

文章编号:1673-8411 (2017) 02-0014-04

广西一次大气重污染过程的气象条件分析

莫雨淳¹, 廖国莲¹, 潘润西²

(1.广西气象台, 南宁 530022; 2.广西环境监测中心站, 南宁 530028)

摘要:对2016年12月28日至2017年1月7日广西一次大气重污染过程的环流形势、温度、湿度、风的特征进行分析,结果表明:高压中心位于东海时,华南地区气压梯度小的稳定环流形势使污染物不易扩散。500hPa高压后部形势有利海上水汽的输送,形成的高湿度环境,会造成颗粒物吸湿性增长。大气层结稳定,近地层出现多层逆温厚度,且垂直湿度出现上湿下干的状态时,易于污染物的积累。跨区域污染传输是广西大气污染的重要因素之一。

关键词:重污染天气;PM2.5;后向轨迹;气象因子。

中图分类号:P46

文献标识码:A

Weather Condition Analysis on a heavy atmospheric pollution process in Guangxi

Mo Yuchun¹, Liao Guolian¹, Pan Runxi²

(1.Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022; 2. Guangxi Environmental Monitoring Center, Nanning 530028)

Abstract: Based on the characteristic analysis of the atmospheric circulation background, temperature, humidity and wind of a heavy air pollution weather from December 28th, 2016 to January 7th, 2017, it is found out: when the high pressure center located on the East China Sea, the low pressure gradient in Southern of China made the pollutant difficult to diffuse. The rear of 500hPa high pressure which benefited for the transportation of the water vapor caused the particulate matter hygroscopic growth. The stable atmosphere, multilayer inversion at surface layer and upper-wet-and-lower-dry distribution of vertical humidity led to the accumulation the pollutants. Cross-regional pollution transfer is one of the important causes for atmospheric pollution in Guangxi.

Keywords: heavy pollution weather; PM2.5; backward trajectory; meteorological factors

广西地处云贵高原东南边缘,两广丘陵的西部,总体为山地丘陵的盆地地貌。主要城市例如南宁、柳州、来宾、玉林等均为盆地地形,年平均风速小,逆温现象突出,有利于污染物沉降聚集,并难以向外扩散。随着社会发展、国家能源结构调整以及广西北部湾经济的开发,广西大气污染问题日益突出。特别是受工业迁移和污染传输的影响,近年来广西的

大气污染程度与分布有了明显的变化^[1-2]。大气污染物的扩散和稀释,受气象因子影响非常明显^[3]。因此大气污染过程的研究,除了污染源解析外,气象条件的分析也是非常重要的一环^[4]。在国家开展大气污染防治行动的推动下,各地均积极进行大气污染与灰霾气象条件的分析,取得了较多的进展。丁一汇等^[5]分析了湿度条件在雾霾转变中的作用。马敏劲等^[6]

收稿日期:2017-01-25

基金项目:广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118216),广西科技计划项目(桂科 AB16380292),广西气象服务中心科研项目(201407)共同资助。

作者简介:莫雨淳(1983-),男,学士,工程师,主要从事环境气象预报工作。

分析了山谷地形条件下大气边界层结构与大气污染的影响。王式功等^[7]分析了混合层高度与大气污染的关系。邓雪娇等^[8]分析了近地层稳定度、风、湍流能量与大气污染物的关系。由于广西大气重污染过程相对较少, 在广西的大气污染研究主要集中雾霾的气象条件分析^[9-12]。但在 2016 年 12 月至 2017 年 1 月跨年阶段, 广西出现了历史罕见的大范围天气污染过程, 多城市持续出现重度污染, 其中来宾达到了严重污染级别。本文选此次过程, 对大气环流、近地层气象因子的变化特征进行分析, 探讨气象条件对空气质量的影响, 以期对空气质量预报和开展重污染预警提供理论支撑。

1 资料与方法

本文选取了 2016 年 12 月 28 日至 2017 年 1 月 7 日的一次重污染天气过程, 结合该污染过程的天气形势、风、相对湿度、温度等气象因子对主要污染物进行分析, 并使用后向轨迹描述对污染的成因进行初步探讨。大气观测资料使用国家基本气象站观测数据及对应时间的地面天气图、探空图进行统计分析。环保监测数据使用广西 14 个城市国控空气自动监测站监测数据。该次过程各市的首要污染物均为细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$), 因此本文主要通过分析细颗粒物浓度及其污染级别与气象条件的关系。文中所用空气质量相关级别、计算方式采用《环境空气质量指数(AQI)技术规定》(试行)(HJ633-2012)标准。

2 大气重污染过程分析

2.1 过程概况

2016 年 12 月 28 日至 29 日, 广西所有城市空气质量等级均为良。30 日, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度开始升高, 桂林和来宾出现轻度污染(图 1)。31 日, 广西各市的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度持续上升, 广西 14 个城市中, 有 9 个出现轻度污染级别, 同时来宾上升至中度污染。2017

年 1 月 1 日, 污染持续加重, 广西所有城市达到轻度及以上级别污染, 来宾更升至重度污染, 柳州、桂林、百色为中度污染, 全广西 $\text{PM}_{2.5}$ 日均浓度为 $109\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。1 月 2 日至 3 日, 来宾维持重度污染, 柳州、桂林、贵港、钦州为中度污染, 达到中度污染以上级别的区域接近一半。1 月 4 日至 6 日, 广西北部污染加重, 桂林、柳州、来宾均不同程度出现重度污染, 但南部沿海地区 $\text{PM}_{2.5}$ 开始下降, 南宁、钦州、北海、防城港变为良好。1 月 7 日, 各地 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度大幅降低, 一半以上城市空气质量优良, 少数城市处于良至轻度污染的临界边缘, 污染过程趋于结束。

2.2 天气形势

12 月 28 日至 30 日, 全区晴天, 天气形势稳定; 因前期降雨对大气进行了一次清洁过程, 全区污染物浓度从较低值开始升高, 各市空气质量等级逐步从“良”向“轻度污染”临界值接近。12 月 31 日, 地面高压中心东移出海, 气压梯度变小(图 2A), 全区低层转弱偏东气流, 湿度增加, 气温回升, 扩散条件转差。1 月 1 日, 受高压后部和 500hPa 南支槽前影响(图 2B), 广西由高到低各层逐步转弱的暖湿性偏南气流, 风速减小, 湿度增大, 并无明显降水。以来宾地区为主的本土污染源开始扩散, 此后污染物浓度由广西中部开始迅速升高。1 月 3 日至 4 日, 天气形势呈明显的均压态势, 风速小, 大气扩散条件不利, 同时广西上游的华中地区出现重污染状态, 受前期本地污染物积累和吸湿性增长影响, 伴随外来传输污染, 广西全区呈现较重的污染状态。1 月 5 日至 6 日, 沿海地区偏南气流加强, 风速加大, 广西从南至北污染物浓度开始逐步下降。但受外地污染物传输影响, 桂北部分地区仍维持重污染状态。1 月 7 日, 受冷空气南下影响, 全区大范围出现降水, 污染物浓度大幅降低。

2.3 温度

广西各地从 28 日起均出现明显的多层逆温。以

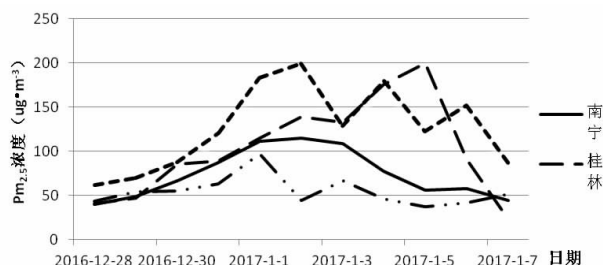
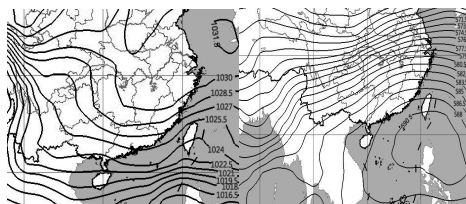


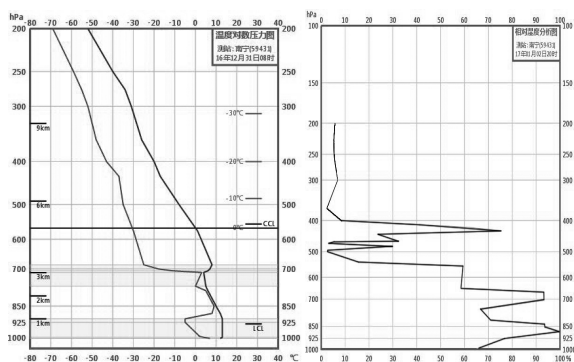
图 1 广西重污染过程部分城市日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 变化



A 2016 年 12 月 31 日 08 时海平面气压

B 2017 年 1 月 1 日 500hPa 高度场

图 2 污染过程天气形势图



A 2016年12月31日08时南宁市tlogP图

B 2017年1月2日20时南宁市相对湿度图

图3 过程期间南宁市探空的温度对数压力图与相对湿度图

南宁市为例,12月31日08时南宁市近地层出现贴地逆温,逆温层厚度约250米,同时在700hPa附近也存在逆温(图3A)。由于近地层逆温较厚,大气的垂直运动较弱,层结稳定,使得污染物在底层不断积聚。经过28日至31日4天的不利扩散天气,各地污染急剧恶化,级别从良好变为中度甚至重度污染。1月1日转暖湿偏南气流后,地面温度升高,从广西南部沿海开始,各市逆温逐渐减弱,逆温层升高,污染物浓度增长速度放缓,沿海城市污染略微下降。过程期间出现逆温时间最长为桂林市,贴地逆温一直持续到5日才消失。逆温层的变化基本符合 $PM_{2.5}$ 的浓度变化曲线,有着较好的相关性。

2.4 湿度

在此次污染过程中,广西各地的湿度变化为前干后湿。12月28日至1月1日,广西全区天气晴朗,地面相对湿度处于30%~50%之间。较低的湿度让地面扬尘和汽车尾气扩散到整个近地层,但由于垂直扩散能力差,不断在近地层累积。在偏南气流影响下,1月2日开始地面湿度大幅增加,同时1000米高空的湿度更是接近饱和(图3B),呈现出明显的上湿下干现象,层结稳定。湿度的增加,导致颗粒物吸湿性增长,原本污染物累积较多的城市空气质量等级进一步恶化。1月5日后,地面偏南气流加强,地面湿度增加到90%左右,高空湿度开始降低,变成上干下湿的状态,扩散条件略为好转。

2.5 风

多项研究表明,近地层的风对污染物浓度的影响非常明显^[13-14]。以南宁为例,从近地层看(图4),850hPa以下的风速大部分在 $4m \cdot s^{-1}$ 以下,1000hPa的贴地层风速在 $2m \cdot s^{-1}$ 以下,上下层的风向和风速切变不强,污染物的垂直输送和水平输送能力都很

弱,导致了污染物的积累和升高。从地面风速的影响上看,过程期间广西的地面风速较小,特别是位于广西中部盆地地势的南宁,大部分时间风速均处于 $2m \cdot s^{-1}$ 以下(图5),对污染物的扩散极为不利。同时对比 $PM_{2.5}$ 的浓度变化,地面风表现的相关性非常明显。12月28日、29日大部分城市地面风速在 $2m \cdot s^{-1}$ 以上, $PM_{2.5}$ 的浓度均在 $50\mu g \cdot m^{-3}$ 以下。12月30日开始,桂林风速大幅降低, $PM_{2.5}$ 浓度明显升高,桂林从 $47\mu g \cdot m^{-3}$ 升到了 $85\mu g \cdot m^{-3}$,涨幅接近一倍。1月3日广西南部城市地面风速开始上升,南宁和北海的 $PM_{2.5}$ 浓度不断降低。但桂林等北部城市风速仍在减小,1月4日、5日桂林地面风速不足 $1m \cdot s^{-1}$,桂林的 $PM_{2.5}$ 浓度也相应升到 $199\mu g \cdot m^{-3}$ 的重污染状态。

2.6 污染后向轨迹

HYSPLIT-4是由美国NOAA研制用于计算及分析污染物扩散、输送的轨迹模型^[15],在各地区大气重污染过程的污染来源与路径分析中有着广泛的应用^[16-18]。以广西中部的柳州为参考点绘制12月31日至1月5日逐日48小时气团后向输送轨迹图(图6)。12月下旬,华中地区先于华南地区出现重污染天气,受东北气流的影响,污染气团从湖南东部南下,自广西东北一带途径桂林到达柳州,12月31日柳州的 $PM_{2.5}$ 浓度明显升高。西南高空远距离暖湿气流的汇入,增加了大气的湿度,在没有出现降雨的情况下,造成了颗粒物吸湿性增长,出现恶劣的重污染

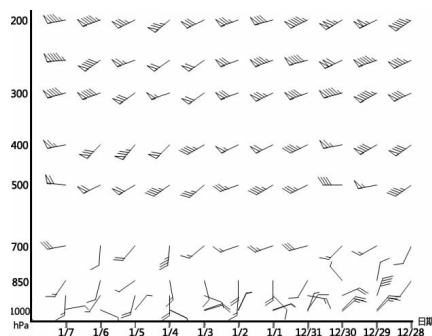


图4 过程期间南宁高空风时间剖面图

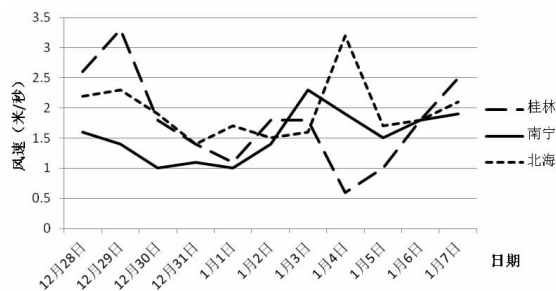


图5 过程期间桂林、南宁、北海地面日均风速图

天气。

3 结论

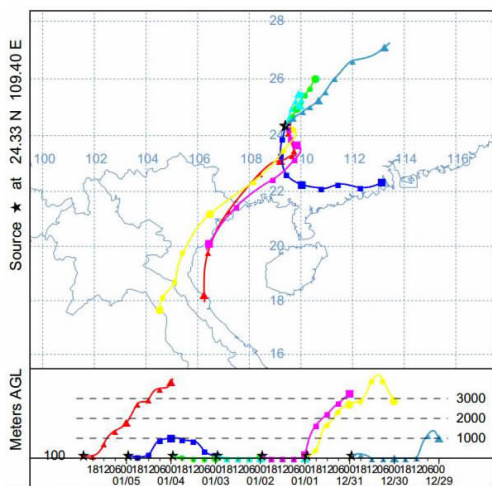


图6 2016年12月31日至2017年1月5日柳州48小时后轨迹分析图

(1) 高压中心位于东海时, 华南地区气压梯度小的稳定环流形势使污染物不易扩散。500hPa 高压后部形势有利海上水汽的输送, 形成的高湿度大气条件, 容易造成颗粒物吸湿性增长, 引起污染的加重。

(2) 大气层结稳定, 近地层逆温厚度在 200 米左右时, 易于污染物的积累, 形成污染物浓度逐级升高。中高层维持多层逆温状态, 会延长出现污染的时间。当近地层湿度出现上湿下干的状态时, 容易使污染物浓度快速增长; 当出现上干下湿的状态, 会让过高的污染物浓度缓慢下降。

(3) 风速对污染物影响显著。当近地层风速在 $4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下, 地面风速在 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下时, 容易出现污染过程。当地面风速小于 $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 或出现静风天气时, 会出现污染物浓度的急剧升高。由于广西地形因素, 中部盆地风速常年较小, 通常会先于其他地区出现重污染天气。

(4) 通过后向轨迹模拟显示, 除了本地污染源外, 跨区域污染传输也是广西大气污染的重要因素, 两者的叠加是导致广西出现罕见重污染的原因之一。

参考文献:

[1] 廖国莲, 曾鹏, 郑凤琴, 等. 1960–2009 年广西霾日时空变化特征 [J]. 应用气象学报, 2011, 22 (6): 732–739.

[2] 廖国莲, 郑凤琴, 莫雨淳, 等. 广西北部湾经济区灰霾状况分析 [J]. 第 32 届中国气象学会会议论文集,

2015, 133–138.

[3] 蒋维楣, 孙鉴泞, 曹文俊, 等. 空气污染气象学教程 [M]. 北京: 气象出版社, 2004.

[4] 张人禾, 李强, 张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (1): 27–36.

[5] 丁一汇, 柳艳菊. 近 50 年我国雾和霾的长期变化特征及其与大气湿度的关系 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44 (1): 37–48.

[6] 马敏劲, 郭世奇, 王式功, 等. 近 11 年兰州空气污染特征及其边界层结构影响的分析 [J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2012, 48 (6): 69–73.

[7] 王式功, 姜大膀, 杨德保, 等. 兰州市区最大混合层厚度变化特征分析 [J]. 高原气象, 2000, 19 (3): 363–370.

[8] 邓雪娇, 李菲, 吴兑, 等. 广州地区典型清洁与污染过程的大气湍流与物质交换特征 [J]. 中国环境科学, 2011, 31 (9): 1424–1430.

[9] 白龙, 苏兆达, 梁岱云. 南宁市一次中度霾天气过程成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4): 71–75.

[10] 黄丽超. 东兴灰霾天气特征及影响因素分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (S1): 232–233.

[11] 蒋珍姣, 龙凤翔, 李艳玉, 等. 桂林市近 10 年霾的变化分析 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30 (1): 68–69+79.

[12] 刘传. 南宁市灰霾天气与空气污染物关系分析 [J]. 广西科学院学报, 2012, 28 (4): 306–308.

[13] 廖国莲, 郑凤琴, 莫雨淳. 南宁典型空气污染和清洁过程的近地层流场分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 56–59+62.

[14] 胡春梅, 刘德, 陈道劲. 重庆地区两次连续空气污染天气过程对比分析 [J]. 气象与环境学报, 2016, 32 (1): 25–32.

[15] Wang F, Chen D S, Cheng S Y, et al. Identification of regional atmospheric PM₁₀ transport pathways using HYSPLIT, MM5–CMAQ and synoptic pressure pattern analysis [J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25 (8): 927–934.

[16] 石春娥, 姚叶青, 张平, 等. 合肥市 PM₁₀ 输送轨迹分类研究 [J]. 高原气象, 2008, 27 (6): 1383–1391.

[17] 杨晓春, 杜萌萌, 吴其重, 等. 西安地区一次重污染过程的气象条件及轨迹分析 [J]. 干旱气象, 2016, 34 (3): 547–552.

[18] 张亚妮, 张碧辉, 宗志平, 等. 影响北京的一例沙尘天气过程的起沙沉降及输送路径分析 [J]. 气象, 2013, 39 (7): 911–922.