

2014~2016年冬季四川省雾霾时空分析

孙 喆, 王 伟

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月15日; 录用日期: 2021年11月16日; 发布日期: 2021年11月22日

摘 要

四川已成为全国四大雾霾区之一, 探求雾霾的产生因素, 保护环境已刻不容缓。本文利用中国环境保护部数据中心的四川八个重要城市站点提供的2014/2015和2015/2016两个冬季AQI指数资料, 对四川省雾霾天气时空变化特征进行了分析, 并以2016年1月份的一次雾霾过程为例, 结合再分析资料, 分析了空气质量指数、天气现象、风场和大气层结对四川雾霾天气演变的影响。除攀枝花外, 其余七站的空气质量指数的变化趋势基本相同, 空气质量指数的峰值过程均出现在12月中下旬和次年的1月份, 但峰值出现时间存在相对的滞后性。空间分析进一步表明AQI指数随着站点地理位置由北向南的变化呈现出明显的滞后性, 且峰值均出现在东南部地区, 这与城市的经济发展等有一定的联系。成都市2016年1月一次雾霾天气过程的个例分析表明: 除攀枝花市外其他七个城市的空气质量指数在整个过程中呈周期性变化。雾霾先从四川北部产生, 然后向南发展, 而且良好天气也是由北部向南部扩散, 重污染区主要集中在成都地区和四川东南部地区。对比过程的四个阶段, 雾霾天气时平均最高温度与平均最低温度均高于非雾霾过程, 风场和逆温层的发展演变与雾霾天气的发生发展及减弱有着直接联系。

关键词

四川, 空气质量指数, 时空特征, 个例分析

Study of Spatial and Temporal Characteristics of Haze over Sichuan in Winter of 2014~2016

Zhe Sun, Wei Wang

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 15th, 2021; accepted: Nov. 16th, 2021; published: Nov. 22nd, 2021

Abstract

Sichuan has become one of the four major haze areas in China. It is urgent to explore the produc-

tion factors of haze and protect the environment. Using the AQI (Air Quality Index) indexes of 2014/2015 and 2015/2016, this paper analysed the characteristics of the haze weather of Sichuan province. Then taking the primary haze process in winter of January 2016 as an example, combined with the reanalysis data, the impact of air quality index, weather phenomenon, wind field and atmospheric layer on the evolution of haze weather in Sichuan was analyzed. Except for Panzhihua, the AQI index of the other seven stations is basically the same. The peak process of the air quality index all appeared in mid to late December and January, but the peak occurrence time has a relative lag. Spatial analysis further shows that the AQI index shows a significant lag with the geography of the site from north to south, and the peaks all appear in the southeast, which is related to the economic development of the city. The individual analysis of the haze weather process in Chengdu in January 2016 shows that the AQI of seven other cities except Panzhihua changes periodically throughout the whole process. Haze is first produced from northern Sichuan and then south, and the good weather also spreads from north to south, and the heavy pollution area is mainly concentrated in Chengdu and southeast Sichuan. Compared with the four stages of the process, the average highest temperature and the average lowest temperature in the haze weather are higher than that of the non-haze process. The development and evolution of the wind field and temperature inversion layer are directly related to the occurrence, development and weakening of the haze weather.

Keywords

Sichuan, AQI Index, Temporal and Spatial Characteristics, Case Analysis

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

近些年来, 由于全国各个地方经济规模发展迅速扩大, 城市化进程的步幅也在不断加快, 使得大气中气溶胶粒子的污染日益严重, 空气质量日益变差。周慧等[1]利用 2002 年西安市环境监测站日平均污染物的浓度资料分析了西安市大气污染的时空分布特征与气象条件的关系, 并运用中国科学院大气物理研究所研制的模式系统, 通过对不同尺度大气污染特征的研究, 分析了西安市雾霾天气与气象条件的关系。郭晓梅等[2]利用 1961~2010 年四川盆地 122 个气象站观测资料, 分析了四川盆地年平均霾日数时空分布特征及霾日数季节和年变化趋势, 探讨了近 50 年四川盆地大气干消光系数、风速、能源消耗和人口等因素与霾日数之间的关系。程婷等[3]对近 50 年南京雾霾的气候特征及影响因素进行了分析研究, 指出: 南京的霾日数在四季都存在增加的趋势, 同时特定的气象条件也是导致近年来雾霾天气频发的重要原因。陈瑞敏等[4]对连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征进行了分析, 提出: 雾霾天气的能见度和相对湿度基本上呈负相关关系, 雾霾天气期间大部分日数都存在逆温层且低层风速较小, 地面气压场偏弱。赵倍等[5]选用四川盆地 1973~2013 年 12 个气象站的资料, 分析了四川盆地霾天气的变化特征, 并对 2013 年 2 月的一次典型霾天气演变过程进行分析, 探究了霾天气的形成与其它气象因素的关系。张运英等[6]对广东雾霾天气能见度时空特征进行了分析研究。

Li 等[7]收集 2013 年 1 月成都市区内一次霾事中日间和夜间 PM_{2.5} 样本, 通过分析气溶胶样本中低分子量同源二元羧酸、氧代酸和 α -二羰基以及有机碳和元素碳, 得出成都地区雾霾的主要形成因素以及成分影响。陈源等[8]观测 2012 年 5 月~2013 年 5 月成都地区大气颗粒物的污染特征, 分析了成都乃至四

川地区主要的大气污染物成分。李淑婷[9]利用成都市大气环境监测点位监测成都地区二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒, 分析其时空分布特征, 并针对不同的污染物, 在比较 GIS 两种空间插值方法优劣的前提下选出了大气污染物浓度的最佳估算方法。高怡等[10]利用大气化学模式系统 WRF-chem 模拟对 2013 年 1 月华北地区重雾霾过程及其成因进行了模拟分析, 提出: 能见度、气象要素(温度、湿度、降水、风速和风向)以及细颗粒物浓度的时间变化与近地面观测值都较为吻合, 表明影响此次雾霾天气过程的主要因素就是化学污染。

靳会超[11]在 RS 和 GIS 在四川省城市雾霾分析及评价中的应用中写出利用 RS 和 GIS 对雾霾成因、发展和危害进行分析和探讨, 得到治理雾霾相应的方案。江艳平等[12]在浅析成都的雾霾天气中详细介绍了成都地区雾霾天气产生的原因, 并对治理和保护提出了解决办法。

2013 年以来, “雾霾”成为年度关键词并不断被人提及。四川盆地是中国人口最集中的地区之一, 其独特的地形和快速的经济发展现状, 都表明其雾霾特征及成因更加值得探索 and 关注。本文将利用中国环境保护部数据中心的四川八个重要城市站点所取得的 2014/2015 和 2015/2016 年冬季 AQI 指数资料, 对四川省的空气质量的时空特征进行分析, 之后选择典型个例, 结合气象要素探讨空气质量与气象要素的可能联系。

2. 数据介绍

本文分析用的数据资料有:

1) 中国环境保护部数据中心的四川八个重要城市站点的空气质量指数(AQI, Air Quality Index)。八个站点分别为: 成都、自贡、攀枝花、泸州、德阳、绵阳、南充、宜宾。表 1 给出了四川地区两个冬季历月 8 个站点空气质量总天数的统计情况。四川地区 2014/2015、2015/2016 两个冬季月份空气质量总体上趋于良好, 但在 12 月和 1 月份还是出现了重度污染与严重污染的情况。

Table 1. Total air quality days (Unit: day) at 8 stations in Sichuan region

表 1. 四川地区 8 个站点空气质量总天数(单位: 天)

| | 优 | 良 | 轻度污染 | 中度污染 | 重度污染 | 严重污染 |
|-------------|----|-----|------|------|------|------|
| 2014 年 11 月 | 48 | 156 | 18 | 2 | | |
| 2014 年 12 月 | 9 | 140 | 60 | 27 | 12 | |
| 2015 年 01 月 | 14 | 73 | 47 | 48 | 64 | 2 |
| 2015 年 11 月 | 35 | 185 | 19 | 1 | | |
| 2015 年 12 月 | 18 | 135 | 65 | 9 | 20 | 1 |
| 2016 年 01 月 | 14 | 117 | 64 | 38 | 15 | |

2) 美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的逐日再分析资料, 选用要素有气温, 风场。

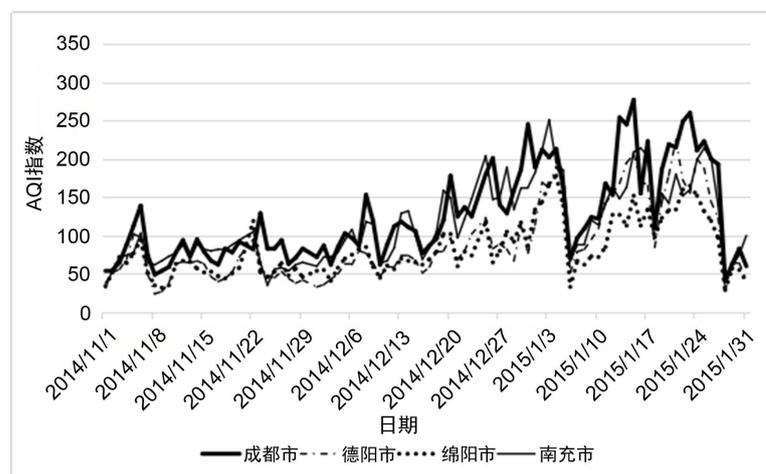
3) 中央气象台提供的天气状况数据。

3. 研究结果

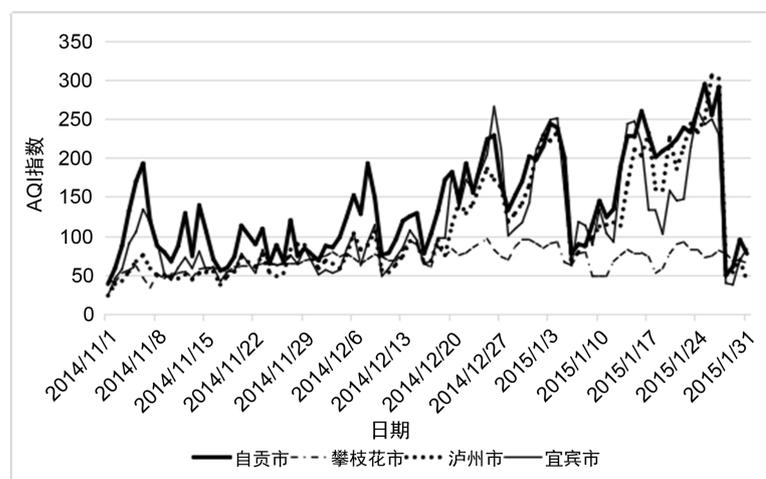
3.1. 四川省八个主要站点特征分析

图 1 给出了 2014/2015 冬季四川省八个城市站点空气质量指数逐日演变情况。由图 1(a)可以看出绵阳与德阳的空气质量明显优于成都与南充, 四个城市站点的演变趋势基本一致, 在 2014 年 11 月至 12 月中

旬, 空气质量指数基本低于 150。在 2014 年 12 月下旬及 2015 年 1 月中下旬均出现了空气质量指数的峰值, 最高将近 300, 出现的城市均为成都。由图 1(b)可以看出攀枝花的空气质量指数一致处于 100 以下, 表明 2014/2015 冬季攀枝花的空气质量维持在优良的状态, 但其空气质量的波动值后冬明显高于前冬。自贡、泸州与宜宾的演变趋势相当, 在 2014 年 11 月初出现一次峰值, 之后维持在 150 以内, 在 2014 年 12 月中旬明显上升, 在 2014 年 12 月下旬至 2015 年 1 月中旬出现明显的高值过程, 之后陡然下降, 在 2015 年 1 月中下旬维持在 200 以上, 最高值出现在 2015 年 1 月底, 最高可达 300 以上, 出现在泸州。



(a)



(b)

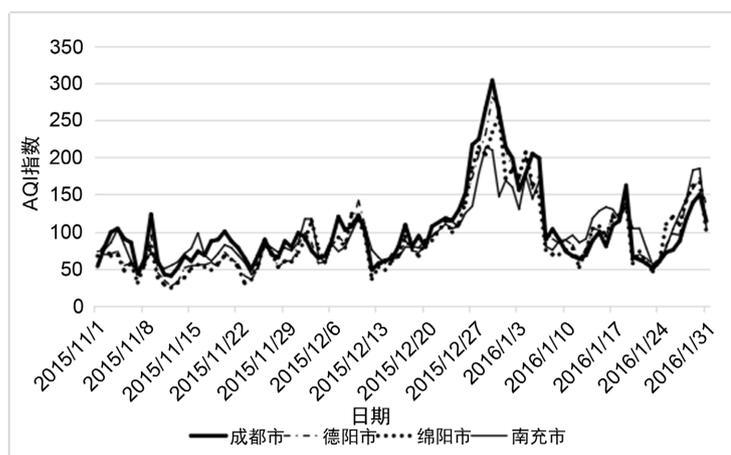
Figure 1. Daily evolution of air quality index in Sichuan Province in 2014/2015: (a) Chengdu, Deyang, Mianyang and Nanchong; (b) Zigong, Panzhihua, Luzhou and Yibin

图 1. 2014/2015 冬季四川省八个城市站点空气质量指数逐日演变序列: (a) 成都、德阳、绵阳、南充; (b) 自贡、攀枝花、泸州、宜宾

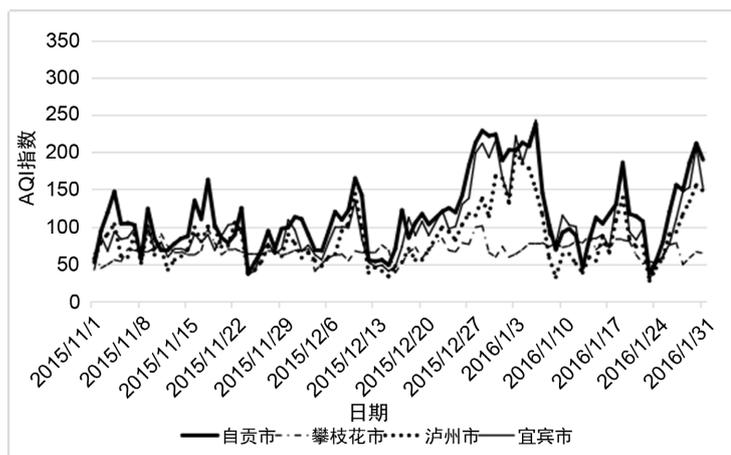
图 2 给出了 2015/2016 冬季四川省八个城市站点空气质量指数逐日演变情况。由图 2(a)可以看出四个城市站点的演变趋势基本一致, 在 2015 年 11 月至 12 月中旬, 空气质量指数基本低于 150, 在 100 上下波动。在 2015 年 12 月下旬至 2016 年 1 月上旬四个城市均出现了空气质量指数的峰值, 最高可达 300 以上, 出现的城市仍为成都。在 2016 年 1 月中下旬虽有小的峰值出现, 在基本都在 200 以内, 100 上下波动。由图 2(b)可以看出攀枝花的空气质量指数变化情况与 2014/2015 冬相当, 表明攀枝花的空气质量明显

优于其他 7 个城市。自贡、泸州与宜宾的演变趋势相当, 在 2015 年 11~12 月下旬的空气质量指数主要表现为在 150 左右之内波动, 在 2015 年 12 月下旬明显上升, 之后在 200~250 之间维持了 10 天左右, 最高值出现在 2016 年 1 月上旬, 最高将达 250, 出现在自贡, 随后陡然下降, 在 2016 年 1 月中下旬再次出现了两次小的峰值。

在分析的两个冬季中, 攀枝花的空气质量指数均处在较低的水平, 表明攀枝花的空气质量一般都是优和良, 这与攀枝花的地理位置和天气状况有关, 同时攀枝花具有夏季长、温度日变化大, 四季不分明, 降雨少而集中, 日照多, 太阳辐射强, 气候垂直差异显著等特征, 常年伴有主导风向控制, 使得大气颗粒物很难在其上空堆积造成污染。



(a)



(b)

Figure 2. Daily evolution of air quality index in Sichuan Province in 2015/2016: (a) Chengdu, Deyang, Mianyang and Nanchong; (b) Zigong, Panzhihua, Luzhou and Yibin

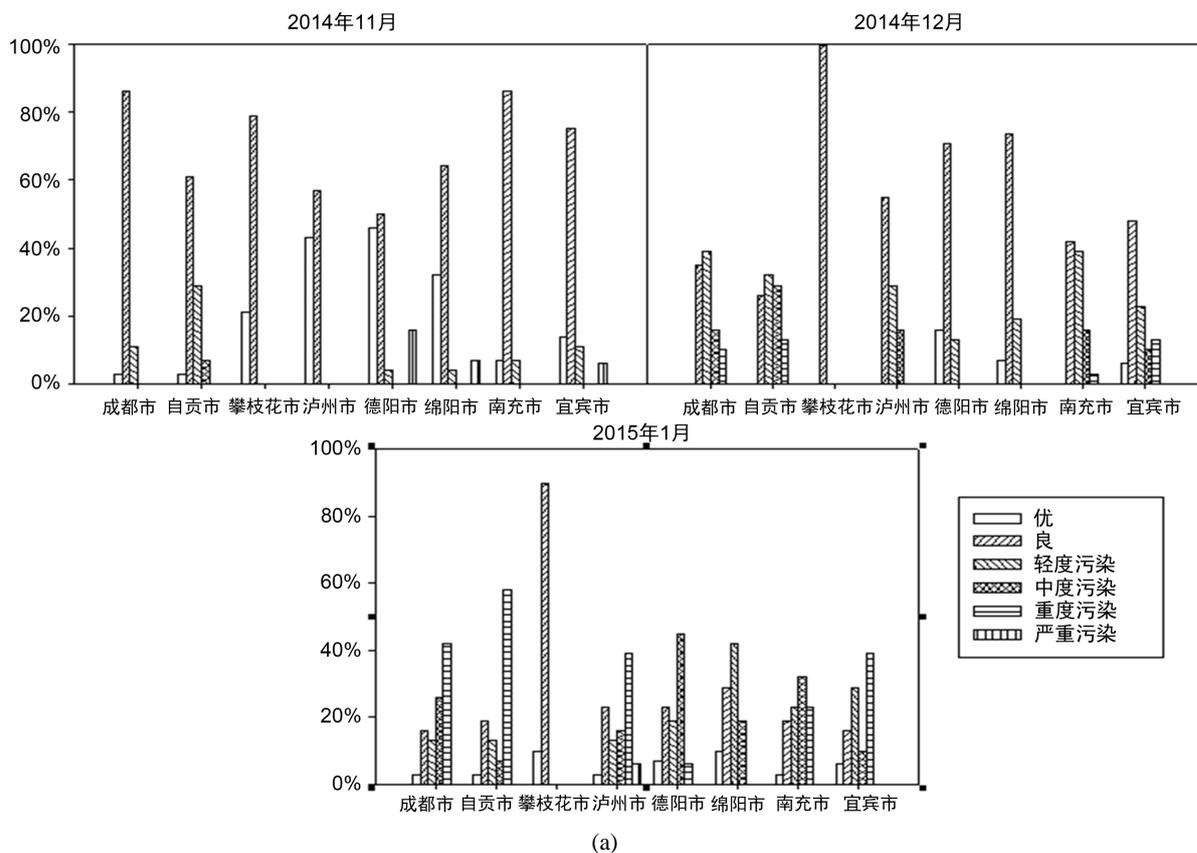
图 2. 2015/2016 冬季四川省八个城市站点空气质量指数逐日演变序列: (a) 成都、德阳、绵阳、南充; (b) 自贡、攀枝花、泸州、宜宾

综合分析图 1 和图 2, 四川省雾霾天气主要集中在每年 12 月底到次年 1 月, 且污染指数较高, 空气质量较差。偏北的四个城市空气质量指数来看, 指数有较大幅度上升是从 2014 年 12 月 08 日开始(图 1(a)), 明显下降是在 2015 年 01 月 07 日, 而从图 1(b)得出指数有较大幅度上升差不多是从 2014 年 12 月 06 日开始, 明显下降是在 2015 年 01 月 06 日。然后图 2 对比也可发现这一现象。结合这八个城市的地理位置

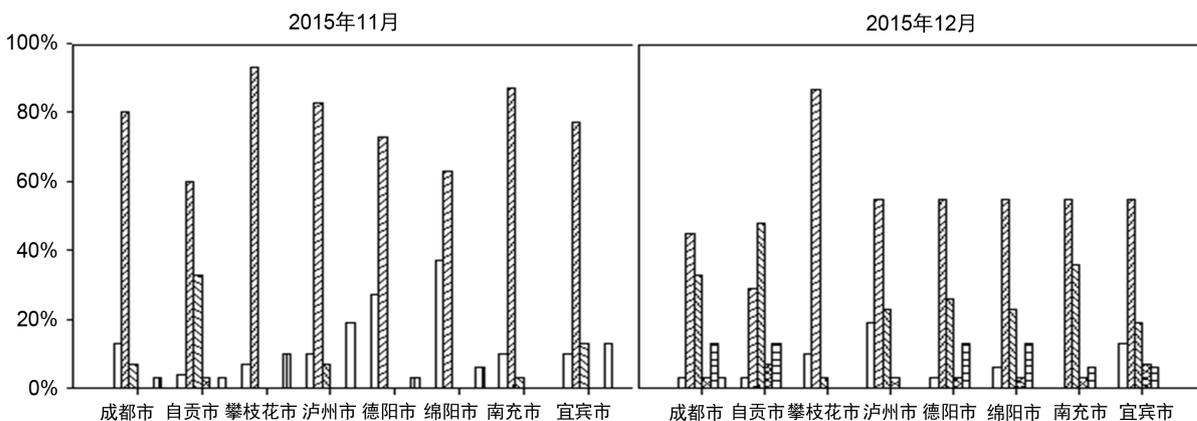
及盛行风向与植被覆盖信息来看, 这个现象表明整个四川省雾霾天气从南到北有一个明显的滞后性。这与吴利彬等[13]的研究结果基本一致。

3.2. 单位

图3给出了2014/2015与2015/2016冬季各月四川省八个城市站点空气质量等级天数占比情况。四川省八个城市空气质量为优的时间段都比较少, 有的城市的空气质量甚至没有; 八个城市的空气质量占比最多的等级均为良; 污染的天数所占百分比比较大的月份多出现在次年的1月份, 在南充市和宜宾市, 历月空气质量差的天数占得比重较高。空气质量较差的城市位于四川省东南部, 都属于工业城市, 这与孙彧等[14]的研究结论基本一致。



(a)



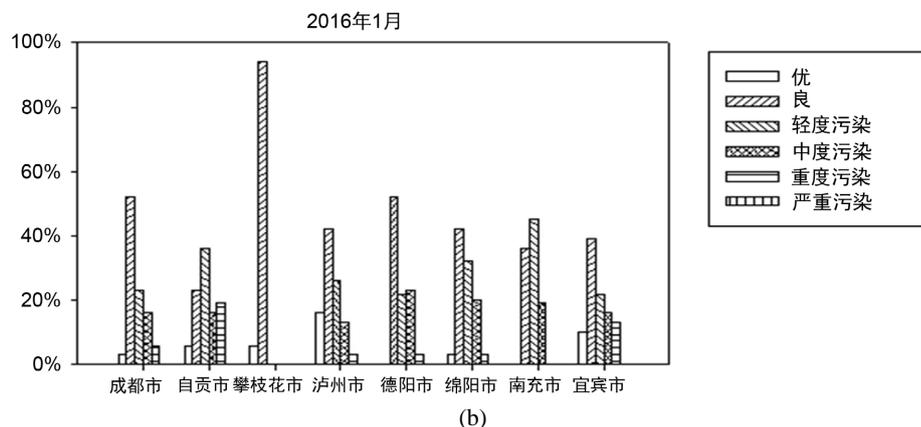


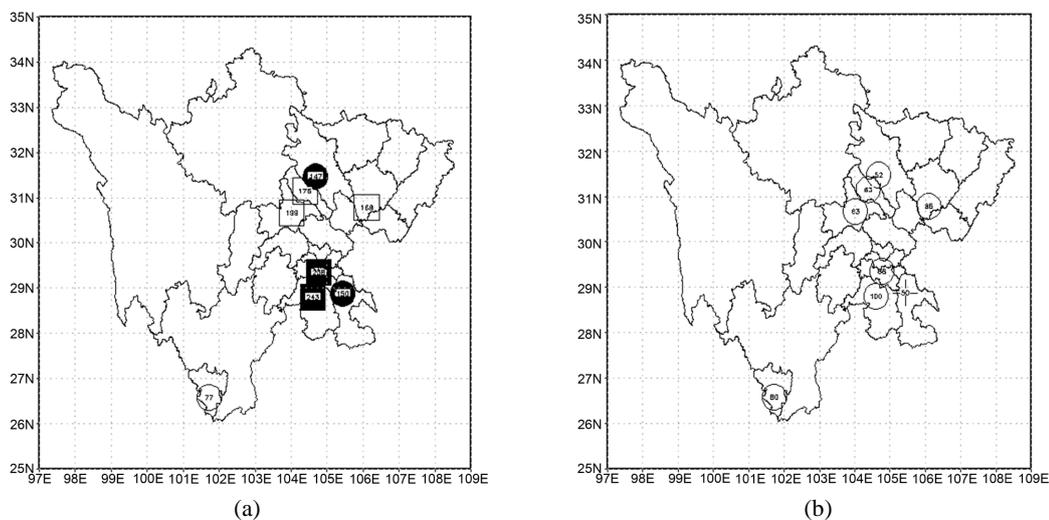
Figure 3. The proportion of air quality levels at eight stations in Sichuan Province in winter of 2014/2015 and 2015/2016: (a) 2014/2015; (b) 2015/2016

图 3. 2014/2015 与 2015/2016 冬季各月四川省八个城市站点空气质量等级天数占比情况: (a) 2014/2015; (b) 2015/2016

3.3. 雾霾个例分析

选择成都市 2016 年 1 月一次明显的雾霾天气过程作为个例, 分析探讨雾霾产生、消亡对应的天气条件。图 4 给出了这次过程中的四天空气质量等级的分布情况。图中下标表示空气质量的优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染六个层次, 图 4(a)、图 4(c)为雾霾天气空气质量等级分布, 图 4(b)、图 4(d)为非雾霾天气空气质量等级分布。由于攀枝花市整个冬季的天气都是优或者良好, 只考虑其他七个城市。从空气质量指数来看, 整个雾霾天气过程由图 4(a)发展到图 4(d), 期间空气质量呈周期性变化。纵观整个变化过程, 雾霾表现出一种滞后性, 一般都是先从四川北部产生雾霾, 然后向南发展, 而且良好天气也是由北部向南部扩散, 这也就体现了四川冬季雾霾由北向南不断发展, 偏南城市比偏北城市晚一步进入雾霾天气, 重污染区主要集中在成都地区和四川东南部地区。

表 2 是成都市这次雾霾天气过程中各阶段最高、低温度的平均数值, 列出了 1 月 6 日为雾霾天气过程, 1 月 7~16 为非雾霾天气过程, 1 月 17~19 日为雾霾天气过程, 1 月 20~24 日为非雾霾天气过程。对比过程的四个阶段, 可以看出雾霾天气的时候平均最高温度与平均最低温度均高于非雾霾过程, 雾霾过程向非雾霾过程转换的时候天气多出现阴雨的持续, 非雾霾向雾霾过程转换的时候出现晴的天气情况。后三个阶段的平均气温(图略)也表明在 2016 年 1 月 17~19 的雾霾过程, 四川省配合有明显的升温。



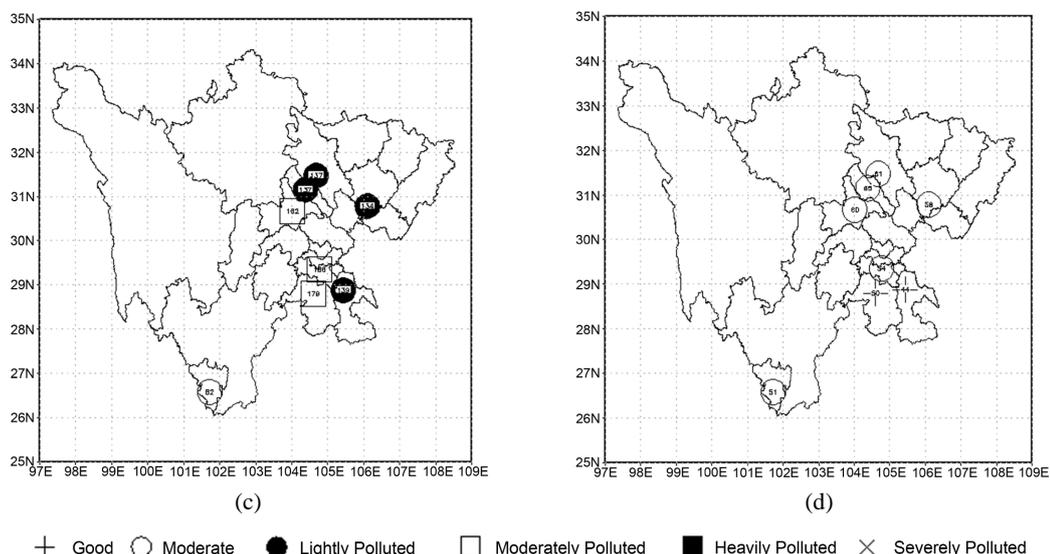


Figure 4. Distribution evolution diagram of air quality index and grade of haze process in January 2016: (a) 2016/1/6; (b) 2016/1/12; (c) 2016/1/19; (d) 2016/1/24

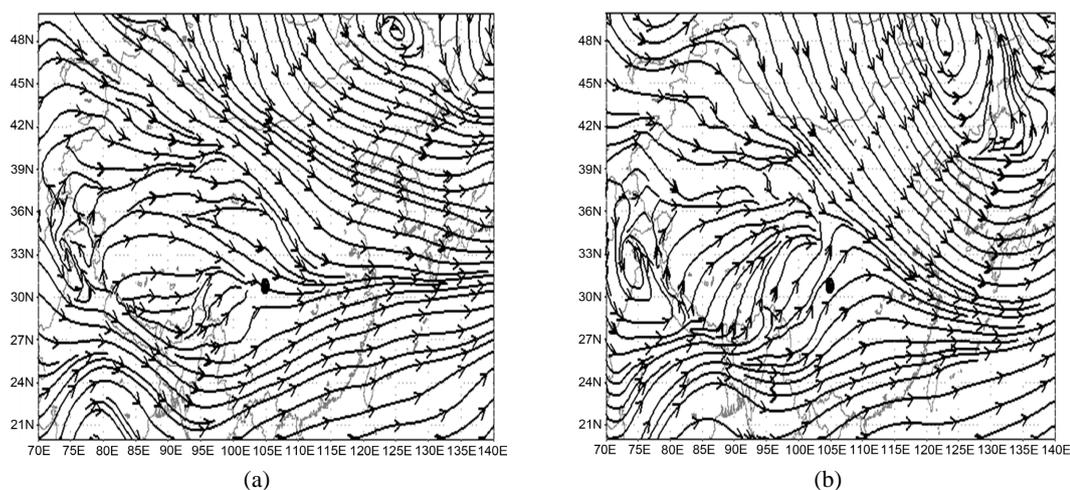
图 4. 2016 年 1 月雾霾过程空气质量指数及等级的分布演变图: (a) 2016/1/6; (b) 2016/1/12; (c) 2016/1/19; (d) 2016/1/24

Table 2. The average value of the highest and lowest temperatures in Chengdu in January 2016 (°C)

表 2. 2016 年 1 月成都市雾霾天气过程中各阶段最高、低温度的平均数值(°C)

| 时间 | 平均最高气温 | 平均最低气温 |
|--------------|--------|--------|
| 2016/1/6 | 11 | 6 |
| 2016/1/7~16 | 9.6 | 4 |
| 2016/1/17~19 | 11 | 5 |
| 2016/1/20~24 | 5.6 | -0.6 |

环境风场的形势与污染物的扩散有着直接的联系。图 5 给出了此次过程雾霾前后(雾霾前期: 1 月 14~16 日, 雾霾中期: 1 月 17~19 日, 雾霾后期: 1 月 20~24 日)风场的分布形势。根据图 5 雾霾天气过程中风场的变化图, 能够看出(图 5(a))中四川盆地气流能够向外输送, 污染不易堆积; 图 5(b)中气流堆积, 无法向外输送; 雾霾天气后(图 5(c))中, 虽然气流还是有所阻断正在堆积, 但是有部分气流在向外输送, 意味着天气形势在不断转好。



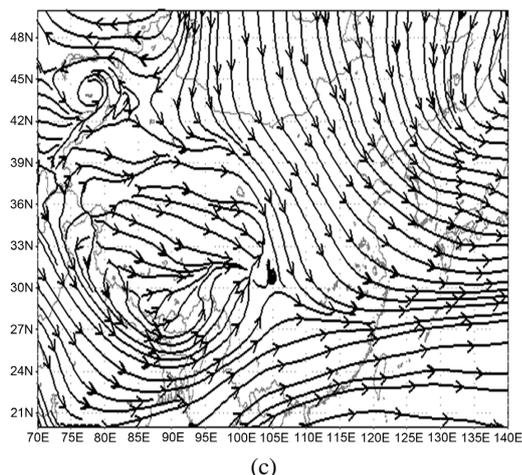


Figure 5. Distribution map of the average wind field situation in different stages of the haze process in January 2016: (a) 2016/1/14~16; (b) 2016/1/17~19; (c) 2016/1/20~24

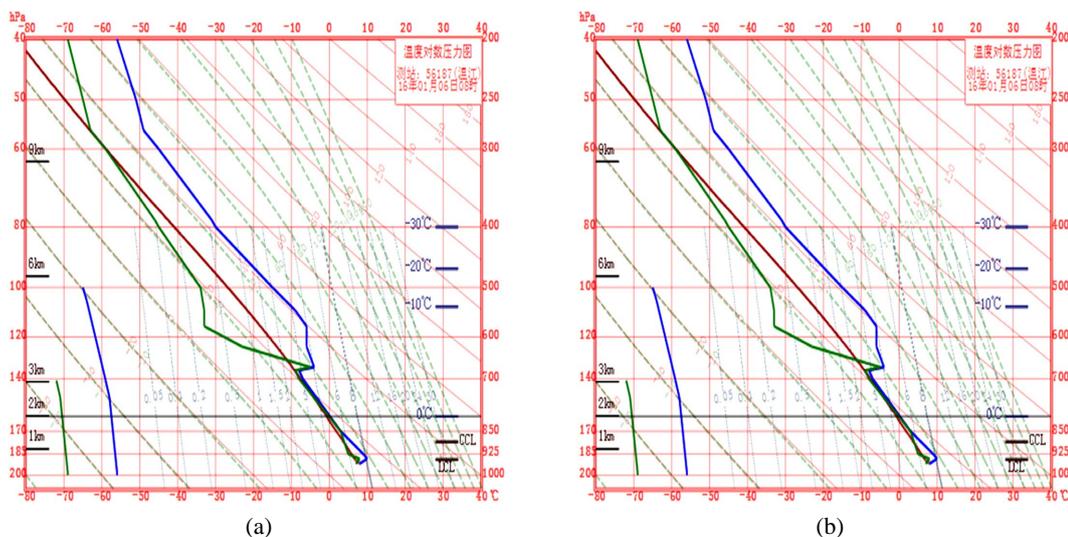
图 5. 2016 年 1 月雾霾过程的不同阶段平均的风场形势分布图: (a) 2016/1/14~16; (b) 2016/1/17~19; (c) 2016/1/20~24

对流层大气的温度一般随高度而降低,但在有些条件下,某些层次的温度会随高度而增加,这些气层称为逆温层。逆温层是绝对的稳定层结,它对上下空气的对流都起着抑制和削弱作用,就好像一个“盖子”悬浮在大气中,使得大气颗粒物难以扩散,从而空气质量下降,能见度降低,重则发生严重的大气污染事件(如洛杉矶光化学烟雾、马斯河谷烟雾事件等)。

图 6 给出了此次过程不同阶段某日的温度对数压力图。分析成都市 1 月 6~24 日近地面逆温层的逐日变化(图 6(a)~(d)),发现普遍存在低层逆温层,导致大气层结稳定,不易产生对流。出现逆温层的地区,大气层结趋于稳定,污染物的传输受阻,而大气污染物聚集需要一定的时间,逆温层的出现对于雾霾天气的生成有滞后性。

4. 结论

本文利用地面站点观测与再分析资料,首先分析了 2014/2015 和 2015/2016 两个冬季四川雾霾天气时空变化特征,并以 2015/2016 冬季的一次雾霾天气过程为例,分析了天气现象、风场和大气层结对四川雾霾天气演变的影响,主要得到以下结论:



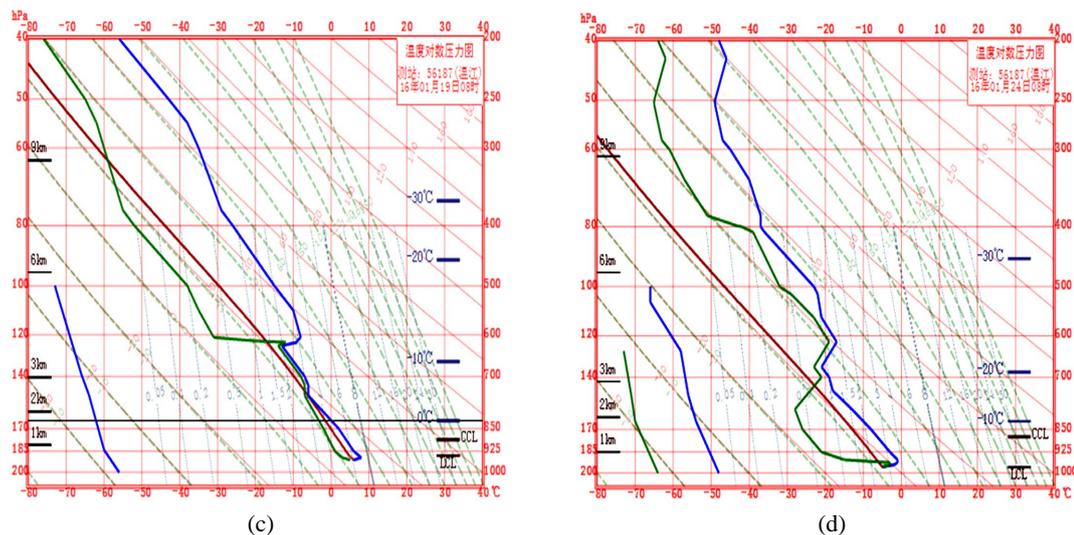


Figure 6. TlogP map for different time periods of the haze process in January 2016: (a) 2016/1/6; (b) 2016/1/12; (c) 2016/1/19; (d) 2016/1/24

图 6. 2016 年 1 月雾霾过程不同时间段温度对数压力图: (a) 2016/1/6; (b) 2016/1/12; (c) 2016/1/19; (d) 2016/1/24

1) 两个冬季的分析表明,除了攀枝花外,AQI 指数整体演变趋势大致相同,雾霾天气主要集中在每年 12 月底到次年 1 月,AQI 指数值最高可达到 300 以上,整个四川省雾霾天气从南到北有一个明显的滞后性。

2) 两个冬季四川省八个城市空气质量为优的时间段都比较少,空气质量占比最多的等级均为良;污染的天数所占百分比比较大的月份多出现在次年的 1 月份,在南充市和宜宾市,历月空气质量差的天数占得比重均较高,这与经济发展现状有着一定联系。

3) 通过对四川冬季雾霾天气个例分析,发现雾霾天气的时候平均最高温度与平均最低温度均高于非雾霾过程,雾霾过程向非雾霾过程转换的时候天气多出现阴雨的持续,非雾霾向雾霾过程转换的时候出现晴的天气情况。环境风场的形势(输送还是堆积)与污染物的扩散(疏散还是聚集)有着直接的联系;此外逆温层将不利于污染物的扩散。

参考文献

- [1] 周慧,王自发,安俊岭,等.城市空气污染持续维持机制研究 I.2002 年西安市空气污染持续维持过程分析及其气象成因[J].气候与环境研究,2005,10(1):124-131.
- [2] 郭晓梅,陈娟,赵天良,等.1961-2010 年四川盆地霾气候特征及其影响因子[J].气象与环境学报,2014,30(6):100-107.
- [3] 程婷,魏晓奔,翟伶俐,等.近 50 年南京雾霾的气候特征及影响因素分析[J].环境科学与技术,2014,37(6):54-61.
- [4] 陈瑞敏,吴雁,康文英,等.连续雾霾天气污染物浓度变化及天气形势特征分析[J].气候与环境研究,2014,19(2):209-218.
- [5] 赵喆,白爱娟.四川盆地霾天气变化特征和典型霾过程分析[J].环境科学与技术,2015,38(6):71-76.
- [6] 张运英,黄菲,杜鹃,等.广东雾霾天气能见度时空特征分析年际年代际变化[J].热带地理,2009,29(4):324-328.
- [7] Li, X.D., Yang, Z. and Fu, P., *et al.* (2015) High Abundances of Dicarboxylic Acids, Oxocarboxylic Acids, and α -Dicarbonyls in Fine Aerosols ($PM_{2.5}$) in Chengdu, China during Wintertime Haze Pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, **22**, 12902-12918. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4548-x>
- [8] 陈源,谢绍东,罗彬.成都市大气细颗粒物组成和污染特征分析(2012-2013 年)[J].环境科学学报,2016,36(3):

1021-1031.

- [9] 李淑婷. 成都市大气环境污染时空特征分析及质量评价[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2012.
- [10] 高怡, 张美根. 2013年1月华北地区重雾霾过程及其成因的模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2014, 19(2): 140-152.
- [11] 靳会超. RS和GIS在四川省城市雾霾分析及评价中的应用[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [12] 江艳平, 侯云珊, 陈雪莲, 等. 浅析成都的雾霾天气[J]. 城市地理, 2014(18): 67.
- [13] 吴利彬, 周书华, 倪长健, 等. 成都及周边地区霾时空分布特征研究[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(2): 63-67.
- [14] 孙彧, 马振峰, 牛涛, 等. 最近40年中国雾日数和霾日数的气候变化特征[J]. 气候与环境研究, 2013, 18(3): 397-406.