

## 2005年3月22日华南飚线的综合分析

罗建英<sup>1</sup> 廖胜石<sup>2</sup> 梁岱云<sup>2</sup> 马 艺<sup>2</sup> 寿绍文<sup>3</sup>

(1. 广西区气象台, 南宁 530022; 2. 广西南宁市气象局; 3. 南京信息工程大学大气科学系)

**提 要:** 2005年3月22日华南地区发生了一次飚线天气过程。利用常规观测、雷达回波、自动气象站资料及NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的逐6小时资料,从天气形势、雷达回波、物理量场等多角度综合诊断分析了该飚线过程。结果表明:该过程具有低层增温、增湿,中高层降温、低湿的特征。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700hPa低空急流的爆发及低层急流核向东传输对不稳定能量的突然释放有很大的触发作用。飚线系统在低空增温、增湿与对流层中层干侵入的相互作用下形成,产生大范围的雷雨大风、冰雹等强对流天气。

**关键词:** 飚线 雷达回波 不稳定能量 低空急流

## Analysis of a Squall Line in South China on 22 March 2005

Luo Jianying<sup>1</sup> Liao Shengshi<sup>2</sup> Liang Daiyun<sup>2</sup> Ma Yi<sup>2</sup> Shou Shaowen<sup>3</sup>

(1. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022;

2. Nanning Meteorological Office; 3. Department of Atmospheric Sciences, NUIST)

**Abstract:** Based on the observational data, radar echo, auto meteorological station data and NCEP reanalysis data of  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$  with 6h interval, a squall line weather event on March 22, 2005 is conducted. The weather background, radar echoes, physics fields are diagnosed. The results show that the squall line occurred in the instable region. The outbreak of low level jet (LLJ) at 700hPa level and the core of the LLJ moving eastward quickly are the trigger of the squall line which is formed by the interaction of dry intrusion from mid-tropo-

资助项目: 桂科攻 0632006-1D《广西突发性气象、地震灾害发生发展机理及预警技术研究》和《广西区域降水精细客观预报系统》项目资助

收稿日期: 2005年12月28日; 修定稿日期: 2006年7月21日

sphere with the strong instability of low level.

**Key Words:** squall line radar echo instability energy Low Level Jet (LLJ)

## 引 言

飊线是能产生强烈天气的中小尺度天气系统,它具有历时短、天气变化剧烈和破坏性强的特点,常常带来灾害性的大风和局地暴雨及冰雹等强对流天气<sup>[1]</sup>。它的激发机制和所导致的强对流天气特征一直是强对流天气预报研究的重要问题,也是雷暴研究的一个热点。已有的研究表明<sup>[2-4]</sup>,每年 3—5 月我国大陆地区一方面不断有冷空气自北向南侵入,一方面西南暖湿气流开始活跃,锋区活动及低空急流为强对流天气发生发展提供了热力和动力条件。本文分析了一次华南地区春季的飊线天气过程,从天气形势、雷达回波、物理量场等多角度综合诊断了该飊线过程,目的在于探讨华南飊线天气的成因,并以此为基础改进对飊线引起的强对流天气的预报能力。

## 1 过程概况与环流背景

2005 年 3 月 22 日 7 时(北京时,下同)起,一条北自粤北地区,南至桂东南地区,呈南北走向、长达三百多公里的飊线自西向东影响华南地区。广西陆川、容县、岑溪和广东韶关、清远、广州等 14 个地市先后出现 8 级以上雷雨大风、冰雹等强对流天气。其中,广西容县 7 时 42—47 分之间出现阵风  $37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,广东梅州阴那山站测得最大阵风  $45.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,广州市测得直径 8mm 冰雹,是时隔 20 年后再次测得的冰雹。

这次飊线发生的大尺度环流背景是,2005 年 3 月 20 日 20 时,欧亚地区 500hPa

维持两槽一脊形势。从巴尔克什湖到我国新疆地区为高压脊,鄂霍兹克海到我国东北地区为低压槽,槽后西北气流引导冷空气东移南下;700hPa 南支西风槽东移,850hPa 切变线位于上海、长沙和桂林之间,切变线东段为冷式切变,西段为暖式切变;925hPa 广西东部到广东北部为暖式切变;贝加尔湖以西有 1036hPa 的冷高压中心,高压前部有一条东北西南向冷锋。21 日 20 时,冷锋东南移,锋后高压中心分裂出 1020hPa 小高压快速南下,促成江淮气旋产生,并推动位于贵州至江西一带的静止锋变为冷锋南移。两广地区出现明显增温减压,其中广西西北部有中尺度暖低压发展。地面流场上,湖北南部出现一条呈倒“s”型的偏北和偏南气流辐合线。

## 2 飊线天气过程中雷达、自动站资料分析

飊线典型的生命期约 6~12h,是非锋面的或狭窄的活跃雷暴带,镶嵌在飊线中的强雷暴常常引起局地地面风向突变,风速骤增,气压跃升,温度剧降<sup>[5]</sup>。这次飊线过境前后,从 22 日 02 时至 20 时广东和广西共有 30 个气象观测站观测到大风、冰雹。气象要素变化十分剧烈,反映了该过程是一次典型的飊线过程。

①带状大风区:在 22 日 08 时、14 时、20 时地面天气图上,从容县到清远为带状大风区,风向西南,平均风速  $8\sim 14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,瞬时阵风风速  $17\sim 37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各观测站均观测到风向由偏东风转为偏北风,平均风速猛增到  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上。②温度剧降:飊线影响观测站前大约在 20 分钟左右,均

有明显温度剧降, 广西岑溪站 08:00 时温度为  $22.3^{\circ}\text{C}$ , 08:14 气温为  $17.0^{\circ}\text{C}$ , 14 分钟内气温下降了  $5.3^{\circ}\text{C}$ 。广东清远气温下降  $6.8^{\circ}\text{C}$ 。③强烈变压区: 飑线所经地区出现强烈的 3h 变压, 气压增幅为  $3\sim 6\text{hPa}$ 。飑线最先影响广西东南部, 其中 7:42 至 7:47, 飑线过境的 5 分钟内, 广西容县气压猛升  $2.8\text{hPa}$ ; 到 16:00 左右, 广东清远自动站气压曲线呈现“气压鼻”现象, 即出现气压涌升之后又急剧下降(图 1)。随后受飑线影响的县市也出现气压的涌升。

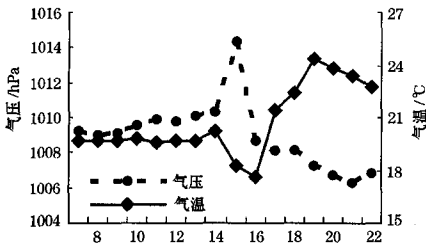


图 1 2005 年 3 月 22 日 7—22 时广东清远自动站气压和气温变化曲线

图 2 (见彩页) 为 2005 年 3 月 22 日广西南宁 714SD 雷达组合图。从 3 月 22 日 5:56 起, 在南宁雷达站下游 60km 附近有一条强度大约  $40\text{dBz}$  的回波, 回波带上嵌有强度达  $60\text{dBz}$  的单体回波, 回波带以东移为主; 6:20 在测站以南地区不断有对流单体新生发展加强, 强回波移动速度缓慢; 6:53 (图 2a, 见彩页) 达  $60\text{dBz}$  回波单体连成一线往东快速移动加强, 这时回波带上已经嵌有强度达  $63\text{dBz}$  单体回波。07:18 (图 2b, 见彩页) 回波带在测站东部距离容县不到 60km, 最强回波达到  $68\text{dBz}$ , 同时不断有新的对流单体在雷达观测站的东南方发展并入。对应的 RHI 高显图像 (图略) 显示回波带上的回波单体块体狭窄, 云顶高达 16km, 并有明显悬挂回波, 在其运动前方有砧状云和层状云回波, 并可看到弓形回波

和穹隆, 7:41 (图 2c, 见彩页) 显示原先在带状回波南侧孤立的强回波单体合并为结构紧密的整体, 呈典型的弓形狭长对流回波线, 其前方流出边界可看到钩状回波和无回波穹隆, 这期间广西陆川、容县、岑溪出现雷雨大风, 其中容县出现  $37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  阵风。7:50 (图 2d, 见彩页) 之后回波带线移过容县继续向东移动, 回波带仍然结构密实, 移入广东境内在 12—17 时的 5 个小时内引起清远、河源等 11 市县的大风冰雹等强对流天气。

### 3 高低层温压场的变化特征

22 日 14 时, 在广西东北部到长沙一带存在强的变温梯度, 在  $27^{\circ}\text{N}$  以北冷空气有明显堆积, 沿低空东北气流在  $30\sim 27^{\circ}\text{N}$  之间有一条东北西南向的温度槽, 同时从云南中部经广西西北部有一条暖舌向东伸展, 它与冷空气堆之间形成陡峭的分界面。容县和清远低层处于持续增温的区域中。对应的地面流场上南岭一带为一条东北风和东南风形成的辐合线, 它将南岭以北的偏北气流和南岭以南的偏南气流分隔开。辐合线北侧对应负变温大值区, 南侧则是正变温大值区, 其中心值达到了  $+12^{\circ}\text{C}$  (见图 3a)。在高层 500hPa (见图 3b), 从 22 日 08 时到 14 时两广地区出现 6 小时负变温区, 高层负变温中心为  $-3.5^{\circ}\text{C}$ , 与之相伴的是一个低湿区, 低湿中心比湿仅有  $0.6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。925hPa 的水汽通量演变 (图略) 也反映了从 21 日 20 时开始, 两广地区南部有一近于东西向的水汽通量大值区, 容县、清远一带处于这条水汽输送带以北的干区中。22 日 08 时水汽输送带略向北抬, 在干湿交界处偏于湿一侧出现一条由几个对流云团组成的对流云带。这样的流场及变温场配置与 MCS 外流边界叠加在日照增温共同作用下, 雷暴群得以发展。

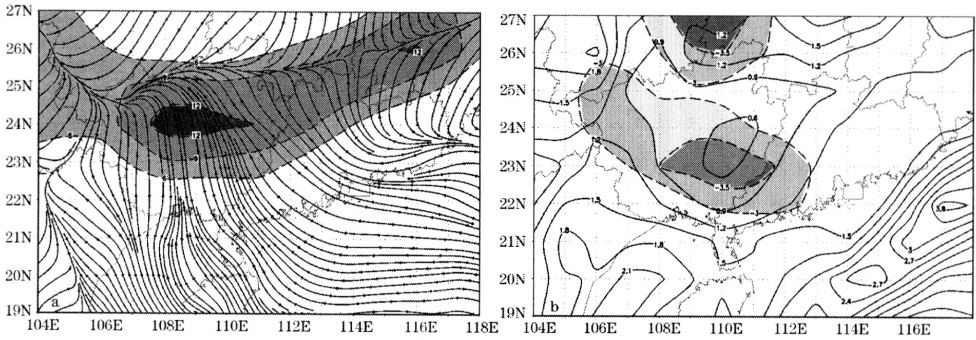


图 3 2005 年 3 月 22 日 8—14 时高低层温压场变化特征

- a. 925hPa 变温场 (阴影区, 单位: °C) 及地面流场辐合线;
- b. 500hPa 变温场 (阴影区, 单位: °C) 和比湿场 (单位:  $g \cdot kg^{-1}$ )

可见这次飊线过程具有低层增温、增湿，中高层降温、低湿的特征，这为飊线南下产生强对流天气提供了热力不稳定条件。

#### 4 能量场诊断分析

飊线形成一般需要有大量的不稳定能量。 $K$  指数分析表明，在这次过程中，沿着西南低空急流在两广地区有一近于东西方向的高能舌。22 日 08 时之前，容县到清远一带  $K$  指数小于  $36^{\circ}C$ ，08—14 时则处于高能大值区，清远  $K$  指数接近  $40^{\circ}C$ ，随后逐渐减小。

大气对流不稳定度  $\theta_{e500-850}$  的负值中心最容易产生雷暴大风。22 日 08 时清远处在  $\theta_{e500-850}$  负值中心边缘，22 日 14 时随着负值中心自西向东移，清远（图 4 中黑三角形处）在负值中心区域，达到  $-16K$ 。雷雨大风天气过后，两广地区的  $\theta_{e500-850}$  的负值减小，大气层界趋于稳定。分析这次过程中 CAPE 沿  $113^{\circ}E$  的经向-时间剖面图（图 5）可以发现，22 日 08 时前，沿  $113^{\circ}E$  从南到北，CAPE 一直都很小，大气比较稳定。到了 14 时，在  $23 \sim 24^{\circ}N$  出现了一个 CAPE 的高值中心，达到  $1100J \cdot kg^{-1}$ ，周围等值

线密集，变化梯度很大，不稳定能量有一个迅速增强，突然爆发的过程，这个时段正好对应飊线从北到南地影响华南地区的时间。分析表明，是由于 22 日 08 时前后， $1000 \sim 850hPa$  上从中南半岛到两广有一支暖平流，14 时，广西西部到广东东部地面到大气低层一致增温，其上空 500hPa 受高空槽后偏北气流带下来的冷空气控制，盛行明显的冷平流，形成上冷、下暖的不稳定层结，使得清远一带出现对流不稳定度增大。对流不稳定度的增大表明，低空暖湿空气区受到高层冷平流冲击，它激发了中尺度对流系统的形成，最终导致强对流天气发生<sup>[5]</sup>。

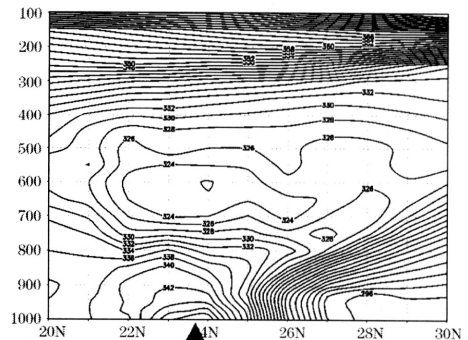


图 4 2005 年 3 月 22 日 14 时  $\theta_e$  沿  $113^{\circ}E$  的垂直剖面图 (单位: K)

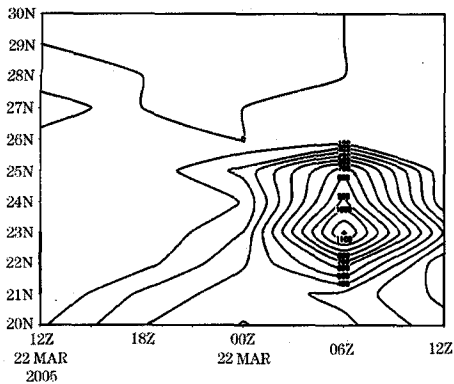


图5 CAPE沿113°E的经向-时间剖面图  
(单位:  $J \cdot kg^{-1}$ )

## 5 触发机制分析

### 5.1 边界层抬升运动

为什么不是所有高能舌遍及的地区均产生了强对流? 通过分析认为层结不稳定与边界层辐合上升运动是在该地区产生飑线天气的原因之一。在22日08时从广西东南部到广东中部低层为弱的辐散区, 高层则是辐合区, 到飑线影响的主要时段14时前后, 形势恰相反, 该地区高层出现辐散中心, 低层925hPa则是辐合中心, 边界层强烈辐合抬升是对流不稳定能量释放的原因之一。

### 5.2 中低空急流的爆发

3月20—22日的48h内925hPa和850hPa高度上华南地区维持着稳定的中尺度的急流带, 急流轴沿中南半岛经云南穿越广西和广东, 轴线附近大风区域比较宽广, 最大风速为 $14 \sim 16 m \cdot s^{-1}$ 。急流核在 $24^{\circ}N$ 附近大约以1经度/6h的速度东移, 尤其值得注意的是, 在22日08—14时925hPa和850hPa层上急流核出现了一次快速向东跳跃前进现象。22日02时700hPa高度上在华南地区的急流风速仅为 $16 \sim 18 m \cdot s^{-1}$ ,

08时(图6a), 急流爆发, 在广西西部的急流核最大风速达到 $23 m \cdot s^{-1}$ 。到22日14时(图6b), 急流核同样快速东移到广东北部, 中心最大风速为 $24 m \cdot s^{-1}$ 。在22日02—14时期间, 925~700hPa各高度层上呈东西走向的低空急流带的风速均明显加大, 大风核位于两广地区。从925hPa、850hPa的华南地区风场变化可以看到, 该地区48h内存在一个急流带, 急流带内有大风速中心的传播。

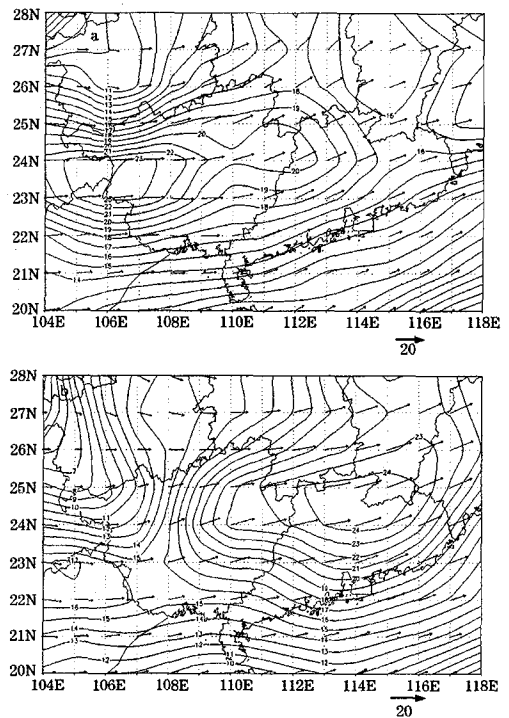


图6 2005年3月22日08时(a)和14时(b)700hPa风矢量和风速图(单位:  $m \cdot s^{-1}$ )

700hPa急流的爆发, 是形成该地区强对流天气的主要动力条件。这种爆发性增加与变压风有关, 可以认为这与华南处于与低纬度地区, 存在明显的非地转风及其突变有密切的关系。如文献[6]所述, 不只在强热力学不稳定和强动力因子都出现时, 才会

有强对流发展, 而且在强热力学条件和弱动力因子的条件下, 或者在相反情况下, 也可以出现强对流。

### 5.3 干侵入的作用

以往的研究指出, 影响对流风暴发展最重要的是中层干空气和强垂直风切变。干侵入是源于对流层高层下沉至低层的高位涡低湿空气, 它在气旋爆发性发展、暴雨增幅、位势不稳定增强、中气旋的发生发展等方面起重要的促进作用, 有利于龙卷、飊线等的形成发展<sup>[7]</sup>。3 月 22 日 08 时的 850hPa、500hPa 的水汽通量计算表明, 在对流层低层 1000~850hPa 高度上, 华南地区有明显水汽辐合区, 而中空 500hPa 为水汽辐散, 表明有中空干空气侵入华南地区。由干位涡和假相当位温的垂直分布图 (图 7) 可见, 高层大气存在明显的 PV 大值, 22 日 14 时在 113°E 垂直方向上出现了由高层向下的干侵入, 它从对流层顶附近向东传, 在 113°E 上空附近垂直向下传至边界层, 这使得 PV 的垂直递减率增大, 假相当位温在对流层中层一直维持一个低值区, 仅为 325K, 垂直变化率也很大, 增加了不稳定的程度, 促进

了飊线附近的活跃对流区产生, 飊线加强, 导致了 14—20 时广东中部强对流天气的产生。

## 6 结 论

(1) 这次飊线天气过程发生在欧亚中高纬地区两槽一脊的经向环流形势下, 西风槽、低空急流和地面冷锋是天气尺度的主要影响系统。该过程具有低层增温、增湿, 中高层降温、低湿的特征。

(2) 飊线发生在快速东移的高空槽前不稳定区域。700hPa 低空急流的爆发及低层急流核向东传输对不稳定能量的突然释放有很大的触发作用。

(3) 飊线系统在低空斜压区和对流层中层干侵入的相互作用下形成。弱动力条件、强热力条件是此次飊线强对流天气的可能原因。

**致谢:** 本文物理量计算得到刘还珠研究员热情帮助, 在此表示感谢。

### 参考文献

- 1 寿绍文, 励申申, 姚秀萍. 中尺度气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2003: 195-203.
- 2 张芳华, 张涛, 周庆亮等. 2004 年 7 月 12 日上海飊线天气过程分析 [J]. 气象, 2005, 31 (5): 47-51.
- 3 谢梦莉, 黄京平, 俞炳. 一次罕见的飊线天气过程分析 [J]. 气象, 2002, 28 (7): 51-54.
- 4 王军, 孙玉巧. 豫北一次飊线天气过程分析 [J]. 气象, 2002, 28 (11): 37-41.
- 5 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2000: 406-411.
- 6 MADDOX R A, DOS. WELL C A. An examination of jet stream configurations, 500mb vorticity advection and low-level thermal advection patterns during extended periods of intense convection [J]. Mon. Wea. Rev., 1985, 110: 184-197.
- 7 于玉斌, 姚秀萍. 干侵入的研究及其应用进展 [J]. 气象学报, 2003, 61 (6): 769-778.

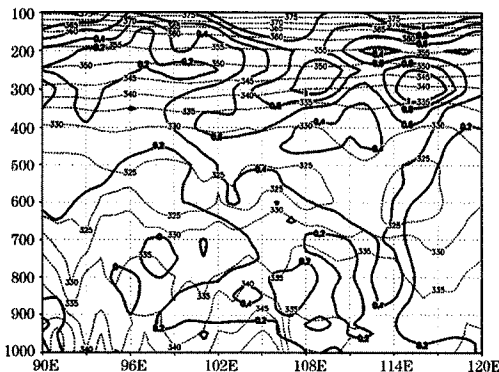


图 7 2005 年 3 月 22 日 14 时沿 23°N 的干位涡 PV (实线, 单位: PVU, 1PVU =  $10^{-6} \text{ m}^{-2} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 和假相当位温线 (点线, 单位: K) 垂直剖面