

张向荣, 乔丹杨. 2020年西安一次持续重污染过程成因及输送特征分析[J]. 陕西气象, 2021(5): 30-35.

文章编号: 1006-4354(2021)05-0030-06

2020年西安一次持续重污染过程成因及输送特征分析

张向荣¹, 乔丹杨²

(1. 阎良区气象局, 西安 710089; 2. 咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000)

摘要:利用中国环境监测总站环境数据、西安气象自动站逐时实况数据和探空数据、NCEP 2.5°×2.5°再分析资料以及GDAS 1°×1°数据,对2020年1月21—26日西安一次持续性重污染天气过程进行了环流背景、气象要素及输送特征分析。结果表明:500 hPa中高纬地区纬向环流,850 hPa暖平流,地面弱气压场是大气污染前期的典型天气形势。重污染期间24 h变压与污染物质量浓度呈6 h超前正相关,2 m气温与污染物质量浓度呈现一定同期正相关;高湿条件下,污染物粒子的吸湿增长作用使污染程度加重;污染物积累阶段,地面弱的偏东风使上游污染物向西安地区输送,受关中向东喇叭口地形影响污染物易在近地面层聚集,后期较长时间的偏东风的增强使污染物得到迅速扩散。此次重污染过程的输入污染主要来自河北、山西与河南一带,自东向西向关中平原地区输送污染物颗粒。

关键词:重污染;天气形势;气象要素;后向轨迹

中图分类号:X16

文献标识码:A

近年,随着我国经济发展与产业升级,大气污染已成为日益严重的环境问题。有研究表明,厄尔尼诺可能会通过影响冬季气候从而使我国气溶胶浓度偏高,重度霾日增多^[1]。吴兑等^[2]对1951—2005年中国大陆霾的时空变化研究发现,我国霾分布主要集中在辽宁中部、四川盆地、华北平原和关中平原等地区,城市霾日排名西安处于全国第五位。关中平原特殊的“喇叭口”地形易造成关中地区大气污染物的聚集。此外,关中处于暖温带半干旱半湿润气候区,特点为年平均降水量较少,冬季逆温层深厚,也易导致严重的大气污染^[3]。黄鑫等^[4]对冬季陕西的霾日数研究表明,关中地区霾日数平均每年大于18 d,并且在2013年后出现了明显的增多。王红军等^[5]对关中地区大气污染物的特征研究表明,西安中度以上污

染日数呈逐年上升趋势。而江泉等^[6]研究表明在气候变化影响下,关中地区的大气扩散潜在在朝利于扩散的方向发展。吉庆等^[7]研究表明,关中渭南地区冬季重污染天气过程500 hPa环流形势为弱脊前底部,而近地面偏北气流的加强有利于空气质量转好。Wehner等^[8]研究表明,大气颗粒污染物质量浓度受风、湿度、降水和大气稳定度等气象因素影响。

西安地处关中平原,受关中喇叭口地形影响,污染物更易聚集,冬季霾日数多,研究该地持续性重污染天气的成因及污染输送特征,对本地重污染天气的预报预警和服务有重要意义。2019年冬季为暖冬,西安地区日平均气温较往年偏高2.6℃,降水较往年偏少四成,2019年秋冬季西安地区污染日数达68 d。本研究选取2020年1

收稿日期:2021-02-25

作者简介:张向荣(1975—),男,汉族,陕西千阳人,本科,高工,主要从事天气预报管理。

通信作者:乔丹杨(1992—),女,汉族,陕西咸阳市人,硕士,工程师,主要从事天气预报预警技术研究。

基金项目:西安市科学技术局社会发展科技创新示范项目(2019112813CXSF006SF016)

月 21—26 日西安一次持续性重污染过程进行环流背景、风等气象要素及输送特征分析,探讨西安地区重污染天气形成机制,为持续性重污染天气预报提供参考依据。

1 资料与研究方法

1.1 资料来源

资料为中国环境监测总站的全国城市空气质量实时发布平台的环境数据,西安气象自动站逐时实况资料,包括 24 h 变压、2 m 气温、相对湿度与风向风速等要素数据,西安站每日 08 时和 20 时探空数据,NCEP 逐 6 小时 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析资料以及 GDAS $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 数据等。

1.2 后向轨迹模型

使用 HYSPLIT-4 后向轨迹模型进行气团轨迹分析。HYSPLIT-4 模型是由美国国家海洋和大气管理局的空气资源实验室和澳大利亚气象局联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送、扩散轨迹的专业模型。该模型具有处理多种气象要素输入场、多种物理过程和不同类型污染物排放源功能的较为完整的输送、扩散和沉降模式,已经被广泛地应用于多种污染物在各个地区的传输和扩散的研究中^[9-13]。将 GDAS 资料作为模式初始场,以西安 (34°N 、 109°E) 为后向轨迹终点,起始高度 100 m、500 m 和 1 500 m,轨迹时长 72 h 进行气团轨迹分析。

2 重污染过程实况

受高空传输和本地污染影响,2020 年 1 月 21—26 日西安地区出现一次持续性重污染过程,污染持续时间长,污染物质量浓度高。图 1 为 2020 年 1 月 20 日 00 时—27 日 00 时(北京时)西安市 AQI、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度逐小时变化,可以看出重污染过程期间 $\text{PM}_{2.5}$ 和 PM_{10} 质量浓度趋势一致,表明重度污染期间细颗粒物 $\text{PM}_{2.5}$ 是 PM_{10} 主要成分。22 日 05 时—26 日 10 时重度污染期间,污染物质量浓度均大于 $146 \mu\text{g}/\text{m}^3$,显著偏高, $\text{PM}_{2.5}$ 在 24 日 01 时达到最大值 $269 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} 在 24 日 00 时达到最大值 $270 \mu\text{g}/\text{m}^3$,分别超过了平均质量浓度 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $162 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。在 23 日 21 时—24 日 04 时、25 日 11 时—14 时与 25 日 23 时—26 日 05 时期间 AQI 均超过

300,达到严重污染标准。

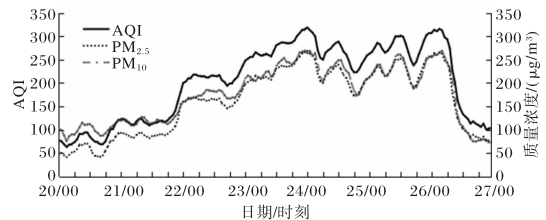


图 1 2020-01-20—27 西安空气质量指数(AQI)与 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 质量浓度(单位为 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)的时间变化

3 重污染天气气象条件

3.1 天气形势

500 hPa 天气图上,21 日 08 时中高纬地区以纬向环流为主(图 2a),陕西中北部为偏西气流控制,等温线与等高线平行,西安上空无明显的冷平流。850 hPa 有暖平流,有利于逆温形成。该环流形势一直维持至 24 日,大气层结稳定,大气污染物不断累积,24 日 00 时颗粒污染物质量浓度出现了此次重污染过程的第一次峰值。24 日 20 时 500 hPa 上有南支槽活动(图 2b),西安上空处于槽前西南气流中。25 日 20 时,南支槽和北支槽合并加深(图 2c),配合冷舌东移至西安上空,环流径向度加大。25 日 22 时西安地区出现 0.1 mm 的微量降水,有利于污染物中气溶胶粒子吸湿增长,从而污染加重,因此在 26 日 08 时颗粒污染物质量浓度出现第二次峰值。

地面图上,21 日 08 时起西安地区处于暖倒槽中(图 3a),地面风速较弱,天气形势静稳,有利于出现重污染天气。23 日 08 时(图 3b),蒙古冷高压分裂携带冷空气南下,地面为偏东风,平均最大风速 1.9 m/s ,利于东部河南、山西一带颗粒污染物向关中地区输送。从 $\text{PM}_{2.5}$ 污染物质量浓度来看,河南、山西轻度污染出现时段比西安早 2~3 h,表明污染过程前期主要是由弱偏东风的污染输送导致,同时,关中的向东喇叭口地形阻碍了污染物的扩散,使污染物在关中平原持续堆积。23 日 20 时(图 3c),冷空气进一步扩散南下,西安依旧处于高压外围弱偏东气流中,该形势稳定维持至 25 日,污染物持续累积。25 日 20 时(图 3d),冷空气减弱,地面倒槽发展,东西向气压梯度增大,26 日 08 时西安地面平均最大风速达 4.0 m/s ,

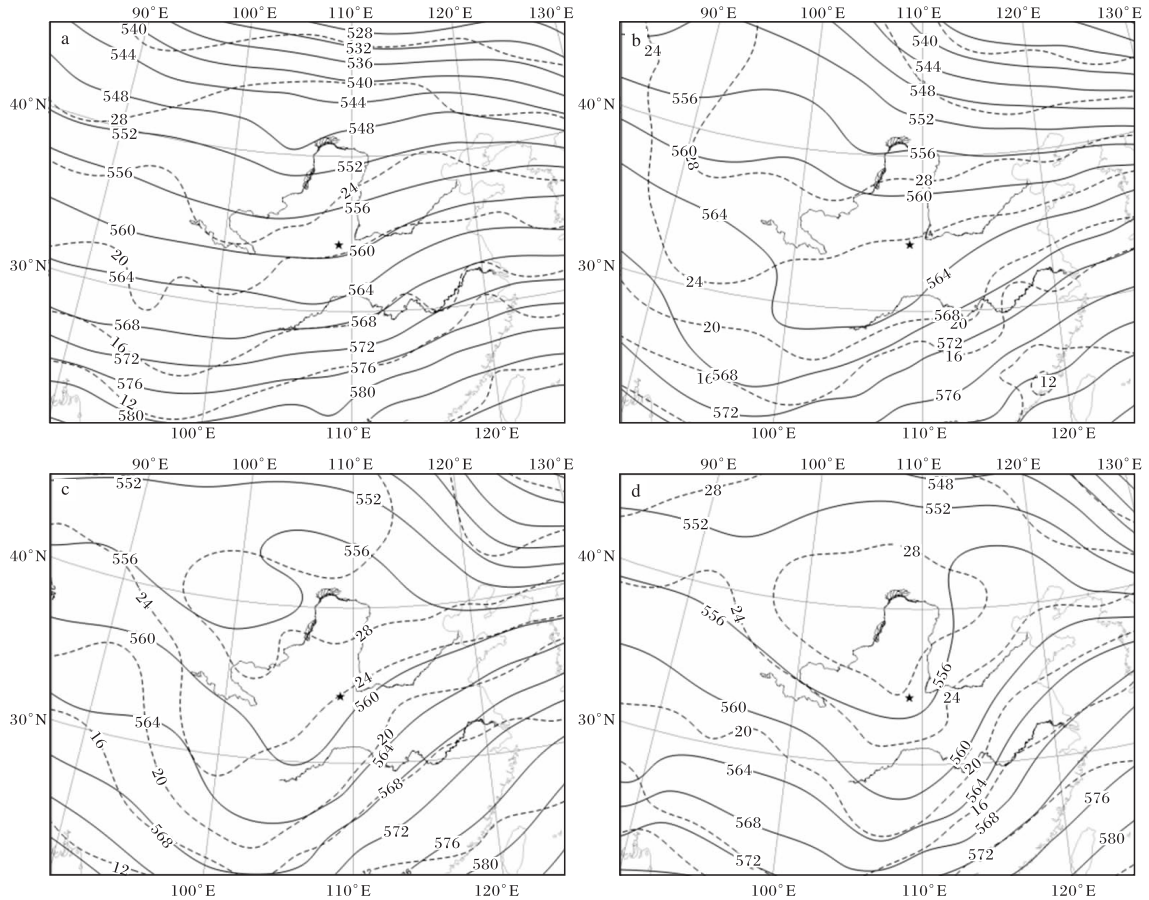


图 2 2020 年 1 月 500 hPa 高度场(实线,单位为 dagpm)与温度场(虚线,单位为 $^{\circ}\text{C}$)叠加图(a 21 日 08 时, b 24 日 20 时, c 25 日 20 时, d 26 日 08 时;★为西安所在位置)

出现了持续约 18 h, 风速 ≥ 3.0 m/s 的偏东风, 较大风速加强了边界层内的湍流扩散, 颗粒污染物质量浓度迅速下降。

3.2 层结稳定度

20 日 08 时, 西安地区大气层结稳定, 925 hPa 以下存在明显的逆温(图 4a), 且逆温接地。逆温层稳定维持至 23 日 08 时, 且高度始终处于 850 hPa 以下, 大气静稳, 相对湿度由 69% 增加到 79%, 有利于污染物吸湿增长, 颗粒污染物质量浓度逐渐升高。22—26 日污染期间, 西安近地面(850 hPa 以下)风速 < 4 m/s。23—25 日严重污染期间, 近地面风速 < 2 m/s, 风速弱, 风向以偏东风为主, 弱偏东风使污染物更易在关中平原聚集。同时, 中低层垂直风切变较弱, 大气垂直交换能力差, 不利于污染物对流扩散。26 日 08 时, 逆温层消失, 近地面风速加强至 9 m/s, 对污染物起到明显清除作用。

3.3 近地面气象要素

对污染期间 24 h 变压、2 m 气温、相对湿度和风与 AQI 进行相关分析。24 h 变压和 AQI 呈正相关性(图 5a), 在 20 日 00 时—24 日 00 时污染物积累期间, 24 h 变压与 AQI 呈一致上升趋势, 且以正变压为主。24 日 00 时开始 24 h 变压逐渐减小, 25 日 08 时出现负变压, 26 日 00 时 24 h 负变压为 -4.4 hPa, 此时 AQI 开始显著下降。以 6 h 时间步长计算得到 24 h 变压和污染物质量浓度的 Pearson 超前相关系数为 0.636, 表明 24 h 变压呈与污染物质量浓度的显著超前 6 h 正相关; 因此 24 h 变压的变化可以作为预报污染物质量浓度变化的指标之一。

从图 5b 可以看出, 前期(20—22 日)2 m 气温有明显的日变化, 在地面暖倒槽控制下, 日最高气温达 8°C 左右。23 日 08 时开始, 气温呈下降态势, 而最低气温明显高于前期, 日变化幅度较小,

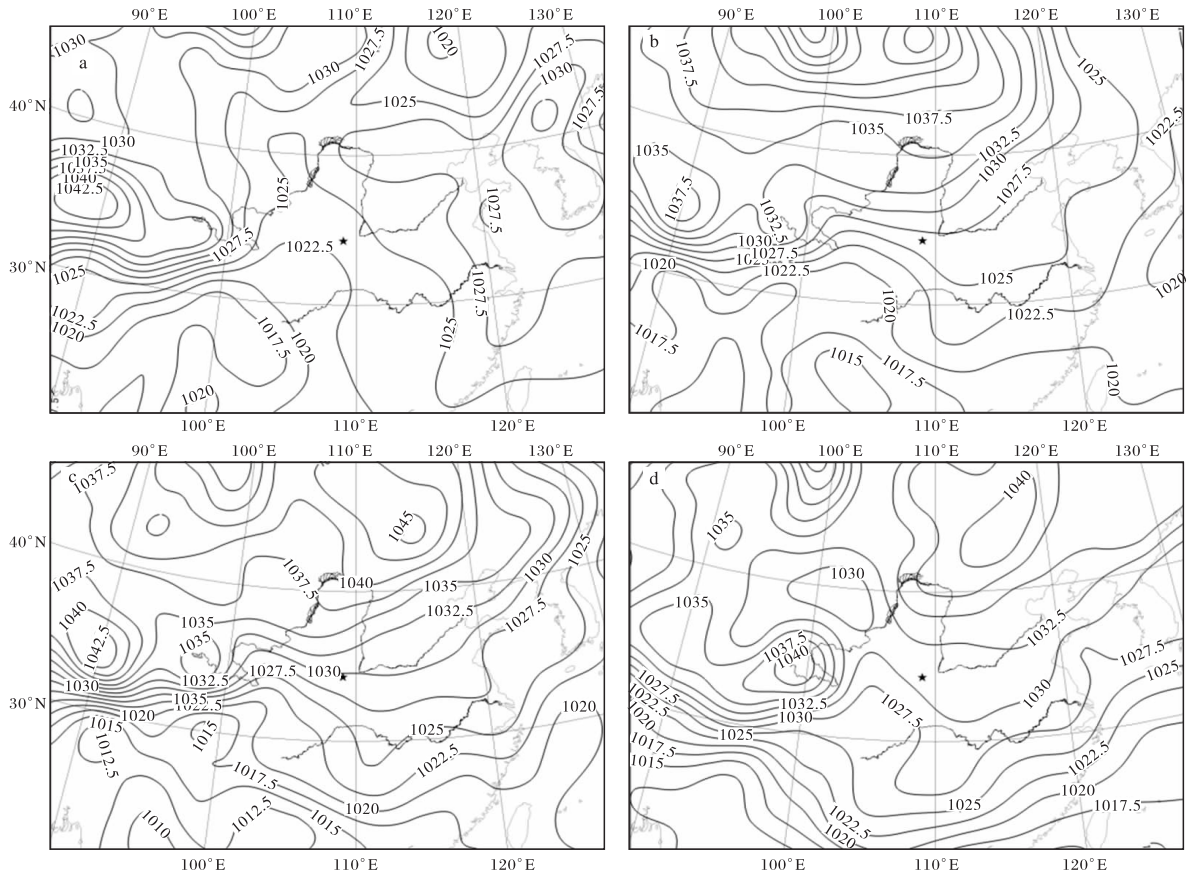


图3 2020年1月海平面气压场(单位为hPa;a 21日08时,b 23日08时, c 23日20时,d 25日20时)(★为西安所在位置)

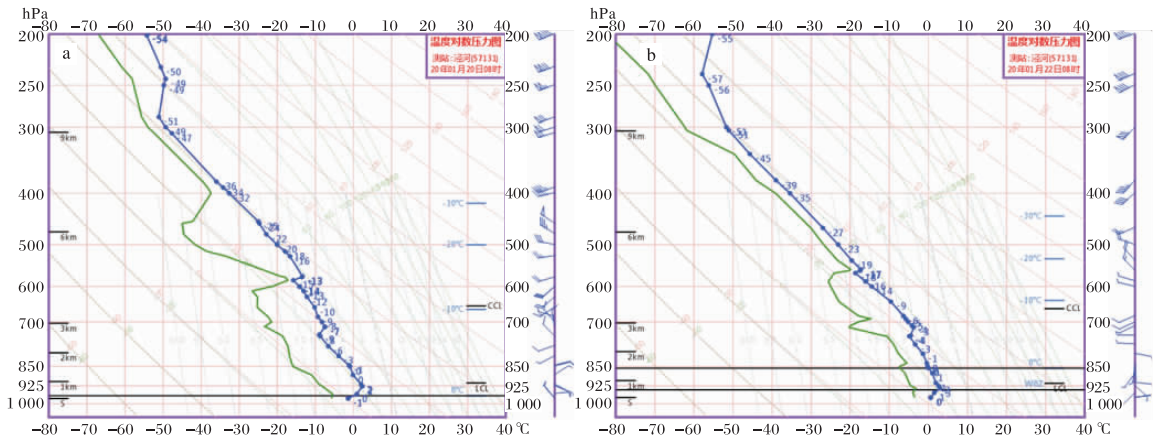


图4 2020-01-20T08(a)、2020-01-22T08(b)西安探空曲线

平均气温为 3.7 °C。24 日 08 时—26 日 20 时重度污染期间,气温与 AQI 呈现一定相关性,随着气温的日变化,AQI 也呈现出日变化的特征,计算得到 2 m 气温和污染物质量浓度的 Pearson 同步相关系数为-0.153,表明气温变化和污染物质量浓度变化呈一定的同期反相关。

21—26 日重污染过程期间,西安地区平均相

对湿度为 84%,其中 84%的时段相对湿度达到 70%以上,57%的时段相对湿度达到 80%以上,仅 8%的时段相对湿度低于 60%,说明重污染期间有超过一半的时间为高湿状态。已有的研究表明,高湿条件下污染物粒子吸湿增长,同时产生非均相反应,生成更多气溶胶,使污染加重^[14]。

西安单站风玫瑰图(图 6a)显示,21—26 日期

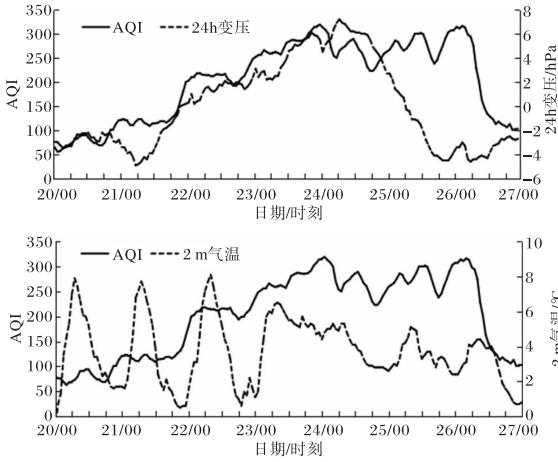


图5 2020-01-20—27 西安空气质量指数(AQI)与24 h 变压(a)和2 m 气温(b)的时间变化

间高频风向为西北风,其次为偏东风和南风,其他风向频率较少,且整个过程中2 min 平均风速小于2m/s,不利于污染物扩散。同时弱风速有利

于污染物在充足的时间进行二次转化,从而污染物加强并持续。从地面风速与AQI 叠加分布图(图6b)可以看出,地面风速介于0.5~1.0 m/s 之间时,除北西北风外,其他风向的AQI 普遍较高,达200 以上,最大达到250 以上。当地面风速为1.5 m/s 左右时,西北风、东北风、偏南风风向下的AQI 也达250 以上。虽然偏东风频率次于西北风,但在东东北风向下AQI 达到了最大(300 以上),表明偏东风对污染物的积累起到了重要作用。整体而言,地面风速较小,不利于污染物向区域以外平流输送,污染物易在大气低层聚集。

4 大气重污染传输特征

使用HYSPLIT 模式进行西安72 h 气团100 m、500 m 和1 500 m 高度的后向轨迹分析(图7)。24 日08 时,100 m 上气团从偏北方向向本地输送,并在南移过程中打转、拐弯,其轨迹长

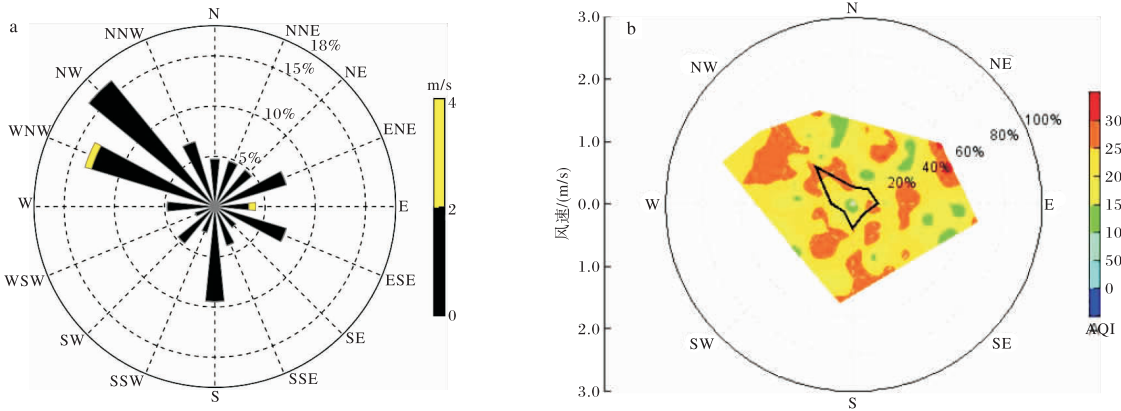


图6 2020-01-21—26 西安重污染过程地面风玫瑰图(a)以及地面风速(实线)与AQI 分布(填色)图(b)(圈线为风向频率)

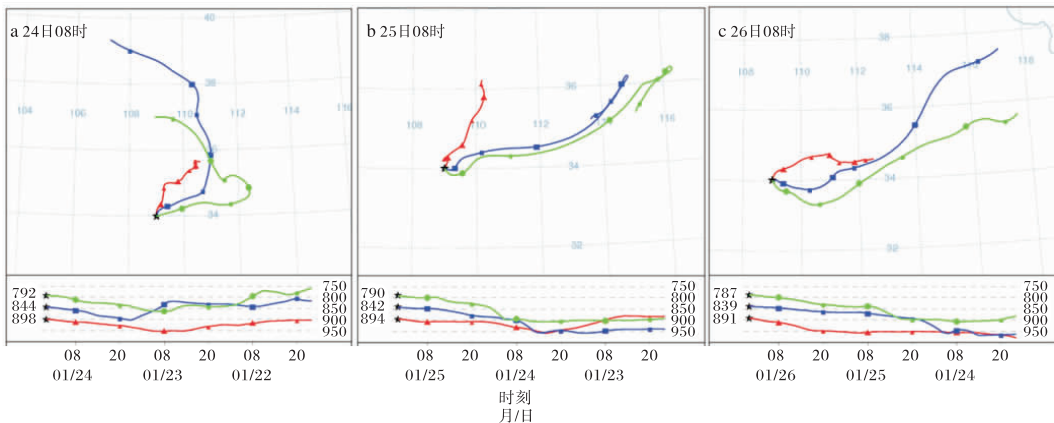


图7 2020-01-24—26 的100 m(红线)、500 m(蓝线)和1 500 m(绿线)高度72 h 后向轨迹(★为西安所在位置)

度短,气团移速慢;500 m 上气团轨迹传输距离较长,主要来自偏北方向;1 500 m 上气团先由西路到达河南一带,再通过向西传输至西安地区。25日08时,近地层100 m 上气团来自偏北方向,500 m 和1 500 m 上气团来自偏东方向。26日08时,三层气流均来自偏东方向。综合来看,72 h 气团主要方向为自东向西,此次污染过程的输入污染主要来自于河北、山西与河南一带。

5 结论

(1)500 hPa 中高纬地区以纬向环流为主,850 hPa 有暖平流,地面弱气压场是大气污染前期的典型天气形势。中高层大气处于静稳状态,暖平流利于形成暖空气盖和逆温层,使得底层大气层结更加稳定,地面风场较弱,不利于污染物向区域以外平流输送,污染物更易在近地面层聚集,造成污染物质量浓度迅速攀升。

(2)在整个污染期间,24 h 变压和污染物质量浓度存在6 h 的显著超前正相关,24 h 变压的变化可以作为预报污染物质量浓度变化的指标之一。2 m 气温和污染物质量浓度呈现一定的同期反相关,低气温不利于污染物的扩散。高湿条件下,污染物粒子的吸湿增长作用使污染程度加重。前期弱的偏东风对污染物增长起到了上游输送作用,污染后期较长时间内偏东风的增强加强了边界层内湍流交换,利于污染物的扩散。

(3)此次重污染过程的输入污染主要来自河北、山西与河南一带,自东向西向关中平原地区输送污染物颗粒。

参考文献:

- [1] ZHAO S, ZHANG H, XIE B. The effects of El Niño - Southern Oscillation on the winter haze pollution of China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, 18(3): 1863.
- [2] 吴兑,吴晓京,李菲,等. 1951—2005年中国大陆霾的时空变化[J]. *气象学报*, 2010, 68(5): 680-688.
- [3] 高超群,秦媛,易秀. 关中地区大气污染现状及特征分析[J]. *应用化工*, 2017, 46(7): 1394-1397.
- [4] 黄鑫,李亚丽,王靖中,等. 1980—2016年陕西省冬季霾日数时空变化及增多成因初探[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(9): 3671-3681.
- [5] 王红军,何晓媛,苏静,等. 关中区域主要大气污染物时空分布特征分析[J]. *陕西气象*, 2020(3): 23-30.
- [6] 江泉,曹莹雪,杨建军. 气候变化对陕西省大气污染潜势的影响[J]. *环境工程技术学报*, 2017, 7(3): 278-284.
- [7] 吉庆,武麦凤,何林,等. 渭南市2015—2017年典型霾天气过程气象特征分析[J]. *陕西气象*, 2019(6): 12-18.
- [8] WEHNER B, WIEDENSOHLER A. Long term measurements of submicrometer urban aerosols: statistical analysis for correlations with meteorological conditions and trace gases[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2003, 3(32): 867-879.
- [9] 郭晓宁,王钰,马秀梅,等. 半干旱区一次典型沙尘重污染天气过程分析:以青海东部为例[J]. *环境科学学报*, 2021, 41(02): 343-353.
- [10] 尹晓梅,蒲维维,王继康,等. 北京地区2019年2—3月供暖结束前后两次污染过程特征分析[J]. *环境科学*, 2021, 42(5): 2110-2120.
- [11] 战杨志豪,谢旻,罗干,等. 2018年冬季南京重霾污染特征及气象因素分析[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(11): 4038-4047.
- [12] 李莉莉,朱莉娜,闫耀宗,等. 绥化市一次空气污染过程及潜在源区分析[J]. *环境科学学报*, 2020, 40(10): 3785-3793.
- [13] 王旭东,尹沙沙,杨健,等. 郑州市臭氧污染变化特征、气象影响及输送源分析[J]. *环境科学*, 2021, 42(2): 604-615.
- [14] 张小曳,孙俊英,王亚强,等. 我国雾-霾成因及其治理的思考[J]. *科学通报*, 2013, 58(13): 1178-1187.