

杨云芸, 周慧, 王晓雷, 等. 南方长株潭与北方京津冀城市群一次重污染天气过程对比分析[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 141–145. [YANG Yunyun, ZHOU Hui, WANG Xiaolei, et al. Comparison and Analysis of a Heavy Pollution Weather Process in the South Changsha-Zhuzhou-Xiangtan and North Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(2): 141–145. doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2017. 02. 024.]

南方长株潭与北方京津冀城市群 一次重污染天气过程对比分析*

杨云芸, 周 慧, 王晓雷, 陈 鹤, 许 霖

(湖南省气象台, 湖南 长沙 410118)

摘 要: 综合应用高低空环流形势分析、加密观测资料、2015年12月国家环境监测站提供的逐日AQI指数结合HYSPLIT4后向轨迹模式、MODIS卫星蓝光气溶胶厚度图对2015年12月下旬先后发生在北方京津冀城市群和南方长株潭城市群的一次重污染天气过程进行分析研究。通过对高空环流、地面气压场及后向轨迹的深入分析探究, 结果表明: 此次南北方城市群的主要污染物均为PM_{2.5}, 污染首先从京津冀地区开始发展然后随着地面冷空气的南下, 污染物逐渐随偏北气流向南输送, 长株潭地区前期受弱降水影响、地面高湿配合逆温层及静风等条件, 造成了长株潭城市群一次重度污染天气过程。

关键词: 霾; 重污染; 城市群; 天气过程; 空气质量指数(AQI); 长株潭; 京津冀

中图分类号: P642; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2017)02–0141–05

doi: 10. 3969/j. issn. 1000–811X. 2017. 02. 024

由首都经济圈概念衍变而成的京津冀城市群, 包括了首都北京、天津以及河北省的保定、廊坊、唐山、张家口、承德、秦皇岛、沧州、衡水、邢台、邯郸、石家庄等共11个地级市, 是中国政治、文化、国际交往和科技创新的中心所在地。长株潭城市群不但是湖南省经济核心增长极, 同时也是湖南省环境保护的重点区域。长株潭城市群人口密度大, 工业发达, 是湖南省经济最发达地区^[1–4]。

随着城市群工业化程度加深、城市化发展加快, 大量的污染物集中排放导致城市空气污染变得日益严重, 重污染天气频繁出现。而且随着城市化进程的加快, 排放源也日渐具有集中化的趋势, 治理污染的思路也相应地由局地治理开始转变为区域性联合治理。考虑到污染对人群的影响程度, 污染物的中、长距离输送, 以及污染控制的有效性和可实施性, 实际的污染区域性控制措

施主要在城市群开展和实施^[5–6]。由于天气系统的多样性及其尺度影响的跨地理区域的特性, 一个区域或一个城市群的污染及其污染物的排放, 有可能造成跨区域的影响。一旦跨区域污染形成并发展, 意味着污染范围大、污染等级高、影响人口多, 这就给如何控制污染及其扩散、采取必要的措施来治理区域性污染提出了更大的挑战^[7]。京津冀是我国重污染天气过程的高发地区, 目前已有许多研究, 唐宜西^[8]等指出当北京大气层结稳定、近地面为静风或小风速、中低层湿度条件好、逆温强度强, 边界层内污染物的水平和垂直扩散能力差时污染易发生并持续。

2015年12月下旬中国东部地区发生了影响范围广、持续时间长、污染物浓度高的重污染天气, 特别是京津冀平原地区最为严重。持续重污染天气导致多地航班延误或取消, 医院呼吸科、儿科患者急剧增加, 给人们日常生活和生态环境带来

* 收稿日期: 2016–10–13 修回日期: 2017–01–03

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B)类“大气灰霾及和预报技术及预警”; 湖南省气象局预报员专项“气象条件及气团来源对湖南灰霾天气影响”(CMAYBY2015-051); 湖南省气象局气象预报业务能力建设项目“环境气象预报预警关键技术研究”(YBNL16-13-1)

第一作者简介: 杨云芸(1984–), 女, 汉族, 湖南长沙人, 硕士研究生, 工程师, 目前从事环境气象预报与研究工作。

E-mail: 337850710@qq.com

通讯作者: 周慧(1973–), 女, 汉族, 湖南益阳人, 硕士研究生, 工研级高级工程师, 目前从事环境气象预报与研究工作。

E-mail: 514446798@qq.com

严重影响。其中,12月25日北京地区出现了空气质量指数高达468的严重污染天气,长株潭地区AQI均超过200,对地方及人民生活影响极大。本文研究的个例,就是一次重污染天气跨区域影响的典型案例,即北方京津冀地区空气污染对长株潭城市群的影响。

1 资料与方法

利用综合的高低空气象资料、加密观测资料以及2015年12月国家环境监测站提供的逐日AQI指数来分析重污染天气过程期间的气象要素、边界层结构以及AQI变化特征,进一步解释此次重污染天气过程形成并持续的原因以及空间分布,为霾天气的预报、预警和污染治理防控提供依据。

2 南方与北方城市群一次重污染过程概况

2015年12月19–25日,华北中南部、黄淮大部、江淮东部及陕西关中等地出现中到重度霾,其中21–23日霾影响范围大、程度重,北京大部、天津、河北中南部、山东西部、河南北部等地出现重度霾,重度霾面积达到35.2万km²,为2015年以来范围最大,造成大面积严重污染,北京南部、河北中南部部分地区PM_{2.5}峰值浓度超过500 ug/m³,河北南部局地超过1000 ug/m³,北京启动重污染天气红色预警。

湖南地区在2015年12月下旬是污染频发的时段,全省基本都在轻度污染及以上,特别是湘北地区霾达中度、短时局地达重度,造成较大面积的重度污染。湖南省气象台在23–26日连续发布霾黄色预警及大雾橙色预警,本次污染过程中长株潭地区PM_{2.5}小时峰值浓度均出现在25日夜间且浓度超过200 ug/m³,其中株洲站在25日20时最大达237 ug/m³。

从图1分析得知,整个12月下旬北方京津冀除了27日不是污染日之外,其他9d均为轻度污染及以上,其中北京、石家庄严重污染多达5d,天津为3d,日最高值北京出现在25日为475,天津和石家庄AQI最大值分别为388和368,均达到了严重污染级别。在27日京津冀空气质量迅速转好达到良好级别,随后又是一次污染过程的发展。南方长株潭城市群中除了株洲污染日达10d之外长沙和湘潭污染天数均为9d,但是污染程度较北

方要轻一些。长株潭3城市的污染变化趋势较为一致,污染程度均在26日达到顶峰,长株潭3站AQI分别为232、257、226,均达到了重度污染级别,随后污染程度有所减轻但是AQI一直在100以上污染级别在轻度–中度污染。综上所述,此次重污染天气过程京津冀的持续天数与长株潭相差无几,但污染等级跨度较大,从良好到严重污染均有出现,长株潭持续在轻度到重度污染,且京津冀污染级别较高,污染程度更重,本文选取的是12月下旬为京津冀持续重污染及长株潭的达重度污染的时间,即12月24–26日的重污染天气过程,深入对比分析以京津冀为代表的北方城市群和以长株潭为代表的南方城市群在气象要素、背景条件等方面的异同,以期寻找南北方城市群在冬季重污染过程中的异同点及是否存在相关性。

2.1 AQI指数变化分析

12月20–22日,500 hPa高空京津冀地区为持续的平直西风气流。由海平面气压形势图可知(图2),20日开始逐渐由高压主体的前部开始控制,冷高压主体从贝加尔湖东部开始移动,21日夜间经蒙古中部区从东北地区东移出海。冷锋停滞时间较长,京津冀位于地面冷高压前部,气压梯度很小。地面和低空均位于高压底部均压场时,近地面风速较小,甚至出现静风现象,常常伴有较强的逆温,且逆温层的厚度大,强度高,近地面为静稳大气,较不利于污染物的扩散、稀释及输送,容易使局地空气污染浓度升高。由于这次高压控制时间长,均压范围广,为污染物的本地累积提供了有利的气象条件。

24日开始长株潭地区高空500 hPa由平直西风转为槽前偏西南气流。地面24日受地面冷锋过境影响湖南地区自北向南有一次弱的降水过程,长株潭均出现了不到2 mm的降水为25日长株潭的污染提供了近地面高湿的条件。25日受高压底部均压场控制,地面为弱的偏北风,925 hPa一致的偏北气流有利于北方污染物的向南输送,形成污染物在低空汇聚及上层输入的特征,使长株潭地区低空AQI增量明显增大,从约100增至200多,造成25日AQI达到重度污染级别。

12月26日开始京津冀地区上空受一致槽后偏西北气流影响,风速较大,海平面气压场处于冷锋后高压的前部,气压梯度明显增强冷空气造成风速加大。这种天气形势非常有利于污染物的扩散和输送,所以26日开始AQI下降非常明显至27

日达到优良等级。长株潭地区 26 日夜间受高空槽线过境和地面降水、风速加大的共同影响, 27 日 AQI 降到 150 以下, 空气质量转为轻度污染。

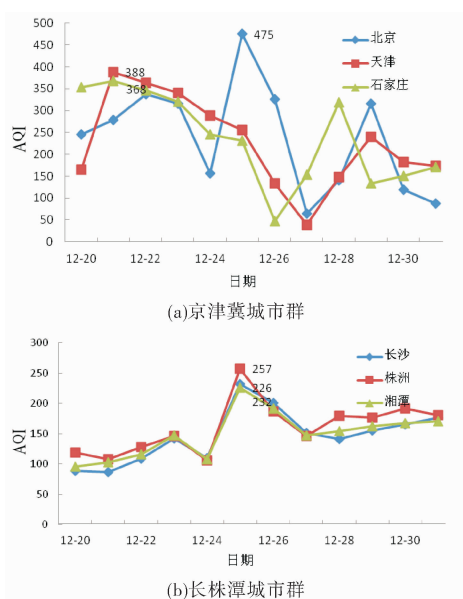


图1 京津冀城市群与长株潭城市群 2015 年 12 月下旬逐日 AQI 指数变化图

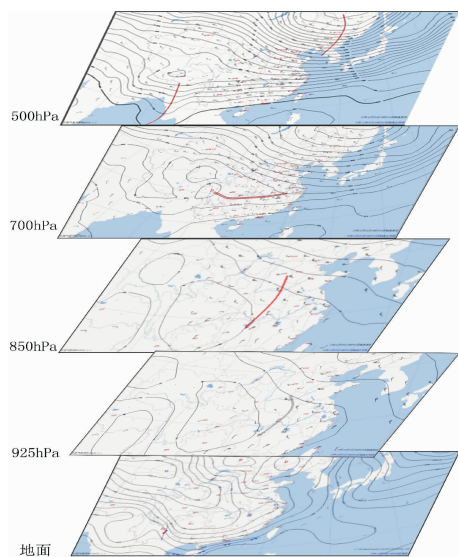


图2 2015 年 12 月 25 日 08:00 高空地面配置图

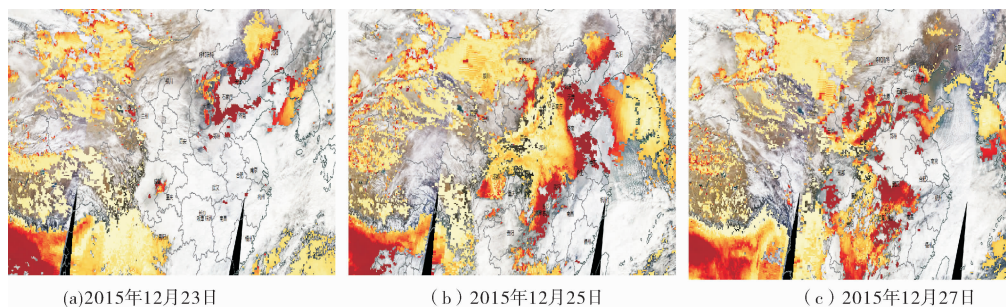


图3 2015 年 12 月 23 日、12 月 25 日、12 月 27 日我国东部地区蓝光通道气溶胶光学厚度

2.2 南方城市群重污染过程的来源分析

大气中的气溶胶大部分来源于自然界的火山爆发、森林或草场火灾、沙尘暴以及工业废气、汽车尾气等引起的烟尘。因为 MODIS 的波段 1、3、7 和 20 等都能获得气溶胶观测数据, 特别是蓝光通道提供了将陆地上气溶胶光学厚度计算扩展到其他地物上的可能性, 使人们可以直接在遥感图像上确定污染的位置和范围, 并根据它们的运动、发展规律进行预测、预报^[10-12]。

图3给出2015年12月23-27日我国东部地区蓝光通道的气溶胶光学厚度演变趋势, 从图中可以看到红色越深表示气溶胶厚度越厚, 在一定程度上与霾及重污染发生的地区有较好的相关关系。霾及其范围的判断主要根据气溶胶厚度及与周边的对比。从 MODIS 蓝光图像上看, 12月23日霾笼罩京津冀地区, 且京津冀及河南地区为深红色的一条带状污染, 导致当地 AQI 大于 300 发生严重污染天气过程, 而长株潭地区上空则是比较厚的云层, 并无明显霾现象, AQI 在 100 左右, 空气质量尚可。从 25 日分析蓝光通道的气溶胶光学厚度图可以看出, 污染范围随着地面冷空气的南下迅速增大, 在我国中东部地区都存在不同程度的污染和霾天气, 在北京与天津交界处、江苏和长株潭地区存在厚度的大值区表示该地区霾天气严重、污染物浓度大, 北京及长株潭地区 AQI 在 25 日达到 12 月下旬的极大值, 均达到或超过重度污染。到了 27 日, 随着污染物向南输送及地面风速加大北方京津冀地区污染迅速减小, 霾天气基本消除, 京津冀无明显气溶胶的聚集天气现象基本为晴空或少云, AQI 降至 50 左右空气质量达优良。与此同时, 长株潭地区污染相较于 25 日有所减轻, 由深红色转为橙黄色, 污染程度由重度污染降为轻度污染。

上节的分析表明, 2015 年 12 月 21-26 日, 在弱冷空气南下、地形动力及槽天气系统控制下,

京津冀地区和长株潭地区先后发生了一次重污染过程。从天气系统演变的先后次序以及代表性城市空气质量观测站 AQI 浓度变化差异, 该两区域的重污染过程似有内在的联系, 即此次长株潭城市群重污染过程, 污染源是来自北方地区污染物长距离输送影响的结果。下面的分析试图给出这一判断的证据。

从 2015 年 12 月 26 日 00 时至 23 日 00 时后向轨迹来看, 长株潭地区用长沙市 (28°N , 113°E) 做代表来追踪污染气团, 从图 4 中可以看到不论是近地面还是高空 (500 m 和 100 m) 均来自于其上游的北方, 特别是近地层 100 m 的气团, 基本上正北方向, 后向 72 h 的轨迹在河南境内, 500 m 气团先来自北方后转向西南方向。这与地面冷锋的路径基本一致, 说明污染气团在 23 日左右随地面冷空气从北方南下 25 日影响到长株潭地区。以上的分析说明, 此次长株潭地区的重污染过程是受北方地区污染的影响。这一点, 从地面后向轨迹的分析与卫星云图影像, 给出了清晰有力的印证, 说明了轨迹分析此次过程的可靠性^[13]。

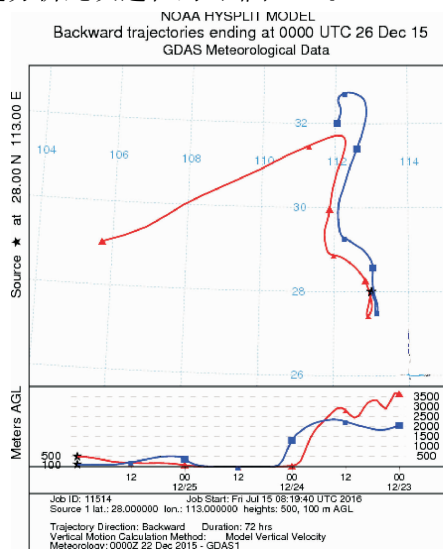


图 4 长株潭地区 2015 年 12 月 26 日 00 时 72 h 后向轨迹模拟

3 重污染过程中南北方城市群气象要素对比分析

3.1 探空图分析

从 25 日北京、长沙污染都达到峰值时的 08 点探空图对比分析得知 (图 5), 北京的逆温层从地面一直延伸至 925 hPa 且逆温强度比较强, 长沙只有一层较为浅薄的贴地逆温且强度较弱。北京地区近地面为偏南风而长沙近地面主导风向为北风, 这和冷锋过境后北方冷空气活跃有关并有利于北方的污染物向南输送。湿度条件方面可以看到长

沙和北京近地面湿度条件都比较好有利于雾霾的形成, 长沙的湿层在 925 hPa 以上明显要比北京的深厚, 这也许是和北京处于槽后偏北气流控制而长沙处于槽前的偏西南气流中有关。

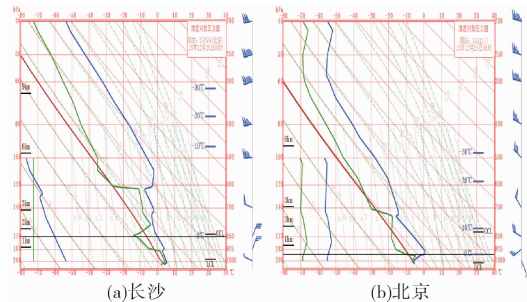


图 5 2015 年 12 月 25 日 08:00 长沙和北京探空图

3.2 相对湿度

从京津冀地区 1 000 hPa 低层相对湿度可以分析得出 (图略), 21 日天津地区 AQI 达到峰值时相对湿度最高为 63%, 22 日石家庄 AQI 达到峰值时相对湿度最高为 78%, 北京地区 25 日 AQI 达到峰值时相对湿度最高为 88%。值得关注的是在 25 日北京 AQI 相对于天津和石家庄的下降趋势是存在一个跃升, 这可能与 25 日受地形及地面弱冷空气影响北京地区有弱降水发生, 所以相对湿度明显增大。长株潭地区 24 日前有冷锋过境带来的弱降水, 除了在 25 日夜间相对湿度较低外 (70%) 其它时间地面湿度条件一直较好, 其中 AQI 峰值的 26 日长沙、株洲达 88%, 湘潭地区达 90%, 明显高于北方京津冀城市群。

3.3 地面气压场

本次我国中东部的重污染天气过程的向南移动主要是受地面冷空气的引导, 冷空气的强弱程度与地面气压呈正比, 现将京津冀 3 站与长株潭 3 站的 AQI 达峰值时的逐 3h 的地面气压场的变化做对比分析。天津 21 日地面气压为 1 026 ~ 1 030 Pa, 石家庄 22 日地面气压为 1 026 ~ 1 030 Pa, 北京 25 日地面气压为 1 017 ~ 1 025 Pa, 长沙 26 日地面气压为 1 021 ~ 1 026 Pa, 株洲 26 日地面气压为 1 022 ~ 1 026 Pa, 湘潭 26 日地面气压为 1 022 ~ 1 026 Pa。以上数据可以得知当发生重污染及雾霾天气时, 天津、石家庄的地面气压数值要高于南方城市群, 长株潭的最大值均为 1 026 Pa 而天津、石家庄最小值为 1 026 Pa 最大值达 1 030 Pa, 冷空气在南下途中强度逐渐减弱, 所以当污染从北至南移动时气压值也逐渐减小。值得注意的是北京地区的气压场变化, 主要是 25 日受地面气旋过境影响气压值较低, 随后弱冷空气带来弱降水增加了空气湿度有利于重污染和雾霾的发展, 导致 AQI 达到 400 以上。

4 结论与讨论

本文利用空气质量监测资料、常规气象资料, 结合气流后向轨迹模拟、MODIS 卫星资料等, 分析了 2015 年 12 月下旬北方京津冀城市群和南方长株潭城市群一次重污染天气过程的污染特征和污染物来源, 从气象条件的水平和垂直扩散能力以及地面湿度等对此次重污染事件进行了综合分析, 得到以下结论。

(1) 此次南北方城市群重污染事件的主要污染物均为 $\text{PM}_{2.5}$ 。利用轨迹模式 HYSPLIT4 计算了霾天气气团的 72 h 后向轨迹, 结合 MODIS 卫星蓝光通道的气溶胶厚度资料可以推测, 来自北方的污染气团经高空偏北气流引导及地面冷空气南下输送到长株潭地区是这次南方地区大范围重污染天气的主要来源。

(2) 12 月下旬冷锋在北方停滞时间较长, 高压均压场出现时, 近地面风速较小且逆温层厚度大、强度高, 近地面为静稳大气, 较不利于空气中污染物的扩散、稀释和输送, 为北方此次重污染过程提供了有利的气象环境背景场。与此同时, 污染前期高空浅槽将西南暖湿气流向长株潭输送提供良好的湿度条件; 地面弱冷空气南下将污染物向南输送, 到 26 日开始地面静小风以及低层逆温不利于该地区污染物颗粒的水平扩散, 加上地形强迫导致污染物在长株潭地区堆积滞留。

(3) 综合对比此次南北方城市群发生重污染天气过程的气象条件, 可以发现南方与北方城市群出现重污染及霾时气象条件有所差异, 比如相对湿度(湘潭最高为 90%)明显南方要高于北方(天津

最高为 63%), 地面气压数值则北方要高于南方, 这是否可以作为霾的定义按地域区分为南方与北方提供一些参考。

参考文献:

- [1] 徐祥德, 周秀骥, 施晓晖. 城市群落大气污染源影响的空间结构及尺度特征[J]. 地球科学, 2005, 35(S1): 1-19.
- [2] 孙钰, 张英. 长株潭: 打造“两型”城市圈[J]. 环境保护, 2009(7): 17-20.
- [3] 李红看, 曾凡刚, 邵龙义, 等. 可吸入颗粒物对人体健康危害的研究进展[J]. 环境与健康, 2002, 19(1): 85-87.
- [4] 白志鹏, 蔡斌彬, 董海燕, 等. 灰霾的健康效应[J]. 环境污染与防治, 2006, 28(3): 198-201.
- [5] 李正强, 许华, 张莹, 等. 北京区域 2013 严重灰霾污染的主被动遥感监测[J]. 遥感学报, 2013, 17(4): 919-928.
- [6] 韩素芹, 李培彦, 金陶胜, 等. 天津市的突发性大气污染事故预警应急系统研究[J]. 灾害学, 2009, 24(2): 34-36.
- [7] 姬露露, 陈长坤, 王楠楠. 我国六大中心城市 $\text{PM}_{2.5}$ 污染特征及诱因对比分析[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 230-234.
- [8] 唐宜西, 张玲熊, 亚军, 等. 北京一次持续霾天气过程气象特征分析[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 12-19.
- [9] 陈朝晖, 程水源, 苏福庆, 等. 北京地区一次重污染过程的大尺度天气型分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20(2): 99-105.
- [10] 何秀, 邓兆泽, 李成才, 等. MODIS 气溶胶光学厚度产品在地面 PM_{10} 监测方面的应用研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, 46(2): 178-184.
- [11] 赵彩霞, 施昆, 宁平. EOS-MODIS 在环境科学中的应用与研究进展[J]. 环境科学导刊 2008, 27(2): 15-20.
- [12] 范辽生, 周春雨, 宋健. MODIS 卫星植被指数产品在干旱监测中的应用[J]. 浙江气象, 2006, 27(4): 16-28.
- [13] 王喜全, 杨婷, 王自发. 灰霾污染的跨控制区影响——次京津冀与东北地区灰霾污染个案分析[J]. 气象与环境研究, 2011, 16(6): 690-696.

Comparison and Analysis of a Heavy Pollution Weather Process in the South Changsha-Zhuzhou-Xiangtan and north Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration

YANG Yunyun, ZHOU Hui, WANG Xiaolei, CHEN He and XU Lin
(Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118, China)

Abstract: Based on comprehensive application of this high altitude meteorological data, weather situation, observation data, National Environmental Monitoring Station to provide daily AQI index in December 2015, and HYSPLIT4 back trajectory model, MODIS satellite blue aerosol thickness map on Late December 2015 a heavy pollution weather process both occurred in the south Changsha-Zhuzhou-Xiangtan and in north Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. Through the high level air circulation, the surface pressure field and back trajectory analysis, the results show that the main pollutants in north and south city group were $\text{PM}_{2.5}$, pollution developed first in Beijing-Tianjin-Hebei area and then with surface cold air to southward, due to little precipitation affect on ground and high humidity and small wind conditions in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area in early, due to the severe weather pollution process in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration.

Key words: haze; heavy pollution; urban agglomeration; weather process; the air quality index (AQI); Changsha-Zhuzhou-Xiangtan; Beijing-Tianjin-Hebei