

甘肃夏季特强沙尘暴分析

王锡稳¹ 黄玉霞¹ 刘治国¹ 魏峰² 张铁军¹

(1 兰州中心气象台,兰州 730020; 2 定西市气象局,定西 743000)

摘要 夏季沙尘暴的气候特征表明,夏季是甘肃省沙尘暴的次多发季节,主要集中在民勤、鼎新、金塔。通过对一次罕见的甘肃省夏季强沙尘暴天气分析发现:高空小槽、切变线、热低压是引发夏季沙尘暴的主要天气系统,而春季沙尘暴一般是大尺度天气系统造成的;夏季沙尘暴发生前期高空急流反映并不明显,急流风速的突然加大和沙尘暴几乎同时发生,这是夏季沙尘暴预报的难点之一;沙尘暴发生前8~12 h的螺旋度场对沙尘暴预报有较好的指示意义,正值越大,沙尘暴越强,但当沙尘暴与强降水同时发生时,沙尘暴区螺旋度值明显小于强降水中心螺旋度值。

关键词 夏季强沙尘暴 气候特征 螺旋度

引言

沙尘暴对人类生存环境和社会经济所造成的危害,及其所产生的沙尘气溶胶对全球气候变化的深刻影响,使沙尘暴问题逐渐成为国内外研究的热点。国外从20世纪20年代就开始了沙尘暴时空分布、成因与结构以及监测与对策方面的研究。我国则是从20世纪70年代开始对沙尘暴天气进行研究,并且取得了丰硕的成果^[1~12]。本文对甘肃省夏季沙尘暴的气候特征进行分析,并通过2005年7月16日夏季强沙尘暴的天气个例分析,找出夏季沙尘暴天气发生的环流形势特点及物理量场特征,以期为夏季沙尘暴的预报提供一定的依据。

1 甘肃夏季沙尘暴的时空分布特征

资料选用1954~2003年6~9月甘肃沙尘暴次数。由图1a可知,甘肃省夏季沙尘暴有两个高发中心:一个在民勤,近50年共发生448次,年均8.96次;另一个在鼎新、金塔,分别为244、242次;夏季沙尘暴的次多发中心位于张掖和敦煌,分别是211次和179次。这种地理分布和甘肃省冬、春季沙尘暴的分布是一致的^[1~2]。

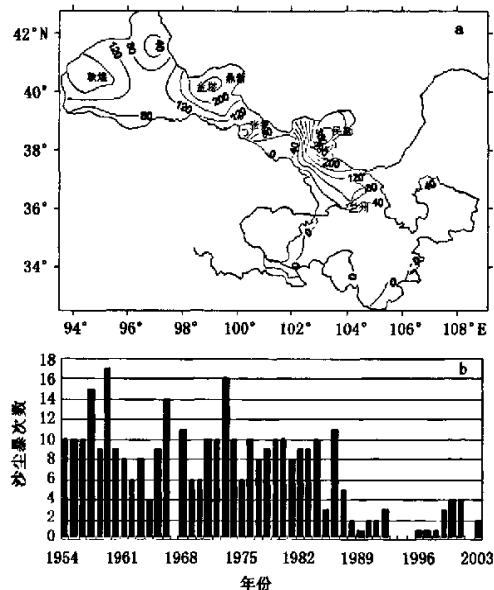


图1 甘肃省1954~2003年6~9月沙尘暴时空分布
(a:空间分布,数字为沙尘暴次数;b:时间演变)

由图1b可以看出,1950年代中期到1960年代初甘肃夏季沙尘暴为多发期,此后至1970年代初略有下降,但其中有波动,1970年代至1980年代中期又进入多发期,每年夏季都有近10次沙尘暴过程,自1980年代末以后呈明显的减少趋势,但近几年又

国家自然科学基金项目“新一代天气雷达测量沙尘暴的能力和方法研究”(40475011)和兰州中心气象台创新基金“夏季沙尘暴预报方法研究”共同资助

作者简介:王锡稳,女,1953年生,高级工程师,主要从事天气预报业务研究,Email:hyx01@tom.com

收稿日期:2006年7月13日;定稿日期:2006年11月19日

有增加的势头。江灏等^[3]研究发现,沙尘暴春天多、秋天少,但夏季 6、7 月为一个次高阶段。由表 1 可见,民勤等 6 个沙尘暴多发站 6、7 月均为多发月份,8 月开始减少,9 月最少。上述统计事实说明,甘肃盛夏季节同样会出现沙尘暴天气。

表 1 甘肃省 6 个代表站近 50 年 6~9 月沙尘暴次数

	民勤	鼎新	张掖	兰州	金塔	敦煌
6月	158	109	71	14	114	66
7月	156	78	67	5	73	57
8月	106	40	49	1	38	40
9月	27	17	24	2	17	16

2 “2005.7.16”沙尘暴天气实况

2005 年 7 月 16 日 22:03, 敦煌首先出现了沙尘暴, 然后沙尘暴区由西北向东南逐渐推进, 金塔、鼎新、张掖、山丹、金昌、永昌、民勤等地相继出现强沙尘暴, 17 日 11:46 过程结束, 历时 13 h 43 min。图 2 (见图版) 是 FY-1D 气象卫星监测到的沙尘区, 这也是 2005 年气象卫星监测到的西北地区强度最强、面积最大的一次沙尘天气过程, 当时沙尘覆盖面积约为 $7.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

3 “2005.7.16”沙尘暴天气形势及气象要素特征

3.1 大气环流形势

2005 年 7 月 16 日 08:00 500 hPa 高空图上(图略), 欧亚范围中高纬度地区为两槽两脊, 两槽分别位于新疆北部和东西伯利亚附近, 欧洲为脊、蒙古国以北地区到贝加尔湖为高压脊。蒙古高压环流底部的偏东风与高原东侧的偏西风之间形成东西向横切变线, 切变线从华北穿过陕北、宁夏、甘肃中部, 至河西走廊中西部、青海北部地区。高空锋区位于新疆—西藏西部—河西走廊西部。在巴尔喀什湖北部有较强冷涡存在, 冷中心温度为 -20°C , 高度 552 dagpm。20:00 西太平洋副热带高压略有西退, 新疆槽东移, 甘肃北侧形成东—西向的弱高压脊, 此时巴尔喀什湖冷涡稳定, 高空锋区主力仍位于新疆, 其底部分裂小槽开始缓慢进入河西走廊(图略)。低层 700 hPa 上 16 日 08:00 河西走廊处于蒙古高压底部的偏东风气流之中, 河西走廊中西部有热低压发展, 高空锋区和低压槽的位置与 500 hPa 基本一致。沙尘暴发生前 14 日 11:00 至 16 日 08:00 的地面图上(图略), 在南疆、青海北部、河西走廊中西部地区一

直有热低压维持, 由于前期高温天气对地面的加热作用, 使得热低压迅速发展, 与此同时位于新疆西部的冷高压也在加强中。对锋面动态图进行分析发现(图略), 15 日 20:00 新疆冷锋进入河西走廊并停滞在新疆东部、甘肃酒泉附近, 16 日 08:00 冷锋北端稍有东移, 南端受热低压阻挡略有西退, 到 16 日 20:00 分裂出的冷空气再次进入河西走廊, 并自西向东横扫河西走廊, 经过之处出现大风沙尘暴天气, 至 17 日 14:00 沙尘暴天气结束。此次沙尘暴天气过程中地面冷锋主力始终停留在新疆, 影响甘肃的是主力锋区分裂的副冷锋。

3.2 影响系统

(1) 新疆槽。此次沙尘暴天气发生前的 16 日 08:00, 巴尔喀什湖冷涡前部, 新疆到河西走廊西部有强高空锋区, 冷空气在原地少动甚至西退, 20:00 后冷空气分裂东移进入河西走廊造成沙尘暴天气, 地面冷锋的位置说明了这一事实。

(2) 切变线。夏季气候多变的高原地带, 局地对流性天气增强, 高原切变线附近, 强对流的抬升作用, 形成大气层结不稳定, 并且中小尺度切变线的生成与环境对流不稳定产生的扰动对沙尘暴的突发加强具有激发贡献^[7]。

(3) 高原热低压。此次沙尘暴天气, 在南疆盆地东部、青海北部和河西走廊中西部有一闭合热低压, 热低压中心酒泉的气压值为 986.9 hPa, 而位于冷高压外围新疆乌鲁木齐的气压值为 1012.8 hPa, 两地之间气压差值达 25.9 hPa, 气压差值越大, 地面风速越大, 越有利于大风沙尘暴的加强^[5], 因此在河西走廊热低压和新疆冷高压之间形成了较强的气压梯度, 从而产生梯度大风引发沙尘暴。

3.3 卫星云图特征

7 月 16 日下午 FY-2C 红外云图上, 贝加尔湖至新疆东部有一冷锋云系, 云带狭窄, 结构松散, 冷锋云带前部的甘肃河西走廊中部至内蒙古西部为晴空区, 青藏高原中东部有多个对流云团向东北方向发展。至 20:00 冷锋云系不断加强(图 3a, 见图版), 后缘变得整齐光滑, 云系主体更加密实, 但由于前部的晴空区强大稳定, 因此冷锋云系基本在原地稳定少动, 造成了冷锋控制区与热低压之间很大的气压差、温度差, 此时地面天气图上乌鲁木齐的气压为 1012.8 hPa, 气温为 16°C , 而金塔的气压为 985.6 hPa, 气温为 37°C , 近地层极不稳定, 一旦受到外界

的扰动,即可触发形成危害极大的强沙尘暴天气。16日22:00(图3b,见图版),冷锋带状云系缓慢东移,冷气团逐渐侵入暖区,激发不稳定能量释放,近地层形成了很大的风速,并在特定的下垫面条件下形成强沙尘暴天气。沙尘暴结束后,北部冷空气大举南下,与高原对流云团相互作用,造成18日甘肃中部、南部区域性暴雨。这种现象在2003年“7·20”沙尘暴过程中也发生过,同样是在沙尘暴出现后的次日,甘肃出现了区域性暴雨天气。红外云图上还有一个现象值得注意,16日20:00甘肃河西走廊中部出现一片边缘整齐,颜色呈灰白的似低云似雾的区域(图中A所示区域),但相应的地面天气图上却为一片晴空区,此后沙尘暴天气爆发,这片区域依然稳定存在且与沙尘暴区较为吻合,并一直维持到17日09:00才消失。

3.4 气象要素的突变特征

对于春季沙尘暴过境时地面气象要素的响应此前研究较多^[7~9,11]。胡泽勇等^[8]指出,沙尘暴天气来临前夕,地面空气呈干热状态,处于低气压控制之下,这有利于把大量沙尘扬起,在沙尘暴过境时和过境后,地面空气显得相对湿冷,并处于高压控制之

下。下面以张掖为代表站具体分析夏季沙尘暴是否也具有这些特征。

从图4a可以看出,自7月11日起张掖最高气温持续在32℃以上,14~16日连续3天达36℃,其中15日达到38.4℃的高温。空气相对干燥,在沙尘暴过境前3天,相对湿度持续下降,至15日张掖日平均相对湿度不足30%,地面空气处于异常暖干状态,对沙尘天气极为有利。地面气压自沙尘暴发生前5、6天持续下降,由11日的849 hPa降至16日的839 hPa,表明沙尘暴天气来临前地面受低气压控制。沙尘暴过境后气压猛增,18日由过境日的841.9 hPa迅速上升到851.4 hPa,升幅达9.5 hPa·d⁻¹,地面转为受高压控制(图4b)。与春季沙尘暴一致,均为地面呈暖干状态并受低气压控制。由沙尘暴过境前后气象要素瞬时演变可知,在爆发前1 h张掖气温、湿度出现瞬时剧烈变化(图4c),气温上升3.8℃,相对湿度下降27%,而沙尘暴过境后温度、湿度虽然分别呈下降、上升趋势,但仍属气象要素正常变化,这可能与沙尘暴发生在凌晨且夏季沙尘暴过境后要素变化幅度不如春季剧烈有关。地面气压与风速的变化趋势则与春季沙尘暴一致,

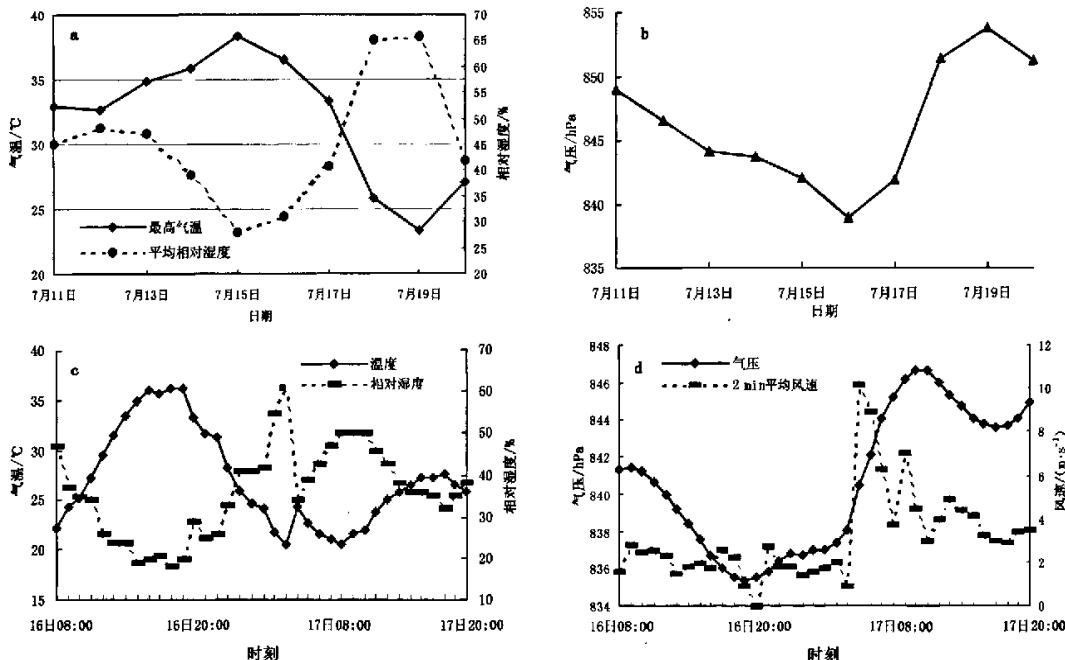


图4 2005年7月强沙尘暴发生前后张掖站气象要素演变
(a. 11~20日最高气温、相对湿度; b. 11~20日平均气压;c. 16日08:00至17日20:00逐时温度、湿度;
d. 16日08:00至17日20:00逐时气压、2 min平均风速)

在沙尘暴过境时均出现剧增现象,其中地面气压在沙尘暴爆发后4 h上升了7.1 hPa,升幅达 $1.8 \text{ hPa} \cdot \text{h}^{-1}$,2 min平均风速在沙尘暴爆发时由爆发前 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 骤然增大为 $10.29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,增幅达 $9.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (图4d)。其余各站气象要素变化基本相似。

4 沙尘暴天气的物理量场特征

4.1 散度场特征

用200 hPa与700 hPa散度之差来表征锋面附近垂直环流情况,正值表示低层辐合、高层辐散,伴有上升运动,负值表示低层辐散、高层辐合,伴有下沉运动。分析16日08:00散度差值场(图略),北疆西部为低层辐合上升运动区,中心值达 $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,西侧下沉运动区在里海附近,东侧下沉区在新疆东部至青海柴达木一带,中心值分别为 $-70 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,到16日20:00(图5),上升运动区略有东移且明显扩大加强,大值中心位于新疆北部,为 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,而毗邻上升区西侧的巴尔喀什湖一带出现 $-60 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的下沉运动补偿区,上升区东南方向的下沉运动明显减弱。17日08:00,随着锋面快速东移,上升区移至青海西部,其后侧下沉区则位于青海与南疆交界处,且中心强度明显减弱。上述分析表明,这次沙尘暴天气的三维动力场特征有利于产生地面大风,使得沙源地的沙尘向上扬起并向东扩展。

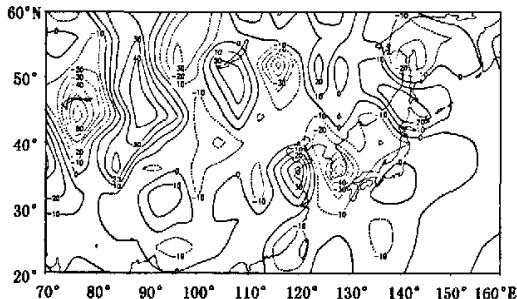


图 5 2005 年 7 月 16 日 20:00 200 hPa 与 700 hPa
散度场差值(单位: 10^{-5} s^{-1})

4.2 涡度场特征

涡度是表征空气质量块旋转特征的物理量,据涡度变化,可了解气压系统的发生、发展。16日08:00,200 hPa上在巴尔喀什湖有一强大的正涡度中心,中心值达 $88 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$,其东侧酒泉—蒙古高原为西南—东北向带状分布的负涡度区,中心值达 -70×10^{-5}

s^{-1} ,负涡度区东南侧的甘肃中南部一带存在一较小范围的正涡度区。相应700 hPa图上,正涡度区在巴尔喀什湖偏北处,负涡度带则在我国新疆西部一带,且正、负中心强度较200 hPa明显偏弱。20:00(图略),200 hPa巴尔喀什湖附近的正涡度区东扩明显,而低层700 hPa正、负涡度的中心位置变化不大,但强度增强,且位于甘肃中南部的正涡度区向西北方向明显扩展。17日08:00(图略),200 hPa巴尔喀什湖正涡度中心已进入新疆西部,酒泉则出现 $-70 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的负涡度中心。700 hPa上,巴尔喀什湖到新疆一带的涡度分布变化不大,但甘肃中南部的正涡度区继续向西北方向扩展,沿河西走廊偏北侧出现 $35 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正值中心。涡度的这种分布使得高层200 hPa新疆北部的低槽移速快于低层,从而形成前倾槽结构,进而使高层暖空气叠加于冷空气之上,产生强烈上升运动,同时与前倾槽相对应的地面冷锋移速较快,有利于地面大风的形成。

4.3 螺旋度特征

螺旋度是一个表征流体边旋转边沿旋转方向运动的动力特性的物理量,常用于暴雨等强对流天气的诊断,较少用于沙尘暴天气,但沙尘暴天气的发生往往与强对流相伴随。

从量级上看(至少在风暴初期),水平螺旋度比垂直螺旋度大,较大程度上决定了总螺旋度的情况^[12],因此主要分析水平螺旋度,即忽略垂直运动水平分布不均下的风暴相对螺旋度:

$$H = \int_0^h (\mathbf{V}_H - \mathbf{C}) \cdot \boldsymbol{\omega}_H dz \quad (1)$$

式中 $\mathbf{V}_H = [u(z), v(z)]$, 为环境风场, $\mathbf{C} = (C_x, C_y)$ 为风暴传播速度, $\boldsymbol{\omega}_H = k \frac{d\mathbf{V}_H}{dz}$ 为水平涡度矢量, h 为气层厚度,通常取3 km。其中风暴传播速度 \mathbf{C} 是850~400 hPa的平均风,风向向右偏转40°,风速的75%作为风暴速度 \mathbf{C} 。根据式(1)利用NCEP/NCAR资料计算了 $30^\circ \sim 60^\circ \text{N}, 80^\circ \sim 110^\circ \text{E}$ 范围内的水平螺旋度,考虑到甘肃海拔较高,积分从850 hPa到500 hPa。

由图6看出,7月16日08:00,研究范围内最大螺旋度为 $320 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,中心位于阿尔泰山与蒙古高原之间,沙尘暴发生区螺旋度为 $40 \sim 80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$,两个螺旋度负值中心位于天山山脉和蒙古高原至贝加尔湖南部。14:00,随着螺旋度中心的东移,正中心

位于蒙古高原,达 $360\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,沙尘暴发生区螺旋度增至 $160\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,此后20:00,正螺旋度区迅速加强至 $680\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ 并略南压,沙尘暴发生区螺旋度达 $200\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ 。17日02:00,沙尘暴爆发,正螺旋度中心强度开始减弱并东移,中心位于贝加尔湖南部,强度为 $560\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,沙尘暴发生区螺旋度也减弱为 $40\sim80\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,螺旋度负中心位于准噶尔盆地东部,中心强度为 $-280\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ 。17日08:00(图略),正螺旋度中心继续减弱东移,沙尘暴发生区螺旋度减弱为 $0\sim40\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,沙尘暴过程基本结束。值得注意的是,16日23:00~17日11:00蒙古国出现了大范围的降水,降水持续了12 h,其中心与位于蒙古高

原—贝加尔湖一带的螺旋度强度中心相对应,降水结束后,随着螺旋度强中心的东移,降水区的下游乌兰巴托也出现了强沙尘暴(17日11:00),沙尘暴持续9 h,至17日20:00结束。上述事实说明在沙尘暴发生前8~12 h,螺旋度场就显示出较好的指示意义,螺旋度场最强时,沙尘暴强度也最强,但螺旋度场较强时是否有沙尘暴发生还与下垫面等多种因素有关。此外当沙尘暴与强降水同时发生时,沙尘暴区螺旋度值明显小于强降水分中心值,沙尘暴发生区螺旋度强度为 $160\sim200\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$,而强降水区螺旋度最强可达 $680\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ 。

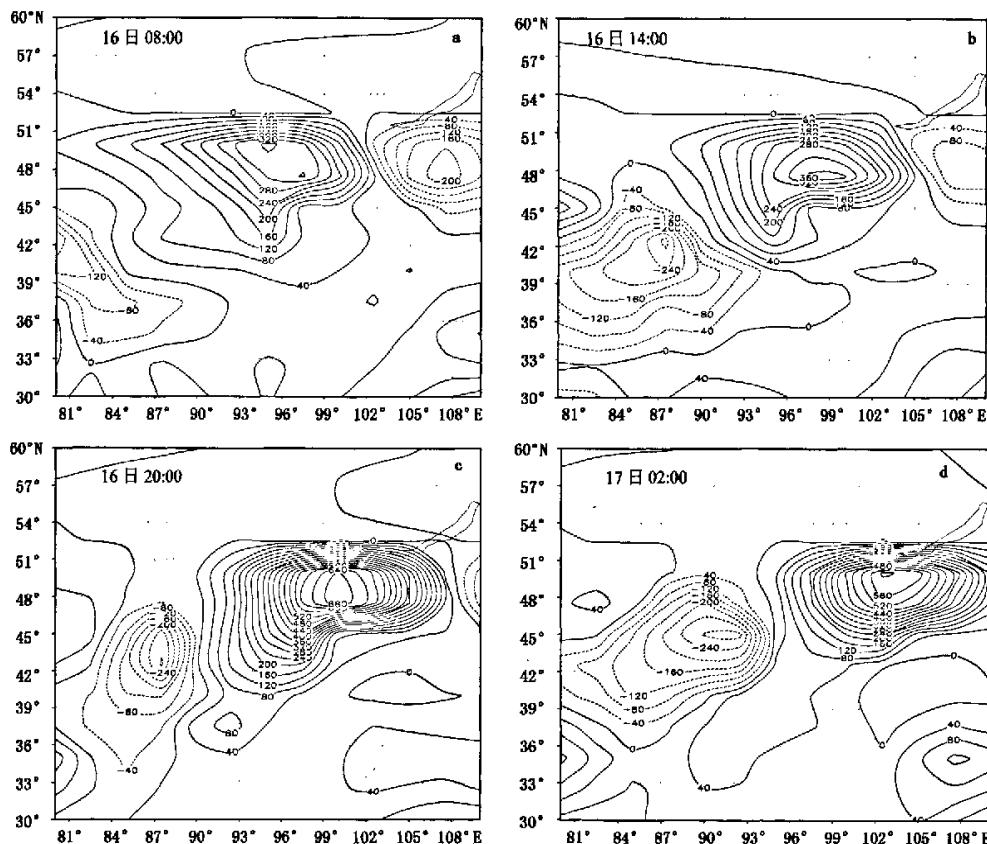


图6 2005年7月16日08:00至17日02:00水平螺旋度分布(单位: $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$)

5 结论与讨论

(1)夏季是甘肃省沙尘暴的次多发季节,6、7月最多,9月最少,且近年来有增多的趋势;沙尘暴中心位于民勤、鼎新、金塔,与春季一致。

(2)夏季沙尘暴多由高空小槽、切变线等天气系统引发,而春季沙尘暴一般由高空槽、强锋区、蒙古冷涡和地面冷锋所引发。

(3)沙尘暴的强弱主要由地面风力大小和能见度来决定,强风是产生沙尘暴的动力,而风力的大小

主要取决于高低空风速的强弱,夏季沙尘暴也是如此,但夏季沙尘暴有时高空风场前期反映并不明显。

(4) 夏季沙尘暴突发性强、范围小、尺度小,常和强对流天气同时发生,发生时间一般不超过 12 h。

(5) 夏季沙尘暴暖气团势力明显强于冷气团,数值预报效果不明显,外推预报方法不理想,卫星云图上是晴空区,由于热低压强盛阻挡,因此对冷空气何时启动、东移难以判断。

(6) 沙尘暴发生前 8~12 h 螺旋度场对沙尘暴预报有较好的指示意义,螺旋度正值越大,沙尘暴越强。但当沙尘暴与强降水同时发生时,沙尘暴区螺旋度值明显小于强降水中心螺旋度值。

夏季特别在副热带高压西伸北抬时,天气预报的重点常常放在强降水上,往往忽略了沙尘暴的预报,而此前国内对夏季沙尘暴的研究较少,预报方法欠缺,也是预报上的难点。此次夏季沙尘暴过程分析,仅是个例初探,能否具有普遍性,还待于进一步研究。此外,夏季出现强沙尘暴是后期发生大降水的强信号,应引起特别注意。

参考文献

- [1] 钱正安,贺慧霞,瞿章,等.我国西北地区沙尘暴的分级标准和个例谱及其统计特征[G]//中国沙尘暴研究.北京:气象出版社,1997.1~11.
- [2] 陈晓光,张存杰,董安祥,等.甘肃省沙尘暴过程的划分及统计分析[J].高原气象,2004,23(3):374~381.
- [3] 江灏,吴虹,尹宪志,等.河西走廊沙尘暴的时空变化特征与其环流背景[J].高原气象,2004,23(4):548~552.
- [4] 苟日多杰.柴达木盆地沙尘暴气候特征及其预报[J].气象科技,2003,31(2):84~87.
- [5] 汤绪,俞亚勋,李耀辉.甘肃河西走廊春季强沙尘暴与低空急流[J].高原气象,2004,23(6):840~846.
- [6] 王锡稳,孙兰东,冀兰芝,等.甘肃沙尘天气变动趋势[J].气象科技,2002,30(3):158~162.
- [7] 王锡稳,李宗义,王宝鉴.“4·12”强沙尘暴中小尺度天气分析[J].甘肃气象,2001,19(2):27~30.
- [8] 胡泽勇,黄荣辉,卫国安,等.2000 年 6 月 4 日沙尘暴过境时敦煌地面气象要素及地表能量平衡特征的变化[J].大气科学,2002,26(1):1~8.
- [9] 常兆丰,刘虎俊,纪永福.河西走廊最近一次强沙尘暴的调查分析[J].中国沙漠,1997,17(4):442~446.
- [10] 王炜,宋振鑫,邵亚平,等.沙尘暴天气数值预报系统及其预报效果检验[J].气象科技,2005,33(1):25~31.
- [11] 胡隐樵,光田宁.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.
- [12] 陆慧娟,高守亭.螺旋度及螺旋度方程的讨论[J].气象学报,2003,61(6):684~691.

Analysis of Summer Severe Sand-Dust Storms in Gansu Province

Wang Xiwen¹ Huang Yuxia¹ Liu Zhiguo¹ Wei Feng² Zhang Tiejun¹

(1 Lanzhou Central Meteorological Office, Lanzhou 730020; 2 Dingxi Meteorological Bureau, Gansu Province, Dingxi 743000)

Abstract: Sand-dust storms in Gansu Province occurred most frequently in summer. The summer sand-dust storms concentrated around Minqin, Dingxin and Jinta. The weather patterns for severe sand-dust storms in summer in Gansu Province are analyzed. The results show that upper troughs and shear lines and hot lows are main synoptic systems that result in summer sand-dust storms. Spring sand-dust storms are mostly induced by large-scale synoptic systems. Before the occurrence of summer sand-dust storms, the upper-level jet currents are not apparent. The sudden wind speed increase of the jet stream happens almost at the same time with a sand-dust storm, and that is one of difficulties in summer sand-dust storm prediction. The helicity field 8 to 12 hours before sand-dust storm occurring is a good indicator in forecasting sand-dust storms. The larger the helicity is, the severer the sand-dust storm is. But when a sand-dust storm and severe precipitation occur concurrently, the value of helicity in the sand-dust storm region is obviously less than that in the severe precipitation region.

Key words: summer severe sand-dust storm, climate characteristic, helicity



图 2 2005 年 7 月 17 日 08:59 沙尘暴卫星监测图

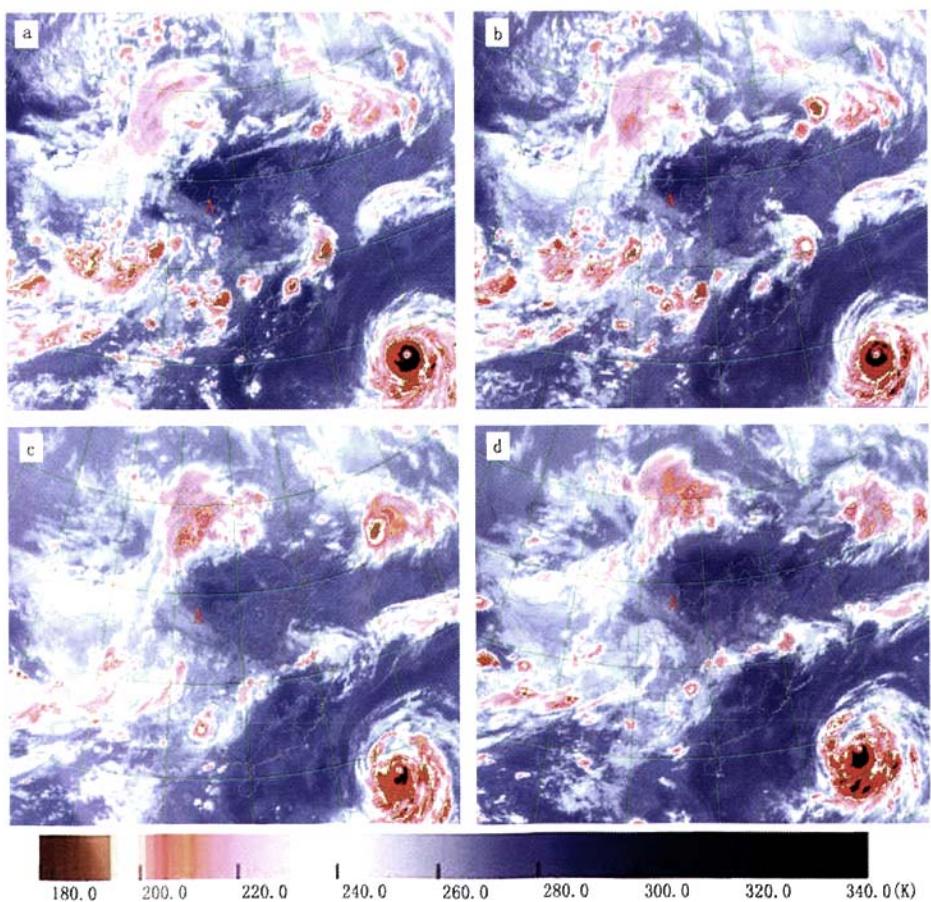


图 3 FY-2C 红外云图:

(a) 2005 年 7 月 16 日 20:00, (b) 2005 年 7 月 16 日 22:00, (c) 2005 年 7 月 17 日 04:00, (d) 2005 年 7 月 17 日 08:00
(图中 A 为沙尘区域)