

基于 LMDI 方法的安徽省工业废气排放量变化的因素分解

潘成荣^{1,2}, 田由洲², 易明建¹, 郑志侠¹, 刘鹏¹, 张红¹ (1. 安徽省环境科学研究院, 安徽合肥 230071; 2. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009)

摘要 分析了 2011~2013 年安徽省及主要地市的工业废气排放量变化, 采用 LMDI (对数平均迪氏指数分解法) 法对不同地区的变化量进行排放强度因素、行业结构因素以及经济规模因素的分解, 并根据分解结果提出减排政策建议。结果表明, 2011~2013 年安徽省及主要地市的 SO₂ 和 NO_x 排放量逐年下降, 烟(粉)尘排放量整体上是下降的, 个别地市略有上升。经济增长是阻碍减排的主要因素, 排放强度因素和行业结构因素促进减排, 且主导因素是排放强度, 来源于新建和改造减排设施的效果。行业结构优化还未成为减排的主导作用。在短期内以新建和改造减排设施为主要手段, 同时进行长期规划, 对于新兴工业区和老工业区采取不同方式引导行业结构优化。

关键词 安徽省; 工业废气排放量; LMDI

中图分类号 S181.3 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2015)34-106-05

Decomposing Anhui Province Industrial Emission Change Based on LMDI Analysis Method

PAN Cheng-rong^{1,2}, TIAN You-zhou², YI Ming-jian¹ et al (1. Anhui Institute of Environmental Science, Hefei, Anhui 230071; 2. School of Resources Science and Environment Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009)

Abstract By using LMDI (Logarithmic Mean Divisia Index) decomposition analysis method, the variation of industrial waste gas total emissions of Anhui Province and its major cities from 2011 to 2013 was analyzed. The results showed that the emissions of NO_x and SO₂ in most areas decreased year by year, the dust emissions increased slightly in individual cities. The effect of economic growth factor on the total emission is negative while the effects of emission strength factor and industrial structure factor are positive, which means the total emission related to the variation of the per unit emission and the adjustment of industrial structure in recent year is descending in generally. The emission strength factor plays the most important role in total emission and the adjustment of industrial structure plays a limited role in emission reduction. Emission reduction strategies were proposed based on the analysis results.

Key words Anhui Province; Industrial emissions; LMDI

随着大气环境问题的日益凸显, 各地区陆续实施了一系列的空气污染治理措施, 这些措施从多方面控制污染物的排放, 但在实施了多种减排措施后, 污染物排放量的变化存在区域间的差异, 不同地区污染物排放量的影响因素各不相同, 因此对污染物排放量变化的效应分解受到人们关注。因素分解分析法是将某一个综合性指标分解成若干个因素的代数和、乘积、商或其他形式, 通过观察因素变动对指标的影响, 以此来掌握主要因素, 从而有针对性地制定对策的方法^[1]。主要的因素分解分析方法有两种: 一是以污染物排放相关指标分解的指标分解分析法, 二是以投入产出模型进行分解的结构分解分析法^[2]。

近年来, LMDI (对数平均迪氏指数分解法) 法由于其具有因素可逆、分解后不存在残差项, 并且采用乘积分解和加和分解的分解结果一致的优点, 被广泛地应用在能源消费领域内, LMDI 分解方法主要应用于能源消费碳排放分解分析, 对不同地区主要从产业结构、能源结构、能源效率的角度提供碳减排的决策依据^[3-6]。近年来, 逐渐有学者将 LMDI 分解法应用于污染物排放的分解分析, 但主要还是对全国范围或一类污染物的分析, 主要集中在大尺度及整体格局的分析, 将 LMDI 模型应用于地区的污染物分析仍较少^[2,7-10]。

近年来, 安徽省一方面大力发展经济, 新增的工业大气污染物排放加剧了大气环境质量的压力, 同时又采取行业结

构调整, 升级改造治污设施, 淘汰落后产能等措施减少污染物排放, 改善大气环境质量^[11-12]。因此, 安徽省工业大气污染物的排放量变化包含了正负多种效应, 需要构建分解模型, 定量地讨论经济增长、行业结构和排放强度的变化对工业废气排放的影响。因此, 笔者尝试利用 LMDI 分析方法对安徽省及主要地市的工业废气排放量变化进行分解, 为后续减排政策的调整提供决策参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源 2011~2013 年, 安徽省工业废气排放重点行业的结构、排放强度以及经济规模均发生了变化。因此, 为定量分析 3 种因素对最终减排效果的影响, 需要对不同污染物的排放量变化进行分解。数据来自安徽省环境统计年报, 限于数据统计的滞后性, 以 2011 年为基准年, 对 2012 和 2013 年污染物排放量进行分解分析。选择安徽省及主要地市合肥、蚌埠、淮南、马鞍山、铜陵为研究对象。

1.2 分析方法 对于环境质量影响因素的分解, 国内外有众多的学者进行研究, 选择 Grossman 等对污染物排放量 3 种效应分解计算公式^[13]:

$$E = \sum_{i=1}^N \frac{Y_i E_i}{Y} Y_i \quad (1)$$

式中, E 为年污染物排放量的变化量, t ; N 为行业类别数量, $N=8$, 即将各个行业按照排放总量的大小排序后, 将行业分为 8 类 (排行前 7 行业和剩余行业), 以其所占比重的变化代表行业结构变化; E_i 为第 i 种行业的污染物排放量, t ; Y_i 为第 i 种行业的工业产值, 亿元; Y 为目标年的工业生产总产值, 亿元。定义 $S_i = Y_i/Y$, S_i 为第 i 种行业的污染物排放强度, 即单位工业产值的排放量, t /亿元; $K_i = E_i/E$, K_i 为第 i 种行业的

基金项目 国家科技支撑计划课题 (2014BAC22B06); 安徽省省级环境保护科研项目 (2014-007; 2014-002; 2013-001); 安徽省科技攻关计划项目 (1401042008)。

作者简介 潘成荣 (1966-), 男, 安徽肥西人, 教授级高级工程师, 博士, 从事环境保护规划及管理工作。

收稿日期 2015-10-31

工业产值,亿元。排放量的变化量为:

$$\Delta E = E^T - E^0 = \sum_{i=1}^N S_i^T K_i^T Y^T - \sum_{i=1}^N S_i^0 K_i^0 Y^0 = \Delta E_S + \Delta E_K + \Delta E_Y \quad (2)$$

式中, ΔE_S 、 ΔE_K 、 ΔE_Y 分别表示行业结构、排放强度和经济规模变化引起的污染物排放量的变化。由于 LMDI(对数平均迪氏指数分解分析法)的乘积分解和加和分解具有一致性^[6],采用加和分解方式得到 3 种因素的分解表达式: $\Delta E_S = \sum_{i=1}^N A_i \ln \frac{S_i^T}{S_i^0}$, $\Delta E_K = \sum_{i=1}^N A_i \ln \frac{K_i^T}{K_i^0}$, $\Delta E_Y = \sum_{i=1}^N A_i \ln \frac{Y_i^T}{Y_i^0}$, 其中 $A_i = \frac{E_i^T - E_i^0}{\ln(E_i^T - E_i^0)}$ 。

2 实证分析

2.1 工业现状分析

由表 1 可知,2011~2013 年安徽省全省及合肥、马鞍山和淮南市的工业总产值持续增长;2012 年淮南、马鞍山市工业总产值增长较为显著,分别增长了 21.29%、19.21%,安徽省工业总产值增加了 7.27%,2013 年合肥市工业总产值增长显著,增长了 9.40%。因此,除了合肥市,工业总产值的增长主要在 2012 年,2013 年增幅均下降,如安徽省工业总产值的增幅下降了 43.9%。合肥市工业

总产值在 2013 年才出现高速增长,2013 年的增速是 2012 年的 4.8 倍。2011~2013 年,工业产值出现下降的是铜陵市和蚌埠市;2012 年蚌埠、铜陵市工业产值分别下降了 5.01%、22.25%;2013 年这两个市的工业产值均有所回升,但较于基准年 2011 年,铜陵减少了 16.75%,蚌埠增加了 1.80%。

表 1 2011~2013 年安徽省及主要地市工业产值 亿元

年份	安徽省	合肥市	蚌埠市	淮南市	马鞍山	铜陵市
2011	10 543.30	2 010.25	351.98	587.79	1 308.99	1 549.90
2012	11 309.94	2 049.51	334.36	712.92	1 560.50	1 205.03
2013	11 646.78	2 199.16	358.32	715.48	1 600.71	1 290.34

2.2 分解结果分析

2.2.1 SO₂

从表 2 可知,除了 2012 年马鞍山的 SO₂ 排放量增加了 3.14% 外,安徽省各个地区 SO₂ 排放量都在下降,下降幅度最小的是 2013 年马鞍山市(下降 0.79%),降幅最大的是 2013 年淮南市(下降了 18.34%)。非金属矿物制品和黑色金属冶炼与加工带来的 SO₂ 排放压力是安徽省及各地市经济建设过程中对建筑材料行业的旺盛需求引起的;而来自于电力、热力生产和供应业的 SO₂ 排放是安徽地区以燃煤发电为主的能源结构必然的环境负效应。

表 2 2011~2013 年安徽省及主要地市 SO₂ 排放总量及重点行业排放情况

地市	SO ₂ 排放量//t			重点排放行业排序	重点行业百分比//%
	2011 年	2012 年	2013 年		
安徽省	459 926.00	440 791.00	416 149.50	A > B > C > D > E > F > G > Z	93.11
合肥市	42 209.70	40 577.88	35 497.69	A > B > C > H > I > D > J > Z	92.79
蚌埠市	18 662.80	18 358.83	16 164.23	B > A > D > F > J > G > J > Z	97.75
淮南市	69 803.20	67 341.55	56 998.33	B > A > D > L > C > M > J > Z	99.93
马鞍山	62 535.10	64 495.65	62 040.10	C > B > A > D > F > N > O > Z	98.66
铜陵市	37 763.10	34 963.16	36 026.86	C > B > E > D > A > P > M > Z	98.71

注:A. 非金属矿物制品业;B. 电力、热力生产和供应业;C. 黑色金属冶炼和压延加工业;D. 化学原料和化学制品制造业;E. 有色金属冶炼和压延加工业;F. 造纸和纸制品业;G. 酒、饮料和精制茶制造业;H. 橡胶和塑料制品业;I. 化学纤维制造业;J. 农副食品加工业;K. 医药制造业;L. 煤炭开采和洗选业;M. 纺织业;N. 废弃资源综合利用业;O. 石油加工、炼焦和核燃料加工业;P. 金属制品业;Q. 食品制造业;R. 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业;S. 非金属矿采选业;T. 通用设备制造业;U. 黑色金属矿采选业;Z. 排除前 7 行业的剩余行业排放量总和。

由图 1 可知,除了铜陵市和 2012 年蚌埠市的工业产值较基准年是下降的,促进了 SO₂ 排放量减少外,其余地市在两年间工业经济规模增长是阻碍 SO₂ 排放量下降的主要原因。马鞍山市 2012 年 SO₂ 排放量上升的原因是经济规模的增长引起的排放量增加作用大于排放强度下降引起的减排作用。行业结构因素在两年中始终提供正效应的是合肥和淮南;两年间由负效应转变为正效应的是安徽和铜陵,蚌埠和马鞍山则始终对减排产生负效应;排放强度的变化在安徽、合肥、蚌埠、淮南和马鞍山都表现出正效应,只有铜陵是负效应。比较 3 种影响因素的作用大小,排放强度的贡献率普遍大于行业结构因素和经济规模因素的贡献率。例如,2012 年,淮南市的 SO₂ 排放量变化中产业结构因子效应高于排放强度因子效应 18%;到了 2013 年,排放强度因子由 0.69 万 t 升至 1.81 万 t 后,其作用反而是结构因子的 2.6 倍,使得减排量提升了 5.2 倍。蚌埠市则在行业结构变化为负效应且负效应增加的情况下,由于排放强度效应由减排 0.02 万 t

提至 0.57 万 t,使最终表现出的减排量提升了 0.22 万 t。说明对于 SO₂ 减排过程中,降低排放强度是主导因素。

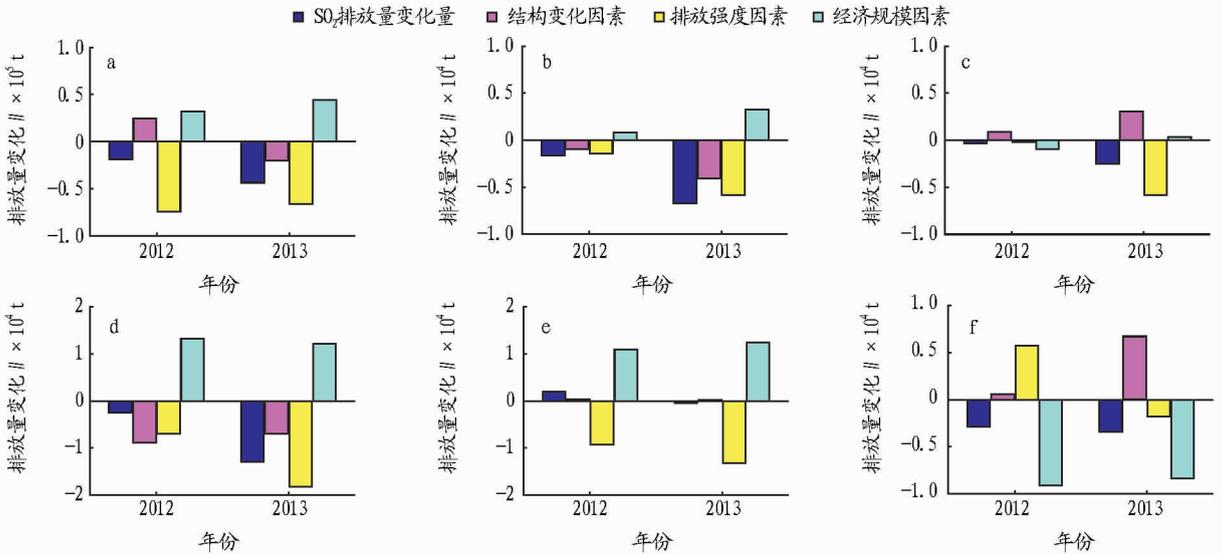
2.2.2 NO_x

由表 3 可知,整体上看 2011~2013 年工业排放的氮氧化物排放量在安徽省所有地市都是下降的,其中降幅最大的是 2013 年的淮南市,下降了 27.51%;最小的是 2012 年的蚌埠市,仅下降 2.70%。NO_x 排放来源中,重点排放行业同样是非金属矿物制品和电力、热力生产和供应业;只有马鞍山市的 NO_x 首要来源是黑色金属冶炼与加工,这是马鞍山市特定的行业结构导致的。

由图 2 可知,2011~2013 年 NO_x 的排放量在各个地区均有所下降。NO_x 排放量变化的分解结果显示,工业产值经济规模变化影响效果类似于 SO₂;对于行业结构因素,只有合肥、淮南以及 2013 年安徽省的行业结构变化对 NO_x 的减排贡献了正效应,其余地区的行业结构变化均导致了 NO_x 排放量的上升。例如,2012 年安徽省,结构变化负面效应是经济增长的 2.6 倍,导致和经济增长负效应共同抵消了排放强度

下降对减排的正效应,2012年铜陵的行业结构变化引起的NO_x排放量增加了37 908 t,抵消了排放强度下降减排27 512 t和工业下降减排11 671 t,使得铜陵最终只减排1 275 t;在前两种因素都对大多数地区的减排起阻碍作用的情况下,各地区的NO_x排放量仍有所下降,主要原因是各个地区的NO_x

排放强度下降显著。例如,淮南市在两年间结构调整和经济规模对NO_x排放量变化的贡献相似的情况下,排放强度下降贡献减排效果提升后,减排量增加了22 299.7 t。除了安徽省和铜陵,其他地区的排放强度贡献的减排效果是上升的。



注:a. 安徽省;b. 合肥市;c. 蚌埠市;d. 淮南市;e. 马鞍山市;f. 铜陵市。

图1 2011~2013年安徽及主要地市SO₂排放变化量分解结果

表3 2011~2013年安徽及主要地市NO_x排放总量及重点行业排放情况

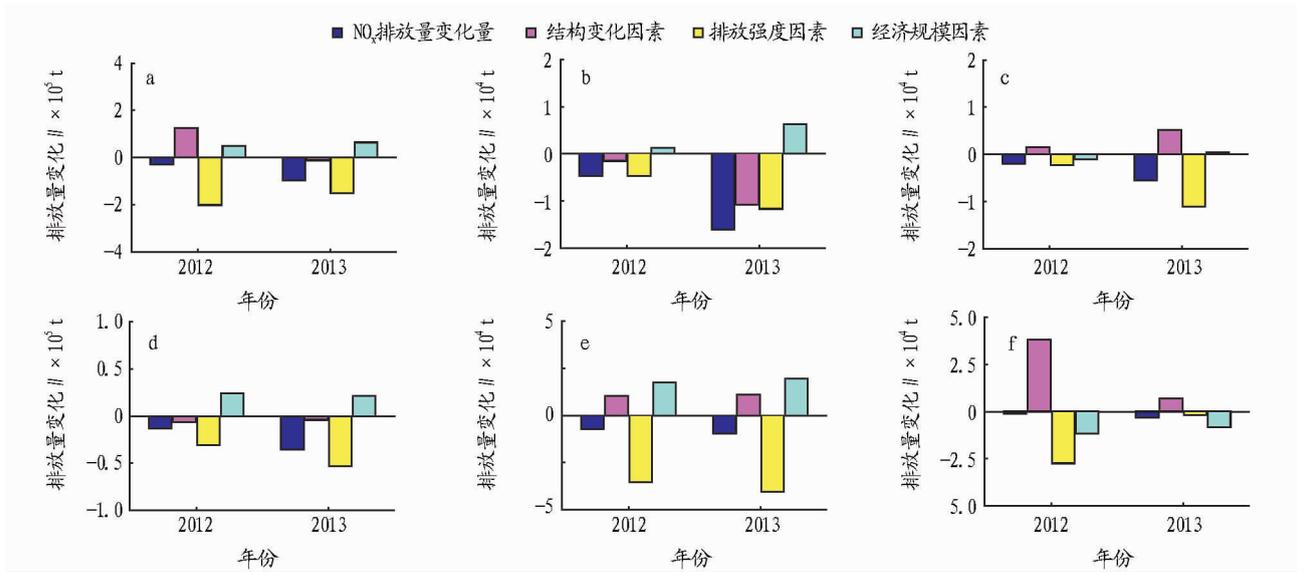
地市	NO _x 排放量//t			重点排放行业排序	重点行业百分比//%
	2011年	2012年	2013年		
安徽省	704 345.80	676 380.70	606 853.10	B > A > C > D > F > I > E > Z	98.00
合肥市	79 348.98	74 729.66	63 410.23	B > A > I > C > D > H > Q > Z	99.00
蚌埠市	23 810.23	21 759.89	18 171.37	B > A > D > J > F > G > R > Z	99.07
淮南市	130 482.60	116 882.60	94 582.87	B > A > D > L > C > M > J > Z	99.98
马鞍山	102 771.60	95 317.35	93 062.03	C > B > A > F > D > O > N > Z	99.55
铜陵市	47 182.24	45 907.15	43 810.86	A > B > C > D > O > E > M > Z	99.73

注:A. 非金属矿物制品业;B. 电力、热力生产和供应业;C. 黑色金属冶炼和压延加工业;D. 化学原料和化学制品制造业;E. 有色金属冶炼和压延加工业;F. 造纸和纸制品业;G. 酒、饮料和精制茶制造业;H. 橡胶和塑料制品业;I. 化学纤维制造业;J. 农副食品加工业;K. 医药制造业;L. 煤炭开采和洗选业;M. 纺织业;N. 废弃资源综合利用业;O. 石油加工、炼焦和核燃料加工业;P. 金属制品业;Q. 食品制造业;R. 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业;S. 非金属矿采选业;T. 通用设备制造业;U. 黑色金属矿采选业;Z. 排除前7行业的剩余行业排放量总和。

2.2.3 烟(粉)尘。由表4可知,2012和2013年烟(粉)尘的排放量,只有安徽省是持续下降的,两年间分别下降了14.94%和19.23%,合肥、马鞍山、铜陵的烟(粉)尘排放量则是先增长后下降;蚌埠、淮南则是先下降后上升,其中蚌埠在2013年烟(粉)尘排放量增长了29.87%。与前两种污染物相似,非金属矿物加工业和电力、热力生产和供应业同样是烟(粉)尘排放的主要行业,不同地区间排名前后略有不同,其中铜陵有色金属加工过程的烟粉尘排放也是重要来源。

由图3可知,引起烟(粉)尘排放量变化的3种影响因素对烟(粉)尘排放量变化作用的大小在各地市各不相同,安徽省全省的工业烟(粉)尘排放量下降明显,主要原因是排放强度的下降。合肥2012年结构调整和经济增分别导致烟(粉)

尘排放量增加265.80和688.31 t,抵消了排放强度下降带来的943.24 t的减排效应,使得最终增加了10.90 t的烟(粉)尘;2013年在排放强度较2012年贡献略有下降的情况下通过调整行业结构,工业经济规模增长新增3 114.2 t烟(粉)尘,最终烟(粉)尘排放量下降了1 119.8 t。蚌埠和铜陵的烟(粉)尘排放强度增加是这两个地区烟(粉)尘排放量的上升的原因。淮南经济增长引起烟(粉)尘排放量增加的负效应和该市工业行业结构优化和排放强度下降的减排正效应相互作用后,实际减排量小。马鞍山市的经济规模因素引起的烟(粉)尘排放负效应明显,使得结构调整带来的正效应无法显现,使得该地区2012、2013年的烟(粉)尘排放较基准年分别增加了215.9和348.6 t。



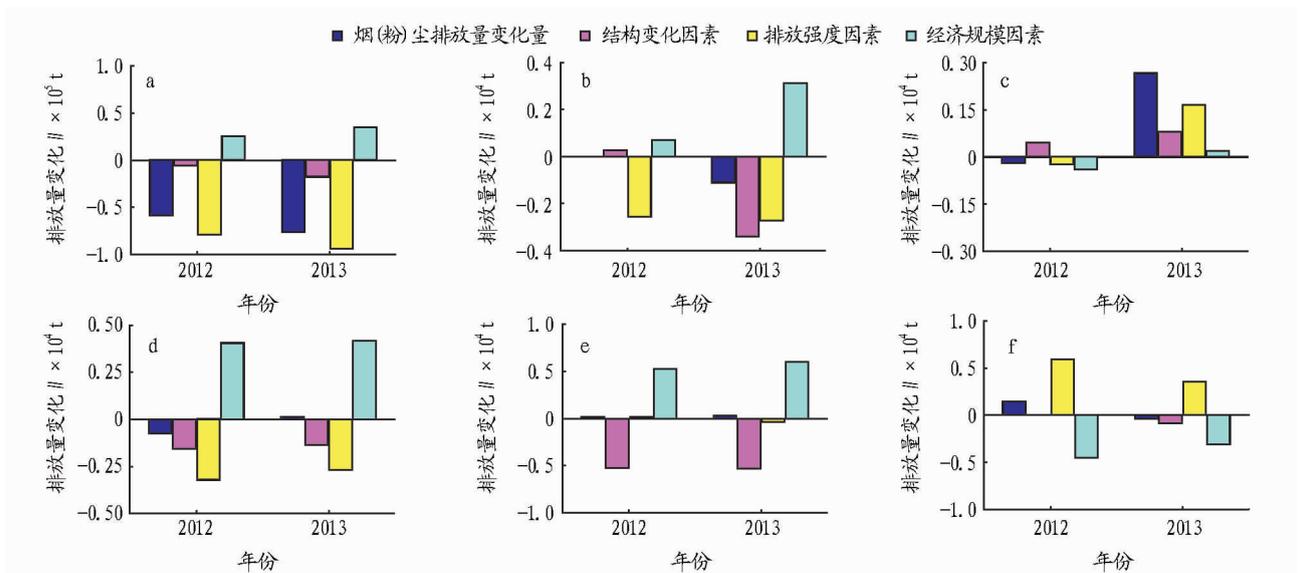
注: a. 安徽省; b. 合肥市; c. 蚌埠市; d. 淮南市; e. 马鞍山市; f. 铜陵市。

图 2 2011 ~ 2013 年安徽及主要地市 NO_x 排放变化量分解结果

表 4 2011 ~ 2013 年安徽及主要地市烟(粉)尘排放总量及重点行业排放情况

地市	烟(粉)尘排放量//t			重点排放行业排序	重点行业百分比//%
	2011 年	2012 年	2013 年		
安徽省	393 607.70	334 796.10	317 903.10	A > B > C > D > S > R > L > Z	88.77
合肥市	37 817.46	37 828.38	36 697.67	A > C > H > B > S > P > D > Z	92.89
蚌埠市	8 816.25	8 617.41	11 449.93	A > B > D > R > J > F > G > Z	97.54
淮南市	21 246.16	20 496.73	21 360.31	B > A > L > D > S > T > J > Z	99.43
马鞍山	29 909.76	30 125.67	30 258.31	C > A > B > S > D > F > U > Z	97.25
铜陵市	17 206.36	18 679.82	16 855.97	A > E > B > C > D > O > P > Z	96.38

注: A. 非金属矿物制品业; B. 电力、热力生产和供应业; C. 黑色金属冶炼和压延加工业; D. 化学原料和化学制品制造业; E. 有色金属冶炼和压延加工业; F. 造纸和纸制品业; G. 酒、饮料和精制茶制造业; H. 橡胶和塑料制品业; I. 化学纤维制造业; J. 农副食品加工业; K. 医药制造业; L. 煤炭开采和洗选业; M. 纺织业; N. 废弃资源综合利用业; O. 石油加工、炼焦和核燃料加工业; P. 金属制品业; Q. 食品制造业; R. 木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业; S. 非金属矿采选业; T. 通用设备制造业; U. 黑色金属矿采选业; Z. 排除前 7 行业的剩余行业排放量总和。



注: a. 安徽省; b. 合肥市; c. 蚌埠市; d. 淮南市; e. 马鞍山市; f. 铜陵市。

图 3 2011 ~ 2013 年安徽及主要地市烟(粉)尘排放量变化分解结果

2.3 影响因素的相互作用 比较 3 种污染物不同影响因素之间的相互作用,安徽省 2012 年的行业结构变化虽然使烟

(粉)尘排放量减少了 5 454.54 t,却导致 SO₂ 和 NO_x 的排放量分别上升了 23 941.0 和 125 405.4 t;2013 年结构变化改

善,实现了3种污染物同时减排的效果。合肥市仅2012年烟(粉)尘排放量增加了10.9 t,2013年3种污染物均实现减排。蚌埠的行业结构变化对主要污染物的减排都起到了阻碍的作用,SO₂和NO_x的排放量略有下降,主要依靠排放强度降低。淮南在保证工业经济规模增长较快的情况下,仍然依靠结构优化和降低排放强度同时实现了3种主要污染物的减排。马鞍山通过行业结构调整降低烟(粉)尘排放量,通过降低排放强度控制SO₂和NO_x排放,但由于其经济规模的增长,基本抵消了减排的效果,使得马鞍山的污染物减排效果差,甚至加剧了SO₂和烟(粉)尘的排放。铜陵3种污染物的减排主要依靠工业经济规模的下降和行业结构变化控制SO₂和烟(粉)尘排放。

2.4 原因分析 3种污染物的变化量分解结果显示,工业经济规模的增长是安徽省大部分地区现阶段污染物排放量增长的主要因素。对于仍处于在高速发展的安徽地区,经济的增长和人民生活水平的提高将长期依赖工业的发展,因此在未来一段时期内,工业规模的增长将不可避免地阻碍环境质量改善。SO₂和NO_x作为安徽省“十二五”期间总量控制主要的污染物,各地市污染物排放量变化的主导因素是排放强度因素。排放强度下降的原因主要是各地市针对重点排放行业原有的减排设施加强管理,提高处理效率的同时,2012、2013年新增了大量的减排项目,项目主要是对高排放企业(钢铁、火电、建筑材料行业)脱硫脱硝设施的新建或改造,取消旁路等控制措施,从而实现排放强度的下降。其中,铜陵市的SO₂排放强度较基准年升高,是由当地个别企业存在脱硫设施未正常运行,违法排污严重导致的。由于烟粉尘不是“十二五”期间重点控制的污染物,因此存在排放强度的作用效果有正有负。

行业结构的变化对安徽省及主要地市的排放量变化的影响效应比排放强度效应小,并且存在对减排贡献负效应的地市。这是由于地市间原有行业结构的差异导致的。其中,合肥的行业结构调整对减排贡献较其他地市显著,原因是“十二五”以来,合肥的行业调整力度最大,提高新建企业的环保准入门槛,依靠政策优势吸引大批新兴工业企业,通过提高低污染的工业比重来逐步优化现有的行业结构,从而促进污染物减排。但对于蚌埠、马鞍山、铜陵等长期以来重点以工业发展为战略的老工业地区,由于过去几十年粗放式发展,使得这些地区形成了以高污染排放工业为经济主体的行业结构。这类地区对新兴行业的吸引力不足,难以通过低排放行业对高排放行业的替代来改善行业结构,在短期内关

停、淘汰高污染企业又会影响地区经济发展、就业和稳定,在所关注的时期内,淘汰的企业仍以小型高排放企业为主,对这类地区的行业结构优化作用小,使得行业结构因素对减排效果的贡献不足。

3 结论与讨论

(1)2011~2013年,安徽省及主要地市的SO₂和NO_x排放量逐年下降,烟粉尘排放量整体上是下降的,个别地市略有上升。排放强度因素和行业结构因素促进减排,经济规模增长阻碍减排。影响因素中的主导因素是排放强度,行业结构变化和经济规模因素的作用较小,且地区间存在差异。

(2)对减排效果的分析可知,排放强度下降来源于各地区对高污染行业实施的新建减排项目,改造原有设施,污染物处理效率的提高;降低高排放行业在工业中的比重的行业结构优化措施对减排效果仍未起主导作用。

(3)在安徽省经济高速发展的背景下,根据污染物排放量影响因素提出减排对策。一方面,仍然要加快新建污染控制设施和对已有设施的升级改造,这是短期内安徽省及其主要地市工业废气污染物减排的主要手段。另一方面,对于高速发展的新兴工业地区应严格控制新增企业类型,使得行业结构重心逐步向环境友好型转移;而对老工业地区则需要制定长期规划,给予适当的税收优惠和补贴吸引新兴行业,引导新老行业的更替,实现行业结构优化。

参考文献

- [1] 郭道扬. 会计百科全书[M]. 沈阳:辽宁人民出版社,1989:1239-1240.
- [2] 石广明,王金南,毕军,等. 中国工业二氧化硫排放变化指标分解研究[J]. 中国环境科学,2012,32(1):56-61.
- [3] 宋杰鲲. 基于LMDI的山东省能源消费碳排放因素分解[J]. 资源科学,2012,34(1):35-41.
- [4] 高彩玲,高歌,田采霞. 河南省能源消费碳排放的因素分解及减排途径[J]. 中国矿业,2011,20(3):46-49.
- [5] 朱勤,彭希哲,陆志明,等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学,2009,31(12):2072-2079.
- [6] 段显明,董正卫. 浙江省能源消费碳排放的因素分解:基于LMDI分析方法[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版),2011,13(4):68-75.
- [7] 刘睿劼,张智慧. 中国工业烟尘排放状况研究[J]. 生态环境学报,2012,21(4):694-699.
- [8] 曾贤刚,倪宏宏,陈果. 我国工业SO₂排放趋势及影响因素分析[J]. 中国环保产业,2009(10):19-23.
- [9] 潘艳如. 工业污染影响因素分解分析[D]. 沈阳:东北大学,2010.
- [10] 陆文聪,李元龙. 中国工业减排的驱动因素研究基于LMDI的实证分析[J]. 统计与信息论坛,2010(10):49-54.
- [11] 李从欣,张举钢,李国柱. 中国环境污染影响因素分解及其实证分析[J]. 资源与产业,2012,14(6):121-125.
- [12] 张崇辉. 环境污染与经济增长的关系研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2012.
- [13] GENE M, GROSSMAN A K. Environmental impacts of a North American free trade agreement[R]. NBER Working Paper,1991:3914.

(上接第82页)

- [5] 柳建发,汪世平,徐绍锐,等. 医学昆虫蜚蠊化学组分及药用价值研究现状[J]. 地方病通报,2009,24(6):93-95.
- [6] 罗志文,刘娟,张聪颖,等. 地鳖虫多糖提取工艺的优化研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(28):13978-13979.
- [7] 罗志文,刘娟,赵永勋. 酶解法提取地鳖虫多糖工艺的优化[J]. 黑龙江

农业科学,2018(8):102-104.

- [8] 方耀敏,李晓庆,赵也,等. 光肩星天牛多糖最佳提取工艺试验研究[J]. 黑龙江医药科学,2013,36(5):2-4.
- [9] 赖泰君,刘旭辉,孙建华,等. 蚕蛹多糖提取工艺的研究[J]. 中药材,2009,32(7):1137-1139.