

中国工业 SO₂ 排放量动态变化分析

李名升¹, 于洋¹, 李铭煊¹, 仇方道²

1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 徐州师范大学城市与环境学院, 江苏 徐州 2211163

摘要: 中国工业 SO₂ 减排工作的重点。经济增长、经济空间结构变化、技术进步是影响污染物排放量变化的三个重要因素。在分析我国工业 SO₂ 排放量、排放结构、排放强度等变化趋势的基础上, 通过构建对数平均权重分解模型定量分解经济增长、结构变化、技术进步这 3 个因素对工业 SO₂ 排放量变化的贡献。结果表明: (1) 中国工业 SO₂ 排放量年均增长 48.7×10^4 t, 年均增长率为 3.2%, 且 2002—2006 年增速加快; (2) 分地区看, 1991 年以来, 东部地区 SO₂ 排放量所占比重明显下降, 中部地区略有上升, 而西部地区所占比重增加显著; (3) 单位产值工业 SO₂ 排放强度在研究期内迅速降低, 年均下降幅度为 8.4%, 对减缓 SO₂ 排放量的过快增长起到了积极作用; (4) 经济增长平均每年促进 SO₂ 排放量增长 183.7×10^4 t, 技术进步则平均每年使 SO₂ 排放量减少 134.2×10^4 t, 空间结构因素平均每年减少 SO₂ 排放量 0.8×10^4 t。可以看出, 长期以来, 虽然我国的技术水平有了一定程度提高, 但经济规模的扩张使中国工业 SO₂ 排放量持续增长, 对中国环境压力形成了巨大压力, 同时, 经济总量在不同地区的分配对 SO₂ 排放量的影响也在不断变化中。

关键词: 工业 SO₂; 因素分解; 经济规模; 排放强度; 空间结构

中图分类号: X22

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0957-05

世界范围内环境质量的退化使人们日益关注环境问题, 经济发展与环境质量之间的关系逐渐成为人们关注的焦点, 为理解环境退化原因而进行的环境退化(压力)和经济发展(增长)之间关系的讨论日益增多。在国外, 环境库兹涅茨曲线是研究经济发展与环境质量关系的较早手段^[1-3], 近年来, 许多学者对环境库兹涅茨曲线的成因、影响因素、分解等进行深入研究^[4-7]。但同时, 对环境库兹涅茨曲线的质疑也不断增多^[8]。自改革开放以后, 伴随着经济规模的扩大和工业化进程的加深, 我国所面临的环境压力不断增大, 许多污染物的排放量有上升趋势, 环境成为国民经济发展中一个不可回避的重要考虑因素。一方面, 经济规模的扩大加剧了污染物的排放, 但与此同时, 我国经济结构(产业结构、经济空间结构、产业内部结构等)调整稳步进行, 技术改造与创新被提到战略高度, 这些因素又抑制了污染物的排放。各具体影响因素对污染物排放量影响程度的定量化分析有助于理解经济增长与环境质量的关系, 从而为政策制定提供科学依据。但国内在这方面的研究极少, 大量文献是对环境库兹涅茨曲线的检验^[9-12], 定量探讨环境质量影响因素的研究较少。

中国目前环境质量控制重点是以水、气为主的与人民健康密切相关的环境污染要素。2007 年, 国务院发布《节能减排综合性工作方案》, 明确了两种主要污染物——SO₂ 和 COD 的减排目标。工业

SO₂ 是中国 SO₂ 排放的主体, 2008 年约占 SO₂ 排放总量的 86%^[13], 因此工业 SO₂ 的减排是我国 SO₂ 减排工作的重点。伴随着经济的发展, 中国煤炭为主的能源消费总量持续增长, 且生产工艺相对落后, 致使工业 SO₂ 排放量呈上升趋势。但节能减排工作的开展使工业 SO₂ 排放量有所降低。本文以工业 SO₂ 为例, 在摸清工业 SO₂ 排放量变化趋势的基础上, 通过构建分解模型, 定量探讨经济增长、技术进步、经济空间结构变化等因素对工业 SO₂ 排放量变化的影响, 以期为我国 SO₂ 减排工作提供一定的借鉴意义。

1 中国工业 SO₂ 排放量的动态变化

1.1 排放总量的变化

1991 年以来, 中国工业 SO₂ 排放量总体呈波动上升趋势, 由 1991 年的 1164×10^4 t 增加到 2008 年的 1991×10^4 t, 年均增长 48.7×10^4 t, 年均增幅为 3.2% (见图 1)。尤其是 2002 年以后, 工业 SO₂ 排放量急剧增加, 对环境污染造成了巨大压力。总体来看, 17 a 中工业 SO₂ 排放量的变化趋势可以分为 3 个阶段:

(1) 1991 年—2002 年: 平稳增长阶段。此阶段虽然工业 SO₂ 排放量在个别年份出现下降, 但总体而言排放量平稳增长。在此阶段, 工业 SO₂ 排放量年均增长 31.6×10^4 t, 年均增幅为 2.4%, 低于研究期内的平均增长幅度。

(2) 2002 年—2006 年: 急剧增长阶段。2002

基金项目: 中国环境监测总站转型发展科研支撑项目 (CNEMC-ZXKY2009-001); 江苏省高校社会科学基金项目 (08SJB7900024)

作者简介: 李名升 (1981 年生), 男, 工程师, 博士, 主要研究方向为环境质量综合分析与评价。E-mail: lims@cnemc.cn

收稿日期: 2010-03-02

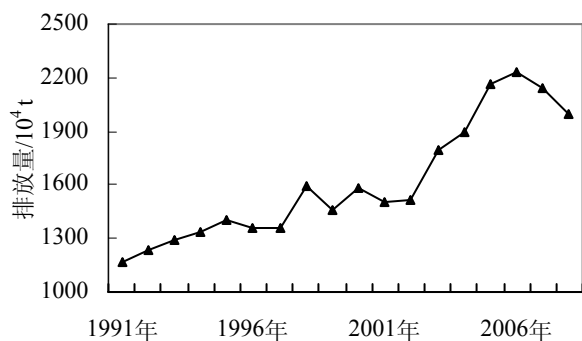
图1 1991—2008年中国工业SO₂排放量动态变化

Fig.1 The volume of industrial sulphur dioxide emission in China from 1991 to 2008

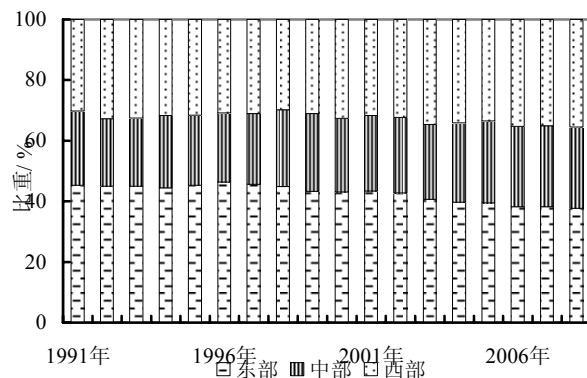
图2 1991—2008年中国三大地区工业SO₂排放量占全国比重

Fig.2 The proportion of industrial sulphur dioxide emission in three zones from 1991 to 2008

年以后,中国经济连续4年实现两位数增长。伴随着经济的快速发展,同时高能耗、高污染行业投资有所提高,中国工业SO₂排放量出现急剧增长趋势。在此阶段,工业SO₂排放量年均增长 180.2×10^4 t,年均增幅为10.2%,分别是前一阶段的5.7倍和4.3倍,到2006年达到研究期内中国工业SO₂排放量的峰值—— 2233×10^4 t,中国SO₂污染面临巨大压力。与此相对应,全国252个可比城市降水监测结果表明在这一阶段全国降水酸度和酸雨发生频率呈逐年升高趋势^[14]。

(3) 2006年—2008年:小幅回落阶段。2007年,国务院印发《节能减排综合性工作方案》,对包括SO₂在内两种主要污染物减排目标制定了明确的目标,SO₂减排工作也成为地方政府的考核目标之一,全国各地控制高污染行业、淘汰落后产能、调整产业结构等方面不断加大措施,强化结构减排、工程减排和管理减排等手段,使SO₂急剧增长态势得以遏制,并出现小幅回落。2007年和2008年工业SO₂排放量分别比上一年减少 93×10^4 t和 149×10^4 t,中国SO₂减排工作取得初步成效。

1.2 排放结构的变化

工业SO₂在排放总量发生变化的同时,三大地区之间排放量及所占比例也发生了较大变化(图2)。

从排放量看,东部地区排放总量最高,西部地区次之,中部排放总量最低,1991年—2008年东部地区排放总量分别是中部地区和西部地区的1.7倍和1.3倍。从排放量变化趋势看,与全国排放趋势类似,三大地区排放量均在波动中上升,但上升幅度不同,东、中、西地区年均增长量分别为 13.2×10^4 t、 14.7×10^4 t和 20.8×10^4 t,年均增幅分别为2.1%、3.8%和4.2%,西部地区无论是在增长量还是在增长幅度上都明显高于中、东部地区。从三大地区排放量占全国总量的比重看,东部地区占全国的比重明显下降,中部地区平稳变化中略有上升,而西部地

区所占比重明显上升,至2008年,西部地区排放量占全国的比重已由1991年的30.2%上升至35.5%,仅比东部地区低2.2个百分点。西部地区工业SO₂排放量的快速上升趋势值得注意。

1.3 排放强度的变化

定义单位工业产值工业SO₂排放量为工业SO₂的排放强度,那么它可以反映工业生产中对污染物的综合控制技术。图3反映了中国及三大地区工业SO₂排放强度的变化趋势。

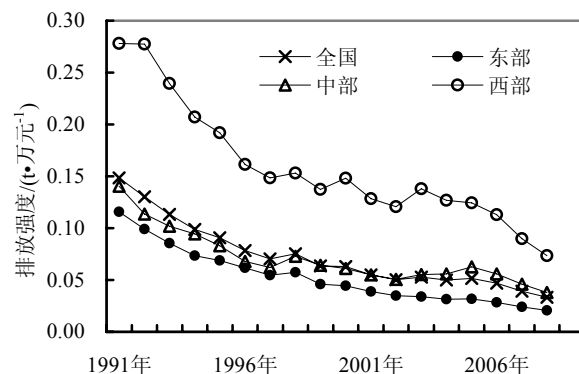
图3 1991—2008年中国及三大地区工业SO₂排放强度动态变化

Fig.3 The industrial sulphur dioxide emission intensity in China and its three zones from 1991 to 2008

1991年—2008年间,中国工业SO₂的排放强度不断降低,由 0.15 t/万元⁻¹降低到 0.03 t/万元⁻¹,年均下降幅度为8.4%,对减缓SO₂排放量的过快增长起到了积极作用。从全国三大地区工业SO₂的排放强度看:东部地区技术水平最高,工业SO₂的排放强度最低;中部次之,排放强度约为东部地区的1.35倍;西部地区排放强度最高,约为东部地区的3.01倍。从三大地区排放强度变化看,东部地区降幅最大,年均降幅为9.6%,中部、西部降幅分别为7.4%和7.5%,均低于全国平均降幅。

2 中国工业 SO₂ 排放量的因素分解

2.1 因素分解模型

工业污染物是工业经济发展的副产品，经济发展（表现为产值的增加）对工业污染物的排放具有正向推动作用；但技术的提高（表现为排放强度的降低）又能减缓这种推动作用；同时，由于不同地区技术水平的差异，经济总量在不同地区的分布对污染物的排放也具有影响：经济总量向技术水平高的地区转移有利于污染物的减排，反之推动污染物的增长。不同因素对污染物排放量的影响程度如何，可以通过构建因素分解模型定量求得。

根据上述思想，工业 SO₂ 排放总量可以表示为：

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V} \cdot V \quad (1)$$

式中， Q 为工业 SO₂ 排放总量， V 为全国工业总产值， i 为地区代码，本文取东、中、西三大地区，故 $n=3$ 。定义： $T_i=Q_i/V_i$ 为技术因素，即某地区工业 SO₂ 排放强度； $S_i=V_i/V$ 为结构因素，即某地区工业产值占全国的比重； V 为规模因素，即工业总规模。由此，(1) 式可以改写为：

$$Q = \sum_{i=1}^3 T_i \cdot S_i \cdot V \quad (2)$$

(2) 式表示，工业 SO₂ 排放量的变化来自于技术、结构、规模的变化。则第 t 期的排放量与基期的排放量之差可以表示为：

$$\Delta Q = Q_t - Q_0 = \sum_{i=1}^3 T_{it} \cdot S_{it} \cdot V_{it} - \sum_{i=1}^3 T_{i0} \cdot S_{i0} \cdot V_{i0} = \Delta Q_T + \Delta Q_S + \Delta Q_V + \Delta Q_{rsd} \quad (3)$$

其中， ΔQ_T 、 ΔQ_S 、 ΔQ_V 分别为技术因素、结构因素和规模因素对工业 SO₂ 排放量变化的贡献。

基于 (3) 式，本文采用 Ang B W 等人^[15]提出的 Logarithmic Mean Weight Divisia Method (LMD) 进行分解。按该方法，各因素分解结果如下：

$$\Delta Q_T = \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{T_{it}}{T_{i0}}; \Delta Q_S = \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{S_{it}}{S_{i0}}; \Delta Q_V = \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{V_{it}}{V_{i0}} \quad (4)$$

式中， $W'_i = \frac{Q_{it} - Q_{i0}}{\ln(Q_{it}/Q_{i0})}$ 。而根据数学运算，

$\Delta Q_{rsd} = 0$ 。由此可得：

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{T_{it}}{T_{i0}} + \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{S_{it}}{S_{i0}} + \sum_{i=1}^3 W'_i \cdot \ln \frac{V_{it}}{V_{i0}} \quad (5)$$

上式表示了从基期以来工业 SO₂ 排放量的变化总量中，技术因素、结构因素和规模因素的贡献值。当贡献值为正时，说明该因素的变化与工业 SO₂ 排放量的变化是同向的，即推动工业 SO₂ 的排放，反之则降低工业 SO₂ 的排放。

2.2 因素分解结果

将 1991 年—2008 年三大地区工业 SO₂ 排放量、工业产值等数据带入 (4) 式及 (5) 式，可以得到各因素对排放量变化的贡献（表 1）。

表 1 1991—2008 年中国工业 SO₂ 排放量的因素分解结果
Table 1 Decomposition of industrial sulphur dioxide emission in China from 1991 to 2008

时间段	总变化/ 10 ⁴ t	技术因素/ 10 ⁴ t	结构因素/ 10 ⁴ t	规模因素/ 10 ⁴ t
1991—2008	827	-2281	-14	3123
1991—2002	348	-1386	-53	1787
2002—2006	721	-146	17	849
2006—2008	-242	-788	66	481

工业产值在研究期内未出现衰退现象，各年份均促进了污染物的排放，其年均增长效应为 184×10^4 t；而除个别年份外（1998 年、2003 年、2005 年），技术因素均表现为抑制 SO₂ 增长的作用，其年均增长效应为 -134×10^4 t；空间结构因素在研究前期（1991 年—2003 年）表现为抑制作用，而在 2004 年以后对 SO₂ 的排放起到了促进作用。

2008 年中国工业 SO₂ 排放量比 1991 年增长 827×10^4 t。其中：经济规模对 SO₂ 排放量具有推动作用，其分解效应为 3123×10^4 t；但技术进步大大减缓了经济规模对 SO₂ 排放量的推动作用，其分解效应为 -2281×10^4 t；而在研究期内，工业总产值在三大地区之间的分配有了一定变化，技术较为先进的东部地区工业产值占全国比重上升 2.5 个百分点，因此工业产值的再分配在一定程度上也降低了污染源的增长速度，其分解效应为 -14×10^4 t。

分阶段看，1991—2002 年由于经济存量相对较小，规模因素对排放量的促进作用最小，其年均分解效应为 162×10^4 t，在 3 个阶段中最小，仅相当于 2006 年—2008 年规模因素作用量的 2/3 左右，同时经济总量向东部地区偏移，结构因素抑制了 SO₂ 的排放量，但技术因素和结构因素的抑制作用不足以抵消经济规模的增长所带来的排放量的增长，所以这一时期 SO₂ 的排放量呈平稳增长态势。但是进入 2002 年以后，随着西部大开发、中部崛起、东北振兴等区域平衡发展战略的提出或贯彻落实，中西部地区工业发展速度开始高于东部地区，使得空间结构因素对 SO₂ 排放量的作用由抑制转为促进，更重要的是，技术因素对 SO₂ 减排的作用明显下降，年均分解效应为前一阶段的 29%，更约为 2006 年—2008 年分解效应的 9%，同时，规模效应有所提高，三者综合作用的结果是这一阶段 SO₂ 排放量急剧增长，年均增长量约为此前阶段的 6 倍。进入“十一

五”,国家提出节能减排工作,明确提出 SO_2 控制目标,对 SO_2 的控制工作起到了极为重要的作用,其表现就是虽然经济规模和经济空间结构因素均为三个时期中最高的,但技术因素对 SO_2 的抑制作用极大地超过规模因素和结构因素的促进作用,使2007年和2008年 SO_2 的排放量分别比上年减少 $93 \times 10^4 \text{ t}$ 和 $149 \times 10^4 \text{ t}$ 。

3 结论与讨论

(1) 1991年以来,中国工业 SO_2 排放量总体呈波动上升趋势,年均增幅为3.2%,尤其是2002年以后,工业 SO_2 排放量急剧增加,年均增幅为10.2%,对环境污染造成了巨大压力。但进入“十一五”以后,随着节能减排工作的推进,工业 SO_2 排放量有了一定幅度的下降。

(2) 从东、中、西三大地区看,工业 SO_2 排放量呈东部 > 西部 > 中部,但就 SO_2 排放量增长速度而言,呈西部 > 中部 > 东部,近年来西部地区工业 SO_2 排放量已经与东部地区排放量接近。

(3) 污染物的排放强度可以反映一个地区对污染物的综合控制技术。1991年—2008年间,中国工业 SO_2 的排放强度不断降低,年均降幅为8.4%,对减缓 SO_2 排放量的过快增长起到了积极作用。分地区看,排放强度呈西部 > 中部 > 东部,且东部地区排放强度的下降速度远高于中、东部地区。

(4) LMD 方法可以定量分解出经济增长、结构变化、技术提高等因素对污染物增长的贡献。对中国1991年—2008年 SO_2 排放量的分解表明,经济增长平均每年促进 SO_2 排放量增长 $183.7 \times 10^4 \text{ t}$,技术进步则平均每年使 SO_2 排放量减少 $134.2 \times 10^4 \text{ t}$,空间结构因素平均每年减少 SO_2 排放量增长 $0.8 \times 10^4 \text{ t}$ 。

参考文献:

- [1] GROSSMAN G, KREUGER A. Economic growth and the environment[J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [2] SHAFIK N, BANDYOPADHYAY B. Economic growth and environmental quality: time series and cross-country evidence[R]. Washington DC: Background Paper for the World Development Report the World Bank, 1992.
- [3] PANAYOTOU T. Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool[J]. Environment and Development Economics, 1997, 2(4): 465-484.
- [4] MARKUS P. Technical progress, structural change and the environmental Kuznets curve[J]. Ecological Economics, 2002, 42(3): 381-389.
- [5] MAGNUS L. An EKC-pattern in historical perspective carbon dioxide emissions, technology, fuel prices and growth in sweden 1870-1997[J]. Ecological Economics, 2002, 42(1-2): 333-347.
- [6] TSURUMI T, MANAGI S. Decomposition of the environmental Kuznets curve: scale, technique, and composition effects[J]. Environmental Economics and Policy Studies, 2010, 11(1-4): 19-36.
- [7] PRIEUR F. The environmental Kuznets curve in a world of irreversibility[J]. Economic Theory, 2009, 40(1): 57-90.
- [8] MILLIMET D L, LIST J A, STENGOS T. The environmental Kuznets Curve: Real progress or misspecified models?[J]. The Review of Economics and Statistics, 2003, 85(4): 1038-1047.
- [9] 彭水军, 包群. 经济增长与环境污染—环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J]. 财经问题研究, 2006, (8): 3-17.
PENG Shuijun; BAO Qun. Economic growth and environmental pollution: an empirical test for the environmental Kuznets curve hypothesis in china[J]. Research on Financial and Economic Issues, 2006, (8): 3-17.
- [10] 王志华, 温宗国, 闫芳, 等. 北京环境库兹涅茨曲线假设的验证[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(2): 40-47.
WANG Zhihua, WEN Zongguo, YAN Fang, et al. Verifying the environmental Kuznets curve hypothesis and its conditions in Beijing[J]. China Population, Resources and Environment, 2007, 17(2): 40-47.
- [11] 袁雯, 杨凯. 上海城市环境经济系统发展过程的数量分析[J]. 地理研究, 2002, 21(1): 97-106.
YUAN Wen, YANG Kai. Quantitative process of environment and economic progress in Shanghai[J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 97-106.
- [12] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009, (4): 27-36.
LIN Boqiang, JIANG Zhujun. The forecast and influence factors of CO_2 environmental Kuznets curve in China[J]. Management World, 2009, (4): 27-36.
- [13] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2009[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009: 403-404.
National Bureau of Statistics of China. China Statistical Yearbook 2009[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009: 403-404.
- [14] 中华人民共和国环境保护部. 2007 中国环境质量报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008: 36-37.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China Environment Quality Report 2007[M]. Beijing: China Statistics Press, 2008: 36-37.
- [15] ANG B W, ZHANG F Q, CHOI Ki-hong. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition[J]. Energy, 1998, 23(6): 489-495.

Dynamic change of industrial sulphur dioxide emission in China

LI Mingsheng¹, YU Yang¹, LI Mingxuan¹, QIU Fangdao²

1. China National Environmental Monitoring Center, Beijing 100012, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Xuzhou Normal University, Xuzhou 221116, China

Abstract: The focus of sulphur dioxide reduction was industrial sulphur dioxide. As is known, economic development, economic space structure and technology progress were three main factors which affected pollutant emission. The tendency of industrial sulphur dioxide emission, emission structure and emission intensity were showed firstly. Then, a model of Logarithmic Mean Weight Divisia Method was applied to analyze the effects of the three factors. The main results could be summarized as follows: ① The average annual growth rate of industrial sulphur dioxide emission was 12.68%. Whereas, the growth rate accelerated during the period of 2002 to 2006. ② The percentage of eastern China had declined, while middle China and western China had increased, especially western China. ③ The industrial sulphur dioxide emission intensity in China had decreased rapidly during the study period with the reduction rate of 8.4%. The decline of industrial sulphur dioxide emission intensity made a great contribution to the reduction of sulphur dioxide. ④ The average growth of industrial sulphur dioxide emission was 48.7×10^4 t, thereinto, the scale of economic development, the space structure and emission intensity had different contributions to the change, being 183.7×10^4 t, -134.2×10^4 t, -0.8×10^4 t respectively. For a long time, the technology had made a certain extent progress, however, the economic scale was increasing and the proportion of Industrial output in three zones was changing. All of these made the industrial sulphur dioxide emission maintain a continuous increasing tendency in China and had caused great pressure on environment at the same time.

Key words: industrial sulphur dioxide; decomposition analysis; economic scale; discharge intensity; space structure