

# 兰州市冬春两季 PM<sub>10</sub> 重度污染的气象条件分析研究

刘淑梅<sup>1,2</sup>, 杨泓<sup>3</sup>, 傅朝<sup>2</sup>, 邵志宏<sup>2</sup>

(1.中国气象局兰州干旱气象研究所甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,甘肃 兰州 730020; 2.兰州市气象局,甘肃 兰州 730020; 3.兰州市环境监测站,甘肃 兰州 730000)

**摘 要:**根据兰州市环境监测站 2001 年 1 月 1 日~2005 年 12 月 31 日兰州市区空气质量日报和同期兰州气象观测资料,分析了兰州市区可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)和 PM<sub>10</sub> 重度污染季节分布特征。结果显示:5 年间兰州市共出现 108d PM<sub>10</sub> 重度污染,其中 97d 分别出现在春季(3~4 月)和冬季(12~2 月)。其日平均浓度变化在春季和冬季分别表现为“陡峰型”和“缓慢累积型”。春季造成 PM<sub>10</sub> 重度污染的原因是强沙尘暴东移向下游的兰州输送大量尘土,主要由“外源”造成,污染日前后气象要素变化剧烈。冬季 PM<sub>10</sub> 重度污染由于地面连续处于地面高压和均压场影响之中,加之冬季近地面有逆温层结,抑制了污染物的扩散,地面气象要素表现为水平风速小、能见度差。

**关键词:**PM<sub>10</sub>; 重度污染; 气象条件; 分析

**中图分类号:**X830.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6504(2008)05-0080-04

## Analysis of Meteorological Condition and Related Heavy Pollution of PM<sub>10</sub> in Lanzhou City during Winter and Spring

LIU Shu-mei<sup>1,2</sup>, YANG Hong<sup>3</sup>, FU Zhao<sup>2</sup>, SHAO Zhi-hong<sup>2</sup>

(1.Lanzhou Arid Meteorological Research Institute, Lanzhou 730020, China; 2.Meteorological Bureau of Lanzhou, Lanzhou 730020, China; 3. Environmental Monitoring Station of Lanzhou City, Lanzhou 730000, China)

**Abstracts:** Based on the data of daily monitoring of PM<sub>10</sub> concentrations and daily meteorological observation during the period from Jan. 1, 2001 to Dec.31, 2005 in Lanzhou City, this paper analyses the seasonal characteristics of heavy pollution of PM<sub>10</sub>, highlighting spring(Mar.-Apr.) and winter(Dec.-Feb.). Results indicated there were 108 days of heavy pollution of PM<sub>10</sub> during the five years and the seasonal pollution largely depends on the meteorological conditions, e.g., the close-to ground inversion temperature stratification in winter, which restrains pollution diffusion.

**Key words:** heavy pollution of PM<sub>10</sub>; meteorological condition; Lanzhou City

目前全国大部分城市的主要污染物仍是颗粒物<sup>[1]</sup>,其中 PM<sub>10</sub> 是空气中能够长期悬浮而不易沉降的颗粒状物质,它的粒径较小,对阳光有很强的消光作用,还携带微生物细菌病毒和强致癌物质,极易被人体吸收并沉积于肺部,所带来的危害很大。自 2001 年 1 月 1 日兰州市环境监测站正式向社会发布空气质量日报以来,兰州市每日的首要污染物 99% 以上都是 PM<sub>10</sub>。有关学者对兰州市空气污染与气象条件的关系、污染源变化及悬浮颗粒物来源解析等方面进行了研究<sup>[2]</sup>,但针对重度污染的气象条件研究还未见报导。本文利用 2001 年 1 月 1 日~2005 年 12 月 31 日 5 年兰州市区连续污染物浓度监测资料,分析研究了春季和冬季 PM<sub>10</sub> 重度污染的污染特点和气象条件的相关性,对不同季节可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)重度污染的成因进行了对比分析,以期对空气质量预报和防治大气污染提供部分依据。

### 1 兰州市区 PM<sub>10</sub> 重度污染季节分布特征

按照我国环境质量标准中 PM<sub>10</sub> 污染等级划分标准,2001 年 1 月 1 日~2005 年 12 月 31 日的 5 年 1826d 中,兰州市空气质量:优等天数只有 50d,占 2.7%;主要为二至三级(属轻微污染或轻度污染),占 86.7%,其中二级天数为 873d,占 47.8%,三级天数为 710d,占 38.9%;四级(中度污染)天数 85d,占 4.7%;重度污染天数达 108d,占 5.9%(见表 1)。108d 重度污染日中有 40d 出现在春季(3~4 月),57d 发生在冬季(12 月~2 月)。具体是:一月 22d;二月 12d;三月 21d;四月 19d;7 月 1d;11 月 10d;12 月 23d。5~10 月 76%(697d)PM<sub>10</sub> 浓度在二级以下,24.5%的天数出现轻微污染或轻度污染,只出现 1d 重度污染。相反 11 月~次年 4 月 21%(188d)的天数 PM<sub>10</sub> 浓度为四级以上,108d 重度污染有 107d 出现在这一时段。

我国的环境质量标准中 PM<sub>10</sub> 污染浓度达到

收稿日期:2007-04-18;修回 2007-08-23

作者简介:刘淑梅(1960-),女,工程师,从事天气预报研究工作,(电子信箱)eyhm46466@sina.com。

表 1 2001 年 1 月~2005 年 12 月  $PM_{10}$  质量状况日数统计  
Table 1 Statistics of  $PM_{10}$  pollutants' degree from January 2001 to December 2005

年份	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
2001 年	6	113	182	24	40
2002 年	14	140	149	25	37
2003 年	11	196	132	15	11
2004 年	4	201	143	11	7
2005 年	15	223	104	10	13
合计	50	873	710	85	108
百分比(%)	2.7	47.8	38.9	4.7	5.9

0.45mg/m<sup>3</sup>或以上为重污染。5 年中,兰州市  $PM_{10}$  重度污染日数在 1~4 月、11~12 月维持较高水平,污染严重,12 月达到全年最高值。5~6 月、8~10 月无重污染日。在季节转换时(春季向夏季、秋季向冬季) $PM_{10}$  浓度变化幅度较大,表现为 5 月快速下降,11 月快速回升。

2 春季兰州市重度污染日  $PM_{10}$  浓度变化特征

分析春季 40d  $PM_{10}$  重度污染个例,  $PM_{10}$  浓度逐日变化表现为“陡峰型”,即污染物浓度在一日之内急剧上升,达到重度污染之后又急剧下降。图 1 反映了 2005 年 4 月 8~9 日和 2003 年 4 月 12 日强沙尘天气过程前后  $PM_{10}$  浓度逐日变化。

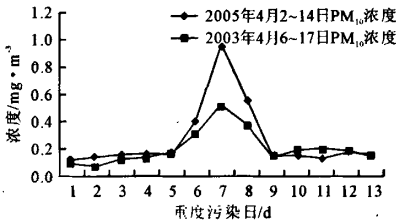


图1. 兰州市区春季重度污染日前后  $PM_{10}$  日变化特征  
Fig.1 Features of variations of daily average  $PM_{10}$  concentration during heavy pollution periods in spring in Lanzhou City

2005 年 4 月 8~9 日中国大陆出现了一次强沙尘暴天气,兰州市空气质量受到严重影响。4 月 3~14 日兰州市  $PM_{10}$  日均浓度变化是:1~6 日,兰州市空气质量为良好和轻微污染, $PM_{10}$  浓度在 0.18mg/m<sup>3</sup> 以下。7 日 20:00 地面冷锋过境,兰州出现了扬沙天气,能见度急剧下降,由 8:00 的 11km 下降到 20:00 的 7km,伴随着气压剧增,温度剧降,水汽压降低等气象要素的剧烈变化, $PM_{10}$  日均浓度急剧上升,7~8 日  $PM_{10}$  污染浓度提高到 0.40~0.96mg/m<sup>3</sup>。冷锋过后,风力减小,但浮尘天气一直持续到 9 日,空气质量仍为重污染。随着沙尘天气影响结束,10 日以后  $PM_{10}$  浓度降至 0.19mg/m<sup>3</sup> 以下,空气质量改善为良好到轻微污染。

分析兰州市区  $PM_{10}$  浓度的逐时变化,“陡峰型”特征也很明显。7 日 12:00~8 日 11:00 逐时的  $PM_{10}$  浓度表现为正常的日内变化。由 7 日 12:00~8 日 11:00 的逐时  $PM_{10}$  浓度变化曲线可以看到(图 2),从 15:00~21:00  $PM_{10}$  浓度缓慢上升,在强沙尘天气到来前 3 小

时(7 日 22:00~24:00) $PM_{10}$  浓度略有下降,从 8 日凌晨 0:00 开始沙尘影响兰州,市区  $PM_{10}$  浓度在 0:00~1:00 的 1h 内陡然升高了 0.503mg/m<sup>3</sup>,达到 1.506 mg/m<sup>3</sup>,较前 1 小时增加了 0.5 倍。此后每小时超过 0.90mg/m<sup>3</sup> 的高浓度一直持续到 8:00,前后长达 8h。由于冷锋过境后大风将沙尘继续向下游输送,从 9:00 开始  $PM_{10}$  浓度明显下降,此后十几小时内波动下降,但由于受浮尘天气影响,至 10 日  $PM_{10}$  浓度才降低到 0.149mg/m<sup>3</sup>,空气质量转为良好。

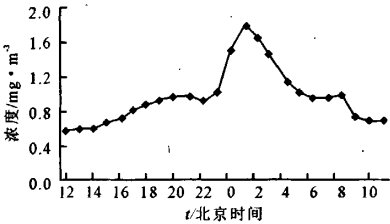


图2 兰州市区2005年4月7日12:00~8日12:00  $PM_{10}$  浓度变化曲线  
Fig.2 Changing curve of hourly  $PM_{10}$  concentration in Lanzhou City in 24hours (12:00-12:00, from April 7,2005 to April 8,2005)

3 春季兰州  $PM_{10}$  重度污染气象要素变化特征和气象条件分析

3.1 春季兰州  $PM_{10}$  重度污染气象要素变化特征

对春季 40d 重污染日中的 5 次重污染前后共 9d 的 14:00 本站气压、温度、水汽压等地面要素进行平均,分析春季沙尘暴天气造成重污染日气象要素变化的共同特征可以看出,春季兰州市出现  $PM_{10}$  重度污染时地面气象要素日变化剧烈:重度污染日 14:00 气压 24 小时平均上升 7.0hpa,气温平均下降 8.9℃,水汽压平均下降 0.9 hpa,同时风向和风速也发生了剧烈变化(见图 3)。这充分说明了春季重度污染的形成必然对应着一次明显降温过程。

3.2 春季兰州  $PM_{10}$  重度污染气象条件分析

分析 2001~2005 年春季的 40 次  $PM_{10}$  重度污染事件都与沙尘天气的发生有关,其中大部分与西北地区春季强降温、寒潮天气过程相对应。地面冷高压前缘的强大冷锋,在高空偏北气流的引导下,从新疆北部、蒙古国西部南下,经过巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠二大沙源地带进入兰州,锋区内的强辐合上升气流携带大量的沙尘,持续在空中悬浮,沙尘随风漂移,造成兰州的沙尘天气<sup>[3-4]</sup>,本地气象要素变化剧烈。

另外,很少的一部分是由于春季降水稀少,近地层增温剧烈,在本地持续气温偏高之后,北方主力冷锋区分裂弱冷空气东移南压,遇青藏高原东北部暖区,冷低压系统气旋性加强,甘肃省河西东部和河东地区的小范围地区也会出现沙尘天气,这类沙尘天气,一般较弱,有时甚至达不到浮尘气象观测标准,但如果低压系统移动较慢且无降水产生,将延长沙尘天

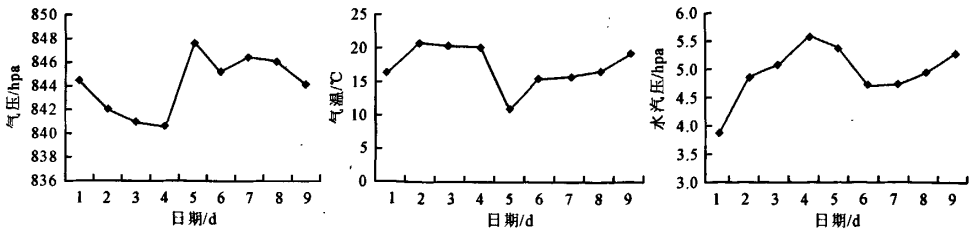


图3 春季沙尘过程14时兰州站气压、温度、水汽压变化曲线  
Fig.3 Curve of atmospheric pressure, temperature and water pressure at 14:00 during sand-dust weather in spring in Lanzhou City

气的影响时间,导致兰州市空气质量的严重恶化。说明本地及周边临近地区裸露地表的沙尘在一定的气象条件下可以造成兰州市的  $PM_{10}$  重度污染。

#### 4 冬季市区 $PM_{10}$ 日平均浓度逐日变化特征

冬季  $PM_{10}$  浓度逐日变化特点是逐日缓慢上升,这一过程是污染物积累的过程,在一定的气象条件下达到重度污染,遇降温、降雪之后  $PM_{10}$  浓度快速下降。2005年12月兰州出现了5次  $PM_{10}$  重度污染事件(见图4),分别出现在8~9日,  $PM_{10}$  浓度达  $0.664mg/m^3$ ,是2001~2002年12月日平均浓度的2.45倍;19日  $PM_{10}$  浓度达  $0.564mg/m^3$ 、23日  $PM_{10}$  浓度达  $0.434mg/m^3$ 、26日  $PM_{10}$  浓度达  $0.439mg/m^3$ 、29~30日  $PM_{10}$  浓度达  $0.481mg/m^3$ ,分别是本月日平均浓度的1.6~2.1倍。从11月30日到12月30日  $PM_{10}$  浓度变化曲线可以看出,经过2~4d的积累,在冷空气到来的前一天,  $PM_{10}$  浓度升到最高达重度污染,而后突然下降,空气质量明显好转,而且空气质量好转的程度和维持时间的长短,与冷空气强度和移动速度密切相关。如:12月6日14h~9日20h兰州市区连续4d水平能见度在1km以内,其中9日14h水平能见度只有0.6km,10

日~15日受强冷空气影响,空气质量良好。

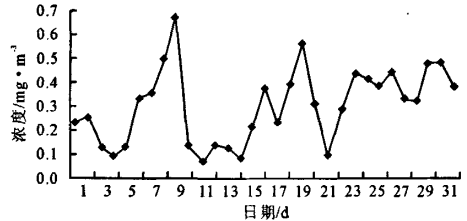


图4 兰州市区2005年12月1日~31日  $PM_{10}$  浓度日变化曲线  
Fig.4 Changing curve of daily average  $PM_{10}$  concentration in Lanzhou City in Dec 2005

#### 5 冬季兰州 $PM_{10}$ 重度污染气象要素变化特征和气象条件分析

##### 5.1 冬季兰州 $PM_{10}$ 重度污染地面气象要素日变化特征

从2005年12月地面气象要素日变化曲线可以看出,在重污染日前后水汽压、温度等气象要素变化不大,与春季沙尘暴天气影响有很大不同(见图5)。分析12月逐日地面风向、风速和能见度等气象要素,发现重度污染日为弱的偏东风或者静风,日平均风速  $<1.0m/s$ ,8~9日日平均风速接近  $0.0m/s$ ,造成兰州市区  $PM_{10}$  浓度快速积累上升至  $0.50\sim0.66mg/m^3$ ,能见度普遍  $<1km$ 。

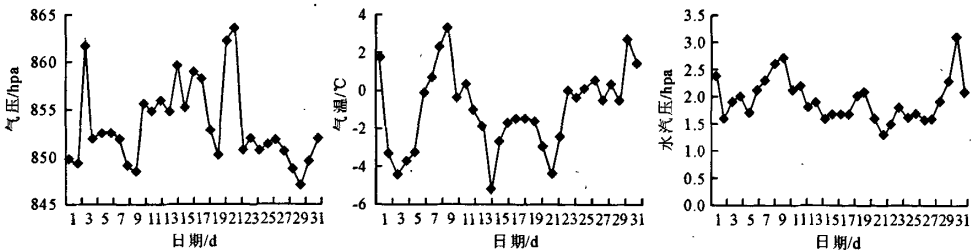


图5 2005年12月14时兰州站气压、温度、水汽压变化曲线  
Fig.5 Curve of atmospheric pressure, temperature and water pressure at 14:00 in Lanzhou City in Dec 2005

##### 5.2 冬季兰州 $PM_{10}$ 重度污染与气象条件分析

##### 5.2.1 冬季兰州 $PM_{10}$ 重度污染与天气形势的关系

冬季500hpa高空,青藏高原北支西风大致在  $35^{\circ}\sim45^{\circ}N$  之间,在  $80^{\circ}E$  附近有一个平均高压脊,西北地区大都处于新疆高压脊前西北气流之中,这种天气形势在整个冬季比较稳定少变,因此,受青藏高原东北

边坡地形影响,大部分时间兰州及周边较大范围地方边界层将高频次出现反气旋控制,在地面则呈均压场分布,等压线稀疏,地面风力小,易形成污染物积累。只是在天气形势出现转变或调整时,才能破坏这种稳定状态<sup>[9]</sup>。分析2005年12月1日~12月31日天气形势图。本月有三次污染物的积累过程(5~9日、15~19日、

日、22~31日),所对应的高空天气形势是:冷空气过后新疆高压脊缓慢东移减弱,西北区东部和青藏高原东北部处于高压脊前的西北气流中,冷平流随着西北气流的逐渐转平而减弱,最后转为暖平流,地面处于均压场中,地面风速较小且多为静风,十分有利于污染物的积累。本月有三次冷空气活动过程(1~4日、10~14日、20~21日),高空偏北气流或西北气流引导在高纬度地区堆积的冷空气大举南下,当地面冷锋过境时,地面风速增大,气压上升,温度和湿度下降,大气的稳定状态及逆温层被破坏,污染物得到稀释扩散,空气质量明显好转。

### 5.2.2 冬季兰州 PM<sub>10</sub> 重度污染与逆温等气象条件分析

兰州市区低空大气温度层结全年以弱稳定为主,一年四季皆有逆温层存在,在冬季逆温层发生频率最高(95.8%),贴地逆温层厚度最厚(平均740m)、强度最强(平均0.53℃/100m),脱地逆温层底相对高度最低(平均930m);同时,贴地大气层结温度递减率与PM<sub>10</sub> 污染物浓度呈显著反相关<sup>[9]</sup>。利用2005年12月兰州探空站资料,计算了逐日08h逆温层底高、厚度和逆温强度,对流层(3000m)以下该月有4个时段出现逆温,分别是1~2日、4~9日、16~29和31日(见图6),逆温时段和PM<sub>10</sub> 高浓度有较好的对应关系,8~9日、19日、22~29日和31日逆温厚度均超过1000m,逆温强度平均0.86℃/100m。对流层底层的逆温层使扩散减弱,对污染物起到了顶盖作用,有利于污染物的积累。全月主要以贴地逆温为主,逆温强度大,所以8~9日、19日、23日、26日、29~30日出现了重度污染。

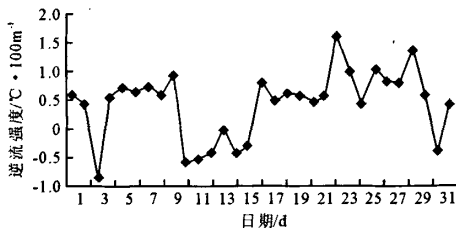


图6 兰州市2005年12月8时对流层逆温强度变化曲线  
Fig.6 Changing curve of close-to-ground inversion temperature intensity in Lanzhou City in Dec 2005

特别是22~29日,贴地逆温层厚度持续在1000m以上,8:00逆温强度平均0.97℃/100m,其中22、23日逆温厚度超过1200m,逆温强度平均1.29℃/100m,在21日冷空气过后,污染物只有2d的积累即达到重度污染,这一时期PM<sub>10</sub> 浓度维持在0.32~0.48mg/m<sup>3</sup>居高不下,23日、26日、29~30日多次达到重度污染。

## 6 小结

(1)兰州市PM<sub>10</sub> 重度污染日主要出现在冬季和春季。春季污染物浓度逐日变化表现为“陡峰型”;冬季的特点是逐日缓慢上升,积累到一定程度达到重度

污染,之后持续或快速下降。

(2)春季PM<sub>10</sub> 重度污染是由“外源”造成。寒潮、强降温天气过程导致沙源地带沙尘天气发生发展,并向下游传输大量尘土,兰州出现浮尘扬沙天气,空气质量急剧恶化。另外很少一部分是:在一定的气象条件下,较弱的冷空气过程也可以使本地及周边临近小范围地区出现持续较弱的沙尘天气。

(3)冬季PM<sub>10</sub> 重度污染的天气形势是兰州连续几天处于高压或均压场。对流层有逆温发展,大气层结稳定,水平风力小,抑制了污染物的稀释扩散,使低空污染物积攒累增,达到重度污染。

(4)春季PM<sub>10</sub> 重度污染日前后,地面气象要素日变化剧烈,一般都具有强降温和寒潮天气特征。冬季PM<sub>10</sub> 重度污染日前后地面气象要素日变化不大,与逆温(贴地)持续时间,逆温层厚度和强度成正相关,近地层强逆温将明显缩短PM<sub>10</sub> 浓度达到重度污染的时间。

### [参考文献]

- [1] 国家环保总局.2003年中国大气环境状况公报[R].2004. State Environmental Protection Administration of China. 2003 China Atmospheric Environmental Conditions BO[R]. 2004.(in Chinese)
- [2] 杨民,王式功,李文莉,等.沙尘暴天气对兰州市环境影响的个例分析[J].气象,2004,(4):48-49. Yang Min, Wang Shi-gong, Li Wen-li, et al. A case study of sand-storm effect on environment of Lanzhou[J]. Meteorological Monthly, 2004,(4):48-49.(in Chinese)
- [3] 倾继祖,刘文君,赵红,等.930505特大沙尘暴在甘肃尘降状况研究[J].高原气象,2001,20(1):46-50. Qin Ji-zu, Liu Wen-jun, Zhao Hong, et al. Dust depositions of 930505 extremely severe sandstorm in Gansu[J]. Plateau Meteorology, 2001,20(1):46-50.(in Chinese)
- [4] 王宝鉴,许东蓓,蒲彦玲,等.兰州市冬季空气污染的天气成因分析及浓度预报[J].甘肃气象,2001,(4):18-199. Wang Bao-jian, Xu Dong-bei, Pu Yan-ling, et al. Study on synoptic cause of air pollution and forecast methods of air pollutant concentrations in Lanzhou proper in winter[J]. Journal of Gansu Meteorology, 2001,(4):18-199.(in Chinese)
- [5] 白肇烨,徐国昌,陈乾,等.中国西北天气[M].北京:气象出版社,1988:139-140. Bai Zhao-ye, Xu Guo-chang, Chen Qian, et al. Northwest Weather of China[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 1988:139-140.(in Chinese)
- [6] 姜大胜,王世功,郎咸梅,等.兰州市区低空大气温度层结特征及其空气污染的关系[J].兰州大学学报(自然科学版), 2001(4):133-138. Jiang Da-bang, Wang Shi-gong, Lang Xian-mei, et al. Characteristics of stratification of lower-layer atmospheric temperature and their relations with air pollution in Lanzhou proper[J]. Journal of Lanzhou University(Natural Science), 2001(4):133-138.(in Chinese)