

文章编号: 2096-1618(2020)01-0079-08

逆温层对成都地区雾霾影响的研究

李思盟, 蔺诗颖, 陈南西, 刘霏薇, 周筠珺

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

摘要:为探究成都地区逆温对空气污染的影响,选取2014年12月–2018年5月冬春季成都温江站探空、地面风速、相对湿度和成都市空气质量指数、PM_{2.5}浓度等数据,利用统计分析等方法,同时分析了2017年12月16日08时–2018年1月2日20时的持续逆温过程。结果表明:(1)成都冬春季出现污染的频率约达42%,PM_{2.5}浓度超标约占40.28%,冬季雾霾更严重,由冬到春浓度逐渐下降。(2)逆温主要出现在冬季,逆温出现频率分别为19.5%、18.5%和18.5%。(3)逆温层数增加,雾霾加重,无逆温时PM_{2.5}平均浓度为108 μg/m³;层数为1、2时,PM_{2.5}平均浓度为119 μg/m³、127 μg/m³。(4)贴地逆温出现频率最高,底高主要在540~560 gpm,厚度在0~100 gpm的约占47%;当逆温持续13个时次以上,污染出现频率超过80%。为成都空气污染治理提供理论依据。

关键词:大气物理学;气象与污染;成都;冬春季;逆温

中图分类号:P423.6

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.01.011

0 引言

霾是大量极细微的干尘粒均匀地浮游在空中,使水平能见度小于10 km的空气普遍浑浊现象^[1],PM_{2.5}是构成霾的主要成分,指大气中空气动力学直径小于等于2.5 μm的细颗粒物^[2],有研究发现细颗粒物比粗颗粒物(空气动力学直径大于等于10 μm的颗粒物)在大气中滞留时间更长,传播距离更远,PM_{2.5}的浓度每增加10 μg/m³,死亡率上升约14%^[3-6]。中国环境学者对细颗粒物的研究最早始于20世纪80年代。王玮等^[7]对PM_{2.5}的质量浓度等方面进行了深入研究。陈源等^[8]对成都地区的大气细颗粒物组成和污染特征进行了分析,结果表明成都市具有较高的PM_{2.5}浓度值,其中以二次无机离子和有机物污染最为突出。目前的许多研究集中在细颗粒物污染特征及来源、细颗粒物中的化学成分等方面。鲜少会从大气层结角度来研究细颗粒物的特征。

研究发现,污染物进入大气以后,主要在距离地面2000 m以下边界层内进行扩散,逆温是指在边界层某一高度范围内出现气温随高度升高而增加的现象,当大气中出现逆温时,较稳定层结使空气污染加重^[9-11]。目前,许多研究以平原为主,主要研究逆温层的总体特征,如曹红丽等^[12]统计了西安地区边界层内逆温层的出现频率、强度、厚度等特征,发现当近地面有逆温出

现时,污染物质量浓度值较高。

成都位于四川盆地西部,空气污染具有明显的季节演变特征,其中冬季空气污染频率最高,其次是春季,而夏季和秋季则因雨水冲刷和空气对流情况导致基本无空气污染现象发生^[13-14];此外成都静小风出现频率较高,使成都市的颗粒物浓度常年较高^[15]。因此探究成都市冬春季逆温层层结特征与空气污染的关系可为地方相关部门的污染控制提供参考。

1 资料及处理

1.1 资料

将12月–次年2月规定为冬季,将3–5月规定为春季。主要用到2014年12月–2018年5月冬春季成都温江站(103.87°E,30.75°N,海拔高度约为548 m)逐日2次(观测时间分别为北京时间早上08时和晚上20时)的常规探空资料,逐日8次(观测时间分别为北京时间02时、05时、08时、11时、14时、17时、20时和23时)的相对湿度、地面风速等数据。

根据空气质量指数(air quality index,AQI)和PM_{2.5}浓度研究成都地区的空气污染情况。AQI指数和PM_{2.5}浓度的相关数据分别来自中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台以及中国空气质量在线监测分析平台^[16]。将空气质量划分为6个等级,如表1所示,并且将PM_{2.5}浓度大于75 μg/m³的情况统称为超标。

收稿日期:2019-06-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41875169);国家重点研发计划资助项目(2018YFC1505702);贵州省科技计划资助项目(黔科合支撑[2019]2387号);四川省教育厅资助项目(16CZ0021)

表 1 空气质量等级划分

空气质量等级	AQI 指数	PM _{2.5} 浓度/(μg/m ³)
优	0~50	0~35(一级标准)
良好	51~100	35~75(二级标准)
轻度污染	101~150	75~115
中度污染	151~200	115~150
重度污染	201~300	150~250
严重污染	≥300	≥250

1.2 数据处理

逆温层层底高度(简称底高)指垂直方向温度由随高度递减变为递增时对应的位势高度;逆温层层顶高度(简称顶高)表示垂直方向温度由随高度递增变为递减时对应的位势高度。文中仅研究底高3000 gpm以下的逆温层,并按底高将逆温层分为两类:贴地逆温底高<1000 gpm、低空逆温底高 1000~3000 gpm。将从地面到高空出现的第一个逆温层标记为第一层逆温层,第二个逆温层标记为第二层逆温层……

逆温层厚度即该逆温层顶高与底高的位势高度差,用 $\Delta\Phi$ 表示。 p_1, p_2 分别表示逆温层底和层顶所在等压面的气压; Φ_0, Φ_1, Φ_2 分别表示925 hPa等压面、逆温层底和层顶的位势高度, T_{v0}, T_{v1}, T_{v2} 分别表示925 hPa等压面、逆温层底和层顶的虚温。假设在逆温层内等压面间虚温不随高度变化,即:

$$\overline{T} = \frac{T_{v1} + T_{v2}}{2} \tag{1}$$

$$\overline{T_0} = \frac{T_{v0} + T_{v1}}{2} \tag{2}$$

则逆温层厚度 $\Delta\Phi$ 为

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \frac{R_d \overline{T}}{g} \ln \frac{p_1}{p_2} \tag{3}$$

逆温层底高 Φ_1 为

$$\Phi_1 = \frac{R_d \overline{T_0}}{g} \ln \frac{p_0}{p_1} + \Phi_0 \tag{4}$$

式中: $\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \Delta\Phi$ 的单位均为 gpm; p_0, p_1, p_2 单位为 hPa; $R_d \approx 287.05 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 为干修正的理想气体常数; $T_{v0}, T_{v1}, T_{v2}, \overline{T}, \overline{T_0}$ 单位为 K。 g 是重力加速度,用1967年国际重力公式计算成都温江站($\varphi = 30.75^\circ$)的重力加速度($g \approx 9.8001 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)。

PM_{2.5}浓度与AQI指数的相关系数 r 为

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{Var}[X] \cdot \text{Var}[Y]}} \tag{5}$$

式中: X 表示PM_{2.5}浓度, Y 表示AQI指数; $\text{Cov}(X, Y)$ 表示PM_{2.5}浓度与AQI指数的协方差; $\text{Var}[X]$ 表示PM_{2.5}浓度的方差; $\text{Var}[Y]$ 表示AQI指数的方差。

2 冬春季逆温层层结特征与空气污染

2.1 冬春季空气污染分布特征

图1给出了2014年12月-2018年5月成都冬春季每天08时和20时AQI指数的变化情况,并根据表2可知AQI指数的中位数约为92,冬春季成都市出现污染的频率约达42%,其中12月和1月污染出现频率最高,分别约为59.3%和56.7%,4月和5月污染出现频率较低,约为22.5%和28.8%。成都春季以轻度污染为主,分别约占83.1%(3月),90.7%(4月)和92.8%(5月),春季出现重度及以上程度污染的概率仅为4.9%。冬季空气污染比春季严重:1月重度及以上程度污染出现的频率最高(41.1%),其次为12月(18.4%),最后为2月(12.6%);而轻度污染的情况刚好与之相反:2月出现频率最高,约为69.5%,其次为12月(56.5%),最后为1月,约占40.4%。由于部分数据缺测,一共选择1380个有效数据,缺测时次不再列举。

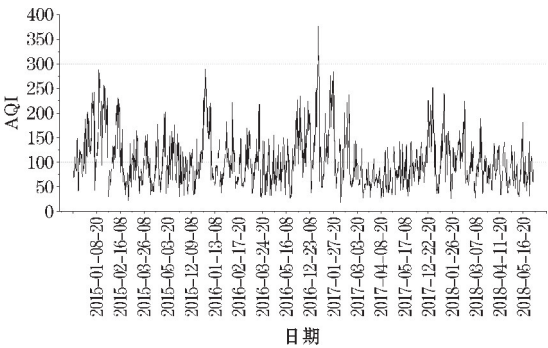


图 1 2014 年 12 月-2018 年 5 月成都冬春季每日 08 时、20 时 AQI 指数

为研究成都PM_{2.5}浓度冬春季的分布特征,选取2014年12月-2018年5月冬春季PM_{2.5}浓度的720个有效样本,将其按《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)进行分级和时间序列变化分析。2014年12月-2018年5月冬春季成都市PM_{2.5}浓度的总平均值约为74 μg/m³。如图2所示,PM_{2.5}浓度达到一级标准(PM_{2.5}浓度在0~35 μg/m³)的有133天,约占18.47%;达到二级标准(PM_{2.5}浓度在35~75 μg/m³)的有297天,占总体的41.25%;有290天PM_{2.5}浓度超标(PM_{2.5}浓度大于75 μg/m³),出现频率达40.28%,成都冬春季雾霾污染较严重。

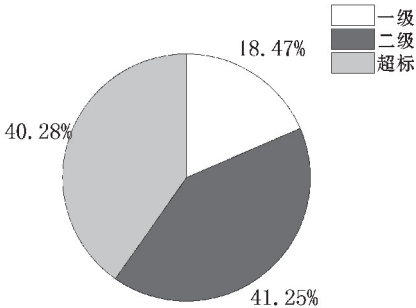


图2 2014年12月-2018年5月成都冬春季PM_{2.5}浓度划分占比

表2统计了成都市冬春两季PM_{2.5}浓度的总体情况,PM_{2.5}浓度最大值出现在冬季,约为313 μg/m³,远超国家空气质量标准,属于重度污染;最小值为8 μg/m³,出现在春季,达到国家空气质量标准中的一级标准,空气质量为优。冬季PM_{2.5}浓度的平均值约为

表2 2014年12月-2018年5月成都冬春季PM_{2.5}浓度和AQI指数的最大值、最小值、平均值和中位数

季节	PM _{2.5} 浓度/(μg/m ³)				AQI指数			
	最大值	最小值	平均值	中位数	最大值	最小值	平均值	中位数
冬季	313	17	95	87	377	17	121	111
春季	159	8	54	50	217	21	84	80
冬春季	313	8	74	65	377	17	103	92

由图3可见,PM_{2.5}浓度月平均值从冬季到春季总体呈下降趋势,2014年12月-2015年5月以及2016年12月-2017年5月PM_{2.5}浓度均在1月达到最高,其浓度分别约为126 μg/m³、136 μg/m³;2015年12月-2016年5月和2017年12月-2018年5月都是12月PM_{2.5}浓度月平均较高,分别为90 μg/m³、103 μg/m³。2015年、2016年和2018年均是5月达到PM_{2.5}浓度月平均的最低值,分别约为50 μg/m³、57 μg/m³、41 μg/m³;只有2017年4月PM_{2.5}浓度月平均达到最低,并在5月出现短暂上升。冬季的PM_{2.5}浓度月平均值大于80 μg/m³,而春季的PM_{2.5}浓度月平均一般小于80 μg/m³。对比冬春季逆温层层结特征发现,春季逆温层底高更高且强度较小,PM_{2.5}相对容易扩散,PM_{2.5}浓度也随之减小,因此由冬季到春季的PM_{2.5}浓度月平均呈减小趋势。

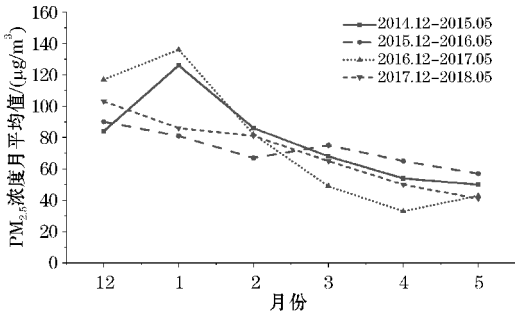


图3 2014年12月-2018年5月成都市冬春季PM_{2.5}浓度月平均的变化趋势

95 μg/m³,春季PM_{2.5}浓度平均值为54 μg/m³,对比发现冬季雾霾污染更加严重。

成都冬春季出现逆温的时次(08时和20时)约占63.5%,其中出现污染时存在逆温的情况约占77.8%。逆温层主要出现在冬季,分别约占19.5%(12月),18.5%(1月)和18.5%(2月)。5月逆温层出现频率最低,约占全部出现时次的12.7%。成都冬季的逆温层多在3000 gpm以下,ΔT较大;春季逆温层很多位于3000 gpm以上,ΔT也多为1℃。逆温层是稳定层结,逆温强度越强,层结越稳定;逆温层内几乎无扰动,更没有湍流发展,细颗粒物不易扩散。因为冬季的逆温层更低且逆温强度更大,PM_{2.5}不易扩散,PM_{2.5}浓度也随之增加,冬季的PM_{2.5}浓度平均值比春季高,也可说明冬季大气污染比夏季严重。

2.2 逆温持续时间与空气污染

将2014年10月-2018年5月冬春季成都地区逆温持续出现2个及以上时次的天气过程称为持续逆温过程。统计2014年12月-2018年5月冬春季成都地区出现的持续逆温过程共有140次,其中,逆温持续超过13个时次的过程仅有5次。如图4所示,将持续逆温过程分为3类,分别统计这3类持续逆温过程中的空气质量情况,发现随着持续逆温时次的增加,出现空气污染的频率也随之增加:逆温持续2-6个时次的过程和逆温持续7-13个时次的过程中空气质量良好的情况出现最多,其次是轻度污染;当逆温持续大于13个时次时,污染较为严重,出现频率可达80%。

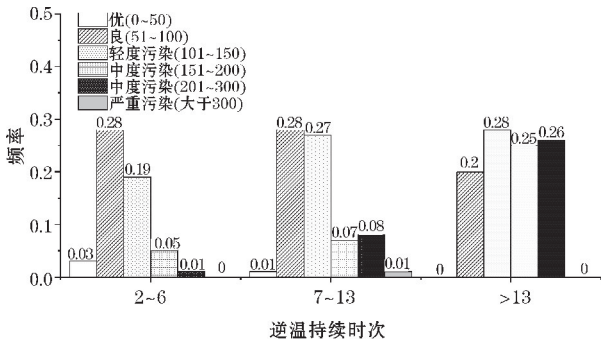


图4 2014年12月-2018年5月成都地区冬春季出现逆温持续时次过程中的空气质量情况

选取逆温持续时间最长的一次天气过程(2017 年 12 月 16 日 08 时-2018 年 1 月 2 日 20 时,逆温持续 36 个时次)进行分析。计算了所选个例中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度与 AQI 指数的相关系数 $r \approx 0.94$,属于非常相关,AQI 指数和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的变化趋势基本一致,当 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度越大时,AQI 指数也就越大。因此在个例分析中主要探究 AQI 指数与逆温层的关系。

2.3 逆温层数与空气污染

存在逆温时,以 1 层逆温为主,空气污染出现频率约占 72.1 %;层数为 2 的情况约为 25.3 %,3 层逆温较少出现,仅占 2.7 %。图 5 为不同污染持续时间内逆温层层数的占比情况。污染持续 1 d 时逆温层主要为 0 层(24 %)和 1 层(58 %),极数为 2 层(占 18 %);污染持续 2~3 d 时逆温层主要为 1 层(占 45 %),2 层和 0 层分别约占 27 %和 25 %,极少为 3 层(占 3 %);污染持续 4~6 d 时逆温层以 1 层为主,约占 46 %,其次为 2 层(27 %),然后为 0 层占 24 %;污染持续 7 d 以上时层数主要为 1 层(49 %)和 2 层(31 %),少量为 0 层占 13 %。污染持续时间越长,3000 gpm 以下逆温层层数为 2 层和 3 层的占比越来越大。没有逆温层时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度平均值为 $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$,1 层逆温时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度平均值为 $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$,2 层逆温时 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度平均值为 $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。逆温层是绝对稳定层结,对其之上和之下的气流起着阻隔的作用,可阻隔上下两层大气的物质交换。逆温层层数越多,削弱抑制作用越强, $\text{PM}_{2.5}$ 越不易扩散, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度也就越高。并且污染持续时间越长, $\text{PM}_{2.5}$ 在大气中不断积累,也会造成 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度越高。

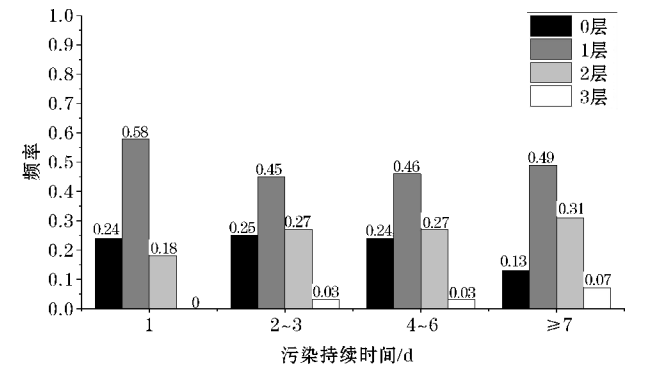


图 5 各污染持续时间段内逆温层不同层数占比

2.4 逆温底高与空气污染

在统计了贴地逆温和低空逆温出现时次数后发现,贴地逆温出现时次数远大于低空逆温层出现的时次数,分别出现了 398 次和 214 次。贴地逆温出现时

次数最多在 2017 年 12 月,约占 8.53 %;2017 年 3 月出现最少,仅有 3 个时次;低空逆温出现时次数在 2016 年 12 月最多,约占低空逆温层总时次数的 11.2 %;2017 年 3 月没有低空逆温出现。分别统计 2014 年 12 月-2018 年 5 月成都冬春季无逆温、只存在贴地逆温、只存在低空逆温、贴地逆温与低空逆温并存时轻度污染、中度污染和重度污染各自出现的频数(图 6)。在 4 种逆温出现情况下都是轻度污染出现频数最高,其次是中度污染。仅存在贴地逆温时出现的轻度污染、中度污染和重度污染的频数最高;而当只有低空逆温出现时,轻度、中度和重度污染频数最低。逆温层底高不同,对污染造成的影响也不尽相同。当有贴地逆温存在时更容易发生空气污染。分析 2014 年 12 月-2018 年 5 月冬春季贴地逆温和低空逆温底高(图 7)发现,低空逆温层底高普遍比贴地逆温层底高要高出 1900~2100 gpm。其中贴地逆温层底高在 540~560 gpm 的频率占了 95.6 %;低空逆温层底高主要集中在 2300~2800 gpm,其中底高在 2400~2600 gpm 频率占了 41.7 %。

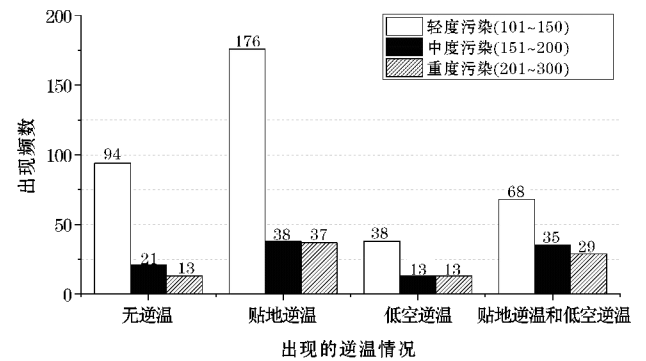


图 6 2014 年 12 月-2018 年 5 月成都冬春季出现不同逆温情况下轻度、中度和重度污染各自出现频数

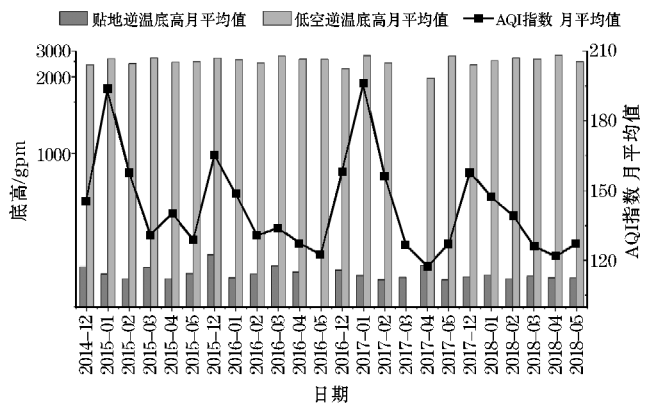


图 7 2014 年 12 月-2018 年 5 月成都冬春季贴地逆温及低空逆温底高月平均与 AQI 指数月平均值

AQI 指数随着贴地逆温底高变化。在 2017 年 1 月 AQI 指数月平均值最高达 196,贴地逆温底高和低空逆温底高平均值分别达到了 557.2 gpm 和

2766.3 gpm;在2017年4月AQI指数月平均值达到了最小值(117),其中贴地逆温底高和 low 空逆温底高分别达到了578 gpm和1966.3 gpm。由图7可知,逆温底高较低时,污染物垂直扩散空间较小,污染加重。

2.5 逆温厚度与空气污染

统计2014年12月-2018年5月成都冬春季贴地逆温层和 low 空逆温层的月平均厚度与AQI指数的关系(图8)。贴地逆温平均厚度为151.1 gpm,低于 low 空逆温的平均厚度(286.7 gpm)。贴地逆温厚度普遍较低,其中厚度在0~50 gpm频率约为6.5%,在50~100 gpm的频率约为40.9%,在100~200 gpm的频率约为29.9%。 low 空逆温平均厚度在100~700 gpm,其范围更大,最低仅有108.9 gpm,最高则达到了696.3 gpm。

贴地逆温与 low 空逆温厚度随着AQI指数变化,这三者存在着一定的正相关变化趋势。在逆温厚度升高或者降低时,往往伴随着AQI指数的同步正向发展,其中当2017年1月AQI指数达到了196的峰值时,贴地逆温和 low 空逆温的厚度也在前或后都分别处于峰值点197.4 gpm和379.0 gpm或209.1 gpm和352.6 gpm。

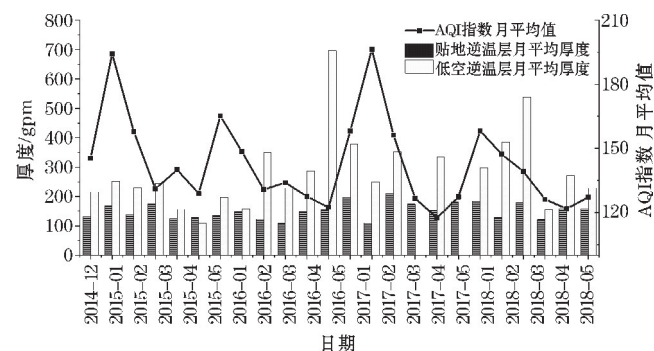


图8 2014年12月-2018年5月成都冬春季贴地逆温和 low 空逆温的月平均厚度与AQI指数月平均的变化

3 个例分析

3.1 环流形势分析

本次逆温持续的时间为2017年12月16日08时-2018年1月2日20时,持续36个时次,第一层逆温多为贴地逆温,底高一般在1000 gpm以下。

在逆温形成时,地中海有南支槽稳定维持,几乎没有移动;成都地区受平直的纬向西风控制。逆温形成前12 h内,由于东亚大槽转竖、青藏高原北部也有浅脊,成都转为西北风;原本位于成都及东部大范围区域的云区移动、消散。逆温维持期间,成都地区受纬向西

风,逆温形成的第3天有横槽转竖过程,受波动影响成都地区转为槽后西北风,2 d后恢复为纬向西风。逆温维持10 d后有南支槽移至孟加拉湾北岸,在之后2 d东移经过云南地区和贵州地区,成都处于低槽以北的局部均压区,然后南支槽减弱消失,成都恢复纬向西风。逆温维持16 d后有新的更深厚的南支槽移至印度半岛,开始影响成都地区;逆温维持过程成都上空无明显云系。逆温消失前12 h,南支槽位于青藏高原南部至孟加拉湾,成都地区处于槽前西南气流控制下,上空有槽前云系。

3.2 逆温层结特征分析

图9给出了2017年12月16日08时-2018年1月2日20时贴地逆温层底高以及 $PM_{2.5}$ 浓度的变化,图10给出了贴地逆温层的厚度以及 $PM_{2.5}$ 浓度的变化。贴地逆温出现频率约为97%,2018年1月2日20时出现的逆温为 low 空逆温,因此图9和图10中没有给出2018年1月2日20时的逆温情况。在个例中主要分析贴地逆温的层结特征。从图9中可以看出,贴地逆温层底高主要在544~560 gpm,变化范围较小,未对 $PM_{2.5}$ 浓度产生明显影响;从图10中可以看出,贴地逆温层的厚度一般在30~300 gpm, $PM_{2.5}$ 浓度与贴地逆温层厚度的变化趋势基本一致,贴地逆温层厚度增大, $PM_{2.5}$ 浓度增大。

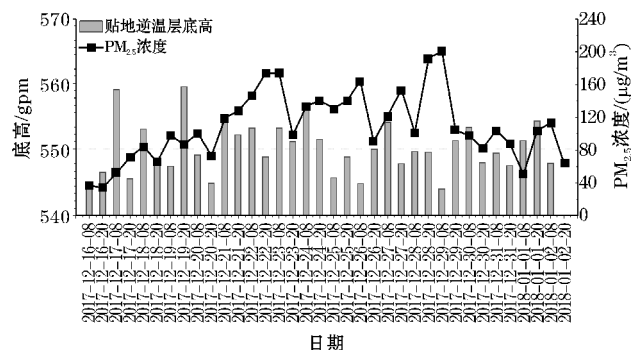


图9 2017年12月16日08时-2018年1月2日20时每天08时和20时成都地区贴地逆温层底高和 $PM_{2.5}$ 浓度随时间的变化

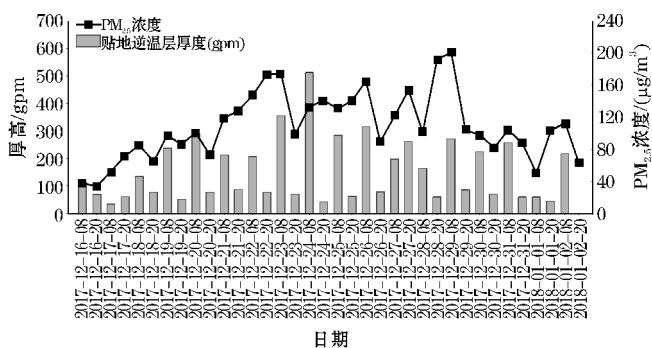


图10 2017年12月16日08时-2018年1月2日20时每天08时和20时成都地区贴地逆温层厚度、 $PM_{2.5}$ 浓度随时间的变化

2017年12月15日20时–2017年12月16日08时(2017年12月15日20时,距离地面3000 gpm范围内无逆温出现),在544 gpm高度上开始出现贴地逆温。在2017年12月16日–2018年1月2日08时,这层贴地逆温层一直存在,其厚度具有明显的日变化,每天20时–次日08时,贴地逆温层厚度增加,对上升运动的抑制作用会增强,且逆温层底高出现一定下降,但是由于日出后太阳辐射增强使逆温层遭到一定程度破坏,导致在08时逆温层底高可能表现为抬升。2018年1月2日08时–2018年1月2日20时,贴地逆温层遭到破坏而开始消散,到了20时贴地逆温消失。在2018年1月2日20时后,成都地区上空低空逆温消失,本次持续逆温过程结束。

3.3 地面气象要素分析

图11给出了2017年12月15日20时–2018年1月3日05时,成都每天2时、5时、8时、11时、14时、17时、20时和23时的相对湿度、地面风速和AQI指数随时间的变化情况。由于观测数据的问题,2017年12月17日08时、2017年12月18日11时、2017年12月18日14时、2017年12月18日17时、2018年12月19日08时、2018年12月19日11时、2018年12月19日14时、2018年12月22日08时、2017年12月22日14时、2017年12月23日08时、2017年12月24日08时、2017年12月24日14时、2017年12月25日08时、2017年12月25日11时、2017年12月25日20时、2017年12月26日20时、2017年12月29日17时、2017年12月30日08时、2017年12月30日11时、2017年12月30日20时、2018年01月01日08时、2018年01月01日14时这些时次中的相对湿度或地面风速数据中有一个缺测或两个都缺测的情况,为研究方便,图11将上述时次的相对湿度、地面风速以及AQI指数等数据全部剔除,同时将地面风速放大50表示,相对湿度用百分比表示。

从图11可以看出,此次持续逆温过程中,近地面层水汽具有明显的日变化,每天02–08时,受夜间地面降温的影响,相对湿度一般在97%以上,近地面水汽接近饱和,可为污染物浓度增加提供较好的水汽条件。每天相对湿度最大维持在97%左右,最小一般在36%~70%。在2017年12月17日,相对湿度由27%迅速增加到95%,近地面水汽剧烈变化。2018年1月1日20时–2018年1月2日08时,相对湿度最大值仅为

80%,低层水汽较少,AQI指数下降。

有研究^[17]表明,通风有利于降低PM_{2.5}对城市的影响。在这次持续逆温事件期间,地面风速主要在0~2 m/s波动变化,其中,风速在0.4~1.7 m/s的时次约占85.2%,且主要发生在02–08时。地面平均风速约为1.1 m/s。在图11中地面出现静风(即地面风速为0)的时次共有2次,分别是12月16日08时、12月28日02时;地面风速最大值为3.2 m/s,出现在2018年1月2日17时,AQI指数为106,空气质量良好。

2017年12月20日20时–2017年12月22日02时,贴地逆温层底高约为550 gpm,厚度一般大于200 gpm,近地面水平风速在较长时间内维持在1 m/s左右,这不利于污染物向外进行扩散,而且此期间水汽比较充足,有利于污染物浓度增加。2018年1月2日的05–17时,地面水平风速维持在1 m/s,但由于相对湿度较小,地面水汽较少,故主要以轻度污染为主。2018年1月2日20时–2018年1月3日05时,成都上空低空逆温逐渐消失,地面风速维持在2 m/s左右,相对湿度约为55%,AQI指数迅速下降,空气质量达到良好。

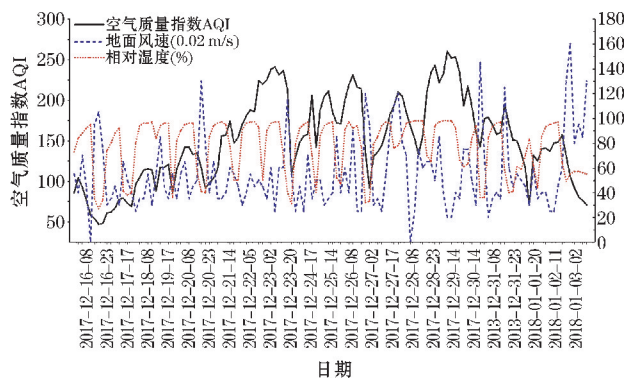


图11 2017年12月15日20时–2018年1月3日05时,成都每天2时、5时、8时、11时、14时、17时、20时和23时的相对湿度、地面风速和AQI指数随时间的变化情况。2017年12月16日08时–2018年1月2日20时是个例发生的时间

4 结论

通过探究成都冬春季逆温层的层结特征与空气污染之间的关系,得出如下结论:

(1)成都冬春季出现污染的频率约达42%;春季以轻度污染为主(3–5月出现频率均在80%以上);冬季,1月出现重度及以上程度污染的频率最高(41.1%),其次为12月(18.4%),最后为2月(12.6%)。PM_{2.5}浓度超

标的天数约占40.28%,雾霾污染严重,PM_{2.5}浓度月平均值从冬季到春季总体呈下降趋势,冬季雾霾污染更加严重;冬季PM_{2.5}浓度平均值为95 μg/m³,春季PM_{2.5}浓度平均值为54 μg/m³。

(2)成都冬春季出现逆温的时次约占63.5%,其中出现污染时存在逆温的情况约占77.8%。逆温主要出现在冬季,出现频率分别约为19.5%(12月),18.5%(1月)和18.5%(2月)。存在逆温时,以1层逆温层为主,出现频率约占72.1%;3层逆温的情况仅占2.7%。

(3)污染持续1天时逆温层主要为0层(占24%)和1层(占58%);污染持续2~3天时逆温层主要为1层(占45%),其次为2层(占27%);污染持续4~6d时逆温层以1层(占46%)为主;污染持续7d及以上时逆温层主要为1层(49%)、2层(31%)。污染持续时间越长,3000 gpm以下逆温层层数为2层和3层的占比增大。无逆温时PM_{2.5}浓度平均值为108 μg/m³,1层逆温时PM_{2.5}浓度平均值为119 μg/m³,2层逆温时PM_{2.5}浓度平均值为127 μg/m³,随着逆温层数增加,雾霾污染逐渐加重。

(4)贴地逆温层出现频率最高,其底高一般在540~560 gpm,低空逆温底高一般在1990~2640 gpm。当逆温持续大于13个时次时,污染出现的频率可达80%。贴地逆温层厚度普遍较低,厚度在0~100 gpm的频率约占50%以上。贴地逆温厚度对雾霾污染也有一定的影响。贴地逆温层较厚时,雾霾污染较为严重。

(5)个例中AQI指数与PM_{2.5}浓度的变化趋势基本一致,每天02~08时,相对湿度迅速增加(一般在97%以上),地面风速一般维持在0~1 m/s,有利于AQI指数的增长。

致谢:感谢成都市科技治霾新技术新产品应用示范项目(2018-ZM01-00038-SN);成都信息工程大学2018年国家级大学生创新创业训练计划项目(201810621044)对本文的资助

参考文献:

- [1] 杨康权,龙柯吉,肖递祥.成都地区一次持续性污染过程天气特征分析[J].高原山地气象研究,2016,36(4):75-78.
- [2] 赵红,赵欣颖.雾霾中有机微生物凝聚粒子群对光传播的影响[J].科技资讯,2018,16(36):112-114.
- [3] GB 3095-1996,环境空气质量标准[S].
- [4] 朱为宁.面板数据模型的加权分块经验似然推断[D].杭州:浙江财经大学,2019.
- [5] Jaffe D, Mckendry I, Anderson T, et al. Six 'new' episodes of trans-Pacific transport of air pollutants [J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(3): 391-404.
- [6] Dockery D W, Pope C A, Xu X. An association between air pollution and mortality in six US cities [J]. New England Journal of Medicine, 1993, 329: 1753-1759.
- [7] 王玮,汤大钢,刘红杰,等.中国PM_{2.5}污染状况和污染特征的研究[J].环境科学研究,2000(1):1-5.
- [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] 邱海涛,徐桂梅.呼和浩特市低空逆温特征分析[J].内蒙古气象,2003(3):25-26.
- [10] 周书华,倪长健,刘培川.成都地区大气边界层逆温特征分析[J].气象与环境学报,2015,31(2):108-111.
- [11] 肖同玉,任红玉,张兴文.哈尔滨冬季逆温规律分析及预报[J].东北农业大学学报,2001(2):139-145.
- [12] 姚源山,姚维,唐化义.贵阳市逆温特征分析[J].贵州气象,2013,37(5):27-30.
- [13] Wu, D. Hazy Weather Research in China in the Last Decade: A Review [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32: 257-269.
- [14] Coglian, E. Air Pollution Forecast in Cities by an Air Pollution Index Highly Correlated with Meteorological Variables [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 2871-2877.
- [15] 张智胜,陶俊,谢绍东,等.成都城区PM_{2.5}季节污染特征及来源解析[J].环境科学学报,2013,33(11):2947-2952.
- [16] AQI指数和PM_{2.5}浓度相关数据来源[DB/OL]. <http://beijingair.sinaapp.com/>.
- [17] 黄巍,龙恩深.成都PM_{2.5}与气象条件的关系及城市空间形态的影响[J].中国环境监测,2014,30(4):93-99.

Research of the Influence of Inversion Layer on Haze over Chengdu

LI Simeng, LIN Shiyang, CHEN Nanxi, LIU Aiwei, ZHOU Yunjun

(College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: To probe the influence of temperature inversion on air pollution in Chengdu region, this paper applies statistical analysis to analyze the sounding data, surface wind speed, relative humidity, air quality index and $PM_{2.5}$ from December 2014 to May 2018 in winter and spring of Chengdu. In addition, a process of the continuous thermal inversion from 8:00 on December 16, 2017 to 20:00 on January 2, 2018 was analyzed. The results show that: (1) The frequency of pollution is about 42% in winter and spring over Chengdu, and the days with excessive $PM_{2.5}$ concentration account for about 40.28%. It has a decreased trend from winter to spring, while the haze is more serious during winter. (2) The frequency of inversion occurrence shows 19.5%, 18.5% and 18.5% for winter months. (3) As the number of inversion increases, the haze gradually increases. The average concentration of $PM_{2.5}$ is $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ when there is no inversion. When the number of the inversion is 1 and 2, the average concentration of $PM_{2.5}$ is $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $127 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. (4) Frequency of the near-surface inversion occurrence is the high est its base heights are mainly 540 ~ 560 gpm and the amount of the inversion thicknesses which are 0 ~ 100 gpm are about 47%, When the process of the temperature inversion lasts more than 13 time level, the frequency of air pollution occurrence can be more than 80%. This paper can provide theoretical basis for air pollution control in Chengdu.

Keywords: atmospheric physics; meteorology and pollution; Chengdu; winter and spring; temperature inversion