

2016 年北京一次重污染过程的气象成因分析

牛元, 肖宇, 赵聪, 董庆奇, 李长宇, 王俊, 白伟超

中机科(北京)车辆检测工程研究院有限公司 北京

【摘要】 本文利用飞机航测 AMDAR 数据和北京市环境保护局监测站点逐时观测数据, 对 2016 年 12 月 15 到 12 月 22 日一次重污染过程的污染形成和消散原因做了分析。结果表明: 本次污染过程表现为前期逐渐积累, 高浓度保持和快速消散的特点, 形成此次重污染过程的天气成因是北京地区受均压场和弱高压影响, 大气层结稳定, 伴有低空逆温形成, 污染物垂直扩散能力弱。

【关键词】 北京市; 重污染; 气象; 成因

Analysis of meteorological causes of a heavy pollution process in Beijing in 2016

Yuan Niu, Yu Xiao, Cong Zhao, Qingqi Dong, Changyu Li, Jun Wang, Weichao Bai

China Mechanical Science Vehicle Testing Engineering Research Institute Co., LTD, Beijing

【Abstract】 In this paper, the atmospheric circulation characteristics, the causes of pollution formation and dissipation during a heavy pollution process from December 15 to December 22, 2016 were analyzed based on AMDAR data from aircraft and hourly observation data from the monitoring station of Beijing Environmental Protection Bureau. The results showed that the pollution process is characterized by gradual accumulation, high concentration and rapid dissipation. The weather cause of the heavy pollution process is that the atmospheric junction is stable under the influence of the homogeneous pressure field and weak high pressure, accompanied by the formation of low-level temperature inversion, and the vertical diffusion ability of pollutants is weak.

【Keywords】 Beijing; Heavy pollution; Meteorological; Causes

前言

目前, 我国中东部地区重污染频繁发生, 不仅使能见度降低, 而且区域性的霾污染波及的空间范围广, 对气候、生态环境和人民群众身体健康产生影响^[1]。重污染过程的出现, 主要是高污染排放叠加稳定的天气型造成。北京傍山面海, 腹地辽阔, 平原地区西、北和东北向环山, 山脊连成 1000 米左右的弧形屏障, 地形呈簸箕状, 这种独特的地形特征使大气流动受到阻挡, 大气污染物不易向外输送, 大气自净能力不强。

国内外已有许多学者研究了不同地区重污染过程及其影响因素。北京市气象科学研究所对影响污染物扩散的地面天气形势重新分类, 根据北京地区的特点划分为 18 种天气形势^[3]。Davis 等^[4]指出短时间内大尺度环流形势和局地气象条件对重污染过程起着决定作用; Flocas 等^[5]分析了 4 类大气环流形势

和 5 类局地环流对污染状况的影响; 苏福庆指出边界层中气象因子梯度分布影响着污染物的汇聚、输送和扩散; 任阵海等^[6]发现持续的逆温层和干结的暖空气盖是造成污染的重要原因。

以 2016 年 12 月 15-23 日北京发生的持续性 $PM_{2.5}$ 重污染过程为研究对象, 从污染过程演变、气象条件影响、污染水平的空间分布演变及其与地面风场的关系等多个方面对该案例进行了全面系统的剖析, 分析了该次重污染过程的形成原因以及主要影响因素, 以深化对北京地区 $PM_{2.5}$ 污染问题的认识。

1 重污染过程基本分析

1.1 污染过程变化

2016 年 12 月 15 日到 23 日, 北京地区发生了一次重污染过程。12 月 15 日北京全市 AQI 均值为 54, 空气质量等级为二级良; 16 日污染等级升为 3

级轻度污染, $PM_{2.5}$ 质量浓度升为 $114\mu g/m^3$; 12月17日污染水平大幅度升高, $PM_{2.5}$ 质量浓度达到 $196\mu g/m^3$, 质量等级升为5级重度污染; 18、19日 $PM_{2.5}$ 质量浓度小幅上升, 达到 $223\mu g/m^3$; 20日 $PM_{2.5}$ 质量浓度激增至 $379\mu g/m^3$, 增幅70%, 达到6级严重污染; 21日 $PM_{2.5}$ 质量浓度为 $396\mu g/m^3$ 连续2d达到6级严重污染, 说明此次过程污染严重。22日受明显冷空气影响, 污染扩散条件明显改善, 此次重污染过程结束。

重污染过程期间 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 、 CO 与AQI指数变化趋势一致, 21日之前同步上升, 21日达到最高点, 21日后同步下降; 臭氧8小时浓度在 $PM_{2.5}$ 质量浓度低时浓度较高, 在 $PM_{2.5}$ 质量浓度高时浓度较低, 整体趋势为“M”型。此次重污染过程具有持续时间长、污染级别高、消散速度快的特点, 即使在秋、冬季也属于非常罕见的重污染过程。

1.2 时间序列分析

图1展示了本次污染过程中 $PM_{2.5}$ 的小时质量浓度的变化情况。污染物浓度增长过程可以看作两个阶段, 第一阶段从12月15日到19日, 是污染物逐步积累并有明显昼夜变化的过程, 第二阶段是从19日晚到21日, 污染物迅速积累并长时间保持高值。

第一阶段中, 12月15日 $PM_{2.5}$ 浓度位于低值, 从15日傍晚开始, 污染物开始积累浓度升高, 到16日凌晨达到高值, 在此后的5小时内空气质量等级转为优良; 此后到19日, 污染情况基本都是在上午10时污染物浓度升高, 在22时达到一天中的高值; $PM_{2.5}$ 浓度在17日20时达到本阶段的最大值 $317\mu g/m^3$ 。第二阶段从19日17时开始, 污染物迅速积累, 从 $213\mu g/m^3$ 突增至 $419\mu g/m^3$, 并在此浓度左右保持2天之久。22日凌晨, 高速的西北风席卷北京, 污染物迅速消散, 污染过程结束。

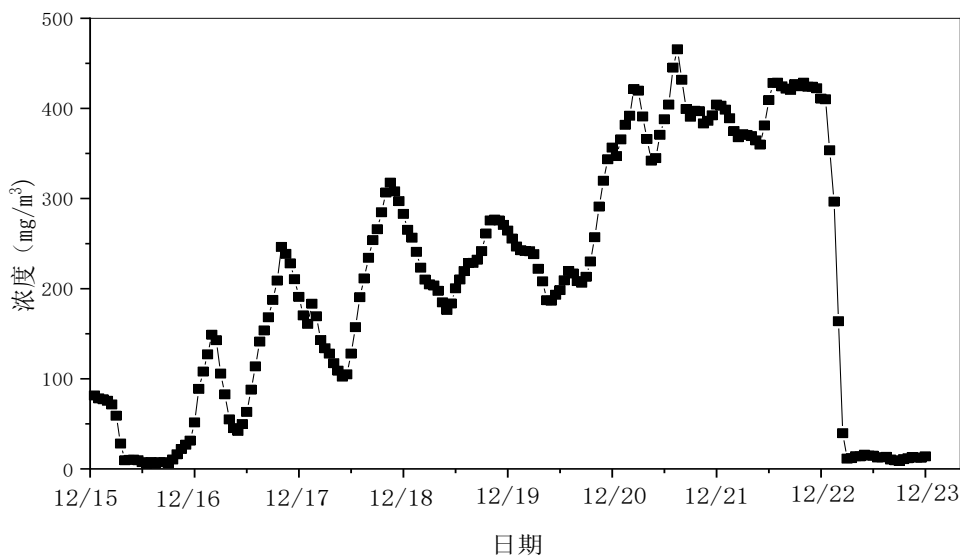


图1 重污染期间 $PM_{2.5}$ 的小时质量浓度

2 边界层结构分析

逆温能反映大气垂直结构对污染物的扩散能力, 上暖下冷的温度层结可显著抑制污染物扩散, 造成污染物持续积聚。图2为本次重污染过程中每日8时大气垂直结构中温度的分布情况。以16、17、18、19、20日为污染日, 21日为清洁日, 在垂直方向上同一高度的温度表现为清洁日高于污染日, 清洁日温度随高度上升而不断降低, 而污染日则表现为不同程度的逆温。16日300m以下直到地面, 气温随

高度不断降低, 在300-670m出现一个弱的逆温层, 抑制了 $PM_{2.5}$ 的垂直扩散, 造成污染物在近地面积聚。17日逆温层底高度不变, 逆温层顶升高到944m, 逆温强度显著增大, 达到 $4.26^\circ C/100m$ 。20日从地面到540m处存在贴地逆温, 逆温层像一个盖子, 将污染物罩在近地面, 抑制污染物的扩散作用, 在此期间 $PM_{2.5}$ 质量浓度激增并在高浓度处保持。21日逆温层破坏时, 污染物垂直扩散能力增强, 污染物向上扩散, 造成地面污染浓度降低。

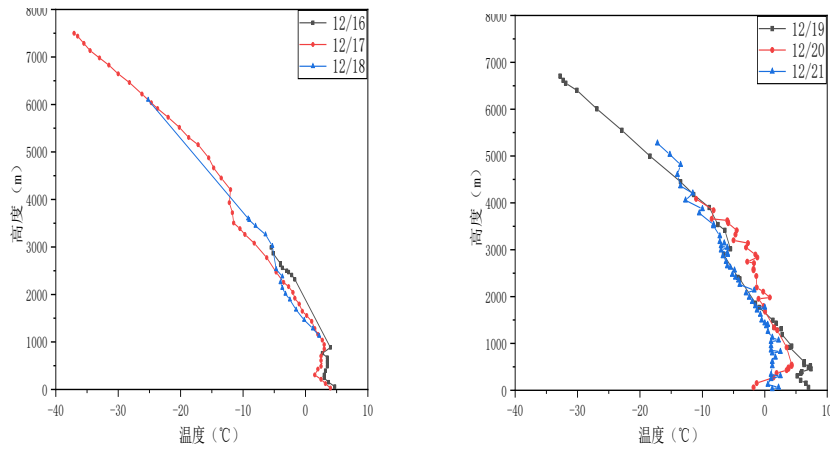


图2 北京2016年12月15-22日逐时风廓线

3 气象要素分析

在分析地面环流形势和局地流场的演变基础上, 讨论局地气象要素的变化对大气污染的影响, 进一步探讨 PM_{2.5} 重污染过程的气象成因。如下图所示, 露点温度即绝对湿度和 PM_{2.5} 浓度的变化趋势较为一致, 15 日污染物浓度开始上升时, 露点温度低于 -15°C, 在污染加重的过程中, 露点温度逐步上升, 空气中水汽浓度升高, 20 日后污染浓度达到顶峰并保持到 22 日 0 时对应着露点温度的高值, 此后污染物急速消散, 到 5 时时 PM_{2.5} 浓度降到 10μg/m³, 污染过程结束, 对应着露点温度从 -2°C 骤降至 -11°C。因此, 较高的湿度是促进 PM_{2.5} 生成的重要条件。

污染物持续增长过程对应了较低的风速, 平均风速 1.5m/s, 甚至出现地面静风天气, 地面风向出现南风 and 东南风, 送来较高浓度的污染物; 清除过程则对应了较大的风速, 最高风速可达到 9m/s。由此可见, 近地面较低的风速和偏南风的控制会使得污染物在北京停滞生成并且很难输送出去, 导致了

污染天的出现。而较大的风速则对污染物有清除作用, 尤其是偏北风控制下, 使得污染物完全从北京地区疏散清除。

结合污染时段区域气压的变化可以看到, 在污染物积累过程中, 地面受低压控制, 低压的辐合作用带来足够的水汽, 使原本难以扩散的的污染颗粒物继续发展; 12 月 19 日后, 北京地区有弱高压过境, 高压系统带来垂直的下沉气流, 使污染物难以扩散, 并将高空的污染物输送到低空, 加剧了污染形势。

从近地面温度的变化, 可以看出 16 日、17 日、18 日和 19 日的昼夜温差较大, 会导致夜间出现较强的辐射逆温层, 稳定的边界层结构, 利于夜间污染物的积累。而污染程度较重的 20 日、21 日和 22 日昼夜温差较小, 可能是由于高浓度的气溶胶散射来自太阳的短波辐射, 阻碍太阳辐射加热地表, 使得白天温度不会太高, 同时夜晚热量散失速度慢, 高浓度的气溶胶反馈作用导致昼夜温差较小。

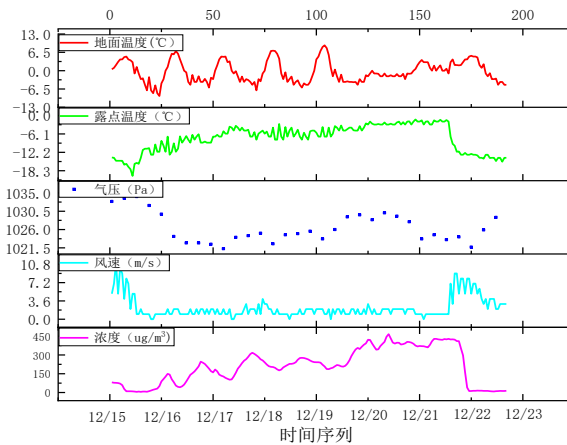


图3 北京2016年12月15-22日各气象要素变化

4 结论

本次污染过程中细颗粒物前期逐渐积累, 日间10到22时污染物浓度升高, 夜里到次日10时, 污染物浓度回落, 但总体呈现逐渐积累的态势; 后期污染物快速积累并在高浓度保持, 最后快速消散, 污染过程结束。

形成此次重污染过程的天气成因是北京地区西风急流较弱, 为弱辐散形势; 近地面风速较小, 不利于污染物扩散; 东南风带来大量水汽, 相对湿度升高, 污染物吸湿增长, 大量积累; 污染过程中大气层结稳定, 伴有低空逆温形成, 污染物垂直扩散能力弱。

参考文献

- [1] 任阵海, 万本太, 苏福庆, 等. 当前我国大气环境质量的几个特征[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 1-6.
- [2] 李令军, 王英, 李金香, 等. 2000—2010 北京大气重污染研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 23-30.
- [3] 孟燕军, 程丛兰. 影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J]. 气象与环境, 2012, 24(4): 42-47.
- [4] DAVIS R E, KALKSTEIN L S. Using a spatial synoptic climatological classification to assess changes in atmospheric pollution concentrations[J]. Physical Geography, 1990, 11(4): 320-342.

- [5] FLOCAS H, KELESSIS A, HELMIS C, et al. Synoptic and local scale atmospheric circulation associated with air pollution episodes in an urban Mediterranean area[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, 95(3/4): 265-277.
- [6] 任阵海, 万本太, 虞统, 等. 不同尺度大气系统对污染边界层的影响及其水平流场输送[J]. 环境科学研究, 2004, 17(1): 17-13.

收稿日期: 2022年9月1日

出刊日期: 2022年10月22日

引用本文: 牛元, 肖宇, 赵聪, 董庆奇, 李长宇, 王俊, 白伟超, 2016年北京一次重污染过程的气象成因分析[J]. 资源与环境科学进展, 2022, 1(3): 1-4
DOI: 10.12208/j.aes.20220034

检索信息: 中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS