

# 乌鲁木齐国际机场一次强雷暴天气分析

黄海波<sup>1,2</sup> 米永胜<sup>2</sup> 郑永光<sup>3</sup>

- (1. 北京大学物理学院大气科学系, 100871; 2. 民航新疆空中交通管理局气象中心;  
3. 国家气象中心)

**提 要:** 雷暴及伴随其出现的恶劣天气严重威胁飞行安全。利用常规气象资料、卫星云图、雷达回波结合湿位涡的诊断分析对2005年6月26日出现在乌鲁木齐国际机场的一次强雷暴天气进行了研究。结果表明:(1)雷暴出现时,机场的地面要素场和天气变化剧烈,气温剧降,湿度暴增,气压涌升,并伴有大风和强降雨。(2)此次强雷暴天气是由飑线引起的。飑线的形成可能与冷性的中- $\alpha$ 尺度的高压和生命史较短的中- $\beta$ 尺度热低压之间的相互作用有关。(3)逆温层的存在抑制了水汽和热量向上的输送和扩散,冷空气的冲击破坏了逆温层,使累积的不稳定能量得以释放,强对流天气爆发。(4)925hPa的湿对称不稳定区域对于预报雷暴天气的落区具有一定的指示意义,强雷暴出现在 $MPV < 0$ 的大值区内。

**关键词:** 雷暴 飑线 逆温层 湿位涡

## Analysis of a Severe Thunderstorm Event in Urumqi International Airport

Huang Haibo<sup>1,2</sup> Mi Yongsheng<sup>2</sup> Zheng Yongguang<sup>3</sup>

- (1. Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871;  
2. Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Administration;  
3. National Meteorological Center)

**Abstract:** Both the evil weather derived from the thunderstorm and the thunderstorm itself are severe threats to the flight safety. Based on the conventional data, satellite image and radar echo combined with diagnostic analysis of moist potential vorticity, a severe thunderstorm event occurred in urumqi inter-national airport on June 26, 2005 is analyzed. The re-

sults show that: (1) when the thunder-storm occurred, the surface features and the weather of the airport changed abruptly as follows: the temperature lapsed, the humidity rose surprisingly with the pressure surging, the strong wind and heavy shower followed subsequently. (2) The event was triggered by a squall line. The genesis of the squall line may have relations with the interaction between a cold meso- $\alpha$  scale high pressure and a short-life warm meso- $\beta$  scale low pressure. (3) Accumulated unstable energy released explosively after the cold air damaged the inversion layer, which blocked the upward transportation and diffusion of water vapour and heat. (4) The moist symmetric unstable region of 925hPa indicates the thunderstorm location in some sense, a strong thunderstorm may occur in the central region where  $MPV < 0$ .

**Key Words:** thunderstorm squall line inversion layer moist potential vorticity ( $MPV$ )

## 引言

雷暴是产生在积雨云中的伴有闪电、雷鸣、阵雨、大风,有时还伴有冰雹、龙卷的中小尺度对流天气系统,对飞行安全有严重的威胁。在雷暴中飞行的主要危险包括:雷暴云中有强烈的湍流和阵性垂直气流,会引起飞机强烈的颠簸,使飞机偏离航向,不能保持飞行高度,飞机的操纵性能恶化;雷暴云中存在大量的过冷水滴,飞机在云中飞行,可能会产生较强的积冰,使飞机的空气动力性能遭到破坏,从而影响飞机的安定性和操作性;云下阵风和强烈的风切变、下击暴流等可造成飞机失速、倾斜、严重偏离下滑道而失事;雷击和闪电能严重干扰飞机的无线电通讯,常使机载电子设备失灵或损坏。

夏季是新疆的旅游旺季,航班密度较大,也是雷暴频发时期,由于雷暴具有时空尺度小、突发性强的特点,所以,雷暴天气的预报是新疆夏季飞行气象保障中的重点,也是难点。国内对机场雷暴天气的研究已有不少的工作<sup>[1-4]</sup>,但对新疆境内机场雷暴天气的研究较少。本文利用常规气象资料、卫星云图、雷达回波结合湿位涡的诊断分析对

乌鲁木齐机场的一次强雷暴天气进行了研究,力求能深入地认识强雷暴天气的特点、成因及演变规律,更好地保证飞行安全和航班正常。

## 1 天气概况

乌鲁木齐地窝堡国际机场(43°54'N、87°28'E)位于乌鲁木齐市西北方向,距市中心17km,地处天山北麓(迎风坡)、准噶尔盆地的东南边缘,受地形和局地热力环流的作用,夏季午后至傍晚常有对流云(浓积云、积雨云)发展和雷暴天气出现,对飞行活动的影响较大。

2005年6月26日18:55—19:50乌鲁木齐国际机场出现了一次强雷暴天气,伴有雷鸣、阵雨和大风,其中降水出现在19:06—19:45,最大降水时段为19:06—19:25,过程降水量达6.1mm;大风出现在19:07—19:25,最大风速达 $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在此期间,乌鲁木齐机场所有进出港航班均不同程度延误,有三个航班因天气恶劣被迫返航、备降。

19:25左右受强对流云团的影响,伴随着6级左右的西北风及阵阵雷鸣,处于机场下风方向的乌鲁木齐市突然出现了强阵

雨, 倾盆大雨持续了约 30 分钟, 降水量达 7.3mm, 市区大面积积水, 交通严重堵塞, 部分街区停电。

## 2 环流形势

6月26日08时500hPa高空图上(图1), 乌拉尔山地区为高压脊控制, 巴尔喀什湖以北为一低涡, 700hPa、850hPa和500hPa上的环流形势一致, 高低空低涡中心、冷中心位置重合, 表明冷空气势力较强, 新疆为低涡前部的偏西气流控制; 20时, 乌拉尔山高压脊强烈向东北方向发展, 推动低涡向东北方向移动, 高低空冷中心随之北抬, 冷空气势力偏北, 新疆位于低涡底部的西北气流中; 低涡底部不断分裂的小股冷空气侵袭新疆, 为北疆沿天山一带及乌鲁木齐强雷暴天气的产生提供了有利的触发机制。

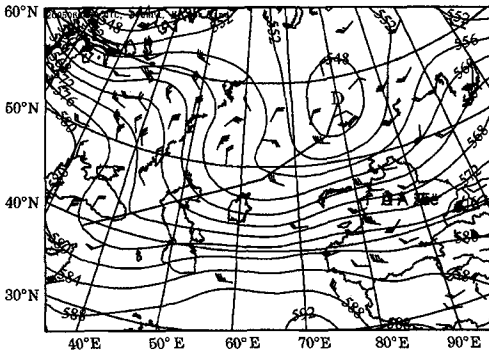


图 1 2005 年 6 月 26 日 08 时 500hPa 环流形势

## 3 地面要素场变化特征

26日14时, 北疆西部有闭合的小高压生成, 与此同时, 天山南部山区对流云发展旺盛, 并翻越天山向北疆移动; 17时, 北疆西部的小高压发展为范围较大的中尺度高压并快速向东移动, 从其水平尺度上来看,

属于中- $\alpha$  尺度, 但强度较弱, 高压前部分析不出锋面, 后部也没有明显的 3 小时正变压。

从地面风场上看, 26日14—18时, 乌鲁木齐机场风向不定, 风速很小, 在  $1\sim 2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  之间。19:00 为偏东风, 风速  $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 19:07 起风向突然转变为西北风, 风速猛增到  $15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 瞬时最大风速达  $19\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 受大风影响, 机场出现了短时的扬沙; 20:00 雷暴结束后, 风速迅速降到  $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以下。14—16 时之间, 机场的气温有升有降, 但是变化幅度很小。16 时以后, 气温稳步上升, 18:30 升到当日最高的  $27^\circ\text{C}$ , 随着雷暴高压的移近, 气温明显下降, 19:00 降为  $25^\circ\text{C}$ , 19:30 强雷暴出现前, 温度急剧下降到  $15^\circ\text{C}$ , 在半个小时的时间里, 温度降低了  $10^\circ\text{C}$  (见图 2)。

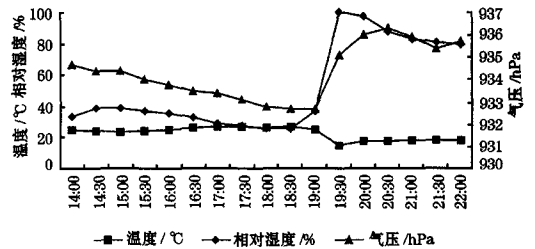


图 2 2005 年 6 月 26 日 14:30—22:00 (间隔 30min) 地面温度 ( $^\circ\text{C}$ )、相对湿度 (%) 及气压场 (hPa) 变化特征

随着午后气温的升高, 天山山区不断有暖湿的对流云发展并由南向北移出, 乌鲁木齐近地层的比湿值逐渐从  $6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  增加到  $8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  左右, 说明乌鲁木齐近地层的水汽含量的绝对值比较大, 但是由于温度一直在上升, 所以相对湿度一直呈下降趋势, 在雷暴出现前半小时降到最低, 仅为 26%, 随后急剧攀升, 从 39% 暴增到 100%, 雷暴结束后, 又迅速下降到 80% 左右 (见图 2)。机场的气压在雷暴出现前, 一直呈下降趋

势, 雷暴出现后, 气压涌升, 升幅达 2.4hPa, 雷暴结束后半小时气压开始下降, 形成了明显的“雷暴鼻”(见图2)。地面气象要素的剧烈变化, 与飑线过境时的情形较为一致<sup>[5]</sup>。

#### 4 卫星云图分析

26日14时卫星云图上, 北疆基本为中高云, 只有塔城地区有对流云系活动, 南疆库车、库尔勒一带对流云发展旺盛, 并逐步从山区移出。15时塔城地区的对流云系加强, 沿东南方向移向克拉玛依, 乌鲁木齐受从西南山区移出的暖湿对流云系的影响, 云量开始增多, 空中水汽含量逐步增加。16时塔城地区的对流云系加强, 云区范围扩大, 一部分沿东北方向朝阿勒泰地区移动, 一部分继续移向克拉玛依, 克拉玛依的对流云系加强并开始沿东南方向移向乌鲁木齐。17时, 移向乌鲁木齐的对流云系加强, 云区范围扩大, 形成一个近乎圆形的雷暴云团(图3, 见彩页), 对应着地面图上的中尺度高压。

从14—17时卫星云图的动态显示上看, 由天山西南部山区移出的对流云系在乌鲁木齐的东侧逐渐形成了一个具有涡旋结构的中尺度螺旋云带并沿西北方向朝雷暴云团运动, 从其水平尺度上看, 属于中- $\beta$ 尺度, 但在地面图上无明显的系统与之对应, 说明其生命史较短, 维持时间在3小时左右。18时, 雷暴云团加强移近乌鲁木齐, 主体位于乌鲁木齐的东北部, 螺旋云带随之东移。20时(19时缺资料), 雷暴天气结束后, 雷暴云团减弱, 外形变得不规则, 乌鲁木齐东侧的螺旋云带也减弱, 涡旋结构消失。

#### 5 雷达回波特征

图4(见彩页)是2005年6月26日

17:30—18:50不同时间次的雷达回波(PPI)平显图。16:00—16:50西西北和西西南方向不断有弱回波区向乌鲁木齐机场移动, 回波最大值在40dBz。16:20起, 机场西北—北方向120km处开始有云系移动。17:00—17:30, 西西北方向的回波强度逐步减弱, 西西南方向的云系回波强度无明显变化, 而西北方向的回波范围不断扩大, 强度由16:20的20dBz猛增到55dBz, 有两个强回波中心, 强度分别为55dBz和50dBz, 在两个强回波中心之间出现了“V”型的回波穹隆, 在此处可能出现冰雹等灾害性天气。与此同时, 在西北西方向90km处有孤立的回波区出现, 强度为25dBz。17:40西北—北方向两个强回波中心之间的“V”型回波穹隆区进一步扩大, 西北西方向的对流云回波强度增加到50dBz。17:50西北—北方向的强对流云系的回波中心值增加到60dBz, 范围扩大, 西北西方向的对流云回波的范围也扩大, 但强度无明显变化。西南方向的回波与其右侧的“—”字型回波合并, 形成了“人”字型回波, 标志着在此位置出现了一个由于局地增热、地形辐合等作用形成的中尺度低压<sup>[6]</sup>, 和在云图分析中得出的结论相符。18:00西北西方向对流云回波的强度猛增到60dBz, 与其北侧呈花椰菜状的强对流回波区在移动中相互接近。18:10西北—北和西北西方向的两块强对流回波区合并, 合并后的强对流回波区中有三个强回波中心, 分别位于回波区的母体、中部和下部, 强度分别为50、60、50dBz, 在这三个强回波中心之间形成了两个较大的回波穹隆。18:40强对流云系母体的回波强度逐渐减弱, 其外形由花椰菜状发展为蘑菇云状, 中部的回波强度增强为65dBz, 在其下部出现了两个强对流单体, 强度均为60dBz, 乌鲁木齐南部的“人”字型回波消散, 这一方面可能是由于中尺度低压已经填

塞,另一方面也可能跟地形的影响或雷达仰角的设置有关。

“人”字型回波(云带)对应的中尺度低压内强烈的辐合上升运动给乌鲁木齐输送了大量来自山区的暖湿空气,为此次强雷暴天气的产生提供了有利的水汽条件。18:50强对流云系的中下部出现了更多的强对流单体,回波强度在55~65dBz之间,侧向排列成长条状,距乌鲁木齐机场约20km,5分钟后机场即开始打雷。综合上面的分析可以断定,此次影响乌鲁木齐机场的强雷暴天气是由飑线引起的。

## 6 大气层结的演变

从利用乌鲁木齐市单站探空资料绘制的26日08时的 $T-\ln p$ 图上(图略)可以看出,对流层低层大气层结非常稳定,地面到900hPa之间有一逆温层。由于午后地表增

温较快,山区对流的云发展旺盛并不断移出,乌鲁木齐空中水汽含量大增,但逆温层的存在抑制了热量和水汽在垂直方向的输送和扩散,使低层变的更暖更湿,高层相对地更冷更干,不稳定能量得以大量积累。随着冷空气的冲击,逆温层被破坏,大气层结迅速由稳定转为不稳定,原先被抑制的不稳定能量猛烈释放,强对流天气爆发。

## 7 湿位涡诊断

等压面湿位涡(Moist Potential Vorticity,简称MPV)表达式:在 $p$ 坐标下忽略 $\omega$ (垂直速度)的水平变化有<sup>[7]</sup>:

$$MPV = -g(\zeta_p + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - g \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y}$$

其中 $\zeta_p$ 为垂直涡度分量, $\theta_e$ 为相当位温。

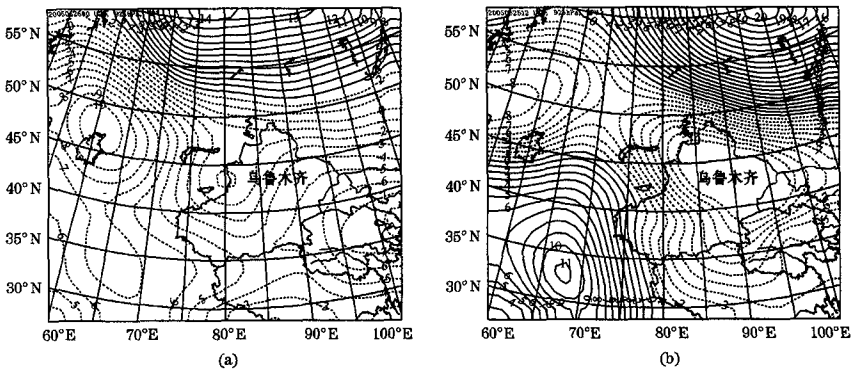


图5 2005年6月26日08时(a)、20时(b)925hPa湿位涡( $10^{-1}$ PVU)分布

与干空气的动力特征类似, $MPV > 0$ ,大气为湿对称稳定, $MPV < 0$ ,大气为湿对称不稳定。湿位涡的单位(PVU)是 $10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K} \cdot \text{kg}$ 。

分析湿位涡沿 $44^\circ\text{N}$ 的垂直剖面(图略)发现,26日08时 $MPV < 0$ 的区域主要

集中在850hPa以下的高度,26日20时 $MPV < 0$ 的区域有所扩大,但大值区高度却进一步降低到925hPa以下,说明在强雷暴出现前后,乌鲁木齐地区的湿对称不稳定区域主要集中在近地层,即925hPa高度以下,和前面分析的结果一致。进一步的分析

发现, 26日08时925hPa上, 乌鲁木齐为弱的湿对称不稳定区, 26日20时, 乌鲁木齐地区近地层处于高温高湿的状态, 积聚了大量的不稳定能量, 湿对称不稳定性增加, 雷暴出现在 $MPV < 0$ 的大值区内。

## 8 结 语

(1) 低涡底部不断分裂出小股的冷空气为强雷暴天气的产生提供了有利的触发机制。强雷暴出现前后, 地面气象要素场和天气变化剧烈, 气温剧降, 相对湿度暴增, 气压涌升, 并伴有大风和强阵雨。

(2) 此次强雷暴天气是由飑线引起的。飑线的形成可能与冷性的中- $\alpha$ 尺度的高压和生命史较短的中- $\beta$ 尺度热低压之间的相互作用有关。中- $\beta$ 尺度热低压在卫星云图上表现为具有涡旋结构的螺旋云带, 其生命史较短, 在3小时左右, 地面图上无明显的系统与之相对应, 给雷暴影响时间和强度的预报带来很大困难。

(3) 在雷达PPI图上, 西西北方向和西北—北方向的回波(云系)在向乌鲁木齐移动的过程中不断加强, 最终合并成为一顶部为蘑菇云状, 中下部有许多排列成条状的强对流单体组成的强对流(飑线)云系。西西南方向的回波(云系)在移动的过程中,

与其右侧的“一”字型回波合并成一“人”字型回波, 对应乌鲁木齐附近由于局地增热、地形辐合等作用形成的中尺度低压。

(4) 逆温层的存在抑制了热量和水汽在垂直方向的输送和扩散, 使低层变得更暖更湿, 高层相对地更冷更干, 不稳定能量得以大量积累。强雷暴出现前后, 乌鲁木齐近地层处于高温高湿的不稳定状态, 925hPa的湿对称不稳定区域对于预报强雷暴天气的落区具有一定的指示意义, 强雷暴出现在 $MPV < 0$ 的大值区内。

## 参考文献

- 1 刘鹏, 李书文. 气旋爆发性发展产生的北方冬季雷暴天气分析 [J]. 气象, 1998, 24 (5): 47-51.
- 2 顾雷, 陈露, 陶祖钰等. 影响首都机场的一次雷暴过程的红外云图和闪电分析 [J]. 高原气象, 1998, 17 (2): 198-203.
- 3 区志中, 张美平, 敖淑珍. 近20年白云机场雷暴气候的统计特征 [J]. 广东气象, 2003, 2: 13-14.
- 4 徐海, 冉心. 7.24雷暴过程分析 [J]. 四川气象, 2001, 21 (4): 33-38.
- 5 张小松, 李宏波. 云南中部一次飑天气过程的雷达回波特征 [J]. 气象, 2003, 29 (12): 34-37.
- 6 朱根乾, 林锦瑞, 寿绍文等. 天气学原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 401-417.
- 7 李耀辉, 寿绍文. 一次江淮暴雨的MPV和对称不稳定研究 [J]. 气象科学, 2000, 20 (2): 171-178.

# 黄海波等：乌鲁木齐国际机场一次强雷暴天气分析

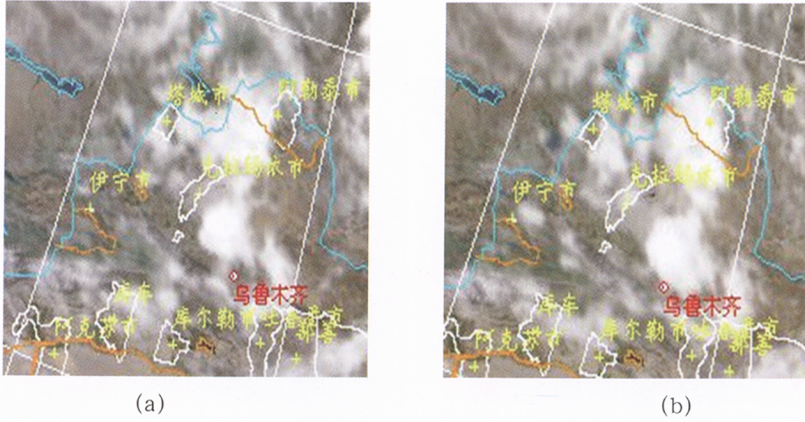


图3 2005年6月26日17:00 (a)、18:00 (b) 云图

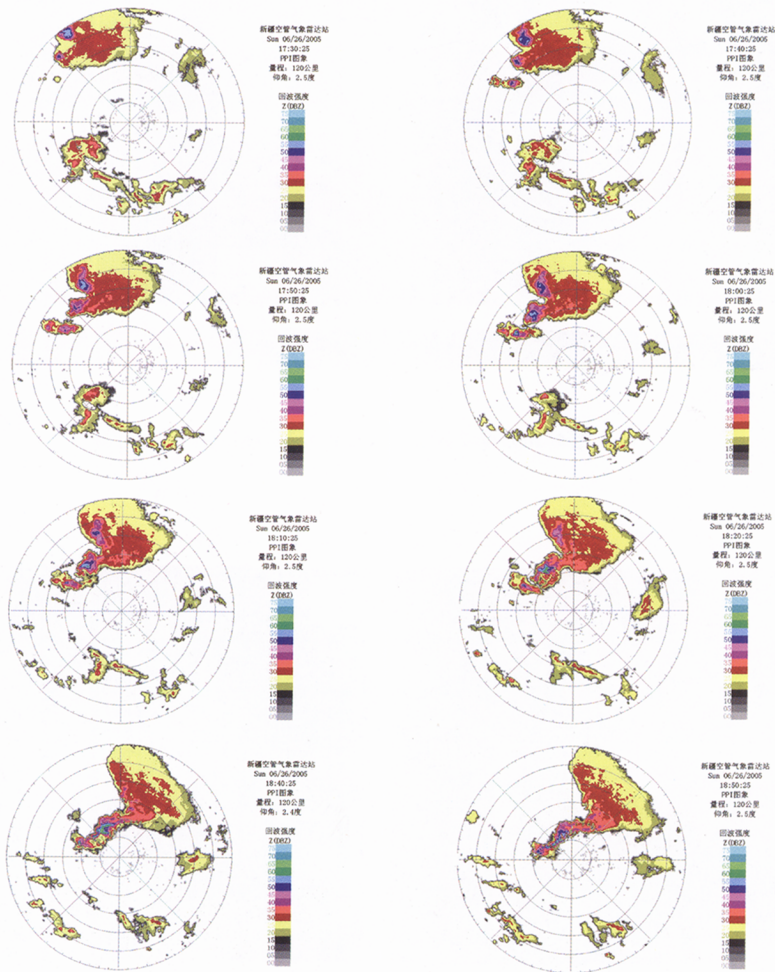


图4 2005年6月26日17:30—18:50 雷达回波 (PPI)