

# Study and Application of Combined Observation-Emission Inventory in Source Analysis of Atmospheric Particulate Matter in Xiangyang

Xine Zhao<sup>1</sup>, Zhonghua Wu<sup>1</sup>, Jun Li<sup>1</sup>, Huawei Zhu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Xiangyang Ecological Environment Monitoring Center of Hubei Ecological Environment Department, Xiangyang Hubei

<sup>2</sup>Xiangyang Ecological Environment Bureau, Xiangyang Hubei  
Email: 361107039@qq.com

Received: Jul. 6<sup>th</sup>, 2020; accepted: Jul. 29<sup>th</sup>, 2020; published: Aug. 5<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

In this paper, a variety of observation methods are comprehensively applied to analyze the particulate pollution and sources in Xiangyang city by combining Emission inventory and backward trajectory. Taking the case of a winter pollution process in Xiangyang City, Hubei Province as a case, the conventional observation, single particle aerosol mass spectrometer, Lidar, and other observational methods were comprehensively used. The results show that the pollutants from this pollution process mainly come from the area of Xiangyang City, and industrial emissions and motor vehicles are the major pollution industries in the region. Contamination from external sources is likely to come from cities in the southeast of Xiangyang in Henan and Hubei, but it is not a major cause of serious pollution. The main components of particulate matter are elemental carbon, potassium-rich particles, organic carbon, and mixed carbon, with relatively few other components. The primary source of PM<sub>2.5</sub> pollution is coal-fired sources, with a ratio of 27.9%, followed by motor vehicle exhaust gas, accounting for 25.3%, industrial process-sources accounting for 11.1%, ranking third, and secondary inorganic sources accounting for 8.5%. The dust source accounted for 9.6%, biomass combustion sources accounted for 8.8%, restaurant sources accounted for 0.9%, and other sources accounted for 7.7%. The particulate matter in this pollution process mainly comes from the local area of Xiangyang city, and industrial emissions and motor vehicle exhaust are the main emission sources within the region. The heavy pollution process is obviously affected by particulate matter from vehicle exhaust. The application of Lidar vertical observation indicates that PM<sub>2.5</sub> mainly comes from regional emissions in this pollution process. Combined with the Emission inventory, the results show that the main pollution sources in different seasons have some differences. Coal burning, motor vehicle exhaust, industrial process, secondary sources and dust sources are mainly controlled and controlled in the typical winter.

## Keywords

Source Analysis of Particulate Matter, Comprehensive Observation, Emission Inventory, Backward Trajectory, Xiangyang Hubei

---

# 综合观测 - 源清单联用法在襄阳大气颗粒物来源分析中研究与应用

赵新鄂<sup>1</sup>, 吴中华<sup>1</sup>, 李 军<sup>1</sup>, 朱华伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>湖北省生态环境厅襄阳生态环境监测中心, 湖北 襄阳

<sup>2</sup>襄阳市生态环境局, 湖北 襄阳

Email: 361107039@qq.com

收稿日期: 2020年7月6日; 录用日期: 2020年7月29日; 发布日期: 2020年8月5日

## 摘 要

本文以湖北襄阳市冬季典型污染过程为例, 综合应用常规观测、单颗粒气溶胶质谱仪、激光雷达等多种观测手段, 结合大气污染物排放源清单结果及后向轨迹分析襄阳市颗粒物污染和来源情况。结果表明本次观测期间颗粒物的主要成分为元素碳、富钾颗粒、有机碳和混合碳, 其它占比相对较少。PM<sub>2.5</sub>首要污染源为燃煤源, 占27.9%, 其次为机动车尾气源、工业工艺源、二次无机源、扬尘源、生物质燃烧源、餐饮源、其它源, 占比分别为25.3%、11.1%、8.5%、9.6%、8.8%、0.9%和7.7%; 本次污染过程的颗粒物主要来自襄阳市本区域, 工业排放和机动车尾气是区域内的主要排放源。重污染过程受机动车尾气颗粒物的影响较为明显。应用激光雷达垂直观测说明本次污染过程PM<sub>2.5</sub>主要来自于区域内的排放。结合大气排放源清单分析结果表明, 不同季节的主要污染源存在一定差异, 典型冬季污染过程中重点管控燃煤、机动车尾气源、工业工艺源、二次源和扬尘源。

## 关键词

颗粒物来源解析, 综合观测, 污染源清单, 后向轨迹, 湖北襄阳

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着我国经济的高速发展, 城市建成区面积的不断扩大, 企业数量及规模的不断增长和各种机动车辆的逐年递增, 在传统煤烟型污染尚未得到控制的情况下, 以臭氧、细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)为特征的区域性复合型大气污染日益突出, 严重制约社会经济的可持续发展, 威胁人民群众身体健康。《2018 中国生态环境状况公报》显示, 中国空气质量继续改善, 污染程度有所减轻, 重点区域明显好转, 但秋冬季以 PM<sub>2.5</sub> 为首要污染物的重污染依然多发, 加快颗粒物来源解析, 提高治污靶向性刻不容缓。

近年来, 由于环保技术和大气污染科研的进步, 对大气污染追因溯源的手段逐渐丰富, 方法更加科学, 数据也更加详实[1] [2] [3] [4]。目前国内 PM<sub>2.5</sub> 来源解析方法主要包括受体模型法、源清单法和扩散模式模拟法, 其中受体模型为我国 PM<sub>2.5</sub> 源解析研究中最常用的手段, 包括化学质量平衡模型法(CMB)、

正定矩阵因子分解法(PMF)、主成分分析法(PCA)、单颗粒气溶胶质谱或 OCEC 分析仪、离子色谱等分析仪器的在线源解析方法[5] [6] [7]。目前,湖北省对大气颗粒物的来源解析主要采用正定矩阵因子分解法和单颗粒气溶胶质谱法[8] [9] [10]。相较于 CMB、PMF 等传统监测手段,虽然单颗粒气溶胶质谱(SPAMS)在线源解析方法具有高时间分辨率的优势[11] [12],但源解析是一项复杂的系统工作,仅采用单一方法存在不确定性和局限性、无法验证等弊端。综合应用常规观测、单颗粒气溶胶质谱仪、激光雷达、后向轨迹分析、大气污染物排放源清单等多种观测手段对大气污染物来源进行综合解析,可以有效突破单一解析方法的局限性,多种方法相互验证,提高源解析结论可靠性和精准性。

襄阳市位于我国华北黄淮大气污染传输通道末端——“南襄盆地”南部,独特的地理位置及气候条件使得襄阳市成为霾天气内陆偏多发地区,且具有河谷、城市多发,及工业和人口聚集区多发的特点,在冬季尤为严重[13]。本研究选取襄阳市冬季一次污染过程为研究对象,同时利用多种观测手段,并结合排放源清单,综合分析襄阳市颗粒物污染特征和主要来源,为襄阳市大气颗粒物污染防治及空气质量持续改善提供技术支撑。

## 2. 实验及方法

### 2.1. 观测设备及分析方法

气溶胶激光雷达观测设备使用北京艾沃思科技有限公司自主研发的 PMTracer 型气溶胶雷达。该设备可对颗粒物空间分布进行不间断的连续观测,并以可视化图形展示其观测结果。空间分布的观测包括颗粒物垂直分布特征、城市区域分布特征、重点关注地区污染源分布。

单颗粒气溶胶质谱仪使用广州禾信仪器股份有限公司自主研发的 SPAMS0525 型单颗粒气溶胶质谱仪对环境空气中的  $PM_{2.5}$  颗粒物的化学组成进行分析,该设备可以获得单个颗粒物中质核比(m/z)在正负 250 之间的所有化学组分,并形成颗粒物质量谱图。颗粒物化学成分的分析来源于使用 Matlab 软件对质量谱图的统计和分析。

### 2.2. 观测方案及数据获取

#### 2.2.1. 观测方案

本研究以襄阳 2017 年冬季典型污染过程观测作为案例,综合使用了常规固定站、单颗粒气溶胶质谱仪、激光雷达等多种观测手段。颗粒物污染源解析过程主要分为综合观测和数值模式两大部分(图 1)。

1) 综合观测:主要通过空气自动站监测空气质量数据、利用单颗粒质谱仪在线解析对应时段颗粒物成分、运用激光雷达走航观测颗粒物水平和垂直分布,通过不同的观测手段在同一时段的综合观测,可以从不同的角度反映污染情况,也可以进行数据的互相验证,同时还为数值模式的结果提供验证和校准的依据。

颗粒物空间分布特征的观测。空间分布的观测包括颗粒物垂直分布特征、城市区域分布特征、重点关注地区污染源分布调查等研究内容。观测设备使用北京艾沃思科技有限公司自主研发的 PMTracer 型气溶胶雷达。该设备可对颗粒物空间分布进行不间断的连续观测,并以可视化图形展示其观测结果。

颗粒物化学成分观测。使用广州禾信仪器股份有限公司自主研发的 SPAMS0525 型单颗粒气溶胶质谱仪对环境空气中的  $PM_{2.5}$  颗粒物的化学组成进行分析,该设备可以获得单个颗粒物中质核比(m/z)在正负 250 之间的所有化学组分,并形成颗粒物质量谱图。颗粒物化学成分的分析来源于使用 Matlab 软件对质量谱图的统计和分析。

2) 数值模式:采用空气质量模式进行数值源解析,气象场初始资料采用 NCEP 再分析资料。由中尺度气象模式 WRF 提供统一的气象预报场,采用 CAMx 模式作为源解析模型。用来对气态和颗粒物态的大气污染物在城市和区域的多种尺度上进行综合性评估。

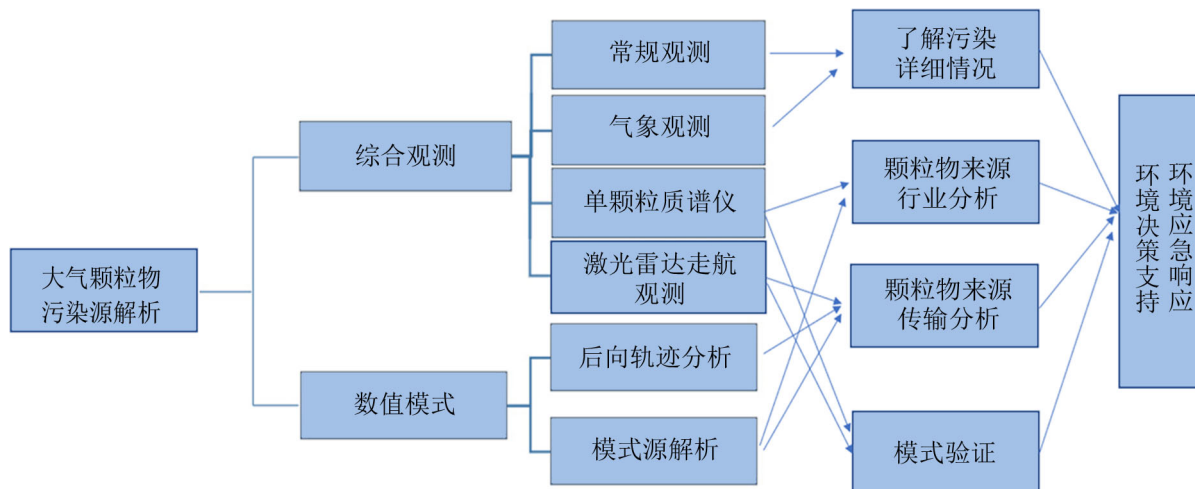


Figure 1. Analysis process of particulate pollution source

图 1. 颗粒物污染源解析过程

2017年12月1日~2017年12月31日应用单颗粒质谱仪器对襄阳市环境保护局、高新区车城湖社区、政府家属院、余家湖工业园等点位进行了连续观测。采样方式为环境空气经  $PM_{2.5}$  切割头切割后进入 SPAMS 0525 连续监测。期间因更换采样点位和断电情况出现部分时段数据缺失情况如下：仪器更换采样点：12月12日 10:00~17:00, 12月20日 10:00~12:00, 12月27日 10:00~17:00 仪器关机未采集。停电：12月28日 17:00~22:00, 12月30日 16:00~12月31日 23:00。

2017年12月21日~12月27日应用气溶胶激光雷达在襄州区政务大厅楼顶进行水平扫描观测，12月27日进行气溶胶激光雷达走航观测。气溶胶激光雷达水平观测参数如下：激光工作波长：532 Nm、采样频率：4000 HZ、单条数据采样时间：20 s、单脉冲能量：20 uJ、水平： $350^{\circ}\sim 270^{\circ}$  (水平角度存在遮挡)、俯仰角： $2^{\circ}$ 、步进： $2^{\circ}$ 。

### 2.2.2. 数据获取

本次观测综合应用了常规污染物监测数据、单颗粒质谱仪自动监测数据和气溶胶激光雷达观测数据及大气污染物排放源清单数据。

由襄阳市大气污染物自动监测站点获取2017年12月常规污染物监测数据， $PM_{2.5}$  颗粒物的化学组成来源于单颗粒质谱仪器在线监测，气溶胶消光系数和退偏比数据来源于气溶胶激光雷达观测。2016年襄阳市大气污染物排放源清单数据来源于襄阳市重点工业园挥发性有机物 VOCs 对中心城区空气质量影响分析研究项目成果。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 环境空气现状及气象条件分析

2017年12月襄阳市空气质量状况如图2所示，期间共出现轻度以上污染天数19天，优良率为38.71%。其中轻度以上污染天数中严重污染的天数为3天，重度污染天数3天，中度污染天数4天，轻度污染天数9天。2017年12月首要污染物分析结果如图1所示。首要污染物为  $PM_{2.5}$  的天数为21天，占比67.74%；首要污染物为  $PM_{10}$  的天数为7天，占比22.58%；首要污染物为  $NO_2$  的天数为3天，占比9.77%。轻度以上污染天数中仅1天是  $PM_{10}$  为首要污染物，其余天数首要污染物仅为  $PM_{2.5}$ 。综合分析发现， $PM_{2.5}$  为影响襄阳市2017年12月空气质量最关键的污染因子。

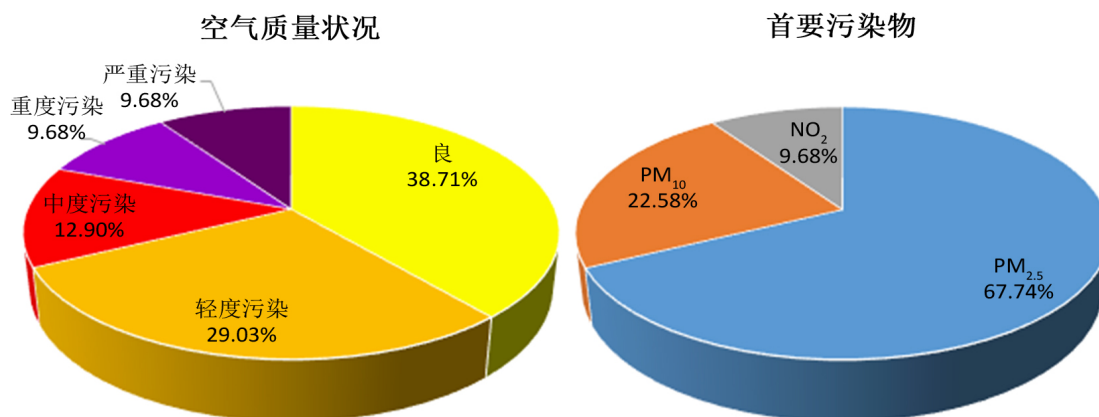


Figure 2. Air quality status and primary pollutants in Xiangyang city in December 2017

图 2. 2017 年 12 月襄阳市空气质量状况及首要污染物

襄阳市 2017 年 12 月气象条件与颗粒物浓度变化趋势如图 3 所示, 期间共出现两次颗粒物浓度较高的污染过程, 颗粒物浓度峰值出现在 12 月 4 日和 12 月 27~28 日,  $PM_{2.5}$  峰值浓度为  $279 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $PM_{10}$  峰值浓度为  $342 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。12 月平均相对湿度 55.82%, 最高达到 86%, 相对湿度最低值出现在无污染的 12 月 24 日, 污染较严重的 12 月 4 日、5 日、28 日和 29 日相对湿度都超过 60%, 重度污染发生均伴随着相对湿度的增加; 观测期间平均风速 1.1 m/s, 风速最高 1.98 m/s, 最低 0.73 m/s, 风速最高值出现在无污染的 12 月 13 日, 重度污染以上的 27 和 28 日平均风速低于 1 m/s, 低风速、高湿度气象条件下容易出现颗粒物污染现象。

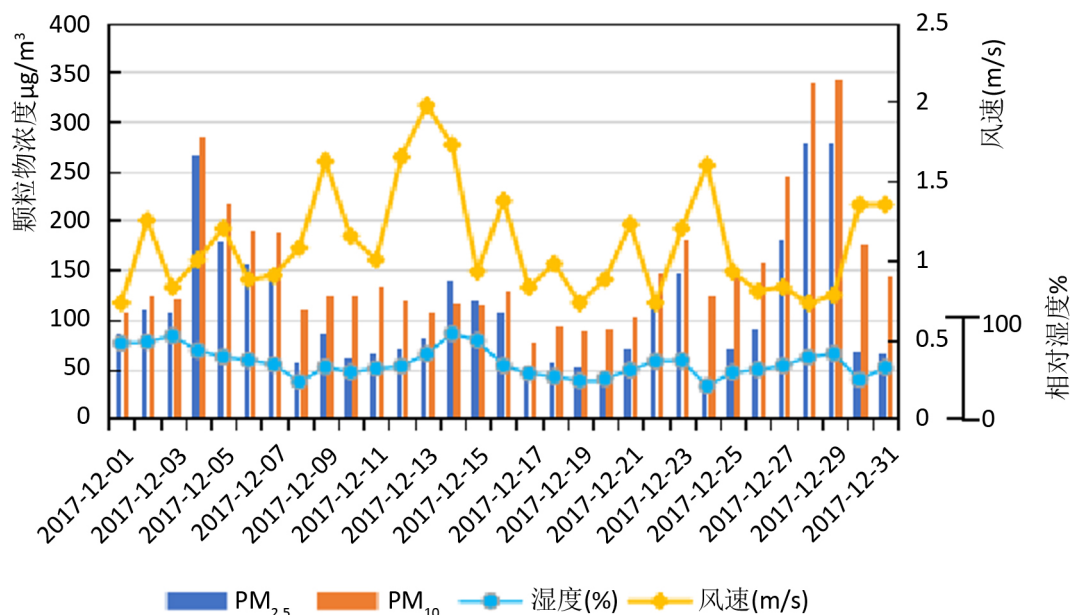


Figure 3. Xiangyang City December 2017 wind speed, humidity and particulate matter concentration

图 3. 襄阳市 2017 年 12 月风速、湿度与颗粒物浓度

### 3.2. 基于单颗粒质谱 $PM_{2.5}$ 来源分析

2017 年 12 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日监测点共采集到具有粒径信息的颗粒 1459.9 万个颗粒, 其中有正负质谱图的颗粒 401.9 万个。从图 4 中可以看出 SPAMS 所测得颗粒物数浓度(SIZE)与  $PM_{2.5}$  的质量浓度随时间变化趋势基本一致, 相关系数  $r$  为 0.91, 说明 SPAMS 所测颗粒物数浓度在一定程度上可以反



映大气污染状况。

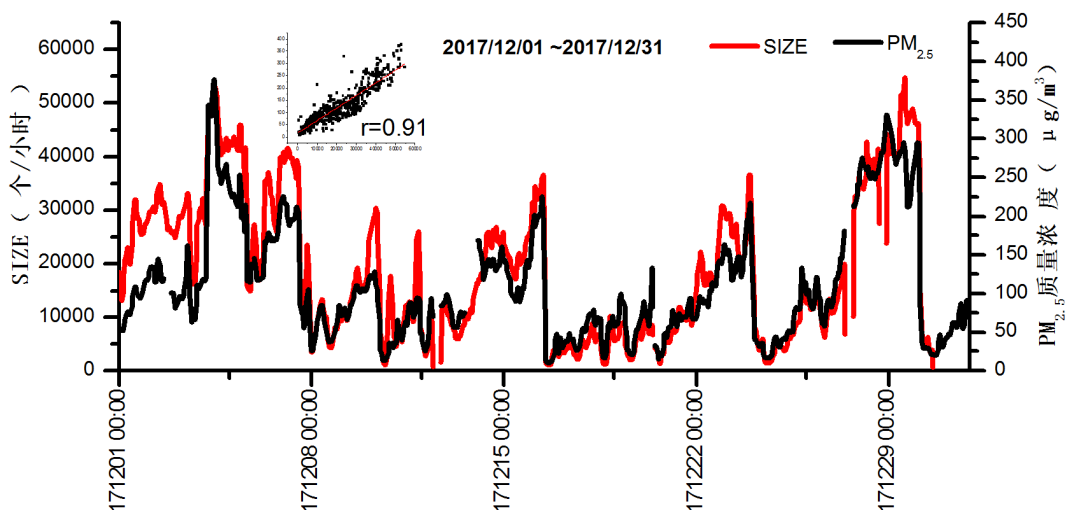


Figure 4. SIZE-PM<sub>2.5</sub> mass concentration correlation  
图 4. SIZE-PM<sub>2.5</sub> 质量浓度相关性

SPAMS 的分析原理是基于单个颗粒物中正负离子的化学组成,使用示踪离子法及自适应共振神经网络算法(ART-2a),对环境空气中颗粒物的来源进行在线源解析。

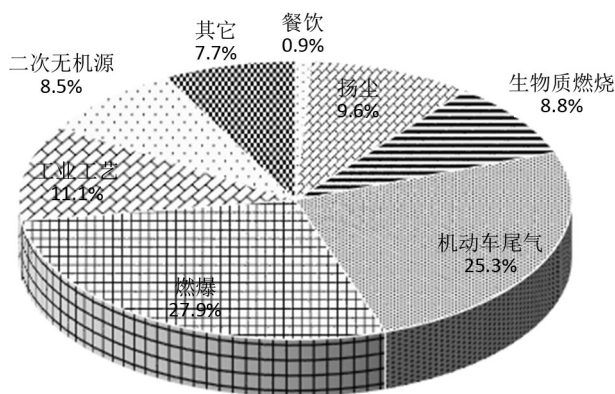


Figure 5. PM<sub>2.5</sub> pollutant source analysis results  
图 5. PM<sub>2.5</sub> 污染物来源解析结果

由图 5 可见,整个监测期间 PM<sub>2.5</sub> 首要污染源为燃煤源,比例为 27.9%,其次为机动车尾气源,占 25.3%,工业工艺源占比为 11.1%,排在第三位,二次无机源占比为 8.5%,扬尘源占比为 9.6%,生物质燃烧源占比为 8.8%,餐饮源占比为 0.9%,其它占比 7.7%。

Table 1. PM<sub>2.5</sub> mass concentration and the proportion of motor vehicle exhaust, coal, and industrial process sources  
表 1. PM<sub>2.5</sub> 质量浓度与机动车尾气、燃煤、工业工艺源占比信息

序号	时间	PM <sub>2.5</sub> 质量浓度(µg/m <sup>3</sup> )	机动车尾气占比(%)	燃煤源占比(%)	工业工艺源占比(%)
1	1220 13:00~15:00	23	16.4	24.8	9.3
2	1123 21:00~23:00	218	26.4	34.6	13.8
3	1124 13:00~15:00	16	24.6	25.7	5.9
4	1127 06:00~08:00	148	29.4	29.8	11.2

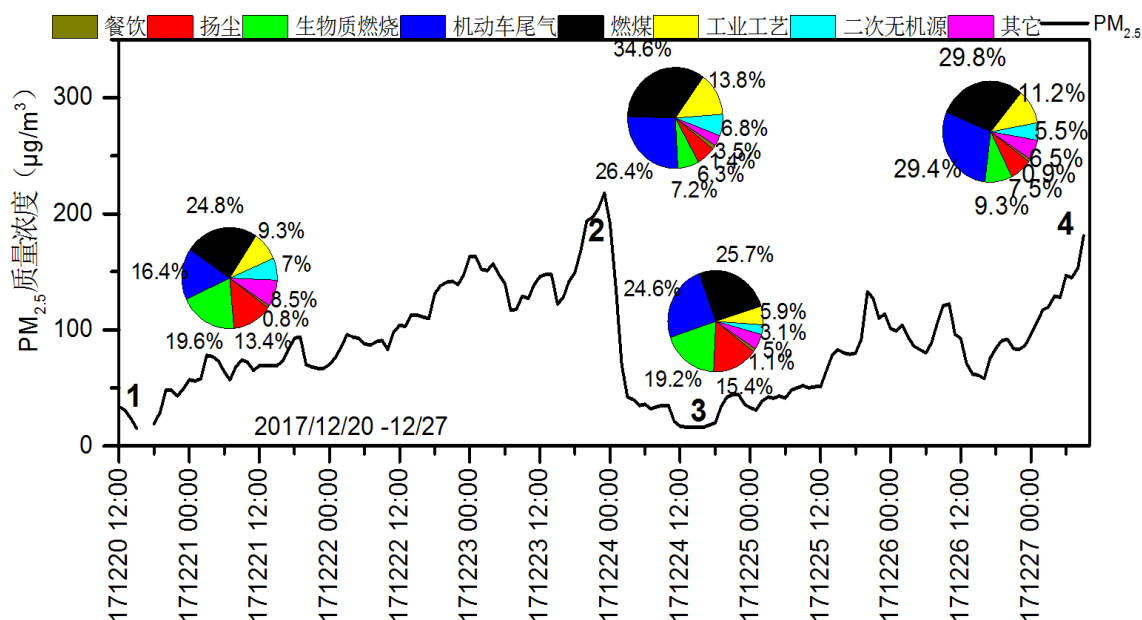


Figure 6. Source analysis of particulate matter at government family hospital

图 6. 政府家属院点位颗粒物来源分析

利用 SPAMS 高时间分辨率的特性, 可得到小时级别的颗粒物来源解析结果, 政府家属院点位监测过程期间,  $PM_{2.5}$  质量浓度最小值为  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 最大值为  $218 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平均值为  $87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。监测中, 首要污染源为燃煤, 平均占比为 27.7%, 其次为机动车尾气, 平均占比为 23.4%。结合图 6 和表 1 进行分析。

时段 1 至时段 2,  $PM_{2.5}$  质量浓度从  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  升至  $218 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 燃煤源、机动车尾气和工业工艺源占比均有不同程度的上升, 燃煤源占比从 24.8% 升至 34.6%, 升高了 9.8 个百分点, 机动车尾气占比从 16.4% 升至 26.4%, 升高了 10 个百分点, 而工业工艺源占比升高了 4.5 个百分点; 时段 2 至时段 3,  $PM_{2.5}$  质量浓度从  $218 \mu\text{g}/\text{m}^3$  快速回落至  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 燃煤源和机动车尾气占比均有所下降, 分别降低了 8.9 和 1.8 个百分点; 时段 3 至时段 4,  $PM_{2.5}$  质量浓度再次攀升, 从  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  升至  $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 燃煤源比例从 25.7% 升至 29.8%, 升高了 4.1 个百分点, 机动车尾气源比例从 24.6% 升至 29.4%。

综合以上分析, 本次污染主要受到燃煤源、机动车尾气和工业工艺源颗粒物的共同影响, 其中受燃煤源的影响最大。

Table 2.  $PM_{2.5}$  mass concentration and the proportion of motor vehicle exhaust, coal, and secondary inorganic sources

表 2.  $PM_{2.5}$  质量浓度与机动车尾气、燃煤、二次无机源占比信息

序号	时间	$PM_{2.5}$ 质量浓度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	机动车尾气占比(%)	燃煤源占比(%)	二次无机源占比(%)
1	1227 17:00~19:00	16	26.2	31.9	4.5
2	1128 22:00~24:00	324	31.4	25.6	10.5
3	1130 13:00~15:00	23	16.9	30.8	5.0
4	0102 11:00~13:00	271	21.2	39.3	9.5
5	0103 14:00~16:00	63	30.9	28.5	7.0

余家湖工业园点位监测过程期间,  $PM_{2.5}$  质量浓度最小值为  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 最大值为  $324 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平均值为  $159 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。监测过程中, 首要污染源为燃煤, 平均占比为 31%, 其次为机动车尾气, 平均占比为 27.8%。

结合图7和表2进行分析。

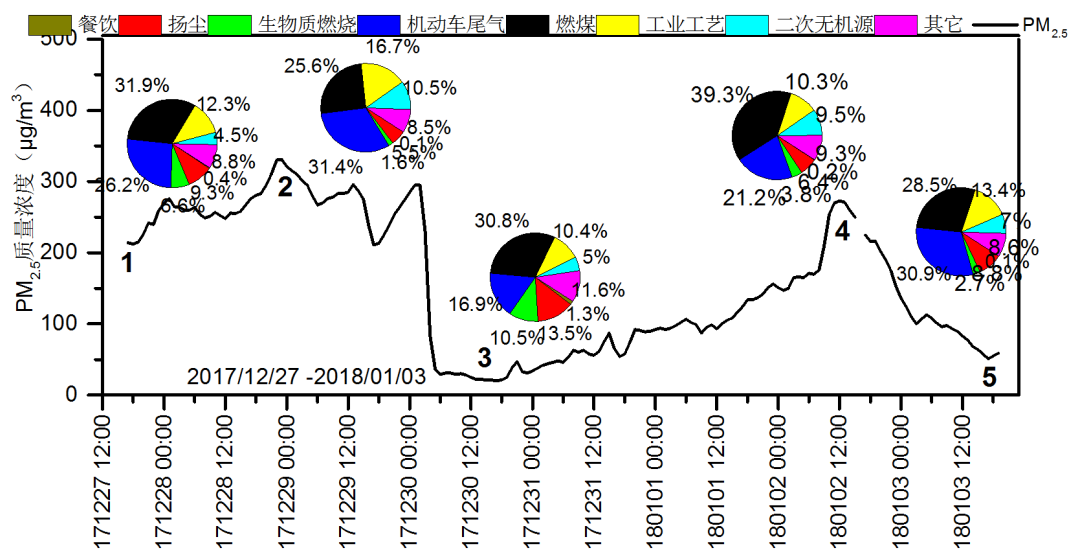


Figure 7. Source analysis of particulate matter in Yujiahu Industrial Park

图7. 余家湖工业园点位颗粒物来源分析

时段1(27日17~19时)已处于重度污染水平,时段1至时段2,PM<sub>2.5</sub>质量浓度从214 µg/m<sup>3</sup>升至324 µg/m<sup>3</sup>,机动车尾气、工业工艺和二次无机源占比均有上升,工业工艺源占比从12.3%升至16.7%,升高了5.7个百分点,二次无机源占比从4.5%升至10.5%,升高了6个百分点,机动车尾气占比从26.2%升至31.4%,升高了5.2个百分点;时段2至时段3,PM<sub>2.5</sub>质量浓度从324 µg/m<sup>3</sup>回落至23 µg/m<sup>3</sup>,工业工艺源和机动车尾气占比均随之下降,分别降低了6.3和14.5个百分点。时段3至时段4,PM<sub>2.5</sub>质量浓度从23 µg/m<sup>3</sup>升至271 µg/m<sup>3</sup>,燃煤源比例从30.8%升至39.3%,升高了8.5个百分点;机动车尾气源比例为21.2%,升高了4.3个百分点;时段4至时段5,PM<sub>2.5</sub>质量浓度从271 µg/m<sup>3</sup>降至63 µg/m<sup>3</sup>,燃煤源比例从39.3%降至28.5%,二次无机源比例从9.5%降至7%。

综合以上分析,本次污染主要受到燃煤源和机动车尾气颗粒物的影响,此外,PM<sub>2.5</sub>质量浓度高峰时段,颗粒物的二次反应有所增强。

### 3.3. 后向轨迹分析

如图8,利用襄阳2017年12月24日和28日两天的22时的WRF模式结果数据绘制后向轨迹图,可以看到代表无污染日的24日三个高度的气团轨迹几乎重合,而且起始高度都在2000 m以上,气团高度的变化也都类似,全都是到最后12小时才下降到1000 m以下。气团移动速度较快,最后12小时进入湖北境内后速度下降。所以24日22时到达襄阳的气团主要来自高层大气,外来传输较小。

而严重污染的2017年12月28日,后向轨迹与24日截然不同,终点处三条气团轨迹由低到高的高度分别是a.紫红100 m, b.紫色500 m, c.蓝色1000 m。三个气团起始高度都是接近地面,一直到最后12小时才开始缓慢抬升,最后到达终点高度。而且三个气团移动速度都比较慢,这使得气团很容易携带路过区域边界层内的污染物,并最终传输到襄阳。气团a从安徽西北出发,往西北方向移动,12小时时候到达河南东部,在河南境内移动了30小时,经历了一次由西北向西南的以东方向变化,最终从北面进入襄阳。气团b和c都是从武汉附近出发,先向西后向北,最终到达襄阳,全程都在湖北境内,移动速度比a更慢。所以28日的污染外来传输很可能来自河南以及湖北境内襄阳东南方向的地市。



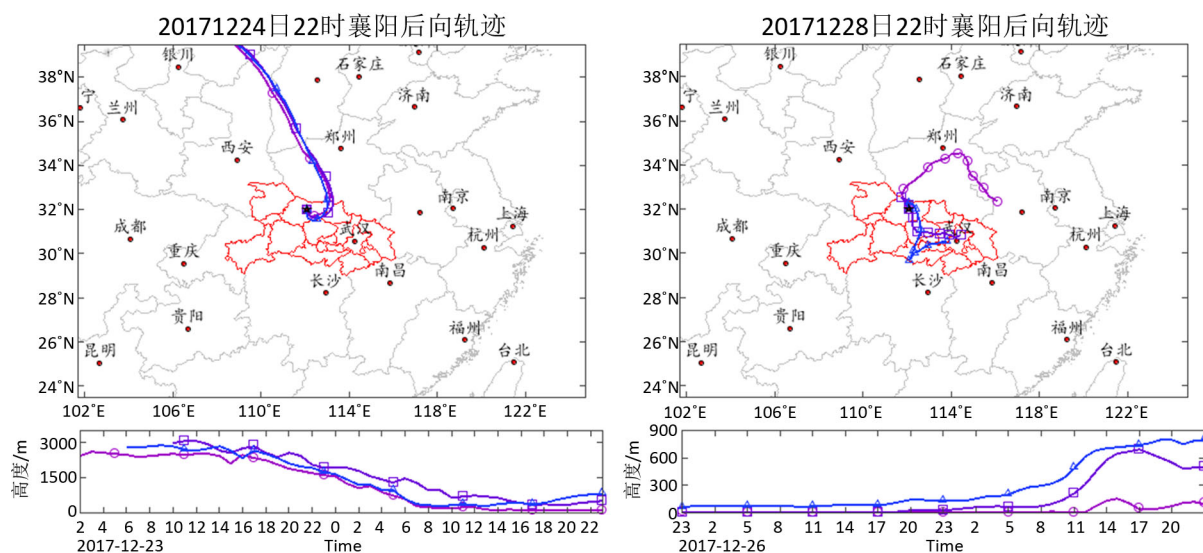
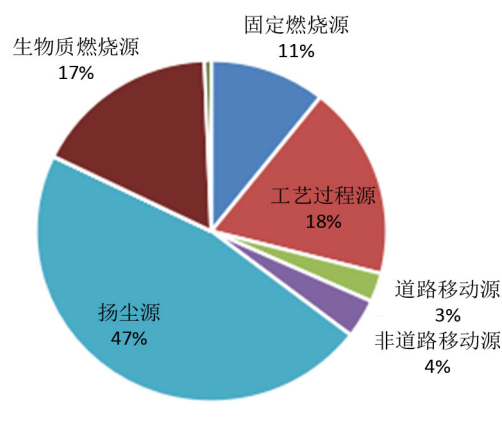


Figure 8. Xiangyang's backward trajectory at 22:00 on December 24 and 28, 2017

图 8. 2017 年 12 月 24 和 28 日 22 时襄阳后向轨迹

### 3.4. 基于排放源清单的颗粒物源解析



PM<sub>2.5</sub>

Figure 9. Xiangyang 2017 PM<sub>2.5</sub> source analysis based on atmospheric emission source list

图 9. 襄阳 2017 基于大气排放源清单 PM<sub>2.5</sub> 源解析

如图 9 所示, 2017 年排放源清单的颗粒物来源结果表明全年一次排放的 PM<sub>2.5</sub> 主要来自扬尘源(道路扬尘、建筑扬尘), 占总排放量的 47%。由于城市发展规模不断扩大, 建筑活动频繁, 且城乡过渡的市郊区域, 施工面积大, 这些区域多释放出扬尘。其次对 PM<sub>2.5</sub> 贡献最大的为工艺过程源(18%)、生物质燃烧源(17%)、固定燃烧源(11%)。道路移动源和非道路移动源占比相对较低。

如图 10 所示, PM<sub>2.5</sub> 排在工业企业及施工区域密集的中心城区表现出明显的片区状分布特征, 其路网分布不够明显。主要因为 PM<sub>2.5</sub> 的主要贡献源为扬尘源、工艺过程源和生物质燃烧源, 扬尘源的贡献主要来自于道路和施工工地, 工艺过程源的贡献来主要来自于工业企业。

对比排放源清单解析和单颗粒质谱仪源解析的结果, 发现对于 2017 年排放源清单结果扬尘源的贡献偏高, 占 47%, 其次是工业工艺源和生物质燃烧源, 占比分别为 18% 和 17%。而 2017 年冬季典型月份(12 月)单颗粒质谱仪源解析结果对燃煤、机动车尾气源贡献较高, 分别占 27.9% 和 25.3%。

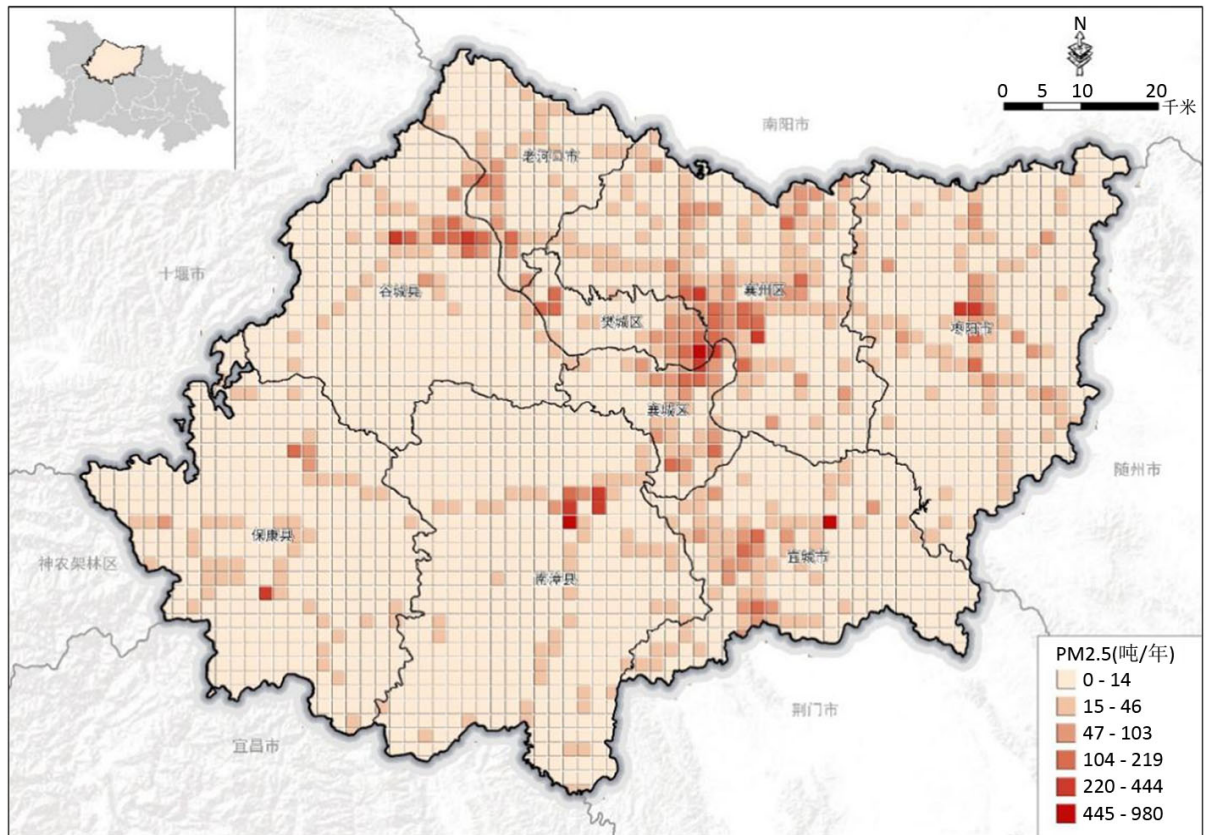
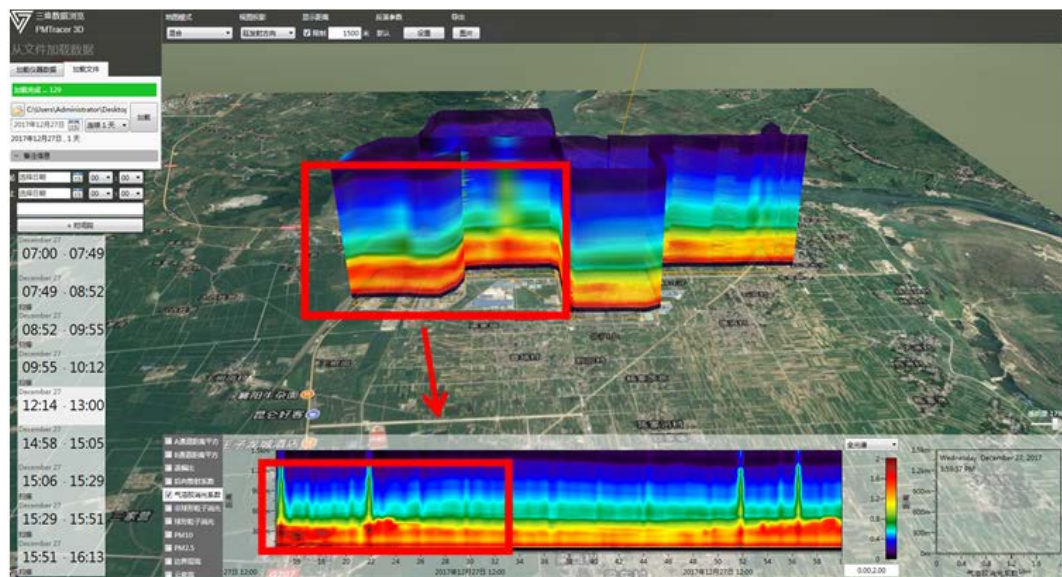


Figure 10. Xiangyang City PM<sub>2.5</sub> emission space allocation map

图 10. 襄阳市 PM<sub>2.5</sub> 排放空间分配图

综合以上分析, 全年来看襄阳 PM<sub>2.5</sub> 主要来自扬尘源、工业工艺源和生物质燃烧源, 典型冬季污染过程中 PM<sub>2.5</sub> 主要来自燃煤、机动车尾气源、工业工艺源二次源和扬尘源。

### 3.5. 激光雷达走航观测验证





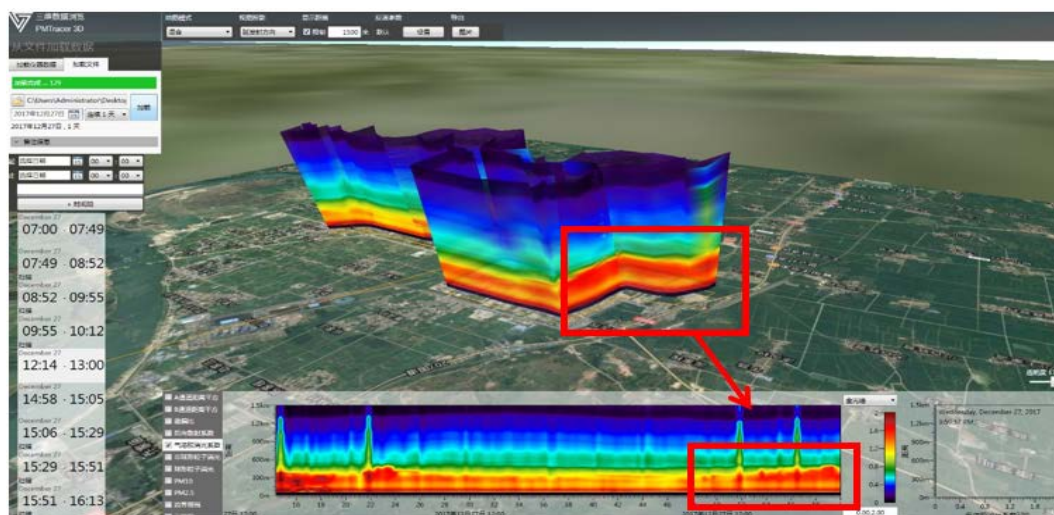


Figure 11. Extinction image of the navigation process on December 27, 2017

图 11. 2017 年 12 月 27 日走航过程消光图像

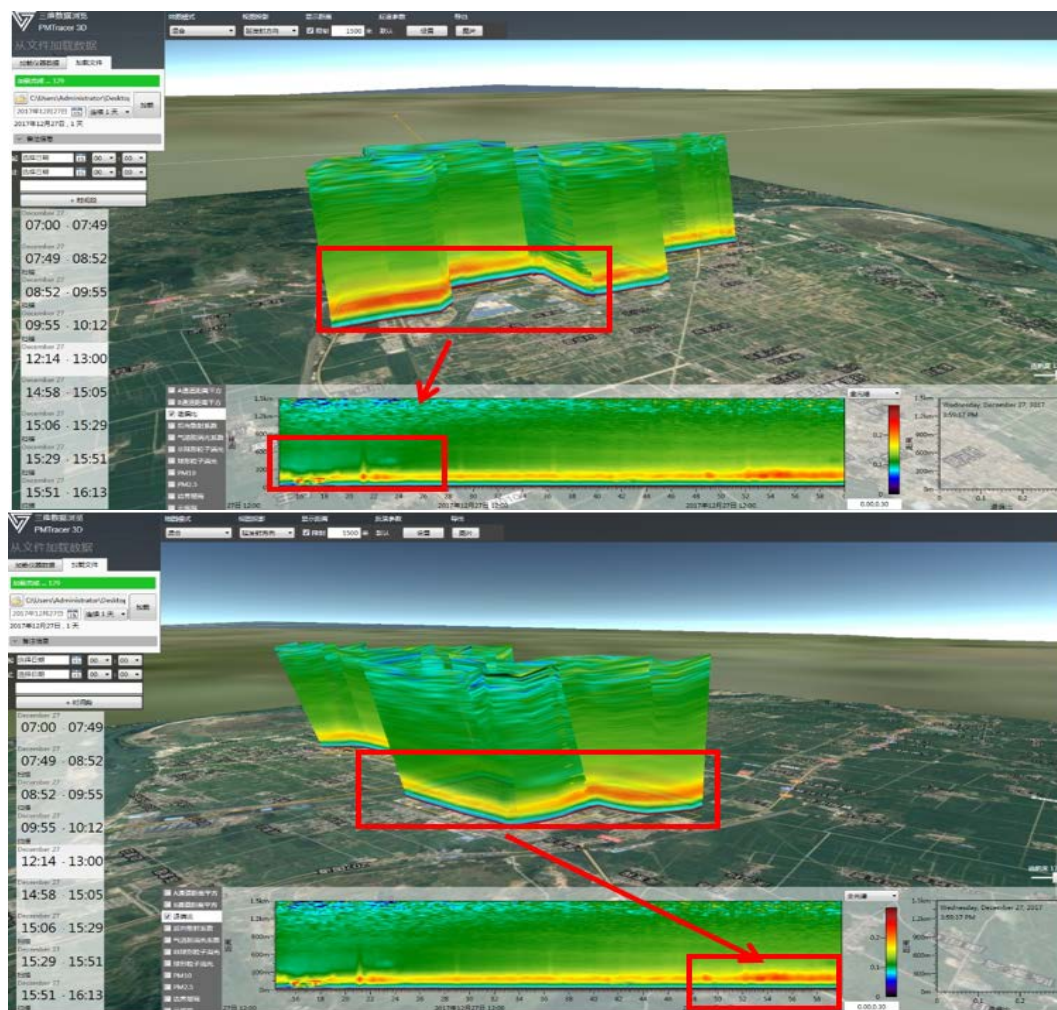


Figure 12. Detour ratio image on December 27, 2017

图 12. 2017 年 12 月 27 日走航退偏比图像

雷达垂直观测走航开始时间为2017年12月27日12:14,于当日13:00结束,走航过程消光图像如图11,可以看到在整个消光图像中,近地面600米以下的消光系数均较高。从走航退偏比图像如图12,整个走航过程中近地面300米均存在颗粒物飘尘。简言之,600米以上的高空没有明显的颗粒物污染,由于外来传输的污染物一般都是由高空传输至本地然后沉降到地面,因此本次污染外来传输贡献较小,激光雷达垂直观测表明本次污染主要来自于区域内排放。

#### 4. 结论

1) 12月监测点位(襄阳市环保局)PM<sub>2.5</sub>质量浓度小时平均值为159 μg/m<sup>3</sup>,相对于11月份的PM<sub>2.5</sub>质量浓度小时平均值(86 μg/m<sup>3</sup>)明显上涨。12月份空气质量指数按小时均值计算,优良天气时段占36.6%,污染天气时段占63.4%。结果表明本次污染过程颗粒物的主要成分为元素碳、富钾颗粒、有机碳和混合碳,其它占比相对较少。监测期间PM<sub>2.5</sub>首要污染源为燃煤源,比例为27.9%,其次为机动车尾气源,占25.3%,工业工艺源占比为11.1%,排在第三位,二次无机源占比为8.5%,扬尘源占比为9.6%,生物质燃烧源占比为8.8%,餐饮源占比为0.9%,其它占比7.7%。监测期间有两次PM<sub>2.5</sub>质量浓度大幅升降过程,其中,12月20日至24日达到重度污染级别,污染过程主要受燃煤和机动车尾气颗粒物的影响;此外,监测期间的污染过程中,PM<sub>2.5</sub>质量浓度高峰时段,颗粒物的二次反应明显增强;12月24日至30日污染过程达到严重污染级别,污染过程主要受机动车尾气颗粒物的影响。

2) 本次污染时段内风速极低,外来传输较弱,而且水平扩散条件极差;来自河南以及湖北境内襄东南方向的地市污染物传输加重污染过程,但不是严重污染发生的主要原因,激光雷达垂直观测表明污染主要来自于区域内排放。

3) 本文结合2017年排放源清单结果,PM<sub>2.5</sub>排放在工业企业及施工区域密集的中心城区表现出明显的片区状分布特征,其路网分布不够明显。源清单源解析结果说明冬季典型污染过程的颗粒物来源结果与2017年大气污染物排放源清单计算出来的结果存在一定偏差,不同季节的主要污染源存在一定差异,全年管控以扬尘源、工业工艺源和生物质燃烧源为主,典型冬季污染过程中重点管控燃煤、机动车尾气源、工业工艺源、二次源和扬尘源。该结论为大气污染防治提供了更科学的决策支持。

#### 参考文献

- [1] 洪也,马雁军,李潮流,刘宁微,高少鹏. 沈阳冬季灰霾日大气颗粒物元素粒径分布特征[J]. 环境科学研究, 2011, 24(6): 637-644.
- [2] 赵普生,徐晓峰,孟伟,等. 京津冀区域霾天气特征[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 31-36.
- [3] 刘晓慧,朱彬,王红磊,等. 长江三角洲地区1980~2009年灰霾分布特征及影响因子[J]. 中国环境科学, 2013, 33(11): 1929-1936.
- [4] 尹志聪,王会军,郭文利. 华北黄淮地区冬季雾和霾的时空气候变化特征[J]. 中国科学: 地球科学, 2015, 45(5): 649-655.
- [5] 郑玫,张延君,闫才青,等. 中国PM<sub>2.5</sub>来源解析方法综述[J]. 北京大学学报, 2014, 50(6): 1141-1154.
- [6] 陈云波,徐峻,何友江,杜晓惠,唐伟,孟凡. 北京市冬季典型重污染时段PM<sub>2.5</sub>污染来源模式解析[J]. 环境科学研究, 2016, 29(5): 627-636.
- [7] 贾佳,郭秀锐,程水源. APEC期间北京市PM<sub>2.5</sub>特征模拟分析及污染控制措施评估[J]. 中国环境科学, 2016, 36(8): 2337-2346.
- [8] 肖经汗,周家斌,郭浩天,等. 采用正定矩阵因子分解法对武汉市夏季某PM<sub>2.5</sub>样品的来源解析[J]. 环境污染与防治, 2013, 5(35): 6-12.
- [9] 张文娟,饶少林,张兆年,等. 宜昌市颗粒物PM<sub>2.5</sub>源解析初步研究[J]. 绿色科技, 2016(6): 50-52.
- [10] 王洋. 襄阳市区空气质量变化特征及对策研究[J]. 绿色科技, 2018(12): 112-116.

- 
- [11] 蔡靖, 郑玫, 闫才青, 等. 单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪在线颗粒物研究中的应用和进展[J]. 分析化学, 2015, 5(43): 765-774.
- [12] Li, L., Huang, Z.X., Dong, J., *et al.* (2011) Real Time Bipolar Time-of-Flight Mass Spectrometer for Analyzing Single Aerosol Particles. *International Journal of Mass Spectrometry*, **303**, 118-124.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijms.2011.01.017>
- [13] 尹欣, 陈瑾悦, 李易. 襄阳市近 55 年霾气候特征与突变分析[C]//第 35 届中国气象学会年会 S12 大气成分与天气, 气候变化与环境影响暨环境气象预报及影响评估. 北京: 中国学术期刊电子出版社, 2018.