

文章编号:1004-9045(2008)03-0237-05

# 湘黔边境一次高空槽前型飑线天气过程的成因分析

陈红专<sup>1,2</sup>, 曾志明<sup>2</sup>, 杨素珍<sup>3</sup>, 宋 明<sup>3</sup>

(1.南京大学大气科学系, 南京 218000; 2.湖南省怀化市气象局, 怀化 418000;

3.湖南省沅陵县气象局, 沅陵 419600)

**摘 要:**综合多种观测资料,对 2006 年 8 月 1 日发生在湘黔边境的一次强对流天气过程的成因进行了分析。结果表明:这是一次典型的高空槽前型飑线过程,副热带高压的迅速东退、强湿度梯度及其南北两侧冷暖空气的辐合造成的强湿度锋锋生作用触发了强对流;强对流发生前和发生时大气层结的不稳定、良好的水汽输送及辐合条件对其发生发展十分有利;高层强辐散与低层强辐合的耦合形势以及强上升运动为强对流的发生发展提供了有利的动力条件。

**关键词:**飑线;高空槽;湿度梯度;层结不稳定

中图分类号:P458.1+23 文献标识码:A

## 1 引言

强对流天气是在有利的大尺度环流背景下产生的中小尺度天气系统的产物,这些中小尺度系统包括雷暴、飑线等,往往带来灾害性的大风和局地短时暴雨,有时还伴有冰雹和龙卷风,是一种具有短时破坏力的天气,常给国民经济和人民生命财产造成严重的损失。在此类强对流天气分析研究方面,已有不少气象工作者作出了贡献。成章纲等<sup>[1]</sup>对 1998 年 4 月 23 日发生在宜昌市的强对流天气过程的环流背景、物理量场及雷达回波进行了分析,结果表明,中低层西南急流、强垂直风切变,高层降温降湿而低层增温增湿是强对流天气的重要环境条件。王雷等<sup>[2]</sup>对 2004 年 7 月两次强对流天气过程进行了对比分析,发现强对流发生在低层露点锋区及低层水汽通量和散度辐合、高层相应辐散的大值区域;刘贵萍<sup>[3]</sup>在对贵阳的一次强对流降水过程作出诊断分析之后指出,该过程发生在大气层结不稳定区;龙利民等<sup>[4]</sup>根据宜昌多普勒天气雷达每 6 min 一次体扫监测信息,对 2005 年 7 月宜昌市出现的一次强对流天气过程进行了分析,发现当弓形回波、带状回波的走向与环境风场几乎成正交时,给所经之地造成异常剧烈的天气,且灾害性大风均出现在径向速度场中具有旋转性环流的强单体移动的下风方;张芳华等<sup>[5]</sup>对 2004 年 7 月 12 日上海飑线天气过程进行了天气动力学诊断分析,发现对流层上层干冷空气的侵入和边界层暖湿气流强烈辐合是飑线天气的触发机制;孙士型<sup>[6]</sup>等对一次飑线过程的卫星云图和雷达回波特征进行了分析。

随着气象业务现代化的发展,区域气象观测站和

多普勒雷达的建设为更加深入细致地分析中小尺度天气系统提供了可靠的依据。本文利用多种常规气象资料和卫星云图资料,对 2006 年 8 月 1 日发生在湘黔边境的一次高空槽前型飑线天气过程的成因进行了分析,以便为今后开展短时临近天气预报服务提供一些参考依据。

## 2 天气实况

2006 年 8 月 1 日傍晚湘黔边境出现一次局地强对流天气过程。表 1 给出了 8 月 1 日傍晚地处湘西的沅陵、新晃、芷江、怀化等 4 站 1 h 气温、气压、相对湿度的变化和 1 h 雨量资料。

表 1 2006 年 8 月 1 日傍晚湘西 4 站 1 h 气象要素变化

站名	气象要素			变化时间 (北京时)	
	气温/ °C	气压/hPa	相对湿度/%		
沅陵	-3.6	+1.4	+17	23.3	16—17
新晃	-3.9	+2.0	+15	39.9	17—18
芷江	-4.9	+2.9	+23	32.3	18—19
怀化	-5.1	+2.9	+29	19.5	18—19

由表 1 可知,在 1 h 之内,4 站的气象要素发生了剧烈变化,气温急降,降幅最大达 5.1 (怀化);气压陡升,升幅最大达 2.9 hPa(芷江、怀化);湿度剧增,增幅最大达 29%(怀化);雨强较大,1 h 雨量最大达到 39.9 mm(新晃),另外,8 月 1 日 14—20 时 6 h 雨量,湘黔地区有 2 站(凤凰、石阡)超过 50 mm,6 站达 25 mm 以上(图略),其中有 4 个站 3 h 雨量超过 25 mm,凤凰站 3 h 雨量达 50 mm。同时短时间内狂风大作、风速猛增,湘黔地区有 6 个站出现大于 17 m·s<sup>-1</sup> 的大风,其中芷江 16 时 07 分风速达 25.5 m·s<sup>-1</sup>。以上气象要素的剧烈变

收稿日期:2008-01-10;定稿日期:2008-06-11

作者简介:陈红专,男,1972 年生,工程师,主要从事天气预报业务及服务性工作。E-mail: dktanqx@tom.com

化表明,8月1日傍晚湘黔边境发生的局地强对流天气是一次典型的飊线过程。

### 3 环流背景和云图分析

#### 3.1 大尺度环流形势

大尺度环流形势不但可制约对流系统的种类与演变过程,还可影响对流系统内部的结构、强度、运动和组织程度。在这次强对流产生前的8月1日08时,500 hPa图上(图略),副热带高压脊线位于25°N附近,其西脊点接近100°E,青藏高原上同时存在一个大陆高压中心;副热带高压与大陆高压之间,沿郑州、宜昌、重庆一线有一东北—西南向的高空槽位于副高北侧;有一暖舌从云南沿高空槽伸至黄河下游以南,在该暖舌之南,一条湿舌从西南地区一直延伸到辽东半岛,此湿舌与其西北侧干区的强湿度梯度(湿度锋)非常大。同时,在500 hPa高空槽下方,700 hPa、850 hPa图上(图略),从我国东北经华北南部到西南地区东部,

均可见一切变线存在,700 hPa层湿舌同样明显。到了1日20时,副高迅速东退,东退约15个经度;随着500 hPa高空槽南压,原来位于此高空槽北部的暖舌由于冷空气南下而消失;原中低层切变线依然存在,但700 hPa风向切变明显加强。分析得知,这是一次高空槽前型飊线过程,正是由于副热带高压迅速东撤,引导高空槽后冷空气南下,与中低层西南暖湿气流相互作用,再加上强湿度梯度的触发机制,造成了此次强对流过程。

#### 3.2 卫星云图分析

马禹<sup>[9]</sup>等人通过对1993—1995年连续3年GMS卫星红外云图的普查指出,我国的中—尺度对流系统存在明显的地理分布特征,35°N以南100°—110°E之间我国西南地区及其毗邻的越南北部是中—尺度对流系统发生最多的区域。这次强对流天气也是首先从该地区发展起来的。图1给出了2006年8月1日11:30至2日00:30不同时刻的GMS卫星红外云图。

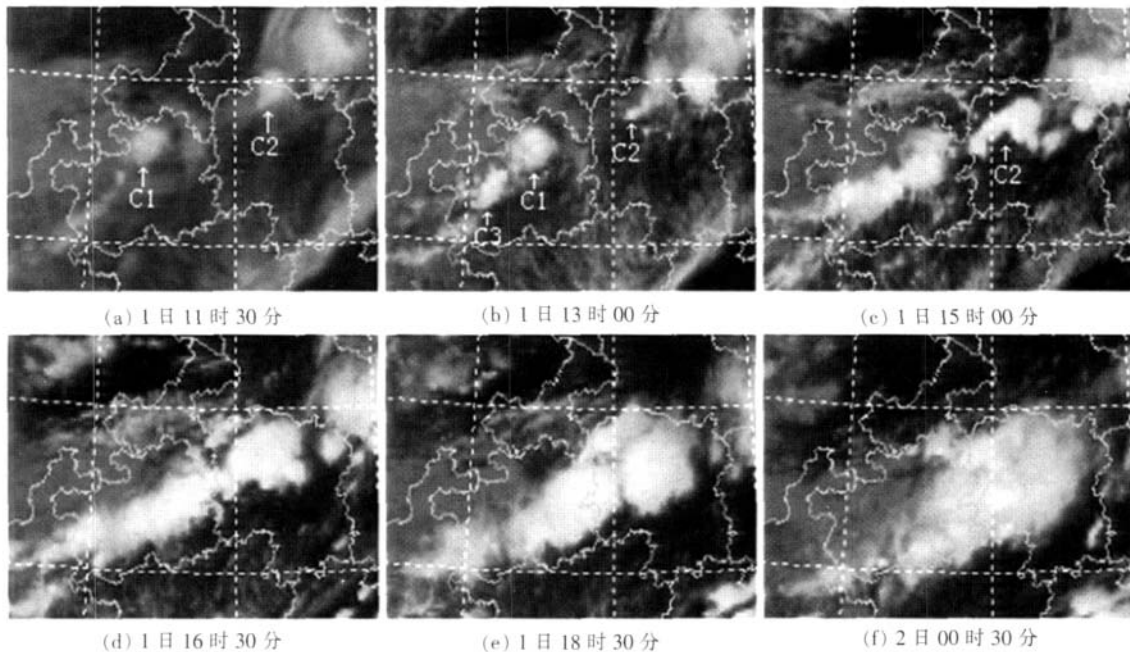


图1 2006年8月1日11:30至2日00:30不同时刻的GMS卫星红外云图

分析图1可知,8月1日11时30分(图1a),在黔西北和洞庭湖西北部分别有一个孤立的对流小单体C1和C2生成并发展,其直径约1个经度,云顶亮温为-52.24,随后小单体C1不断发展并在其西南方向有新的小单体(C3)生成,而小单体C2在向东北方向移动过程中略有减弱。13时00分(图1b),贵州境内的单体C1和C3已经发展成大小约2个经度、呈东北—西南向排列的椭圆形对流单体,同时小单体C2已发展成带状,其西南端已伸展到湘西北。15时00分(图1c),位于贵州境内的两个单体C1和C3已经连成一条带状云系,其云顶亮温为-65.73,同时原位于湘西

北的单体C2迅速发展,飊线开始形成。16时30分(图1d),分布在湘黔两省的带状云系已逐渐发展成—东北—西南向的窄带MCS中尺度对流云带,此时飊线发展强盛,云顶亮温最低达-74.94。18时30分(图1e),上述中尺度对流云带发展到最强,云块色调发白发亮,云顶明亮密实,前部边缘光滑,其云顶亮温达到-73.26,飊线处于成熟阶段。2日00时30分(图1f),带状云系消失,强对流天气结束。从红外云图的分析可知,这次飊线过程属于断线发展型,它是在中尺度系统(切变线)的组织下,沿辐合带不断生成小的对流单位,这些小的对流单位一边发展,一边逐渐组成一

带状云带并向东南方向移动,从而形成飑线。

### 3.3 中尺度分析

在地面气压场上飑线具有一定的温压场结构特征,它包括雷暴高压、飑线、飑前低压和尾流低压等中系统<sup>[9]</sup>,它们经常出现在强风暴天气过程中。

图 2 是利用 2006 年 8 月 1 日 19 时自动气象站资料分析的地面环流形势。从图 2 中可知,在飑线左右侧是一个中高压中心(雷暴高压),这里既是积云下沉气流区,也是冷中高压的源区。在中高压之后是中低压中心(尾流低压区);在飑线前部是飑前低压,由对流在飑前激起的对流层中上层下沉增温造成;飑线后部有一个冷中心,其前部是暖中心,飑线附近温度梯度很大。综上所述,从地面中尺度形势分析来看,这是典型的飑线结构。

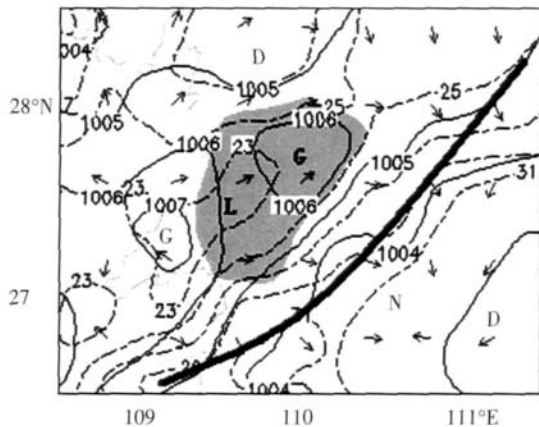


图 2 2006 年 8 月 1 日 19 时地面环流形势场  
—— 等压线; - - - 等温线; ——— 飑线;  
阴影区表示  $\geq 10 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$  强降雨区;箭头表示地面风

## 4 物理量场分析

### 4.1 水汽条件分析

水汽、位势不稳定和上升运动是强对流系统发生的基本条件(即水汽条件,能量和触发条件)。强对流的发生,不但要有充沛的水汽,还要有源源不断的水汽输送并在强对流区域辐合,而水汽的辐合主要由低层水汽通量辐合造成,尤其是 800 hPa 以下的边界层中占很大比重,可达 1/2 以上。

此次强对流发生前,从 8 月 1 日 08 时 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度场叠加图上可见(图 3),充沛的水汽从孟加拉湾经中南半岛、西南地区一直输送到江南地区,江南的两个水汽通量中心分别位于湘西和黔东地区,其中心值为  $14 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ;同时,在 850 hPa 水汽通量散度场,湘黔边境地区为强辐合中心,其水汽通量散度达到  $-9.0 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,湘中地区的水汽通量散度达到  $-15.0 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,强对流区上空已积聚丰富的水汽,充足的水汽输送和

水汽辐合对强对流的发展非常有利。随后(图略),水汽通量及其散度中心南移,到 1 日 20 时,水汽通量中心已移到湘西南,其中心值降至  $6 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,而强对流区上空已成为辐散区,其量值为  $8.0 \times 10^{-7} \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,此次强对流天气趋于消亡。

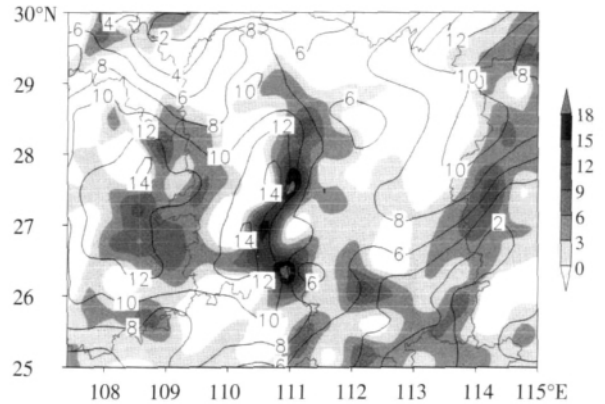


图 3 2006 年 8 月 1 日 08 时 850 hPa 水汽通量场  
和水汽通量散度场叠加图  
实线表示水汽通量,单位:  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  
阴影区表示水汽通量散度  $\leq 0$ ,单位:  $10^{-7} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

### 4.2 稳定度条件分析

中尺度对流系统发生的必要条件是大气层结的不稳定。K 指数是综合了垂直温度梯度、低层水汽含量和湿层厚度的一个物理量。利用 8 月 1 日 08—20 时 K 指数场和假相当位温场资料,对这次湘黔边境的强对流天气的大气层结稳定度和大气不稳定能量进行分析。1 日 08 时,500 hPa 高空槽前的鄂西南和黔东北地区,K 指数高达 40,湘黔大部分地区 K 指数均大于 34。随着副热带高压东撤和高空槽南压,K 指数大值区随之南压;1 日 20 时,有一 K 指数大于 38 的不稳定舌从贵州东部地区伸到湖南东北部。分析沿 110°E 的假相当位温( $\theta_w$ )场剖面可知,1 日 14 时(图 4),强对流区  $\theta_w$  最低值为 342 K 以下,出现在 550 hPa 层,550 hPa 层以上  $\theta_w$  增大,层结稳定,550 hPa 层以下  $\theta_w$  也增大,850 hPa 层  $\theta_w$  为 353 K,近地层  $\theta_w$  达到

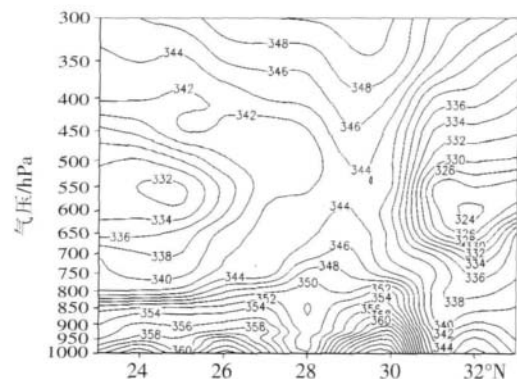


图 4 2006 年 8 月 1 日 14 时沿 110°E 经强对流中心的假相当位温(单位:K)经向剖面图

360 K 以上, 大气中下层处于上干冷、下暖湿的对流不稳定层结, 湘黔边境 850 hPa 与 550 hPa 的  $\theta_{se}$  差值  $\theta_{se(850-550)}$  达到 11 K 以上, 非常有利于该地区强对流发生发展; 1 日 20 时, 这次强对流天气趋于结束,  $\theta_{se}$  垂直分布随之趋于稳定(图略)。

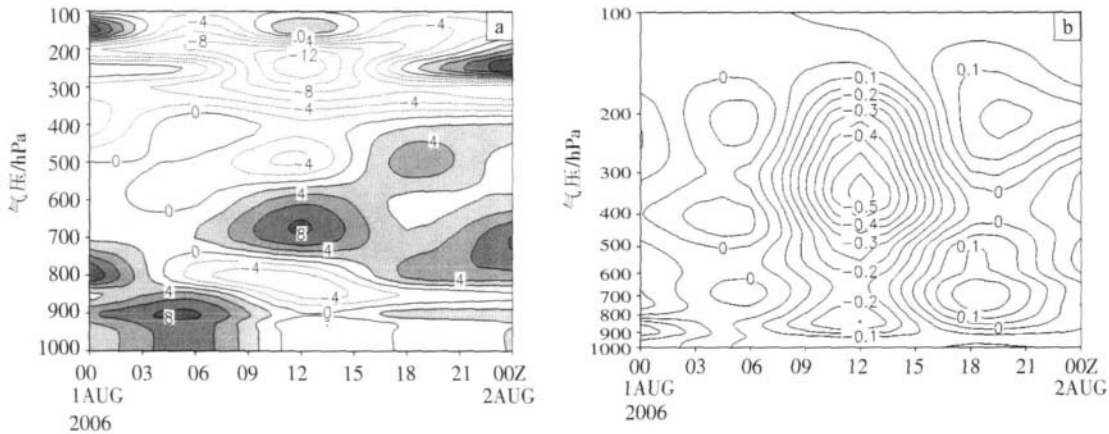


图 5 2006 年 8 月 1 日 08 时至 2 日 08 时强对流区(109°E、28N°)涡度(a)、强对流区(110°E、27N°)垂直速度(b)的时间-高度垂直剖面图

(单位: 涡度为  $10^{-5} s^{-1}$ , 阴影区涡度大于 0; 垂直速度为  $10^{-2} hPa \cdot s^{-1}$ )

从图 5a 中可见, 1 日 08 时, 强对流区上空 500 hPa 层以下为正涡度区, 但辐合不强, 高层也无闭合的辐散中心; 1 日 14 时, 强对流区 900 hPa 层出现强辐合中心, 其涡度值达  $8 \times 10^{-5} s^{-1}$ , 高层 400 hPa 以上的辐散也逐渐加强; 从 14—20 时, 随着爬线的形成、发展和成熟, 低层强辐合向中层发展, 高层辐散进一步增强, 强辐散的向上抽吸作用使低层辐合和对流上升运动加强, 到 20 时, 强辐合中心位于 700 hPa, 低层已转为弱辐散区, 而高层辐散中心强度达到  $-12 \times 10^{-5} s^{-1}$ , 此时爬线已趋于消亡。

从图 5b 中可见, 1 日 08—14 时, 对流层基本上都为下沉气流; 从 14 时开始, 低层开始出现上升气流且迅速上传到中高层, 这段时间也是爬线的发展和成熟时段; 到 1 日 20 时, 垂直上升运动已从低层伸到 200 hPa 以上, 最大上升速度出现在 350 hPa, 其极值小于  $-0.5 \times 10^{-2} hPa \cdot s^{-1}$ ; 随后上升运动迅速减弱, 到 2 日 02 时, 对流层基本被下沉气流所代替, 爬线天气过程随之结束。

## 5 湿度锋锋生的作用

从前面的分析可知, 这次高空槽前型爬线过程是由于副热带高压迅速东撤, 引导高空槽后冷空气南下, 与中低层西南暖湿气流相互作用, 在强湿度梯度(湿度锋)的环境下形成的。为了从锋生理论上揭示这次强对流发生的物理过程, 分析了湿度锋生作用对强对流发生发展的影响。湿度锋生函数为<sup>[9]</sup>:

## 4.3 动力条件分析

为了考察这次湘黔边境强对流天气区上空辐合辐散和垂直速度的时空变化情况, 分别作强对流区(109°E、28N°)涡度(图 5a)、强对流区(110°E、27N°)垂直速度(图 5b)的时间-高度垂直剖面图。

$$F_1 = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{d\theta_{se}}{dt} \right) \quad (1)$$

$$F_2 = - \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial y} \quad (2)$$

$$F_3 = - \frac{\partial \omega}{\partial y} \frac{\partial \theta_{se}}{\partial p} \quad (3)$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4)$$

$F < 0$  表示锋生,  $F > 0$  表示锋消。图 6 给出了 2006 年 8 月 1 日 14 时 700 hPa 相对湿度场以及  $F_2$  场、 $F_3$  场、 $F_2$  与  $F_3$  相加之和所得到的场。

由图 6a 可见, 700 hPa 湿度锋从陕西东南部经鄂西北延伸到贵州西北部, 强对流区位于湿度锋东南侧湿舌内。由于湿度锋南部盛行西南气流, 北部有干冷空气南下, 冷暖气团之间水平  $\theta_{se}$  梯度加大 ( $d\theta_{se}/dt < 0$ ),  $F_1 < 0$ 。为此, 分别计算了  $F_2$ (图 6b)、 $F_3$ (图 6c)以及  $F_2$  与  $F_3$  之和( $F_2 + F_3$ )(图 6d)。由计算结果可知,  $F_2 + F_3 < 0$  区域的分布与湿度锋区的分布基本一致, 即呈东北—西南向分布在强对流区的西北侧。其原因是, 由于强对流发生前因冷空气密度大于暖湿空气密度, 冷区空气下降而暖区空气上升而使  $\partial \omega / \partial y > 0$ , 又由于空气层结为对流不稳定 ( $\partial \theta_{se} / \partial p > 0$ ),  $F_3 < 0$ , 以及在湿度锋区上有切变线活动造成辐合 ( $\partial v / \partial y < 0$ ), 湿度锋南侧的西南气流加强, 北部干冷空气南下使这种辐合加强, 加上 y 轴与  $\theta_{se}$  梯度方向重合 ( $\partial \theta_{se} / \partial y < 0$ ),  $F_2 < 0$ 。由式(4)可知,  $F < 0$ 。综上所述, 在强对流发生前, 强对流区暖湿空气上升运动强烈, 中低层辐合明显, 存在较强的湿度锋生作用。

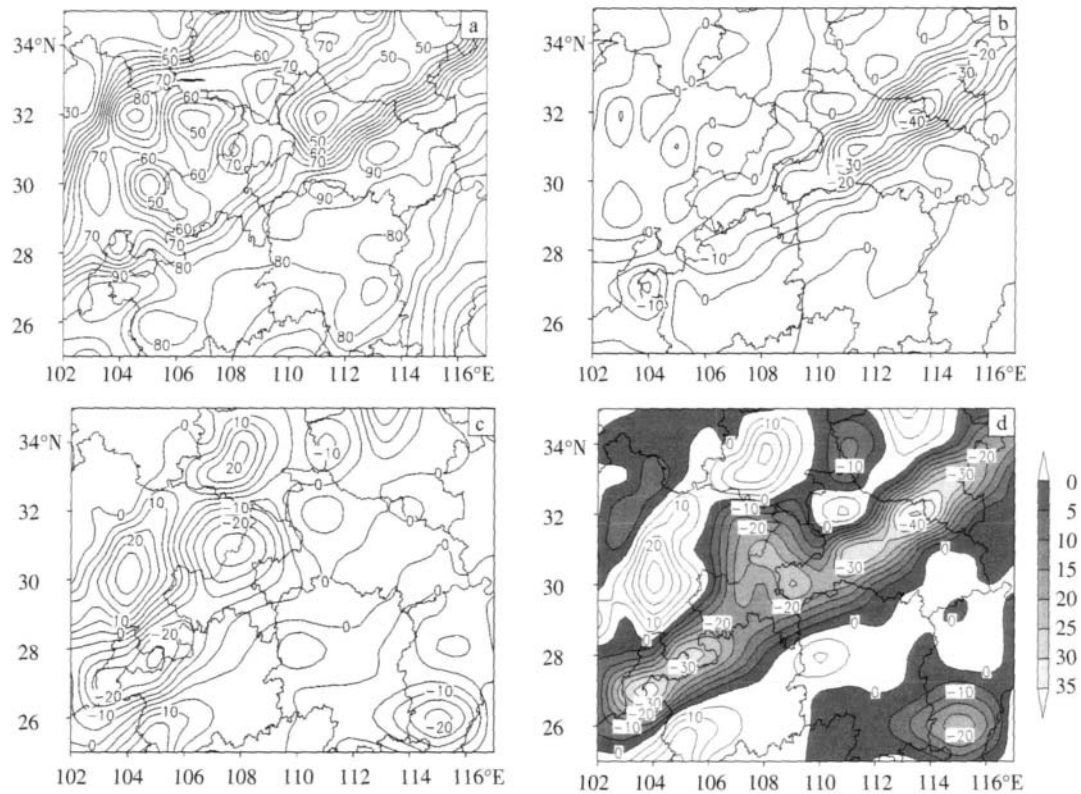


图 6 2006 年 8 月 1 日 14 时 700 hPa 的相对湿度场(a),  $F_2$  场(b),  $F_3$  场(c),  $F_2$  与  $F_3$  相加场(d)  
(单位: 相对湿度为%;  $F_2, F_3$  为  $10^{-10} \text{ k} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ )

### 6 结论

本文综合多种观测资料, 从环流背景、中尺度对流系统、有关物理量场、湿度锋生等方面, 分析了 2006 年 8 月 1 日发生在湘黔边境的一次高空槽前型飢线天气过程的形成原因, 得出以下几点结论:

(1)这次飢线过程是在比较有利的天气背景条件下发生的, 500hPa 的高空槽、副热带高压、对流层中低层的切变线是主要的天气尺度影响系统。强对流发生前和发生时, 大气层结不稳定、副热带高压迅速东退、强湿度梯度存在对其后续发展十分有利。

(2)从卫星云图分析得知, 这是一次断线发展型飢线过程, 它是由于低层辐合带(切变线)的组织而不断生成小的对流单位并形成带状云带向前移动, 从而形成飢线。

(3)强对流发生前和发生时良好的水汽输送和水汽辐合有利于飢线的形成和发展, 高层强辐散与低层强辐合的耦合形势以及强上升运动为强对流的发生发展提供了有利的动力背景。

(4)强对流发生前, 强湿度梯度的存在以及其南北两侧冷暖空气的辐合, 造成强对流区较强的湿度锋锋

生, 对强对流的发生具有至关重要的作用。

### 参考文献:

- [1] 成章纲, 毛以伟, 付晓辉, 等. 对宜昌市 '98.4.23' 强对流天气的诊断分析[J]. 湖北气象, 2000(1): 14- 16.
- [2] 王雷, 赵海林, 张简廉. 2004 年 7 月两次强对流天气过程的对比分析[J]. 气象, 2005, 31(11): 65- 69.
- [3] 刘贵萍. 贵阳一次强对流降水过程的诊断分析[J]. 气象, 2005, 31(2): 55- 58.
- [4] 龙利民, 陈亮, 江航东, 等. 副热带高压外围西北侧一次强对流天气的雷达回波特征[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(1): 68- 72.
- [5] 张芳华, 张涛, 周庆亮, 等. 2004 年 7 月 12 日上海飢线天气过程分析[J]. 气象, 2005, 31(5): 47- 51.
- [6] 孙士型, 陈少平, 于大峰, 等. 一次飢线过程的卫星云图和雷达回波特征[J]. 湖北气象, 2004(1): 12- 14.
- [7] 马禹, 王旭, 陶祖钰. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征[J]. 自然科学进展, 1997, 7(6): 701- 706.
- [8] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法(第三版)[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 411- 413.
- [9] 李世刚, 梁涛, 彭盼盼, 等. '07.5' 湖北大暴雨的中尺度及降水成因分析[J]. 暴雨灾害, 2007, 26(3): 230- 235.

(下转第 257 页)

化特征[J].湖北气象,1999(3):11- 14.

[7] 王学良,王海军,李卫红.近 45 年湖北省雷电日数的时空变化特征分

[6] 潘晓华,翟盘茂.气温极端值的选取与分析[J].气象,2002,28(10):28- 31.

析[J].暴雨灾害,2007,26(1):83- 87.

## Analysis on the Change Characteristics of Precipitation in the Latest 56 Years in Wuhan

ZHANG Yi- lin<sup>1</sup>, QIN Jun<sup>1</sup>, CHEN Zheng- hong<sup>2</sup>

(1.China University of Geosciences, Wuhan 430074; 2.Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the data of daily rainfall from 1951 to 2006 in Wuhan, several methods such as linear tendency, cumulative distance, analysis of little wave and Moving- T- Test (MTT) are adopted to analyze the rainfall climate change. The results show: (1) in the latest 56 years in Wuhan, the rainfall and rain intensity are increasing and the number of raining day is decreasing; (2) except the spring, the rainfall in the flood season, and hot- drought season is increasing; the number of raining day is decreasing in spring, autumn and the flood season and increasing in the other spells; the rain intensity is decreasing in summer especially the hot- drought season; (3) there are increasing trend of the rainfall and the number of raining day both in the flood season and the total year with a obvious period of ten years; (4) there is a abrupt increasing change for the number of heavy rain day near 1979 with the less number of heavy rain day in 1960s and 1970s and more in 1980s and 2000s; (5) all indexes of the extreme precipitation including the yearly maximum rainfall, 5% value of daily rainfall, the number of raining day and the average rain intensity show a little decreasing tendency, but the average intensity of the torrential rain (daily rainfall 100 mm) is decreasing obviously.

Key words: Rainfall; Climate changes; Tendency; Extremes; Abrupt change

(上接第 241 页)

## Analysis on the Forming Reason of A Squall Line Weather in Front of the Upper- Level Westerly Trough

CHEN Hong- zhuan<sup>1,2</sup>, ZENG Zhi- ming<sup>2</sup>, YANG Su- zhen<sup>3</sup>, SONG Ming<sup>3</sup>

(1.Department of Atmospheric Sciences ,Nanjing University, Nanjing 210093;

2.Huaihua Meteorological bureau of Hunan Province, Huaihua 418000;

3.Yuanling Meteorological bureau of Hunan Province, Yuanling 419600)

Abstract: The forming reason of a severe convective weather which took place in the frontier of Hunan province and Guizhou province was analyzed based on the observation data and reanalysis data. It showed that this was a typical squall line event in front of the upper- level westerly trough. The rapid eastward countermarch of Western Pacific Subtropical High, the strong humidity gradient and the strong moisture front- generating created by convergence of cold and warm air triggered the strong convection weather. The instability of atmospheric stratification before and during the occurrence of severe convection weather, good water vapor transfer and convergence condition were extremely advantageous to the development of the severe convective weather. The coupling between strong divergence in the high level and strong convergence in the low level and the existence of strong ascending movement provided the favorable dynamic conditions for the occurrence of the severe convective weather.

Key words: Squall line; Upper- level westerly trough; Humidity gradient; Instability of air layer