

成都市冬季一次重污染过程大气颗粒物粒径谱分布

李琳 贾凤菊 冯程 肖况¹

(四川省成都生态环境监测中心站, 成都 610066)

【摘要】: 为探究重污染天气过程中颗粒物数浓度水平和分布特征, 利用电迁移粒径谱仪 (SMPS) 和空气动力学粒径谱仪 (APS) 等, 对成都市 2020 年 12 月 21~28 日的大气颗粒物 (12.2nm~20 μm) 数浓度谱进行观测分析。结果表明, 污染期间颗粒物数浓度主要集中在积聚模态粒径段, 数浓度谱呈三峰分布, 主峰值出现在 723nm 左右, 积聚模态颗粒物数浓度的增加是导致此次污染过程颗粒物数浓度快速升高的主要原因。各模态数浓度日变化特征明显, 凝结核模态呈单峰分布, 浓度高值出现在午间; 爱根核模态与积聚模态呈双峰分布, 浓度高值分别出现在午间和晚间。受站点周边交通源和生活源影响, 颗粒物数浓度高值区主要分布在西北和东南风向 1.0~1.5m/s 风速下, 相对湿度和能见度与积聚模态颗粒物数浓度相关性最为显著。因此, 降低积聚模态数浓度有助于缓解颗粒物污染并提高大气能见度。

【关键词】: 重污染 颗粒物 数浓度 粒径分布 成都

【中图分类号】: X513 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1001-3644 (2022) 03-0088-06

前言

大气颗粒物是影响我国环境空气质量的主要污染物之一, 其来源复杂多样, 不仅会对环境和气候造成显著影响, 而且严重威胁到人类的健康。粒径分布是颗粒物的重要特征, 决定了颗粒物自身的性质、环境效应以及健康效应^[1]。近年来, 国内已有很多学者针对大气颗粒物粒径分布特征开展了相关研究, 但主要集中在京津冀、长三角以及珠三角等地区, 如吴志军^[2]等研究了北京市在重污染和新粒子生产过程中大气颗粒物数谱分布的演变过程; 夏志勇^[3]研究了济南市冬季大气颗粒物的粒径谱分布特征; 尚倩^[4]等研究了南京市冬季气溶胶粒子谱分布及其对能见度的影响; 杜盈盈^[5]等对长三角地区气溶胶光学性质与新粒子生成进行了观测; 代海婷^[6]等分析了广州亚运会和残运会期间的大气细粒子谱特征; 邵玉海^[7]等研究了三明市大气颗粒物数浓度与粒径分布的季节特征。成都对颗粒物的研究目前主要集中在浓度分布特征、化学组分以及来源解析等方面, 对颗粒物数浓度及粒径谱特征的研究很少。本文利用在线监测仪对成都市一次重污染天气过程中颗粒物的数谱分布特征及其影响因素进行探讨与分析, 期为研究成都市大气颗粒物理化特性提供数据支撑, 同时进一步为成都市颗粒物防控政策的制定提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 观测地点与时间

观测点位设在四川大学科创中心楼顶 (30° 37' 45'' N, 104° 4' 38'' E), 距离地面 25m, 四周 200m 内无高大建筑物, 视野开阔、气流稳定; 点位周围主要为交通干道、居民混合区和学校, 无明显工业源, 对评价成都市中心城区空气质量具有良好的代表性。2020 年 12 月 21 日~28 日成都市出现持续的轻度至重度颗粒物污染, 本研究从颗粒物粒径分布的角度对此次污染过程进行分

作者简介: 李琳 (1989-), 女, 四川自贡人, 2011 年毕业于四川农业大学环境工程专业, 工程师, 从事大气环境监测工作。

析。

1.2 观测仪器与方法

气象参数的监测采用芬兰 Vaisala 生产的 WXT520 气象变送器，可测量风速、风向、降水、气压、温度和相对湿度。能见度的监测采用 Biral(UK)生产的 SWS-200 监测仪，主要通过监测空气前向散射光强计算得到能见度值。PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 的监测均采用美国热电公司生产的 SHARP5030 颗粒物监测仪，监测原理主要通过光散射法和 β 射线吸收法同步测量。

颗粒物数浓度分布的监测采用美国 TSI 生产的电迁移粒径谱仪(SMPS3938)和空气动力学粒径谱仪(APS3321)。SMPS 主要由静电分级器(EC)、差分电迁移率分析仪(DMA)和凝聚核粒子计数器(CPC)组成，利用不同粒径大小的粒子在电场中具有不同的电迁移性的特点，筛选目标粒径粒子并使其增大体积，进行光学计数，其粒径测量范围为 12.2~593.5nm。APS 通过测量在加速气流中不同大小粒子通过检测区域的飞行时间来得到某一粒径粒子的空气动力学直径，其测量范围为 0.5~20 μm。将两台粒径谱仪所测数据进行合并，可以得到 12.2nm~20 μm 范围内完整的粒径分布信息。

2 结果与讨论

2.1 污染期间气象分析

污染期间，成都市以静稳天气为主，平均气温为 7.7℃，平均相对湿度为 63%，平均风速为 0.9m/s，主导风向以偏南风为主。

2.2 颗粒物监测结果

污染期间 PM₁、PM_{2.5}、PM₁₀、TSP 的平均浓度分别为 71.1±21.5 μg/m³、120.4±48.3 μg/m³、169.2±72.0 μg/m³ 和 247.7±95.9 μg/m³，其中 PM₁ 占 PM_{2.5} 质量浓度的 59.1%，PM_{2.5} 占 PM₁₀ 质量浓度的 71.2%，本次污染过程中颗粒物污染主要为细粒子(空气动力学粒径小于或者等于 2.5 μm)污染。由图 1 可知，污染期间颗粒物浓度变化趋势基本一致，相关性显著，具有同源性；从 21 日起，由于气象扩散条件转差，颗粒物不断累积并在 26 日夜间呈爆发式增长，PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的小时最高浓度达到 239 μg/m³(27 日 16 时)和 325 μg/m³(27 日 21 时)；29 日凌晨冷空气主体进入，扩散条件明显好转，颗粒物浓度急剧下降，污染过程结束。

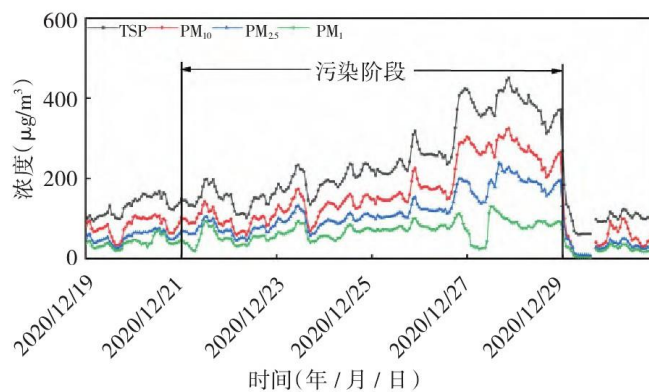


图 1 污染期间颗粒物浓度变化趋势

2.3 粒径谱仪观测结果

2.3.1 颗粒物数浓度及粒径分布特征

如图 2 所示, 污染期间成都市颗粒物小时平均数浓度粒径主要集中在 1000nm 粒径段以下, 以亚微米颗粒物(粒径小于 $1\ \mu\text{m}$) 污染为主。其峰形态主要呈三峰分布, 峰值分别出现在 68nm、269nm、723nm 处, 其中主峰值出现在 723nm 左右, 第二个峰值粒径与彭爽^[8]等人对成都市 2018 年 10 月~2019 年 9 月的观测结果一致(峰值粒径为 250~280nm)。

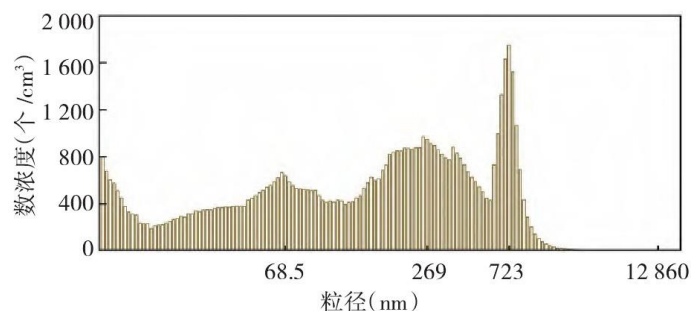


图 2 污染期间颗粒物平均数浓度粒径分布

为了更全面的分析大气颗粒物粒径分布特征, 将本次观测期间的颗粒物粒径划分为四种模态进行讨论: 凝结核模态(10~20nm)、爱根核模态(20~100nm)、积聚模态(100~1000nm)和粗粒子模态($1\sim 20\ \mu\text{m}$)^[9]。污染期间各模态粒子数浓度小时均值, 凝结核模态、爱根核模态、积聚模态、粗粒子模态数浓度小时均值分别为 5776 ± 1261 个/ cm^3 、 19713 ± 6647 个/ cm^3 、 40831 ± 10181 个/ cm^3 、 1020 ± 750 个/ cm^3 , 分别占总粒子数浓度的 8.6%、29.3%、60.6%、1.5%。由此可见, 污染期间成都市颗粒物主要以积聚模态形式存在, 这与许鹏举^[10]对济南城区灰霾期间大气颗粒物数浓度分布的研究结果一致。从图 3 可以看出, 污染期间颗粒物明显向大粒径方向偏移, 在 723nm 前后形成明显的浓度高值区; 与此同时, 从 21 日起该粒径段数浓度不断累积增多, 并在 26 日夜间呈爆发式增长, 至 27 日 00:00 积聚模态数浓度小时最大均值达到 65742 个/ cm^3 , 是整个污染期间平均值的 1.6 倍; 这一浓度高值区一直持续至 29 日凌晨, 其后伴随冷空气的进入, 高值区消失。因此, 积聚模态颗粒物数浓度的增加是导致此次污染过程颗粒物数浓度快速升高的主要原因。

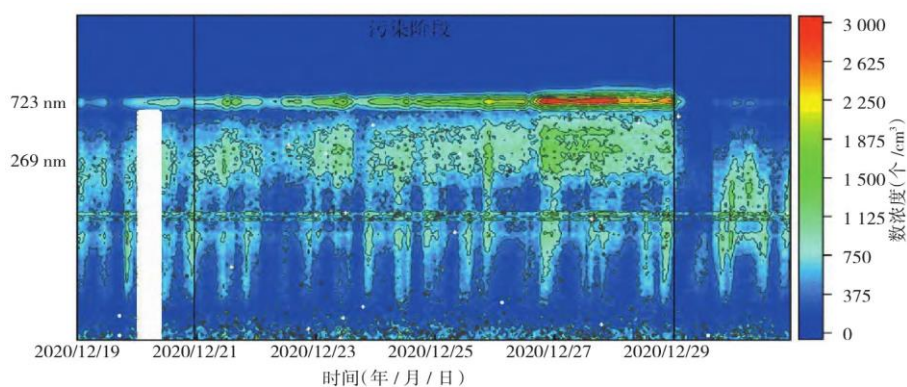


图 3 颗粒物数浓度粒径谱分布

2.3.2 颗粒物数浓度日变化特征

图 4 给出了污染期间各模态颗粒物数浓度日变化情况,由于粗粒子模态数浓度相对其它模态太低,故不做分析。从图中可以看出在此次污染过程中,凝结核模态从 8:00 左右开始出现上升并在午间 12:00 达到峰值,午后又逐渐降低,这与太阳辐射增强有利于光化学反应生成二次颗粒物有关。爱根核模态数浓度呈双峰分布,从早间开始,其数浓度不断上升,在 13:00 达到第一个峰值,这主要是受早高峰机动车排放源以及凝结核模态数浓度增加的双重影响作用;午后,由于边界层抬升,爱根核模态数浓度不断下降,并在 16:00 达到最低值;随后由于晚高峰及人类活动加剧,爱根核模态在 20:00 达到第二个浓度峰值,这与济南市春季爱根核模态的日变化趋势相同^[11]。积聚模态数浓度变化趋势与爱根核模态基本一致,分别在 11:00、22:00 出现两个峰值;值得注意的是,积聚模态的第二个浓度峰值比爱根核模态推后了 2h,说明积聚模态数浓度的增长还来源于爱根核模态颗粒物的冷凝、碰并增长。

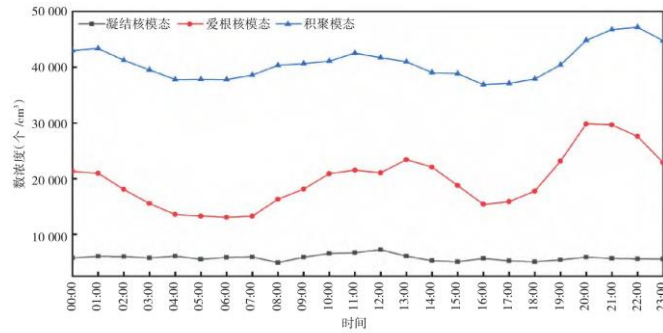


图 4 污染期间各模态颗粒物数浓度日变化情况

2.4 气象条件对颗粒物数浓度分布的影响

成都市地处四川盆地,常年风速小、湿度大、逆温频发,不利的气象条件易导致污染物聚集增长,因此,气象条件是影响成都市颗粒物数浓度的重要因素之一。

2.4.1 风速风向

污染期间,成都市受偏南风控制较多,总体风速较小,处于 2m/s 以下,对颗粒物的去除效果较弱。图 5 给出了不同风速风向,各模态颗粒物数浓度的分布特征。颗粒物总数浓度、积聚模态数浓度以及爱根核模态数浓度的分布基本一致,高值区主要集中在西北和东南风向 1~1.5m/s 风速下,分析可能由于监测点位西北方向为交通主干道,而东南方向为居民区且餐饮较多,导致以上两个方向颗粒物数浓度出现高值。此外,积聚模态颗粒物数浓度高值区在其它风向较低风速下也有所分布,可能在于积聚模态颗粒物在大气中存活时间较长且大量小粒径颗粒物通过冷凝成核向积聚模态转化。

凝结核膜态颗粒物的分布特征明显区别于爱根核模态和积聚模态,在西北偏西方向的静风下出现了浓度高值区,而爱根核模态和积聚模态数浓度高值出现在该风向风速较高处,推测该方向静风下新粒子生成事件发生频率较高,且一定的风速有利于粒径的增长,促进凝结核模态向其余模态的转化。

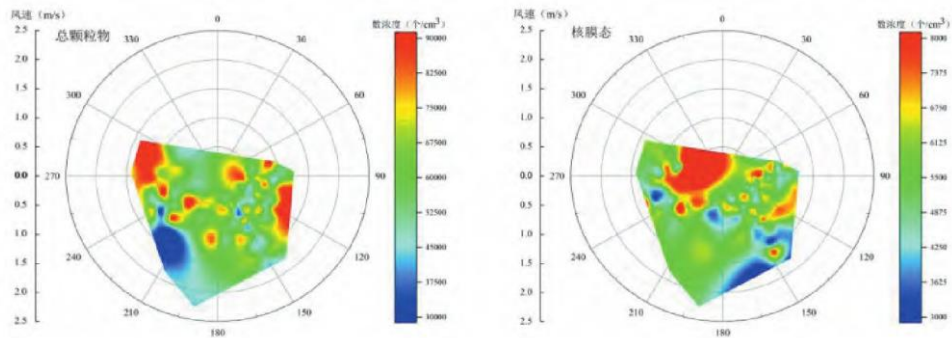


图 5 污染期间各模态颗粒物在不同风速风向下的数浓度分布

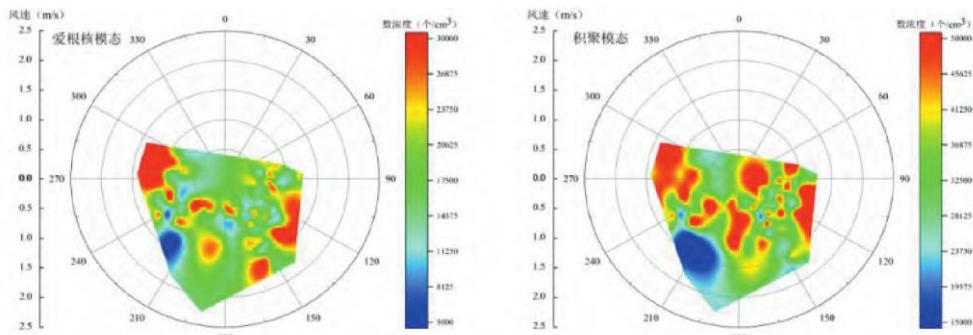


图 5 污染期间各模态颗粒物在不同风速风向下的数浓度分布

2.4.2 其它气象参数

运用 SPSS 软件对污染期间不同模态颗粒物数浓度与温湿度进行 Pearson 相关性分析,除相对湿度与爱根核模态外,其余均通过 99%的显著性检验。总体来看,污染期间成都市各模态数浓度与相对湿度、能见度的相关性随着粒径的增大,相关性呈上升趋势;其中积聚模态与相对湿度、能见度的相关性最强,相关系数分别为 0.593 和-0.897,说明在此次污染过程中较高的相对湿度促进了积聚模态的凝结增长,并且积聚模态数浓度的快速增长又造成了能见度的不断降低。

3 结论

3.1 污染期间,成都市颗粒物 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、TSP 的浓度变化趋势基本一致,相关性显著,具有同源性;颗粒物主要以细粒子污染为主,数浓度粒径主要分布在 1000nm 以下,浓度主峰值出现在 723nm 左右粒径段。

3.2 颗粒物主要以积聚模态和爱根核模态形式存在,合计占总粒子数浓度的 89.9%;随着污染程度的加重,积聚模态数浓度不断累积增多,小时最大浓度均值达 65742 个/ cm^3 ,是整个污染期间平均值的 1.6 倍。因此,积聚模态颗粒物数浓度的增加是导致此次污染过程颗粒物数浓度快速升高主要原因。

3.3 颗粒物数浓度日变化特征表明:污染期间,各模态数浓度日变化分布主要受机动车排放、人为活动、边界层高度以及太阳辐射等因素的综合影响。凝结核模态呈单峰分布,在午间达到浓度峰值;爱根核模态和积聚模态变化趋势基本一致,呈双峰分

布, 浓度峰值出现在午间和夜间。

3.4 气象条件是影响颗粒物数浓度的重要因素。颗粒物总数浓度、积聚模态数浓度以及爱根核模态数浓度的分布基本一致, 高值区主要集中在西北和东南风向 1~1.5m/s 风速下, 推测主要受交通源和生活源影响;凝结核模态数浓度在西北风向静风下出现浓度高值, 推测在该风速风向条件下新粒子生成事件发生频率较高, 且一定的风速促进凝结核模态向其余模态的转化。

3.5 污染期间, 各模态数浓度与相对湿度和能见度的相关性随粒径的增大呈上升趋势, 与积聚模态的相关性最强。因此, 高湿天气是促进积聚模态数浓度增加的重要因素, 积聚模态数浓度的增加又进一步造成了能见度的下降。

3.6 因此, 控制积聚模态数浓度是降低颗粒物污染的关键, 并有助于提高大气能见度。

参考文献:

- [1]张礁石.北京特殊时段大气细粒子和超细粒子数浓度谱观测及变化特征分析[D].北京:中国科学技术大学,2016.
- [2]吴志军,胡敏,等.重污染和新粒子生成过程中城市大气颗粒物数谱分布演变过程[J].中国科学(地球科学),2011,41(8):1192-1199.
- [3]夏志勇,吕波,等.济南市冬季大气颗粒物粒径谱分布特征[J].环境工程,2019,37(3):109-123.
- [4]尚倩,李子华,杨军,等.南京冬季大气气溶胶粒子谱分布及其对能见度的影响[J].环境科学,2011,32(9):2750-2760.
- [5]杜盈盈,陈军,张家洛,等.长三角地区气溶胶光学性质与新粒子生成观测[J].环境科学,2020,41(9):3932-3940.
- [6]代海婷,刘建国,等.广州亚运会及残运会期间大气细粒子谱特征分析[J].大气与环境光学学报,2012,7(1):24-30.
- [7]邵玉海,丁朔,等.三明市大气颗粒物数浓度与粒径分布季节特征[J].复旦学报(自然科学版),2017,56(3):290-295.
- [8]彭爽,康平,张小玲,等.成都市大气颗粒物粒径分布及其对能见度的影响[J].环境科学学报,2020,40(12):4432-4441.
- [9]Hussein T,Dal M M,Petaja T,et al. Evaluation of an automatic algorithm for fitting the particle number size distributions[J]. Boreal Environment Research,2005,10(5):337-355.
- [10]许鹏举.济南城区大气颗粒物数浓度及粒径分布特征研究[D].济南:山东大学,2011:64-67.
- [11]古金霞,杜世勇,等.济南市春季大气颗粒物的谱分布特征[J].南开大学学报,2014,2(47):92-98.