

# 济南一次干飚线—沙尘暴过程成因分析

全林生

(济南空中交通管理中心, 济南, 250107)

## 摘 要

飚线过程所带来的强风和沙尘暴所造成的低能见度天气, 对飞行安全的影响极大, 一直是航空气象预报的难点。本文通过对济南一次罕见的干飚线—沙尘暴天气的综合分析, 结果表明, 干飚线是在急行冷锋过境时形成的, 通过飚线对干燥的地表面的尘土的挟卷作用和上游沙尘的共同作用, 形成了该次沙尘暴过程。干飚线过境时气象要素变化突然的天气特点依然存在, 但系统发展和对流强度不如“湿”飚线, 在雷达和云图上对流表现也不明显。综合利用 EOS 卫星云图资料, 对上游沙尘区域进行预先识别, 是沙尘暴能否成功预报的关键。

关键词: 干飚线, 沙尘暴, 急行冷锋, 多普勒雷达, EOS 卫星云图。

## 1 引言

2005年4月20日13时14分, 济南遥墙机场狂风骤起, 西边天空昏黄一片, 如乌云压顶般向机场压来, 27分, 阵风达到23m/s, 能见度也由10km降至1km以下。整个过程虽然只维持了大约半个小时, 但由于事发突然, 该过程造成数架次航班紧急备降, 部分地面设施破坏严重, 塔台管制室门窗玻璃损坏, 经济损失较为巨大。下面我们利用常规天气图资料、Micaps 资料以及卫星云图和 CINRAD/ SA 新一代天气雷达资料, 综合分析了此次干飚线—沙尘暴系统发生、发展的环境条件, 初步探讨了这次罕见的沙尘暴过程的成因, 以增强人们对干飚线—沙尘暴过程系统的认识, 从而提高对干飚线—沙尘暴天气过程的保障能力。

## 2 大尺度环流形势分析

2005年4月20日有一次冷锋通过济南, 图1是4月20日08时地面天气图, 图中同时标出了20日08时、11时和14时的锋面位置。由锋面动态, 可以粗略估计本次冷锋约在13时前后过境。此次济南干飚线—沙尘暴过程发生在13时14分, 正好处于冷锋过境之时。沙尘暴过境前后, 气象要素变化十分剧烈, 在15分钟内, 气压陡升2.6hPa, 温度急降3.5℃, 平均风速猛增到18m/s, 阵风23m/s。此次系统过境后即恢复到原来的晴好天气, 没有出现降水现象。济南站 T-LnP 上(图2)也表示, 600hPa 高度层以下的空气非常干燥, 温度露点差都在15℃以上, 相对湿度在20%以下, 上湿下干, 整层大气层结稳定。在各高度层上, 风速都较大, 850hPa、700 hPa 高度上风速分别达到18m/s、26 m/s, 在锋面过境之时, 由于锋后冷空气使高层动量下传, 也增大了地面风的变化。图1中的3小时等变压线(红线)显示出, 冷锋过境后伴有很强的变压梯度, 由此, 可产生20m/s左右的瞬时变压风, 此大风所经之地, 常导致沙尘暴的产生。因此, 从大的环流背景看来, 此次干飚线—沙尘暴过程, 是伴随在急行冷锋过境时在锋区附近产生的。赵光平等的研究表明[1], 强沙尘暴天气

的产生必须具备两个基本物理条件和一个外部环境条件,即:强冷空气及南下引导急流;锋区附近的中小尺度系统引发高空下击暴流产生的低层能量聚积;裸露、干燥的荒漠化地表。春季是西北地区荒漠化地表生态最为脆弱的时节,主要发生于每年冷暖空气活动最为频繁的3—5月,尤以4月份出现频数最高[2]。胡隐樵,光田宇等对强沙尘暴发展与干飚线-黑风暴形成机理做过分析[3]。受青藏高原北部特有的大气环流及生态环境等诸多因素影响,西北地区经秋、冬、春三季连旱,春季裸露地表解冻后,特有的风沙地貌在地表大蒸发量的作用下表层土质松散,为西北及下游的华北和山东地区的沙尘暴天气提供了沙源。

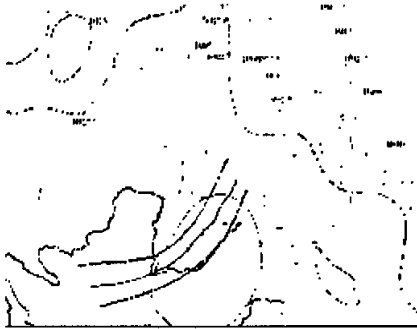


图1 2005年4月20日08时地面图和锋面动态图

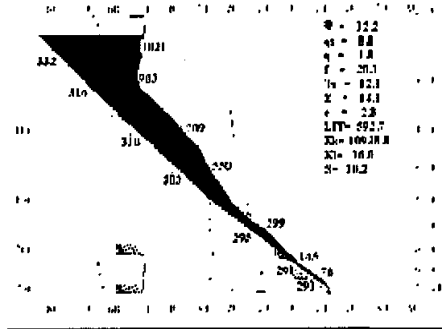
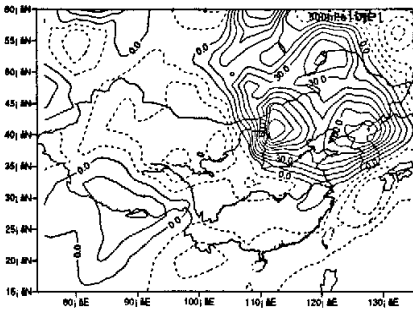


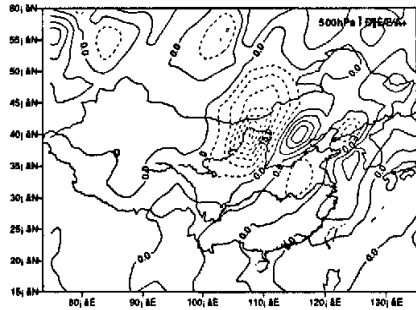
图2 2005年4月20日08时T-LnP图

### 3 物理量场的诊断分析

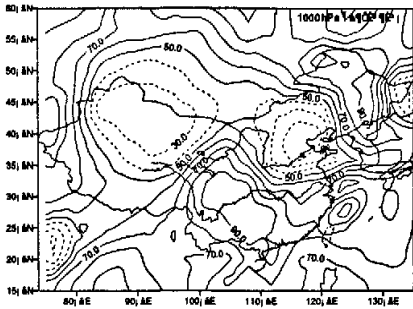
#### 3.1 涡度、涡度平流及湿度场分析



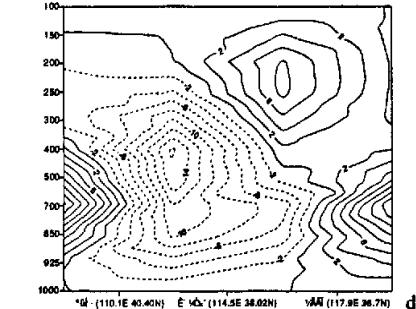
a



b



c



d

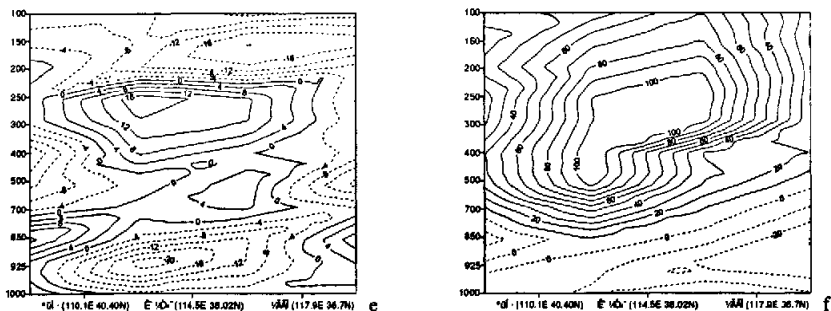


图3 500hPa 涡度场(a)、涡度平流场(b)、1000hPa 相对湿度场(c)和垂直速度(d)、散度(e)、涡度(f)的垂直剖面图

20日08时华北和山东地区均处于500hPa正涡度区(图3a),中心在河北石家庄的西北位置,中心值在 $9.5 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上,济南的涡度值约为 $4.0 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,涡度梯度大。通过涡度平流(图3b)可见,华北地区高空涡度平流十分明显,当槽前正涡度平流伸展到低层暖平流上时,将有利于地面冷锋系统的发展。从以上的气压场系统判断,未来地面冷锋系统有加强发展的趋势;但由于前期地面干旱少雨,低层相对湿度过低(图3c),整个华北和山东地区1000hPa的相对湿度均在30%以下,南支水汽输送严重不足的特点,决定了该冷锋系统的干燥无雨强风的天气特征。

### 3.2 垂直速度、散度、涡度的垂直剖面分布

为了观察锋面附近各物理量的分布特征,我们取2005年4月20日08时各高度层的资料,沿与锋区垂直的包头—石家庄—济南方向,作各物理量场的垂直剖面分析。此时,锋区位于石家庄附近,包头位于锋后,济南处于锋前(图1)。此时,垂直速度垂直剖面图(3d)上显示:石家庄附近各高度层在200hPa以下,为垂直上升运动区,最大垂直速度中心在400hPa高度层附近,中心值为 $-16 \times 10^{-3} \text{hPa/s}$ ,其南面250hPa高度有下沉气流中心;锋后包头以北,在700hPa层附近存在最大下沉运动中心;济南虽处于锋前,但由于距离锋区较远,08时仍处于下沉气流控制。散度垂直剖面图(3e)上显示:锋区附近,低层850hPa以下,气流辐合,850-250hPa为气流辐散,最大辐合中心在925hPa左右 $113^\circ \text{E}$ 附近,中心值达 $-20 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ,辐散中心在对流层顶250hPa上。涡度垂直剖面图(3f)上显示:整个850hPa以下为负涡度,以上为正涡度,中心在300hPa附近。

### 3.3 3小时变压场分析

为了追踪伴随该急行冷锋附近变压场的分布和演变情况,我们绘制了11时(图4a)和14时的变压场(图4b),结合图1中08时的变压分布(红线标绘),通过比较可以发现,在锋面东移南下影响的过程中,锋后正变压区逐渐减小,锋前负变压区加大,锋区附近变压梯度相对增强,在锋面过境前后的11-14时,济南处于相对很强的变压梯度带中。正是由于该强变压梯度而导致的在锋区附近产生的瞬时变压风,加剧了此次干飏线—沙尘暴天气过程。

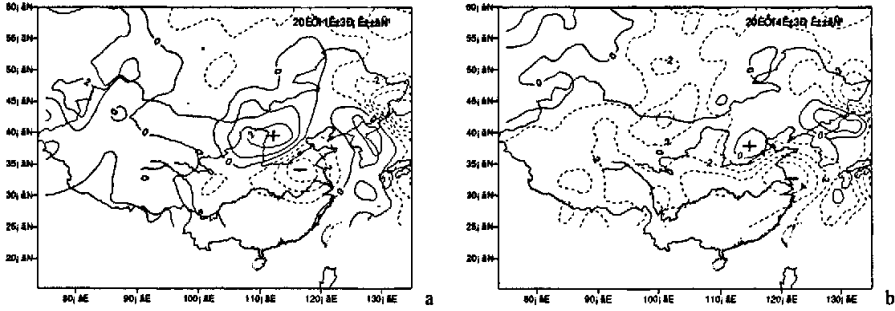


图4 地面三小时变压场

#### 4 CINRAD/ SA Doppler 雷达资料分析

济南新一代天气雷达架设在济南遥墙机场西面约 38.5km 的齐河县境内 ( $36^{\circ} 48' 10''$  N,  $116^{\circ} 46' 51''$  E), 雷达型号为 CINRAD/ SA, 天线海拔高度 72.9 m, 天线中心相对地面高度 43 m, 雷达工作波长 2830 MHz。

##### 4.1 雷达回波的演变特征

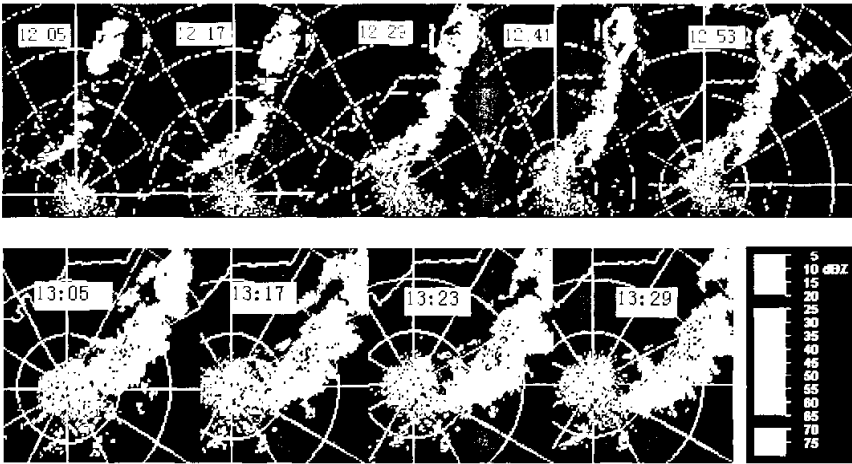


图5 2005年4月20日雷达反射率因子(CR)演变

图5是济南多普勒天气雷达观测到的2005年4月20日对流回波演变图。12:05(北京时间), 在距雷达50km处, 一条近200km长NNE-SSW走向的线状中尺度云带开始出现。系统北侧首先在山东滨州一带发展起来, 12分钟后, 北侧云系东移并略有所加强, 南侧云系南压并迅速发展, 与北侧云团连成一体, 开始呈现明显的飚线特征。虽然由于低层大气干燥, 水汽不够充分, 而导致云中凝结潜热释放过少, 中高层对流得不到充分发展, 表现为雷达回波强度不强, 但是该系统在向东移动的过程中, 并没有迅速减弱消失, 相反, 强度还稍有增加。13时14分, 系统东移开始影响到遥墙机场。整个系统移动非常快, 速度近60km/h。

#### 4.2、径向速度图和其他产品的特征

多普勒天气雷达能够提供降水粒子的强度信息和运动信息,对于此次干飚线-沙尘暴过程而言,在径向速度图上,运动信息反映不好。综合分析垂直积分液态含水量(VIL)和回波顶高(ET),可以发现,北侧云系较南侧云系云顶高和含水量稍高,但云顶高一般在6-8km之间,含水量普遍在30kg/m<sup>2</sup>以下。这也同时表明此次冷锋过程,特别是锋区南侧,其水汽含量并不充沛,降水粒子不多,呈现以沙尘粒子为主的干燥特征。

#### 5 卫星云图资料分析



图6 卫星云图特征

图6a、6b分别是2005年4月20日13时的FY-2气象卫星云图和EOS卫星云图,从图6a可以看出,华北的冷锋云系处于强大的东北冷涡云系的外围,云系范围不大。但通过高分辨率的EOS卫星云图,我们可以清楚看出华北冷锋云系和沙尘暴的细微特征。该冷锋云系呈明显的气旋性弯曲,冷空气一侧,边界光滑整齐,且是一条连续云带,冷锋前云带稠密,此时冷锋处于成熟阶段。这股冷锋云系逐渐向南推进,其东端云系发展旺盛,先后造成山东东部地区出现雷雨大风等强对流天气,而冷锋西部云带狭窄,南下沙尘在大风的作用下,造成久旱不雨的河北南部、山东西北部及中部地区先后出现沙尘天气,局地出现沙尘暴(图中红色箭头所指),沙尘随大风向南蔓延。

在可见光云图(图略)上,沙尘暴区反照率特征是,顶部结构均匀,顺着风向有纹理,色调呈浅灰色,有高云的暗影存在。沙尘暴区顶反照率与云团和地表的反照率有明显差别,地表反照率最低;沙尘暴顶部比地面高;云团的反照率最高。在红外卫星云图上,沙尘暴、云团和地表的温度有明显的差异。其中,云团的温度最低,集中在-40℃以下;沙尘暴区温度次之,集中在-10℃附近;地表温度最高。根据其温度特征,并配合探空资料,可确定出2005年4月20日强沙尘暴顶部高度为2000米附近。

#### 6 结论

1)此次干飚线-沙尘暴天气过程是急行冷锋过境时,干冷锋移至被强烈太阳辐射加热的地表,产生干飚线,干飚线进一步发展,从而导致沙尘暴爆发。

2) 西北地区秋、冬、春三季连旱, 为下游的华北和山东地区提供了充足的沙源。在沙尘暴多发期的春季, 利用多种云图资料, 对上游沙尘区进行预先识别, 非常关键。

3) 此次干飚线天气过程, 具有飚线过境时气象要素变化突然的天气特点: 如风向急转, 风速剧增, 气压陡升, 气温骤降等特点。同时, 由于“干”的特性, 系统发展和对流强度不如“湿”飚线, 在雷达和云图上对流表现也不明显, 这往往被人们所忽视, 其突然性对航空安全的影响更大, 必须引起航空气象保障人员足够的重视。

#### 参考文献:

- 1 赵光平等, 宁夏区域性强沙尘暴天气成因及其预报方法的研究[A], 中国沙尘暴研究[C]. 北京: 气象出版社, 1997. 52-58.
- 2 王式功, 杨德保, 金炯等. 我国西北地区黑风暴的成因和对策. 中国沙漠, 1995, 15(1): 19-30.
- 3 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. 高原气象, 1996, 15(2): 178~185.