

文章编号:1000-694X(2007)06-1067-05

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

牛生杰¹, 岳平^{1,2,3*}, 刘晓云⁴

(1. 南京信息工程大学, 中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 江苏 南京 210044; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 张掖国家气候观象台, 甘肃 张掖 734000; 4. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃 酒泉 735000)

摘要:用沙尘暴自动观测系统记录的每分钟地面气象要素,分析了2004年3月28日和7月12日发生在甘肃酒泉的两次沙尘暴过境时地面微气象要素的变化特征。结果表明:①两次沙尘暴发生前地面湿度都较小,气压较低,但是在临近发生时地面气压会猛增,接着维持一段时间的相对稳定状态,但春季沙尘暴过程这个时间更长,沙尘暴即将结束时地面气压再次大幅增加。②沙尘暴发生前气温偏高,结束后较短时间气温会出现急剧下降;春季沙尘暴期间0 cm地温和气温的变化趋势比较一致,但是5 cm地温的变化趋势与气温变化差别较大;夏季沙尘暴过程中0 cm、5 cm地温的变化趋势与气温变化趋势都比较一致。③由于下垫面性质的差异,春季发生的这次沙尘暴地面水平风速明显比同年夏季发生的沙尘暴大,但水平能见度却比夏季发生的沙尘暴好。

关键词:沙尘暴;气象要素;能见度;地温;对比分析

中图分类号: P445.4

文献标识码: A

沙尘暴是我国北方地区经常发生的一种灾害性天气,能够对人类生存环境和社会经济造成严重的影响,因此成为国内外学者普遍关注的焦点问题之一。国内在沙尘暴方面的研究论文最早见于徐国昌等^[1]对甘肃省1977年4月22日的一次特强沙尘暴的分析。之后,诸多学者从统计分析^[2-3]、天气气候诊断^[4-5]、动力特征^[6-7]、成因探讨^[8-10]、遥感监测^[11-12]、数值模拟^[13]以及沙尘气溶胶粒子谱的特征^[14-15]和沙尘气溶胶强迫及其气候效应等方面行了大量研究^[16-17]。认为强风、强热力不稳定和沙源是形成沙尘暴的三个必要条件^[9]。沙尘暴是与冷空气的活动及其产生的大风相联系,同时与下垫面的特征密切相关。但是强沙尘暴则多发生在午后到傍晚,主要是由于午后地面处于明显的热力不稳定状态,热对流发展最旺盛,若遇冷空气过境,则极易激发热对流发展从而产生沙尘暴天气。在总结以往的研究成果的时候可以看出,对于沙尘暴过境时地面气象要素的变化特征的研究较少^[18-19]。由于受观测资料的限制,以往的研究还未涉及到针对同一地区、不同季节在沙尘暴过境前后地面气象要素的微观特征变化的研究。在分析形成酒泉基准站2004

年春季(3月28日02:44—5:15)和夏季(7月12日21:12—22:38)两次沙尘暴天气的天气系统的基础上,利用酒泉基准站沙尘暴自动观测系统记录的每分钟的地面气象要素值,对两次沙尘暴天气过程中微气象特征进行了分析,并对两次过程的下垫面性质的差异进行了讨论。

1 天气形势的对比分析

2004年3月27日08时500 hPa高空图上,巴尔克什湖东侧有一冷槽。在这股强冷空气沿西北路经东移南下的过程中,由于春季河西西部前期降水少,下垫面较干燥,强冷空气过境时地面锋区两侧形成了巨大的气压梯度,使得地面水平梯度风速较大;锋面的强迫抬升作用使锋区前面的空气产生了垂直方向的运动,因此形成了这次沙尘暴天气过程。沙尘暴发生前夕瞬间最大风速达 $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。从28日02时44分至05时15分沙尘暴期间,地面平均风速大于 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,酒泉测站最小能见度为400 m。在强冷空气东移南下的过程中,高空风速较大,动量下传的作用相当明显。此类天气系统的移动方向也是甘肃河西走廊春季沙尘暴天气发生的三种路径之一。

收稿日期:2006-07-03; 改回日期:2006-09-28

基金项目:科技部公益专项“沙尘气溶胶辐射模型及气候环境生态效应研究”(2005DIB3J108);国家自然科学基金项目(40765001, 40575048);甘肃省气象科技项目共同资助

作者简介:牛生杰(1964—),男,宁夏中卫市人,教授,博导,主要从事大气气溶胶、云雾降水及人工影响天气研究。

2004年7月12日08时500 hPa为“两槽一脊”，在贝加尔湖西部为一低槽，从东北、华北中部一直西伸到甘肃东部为东北-西南走向的低压槽区，两槽之间为高压脊。在高压脊的内部，贝加尔湖以东地区有高度为584位势米的闭合等高线区，新疆、甘肃中西部和内蒙古西部及青藏高原北部为同样高度的高值区。在这两个高值区之间，位于内蒙古西部的额济纳旗和拐子湖东北有一条弱的切变线，相应的地面气压场呈现东高西低分布。从内蒙古中部和甘肃中部地面为高压区，随着贝加尔湖西北部冷槽的东移，位于其以东地区500 hPa高空584位势米闭合等高线逐渐消退，地面气压加大；新疆东部、甘肃和内蒙古西部为热低压区，随着时间推移，地表温度不断上升，热低压得到进一步发展。因此，额济纳旗和拐子湖一线地面风速逐渐加大，产生沙尘。之后向东南方向移动，入侵了酒泉地区东部地带，并造成了历史同期罕见的沙尘墙。同时，值得一提的是

此次沙尘暴发生的天气过程，高空环流非常特殊，不同于以往强冷空气入侵时发生的沙尘暴天气过程，由于高空风比较小，因而动量下传的作用相当弱。

2 地面气象要素的微气象特征对比分析

2.1 地面气温和湿度的响应

由图1a可知，初春酒泉基准站的气温比较低，在沙尘暴发生前期气温为6.3℃。在03时10分之前气温仍然处于下降趋势，但在出现沙尘暴天气的前半期，气温不再下降，这是因为大量悬浮在空中的沙尘粒子使得长波辐射减弱；从04时19分起，即沙尘暴天气现象的中后期气温迅速下降，截至05时30分，地面气温下降了2.9℃，主要是由于在高空冷平流的作用下，加之沙尘天气的减弱，向外空的长波辐射增强，导致地面气温骤降。

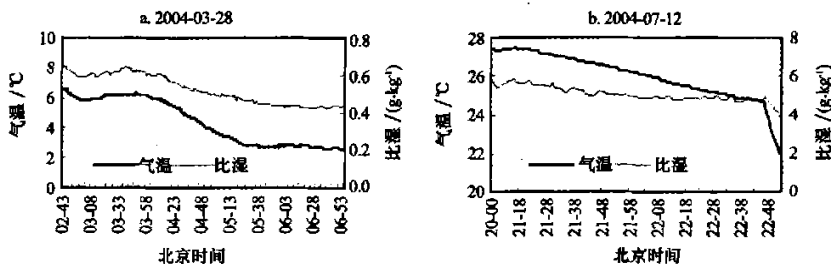


图1 自动气象观测站记录的2004年3月28日和7月12日沙尘暴前后气温和比湿

Fig. 1 Variation of temperature and specific humidity recorded by automatic weather station of Jiuquan base station when sandstorms occurred on March 28 and July 12, 2004

图1b是7月12日沙尘暴天气过程及其前后每分钟气温和相对湿度的变化。酒泉站21时12分出现了沙尘暴，地面气温在前期及沙尘暴发生的前一段时间维持较高状态而且变化不大，到了21时25分则开始缓慢递减；在沙尘暴结束后的20 min内，气温出现呈折角式骤然下降，降温幅度达2.5℃。

由图1可以发现，在两次沙尘暴过程中，比湿在沙尘暴结束之后均没有出现剧增的现象。结合地面观测资料知道，在这两次沙尘暴结束后，酒泉基准气候站没有出现降水，从高空观测资料发现高空湿度较小。但是，夏季沙尘暴期间酒泉的比湿远远大于冬季，前者接近后者的10倍。

2.2 地温对沙尘暴的响应及其与气温的关系

从图2a可以看出，在这次天气过程中0 cm地

温和气温的变化趋势比较一致。在沙尘暴暴发的前期受到白天太阳短波辐射加热作用，0 cm地温高于气温，这一现象在03时15分之前仍然维持。在沙尘暴爆发后，由于大量的沙尘粒子悬浮在空中，阻碍了地表长波辐射向高层大气的传输，因此地温和气温基本没有变化(03时15分至04时20分)。但是到中后期及结束后的15 min内(04时20分至05时30分)，随着沙尘暴天气现象的减弱，悬浮在大气中的粒子减少，垂直方向透射率增大，利于地面长波辐射向高层辐射，0 cm地温先于气温快速下降，并且0 cm地温的降温幅度大于气温的下降幅度。5 cm地温变化与0 cm地温和气温相差很大，这主要是春天大地回暖的过程中5 cm深度处的地温的变化是与深层土壤向上输送的热容量有关，因此5 cm土壤地温在整个过程中下降缓慢。0 cm地温虽让在夜间

同样要受到深层土壤热容量向上输送的影响,但是地表的长波辐射冷却作用更为显著,所以其变化趋势与5cm地温变化趋势差别很大。

从图2b可以看到,0cm、5cm地温和地面气温的变化趋势非常一致。气温的递减率最大,0cm地温次之,5cm地温最小;在21时44分之前,0cm曲线位于5cm曲线上方,21时44—48分两条地温线相互重合,到了21时48分之后,0cm地温线位于5cm地温线的下方;气温线始终在两条地温线的下方。同时可以看到,在22时45分,地温几乎同时出现了迅速下降,地温在沙尘暴结束后约7min时出

现了类似气温的迅速递减,约3~5min后气温急剧降低。从中可以得知,前期直接受到太阳辐射加热作用使0cm地温比5cm地温偏高,同时两项地温均比气温高,地表热量通量对5cm深度以下土壤和大气同时具有加热作用;沙尘暴天气的后期,地表与5cm深度以下土壤之间的加热作用出现了与前期反向作用,但对大气仍然起到热源的作用;地温的突降先于气温,这是因为地表长波辐射是大气尤其是低层大气的主要直接热源,所以地温的突变必然导致气温的突变,但这个响应需要一定的时间,即气温的突变落后与地温。

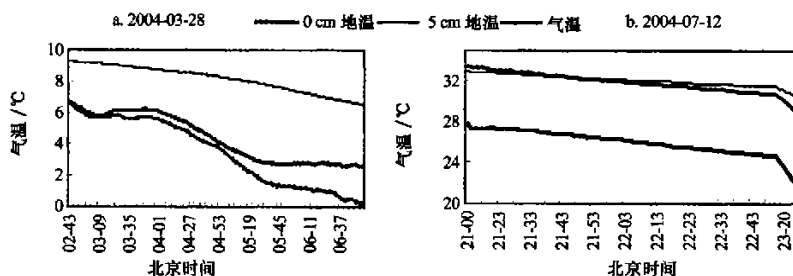


图2 酒泉基准站自动气象站记录的2004年3月28日和7月12日气温和地温变化

Fig. 2 Variation of air temperature and ground temperature recorded by automatic weather station of Jiuquan base station on March 28 and July 12, 2004

2.3 地面气压对沙尘暴的响应

图3a和图3b分别是2004年3月28日和2004年7月12日的每分钟地面气压在沙尘暴过境前后的变化情况。对比两幅图中可以看出,在沙尘暴发生前地面气压都较低,而且有小幅波动;当沙尘暴爆发的时候,地面气压迅速增大;到中后期两次过程气压均在波动当中调整,并且进一步加压。可以发现两次沙尘暴天气过程变化经历了相似的过程:前期受低气压控制,经过第一次波动调整气压迅速加大,为沙尘暴的爆发提供了动力条件;第二次波动调整使得地面气压进一步增大,伴随沙尘暴过境,地面从

低气压控制切换到受高压气控制。但是春季沙尘暴在中后期地面加压的趋势更加明显,根据图3a可以得知,从04时35分至05时35分的一个小时内地面气压上升了2.5 hPa。此外当出现沙尘暴天气现象后春季沙尘暴过程中气压维持了50 min的相对平稳时段,夏季沙尘暴过程中这一项现象持续时间仅为30 min。

2.4 风速的变化

图4a和图4b分别是2004年3月28日和2004年7月12日沙尘暴天气现象发生前后测站每分钟风速的演变实况。据图4a可知,沙尘暴发生前及过

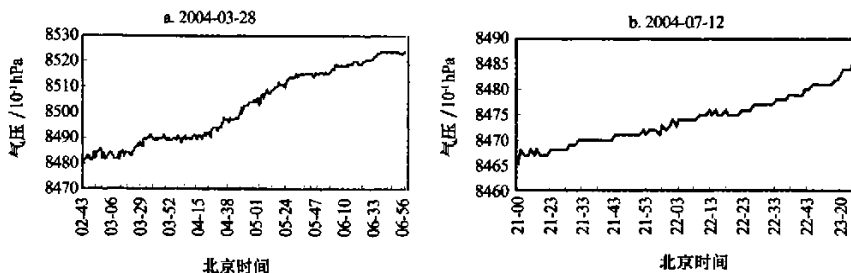


图3 酒泉基准站自动气象站记录的2004年3月28日和7月12日气压的变化

Fig. 3 Variation of air pressure recorded by automatic weather station of Jiuquan base station on March 28 and July 12, 2004

程的前半段时间内地面水平平均风速大于 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在 04 时出现了 $18.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的瞬时风速(另据地面自己记录显示, 在距沙尘暴发生 5 min 的时候出现了瞬间大风 $21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 03 时 50 分至 04 时 20 分这段时间也是地面能见度最差的时段, 最小能见度只有 400 m。此后地面风速逐渐减小, 地面水平能见度逐渐转好, 沙尘暴天气结束。

可以看到, 在沙尘暴发生前风速很小, 但在沙尘

暴发生前的 10 min 内, 风速迅速增大到 $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 达到这次天气过程中本站的最大值(图 4b)。风速的急速增大为起沙提供了必要的动力条件。其迅速增大的原因主要有两个方面: 一是本站气压的增大, 气压梯度加大; 二是本地特殊的地理地形构成的“狭管效应”所致。在整个沙尘暴天气过程当中, 风速呈波动式减小。在沙尘暴结束前的 10 min, 风速只有 $2 \sim 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 很难再将地面的沙尘夹卷到空中, 随

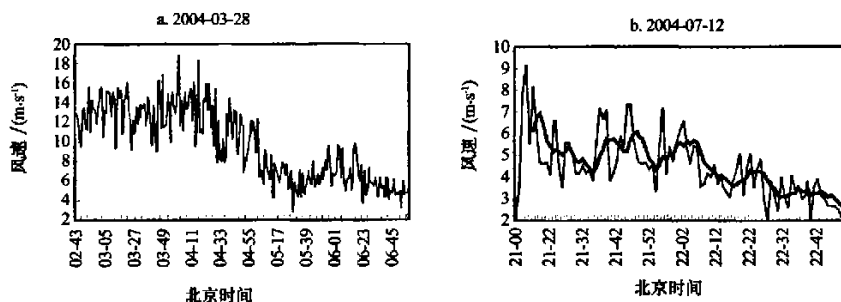


图4 酒泉基准站自动气象站记录到的2004年3月28日和7月12日风速的变化

Fig. 4 Variation of wind velocity recorded by automatic weather station

of Jiuquan base station on March 28 and July 12, 2004

之空气中的沙尘逐渐沉降, 能见度转好。

3 下垫面性质的分析

可以发现, 2004年春季发生沙尘暴时水平风速明显比夏季发生沙尘暴时的大, 但水平能见度却比同年夏季发生的好, 春季的沙尘暴天气过程最小能见度为 400 m, 而夏季的水平能见度只有 200 m。这表明沙尘暴的强度特别是能见度不仅与动力条件大风有关, 还与下垫面的性质密切相关。经分析两次沙尘暴发生前的气候背景和垫面性质发现, 两次过程前地面均比较干燥, 但是春季河西地区强冷空气活动频繁, 风蚀作用的结果是, 地表主要以粗粒子为主, 要把它们吹起并上扬到高空必然要求要有很强的风。相反, 2004年7月12日前期的酷热干旱天气, 使地表潜层水分大量蒸发, 干土层厚度增加; 加之此期夏季农作物已经大面积收割, 翻耕后松软的农田为夏季沙尘暴提供了丰富的物质来源。因此, 虽然夏季沙尘暴发生时的水平风速比春季时小, 但由于下垫面能够提供大量的细粒子而使得水平能见度更低。

4 小结

1) 从2004年春夏两次激发沙尘暴的天气系统来看, 春季沙尘暴是由于强冷空气过境时造成地面

气压梯度进而产生强风和锋面强的抬升作用, 把大量的沙尘粒子卷入高空而形成的; 夏季沙尘暴则是由于位于内蒙古西部的额济纳旗和拐子湖东北的一条弱的切变线在由东北向西南方向移动的过程中激发了对流发展, 加之地面南疆盆地热低压和东北方向由于受内蒙古中部和甘肃中部地面高压所形成的气压梯度的作用而产生了沙尘暴天气。

2) 从两次沙尘暴发生前后地面气象要素的变化看, 两次沙尘暴发生前地面湿度都比较小, 地面气压较低, 但是在临近发生时地面气压会猛增, 然后维持一段时间的相对稳定状态, 但春季沙尘暴过程这个时间更长; 沙尘暴即将结束时地面气压再次大幅增加。沙尘暴发生气温偏高, 结束后较短时间气温会出现急剧下降趋势。0 cm 低温和气温的变化趋势比较一致; 夏季沙尘暴过程中 5 cm 地温的变化趋势与气温变化趋势也非常接近, 但是春季沙尘暴过程中 5 cm 地温的变化趋势与气温变化差别较大。春季发生的这次沙尘暴地面水平风速明显比同年夏季发生的沙尘暴大, 但地面水平能见度却是夏季的更差, 这主要与不同时期下垫面的性质有关。

参考文献(References):

- [1] 徐国昌, 陈敏莲, 吴国雄. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析[J]. 气象学报, 1979, 37(4): 26-35.

- [2] 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106—111.
- [3] 周自江, 王锡稳. 西北地区东部群发性沙尘暴序列的建立与分析[J]. 地理学报, 2002, 57(4): 437—442.
- [4] 李栋梁, 钟海玲, 魏丽, 等. 中国北方沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J]. 高原气象, 2003, 22(4): 337—345.
- [5] 张平, 杨德宝, 尚可政, 等. 2002年春季中国沙尘天气与物理量场的相关分析[J]. 中国沙漠, 2003, 23(6): 674—680.
- [6] 周秀骥, 徐祥德, 顾鹏, 等. 2000年春季沙尘暴动力学特征[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(4): 327—334.
- [7] 胡隐槐, 光田宁. 沙尘暴发展与干绝线—黑风暴形成机理的分析[J]. 高原气象, 1996, 15(2): 178—185.
- [8] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于我国华北地区沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513—521.
- [9] 王式功, 杨得宝, 周玉素, 等. 我国西北地区“94.4”沙尘暴成因探讨[J]. 中国沙漠, 1995, 15(14): 332—338.
- [10] 岳平, 牛生杰, 王连喜, 等. 一次夏季强沙尘暴形成机理的综合分析[J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 370—374.
- [11] 方宗义, 张运刚, 郑新江, 等. 用气象卫星遥感监测沙尘的方法和初步结果[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 48—55.
- [12] 郭锐, 顾继祖. NOAA卫星沙尘暴光谱特征分析及信息提取研究[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 643—647.
- [13] 程麟生, 马艳. “93.5”黑风暴发展结构和不同模式分辨率的数值试验[J]. 应用气象学报, 1996, 7(4): 386—395.
- [14] 牛生杰, 孙继明, 陈跃, 等. 贺兰山地区春季沙尘气溶胶质量浓度的观测研究[J]. 高原气象, 2001, 20(3): 82—87.
- [15] 牛生杰, 孙兆照. 春末中国西北沙漠地区沙尘气溶胶物力特性的飞机观测[J]. 高原气象, 2005, 24(4): 604—610.
- [16] 沈志宝, 魏丽. 我国西部大气沙尘气溶胶的辐射效应[J]. 大气科学, 2000, 24(4): 541—548.
- [17] 张强, 王胜. 论特强沙尘暴(黑风)的物理特征及其气候效应[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 675—681.
- [18] 胡隐槐, 光田宁. 强沙尘暴微气象特征和局地触发机制[J]. 大气科学, 1996, 21(5): 1582—1589.
- [19] 胡泽勇, 黄荣辉, 卫国安, 等. 2000年6月4日沙尘暴过程过境时敦煌地面气象要素及地表能量平衡特征变化[J]. 大气科学, 2002, 26(1): 1—8.

Variations of Surface Meteorological Element during Twice Sandstorms Passing Jiuquan on March 28 and July 12 of 2004

NIU Sheng-jie¹, YUE Ping^{1,2,3}, LIU Xiao-yun⁴

(1. KLME of Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Institute of Arid Meteorology, China Meteorology Administration, Lanzhou 730020, China; Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province; 3. China Meteorological Observation in Zhangye, Zhangye 734000, Gansu, China; 4. Jiuquan Meteorological Bureau of Gansu Province, Jiuquan 735000, Gansu, China)

Abstract: Based on the per minute surface meteorological element data of the twice sandstorms cases recorded by sandstorm automatic observation system of Jiuquan base station on March 28 and on July 12 of 2004, the micro meteorological element change characteristics were analyzed. The result indicated that: ① The surface humidity and barometric pressure were both quite low before sandstorms. Surface pressure increased suddenly in the beginning course of the twice sandstorms, then maintained a period of relatively steady states. But the relatively steady period was longer in the spring sandstorm case than that in winter sandstorm case. The surface pressure largely increased once again before sandstorms nearly finished. ② The surface air temperature was high before sandstorms happened, but decreased quickly at the end of the course. In the spring sandstorm period, the 0 cm depth earth temperature and surface air temperature change tendencies were quite consistent. But in summer not only the 0 cm depth earth temperature but the 5 cm depth earth temperature variation was consistent with surface air temperature change tendency. ③ Owing to the difference of the surface characters in different seasons, the horizontal visibility of summer case was bad than the spring courses, although the horizontal wind speed of the spring occurs was obviously bigger than that of the summer sandstorms.

Keywords: sandstorms; meteorological element; visibility; ground temperature; contrast analysis