

# 我国北方春季一次强沙尘暴天气综合分析

杨 萌 王世杰 王文波 韩 晓

(山东省潍坊市气象局, 山东潍坊 261011)

**摘要** 利用 Cmacast 接收的常规气象资料、探空资料对我国北方一次大范围沙尘天气进行分析, 用 Micasp3.0 气象数据处理系统对物理量进行剖面分析, 主要从沙源、影响系统和大风成因 3 个方面进行诊断分析, 找出此次沙尘天气影响范围广、持续时间长的原因及其主要影响系统, 以期对以后的沙尘暴预报工作提供一些有参考意义的指标。

**关键词** 沙尘暴; 大风; 急流; 春季; 中国北方

**中图分类号** P429 **文献标识码** A **文章编号** 1007-5739(2015)22-0247-02

## Integrated Analysis of a Severe Sand-dust Storm in Spring in North China

YANG Meng WANG Shi-jie WANG Wen-bo HAN Xiao

(Weifang Meteorological Bureau in Shandong Province, Weifang Shandong 261011)

**Abstract** Using the Cmacast data, radiosonde data to analyze the large range of dust weather in the North China. Using the Micasp3.0 meteorological data processing system to analyze the quantities of profile data, mainly from the sand, winds causes, influence system three aspects to made diagnostic analysis, in order to find out the cause of dust weather influence range, long duration, the main effect of the dust storm weather out system, and provide some references for later sandstorm forecasting index work.

**Key words** sand-dust; wind; jet-stream; spring; North China

近年来, 随着北方气候干旱程度的不断加重和人类不合理的开发, 沙尘天气成为影响我国北方的严重自然灾害。进入 20 世纪 90 年代以后, 特别是最近 4~5 年, 沙尘天气的出现频数有所增加, 呈现出发生时间早、强度大、影响范围广的特点, 给人民生命财产造成严重损失<sup>[1]</sup>。由于我国沙尘暴频繁发生, 以及人们生活水平的提高和对环境问题的日益关注, 沙尘暴研究已经渗透到自然科学和社会科学研究的许多领域, 包括农业气象、环境生态、交通运输、生活健康、区域和全球气候等<sup>[2-3]</sup>。我国对沙尘暴的研究始于 1970 年代后期, 王式功等指出, 冷锋活动是造成大范围大风沙尘天气的主要天气系统。项续康等<sup>[4]</sup>、王锡稳等<sup>[5]</sup>利用红外云图, 对我国西北地区强沙尘暴天气的成因做了分析, 认为强沙尘暴是由一些中尺度强对流系统形成和发展而造成的。胡隐樵等<sup>[6]</sup>认为西北地区的黑风暴有一系列飚线的基本特征。现对我国北方春季一次强沙尘暴天气进行综合分析, 以供参考。

### 1 天气实况

2014 年 4 月 23—25 日, 我国北方自西向东出现了一次较强大面积的沙尘天气, 其中在新疆的天山南坡、南疆盆地东部、内蒙中部至华北北部出现沙尘暴。造成本次沙尘暴天气的沙源地主要集中在塔克拉玛干沙漠和乌兰布和、巴丹吉林、腾格里、毛乌素、库不齐沙漠集中的这一块沙漠区。南疆盆地特殊地形、河西走廊地形的狭管效应以及贺兰山的阻挡和俯冲对本次沙尘暴天气的发生发展有重要作用。塔克拉玛干沙漠沙尘平均粒径 0.078 mm, 为超细沙, 起沙风速相对国内及国外同类相似地区比较小, 由于形成沙尘暴天气的风力等级偏小, 导致 24 日南疆盆地一直维持有浮尘天气, 最小能见度为 200 m。同时, 河西走廊特殊的流沙、尾矿砂地表为沙尘暴的形成提供了极为有利的地理环境。当冷空气经过此地, 地形引起的狭管效应, 使风力明显加大, 河

西走廊入口区能风度明显下降, 23 日冷锋过境时能见度仅有 100 m, 明显低于周围地区。这次过程沙尘暴和强沙尘暴集中, 伴随有明显的雨雪天气, 雨雪区主要位于沙尘暴影响区的后部, 同时伴随明显的地面大风。至 25 日夜里减弱消失, 但夜间人工观测“现在天气”的观测站相对较少可能也是造成沙尘暴天气夜里减弱消失的一种原因。

### 2 气候背景

此次沙尘暴天气出现在春季, 我国北方地区在此季节冷暖气团差异明显, 从整个大气层结来看更容易出现上冷下暖的垂直结构, 同时午后地面辐射加热增温明显, 地面气压迅速降低, 容易产生层结热力不稳定。冷空气势力较冬季虽然日趋减弱, 但是冷锋前的大风天气很频繁。同时由于前期降水少, 气温较高, 时逢春耕春播时间, 沙尘源充足, 为沙尘暴的发生提供了有利条件。

### 3 沙尘暴成因分析

#### 3.1 大风条件

**3.1.1 高空槽和低空急流演变分析。**沙尘暴常是大范围强冷空气入侵的结果, 常在特定的环流型下暴发<sup>[7]</sup>。分析 500 hPa 高空槽的演变发现此次为西风槽加强东移型。23 日至 24 日 20:00, 极锋锋区上槽脊系统快速发展起来, 随着主导脊东南衰退, 高空槽加强东移南下, 强锋区南压。到 24 日 20:00, 冷空气不断补充, 在内蒙古西部以北地区形成一个低涡, 同时在青海省的中部西风槽东移加强; 25 日继续东移加强, 影响内蒙古中部地区。

Limaitre 等<sup>[8]</sup>发现, 低空急流对欧洲的斜压大气中水汽辐合过程起到激发和组织作用。Bannon<sup>[9]</sup>和 Cook<sup>[10]</sup>研究了索马里急流的形成, 并且分析了急流对非洲西部降雨过程的影响。低空急流在西北地区强沙尘暴的形成中, 起着动量传输、制造位涡动能和产生不稳定发展条件等作用, 因此春季低空急流对甘肃河西走廊沙尘暴短期预报有很好的指示意义<sup>[11]</sup>。将沙尘暴影响区域和低空急流位置叠加分析发现, 在 700 hPa 急流比较明显, 850 hPa 风速虽大但未达到急流标

**作者简介** 杨萌(1981-), 男, 山东潍坊人, 工程师, 从事中短期天气预报工作。

**收稿日期** 2015-10-12

准,较700 hPa位置偏前。23日8:00低层有很强西北急流(850 hPa最大风速达30 m/s),24日8:00移至河套地区上空,至25日20:00冷空气减弱北收,急流减弱消失,自西向东的沙尘天气也趋于结束;23日夜间到25日南疆盆地始终维持一支弱的低层偏东急流,有组织地形成“东灌”。

**3.1.2 地面影响系统分析。**分析地面气压场和冷锋位置的演变,发现此次沙尘暴天气的主要是由于冷锋锋生造成的强斜压性。在临近沙尘暴发生时,地面气压迅速增加,压差加大,使风速加大,为起沙提供了必要的动力条件<sup>[12]</sup>。在同一次沙尘天气过程中,除了不同地区的地表覆盖类型、土壤类型、土壤湿度的不同外,影响该地区的天气系统不同(风力等),起沙量也不同<sup>[13]</sup>。前期南北疆盆地受热低压中心为1 007.5 hPa,23日8:00,冷高压中心强度达1 040 hPa,加压迅速。23日20:00冷锋移至西北地区西部,蒙古气旋加强,冷锋后部气压梯度增强;随着冷高压减弱、地面气旋东移北收,气压梯度也明显减弱,自西向东的大风沙尘天气也趋于结束。23日8:00吐鄯托盆地至南疆盆地东部24 h变压超过20 hPa,3 h变压更明显,达到50 hPa;24日白天河西走廊到河套地区3 h变压在20~30 hPa。加压迅速是导致就地起沙的重要原因。

3.2 不稳定大气层结分析

**3.2.1 前期热力条件和大气层结条件分析。**强沙尘暴多发

生在午后到傍晚,这主要是由于午后地面处于明显的热力不稳定状态,热对流发展最强盛,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<sup>[14]</sup>。分析850 hPa温度场发现,在沙尘暴发生前前期,我国的西北地区受明显暖脊控制,后冷空气不断东移南下,温度梯度大,冷平流强度高。冷暖气团交替明显,加剧湍流交换。分析23—24日地面最高温度分布显示,在南疆盆地地面气温最高达32℃,河西走廊到内蒙东部地面温度达到26~28℃。进入夜间以后,由于行星边界层趋于稳定,沙尘源地的大风减弱,地面沙尘天气渐弱<sup>[15]</sup>。表征大气行星边界层稳定度的Ri有可能较好地描述沙尘天气过程的强弱,其强度以及持续时间的长短可以作为沙尘天气预报中的一个参考的预报因子<sup>[16]</sup>。在沙尘暴地区发生的前期,850 hPa与500 hPa温差最高达40℃,暖层较厚,到23日8:00南疆地面24 h增温达到10~13℃。从地面到对流层中层温度较高,土壤含水量低。巴尔喀什湖北部冷空气东移南下,暖气流交汇形成大气不稳定层结,风速加大,激发沙尘天气,之后随着冷空气东移,沙尘天气区东移。

**3.2.2 探空图分析。**根据本次沙尘暴的特点和发生区域,特选取了2个有代表性的站点进行探空分析,分别为哈密站(图1)和呼和浩特站。

可以看出,沙尘天气发生前期为下干上湿,低层有明显

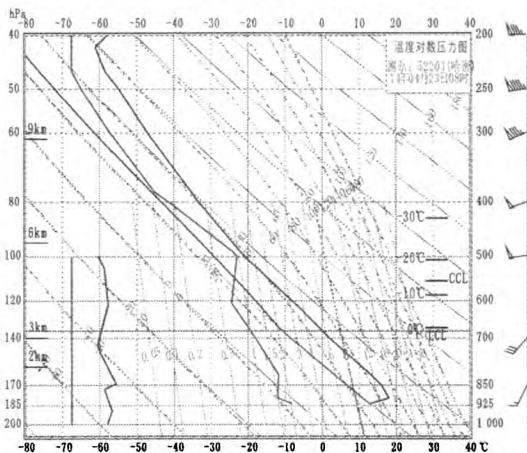


图1 哈密站探空图

逆温存在,考虑前期哈密地区近地层温度高湿度低,有利于沙尘天气形成;沙尘天气发生后,下干上湿的条件维持,风向转为偏北风,925 hPa风速为12 m/s。

综上所述,出现沙尘天气的站点前期低层湿度干、温度较高,有利于沙尘扬起,后期低层风速增大迅速,不稳定能力都比较小。沙尘的主要影响系统是大风和前期地表的干湿情况。沙尘暴发生后,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<sup>[17]</sup>。

4 结论

本次沙尘暴和强沙尘暴相对集中,具有移动速度快、强度大、影响面积广、灾害重的特点。由于在甘肃河西已形成风沙,经阿拉善高原,在东移过程中,在贺兰山北面受阻堆积,冷锋正处于“爬山”阶段,坡度很大,当冷空气积累到一定厚度,一部分冷空气翻越贺兰山向银川盆地俯冲时,由于冷空气迅速下沉,锋面坡度急剧减小,因而大量的位能转化

为动能,加之锋前高温,促使在银川盆地形成强烈的辐合上升运动,使气压梯度和温度进一步加大,促使系统加强,从而导致沙尘暴的形成。

沙尘暴发生前期为西北冷锋型,后期为槽脊东移型。高空影响系统主要为东移加深的西风槽。700 hPa切变东移加深形成低涡,700 hPa西北急流强盛,瞬时极大风速9~12级(最大风速36 m/s)。850 hPa主要影响系统是贝加尔湖冷槽,槽后冷平流强并伴有30 m/s的西北急流,槽前暖脊位于河套地区至贝湖东侧,暖平流较强。探空图上有超绝热现象,层结非常不稳定,有利于局地对流,利于强烈起沙。前期增温积聚一定能量,沙尘发生过程中配合垂直运动上升区。

春季冷暖气团差异明显,高空西风槽东移加深发展,强风区南压,高低空急流动量下传以及地面锋生造成强的斜压,冷锋后加压迅速,气压梯度明显是造成本次沙尘暴大风

(下转第250页)

16:40,老建平站处在 2 条带状回波中间,老建平站北 15 km 存在强雷暴云,将在 1 h 后影响老建平站。RHI 显示(图 2),方位 343°,距本站 50 km,虽然回波顶铅直高度达 8 km,但强度中心高度只有 1.5 km,回波处在减弱阶段。同时距本站 80 km 有发展成熟阶段的强回波,回波顶铅直高度 8 km,强中心铅直高度 4 km,回波体对流旺盛、结构密实。两处回波体处在不同的发展阶段,回波将在本站西北 50~100 km 范围内汇聚、合并。

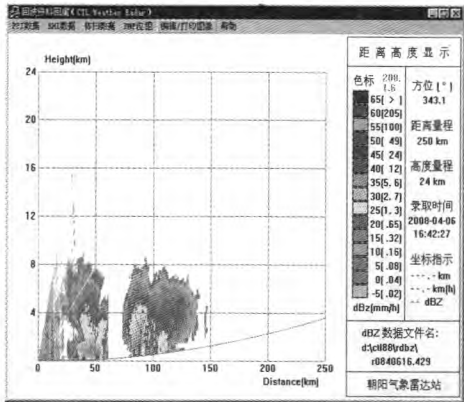


图 2 2 块处在不同发展期的回波

17:30,PPI 显示,2 条带状回波已合并成一条“弯曲”带状回波,说明回波内部有多处强雷暴泡体存在,边缘清晰,中心强度达到 43 dBZ,强中心在老建平站附近(图 3)。RHI 显示,方位 296°,距本站 9 km 形成粗大的柱状强对流回波,边缘整齐,强度梯度清晰,内部结构密实,强中心铅直高度达 5.5 km,说明合并后强雷暴云回波发展旺盛。合并后的雷暴云团势力得到加强,回波强度、水平尺度都增加了,移速达到 25 km/h,向东南移动,并跃过努鲁尔虎山脉移向本站。雷暴云水平覆盖区域有雷电生成,老建平站降雷阵雨。与地面实况相符。

18:57 雷暴云离开老建平站到达朝阳市龙城区大庙乡附近(此处无观测站),中心强度达到 44 dBZ,回波内部存在多个强雷暴体。19:25,带状回波以 20 km/h 移向本站,强雷暴云水平尺度覆盖区域内有雷电生成,朝阳站降雷阵雨,由于距离较近 RHI 不能显示完整的回波体。

(上接第 248 页)

的主要原因。

5 参考文献

[1] 韩经纬,裴浩,宋桂英,等.静止气象卫星监测沙尘暴天气的方法与应用研究[J].干旱区资源与环境,2005,19(2):67-71.  
[2] 石广玉,赵思雄.沙尘暴研究中的若干科学问题[J].大气科学,2003,27(4):591-606.  
[3] 丁一汇,王守荣.中国西北地区气候与生态环境概论[M].北京:气象出版社,2001:145-146.  
[4] 项续康,江吉喜.西北地区强沙尘暴成因的中尺度分析[J].高原气象,1996,15(4):448-455.  
[5] 王锡稳,刘治国,黄玉霞,等.河西走廊盛夏一次强沙尘暴天气综合分析[J].气象,2006,32(7):102-109.  
[6] 胡隐樵,光田宇.强沙尘暴发展与干飚线—黑风暴形成的一个机理分析[J].高原气象,1996,15(2):178-185  
[7] 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  
[8] LIMAITRE Y, P BROVELLI. Role of a low level jet in triggering and organizing moist convection in a baroclinic atmosphere. A case study: 18

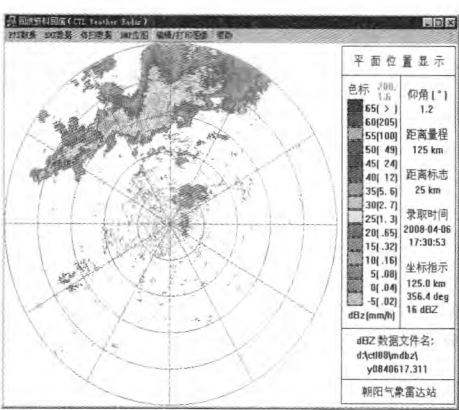


图 3 老建平站上空雷暴云

20:15,PPI 显示(仰角 1°),雷暴云团减弱成阵性降水云团,中心强度降到 30 dBZ,整体结构松散,移向东南直至移出本区入海,此次雷暴天气过程全部结束<sup>[3]</sup>。

4 结语

雷暴云回波特征有以下几个:一是春季雷暴云雷达回波特征与夏季不同,春季回波强度(PPI)、回波顶铅直高度(RHI)都低于夏季雷暴特征。二是云团之间的汇聚、合并和雷暴云团内部的新陈代谢是雷暴云团不断发展的条件<sup>[5-6]</sup>。三是 PPI 显示,雷暴云团水平尺度覆盖范围区域就是雷电影响的区域。可根据天气雷达观测到的雷暴云回波特征及其移向、移速,提前对雷暴云的发展趋势和及影响区域进行较准确预警、预报<sup>[7]</sup>。

5 参考文献

[1] 蒙伟光,闫敬华,扈海波.城市化对珠江三角洲强雷暴天气的可能影响[J].大气科学,2007(2):364-376.  
[2] 毛慧琴,宋丽莉,刘爱君,等.广东省雷暴天气气候特征分析[J].广东气象,2005(2):7-9.  
[3] 梅传义,陈元昭,王明洁,等.深圳市雷暴天气气候变化特征分析[J].广西气象,2006(3):33-36.  
[4] 俞小鼎,周小刚,王秀明.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].气象学报,2012(3):311-337.  
[5] 马中元,许爱华,陈云辉,等.江西灾害性强雷电天气的雷达回波特征[J].自然灾害学报,2009(5):16-23.  
[6] 刘维成.甘肃省闪电特征分析及雷电预警研究[J].兰州:兰州大学,2013.  
[7] 丁德平,李迅,邓长菊,等.北京地区大气电场的特征及雷电预警中的订正分析[J].沙漠与绿洲气象,2012(4):68-73.  
May 1984[J].J Atmos Sci,1990,47(1):82-100.  
[9] BANNON P R. On the dynamics of the east African jet. I. Simulation of mean conditions for July[J].J Atmos Sci,1979,36(11):2139-2152.  
[10] COOK K H. Generation of the African easterly jet and its role in determining west African precipitation[J].J Climate,1999,12(5):1165-1184.  
[11] 汤绪,俞亚勋,李耀辉,等.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.  
[12] 岳平,牛生杰,刘晓云,等.“7·12”特异沙尘暴成因研究[J].干旱区研究,2005,22(3):345-349.  
[13] 赵琳娜,孙建华,赵思雄,等.2002 年 3 月 20 日沙尘暴天气的影响系统、起沙和输送的数值模拟[J].干旱区资源与环境,2004,18(1):72-80.  
[14] 牛生杰,岳平,刘晓云,等.2004 年春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):1067-1071.  
[15] 李小龙,方宗义.2006 年两次影响北京的沙尘天气对比分析[J].气候与环境研究,2007,12(3):320-328  
[16] 赵琳娜,屠妮妮,矫海燕,等.不同动力热力条件下蒙古气旋引发沙尘天气过程的对比分析[J].气候与环境研究,2007,12(3):329-338.  
[17] 张仁健,徐永福,韩志伟,等.北京春季沙尘暴的近地面特征[J].气象,2005,31(2):221-227.