排放量的增加受江西、安徽部分城市钢铁、热力、电力等废气重行业发展的影响；此外，北部的徐州、淮南等地区，由于采矿、黑色及有色金属冶炼等行业比较发达，仍然是工业固废产生的主要区域，推动区域工业固废总体向北偏移 0.24° 。

3.3 工业污染重心路径演变的驱动因素

空间位置和属性值是决定重心的关键因素。由于城市空间位置的固定不变，因而重心的变化取决于属性值的变化。如上述分析可知，近 10 年来泛长三角地区污染重心总体朝西部的安徽和江西地区偏移。在此，试图从工业经济发展、污染产业转移、环境治理力度、清洁化生产、环保监测制度完善性及宏观区域政策等因素对这一现象进行深入剖析。

3.3.1 工业经济发展

长期以来，泛长三角地区是我国重要的工业基地，工业经济发展总体比较迅速，但发展具有不均衡性。其中，安徽、江西两省的工业发展较为落后，工业重心始终位于江苏、浙江和上海为代表的长三角地区。自 2004 年国家对中部崛起战略提出与实施以来，受惠于国家政策支持安徽、江西地区工业经济进入了快速发展阶段，两省工业总产值由 2004 年 2846.73 亿元增长至 2010 年 9694.16 亿元，年均增长率达 22.66%，高出泛长三角地区年均增长率 6.33%。与此同时，工业重心轨迹在 2000~2010 年间向西南方向共偏移 42.97km，工业经济发展开始朝安徽、江西等地区转移。

相对其他产业，工业发展带来的环境污染影响较为显著，其中工业增加值比重每增加 1 个百分点，相对污染密度就会增加 0.847 个百分点^[34]。而在工业内部，重工业对于资源环境的影响远远高于轻工业，特别是原材料工业是大耗能、耗材、大运量、大污染型产业，对资源环境的影响大很多。2000~2010 年，泛长三角地区重工业增速较为迅速(如图 3)，特别是受中部崛起的国家政策引导和承接部分长三角地区的化工、钢铁等产业，安徽、江西地区重工业发展增速显著，年均增长率分别为 30.91%、37.02%，其中安徽的芜湖、池州、蚌埠、阜阳、宿州，江西的萍乡、吉安、上饶等城市均超过 35%，而上海、江苏、浙江等城市的重工业增速相对较低，分别为 19.44%、24.36%、24.29%。由此可以看出，泛长三角地区重工业发展重心开始朝西部方向移动，在此影响下，工业污染正逐步朝安徽、江西地区转移。

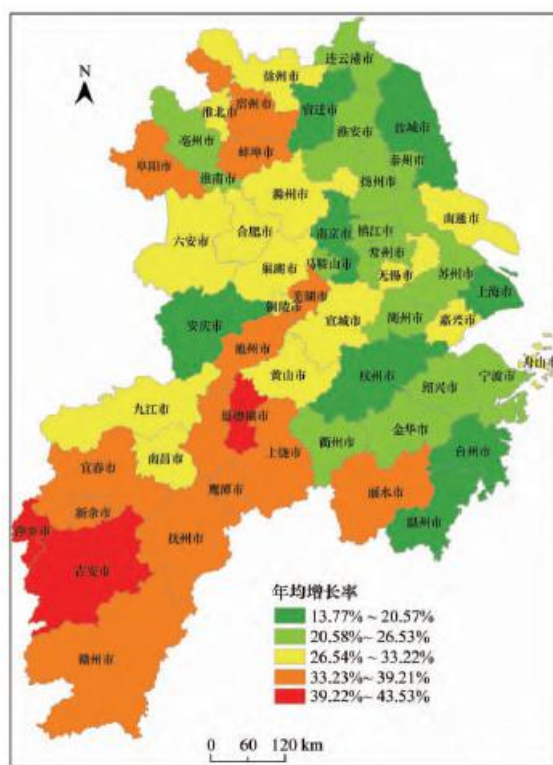


图3 2000~2010年城市重工业产值年均增长率
Fig. 3 Average annual growth rate of heavy industry output value in various cities (2000–2010)

3.3.2 污染产业转移

泛长三角内部区域之间因经济基础、生产要素禀赋、产业分工等存在差异，区域间竞争与合作的过程中必然面临产业的梯度转移。随着上海、江苏、浙江为代表的长三角地区产业结构的优化与调整，高科技含量、高附加值的新兴产业逐渐增加，而外围欠发达地区则承接污染环境高、低附加值的夕阳产业，“东移西进”的高污染产业转移模式使得工业污染逐步朝相对欠发达的安徽、江西等地区蔓延。

目前产业转移表现为传统制造业重心从上海、苏南等发达城市向安徽、江西等欠发达地区转移。由2000~2010年各行业产值份额变化(图4)，上海市除烟草加工业、电子及通信设备制造业等产值份额有所上升，其余行业的产值份额均下降，制造业比重趋于减少；江苏省则大力发展交通运输设备、电气机械及器材、电子及通信设备制造业等轻污染行业的同时，大大缩减了纺织、食品、塑料制品、有色金属冶炼及压延加工、非金属矿制品等重污染行业的占比；浙江省虽有纺织、化学纤维制造、塑料制品等重污染行业的份额上升，但造纸及纸制品业、石油加工及炼焦业等高污染行业份额有所减少；安徽和江西两省的制造业份额增加较为迅速，除石油加工及炼焦业、化学纤维制造等产值份额有所减少，其余各行业的产值份额均增加，其中印刷业记录媒介的复制业、金属制品业等高污染行业的产值份额增加较为显著。对于安徽、江西省来说，污染密集型行业发展很快，临近的江苏、浙江和上海的重污染行业比较优势却在萎缩，说明安徽、江西作为产业转移的转入区发展较快，由于区域间的邻近和经济要素的流动，加之较为宽松的环境政策，安徽、江西省的重污染行业发展必然有一部分是来自于江苏、浙江和上海产业转移。

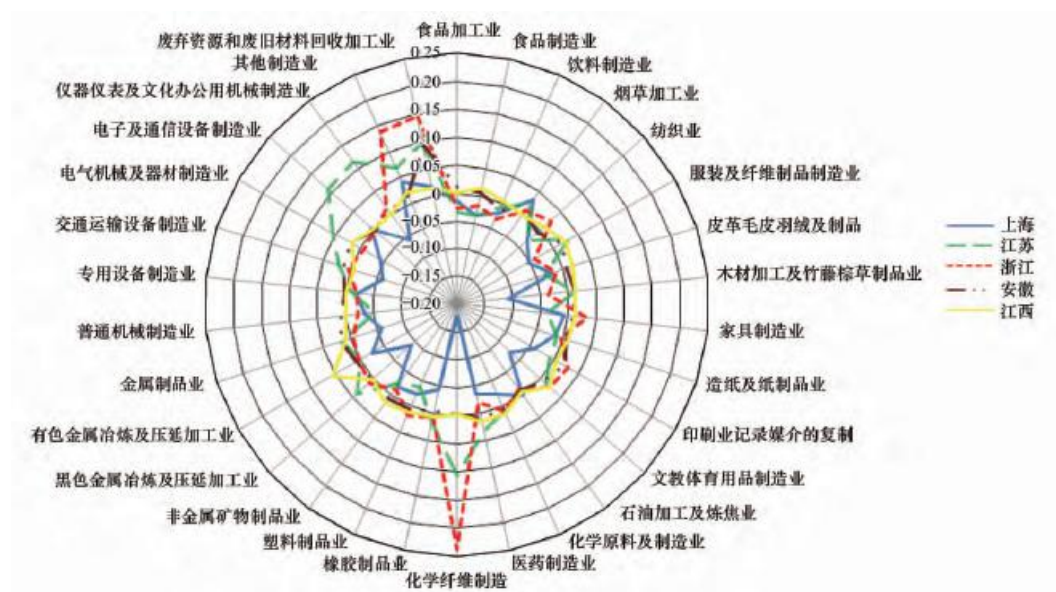


图 4 2000 ~ 2010 年制造业产值份额变化
Fig. 4 Share changes of manufacturing output value (2000-2010)

3.3.3 环境治理力度

环保投资是用于环境资源的恢复和增值、保护和治理的费用，代表一个地区的环境治理力度。随着经济的增长，各城市的环保投资不断增加，对控制环境污染起到一定作用。但根据发达国家经验，要使环境质量有明显改善，环保投资占 GDP 的比例应达到 1.5%，而目前泛长三角地区总体上还有一定差距，不仅如此，各地区环保投资存在很大的区域差异。环保投资比重较高的地区主要分布在长三角地区，其中上海、南京、苏州等地区环保投资额占 GDP 比重均高于 2.5%，而安徽、江西地区环保投资比重都比较低，除淮北、巢湖、池州和南昌市，其余地区的环保投资比重均在 1% 以下 (图 5)，全省平均只有 0.54% 和 0.50%。

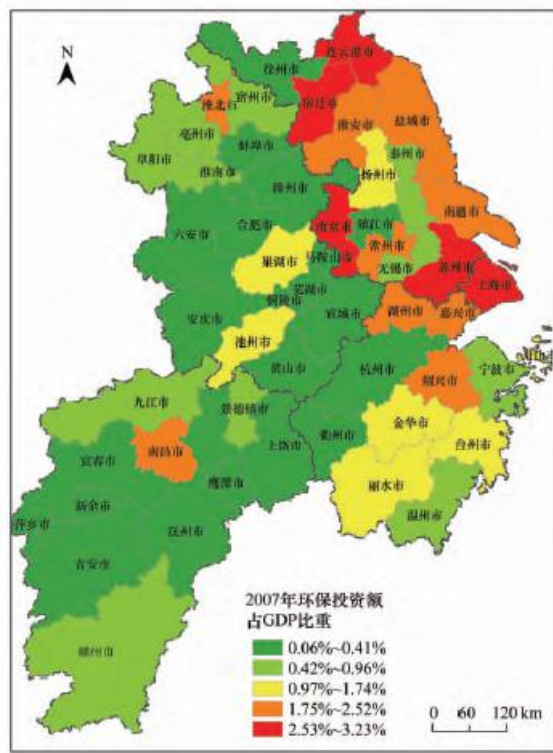


图5 2007年环保投资占GDP比重
Fig. 5 Environmental investments in GDP in 2007

此外，工业污染治理投资额代表一个地区的工业企业污染治理强度，是缓解工业污染与有效防治的资金保障措施。2010年，泛长三角地区的工业污染源治理投资额为52.3亿元，其中以上海、江苏、浙江为代表的东部地区接近40亿元，占总量的76.48%，江苏省就占到一半，是工业污染治理投资的主体，而安徽、江西等西部区域工业污染的防治力度偏弱。环保投资比重高的东部地区有利于缓解和遏制工业污染的排放，而安徽、江西地区较低的环保投资不利于工业污染的治理，一定程度地促进工业污染重心朝安徽、江西地区移动。

3.3.4 清洁化生产

清洁生产是一种新的污染防治战略，是将整体预防的环境战略持续应用于生产过程、产品和服务中，以增加生态效率和减少人类及环境的风险。通过清洁生产转变为资源低消耗、环境轻污染为特征的集约型经营和通过内涵增长追求企业效益的发展战略，是今后抑制和缓解环境污染的一种有效措施。2010年江苏省清洁生产审核重点企业数最多，为676家，其次为浙江省(526家)，而江西省企业数量最低，仅为124家。上海、江苏和浙江省的清洁生产审核重点企业占总量的72.68%，是清洁生产企业的主要来源，东部地区清洁生产企业的大规模建设与运行有利于降低工业污染的排放。

3.3.5 环保监测制度完善性

环保监测制度的完善性对有效控制工业污染与治理起到较为积极的作用。根据2010年环保机构与人员对比，江苏省和浙江省每万平方公里环保机构数量分别为70.82个、55.21个，明显高于泛长三角地区的平均值41.01个，而安徽、江西省均低于30个。而且每万人拥有的环保人员数量，浙江省最高，1.40人，而安徽省最低，0.84人。环保机构与人员的数量则能够反映该地区环境治理的重视水平，有利于宣传公共环保意识、加大环保制度创新，是减少和控制环境污染排放的有效途径。江苏、浙江、上海地区的环保监测制度较为完善，而安徽、江西地区则相对落后，加剧了工业污染重心朝西部地区的移动。

3.3.6 宏观区域政策

宏观区域政策是影响区域污染转移的决定性因素之一。在国家宏观政策相同的状态下，区域产业转移可以从产业发展高梯度地区向低梯度地区转移，最终引致污染重心的偏移。但是当区域间宏观政策存在较大差异时，具有较差政策环境的区域，即使具有较好的地理位置、人员素质和廉价的原材料资源也不会成为大多数企业迁移所选择的区位。近年来，随着长三角区域一体化的发展，宏观区域政策不断创新，上海、江苏及浙江省发达城市的政策环境不断改善，对产业发展类型要求逐渐严格，而安徽省和江西省在中部崛起的区域政策大背景下，推动经济乃至产业发展居首位，甚至以较为宽松的产业政策吸引周边产业的转移，结果会不可避免地转入污染密集型产业，最终导致污染排放的增加。

4 结论

(1) 泛长三角地区的工业污染重心轨迹发生了变化。其中，工业固废排放重心偏移距离最大，为 180.18km，是工业废水的两倍多。

(2) 泛长三角地区的工业污染重心总体向西偏移。其中，工业废水、废气排放重心偏移方向较大，分别为 0.40° 、 0.17° ，而固废只有 0.03° 。

(3) 泛长三角地区工业污染重心轨迹的变化受多种因素的驱动影响。其中，安徽、江西地区重工业的高速发展加剧了污染重心朝西部偏移；以江苏、上海、浙江为代表的长三角地区产业结构优化与调整在一定程度上缓解了该地区的工业污染，安徽、江西地区高污染产业份额的增加及宽松的宏观区域政策助推了工业污染向西部地区偏移；而大规模的清洁化生产、较强的环境治理力度、完善的环保监测制度在一定程度上减缓了工业污染朝东部地区偏移。

参考文献:

- [1] 陆大道, 樊杰. 区域可持续发展研究的兴起与作用 [J]. 中国科学院院刊, 2012, (3): 290-300, 319.
- [2] 马士伟, 蒋学文. 对污染产业跨国转移的经济学分析及我国对策 [J]. 经济前沿, 2006, (12): 32-34.
- [3] Guo J, Zhang Z K, Meng L. China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade [J]. Energy Policy, 2012, 42: 486-497.
- [4] 龚峰景, 柏红霞, 陈雅敏, 等. 中国省际间工业污染转移量评估方法与案例分析 [J]. 复旦学报(自然科学版), 2010, 49(3): 362-367.
- [5] 赵海霞, 曲福田, 朱德明, 等. 经济快速增长阶段环境污染的特点及福利损失 [J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(1): 97-101.
- [6] 王宜虎, 崔旭, 陈雯. 南京市经济发展与环境污染关系的实证研究 [J]. 长江流域与资源环境, 2006, 15(2): 142-146.
- [7] 陈雯, Dietrich S, 左文芳. 工业绿色化: 工业环境地理学研究动向 [J]. 地理研究, 2003, 22(5): 601-608.
- [8] 曹卫东, 王梅, 赵海霞. 长三角区域一体化的环境效应研究进展 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12): 1427-1433.

-
- [9] 马丽, 金凤君, 刘毅. 中国经济与环境污染耦合度格局及工业结构解析 [J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1299-1307.
- [10] 范俊韬, 李俊生, 罗建武, 等. 我国环境污染与经济发展空间格局分析 [J]. 环境科学研究, 2009, 22(6): 742-746.
- [11] 段晓峰, 许学工. 山东省污染物排放与经济发展水平的关系 [J]. 地理科学进展, 2010, 29(3): 342-346.
- [12] Grther J M, Mathys N, de Melo J. A gravity analysis of the pollution content of trade [EB/OL]. <http://www.etsg.org/ETSG2005/papers/mathys.pdf>.
- [13] Moussiopoulos N, Helmis C G, Flocas H A, et al. A modeling method for estimating transboundary air pollution in southeastern Europe [J]. Environmental Modeling & Software, 2004, 19(6): 549-558.
- [14] Lehmijoki U, Rovenskaya E. Air pollution in Europe 2020: the gravity model and EKC decomposition [J]. Helsinki Center of Economic Research, 2010, 292: 1-21.
- [15] 赵晨曦, 王云琦, 王玉杰, 等. 北京地区冬春 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系 [J]. 环境科学, 2014, 35(2): 418-427.
- [16] 李莉, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区大气 O₃ 和 PM₁₀ 的区域污染特征模拟 [J]. 环境科学, 2008, 29(1): 237-245.
- [17] 丁焕峰, 李佩仪. 中国区域污染重心与经济重心的演变对比分析 [J]. 经济地理, 2009, 29(10): 1629-1633.
- [18] 黄建山, 冯宗宪. 陕西省社会经济重心与环境污染重心的演变路径及其对比分析 [J]. 人文地理, 2006, 21(4): 117-122.
- [19] 赵小风, 黄贤金, 张兴榆, 等. 区域经济重心及 COD、SO₂、TSP 排放重心演变路径分析——以江苏省为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(3): 225-230.
- [20] 苗长虹. 区域发展理论: 回顾与展望 [J]. 地理科学进展, 1999, 18(4): 296-305.
- [21] 张蕾, 陈雯, 陈晓, 等. 长江三角洲地区环境污染与经济增长的脱钩时空分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(3): 275-279.
- [22] 黄海峰. 珠三角地区环境与经济协调发展研究及 GIS 技术应用 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [23] 王怀成, 张连马, 蒋晓威. 泛长三角产业发展与环境污染的空间关联性研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 259-263.
- [24] 赵海霞, 蒋晓威. 长江三角洲经济与工业污染重心演变及脱钩机理 [J]. 中国环境科学, 2013, 33(10): 1911-1919.
- [25] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析 [J]. 环境科学, 2012, 33(6): 1936-1943.

-
- [26] 李名升, 孙媛, 陈远航, 等. 污染排放与环境质量关系模型构建与应用 [J]. 环境科学, 2014, 35(3): 1198-1204.
- [27] 李蔚然, 朱凯. 泛长三角背景下欠发达地区承接产业转移研究——以安徽省望江县为例 [A]. 见: 转型与重构——2011 中国城市规划年会论文集 [C]. 北京: 中国城市规划学会, 2011. 11.
- [28] 范剑勇. 长三角一体化、地区专业化与制造业空间转移 [J]. 管理世界, 2004, (11): 77-84, 96.
- [29] 冯宗宪, 黄建山. 重心研究方法在中国产业与经济空间演变及特征中的实证应用 [J]. 社会科学家, 2005, (2): 77-80.
- [30] 国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2011.
- [31] 中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年报 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001-2011.
- [32] 长三角联合研究中心. 长三角统计年鉴 [M]. 南京: 河海大学出版社, 2001-2011.
- [33] 舟山市统计局, 国家统计局舟山调查队. 舟山市统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2011.
- [34] 赵海霞. 经济发展、制度安排与环境效应 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009. 4394.