

浅谈 PM_{2.5} 的危害及我国的控制历程与经验

张瑾¹, 薛彩凤¹, 温彪¹, 杨桂实¹, 李宏宇¹, 武宇鹏¹, 李宏艳^{*1}, 何秋生¹, 李彦君²

(1. 太原科技大学环境与安全学院, 太原 030024; 2. 吕梁市生态环境局柳林分局, 柳林 033300)

【摘要】随着我国社会的快速发展,以细颗粒物(PM_{2.5})污染为核心的大范围重污染问题集中爆发,严重影响环境质量和居民健康,因此成为我国近年来迫切需要解决的一个重大环境问题。为改善我国的空气污染状况,特别是减少北方地区供暖季节的重污染天气,我国政府和相关部门一直致力于大气污染的防治工作及空气质量的长期改善。本文对 PM_{2.5} 的危害以及我国的政策发展进行了基本介绍,探讨了政府推出 PM_{2.5} 治理和监管政策期间污染改善的进展和启示,并对我国下一步 PM_{2.5} 的防治提出了相关建议。

【关键词】PM_{2.5}; 重污染; 危害; 治理政策; 启示

中图分类号:X513 文献标识码:A 文章编号:1673-288X(2021)01-0109-06 DOI:10.19758/j.cnki.issn1673-288x.202101109

随着经济和城镇化的快速发展,我国出现了严重的空气污染问题。其中,大气颗粒物(PM)是导致空气污染的主要污染物之一,特别是细颗粒物(PM_{2.5})已经成为我国大多数城市的首要污染物^[1]。PM_{2.5}污染最直观的环境表现就是重污染天气的发生,大气呈现浑浊状态,颜色偏黄色或橙灰色,能见度低于10km,持续时间可长达几天。近几年,我国大城市频繁出现重污染天气,影响区域涉及京津冀、珠江三角洲、长江三角洲、汾渭平原、成渝盆地等地区。2013年1月持续一个月的极端重污染天气覆盖了我国超过2.5%(130万km²)的国土面积,影响了我国超过50%(约8亿)的人口^[2],对生态环境和人体健康造成了严重威胁,并成为科学界、政府和公众关注的环境焦点。我国政府和相关部门一直致力于大气污染的防治工作及空气质量的长期改善,出台了一系列的相关政策。目前,《大气污染防治行动计划》(简称“大气十条”)确定的目标虽然已经如期实现,全国空气质量总体改善,但大气污染形势仍然不容乐观,个别地区污染较重,冬季重污染问题依然突出^[3]。大气污染治理已进入瓶颈期,极有必要对前期工作进行及时梳理和总结,并针对现有问题

寻找新的对策。

1 PM_{2.5}的危害

PM_{2.5}是一种颗粒直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的可入肺颗粒物,是由无机物质和有机物质组成的复杂混合物,主要包括水溶性无机离子、元素碳(EC)、有机碳(OC)、重金属等。受地域、季节、能源结构、工业水平等因素影响,不同地区其化学组成成分差异很大^[4]。国内大气PM_{2.5}来源广,既有一次源又有二次源,成分具有复合型污染特征。PM_{2.5}复杂的化学成分可引起多种多样的健康危害^[6]。目前,国内外采用的主要研究方法包括人群流行病学调查和毒理学研究。据统计,在2013年1月的重污染期间,120呼救人数明显增多,其中急性心脑血管及呼吸系统疾病应急呼叫率增加最为显著^[7]。刘凯^[8]等报道,2015年,因长期暴露在高水平的可吸入颗粒物(PM₁₀)中导致我国死亡人数达到12.5万。世界卫生组织(WHO)在2005年版的《空气质量准则》中指出:当PM_{2.5}年均浓度达到35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时,人的死亡风险比10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的情形约增加15%^[9]。

基金项目:山西省重点研发计划项目(201803D421095);山西省应用基础研究计划项目(201901D111250)

作者简介:张瑾,研究生,主要研究方向为大气污染排放及控制

通讯作者:李宏艳,副教授,博士,硕士生导师,中国青年科技工作者协会会员,主要从事环境污染行为与健康的研究

毒理学研究的关注点多着重于大气 $\text{PM}_{2.5}$ 及其成分对呼吸和心血管系统损伤的效应机制,发现大气 $\text{PM}_{2.5}$ 或其组分暴露可引起包括肺功能、肺部和循环系统炎症、免疫功能、氧化应激等在内的一系列机制性变化^[10]。Hussey 等^[11]发现重污染空气中的常见组分——炭黑能显著改变肺炎链球菌和金黄色葡萄球菌的生物膜结构、组分和功能,并调整生物膜对蛋白质降解和多种抗生素的抵抗力,从而增加了肺炎链球菌对青霉素(治疗肺炎链球菌的首选药物)的抗性。一项体外毒理学研究将人体支气管上皮细胞暴露于大气 $\text{PM}_{2.5}$ 中,发现二次污染成分中的硫酸盐和硝酸盐与细胞活性氧产物的变化关联性最强^[12]。 $\text{PM}_{2.5}$ 中富含多种有机化合物,其中多环芳烃(PAHs)属于致癌物,具有很强的毒性,其中苯并芘的致癌性最强^[13]。Raaschou 等^[13]通过对 8 个国家 14 个队列研究数据进行分析,得出肺癌患病风险升高与空气中铜、铁、钾、硫、硅、镍、锌等元素浓度有关,特别是元素硫和元素镍,这些元素通常会附着在颗粒物上。值得注意的是,近几年已有研究开始探索大气污染影响人体健康的新型机制,如表观遗传标记变化。并且有研究发现,DNA 甲基化(表观遗传标记之一)改变与老化、癌症和心血管疾病等有关,而环境暴露因素可能通过改变 DNA 甲基化影响机体健康^[14]。

$\text{PM}_{2.5}$ 污染不仅严重危害群众健康,而且对气候和大气能见度有着很大的影响。颗粒物对气候的影响包括直接影响和间接影响两个方面。直接影响是指颗粒物能直接阻挡太阳光抵达地球表面,使可见光光学厚度增大。其中炭黑颗粒物能够吸收太阳短波辐射,放射红外辐射,从而影响太阳辐射传输,加热大气,降低地表温度和影响地球长波辐射。这种对地表和大气的双重作用会影响对流层大气的温度层结,引起空气对流停滞,极不利于污染物的扩散^[15]。间接影响主要是指颗粒物粒子可以作为云凝结核和冰核在云雨形成和增长过程中起重要作用,不但增强或减弱降雨量,并且可以改变云雨类型;颗粒物浓度变化影响云的形成,云的变化反过来对气候有巨大影响,如可使非降水性云转换成降水性云^[16]。颗粒物浓度较高时会使天空颜色改变,使能见度降低。相关

研究表明,重污染天气时, $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度明显高于平时,且 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度越高,能见度越低^[17]。大气污染物中颗粒物的散光作用是造成能见度降低的主要因素,颗粒物散射能造成 60%~95% 的能见度减弱,其中以 $\text{PM}_{2.5}$ 及其所含硫酸盐、硝酸盐及炭黑最为重要^[16]。

2 我国 $\text{PM}_{2.5}$ 政策发展

在大气污染的背景下,清洁空气就是一种重要的公共物品,实施大气污染治理、改善空气质量需要坚实的政策支撑。公共政策在我国社会经济发展中起着重要作用。1987 年全国人大常委会发布了第一部《大气污染防治法》后,一系列相关政策法规相继出台,20 世纪 90 年代大气污染物排放相关技术标准也陆续出台。自 2008 年举办北京奥运会,尤其是 2012 年和 2013 年以京津冀、长三角等为首的城市群出现大面积重污染天气后,大气污染治理问题才真正引起了全社会的广泛关注和政府部门的高度重视。相关部门不仅对现有政策、法规、标准先后进行了修订,同时陆续增加了以“大气十条”为代表的相关新政策。图 1 为与我国大气 $\text{PM}_{2.5}$ 相关的主要政策的发布/实施时间序列。2011 年 1 月 1 日原环境保护部发布了《环境空气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的测定重量法》,首次对 $\text{PM}_{2.5}$ 的测定进行了规范。2011 年 12 月 5 日,《环境空气质量标准》提出,在基本监控项目中增设 $\text{PM}_{2.5}$ 年均、日均浓度限值以及臭氧 8 小时浓度限值,新标准于 2016 年全面实施。2011 年 12 月 21 日,在第七次全国环境保护工作大会上,原环境保护部部长周生贤公布了 $\text{PM}_{2.5}$ 和臭氧监测时间表,全国 $\text{PM}_{2.5}$ 监测将分“四步走”。2012 年 2 月 29 日国务院常务会议发布新修订的《环境空气质量标准》(GB 3095—2012),其中增加的主要内容之一就是 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度限值(日均值定为 $75\mu\text{g}/\text{m}^3$,年均值为 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$),纳入各省区市强制监测范畴。2012 年 10 月 11 日,原环境保护部副部长吴晓青表示,新的《环境空气质量标准》颁布后,新标准要按“三步走”目标实施,即到 2020 年,主要污染物排放得到控制,环境安全得到有效保障;到 2030 年,污染物排放总量得到全面控制,环境质量全面改善;到 2050 年,环境质量与人民群众日

益提高的物质生活水平相适应,与社会主义现代化强国相适应^[18]。按照计划,2012 年年底,京津冀、长三角、珠三角等重点区域以及直辖市、计划单列市和省省会城市要按新标准开展监测并发布数据。

为改善我国的空气污染状况,特别是减少我国北方地区供暖季节重污染天气的发生频率,国务院于 2013 年提出了治理空气污染问题的《大气污染防治行动计划》政策,又称“大气十条”。这是国务院在 2013 年所发布的又一大气污染防治总体规划,其奋斗目标为到 2017 年,全国地级及以上城市 PM₁₀ 浓度比 2012 年下降 10% 以上,优良天数逐年提高;京津冀、长三角、珠三角等区域 PM_{2.5} 浓度分别下降 25%、20%、15% 左右,其中北

京市 PM_{2.5} 年均浓度控制在 60 μg/m³ 左右。“大气十条”明确了大气污染防治总体思路,着重强化以 PM_{2.5} 为重点的大气污染防治工作,为全国及重点区域、重点城市的空气质量改善提出了具体要求。《中华人民共和国大气污染防治法》是关注大气污染、防治大气污染的重要法律,最新版已于 2015 修订,并于 2016 年 1 月实施。我国“十三五”规划在 2016 年将 PM_{2.5} 浓度目标纳入了环境保护工作的绩效考核,要求地级及以上且空气质量未达标的城市在“十三五”期间将 PM_{2.5} 的年均浓度降低 18% 以上。国务院于 2018 年 7 月公开发布了《打赢蓝天保卫战三年行动计划》,其中 PM_{2.5} 污染削减相对不明显的地区,如山西、陕西、安徽等省份的多数城市受到了重点关注^[19]。

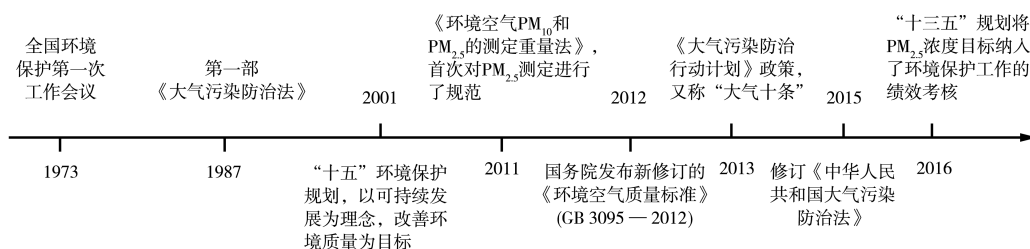


图 1 我国大气细颗粒物 (PM_{2.5}) 相关政策发布/实施时间序列图

3 我国 PM_{2.5} 污染改善进展

回顾我国环境保护规划事业发展的历程,从确立环境保护是一项基本国策,到逐步推进可持续发展战略、科学发展观、建设生态文明等,可以看出国家关于环境保护的理念和政治意愿逐渐加强,对环境保护工作的重视程度不断提高。李沈鑫等^[19]通过对 2013—2015 年我国 PM_{2.5} 监测数据进行综合分析,得出全国大部分地区 PM_{2.5} 年超标率由 50% 以上降至 30% 以下,重度污染站点占比由 88.38% 降至 73.77%,严重污染站点占比由 65.86% 降至 36.35%。薛涛等^[20]评估了 2013—2017 年我国地区 PM_{2.5} 暴露及其健康影响的变化情况。其研究显示,2013—2017 年间我国人口 PM_{2.5} (加权) 年均浓度从 67.4 μg/m³ 下降到 45.5 μg/m³,下降幅度达到 32%。在此期间,与 PM_{2.5} 长期暴露相关的超额死亡人数从 2013 年的 120 万人/年降至 2017 年的 100 万人/年,下降了 14%。Zhang 等^[21]分析了“大气十条”各项政策

对空气质量改善的贡献。其研究发现,“大气十条”实施以来,减排是我国近年来空气质量改善的主导因素,对全国人群 PM_{2.5} 暴露水平下降的贡献为 91%,其中工业行业提标改造、燃煤锅炉整治、落后产能淘汰以及民用燃料清洁化是对空气质量改善最为有效的四项政策,分别使全国人群 PM_{2.5} 浓度暴露水平下降了 6.6 μg/m³、4.4 μg/m³、2.8 μg/m³ 和 2.2 μg/m³^[22]。生态环境部公布的数据显示,2019 年全国煤炭消费比重降至 57.7%,同比下降 1.5 个百分点;清洁能源消费占比增至 23.4%,同比上升 1.3 个百分点;重点区域每小时 35 蒸吨 (24.5 MW) 以下燃煤锅炉基本清零;中央财政支持北方地区清洁取暖试点城市范围进一步扩大,实现了“2+26”城市和汾渭平原全覆盖,2019 年完成了散煤治理 700 多万户^[23]。在浓度降低的同时,气溶胶污染特征也发生了显著变化。王跃思等^[18]研究发现,在 2013—2015 年观测期间,我国京津冀、长三角、珠三角和成渝地区的分级粗、细颗粒物浓度均呈下降趋势,但是分

级粗颗粒物的下降率显著高于细颗粒物,并且 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 的细粒径段峰值向更细粒径段迁移。这说明自我国“大气十条”实施以来,粗颗粒物污染治理效果最为显著,但光化学生成率却有所上升,重点区域大气臭氧(O_3)污染问题显现^[22]。张小曳等^[24]结合污染—气象条件指数等对 $\text{PM}_{2.5}$ 污染进行研究得出,我国大气 $\text{PM}_{2.5}$ 持续性重污染主要发生在冬季,其中京津冀地区仅因气象条件不利就会导致 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度较其他季节上升约40%~100%。这表明不利气象条件是持续性重污染形成、累积的必要外部条件,在重污染形成初期大幅降低区域污染排放,是消除和减少持续性重污染事件的关键手段。

大气污染的改善和政府对于大气环境的严密监管也是分不开的。随着移动互联网、云计算、物联网技术、区块链技术等的发展,世界已进入“大数据时代”。我国政府对大气环境的监管也越来越精细,从国控点发展到省控点,到现在的热点网格技术、激光雷达城市颗粒物移动监测、走航监测、无人机开展污染源现场勘查和卫星遥感监测等。热点网格技术是生态环境部推动大数据技术在非现场监管中的典型应用。近日,生态环境部刊文指出,在疫情期间,热点网格技术通过非现场帮扶,充分发挥大气环境监管“千里眼”功能,远程指导各地有序开展热点网格的针对性排查,以非现场帮扶的方式,提高了环境执法效能^[25]。激光雷达移动监测可以快速扫描监测并生成污染分布图,直观地描述污染源的扩散趋势,有效识别污染物的空间分布特征,快速识别排放源,从而量化跨区域污染传输及工业排放对城区空气质量的影响。走航监测能够实时监测沿途空气质量,绘制重点区域VOCs浓度图像,标记异常点位,实现“测管”协同,第一时间追踪分析污染源情况。通过无人机勘查,可以对潜在排放源进行定性识别,据此制定环境执法监管措施或技术改革方案。卫星监测可在全球尺度对大气污染状况进行快速评估,所提供的空间观测数据和气溶胶参数可用于监测大气 $\text{PM}_{2.5}$ 的分布、来源、成分及传输^[26]。

4 政策启示及建议

总体上看,自我国在2013年发布《大气污染

防治行动计划》,开始实施严格的污染控制措施以来,很多城市的空气质量得到了大幅改善。但是,我国清洁空气政策的实施力度和空气质量管理存在明显的地区差异,为改善空气质量投入的资源主要集中在京津冀、长三角和珠三角等重点地区。另外,全国及重点区域大气颗粒物仍以 $\text{PM}_{2.5}$ 为主,占比60%~65%。虽然这一比值近五年来有所下降,但是仅下降了2%~3%,并不显著^[18]。生态环境部同时指出,2019年全国未达标的261个城市 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度同比下降2.4%,与前三年年均7.7%的改善幅度相比,下降速度明显放缓,这说明对 $\text{PM}_{2.5}$ 的控制已进入瓶颈期。目前,我国《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)中的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度限值主要采用世界卫生组织(World Health Organization, WHO)在2005年发布的第一阶段目标指导值,即 $\text{PM}_{2.5}$ 年平均浓度为 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。如果以WHO导则值年均浓度 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 来衡量,目前我国还没有城市能达到这一标准^[18],因此我国环境空气质量形势依然严峻。据研究报道,2013—2017年 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的降低主要得益于对 SO_2 和燃煤排放一次颗粒物的控制^[27],其结果是有机物和硝酸盐在 $\text{PM}_{2.5}$ 中所占的比重越来越大^[28]。鉴于目前 SO_2 的减排空间已经很小,下一步要继续降低 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度,就必须加强对氮氧化物(NO_x)和挥发性有机物(VOCs)等的排放控制。不同区域对于 $\text{PM}_{2.5}$ 的控制力度和进程不平衡,因此在下一步的 $\text{PM}_{2.5}$ 治理中,区域协同控制也将变得更加重要。

我国北方地区冬季频繁发生大面积的重污染天气是由于污染物排放和大气过程之间的复杂相互作用造成的。目前我国真正实现超低排放的行业只有火电行业,钢铁行业是第二个正在推行超低排放的行业,减排效果的发挥还需要时间。根据我国钢铁工业环境统计年报,2018年重点统计钢铁企业颗粒物、 SO_2 的吨钢排放量比2006年分别下降74.3%、80.6%,为大气质量改善做出了巨大贡献。但2018年我国粗钢产量比2006年增加了119.4%,2019年又继续同比增加8.3%,钢产量高达9.96亿吨,占全球钢铁产量的53.3%。钢铁产量的快速增长,抵消掉了一些治理效果^[29]。如何在增加产能的同时还能控制好污染物的排

放,也是未来 PM_{2.5}治理需要考虑的问题。

PM_{2.5}污染问题尚未得到完全解决,以臭氧(O₃)为特征污染物的大气光化学污染问题又开始凸显。据报道,2019年,全国337个地级及以上城市O₃浓度同比上升6.5%,以O₃为首要污染物的超标天数占总超标天数的41.8%,导致全国优良天数比率同比损失2.3个百分点^[23]。O₃具有强氧化性,不仅会影响大气氧化性并加剧全球气候变暖,而且对人体危害极大,可诱发多种呼吸系统疾病和心脑血管疾病。因此,对O₃污染的协同控制也需要引起足够重视^[27]。

大气污染程度不仅和排放有关,也和大气环境容量相关。大气环境容量是一个城市或一个区域在空气质量达标时,最大能容纳各种大气污染物的排放量,其大小会因气候、气象条件等因素影响而动态变化。就平均水平而言,京津冀及周边地区“2+26”城市秋冬季大气污染物排放量大大超出了环境容量,在极端不利气象条件下,甚至能超出环境容量的4倍^[31]。这种情况如果长时间持续,就会导致出现重污染。在2019年1月到2月期间,受不利气象条件影响,京津冀及周边地区、汾渭平原PM_{2.5}浓度同比分别上升24.1%、26.6%^[23]。

从上述问题可以看出,我国大气污染的治理任务依然任重道远。我国绝非在短期内就能全面实现大气雾霾污染治理,必须有长效的制度安排。基于此,本文提出以下三个方面的建议:(1)随着控制PM_{2.5}污染力度的增强,治理标准的提升,对污染企业排放PM_{2.5}及其前体物的管控力度需要进一步加强,管控区域范围也需要进一步扩大。(2)提高公众对PM_{2.5}危害的认识,对于各个行业,特别是转型产业,必须稳步淘汰落后产能,走可持续发展的常态化轨道,促进大气质量的持续改善,而不能为了实现地方经济指标而放松管理。(3)不同城市的大气环境容量不同。因此针对不同区域应建立“一市一策”管控机制,政府部门应主动扶持和培养地方科研力量参与大数据的管理与分析,借助大数据平台建立快捷高效的空气质量预报预警机制,针对不同情况制定相应的应急措施,能够在易发生重度污染的情况下达到有效“削峰”。此举不仅可避免大数据资源的荒废,同

时可提升政府的管理能力。(4)在当前PM_{2.5}污染尚不能短期消除的情况下,应建立PM_{2.5}化学成分的优先管控名单,借助源解析手段优先控制有毒有害物质的排放和生成,最大限度地保护居民的身体健康。

参考文献:

- [1] 郦嘉诚,高庆先,李亮,等.对首要污染物所揭示的京津冀环境空气质量状况的认识启迪与对策建议[J].环境科学研究,2018,31(10):1651-1661.
- [2] AN Z, JIN R, et al. Severe haze in northern China: A synergy of anthropogenic emissions and atmospheric processes [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2019.
- [3] 国务院生态环境部将开展蓝天保卫战评估重点区域强化监管[EB/OL]. (2019-01-25). http://www.Xinhuanet.com/fortune/2019-01/25/c_1124039201.htm.
- [4] CALVO A I, ALVES C, CASTRO A, et al. Research on aerosol sources and chemical composition: past, current and emerging issues [J]. Atmospheric Research, 2013, 120: 1-28.
- [5] FUZZI S, BALTENSPERGER U, CARSLAW K, et al. Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, 15(14): 8217-8299.
- [6] SAFFARI A, DAHER N, SHAFER M M, et al. Global perspective on the oxidative potential of airborne particulate matter: A synthesis of research findings [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(13): 7576-7583.
- [7] 刘珊. 吕梁市土壤风沙尘成分谱特征分析及重金属元素环境风险评价[D]. 太原: 太原理工大学, 2015.
- [8] 刘凯, 邹天森, 殷丽刚, 等. 我国灰霾事件及霾日健康影响研究现状[J]. 环境卫生学, 2016(04).
- [9] ZHANG Q, QUAN J, TIE X, et al. Effects of meteorology and secondary particle formation on visibility during heavy haze events in Beijing, China [J]. Science of the Total Environment, 2015, 502: 578-584.
- [10] SHIN D C. Hazardous Air Pollutants (Case Studies from Asia) Air Pollution and Its Health Effects in China [J]. 2016, 10. 1201/b19829: 3-46.
- [11] HUSSEY S J K, PURVES J, ALLCOCK N, et al. Air pollution alters Staphylococcus aureus and Streptococcus pneumoniae biofilms, antibiotic tolerance and colonisation [J]. Environmental microbiology, 2017, 19(05): 1868-1880.
- [12] LIU Q, BAUMGARTNER J, ZHANG Y, et al. Oxidative Potential and Inflammatory Impacts of Source Apportioned Ambient Air Pollution in Beijing [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 48(21): 12920-12929.

- [13] 陈熙勰,张皓旻,顾万清,等.我国PM_{2.5}主要成分及对人体健康危害研究进展[J].中华保健医学杂志,2019,21(01):87-89.
- [14] 吴少伟,邓芙蓉.大气PM_{2.5}与健康:从暴露、危害到干预的系统研究进展[J].中国药理学与毒理学杂志,2016,30(08):797-801.
- [15] ZHANG F, WANG Y, PENG J, et al. An unexpected catalyst dominates formation and radiative forcing of regional haze[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2020; 201919343.
- [16] 白微静.环境空气PM_{2.5}危害分析与防护[J].低碳世界,2017(04):34-35.
- [17] 傅敏宁,郑有飞,徐星生,等.PM_{2.5}监测及评价研究进展[J].气象与减灾研究,2011,34(04):1-6.
- [18] 王跃思,李文杰,高文康,等.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[J].中国科学:地球科学,2020,50(04):453-468.
- [19] 李沈鑫,邹滨,刘兴权,等.2013—2015年中国PM_{2.5}污染状况时空变化[J].环境科学研究,2017(05):678-687.
- [20] 薛涛,刘俊,张强,等.2013—2017年中国PM_{2.5}污染的快速改善及其健康效益[J].中国科学:地球科学,2020,50(04):441-452.
- [21] ZHANG Q, ZHENG Y, TONG D, et al. Drivers of improved PM_{2.5} air quality in China from 2013 to 2017[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2019; 201907956.
- [22] 《大气污染防治行动计划》实施情况中期评估报告(公布稿).(2016-7-05). http://www.cae.cn/cae/html/main/col96/2016-07/05/20160705161134200910514_1.html.
- [23] VOCs 攻坚! 生态环境部马上下文实施《2020年挥发性有机物治理攻坚方案》[EB/OL].(2020-05-17). <https://mp.weixin.qq.com/s/zOQBHPu173ybTPXqObfrKw>.
- [24] 张小曳,徐祥德,丁一汇,等.2013—2017年气象条件变化对中国重点地区PM_{2.5}质量浓度下降的影响[J].中国科学:地球科学,2020,50(04):483-500.
- [25] 疫情之下:大数据技术在非现场环境监管中的应用(二)[EB/OL].(2020-03-30). <https://www.huanbao-world.com/a/chuhui/166724.html>.
- [26] 疫情之下:非现场环境监管技术厚积薄发(一)[EB/OL].(2020-03-19). <https://www.huanbao-world.com/a/chuhui/166525.html>.
- [27] ZHENG B. et al. Trends in China's anthropogenic emissions since 2010 as the consequence of clean air actions[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2018, 18: 14095-14111.
- [28] ZHAO L, WANG L, TAN J, et al. Changes of chemical composition and source apportionment of PM_{2.5} during 2013—2017 in urban Handan, China[J]. Atmospheric Environment, 2019, 206(JUN.): 119-131.
- [29] 国家大气污染防治攻关联合中心[EB/OL].(2020-02-17) <https://mp.weixin.qq.com/s/YiOW-IK18HqaA6pUnbdezQ>.
- [30] WANG T, XUE L, BRIMBLECOMBE P, et al. Ozone pollution in China: A review of concentrations, meteorological influences, chemical precursors, and effects[J]. Science of The Total Environment, 2016; S0048969716322471.
- [31] 国家大气污染防治攻关联合中心[EB/OL].(2020-02-13) <https://mp.weixin.qq.com/s/aXdaEDuLL30XxWB11A1f6A>.
- [32] 中华人民共和国生态环境部.GB 3095—2012 环境空气质量标准[S].北京:中国标准出版社,2018.

Discussion about the harm of PM_{2.5} and its control process and experience in China

ZHANG Jin¹, XUE Caifeng¹, WEN Biao¹, YANG Guishi¹, LI Hongyu¹, WU Yupeng¹,
LI Hongyan^{*1}, HE Qiusheng¹, LI Yanjun²

(1.School of Environment and Safety, Taiyuan University of Science and Technology, Taiyuan 030024, China;

2.Liulin Branch Office of Ecology and Environment Bureau of Lvliang City, Liulin 033300, China)

Abstract: With the rapid development of Chinese society, heavy haze episodes with fine particulate matter (PM_{2.5}) as the core air pollutant erupt frequently in a large scale, which severely influence the environment quality and residential health. Therefore, haze pollution has become an enormous environmental problem that need to be solved peremptorily in China. To improve the air pollution situation in China, especially to reduce the haze weather during the heating season in northern China, Chinese government and relevant departments have been committed to the prevention and control of air pollution and the long-term improvement of air quality. This paper gives a basic introduction about the harm and control policy development of PM_{2.5}, and then discusses the progress and enlightenment of pollution improvement during the period when the government launched the PM_{2.5} control and supervision policy. Finally, some relevant suggestions for the further prevention and control of PM_{2.5} in China is put forward.

Keywords: PM_{2.5}; haze; harm; control policy; enlightenment