

城市PM2.5来源解析及防控策略

冯英英

河北晶森中恒绿色科技有限公司 河北 石家庄 050000

摘要：本文聚焦城市PM2.5，阐述其粒径小、成分复杂等特性及对环境与人体影响。解析来源维度与方法，关注不同季节、区域等关键点。提出固定源、移动源等防控策略，并给出技术、管理、协同及长效机制等保障措施。旨在为城市PM2.5防控提供全面指导，改善空气质量，保障公众健康，推动城市可持续发展。

关键词：城市PM2.5；来源解析；防控策略；保障措施

引言：随着城市化进程加快，城市空气质量问题愈发凸显，PM2.5成为影响空气质量的关键因素。其来源广泛，涉及工业、交通、生活等多个领域，成分复杂且危害严重，不仅降低大气能见度、改变气候，还对人体健康造成威胁。准确解析其来源并制定有效防控策略，对改善城市空气质量、保障公众健康、推动城市可持续发展具有重要意义。

1 城市PM2.5的基础认知

1.1 PM2.5的核心特性

PM2.5物理化学属性特殊，粒径集中在2.5微米及以下，细小粒径使其具备长时间悬浮能力；成分复杂，包含粉尘、烟尘及重金属、多环芳烃等有害物质，不同来源的成分差异明显；悬浮稳定性强，在大气中可停留数天至数周，易随气流扩散至大范围区域^[1]。其环境迁移特征突出，扩散范围不受城市边界限制，能随大气环流跨区域分布；沉降规律受气象条件影响，静风、高湿度环境下易浓度累积，降雨、大风天气则加速沉降；跨区域传输特性显著，可在不同城市与区域间流动，形成区域性污染关联。PM2.5对环境与人体存在多方面潜在影响，会降低大气能见度、改变局部气候，干扰植物光合作用与土壤成分；还能穿透呼吸道屏障进入肺部，甚至进入血液循环，对呼吸系统、心血管系统产生不良作用。

1.2 城市PM2.5来源解析与防控的核心价值

来源解析能为防控提供科学依据，明确各类排放源贡献比例，避免防控工作盲目开展，使资源集中投向关键源头，提升防控措施的针对性与有效性。有效防控可改善城市空气质量，降低PM2.5浓度，减少雾霾天气，恢复大气能见度，同时修复城市生态系统，提升整体环境品质。防控工作还能保障公众健康，减少相关疾病发生风险；推动城市产业结构优化与能源结构转型，促进绿色生产生活方式形成，为城市可持续发展奠定基础。

1.3 城市PM2.5来源解析与防控的核心目标

首要目标是实现城市PM2.5来源清晰界定与占比明确，区分本地与外部、一次与二次排放源，明确各类来源的贡献程度，为防控工作提供清晰方向。核心目标之一是达成防控措施针对性强、实施效果显著，基于来源解析结果制定差异化方案，跟踪PM2.5浓度变化评估效果，确保切实降低污染浓度。重要目标是构建长效防控机制、维持空气质量稳定改善，建立常态化监测解析机制，结合城市发展动态调整策略，推动防控融入日常管理，巩固改善成果。

2 城市PM2.5的来源解析维度与方法

2.1 城市PM2.5的主要来源维度

固定源是城市PM2.5重要来源，含多个稳定排放场景。工业排放来自能源加工、冶金、化工等过程，燃料燃烧与原料加工释放颗粒物；燃煤供热集中冬季，锅炉燃烧产大量含尘烟气；居民生活燃烧与取暖、烹饪用的煤炭、液化气相关，燃烧不充分易生颗粒物。移动源呈动态分布。机动车尾气含碳颗粒及污染物，可转化为PM2.5；非道路机械（工程机械、农业机械等）作业时，发动机释放颗粒物；船舶航空器排放集中港口、机场，燃油燃烧与起降均产颗粒物。面源覆盖广且分散。建筑扬尘来自土方开挖、物料堆放运输，风力下易生粉尘；道路扬尘源于车辆带起灰尘及保洁不及时积尘扩散；农业扬尘与耕作、收割相关，干燥天气易成粉尘；餐饮油烟中油滴与污染物会转化为PM2.5。其他来源影响浓度。二次颗粒物由二氧化硫、氮氧化物等气态前体物化学反应形成；区域传输来自周边或远距离PM2.5随气流迁移；自然源含沙尘、花粉、火山灰等自然过程颗粒物。

2.2 城市PM2.5来源解析的核心方法

采样与检测方法是获取基础数据的关键。环境空气采样通过固定监测点位或移动设备，收集不同时段、区域的空气样本，捕捉PM2.5时空分布特征；颗粒物成分实验室分析对样本检测，识别元素成分、有机化合物、

水溶性离子等,为来源判断提供依据。源解析技术手段为来源识别提供专业工具^[2]。化学质量平衡法对比受体点与各排放源的成分谱,计算不同来源贡献比例;正定矩阵因子分解法用数学模型分解监测数据,提取潜在排放源类型并估算贡献;受体模型法以受体点监测数据为基础,结合源排放特征,反推各来源对PM_{2.5}的贡献程度。数据整合与验证方法保障解析结果可靠。多源数据交叉比对将采样检测、模型计算与实际排放清单数据相互验证,排查偏差;解析结果合理性评估结合城市产业结构、交通流量、气象条件,判断结果是否符合污染特征,确保科学可信。

2.3 城市PM_{2.5}来源解析的关键关注点

需关注不同季节、时段来源的动态变化。季节上,冬季燃煤供热占比上升,夏季二次颗粒物生成占比可能增加;时段上,早晚高峰机动车排放贡献突出,夜间工业生产排放相对稳定,把握规律可提升解析针对性。不同区域来源的差异是重要关注点。城区受机动车、餐饮油烟等面源影响显著,郊区农业生产扬尘与自然源贡献更高,工业区以工业与燃煤排放为主,明确区域差异能为分区防控提供依据。一次排放与二次生成来源的占比及关联同样关键。需区分直接排放的一次颗粒物与气态前体物转化的二次颗粒物,明确两者占比,同时分析二次生成前体物来源(如工业、机动车排放对二次颗粒物的贡献),为阻断二次生成链条提供方向。

3 城市PM_{2.5}的防控策略

3.1 固定源防控策略

工业源管控需结构与技术协同发力。优化产业结构,淘汰高耗能、高排放落后产能,推动产业向低污染、低能耗转型;推广清洁生产技术,采用密闭式设备减少生产粉尘逸散;升级污染治理设施,配备高效除尘、脱硫脱硝设备,提升废气中颗粒物与气态污染物去除效率,降低工业排放对PM_{2.5}的贡献。燃煤源治理聚焦能源结构与效率提升。推进能源结构调整,削减煤炭消费占比,推广天然气、可再生能源等清洁能源替代;鼓励企业使用高效燃煤设备,通过提升燃煤效率减少颗粒物排放;对燃煤企业实施严格管控,要求燃煤烟气经深度处理后达标排放,降低含尘烟气的大气影响。生活源优化侧重清洁能源推广与行为规范。普及电、天然气等清洁能源用于取暖、烹饪,减少煤炭与劣质燃料燃烧;通过宣传引导居民使用合格燃料并保证充分燃烧,减少不完全燃烧产生的颗粒物;要求餐饮企业与家庭安装油烟净化装置,降低油烟中油滴与污染物转化形成的PM_{2.5}。

3.2 移动源防控策略

机动车污染管控需多环节降低排放。推动车辆排放标准升级,实施更严格排放限值并淘汰高排放老旧车辆;加大纯电动、混合动力等新能源汽车支持力度,扩大其在公共交通与私人出行中的使用比例;完善公共交通网络,鼓励绿色出行,减少机动车上路数量以降低尾气排放总量。非道路移动机械治理需强化标准与监管。制定并实施非道路移动机械严格排放要求,限制高排放机械使用;推广电动、天然气等清洁动力的工程机械与农业机械;建立机械登记备案与排放检测制度,对超标排放机械整改或淘汰,减少作业中颗粒物排放。其他移动源管控需聚焦重点区域与环节。要求港口船舶使用低硫燃油,推动岸电系统建设以减少停靠期间排放;机场推广电动地勤设备,降低航空器辅助动力装置使用频率;港口码头采用密闭运输、喷淋降尘等措施,减少作业中颗粒物扩散。

3.3 面源污染防控策略

扬尘污染治理需全流程减少粉尘扩散。施工工地需设置围挡、安装喷淋系统,覆盖裸露土方,运输渣土车辆采取密闭措施;推广机械化清扫与高压冲洗结合的方式,增加道路清扫频次以降低路面积尘;农田耕作、收割期间采取洒水降尘、覆盖防护等措施,减少农业生产中的粉尘排放。餐饮油烟管控需从设备与布局入手。要求餐饮企业安装符合标准的油烟净化器并定期维护,提升净化效率;合理规划餐饮企业选址,避免在居民密集区集中布局高油烟排放场所,减少对周边环境的影响。其他面源治理需覆盖易忽略环节。对城市闲置土地、道路两侧裸露区域采取绿化、硬化或覆盖防尘网等措施,减少风蚀扬尘;严禁露天焚烧生活垃圾、农业秸秆,推广废弃物资源化利用与无害化处理技术,减少焚烧产生的颗粒物。

3.4 区域协同与二次污染防控策略

区域协同防控需打破行政边界。建立跨区域联防联控机制,推动不同城市、地区之间共享PM_{2.5}监测数据与污染来源信息,统一制定防控目标与措施;统筹区域污染源管控,对跨区域分布的工业企业、移动源等进行协同治理,避免污染转移,形成区域防控合力,降低区域传输输入对城市PM_{2.5}的影响。二次污染防控需阻断生成链条^[3]。控制前体物排放,针对二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物等二次颗粒物前体物,加强工业、移动源、生活源等排放源的管控,减少前体物总量;优化气象条件应对措施,根据气象预报提前做好污染预警,在静稳、高湿度等不利于污染物扩散的天气条件下,采取应

急减排措施,抑制二次颗粒物生成与累积。

4 城市 PM2.5 防控策略实施的保障措施

4.1 技术保障

防控技术研发与推广需聚焦核心需求。清洁生产技术方面,研发低能耗、低排放工艺,如工业密闭式加工、燃煤高效燃烧技术,减少颗粒物源头生成;污染治理技术上,升级除尘、脱硫脱硝及油烟净化设备,提升污染物去除效率,同时研发二次颗粒物前体物控制技术,阻断二次污染;监测预警技术需优化PM2.5实时监测设备,提升数据精度与传输速度,开发污染扩散模拟模型,为防控决策提供支撑,通过技术培训、示范项目推动成熟技术落地。技术支撑平台搭建需强化数据整合应用。推进环境监测网络建设,优化点位布局,覆盖城区、郊区、工业区,实现PM2.5浓度与成分全方位监测;构建数据分析与决策支持平台,整合监测、污染源、气象等多源数据,通过数据挖掘识别污染规律,为防控策略调整、应急措施启动提供依据,同时实现数据共享,支撑跨部门、跨区域协同防控。

4.2 管理保障

防控管理体系完善需明确权责与流程。清晰划分环保、工信、交通、住建等部门防控职责,避免交叉遗漏,如环保部门统筹监督、工信部门管工业源、交通部门主导移动源治理;优化管控流程,制定防控方案制定、实施到效果评估的全流程规范,明确各环节时间节点与标准;加强监督检查,定期排查企业排放与防控措施落实情况,对违规行为督促整改,确保防控要求落地。动态监管机制建立需注重实时调整。将实时监测数据用于日常监管,通过数据异常预警发现高排放源或漏洞,如某区域PM2.5浓度骤升时,快速排查管控;建立防控效果评估机制,定期分析浓度变化、污染源贡献占比,评估成效并优化措施,如某类污染源管控不佳,及时调整治理技术或强化监管。

4.3 协同保障

政企协同需强化责任与参与。通过政策引导与激励,推动企业落实防控主体责任,如对主动升级环保设备、实现超低排放的企业给予税收优惠或补贴;搭建政

企沟通平台,组织企业交流经验,鼓励参与技术研发与标准制定,引导企业将防控要求融入生产,形成政府监管、企业自律的协同格局。公众参与需提升意识与行动。加强环保宣传,通过媒体、社区普及PM2.5危害与防控知识,提升公众意识;鼓励践行绿色生活,如选公共交通、减一次性用品、参与垃圾分类,从细节减少排放;畅通监督渠道,设举报热线与网络平台,方便公众举报超标排放、露天焚烧,形成全民参与氛围。

4.4 长效机制保障

防控规划制定需衔接城市发展。结合城市产业、交通、生态等整体规划,制定阶段性PM2.5防控目标,如短期降低重点污染源排放、中期实现区域浓度达标、长期构建绿色低碳城市环境;配套制定具体实施方案,明确各阶段重点任务、责任主体与时间节点,确保防控工作与城市发展同步,避免脱节。机制优化迭代需适应动态变化。定期跟踪防控效果与环境变化,如产业结构调整、气象条件改变时,及时评估现有防控策略适用性;根据评估结果与新污染问题,优化防控措施与管理机制,如新增污染源类型时,补充相应管控办法,确保防控机制贴合城市PM2.5污染实际,实现防控持续有效。

结束语

城市PM2.5来源解析与防控是一项长期且复杂的系统工程。通过全面解析其来源,制定针对性防控策略,并从技术、管理、协同及长效机制等多方面提供保障,可有效降低PM2.5浓度,改善空气质量。未来需持续关注污染动态变化,不断优化防控措施,形成政府、企业、公众共同参与的良好格局,实现城市空气质量的持续改善。

参考文献

- [1]陈乔乔.PM2.5污染的精细化来源解析与针对性防控策略[J].生态与资源,2025(5):172-174.
- [2]香乐平.城市大气污染防治策略分析[J].中国资源综合利用,2023,41(03):138-140.
- [3]周慧霞,崔宝荣,潘颖,等.北京市丰台区大气PM2.5中多环芳烃污染特征及来源分析[J].环境卫生学杂志,2024,14(12):987-994.