

Analysis of Pollution Characteristics of a Heavy Air Pollution Process in Tianjin

Dan Li, Bin Liu*, Jun Kong, Rui Guo, Yu Bai, Hong Xu

Tianjin Environmental Monitoring Center, Tianjin
Email: lbsaga@foxmail.com

Received: Apr. 6th, 2018; accepted: Apr. 21st, 2018; published: Apr. 28th, 2018

Abstract

Based on the environmental monitoring data and meteorological data in Tianjin, the pollution characteristics of a heavy air pollution process occurred in mid December 2016 in Tianjin were analyzed; the results show that the heavy pollution process of heavy pollution levels, long duration and high concentration of fine particulate matter, mainly in the weak pressure, static wind and high humidity and other adverse weather conditions by the regional transportation of pollutants and local pollutant emissions, and the action of the two reactions of pollutants in the accumulation of atmospheric chemical reactions caused at the same time. The backward trajectory analysis shows that the pollution air masses mainly come from the southwest direction, it might carry a lot of pollutants from the middle and northern part of Henan province and moves slowly, which causes severe pollution weather in Tianjin.

Keywords

Heavy Air Pollution Process, Backward Trajectory, Tianjin

天津市一次重污染天气过程污染特征分析

李丹, 刘彬*, 孔君, 郭瑞, 白宇, 徐虹

天津市环境监测中心, 天津
Email: lbsaga@foxmail.com

收稿日期: 2018年4月6日; 录用日期: 2018年4月21日; 发布日期: 2018年4月28日

摘要

利用天津市环境监测资料及气象观测资料, 对2016年12月中旬天津市重污染天气过程污染特征进行分析

*通讯作者。

析, 结果表明, 该次重污染天气过程污染程度重、持续时间长及细颗粒物浓度高, 主要是在弱气压场、静风及高湿等不利气象条件下, 污染物区域传输及本地污染物排放累积, 同时在大气化学反应的作用下, 污染物的二次反应共同导致。后向轨迹分析表明, 污染气团主要来自西南方向, 可能是从河南省中北部地区携带了大量污染物, 并且移动速度缓慢, 造成天津市较为严重的污染天气。

关键词

重污染天气过程, 后向轨迹, 天津

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

近年来, 我国大气污染形势十分严峻, 大范围、长时间、高浓度的连续雾霾及重污染天气过程时有发生, 严重影响了大气能见度[1]和人民群众的正常生活及身体健康[2], 社会各阶层对于空气质量状况的关注达到了前所未有的高度。丁一汇和吴兑等[3] [4]通过研究我国雾霾长期变化特征发现, 雾日自 1990 年以后明显减少, 而霾日总体呈上升趋势。杨欣等[5]利用激光雷达观测研究发现气溶胶颗粒物和大气水分共同造成城市上空的大气强消光, 使灰霾污染加剧。穆穆等[6]从气象角度提出了应对大范围雾霾天气的对策和措施。王自发等[7]通过模拟试验发现气象-污染双向耦合机制对灰霾污染期间大气边界层内气象要素和污染物浓度变化都有显著影响。周敏等[8]研究了重污染期间上海市细颗粒物化学组分特征及污染来源类型。廖晓农等[9]、张小玲等[10]研究表明冬季雾-霾过程出现在高空西北气流、低层多短波活动的背景下, 其形成和维持的主要机制是边界层内始终有逆温层、地面弱风场、底层湿度逐渐增大。稳定、高湿的气象条件对细粒子 $PM_{2.5}$ 的形成、积聚和维持比较有利, 造成严重的区域性低能见度和雾霾天气。区域性大气重污染地区主要集中在中东部地区特别是京津冀地区[11]-[16], 京津冀地区由于其特殊地形及快速发展等诸多原因, 在静稳天气形势下容易出现雾霾天气。

本研究以 2016 年 12 月天津市及其周边城市一次重污染天气过程为例, 从区域污染特征、气象条件及污染气团后向轨迹变化等多个方面探讨此次重污染过程, 对进一步认识天津市重污染天气成因具有重要意义, 为政府更为科学、有效的采取应急预案措施提供决策依据。

2. 数据来源及处理方法

本研究根据全国城市空气质量实时发布平台各城市 AQI 及 2016 年 12 月 15 日至 22 日天津市环境监测数据, 整理天津市主要污染物及气象要素逐小时数据, 判定区域污染形势及重污染天气过程中污染物的特征和变化趋势; 利用 HYSPLIT Trajectory Model 对天津市 12 月 15 日至 22 日每天 24 时进行后推 48 小时气团来向进行模拟, 计算和分析污染气团运动轨迹, 判定重污染日气团的来源、输送、扩散和沉降过程。

3. 结果与讨论

3.1. 污染物浓度变化

为了解此次重污染天气过程前后天津市及周边城市京津冀区域污染状况, 本研究对 2016 年 12 月 15

日至 22 日京津冀区域主要城市 AQI 日变化进行分析(见图 1)。15 日, 石家庄 AQI 大于 200, 保定 AQI 大于 100, 其余城市空气质量较好。16 日京津冀区域空气质量整体转差, 直至 22 日下午, 受冷空气影响, 区域空气质量好转, 此期间京津冀主要城市分别出现了连续 5 至 7 天的重污染天气过程。从城市 AQI 日变化看出, 天津市空气质量在京津冀区域处于较好水平, 北京最好, 石家庄、保定、廊坊、唐山和沧州污染相对较重。由此可知, 该次污染是一次典型的区域污染过程, 污染程度重, 持续时间长, 可能主要是受到不利气象条件影响。

从污染物浓度和气象要素小时变化看(见图 2), 12 月 15 日至 22 日六项污染物浓度均随气象条件变化呈现出较为一致的变化规律, 其中 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 日均浓度变化幅度最大, 是该次重污染过程的主要污染物, $\text{PM}_{2.5}$ 小时浓度高达 $381 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。16 日 8 时 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度开始明显上升, 天津市空气质量由良转为重度污染。17 日至 18 日受弱气压场、小风力、高湿度影响, 污染物迅速累积。19 日至 20 日, 天津市湿度过饱和, 颗粒物浓度有所下降, 但整体扩散条件仍较差, 污染物始终处于重度至严重污染水平。21 日, 天津市受东北方向区域传输影响, 污染物再次累积。22 日, 天津市受晚间较强冷空气影响, 各项污染物浓度逐渐下降, 空气质量逐步改善。与 15 日非污染日相比, 16 至 22 日污染日天津市 SO_2 、 NO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 CO 浓度平均分别上升 19.2%、72.6%、180.2%、257.1% 和 260.3%。此外, 污染日期间污染物呈现为明显的单峰分布特征。

3.2. 颗粒物化学组分分析

SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 主要是由气态污染物向颗粒态转化生成的二次产物, SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 等二次离子在 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 中占较大比重, 特别是在 $\text{PM}_{2.5}$ 中有明显分布[17], 此次污染过程中 $\text{PM}_{2.5}$ 增长幅度比 PM_{10} 更高, 表明可能主要受到了二次污染物的影响。12 月 15 至 22 日主要水溶性离子分析结果表明(见图 3), SO_4^{2-} 、 NO_3^- 和 NH_4^+ 是颗粒物组分中最主要的离子, 说明此次污染过程二次反应影响显著。此外, 颗粒物中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的质量浓度比可以判断大气中 N 和 S 的移动源和固定源的相对重要性, 用

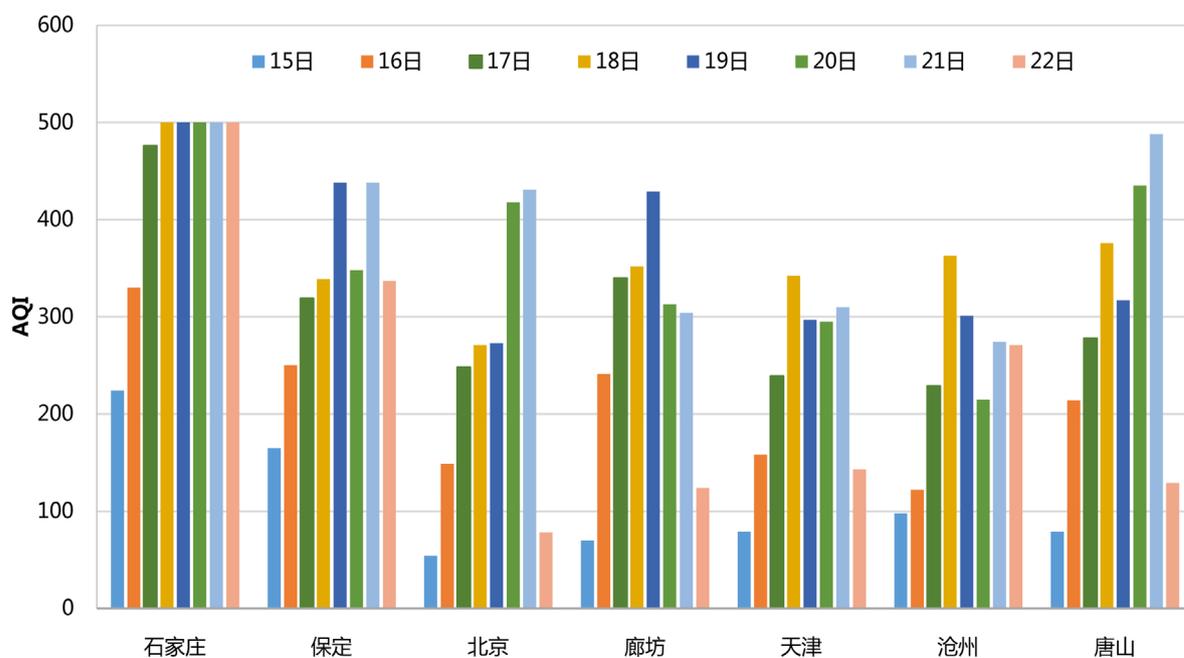


Figure 1. Tianjin and the surrounding city AQI from December 15 to 22

图 1. 12 月 15 日至 22 日天津市及周边城市 AQI

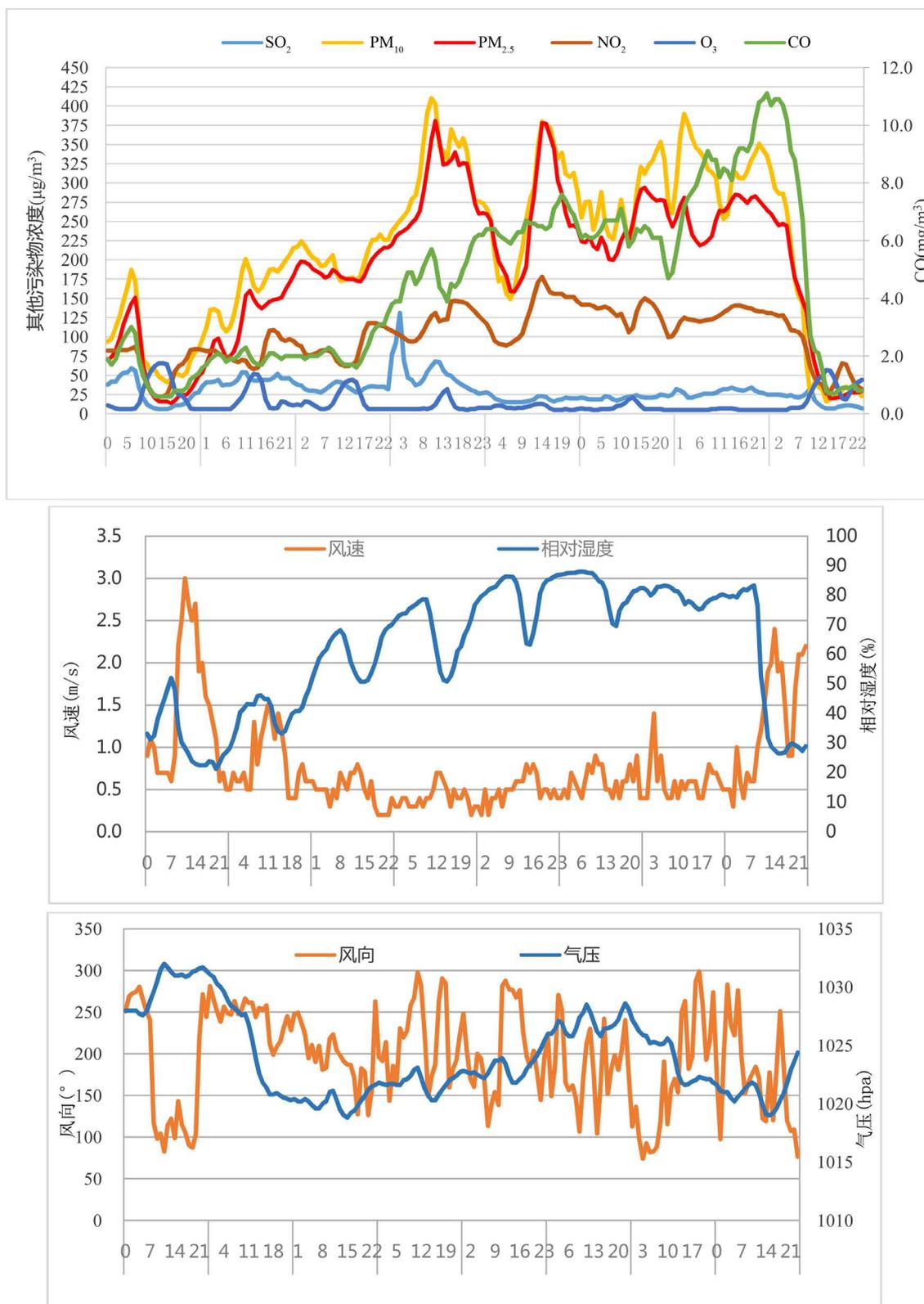


Figure 2. Hourly changes of six pollutants concentration and meteorological elements in Tianjin from December 15 to 22

图 2. 12 月 15 日至 22 日天津市六项污染物浓度及气象要素小时变化

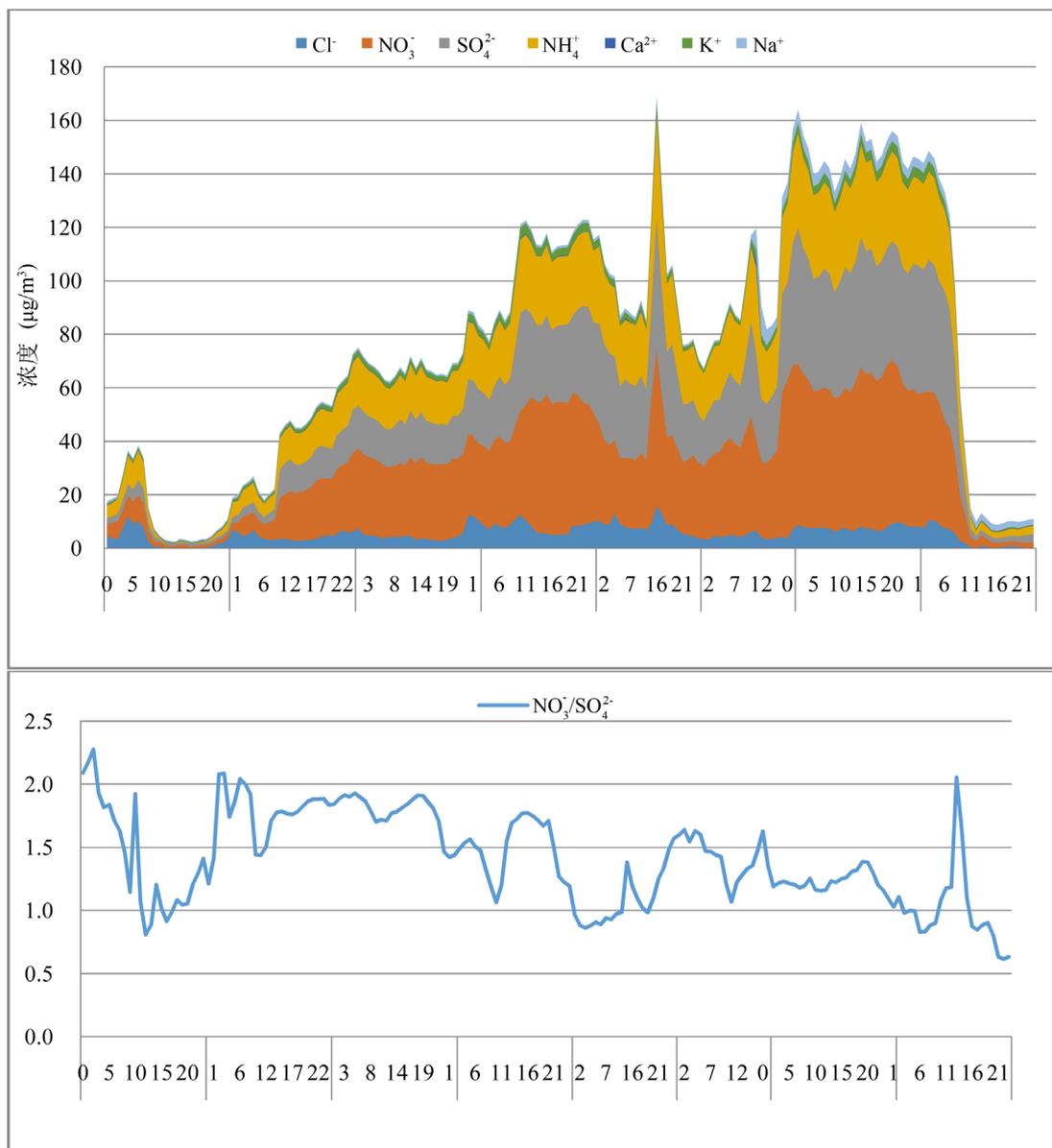


Figure 3. Changes in water soluble ions and $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ ratio in Tianjin from December 15 to 22

图 3. 12 月 15 日至 22 日天津市主要水溶性离子以及 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比值变化

于指示大气中机动车尾气排放与煤、石油燃烧污染源[18] [19]。此次污染过程中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的小时比值均较高，且 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 平均值为 1.41，说明移动源成为天津地区重要的大气颗粒物污染来源。

3.3. 气象条件特征分析

污染物排放水平和气象扩散条件是影响城市大气环境质量的两个主要因子。在污染物排放水平一定的情况下，空气污染与气象条件有着非常紧密的关系[20] [21]，其中最主要的要素包括降水、温度、相对湿度、气压和风向风速等。气象监测表明，在该次污染过程前后没有发生降水，而分析其他主要气象要素(见图 2)发现，相对湿度在污染过程中处于较高水平，个别时段达到了 90% 左右，为二次硫酸盐、二次硝酸盐等的生成以及 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 等颗粒物的吸湿增长提供了有利条件。与此同时，污染过程期间的气

压相比污染前也有明显下降。观察近地面风向风速的变化发现, 16日起天津市受西南气流影响, 西南方向污染带随西南风向北输送, 京津冀区域污染累积, 16日中午11时天津市实时AQI达到重度污染水平; 18日天津市北部以西北风为主, 南部以西南风为主, 形成风场辐合, 导致污染升级。19日至20日, 天津市出现特强浓雾天气, 湿度过饱和, 颗粒物浓度有所下降, 但气压场和风场均较弱, 污染物无法扩散, 空气质量始终处于重度至严重污染水平。21日, 天津市主要以东北风为主, 受高湿度及区域传输影响, 污染物逐渐累积, 直至22日, 天津市受西北路径较强冷空气影响, 污染逐步缓解。

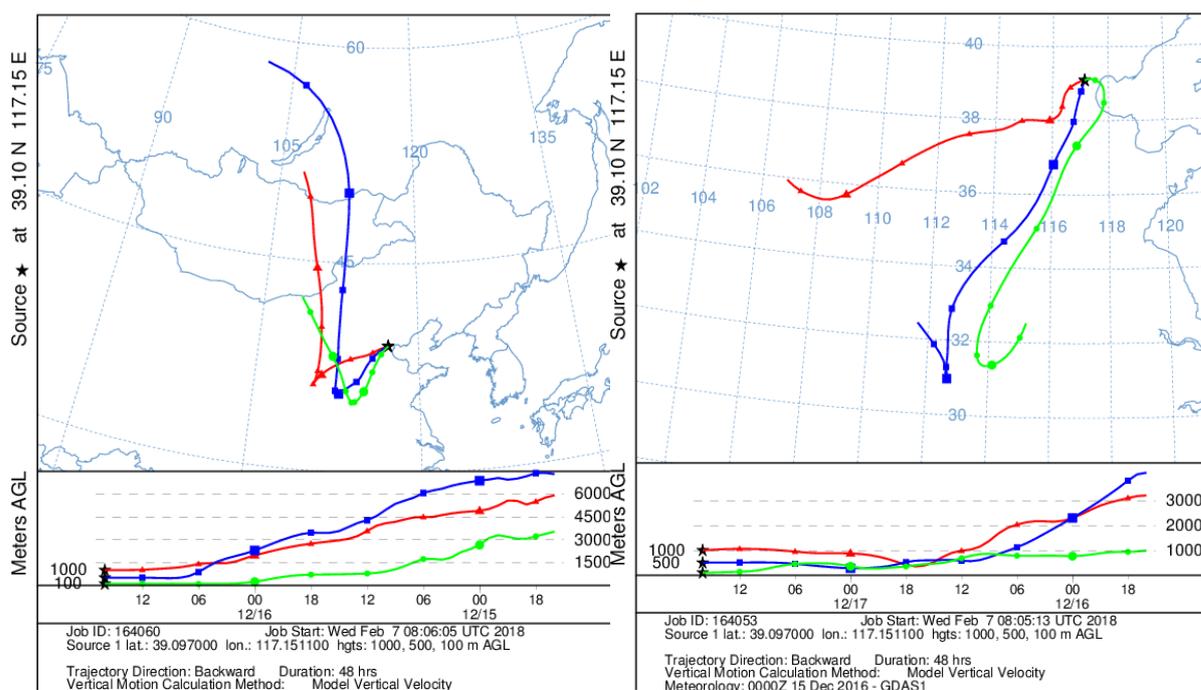
3.4. 后向轨迹分析

利用 HYSPLIT Trajectory Model 对天津市 12 月 15 日至 22 日每天 24 时进行后推 48 小时气团来向进行模拟(见图 4), 可以看出: 15 日至 18 日, 气团主要来自西南方向, 河南省中北部地区, 且移速随时间推移而降低, 有利于污染物在河北省的堆积, 并缓慢推移至天津, 与天津本地污染物叠加, 形成污染峰值; 从气团高度轨迹线上看, 在京津冀区域均处于低层, 且垂直方向气团交换不明显, 污染物传输以近地面传输为主; 19 日至 20 日, 气团虽然来自北方, 但其在越过燕山山脉后, 移动速度和气团高度迅速降低, 对本地积累的污染物清除作用有限; 21 日, 偏西南方向气团在跨过太行山脉后从北方进入天津市, 但其移动速度在跨过太行山脉后也迅速降低, 清除作用有限; 22 日, 受西北路径强冷空气影响, 本次污染过程结束。

4. 结论

1) 2016 年 12 月 15 日至 22 日天津市出现典型重污染天气, 污染程度重、持续时间长及细颗粒物浓度高, 同时京津冀区域其他主要城市的空气质量均较差, 尤其是石家庄和保定, 是一次典型的区域性重污染天气过程。

2) 主要污染物浓度和气象要素的小时变化表明, 2016 年 12 月 15 日至 22 日天津市重污染天气主要是在弱气压场、静风及高湿等不利气象条件下, 区域传输及本地污染物排放累积, 同时在大气化学反应



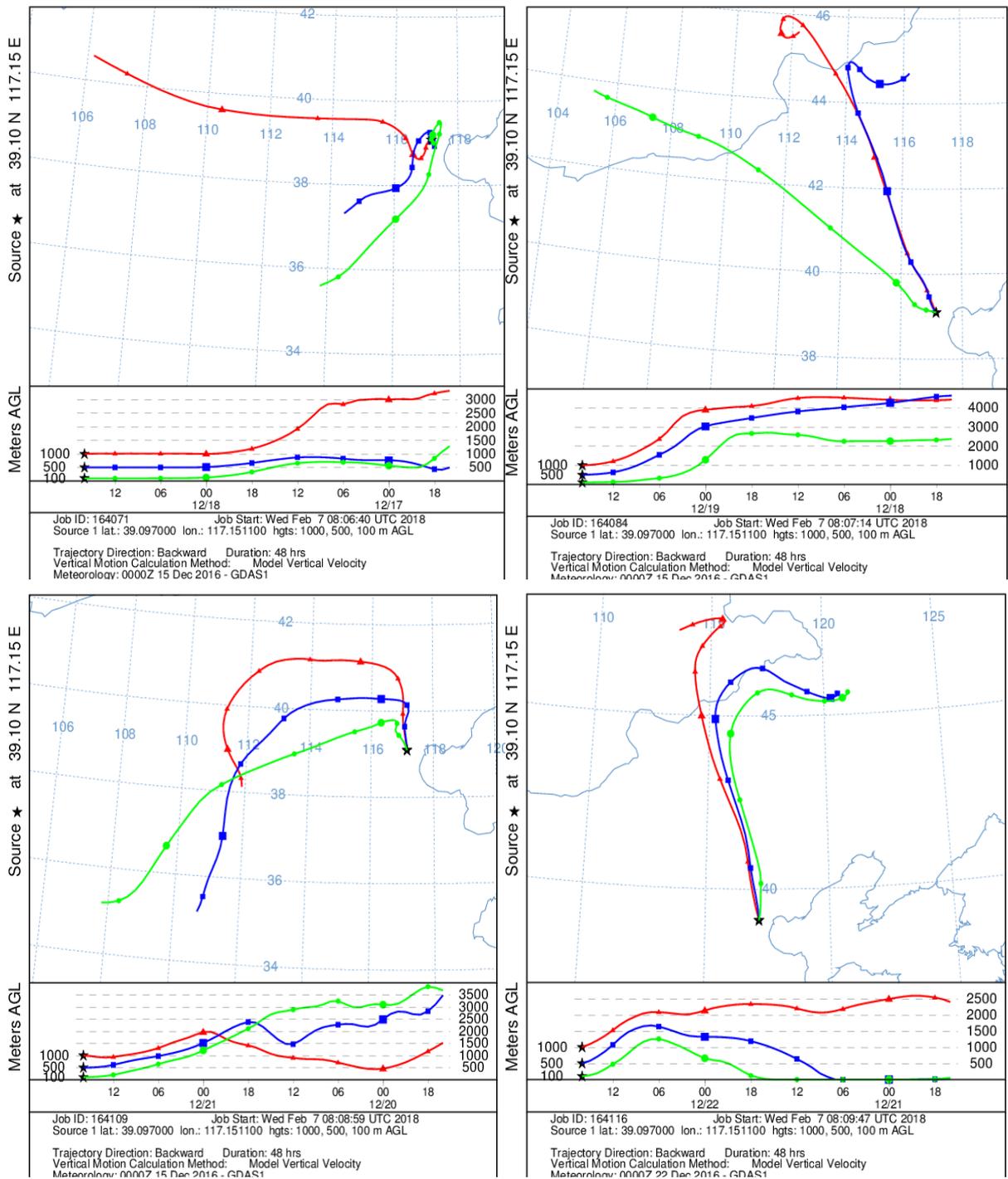


Figure 4. Analysis of backward trajectory of heavy air pollution process in Tianjin from December 15 to 22
图 4. 12 月 15 日至 22 日天津市重污染天气过程后向轨迹分析

的作用下，污染物的二次反应共同导致，这与之前相关研究中重污染天气的成因可能有所不同。

3) 后向轨迹分析表明，2016 年 12 月 15 日至 22 日天津市重污染天气过程中污染气团主要来自西南方向，可能是从河南省中北部地区携带了大量污染物，并且移动速度缓慢，造成天津市较为严重的污染天气。

参考文献

- [1] Cao, J., Wang, Q., Chow, J.C., *et al.* (2012) Impacts of Aerosol Compositions on Visibility Impairment in Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, **59**, 559-566. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.05.036>
- [2] Schwartz, J., Dockery, D.W. and Neas, L.M. (1996) Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **46**, 927-939. <https://doi.org/10.1080/10473289.1996.10467528>
- [3] 丁一汇, 柳艳菊. 近 50 年我国雾霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系[J]. 中国科学, 2014, 44(1): 37-48.
- [4] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 1951-2005 年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报, 2010, 68(5): 680-688.
- [5] 杨欣, 陈义珍, 刘厚凤, 等. 北京 2013 年 1 月连续强霾过程的污染特征及成因分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(2): 282-288.
- [6] 穆穆, 张人禾. 应对雾霾天气: 气象科学与技术大有可为[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 1-2.
- [7] 王自发, 李杰, 王哲, 等. 2013 年 1 月我国中东部强霾污染的数值模拟和防控对策[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(1): 3-14.
- [8] 周敏, 陈长虹, 乔利平, 等. 2013 年 1 月中国中东部大气重污染期间上海颗粒物的污染特征[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 3118-3126.
- [9] 廖晓农, 张小玲, 王迎春, 等. 北京地区秋冬季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析[J]. 环境科学, 2014, 35(6): 2031-2044.
- [10] 张小玲, 唐宜西, 熊亚军, 等. 华北平原一次严重区域雾霾天气分析与数值预报试验[J]. 中国科学院大学学报, 2014, 31(3): 337-344.
- [11] Chan, C.K. and Yao, X.H. (2008) Air Pollution in Mega Cities in China. *Atmospheric Environment*, **42**, 1-42. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.003>
- [12] 李兰, 魏红明, 魏静, 等. 武汉市 PM₁₀ 污染日变化及其高污染时段特征[J]. 环境科学与技术, 2007, 30(1): 39-41.
- [13] 孙燕, 张备, 严文莲, 等. 南京及周边地区一次严重烟霾天气的分析[J]. 高原气象, 2010, 29(3): 794-800.
- [14] 吕梦瑶, 刘红年, 张宁, 等. 南京市灰霾影响因子的数值模拟[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 929-941.
- [15] 李兰, 刘敏, 方思达, 等. 湖北省 2013 年 1 月特大霾过程的气象成因分析[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(5): 16-20.
- [16] 韩霄, 张美根. 2013 年 1 月华北平原重霾成因模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2014, 19(2): 127-139.
- [17] 孙韧, 张文具, 董海燕, 等. 天津市 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 中水溶性离子化学特征及来源分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 145-150.
- [18] 刘庆阳, 刘艳菊, 杨峥, 等. 北京城郊冬季一次大气重污染过程颗粒物的污染特征[J]. 环境科学学报, 2014, 34(1): 12-18.
- [19] 董海燕, 边玮琳, 陈魁. 天津市细颗粒物中化学成分及污染水平研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 45(5): 2193-2196.
- [20] 程念亮, 李云婷, 张大伟, 等. 2014 年 10 月北京市 4 次典型空气重污染过程成因分析[J]. 环境科学研究, 2015, 28(2): 163-170.
- [21] 孙峰, 张大伟, 孙瑞雯, 等. 北京地区冬季典型 PM_{2.5} 重污染案例分析[J]. 中国环境监测, 2014, 30(6): 1-12.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org