



# 中国清洁空气行动对PM<sub>2.5</sub>污染的影响

张强<sup>1\*</sup>, 耿冠楠<sup>2</sup>

1. 清华大学地球系统科学系, 北京 100084;

2. 清华大学环境学院, 北京 100084

\* 通讯作者, E-mail: [qiangzhang@tsinghua.edu.cn](mailto:qiangzhang@tsinghua.edu.cn)

收稿日期: 2020-01-07; 收修改稿日期: 2020-02-07; 接受日期: 2020-02-12; 网络版发表日期: 2020-02-24

随着经济快速发展, 中国近十年来大气污染事件频发, 严重危害居民公共健康. 为应对严重的大气污染问题, 切实改善空气质量, 国务院于2013年颁布了《大气污染防治行动计划》(简称《大气十条》)(国务院, 2013), 要求到2017年全国地级及以上城市可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)年均浓度比2012年下降10%以上, 优良天数逐年提高; 京津冀、长三角、珠三角等三个重点区域的细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)年均浓度分别下降25%、20%、15%. 为实现这一目标, 中国在大气污染防治方面相继实施了一系列重大措施, 包括工业行业提标改造、燃煤锅炉整治、落后产能淘汰、民用燃料清洁化和移动源排放管控等. 自《大气十条》实施以来, 中国主要大气污染物减排效果显著, 2017年SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和一次PM<sub>2.5</sub>排放相比于2013年分别下降62%、17%和33%(Zheng等, 2018), 空气质量也随之大幅改善, 三个重点区域的PM<sub>2.5</sub>浓度下降28~40%, 超额完成《大气十条》目标. 在中国空气质量快速改善过程中, 清洁空气行动扮演了怎样的角色, 大气中PM<sub>2.5</sub>的化学成分变化情况如何, 空气质量改善能够带来多少健康效益, 气象条件变化对PM<sub>2.5</sub>浓度下降起到多大作用, 都是科学界和公众共同关心的问题.

在本专题中, 王跃思等(2020)和薛涛等(2020)基于观测资料评估了2013~2017年间PM<sub>2.5</sub>污染的快速改善过程. 通过融合地面观测数据、卫星遥感资料和

大气化学传输模型模拟结果, 薛涛等(2020)发现2013~2017年间中国人口加权平均PM<sub>2.5</sub>浓度下降了32%. 王跃思等(2020)基于CARE-China大气环境观测网络资料分析, 发现PM<sub>2.5</sub>中各类化学成分(硫酸盐、硝酸盐、铵盐、元素碳、有机碳等)的浓度在全国及三大重点区域均呈现下降趋势. 其中, 硫酸盐和有机碳浓度在污染严重的秋冬季降幅更明显, 以京津冀地区为例, 2017年秋冬季硫酸盐和有机碳浓度相较于2013年同期分别下降了76%和70%. 通过结合卫星遥感资料和大气化学传输模型模拟, 耿冠楠等(2020)发现中国东部地区硫酸盐、硝酸盐、铵盐、有机碳和元素碳的人口加权平均浓度在2013~2017年间分别下降了40%、5%、22%、15%和17%. PM<sub>2.5</sub>浓度的下降可带来显著的长期和短期健康效益. 由于健康影响和污染长期暴露水平之间存在超线性关系, PM<sub>2.5</sub>长期暴露导致的过早死亡人数在2013~2017年间减少了14%, 小于PM<sub>2.5</sub>浓度的下降幅度. 而降低PM<sub>2.5</sub>短期暴露水平的健康效益更为突出: 由于重污染事件大幅减少, 与PM<sub>2.5</sub>短期暴露相关的死亡在2013~2017年间减少了61%(薛涛等, 2020). 耿冠楠等(2020)进一步对比了PM<sub>2.5</sub>化学成分浓度变化与相关前体物排放变化之间的关系. 研究发现, 硫酸盐浓度与SO<sub>2</sub>排放量降幅较为一致, 证实了《大气十条》中燃煤排放相关控制措施的有效性. 然而硝酸盐浓度降幅小于NO<sub>x</sub>减排幅度, 这

中文引用格式: 张强, 耿冠楠. 2020. 中国清洁空气行动对PM<sub>2.5</sub>污染的影响. 中国科学: 地球科学, 50: 439-440. doi: 10.1360/SSTe-2020-0005

英文引用格式: Zhang Q, Geng G. 2019. Impact of clean air action on PM<sub>2.5</sub> pollution in China. Science China Earth Sciences, 62: 1845-1846. <https://doi.org/10.1007/s11430-019-9531-4>

是由于富氨环境下硫酸盐的减少释放出更多游离氨,促进了硝酸向硝酸盐的转化,从而部分抵消了NO<sub>x</sub>减排的效益。因此,未来硫氮氨协同减排对于PM<sub>2.5</sub>控制至关重要。为了量化气象条件变化对PM<sub>2.5</sub>污染改善的贡献,张小曳等(2020)使用了空气污染气象条件指数PLAM来表征气象要素的变化。研究指出,尽管气象条件年际变化对PM<sub>2.5</sub>浓度变化具有一定影响,但污染物减排在2013~2017年间PM<sub>2.5</sub>污染改善过程中起到主导作用。例如,气象条件年际变化分别导致2013~2017年间京津冀和长三角地区PM<sub>2.5</sub>浓度下降5%和7%,占同期PM<sub>2.5</sub>总降幅的13%和20%(张小曳等, 2020)。

尽管2013~2017年间中国PM<sub>2.5</sub>浓度大幅下降,但截至2017年,全国大部分地区PM<sub>2.5</sub>年均浓度仍超过国家二级标准限值35μg m<sup>-3</sup>,远高于世界卫生组织标准。2017年中国仍有超过100万人由于PM<sub>2.5</sub>污染导致过早死亡,中国在减轻与空气污染相关的健康影响方面仍面临巨大挑战(薛涛等, 2020)。针对《大气十条》效果评估的相关研究表明,2013~2017年间PM<sub>2.5</sub>空气质量的改善主要得益于污染末端控制措施,而能源结构调整等源头减排措施的效果尚不显著(Zhang等, 2019)。未来应加快推动清洁能源和新能源利用步伐,同时优化产业结构,从源头上减少污染物排放。2013~2017年间SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>和一次PM<sub>2.5</sub>排放量显著下降,而NH<sub>3</sub>和VOC排放量基本保持稳定(Zheng等, 2018),鉴于NH<sub>3</sub>在二次无机气溶胶形成中的重要作用(Liu等, 2019; 耿冠楠等, 2020),应将减少农业部门的NH<sub>3</sub>排放作为下一步改善空气质量的重点方向。同时,由于中国大部分城市处于VOC控制区,VOC排放未得到有效控制导致中国大部分地区臭氧污染呈现上升趋势(Li等, 2019a),未来应当实施VOC减排工程,以实现臭氧和PM<sub>2.5</sub>的协同控制(Li等, 2019b)。NH<sub>3</sub>和VOC是过去减排政策中的薄弱环节,在以多污染物协同控制为原则的下一步清洁空气行动计划中应当被重点考虑。

## 参考文献

- 耿冠楠,肖清扬,郑逸璇,同丹,张玉璇,张小曳,张强,贺克斌,刘阳. 2020. 实施《大气污染防治行动计划》对中国东部地区PM<sub>2.5</sub>化学成分的影响. *中国科学: 地球科学*, 50: 469–482
- 国务院. 2013. 国务院关于印发大气污染防治行动计划的通知. 中国政府网, [http://www.gov.cn/zwggk/2013-09/12/content\\_2486773.htm](http://www.gov.cn/zwggk/2013-09/12/content_2486773.htm)
- 王跃思,李文杰,高文康,刘子锐,田世丽,沈蓉蓉,吉东生,王帅,王莉莉,唐贵谦,宋涛,程萌田,王格慧,宫正宇,郝吉明,张远航. 2020. 2013~2017年中国重点区域颗粒物质量浓度和化学成分变化趋势. *中国科学: 地球科学*, 50: 453–468
- 薛涛,刘俊,张强,耿冠楠,郑逸璇,同丹,刘竹,关大博,薄宇,朱彤,贺克斌,郝吉明. 2020. 2013~2017年中国PM<sub>2.5</sub>污染的快速改善及其健康效益. *中国科学: 地球科学*, 50: 441–452
- 张小曳,徐祥德,丁一汇,柳艳菊,张恒德,王亚强,仲峻霆. 2020. 2013~2017年气象条件变化对中国重点地区PM<sub>2.5</sub>质量浓度下降的影响. *中国科学: 地球科学*, 50: 483–500
- Li K, Jacob D J, Liao H, Shen L, Zhang Q, Bates K H. 2019a. Anthropogenic drivers of 2013–2017 trends in summer surface ozone in China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116: 422–427
- Li K, Jacob D J, Liao H, Zhu J, Shah V, Shen L, Bates K H, Zhang Q, Zhai S. 2019b. A two-pollutant strategy for improving ozone and particulate air quality in China. *Nat Geosci*, 12: 906–910
- Liu M, Huang X, Song Y, Tang J, Cao J, Zhang X, Zhang Q, Wang S, Xu T, Kang L, Cai X, Zhang H, Yang F, Wang H, Zhen Yu J, Lau A K H, He L, Huang X, Duan L, Ding A, Xue L, Gao J, Liu B, Zhu T. 2019. Ammonia emission control in china would mitigate haze pollution and nitrogen deposition, but worsen acid rain. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116: 7760–7765
- Zhang Q, Zheng Y, Tong D, Shao M, Wang S, Zhang Y, Xu X, Wang J, He H, Liu W, Ding Y, Lei Y, Li J, Wang Z, Zhang X, Wang Y, Cheng J, Liu Y, Shi Q, Yan L, Geng G, Hong C, Li M, Liu F, Zheng B, Cao J, Ding A, Gao J, Fu Q, Huo J, Liu B, Liu Z, Yang F, He K, Hao J. 2019. Drivers of improved PM<sub>2.5</sub> air quality in China from 2013 to 2017. *Proc Natl Acad Sci USA*, 116: 24463–24469
- Zheng B, Tong D, Li M, Liu F, Hong C, Geng G, Li H, Li X, Peng L, Qi J, Yan L, Zhang Y, Zhao H, Zheng Y, He K, Zhang Q. 2018. Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions. *Atmos Chem Phys*, 18: 14095–14111

(责任编辑: 王体健)