

李姝霞,张宇星,张怡,等.豫东地区一次强飚线天气过程的综合分析[J].暴雨灾害,2011,30(1):57-63

## 豫东地区一次强飚线天气过程的综合分析

李姝霞<sup>1</sup>,张宇星<sup>2</sup>,张怡<sup>3</sup>,王其英<sup>1</sup>,姜东东<sup>1</sup>,王长海<sup>1</sup>

(1.河南省开封市气象局,开封 475004;2.河南省气象局,郑州 450003;3.河南省商丘市气象局,商丘 476000)

**摘要:** 利用 NCEP 1°×1°逐 6 h 再分析资料和常规观测资料、地面加密自动站观测资料以及卫星云图和多普勒雷达资料,对 2009 年 6 月 3 日河南东部地区一次强飚线天气过程的环流形势、影响系统与形成条件进行综合分析。结果表明:在东北冷涡维持的有利环流形势下,冷涡后部横槽引导冷空气南下,以及地面中尺度辐合线为豫东飚线发生提供了触发机制,飚线沿辐合线发展加强,强对流天气发生在卫星云图亮温梯度最大区;飚线过程对应雷达回波图上强对流单体初生、发展、合并与减弱,相对风暴径向速度图上辐合线后部始终对应大风、冰雹等强对流天气发生区,对强对流天气预警具有较好的指示意义。

**关键词:** 飚线;中尺度辐合线;稳定度;雷达回波

中图分类号:P458.1\*23 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2011)01-0057-07

## Synthetic Analysis of a Strong Squall Line in Eastern Henan

LI Shuxia<sup>1</sup>, ZHANG Yuxing<sup>2</sup>, ZHANG Yi<sup>3</sup>, WANG Qiyang<sup>1</sup>, JIANG Dongdong<sup>1</sup>, WANG Changhai<sup>1</sup>

(1.Kaifeng Meteorological Office of Henan Province, Kaifeng 475004;2.Henan Meteorological Bureau, Zhengzhou 450003; 3.Shangqiu Meteorological Office of Henan Province, Shangqiu 472200)

**Abstract:** A synthetic analysis on the circulation patterns, influence systems and formation mechanisms of a strong squall occurred in eastern part of Henan province on 3 June 2009 was made with the 6-hourly NCEP 1°×1°reanalysis data, conventional observation data, intensive automatic weather station observation data, satellite images and Doppler-radar data. The results indicate that the Northeast China cold vortex continuing, the zonal trough behind the cold vortex leading cold air to a southward move and the surface mesoscale convergence line supplied a trigger effect for the occurrence of strong squall. The squall developed and reinforced along convergence line, and severe convective weather emerged in the great value center of brightness temperature gradient of satellite images. The changes of the squall line process corresponded to the genesis, developing, merging and weakening of severe convection cells which could be found in the radar echoes. The back of convergence line on the storm radial velocity plot was all the way corresponding with gale, hail and other strong convective weathers, which can provide better indications for severe convective weather forecast.

**Key words:** Squall line; Mesoscale convergence line; Stability; Radar echo

### 1 引言

强对流天气是有利的大尺度环境背景下中小尺度天气系统相互作用的产物。这些中小尺度系统包括雷暴群、飚线等,常引起灾害性大风和局地暴雨,有时还伴有冰雹和龙卷风,是一种短时且具有巨大破坏力的天气,多给国民经济和人民生命财产造成严重损失。对破坏性强、预报难度大的强对流天气,国内气象工作者从成因、雷达回波特征等方面进行了较多研究,并取得一些有益成果<sup>[1-11]</sup>。如夏丽花等<sup>[3]</sup>的研究表明,强对流天气发生在暖区内,高空弱冷空气入侵对

不稳定能量释放起触发作用;罗建英等<sup>[5]</sup>综合分析了华南一次飚线过程,认为飚线发生在快速东移的高空槽前上干冷、下暖湿的不稳定区域,华南地区 700 hPa 低空急流的爆发及低层急流核东传对不稳定能量突然释放有很大的触发作用;王玮等<sup>[11]</sup>的分析表明,飚线是在低空增温增湿及对流层中层干侵入的作用下形成的,并在强风速垂直切变条件下发展成,边界层弱水汽输送和能量积聚是飚线过程的能量来源。然而,随着气象业务现代化建设进程不断加快,自动气象站、多普勒天气雷达等探测资料为深入分析强对流天气提供了可靠依据。

收稿日期:2010-08-11;修订日期:2011-01-17

第一作者:李姝霞,女,1964年生,高级工程师,主要从事天气预报业务和管理工作。E-mail: lss1964@yahoo.com.cn

飊线是豫东地区夏季常见灾害性天气之一。2009 年 6 月 3 日傍晚到夜里,河南东部发生一次由飊线引起的强对流天气过程(以下简称“09.6”豫东飊线过程),伴随大风、局部冰雹和雷阵雨等天气,造成 20 多人死亡和重大财产损失,给当地工农业生产和人民群众生活带来严重影响。这次过程影响范围广、风力大、造成灾害损失惨重,是近年来豫东地区从未有过的。为加强对此类天气过程的认识、提高其预报准确率,本文利用 NCEP  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐 6 h 再分析资料和常规观测资料、地面加密观测资料以及多普勒雷达资料,对“09.6”豫东飊线过程的环流形势、影响系统与形成条件进行了综合分析。

## 2 天气实况

“09.6”豫东飊线过程始于开封地区,然后向东南方向移动。此期间豫东地区自西向东 10 多个县(市)气象站资料显示:先后出现风向突变,风速剧增,大风 8~11 级不等,风速增幅达  $12\sim 24\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 1);气压涌升( $3.4\sim 7.4\text{ hPa}$ ),1 h 气压上升最大达  $7.4\text{ hPa}$ ;气温骤降,1 h 下降  $6.4\sim 10.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。瞬时最大风速(力) 6 月 3 日 23 时出现在永城,为  $29.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11 级),是该站有气象记录以来的最大风速值,飊线过境前后(6 月 3 日 22—23 时),该站气温从  $27.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  下降到  $18.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度从 56% 上升到 80%,气压从  $996.8\text{ hPa}$  升至  $1000.4\text{ hPa}$ ,风速从  $7.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  增至  $29.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风向由 ESE 风转为 NW 风(图 2)。同时,宁陵最大风速(力)也达到  $28.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (11 级)。此飊线移速较快,达  $50\sim 60\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,影响豫东地区仅 3~4 h。另外,此飊线过程伴有雷电和降水天气,其最大降水量为  $30\text{ mm}$ ,出现在虞城。

## 3 环流形势与影响系统分析

### 3.1 高、低空环流形势与影响系统

“09.6”豫东飊线过程与大尺度环流形势关系密切。过程前,6 月 1 日 08 时,500 hPa 图上(图略),欧亚中高纬地区( $40^{\circ}\text{N}$  以北)环流形势为两槽一脊型,新地岛以东与我国东北地区分别为一低压槽区,贝加尔湖地区为一高压脊,中纬度地区环流平直;我国东北地区有一中心值为  $544\text{ dagpm}$  的东西向低涡,并与  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  冷中心相伴。2 日 08 时,中纬度地区纬向环流逐渐向经向环流调整。到 3 日 08 时,一逐渐加深的槽线由位于东北地区的低涡中心经朝鲜半岛伸向我国东部沿海,低涡后部河套以北存在一东西向横槽,我国中东部地区完全处在低槽后部较强盛的西北气流中,槽后冷平流较强。

与 500 hPa 对应,700 hPa 图上(图略),河套以北



图 1 2009 年 6 月 3 日豫东地区最大风速与风向分布图

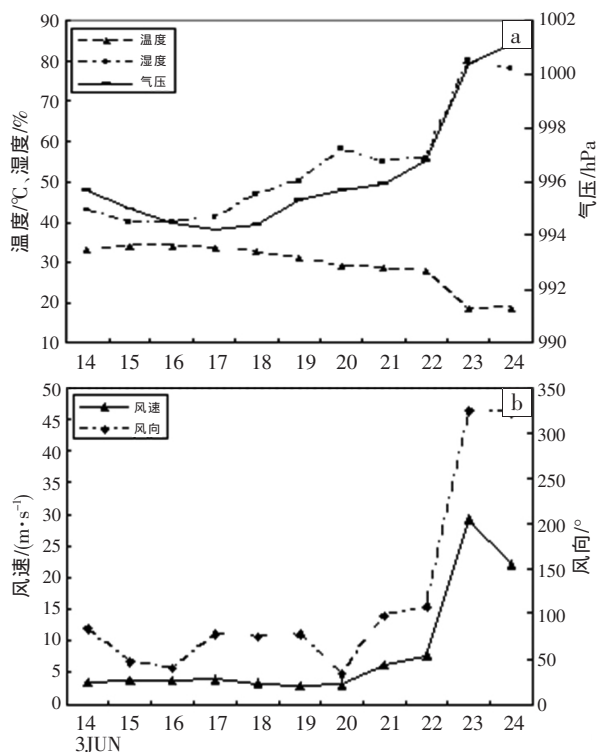


图 2 2009 年 6 月 3 日 13—24 时永城站气象要素时间变化图 (a) 温度( $^{\circ}\text{C}$ )、湿度(%),气压(hPa); (b) 风向( $^{\circ}$ )、风速( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

有一横槽,甘肃、青海、陕西三省交界处有一切变线。850 hPa 图上(图略),3 日 08 时,河南中东部受  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  暖中心控制,邢台到延安之间有一弱切变线,20 时该弱切变快速南压到兖州、新郑、西安一线,同时控制豫东地区的暖中心迅速西收。3 日 20 时(图 3),500 hPa 横槽沿强盛西北气流下滑到邢台—永济,同时邢台附近有  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$  的冷中心与之相伴,强冷空气顺着槽后西北气流影响豫东,开封地区受上述横槽和切变线影响。可见,东北冷涡为此次强对流天气提供了有利的环境场背景。

另外,分析“09.6”豫东飊线过程 FY-2C 红外卫星云图可知,在东北低涡维持的环流背景下,6 月 3 日 08 时(图略),山西和陕西北部已有多个对流云团形成,在高空引导气流的作用下东南移,云团移动的东南方

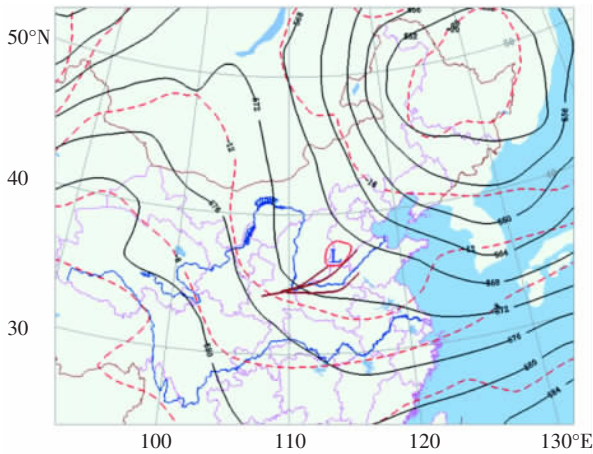


图 3 2009 年 6 月 3 日 20 时 500 hPa 环流形势图  
黑实线为 500 hPa 高度,单位: dagpm;红虚线为  
500 hPa 温度,单位: °C;棕色实线为槽线

不断有新的云团生成、发展与合并;由于午后太阳辐射近地面层增温,使大气不稳定性增加,到 16 时形成两个较强的对流云团(图 4a),其中一个云团(A)在河北南部,云顶亮温低于 220 K,另一云团(B)位于山西南部到陕西中部,云顶亮温低于 230 K;19 时(图略),云团 A、B 合并为东北-西南向云带 C,其前沿已移过黄河;21 时,云带 C 移动减慢,其东北方一端得到加强并南扩,形成反逗点状(图 4b);22—23 时(图略),上述云带逐渐变为近圆形云团并继续东南移,其中心云顶亮温低于 225 K;24 时,该云团主体移出河南。结合地面实况资料,从 19—23 时,在对流云团移动的右前方,云顶亮温梯度大值区对应的站点先后出现大风、雷雨等强对流天气,各站风速增幅达 12~24  $m \cdot s^{-1}$ ,如到 23 时永城、宁陵站瞬时最大风速分别达 29.1  $m \cdot s^{-1}$  和 28.6  $m \cdot s^{-1}$ 。

### 3.2 地面流场与自动站要素场分析

分析“09.6”豫东飊线过程前不同时刻地面流场表明,6 月 3 日 14 时,山西武乡(对流云团中心)附近有一

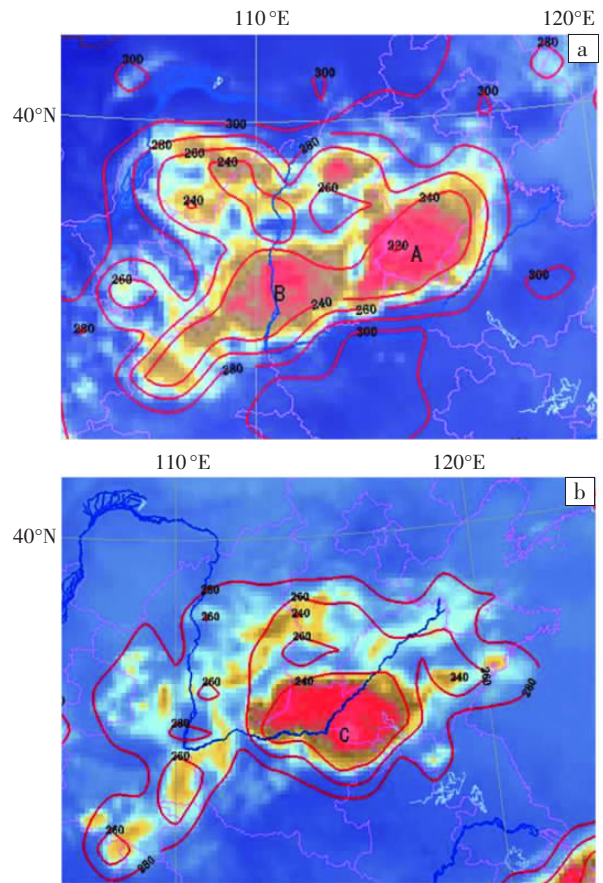


图 4 2009 年 6 月 3 日 16 时(a)、21 时(b)  
FY-2C 红外卫星云图(单位:K)

辐合中心(图 5a 圆形区域),地面辐合使垂直上升运动加强,对流云团得到发展;到 20 时,在河南中东部形成“人”字型中尺度辐合线,辐合中心位于商丘西北部(图 5b),辐合线上风速水平切变较强,飊线沿辐合线发展。此时中尺度辐合线激发飊线,并沿辐合线发展加强。

利用河南省多要素自动站风场资料分析“09.6”豫东飊线过程。结果表明(图略),3 日 15 时,郑州—开封

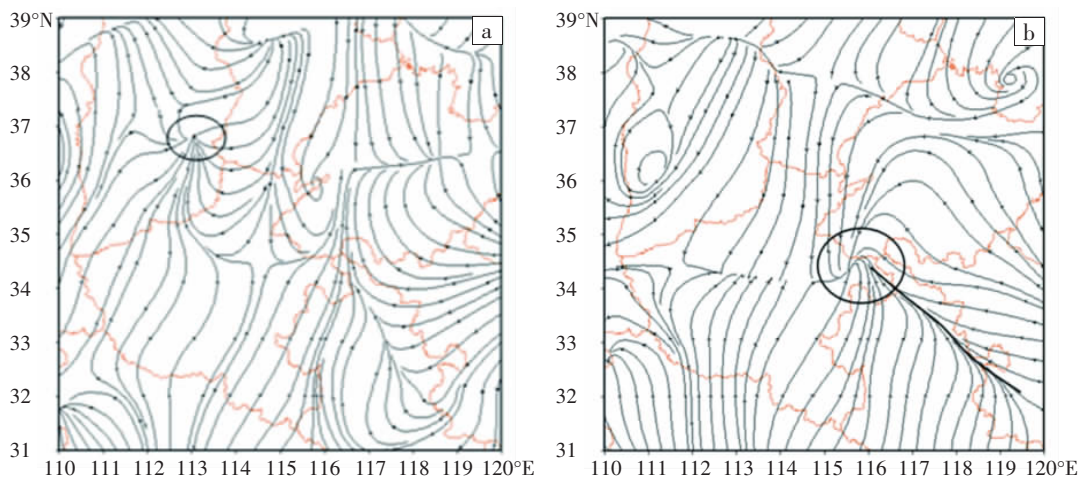


图 5 2009 年 6 月 3 日 14 时(a,圆圈所示为辐合中心),20 时(b,  
加粗线为中尺度辐合线)地面(1 000 hPa)流场

之间有一中尺度辐合线生成,18 时后对流云团从河南北部移近辐合线时得到发展;21 时,中尺度辐合线横贯商丘地区,其西段偏北一侧为较大偏北风,说明有较强冷空气侵入,偏南一侧为 WSW 风,风速较小,东段偏北一侧为偏东风,偏南一侧为偏南风,风速均较小。另外,20 时地面天气图显示(图略),河南大部受低压控制,开封到新乡之间有一小高压,河北南部伸向黄河一带 3 h 变压为正,同时气温大幅下降,说明有干冷空气影响。6 月 3 日 20 时 850 hPa 露点温度场(图略),与冷空气侵入相对应,河南中部到山东西部有一干线,其两侧露点温度相差较大,达 10 °C/(250 km)以上,且有流线自干区一侧伸向湿区一侧;干线附近高空有冷平流,促使干线上对流发展加强,并在这次过程中起到扰动源作用。

上述分析表明,东北冷涡后强冷空气南下,以及地面中尺度辐合线的作用,为“09.6”豫东飚线发生提供了有利条件。

### 3.3 多普勒雷达产品分析

#### 3.3.1 雷达回波演变特征分析

分析商丘多普勒天气雷达基本反射率因子(R)产品(仰角 1.5°)可知,6 月 3 日 18 时(图略),新乡市原阳

上空生成一弱回波单体(中心强度 30 dBz),随后原地迅速发展增强;到 18 时 24 分(图 6a),原阳上空发展增强的强回波带水平尺度约 50 km,最大回波强度 50 dBz,在东移南压过程中范围继续扩大,其北部强度有所减弱,回波带尾部强度增至 55 dBz,同时强回波带西南端有多个回波单体新生。19 时 01 分(图 6b),强回波带上生成 2 个块状强回波,随后迅速发展、加强、合并。19 时 31 分(图 6c),强回波区加强,形成明显的前侧宽广的入流槽口区和后侧下沉气流区,并逐渐形成飚线回波。对比同时刻径向速度资料可知(图略),高层风速明显大于低层,低层存在强辐合区;回波东移南压过程中,低层风速逐渐加大,除继续显示出辐合特征外,还可见气旋式旋转。在其径向速度垂直剖面图中(图略),还可看到有明显的中层径向辐合(MARC)存在,其代表入流槽口区强上升气流和下沉气流区入流急流之间的过渡区,是飚线大风典型的径向速度特征之一。到 22 时 34 分(图 6d),强回波区移到河南东部与江苏西部和安徽西部交界处,回波东北端强度有所减弱,其西南端继续加强并有单体新生,50 dBz 回波带范围近 150 km,从这条强回波带上可清楚看到排列的若干对流单体。

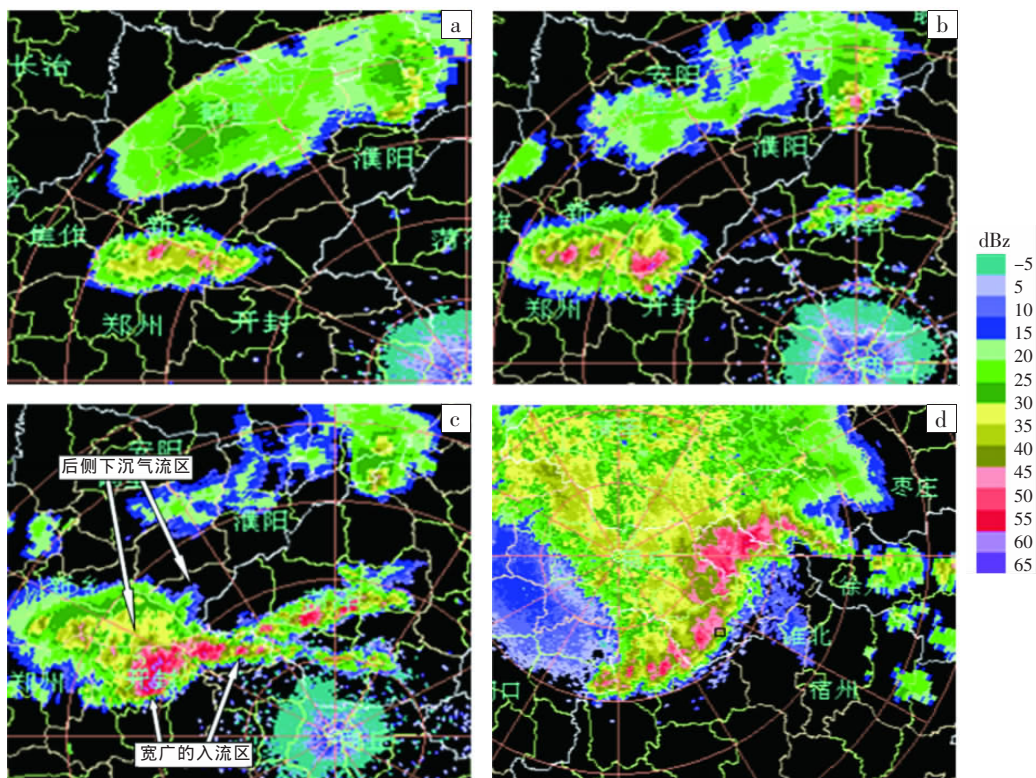


图 6 2009 年 6 月 3 日 18:24 (a)、19:01 (b)、19:31 (c)、22:34 (d) 商丘多普勒天气雷达基本反射率因子图(仰角 1.5°)。每圈间隔距离 50 km

从上述雷达回波演变特征可看出,“09.6”豫东飚线过程中强回波单体在高空西北气流引导下向东南方向移动;回波进入雷达有效探测范围时,其尺度

和强度均不大,尺度约 20 km,中心强度为 30 dBz;雷达回波在东移南压过程中发展迅速,其“弓”形曲率和尺度不断加大<sup>[10]</sup>,同时地面出现瞬时强风;随着回波

东移加强,出现两条共生强回波带,西南端主回波移速逐渐加快,以  $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  左右的速度南压并向偏东方向移动,强回波快速移动也是产生地面大风的一个重要原因<sup>[11]</sup>。另外可看到,飊线在移出豫东时仍保持旺盛势头,且继续在豫东下游地区造成强风等灾害性天气。

### 3.3.2 相对风暴径向速度(SRM)场分析

分析“09.6”豫东飊线过程不同时刻商丘多普勒天气雷达(仰角  $1.5^\circ$ )相对风暴径向速度图可知,6月3日20时01分(图7a),雷达西西北象限有一对相邻、对称的正负速度中心,呈气旋性旋转,表明存在明显的中

层径向辐合;21时31分(图7b),正负速度面积几乎相当,以雷达站为中心形成基本对称的正负速度中心,正负速度均达  $27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风速随高度增大,再往上风速减小,垂直方向存在风速切变,雷达中心南侧风向随高度顺时针旋转,据热成风原理,表明豫东地区有暖湿空气输送<sup>[9]</sup>;22时40分(图7c),雷达站方圆  $100 \text{ km}$  范围内,几乎全是正速度区,雷达站东侧  $100 \text{ km}$  附近有一清晰辐合线,相对风暴径向速度图上从20时前后辐合线生成到最后消失,其后部始终对应大风、冰雹等强对流天气发生区。

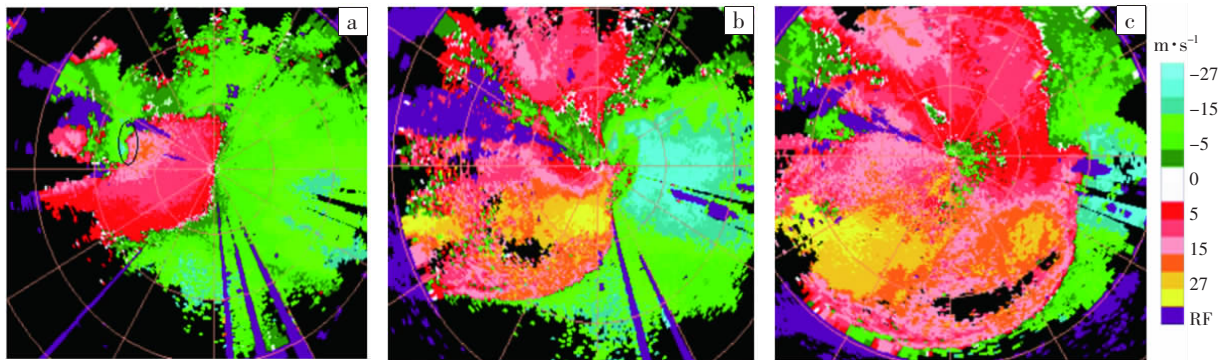


图 7 2009 年 6 月 3 日 20:21 (a, 椭圆区所示为中层径向辐合)、21:31 (b)、22:40 (c) 商丘多普勒天气雷达仰角  $1.5^\circ$  相对风暴径向速度图。每圈间隔距离  $50 \text{ km}$

## 4 飊线形成的物理条件分析

### 4.1 稳定度条件

考虑到“09.6”豫东飊线过程发生在河南郑州到江苏徐州之间,本文对郑州、徐州探空站温度对数压力图( $T-\ln p$ )进行分析(图略)。结果表明,1) 3日08时,强对流天气出现前,郑州、徐州  $K$  指数分别为  $1.0$ 、 $21.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;到3日20时强对流发生中, $K$  指数均增至  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  以上,说明豫东地区积蓄了较高不稳定能量。2) 郑州、徐州站  $SI$  指数在3日08、20时均小于  $-3.0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,徐州站  $SI$  指数20时甚至降至  $-10.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ,表明大气层结极不稳定。3)  $850 \text{ hPa}$  与  $500 \text{ hPa}$  假相当位温( $\theta_{se}$ )之差  $\Delta\theta_{se(850-500)}$ ,3日08时,郑州站为  $1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,徐州站更大;20时,两站  $\Delta\theta_{se(850-500)}$  均明显增大,徐州站增至  $22.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,表明豫东地区大气层结极不稳定。4) 3日08时,郑州站  $900 \text{ hPa}$  以下为逆温层,徐州站逆温层更高( $925-850 \text{ hPa}$ ),低层逆温有利于对流不稳定能量积聚。因此,此过程前豫东及其附近地区已具备发生强飊线所需的不稳定层结和大量不稳定能量。

另外,5月31日到6月3日,强对流天气发生区日最高气温均在  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  以上,相对湿度不断上升。如开封站,5月31日到6月2日,日平均相对湿度由  $23\%$  上升到  $43\%$ ,日平均水汽压由  $7.6 \text{ hPa}$  上升到  $14.1 \text{ hPa}$ ,底层增温增湿也有利于不稳定能量增加。

### 4.2 垂直风切变

图8给出郑州探空站2009年6月3日20时  $T-\ln p$  图。从中可见,  $300 \text{ hPa}$  以下风向随高度顺转,由东北风转为北西北风,中低层为暖平流,  $300 \text{ hPa}$  以上风向随高度逆转,由北西北风转为偏西风,高层为冷平流,且暖平流深厚;从风速变化看,高层风速切变大,冷平流很强,这种垂直风速切变配置从3日08时开始到20时逐渐增强,持续时间长。由风暴相对螺旋度理论可知,这种垂直风速切变配置有利于强风暴发生发展<sup>[8]</sup>。

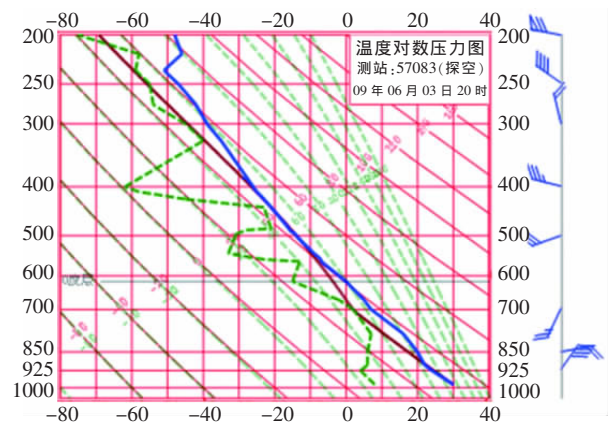


图 8 郑州探空站 2009 年 6 月 3 日 20 时  $T-\ln p$  图

### 4.3 水汽条件

水汽是强对流天气产生的三个基本条件之一。以往强对流天气研究表明<sup>[1,3-4]</sup>,强对流天气发生发展均

有较好的水汽输送通道和大的水汽通量中心配合。从“09.6”豫东飊线过程水汽通量场上可见,3日08时、20时850—500 hPa没有明显的水汽输送带,仅20时925 hPa从东南沿海到河南中东部有一条风速较小的东南风水汽输送带。图9给出由NCEP(网格 $1^\circ \times 1^\circ$ )再分析资料得到的925 hPa水汽通量场与风场叠加图。从中可见,3日14时(图9a),湖北与河南交界处、江苏沿海分别有一水汽通量为 $4 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 的中心,

豫东地区水汽通量较小,仅 $1 \sim 2 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ 。3日20时(图9b),豫东强对流天气发生区水汽通量略有增大,但仍较小,为 $2 \sim 3 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ;同时,925 hPa图上,强飊线天气过程中有偏南、偏东两支弱风速带将水汽从水汽通量大值中心向豫东输送,河南中东部温度露点差大于 $4^\circ\text{C}$ ,空气未达到饱和。这说明强对流产生的水汽条件较易满足,并不需要像暴雨一样充沛的水汽条件,这与王玮等人的研究结果一致<sup>[5]</sup>。

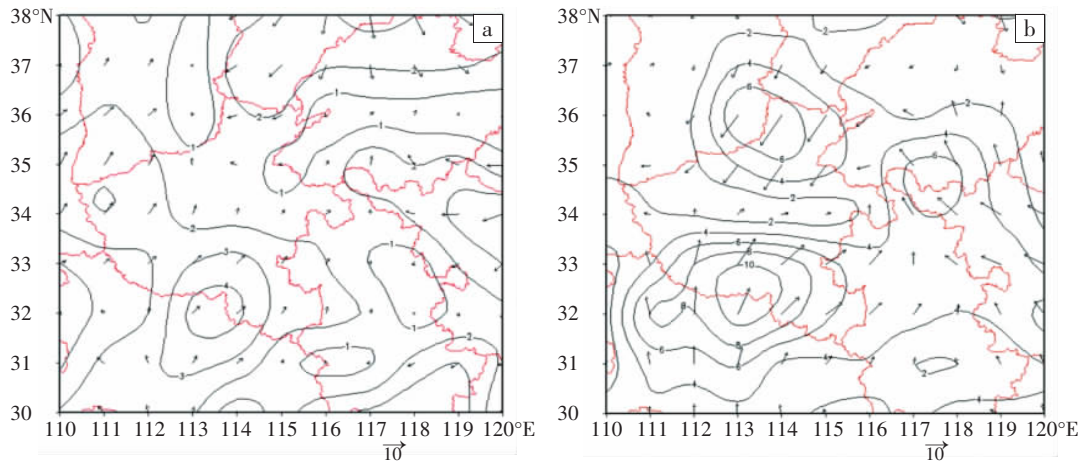


图9 2009年6月3日14时(a)、20时(b)925 hPa水汽通量(单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )与风场(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )叠加图

4.4 动力条件

图10a给出6月3日08时至4日02时850 hPa

沿 $116^\circ\text{E}$ 的垂直速度时间演变。从中可见,3日17时后,豫东地区垂直上升运动明显增强;18时30分左

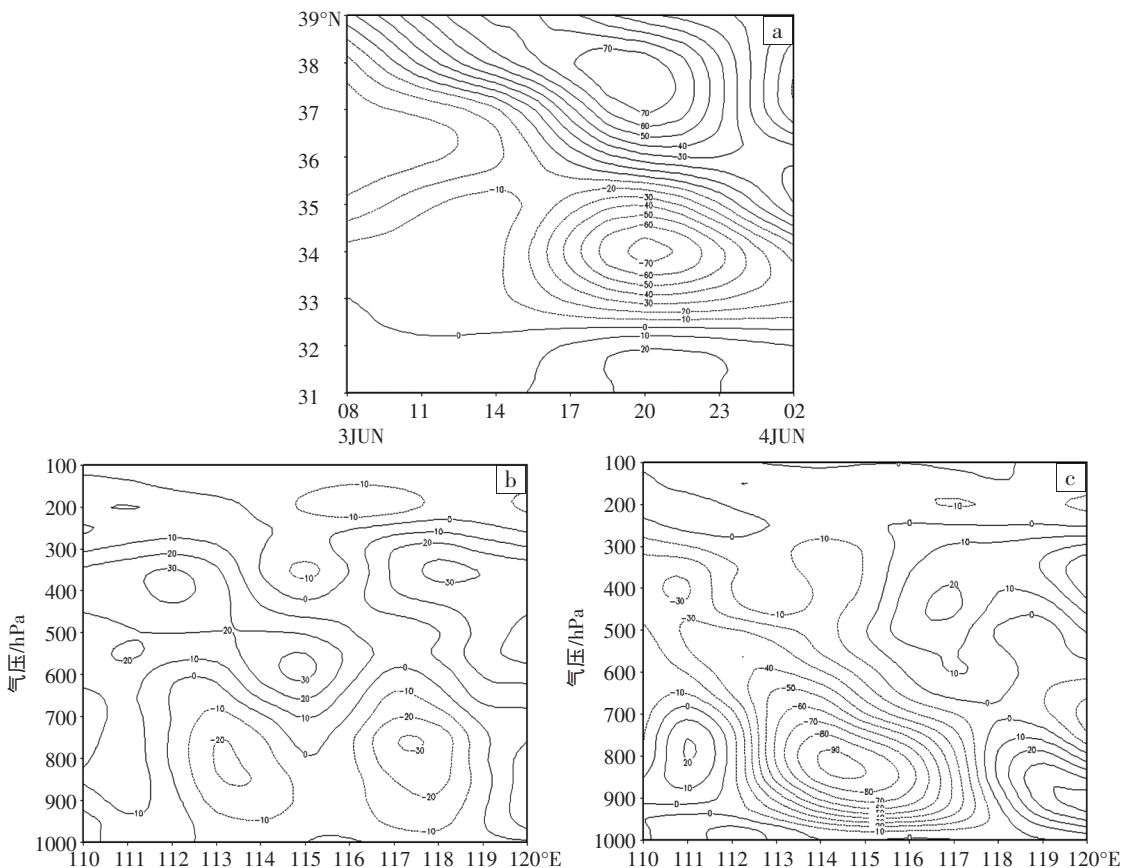


图10 2009年6月3日08时至4日02时850 hPa沿 $116^\circ\text{E}$ 的垂直速度时间演变图(a,间隔3 h,单位: $10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )与3日14时(b)、20时(c)沿 $34^\circ\text{N}$ 的垂直速度纬向剖面图

右,低层辐合线附近形成强上升运动中心( $-70 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ),该中心北侧相伴  $70 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  的下沉运动中心,其南侧也为  $(10 \sim 20) \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  下沉运动区,这种上升运动和下沉运动耦合有利于触发对流不稳定能量释放,进而加剧对流发展。另外,从 3 日 14、20 时沿  $34^\circ \text{N}$  的垂直速度纬向剖面图上可见,14 时(图 10b),豫东地区整层垂直上升运动均较弱;到 20 时(图 10c),此次强对流天气发生前后,豫东地区在 800 hPa 上下形成  $-90 \times 10^{-3} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$  的垂直上升运动中心,有利于豫东强对流天气强烈发展。

## 5 结论与讨论

(1) 此次飏线天气发生在东北冷涡维持的有利环流形势下,冷涡后部横槽引导冷空气南下,使环境场有利于对流发生,地面中尺度辐合线为“09.6”豫东飏线过程发生提供了触发机制,飏线沿辐合线发展加强,强对流天气发生在亮温梯度最大区。

(2) 飏线过程伴随雷达回波对流单体初生、发展、合并和减弱,飏线上有多个中小尺度对流单体发展,各仰角反射率因子强度达 50 dBz 以上;相对风暴径向速度图上,辐合线后部始终对应大风、冰雹等强对流区,对强对流天气预警具有较好的指示意义。

(3) 强对流天气发生前,豫东地区日最高气温均在  $30^\circ \text{C}$  以上,相对湿度不断上升,地面高温高湿环境场使低层大气处于不稳定,且低层逆温进一步促使对流不稳定能量积聚,为强对流发生提供了能量条件。

(4) 此类强对流产生的水汽条件较易满足,不需

要像暴雨一样充沛的水汽条件。

天气预报实践表明,在目前有大量数值预报产品可参考情况下,实时形势场分析仍很重要。对豫东乃至华北地区而言,东北冷涡维持的环流形势下,午后冷涡后部有对流云团发展,云团移动方向与高空引导气流方向基本一致,可作为强对流天气短时预报的参考依据。

## 参考文献:

- [1] 匡晓燕,席世平,汤志亚.2001 年河南两次强对流天气过程对比分析[J].河南气象,2002(4):11-13.
- [2] 刘志勇,任玮颖,王莉萍.2008 年 6 月 1 日鄂西北飏线天气过程综合分析[J].暴雨灾害,2009,28(3):277-282.
- [3] 夏丽花,冯晋勤,黄美金,等.一次强对流天气过程的成因分析[J].气象,2006,32(7):110-114
- [4] 李向红,薛荣康,唐伍斌.一次强飏线天气过程新一代天气雷达探测和临近预报[J].气象,2006,32(9):60-66
- [5] 罗建英,廖胜石,梁岱云,等.2005 年 3 月 22 日华南飏线的综合分析[J].气象,2006,32(10):70-75,132.
- [6] 陈业国,沈桐立,唐文.2007 年华南一次强飏线过程的雷达回波分析及数值模拟[J].暴雨灾害,2002,27(2):135-140.
- [7] 章国材,矫梅燕,李延香,等.现代天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2007.
- [8] 陈红专,曾志明,杨素珍,等.湘黔过境一次高空槽前型飏线天气过程的成因分析[J].暴雨灾害,2008,27(3):237-241
- [9] 姬鸿丽,常红丽,陈红霞,等.一次飏线天气过程的综合分析[J].气象与环境科学,2009,32(5):41-45
- [10] 田秀霞,邵爱梅.一次河北大暴雨的华北低涡结构和涡度收支分析[J].暴雨灾害,2008,27(4):320-326
- [11] 王玮,刘继敏,黄玉芳,等.山东省中西部飏线过程个例分析[J].气象科技,2009,37(2):181-185.