

渭南市 2015—2017 年典型霾天气过程气象特征分析

吉庆¹, 武麦凤¹, 何林², 陈洁¹

(1. 渭南市气象局, 陕西渭南 714000; 2. 陕西省气象信息中心, 西安 710014)

摘要:综合利用地面空气污染监测资料、MICAPS 资料、常规气象资料、探空资料、NCEP 再分析资料, 通过对 2015—2017 年渭南市 11 个典型霾天气过程进行分析, 总结渭南市典型霾天气过程的大气环流背景特征, 并运用统计学方法分析典型霾天气过程的气象要素特征。结果表明: 典型持续性污染天气过程中细颗粒物($PM_{2.5}$)是 PM_{10} 的主要组成成分, $PM_{2.5}$ 的质量浓度明显高于粗颗粒物, 严重污染期间 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 二者日变化明显且基本同步。严重污染期间, 500 hPa 欧亚中高纬度环流呈两槽一脊型, 陕西处于暖脊前部、长波脊前底部, 相应的 700 hPa 青藏高原上有短波槽, 短波槽前有弱偏南气流发展; 而空气质量转好时, 中高纬度环流形势明显变化, 陕西上空锋区加强, 伴随地面东移南下冷空气的入侵, 关中对流层低层偏北气流加强。 $PM_{2.5}$ 质量浓度与过去 1 小时降水量、气温、海平面气压、10 分钟平均风速负相关, 与露点温度、相对湿度、总云量正相关。

关键词: 典型霾天气过程; $PM_{2.5}$; 大气环流背景; 气象要素; 统计学分析

中图分类号: X513

文献标识码: A

渭南地处陕西省关中盆地东部, 随着工业化、城市化进程的高速发展, 大气污染日益加重, 并且与关中地区其他城市进入复合污染阶段。空气中污染物的时空变化特征与气象条件密切相关, 研究区域和城市空气污染过程天气形势转变及其与气象因子的关系, 有助于认识空气污染形成的机制, 并且能为环境空气质量预报积累经验、提供参考。国内众多学者研究了关中地区气象条件与大气污染的关系, 得出大气污染物的扩散受到天气形势、下垫面、风速、降水、边界层高度等条件的影响。有的针对一次典型霾天气过程剖析其大气环境特征^[1-2]; 有的分析了大气污染特征以及气象条件对大气污染的影响^[3-7]。比如, 杜怡心等利用 2015—2016 年西安市逐日空气质量资料和气象观测资料, 统计评价 2016 年气象条件较 2015 年对大气污染的影响情况^[3]; 王钊等对近 10 年关中盆地 MODIS 气溶胶的时空变化特征进行了分析^[4]; 韩超对关中地区环境空气污染物浓度的统

计特征及其与气象要素的关系进行了分析^[5]。综合利用地面空气污染监测资料、常规气象资料、探空资料、NCEP 再分析资料, 对 2015—2017 年渭南市 11 个典型霾天气过程进行分析, 总结渭南市典型霾天气过程的大气环流背景特征, 并运用统计学方法分析典型霾天气过程的气象要素特征, 得出渭南市典型霾天气过程的相关气象要素阈值, 以期对渭南市霾天气天气预报提供参考。

1 资料和方法

颗粒物质量浓度来源于中国空气质量在线监测分析平台 (<http://www.aqistudy.cn>) 发布的空气质量历史数据; 常规气象资料来自全国综合气象信息共享平台 (CIMISS); 探空资料来自怀俄明大学网站 (<http://weather.uwyo.edu/up-perair/seasia.html>) 及香港科学技术大学 (HKUST) 环境中心 (ENVF) 发布的泾河气象站 (57131) 探空资料 (<http://envf.ust.hk/data-view/profile/current/>); 大气环流背景特征分析

收稿日期: 2018-12-17

作者简介: 吉庆 (1991—), 女, 陕西洛南人, 学士, 助理, 从事中短期天气预报及其研究。

基金项目: 陕西省气象局青年科研基金项目 (2016Y-23)

采用 NCEP 1°×1°再分析资料。《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ633—2012),并参考文献[8]中霾污染日的统计标准,确定渭南市环境空气质量等级统计标准(表1)。

表1 渭南市环境空气质量等级统计标准

空气质量	PM _{2.5} 质量浓度/(μg/m ³)	能见度/km
优	<35	≥5.0
良	[35,75)	≥5.0
轻度污染	[75,115)	<5.0
中度污染	[115,150)	<5.0
重度污染	[150,250)	<5.0
严重污染	≥250	<5.0

注:能见度为渭南市地面观测资料。

2 典型污染天气过程颗粒物变化特征

经过统计得出,2015—2017年渭南市典型霾

月)。表2给出了11次典型过程的具体时间段以及PM_{2.5}的过程最大质量浓度和平均质量浓度。从PM_{2.5}的过程平均质量浓度看,11次典型过程均为轻度以上污染,其中中度污染4次,重度污染4次,严重污染1次。图1给出了11次典型持续性污染天气过程期间颗粒物PM_{2.5}、PM₁₀的平均质量浓度日变化情况。可以看出,渭南市典型持续性污染天气过程中细颗粒物(PM_{2.5})是PM₁₀的主要组成成分,PM_{2.5}的质量浓度明显高于粗颗粒物。严重污染期间PM_{2.5}和PM₁₀的质量浓度存在明显的日变化且二者基本同步,均在13时(北京时,下同)和20时前后出现峰值;04—08时变化相对平缓;09—13时、18—20时两个时间段二者质量浓度快速上升。

表2 2015—2017年渭南市11次典型持续性污染天气过程PM_{2.5}

最大质量浓度及平均质量浓度

μg/m³

时段	最大	平均	时段	最大	平均
2015-11-27—12-02	259	126.7	2016-11-09—11-22	248	143.9
2015-12-05—12-13	331	180.1	2016-12-29—2017-01-06	438	275.3
2015-12-18—12-25	401	190.7	2017-01-14—01-20	217	144.1
2015-12-29—2016-01-07	267	201.7	2017-01-22—01-30	325	158.8
2016-10-10—10-14	135	98.8	2017-11-04—11-07	178	106.8
2016-11-01—11-07	224	149.6			

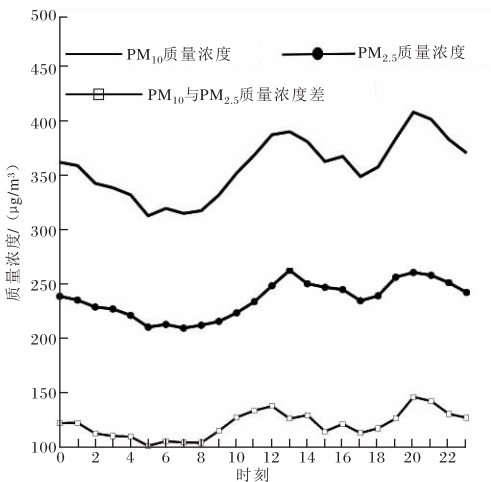


图1 2015—2017年渭南市11次典型污染过程污染物平均质量浓度日变化

3 典型污染过程大气环流特征分析

分析11次典型重污染天气过程逐日500 hPa

及700 hPa环流形势,发现存在相似的分布特征,因此以2015年12月18—25日重污染天气过程为例分析环流形势特征。2015年12月18—25日,渭南市出现了持续8d的霾重污染天气过程。从18—25日的过程平均位势高度场(图2)可以看出,500 hPa亚欧中高纬为两槽一脊型,乌拉尔山以西和亚洲大陆以东为长波槽区,贝加尔湖为一强盛的暖性长波脊区,陕西处于长波脊前底部,青藏高原到河套盛行纬向偏西气流,关中盆地附近等值线比较稀疏,表明高空风速比较小(图2a)。相应的700 hPa亚欧高纬环流形势亦为两槽一脊型,青藏高原上有短波槽,短波槽前有弱偏南气流发展,其偏南气流可到达陕西南部(图2b)。

12月18日(图略),500 hPa亚欧中高纬为两槽一脊型,青藏高原有短波槽发展东移,陕西位于

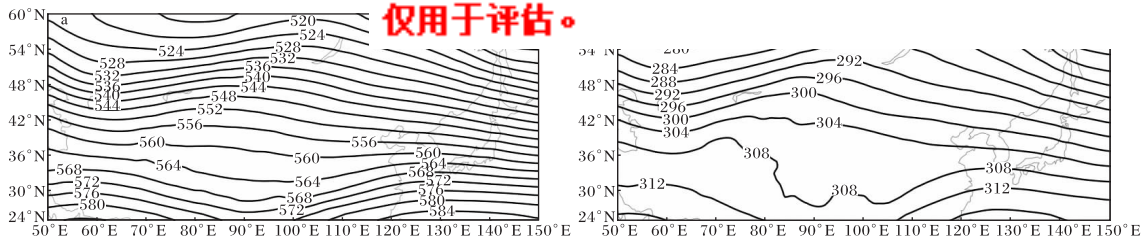


图 2 2015-12-18—25 500 hPa(a)和 700 hPa(b)平均位势高度场(单位:dagpm)

短波槽的前部,有弱偏南气流发展。相应的 700 hPa 青藏高原东部有低涡发展并缓慢东移,陕西南部有偏南暖湿气流发展。随着 500 hPa 青藏高原短波槽减弱并缓慢东移,对流层低层关中地区多短波槽活动,维持偏南暖湿气流。24 日(图略)500 hPa 贝加尔湖附近有低压槽发展并东南移,西风锋区南压,东亚大槽建立。随着对流层高层环流形势的调整,对流层低层环流也随之变化,700 hPa 陕西转为西北气流控制,渭南持续 8 d 的重污染天气也得到了缓解。

综上所述,渭南市严重污染期间,500 hPa 欧亚中高纬度环流呈两槽一脊型,陕西处于暖脊前部,长波脊前底部,青藏高原到河套盛行纬向偏西气流。相应的 700 hPa 青藏高原上有短波槽,短波槽前有弱偏南气流发展,偏南气流可到达陕西南部。此种环流形势不利于污染物的扩散。而空气质量转好时,中高纬度环流形势明显变化。陕西上空锋区加强,伴随地面东移南下冷空气的入侵,关中对流层低层偏北气流加强,有助于污染物的扩散。

4 探空资料分析

4.1 昼间混合层高度

混合层高度表明了大气中的污染物在垂直方向上的扩散范围,若混合层高度较低,则污染物在垂直方向上不能得到有效扩散^[9]。依据环境评价技术导则计算区域大气稳定度、大气混合层高度的基本公式^[10],计算 11 次典型持续性污染天气过程发生期间渭南市当地 94 d 逐日的混合层高度。

分析得出 PM_{2.5} 质量浓度与昼间(根据霾天气过程发生当天渭南当地日出、日落时间计算出昼长)混合层高度在 0.01 水平上(双侧)显著相关,Pearson 相关系数为-0.370(样本数为 94)。从图 3 来看,当发生空气污染时,昼间混合层高度

明显降低,当平均昼间混合层高度低于 483.9 m 时,空气质量等级由“优”“良”转为“轻度”及以上污染。通过回归分析,PM_{2.5} 质量浓度与昼间混合层高度的关系符合指数曲线(图 4)。

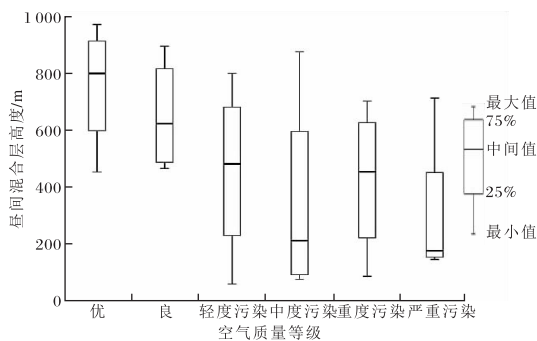


图 3 2015—2017 年渭南不同空气质量等级时的昼间混合层高度箱线

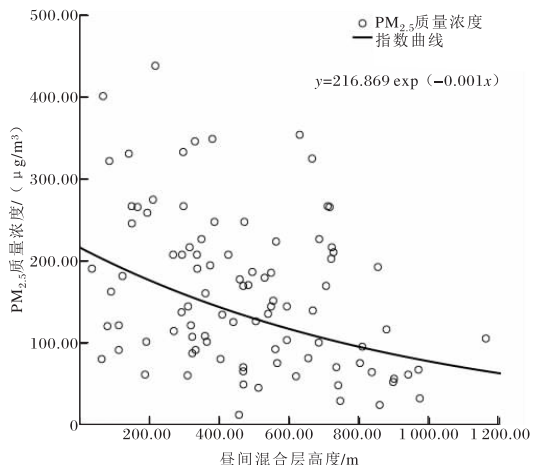


图 4 2015—2017 年渭南 PM_{2.5} 质量浓度与昼间混合层高度的关系

4.2 逆温

在秋冬季节,夜间地表的长波辐射会使地表的温度不断降低,近地面大气随之发生冷却;而其上层大气仍维持较高的温度,进而形成辐射逆温层,使得大气层结趋于稳定。分析 11 次典型持续

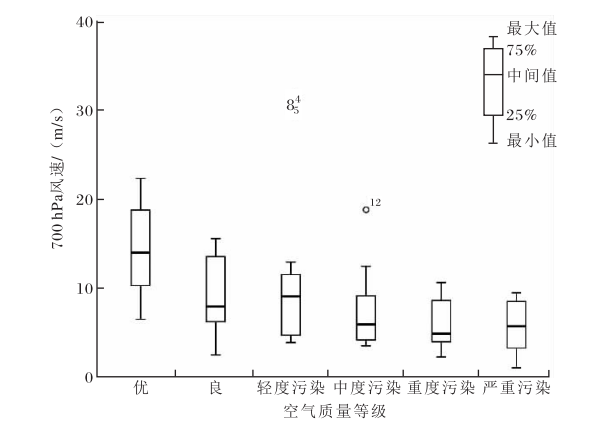
性污染天气过程发生期间泾河气

08 时及 20 时逆温层厚度和逆温强度, 得出 PM_{2.5} 质量浓度分别与 08 时逆温层厚度、20 时逆温强度在 0.01 水平上(双侧)显著相关, Pearson 相关系数分别为 0.430 和 0.609(样本数为 94)。

从图 5 可看出: 当空气质量为“良”“轻度污染”“中度污染”时, 逆温强度变化不大; 但当出现重度污染及严重污染时, 逆温强度有明显增强。当逆温强度大于 0.77 °C/hm 时, 空气质量明显恶化; 当逆温强度大于 1.70 °C/hm 时, 空气质量等级为“严重污染”。通过回归分析, PM_{2.5} 质量浓度与逆温强度的关系符合幂函数曲线(图 6)。

持续性污染天气过程发生期间, (107.5°E, 35°N)、(110°E, 35°N)、(112.5°E, 35°N)、(110°E, 37.5°N) 4 个点(分别位于渭南以西、渭南当地、渭南以东、渭南以北, 在 CIMISS 中序号分别为 1515、1516、1517、1616; 因渭南以南有秦岭阻挡, 故不取渭南以南的点)逐日 500、700、850 hPa 风向风速数据, 得出 PM_{2.5} 质量浓度与 700 hPa 高空风风速风向在 0.01 水平(双侧)显著相关, Pearson 相关系数分别为 -0.322 和 -0.136(样本数为 376)。

从图 7 可看出, 当发生空气污染时, 700 hPa 高空风风速明显减小。当 700 hPa 高空风风速小于 9.1 m/s 时, 空气质量等级开始由“优”“良”转差; 当 700 hPa 高空风风速小于 5.9 m/s 时, 空气质量等级为“中度”以上污染。从图 8 可看出: 当空气质量为“优”“良”“轻度污染”时, 700 hPa 高空以西北风为主; “中度污染”“重度污染”时偏南风发展; “严重污染”时以西南风为主。



圆圈表示异常值, 数字表示异常值出现的频次。

图 7 2015—2017 年渭南不同空气质量等级 700 hPa 高空风风速箱线

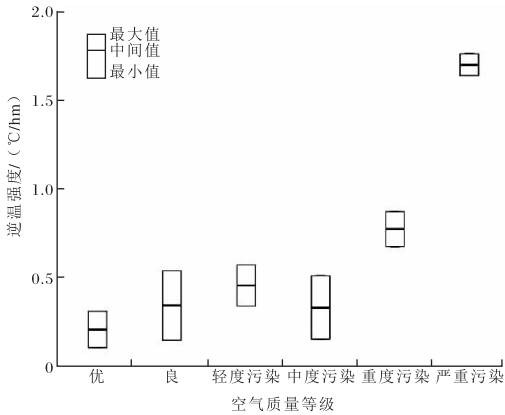


图 5 2015—2017 年渭南不同空气质量等级的逆温强度箱线

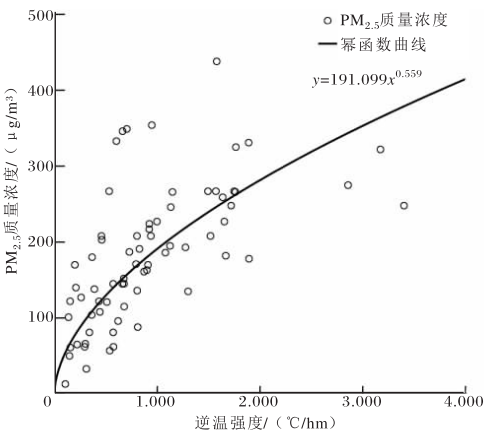


图 6 2015—2017 年渭南 PM_{2.5} 质量浓度与逆温强度的关系

4.3 高空风

通过分析典型污染过程发生时的 MICAPS 细网格资料, 从全国综合气象信息共享平台

5 地面要素特征

5.1 降水

分析 11 次典型持续性污染天气过程发生期间渭南市当地 94 d 逐小时的降水量与 PM_{2.5} 质量浓度数据, 得出 PM_{2.5} 质量浓度与过去 1 小时降水量在 0.01 水平(双侧)显著相关, Pearson 相关系数为 -0.140(样本数为 2 256)。对不同空气质量等级的降水量阈值(表 3)进行回归分析, 得

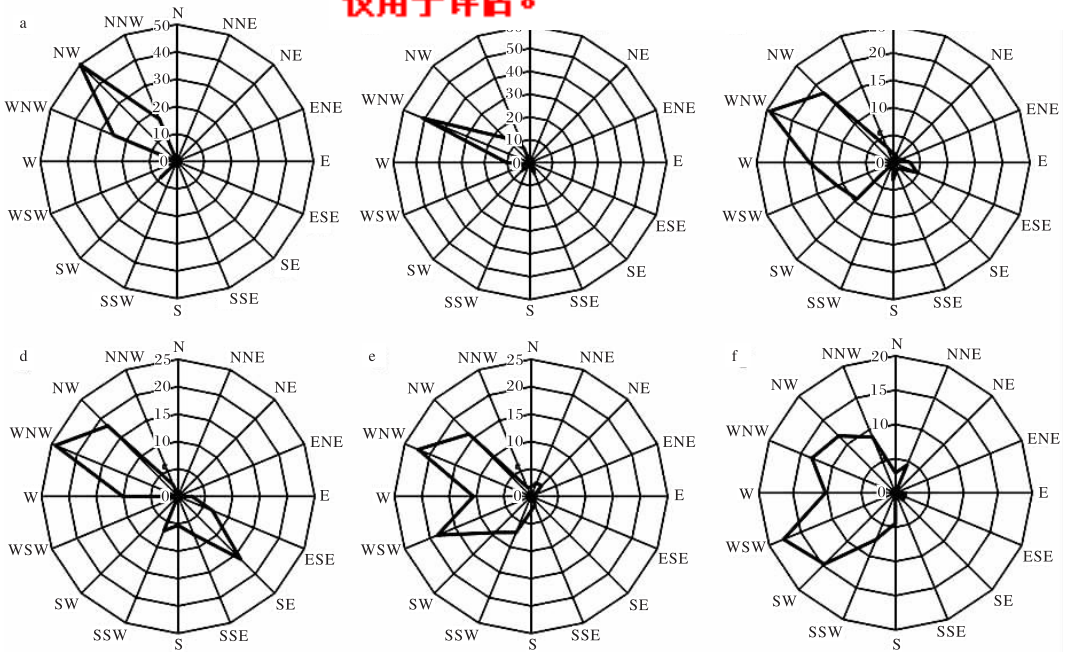


图 8 2015—2017 年渭南空气质量为优(a)、良(b)、轻度污染(c)、中度污染(d)、重度污染(e)、严重污染(f)时 700 hPa 高空风风向频率/%分布

表 3 2015—2017 年渭南不同空气质量等级的降水量阈值 mm

空气质量	优	良	轻度污染	中度污染	重度污染	严重污染
降水量阈值	[0 , 3.2]	[0 , 3.1]	[0 , 1.7]	[0 , 1.1]	[0 , 0.5]	无降水

出 PM_{2.5} 质量浓度与过去 1 小时降水量的关系符合指数曲线(图 9)。

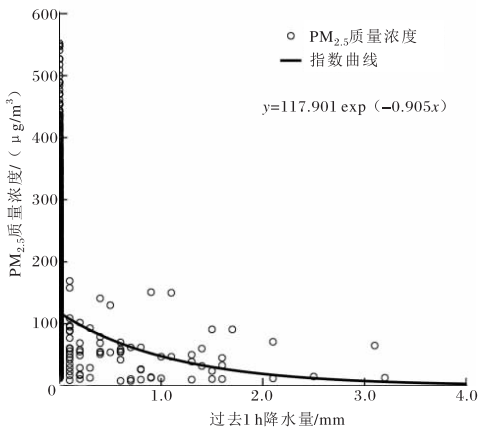


图 9 2015—2017 年渭南 PM_{2.5} 质量浓度与过去 1 小时降水量的关系

PM_{2.5} 质量浓度与昼间混合层高度、过去 1 小时降水量的关系均符合指数曲线。当混合层高度升高,或发生降水时,PM_{2.5} 质量浓度均下降;且降

水粒子的湿沉降作用对污染粒子的清除效率明显高于混合层高度升高对 PM_{2.5} 质量浓度的影响。

5.2 其他地面要素

分析 11 次典型持续性污染天气过程发生期间渭南市 94 d 其他地面小时气象要素数据,得出 PM_{2.5} 质量浓度与气温、露点温度、海平面气压、相对湿度、10 分钟平均风速、总云量在 0.01 水平(双侧)显著相关,Pearson 相关系数见表 4(样本数为 2 256)。表 5 给出不同空气质量等级各地面要素的中值。从表 4 看出,PM_{2.5} 质量浓度与气温、海平面气压、10 分钟平均风速负相关,与露点温度、相对湿度、总云量正相关。从表 5 看出:当相对湿度大于 66.5% 时,空气质量由“良”降为“轻度”及以上污染等级;当 10 分钟平均风速小于 1.3 m/s 时,空气质量由“优”转差;总云量为 100% 时比总云量小于 100% 更易发生空气污染。其他各项地面要素在不同空气质量等级的中值规

表 4 2015—2017 年

地面要素	气温	露点温度	海平面气压	相对湿度	10 分钟平均风速	总云量
Pearson 相关系数	-0.089	0.109	-0.194	0.211	-0.158	0.181

表 5 2015—2017 年渭南不同空气质量等级其他地面要素中值

空气质量	气温/°C	露点温度/°C	海平面气压/hPa	相对湿度/%	10 分钟平均风速/(m/s)	总云量/%
优	3.8	-8.2	1 032.9	41.0	2.1	70
良	5.8	-2.3	1 029.7	66.0	1.3	10
轻度污染	5.3	0.5	1 026.6	66.5	1.2	100
中度污染	5.6	-2.2	1 026.6	66.0	1.2	100
重度污染	3.9	-2.9	1 025.8	73.0	1.2	100
严重污染	4.0	-2.5	1 027.1	73.0	1.3	100

律不明显,需要更多数据进行分析,将在今后的研究中收集更多典型霾天气过程个例分析总结。

6 结论

(1)2015—2017 年渭南市典型霾天气过程主要发生在秋、冬季 10 月—次年 1 月。典型持续性污染天气过程中细颗粒物($PM_{2.5}$)是 PM_{10} 的主要组成成分, $PM_{2.5}$ 的质量浓度明显高于粗颗粒物。严重污染期间 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度存在明显日变化,且基本同步,均在 13 时和 20 时前后出现峰值;04—08 时变化相对平缓;09—13 时、18—20 时二者质量浓度快速上升。

(2)渭南市严重污染期间,500 hPa 欧亚中高纬度环流呈两槽一脊型,陕西处于暖脊前部,长波脊前底部;700 hPa 青藏高原有短波槽,短波槽前有弱偏南气流发展,不利于污染物扩散。空气质量转好时,中高纬度环流形势明显变化,陕西上空锋区加强,伴随地面东移南下冷空气的入侵,关中对流层低层偏北气流加强,有助于污染物的扩散。

(3) $PM_{2.5}$ 质量浓度与昼间混合层高度、20 时逆温强度及 700 hPa 高空风显著相关。 $PM_{2.5}$ 质量浓度与昼间混合层高度的关系符合指数曲线,当昼间混合层高度小于 483.9 m 时,空气质量等级由“优”“良”转为“轻度”及以上污染。 $PM_{2.5}$ 质量浓度与逆温强度的关系符合幂函数曲线。当逆温强度大于 $0.77\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 时,空气质量明显恶化;大于 $1.70\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 时,空气质量等级为“严重污染”。当空气质量为“优”“良”“轻度污染”时,

700 hPa 高空以西北风为主;“中度污染”“重度污染”时偏南风发展;“严重污染”时以西南风为主。当 700 hPa 高空风风速小于 9.1 m/s 时,空气质量等级开始由“优”“良”转差;小于 5.9 m/s 时,空气质量等级为“中度污染”以上。

(4) $PM_{2.5}$ 质量浓度与过去 1 小时降水量、气温、海平面气压、10 分钟平均风速负相关,与露点温度、相对湿度、总云量正相关。 $PM_{2.5}$ 质量浓度与过去 1 小时降水量的关系符合指数曲线。当相对湿度大于 66.5% 时,空气质量由“良”下降为“轻度”及以上污染等级;当 10 分钟平均风速小于 1.3 m/s 时,空气质量等级由“优”转差;总云量为 100% 时比总云量小于 100% 更容易发生空气污染。

参考文献:

- [1] 马晓华,黄少妮,张科翔,等. 关中地区一次霾天气过程分析[J]. 陕西气象,2017(4):10-13.
- [2] 王珊,廖婷婷,王莉莉,等. 西安一次霾重污染过程大气环境特征及气象条件影响分[J]. 环境科学学报,2015,35(11):3452-3462.
- [3] 杜怡心,胡琳,王琦,等. 2016 年西安市气象条件对大气污染影响评价[J]. 陕西气象,2018(1):30-33.
- [4] 王钊,彭艳,车慧正,等. 近 10 年关中盆地 MODIS 气溶胶的时空变化特征[J]. 高原气象,2013,32(1):234-242.
- [5] 韩超. 关中地区环境空气污染物浓度的统计特征及与气象要素的关系[D]. 西安:长安大学,2012.
- [6] 周辉,权文婷,赵青兰. 陕西省关中霾天气时空分

黄少妮, 杜莉丽, 刘嘉慧敏, 等. 陕西降水

文章编号: 1006-4354(2019)06-0018-06

陕西降水相态识别判据研究及检验

黄少妮^{1,2}, 杜莉丽¹, 刘嘉慧敏¹, 梁 绵¹

(1. 陕西省气象台, 西安 710014; 2. 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 西安 710016)

摘 要: 利用 2003 年 1 月至 2016 年 12 月逐日地面观测资料, 统计分析了陕西延安、西安、汉中、安康等雨夹雪天气的月变化特征。选取雨雪转换季节的雨、雨夹雪和雪天气个例, 对地面和高空观测数据进行统计分析, 筛选雨雪相态转换的主要影响因子和判别指标; 采用多元线性回归算法, 分别建立各站的雨雪相态预报方程并进行检验。结果表明: 延安、西安、汉中、安康 4 站雨雪相态的地面温度和露点温度均有明显差异, 低层(925 hPa 或 850 hPa)温度也有明显差异, 但随着高度增加其差异减小。利用陕西 4 站的判别指标和统计预报方程对 2017 年 1 月至 2018 年 1 月出现的雨雪天气过程进行检验, 效果较好; 但由于检验时间较短, 结论的适用性有待进一步验证。

关键词: 降水相态; 判别指标; 检验

中图分类号: P457.6

文献标识码: A

近年来我国城市化进程不断加快, 城市现代化公共设施建设不能完全满足大城市发展的需求, 面对极端气象灾害的脆弱性也日益凸显。冬季降雪天气常常会给人们的生活带来不便^[1-3], 特别是道路结冰和积雪常常造成城市上下班高峰期交通拥堵。降水相态的预报一直是天气预报中的难点。一方面, 降水相态受大气温度层结的影响^[4]; 另一方面, 降水粒子在发生相态转变的过程中, 又会影响和改变温度层结^[5]。因此降水相态的预报常常是天气预报人员关注的重点, 许多学者通过研究雨雪天气个例, 总结出我国不同地方不同降水相态的特性层温度特征^[6-11]。

不同地区冬季降水相态的识别指标有不同的判据, 其阈值设定也有很大不同。陕西南北长达

800 多公里, 气候从陕北的温带干旱半干旱气候到陕南的暖温带湿润气候, 境内的秦岭是我国气候的南北分界线, 因此陕西冬季降水雨雪相态的预报更为复杂。目前有关陕西降水相态预报的相关研究多以雨雪天气过程成因分析为主, 因此有必要对本地降水相态进行深入研究, 提出定量的预报指标, 为业务预报提供参考依据。在实际预报业务中, 对降水相态的判别常常依赖于特性层(850、925 hPa 以及地面)的温度, 我国北方气象工作者利用高空探测资料及地面实况数据, 针对不同降水相态相应的温度及厚度进行统计分析, 开展了许多相关研究^[12-18], 揭示了常规气象要素在冬季降水相态判别中的作用^[13], 指出地面温度和露点温度指标预报意义较大^[16]。本文较系统

收稿日期: 2019-02-13

作者简介: 黄少妮(1981—), 女, 陕西西安人, 博士, 高工, 从事天气气候预测研究。

基金项目: 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究课题基金(2019M-11)

布特征分析[J]. 陕西气象, 2015(4): 21-23.

[7] 韩洁, 庞翻, 王婷, 等. 近 31 年宝鸡市灰霾天气时空分布特征[J]. 陕西气象, 2014(4): 11-14.

[8] 孟妙志, 卢晔, 王仲文, 等. 2013 年冬季宝鸡重度雾霾污染分析[J]. 陕西气象, 2015(3): 48-52.

[9] 曹红丽, 苏静. 西安地区混合层厚度变化特征及对大气污染的影响[J]. 陕西气象, 2014(5): 32-35.

[10] 程水源, 席德立, 张宝宁, 等. 大气混合层高度的确定与计算方法研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 512-516.