

# 基于空气质量达标的固定源排放标准研究

宋国君<sup>\*1</sup>, 习婧欣<sup>1</sup>, 方丹阳<sup>2</sup>, 苏梦缘<sup>3</sup>

(1. 中国人民大学生态环境学院, 北京 100872; 2. 宁夏回族自治区发展和改革委员会, 银川 750001;  
3. 北京中学, 北京 100018)

**【摘要】**我国大气污染治理已经取得巨大成就, 二氧化硫、氮氧化物基本达到二级标准, 但细颗粒物( $PM_{2.5}$ )仍然超标, 主要由二次污染导致, 超标主要发生在采暖期, 且呈区域性。固定源为主要排放源, 其排放标准为基于技术的排放标准, 也就是固定源排放控制的全部技术要求。然而, 源于美国固定源基于技术的排放标准的制定模式, 既跟不上我国产业的发展速度, 也跟不上空气质量改善的要求。因此, 建议制定城市(或区域)基于空气质量达标的排放标准, 主体内容包括空气质量改善目标制定, 固定源污染物年度日排放量减排目标制定, 日空气质量管理绩效评估等。配合 $PM_{2.5}$ 前体物减排交易计划, 政策体系可行。基于技术的固定源排放标准, 交给行业和企业, 作为推荐性排放标准, 排污许可证将发挥更重要的作用。

**【关键词】**空气质量; 固定源排放标准; 日排放量; 排放交易

中图分类号: X5 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2024) 05-0022-05 DOI: 10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202405022

排污许可制度已经是我国固定污染源环境管理的核心制度, 其执行的主体内容是排放标准, 也就是固定源排放控制的全部技术要求, 包括适用范围和条件, 主设备和控制设备的运行要求, 空气污染物排放限值(危险空气污染物有所不同), 与污染物排放限值一一对应的监测方案(包括数据质量控制等要求), 记录和报告要求等。然而, 按照固定源基于技术的排放标准的制定模式, 既跟不上我国产业的发展速度, 也跟不上空气质量改善的要求。

当前, 我国已经成为世界制造业大国和强国, 其全产业门类和制造规模等是我国重要的国际竞争力, 保持和发展制造业大国是国家战略。因此, 为确保空气质量达标, 需要持续改进固定源的排放控制技术, 即不断提高固定源的排放标准, 持续减排以达到环境空气质量标准。从现状来看, 我国大气污染主要是 $PM_{2.5}$ 超标, 其污染特征已经由大范围的普遍超标, 走向具

有时空特点的区域超标<sup>[1]</sup>。固定源排放标准是促进固定源排放控制技术成熟和有效的政策手段。然而, 现行的排放标准主要以技术为基础, 强调行业普遍可达到的最低技术标准。这种“一刀切”的方法忽视了城市间在生态、经济和污染特征上的差异, 常常无法提供灵活和精准的污染控制策略<sup>[2]</sup>。

随着中国制造业技术的快速提升和经济发展模式的转变, 传统的粗放型管理和应急措施, 如在重污染天气应急管理中实行的“停产限产”, 缺乏长期效能<sup>[3]</sup>, 亟需有针对性的排放标准以及科学合理的政策设计。

## 1 主要超标城市大气污染特征

### 1.1 $PM_{2.5}$ 为主要空气污染物, 超标呈现时空区域性

我国城市空气污染特征发生显著变化。大气污染从城市普遍超标转向区域小范围超标,

作者简介: 宋国君, 中国人民大学生态环境学院教授, 博士生导师, 专业领域为空气质量管理、地标水质管理、生活垃圾管理等, 13910720279, E-mail: songguojun@ruc.edu.cn, 宋国君为本文通讯作者。

二氧化硫、氮氧化物已经达标,首要污染物主要是  $\text{PM}_{2.5}$ 。采用 2022 年中国环境监测总站 (<https://www.cnemc.cn/sss/j/>) 实时发布的京津冀城市国控点小时级污染物监测数据进行环境空气质量评估分析,超标污染物主要为  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$  和臭氧。根据大气污染人群健康损失评估,所有城市最主要超标污染物为  $\text{PM}_{2.5}$ ,其健康损失占全部超标污染物健康损失的 95% 以上,部分城市达到 99% 以上。京津冀城市群  $\text{PM}_{10}$  超标主要为  $\text{PM}_{2.5}$  超标所致, $\text{PM}_{2.5}$  超标时间主要发生在采暖期,尤其是 1 月份。相邻城市监测点同时超标情况分析显示,京津冀城市群整体特别是北京市平原地区  $\text{PM}_{2.5}$  超一级标准( $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) 呈现显著的区域性。依据陕西省城市空气质量实时发布系统关中五市国控和省控全部 90 个监测点小时级  $\text{PM}_{2.5}$  监测数据,运用邻接约束层次聚类方法对监测点进行空间聚类,并利用泰森多边形和曲线平滑等技术识别大气污染区域。结果显示,关中五市主要划分成两大区域,区域间  $\text{PM}_{2.5}$  污染特征不同, $\text{PM}_{2.5}$  浓度、重度及严重污染出现的频次存在显著差异<sup>[4]</sup>。

## 1.2 $\text{PM}_{2.5}$ 超标主要由二次颗粒物导致,固定源为其前体物排放主要来源

$\text{PM}_{2.5}$  的二次颗粒物对严重雾霾污染事件的贡献率为 30%~77%。 $\text{PM}_{2.5}$  污染二次特征显著<sup>[5-6]</sup>。 $\text{PM}_{2.5}$  的前体物即大气中气态组分经理化反应转化为颗粒态的粒子,除  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、VOCs 外,还有在高温下以气相排放的可凝结颗粒物(Condensable PM, CPM),其在烟羽中稀释和冷却之后凝结成固相。美国环保局(Environmental Protection Agency, EPA) 明确规定固定污染源向环境空气中排放的颗粒物总量应为可过滤颗粒物(Filterable PM, FPM) 和 CPM 之和,Method 5 和 Method 202 分别实现了对两者的检测<sup>[7]</sup>。结合气象因素, $\text{PM}_{2.5}$  污染高发的静稳高湿气象极易导致 CPM 集聚转化。通过机器学习以及统计学方法对空气质量数据

进行分析,也证实了 CPM 对  $\text{PM}_{2.5}$  超标有主要影响<sup>[8]</sup>。

相比于其他类别污染源,固定源对  $\text{PM}_{2.5}$  污染的贡献占主导地位<sup>[9]</sup>,其最终排放的烟气中 CPM 占  $\text{PM}_{2.5}$  的比例达到了 80%~90% 左右<sup>[10-11]</sup>。当前,部分纳入固定污染源环境管理的企业已经具备良好的生产工艺及技术水平。许可证的落实以及连续监测设备的接入,为优化固定源排放控制管理,实现空气质量达标,提供了技术基础。

## 2 固定源排放管理主要问题

### 2.1 基于技术的排放标准难以实现精准管控

基于技术的标准是我国促进固定源减排技术进步不可或缺的标准<sup>[12]</sup>,也是促进企业技术进步的重要政策。由于基于技术的排放标准需要按照行业(排放控制技术的相似性)制定,侧重行业的排放控制技术水平,而不是所在地的空气质量是否超标,因此,其规定难以满足具体超标城市的排放要求。

当前排污许可证已推广实施,但当前覆盖的生产信息有限,参考美国的经验,如果要制定国家强制执行的更为全面和系统的基于技术的排放标准,则需要成立专门的专家小组,耗费 2~3 年才能够完成,人力与时间成本过高。因此,基于技术的固定源排放标准由行业和企业制定,作为行业推荐标准激励企业技术进步。

### 2.2 重污染天气应急管理措施影响企业经济效益

基于重污染天气应急响应评级实施的固定源应急管理,实际上还是基于技术的排放标准。其本质是对不同行业的固定源排放控制技术按照先进程度进行分类,按照重污染天气的等级实施企业停产、限产的措施,难以基于城市的大气污染特征,发挥固定源自身的减排灵活性。研究发现一定情况下的减产反而导致部分污染物排放量的上升<sup>[13]</sup>。对于判断企业是否执行以及执行的程度等,主要以现场核查的方式进

行<sup>[14]</sup> ,考察实时排放情况 ,无法判断固定源是否持续合规排放。

同时 ,通过基于工艺和治理设施的技术水平规定关停或豁免等影响排放 ,直接干预了生产 ,停产限产方式使得生产和排放的关系难以量化<sup>[15]</sup> ,增加了固定源的减排成本 ,效果费用比差。很有可能导致无法达到产量 ,影响企业利润。部分企业 ,停开设备需要的能耗以及原料较大 ,减排成本过高。

### 3 基于空气质量达标的固定源排放标准设计与实施

环境空气质量未达标城市必须实施减排 ,固定源作为主要污染源 ,其减排要求也必须科学规范。排放标准是政府对辖区内固定源的排放进行约束的重要政策工具<sup>[16]</sup>。基于空气质量达标的固定源排放标准是政府基于空气质量改善目标的要求 ,依法对固定源提出的减排要求。具体而言 ,就是直接针对每个纳入减排对象的固定源设定排放限值 ,确保城市空气污染物的减排总量 ,确保城市环境空气质量改善达标。

#### 3.1 主体内容设计

以城市  $PM_{2.5}$  达标为例 ,重点关注固定源  $PM_{2.5}$  二次颗粒物主导的减排。实施对象为已经安装了连续监测系统的固定源。当前排污许可证已经覆盖可过滤颗粒物 (FPM)、二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物的排放。实施 CPM 监测可能需要一定的时间 ,前期可以通过有限次的手工监测和后续的排水蒸气温度和水量测量核算 CPM 的排放量。

基于环境空气质量达标的固定源排放标准是污染物“日”颗粒度的排放量 ,而不是“年”。首先是环境空气质量标准的基本指标是 24 小时值 ;其次是主要固定源已经实施连续监测 ,小时值也是基本数据 ;最后 ,基于现有的统计技术和软件都可以经济合理的实现。基本形式为前体物的日排放量均值加一个标准差。一般来

说 ,一个标准差代表了 75% 的样本量 ,要求固定源的日排放量 ,例如采暖期 ,不超过均值加一个标准差。标准差不高于去年。超过一个标准差可以作为超标予以经济处罚。减排标准每年更新一次。对固定源来说 ,激励了企业持续改进管理 ,降低日排放量的标准差 ,降低高于均值的高值出现的频率和幅度 ,这与空气质量的改善方向是一致的 ,一般来说也是减排成本最低的。

#### 3.2 主要制定技术

首先是空气质量改善目标制定技术 ,即城市环境空气质量评估技术 ,需要给出对标评估结论 ,城市  $PM_{2.5}$  超标日的排放原因诊断结果<sup>[8]</sup> ,城市  $PM_{2.5}$  超标日的区域性评估结果 ,城市大气污染健康损失评估结果<sup>[17]</sup> 等 ;其次是固定源日排放量减排潜力和基于空气质量达标的固定源排放标准制定技术 ,需要给出固定源日排放量统计分布、减排措施和减排潜力等分析 ,并需要企业提出基于空气质量达标的排放标准的固定源减排预案。预案需要详细描述可实现的减排措施及预期效果 ,并提交城市生态环境管理部门审核 ,作为目标年的减排方案等 ;再次是年度空气质量达标计划综合技术<sup>[18]</sup> ,需要给出基于最新技术的空气质量改善目标测算、预期空气质量改善效益和减排预案的投入等分析结果 ;最后是空气质量日管理绩效评估技术 ,即基于机器学习建立监测点日颗粒度的各污染物预测模型<sup>[19]</sup> ,通过相对准确的预测模型和监测结果 ,确定剔除气象因素的污染源排放管理的空气质量改善效果。

基于空气质量达标的固定源排放标准纳入地方排污许可管理 ,作为国家排污许可的补充内容 ,也作为固定源执行报告的具体内容。固定源企业需要详细说明执行情况 ,包括已采用的减排措施、未实现目标的原因分析、改进方案以及下一年度的减排目标和管理计划。

#### 3.3 辅助排放交易制度

基于环境空气质量达标的固定源排放标准

没有考虑固定源的减排技术和成本限制,具有一定的不可执行性。为解决这个问题,引入 $PM_{2.5}$ 前体物交易政策<sup>[20]</sup>是可行的。

排放交易的目的是允许固定源实施灵活减排,即可以通过购买排放配额满足减排要求,以较低成本达到基于空气质量的排放标准,进而降低城市的减排成本。排污交易的基本条件是需要确保交易的配额是均质的,即交易的污染物排放量既没有造成交易污染物的局地空气质量超标,又要确保污染物交易对于空气质量改善效益是一致的。交易不能造成污染物的局地超标,当前城市二氧化硫、氮氧化物不超标, $PM_{2.5}$ 非一次颗粒物导致,条件是满足的。第二点,确保污染物交易与空气质量改善效益一致则有些复杂。首先是前体物涉及4种污染物,即CPM、二氧化硫、氮氧化物和挥发性有机物;其次,不同空气质量监测点代表的城市区域的人口数量是不同的,一般来说是中心城区人口多;再次, $PM_{2.5}$ 超标的时间分异性,例如,采暖期是主要超标时段,一般1月份超标更加严重,需要体现不同时段的排放量对空气质量的影响。为此,可以通过设计配额系数予以解决。 $PM_{2.5}$ 前体物配额系数包括污染物系数、时间系数和空间系数。污染物系数为前体物对 $PM_{2.5}$ 的贡献权重,时间系数为不同月份排放量的权重,空间系数为中心城区和郊区的权重。权重的确定需要科学测算和评估矫正。还有处罚奖励系数,超过一个标准差的排放量需要加倍处罚。

固定源排放配额的确定,排放配额为基于空气质量的排放标准值(均值)与采暖期(或全年)生产日数的乘积。配额的确定首先需要基于全市 $PM_{2.5}$ 改善目标确定全市的前体物减排量目标;其次,确定每个固定源前体物的排放基线值;再次,将基线值折算为标准污染物的基线值,其单位为1000kg/d氮氧化物,氮氧化物为标准污染物;最后,基于空气质量达标规划,将今后5年的减排配额免费发给固定源。

排放交易的基本规则,包括配额可以延后使用,不能提前使用,主要是年度排放配额可以在以后年度使用,配额量不变;配额量与实际排放量年度核查清算;新固定源,即排放交易计划后建设的固定源除必须采用最新技术达到最佳控制水平<sup>[21]</sup>外,新增排放量无配额,可通过市场购买以抵消新增排放量;交易主要发生在交易平台,交易记录需要被纳入排污许可证中。数据的质量以及安全能够通过区块链的技术得到保障<sup>[22]</sup>等。

监督核查及问责处罚机制,由第三方核查机构核查企业排污许可证以及守法是否完整、规范。并且核查企业实际排放量是否与上报的信息(购买或卖出的配额量、减排目标等)相符。对于未能遵循设计预案顺利执行排放标准且未购买相应排放配额的固定源,则给予罚款。

#### 参考文献:

- [1] 方丹阳.基于空气质量达标的固定源排放标准研究[D].北京:中国人民大学,2023.
- [2] 李涛,等.我国大气固定源排放控制政策评估[J].干旱区资源与环境,2019,33(04):9-16.
- [3] 张增凯,等.2019年京津冀重污染天气应急响应经济损失评估[J].中国环境科学,2021,41(07):3399-3408.
- [4] 张波,宋国君,周芳.基于 $PM_{2.5}$ 监测点空间聚类的关中五市空气污染区域识别[J].环境科学学报,2021,41(03):797-805.
- [5] ZHANG Q, HE K, HUO H. 2012. Cleaning China's air [J]. Nature, 2012, 484: 161-162.
- [6] WANG K, et al. Unit-based emissions and environmental impacts of industrial condensable particulate matter in China in 2020 [J]. Chemosphere, 2022, 303: 134759. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134759>.
- [7] EPA, United States Environmental Protection Agency Method 202 A-Dry Impinger Method for Determining Condensable Particulate Emissions from Stationary Sources, 2017. <https://www.epa.gov/emc/method-202-condensable-particulate-matter>.
- [8] 李虹霖,宋国君,姜艺婧,等.可凝结颗粒物排放对北京市 $PM_{2.5}$ 污染的影响估计[J].中国环境科学,2023,43(12):6301-6312.
- [9] TANG J, et al. Fine particulate matter pollution characteristics and source apportionment of Changchun atmosphere [J]. Envi-

- ronmental Science and Pollution Research International 2022 , 29( 09) : 12694–12705.
- [10] 胡月琪.等.北京市典型燃烧源颗粒物排放水平与特征测试[J].环境科学 2016 37( 05) : 1653–1661.
- [11] 陈威祥.等.低环境温度下固定源可凝结颗粒物测试技术改进与应用[J].电力科技与环保 2022 38( 05) : 372–377.
- [12] 宋国君,方丹阳.基于空气质量达标的固定源排放标准的制定与实施[J].环境保护 2022 50( 13) : 20–23.
- [13] 赵东风.等.重污染天气期间石化企业减产或限产措施有效性研究[J].工业安全与环保 2020 46( 10) : 85–90.
- [14] 贾册,宋国君,陈臻.固定源排污许可合规制度研究[J].中国环境管理 2022 14( 04) : 52–60.
- [15] 朱烁.企业重污染天气应急减排技术方法和管理要求研究[D].河北:河北科技大学 2019.
- [16] 宋国君.环境政策分析[M].北京:化学工业出版社 2020.
- [17] 刘帅,宋国君.城市  $PM_{2.5}$  健康损害评估研究[J].环境科学学报 2016 36( 04) : 1468–1476.
- [18] 杨林虎.未达标城市空气质量达标年度计划研究[D].北京:中国人民大学 2023.
- [19] 宋国君,国潇丹.等.沈阳市  $PM_{2.5}$  浓度 ARIMA–SVM 组合预测研究.中国环境科学 2018 38( 11) : 4031–4039.
- [20] 苏梦缘.基于  $PM_{2.5}$  达标的固定源减排交易政策设计研究[D].北京:中国人民大学 2023.
- [21] 王亚琼.等.固定源大气污染物排放标准体系构建:原则、框架与路径[J].中国人口·资源与环境 2021 31( 08) : 54–61.
- [22] 田雨,王道平,郝玫.基于区块链技术的供应链碳信息披露与共享机制[J/OL].系统工程理论与实践,1–22 [2024–10–11 ]. <http://hfcca60aabc7d15084b00hbxuwowkwoqo69u0.fhaz.libproxy.ruc.edu.cn/kcms/detail/11.2267.N.20240515.0940.007.html>.

## Study on air quality based emission standards for stationary sources

SONG Guojun<sup>\* 1</sup>, XI Jingxin<sup>1</sup>, FANG Danyang<sup>2</sup>, SU Mengyuan<sup>3</sup>

( 1.School of Ecology & Environment ,Renmin University of China ,Beijing 100872 ,China;

2.Development and Reform Commission of Ningxia Hui Autonomous Region ,Yinchuan 750001 ,China;

3.Beijing Middle School ,Beijing 100018 ,China)

**Abstract:** China has made great achievements in air pollution control.Sulfur dioxide and nitrogen oxides have basically reached the secondary standard ,but fine particulate matter (  $PM_{2.5}$  ) is still exceeding the standard , mainly caused by secondary pollution.The exceeding of the standard mainly occurs during the heating period and is regional. Stationary sources are the main emission sources , whose emission standards are technology–based emission standards ,which is all technical requirements for stationary source emission control. However ,the model of setting technology–based emission standards for stationary sources ,which originated from the United States ,is neither keeping pace with the development speed of Chinese industries nor meeting the demand for air quality improvement.Therefore ,it is recommended to develop emission standards for cities ( or regions) based on meeting air quality standards.The main contents include setting air quality improvement goals ,formulating annual daily emission reduction targets for pollutants from stationary sources ,and assessing daily air quality management performance.In conjunction with the  $PM_{2.5}$  precursor emission reduction trading plan ,the policy system is feasible.The technology–based stationary source emission standards are handed over to industries and enterprises as recommended emission standards.In addition ,pollutant emission permits will play a more important role.

**Keywords:** air quality; emission standards for stationary sources; daily emission management; emissions trading  
( 责任编辑 安祺)