

2015~2018年我国华中地区典型城市空气污染特征对比分析

杨智钧¹, 郭倩君¹, 朱晶晶¹, 王洪强^{1,2*}

¹桂林理工大学, 环境科学与工程学院, 广西 桂林

²广西环境污染控制理论与技术重点实验室, 广西 桂林

Email: sjhjgc@163.com

收稿日期: 2020年10月1日; 录用日期: 2020年10月23日; 发布日期: 2020年10月30日

摘要

通过对2015年~2018年期间华中地区郑州、武汉和长沙三座典型城市空气污染的对比, 得出了PM_{2.5}、O₃和AQI的变化规律以及2015年1月份和2018年1月份相同时间段污染气团的轨迹方向。结果表明, PM_{2.5}和AQI的变化趋势基本一致, 都是在逐年下降, 都呈现出冬季高夏季低的特点; 臭氧在4年观测期间年均浓度变化不大, 且呈现夏季高冬季低的特点。华中地区三座典型城市的气团轨迹显示, 郑州的气团轨迹2015年1月和2018年1月都非常相似, 起源于俄罗斯的西伯利亚地区, 然后经过京津冀地区到达郑州; 武汉的后相轨迹图则没有什么规律; 长沙的后相轨迹图显示污染气团路线基本一致, 来自广东和广西地区。

关键词

PM_{2.5}, O₃, 空气污染

Comparative Analysis of Air Pollution Characteristics of Typical Cities in Central China from 2015 to 2018

Zhijun Yang¹, Qianjun Guo¹, Jingjing Zhu¹, Hongqiang Wang^{1,2*}

¹College of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin Guangxi

²Guangxi Key Laboratory of Environment Pollution Control Theory and Technology, Guilin Guangxi

Email: sjhjgc@163.com

Received: Oct. 1st, 2020; accepted: Oct. 23rd, 2020; published: Oct. 30th, 2020

*通讯作者。

文章引用: 杨智钧, 郭倩君, 朱晶晶, 王洪强. 2015~2018年我国华中地区典型城市空气污染特征对比分析[J]. 环境保护前沿, 2020, 10(5): 774-781. DOI: 10.12677/aep.2020.105093

Abstract

Based on the comparison of air pollution in Zhengzhou, Wuhan and Changsha, three typical cities in central China from 2015 to 2018, the variation rules of $PM_{2.5}$, O_3 and AQI and the trajectory direction of polluted air masses in January 2015 and January 2018 are obtained. The results show that the variation trends of $PM_{2.5}$ and AQI are basically the same, both decreasing year by year, showing the characteristics of high in winter and low in summer, which is closely related to the defense of blue sky in recent years, and the average annual concentration of ozone changes little during the 4-year observation period, and shows the characteristics of high in summer and low in winter. The air mass trajectories of three typical cities in central China show that the air mass trajectories of Zhengzhou in January 2015 and January 2018 are very similar, originating from Siberia in Russia, and then arriving in Zhengzhou through the Beijing-Tianjin-Hebei region; the post-phase trajectory map of Wuhan has no regularity; the post-phase trajectory map of Changsha shows that the route of the polluted air mass is basically the same, all drifting from Guangdong and Guangxi provinces.

Keywords

$PM_{2.5}$, O_3 , Air Pollution

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

自改革开放以来,中国经济高速发展,其中衍生出了一系列的环境生态问题,大气污染便是其中之一。大气污染是由于人类活动或自然过程引起某些物质进入大气中,呈现出足够的浓度,达到足够的时间,并因此危害了人体的舒适、健康和福利或环境的现象[1]。大气污染物由人为源或者天然源进入大气(输入),参与大气的循环过程,经过一定的滞留时间之后,又通过大气中的化学反应、生物活动和物理沉降从大气中去除。如果输出的速率小于输入的速率,就会在大气中相对集聚,造成大气中某种物质的浓度升高。当浓度升高到一定程度时,就会直接或间接地对人、生物或材料等造成急性、慢性危害。随着工业的发展,化石染料的大量使用,导致了大量污染物排放进入大气中,当空气中的污染物的浓度达到一定程度时,会诱发人体产生疾病,主要表现为呼吸道疾病与生理机能障碍,眼鼻等粘膜组织受到刺激而患病,以及肺气不足导致体力下降等[2];王瑞茵等[3]研究研究发现 $PM_{2.5}$ 可以单独导致哮喘, $PM_{2.5}$ 对哮喘的影响已涉及到基因。因此,解决大气污染对我国国民生命健康和可持续发展至关重要。

当前我国大气污染状况依然十分严重,有不少专家学者对我国不同地区大气污染状况进行了研究。罗意然[4]等分析了云南省昆明、曲靖和玉溪3个典型城市2014年1月1日~2017年12月31日空气污染状况数据,发现云南重污染天气的出现,与外来源叠加有密切关系。覃蓉等[5]对宁夏回族自治区吴忠市、固原市、石嘴山市、中卫市及银川市空气质量进行分析,发现污染集中在冬季,12月、1月污染物达到最高值。谭成好等[6]分析了1962~2011年华中地区霾污染的时空变化特征及其成因。刘琳[7]等对2015年6月至2016年2月华中区域空气质量数值预报系统的6种污染物(PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO

和 O_3)进行了逐小时预报结果以及 AQI 指数进行检验评估。周旭[8]研究了西南地区冬季城市空气污染成因及防治措施,发现西南城市环境空气质量在全国处于较好水平,但因为西南城市地形大多处于一个十分封闭系统,风速小,静风频率高且持续时间长,而且易出现局地环流,使得冬季成为一年最容易出现空气污染的季节。近年来,利用长时间序列研究华中地区空气污染最新成果相对较少。本文研究 2015~2018 年我国华中地区典型城市空气污染特征并进行对比分析,为科学有效地控制和治理大气污染提供科学参考。

2. 数据处理

数据基于中国空气质量在线监测分析平台(<https://www.aqistudy.cn/>),该平台每小时公布一次空气污染状况数据,包括 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、CO、 NO_2 、 O_3 和 SO_2 的小时平均值,公布的数据包括郑州、武汉和长沙等我国华中地区 45 个城市,由于各个点布设的时间不一致,本研究仅统计包含连续观测 4 年的 3 个典型城市(2015 年 3 月 1 日至 2019 年 2 月 28 日),并基于日平均值进行统计,需要说明的是,数据首先剔除了异常值 0,并以日平均值统计分析导致华中地区空气污染最严重物质— $PM_{2.5}$ 和 O_3 的污染特征。

后向轨迹分析采用了美国国家海洋和大气局(NOAA)等开发的供质点轨迹、扩散及沉降分析用的综合 HYSPLIT-4 模型系统,该模式是 Eulerian-Lagrangian 混合型的扩散模式,其平流和扩散计算采用 Lagrangian 法,通常用来跟踪气流所携带的粒子或气团的移动方向。采用地形 δ 坐标,水平网格与输入的气象场相同,垂直方向分为 28 层,将气象要素线性内插到各 δ 层上[9]。该模式已被广泛应用于大气污染物输送研究[10][11][12]。

空气质量指数(AQI)是定量描述空气质量状况的无量纲指数,参与空气质量评价的主要污染物为细颗粒物($PM_{2.5}$)、可吸入颗粒物(PM_{10})、二氧化硫(SO_2)、二氧化氮(NO_2)、臭氧(O_3)一氧化碳(CO)等六项。AQI 共分为六级,对应的取值范围为 I 级 0~50、II 级 51~100、III 级 101~150、IV 级 151~200、V 级 201~300 以及 VI 级 > 300。其中对人体健康的影响程度为: I 级空气质量为优,对人体健康无影响; II 级空气质量为良,对人体健康无显著影响; III 级空气质量为轻度污染,会致使健康人体出现刺激症状; IV 级空气质量为中度污染,可能对健康人群心脏、呼吸系统有影响; V 级空气质量为重度污染,致使心脏病和肺病患者症状显著加剧,运动耐力降低,健康人群普遍出现症状; VI 级空气质量为严重污染,导致健康人群运动耐受力降低,有明显强烈症状,提前出现某些疾病[13]。

3. 结果与讨论

3.1. 年际变化特征

表 1 给出了 2015 年~2018 年华中地区典型城市郑州、武汉及长沙三座城市各级空气级别所占的天数及其优良空气天数所占比例,统计结果表明,郑州年平均 I 级以上天数为 11.5 天,II 级以上为 165 天,优良空气比例为 45.20%;武汉年平均 I 级以上天数为 52.25 天,II 级以上为 240.75 天,优良空气比例为 65.96%,各项都优于郑州;长沙年平均 I 级天数为 75.75 天,II 级以上天数为 263.75 天,优良空气比例为 72.26%,长沙 I 级和 II 级所占天数在郑州和武汉之上。通过对华中地区三座典型城市空气质量分析,相对应的平均空气质量良好率最高的是长沙,为 72.26%,武汉和郑州次之,分别为 65.96%和 45.20%。郑州的空气质量在三者的对比分析中为最差,郑州气候属于大陆性季风,常年降水量少,风力小,大气比较稳定,大气悬浮物较难扩散[14],而武汉和长沙都属于降水充沛的亚热带季风气候。截至 2017 年,郑州、武汉和长沙的汽车保有量分别为 282、244 和 205 万辆,郑州的汽车保有量最多,尾气排放较多,加之郑州的大陆性季风气候,使得尾气难以扩散;在十三五期间,郑州煤炭消费量占能源消费总量 63.2%,武汉煤炭消费量占能源消费总量 38.1%,长沙则为一个能源输入型城市。

Table 1. Days and good rate distribution of air quality levels in three cities from 2015 to 2018
表 1. 2015 年~2018 年 3 座城市各级空气质量级别所占的天数和良好率分布

	郑州	武汉	长沙
2015 年(一级/d)	6	32	68
2016 年(一级/d)	8	52	68
2017 年(一级/d)	12	62	79
2018 年(一级/d)	20	63	88
均值(一级/d)	11.5	52.25	75.75
一级所占比例	3.15%	14.32%	20.75%
2015 年(二级/d)	134	201	257
2016 年(二级/d)	157	238	268
2017 年(二级/d)	166	250	231
2018 年(二级/d)	203	274	299
均值(二级/d)	165	240.75	263.75
二级所占比例	45.21%	65.96%	72.26%

图 1 为 2015~2018 年华中地区 3 座典型城市郑州、武汉及长沙 AQI 年均值变化趋势。由图 1 可见，郑州、武汉和长沙三座城市的 AQI 值总体是逐年下降，冬季时的 AQI 值最大，原因为：一是夏季降雨充沛，空气污染物浓度与降雨量呈负相关，降雨对空气污染物有较好的清除作用；二是冬季人们更多使用汽车等交通工具，还有取暖燃烧化石燃料，增加了空气中的污染物浓度。三者中，郑州的年均 AQI 值波动范围最大，长沙的 AQI 范围在三者中最为均匀，说明三者空气质量指数最好的为长沙，其次为武汉，郑州最差。

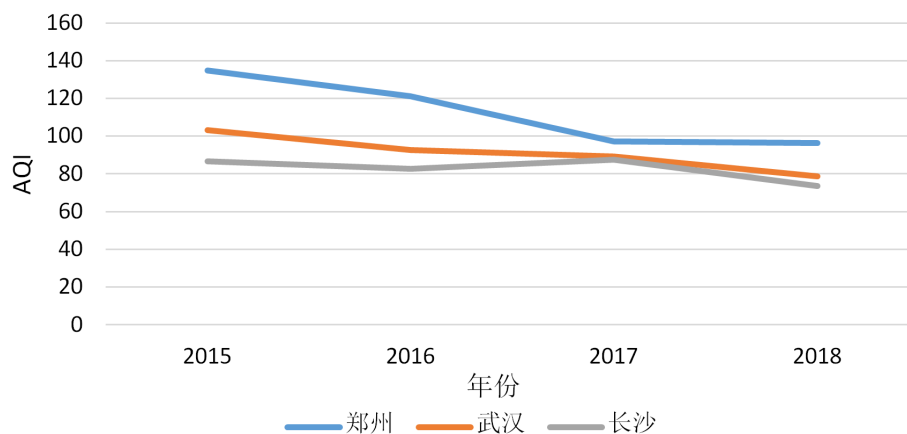


Figure 1. Characteristics of interannual variation

图 1. 年际变化特征

3.2. 季节变化特征

根据数据特征，将 3~5 月作为春季，6~8 月作为夏季，9~11 作为秋季，1、2 及 12 月作为一年的冬季，2015 年冬季为 2015 年 1 月、2 月及 12 月。郑州、武汉及长沙 2015~2018 年 AQI 的季度变化绘制于图 2，PM_{2.5} 和 O₃ 季度变化趋势分别绘制于图 3 和图 4。

从图2可以得出两个基本规律：郑州、武汉及长沙三座典型城市在前两年AQI的按照春夏秋冬四季的变化情况为：高-低-高-高，且每一年的AQI最高值都在下降，这与2013年中国发布《大气污染防治行动计划》即“大气十条”紧密相关；每一年都是冬季的AQI最高，除了郑州2017年和2018年的夏季除外，三座典型城市都是在夏季的AQI最低，这与夏季降雨多，环流加快有关。

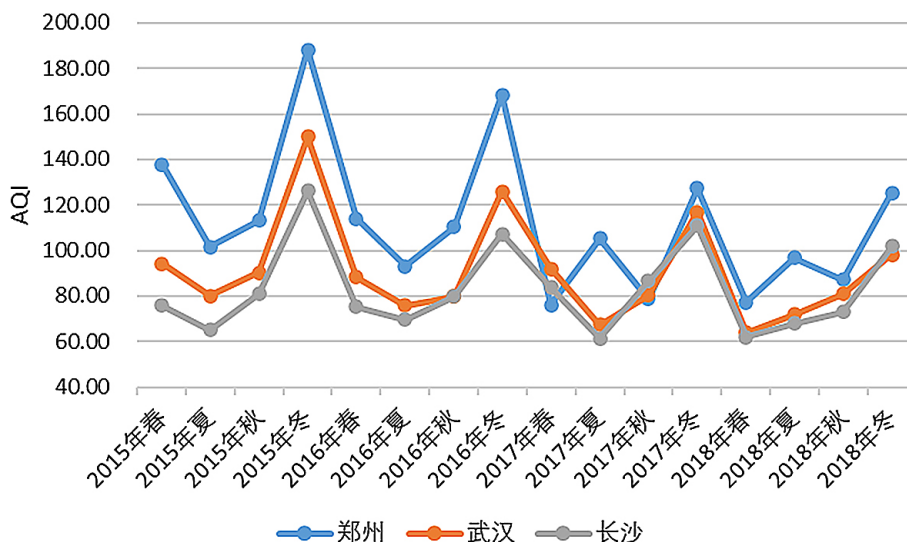


Figure 2. AQI seasonal variation characteristics
图 2. AQI 季节变化特征

PM_{2.5}是指大气中直径小于或等于 2.5 μm 的细颗粒物，与大气中粗颗粒物相比，PM_{2.5}粒径小，对阳光产生的散射作用更大，使得光线穿透力减弱，从肉眼感觉天空会变得灰蒙蒙，在大气中停留时间长、输送距离远，对大气环境质量的影响更大，也是雾霾天气形成的主要原因[15] [16] [17]。在2015~2018三年中，郑州、武汉和长沙三座典型城市的PM_{2.5}变化符合“U”字型，这与王翠连[18]的研究成果一致，总体也非常吻合图2中AQI的变化趋势。冬季增多燃煤及风向等不利于污染物扩散，造成冬季PM_{2.5}浓度在四个季节中最高；夏季为南风 and 东南风，降雨较大，有利于大气中PM_{2.5}的扩散和沉降，造成夏季PM_{2.5}在一年中最低[19]。

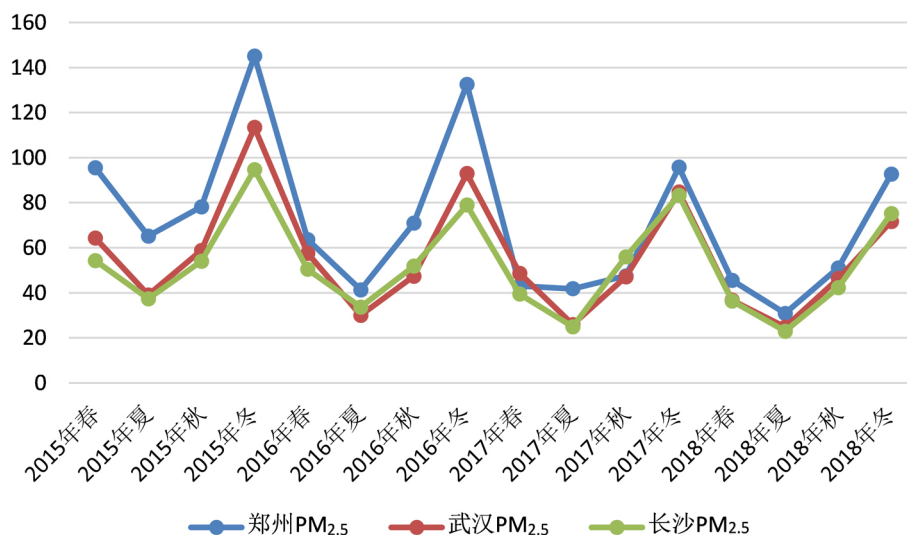


Figure 3. Seasonal variation characteristics of PM_{2.5}
图 3. PM_{2.5} 季节变化特征

臭氧主要分布在距离地面 20~35 公里的臭氧层中, 它能有效阻挡紫外线, 保护人类健康, 目前普遍认为大气边界层内的臭氧主要由光化学反应产生, 汽车尾气和工业排放产生的 $\text{NO}_x(\text{NO}, \text{NO}_2)$ 及挥发性有机物(Volatile Organic Compounds, VOCs)是对流层光化学反应产生臭氧的前体物[20]。 O_3 的化学活性极高, 可参与许多大气光化学反应, 引起酸雨、光化学烟雾、大气能见度降低等污染现象, 直接或间接对人体健康造成损伤。陈琦等[21]的研究表明, 大气中 O_3 质量浓度每增加 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 人群非意外死亡风险增加 0.79%, 心血管系统疾病死亡率增加 1.25%; Atkinson 等[22]的研究也显示空气中 O_3 的质量浓度每升高 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 心血管疾病死亡率增加 1.01%; O_3 浓度升高还会使心肌梗死、高血压以及妊娠高血压的发病风险增加[23] [24] [25], O_3 暴露致心血管系统损伤也是空气污染威胁人类健康的重要因素。通过对郑州、武汉和长沙三座城市 2015~2018 年 O_3 季节平均值的计算, 得到图 4, 由图 4 可以看出, 三座城市 O_3 的年均变化趋势较为一致, 春季到夏季臭氧浓度上升, 夏季到秋季、冬季呈下降趋势。臭氧浓度在一年中有一个高峰和一个低峰, 在夏季是一年中臭氧浓度最高的时候, 因为夏季降雨丰富, 气温高, 光照强度高, 大气扩散条件好, 利于氮氧化物和挥发性有机物发生大气光化学反应, 从而生成地面臭氧; 而冬季则是一年中臭氧浓度最低的季节, 因为冬季光照强度在一年中最弱。

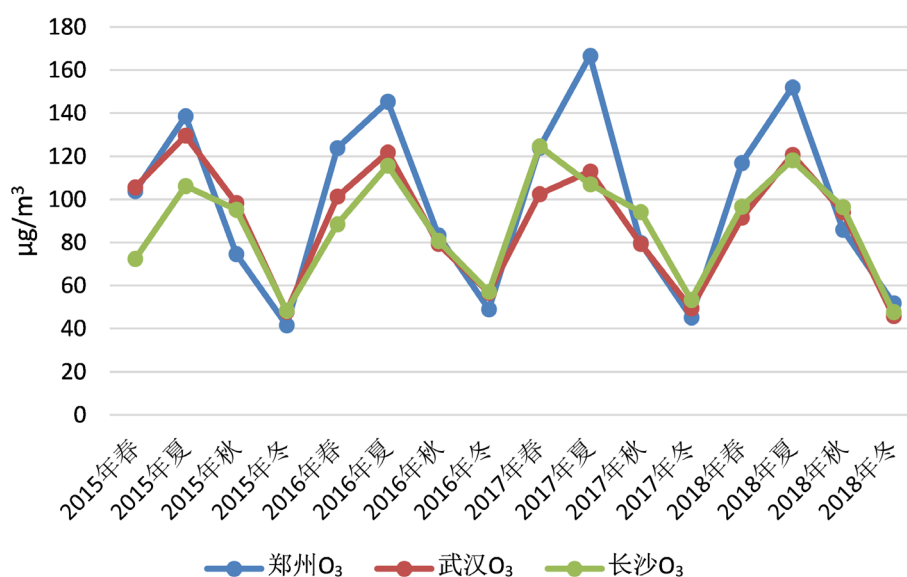


Figure 4. Seasonal variation characteristics of O_3
图 4. O_3 季节变化特征

3.3. 后向轨迹分析

根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012)制定的空气质量指数规定, 将 AQI 值分为 6 级: 0~50、51~100、101~150、151~200、201~300、>300, 分别对应空气质量等级优、良好、轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染。对中度污染、重度污染和严重污染进行后向轨迹绘图分析。三个典型城市污染物浓度在冬季普遍很高, 分别选取 2015 年 1 月和 2018 年 1 月相近时间段内的污染物来源进行分析, 对比其污染物的迁移轨迹。选取郑州(35.00 N, 114.00 E)、武汉(31.00 N, 114.00 E)和长沙(28.12 N, 112.59 E)在 2015 年 1 月 15 日~2015 年 1 月 22 日和 2018 年 1 月 18 日~2018 年 1 月 25 日这两个时间段内对污染物的轨迹图进行分析, 其后相轨迹图分别如图 5、图 6 所示。

通过对比图 5 和图 6 发现在 2015 年 1 月和 2018 年 1 月郑州污染物的轨迹来源都非常相似, 都是从俄罗斯的西伯利亚地区飘来, 而且还经过了京津区域, 武汉的污染气团来源并没有什么规律可言; 长沙

两个时间段的后相轨迹图显示污染气团路径基本一致，都是来自广西和广东地区。

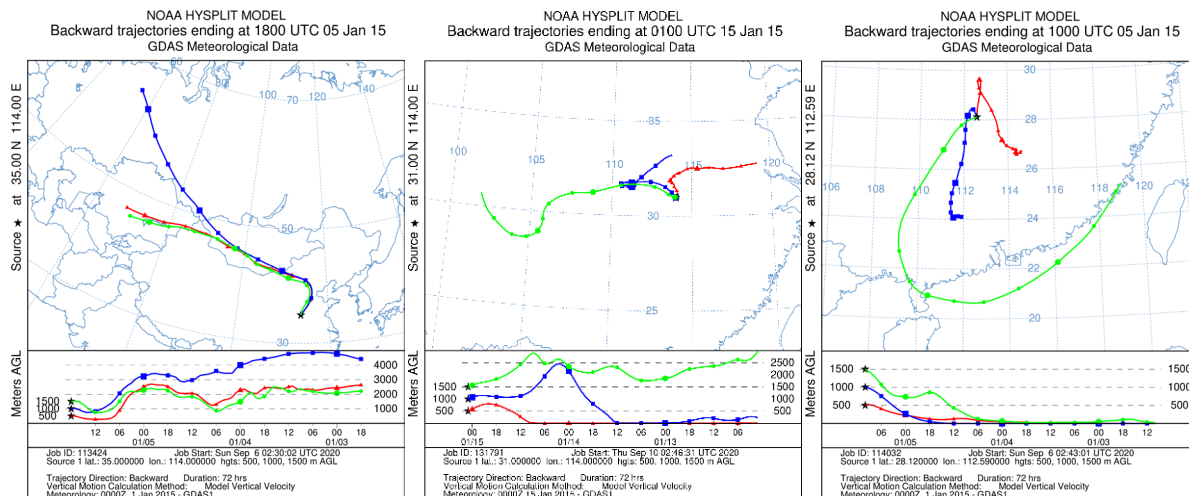


Figure 5. Phase trajectory from January 15, 2015 to January 22, 2015 72 hours later

图 5. 2015 年 1 月 15 日~2015 年 1 月 22 日 72 小时后相轨迹图

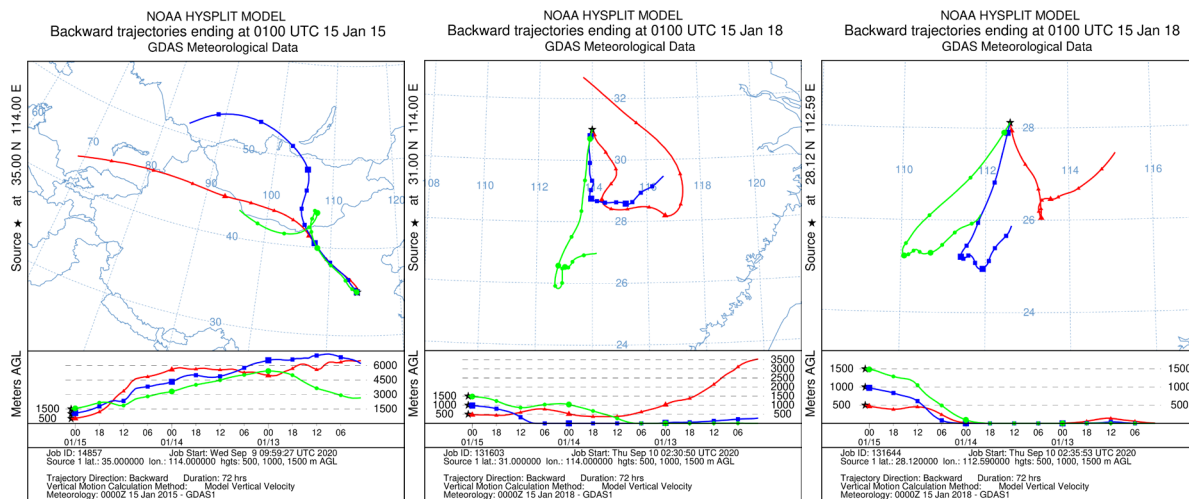


Figure 6. Phase trajectory after 72 hours from January 15, 2018 to January 22, 2018

图 6. 2018 年 1 月 15 日~2018 年 1 月 22 日 72 小时后相轨迹图

4. 结论

1) 2015 年~2018 年间总体 AQI 值是在逐渐下降，说明总体空气质量在逐年变好。

2) PM_{2.5} 和 O₃ 两者的浓度均受季节性变化的影响。PM_{2.5} 的年均浓度变化为冬季高夏季低，且浓度在逐年下降；O₃ 的年均变化情况为夏季高冬季低。

3) 2015 年 1 月和 2018 年 1 月两次污染物后向轨迹显示，郑州的污染气团起源于俄罗斯的西伯利亚地区，并且经过了京津冀地区；武汉的污染气团来源并没有什么规律可言；长沙两个时间段的后相轨迹图显示污染气团路径基本一致，都是来自广西和广东地区。

致 谢

感谢中国空气质量在线监测分析平台的数据支持。

基金项目

广西科技计划项目(2018GXNSFBA281082)、桂林理工大学博士(后)科研启动金。

参考文献

- [1] 《环境科学大辞典》编委会. 环境科学大辞典(修订版) [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [2] 陈宗瑜. 空气污染与人类健康[J]. 环境科学导刊, 2000, 19(1): 56-58.
- [3] 王瑞茵, 林江涛. PM_{2.5} 与哮喘的关系及防护措施[J]. 国际呼吸杂志, 2019, 39(5): 362-366.
- [4] 罗意然, 钟承韡, 王洪强. 2014-2017年云南省典型城市空气污染特征对比分析[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(5): 11.
- [5] 覃蓉, 王洪强. 2015-2017年宁夏空气污染特征对比分析[J]. 环境保护前沿, 2019, 9(6): 7.
- [6] 谭成好, 赵天良, 崔春光, 等. 近50年华中地区霾污染的特征[J]. 中国环境科学, 2015, 35(8): 2272-2280.
- [7] 刘琳, 白永清, 林春泽, 等. 华中区域空气质量数值预报系统评估及气溶胶辐射效应的模拟研究[J]. 气象, 2018, 44(9): 1179-1190.
- [8] 周旭. 西南地区冬季城市空气污染成因及防治措施[J]. 中国科技纵横, 2016(13): 19-19, 22.
- [9] Draxler, R.R. and Hess, G.D. (1998) An Overview of HYSPLIT-4 Modeling System for Trajectories Dispersion and Deposition. *Australian Meteorological Magazine*, 47, 295-308.
- [10] 张维, 邵德民, 殷鹤宝, 等. 中国沿海城市的气块后向轨迹分析[J]. 气象, 1994, 20(12): 46-49.
- [11] 王喜全, 杨婷, 王自发. 灰霾污染的跨控制区影响——一次京津冀与东北地区灰霾污染个案分析[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(6): 690-696.
- [12] 俞科爱, 徐宏辉, 黄旋旋, 等. 宁波秋冬季空气污染变化特征及污染物后向轨迹分析[J]. 浙江气象, 2015, 36(1): 27-31.
- [13] 袁鹰, 刘明源. 浅议空气质量指数(AQI)与空气污染指数(API)的差异[J]. 广州化工, 2014(12): 164-166.
- [14] 肖慧. 郑州市雾霾成因及防治对策[J]. 绿色科技, 2018(2): 59-61.
- [15] 林治卿, 裘著革, 杨丹凤, 等. PM_{2.5} 的污染特征及其生物效应研究进展[J]. 解放军预防医学杂志, 2005, 23(2): 34-38.
- [16] 王玮, 汤大钢, 刘红杰, 等. 中国 PM_{2.5} 污染状况和污染特征的研究[J]. 环境科学研究, 2000(4): 19-21.
- [17] 陈松, 张俊波, 房稳静. 驻马店城市温度变化与空气质量的关系分析[J]. 河南科学, 2013, 31(6): 855-859.
- [18] 王翠连, 张军, 郑瑶, 等. 郑州城区 PM₁₀, PM_{2.5} 质量浓度变化特征及其对气象因子的响应[J]. 环境保护科学, 2019, 45(6): 76-83.
- [19] 康盼茹, 姜楠, 王佳, 等. 郑州市 2013-2014 年冬春夏秋季 PM_{2.5} 源解析研究[C]//2015 年中国环境科学学会年会论文集. 2015: 3568-3575.
- [20] 梁碧玲, 张丽, 赖鑫, 等. 深圳市臭氧污染特征及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(1): 66-71.
- [21] 陈琦, 孙宏, 陈晓东. 南京市臭氧短期暴露人群急性健康效应研究[J]. 江苏预防医学, 2017, 28(4): 366-368.
- [22] Atkinson, R.W., Butland, B.K., Dimitroulopoulou, C., et al. (2016) Long-Term Exposure to Ambient Ozone and Mortality: A Quantitative Systematic Review and Meta-Analysis of Evidence from Cohort Studies. *BMJ Open*, 6, e009493. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009493>
- [23] Chiu, H.F., Weng, Y.H., Chiu, Y.W., et al. (2017) Short-Term Effects of Ozone Air Pollution on Hospital Admissions for Myocardial Infarction: A Time-Stratified Case-Crossover Study in Taipei. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80, 251-257. <https://doi.org/10.1080/15287394.2017.1321092>
- [24] Coogan, P.F., White, L.F., Yu, J., et al. (2017) Long-Term Exposure to NO₂ and Ozone and Hypertension Incidence in the Black Women's Health Study. *American Journal of Hypertension*, 30, 367-372. <https://doi.org/10.1093/ajh/hpw168>
- [25] Hu, H., Ha, S. and Xu, X. (2017) Ozone and Hypertensive Disorders of Pregnancy in Florida: Identifying Critical Windows of Exposure. *Environmental Research*, 153, 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.12.002>