

文章编号: 1004- 4574( 2011) 03- 0113- 07

# 山西北部一次飑线大风的多普勒雷达特征

杨淑华, 王丽丽, 梁进秋, 贾利芳, 李腊平, 徐 鑫

(山西省大同市气象局, 山西 大同 037004)

**摘 要:** 利用山西省北部大同地区多普勒雷达的基本反射率因子、组合反射率因子、速度剖面图、垂直液态含水量、回波顶及 VWP 产品, 结合环流形势和自动站分钟数据资料, 对 2010 年 6 月 16 日发生在大同地区的飑线天气过程进行了分析。结果表明: 这次飑线过程发生在高中低三层的冷涡环流形势和地面冷锋前的暖区; 飑线过境时压、风、温三要素出现剧烈变化; 研究极大风速  $16.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的台站时发现: 飑线过境时两个站出现的速度极大值与外流边界的影响时间相吻合, 四个站出现的速度极大值与强回波下沉气流影响时间相对应; 冷涡携带的冷空气使飑线后部入流不断得到补充, 而前侧暖湿气流沿着后部入流爬升, 不断产生新的单体, 是飑线能够维持、发展的主要原因。

**关键词:** 多普勒雷达; 飑线; 弓形回波; 流场结构; 大风

中图分类号: P458

文献标志码: A

## Feature of Doppler radar data about a squall line strong wind in north of Shanxi Province

YANG Shu-hua, WANG Li-li, LIANG Jin-qiu, JIA Li-fang, LI La-ping, XU Xin

(Datong Meteorological Bureau, Datong 037004, China)

**Abstract** By using the basic reflectivity factor, the composite reflectivity factor, the speed profile map, the vertical liquid water content, the echo tops and the vadw ind profile of Doppler radar products for Datong area of the north of Shanxi Province, and combined with circulation situation and automatic weather station data, this paper analyzes a squall line process happened in Datong area on June 16, 2010. The results show that the squall line process occurred at high, middle and lower layers cold vortex circulation situation; Atmospheric pressure, temperature and wind velocity alter sharply when squall go through. In studying the stations with maximize wind speed  $16.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , it is discovered that the time occurring maximum velocity in two stations is in accord with that of outflow boundary effect, the time of maximum velocity value in four stations correspond to sink effect time of powerful echo. The cold air carried by cold eddy makes the air flowing into the tail of squall to be continuously added, but the warm moisture flow in front side continuously produce a new single body, and that is the main reason of maintenance and development of squall line.

**Key words** doppler radar, squall line, bow echo, flow structure, strong wind

山西省大同地区位于  $112^{\circ} 15' \text{ E} \sim 114^{\circ} 15' \text{ E}$ ,  $39^{\circ} 00' \text{ N} \sim 40^{\circ} 30' \text{ N}$ 。2010 年 6 月 16 日大同地区市遭受飑线侵袭, 出现了短时雷雨、大风等强对流天气。市区、大同县、阳高、左云、广灵出现 8~10 级的大风天气, 市区和大同县还出现了沙尘暴。灵丘、天镇、广灵出现了短时强降水。飑线是由许多雷暴单体排列成带

收稿日期: 2010-04-20 修回日期: 2010-12-08

作者简介: 杨淑华 (1968-), 女, 高级工程师, 主要从事天气预报研究 E-mail: yshy609@sohu.com

状的狭窄云带,宽度约 20~ 50km,长度为几十至几百 km,维持时间为 4~ 18h。飑线过境处风向急转,风速剧增,气压陡升,气温骤降,常伴有雷暴、暴雨、大风、冰雹和龙卷等剧烈天气现象。

近年来,随着多普勒雷达的应用,对飑线的研究已经更加深入<sup>[1-5]</sup>。王宏等<sup>[2]</sup>研究认为:大风位于弓形飑线回波的凸起部位,负速度中心值逐渐增大到 > 27m/s 且逐渐靠近雷达站,预示大风天气的出现。郑芬等<sup>[6]</sup>认为:垂直液态含水量和冰雹指数对冰雹的预警有很好的指示作用。李淑玲等<sup>[7]</sup>认为:低层阵风锋,是造成地面破坏性大风的主要因素,当有中气旋时,有利于产生冰雹和大风天气。

本文利用山西省大同地区的多普勒雷达资料分析飑线产生、发展的原因、飑线流场结构以及大风出现时雷达产品特征。

### 1 环流形势

2010年 6月 17日 08时高低空配置图(图 1)上可见,冷涡中心位于 112 E、44 N,大同处于低涡前部正涡度区,鄂霍次克海维持阻塞高压,巴尔克什湖附近为高压脊,脊前不断有冷空气东移南下,在 40 N 以北有  $20\text{ m s}^{-1}$  的急流轴;在 700hPa 和 850hPa 图(图略)上,冷涡中心也位于 112 E、44 N 附近,说明 700hpa 以上不仅冷平流强,而且整层上升运动条件较好。700hPa 图(图略)上,在 40 N 附近有  $16\text{ m s}^{-1}$  的西北风和西南风的风切变存在,这一带表现出较强的辐合,3层的垂直结构有利于低涡系统发展加强,阻塞高压的稳定少动,造成低涡系统稳定少动。东移南下的冷空气与低涡系统的结合及阻塞高压底部的偏东风的水汽输送,为强降水的发生提供了有利的大尺度背景场和有利的辐合上升条件。由地面冷暖锋的位置(图 1)可知:大同处于冷锋前的暖区,大同气温回暖迅速,这种高层冷低层暖的配置在锋面过境时产生了瞬间大风及沙尘暴天气,

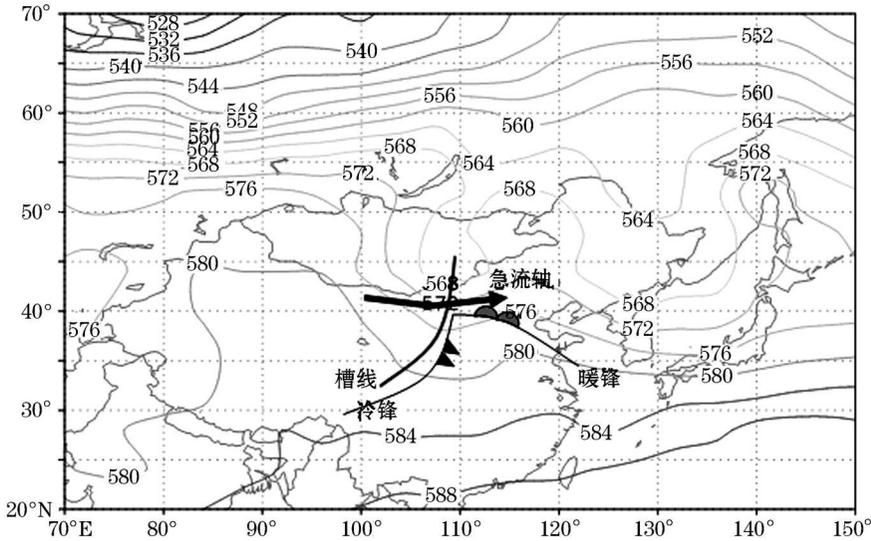


图 1 2010年 6月 16日 08时高低空配置图

Fig 1 High and low altitude air configuration at 8 o'clock on June 16, 2010

### 2 气象要素分析

以大同自动站和左云自动站的分钟数据文件为代表分析飑线天气过程中温度、气压和风速变化情况(图 2),分析大同自动站分钟数据的结论是:当飑线过境时,三气象要素变化剧烈:气压存在 1 个涌升的时段,即 14:01 至 14:37,在 36min 时间内气压上升 4.6hPa 气压涌升后出现了风速极大值,即在 14:04 开始风速明显增大,14:09 和 14:14 出现两个极大值,分别为  $13.2\text{ m s}^{-1}$ 、 $13.3\text{ m s}^{-1}$ ;气温在 14:07 开始迅速下降,到 14:42 在 35min 之内下降了 12.8。分析 3 要素出现剧烈变化的时间顺序:首先气压涌升,随后风速增

大, 最后气温骤降。从气压涌升到风速加大时间间隔为 7min, 从风速加大到温度骤降时间间隔为 3min。分析左云自动站分钟数据与大同的趋势一样, 所不同的是从气压涌升到风速加大时间间隔为 5min。

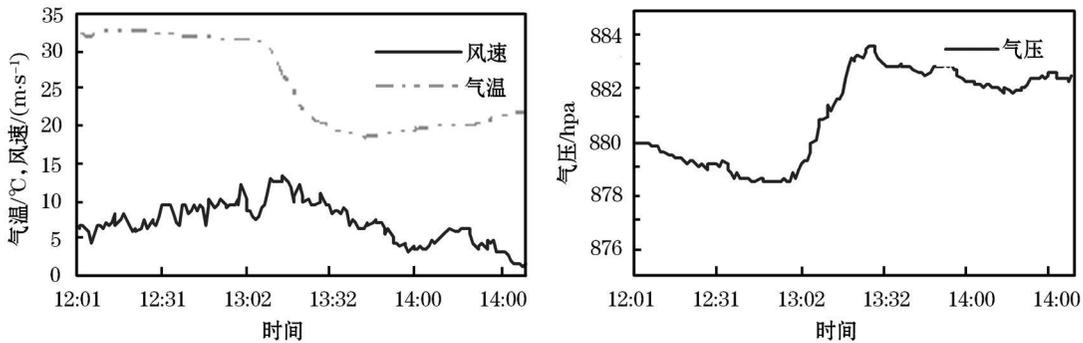


图 2 2010年 6月 16日 12 01至 14 39大同市气温、气压、风速变化曲线

Fig 2 Variation curves of air temperature, barometric pressure and wind velocity in Datong City from 12 01 to 14 39 on June 16, 2010

### 3 多普勒雷达特征分析

#### 3.1 飊线过程分析

6月 16日 11:27在雷达 1.5 仰角的反射率因子回波图上 (图略), 在雷达站西北部 180km 范围生成一条水平尺度约 230km, 宽约 15~20km 的 NE-SW 向的初期飊线, 其强度回波中心基本成一字排列, 约 6 个强回波中心, 中心强度均在 50dBz 以上。之后, 飊线向东北方向移动过程中与前部对流单体合并, 得到加强, 中心呈现弓形特征。

图 3 为最强阶段弓形回波及衰减阶段的组合反射率因子和 1.5 仰角径向速度图, 由图可见弓形回波最强阶段外形特征和衰减演变特征。

飊线于 12:59 (图 3(a)) 达到最强, 回波顶部强度最强, 南北两侧向后部翘起, 基本呈对称分布。此时, 强回波中心位于弓形回波顶部, 反射率因子中心达 65dBz, 速度图上正负速度交界线明显, 表现为一辐合线, 呈东北-西南向分布, 辐合线南侧为西南风, 对于雷达站是出流, 后部为东北风, 对于雷达为入流, 可见, 速度场上的辐合线与地面图 (图略) 上的风切变相对应。市区、左云大风天气出现在强回波影响的时段, 市区还出现沙尘暴。

13:24 弓形回波顶部到大同县 (图 3(b) 和 (f)), 前部对流单体与弓形回波合并, 此时, 弓形回波东南北侧强度减弱明显, 北部的速度辐合线仍清晰可见, 同时在雷达中心出现了牛眼结构, 正负最大速度中心均大于  $23\text{ m s}^{-1}$ , 说明低空急流的存在, 13:28 大同县出现大风和沙尘暴。

14:38 弓形回波影响广灵县 (图 3(c) 和 (g)), 顶部强回波与广灵附近对流回波合并得以维持, 南北两段减弱消失, 顶部回波带仍保留弓形特征; 由速度图可见, 入流急流逼近雷达站, 范围变窄; 在广灵县附近的雷达出流速度达  $27.3\text{ m s}^{-1}$ 。16:11 强回波与其前方的单体结合并向西南方向移动 (图 4(d), (h)), 形状仍呈弓形, 给灵丘县带来短时强降水; 速度场上灵丘附近存在明显的辐合, 但入流明显减弱, 可见, 飊线弓形回波在对流单体合并过程中发展, 顶部回波最强; 强降水、大风天气产生在飊线弓形回波顶部。

#### 3.2 飊线流场垂直运动

图 4 为 12:41 反射率因子和径向速度剖面图, 由图可见对流的上升气流、下沉气流以及空间的辐散辐合特征。对流的云团前部正速度区随高度向出流方向倾斜, 表示上升气流从地面开始, 高达 11km, 对流的云团后部负速度最大中心随高度向下倾斜, 表示下沉气流。径向速度剖面图近地面下沉气流达到最强, 在地面附近辐散, 与前侧西南暖湿气流辐合形成低层阵风锋, 9km 以上为辐散。分析可知, 风暴后部的下沉气流是造成地面大风的主要原因。由图 5 径向速度剖面图可知, 对流层中层 (3~6km) 的上升气流与后部入流之间过渡区为集中的径向速度辐合区, 在距离雷达中心 72~76km 范围内, 速度差值达到  $30\text{ m s}^{-1}$ , 出现了 MARC<sup>[8]</sup>, 之后 15min 受飊线回波影响的广灵出现大风, 所以 MARC 的出现可以作为地面大风预警的指标。

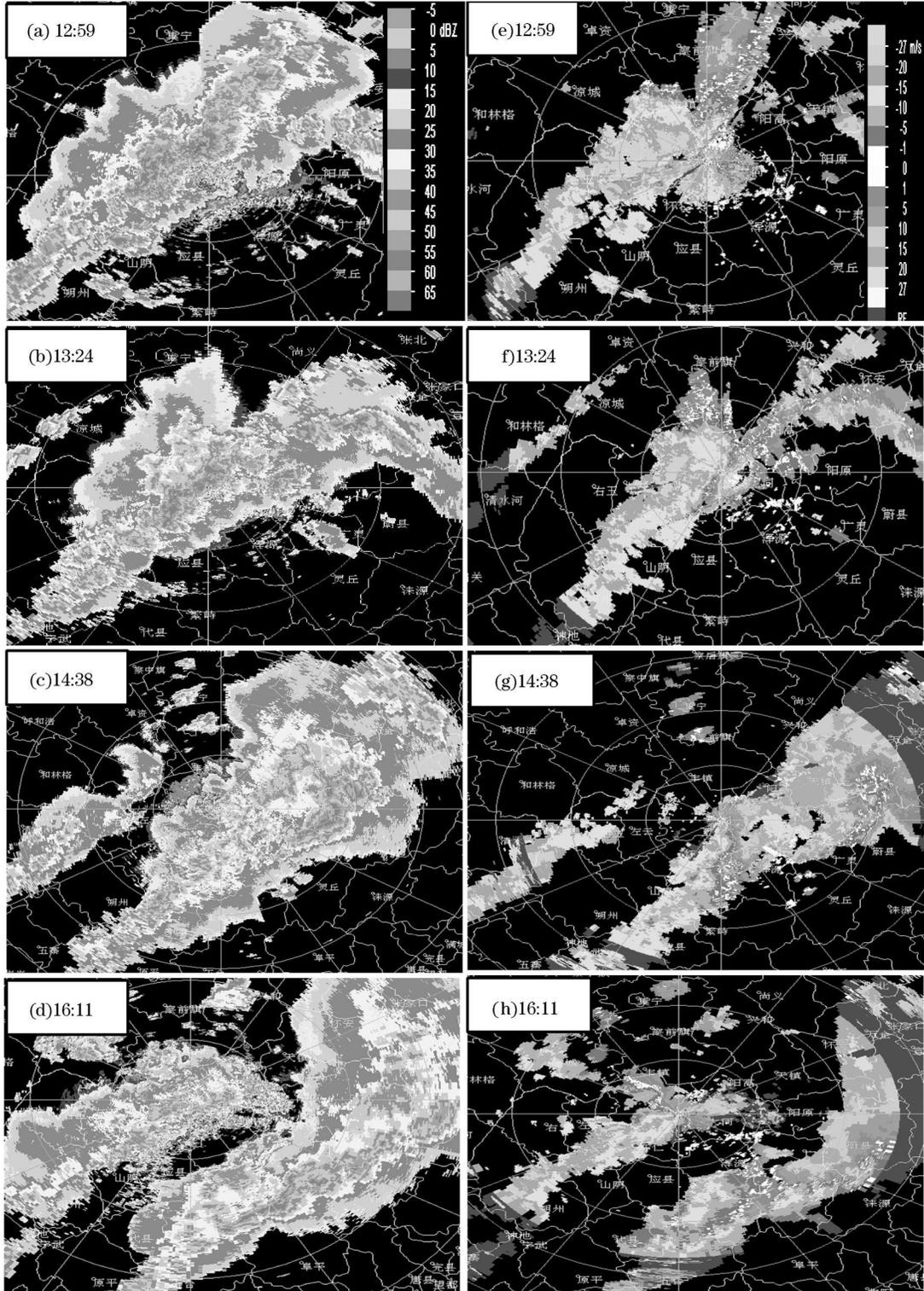


图 3 2010年 6月 16日飚线最强阶段特征及衰减演变过程

Fig 3 Strongest stage characteristics and the attenuation evolution process of squall line on June 16, 2010

### 4 外流边界

外流边界又叫出流边界, 由于下沉冷空气在地面附近向外流出, 与较暖较潮湿的环境大气之间形成的界面。

图 4 为 1.5 仰角基本反射率因子图, 可见外流边界出现时间和影响范围。强回波 12 59 达最大强度时,

在其前部可见明显的外流边界, 外流边界最初位于距雷达中心的 271、18.5km 至 358、15.5km 处, 东南移的过程中经过市区、大同县, 13.42 开始减弱消失。外流边界与大风、沙尘暴天气的关系: 分析自动站分钟数据资料可知, 以上 2 个测站极大风速与外流边界影响时间相吻合, 其中市区出现极大风速为  $18.4 \text{ m s}^{-1}$ , 能见度为 600m 的沙尘暴, 大同县出现极大风速为  $25.5 \text{ m s}^{-1}$ 、能见度为 50m 的强沙尘暴。

总之, 弓形回波所到之处出现  $16.8 \text{ m s}^{-1}$  以上大风的共有 6 个站, 其中有 2 个站受外流边界影响, 4 个站受强回波下沉气流影响, 另 2 个没有出现大风的测站是由于受回波尾部影响, 强度较弱所致。可见, 外流边界出现时说明有产生大风的潜势, 是大风灾害的前兆。

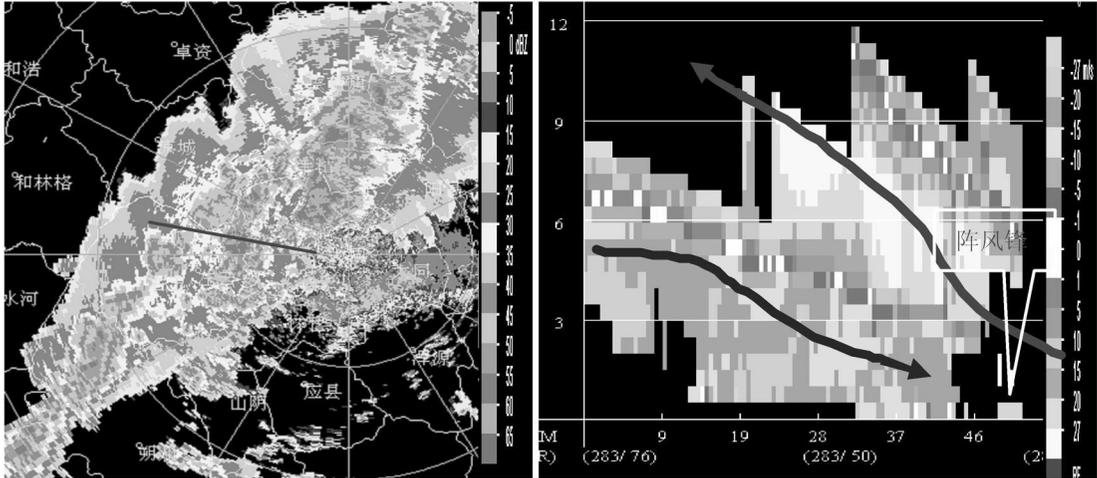


图 4 2010 年 6 月 16 日 12:41 组合反射率因子 (单位: dBZ) 和速度剖面图 (单位:  $\text{m s}^{-1}$ )  
 Fig 4 Composite reflectivity factor (unit dBZ) and the speed profile (unit  $\text{m s}^{-1}$ ) on June 16, 2010

## 5 其他产品特征

### 5.1 回波强度和液态含水量

对于此次冷涡过程的回波强度、液态含水量和回波顶进行了统计, 结果表明: 最大反射率因子  $50 \text{ dBZ}$  的区县 4 个, 均出现大风, 占总数 100%; 垂直液态含水量  $40 \text{ kg m}^{-2}$  区县有 4 个, 均出现大风, 占总数的 100%。出现大风的回波顶高均在 8km 以上。

表 1 飊线经过测站风速  $16.8 \text{ m s}^{-1}$  回波强度、液态含水量和回波顶高统计表

Table 1 Statistics of echo intensity, liquid water content and echo tops high under passed squall line with wind speed  $16.8 \text{ m s}^{-1}$

测站	回波强度 / dbz	液态含水量 / ( $\text{kg m}^{-2}$ )	回波顶高 / km	极大风速 / ( $\text{m s}^{-1}$ )
市区	65	40	8	18.4
大同县	25	5	9	25.5
阳高	50	45	12	18.3
天镇	40	20	9	16.8
左云	60	40	9	20.2
浑源	-	-	-	-
广灵	55	50	14	17.6
灵丘	-	-	-	-

### 5.2 VWP 产品分析

根据大同雷达 11:57 至 14:01 VWP 图 (图略), 可以看出在初生阶段的 12:22, 3.0km 高度以下风向随高度顺转, 说明低空存在暖平流, 有利于强对流天气的发展。12:28, 2.4km 高度以下, 风向由偏南转为西南, 风向随高度顺转, 2.4~2.7km 风向随高度逆转, 因此可以推断, 有冷平流开始影响测站, 冷平流叠加在暖平流之上, 上冷下暖的垂直结构十分明显, 层结开始变得不稳定, 是强对流发生发展的重要特征。13:12 飊线前

沿开始经过测站, 3.4km 以下为 ND, 3.4~4.9km 风向由西北转为西南, 风向随高度逆转, 与前一时刻相比, 此时低层的暖平流消失, 开始出现冷平流, 而且从底层 ND, 可推断出风向在底层变化较大<sup>[8]</sup>。

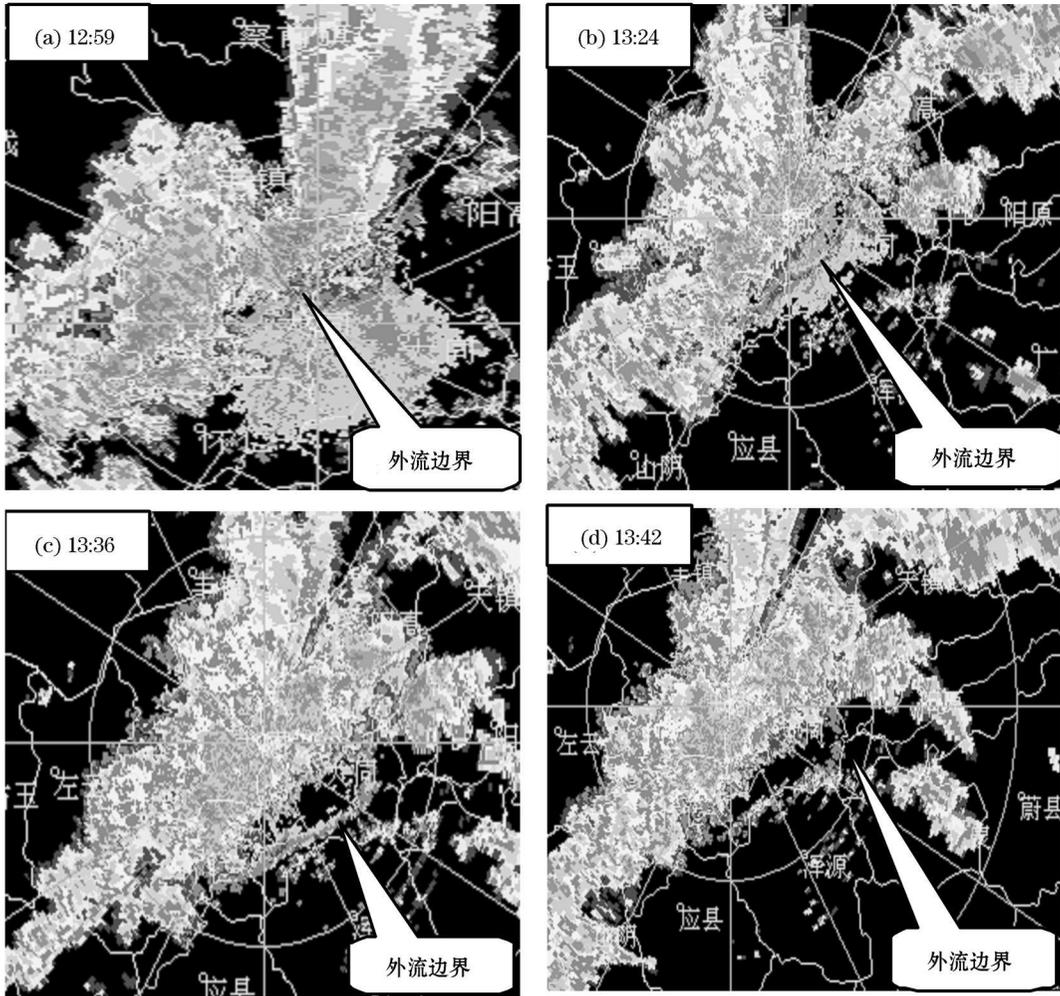


图 5 2010年 6月 16日 1.5 仰角基本反射率图上外流边界演变过程 (单位: dBz)

Fig 5 Outflow boundary evolution in basic reflectivity factor map of 1.5 elevation angle on June 16 2010 (unit: dBz)

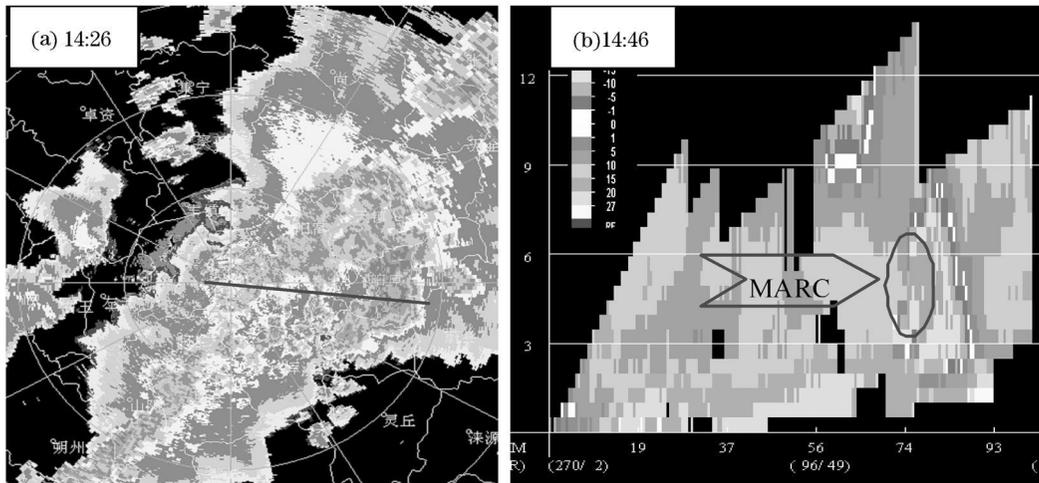


图 6 2010年 6月 16日 1.5 仰角基本反射率图 (单位: dBz) 和速度剖面图 (单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

Fig 6 Basic reflectivity factor map (unit: dBz) in 1.5 elevation angle and speed profile (unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) on June 16 2010

## 6 结论

(1)地面冷锋前部的暖区使层结变得不稳定,不稳定层结为对流发展提供了位能转化为动能的基本条件,是大风和短时强降水发生的有利区域。在水平流场结构上,中、低层有辐合、高层为辐散,具有产生强降水的潜势。

(2)高空冷涡携带的冷空气使飊线后部入流不断得到补充,而前侧暖湿气流沿着后部入流爬升,不断产生新的单体,是飊线能够维持、发展的主要原因。

(3)飊线过境时温、压、湿三要素出现剧烈变化的时间顺序为气压涌升、风速增大、气温骤降,相隔时间不超过 10 分钟。

(4)低层阵风锋、中层径向辐合(MRAC)的出现,具有产生地面大风的潜势,可以作为未来目标区域大风预警的重要参考指标。当外流边界出现时,说明有较强的下沉气流,有产生大风的潜势,是大风灾害的前兆。

## 参考文献:

- [1] 刘伟,顾松山,郑钢.一次飊线的多普勒雷达回波特征分析[J].气象水文海洋仪器,2009,6(2):148-152
- [2] 王宏,马凤莲,王万筠.一次飊线过程的多普勒雷达资料分析[J].沙漠与绿洲气象,2009,3(3):38-43
- [3] 张京英,孙成武,王庆华,等.一次飊线大风的多种资料分析和临近预报[J].气象科学,2009,29(1),126-132
- [4] 韩经纬,孟雪峰,宋桂英.一次伴随强沙尘暴天气飊线的多普勒雷达回波特征[J].气象,2006,32(10),57-63
- [5] 邵美荣,林谦,吴迎旭.黑龙江省西部地区一次大范围强飊线过程分析[J].自然灾害学报,2009,18(1),159-163
- [6] 郑芬,黄海波,王郦.一次飊线过程的雷达产品特征分析[J].云南地理环境研究,2008,20(增刊):133-138
- [7] 李淑玲,刁秀广,朱敏等.一次飊线过程多普勒雷达资料分析[J].气象,2009,35(3):60-65
- [8] 俞小鼎,姚秀萍,熊廷南,等.多普勒天气雷达原理与业务应用[M].北京:气象出版社,2006.93-94