

文章编号: 0455-2059(2012)01-0069-06

“07.3”强沙尘暴天气过程的观测分析

隆霄^{1,2}, 赵建华¹, 黄建平²

1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 兰州 730020

2. 兰州大学大气科学学院半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州 730000

摘要: 利用常规观测的地面资料、探空资料、卫星云图资料、客观分析资料以及民勤站和SACOL站的观测资料对2007年3月27-28日中国西北地区的一次强沙尘暴过程进行了分析。主要结论为: 地面快速发展的冷锋以及850 hPa和700 hPa快速发展的短波槽与此次沙尘暴的形成和快速发展密切相关。民勤站沙尘浓度和地面气象要素在沙尘暴发展演化期间出现明显的变化。气压和风速在沙尘暴爆发时出现明显的跃升, 气压的变化超前于风速的变化, 这表明风场和气压场在沙尘暴爆发时有明显的调整过程; 风速及其垂直切变与PM₁₀浓度几乎同时达到极大值, 而温度垂直切变极大值出现时刻比PM₁₀浓度和风速垂直切变极大值早出现4 h; 强的风速垂直切变有利于激发不稳定能量的释放和沙尘暴的形成。SACOL站的沙尘浓度和地面气象要素在沙尘暴发展期间也有明显的变化。风速和气压达到峰值的时刻都超前于PM₁₀浓度出现极大值的时刻; 温度垂直切变峰值出现的时刻稍稍滞后于风速垂直切变峰值出现的时刻。

关键词: 沙尘暴; 垂直切变; SACOL; 民勤**中图分类号:** P458**文献标识码:** A

Observation and analysis of “07.3” severe sandstorm

LONG Xiao^{1,2}, ZHAO Jian-hua¹, HUANG Jian-ping²

1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China

2. Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change with the Ministry of Education,

School of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

Abstract: The sandstorm that occurred on 27-28 March, 2007 in the northwest of China was analyzed with observed data from the Minqin station and the Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University (SACOL), and also with weather reports, objectively analyzed data and satellite images. The main results are: Synoptic analyses of the sandstorm indicate that a quick development of the short wave trough at 700 hPa and 850 hPa associated with surface cold front contributed to the formation and development of the sandstorm. Observed data at the Minqin station show that the mass concentration of PM₁₀, pressure and wind speed at ground levels underwent obvious variation during the sandstorm's development. The pressure and wind speed had a jump when the sandstorm broke out and the variation of pressure was ahead of the wind speed, which means that the adjustment between the wind field and pressure field was obvious when the sandstorm broke out. The vertical shear of wind speed and concentration of PM₁₀ reached their peaks simultaneously. However, the peak of the vertical shear of temperature was ahead of the peak of mass concentration of PM₁₀ and wind speed. The strong wind speed favored the emission of dust and, at the same time, the strong vertical shear of wind speed favored the release of instable energy and the formation of the sandstorm. Observed data at SACOL show that the mass concentration of PM₁₀, pressure and wind speed at ground levels underwent obvious variation during the development of the sandstorm. Wind speed and pressure at SACOL reached their peaks ahead of the mass concentration of PM₁₀. The vertical shear of temperature reached its peak ahead of the mass concentration of PM₁₀ and lagged behind the vertical shear of wind speed.

收稿日期: 2011-09-05**基金项目:** 中国气象局兰州干旱气象研究所开放课题项目(ZAM200920); 国家自然科学基金项目(40975060, 40633017); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(LZUJBKY-2012-K04)**作者简介:** 隆霄(1972-), 男, 陕西扶风人, 副教授, e-mail: longxiao@lzu.edu.cn, 研究方向为大气动力学和中尺度数值天气预报。

Key words: sandstorm; vertical shear; SACOL; Minqin

沙尘暴是中国西部地区一种严重自然灾害,它的频繁发生对工农业生产造成巨大的直接危害和经济损失^[1]。此外沙尘暴形成的沙尘气溶胶粒子通过其辐射效应对地气系统的辐射平衡产生影响^[2]。因此,深入研究沙尘暴形成和发展的机制及其对天气和气候的影响具有重要意义。

沙尘暴的形成是多种因素的综合结果^[3-4]。首先,沙漠、戈壁、黄土和裸露的地表在中国西北地区分布广泛,这为沙尘暴的发生提供了大量的沙源。其次,大气环流是沙尘暴形成和发展的诱发因素,每年春季伴随着大气环流的调整,冷空气会频繁的出现在中国西北地区,大风卷起的沙尘会随着天气系统的发展一直向下游输送。最后,中国西北地区的特殊地形有利大风的形成,为起沙过程和沙尘暴的快速发展提供有利的条件。

针对沙尘暴已经有很多研究工作。中国西北地区沙尘暴的形成存在明显的地域差异,这一差异是某一时期内强风、沙尘源和不稳定层结三者在不同地区配置情况差异的综合反映^[5]。沙尘暴的形成和天气系统有关,程海霞等^[6]研究指出沙尘暴的发生总与高空急流相伴,蒙古气旋^[7-8]、飑线^[9]等天气系统与沙尘暴的形成有密切关系。地面大风是沙尘暴形成的重要因素,范俊红等^[8]分析了2005年4月19-20日河北省中南部一次沙尘暴过程后指出变压风在地面大风的形成中起主要作用。河西走廊地形所产生的狭管效应也对大风的形成、沙尘暴快速增强和移动产生明显作用^[10]。沙尘暴的形成是大气动力和热力作用的结果,陈艳等^[11]对一次强沙尘暴过程的动力学诊断表明,沙尘暴区上空螺旋度大值中心会随着螺旋度中心值的增大而增强沙尘暴的强度;冷锋前后的气压和温度梯度及冷、暖平流为沙尘暴这种干对流过程的发展提供了热力学不稳定条件^[7,9]。近地层的观测显示,在沙漠地区风速廓线有明显的季节变化,温度和湿度廓线也存在着明显的月变化特征,春季沙漠地区近地层水汽含量最少^[12],有利于起沙过程。沙尘暴发生前后,气象要素会发生明显的变化^[13-15]。这些关于沙尘暴天气尺度特征、动力学和热力学等方面的研究得到了有意义的结果。中国西北地区的沙尘暴一般移动非常迅速,其形成后会对下游地区产生影响,因此本文将针对2007年3月27-28日的强沙尘暴过程,在利用客观分析资料和常规观测资料对此次沙尘暴过程天气分析的基础上,分析沙尘暴源区(民勤站)和其下

游地区(兰州大学半干旱气候与环境观测站, Semi-Arid Climate and Environment Observatory of Lanzhou University, SACOL)在沙尘暴过程发展期间近地层气象要素的变化特征。

1 观测资料

文中分析的资料包括每6 h一次的 $1^\circ \times 1^\circ$ FNL客观分析资料,每3 h一次的地面观测资料、监测的沙尘暴卫星云图以及民勤站和SACOL站的近地层观测资料。民勤站(103.08°E , 38.63°N)位于河西走廊,海拔高度1376.5 m,它是腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠的过渡区,也是中国北方四大沙尘暴源区之一。观测结果表明,民勤地区是强和超强沙尘暴的频发区域,从1952年到2001年该地区共发生53次强或超强沙尘暴^[16]。SACOL站(104.137°E , 35.946°N)位于兰州大学榆中校区,海拔1965.8 m,建立于2006年4月12日,由兰州大学大气科学学院负责管理和维护,该站关于沙尘气溶胶的监测始于2007年3月。

民勤站的观测资料包括:1 m, 2 m, 4 m, 10 m和20 m共5层风速、温度和相对湿度,1 m, 2 m和20 m 3层风向,这些资料的采样间隔为10 s;每300 s一次采样的 PM_{10} 浓度和环境气压。SACOL的观测资料包括:1 m, 2 m, 4 m, 8 m, 12 m, 16 m和32 m共7层风速和温度, PM_{10} 浓度和环境气压,所有资料的采样间隔均为30 min。文中使用的民勤站和SACOL站资料是小时平均资料。

2 天气过程特征分析

2007年3月27-28日,中国西北地区出现了一次强沙尘暴过程。此次沙尘暴的演化过程可以从每3 h一次的地面报文资料看到:27日06:00 Z(Z表示世界时,下同),河西走廊共有5个气象站观测到了扬沙现象(图1b);到27日09:00 Z,河西走廊出现了强沙尘暴(图略),民勤站的观测结果显示,沙尘暴此时达到最强,观测的 PM_{10} 浓度峰值超过 $6500 \mu\text{g}/\text{m}^3$;27日08:53 Z(16:53 BT, BT表示北京时,下同)的NOAA-16气象卫星图像显示(图2),沙尘区域一直扩展到甘肃省中部和内蒙古西南地区;强沙尘暴在27日12:00 Z东移到河套西部地区(图1c),到27日18:00 Z,沙尘暴东移到河套中部地区,并且强度减弱(图1d),此后沙尘天气缓慢东移消失。

在对流层低层700 hPa,此次强沙尘暴过程与一个快速发展的槽系统相伴。在27日00:00 Z,西

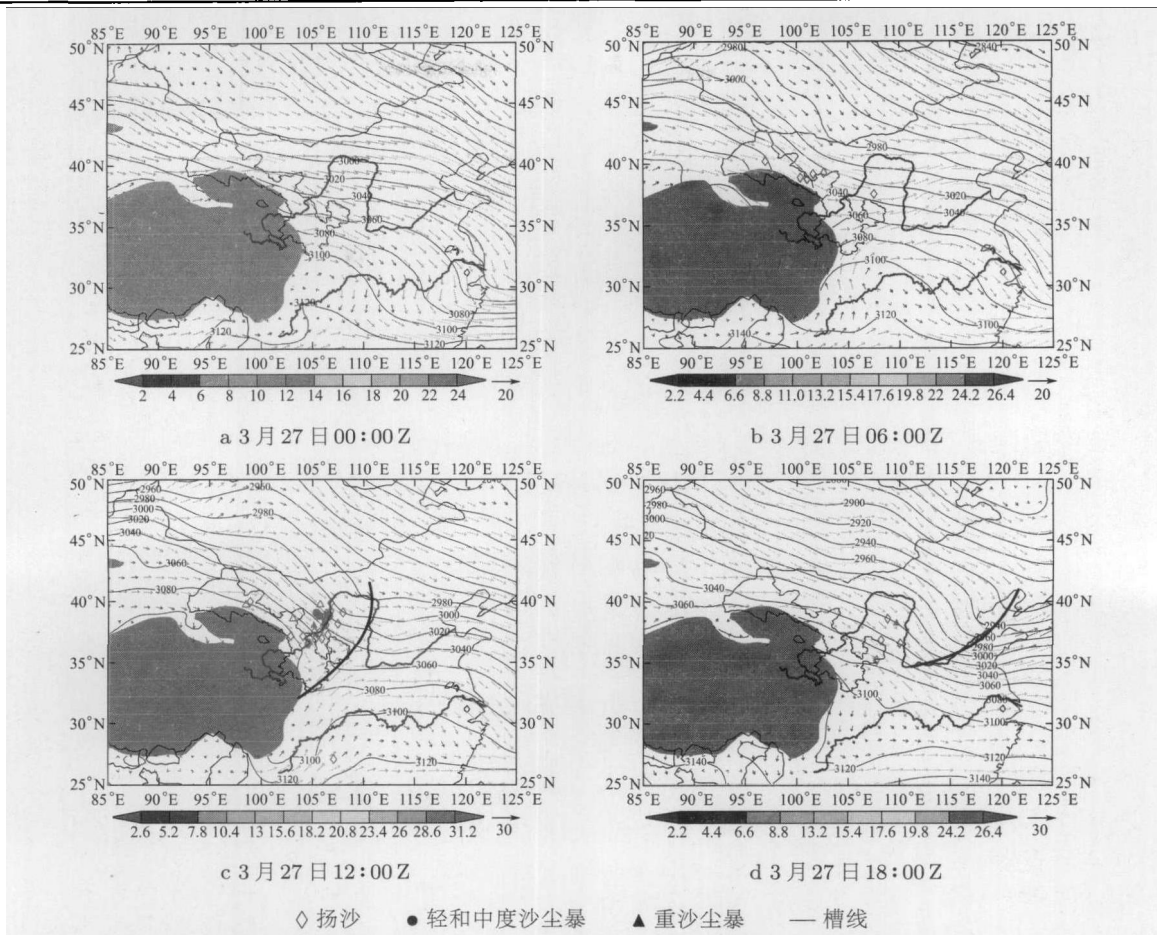


图1 2007年3月27日00:00 Z到18:00 Z 700 hPa每6 h的位势高度场(位势米)和 wind 场(m/s)以及地面站观测到的沙尘天气分布

Figure 1 Geopotential height (gpm) and wind field (m/s) on 700 hPa and sandstorm reports from 00:00 Z to 18:00 Z 27 March, 2007 with 6 hours interval

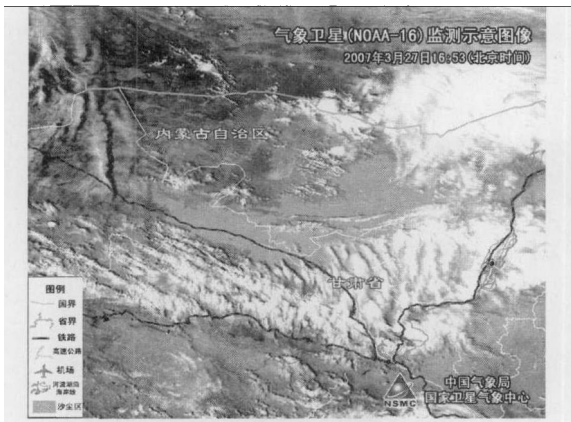


图2 NOAA-16卫星监测的2007年3月27日08:53 Z (16:53 BT) 图像

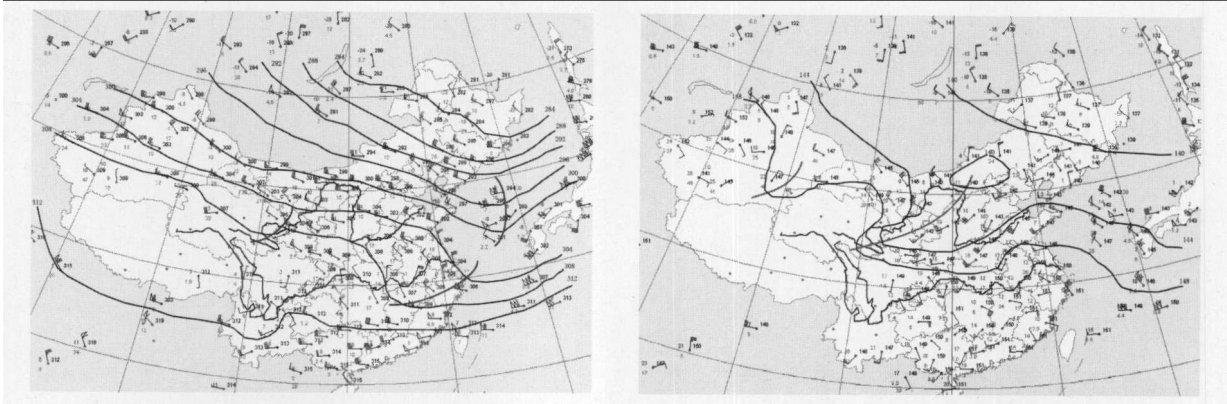
Figure 2 Images of NOAA-16 meteorological satellite on 08:53 Z (16:53 BT) 27 March, 2007

风气流控制中国北方地区,人工分析图上显示,青藏高原的东北边缘有一个弱切变线(图3a);到27日06:00 Z,一个浅槽系统出现在中蒙边境至以西地区(图1b),此后该系统加强并快速向下游移动;到27日12:00 Z移动到河套地区,中国西北地区位

于槽后,并且河西走廊中部的风速大都超过20 m/s(图1c).图1的阴影区域表示地形高度超过3000 m的区域.在850 hPa,27日00:00 Z,中国南方为高压系统所控制,西北地区没有明显的天气系统(图略),到27日12:00 Z,850 hPa出现了几个天气系统:一个与700 hPa相对应的深槽出现在河套地区(图3b,图2c),同时在(95°E,40°N)附近出现了一个短波槽,内蒙古地区出现了一个闭合的低压系统(图3b),图3中粗线为槽线.

对流层中层500 hPa,中国北方地区为西北气流所控制,在(90°E,27°N)附近出现了一个浅槽系统(图4a).对流层高层300 hPa,从27日00:00 Z(图4b)到12:00 Z(图略)一直维持西北气流,同时在(120°E,32°N)附近区域有一个风速超过60 m/s的高空急流维持,高空急流向下游缓慢移动.图4a中粗实线为槽线,图4b中粗等值线为300 hPa风速超过60 m/s的区域,用J表示.

27日00:00 Z,青藏高原东北边缘的地面有一个低压系统,地面冷锋呈东南-西北向分布(图5a);

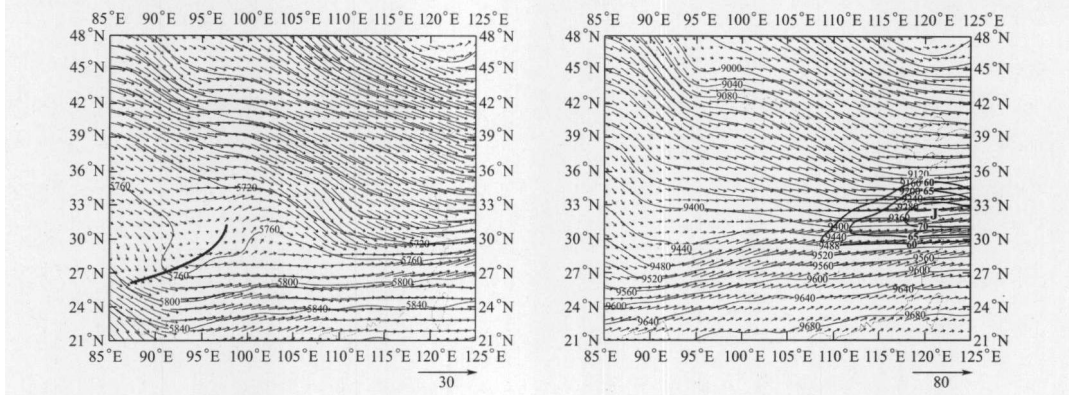


a 2007年3月27日00:00Z 700 hPa 形势

b 2007年3月27日12:00Z 850 hPa 形势

图 3 人工分析的2007年3月27日00:00Z 700 hPa和27日12:00Z 850 hPa的天气形势

Figure 3 Manual analyzed synoptic pattern on 700 hPa at 00:00 Z 27 and on 850 hPa at 12:00 Z 27 March, 2007

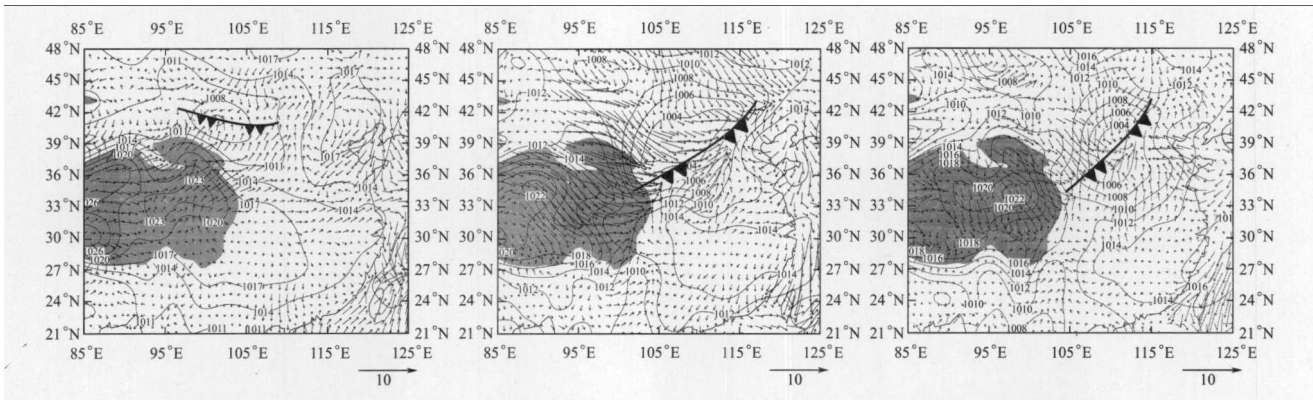


a 2007年3月27日00:00Z 500 hPa

b 2007年3月27日00:00Z 300 hPa

图 4 2007年3月27日00:00Z 500 hPa和300 hPa的位势高度场(位势米)和风场(m/s)

Figure 4 Geopotential height (gpm) and wind field (m/s) at 500 hPa and 300 hPa on 00:00 Z 27 March, 2007



a 2007年3月27日00:00Z

b 2007年3月27日06:00Z

c 2007年3月27日12:00Z

图 5 2007年3月27日00:00Z, 06:00Z和12:00Z的地面气压场(hPa)、风场(m/s)和冷锋

Figure 5 Sea surface pressure (hPa), wind field (m/s) and cold front on 00:00 Z, 06:00 Z and 12:00 Z 27 March, 2007

随着700 hPa和850 hPa短波槽的发展,地面冷锋迅速加强并快速东移,到27日06:00Z,冷锋从原来的东南—西北向变为东北—西南向(图5b),此后冷锋缓慢东移(图5c).图5中阴影区域为地形高度超过3000 m的区域.

以上分析表明,地面快速发展的冷锋和850 hPa,700 hPa快速发展的短波槽与此次沙尘暴的形成

和快速发展密切相关.

3 民勤站和SACOL站的观测要素分析

3.1 民勤站的要素变化特征

观测结果表明,此次强沙尘暴过程中民勤站的PM₁₀浓度(图6a中直方柱)发生明显变化:沙尘暴刚开始的时刻(06:00Z),PM₁₀浓度只有200 μg/m³,

很快在09:00 Z达到峰值,超过 $6500 \mu\text{g}/\text{m}^3$;当沙尘暴过境后, PM_{10} 浓度迅速减少,在27日14:00 Z降低到 $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 左右,这个浓度水平一直维持到3月28日和29日(图略)。

沙尘暴发展过程中风速和气压发生了明显变化。1 m, 2 m, 4 m 和 20 m 风速的变化特征(图略)与10 m 风速(图6a)的特征相似,因此主要分析10 m 风速的变化特征。当沙尘暴发生时,10 m 风速在7 h 内很快从3.1 m/s增加到12.59 m/s,20 m 风速则更强,最大风速在27日09:00 Z达到了15.07 m/s(图略)。风速的快速增加与 PM_{10} 浓度的快速增长相伴,并在27日09:00 Z同时达到峰值。风速从峰值在10 h 内很快降低到比较低的水平,到27日18:00 Z,

气压场之间出现了调整过程,且近地层风速迅速增加是气压场变化的结果。温度垂直切变和风速垂直切变(图6b)是大气动力学和热力学中非常有用的指数,它们是用民勤站观测的2 m 和 20 m 风速资料计算得到的。可以看出,它们在沙尘暴发生和发展过程中的变化非常显著。风速垂直切变与 PM_{10} 浓度同时达到极大值(图6b),这说明风速强垂直切变有利于干对流活动的发展和起沙过程;温度垂直切变达到极大值的时间超前 PM_{10} 浓度约4 h(图6b),这有利于不稳定能量的积累。强风速垂直切变有利于不稳定能量的释放,促进沙尘暴的形成和发展。

3.2 SACOL 站的要素变化特征

SACOL 站观测的 PM_{10} 浓度(图7a中直方柱)在沙尘暴期间也有明显变化,在27日13:00 Z以前 PM_{10} 浓度维持在很低的水平,在13:00 Z时迅速增加到 $6500 \mu\text{g}/\text{m}^3$,此后缓慢减少,到28日12:00 Z仍然维持在较高的水平。10 m 风速(此处的10 m 风速是8 m 和 12 m 风速的平均)在8 h 内很快从1.5 m/s

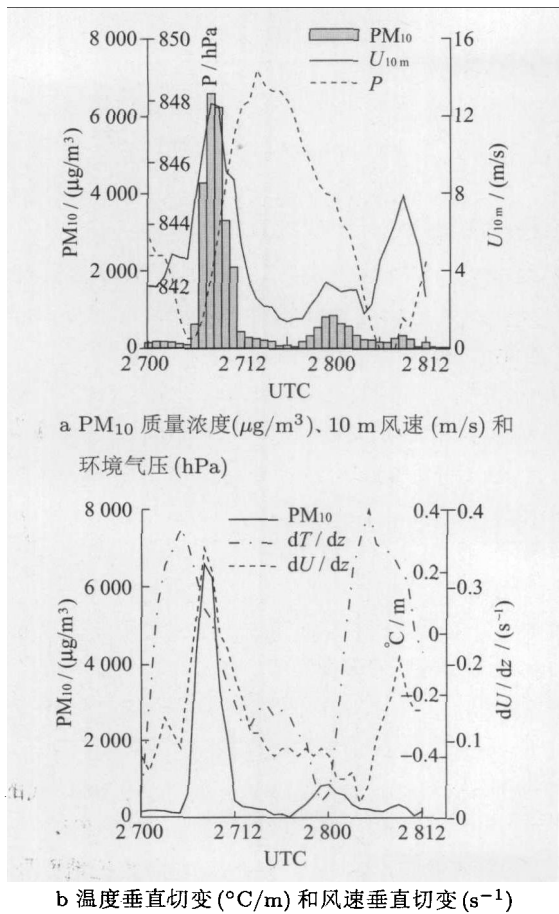


图6 民勤站观测的物理量从2007年3月27日00:00 Z到28日12:00 Z的变化

Figure 6 Observed physical variables from 00:00 Z 27 to 12:00 Z 28 March, 2007 at Minqin station

10 m 风速只有2.1 m/s。气压(图6a)的时间变化显示,气压在6 h 内从844 hPa 迅速减少到840 hPa,紧接着气压出现快速跃升,在10 h 内气压增加了8 hPa,气压峰值出现在15:00 Z,滞后于风速峰值出现的时刻。气压跃升出现的时刻略早于风速快速增加的时刻,这意味着当沙尘暴发生时,风场和

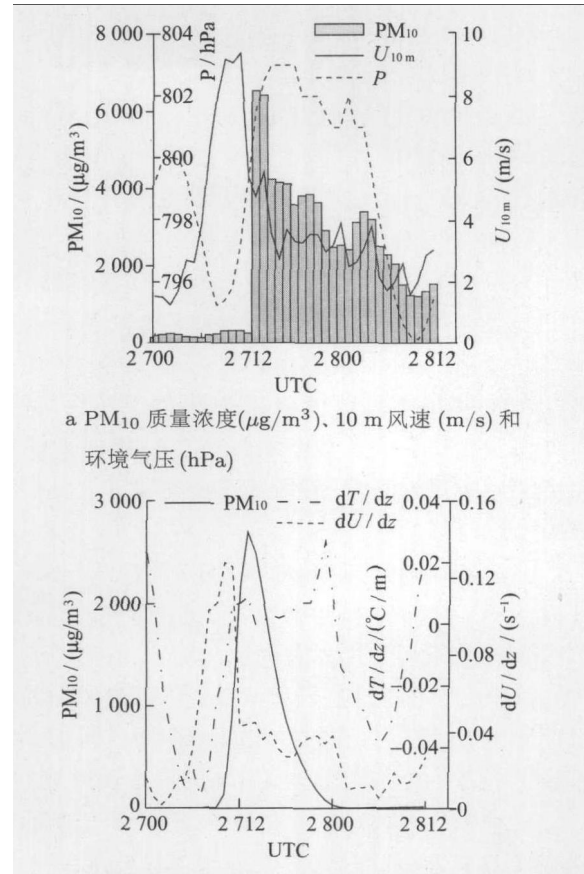


图7 SACOL 站观测的物理量从2007年3月27日00:00 Z到28日12:00 Z的时间变化

Figure 7 Observed physical variables from 00:00 Z 27 to 12:00 Z 28 March, 2007 at SACOL station

增加到9.1 m/s, 最大值在27日11:00 Z, 早于PM₁₀浓度极大值出现的时刻; 同时, 气压在5 h内很快从800 hPa减少到795 hPa, 当沙尘暴出现时气压发生明显的跃升(图7a)。利用2 m和32 m观测资料计算的风速垂直切变和温度垂直切变(温度和风速的垂直切变是利用2 m和32 m的温度和风速计算得到的) 随时间的变化表明, 风速垂直切变和温度垂直切变从27日06:00 Z到12:00 Z有明显增加, 风速垂直切变达到峰值的时刻超前于PM₁₀浓度峰值出现的时刻, 温度垂直切变则稍稍滞后于风速垂直切变而早于PM₁₀浓度峰值出现的时刻。

4 结论和讨论

本文利用常规观测的地面资料、探空资料、卫星云图资料、客观分析资料以及民勤站和SACOL站的观测资料对2007年3月27-28日中国西北地区的一次强沙尘暴过程进行了分析, 结果表明:

地面快速发展的冷锋以及850 hPa和700 hPa快速发展的短波槽与此次沙尘暴的形成和快速发展密切相关。

沙尘暴爆发期间民勤站的沙尘浓度和地面气象要素出现明显变化。在沙尘暴发展过程中, 气压出现明显的跃升, 且跃升的时刻早于风速迅速增加的时刻, 这表明风场和气压场在沙尘暴爆发时有明显的调整过程; 风速及其垂直切变与PM₁₀浓度几乎同时达到极大值, 温度垂直切变比风速垂直切变和PM₁₀浓度极大值早出现4 h。

SACOL站的沙尘浓度和地面气象要素在沙尘暴爆发期间也有明显的变化。当沙尘暴出现时, 风速和气压达到峰值的时刻都超前于PM₁₀浓度出现极大值的时刻, 温度垂直切变峰值出现时刻稍稍滞后于风速垂直切变, 而早于PM₁₀浓度极大值的出现时刻。

民勤站强温度垂直切变出现时刻早于强风速及其垂直切变和PM₁₀浓度出现的时刻, 这有利于不稳定能量的积累; 而强风速及其垂直切变和PM₁₀浓度几乎同时达到极大值, 说明强风速及强风速垂直切变有利于起沙过程, 同时有利于激发不稳定能量的释放, 促进沙尘暴的形成和发展。

民勤站和SACOL站观测的风速和气压的时间变化具有相同的特征, 这表明当沙尘暴爆发时在风场和气压场之间存在调整过程。非常有意思的是, 在SACOL站10 m风速达到峰值的时间超前于PM₁₀浓度峰值出现的时刻, 但在民勤站它们是几乎同时到达的, 这种差异可能与下垫面条件有关。民勤站周围主要为沙漠, SACOL站附近主要

是农田, 因此民勤的沙尘主要来源于局地沙尘的释放, 而SACOL站沙尘则主要是远距离输送的结果。民勤站温度垂直切变峰值出现的时刻超前于风速垂直切变峰值出现的时刻, 而SACOL站则稍稍滞后于风速垂直切变峰值出现的时刻。这说明在起沙源地, 热力学不稳定对沙尘暴的发生发展也起着重要作用。

参考文献

- [1] 王式功, 董光荣, 陈惠忠, 等. 沙尘暴研究的进展[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 349-356.
- [2] SURABI M, HANSEN J, NAZARENKO L, et al. Climate effects of black carbon aerosols in China and India[J]. Science, 2002, 279(5 590): 2 250-2 253.
- [3] 钱正安. 关于甘、宁部分地区“93.5.5”特强沙尘暴灾害的调查报告[J]. 大气情报, 1993, 30(4): 1-13.
- [4] 胡隐樵, 光国宁. 强沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J]. 大气科学, 1997, 21(5): 581-589.
- [5] 冯鑫媛, 王式功, 程一帆. 中国北方中西部沙尘暴气候特征[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 394-399.
- [6] 程海霞, 丁治英, 帅克杰. 近5 a中国沙尘暴与高空急流关系的统计分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 891-896.
- [7] 韩经纬, 沈建国, 孙永刚, 等. 一次强沙尘暴和雪暴天气过程的诊断及模拟分析[J]. 2008, 26(5): 1 031-1 038.
- [8] 范俊红, 郭树军, 李宗涛. 河北省中南部一次沙尘暴的动力条件分析[J]. 高原气象, 2009, 28(4): 975-982.
- [9] 钱莉, 杨永龙, 殷玉春, 等. 一次飚线引发的大风强沙尘暴诊断分析[J]. 气象, 2009, 35(3): 42-48.
- [10] 杨先荣, 王劲松, 何玉春, 等. 甘肃中部强沙尘暴成因分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(3): 567-571.
- [11] 陈艳, 宿海良, 张婉莹, 等. 一次强沙尘暴天气的成因分析[J]. 中国沙漠, 2009, 29(4): 757-764.
- [12] 吕萍, 董治宝, 张正偲, 等. 腾格里沙漠近地面层风、气温、湿度特征[J]. 中国沙漠, 2009, 29(5): 977-981.
- [13] 牛生杰, 岳平, 刘晓云. 2004年春夏季两次沙尘暴期间地面气象要素变化特征对比分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(6): 1 067-1 071.
- [14] 岳平, 牛生杰, 张强. 民勤一次沙尘暴天气过程的稳定度分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 668-671.
- [15] 岳平, 牛生杰, 张强. 民勤一次沙尘暴的观测分析[J]. 高原气象, 2008, 27(2): 401-407.
- [16] 钱正安, 蔡英, 刘景涛, 等. 中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 83-92.

(责任编辑: 张勇)