

郭萍萍, 杨建才, 殷雪莲, 等. 甘肃省春季一次连续浮尘天气过程分析[J]. 干旱气象, 2015, 33(2): 303–309, [GUO Pingping, YANG Jiancai, YIN Xuelian, et al. Analysis of a Continuous Floating Dust Weather in Gansu Province in Spring[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(2): 303–309], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0303

甘肃省春季一次连续浮尘天气过程分析

郭萍萍¹, 杨建才², 殷雪莲¹, 郑学金¹

(1. 甘肃省张掖市气象局, 甘肃 张掖 734000; 2. 兰州中心气象台, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:2013年3月8~9日甘肃省出现了一次区域性的大风沙尘暴天气过程, 此后到14日甘肃中东部一直维持浮尘天气, 这样范围广、持续时间长的沙尘天气为近年来罕见。本文分析了此次沙尘天气过程的天气气候特征以及特殊气象条件对连续浮尘天气的影响, 并以兰州市为例基于 HYSPLIT-4 轨迹模式探讨了浮尘天气过程的沙尘颗粒传输特征。结果表明: (1) 前期暖干的气候背景有利于此次大范围沙尘天气的发生; (2) 8~9日冷锋后的偏北大风引发甘肃省出现区域性大风沙尘暴天气, 11日河西再次出现扬沙、沙尘暴天气, 沙尘粒子沿西北气流向下游地区输送, 致使12日河东出现浮尘天气的站数明显增多; (3) 9日大风沙尘暴天气过后, 甘肃省中东部边界层处在弱的偏东风环境中, 大气层结长时间较稳定, 沙尘污染物不易扩散; (4) 在连续浮尘天气期间, 甘肃省各地上空频繁出现逆温层, 且逆温层高度在9日沙尘暴天气过后有明显抬升, 阻挡了低层空气的上升运动, 以致沙尘粒子聚集在700 hPa以下。同时还发现, 边界层上部逆温层的逆温温差越大, 厚度越厚, 造成浮尘天气的强度越强; (5) 兰州市9~10日出现的浮尘天气起源于8日河西走廊及蒙古地区的沙尘暴, 11日河西走廊再次爆发的沙尘暴天气对河东的浮尘天气影响较大。此外, 10~13日陕西南部也出现了浮尘天气, “东高西低”的地面形势使此地上空漂浮的沙尘粒子处在偏东风的环境中, 对甘肃中东部地区的浮尘天气有一定的回流输送作用。

关键词: 沙尘暴; 浮尘天气; 逆温层; HYSPLIT-4 轨迹模式

文章编号: 1006-7639(2015)-02-0303-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-02-0303

中图分类号: P458.1⁺2

文献标识码: A

引 言

气象学中将沙尘天气分为浮尘、扬沙和沙尘暴3种。叶笃正等^[1]在研究沙尘天气的成因后指出: 沙尘暴和扬沙天气发生的2个条件是足够强劲持久的风力和地表丰富松散干燥的沙源。然而, 浮尘天气发生的气象和环境条件与扬沙和沙尘暴有较大区别, 它是在无风或风力较小的情况下, 尘土、细沙均匀地浮游在空中, 使水平能见度<10.0 km的天气现象。浮游的尘土和细沙多为远地沙尘经上层气流传播而来, 或为沙尘暴、扬沙出现后尚未下沉的细粒。虽然浮尘天气带来的破坏性较小, 但浮尘中沙尘气溶胶对大气环境有显著影响^[2-3], 严重影响人民群众的生产生活。

2013年3月8~11日, 受北方冷空气影响, 我国出现了一次大范围的沙尘天气, 其影响到了西北、

华北及黄淮大部分地区。此次区域性沙尘暴天气过程是近30 a来甘肃省出现沙尘天气范围最广的一次, 至14日全省大部分地方连续出现浮尘天气, 这样范围广、持续时间长的沙尘天气为近年来罕见。沙尘暴是甘肃省春季严重的灾害性天气之一, 由于破坏性强, 对其成因及日常业务预报等研究成果颇多^[4-7], 而对春季大范围的浮尘天气过程分析较少。因此, 本文分析了造成甘肃省此次连续沙尘天气的气候背景和大气环流形势演变、特殊气象条件对连续浮尘天气的作用, 并以兰州市为例, 探讨了浮尘天气期间沙尘的传输特征。

1 天气实况

1.1 沙尘天气实况

2013年3月8~14日, 甘肃省出现了一次大范围的大风、沙尘天气过程。期间有12站出现沙尘

收稿日期: 2014-05-13; 改回日期: 2014-09-23

基金项目: 西北区空气污染气象条件预报技术研究(CMAGJ2015M61)资助

作者简介: 郭萍萍(1980-), 女, 工程师, 现从事短期天气预报工作。E-mail: apple_33@163.com

暴,17 站出现扬沙,44 站出现浮尘。沙尘暴主要集中在 8 日的傍晚到 9 日的傍晚,覆盖了河西西部及平凉、庆阳等地区,此后 10~15 日全省以浮尘天气为主,11 日肃北、金塔、高台再次出现沙尘暴。

12 日河西首先结束沙尘天气,河东于 13 日以后浮尘天气逐渐减弱消散,到 15 日影响甘肃省长达 7 d 之久的沙尘天气结束。8~14 日全省代表站沙尘天气实况及能见度见表 1。

表 1 2013 年 3 月 8~14 日甘肃省代表站沙尘天气实况及能见度(单位:km)

Tab. 1 The observation and visibility during the dust weather process at representative stations in Gansu from 8 to 14 March 2013 (Unit:km)

站点	8 日	9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日
金塔	沙尘暴/0.6			沙尘暴/0.7			
高台	扬沙/4.0	扬沙/4.0	浮尘/8.0	沙尘暴/0.8	浮尘/6.0		
兰州		浮尘/4.0	浮尘/4.0	浮尘/4.0	浮尘/6.0	浮尘/7.0	浮尘/7.0
临夏		浮尘/8.0	浮尘/7.0	浮尘/7.0	浮尘/9.0	浮尘/9.0	浮尘/9.0
天水		浮尘/5.0	浮尘/5.0		浮尘/5.0	浮尘/7.0	
平凉		扬沙/5.0	浮尘/9.0		扬沙/7.0		
庆阳		沙尘暴/0.7	浮尘/8.0				

1.2 空气质量监测

此次浮尘天气持续时间长,大气中黄沙气溶胶浓度一度较高,使人感到胸闷、呼吸困难,严重影响了人们的生活及身体健康。以兰州市空气质量监测为例,3 月 9 日 08 时兰州市出现浮尘天气后气溶胶质量浓度迅速飙升,09 时达到峰值, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度分别为 $4\ 000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 $823.2\ \mu\text{g}/\text{m}^3$,此后 10~14 日浮尘天气维持期间, PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 质量浓度一直处在一个较高水平,直到 15 日以后随着浮尘天气的结束,气溶胶浓度逐渐降低。

2 天气背景分析

2.1 前期气候背景

春季是沙尘暴频发的季节,气温高、降水少、风力大是沙尘天气形成的主要原因。2013 年 2 月 23 日至 3 月 14 日降水距平百分率及气温距平(图略)可知:与历史同期相比,河西走廊降水普遍偏少 80% 以上,甘肃东部的大部分地方降水偏少 50%~80%;除了河西西部及甘南大部气温偏高 $2\sim4\ ^\circ\text{C}$ 外,甘肃省其余地方气温均偏高 $4\sim8\ ^\circ\text{C}$ 。因此,前期暖干的气候背景有利于此次大范围沙尘天气的发生。

2.2 环流形势及影响系统

2013 年 3 月 8~11 日有 2 股冷空气影响甘肃省。第一股冷空气 8 日 08 时南下进入北疆,形成中心为 $1\ 035\ \text{hPa}$ 的高压系统,随着冷高压主体向东推进,其前部冷空气于 14 时后影响新疆东部和南部、内蒙古西部、河西走廊,且上述区域相继出现大风沙尘暴天气。至 9 日 20 时,沙尘区域已经覆盖了西北大部、华北及黄淮北部等地,冷锋移动路径及沙尘天

气区域见图 1。10 日,地面高压继续东移进入华北地区,甘肃省处在高压西南侧,大部分地方地面风向为东南风(图 2a),甘肃河东及陕西南部在东南风作用下出现浮尘天气。11 日,西风气流中短波槽东移,槽后冷平流明显。第二股冷空气于 14 时进入河西西部后得到加强,大风卷起地面新的沙粒及先前漂浮在空中的尘粒,致使酒泉、张掖再次出现扬沙、沙尘暴,沙尘颗粒顺西北气流向下游地区输送,12 日河东出现浮尘天气的站数明显增多。13 日 08 时至 14 日 20 时,500 hPa 上空甘肃省为西北气流控制。从地面图上可看出,13 日 08 时到 15 日 20 时我国大陆地区一直维持“东高西低”的形势(图 2b),陕西南部到甘肃省河东大部近地面为弱的偏东风,导致沙尘污染物在此积累。15 日后东部高压入海,高原南支槽东移,河东地面露点温度明显增大,说明空气中水汽含量增多,有利于沙尘粒子的沉降。至此,影响甘肃省长达 7 d 之久的沙尘天气结束。

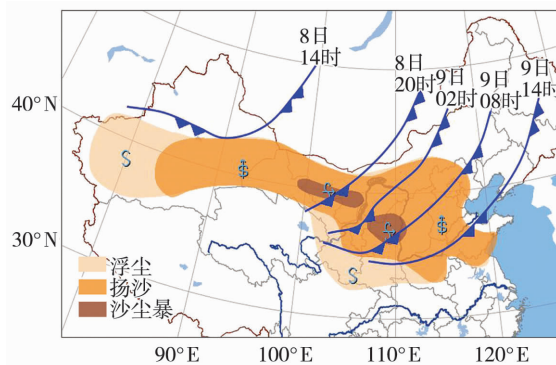


图 1 2013 年 3 月 8~9 日冷锋移动路径及沙尘区域
Fig. 1 The moving path of cold front and the dust area from 8 to 9 March 2013

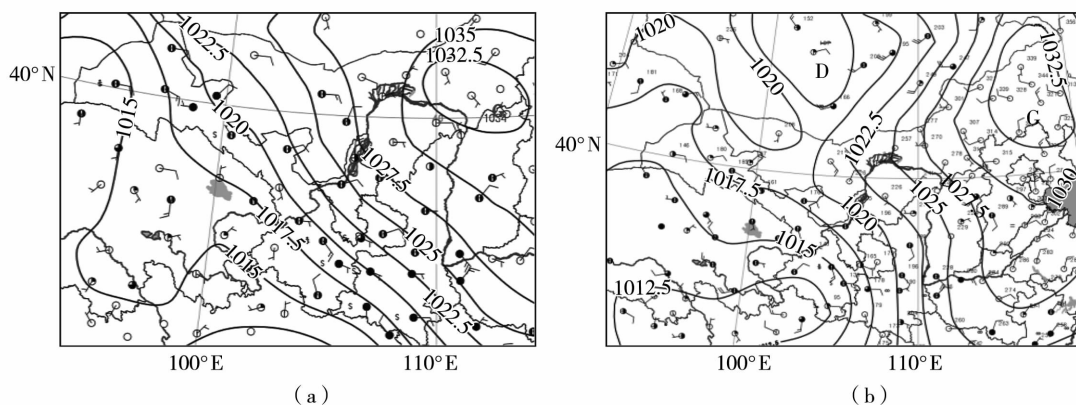


图2 2013年3月10日08时(a)和13日14时(b)地面天气图

Fig. 2 Surface synoptic charts at 08:00 on 10 March (a) and 14:00 on 13 (b) March 2013

3 连续浮尘天气气象条件

造成2013年3月8~14日甘肃省大范围连续沙尘天气的原因,最重要的是强冷空气南下引发南疆盆地及内蒙、河西走廊的大风、沙尘暴。此外特殊的气象条件也是形成连续浮尘天气的一个因素。首先,沙尘天气发生前一个月甘肃省降水偏少,气温偏高,使得裸露的地表有丰富的疏松土质;其次在持续浮尘天气期间,甘肃省中东部低空边界层处于弱风环境,地面风速小;再有3月9日第一股冷空气影响结束后,甘肃大部分地方低空边界层呈中性或弱不稳定,并持续长时间出现逆温层。这些气象条件都不利于沙尘粒子的沉降与扩散,使浮尘天气得以持续。这里分析了此次持续沙尘天气期间甘肃各站高空风向风速、温度层结及逆温层特征,其中以张掖为河西代表站,以榆中和平凉为河东代表站。

3.1 高空风场特征

从甘肃省探空站的高空风场可以看出(图略),在3月8日08时冷空气来临之前,各站上空风向随高度顺转,有暖平流,此后随着冷空气由西向东移动,8日20时到9日20时各站上空风向随高度逆转,冷平流明显,全省范围出现了不同程度的大风沙尘天气。3月10~14日各站高空风的时间剖面(图3)显示,10~11日河东各站500 hPa以下各层转为偏东风或偏南风,对沙尘粒子的扩散不利,而河西11日随着又一股冷空气的影响,700 hPa西北风风速增大到12 m/s以上,大风引发第二轮沙尘暴天气。12日08时到14日20时,张掖、平凉上空主导风向为西北风,而榆中700 hPa以下多偏东风或偏南风,且风速维持在8 m/s以下。由此可见,在9日大风沙尘暴天气过后,甘肃省中东部边界层长时间维持弱的偏东风或偏南风,易导致本地污染物的积累^[8],从而使浮尘天气持续。

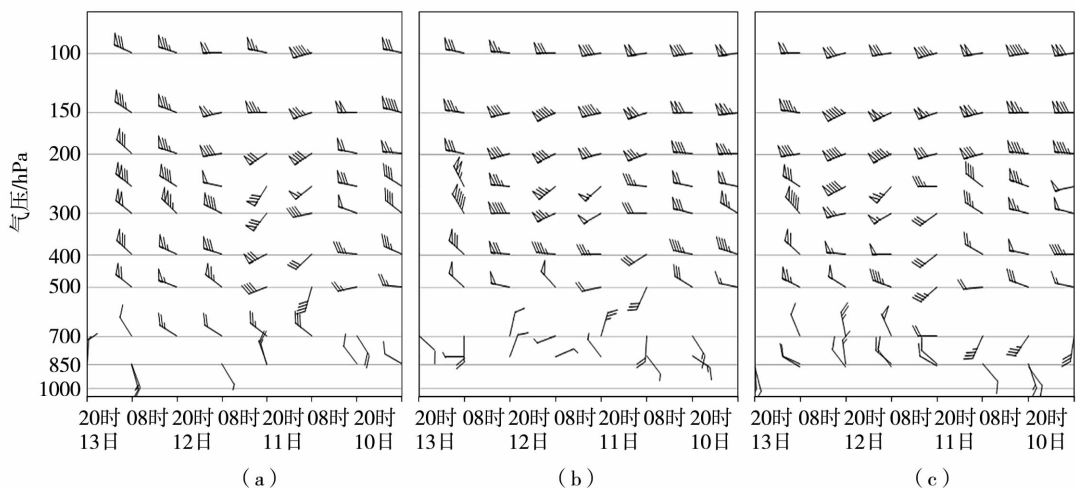


图3 2013年3月10~14日张掖(a)、榆中(b)、平凉(c)站风的时间—高度剖面图

Fig. 3 Time-height cross section of wind velocity in Zhangye(a), Yuzhong(b) and Pingliang(c) from 10 to 14 March 2013

3.2 边界层温度层结特征

大气层结的稳定性是形成沙尘暴的决定性因素之一,垂直温度梯度越大,大气层结越不稳定,越有利于沙尘暴天气的发生发展。而针对浮尘天气,近年来的研究指出稳定的大气层结是决定沙尘颗粒沉降的一个重要因素^[9-10]。以榆中为例,探讨此次连续浮尘天气过程期间边界层的温度层结特征。8日08时,榆中上空存在深厚的接地逆温层,大气层结非常稳定,但随着冷空气的渗透,逆温层被破坏,到9日08时700 hPa以下层结变得不稳定,且700 hPa以下偏北风速增大,有利于上游传输而至的高空沙尘粒子向低层湍流运动,兰州此时开始出现浮尘天气。10~11日08时,700 hPa附近出现逆温层,而700 hPa以下为中性或弱的不稳定层结,说明逆温层以下仍存在大气湍流,加之从地面到700 hPa主导风向为弱的东南风,沙尘污染物在兰州上空累积,并通过垂直湍流运动向地面扩散,因此10~11日兰州仍维持能见度仅为4 000 m的浮尘天气。12~14日,接地逆温层顶到700 hPa之间的温度垂直梯度增大,大气层结稳定性减弱,造成近地沙尘颗粒污染物的沉降能力大大降低,而逆温层顶之上的沙尘粒子垂直扩散运动加强,使得兰州浮尘天气得以维持但能见度逐渐趋于好转。

3.3 逆温层特征

当高空出现逆温层时,会阻碍空气的对流活动,进而使逆温层像顶盖一样抑制污染物的湍流输送^[11]。逆温层的存在对大气污染有很大的影响^[11-15]。李朝辉等^[16]对包头市环境监测数据分析发现,逆温直接影响PM₁₀及其他大气污染物的扩散;马井会等^[9]对上海地区一次连续浮尘天气过程分析指出,逆温层的高度与浮尘天气具有较好的对应关系,高度降低,浮尘天气强度增强。那么,2013年3月甘肃省出现的连续浮尘天气过程是否也存在逆温层,不同的逆温层顶高度、逆温层厚度对浮尘天气的影响又如何?为此,分析了此次持续沙尘天气过程前后甘肃省各探空站上空的温度廓线(图4)。

由图4可看出,全省除武都外各地白天基本上都有逆温层的存在,这可能与甘肃省特殊的地理环境及当地的气候条件有关。通过分析发现,在大风沙尘暴天气发生前后各地逆温层顶的高度及逆温层的厚度、逆温温差有明显的变化。7日和8日08时,沙尘暴爆发前全省各探空站近地面都存在深厚的逆温层,到9日08时,河西沙尘暴天气已经结束,酒泉、张掖、民勤、榆中上空仍然存在逆温层,但逆温层高度明显抬升至700 hPa附近,张掖逆温层顶甚

至到达625 hPa。9日20时,冷空气移出甘肃陇东南,与河西相同,10~11日河东各站逆温层高度也由近地面抬升至700 hPa附近,其中榆中、平凉在近地面和700 hPa出现了双层逆温。12~14日,全省为西北气流控制,各地逆温层再次出现在近地面。由此可见,甘肃省自西向东结束大风沙尘暴天气后,各地上空逆温层的高度都从近地面抬升至700 hPa附近,逆温层的抬升阻挡了低层空气的上升运动,使低层沙尘污染物聚集在700 hPa以下,从而使浮尘天气得以持续。此外,9~14日08时各探空站的逆温温差和逆温层厚度显示,此期间全省各站上空逆温层的厚度和逆温温差都维持在一个较高水平,其中榆中10日08时700 hPa附近的逆温层厚度超过800 m,逆温温差为5℃(图5);平凉11日08时700 hPa附近的逆温层厚度超过400 m,逆温温差为8℃(图4)。由此可见,在连续浮尘天气期间,甘肃省各地边界层频繁出现逆温层,使大气层结长时间处于更加稳定的状态,大气湍流作用较弱,非常不利于大气中沙尘颗粒物的稀释扩散^[9]。同时也表明,边界层上部的逆温层逆温温差越大,厚度越厚,维持时间越长,造成浮尘天气的强度越强。

4 沙尘传输特征

为了分析此次连续沙尘天气中沙尘粒子的传输路径特征,以兰州市为例,对9~14日的浮尘天气进行边界层低层的48 h后向轨迹分析。采用NOAA的HYSPLIT-4轨迹模式,资料为NCEP GDAS1 1°×1°资料。计算起始点设为兰州(36.05°N、103.88°E),距离地面高度设为150 m。从3月9~14日12:00(UTC)开始回算,每隔12 h重新启动一条新的后向轨迹。3月8日20时,标识点位于河西走廊西部,至9日08时标识点明显沿西北路径南下到达兰州市附近,这与实况完全相符(图6a)。10日20时,影响兰州的浮尘天气48 h沙源(图6b)在蒙古中部,可见兰州市9日开始出现的浮尘天气确实是由8日河西走廊及蒙古地区的沙尘暴引起的。12日20时和13日20时(图6d、图6e),兰州市12~13日浮尘天气48 h源地在河西走廊,说明上游河西走廊11日再次出现的沙尘暴对下游甘肃中东部地区的浮尘天气影响较大。14日20时(图6f),48 h源地在陕西南部,而此地不可能是沙尘暴的起源地,这只能说明11~13日陕西南部出现的浮尘天气是由北方沙尘的输送所致,大量沙尘粒子在此地上空滞留,后在偏东风的作用下回流至甘肃中东部地区。

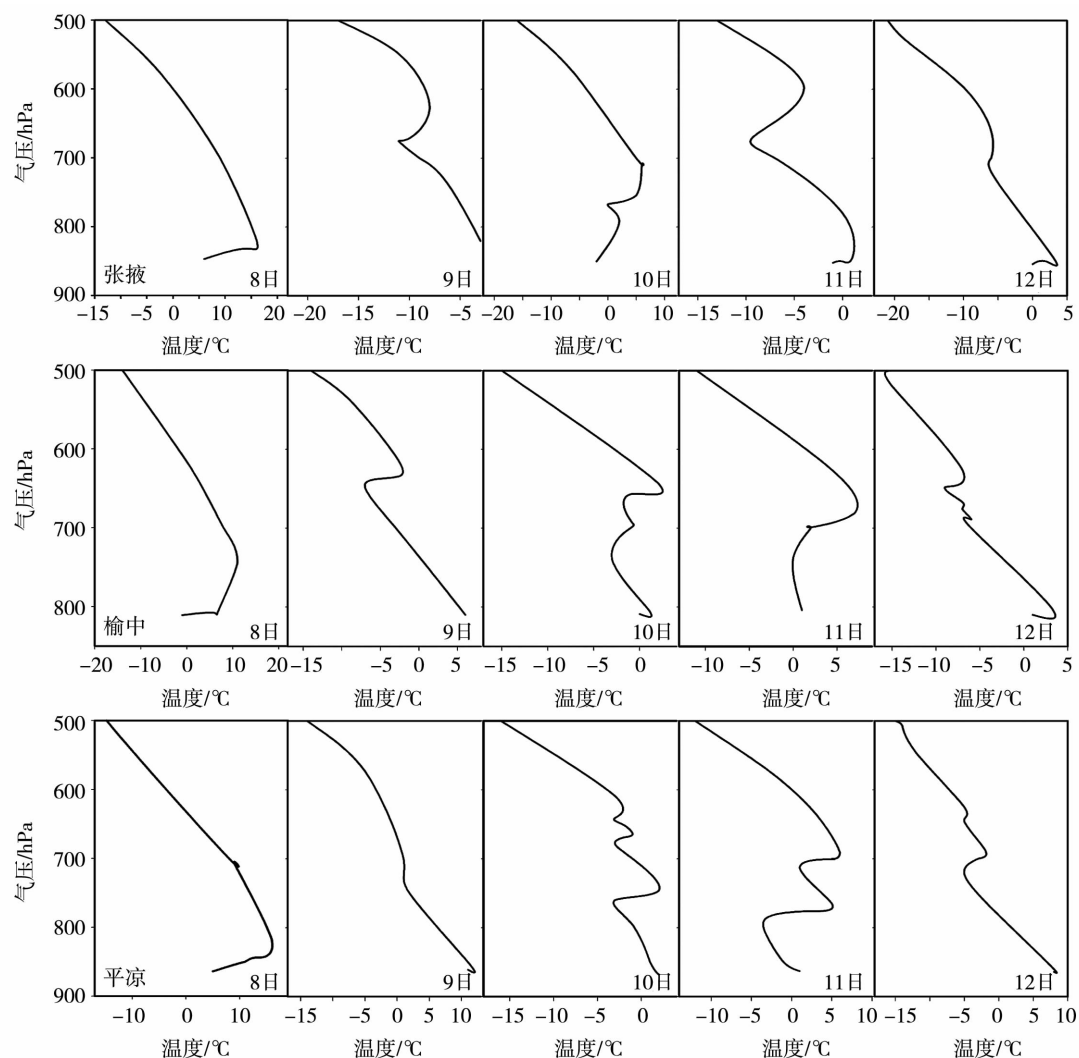


图4 2013年3月8~12日08:00张掖、榆中、平凉3站的温度垂直廓线

Fig. 4 Vertical profiles of temperature over Zhangye, Yuzhong and Pingliang at 08:00 BT from 8 to 12 March 2013

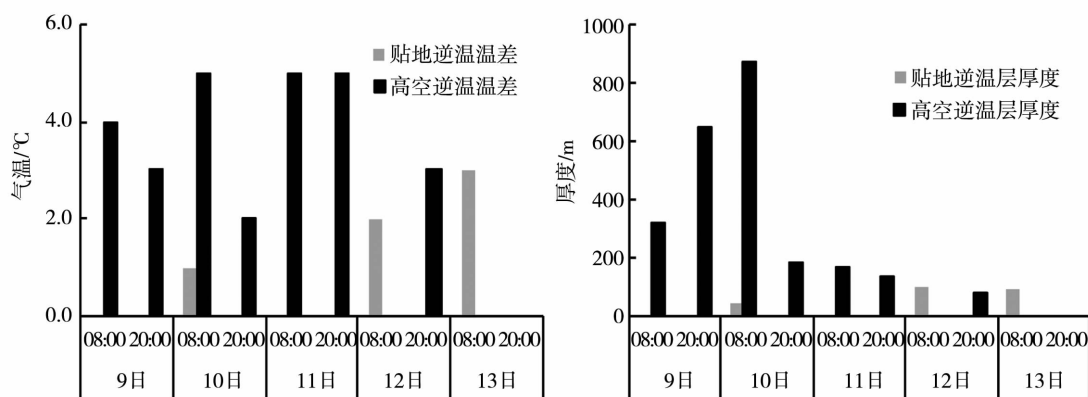


图5 榆中2013年3月9~13日逆温温差(左)与逆温层厚度(右)

Fig. 5 The temperature difference (the left) and thickness (the right) of inversion layer at Yuzhong station from 9 to 13 March 2013

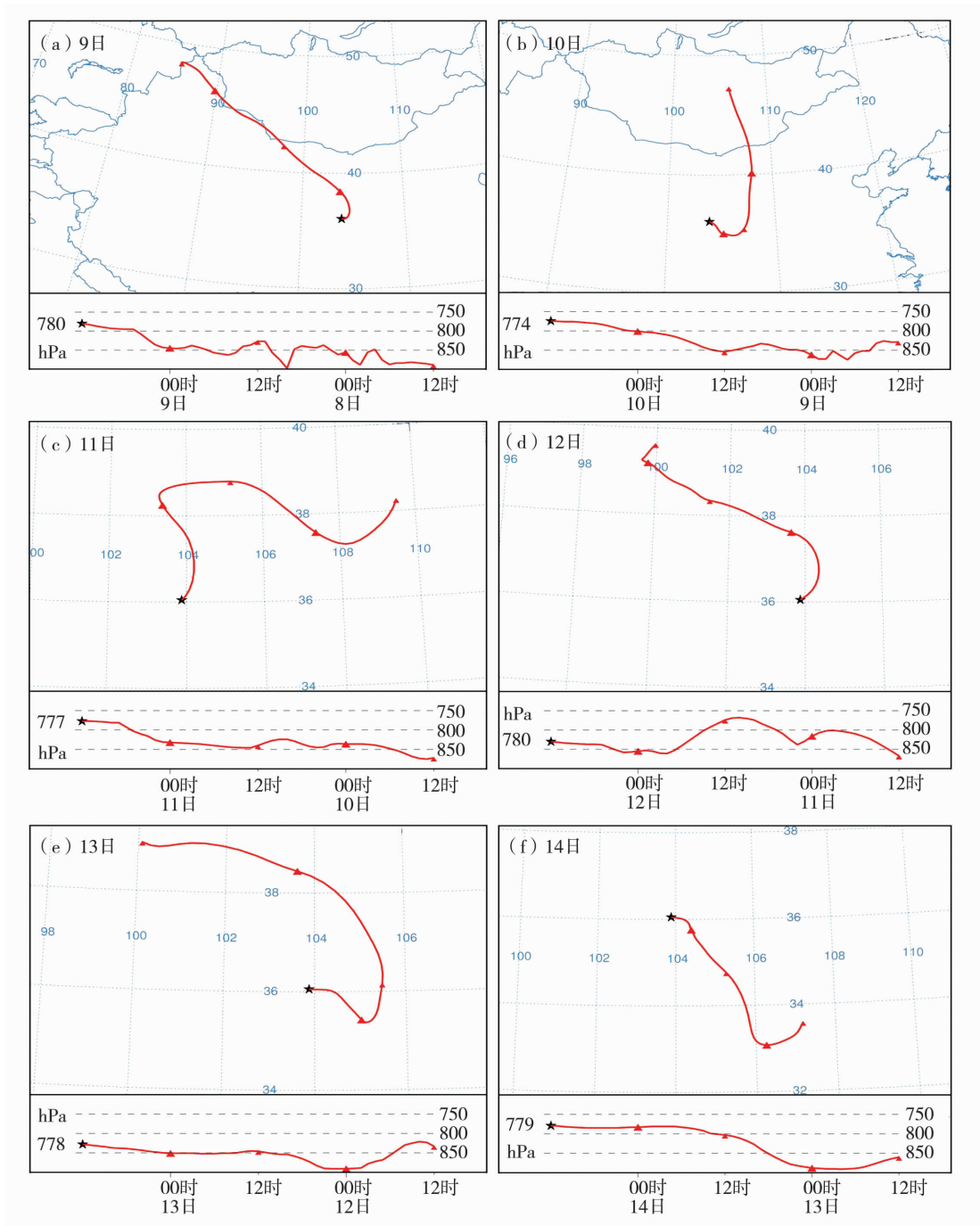


图6 2013年3月9~14日浮尘颗粒48 h HYSPLIT-4 后向轨迹模拟
(▲为标识点,★为兰州)

Fig.6 The back moving tracks of dust suspended particulates simulated by HYSPLIT-4 after 48 h from 9 to 14 March 2013
(▲ for label points, ★ for the location of Lanzhou)

5 结 论

(1) 2013年3月8~14日甘肃省出现大范围的持续沙尘天气,前期暖干的气候背景为沙尘暴天气的爆发提供了有利条件。冷锋后的偏北大风引发甘肃省8~9日区域性大风沙尘暴,10~14日全省以浮尘天气为主,期间11日河西再次出现沙尘暴天

气,沙尘颗粒沿西北气流向下游地区输送,对河东的浮尘天气影响较大。

(2)大风沙尘暴天气过后,甘肃省中东部边界层维持弱的偏东风或偏南风,近地面在“东高西低”的形势下也盛行偏东风,导致沙尘污染物在本地聚积不易扩散,从而使浮尘天气持续。

(3)在连续浮尘天气期间,甘肃省各地边界层大气层结较稳定,大气垂直湍流运动弱,不利于沙尘污染物的稀释沉降。9~14日各地上空频繁出现逆温层,且逆温层高度在9日沙尘暴天气过后从近地面明显抬升至700 hPa附近,阻挡了低层沙尘颗粒向高空扩散。此外,此期间边界层上部的逆温层逆温温差越大,厚度越厚,维持时间越长,造成浮尘天气的强度越强。

(4)HYSPLIT-4后向轨迹模拟结果表明,兰州市9~10日开始出现的浮尘天气起源于8日河西走廊及蒙古地区的沙尘暴,而11日河西走廊再次爆发的沙尘暴天气又给下游地区输送了大量的沙粒。同时陕西南部由于北方沙尘的输送,10~13日也出现了浮尘天气,此地上空漂浮的沙尘粒子在偏东风的环境下对甘肃中东部地区的浮尘天气有一定的回流输送作用。

参考文献:

- [1] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地理学报,2000,55(5):513-521.
- [2] 邱金桓,孙金辉.沙尘暴的光学遥感及分析[J].大气科学,1994,18(1):1-10.
- [3] Tegen I, Lacis A A. Modeling of particle size distribution and its influence on the radiative properties of mineral dust aerosol[J]. Journal of Geophysical Research, 1996,101(14):19237-19244.
- [4] 狄潇泓,张新荣,刘新伟,等.甘肃省两次强沙尘暴天气对比分析[J].干旱气象,2014,32(1):81-86.
- [5] 钱莉,杨永龙,王荣喆.河西走廊“2010.4.24”黑风成因分析[J].高原气象,2011,30(6):1653-1660.
- [6] 李岩瑛,张强.水平螺旋度在沙尘暴预报中的应用[J].气象学报,2012,70(1):144-154.
- [7] 程鹏,王宝鉴,孔祥伟,等.河西走廊一次强沙尘暴天气的螺旋度诊断[J].干旱气象,2013,31(1):144-149.
- [8] 王淑英,张小玲.北京地区PM₁₀污染的气象特征[J].应用气象学报,2002,13(特刊):177-184.
- [9] 马井会,张国璠,耿福海,等.上海地区一次典型连续浮尘天气过程分析[J].中国环境科学,2013,33(4):584-593.
- [10] 何晓红,次仁德吉,林志强.拉萨一次浮尘天气过程分析[J].气象,2007,33(9):69-73.
- [11] 胡隐樵,张强.兰州山谷大气污染的物理机制与防治对策[J].中国环境科学,1999,19(2):119-122.
- [12] 张玉胜,宋军亭.沙尘和逆温对空气质量的影响[J].北方环境,2011,23(7):47-48,67.
- [13] 杨静,武疆艳,李霞,等.乌鲁木齐冬季大气边界层结构特征及其对大气污染的影响[J].干旱区研究,2011,28(4):717-723.
- [14] 甄新蓉,陈镭,毛卓成,等.2011年上海地区空气污染气象条件分析[J].大气科学研究与应用,2012(1):51-60.
- [15] 张强.地形和逆温层对兰州市污染物输送的影响[J].中国环境科学,2001,21(3):230-234.
- [16] 李朝辉,宋军亭,张玉胜,等.沙尘与逆温时PM₁₀的变化规律及污染分析[J].中国环保产业,2013(2):13-16.

Analysis of a Continuous Floating Dust Weather in Gansu Province in Spring

GUO Pingping¹, YANG Jiancai², YIN Xuelian¹, ZHENG Xuejin¹

(1. Zhangye Meteorological Bureau of Gansu Province, Zhangye 734000, China;
2. Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020, China)

Abstract: A regional gale and dust-storm weather occurred in Gansu Province from 8 to 9 March 2013, and until 14 March the floating dust continued in central and eastern Gansu. The floating dust with such wide range and long duration had been rarely seen in recent years. This paper mainly analyzed the climate characteristics and the influence of the special meteorological conditions on the floating dust weather, and the main features of dust transportation were discussed over Lanzhou of Gansu. The results are as follows: (1) The early warm and dry climate background was favorable to the occurrence of dust weather. (2) The regional gale and dust-storm weather happened in Gansu from 8 to 9 March was caused by the northerly gale behind the cold front, and the dust and duststorm weather appeared again on 11 March in Hexi Corridor. Due to the downstream transportation of dust particulates along the northwest airflow, the stations appearing the floating dust in Hedong of Gansu increased obviously on 12 March. (3) After the gale and dust-storm the boundary layer in central and eastern Gansu was in a weak easterly wind, and the atmospheric stratification was stable for a long time so that the dust pollutants weren't conducive to spread. (4) During the floating dust weather, the inversion layer frequently appeared over Gansu, and the height of inversion layer was obviously uplifted after 9 March, which blocked the atmospheric rising movement in lower layer, consequently, the dust particulates gathered below 700 hPa. In addition, the intensity of the floating dust weather was positively correlated with the temperature difference and thickness of inversion layer. (5) The floating dust weather in Lanzhou from 9 to 10 March derived from the sandstorm in Hexi Corridor and Mongolia on 8 March, while the sandstorm once again in Hexi Corridor on 11 March had greatly influenced on the floating dust in Hedong area. Furthermore, the floating dust weather appeared in southern Shaanxi from 10 to 13 March due to the dust transport from the north. The dust particulates kept in easterly wind because of the surface situation with higher in the eastern part and lower in the western part of Shaanxi, which played a certain role in returning transportation of dust particulates to the floating dust weather in central and eastern Gansu.

Key words: dust-storm; floating dust weather; inversion layer; HYSPLIT-4 track model