

城市大气环境中PM2.5污染特征及防控策略研究

崔 敏

运城市生态环境局万荣分局 山西 运城 044200

摘 要：本文聚焦于城市大气环境中的PM2.5污染问题，通过对其污染特征的深入剖析，揭示了PM2.5在全球及我国不同区域的分布差异，以及对人体健康和环境造成的严重危害。详细分析了工业源、交通源、建筑施工与扬尘以及自然源等各类污染源对PM2.5的贡献。基于这些研究，提出了一系列针对性的防控策略，包括强化工业源治理、优化交通结构、控制建筑施工扬尘以及加强自然源管理等，旨在为改善城市空气质量、降低PM2.5污染提供科学依据和实践指导，以保障公众健康和生态环境的可持续发展。

关键词：城市大气环境；PM2.5；污染特征；防控策略

1 引言

随着全球工业化和城市化进程的加速，大气污染问题日益严峻，其中PM2.5污染已成为全球关注的焦点。PM2.5是指环境空气中空气动力学直径小于等于2.5微米的颗粒物，因其粒径小，能长时间悬浮于空气中，并可随呼吸进入人体呼吸系统深部，甚至进入血液循环，对人体健康和生态环境造成严重威胁。了解城市大气环境中PM2.5的污染特征，制定有效的防控策略，对于改善空气质量、保障公众健康具有重要意义。

2 PM2.5 污染现状

2.1 全球PM2.5污染分布

据世界卫生组织（WHO）报告，全球超80%人口居住在空气质量不达标地区，PM2.5污染是主因之一。其污染分布有明显区域差异：亚洲新兴经济体国家，如中国、印度问题突出，印度大城市因工业发展快、能耗高、环保滞后，PM2.5浓度长期居高不下；欧美发达国家整体空气质量较好，但工业集中区和交通繁忙大城市，也存在一定程度污染。全球来看，虽部分国家和地区治理有成效，但因经济发展、能耗增加、气候变化等因素，PM2.5污染水平仍呈上升趋势。

2.2 我国PM2.5污染区域差异

我国PM2.5污染区域差异显著。北方地区，特别是京津冀、长三角和珠三角等地区，PM2.5浓度普遍较高。以京津冀地区为例，冬季燃煤取暖、工业排放和交通污染等多重因素叠加，加上地处华北平原，地形相对封闭，污染物扩散条件差，使其成为我国PM2.5污染最为严重的区域之一。南方地区PM2.5污染主要集中在沿海城市和工业发达地区。如广州、深圳等沿海城市，船舶尾气、港口作业和工业排放等导致PM2.5污染问题较为突出。长江中下游地区和西南部分地区，随着工业发展和城市化进

程加快，PM2.5污染问题也逐渐显现。从污染来源看，北方地区以燃煤和工业排放为主，南方地区则以交通和工业排放为主。同时，不同地区自然条件对PM2.5污染也有一定影响，北方地区的沙尘暴和南方地区的雾霾等，都会导致PM2.5浓度短期大幅上升^[1]。

3 PM2.5 污染来源分析

3.1 工业源对PM2.5的影响

工业源是PM2.5污染的重要来源之一，在工业发达地区表现尤为明显。钢铁、水泥、化工、电力等行业在生产过程中，燃煤、燃油和生物质燃烧等能源消耗会产生大量PM2.5颗粒物。以钢铁生产为例，烧结、炼铁和炼钢等环节会排放大量烟尘和废气，其中包含大量PM2.5。工业源排放的PM2.5颗粒物成分复杂，不仅含有二氧化硫、氮氧化物等有害气体，还含有重金属、多环芳烃等有毒物质。这些污染物在空气中混合，易形成二次颗粒物，进一步加重PM2.5污染。虽然近年来我国通过提高工业排放标准、推广清洁生产技术、加强工业污染源治理等措施，有效降低了工业源排放的PM2.5浓度，但在一些重工业集中区域，工业源仍是PM2.5污染的主要贡献者之一^[2]。

3.2 交通源对PM2.5的影响

随着城市化进程加快和机动车辆数量激增，交通源已成为PM2.5污染的重要来源。汽车尾气中含有大量PM2.5颗粒物，主要源于燃油不完全燃烧，汽油和柴油车辆均有排放。交通源排放的PM2.5颗粒物不仅直接进入大气，还会在空气中发生化学反应形成二次颗粒物。在交通密集的城市区域，如高速公路、城市主干道和交叉口，交通排放是导致PM2.5浓度升高的主要因素，尤其在早晚高峰时段，大量车辆集中行驶，使PM2.5浓度短时间内显著上升。重型货车和柴油车辆由于其排放特点，对PM2.5的贡献更为突出。交通源排放的PM2.5颗粒物对

人体健康危害严重,可通过呼吸系统进入人体,损害肺部,增加呼吸道疾病、心血管疾病和肺癌等疾病的发病风险。

3.3 建筑施工和扬尘污染

在城市化进程中,建筑施工和扬尘污染是PM_{2.5}污染的重要来源。建筑工地的挖掘、运输、切割和打磨等环节会产生大量粉尘,在干燥季节,扬尘污染更为严重。扬尘颗粒物中含有大量PM_{2.5},其对空气质量的影响不仅在施工期间,施工结束后仍会持续。扬尘颗粒物能在空气中悬浮较长时间并随风传播,对周边地区造成污染,还会影响人们日常生活,引发呼吸道不适、皮肤过敏等问题。为降低建筑施工和扬尘污染对PM_{2.5}的贡献,我国采取了一系列措施,如加强施工现场管理,要求覆盖裸露地面和建筑材料、使用洒水车降尘、推广环保型建筑材料等,并对建筑工地扬尘排放进行监测和处罚,以有效控制施工过程中的扬尘污染。

3.4 自然源对PM_{2.5}的影响

自然源也是PM_{2.5}污染的组成部分,虽然其贡献比例相对工业和交通源较小,但在特定条件下不容忽视。自然源主要包括火山爆发、沙尘暴、森林火灾和海洋气溶胶等。火山爆发时,大量火山灰和气体被释放到大气中,包含大量细小颗粒物,这些颗粒物可在大气中悬浮数月,影响全球空气质量。沙尘暴发生时,沙尘颗粒会远距离传输,使途经地区PM_{2.5}浓度显著升高。森林火灾产生的烟雾中也含有大量PM_{2.5}颗粒物,对周边地区空气质量造成影响。尽管自然源难以人为控制,但了解其对PM_{2.5}污染的贡献,有助于在防控工作中综合考虑各种因素,制定更科学的应对策略。

4 PM_{2.5} 污染对人体健康和环境的影响

4.1 对人体健康的影响

4.1.1 呼吸系统影响

PM_{2.5}污染对人体呼吸系统影响最为直接和显著。长时间暴露在高浓度PM_{2.5}环境中,易导致呼吸系统炎症、哮喘、慢性阻塞性肺病(COPD)等疾病的发生和发展。PM_{2.5}颗粒能穿透肺部防御机制,直接进入肺部深处,刺激和损伤呼吸道黏膜,引发或加剧肺部疾病。研究表明,长期生活在PM_{2.5}污染严重地区的人群,呼吸系统疾病发病率明显高于清洁地区人群。

4.1.2 心血管系统影响

PM_{2.5}污染对心血管系统也有严重影响。PM_{2.5}颗粒可进入血液循环,增加心血管疾病风险,如高血压、冠心病、心肌梗死和中风等。长期暴露在PM_{2.5}污染环境的人群,心血管疾病发生率和死亡率均有所上升。PM_{2.5}

可能通过炎症反应和氧化应激等机制,损害心血管内皮功能,影响心血管系统正常生理功能。

4.1.3 其他健康影响

PM_{2.5}污染对人体其他方面健康影响也不容忽视。它可能影响免疫系统,降低人体免疫力,增加感染风险;对神经系统产生毒性作用,导致认知功能下降,尤其对儿童神经系统发育可能产生不良影响;甚至可能增加癌症风险,特别是肺癌等呼吸系统相关癌症。对于儿童、老年人和患有慢性疾病的人群,PM_{2.5}污染影响更为严重,可能导致更严重健康问题。

4.2 对环境的影响

4.2.1 影响能见度

高浓度的PM_{2.5}会显著降低大气能见度,形成雾霾天气。PM_{2.5}颗粒物对光线有散射和吸收作用,使光线传播受阻,导致能见度下降。雾霾天气不仅影响交通安全,增加交通事故发生率,还对航空、铁路等交通运输行业造成严重影响,给人们出行和经济活动带来诸多不便。

4.2.2 影响气候变化

PM_{2.5}在大气中可作为云凝结核,影响云的形成、发展和降水过程,进而对气候变化产生影响。一方面,PM_{2.5}增多可能使云层反射太阳辐射能力增强,导致地面接收太阳辐射减少,起到降温作用;另一方面,某些情况下,PM_{2.5}也可能影响云的降水效率,改变降水分布和强度,对区域气候产生复杂影响。此外,PM_{2.5}中的一些成分,如黑碳等,具有较强的吸光性,可吸收太阳辐射,对大气能量平衡产生影响,加剧气候变化^[3]。

4.2.3 损害生态系统

PM_{2.5}污染对生态系统也有负面影响。PM_{2.5}中的有害物质可通过大气沉降进入土壤和水体,影响土壤质量和水体生态系统。例如,重金属等污染物在土壤中积累,可能影响植物生长发育,降低农作物产量和品质;进入水体后,会对水生生物造成毒害,破坏水生生态平衡,影响整个生态系统的稳定性和生物多样性。

5 PM_{2.5} 污染防控策略

5.1 强化工业源治理

5.1.1 严格排放标准

进一步提高工业行业PM_{2.5}排放标准,加强对钢铁、水泥、化工等重点行业的排放监管。通过制定更严格的污染物排放限值,促使企业加大环保投入,升级污染治理设施,确保污染物达标排放。对超标排放企业,依法予以严惩,提高企业违法成本,形成有效震慑。

5.1.2 推广清洁生产技术

大力推广清洁生产技术,鼓励企业采用先进的生产

工艺和设备,从源头减少PM_{2.5}等污染物的产生。例如,在钢铁行业推广先进的烧结脱硫、脱硝和除尘技术,在化工行业推广绿色化学合成工艺等。政府可通过财政补贴、税收优惠等政策手段,支持企业开展清洁生产技术改造,推动工业绿色低碳发展。

5.1.3 加强工业污染源治理

加强对工业污染源的日常监管,建立完善的污染源监测体系。利用在线监测、卫星遥感等技术手段,实时掌握企业污染物排放情况。对重点污染源企业实施驻厂监管或加密监测,确保企业污染治理设施正常运行。同时,推进工业园区集中治污,建设集中式污水处理、废气处理设施,提高污染治理效率,降低治理成本。

5.2 优化交通结构

5.2.1 优先发展公共交通

加大对公共交通的投入,优先发展城市轨道交通、快速公交等大运量公共交通系统。优化公交线路设置,提高公共交通服务质量和覆盖范围,增加公共交通的吸引力,鼓励居民优先选择公共交通出行。通过提高公共交通出行分担率,减少私人机动车使用,从而降低交通源PM_{2.5}排放。

5.2.2 推广清洁能源车辆

制定优惠政策,鼓励购买和使用清洁能源车辆,如电动汽车、混合动力汽车、氢燃料电池汽车等。加大对清洁能源汽车充电、加氢基础设施建设的支持力度,完善充电、加氢网络布局,解决用户后顾之忧。逐步提高清洁能源车辆在城市机动车保有量中的比例,减少传统燃油汽车尾气排放,降低交通源对PM_{2.5}污染的贡献。

5.2.3 实施交通管理措施

采用交通需求管理措施,如实行机动车限行、限购政策,合理控制机动车保有量增长速度。优化城市交通信号灯设置,实施智能交通管理系统,提高道路通行效率,减少车辆怠速和频繁启停,降低机动车尾气排放。此外,加强对重型货车、柴油车辆的管理,限制其在城市核心区域的通行时间和范围,推广使用清洁柴油和尾气净化装置,减少此类车辆的PM_{2.5}排放。

5.3 控制建筑施工扬尘

5.3.1 加强施工现场管理

严格落实建筑工地扬尘污染防治措施,要求施工单位对施工现场进行全封闭管理,设置围挡、防尘网等设施,防止扬尘扩散。对施工现场的裸露地面、建筑材料等进行覆盖或绿化,定期对场地进行洒水降尘,特别是在干燥、大风天气,增加洒水频次。同时,规范建筑材料和建筑垃圾的运输、堆放和处置,防止在运输和装卸

过程中产生扬尘。

5.3.2 使用环保型建筑材料

鼓励建筑企业使用环保型建筑材料,如预拌混凝土、预拌砂浆等,减少施工现场搅拌作业产生的粉尘污染。推广使用低挥发性有机化合物(VOCs)含量的涂料、胶粘剂等装修材料,降低装修过程中污染物排放。政府可通过制定相关标准和规范,引导建筑行业选用环保型建筑材料,从源头上控制建筑施工扬尘污染。

5.3.3 强化扬尘排放监测与处罚

建立健全建筑工地扬尘排放监测体系,利用扬尘在线监测设备、无人机巡查等技术手段,对建筑工地扬尘排放情况进行实时监测。对扬尘污染防治措施落实不到位、扬尘排放超标的建筑工地,依法进行处罚,并责令限期整改。将建筑工地扬尘污染防治情况纳入企业信用评价体系,对扬尘污染严重的企业实施联合惩戒,促使企业自觉履行扬尘污染防治责任。

5.4 加强自然源管理

5.4.1 建立自然源监测预警机制

加强对火山爆发、沙尘暴、森林火灾等自然源的监测,建立完善的监测预警机制。利用卫星遥感、地面监测站等多种手段,实时掌握自然源的发生发展情况。通过科学分析和预测,提前发布预警信息,为相关部门和公众采取应对措施提供依据,降低自然源对PM_{2.5}污染的影响。

5.4.2 加强生态保护与修复

加大对森林、草原、湿地等生态系统的保护与修复力度,提高植被覆盖率。良好的植被可以起到防风固沙、净化空气的作用,减少沙尘暴等自然源对PM_{2.5}污染的贡献。通过实施植树造林、退耕还林还草、湿地保护等生态工程,改善生态环境质量,增强生态系统对自然源污染物的吸附和净化能力。

5.4.3 提高应对自然源污染的能力

制定针对自然源污染的应急预案,明确各部门在应对自然源污染事件中的职责和任务。加强应急物资储备,如防尘口罩、空气净化设备等,提高公众在自然源污染事件中的自我防护能力。组织开展应对自然源污染的演练,提高相关部门和人员的应急响应能力和协同作战能力,确保在自然源污染事件发生时能够迅速、有效地采取应对措施,降低污染影响。

结束语

城市大气中的PM_{2.5}污染,严重威胁人类健康与生态环境。其污染有明显区域差异,工业、交通、建筑施工与扬尘、自然源等,都是污染源。防控PM_{2.5}污染,要强

化工业源治理、优化交通结构、控制施工扬尘、加强自然源管理，全社会共同参与，改善空气质量，保障公众健康与生态可持续发展。未来，随着科技进步与环保意识提升，PM2.5污染防控有望取得更显著成效。

参考文献

[1]郝吉明,尹伟伦,岑可法.中国大气PM2.5污染防治策

略与技术途径[M].科学出版社,2016.

[2]钱新.城市大气颗粒物重金属污染特征及健康风险评估[J].南京大学学报(自然科学版),2024,60(3):451-463.

[3]周家斌.城市典型地区大气PM2.5化学组成、活性氧物种特征及其来源研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2024,48(4):613-618.