

沈阳市冬季一次严重污染天气过程成因分析

卢晓军, 任万辉, 苏枞枞

(沈阳市环境监测中心站, 辽宁 沈阳 110016)

摘要: 为探讨沈阳市冬季重污染天气的初步成因。以2013年1月11日~16日沈阳市发生的一次严重污染天气为例, 利用中国气象局的MICAPS系统和美国的HYSPLIT模式, 从污染形成的天气背景、污染物扩散受地形的影响情况以及外来污染物输送的气流轨迹等几方面综合分析, 从而探讨此次严重污染过程的成因: 长白山小高压和西部倒槽双重系统的控制下, 地面吹东北风, 风速较小, 湿度大, 不利于污染物的水平扩散; 有较强接地逆温存在时, 不利于污染物的垂直扩散, 导致近地面污染物累积; 受来自于北部和东北部低层气流的影响, 将内蒙古、辽宁东北部的污染物携带到沈阳地区汇聚。

关键词: 沈阳市; 冬季严重污染天气; 污染成因

中图分类号: X51

文献标志码: A

Analysis of the Causes for Heavy Air Pollution in the Winter of Shenyang

Lu Xiaojun, Ren Wanhui, Su Congcong

(Shenyang Municipal Environmental Monitoring Center, Shenyang 110016, China)

Abstract: In this paper, causes for heavy air pollution in the winter of Shenyang are initially analyzed. Based on the occurrence of heavy air pollution in Shenyang from January 11 to 16, 2013, by utilization of the MICAPS system of China Meteorological Administration and the American HYSPLIT model, a comprehensive analysis is performed from the aspects of weather conditions for pollution formation, topographic effects on pollutant diffusion and air trajectory of external pollutant transmission for discussion of the causes for such heavy air pollution. The results show that under the control of Changbai Mountain anticyclone and western inverted trough, the northeast wind velocity near the ground is small with high humidity, not favorable for horizontal diffusion of the pollutants. Moreover, the existence of relatively strong ground inversion is also not helpful for vertical diffusion of the pollutants, resulting in near-surface pollutant accumulation. Additionally, influenced by the north and northeast air streams, pollutants are brought from the Inner Mongolia and the northeast of Liaoning Province to Shenyang together.

Keywords: Shenyang; Heavy Air Pollution Weather in Winter; Causes for Pollution

CLC number: X51

霾(灰霾)是悬浮在大气中的大量微小尘粒、烟粒或盐粒的集合体,使空气混浊、水平能见度降低到10 km以下的一种天气现象^[1]。随着经济规模迅速扩大和城市化进程的加快,大气污染物排放量日益增大,霾天的出现越来越频繁,对灰霾天气的研究已成为一个热点^[2-4]。灰霾的频繁出现会使能见度和空气质量恶化、太阳辐射减少,严重危害交通安全和人体健康,甚至引发气候变化和灾害性气候极端事件^[5]。

2013年雾霾波及全国25个省份,100多个大

中型城市,全国平均雾霾天数达29.9天,创52年来中国之最。2013年1月,全国出现4次较大范围雾霾过程,涉及30个省(区、市),多个城市PM_{2.5}指数“爆表”,中东部大部地区出现持续时间最长、影响范围最广、强度最强的雾霾过程。环境保护部1月的调查数据显示,江苏、北京、浙江、安徽、山东月平均雾霾天数分别为23.9天、14.5天、13.8天、10.4天、7.8天,均为1961年以来同期最多。中东部地区大部分站点PM_{2.5}浓度超标日数达到25天以上,有些地区的PM_{2.5}达到5年

收稿日期: 2014-05-13

作者简介: 卢晓军(1960-),女,工程师。研究方向:环境监测。

来最高值。

2013年辽宁省雾霾天气也呈多发现象，其中1月份出现了历史罕见的持续20天的雾霾天气，与近15年来平均整个冬季17个雾霾天相比，雾霾范围之广、持续时间之长和污染程度之重在近几年均属罕见。按照新的国家环境空气质量标准^[6]，沈阳市1月份空气质量达标天数仅为3天。

雾霾天气发生时，大气污染物无法扩散，空气中的PM_{2.5}浓度会持续升高，造成空气质量恶化，从而引起重污染天气。

文章选取2013年1月11~16日沈阳市发生的一次严重污染天气为例，利用中国气象局MICAPS系统和美国HYSPLIT模式，从污染形成的天气背景、污染物扩散受地形的影响情况以及外来污染物输送的气流轨迹等几方面进行综合分析，从而探讨此次严重污染天气过程的成因。

1 资料来源及定义

资料来源：环境空气质量监测数据为2013年1月沈阳市逐日环境空气质量日报，内容包括空气质量指数、首要污染物、空气质量指数级别和空气质量指数类别等。气象资料来源于国家气象局2013年1月逐日MICAPS数据。

严重污染天气定义：根据国家环境保护标准《环境空气质量指数（AQI）技术规定（试行）》（HJ633—2012）的规定，当AQI>300时，空气质量级别为六级，空气质量类别为严重污染。

2 污染过程特征

文章主要从大气环境污染的角度分析此次大气污染过程特征，统计了此次污染过程的空气质量指数、首要污染物、空气质量级别和空气质量类别，见表1。

表1 2013年1月11~16日沈阳市空气质量数据统计

日期	空气质量指数 AQI	首要污染物	空气质量指数级别	空气质量指数类别
2013.1.11	200	PM _{2.5}	四级	中度污染
2013.1.12	276	PM _{2.5}	五级	重度污染
2013.1.13	402	PM _{2.5}	六级	严重污染
2013.1.14	333	PM _{2.5}	六级	严重污染
2013.1.15	381	PM _{2.5}	六级	严重污染
2013.1.16	193	PM _{2.5}	四级	中度污染

由表1可知，此次严重污染过程的首要污染物均为细颗粒物（PM_{2.5}），空气质量指数在2013年1月11日处于中度污染水平，随后几天空气质量指数持续升高，13日达到最高，13~15日连续3天AQI都大于300，达到严重污染水平，16日降到中度污染水平，此次严重污染过程结束。此次严重污染过程从发展到结束共经历了6天，其中3天为严重污染。

3 污染成因分析

3.1 气象条件分析

气象条件对污染物的扩散、稀释和累积有一定作用，在污染源强一定的条件下，污染物浓度的大小主要取决于气象条件。文章根据此次严重污染过程的发展变化情况产生这种变化的气象条件。

首先，从气象资料中2013年1月11~16日500hPa高度场可以看出，11~12日沈阳上空处于弱高空槽控制之下，12日20时~13日08时受西北气流控制。11~16日共经历了3次高空槽和两次西北气流。2013年1月13日500 hPa高度场见图1。

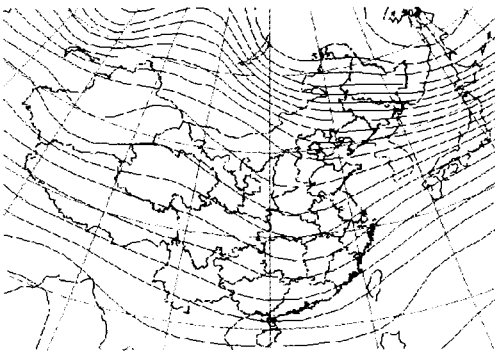


图1 2013年1月13日500 hPa高度场平均图

其次沈阳市1月11日处于倒槽中，长白山地区有闭合高压。受倒槽的影响，08时污染物浓度

并不高。但随着倒槽的北移和北部高压的南下,沈阳地区的空气湿度逐渐增加,17时开始降小雪,再加上地面风速较小,不利于污染物的扩散,空气中 $PM_{2.5}$ 的浓度也逐渐升高,20时达到最高值。2013年1月11日08时海平面气压场见图2。

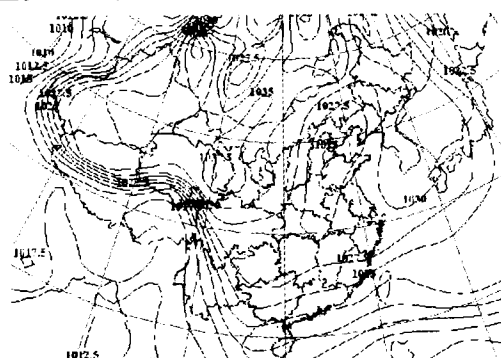


图2 2013年1月11日08时海平面气压场

1月12日08时沈阳受弱低压控制,西北部有弱高压系统。随着弱低压移出沈阳地区,弱高压南移到辽宁,沈阳逐渐受弱高压系统控制。另外,由于受长白山地形的影响,弱高压在长白山地区形成闭合小高压。2013年1月12日08时海平面气压场见图3。

1月12日北京、河北、山东、江苏等地出现了严重的雾霾天气,空气质量严重污染,北京市 $PM_{2.5}$ 小时浓度值达到了 $1\,000\ \mu g/m^3$,空气质量达到严重污染水平。

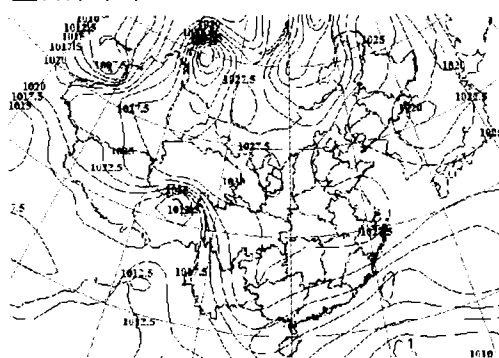


图3 2013年1月12日08时海平面气压场

1月13日08时沈阳处于均压区中,西南部有倒槽。地面受长白山小高压的影响吹东北风,风速较小,倒槽的存在使空气湿度变大,两者的共同作用形成了雾霾天气。另外,根据探空资料分析,943 m以下有接地逆温存在,逆温强度级别为5级,逆温层很难破坏。此气象条件下非常不

利于污染物的水平和垂直扩散,导致污染物大量堆积在近地层,沈阳市1月13日08时AQI为413,达到严重污染水平。随着时间的推移,长白山小高压逐渐消失,西南部倒槽北上,此过程一直持续到14日02时,在此期间沈阳市AQI一直高于350,属于严重污染,最终导致13日沈阳市的AQI为402,创造了实施新标准之后AQI的最高值。2013年1月13日08时海平面气压场见图4。

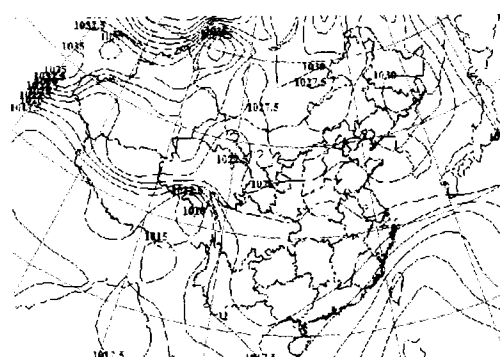


图4 2013年1月13日08时海平面气压场

1月14日08时沈阳市受冷高压影响温度开始下降,风向转为北风,风速变大,空气质量也随之转好,但由于13日受雾霾天气的影响,污染物本底值比较高,14日的AQI还是大于300,属于严重污染。2013年1月14日08时海平面气压场见图5。

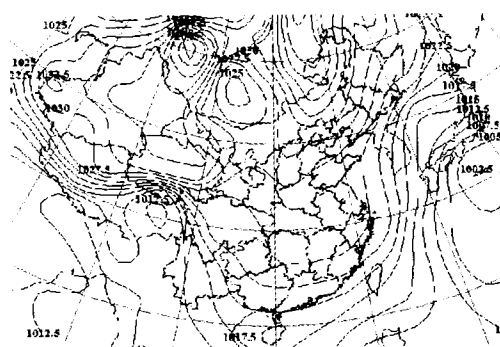


图5 2013年1月14日08时海平面气压场

1月15日08时地面形势和11日类似,沈阳市受长白山高压和西部倒槽双系统影响,近地面吹东北风,风速较小。246 m以上,1 440 m以下存在逆温,逆温强度为3级,此类气象条件非常不利于污染物的扩散,15日AQI比14日有所升高,为381,属于严重污染。2013年1月15日08时海平面气压场见图6。

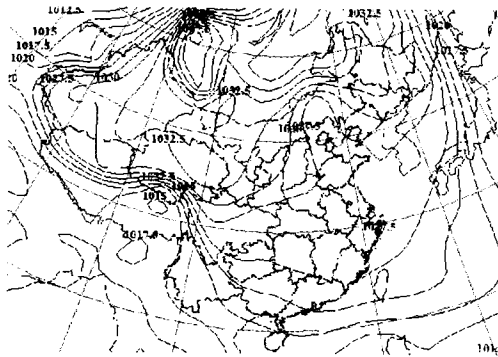


图6 2013年1月15日08时海平面气压场

1月16日随着强冷空气的影响,沈阳市地面吹北风,风速较大。08时虽有逆温存在,但随着太阳辐射的增加,逆温层很快被破坏。此种气象条件下,有利于污染物的扩散,16日AQI下降到193,属于中度污染。2013年1月16日08时海平面气压场见图7。

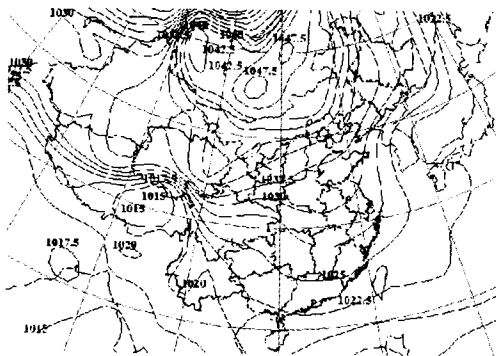


图7 2013年1月16日08时海平面气压场

从1月11~16日海平面气压场可以看出,沈阳市这几天出现雾霾天气时,处于长白山小高压和西部倒槽双重系统的控制下,地面吹东北风,风速较小,湿度大,不利于污染物水平扩散,再加上有较强接地逆温存在,不利于污染物垂直扩散,导致近地面污染物累积,造成严重污染天气出现,并持续了3天,是实施新标准之后最严重的一次污染过程。

3.2 污染物输送轨迹变化

利用美国国家海洋和大气局(NOAA)的后向轨迹模式(HYSPLIT4),分析影响沈阳市本次严重污染天气的气团来源及其移动路径。采用美国国家大气研究中心(NCAR)发布的分析资料计算污染开始至污染最重阶段60 h后向气流轨迹和污染减弱阶段24 h的后向气流轨迹。

形成2013年1月13日严重污染天气的气流主要来自于低层。起源于内蒙古一带,经过内蒙古西北部、辽宁北部、辽宁东部、辽宁西南部等周边地区,最后到达沈阳地区。这与以上分析的沈阳地区13日地面吹东北风和北风基本一致。沈阳北部、东部和西南部的污染物随着气流的移动在沈阳地区汇合,导致13日污染达到最重。2013年1月13日08时沈阳地区污染气团60 h后向轨迹见图8。

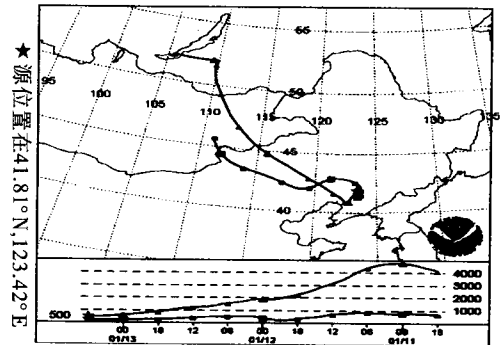


图8 2013年1月13日08时沈阳地区污染气团60 h后向轨迹
2013年1月16日08时沈阳地区污染气团24 h后向轨迹见图9。

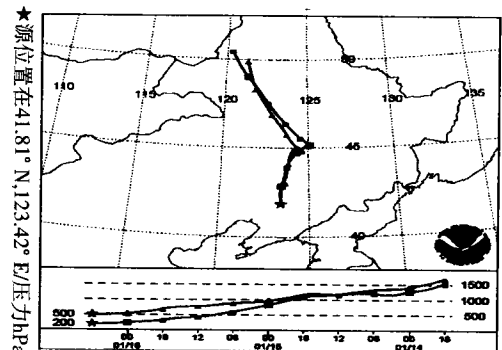


图9 2013年1月16日08时沈阳地区污染气团24 h后向轨迹

由图9看出,16日到达沈阳地区的气流主要来自于高层,起源于黑龙江西北部,经过黑龙江、吉林和辽宁北部,到达沈阳地区。由于高纬地区空气相对比较干净,且风速较大,将汇聚于沈阳地区的污染物向南水平输送。同时,由于气流来自于高纬度地区,导致沈阳地区垂直方向的气流不稳定性加大,空气对流明显,污染物在垂直方向上输送和扩散变的比较活跃。

4 结论

- (1) 此次严重污染过程的首要污染物均为
(下转第93页)

表3 2010年重庆市环境污染物价值量核算结果

万元

水污染治理成本		大气污染治理成本		固体废物污染治理成本		总治理成本	
实际	虚拟	实际	虚拟	实际	虚拟	实际	虚拟
126 710.86	139 713.44	395 159.02	206 182.72	34 157.86	7 126.93	556 027.74	353 023.09

3.3 经环境污染调整的绿色GDP核算

2010年重庆市地区生产总值为7 925.58亿元, 环境污染损失为35.30亿元, 经虚拟治理成本调整的地区生产总值为7 920.28亿元, 污染扣减指数为0.4%。万元GDP的污染物排放量排列如下: SO_2 9.08 kg、COD 5.31 kg、 NO_x 4.35 kg、烟尘2.62 kg、粉尘1.05 kg、 NH_4^+-N 0.63 kg。 SO_2 排放量占万元GDP比重最大, 这符合重庆市实情。重庆市是酸雨和 SO_2 污染双控区, 在大气污染防治上, 将以控制燃煤型 SO_2 污染为主。

4 对策及建议

传统工业化模式下不断增长的GDP, 是建立在资源耗减、环境破坏和公众健康不断透支的基础之上的, 我国经济已经进入资源能源瓶颈时期, 不能承受资源衰竭造成的风险和承受环境污染引发的社会问题, 绿色GDP核算体系较系统地反映了经济活动对资源的耗减和生态环境产生的影响。针对本次核算表现出来的环境污染现状, 提出相应的对策建议。

(1) 尽快完善全面客观的绿色国民经济核

算体系, 加强基础研究工作、扩大核算范围。在本次核算工作的基础上进一步开展诸如大气污染林业危害、水污染渔业和噪声污染等方面的经济损失, 开展关键剂量反应关系函数的研究, 为进行完整的环境退化成本核算提供技术支撑。

(2) 加大环境污染治理投入力度, 尤其加强大气环境 SO_2 污染控制。重庆市作为 SO_2 和酸雨的双控区域, 应强化对燃煤电厂 SO_2 污染排放的监管, 关停能耗高、污染重的小火电机组。改变城市生产和生活能源消费结构, 推广清洁能源的使用。

(3) 继续推进主要污染物总量减排, 建立长效机制, 转变粗放的传统经济增长方式, 增强经济健康可持续发展的能力。

参考文献

- [1]许宪春.中国国民经济核算与分析[M].北京:中国财政经济出版社, 2001.
- [2]潘岳,李德水.建立中国绿色国民经济核算体系[M].北京:中国环境科学出版社,2004.
- [3]王丽霞,任志远.初探绿色GDP核算方法及实证分析—以山西省大同市为例[J].地理科学进展, 2005, 24(2):100-105.
- [4]许秀珍,颜双波.福建省绿色GDP核算研究及应用[J].安徽农业科学, 2011.39(19):6-8,11.

(上接第48页)

$\text{PM}_{2.5}$, 严重污染过程是在中度污染的基础上持续升高, 虽然中间有所下降, 但有3天AQI都超过了300, 达到严重污染水平。

(2) 沈阳市2013年1月11~16日出现雾霾天气时, 基本上处于长白山小高压和西部倒槽双重系统控制下, 地面吹东北风, 风速较小, 湿度大, 不利于污染物水平扩散。

(3) 较强接地逆温的存在, 不利于污染物垂直扩散, 导致近地面污染物累积, 造成严重污染天气出现。

(4) 受来自于北部和东北部低层气流的影响, 将内蒙古、辽宁东北部的污染物携带到沈阳地区汇聚, 是此次严重污染天气形成的区域污染因素。

(5) 2013年重污染天气成因非常复杂, 文章仅利用现有的资料对气象成因和区域传输进行初步分析, 此次重污染天气与污染源的关系也很密切, 这些还有待于进一步研究。

参考文献

- [1]《大气科学辞典》编委会.大气科学辞典[M].北京:气象出版社, 1994: 408.
- [2]樊曙光, 徐建强, 郑有飞, 等.南京市气溶胶 $\text{PM}_{2.5}$ 一次来源解析[J].气象科学, 2005, 25 (6): 587-593.
- [3]俞建蔚, 孙燕, 张备, 等.江苏沿江一次重霾天气成因分析[J].气象科学, 2009, 29(5):665-669.
- [4]黄辉军, 刘红年, 蒋维楣, 等.南京市主城区大气颗粒物来源探讨[J].气象科学, 2007, 27 (2):162-168.
- [5]吴兑, 毕雪岩, 邓雪娇, 等.珠江三角洲大气灰霾导致能见度下降问题研究[J].气象学报, 2006, 64 (4):510-518.
- [6]中国环境科学研究院, 中国环境监测总站. GB 3095-2012. 环境空气质量标准[S].北京:中国环境科学出版社, 2012.