

固原市区 PM_{2.5} 的形成机制与防治研究

马晓华

固原市生态环境监测站

DOI:10.12238/eep.v8i5.2682

[摘要] 随着固原市区PM_{2.5}污染问题的日益凸显,使得其对居民健康和生态环境构成了严重威胁。基于此,本文深入剖析了固原市区PM_{2.5}的形成机制,从工业排放、机动车尾气、生活源与扬尘等方面探究其来源,分析了其化学成分与生成路径,同时探讨了气象因素对其时空分布的影响,并结合健康影响评估,提出针对性的防治策略,包括政策法规、技术管理措施等,旨在为改善固原市区空气质量提供科学依据和实践指导。

[关键词] 固原市区; PM_{2.5}; 形成机制; 防治措施

中图分类号: X83 文献标识码: A

Study on the Formation Mechanism and Prevention of PM_{2.5} in the Urban Area of Guyuan Xiaohua Ma

Xiaohua Ma

Guyuan Ecological Environment Monitoring Station

[Abstract] PM_{2.5} pollution in the urban area of Guyuan is an increasingly prominent issue, posing a threat to the health of residents and the ecological environment. This paper provides an in-depth analysis of the formation mechanisms of PM_{2.5} in Guyuan's urban area, exploring its sources from industrial emissions, vehicle exhaust, residential activities, and dust. It analyzes the chemical composition and formation pathways of PM_{2.5}, discusses the influence of meteorological factors on its spatial and temporal distribution, and, incorporating health impact assessments, proposes targeted prevention and control strategies, including policies, regulations, and technical management measures. The aim is to provide a scientific basis and practical guidance for improving air quality in Guyuan's urban area.

[Key words] Guyuan urban area; PM_{2.5}; formation mechanism; prevention and control measures

引言

近年来,随着城市化进程的加速和经济的快速发展,固原市区PM_{2.5}污染问题日益严重,对居民健康和生态环境构成威胁。研究表明,固原市PM_{2.5}浓度在冬季较高,夏季较低,且机动车尾气、工业排放等是主要污染源。因此,深入研究固原市区PM_{2.5}的形成机制并提出有效的防治措施,对于改善空气质量、保障居民健康具有重要意义。

1 PM_{2.5}的来源分析

1.1 工业排放

工业活动是固原市区PM_{2.5}的主要来源之一。固原市的工业以能源化工、建材等为主,这些行业排放大量的废气,其中包含多种颗粒物和气态污染物。例如,燃煤电厂和工业锅炉的废气中含有的二氧化硫(SO₂)和氮氧化物(NO_x)在大气中可转化为硫酸盐和硝酸盐,进而形成二次颗粒物。此外,工业生产过程中的扬尘也是PM_{2.5}的重要贡献者。

1.2 机动车尾气

机动车尾气是固原市区PM_{2.5}的另一重要来源。随着城市机动车保有量的增加,尾气排放对空气质量的影响日益显著。机动车尾气中含有大量的挥发性有机物(VOCs)、氮氧化物(NO_x)和颗粒物。这些物质在大气中经过光化学反应,生成二次有机气溶胶(SOA),进一步加剧PM_{2.5}的污染。研究表明,机动车尾气对北京等城市PM_{2.5}的贡献率在20%-35%之间,固原市虽与北京有所不同,但机动车尾气仍为重要污染源。

1.3 生活源与扬尘

生活源和扬尘也是固原市区PM_{2.5}的重要贡献者。生活源主要包括餐饮油烟、垃圾焚烧等,这些活动直接排放大量的颗粒物。扬尘则主要来自建筑施工、道路清扫等,这些活动产生的颗粒物在空气中悬浮,增加了PM_{2.5}的浓度。例如,冬季取暖时的煤炭燃烧和餐饮油烟是生活源PM_{2.5}的主要来源。

2 PM_{2.5}的化学成分与生成路径

2.1 主要化学成分

固原市区PM_{2.5}的主要化学成分包括硫酸盐、硝酸盐、铵盐、

有机碳(OC)、元素碳(EC)以及各种金属元素。其中,硫酸盐、硝酸盐和铵盐主要来源于气态前体物的化学转化。有机碳和元素碳主要来自燃烧过程,如机动车尾气、工业燃烧以及生物质燃烧。此外,地壳物质如钙、铝、硅等也是PM_{2.5}的重要组成部分。这些成分的相对含量会因季节、气象条件以及污染源的差异而有所不同。

2.2 二次生成机制

PM_{2.5}的二次生成机制较为复杂,主要涉及气态前体物在大气中的化学转化。例如,二氧化硫(SO₂)和氮氧化物(NO_x)在大气中经过氧化反应分别生成硫酸盐和硝酸盐。此外,挥发性有机物(VOCs)在大气中经过光化学反应生成二次有机气溶胶(SOA),这也是PM_{2.5}的重要组成部分。在特定条件下,如高湿度环境,气溶胶中的液相反应也会促进二次颗粒物的生成。例如,有机磷酸酯(OPEs)的前体物在颗粒物中的液相氧化反应是其二次生成的关键机制。这些二次生成的颗粒物在大气中积累,显著增加了PM_{2.5}的浓度。

2.3 源解析与贡献率

通过源解析技术可以明确不同污染源对固原市区PM_{2.5}的贡献率。研究表明,机动车尾气、燃煤、工业排放以及扬尘是PM_{2.5}的主要来源。在一些城市,二次无机气溶胶(如硫酸盐、硝酸盐和铵盐)对PM_{2.5}的贡献率较高。此外,生物质燃烧在特定季节(如冬季取暖期)也会对PM_{2.5}产生显著影响。不同污染源的贡献率会因季节、气象条件以及区域特征而有所变化。例如,在冬季,由于取暖需求增加,燃煤和生物质燃烧的贡献率可能会显著上升。

3 气象因素对PM_{2.5}的影响

3.1 气温与湿度的作用

气温和湿度对PM_{2.5}浓度的影响较为复杂。气温较低时,大气稳定性增强,污染物扩散能力减弱,导致PM_{2.5}浓度升高。此外,低温条件下,相对湿度较高,PM_{2.5}的吸湿性增强,颗粒物吸湿增长,进一步提高浓度。在夏季和秋季,相对湿度增加会促进降水,对PM_{2.5}有稀释和沉降作用,从而降低其浓度。然而,在冬季,高湿度环境不利于降水形成,反而会使PM_{2.5}浓度增加。

3.2 风向与风速的影响

风速对PM_{2.5}浓度的影响较为显著。一般来说,风速越大,越有利于污染物的扩散和稀释,从而降低PM_{2.5}浓度。当风速较小时,污染物容易在局部地区积聚,导致浓度升高。此外,风向也会影响PM_{2.5}的分布。例如,当主导风向来自污染源较少的区域时,PM_{2.5}浓度相对较低;而当风向来自污染源较多的区域时,浓度则会升高。

3.3 气压与边界层高度的作用

气压和边界层高度对PM_{2.5}浓度也有重要影响。气压较低时,大气上升运动增强,有利于污染物的扩散,从而降低PM_{2.5}浓度。相反,高压控制下,大气稳定,污染物扩散受抑制,浓度容易升高。边界层高度的变化也会影响PM_{2.5}的垂直扩散。边界层高度越高,污染物的稀释空间越大,浓度越低。在冬季,边界层高度较

低,大气结构稳定,不利于污染物的扩散,导致PM_{2.5}浓度升高。

4 固原市区PM_{2.5}的时空分布特征

4.1 季节分布规律

固原市区PM_{2.5}浓度的季节分布呈现出明显的规律性,总体表现为冬季最高,夏季最低,春秋两季居中。冬季由于取暖需求增加,燃煤排放显著上升,同时低温和静稳天气条件不利于污染物扩散,导致PM_{2.5}浓度大幅升高。夏季则因降水较多、温度较高,有利于污染物的稀释和沉降,PM_{2.5}浓度相对较低。此外,春季和秋季的PM_{2.5}浓度介于冬季和夏季之间,这与这两个季节的气象条件和人为活动强度有关。

4.2 空间分布差异

固原市区PM_{2.5}浓度的空间分布存在显著差异,主要受地形、气象条件和污染源分布的影响。工业区和交通干道附近的PM_{2.5}浓度通常较高,这是由于这些区域的工业排放和机动车尾气排放集中。而郊区和公园等绿地较多的区域,PM_{2.5}浓度相对较低,这得益于植被对污染物的吸附和净化作用。此外,地形因素也会影响PM_{2.5}的分布,例如,山谷地区在夜间容易形成逆温层,导致污染物积聚,而山顶和开阔地带则有利于污染物的扩散。

5 固原市区PM_{2.5}的健康影响评估

5.1 对呼吸系统的影响

PM_{2.5}对呼吸系统的危害主要体现在其能够穿透人体的自然防御机制,深入呼吸道和肺部。由于PM_{2.5}的粒径极小,可以携带多种有害物质,如重金属、化学物质和病原体,这些物质会刺激和腐蚀呼吸道黏膜,导致呼吸道炎症、支气管炎、肺炎等疾病。长期暴露于高浓度的PM_{2.5}环境中,还可能引发或加重哮喘、慢性阻塞性肺病等慢性呼吸系统疾病,导致肺功能下降。此外,PM_{2.5}还可能影响儿童的肺功能发育,增加成年后患呼吸系统疾病的风险。

5.2 对心血管系统的影响

PM_{2.5}对心血管系统的影响主要通过引发炎症反应和氧化应激机制实现。这些颗粒物能够穿透肺泡进入血液循环,进而影响心脏和血管的正常功能。研究表明,PM_{2.5}的浓度与心血管疾病的发病率和死亡率呈显著正相关,短期暴露于高浓度PM_{2.5}环境中即可显著增加心脏病发作、中风等心血管事件的风险。长期暴露则可能导致血管内皮功能障碍,促进动脉粥样硬化的发展,进而引发冠心病、高血压等慢性心血管疾病。

6 固原市区PM_{2.5}的防治政策与法规

6.1 国家政策的落实

国家层面的政策为固原市区PM_{2.5}污染治理提供了基本框架和总体要求。近年来,国家出台了一系列大气污染防治政策,如《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》等,明确了空气质量改善的目标和任务。固原市积极响应国家政策,通过加强工业污染治理、机动车尾气监管、能源结构调整等措施,有效降低了PM_{2.5}的排放。此外,国家还通过中央生态环境保护督察等机制,加强对地方政策落实情况的监督,确保各项措施落地见效。

6.2 地方政策的制定与实施

固原市结合自身实际情况,制定了一系列地方政策,以细化和落实国家政策要求。例如,固原市出台了《固原市空气质量持续改善行动实施方案》,明确了各部门的职责和任务,推动了大气污染防治工作的深入开展。这些地方政策充分考虑了固原市的产业结构、能源消费特点和气象条件等因素,具有较强的针对性和可操作性。通过地方政策的实施,固原市在工业污染治理、扬尘管控、清洁能源推广等方面取得了显著成效。

6.3 法规的执行与监督

法规的严格执行是确保PM2.5污染治理措施落实的关键。固原市通过建立健全环境执法机制,加强对大气污染防治法规的执行力度。具体措施包括:一是提高执法透明度,通过建立环境监督执法信息平台,实现执法过程的数字化和透明化;二是加强对执法人员的专业化培训,提高其业务能力和职业道德水平;三是加大对环境违法行为的处罚力度,提高违法成本,形成有效震慑。

7 PM2.5防治的技术与管理措施

7.1 污染源减排技术

污染源减排技术是降低PM2.5浓度的关键手段之一。近年来,随着科技的不断进步,多种先进的污染源减排技术得到了广泛应用。例如,工业领域中,烟气脱硫脱硝一体化技术通过催化剂的作用,在烟气中同时去除二氧化硫和氮氧化物,显著降低了工业排放。此外,无水印刷技术作为一种源头替代技术,在印刷行业得到了广泛应用,能够有效减少挥发性有机物(VOCs)和二氧化碳的排放。在能源领域,碳捕集与封存技术(CCS)通过化学、生物和物理捕集等方式,将二氧化碳从工业排放中分离出来并进行封存,减少了温室气体排放。这些技术的应用不仅降低了污染物排放,还提高了资源利用效率,为PM2.5污染治理提供了有力支持。

7.2 环境监测与预警系统

环境监测与预警系统是PM2.5污染治理的重要支撑。通过建立完善的监测网络,可以实时获取大气污染物的浓度和分布情况,为污染治理提供科学依据。现代监测技术如自动浮标、遥感

探测、无人船探测等能够实时、准确地获取环境数据,为后续的分析 and 预警提供支持。此外,将环境监测与预警系统相结合,实现环境问题的预测和预警,能够为相关部门和公众提供及时的预警信息,为应急处置提供科学依据。

7.3 联防联控与协同治理

联防联控与协同治理是解决PM2.5污染问题的有效途径。通过跨区域合作,可以实现资源共享和优势互补,提高污染治理的整体效果。例如,乌达区与阿拉善高新技术开发区通过签订区域联防联控协议,建立了环境信息共享机制和信访举报推送机制,推动了区域异味问题的协同处置。此外,通过联合执法和交叉互查,可以加强对污染源的监管力度,确保各项治理措施的落实。在园区层面,通过建设监测监控体系,实现企业环保设施的实时监控和预警,能够有效提升区域协同治污能力。这种联防联控与协同治理机制不仅提高了污染治理的效率,还促进了区域环境质量的持续改善。

8 结语

本文通过对固原市区PM2.5的形成机制与防治措施的系统研究,明确了PM2.5的来源、化学成分、气象影响因素以及时空分布特征,并对其健康影响进行了评估。同时,提出了针对性的政策、技术和管理措施,为固原市区空气质量的改善提供了科学依据和实践指导。未来需要进一步加强多部门协作,推动公众参与,持续优化防治措施,以实现固原市区空气质量的长期稳定改善。

[参考文献]

- [1]张涵,姜华,高健,等.PM2.5与臭氧污染形成机制及协同防控思路[J].环境科学研究,2022,35(03):611-620.
- [2]耿心泽,刘畅,刘旭艳,等.2020年1月哈尔滨PM2.5重污染形成机制[J].应用气象学报,2024,35(06):737-746.
- [3]温晓娅,崔阳,郭利利,等.太原市冬季大气PM2.5中硫酸盐污染特征及其形成机制研究[J].环境科学学报,2024,44(09):54-66.

作者简介:

马晓华(1986--),女,回族,宁夏固原人,本科,工程师,研究方向:环境空气治理。