

蒋伊蓉. 榆林市辐射型浓雾天气成因及维持机制个例分析[J]. 陕西气象, 2021(3): 15-20.

文章编号: 1006-4354(2021)03-0015-06

榆林市辐射型浓雾天气成因及维持机制个例分析

蒋伊蓉^{1,2}

(1. 榆林市气象局, 陕西榆林 719000;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 西安 710016)

摘要: 利用逐 5 min 地面观测资料、探空资料、风云四号卫星云图以及 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 分析 2020 年 2 月 1—2 日出现在榆林市的一次浓雾天气成因及维持机制。结果表明: 此次浓雾属于辐射雾, 发生在 500 hPa 为较平直纬向气流, 700 hPa 和 850 hPa 盛行弱偏北风, 地面处于均压场中的大尺度环流背景下。大雾出现前雾区有降雪, 降雪后空气湿度达到饱和, 地面维持 3 m/s 以下弱偏北风, 夜间辐射降温, 气温下降至露点温度, 饱和水汽凝结成小水珠, 大雾得以形成和发展; 雾区上空 850 hPa 上逆温层稳定存在, 影响动量的垂直交换, 使得水汽在近地层长时间集聚, 是浓雾得以维持 12 h 的主要原因; 日出后地面气温回升, 近地面动量下传和冷空气入侵, 垂直扩散增强, 浓雾得以快速消散。分析浓雾期间动力和水汽条件发现, 大雾出现前, 水汽在雾区上空辐合, 为大雾的形成提供了水汽基础; 大雾维持阶段, 雾区上空层结稳定, 近地面有逆温层存在; 大雾消散阶段, 逆温层被破坏, 低层转为辐散气流, 浓雾快速消散。

关键词: 辐射雾; 逆温层; 水汽辐合; 稳定层结

中图分类号: P426.4

文献标识码: A

雾是指悬浮在近地层空气中的大量小水滴或冰晶使水平能见度降到 1 km 以下的天气现象。春、冬季是陕北大雾高发季节, 大雾对交通运输等造成不利影响, 对人民生命财产安全也有严重危险。目前专家学者对我国很多地方大雾的生消机制、边界层特征以及微物理过程等进行了大量的研究^[1-8]。刘熙明等^[4]指出北京地区大雾是在较大湿度、较小风速和风速垂直切变、稳定层结以及较低气温的边界层特征下形成的。李美琪等^[5]研究冀中南一次持续性大雾过程发现, 稳定纬向环流背景下, 弱短波槽快速东移是促使大雾形成、雾区范围扩大及强度增强的主要原因之一。高宇等^[6]指出暖湿空气输送和逆温层稳定是内蒙古兴安盟大雾维持的有利条件, 而冷涡前部强上升区使近地面湿度条件减弱是大雾消散的主要原因。王庆等^[7]对济南一次平流辐射雾的微物理结构

及演变特征进行了研究讨论。对陕西大雾也有不少研究^[8-15], 且近几年气象工作者更关注雾霾天气的研究^[16-18], 如贺皓等^[9]、潘留杰等^[10]和王雯燕等^[11]对陕西大雾的气候特征及可能的成因进行了分析研究, 段桂兰等^[12]、林杨等^[13]和刘瑞芳等^[14]分别对陕西一次大雾天气的生消机制和天气特征进行分析。这些工作都侧重于全省或是关中、陕南地区的大雾天气; 而陕北由于它特有的地理位置和地形, 大雾天气多半并不与其他地区同时出现, 其形成、发展和维持机制或也不同于其他地区, 故需要进一步的研究以解决此类困惑。

本文利用逐 5 min 地面观测资料、探空资料、风云四号卫星云图以及 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料, 对 2020 年 2 月 1—2 日出现在陕北榆林市的一次浓雾天气过程的天气尺度环流背景, 地面温、

收稿日期: 2020-06-12

作者简介: 蒋伊蓉(1989—), 女, 汉族, 陕西定边人, 硕士, 工程师, 从事天气预报及研究。

基金项目: 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究基金项目(2020Y-6)

压、湿、风等特征以及边界层热力、动力和水汽条件等方面进行了分析,探讨了本次浓雾形成原因及维持机制,以期为陕北地区的大雾预报提供一些思路和方法。

1 大雾实况

2020年2月1日夜间至2日上午,位于陕北的榆林市除西部3站未出现大雾天气外,其余地区均出现了能见度小于500 m的大雾(图1),其中有6站出现能见度小于200 m的浓雾,子洲能见度最小仅有55 m,浓雾持续了12 h。

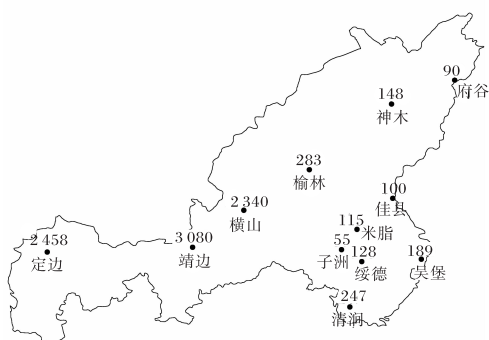


图1 2020-02-01T08—02T20 榆林市最小能见度(单位为m)分布

2 环流背景

2月1日08:00(图略),500 hPa 亚洲中高纬度呈一脊一槽型,乌拉尔山以东为一高脊,贝加尔湖至东北为一低槽,我国中低纬度处于纬向气流中,河套西部有一浅槽,700 hPa 和 850 hPa 与之配合有切变线,地面图上西南地区至陕北有倒槽发展,受系统东移影响,1日14:00—20:00 陕北地区出现降雪天气。1日20:00,500 hPa 低槽移

出陕北,新疆东部至河套地区转为西西北气流控制(图2a),850 hPa 转为弱偏北风(图2b),并有暖温度脊配合。海平面气压场上陕北转为均压场控制(图2a),地面风速较小。在这样的环流背景下,没有强冷空气活动,加之降雪过后近地层空气湿度近于饱和,夜间辐射降温水汽凝结,故而出现浓雾天气。2日08:00(图略),500 hPa 上贝加尔湖冷涡东移南压,陕北上空环流经向度加大,引导地面冷高压东移南下,陕北位于冷高压前部梯度大值区内,地面风速加大,浓雾随之消散。

3 地面气象要素特征

以子洲为例,分析此次大雾过程地面气象要素逐5 min 变化特征(图3)。根据此次大雾过程的演变,将其分为4个阶段来讨论。第1阶段为降雪前(1日08:00—14:00)。此时陕北地面受低压控制,盛行偏东偏南气流,输送暖湿空气,气温逐步上升,能见度在10 000 m 以上。第2阶段为降雪时段(1日14:00—22:00)。随着低槽东移陕北降雪,地面气象要素也随之变化,气温下降,湿度近于饱和,风向由偏东偏南转为偏西偏北,风速维持较小,能见度下降至1 000 m 左右。第3阶段为大雾发展阶段(1日22:00—2日10:00)。1日22:00,降雪结束,地面空气湿度达到饱和,地面盛行偏西偏北风,风速小于3 m/s。从卫星云图上看(图略),此时天气基本放晴,非常有利于地面辐射降温。气温降低至-2℃以下,达到露点温度,能见度由1 000 m 左右迅速降至200 m 以下,随后气温仍在不断下降,能见度维持在200 m 以下直至次日10:00,长达12 h。由此可见,饱和

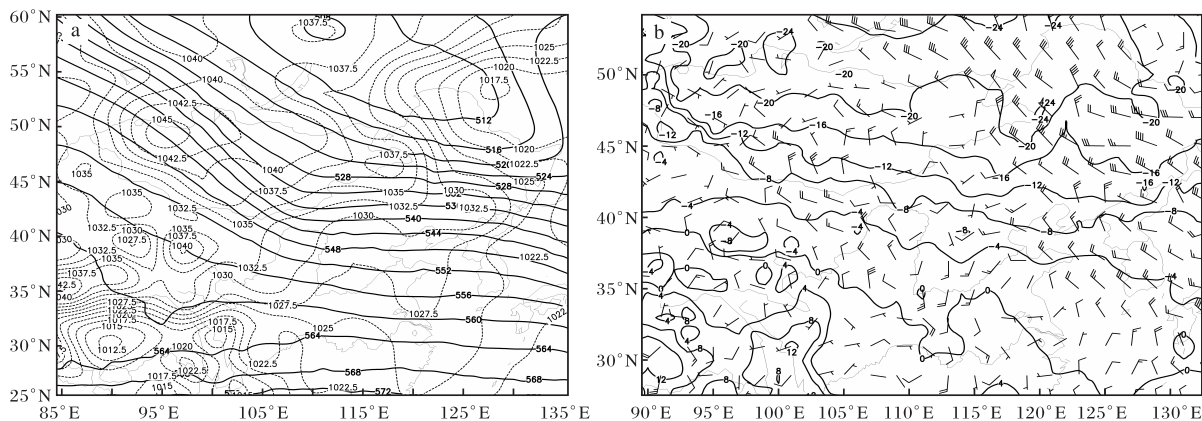


图2 2020-02-01T20 500 hPa 位势高度(实线,单位为dagpm)和海平面气压(虚线,单位为hPa;a)、850 hPa 风场(风向杆,单位为m/s)和温度场(实线,单位为℃;b)空间分布

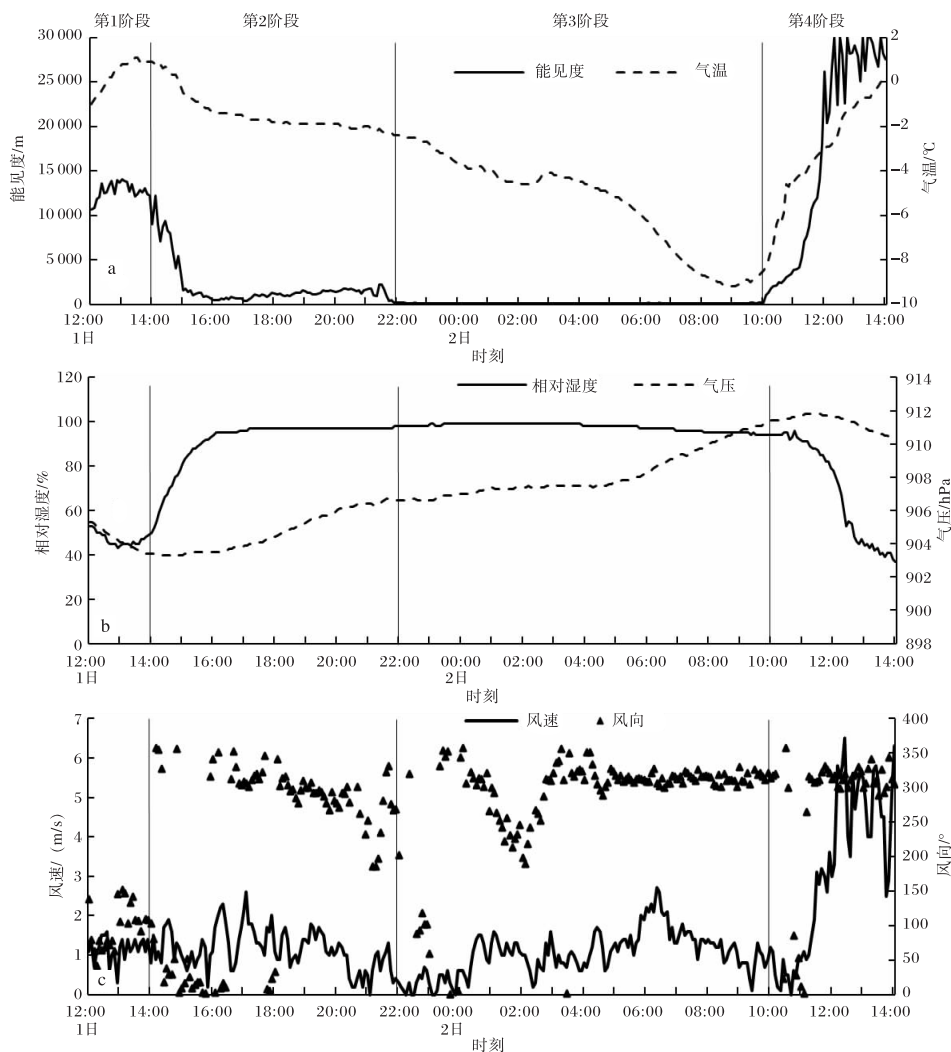


图3 2020-02-01T12—02T14 子洲站逐5 min 气象要素演变(a 能见度和气温, b 相对湿度和气压, c 风速和风向)

湿空气、较小的风速是浓雾形成的必要条件,而气温下降至凝结点浓雾发展的触发条件。第4阶段为大雾消散阶段(2日10:00—14:00)。日出后(09:00),气温迅速回升,而能见度对气温的响应时间有所滞后,10:00能见度才明显上升,11:00上升至3 000多米;11:00后,气温上升速度变缓,但能见度却急剧上升至20 000 m以上。对照此时的地面风速发现,风速从1 m/s迅速增加至6 m/s,说明此时地面冷高压前部到达陕北,冷空气入侵,地面气压升高,风速增大,湿度降低是能见度迅速升高的主要原因。

4 边界层特征

4.1 温度层结

图4为1日08:00至3日02:00过子洲站

(110.05°N, 37.6°E)的风、湿度、温度和温度平流的时间-高度剖面图。从图4a可以看出大雾出现前(第1和第2阶段),大气整层接近饱和,中高层(850~500 hPa)为西南风,低层(850 hPa以下)为偏东风,整层为暖平流,陕北出现降雪。进入第3阶段,随着低槽东移,降雪结束,中高层转为偏西偏北风,风速有所增加,湿度明显降低,冷平流明显,配合卫星云图(图略)看高空云量显著减少;低层也转为偏北风,但风速较小(2~4 m/s),湿度维持在60%以上。分析温度平流(图4b),850 hPa的强度($-2 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C/s}$)较其上下层(分别为 -10×10^{-5} 、 $-6 \times 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C/s}$)要弱得多,说明850 hPa的降温没有其上下层的强,这样就在850 hPa上形成了逆温层“暖盖”,抑制了动量、热量的垂直交换,从

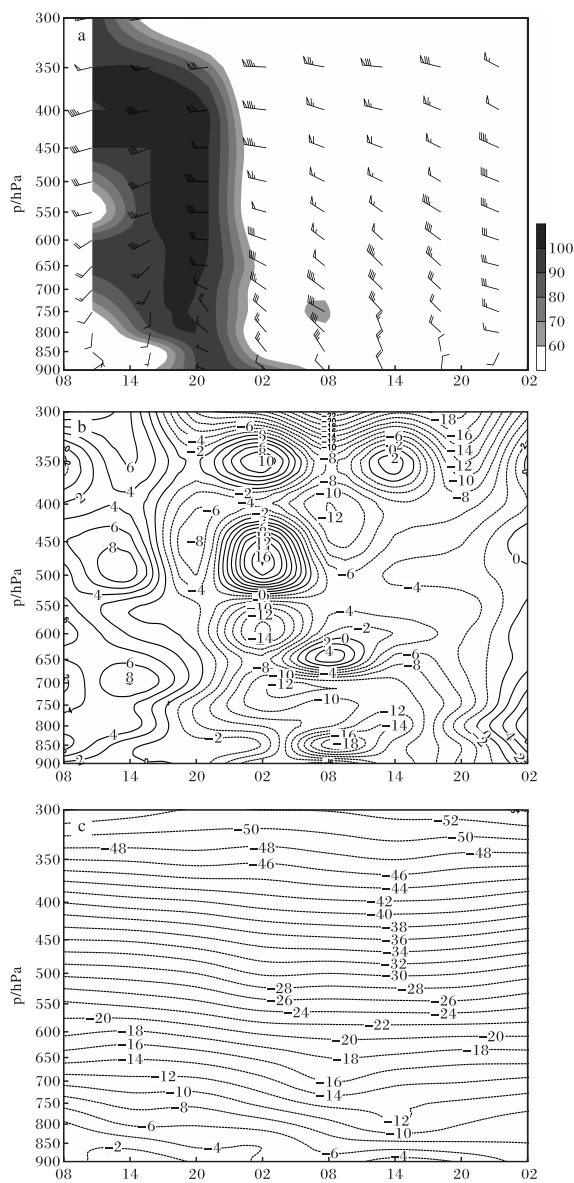


图4 2020-02-01T08—03T02 过子洲站的风(风向杆, 单位为 m/s)和湿度(% ,阴影;a)、温度平流(单位为 $10^{-5}^{\circ}\text{C}/\text{s}$,b)、气温(单位为 $^{\circ}\text{C}$,c)的时间-高度剖面

而保证近地面水汽的集聚和弱风速的维持。从图 4c 可以看出,2 日 02:00 前后,850 hPa 上有逆温层形成,分析 2 日 08:00 位于榆林市以南的延安站探空图也发现(图略),850 hPa 以下仍有浅薄逆温层存在。第 4 阶段,2 日 08:00 后,高层风速再次增大(图 4a),因动量下传,850 hPa 风速增至 14 m/s。图 4b 中冷平流中心随时间也向低层移动,850 hPa 冷平流增强至 $-16 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}/\text{s}$,冷平流降低了逆温层层顶的温度;而日出后地面升温快,暖盖逐渐被破坏,850 hPa 以下风速随动量下

传增加至 8 m/s,热量通过湍流向大气输送,雾滴开始蒸发,近地层湿度下降。结合图 3 地面气象要素变化可知,11:00 动量下传至地面,地面风速增加,浓雾减弱并趋于消散。综上可以看出,逆温层的稳定存在是浓雾维持的主要机制。

4.2 动力条件

图 5 为 1 日 08:00 至 3 日 02:00 过子洲站 (110.05°N , 37.6°E) 的垂直速度、散度和涡度的时间-高度剖面图。可以看出,第 1 和第 2 阶段,整层基本为辐合上升运动,将低层暖湿气流输送至高空,湿层增厚。第 3 阶段开始时(1 日 20:00),700 hPa 上下各有一垂直速度正负大值中心,其值分别为 -0.4 Pa/s 和 0.3 Pa/s (图 5a),而负值中心位置对应散度图上的弱辐散(图 5b)和涡度图上的正涡度中心(中心值为 $9 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,图 5c),说明 700 hPa 以上空气上升冷却,以下下沉增温,加之日落后地面辐射降温,有利于近地层逆温的形成。2 日 08:00,700 hPa 以上均为弱上升运动,以下为弱下沉运动,垂直速度为 $-0.1 \sim 0.1 \text{ Pa/s}$,散度上 700 hPa 以下基本为弱辐合区,值为 $(-2 \sim 0) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,涡度上整层基本为负涡度小值区,值为 $(-3 \sim 0) \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。说明此时大气稳定度增加,有效阻止了中低层大气的垂直交换,使得逆温层得以稳定维持,有利于低层水汽累积至饱和状态,也有利于浓雾的长时间维持,这与实况能见度在此期间维持在 200 m 以下有很好的对应。第 4 阶段(2 日 08:00 后),受中高层冷平流影响,600 hPa 下沉运动增加至 0.6 Pa/s ,800 hPa 以上转为辐合上升运动,以下转为辐散下沉运动,稳定层结被破坏,加之日出后太阳短波辐射使地面增温等共同作用,使得逆温层减弱直至消失,不利于浓雾的维持。

4.3 水汽条件

由图 3b 气压演变可知,浓雾过程期间地面气压为 902~912 hPa,说明 900 hPa 气压层可代表近地面,其水汽变化代表近地面水汽变化。图 6 为浓雾过程中 900 hPa 水汽通量散度分布。从图 6a 可看出,大雾出现前陕北地区处于水汽辐合区,且辐合区随时间自西向东伸展(图略),中心值达 $(-0.15 \sim -0.12) \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$,

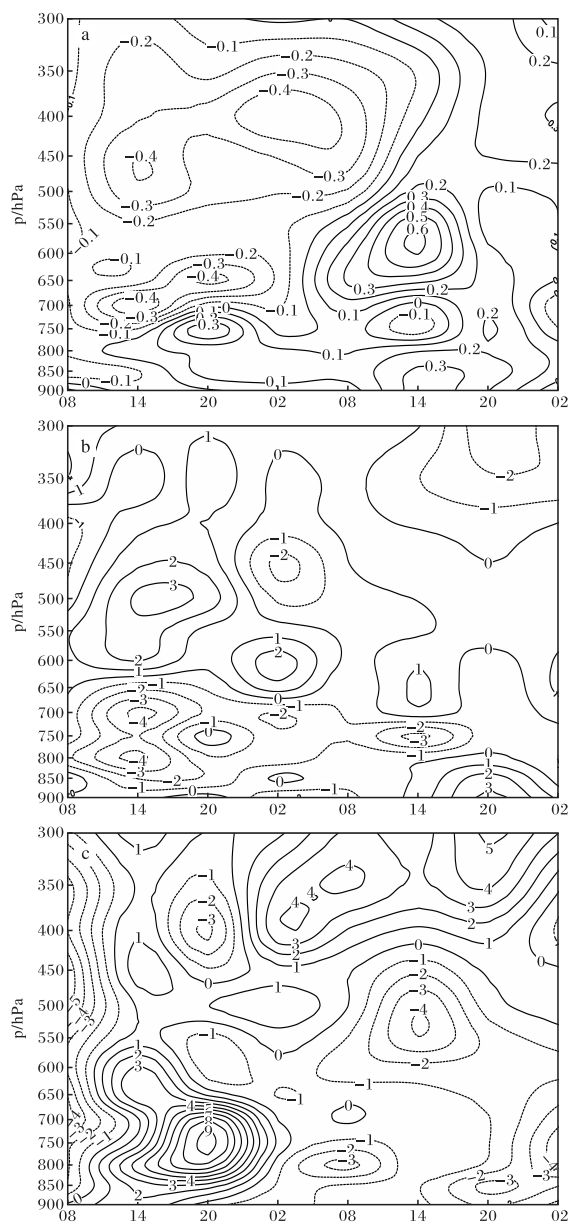


图5 2020-02-01T08—03T02 过子洲站的垂直速度
(单位为 Pa/s,a)、散度(单位为 10^{-5} s^{-1} ,b)和涡度
(单位为 10^{-5} s^{-1} ,c)时间-高度剖面

为大雾天气的形成提供了良好的水汽条件。浓雾发展和维持阶段,雾区无明显的水汽辐合和辐散,水汽聚集停滞,夜间气温降至露点温度时,水汽凝结,出现浓雾。浓雾减弱和消散阶段,雾区逐渐转为水汽辐散区,近地层水汽减少使得浓雾无法维持。由此可见,近地层水汽辐合是大雾形成的必要条件,而水汽辐散是大雾消散的主要原因之一。

5 结论

(1)陕北2020年2月1—2日的浓雾为辐射

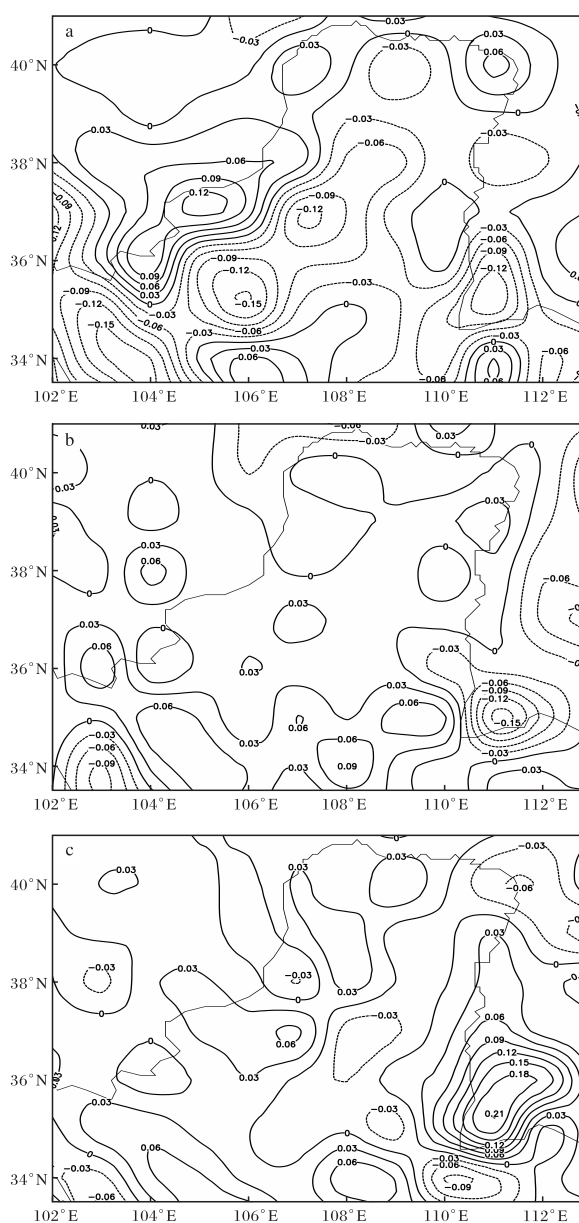


图6 2020-02-01—02 水汽通量散度场
(单位为 $10^{-7} \text{ g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})$;a 1日14时,
b 2日02时,c 2日08时)

雾。此次大雾发生在500 hPa为较平直纬向气流,700 hPa和850 hPa盛行弱偏北风,地面位于均压场中的大尺度环流背景下。

(2)大雾出现前雾区有降雪,降雪后空气湿度达到饱和,地面维持3 m/s以下的弱偏北风,夜间辐射降温,气温下降至露点温度,饱和水汽凝结成小水珠,浓雾得以发展并维持;日出后气温回升,热量通过湍流向大气输送,致使雾滴蒸发,加上冷空气入侵,地面风速增大,垂直扩散增强,有利于

浓雾快速消散。

(3)雾区上空 850 hPa 上逆温层稳定存在,影响了动量的垂直交换,使得水汽在近地面层长时间集聚,近地面为微风,浓雾持续 12 h。逆温层破坏后,浓雾也随之消散。

(4)浓雾出现前,水汽在雾区上空辐合,为大雾的形成提供了水汽条件;大雾维持阶段,雾区上空层结稳定,近地面有逆温层存在;大雾消散阶段,主要受动量下传和冷平流共同影响,致使逆温层被破坏,低层转为辐散气流,大雾很快被吹散。

参考文献:

- [1] 吴彬贵,张宏升,汪靖,等. 一次持续性浓雾天气过程的水汽输送及逆温特征分析[J]. 高原气象,2009,28(2):258-267.
- [2] 谢旻,王明,彭珍,等. 南京一次大雾过程边界层特征分析[J]. 环境科学与技术,2014,37(12):47-51.
- [3] 马翠平,吴彬贵,李云川,等. 冀中南连续 12 天大雾天气的形成及维持机制[J]. 高原气象,2012,31(6):1663-1674.
- [4] 刘熙明,胡非,邹海波,等. 北京地区一次典型大雾天气过程的边界层特征分析[J]. 高原气象,2010,29(5):1174-1182.
- [5] 李美琪,郭蕊,贾小卫,等. 冀中南一次持续性大雾过程成因及维持机制[J]. 干旱气象,2020,38(4):591-600.
- [6] 高宇,刘艳平,高红霞. 内蒙古兴安盟一次大雾天气过程特征[J]. 气象科技,2015,43(2):289-294.
- [7] 王庆,李季,潘明月,等. 济南一次平流辐射雾的微观物理结构及演变特征[J]. 气象,2019,45(9):1299-1309.
- [8] 周璞,张恬月,刘晓达. 成都双流跑道视程与低能见度的关系[J]. 陕西气象,2018(3):20-24.
- [9] 贺皓,吕红,徐虹. 陕西省大雾的气候特征[J]. 高原气象,2004,23(3):407-411.
- [10] 潘留杰,张科翔,张宏芳. 近 51 年陕西大雾的时空变化特征及可能的成因分析[C]//中国气象学会. 第 29 届中国气象学会年会论文集. 2012.
- [11] 王雯燕,张颖梅,曹红丽,等. 西安城区大雾气候特征分析[J]. 陕西气象,2014(3):20-22.
- [12] 段桂兰,王秀成,陶建玲. 2004 年冬季一次大雾天气过程分析[J]. 陕西气象,2005(4):16-18.
- [13] 林杨,沈桐立,邓小丽,等. 陕西冬季一次大雾天气生消机制的数值模拟研究[J]. 高原气象,2010,29(2):437-446.
- [14] 刘瑞芳,陈晓婷,屈丽玮. 陕西一次持续性大雾天气特征分析[J]. 安徽农业科学,2016,44(2):231-233.
- [15] 王丹,高红燕,白庆梅等. 西安咸阳国际机场专用高速公路雾的特征及影响因子[J]. 陕西气象,2018(2):16-20.
- [16] 陈欣昊,张蕾,杨晓春,等. 近五年周至空气污染气象条件分析[J]. 陕西气象,2019(1):29-32.
- [17] 徐娟娟,郝丽,王百灵,等. 关中一次重污染天气过程气象特征分析[J]. 陕西气象,2018(4):1-6.
- [18] 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.