

长三角经济能源约束下的大气污染问题及对区域协作的启示

李莉^{1,2*}, 徐健^{1,2,3}, 安静宇^{1,2}, 黄成^{1,2}, 朱书慧^{1,2}, 周敏^{1,2}, 李小敏⁴

(1. 国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室, 上海 200233; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 4. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要 长三角地区大气污染治理取得一定成效, 然而空气质量改善逐渐进入瓶颈期和攻坚期, 大气污染治理战略需要从宏观层面系统谋划。本文系统分析了近10年来长三角区域经济、能源、产业、交通的发展状况和趋势, 结合区域大气污染物浓度水平的演变, 分析了大气污染与经济社会发展的耦合关系。结合当前区域空气污染的空间分布差异以及经济能源交通结构的内在差别, 识别了大气污染的区内差异特征及关键制约因素。在此基础上, 从能源结构和产业结构调整、交通结构优化、分区施策、深化治理等角度, 为深化区域大气污染联防联控, 持续改善大气污染问题提出了政策建议。

关键词 大气污染; 区域协作; 长三角

中图分类号: X321; X51

文章编号: 1674-6252 (2017) 05-0009-10

文献标识码: A

DOI: 10.16868/j.cnki.1674-6252.2017.05.009

The Air Pollution Issues under the Economic and Energy Constraint and Their Implications on the Regional Joint-effort in the Yangtze River Delta Region

LI Li^{1,2*}, XU Jian^{1,2,3}, AN Jingyu^{1,2}, HUANG Cheng^{1,2}, ZHU Shuhui^{1,2}, ZHOU Min^{1,2}, LI Xiaomin⁴

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of the Cause and Prevention of Urban Air Pollution Complex, Shanghai 200233; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233; 3. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620; 4. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012)

Abstract: The air pollution control in the Yangtze River Delta region has achieved certain effect. However, local air quality improvement meets bottleneck, and enters a stable phase. Therefore, the air pollution control strategy needs to be considered systematically at a macroscopical level. The development and evolution trend of regional economy, energy, industry and transportation over the past 10 years were analyzed in this paper. Combined with the evolution of regional air pollutant concentration level, the characteristics between air pollution and economic and social development were discussed. Based on the analysis of the spatial distribution of air pollution and the difference in energy and transport structure inside the region, the key issues affecting air quality were identified. Several policy recommendations including energy amount control, energy and industrial structure adjustment, transportation construction optimization, implement different strategies according to different regions and then further treatment were provided in order to further strengthen the regional joint-air pollution control and improve the air quality.

Keywords: air pollution; regional cooperation; the Yangtze River Delta

引言

近年来, 我国空气质量总体好转, 但大气污染形势依然严峻, 以细颗粒物(PM_{2.5})和臭氧(O₃)为特征污染物的区域性大气污染问题日益突出, 危害人民群众健

康和生态环境^[1,2]。大气污染防治逐渐进入瓶颈期和攻坚期, 需要系统谋划大气污染防治战略^[3]。长三角是我国经济最为发达、人口最为密集, 同时也是我国复合型大气污染最严重的地区之一^[4,5]。随着长三角区域经济高速发展以及工业化、城市化、现代化进程的不断加快, 能

基金项目: 长三角地区战略环境评价能源消费与大气环境专题; 国家科技支撑项目计划(2014BAC22B03)。

作者简介: 李莉(1979—), 女, 教授级高级工程师, 主要研究方向为大气复合污染成因与控制, 大气复合污染数值模拟, E-mail: lili@saes.sh.cn。

源消费总量和大气污染物排放高位徘徊^[6-8], 大气污染呈现出多污染源交叉、多污染物耦合、一次与二次污染同在、局地与区域污染并存的特征, 对公众健康和生态安全构成了巨大威胁^[9-11]。长三角正面临环境污染严重、资源能源约束明显、产业升级转型缺乏动力等巨大挑战^[12,13]。集聚的产业链和密集的交通网络^[14]给该区域带来了巨大的环境压力。为此, 亟需以改善环境质量为战略目标, 以当前突出的复合污染问题为导向, 从宏观全局的角度, 系统分析长三角区域能源交通结构特征, 探讨大气污染的演化和空间分布^[15], 深入挖掘当前突出的复合大气污染问题及其与经济社会能源的耦合关系, 为深化区域联防联控机制^[16], 进一步改善大气污染提供政策建议, 推动区域社会经济与环境保护协调、可持续发展。本文以经济结构和社会发展水平较为相近的江浙沪两省一市为研究对象, 开展相关分析研究并提出大气污染持续改善的对策建议。

1 长三角区域经济能源交通结构特征

1.1 经济规模持续扩大, 工业占比逐渐下降

长三角地区是我国经济增长的重要引擎之一, 经济规模持续扩大, 在我国经济社会发展中占有重要的地位。近20年来, 地区社会经济高速增长, 工业化发展迅速, GDP发展水平位居中国东部三大城市群(长三角、京津冀、珠三角)之首。2015年, 长三角地区经济发展保持持续增长势头, 地区生产总值达到138 126亿元, 相比2000年增加了6.1倍^[17]。在经济快速发展的过程中, 区域产业结构逐步得到优化, “三二一”的经济格局逐步形成, 2015年第三产业在GDP中的比重为48.4%, 较2010年上升了4.5%^[17], 已经成为区域重要的支柱产业, 第二产业的比重则不断下降, 整体步入后工业化阶段。从产业结构的区内空间差异来看, 长三角北部城市二产比重高于南部; 区域内各城市间三产发展不平衡, 除上海、南京、温州和杭州以外, 其他地区第三产业均不足50%。

长三角区域工业产值和产品规模同步持续增长, 在工业总产值的构成中, 装备制造业占比最高, 为39%; 与此同时, 钢铁、石化、化工、建材、有色、纺织六大传统高耗能、高排放、高污染行业的占比总计高达39%, 其中化工和纺织占比分别为16%和8%, 见图1。工业部门结构重型化突出, 传统重化产业仍然在

区域工业中占有相当比重, 给空气质量持续改善造成了较大压力。

1.2 能源消费总量增速趋缓, 能源品种以煤为主

能源为经济社会的发展发挥了关键支撑作用。随着工业化、机动化、城市化进程的不断加速, 长三角区域能源消费总量不断攀升, 但增速逐步趋缓。2015年长三角两省一市能源消费总量达到6.12亿吨标准煤, 能源消费总量位于三区之首。其中, 江苏省消费总量为3.02亿吨标准煤, 浙江省消费总量为1.96亿吨标准煤, 上海市为1.14亿吨标准煤, 2005—2015年间年均增长率为5%, 近5年年均增长率仅为4%左右(图2)。

长三角能源结构以化石能源为主, 占比高达85%, 其中, 煤炭是主要能源品种, 煤炭占比高达57%, 与京津冀相比较低, 但高于广东省(44%)。煤炭使用方式主要以火电和工业散烧为主。就区内差异来看, 上海市煤炭占比为38%, 江苏省的煤炭消费占比为67%。石油为能源消费的第二大能源, 在上海市消费占比在33%, 在江苏省和浙江省的能源消费中占比分别为16%和21%。天然气消费目前仍处于发展阶段, 上海市占10%, 江苏和浙江分别为5%。相比之下, 北京市的天然气消费占比达到了21%(图3)。

工业是能源消费的主要部门, 2014年长三角工业部门的能源消费量占到能源消费总量的70%(图4)。可见,

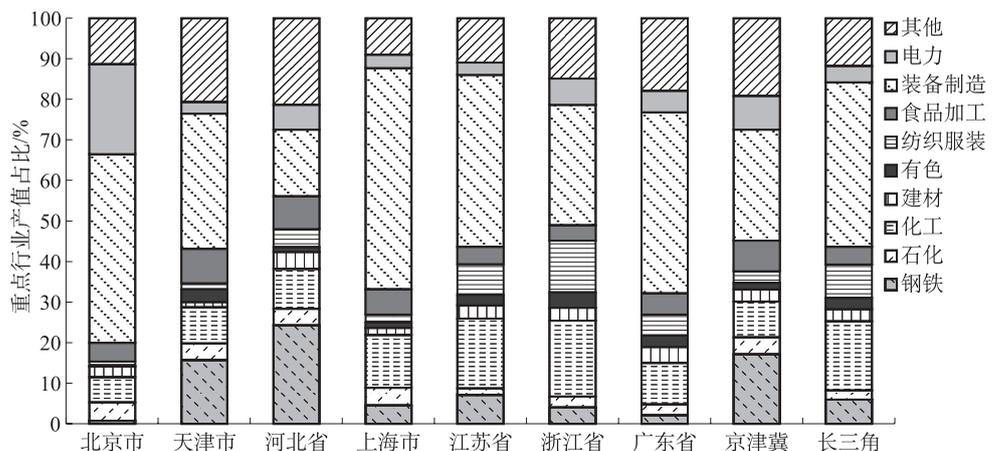


图1 2014年三大区域各省市工业总产值的行业构成

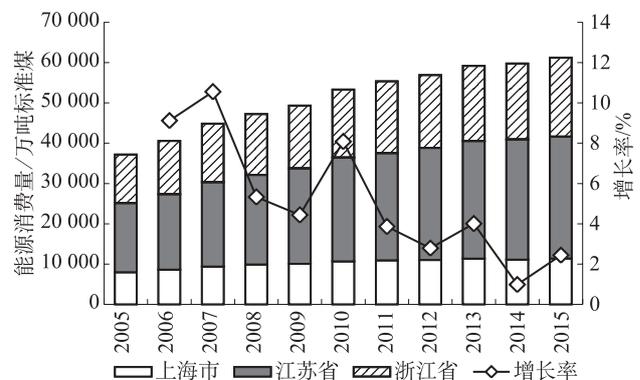


图2 长三角两省一市能源消费总量变化趋势图

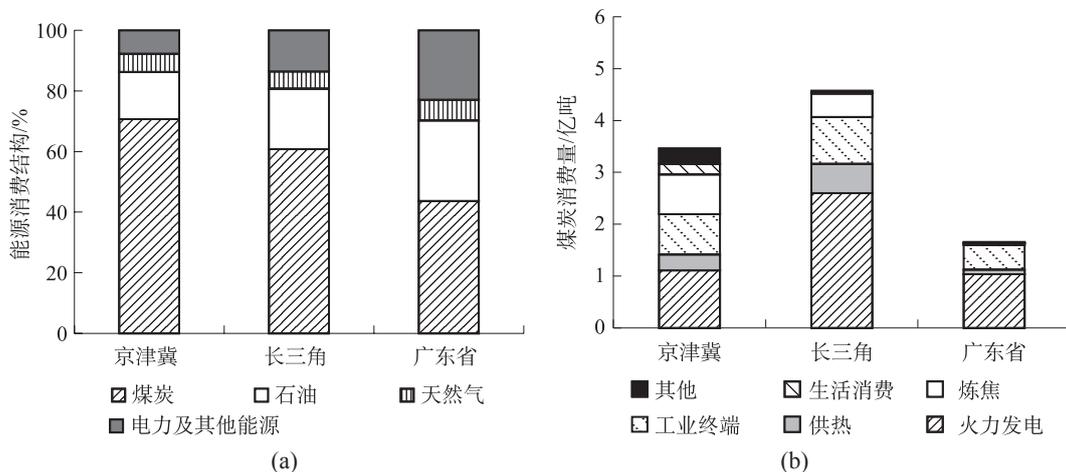


图3 2014年三大区域能源结构构成

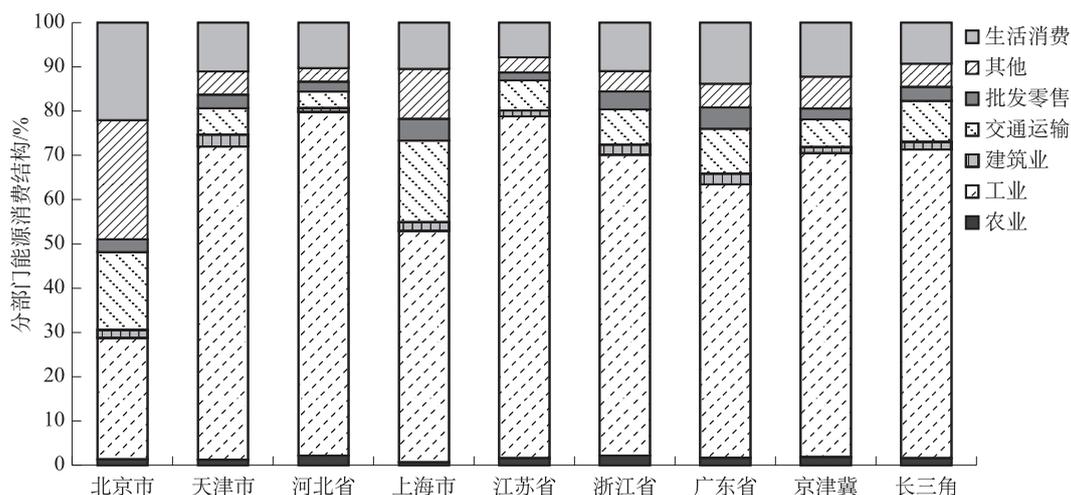


图4 2014年三大区域部门能源消费结构

工业特别是高耗能行业在拉动经济增长的同时,也消耗了绝大部分能源总量,结构性污染效应十分突出^[18,19]。空气质量的持续改善,除深化末端治理外,更为根本的是亟需改变经济增长方式、调整产业结构。

1.3 重工业产能持续攀升,在腹地城市中集中

长三角地区是我国东部沿海沿江产业密集带,拥有沿江、沿湾、沿湖产业带,是我国经济总量规模最大、最具活力与竞争力的经济区域。长三角工业增长方式粗放,区域重工业快速扩张,工业结构出现了明显的“重型化”倾向,重工业产值占工业总产值的比重上升至2013年的71%,导致长三角地区经济发展与环境污染之间的矛盾更加尖锐。2000—2015年间,长三角区域水泥、钢材、化学纤维和乙烯等产品产量分别上升了224%、512%、834%和388%(图5)。重化工业的快速发展,使得长三角区域大气环境问题的结构性特征更为明显。2015年,长三角区域乙烯、水泥和钢材产量分别相当于京津冀的2.4倍、2.9倍和59%,是广东省的2.3倍、2.0倍和6.1倍。长三角地区结构性污染突

出,石油化工、钢铁和电力等重工业基地和工业园区的迅速涌现,加剧了区域环境质量的恶化。长三角地区的杭州湾、长江沿线以及沿海地区是能源与化工产业的主要集中区。全国七大石化基地中有连云港、上海漕泾和宁波布局于此,炼油能力达8000万吨;沿江各类开发区中,60%以上的园区主导产业涉及石化、化工医药产业。钢铁产业集中在南京以下的长江口地区,重点布局在常州、无锡、南京、上海和苏州。传统印染行业高度集中在杭州湾南岸地区。装备制造业主要集中在上海和苏锡常等长三角城市群地区;嘉兴、湖州、绍兴、宿迁等市轻纺工业比重较高。

1.4 道路交通“三高”问题突出,污染贡献突出

长三角区域道路交通呈现高速增长、高密度聚集、高强度使用的“三高”特征。2015年长三角的民用汽车保有量已达3645.80万辆,占全国机动车总量的13.07%左右,区域机动车保有量及汽柴油消耗量均比京津冀和珠三角大,且增速快。2000—2010年,长三角民用汽车的年平均增长率居高不下,以年均20%的增速居三大区

域之首；2010年之后，民用汽车增速逐年降低，至2015年时长三角区域年增速为13%。从车辆结构来看，载货汽车在民用汽车中的比重逐年降低，载客汽车占比则随着居民出行方式的变化迅速增高，2000年区域载客汽车占比仅有50%~60%，2015年占比已经上升到了90%左右。

同时，随着汽车保有量的急剧增加，汽柴油消费也迅速升高，2014年长三角汽柴油消费量是2000年的3.3倍。该比例要远小于汽车保有量的增长比例，一方面是

单车年行驶里程数可能增幅不大甚至有所下降；另一方面，随着科技的进步，车辆的每百公里油耗也在逐年降低。近几年来，汽柴油消费量趋于稳定（图6）。

在机动车污染控制方面，长三角轻型汽油车和重型柴油车分别实施了国V和国IV标准，重型柴油车于2017年7月1日全面实施国V标准；非道路移动机械用柴油机自2016年4月起实施国III标准，其中上海提前半年实施。区域重型柴油车和非道路机械用柴油机的管

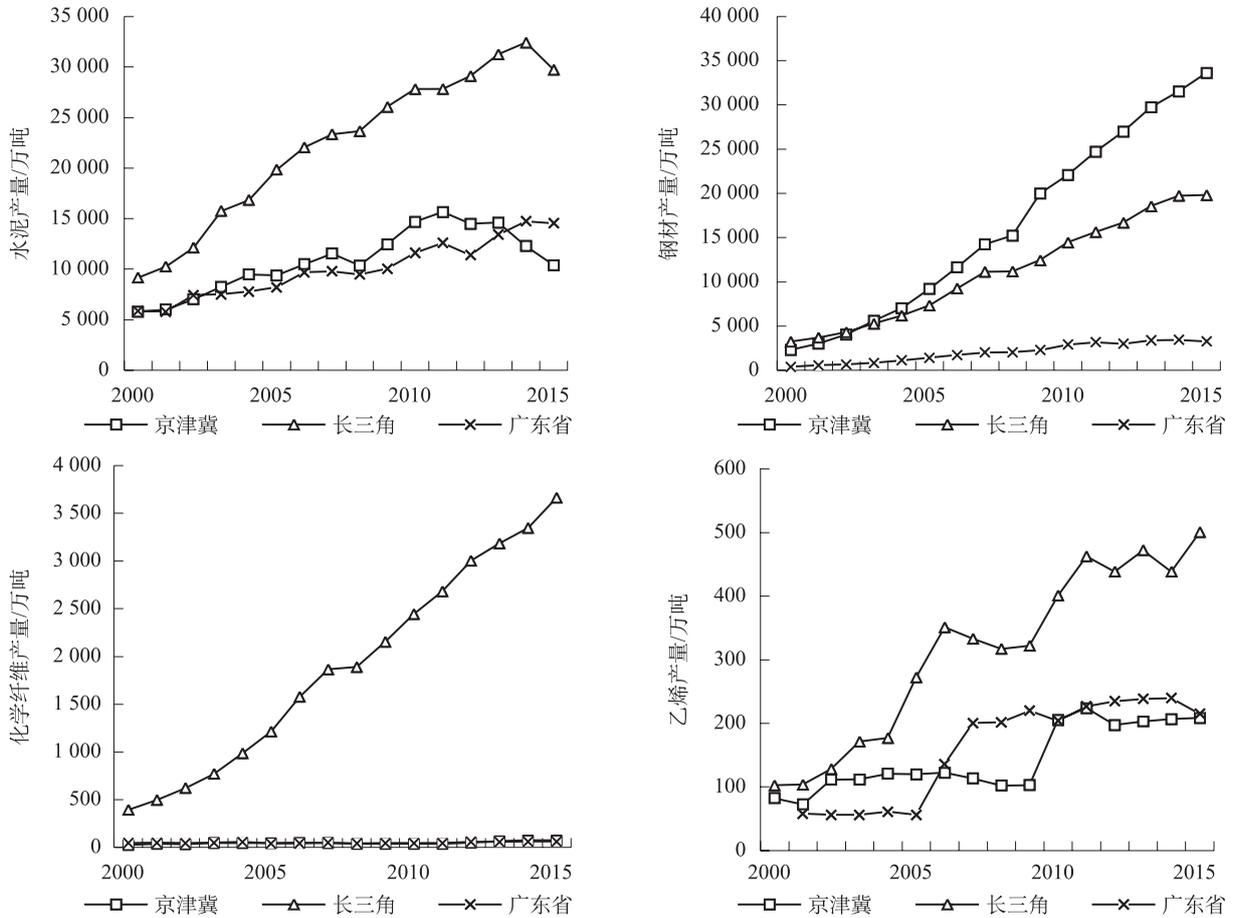


图5 长三角重化工业主要产品产量变化趋势

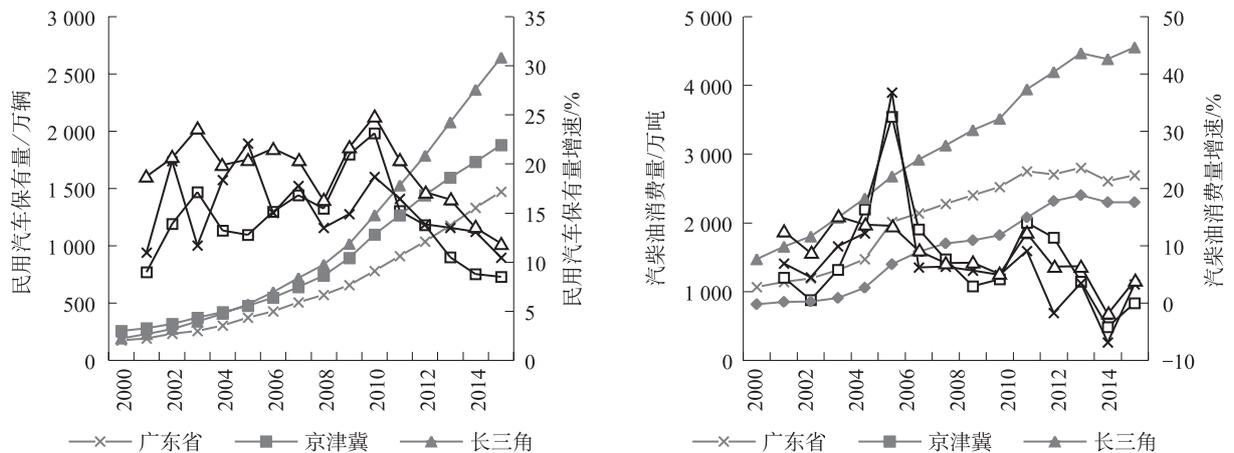


图6 2000—2015年区域民用汽车保有量及汽柴油消费量的变化趋势

控, 距离欧美等发达国家标准仍有一定差距, 见图 7。

2 长三角区域大气污染演变及空间分异特征

长三角区域是我国经济增长的重要引擎之一, 是带动华东地区以及长江经济带的龙头, 伴随着经济社会的高速发展, 空气污染日益成为区域经济社会环境协调可持续发展的制约因素。

2.1 区域大气污染演变分析

通过实施多项环境保护五年规划, 特别是实施“大气十条”治污措施, 区域常规大气污染因子(SO₂、NO₂、PM₁₀等)得到持续改善。根据两省一市环境质量

公报公布的大气污染浓度数据, 自 2006 年起, 两省一市 SO₂ 年均浓度均低于国家空气质量二级标准。其中, 上海市 SO₂ 浓度从 2005 年的 61 μg/m³ 降至 2015 年的 17 μg/m³, 降幅高达 72%。从 2005—2015 年, 除上海外, 其他区域 NO₂ 年均浓度在 24~42 μg/m³ 之间, 基本低于国家空气质量二级标准, 上海市 NO₂ 年均浓度整体呈下降的趋势, 降幅达 25%, 但仍然未达到国家空气质量二级标准。2005—2015 年, 区域 PM₁₀ 年均浓度超标现象突出, 仅上海和浙江省 2015 年首次达到国家空气质量二级标准限值。

根据环保部发布的空气质量实时数据分析, 长三角区域重污染频率逐年下降, 优良天数逐渐增加, 图 8 所

国家/地区	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
轻型汽油车																								
美国	Tier1			Tier1						Tier2						Tier2					Tier3			
欧盟	Euro1	Euro2		Euro3				Euro4				Euro5				Euro6								
日本	JP-1994*	JP-1997*			JP-2002*			JP-2005^			JP-2009^													
中国	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
北京	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		京 V		京 V		京 V	
上海	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
广州	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
江苏	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
浙江	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
重型柴油车																								
美国	US1987-2003						US-2004						US-2007						US-2010					
欧盟	Euro I		Euro II		Euro III				Euro IV				Euro V				Euro VI							
日本	JP-1994*	JP-1997*			JP-2003*			JP-2005			JP-2009						JP-2016							
中国	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
北京	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
上海	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
广州	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
江苏	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
浙江	无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 IV		国 IV		国 IV		国 V		国 V	
非道路移动机械用柴油机																								
美国	无控		Tier1				Tier2				Tier3				Tier4									
欧洲	无控		Stage I		Stage II				Stage IIIA				Stage IIIB		Stage IV									
日本	无控		Stage I				Stage II				Stage III				Stage IV									
中国	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	
北京	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	
上海	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	
深圳	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	
江苏	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	
浙江	无控		无控		国 I		国 I		国 II		国 II		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III		国 III	

图 7 我国与发达国家机动车污染控制水平的对比

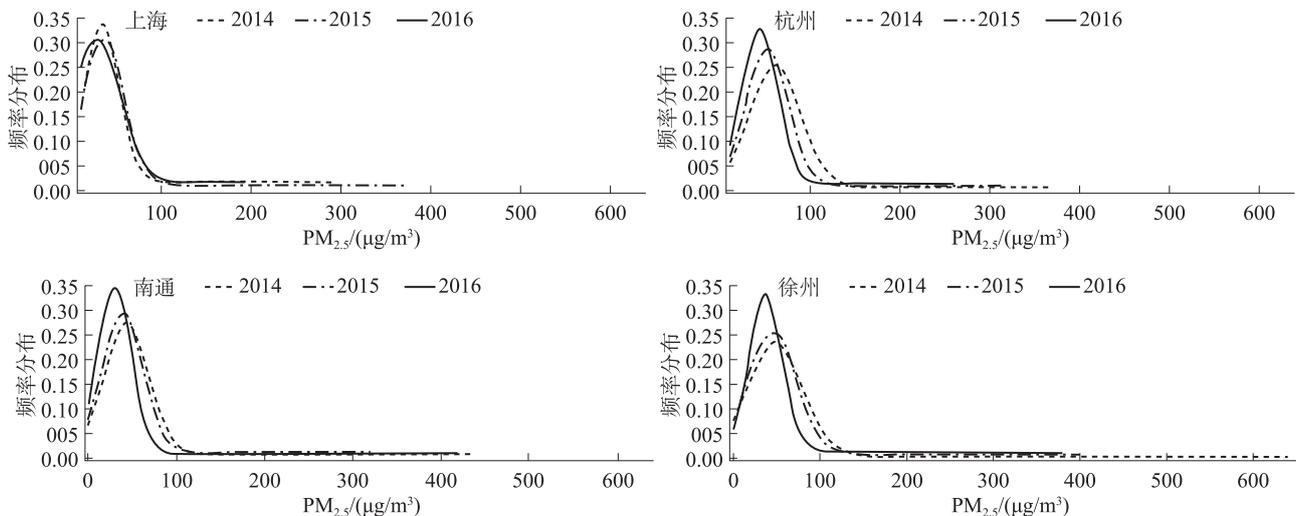


图 8 长三角代表性城市 PM_{2.5} 浓度频率分布演变

示为长三角代表性城市上海、杭州、南通、徐州 PM_{2.5} 浓度频数的变化。由图可见，区域重污染出现的频数显著减少，而低浓度频率明显增加。

长三角区域大气污染的总体改善，主要得益于过去末端治理措施的大力推进以及大规模治污基础设施的投入。然而，随着工程措施的逐步完成，大气污染治理减排边际效应逐渐下降，很难从根本上遏制污染态势。未来，长三角区域应深入推进区域增长方式转型、结构调整以及分区施策。另外，区域污染程度总体上已经从重度污染迈入轻中度污染阶段。面对逐渐改变的污染形势，当前的重污染应急预案普遍显得门槛较高，启动频次较少，因此有必要针对当前的中度和轻度污染，修订重污染应急预案，降低启动门槛，进一步强化应急措施，促使轻中度污染频率持续下降。

2.2 长三角区域大气污染空间分异特征

根据 2015 年长三角地区污染天数中首要污染物的构成 (图 9)，以 PM_{2.5} 为主，在超标天数中的比率范围为 22%~72%。此外，长三角北部区域 PM₁₀ 污染较为突出，而长三角南部和沿海区域则 O₃ 污染较为突出。另外大型城市受 NO₂ 污染也较为严重，南京市、苏州市、杭州市、嘉兴市、宁波市、绍兴市、温州市和上海市首要污染物为 NO₂ 的天数占污染天数的占比均超过 10%。2013—2015 年江苏省、浙江省 O₃ 浓度均呈上升趋势。2015 年，上海市、江苏省、长三角区域 O₃ 浓度均超标，分别为 161 μg/m³、167 μg/m³ 和 163 μg/m³。复合型污染

形势仍然十分严峻。

根据总体空气质量状况空间布局特征，本文将长三角地区分为 4 个子区域。其中北部区域主要涵盖江苏北部，包括徐州至盐城 5 个城市；中部区域主要涵盖江苏南部，包括南京至苏州、南通等 8 个城市；西南区域主要涵盖浙江北部及靠近内陆区域，包括湖州至衢州等 6 个城市；东南沿海区域主要包括上海市及浙江省东南部沿海城市，包括宁波至温州沿海一带。

在 SO₂ 方面，所有城市都达到国家环境空气质量二级标准。相比之下，北部区域污染较为严重^[20]，特别是徐州市和连云港市，东南沿海城市 SO₂ 年均浓度普遍处于较低水平。在 NO₂ 方面，中部区域和西南区域污染较为严重，其中苏州市出现超标情况，东南沿海区域上海市、宁波市和温州市 NO₂ 年均浓度也处于相对较高的水平，这与当地经济发展程度较高，城镇机动车数量较多有关。在 PM₁₀ 方面，最集中的高浓度污染区位于北部和中部区域，超标现象严重，尤其是在徐州市、宿迁市、扬州市、泰州市和常州市，PM₁₀ 年均浓度超过 100 μg/m³。而南部城市 PM₁₀ 浓度普遍较低。相比 SO₂、NO₂、PM₁₀ 而言，PM_{2.5} 和 O₃ 的区域内差异相对较小，区域性污染特征更为突出，见图 10、图 11。

综上，传统的以行政区划为分区，制定大气污染减排方案的方式，未考虑污染传输规律，也未考虑到经济能源产业结构的区内差异，因此在治理大气污染方面仍然不够全面，亟待结合区域污染的空间差异，实施分区施策。

3 经济社会发展与大气环境耦合关系分析

3.1 随着经济的高速发展，燃煤污染治理效果显现

图 12 为长三角地区两省一市近 10 年来 GDP 与环境质量变化趋势图，上海市、浙江省和江苏省 2000—2015 年 GDP 快速增长，随着城市化建设的逐步完成及城市管理水平的提升，PM₁₀ 的环境质量浓度逐步下降；随着电厂脱硫、分散燃煤治理等措施的实施和推进，尽管经济快速发展、煤炭消耗量持续上升，但 SO₂ 浓度呈现先增后降的倒 U 型趋势，上海的倒 U 型趋势最为显著；近 10 年两省一市 NO₂ 环境质量浓度基本保持持平。

3.2 经济相对发达城市机动车污染相对更为突显

图 13 分析了长三角两省一市重点城市的环境 SO₂/NO₂ 比值，上海、宁波、杭州、苏州、南京的 SO₂/NO₂ 比值低于 0.5，污染类型主要以城市机动车为主；镇江、南通、绍兴、常州 SO₂/NO₂ 比值高于 0.5，特别是南通、绍兴和常州以煤烟型污染为主。从图上分析来看，经济相对发达、汽车保有量高的地区污染类型通常以机动车污染为主导，经济相对欠发达、汽车保有量低的地区污染类型通常以煤烟型为主导。

综上，长三角区域大气污染与经济增长方式、能源

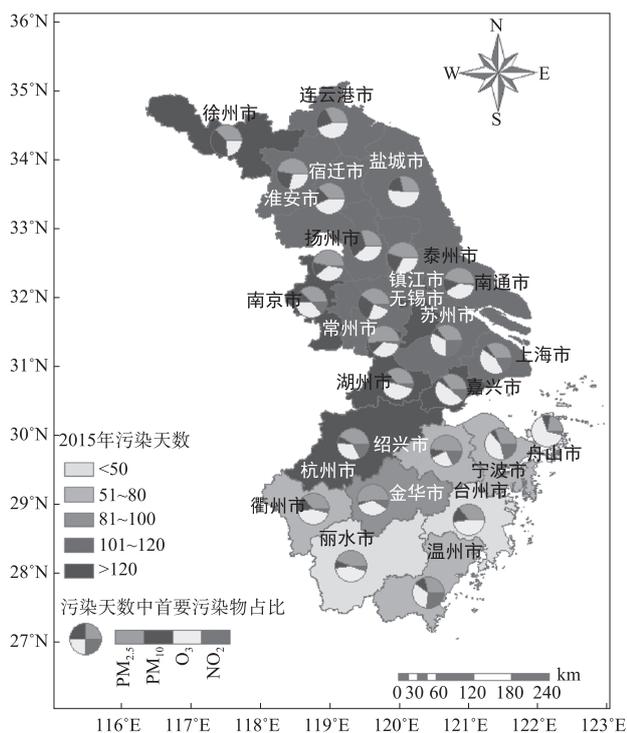


图 9 2015 年长三角地区污染天数及首要污染物比例空间分布

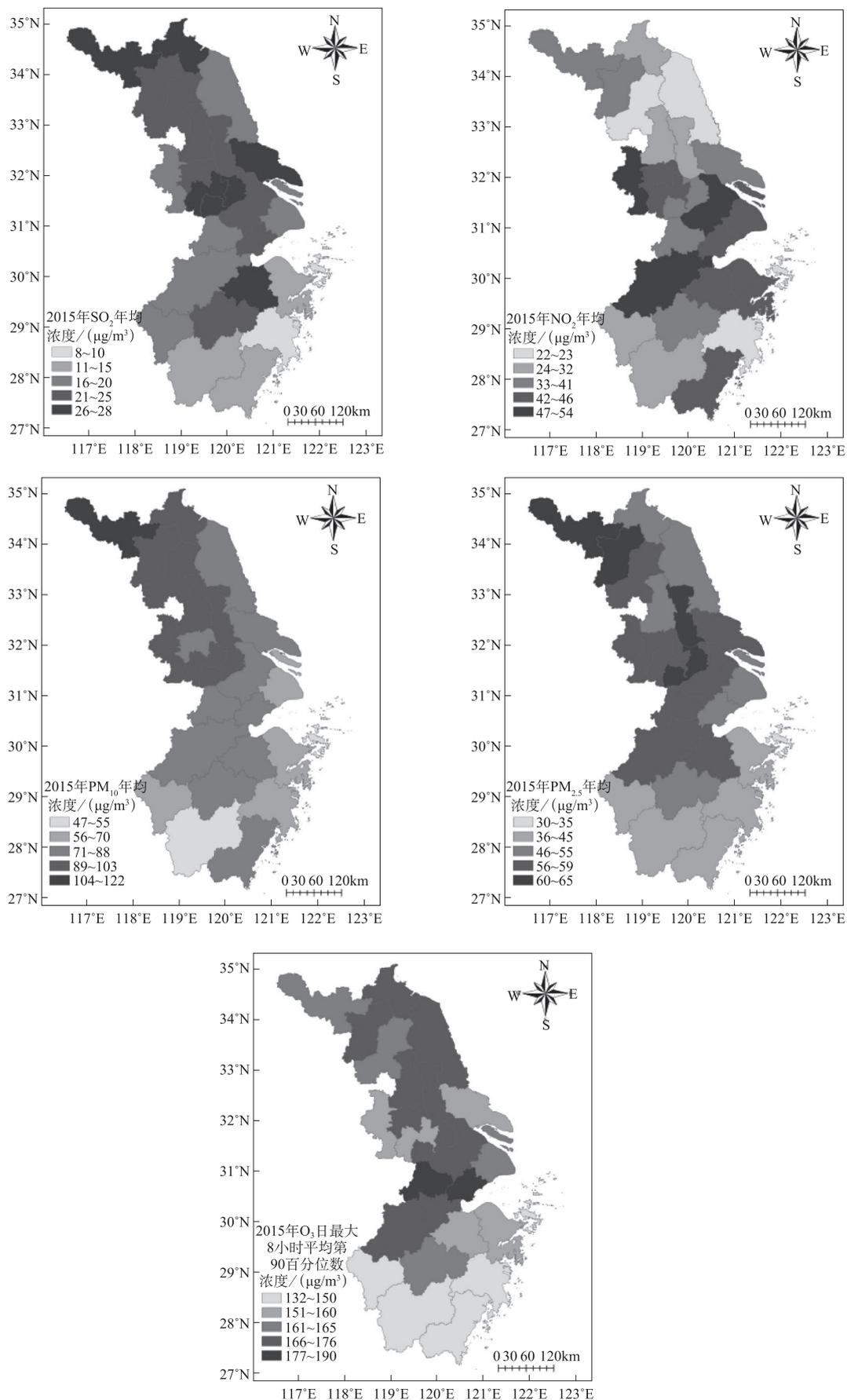


图10 2015年长三角区域PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂和O₃年均浓度空间分布图

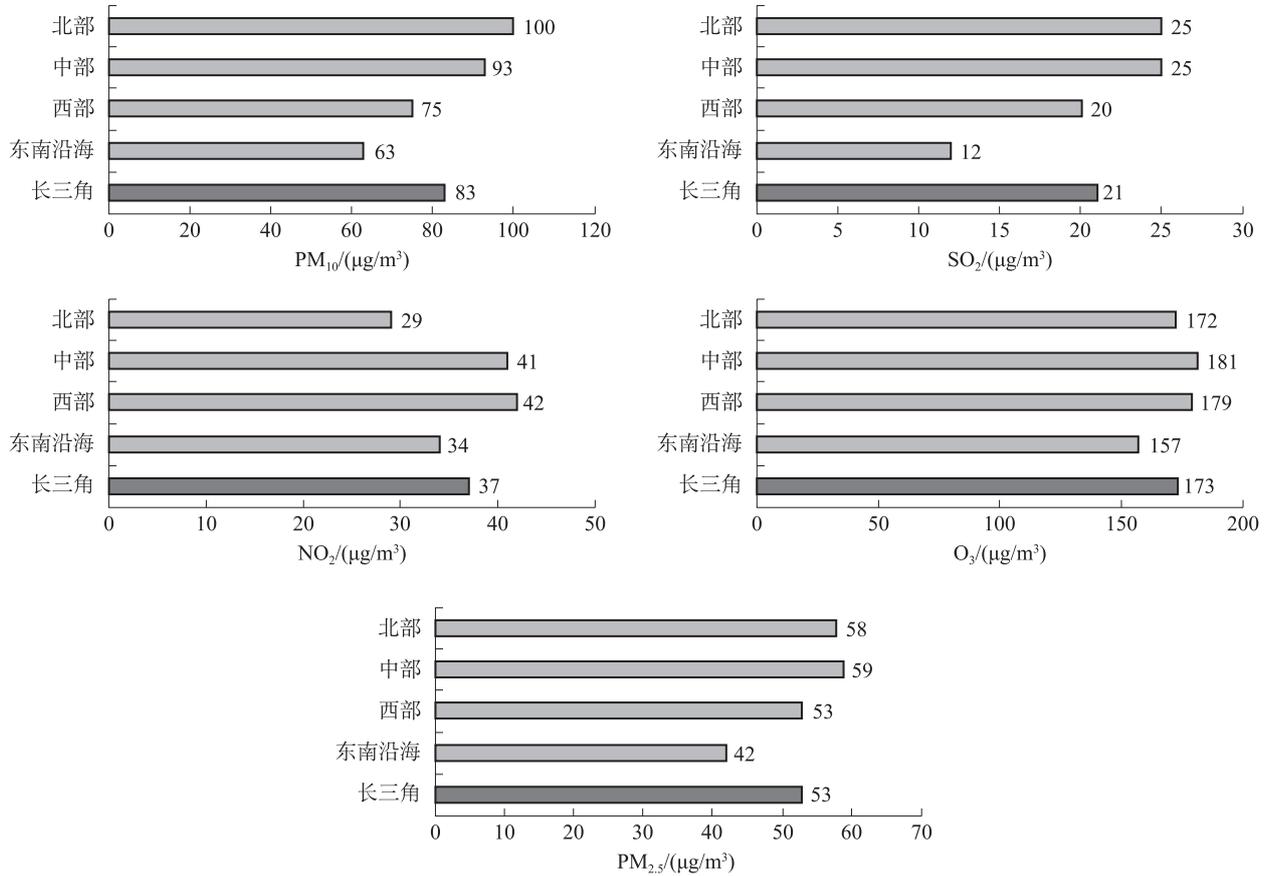


图11 2015年长三角亚区域PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂和O₃年均浓度空间分异

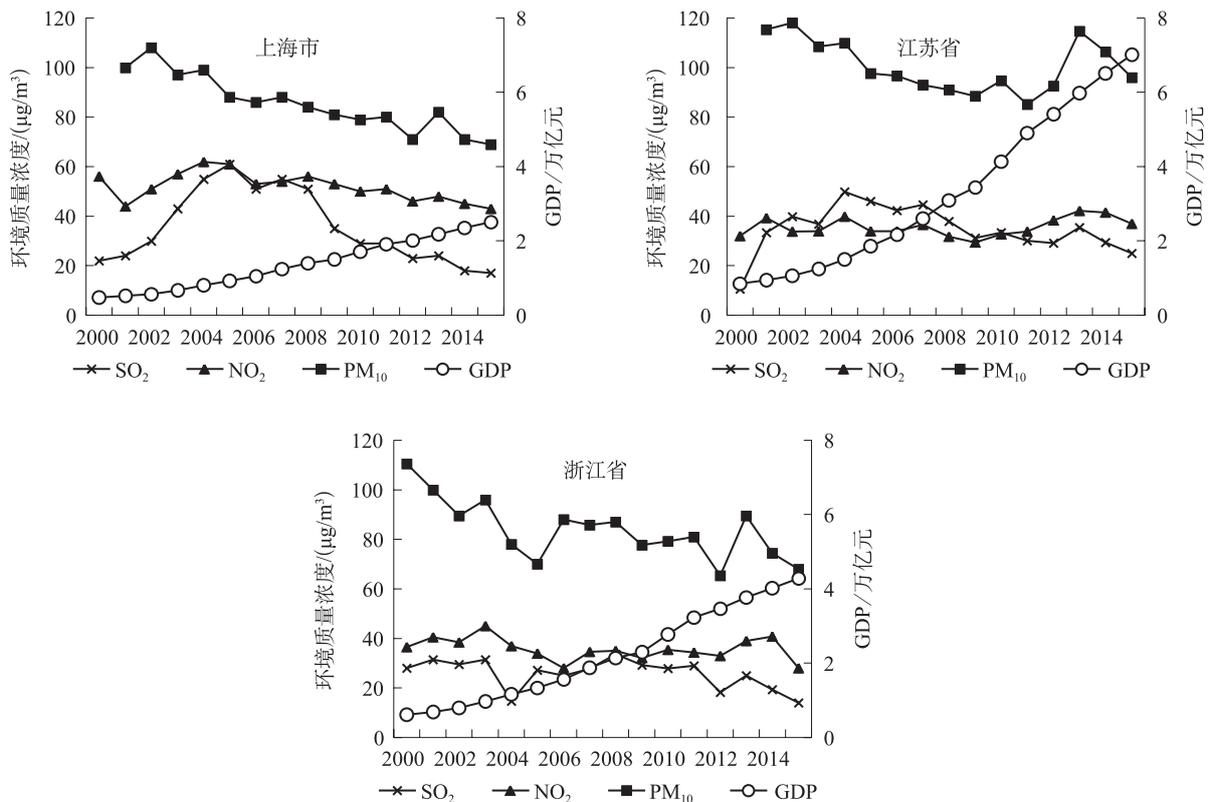


图12 两省一市GDP与环境质量变化趋势比较

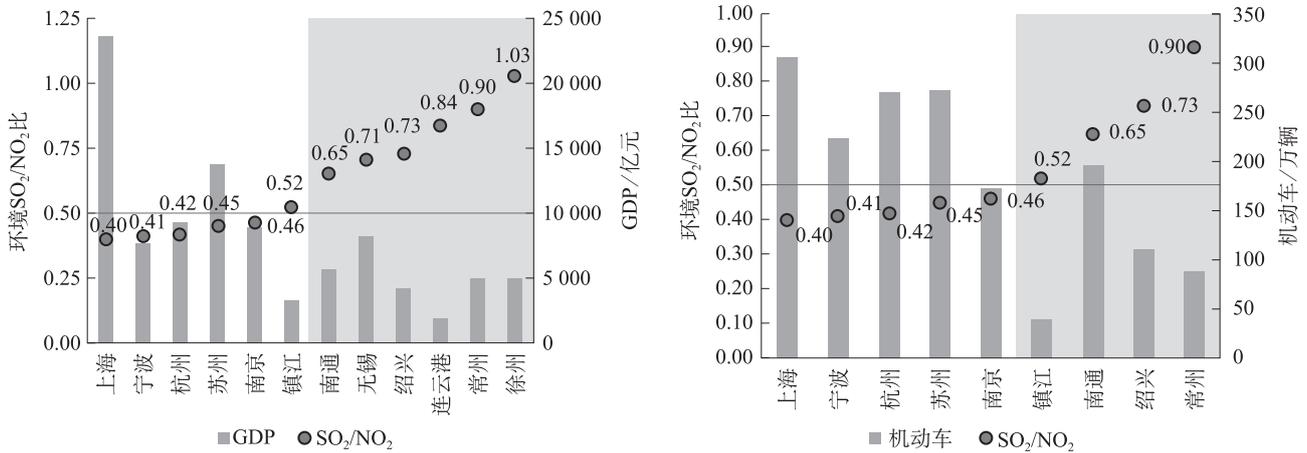


图 13 长三角重点城市经济发展与污染类型分析图

结构、产业结构、交通结构等因素密切相关，后“大气十条”阶段，仅仅依靠提标改造和末端治理，已无法抵消经济社会快速发展带来的新增排放，亟需改变经济增长方式、控制能源和煤炭总量、深化产业结构调整，特别是削减重化行业产能，在大型城市地区实施机动车总量控制，并结合区域内大气污染的空间差异，实行分区施策。我国兰州市已有大气污染治理的实际经验也表明，实施能源结构和产业结构调整这一核心环节在兰州市大气污染治理中发挥了重要作用^[21]，实践证明，较好地协调经济发展和环境保护之间的关系，抓住能源结构和产业结构调整，重点采取减排、压煤、除尘、控车、增容等综合措施，能源结构日趋合理，而产业结构也正在稳步优化，取得了较好的治污成效。

4 长三角大气污染协作关键问题的建议

(1) 大气环境问题是长三角经济社会和环境可持续发展面临的突出问题之一。2005—2015 年长三角地区总体环境空气质量有所改善，说明近 10 年长三角地区开展的各项针对一次污染物的减排政策，如电厂脱硫脱硝、黄标车和老旧车淘汰、燃煤锅炉窑炉清洁能源替代等措施，使得污染水平得到有效控制。

(2) 尽管长三角地区常规污染物浓度整体呈下降趋势，但形势仍然严峻。2015 年长三角地区 PM_{2.5} 平均浓度为 53 μg/m³，高于国家二级标准 51%。长三角地区臭氧污染总体加重。长三角各城市的 PM_{2.5} 浓度水平普遍大幅高于欧美同等级大型城市，面临的污染形势十分严峻。长三角区内各城市各项污染物存在不同程度的超标现象。2015 年，NO₂ 年均浓度超标城市有 7 个，分布于长三角经济发展较快的区域（江苏南部，上海，浙江北部）；2015 年 O₃ 日最大 8 小时均值第 90 百分位数浓度为 163 μg/m³，超标城市 4 个，上海及苏南、浙北城市均处于临近达标，2015 年扬州和镇江由临近达标转为超标城市；PM₁₀ 超标城市位于苏南及浙北地区，徐州属于严

重超标城市；PM_{2.5} 超标现象普遍严重，只有舟山达到标准，其他 24 个城市超标，并且沿长江流域城市超标严重。

(3) 就 PM_{2.5} 污染控制而言，区域重污染频率逐年下降，污染程度总体上已经从重度污染迈入轻中度污染阶段。面对逐渐改变的污染形势，当前的重污染应急预案普遍显得门槛较高，启动频次较少，因此有必要针对当前的中度和轻度污染，修订重污染应急预案，降低启动门槛，进一步强化应急措施，促使轻中度污染频率持续下降。

(4) 长三角区域大气污染形势与产业结构、交通结构和能源结构关系密不可分，建议实施区域能源和煤炭总量双控，确定煤炭减量硬指标；深化产业结构调整，构建低碳低排高效的产业体系，扎实推进钢铁、石化、建材、纺织等传统行业产业转型升级，积极推进产能过剩行业调整，坚决遏制产能过剩和重复建设，推动战略性新兴产业发展。构筑便捷的公共交通体系，遏制机动车总量过快增长，优化城市空间结构和功能布局，避免单核心、单功能的城市规划导致出现总量的过快增长和高度集中。利用交通管理和经济政策调控大型和特大型城市的机动车保有量，遏制大城市机动车总量过快增长。建立车辆排放—油品质量一体化的标准体系，严控机动车尾气污染形势。

(5) 长三角区域内大气污染特征空间差异显著，建议实施分区施策。其中，苏北地区燃煤污染和粗颗粒污染突出，应严格限制新上燃煤项目，取缔各类散煤燃烧，加速工业燃煤锅炉、炉窑及企业自备电站清洁能源替代，煤炭向发电和钢铁工业用煤集中。强化扬尘污染管理和控制，实施网格化管理，切实改善扬尘污染问题，降低 PM₁₀ 浓度。腹地城市区域资源环境严重超载，应严格限制大气污染排放项目，新上项目必须实施大气污染物排放倍量削减。大型和特大型城市实施机动车总量控制，抑制机动车过快增长。

参考文献

- [1] HUANG R J, ZHANG Y L, BOZZETTI C, et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China[J]. *Nature*, 2014, 514(7521): 218–222.
- [2] 陆楠, 魏斌, 朱琦, 等. 区域大气污染防治管理系统建设需求分析[J]. *中国环境管理*, 2015, 7(6): 66–70, 83–83.
- [3] 杜贇, 李宏涛. 欧美经验对我国“十三五”大气污染防治战略的启示[J]. *中国环境管理*, 2016, 8(5): 57–62.
- [4] 王金南, 宁森, 孙亚梅. 区域大气污染联防联控的理论与方法分析[J]. *环境与可持续发展*, 2012, 37(5): 5–10.
- [5] GAO L N, JIA G S, ZHANG R J, et al. Visual range trends in the Yangtze River Delta Region of China, 1981–2005[J]. *Journal of the air & waste management association*, 2011, 61(8): 843–849.
- [6] ZHENG J J, JIANG P, QIAO W, et al. Analysis of air pollution reduction and climate change mitigation in the industry sector of Yangtze River Delta in China[J]. *Journal of cleaner production*, 2016, 114: 314–322.
- [7] 陈潇君, 金玲, 雷宇, 等. 大气环境约束下的中国煤炭消费总量控制研究[J]. *中国环境管理*, 2015, 7(5): 42–49.
- [8] BAO M Y, CAO F, CHANG Y H, et al. Characteristics and origins of air pollutants and carbonaceous aerosols during wintertime haze episodes at a rural site in the Yangtze River Delta, China[J]. *Atmospheric pollution research*, 2017, 8(5): 900–911.
- [9] 汪俊. 长三角地区多部门多种大气污染物协同减排方案研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [10] 安静宇. 长三角地区冬季大气细颗粒物来源追踪模拟研究[D]. 上海: 东华大学, 2015.
- [11] LI L, AN J Y, SHI Y Y, et al. Source apportionment of surface ozone in the Yangtze River Delta, China in the summer of 2013[J]. *Atmospheric environment*, 2016, 144: 194–207.
- [12] 董晓, 戴星翼. 长三角区域环境污染根源剖析及协同治理对策[J]. *中国环境管理*, 2015, 7(3): 81–85.
- [13] XU X B, YANG G S, TAN Y, et al. Factors influencing industrial carbon emissions and strategies for carbon mitigation in the Yangtze River Delta of China[J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 142: 3607–3616.
- [14] 谭石柳. 基于铁路交通的长三角城市网络研究[D]. 金华: 浙江师范大学, 2015.
- [15] SHE Q N, PENG X, XU Q, et al. Air quality and its response to satellite-derived urban form in the Yangtze River Delta, China[J]. *Ecological indicators*, 2017, 75: 297–306.
- [16] 刘冬惠, 张海燕, 毕军. 区域大气污染协作治理的驱动机制研究——以长三角地区为例[J]. *中国环境管理*, 2017, 9(2): 73–79.
- [17] 国家统计局. 中国统计年鉴 2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [18] 薛文博, 武卫玲, 付飞, 等. 中国煤炭消费对 PM_{2.5} 污染的影响研究[J]. *中国环境管理*, 2016, 8(2): 94–98.
- [19] 翟一然, 王勤耕, 宋媛媛. 长江三角洲地区能源消费大气污染物排放特征[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(9): 1574–1582.
- [20] 戴昭鑫, 张云芝, 胡云锋, 等. 基于地面监测数据的 2013—2015 年长三角地区 PM_{2.5} 时空特征[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(5): 813–821.
- [21] 王伟. 大气污染治理的“兰州经验”——基于环境保护与国家治理现代化的考察[J]. *中国环境管理*, 2016, 8(4): 82–86, 100–100.