

安顺市 8 次持续 2 天的 PM_{2.5} 污染气象成因分析

蒙军 徐良军 吴哲红 曾妮 王冉熙¹

(贵州省安顺市气象局, 贵州 安顺 561000)

【摘要】: 利用 2017 年—2018 年安顺城区 4 个空气质量监测点逐小时监测数据、安顺国家基本气象站地面逐小时观测数据、NECP1*1 逐 6 小时再分析数据等分析了 2017 年—2018 年安顺城区 8 次连续 2 天 PM_{2.5} 空气污染期间 PM_{2.5} 浓度与天气形势、气象要素、大气层结条件等的关系及造成空气污染的气象成因, 结果表明: (1) 安顺城区连续 2 天的 PM_{2.5} 空气污染大都出现在秋冬季, 且出现空气污染期间无降水或降水很弱; (2) 逆温层强度越强, 厚度越厚, 就越有利于 PM_{2.5} 浓度的增加, 如果逆温持续时间长, PM_{2.5} 维持高浓度的时间也会增长, 从而导致空气污染; (3) 相对湿度、温度露点差、0~3km 垂直风切变、0~6km 垂直风切变与 PM_{2.5} 浓度之间有显著的相关性, 且 PM_{2.5} 的浓度和垂直风切变呈正相关; (4) 整层大气温度上升时有利于 PM_{2.5} 的扩散, 700hPa 以下风速小于 4m/s 时有利于 PM_{2.5} 的积累。

【关键词】: 空气污染 垂直风切变 PM_{2.5} 相关性

【中图分类号】: P4, X1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1003-6563(2022)03-0050-08

0 引言

近年来随着城市化进程的加快、地方经济的发展、私家车辆的增多等, 大气污染日趋严重。安顺市地处中国西南地区, 素有“黔之腹, 滇之喉, 蜀粤之唇齿”之称, 辖区内有 2 个 5A 级旅游景区和 10 个 4A 级旅游景区, 是中国喀斯特地貌集中区, 也是闻名国内外的旅游胜地。空气质量是游客选择旅游度假目的地的因素之一, 研究表明城市空气质量的好坏和气象条件相关^[1,2,3,4,5,6], 影响大气污染的主要污染物包括: PM_{2.5}、SO₂、NO、NO₂、CO、NO_x、O₃、PM₁₀ 等。大气中的细颗粒物 (PM_{2.5}) 是影响空气质量以及人类健康的主要污染物之一^[6], 截止 2013 年中国有 763565 人的死亡与 PM_{2.5} 有关^[7]。空气污染和大气环境以及气温、降水、相对湿度、风速、风向等气象要素密切相关。大气环境的稳定和稳定维持时间对污染物的扩散有着重要作用。段莹^[9]等研究得出贵阳市雨日的 PM_{2.5} 浓度均低于非雨日, 并且大于 1mm 的强降雨对贵阳市的 PM_{2.5} 的清除作用显著。张朝能等^[10]研究得出昆明主城区的 PM_{2.5} 日变化和当日的天气条件相关。成青燕等^[11]的研究表明日降水量 > 0.5mm 有效降水对空气质量有明显的改善作用, 空气质量与温度、能见度呈显著的负相关关系。孙荣花等^[12]研究表明相对湿度与 PM_{2.5} 日均极值显著相关。本文结合气象要素和污染物演变特征, 以大气环境条件分析为基础, 对安顺城区 2017—2018 年期间出现的持续 2 天由 PM_{2.5} 造成的空气污染天气进行详细分析, 以探究安顺城区空气污染物与气象要素、大气环境等的关系, 并分析产生空气污染的气象成因, 总结相关经验, 从而提高空气污染天气的预报能力。

1 资料与方法

利用安顺市生态资源局提供的 2015 年—2018 年安顺城区 4 个空气质量监测点 (伍家关、凤凰山、金钟山、娄家坡) 的污染物逐小时监测数据、安顺国家基本气象站地面逐小时观测数据、NECP1*1 逐 6 小时再分析数据、气象常规观测资料等, 应用统计分

¹作者简介: 蒙军 (1988-), 女, 工程师, 主要从事短期天气预测预报工作。

基金项目: 安顺市科学技术局项目 (安市科社[2020]01 号); 安顺市重污染天气预报预警研究; 贵州省气象局科研业务项目 (黔气科登[2021]11-07 号); 安顺城区空气污染的气象成因研究

析和天气学分析法对安顺城区 2015 年—2018 年空气污染天气进行详细分析。

对 $PM_{2.5}$ 浓度求取日平均值, 利用 NECP1*1 再分析资料计算空气污染期间 500hPa 上高度和温度、海平面气压、850hPa 上风速和风向的平均值。根据安顺国家基本气象站地面逐小时观测的温度和露点温度计算出逐小时温度露点差。

逆温层厚度计算: 利用空气污染期间贵阳站 08 时和 20 时的地面探空资料, 求取逆温开始出现的高度和逆温结束时出现的高度之差, 作为逆温层厚度。

逆温强度计算: 利用逆温开始出现的温度减去逆温结束时的温度值, 作为逆温强度。

环境风垂直切变^[13]:

$$\frac{\int_{z_1}^{z_2} \frac{\partial V}{\partial Z} dz}{\int_{z_1}^{z_2} dz} = \frac{V_2 - V_1}{Z_2 - Z_1} \quad (1)$$

表示上下两个高度的密度加权平均风矢量。

$$\text{干暖盖指数: } L_s = [(\theta_{\omega}^*)_{\max} - \bar{\theta}_{\omega}^{-}], \text{单位: } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

式中: $(\theta_{\omega}^*)_{\max}$ 表示逆温层顶处的最大饱和湿球位温, θ_{ω}^{-} 表示靠近地面 500hPa 气层中的湿球位温的平均值。Ls 越大, 表示干暖盖越强。

2 安顺城区空气污染情况

2.1 2015 年—2018 年安顺城区 $PM_{2.5}$ 污染情况

从 2015 年—2018 年的污染物浓度逐小时数据分析可以得出: 安顺城区近几年来仅出现过 1 次重度污染, 1 次中度污染, 全年污染日数在 15 日以下。随着新型取暖设施的建设和推广, 以及对燃煤使用的管控, 安顺城区自 2016 年以后没有出现因 SO_2 造成的空气污染, 而因 $PM_{2.5}$ 导致的污染日数有所增加。从图 1 可以看到 2017 年安顺城区共出现了 15 日因 $PM_{2.5}$ 造成的空气污染, 其中中度污染 1 日(12 月 27 日), 轻度污染 14 日(1 月、3 月至 9 月无污染日, 2 月污染日 1 日, 10 月污染日 3 日, 11 月污染日 5 日, 12 月污染日 6 日); 2018 年安顺城区出现了 13 日因 $PM_{2.5}$ 造成的空气污染, 均为轻度污染, 其中 4 月、6 月至 9 月无污染日, 1 月污染日 2 日, 2 月污染日 5 日, 3 月污染日 2 日, 5 月污染日 1 日, 10 月污染日 2 日, 11 月污染日 1 日。2017—2018 年期间安顺城区共出现了 8 次持续 2 天因 $PM_{2.5}$ 造成的空气污染天气, 污染级别均为轻度污染。

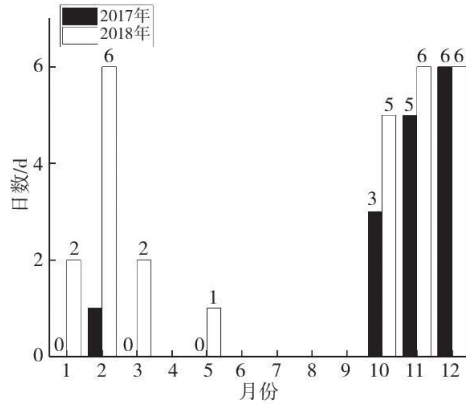


图1 2017年—2018年安顺市逐月空气污染日数

2. 2017年—2018年安顺城区PM_{2.5}平均浓度空间分布

对2017年—2018年的8次连续2天PM_{2.5}污染天气进行分析可以看到(图2):2017年10月27—28日期间安顺城区PM_{2.5}浓度呈西高东低分布, 娄家坡站浓度达到70.98 μg/m³;2017年11月7—8日PM_{2.5}浓度均在100 μg/m³以上, 且中东部明显高于西部, 凤凰山PM_{2.5}浓度达到了126.33 μg/m³, 为8次空气污染中平均浓度最高的一次;2017年11月28—29日PM_{2.5}浓度呈中间高两边低分布;2017年12月23—24日凤凰山数据部分缺失, 其余3个监测点显示PM_{2.5}浓度为西高东低分布;2017年12月26—27日除了凤凰山以外其余3个监测点的PM_{2.5}浓度均在100 μg/m³以上;2018年2月7—8日凤凰山PM_{2.5}浓度超过100 μg/m³, 其余站点均在80~90 μg/m³之间, 呈中间高两边低分布;2018年2月12—13日除了娄家坡PM_{2.5}浓度在50 μg/m³以下, 其余3个监测点浓度都在90 μg/m³以上;2018年10月6—7日除了娄家坡PM_{2.5}浓度在100 μg/m³以上, 其余3个监测点PM_{2.5}浓度都在90 μg/m³以下。可以看到这8次连续2天PM_{2.5}空气污染过程中, 娄家坡和凤凰山的PM_{2.5}平均浓度为4个监测点中最高的次数各有4次, 说明安顺城区的PM_{2.5}空气污染西部比东部更为严重。

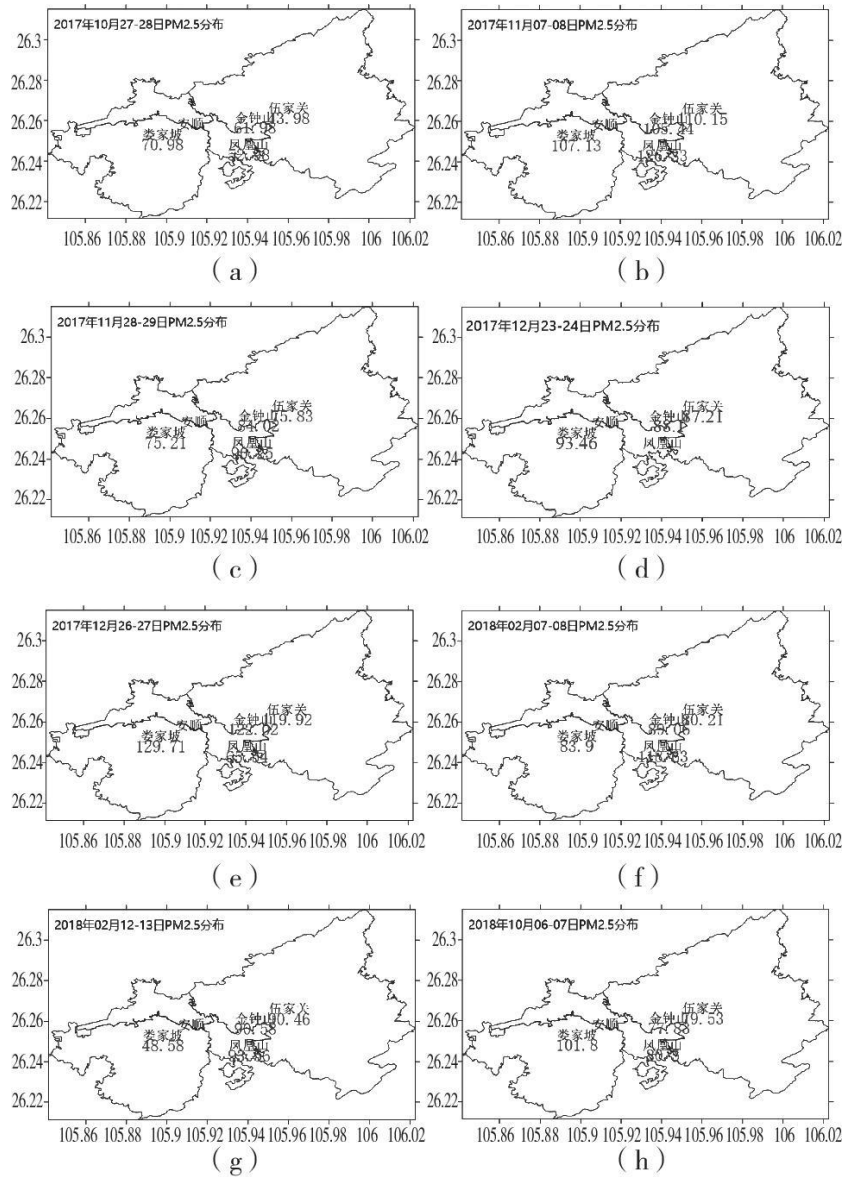


图 2 2017 年—2018 年连续 2 天 $PM_{2.5}$ 浓度平均值空间分布(单位: $\mu g/m^3$)

3 造成 $PM_{2.5}$ 污染的气象成因分析

3.1 造成 $PM_{2.5}$ 空气污染的天气形势分析

从 2017 年—2018 年 8 次连续 2 天 $PM_{2.5}$ 空气污染期间的 500hPa 高度平均场(图 3)可以看出,除了 2017 年 11 月 7—8 日期间在 $50^{\circ}N \sim 65^{\circ}N$ 之间没有高压脊影响外,其余 7 次空气污染期间 $50^{\circ}N \sim 65^{\circ}N$ 之间均有高压脊的影响。另外,在 2017 年 10 月 27—28 日、12 月 23—24 日、2018 年 2 月 7—8 日、2 月 13—14 日、10 月 7—8 日这 5 次空气污染期间贵州均处于脊前的偏西或西北气流区,而 2017 年 11 月 7—8 日、11 月 28—29 日、12 月 26—27 日这 3 次空气污染期间贵州处于南支槽前,为西南气流影响。中高纬地区高压脊前西北气流或偏西气流向贵州地区输送,使得安顺上空大气趋于稳定,这有利于污染物的堆积。

由于安顺市平均海拔高度约 1102m,从而选取 850hPa 高度的风场作为近地面风场进行研究。从平均海平面气压和 850hPa 平

均风场可以看到(图 4),在空气污染期间贵州中西部均存在明显的风速风向辐合区,辐合区附近均为静风区。在空气污染期间贵州中西部均有静止锋影响。安顺在空气污染期间处于辐合区中心、辐合区东侧或南侧的弱风区或静风区。这为污染物在安顺地区的积累和维持建立了有利条件。从平均海平面气压场的分布还可以看到,在2017—2018年的8次连续2天PM_{2.5}空气污染天气期间,在云南东南角(103° E, 26° N)附近均有强度为775hPa的低压中心,而在四川东部到重庆西部(106° E, 30° N)附近均有强度为975hPa的高压中心,说明空气污染期间冷暖空气势力相当,这是静止峰能够稳定维持的原因,也是空气污染期间污染物得不到扩散的重要原因之一。

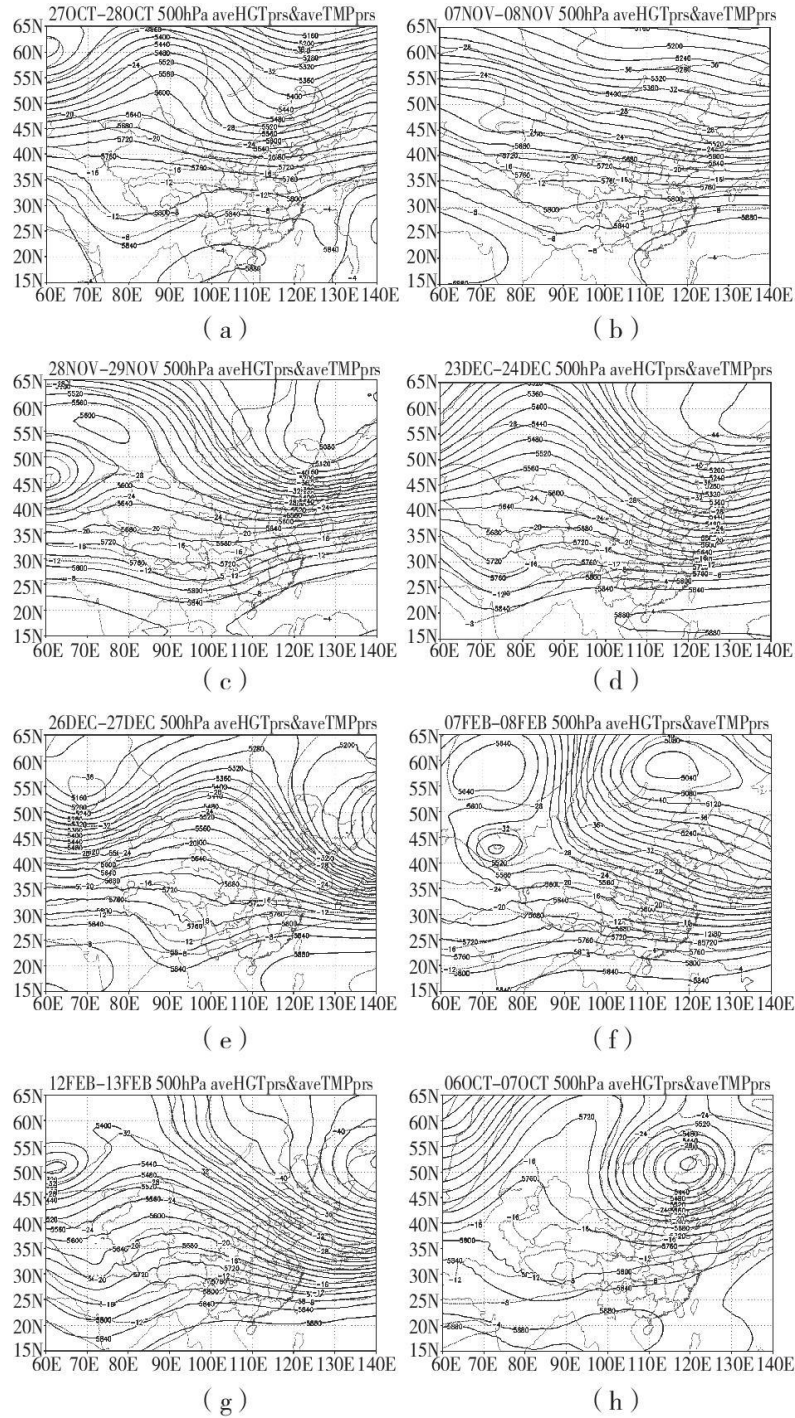


图3 2017年—2018年连续2天PM_{2.5}空气污染期间500hPa平均高度场(实线,单位:gpm)

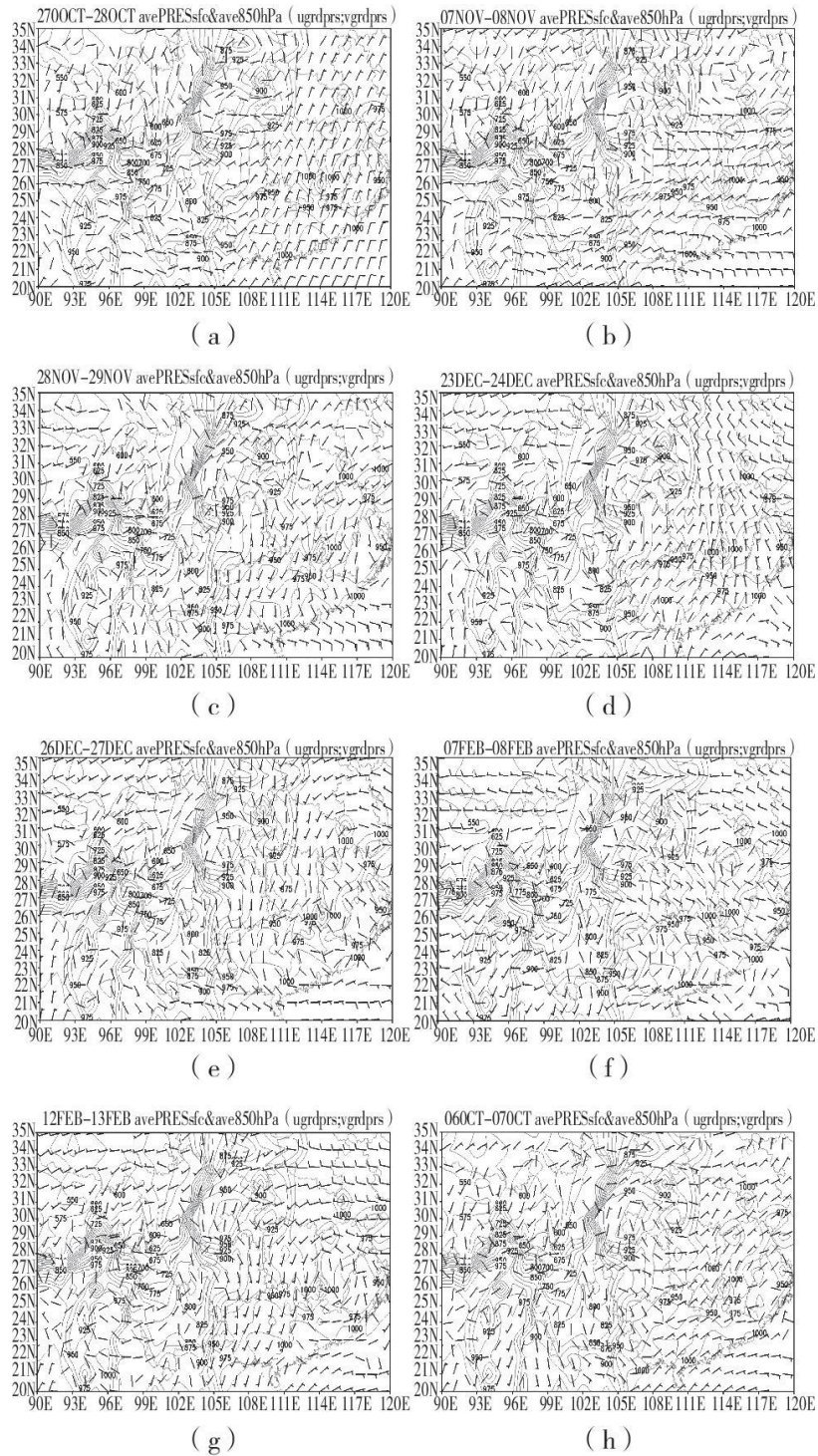


图4 2017年—2018年连续2天 $PM_{2.5}$ 空气污染期间平均海平面气压场(实线, 单位:Pa)、850hPa平均风场(风向杆, 单位:m/s)

3. $PM_{2.5}$ 浓度与气象要素的关系分析

分析了2017年—2018年的8次污染天气期间的逐小时 $PM_{2.5}$ 浓度、相对湿度、温度露点差、降雨量的演变关系。2017年10月27日16时之后4个监测站点的 $PM_{2.5}$ 浓度均迅速上升并维持到28日02时才开始有所下降, 到28日08时才明显下降, 28日

18 时之后 $PM_{2.5}$ 浓度再次上升, 但仅维持到 22 时就下降到日均浓度限值 ($75 \mu g/m^3$) 以下; 11 月 7 日娄家坡站 $PM_{2.5}$ 浓度在 18 时之后先升高至当日的最高值, 之后其余 3 站浓度也升高, 8 日 02 时娄家坡站 $PM_{2.5}$ 浓度在先明显下降, 其余 3 站 $PM_{2.5}$ 浓度也有所下降, 8 日 08 时所有站点 $PM_{2.5}$ 浓度均有小幅度升高之后于 10 时后明显下降, 到 8 日 20 时所有站点的 $PM_{2.5}$ 浓度再次小幅度上升, 可见这次 $PM_{2.5}$ 污染源起安顺西边, 并由西向东不断扩散所造成; 11 月 28 日所有站点自 10 时起 $PM_{2.5}$ 浓度开始上升, 直到 29 日 14 时期间大部分时段均维持在 $100 \mu g/m^3$ 以上, 29 日 14 时后相对湿度明显下降, 温度露点差明显上升, $PM_{2.5}$ 浓度明显下降, 29 日 20 时 $PM_{2.5}$ 浓度再次上升; 12 月 23 日 02 时到 23 日 08 时期间大部分时段 $PM_{2.5}$ 浓度始终维持在 $100 \mu g/m^3$ 左右, 只在 23 日 12-16 时期间有小幅度的下降, 24 日 18 时后 $PM_{2.5}$ 浓度再次升高; 12 月 26 日 08 时到 12 时所有站点 $PM_{2.5}$ 浓度均有小幅度上升, 在 26 日 16 时后大幅度上升并在 27 日 08 时之前维持较高的浓度, 27 日 18 时 $PM_{2.5}$ 浓度第 3 次上升, 在 20 时后下降至日均限值以下; 2018 年 2 月 7 日 08 时所有站点的 $PM_{2.5}$ 浓度均明显升高, 在 14 时后有所下降, 在 18 时到 8 日 08 时除了金钟山 $PM_{2.5}$ 浓度维持在 $100 \mu g/m^3$ 以上, 其余 3 站都维持在 $80 \mu g/m^3$ 左右, 8 日 18 时 $PM_{2.5}$ 浓度再次小幅度上升; 2 月 12 日 10 时到 13 日 00 时除了娄家坡站 $PM_{2.5}$ 浓度较低外, 其余 3 站的 $PM_{2.5}$ 浓度都维持比较高, 且凤凰山 $PM_{2.5}$ 浓度在 12 日 12 时达到了最高, 超过了 $120 \mu g/m^3$; 10 月 6 日 20 时前所有站点 $PM_{2.5}$ 均在日均限值以下, 20 时到 22 时期间 $PM_{2.5}$ 浓度迅速上升到 $200 \mu g/m^3$ 以上又迅速下降, 7 日 02 时到 08 时期间 $PM_{2.5}$ 浓度维持在 $100 \mu g/m^3$ 以上。

这 8 次 $PM_{2.5}$ 浓度演变都可以看到 $PM_{2.5}$ 浓度上升时对应的相对湿度也会上升, 而温度露点差明显增大。每一次空气污染期间, $PM_{2.5}$ 浓度在次日的傍晚时段都会有一次小幅度上升, 这个时段正好对应了下班的高峰时段, 这可能是由于污染天气首日 $PM_{2.5}$ 浓度有一定的积累, 在次日的傍晚受到下班高峰期车辆的尾气排放增加和相对湿度的上升使得 $PM_{2.5}$ 浓度再次上升。

对 2017 年—2018 年这 8 次空气污染天气期间的逐小时平均 $PM_{2.5}$ 浓度值和逐小时相对湿度、温度露点差、降雨量做相关分析 (表 1), 可以看到除了 2017 年 12 月 26—27 日的空气污染天气期间 ($PM_{2.5}$ 监测数据部分缺失) 外, 其余的空气污染天气期间相对湿度和温度露点差和 $PM_{2.5}$ 浓度的相关性都为显著; 而这 8 次空气污染天气期间有 3 次没出现降水, 出现降雨的 5 次空气污染天气期间小时降雨量都小于 $2mm/h$, 和 $PM_{2.5}$ 浓度之间没有体现出明显的相关性。

表 1 2017—2018 年连续 2 天 $PM_{2.5}$ 空气污染期间 $PM_{2.5}$ 浓度 (单位: $\mu g/m^3$) 与相对湿度 (RH, 单位: %)、温度露点差 (T-Td, 单位: $^{\circ}C$)、逐小时降水量 (PREC, 单位: mm/小时) 的相关性

地点	2017 年 10 月 27—28 日			2017 年 11 月 7—8 日			2017 年 11 月 28—29 日			2017 年 12 月 23—24 日		
	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC
伍家关	-.427**	-.417**	.b	-.546**	.566**	-0.042	-.406**	.400**	-0.179	-.548**	.525**	.b
凤凰山	-.473**	.469**	.b	-.562**	.567**	-0.011	-.421**	.417**	-0.163	-.428**	.393**	.c
金钟山	-.427**	.416**	.b	-.536**	.553**	-0.057	-.489**	.491**	-0.176	-.376**	.349*	.b
娄家坡	-.289*	0.271	.b	-.525**	.520**	-0.023	-.541**	.546**	-0.163	-.521**	.481**	.b
地点	2017 年 12 月 26—27 日			2018 年 2 月 7—8 日			2018 年 2 月 12—13 日			2018 年 10 月 6—7 日		
	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC	RH	T_Td	PREC
伍家关	-0.097	0.075	-0.015	-.616**	.626**	.b	.689**	-.691**	-0.179	-.422**	.413**	0.111
凤凰山	0.298	-0.372	-0.29	-.377**	.393**	.b	.773**	-.778**	-.286*	-.470**	.465**	0.142
金钟山	-0.105	0.092	0.016	-.702**	.722**	.b	.726**	-.730**	-0.253	-.450**	.442**	0.118

娄家坡	-0.024	-0.003	-0.042	-.581**	.584**	.b	-.504**	.500**	.292*	-.466**	.460**	0.139
-----	--------	--------	--------	---------	--------	----	---------	--------	-------	---------	--------	-------

注：*在 0.05 级别，相关性显著；**在 0.01 级别，相关性显著；.b/.c:无数据。

3.3 造成 PM_{2.5} 空气污染的大气环境条件分析

污染空气的微粒的积累和扩散受到天气条件的影响，在一定的天气环境下造成污染粒子难以扩散并在一个地方不断积累，从而导致空气污染的持续。成青燕^[11]等对成都空气质量的研究表示空气质量会随着逆温层高度降低而变差。本文对 2017—2018 年期间的 8 次 PM_{2.5} 造成的空气污染期间安顺上空的环境条件进行分析。

3.3.1 温度和风的垂直分布分析

结合图 4 和图 5 可以看到，2017 年 10 月 27 日 20 时到 28 日 02 时期间安顺 700hPa 以下风速在 0~2m/s 之间，600hPa 到 700hPa 之间的最大风速也仅有 4m/s，并且等温线分布均匀，此时正是 PM_{2.5} 浓度上升和维持并达到最大值的阶段；11 月 7 日 20 时到 8 日 08 时 600hPa 到地面的风速在 0~2m/s 之间，等温线也呈平均分布，此时 PM_{2.5} 浓度上升并维持，直到 8 日 08 时到 14 时地面温度升高，PM_{2.5} 浓度明显下降；在 11 月 28 日至 29 日期间高层风稍大，仅有 800hPa 以下风速在 0~2m/s 之间，等温线依然为平均分布，在 28 日 14 时之后整层温度升高，PM_{2.5} 浓度迅速降低，在 28 日 20 时之后 800hPa 附近出现逆温，PM_{2.5} 浓度再次升高；12 月 23 日 14 时和 24 日 14 时整层气温升高时 PM_{2.5} 浓度均下降，其余时段由于 700hPa 附近有逆温存在，且 700hPa 以下风速在 0~4m/s 之间，PM_{2.5} 浓度在这些时段也维持比较高；12 月 26 日 20 时之后整层气温下降，PM_{2.5} 浓度开始上升，直到 27 日 14 时整层气温开始上升且 800hPa 以下风速增加，PM_{2.5} 浓度才再次下降，在其余时段 PM_{2.5} 浓度都维持较高；2018 年 2 月 7 日 8 时到 14 时 PM_{2.5} 浓度迅速升高，在此期间有冷空气影响安顺，800hPa 附近出现了-8℃的冷中心，并且近地层为东北风，造成这一次污染的 PM_{2.5} 很可能是由于冷空气南压，随着东北风流入安顺的，7 日 20 时到 8 日 08 时冷空气向近地层下沉，PM_{2.5} 浓度维持较高，8 日 14 时之后 700hPa 到 600hPa 之间出现逆温层，PM_{2.5} 浓度再次上升；2 月 12 日 14 时到 20 时期间 800hPa 以下风速为 0~2m/s，700hPa 附近有明显的逆温，这个时段内除了娄家坡站外 PM_{2.5} 浓度有所增加，而 12 日 20 时到 13 日 08 时高层冷中心有所维持，逆温加剧，PM_{2.5} 浓度有所维持，但由于近地层风速增加，PM_{2.5} 浓度较之前低，在 13 日 08 时之后逆温层减弱，整层温度上升且近地层风速继续增加，PM_{2.5} 浓度下降；10 月 6—7 日的 PM_{2.5} 浓度升高下降时间较短，在 7 日 02 时到 08 时期间 PM_{2.5} 较高，主要是由于本次污染时焚烧秸秆造成，所以白天气温上升近地层风速增加之后 PM_{2.5} 浓度很快下降，而夜间由于风速较小且整层大气比较稳定，所以 PM_{2.5} 浓度有所维持。

通过以上分析可以看到，整层大气温度上升有利于 PM_{2.5} 的扩散；当有逆温层出现的时候有利于 PM_{2.5} 高浓度的维持；当 700hPa 以下风速在 4m/s 以下时有利于 PM_{2.5} 的积累；另外冷空气携带 PM_{2.5} 自高空向地面下沉的时候会引引起安顺的 PM_{2.5} 浓度的增加。

3.3.2 风垂直切变、干暖盖指数、逆温分析

根据上述分析可以看到，在空气污染期间近地层为弱风或静风，但高层风速却比较大，那么垂直风切变的大小和 PM_{2.5} 造成的空气污染会不会有什么联系呢？逆温层会使得 PM_{2.5} 难以扩散，从而导致 PM_{2.5} 维持高浓度，那逆温层厚度和强度与 PM_{2.5} 浓度变化会不会有联系呢？干暖盖在强对流天气中可以使得不稳定能量得以聚集，那么在稳定天气下是否也有干暖盖的影响呢？

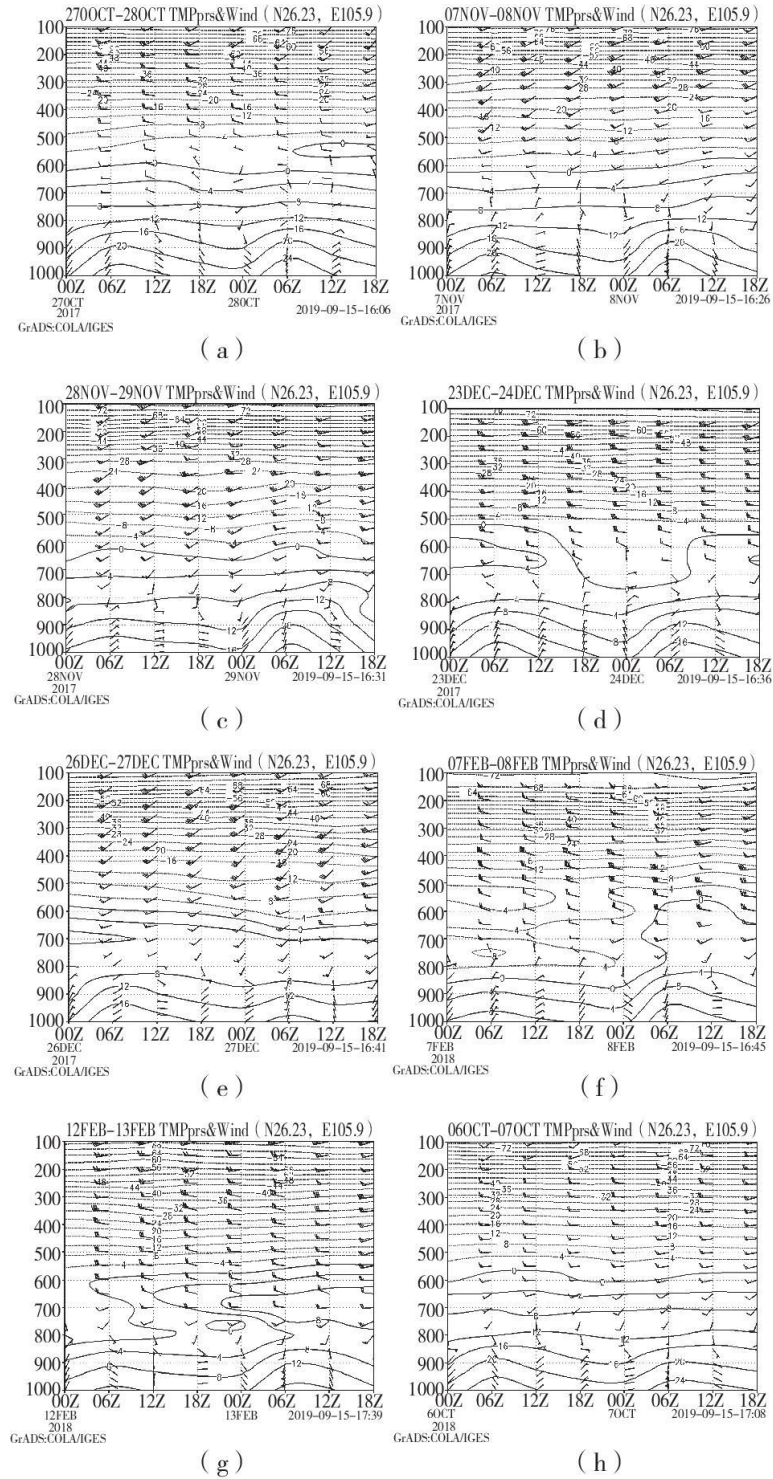


图 5 2017—2018 年连续 2 天 $PM_{2.5}$ 空气污染期间安顺上空温度(实线, 单位: $^{\circ}C$)、风(风向杆, 单位: m/s)

对 2017 年—2018 年的 8 次空气污染期间的风垂直切变、干暖盖指数、逆温层厚度、逆温强度进行了统计分析。可以看到, 在这 8 次空气污染期间仅有 4 个时次 SHR6 在 $20m/s$ 以下, 仅有 6 个时次 SHR3 在 $10m/s$ 以下, 在 $PM_{2.5}$ 平均浓度最大的 2017 年 12 月 26—27 日期间 SHR3 均在 $20m/s$ 左右, SHR6 均在 $30m/s$ 左右, 说明较大的风垂直切变有利于维持 $PM_{2.5}$ 的浓度; 空气污染期间的干暖盖指数都小于 0, 并且都在 $-40\sim-20^{\circ}C$ 之间, 说明在空气污染期间干暖盖强度比较弱, 也说明在空气污染期间大气始终处

于比较稳定的状态；只有 2018 年 10 月 6—7 日的空气污染期间没有出现逆温层，其余的空气污染期间都有逆温层存在。结合图 2 还可以看到，8 次空气污染中 PM_{2.5} 平均浓度最大的 2017 年 12 月 26—27 日，逆温强度最强，强逆温持续时间最长。从逆温层厚度来看，当逆温强度较强在 4℃ 以上，且逆温层厚度超过 30hPa 时 PM_{2.5} 的浓度也会比较高。

分析了 PM_{2.5} 浓度和垂直风切变、干暖盖指数、逆温厚度、逆温强度之间的相关性(表 2),发现安顺城区 4 个空气质量监测点的 PM_{2.5} 浓度和 0~3km 垂直风切变的相关性显著，且都为正相关，伍家关和娄家坡监测点的 PM_{2.5} 浓度和 0~6km 垂直风切变的相关性显著，PM_{2.5} 浓度和干暖盖指数、逆温厚度、逆温强度之间的相关性并不显著。

表 2 2017—2018 年连续 2 天 PM_{2.5} 空气污染期间 PM_{2.5} 浓度(单位: μg/m³)与 0~3km 风垂直切变(SHR3, 单位:m/s)、0~6km 风垂直切变(SHR6, 单位:m/s)、干暖盖指数(Ls, 单位: °C)、逆温层厚度(单位:Pa)、逆温强度(单位: °C)的相关性

地点	SHR3	SHR6	Ls	逆温厚度	逆温强度
伍家关	.491**	.391*	.223	.256	.164
凤凰山	.484**	.255	.149	.287	.258
金钟山	.480**	.302	.227	.207	.221
娄家坡	.435*	.513**	.277	.199	-.022

注：*在 0.05 级别，相关性显著；**在 0.01 级别，相关性显著。

4 结论

(1) 安顺城区全天都可能出现 PM_{2.5} 空气污染，在空气污染出现首日的 8 时到 9 时和 14 时到 18 时 PM_{2.5} 浓度都有所下降，在首日夜间 PM_{2.5} 浓度都会较高，在空气污染出现的次日 18 时到 22 时 PM_{2.5} 浓度会小幅度升高，但高浓度的 PM_{2.5} 维持的时间较短；

(2) 中高纬地区为脊区，500hPa 上为西北气流控制，850hPa 上为弱的偏东气流，云贵之间有静止锋影响，且静止锋为南北向分布时，有利于安顺城区空气污染天气的产生；

(3) 相对湿度升高，温度露点差值降低，近地层的风为弱风或静风时，PM_{2.5} 浓度升高，静风或弱风的高度越高，越有利于 PM_{2.5} 在近地层积累；

(4) 大气的温度升高时有利于 PM_{2.5} 浓度下降，而大气的温度变化较小，逆温强度在 4℃ 以上，逆温层厚度超过 30hPa，大气比较稳定时，有利于 PM_{2.5} 浓度升高；

(5) PM_{2.5} 浓度和相对湿度、温度露点差、0~3km 垂直风切变、0~6km 垂直风切变之间有显著的相关性。

参考文献:

[1] 沈家芬, 冯建军, 谢春玲, 等. 广州市 PM10 的时空变化特征分析[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 553-559.

[2] 李芳. 西安市大气颗粒物 PM2.5 污染特征及其与降水关系研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.

-
- [3]徐蕾, 姜驰. 徐州市气象因子与空气质量和 PM10 浓度的相关性分析[J]. 北方环境, 2011 (6):39-42.
- [4]连东英, 林长城, 杨远航, 等. 三明市 PM10 浓度突变及影响因子[J]. 气象科技, 2010, 38 (6):732-736.
- [5]蔡新玲, 王繁强, 姜创业, 等. 西安城市 PM10 污染特征及持续重污染过程分析[J]. 气象科技, 2008, 36 (6):697-700.
- [6]王宏, 林长城, 蔡义勇, 等. 福州市空气质量状况时空变化及其与天气系统关系[J]. 气象科技, 2008, 36 (4):480-484.
- [7]SONG Y, WANG X, MAHER B A, et al. The spatial-temporal characteristics and health impacts of ambient fine particulate matter in China[J]. Journal of cleaner production, 2016, 112:1312-1318.
- [8]POPE III C A, BURNETT R T, THUN M J, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution[J]. Jama, 2002, 287 (9):1132-1141.
- [9]段莹, 吴战平, 张东海, 等. 贵阳市降水对 PM2.5 污染物湿清除作用[J]. 气象科技, 2016, 44(3):458-472.
- [10]张朝能, 王梦华, 胡振丹, 等. 昆明市 PM2.5 浓度时空变化特征及其与气象条件的关系[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1):90-98.
- [11]成青燕, 张东方, 杨蓉, 等. 气象条件与成都市空气质量的关系研究[J]. 自然科学, 2018, 6(1):53-62.
- [12]孙蓉花, 陈学刚, 魏疆, 等. 乌鲁木齐市 PM2.5 浓度与气象条件耦合分析[J]. 环境污染与防治, 2017, 12(1):1353-1357.
- [13]刘健文, 郭虎, 李耀东, 等. 天气分析预报物理量计算基础[M]. 北京: 气象出版社: 117-119.
- [14]赵福燕, 陈朝平, 王凌, 等. 成都市大气污染与气象条件关系分析[J]. 高原山地气象研究, 2020, 40(3):85-89.
- [15]崔坤, 赵慧, 刘鹏, 等. 2019 年许昌市臭氧污染情况及其与气象条件的关系[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(1):89-95.
- [16]闫小利, 叶东, 牛广山, 等. 2017 年冬焦作市一次持续严重污染天气过程分析[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(4):33-42.