

文章编号: 2096-1618(2017)02-0214-06

川南城市群持续性污染过程个案分析

汪玲瑶¹, 向卫国¹, 谌芸², 肖天贵¹

(1. 成都信息工程大学 大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 国家气象中心, 北京 100081)

摘要:2014年1月24日至2月1日,包括宜宾、泸州、自贡、内江、乐山在内的川南地区城市群发生一次持续性污染过程,期间多数城市达中度污染。为探究影响此次污染过程的气象条件,对比分析各城市API(Air Pollution Index)的变化趋势和天气形势,同时,利用ECMWF的模式层资料和常规地面观测资料分析边界层风场变化和地面温湿条件。研究结果表明,川南高空500 hPa盛行偏西风、低层暖平流、地面受均压场控制且气压梯度小,是形成此次持续性污染的主要原因。当高空出现持续性短波槽且低层逆温不明显,污染物程度明显下降;边界层风场变化同样是影响污染物堆积的主要气象因子。

关键词:大气科学;气象与气候;API;天气形势;暖平流;均压场;边界层风场

中图分类号:P427

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.02.016

0 引言

由宜宾、泸州、自贡、内江、乐山组成的川南城市群是四川省重要的经济发展圈。近年来,川南城市群工业发展迅速,工业总产值占全省22%左右,随之而来的空气污染形势也越来越严峻。2013年,川南城市污染天数平均在61 d,占16.7%;2014年,除乐山以外的其他城市污染天数平均51 d,占13.9%,对城市群的空气污染分析迫在眉睫。

现有对城市持续性污染过程的研究发现,持续性的污染过程不仅与污染排放、持续稳定的天气形势以及空气污染与能见度、相对湿度、气温、日照时数、降水量、地面风向和风速、近地层逆温等诸多气象因子密切相关密不可分^[1-15]。任阵海等^[10]、陈朝辉等^[11]、金艳等^[12]指出大范围海平面高压以及高压均压场或低压均压场均不利于污染物垂直扩散;不仅孙峰等^[13]指出逆温会限制污染物的垂直输送,李文杰等^[14]、冯宏芳等^[15]还探讨了风速、空气湿度、地温等气象要素和空气污染程度的相关性。2014年1月20日至2月1日,川南城市群出现持续性的污染过程,期间个别城市达到中度污染。基于城市群空气污染指数(API)的时间变化,重点关注城市群典型空气质量污染时段的大尺度环流特征及气象条件,对该次持续污染过程分析,找出影响此次城市群持续污染的主要气象因素。近年来,随着城市群概念的提出,开始关注大范围空气污染的气象分析,但川南城市群的研究甚少,因此希望此次

污染气象分析能为日后川南城市群的空气污染预报提供一定依据。

1 污染过程基本分析

1.1 空气污染指数(API)变化

图1给出2014年1月20日至2月1日川南5所城市API的日变化图。可以看出,在1月24日至30日川南地区有明显且持续较长时间的污染过程,城市污染程度各异。

从整体上看,宜宾、泸州、自贡、内江的污染程度比乐山严重且这5所城市API的变化总体表现为29日之前,API总体呈增长状态且变化趋势较平缓;29-31日(除夕前后)API增减的幅度显著且大部分城市30日的API达到最大;31日以后川南城市群污染明显减弱。

具体而言:(1)宜宾的污染最明显。在1月31日之前,API值小幅持续增加,27-31日均为中度污染且31日达到峰值。之后API骤减,2月2日天气状况为良;(2)泸州、自贡、内江污染其次。其中泸州、自贡的变化趋势相似,内江存在明显差异。主要表现在29-31日泸州、自贡的API变化为突增到骤减,30日的API达到最大值,为中度污染,而后者则为骤减到突增,31日为API的最大值;(3)乐山污染程度最小。期间均为轻微污染甚至天气状况良好,只有30日污染物突增,达到轻度污染。

由于1月24日开始各城市均达到轻度污染,31日之后污染程度明显下降,因此将这两点分别当作起始日和终止日,分析1月24-31日的污染过程。

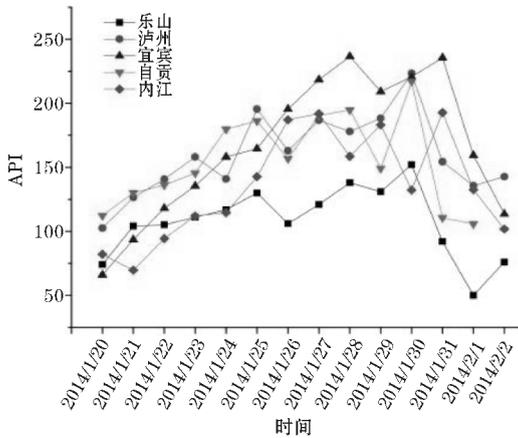
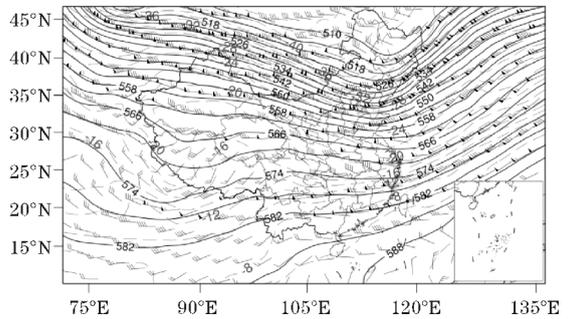


图 1 API 的日变化特征

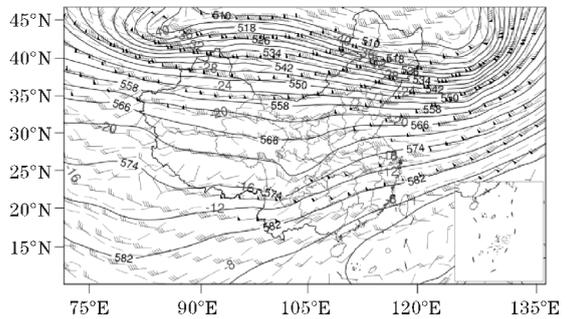
1.2 大尺度环流形势分析

持续污染过程期间(1月24-31日)的天气形势大体稳定:川南地区高空500 hPa以偏西风为主,低层850hPa盛行偏南风,暖平流带来的增温明显,地面多处于均压场的控制且气压梯度小,不利于污染物的扩散。31日开始天气形势有明显转变。

具体而言:川南城市群的API总体呈上升阶段的24-29日,高低空配置变化不大,川南地区高空吹西风为主,低层多为暖平流,地面为高压或高压中的均压场控制,环流形势稳定。不过,在此期间也出现过2次高空短波槽过境,分别发生于24日和28日,但由于短波槽移速快,槽后弱的冷空气不足以破坏低层的稳定大气,图2a即快速移过川南地区的短波槽,最终表现为24-29日川南城市群污染物的持续累积。30日,除内江API值骤减以外,川南大部分城市的API急剧增加,这与川南地区当日高空受弱暖脊控制(图2b),低层转为暖平流导致逆温的出现,以及地面的气压梯度减小的环流形势密切相关。从31日开始,川南城市群的API呈明显的下降趋势,对应的天气形势也发生转变且持续到2月初。如图2(c)所示,31日川南的高空出现短波槽,风速明显增强,低层暖平流不明显,且地面转为低压控制,这样的天气形式有利于污染物的疏散。



(b) 2014年1月30日



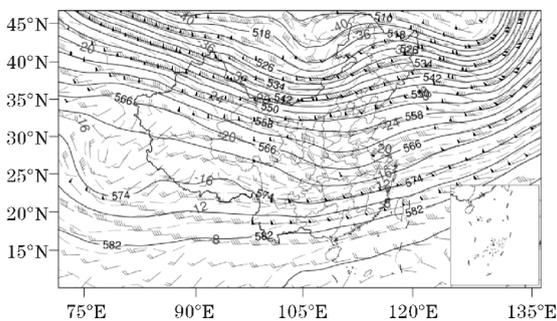
(c) 2014年1月31日

图 2 2014年1月29-31日00(世界时)时500 hPa环流图

2 气象条件分析

2.1 边界层风场分析

污染物的扩散离不开风的作用,尤其是近地面层风的作用更明显,其中辐合有利于污染物堆积,辐散有利于污染物的疏散,且风的大小直接影响堆积或者疏散的速度,除此之外风向的变化作用也很重要。由于川南城市群是工业发展区,风向及风速大小影响川南城市群污染物堆积的角度不一样。风速大小影响污染物的输送速率,风速越小越利于污染物堆积;而风向的影响更多是从在污染源的角度出发:当川南地区盛行偏南风时,南风会携带川南以南城市的污染物向川南以北的城市输送,同理,偏南地区受偏北风影响,偏东的城市受偏西风影响,偏西城市在东风影响下污染可能加重。



(a) 2014年1月29日

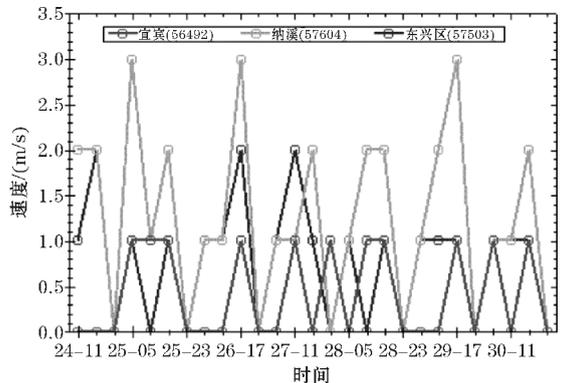


图 3 2014年1月24-30日地面风速大小时间变化图

依据前文所述,选择大气环流稳定的2014年1月24日至30日,经纬度为100°E~110°E、27°N~34°N,分辨率为0.25°×0.25°,模式层为60/57/54/52(离地面10/100/340/600 m)的ECMWF再分析格点资料以及常规观测中的地面全风速资料,对川南地区边界层风场特征进行分析,从而得出天气形势稳定前提下,影响川南城市群污染物堆积的有利因子。

2.1.1 近地面风速分析

表1 2014年1月24日至30日川南城市群边界层辐合风场情况统计

边界层高度/m	2014.1.24				2014.1.25				2014.1.26				2014.1.27				2014.1.28				2014.1.29				2014.1.30			
	02	08	14	20	02	08	14	20	02	08	14	20	02	08	14	20	02	08	14	20	02	08	14	20	02	08	14	20
10	▲	▲			▲	▲	▲	—	▲	▲			▲	▲	▲		▲	▲			▲	—			▲	▲	—	—
100	▲	▲			▲	▲	▲	—	—	▲			▲	▲	▲		▲	—			▲	—			▲	—	—	—
340	—	▲			▲	▲	—		□	▲			▲	—	▲		▲	▲			▲	□			▲	▲	—	—
600	—	▲			—	—			▲				—	—	▲	—		▲			▲				▲	▲	—	—

标注 ▲: 影响川南城市群的风速辐合点
 —: 影响川南城市群的风速辐合带
 □: 气流的不明显汇合

在天气形势稳定的前提下,结合同一天内气流辐合的频率与各城市API的变化对比可得,风场的辐合是影响川南城市群污染物堆积的有利因素之一。从表1统计的2014年1月24-30日(大气状况稳定)川南城市群边界层中不同高度的风场辐合状况不难发现,离地面10/100/340/600 m的情况十分相似,表明风场的辐合可以向上延伸至一定高度。其中,风场辐合明显的1月25日、27日及30日,川南大部分城市API明显的增加,而1月26日、29日大部分城市API的减少与当天风场辐合频率低也表现出一定的相关性。

具体分析川南城市API增加幅度较大的30日发现,最有利于污染物堆积的时刻是08时,风向辐合情况如图4所示:10 m高度上明显的风速辐合中心位于自贡、宜宾及泸州之间,同时乐山处于风速辐合带上,川南大部分地区以偏北风为主,这种有利于污染物向自贡、宜宾、泸州、乐山堆积的风场形势一直延伸至离地面100 m高度上。另外,340 m和600 m风场特征十分相似,辐合带位于乐山-宜宾一线,川南盛行偏东风,有利于乐山、宜宾污染物的堆积。这与实际的30日除内江外的城市群API值的增加且幅度较大相对应。

利用常规观测的站点风速资料分析川南部分城市地面风速变化(图3)发现:1月24-30日川南地区的宜宾、泸州(纳溪)及内江、自贡(东兴区)的风速大小普遍很小,除泸州附近的风速偶尔超过静稳天气下风速阈值的2 m/s以外,其余城市尤其是宜宾的风速很小,天气状况稳定,不利与污染物的扩散。

2.1.2 不同层次辐合风场分析

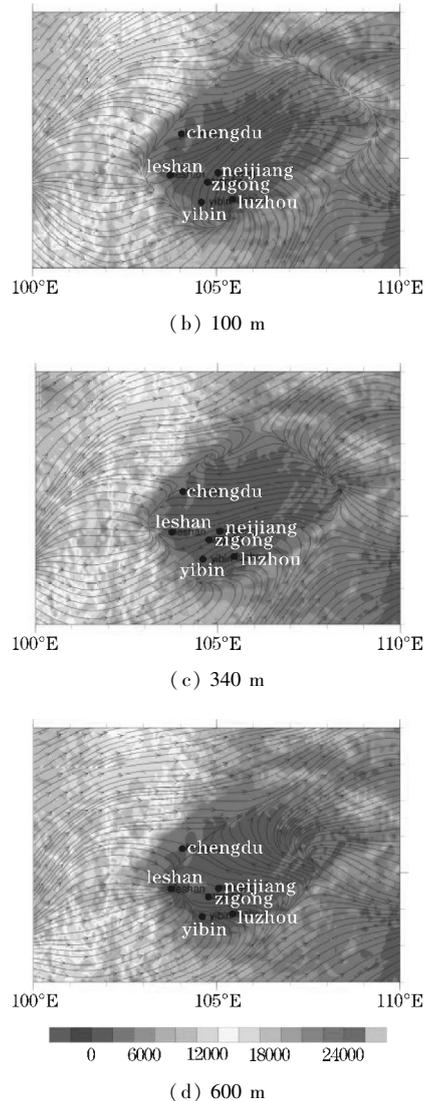
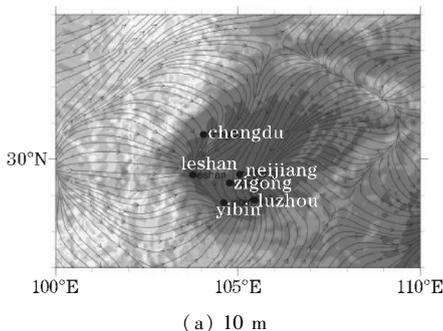
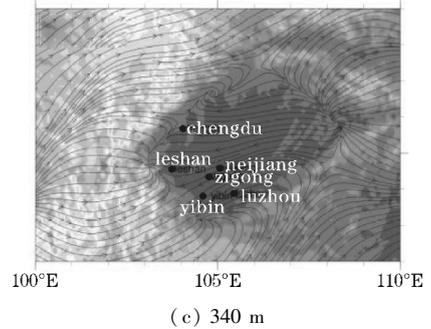


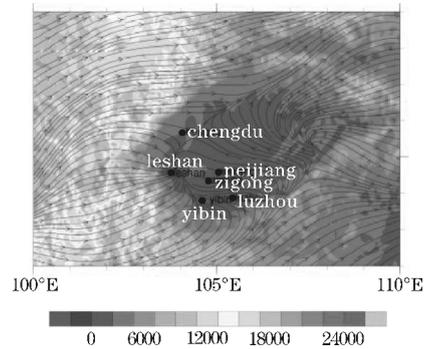
图4 2014年1月30日08时川南不同高度风场对比图



(a) 10 m



(c) 340 m



(d) 600 m

2.1.3 API 与风场综合分析

表 2 2014 年 1 月 29-31 日川南城市群 API 日变化

	API 日变化				
	自贡	泸州	乐山	宜宾	内江
29-30 日	+68	+35	+21	+12	-51
30-31 日	-65	-69	-60	+15	+61
变化幅度	133	104	81	27	112

对比表 2 所示 API 的日变化,发现在 1 月 29-31 日川南 5 个城市中自贡、内江、泸州、乐山的变化幅度很大,宜宾变化幅度较小,且内江与其余 4 个城市的变化趋势完全相反:其中 29-30 日,自贡的增幅最大,超过 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$,其次是泸州、乐山和宜宾,相反内江降幅超过 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。30-31 日,自贡、泸州及乐山的 API 降幅均超过 $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$,宜宾仅减少 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$,相反内江的 API 突增 $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

上述的城市 API 日变化主要与风速辐合带的移入移出有关,部分城市还受风速大小及风向的变化作用影响。在 29-30 日(图 5),风速辐合带的位置由内江以北移至自贡、宜宾及泸州三者之间,有利于污染物向川南城市群输送。其中,内江、自贡的风向由南转北,且自贡风速明显减小,所以污染物表现由北(内江)向南(自贡)输送并堆积。而乐山、宜宾的风向由南转西,泸州风速的减小也是有利于各城市污染物堆积的影响因子。在 30-31 日,辐合带位置的移出及城市的风速明显增大是造成川南大部分城市污染降浓度降低的关键影响因子。内江 API 的增加可能是连续两日的北风输送污染物或者除夕期间本身污染物浓度增加的原因。

2.2 宜宾 API 与其他气象要素相关分析

表 3 宜宾站 API 与气象要素之间的相关系数

	日变温	平均气温	最高温	最低温	平均露点	平均温度露点差	日变压	平均气压	最高压	最低压	平均 3 h 变压	3 h 变压最大值	3 h 变压最小值
API Pearson Correlation	-0.23	-0.51	-0.53	0.04	0.6	-0.73 *	-0.66	0.25	0.13	0.32	-0.57	-0.33	0.08
sig. (2-tailed)	0.576	0.156	0.145	0.912	0.089	0.027	0.073	0.515	0.747	0.402	0.11	0.383	0.843
N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

注:“*”相关性显著水平 0.05;下划线数据为相关性显著的相关系数,负值表示负相关

不同时间、地区的空气污染浓度与不同气象要素相关性不一,李文杰等^[14]对京津石三地 10 年期间污染过程统计分析发现,北京、天津和石家庄三市的月均尺度的 API 与气温(平均、最高和最低)、最高气压、水汽压和最大风速 4 类气象要素相关性较大;冯宏芳等^[15]对福州 1 年期间的污染过程分析发现气象要素

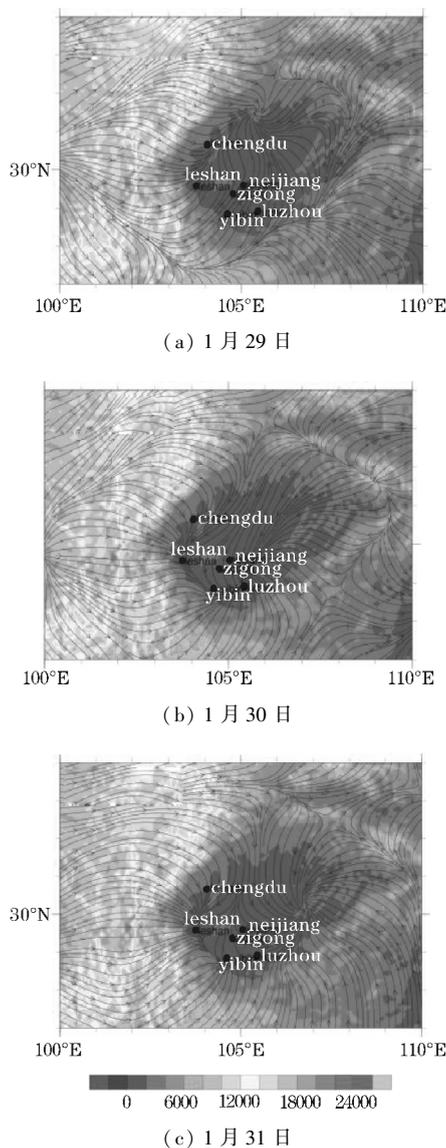


图 5 2014 年 1 月 29 日-31 日 08 时川南近地面风场对比图

与大气污染物浓度并非简单的线性关系。尝试探究川南个别城市此次污染期间的 API 与气象要素是否存在相关性,因此选取了具有代表性且常规观测资料齐全的宜宾站,选择的 2014 年 1 月 24 日至 2 月 1 日的空气污染样本数据 API 和各种气象要素(表 3),利用 SPSS16.0 进行 API 和气象要素值的相关性分析。数

据结果表明污染过程期间,宜宾站 API 值与日平均温度露点差呈显著负相关,与其他气象要素无明显的相关性。可能是因为温度露点差越小,则空气湿度越大,即空气中水汽含量越多,使更多的污染物吸附在水汽表面而停留在空气中,使 API 值增大。

3 结论

(1) 2014 年 1 月底 2 月初,川南城市群发生的一次持续性污染过程。过程期间,宜宾、泸州、自贡、内江的污染程度比乐山严重,且各城市 API 的变化大体呈先上升再下降的相同趋势,API 均在 30-31 日达最大值,为中度污染;

(2) 过程期间的天气形势大体稳定,川南地区高空 500 hPa 以偏西风为主,低层 850 hPa 盛行偏南风,暖平流带来的增温明显,地面多处于均压场的控制且气压梯度小,不利于污染物的扩散。31 日开始至 2 月初川南高空出现短波槽,低层暖平流减弱,且地面转为低压控制,有利于污染物的疏散;

(3) 在天气形势稳定的前提下,利用过程期间模式层 60/57/54/52(离地面 10/100/340/600 m)的 ECMWF 再分析格点资料以及常规观测中的地面全风速资料综合对比分析发现,边界层风场是影响 API 日变化主要因素,具体变现在污染物的堆积与否受川南地区边界层风速辐合带的移入移出影响,部分城市还受风速大小及风向的变化作用影响。

(4) 选取站点资料齐全且 API 变化具有代表性的宜宾站,进行 API 与气象要素的相关性分析发现,此次过程中,API 值仅与日平均温度露点差呈显著负相关,与其他气象要素无明显的相关性。

参考文献:

[1] 廖志恒. 2013 年 10 月长株潭城市群一次持续性空气污染过程特征分析[J]. 环境科学, 2014, (11): 4061-4069.

[2] Li Y. Vertical distribution of CO₂ in the atmospheric boundary layer: Characteristics and impact of meteorological variables[J]. Atmospheric Environment, 2014, 91(1): 110-117.

[3] Ji D. Analysis of heavy pollution episodes in selected cities of northern China[J]. Atmospheric Environment, 2012, 50(3): 338-348.

[4] Wu M. Observational studies of the meteorological characteristics associated with poor air quality over the Pearl River Delta in China[J]. Atmospheric Chemistry & Physics, 2013, 13(21): 10755-10766.

[5] Fu Q. Mechanism of formation of the heaviest pollution episode ever recorded in the Yangtze River Delta, China [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(9): 2023-2036.

[6] 王飞. 影响南京地区的两次典型空气污染过程分析[J]. 环境科学, 2012, 33(10): 3647-3655.

[7] 王丛梅. 2013 年 1 月河北省中南部严重污染的气象条件及成因分析[J]. 环境科学研究, 2013, 26(7): 695-702.

[8] 刘淑梅. 兰州市冬春两季 PM₁₀ 重度污染的气象条件分析研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(5): 80-83.

[9] 李令军. 2000~2010 北京大气重污染研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 23-30.

[10] 任阵海. 边界层内大气排放物形成重污染背景解析[J]. 大气科学, 2005, (1): 57-63.

[11] 陈朝晖. 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, (2): 99-105.

[12] 金艳, 宋大伟, 吴序鹏. 2012 年-2013 年常州市 PM_{2.5} 空气污染气象条件及天气形势特征分析研究[J]. 环境科学与管理, 2015, 40(1): 46-50.

[13] 孙峰. 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.

[14] 李文杰. 京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系[J]. 资源科学, 2012, (8): 1392-1400.

[15] 冯宏芳, 隋平, 邱丽霞. 福州市污染物浓度时空分布及影响因子分析[J]. 气象科技, 2003, (6): 356-360.

A Continuous pollution Episode Analysis in South of Sichuan Urban Agglomeration

WANG Ling-Yao¹, XIANG Wei-guo¹, CHEN Yun², XIAO Tian-gui¹

(1. College of Atmospheric sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Forecasting system lab, National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract: From January 24 to February 1 in 2014, the urban agglomeration of southern Sichuan which includes Yibin, Luzhou, Zigong, Neijiang, Leshan has experienced a continuous air pollution event, the majority of them approached moderate pollution during the time. To explore the meteorological conditions of effecting the fouling process it compares the trends of urban API (Air Pollution Index) with the weather situation, using the ECMWF model layer data and conventional ground observation data to analyze the boundary layer wind field changes and the ground temperature and humidity conditions at the same time. Studies have shown that the prevailing westerly at 500 hPa upper the south Sichuan, the low-level warm advection, the uniform pressure field and small pressure gradient, are major causes of pollutants accumulation. Once there is a persistent shortwave channel and the low-level temperature inversion is not obvious, the pollutant levels would decrease significantly; the change of the boundary layer wind field also the main meteorological factor affecting the accumulation of the pollutants in the region.

Keywords: atmospheric sciences; weather and climate; API; weather situation; warm advection; uniform pressure field; boundary layer wind field