

河西走廊盛夏一次强沙尘暴天气综合分析

王锡稳 刘治国 黄玉霞 张铁军 程 鹏

(兰州中心气象台, 730020)

提 要: 利用常规气象观测资料和 NCEP/NCAR 月平均再分析资料, 对 2003 年 7 月 20 日甘肃河西走廊一次历史上少见的区域性夏季沙尘暴天气进行了分析。研究发现: 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。夏季沙尘暴发生过程中, 各测站出现了气压跃升、风速猛增、气温下降、湿度增加等现象, 但变化幅度小于春季。夏季沙尘暴云团特征表现为中小尺度云团, $TBB \leq -35^{\circ}\text{C}$ 的云团在一定程度上能够反映沙尘暴天气的变化。诊断分析表明, 沙尘暴爆发前散度场呈低层辐合高层辐散状态, 沙尘暴发生在最大垂直速度出现以后, 同时水平螺旋度对夏季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。

关键词: 河西走廊 夏季沙尘暴 天气系统 云团特征 诊断分析

Integrated Analysis of a Severe Sand-dust Storm in Hexi Corridor in Summer

Wang Xiwen Liu Zhiguo Huang Yuxia Zhang Tiejun Cheng Peng

(Lanzhou Central Meteorological Observatory, 730020)

Abstract: Using the observational and NCEP/NCAR reanalysis data, the characteristics of an unusual severe summer sand-dust storm in Hexi corridor is analyzed. The results show that upper trough and shear line and thermal depression are main synoptic systems introducing summer sand-dust storm. The value of air pressure, wind speed and relative humidity increased, and the value of air temperature descended when the summer sand-dust storm oc-

资助项目: 国家自然科学基金“新一代天气雷达测量沙尘暴的能力和 method 研究”(40475011) 和甘肃省气象局“夏季沙尘暴预报方法研究”(200602) 共同资助

收稿日期: 2006 年 1 月 10 日; 修定稿日期: 2006 年 3 月 29 日

cured, but the changing extents were less than that of meteorological elements in spring sand-dust storm. The summer sand-dust storm is as characteristics of middle-small scale cloud cluster on cloud image, the cloud cluster of $TBB \leq -35^{\circ}\text{C}$ can show the change of sandstorm in summer. The diagnostic analysis shows that there is convergence in low level and divergence in upper level, sandstorm happened after the appearance of max vertical velocity, and at the same time, the helicity in eve of sand-dust storm eruption has good indication in the forecasting of sand-dust storm. When the helicity is large, the sand-dust storm is severe.

Key Words: Hexi corridor summer sand-dust storm synoptic system the character of cloud cluster diagnostic analysis

引言

沙尘暴所引发的气候学效应对人类生存环境、社会经济活动均能造成一定影响,是不可忽视的大气和生态环境问题之一。国外从20世纪20年代开始对沙尘暴的时空分布、成因、结构以及监测、对策方面进行了研究。与国际相比我国起步较晚,甘肃省沙尘暴研究是从20世纪70年代后期开始的^[1-3]。1993年我国首次召开沙尘暴天气研讨会,对沙尘暴天气进行系统性的研究,涉及天气气候特征^[4,5]、个例诊断分析^[6-9],卫星云图特征^[10,11]和数值模拟研究^[12,13]等。唐国利等^[4]对中国近49年沙尘暴变化趋势进行分析表明:我国沙尘暴总日数在20世纪80年代中期以后比50—60年代减少了73%,沙尘暴的变化趋势主要是随大风的变化而变化。薛建军等^[6]对2002年3月18—22日发生在我国北方地区的一次强沙尘暴过程进行了分析,指出沙尘天气的产生原因包括上游沙尘高空输送沉降、本地热力作用、蒙古气旋和锋面附近大风。张仁健等^[9]研究表明,沙尘暴发生时,近地层风速明显增大,空气相对湿度迅速减少,边界层湍流交换强烈。郑新江等^[11]利用卫星云图及常规气象资料对1998年4月14—15日强沙尘

暴进行了分析,指出此次过程是由斜压槽及冷锋触发的。许东蓓等^[13]通过对发生在新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等地的一次强沙尘暴的数值模拟发现,非静力MM5模式能较好地模拟出强沙尘暴的地面强风系统、高空锋区的发生发展。从上述分析看,此前的研究均是范围较大的区域性沙尘暴天气过程,而对河西走廊西部的沙尘暴分析较少,所选个例则是沙尘暴多发季节(春冬季),夏季的沙尘暴尚无研究。而近几年,甘肃夏季沙尘暴发生次数有增多趋势,因此本文利用常规观测资料和NCEP/NCAR再分析资料,对2003年7月20日发生在甘肃河西走廊的一次夏季强沙尘暴过程的环流形势、物理量特征进行分析,试图揭示夏季沙尘暴发生特征和形成机理,为夏季沙尘暴的预报提供参考依据。

1 天气实况

2003年7月20—21日甘肃省河西走廊有17个站出现沙尘天气,其中金塔、张掖为强沙尘暴,最低能见度为200m,鼎新、高台、临泽、民勤4站出现沙尘暴,其余11站为扬沙和浮尘天气(表1)。沙尘暴的强中心与瞬时风速强中心完全吻合(图略),金塔、张掖出现强沙尘暴时瞬时风速分别达

24.0m·s⁻¹、20.4m·s⁻¹。此次沙尘暴天气方向移动影响河西走廊，21 日 17 时结束。气是 20 日 14 时 37 分开始，从西北向东南

表 1 2003 年 7 月 20—21 日沙尘天气实况

序号	站名	能见度/m	风速/m·s ⁻¹	风向	天气现象	持续时间
1	鼎新	700	20	西风	沙尘暴	20 日 19: 36—19: 57
		600	21		沙尘暴	20 日 20: 53—21: 39
2	金塔	200	24	西北风	强沙尘暴	20 日 18: 24—21: 18
3	高台	600	16	西北风	沙尘暴	20 日 20: 05—21: 30
4	临泽	600	18	西北风	沙尘暴	20 日 21: 25
5	张掖	200	20.4	西北风	强沙尘暴	20 日 21: 05—22: 12
6	酒泉	8000	21	西风	扬沙	20 日 19: 30—21: 50
7	肃北	7000			浮尘	20 日 14: 00
8	民勤	700	19	西北风	沙尘暴	21 日 01: 12—02: 43
						21 日 02: 00—03: 00
9	乌鞘岭	8000			扬沙	21 日 08: 00
10	玉门镇		19	西北风	扬沙	20 日 14: 37—14: 58
						20 日 16: 24—17: 32
11	民乐	6000			浮尘	21 日 08: 00
12	山丹	6000			浮尘	21 日 08: 00
13	古浪	6000			浮尘	21 日 08: 00
14	永昌	6000	9	西北风	浮尘	21 日 11: 00—14: 00
15	榆中	7000			浮尘	21 日 14: 00
16	敦煌		17	西风	扬沙	20 日 14: 10—14: 16
17	靖远	8000			浮尘	21 日 11: 00—20: 00

2 环流形势演变和影响天气系统

2003 年 7 月 20 日 08 时亚洲中高纬度 500hPa 维持两脊一槽型（图略），两高压脊分别位于里海、咸海—巴尔喀什湖、东西伯利亚—鄂霍茨克海，在中西伯利亚为一短波小槽，伴有一 18℃ 冷中心。700hPa 环流形势与 500hPa 大致相同（图略），但小槽位置略偏南。对应地面图上，在甘肃河西走廊和青海西北部有一西北风与东南风的切变线，河西走廊和青海东部处于 24h 负变压区中。14 时后随着冷空气南下，地面风开始加大，切变线西北部气温下降，河西西部首先出现扬沙天气，随着切变线的东移南压，18 时 24 分金塔出现强沙尘暴。

此次沙尘暴过程直接影响天气系统有 3 个：一是新疆小槽，2003 年 7 月 20 日新疆到河西走廊西部有一冷槽，随着冷空气分裂东移进入河西造成沙尘暴天气。甘肃河西走廊西部 500hPa 有 20m·s⁻¹的强风速带，低层 700hPa 有 16m·s⁻¹的低空急流，这种中层风速的加强有利于地面风速的加大。二是高原切变线，夏季在高原切变线附近易形成大气层结不稳定，该处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发生发展具有激发作用。三是河西走廊西部热低压，在沙尘暴发生前期，新疆七角井（冷高压）和张掖（热低压）之间的气压差为 16.7hPa，较强的气压梯度产生梯度大风，有利于大风沙尘暴的加强^[14]。

3 沙尘暴过境前后地面气象要素变化特征

对于春季沙尘暴过境时地面气象要素的响应研究较多^[14,15]，胡泽勇等^[14]分析 2000 年 6 月 4 日沙尘暴过境时敦煌地面气象要素变化指出，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，而在沙尘暴过境时和过境后，地面空气显得相对湿冷，地面气压急剧上升，并处于高压控制之下。可以看出，春季沙尘暴过境时气象要素具有气压跃升、风速猛增、气温下降、湿度增加等特征。那么夏季沙尘暴是否也具有这些特征呢？变化幅度有何不同？具体分析如下。

以金塔站为例，在 7 月 16 日以后该站气温持续在 31℃ 以上，沙尘暴爆发前 7 月 20 日竟达到了 34.2℃，而相对湿度仅 15% 左右，地面空气处于暖干状态，地面受低气压控制，本站气压值为 863.1hPa，对于沙尘天气极为有利。沙尘暴过境时地面气温下降了 3.7℃，相对湿度增加 8%，气压上升 0.5hPa，风速由过境前 $8\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 骤然增大为 $18\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。此后气温继续下降，相对湿度、气压继续上升，沙尘暴过境后金塔站气温降至 21.1℃，相对湿度及本站地面气压分别升至 50%、868.3hPa（图 1）。与春季沙尘暴过境前后地面要素变化^[14]进行对比分析可看出，夏季沙尘暴过境前后温度下降幅度不如春季剧烈，可能与夏季气温基本稳定，变化幅度不如春季剧烈有关。其余各站气象要素变化也有类似的特征。

4 卫星云图特征

从沙尘暴天气影响区上空云团的演变分析发现（图 2），云团水平范围在几十至几

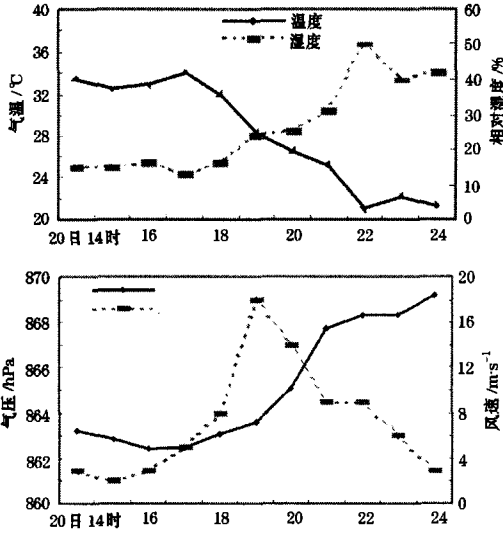


图 1 2003 年 7 月 20 日强沙尘暴过境时金塔自动气象站气温、气压、空气相对湿度和 2 分钟风速变化图

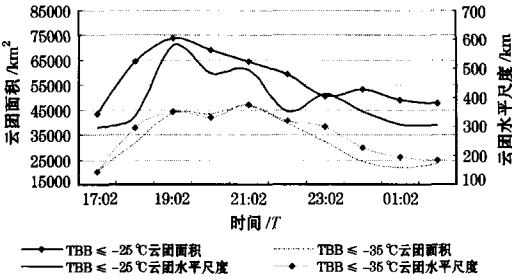


图 2 2003 年 7 月 20 日—21 日沙尘暴影响区云团面积及水平尺度变化曲线

百公里内。20 日 18 时 02 分—19 时 02 分，无论是云团面积还是云团水平范围，都迅速增加，对应地面出现沙尘暴和强沙尘暴（如鼎新、金塔）。19 时 02 分以后，云团面积和水平尺度稍有减弱。20 时 02 分以后 TBB $\leq -35^\circ\text{C}$ 云团面积和水平尺度再次迅速增加，到 21 时 02 分达最强，其后张掖出现强沙尘暴，21 时 02 分以后，云团北移减弱，沙尘暴天气基本结束。结合当天的环境条件发现，影响此次沙尘天气的云团发生在高空冷槽后部的晴空区内，它有清晰的呈圆弧状分布的前边界和向南部伸展的高云。通过此

次沙尘天气的分析发现, $TBB \leq -35^{\circ}\text{C}$ 的云团面积都在几十到几百公里范围内, 可见甘肃河西走廊夏季沙尘天气主要是在中、小尺度热对流天气形势下发生。

5 物理量诊断分析

5.1 散度场分布特征

沿沙尘暴发生区做散度的纬向垂直剖面发现(图略), 7月20日08时沙尘暴发生区呈中低层辐散、高层辐合状态; 20日14时, 沙尘暴发生区的散度场发生了巨大变化, 500hPa以下呈辐合状态, 以上呈辐散状态, 这种高低空配置有利于上升运动的发展; 20时以后, 辐合层高度下降至600hPa附近, 且强度明显减弱; 21日02时这种利于上升运动形势完全被破坏, 形成一种低层辐散, 高层辐合的垂直结构。

5.2 垂直速度分布特征

图3是沙尘暴发生区垂直速度的纬向垂直剖面图。20日08时沙尘暴发生区整层为下沉运动; 到了14时(图3a), $80^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$ 范围内的垂直速度呈现出两正(下沉运动)一负(上升运动)三个速度中心, 其中 $93^{\circ}\text{E} \sim 102^{\circ}\text{E}$ 为整层上升运动区, 而沙尘暴发生区上空的最高上升中心在450hPa附近, 中心强度为 $-0.18\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$; 沙尘暴爆发盛期(图3b), 3个速度中心依然存在, 强度都有所加强, 其中沙尘暴发生区上升速度中心抬高至400hPa附近, 最大上升速度达 $-0.2\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$; 到了21日02时(图略), 沙尘暴发生区的上升速度开始减弱, 并且高度有所降低, 仅在550hPa以下存在上升运动。由以上分析可见, 垂直上升速度由强到弱的变化与此次沙尘暴从爆发到衰亡的发展过程有很好对应关系。

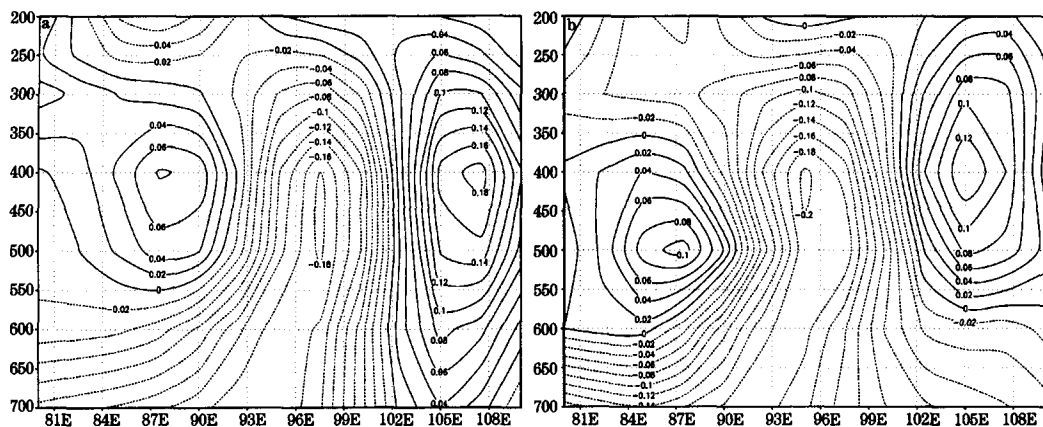


图3 2003年7月20日14时(a)和20时(b)垂直速度
纬向($37.5^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$ 平均)垂直剖面图

取沙尘暴发生区周围4个格点(37.5°N 、 100°E , 37.5°N 、 102.5°E , 40°N 、 100°E , 40°N 、 102.5°E)500hPa垂直速度平均值作时间演变曲线以代表沙尘暴区垂直速度

的演变情况(图略), 可看出, 沙尘暴发生前, 20日14时沙尘暴发生区上升速度达最强, 为 $-0.05\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 此后20时, 上升速度虽有所减弱, 但仍较强, 为 -0.038

$\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$, 到 21 日 02 时转为下沉运动。可见, 沙尘暴发生滞后于上升速度最大值出现时间。

5.3 螺旋度特征分析

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。而沙尘暴也是一种强对流天气, 那么螺旋度在沙尘暴天气中表现的特征如何呢? 以下利用水平螺旋度^[16]这一诊断量对沙尘暴天气作进一步分析研究。

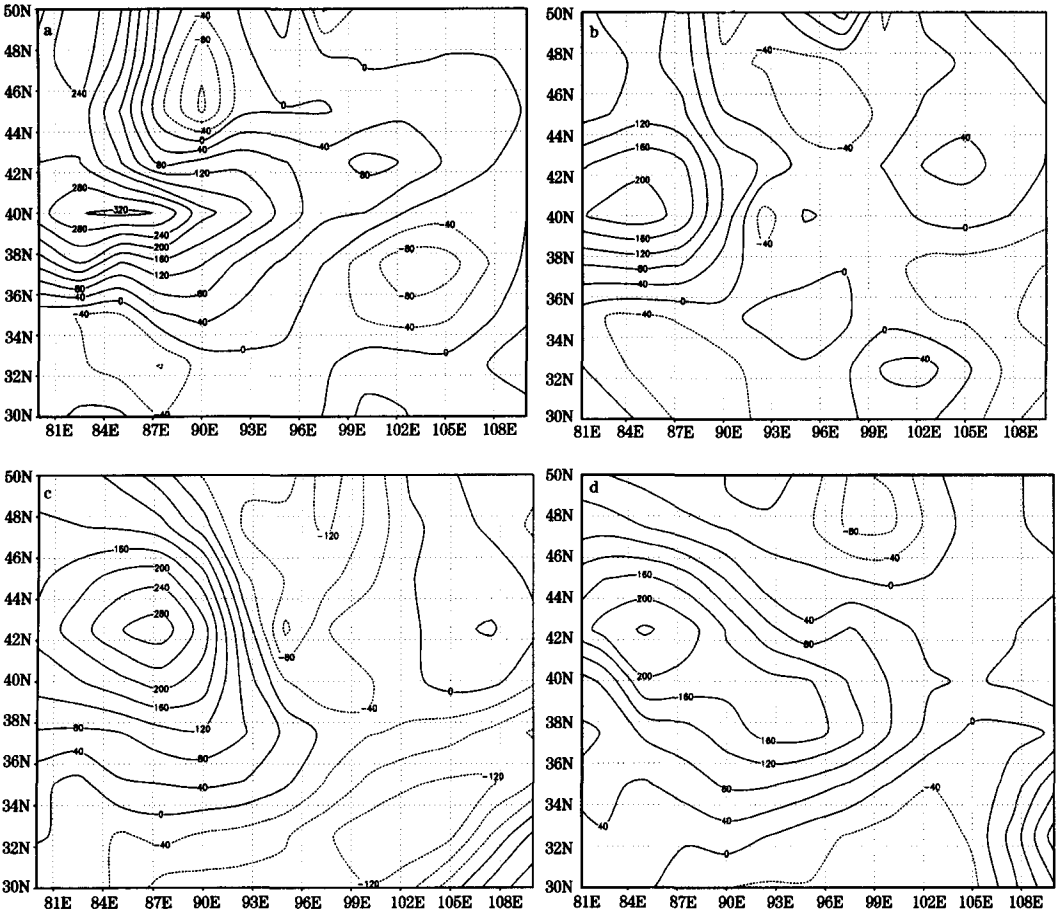


图 4 2003 年 7 月 20 日 08 时—21 日 02 时水平螺旋度场
a: 20 日 08 时; b: 20 日 14 时; c: 20 日 20 时; d: 21 日 02 时

20 日 08 时 (图 4a), 在 $36^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$ 之间存在一轴线呈 NE—SW 走向正螺旋度大值区, 沙尘暴发生区位于 $38^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$ 、 $99^{\circ}\sim 103^{\circ}\text{E}$, 其螺旋度在 $40\sim 80\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 之间。20 日 14 时 (图 4b), 螺旋度正值带强度减弱且发生断裂, 形成东西两个正值中心。与

前一时刻相比, 沙尘暴发生区螺旋度减小, 其强度在 $0\sim 40\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 。20 日 20 时 (图 4c), 螺旋度场正值区的西中心加强北抬, 东中心减弱东移, 此时沙尘暴发生区的螺旋度值小于零。21 日 02 时 (图 4d), 位于天山附近的正螺旋度区范围向东扩张, 沙尘暴

发生区螺旋度值再次增大为 $40 \sim 80 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$, 此时民勤爆发沙尘暴。

6 小结与讨论

(1) 沙尘暴的强弱主要由风力大小和水平能见度来决定, 强风是产生沙尘暴的动力, 而风力大小主要取决于高低空风速的强弱。夏季沙尘暴也是如此, 此次沙尘暴过程7月20日08时, 在河西走廊西侧和西北侧, 地面风速 $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 700hPa 风速 $\geq 16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 500hPa 风速 $\geq 28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 这种高低空风场的配置具备了沙尘暴发生的条件。

(2) 夏季沙尘暴地面气压场所反映的冷高压与热低压之间相互作用与春季沙尘暴相同。这次沙尘暴过程, 新疆冷高压与河西热低压之间气压差值为 16.7 hPa , 虽比春季略低, 但新疆冷高压与河西热低压之间正、负 ΔP_{24} 、 ΔP_3 界线分明, ΔP_3 越大越有利大风沙尘暴加强, 正负 ΔP_3 中心连线的方向代表着冷暖空气移动方向, 也是沙尘暴移动方向^[17]。

(3) 夏季沙尘暴过境时, 气象要素也表现为气压跃升、风速猛增、气温下降、湿度增加等特征, 但变化幅度小于春季。

(4) 夏季沙尘暴一般出现时间短, 在12小时之内, 且范围小、天气尺度小, 常和强对流天气同时发生, 影响系统主要是高空小槽、切变线和热低压。春季沙尘暴一般影响时间长、范围大, 强度强、天气尺度大、降温明显、能见度低、瞬时风速大, 影响天气系统主要是高空槽、强锋区、蒙古冷涡和地面冷锋。

(5) 夏季沙尘暴天气, 一般属于中小尺度云团, 特别以小尺度为主。云团总面积的变化虽不一定能反映沙尘暴天气的变化, 但 $TBB \leq -35^\circ\text{C}$ 的云团在一定程度上能够反映

甘肃夏季沙尘暴天气的变化, 云团的变化明显滞后于天气实况。另外, 夏季沙尘暴中小尺度云团特征, 明显区别于强降水的中小尺度云团, 沙尘暴云团发生在高空冷槽或冷涡后部的晴空区内, 它有清晰的呈圆弧状分布的前边界和向后部伸展的高云, 而强降水云团主要发生在大尺度锋面云带中。

(6) 水平螺旋度的变化对沙尘暴预报具有一定的指示意义, 螺旋度正值越大, 沙尘暴越强, 沙尘暴的发生比螺旋度大值区的出现有一定的滞后性。

关于夏季沙尘暴, 目前国内在此方面研究很少, 无人作过系统性研究, 预报方法欠缺, 也是当前预报的难点, 此次夏季沙尘暴过程, 仅是一个个例, 能否具有普遍性, 还有待于进一步研究。

致谢: 本文得到了孙国武研究员、王式功教授和尚可政博士的指导帮助, 谨致谢意。

参考文献

- 1 徐国昌, 陈敏连, 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 陈伟民, 王强, 陈敏连等. “5.5”黑风暴中- β 尺度龙卷线的初步数值模拟 [J]. 气象学报, 1996, 54 (6): 684-691.
- 3 王文, 程麟生. “93.5”黑风暴对称不稳定诊断分析 [J]. 高原气象, 1999, 18 (2): 127-137.
- 4 唐国利, 巢清尘. 中国近49年沙尘暴变化趋势的分析 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 8-11.
- 5 钱正安, 宋敏红, 李万元. 近50年来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.
- 6 薛建军, 刘月巍, 牛若芸等. 2002年3月18—22日强沙尘暴过程分析 [J]. 气象, 2004, 30 (9): 39-44.
- 7 张利平, 王春红, 胡建军. 乌鲁木齐国际机场2001年5月11日强沙尘暴天气分析 [J]. 气象, 2003, 29 (6): 46-49.
- 8 王革丽, 吕达仁, 李鸿洲. 2000年4月5—7日浑善达克沙地沙尘暴天气过程分析 [J]. 气象, 2002, 28 (7): 13-17.
- 9 张仁健, 徐永福, 韩志伟. 北京春季沙尘暴的近地面

- 特征 [J]. 气象, 2005, 31 (2): 8-11.
- 10 江吉喜. 一次特大沙尘暴成因的卫星云图分析 [J]. 应用气象学报, 1995, 6 (2): 177-184.
- 11 郑新江, 赵亚民, 罗敬宁. 中国沙尘暴天气云图特征 [J]. 气象, 1995, 21 (2): 46-49.
- 12 焦彦军, 钱正安, 陈玉春等. 93.5.5 特强沙尘暴的数值预报研究 [M]. 中国沙尘暴研究. 北京: 气象出版社, 1997: 121-127.
- 13 许东蓓, 康凤琴, 郑新江. 1998 年 “4.18” 强沙尘暴分析及数值模拟 [J]. 气象, 2002, 28 (8): 7-12.
- 14 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.
- 15 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.
- 16 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.
- 17 王锡稳, 牛若芸, 冀兰芝等. 甘肃沙尘暴短期、短业务化预报方法研究 [J]. 应用气象学报, 2003, 14 (6): 682-690.