

一次强对流天气过程的成因分析

夏丽花¹ 冯晋勤² 黄美金¹ 陈德花³

(1. 福建省气象台, 福州 350001; 2. 福建省龙岩地区气象台; 3. 福建省厦门市气象台)

提 要: 利用常规气象资料和多普勒雷达资料, 从天气形势、物理量场和雷达回波演变特征分析 2005 年 5 月 5 日福建省强对流天气过程的成因。结果表明: 这次强对流天气过程发生在锋前暖区内, 高空弱冷空气的侵入对不稳定能量释放起触发作用, 高低空急流的相互配置为强对流的发生提供了有利的动力抬升条件, 大气的不稳定和良好的水汽输送条件有利于飑线的形成和发展, 移入型的回波在福建境内发展加强形成飑线, 飑线是此次强对流天气过程的直接影响系统。

关键词: 飑线 急流 弱冷空气 多普勒雷达

Cause Analysis of a Strong Convective Weather Process

Xia Lihua¹ Feng Jinqin² Huang Meijin¹ Chen Dehua³

(1. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou, 350001; 2. Longyan Meteorological Office;
3. Xiamen Meteorological Office)

Abstract: Based on the conventional observations and Doppler radar data, a strong convective weather process occurring over Fujian on 4—5 May 2005 is analyzed. The process happened over the prefrontal warm sector. It showed that the release of unstable energy was triggered by the invasion of weak cold air. Strong updrafts produced by the coupled high- and low-level jets were favorable for occurrence of the severe weather. Strong water vapor transport and atmospheric instability contributed to the formation and development of three squall lines, which were the weather systems directly causing the severe weather. The analyses of radar data indicated that three echoes grew into the squall lines in turn after they moved into Fujian Province.

Key Words: squall line jet weak cold air doppler radar

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，这些中小尺度系统有雷暴群、飏线等，常带来灾害性的大风和局地暴雨，有时还伴有冰雹和龙卷风，是一种具有短时巨大破坏力的天气，常给国民经济和人民财产造成严重的损失。对强对流天气的分析研究，广大气象工作者已经做了不少研究^[1-3]，近年来，强对流天气也越来越被重视，各地日常天气预报服务也开展了短时（临近）预报。

2005年5月5日福建省出现了一次大范围的强对流天气过程，5日10时23分（北京时，下同）政和出现了 $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的雷雨大风天气，其后雷雨大风范围逐渐扩大普及全省，到18时，全省有26个县市出现8级以上短时雷雨大风，其中福州市最强达到 $37.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ （12级以上）。5月5日08时—6日08时，福建省普降中到大雨，全省共有13县市出现暴雨，其中建宁、泰宁达到大暴雨（分别为146.6mm和116.7mm）。

这次强对流天气过程造成的强风、暴雨，其范围之广，强度之剧烈，持续时间之长，所造成的损失之大，是近年来所少见的。本文利用常规气象资料和多普勒雷达资料，从天气形势、物理量场和雷达回波演变特征分析研究对这次强对流天气过程的成因，将为短时（临近）预报服务提供一些参考依据。

1 环流背景和主要影响系统分析

1.1 环流形势特征分析

在强对流产生前，500hPa中高纬地区为一个西北—东南向的低压带，中低纬地区

多短波槽活动，位于贝加尔湖附近的低涡槽在东移过程中逐渐加深，5日08时在 110°E 附近与中低纬度地区的短波槽叠加，槽加深（图略）。与此对应，850hPa低涡切变在承德—河口—徐州—武昌—怀化—墨江一线，强对流出现在西风槽前及低层切变线南侧深厚的西南气流中。5日08时地面锋面倒槽位于南京—汉口—贵阳一线，福建省处于地面倒槽南侧暖区内，10时23分到18时22分福建省出现大范围的强风天气。5日20时，锋面南压到上海—南昌—贵阳一线，这次强对流天气过程发生于锋前暖区内。

1.2 具有明显飏线过境时的特征

飏线是一种带（线）状的中尺度对流系统，是非锋面的或狭窄的活跃雷暴带，镶嵌在飏线中的强雷暴常常引起的局地暴雨、大风等强对流天气。从测站的地面气象要素观测可见，5日10时23分—18时22分福建省各地先后出现了飏线过境时气象要素发生剧烈变化的特征，出现气温急降、气压陡升、湿度剧增、狂风大作等剧烈的天气现象。15时37分福州市出现乌云压顶，15时39分一分钟内风速从 $17.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 剧增到 $37.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，大风持续时间4分钟，风向顺转，大雨倾盆（但是由于飏线移动速度快，强降水持续时间不长，约5分钟），从自记曲线可见，气象要素出现了明显的不连续性，一分钟内，气压陡升，气压差达2.8hPa，气温剧降 9.4°C ，相对湿度急升从

表1 飏线过境时气象要素的变化情况

要素变化	气温/ $^{\circ}\text{C}$	气压/hPa	1小时雨量/mm
武平	降8.9	升3.0	10.6
上杭	降8.9	升4.2	12.1
龙岩	降8.5	升3.7	7.0
连城	降7.8	升3.3	13.0
福州	降9.4	升2.8	8.1

58%上升到99%，是一次典型的飑线天气过程。表1为几个台站飑线过境时气象要素的变化，由此可见，飑线过境时测站气温下降7.8~9.4℃，气压上升2.8~4.2hPa。

2 物理量场分析

2.1 水汽条件分析

高空西风槽前及低层切变线南侧深厚的西南气流向强对流区源源不断地输送水汽和能量，在强对流出现前，福建省上空维持一条强水汽输送带。从比湿场分析可见，850hPa上5日08时从南海北部到福建省有一条西南—东北走向的高比湿带（图略）；水汽通量分析表明，4日20时—5日20时福建省上空为一条东北西南走向的高水汽通量带。

2.2 稳定度条件分析

2.2.1 对流不稳定层结

K 指数是综合垂直温度梯度、低层水汽含量和湿层厚度的一个气团属性量^[4]。分析表明，强对流出现前，华南大部 K 指数均大于等于 35°C ，5日08时有一条大于 35°C 的不稳定舌从南海北部伸到福建西南部（图略）。假相当位温分析也表明，4日08时500hPa与850hPa假相当位温差值 ($\Delta\theta_{se}$) 华南低于 -8°C ，5日08时一条低于 -12°C 不稳定舌控制福建上空，最大中心达 -16°C ，福建为强的对流不稳定层结。

2.2.2 弱冷空气的侵入

在强对流出现前期中低层明显增温增湿，5月5日08时福建省境内850hPa温度露点差 ($T-T_d$) 维持在 2.0°C 以下，24小时变温850hPa为正变温 ($0\sim 2^{\circ}\text{C}$)，700hPa正变温 ($2\sim 3^{\circ}\text{C}$)，为强对流天气的发生提供了有利的不稳定能量；而500hPa

江西西部为正变温，福建省为负变温 ($-1\sim -2^{\circ}\text{C}$) 表明有弱冷空气扩散侵入福建省，弱冷空气的侵入加剧了大气层结的不稳定性，从而触发不稳定能量释放，产生强对流天气。

2.3 动力条件分析

2.3.1 高低空急流配置

在此次天气过程中，高低空均存在西南风急流，5日08时急流明显加强，从低层到高层急流轴向北倾斜；850hPa在广西南部、南海北部和福建西北部出现风速达 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南急流中心（图1）；500hPa急流中心位于福建西北部，中心风速达 $30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ；福建处于低层风速辐合区。200hPa急流轴位于长江流域，强对流出现在高空急流东南侧辐散区和低空急流轴附近的风速辐合区，这样高空辐散、低层辐合的配置，形成的次级环流，为这次强对流天气提供了必要的动力条件。

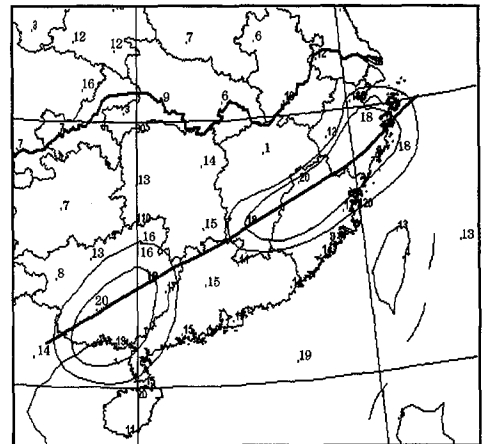


图1 2005年5月5日08时850hPa急流轴线

2.3.2 垂直上升运动

5日08时强垂直上升运动的强中心 ($-8\times 10^{-3}\text{ hPa}\cdot\text{s}^{-1}$) 在广西境内，福建省西北部为弱上升运动区，此后上升运动区范

围逐渐扩大，5日20时福建省全区为上升运动区（图2），上升运动区的走向及位置与西南急流的位置相一致，这为强对流天气提供了必要的动力条件，福建省中午前后起自西向东出现了强对流天气。

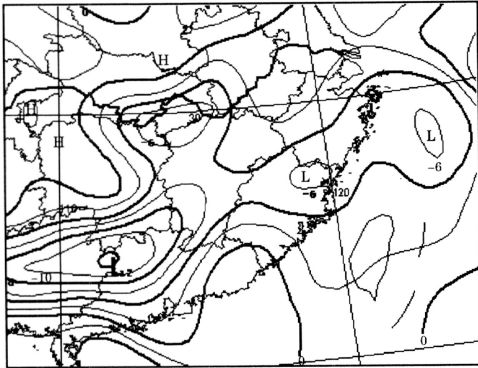


图2 2005年5月5日20时850hPa垂直速度图
(单位： $10^{-3} \text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 雷达回波分析

利用福建省龙岩和长乐的两部多普勒雷达观测资料，分析了2005年5月5日强对流天气过程。分析结果表明，飢线是此次强对流天气过程的直接影响系统，锋前暖区共有3条飢线先后影响福建。

08时20分在长乐测站北面的将乐、测站西北面的武夷山、浦城有块状回波发展，

08时57分将乐回波高达16km，强度53dBz。回波逐渐演变成絮状，向东移略南压，10时21分到达三明地区的明溪、沙县、南平地区的南平、建瓯、松溪、政和、浙江庆元，形成东北—西南向，45dBz以上强回波区长250km、宽20km的飢线（此为第一条飢线）。11时46分回波移到宁德地区及浙江省南部，高10~14km，这条飢线造成福建省北部地区的大暴雨和雷雨大风天气，13时24分移出福建省到达沿海。

5日10时30分在广东和江西交界处块状回波前沿开始加强，向东北偏东方向移动，强回波范围和强度不断加强，形成一带状回波。12时带状回波头部影响武平，出现 $22 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风，12时22分影响上杭，出现 $20.8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的大风。12时开始带状回波前部永定一带有小块强回波发展，逐渐形成带状回波，于13时两块回波合并，带状回波头部也有强回波合并，合并后的回波强区较零散，南北向长度约170km左右（此为第二条飢线）13时前后在连城、新罗出现大风天气，14时14分回波呈线状，后线状回波尾部加强发展，14时24分强回波核出现明显的弓状特征，其中段向前方凸出，两边向后弯曲，逐渐形成一弓状回波，并继续向东北偏东方向移动（此为第二条飢线），14时30分—15时50分是弓状的中部最突

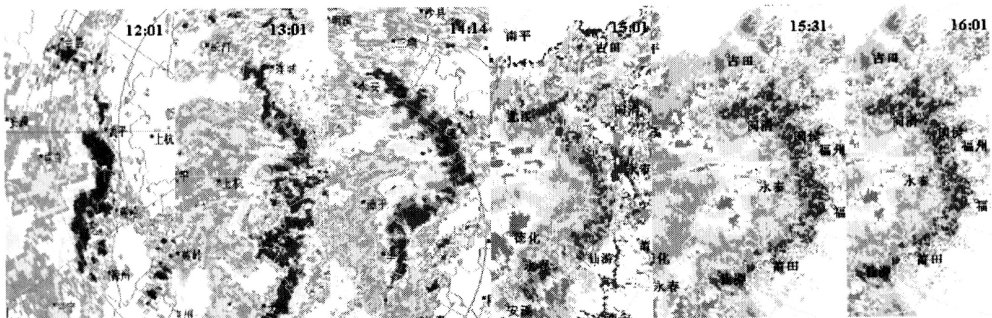


图3 2005年5月5日第二条飢线回波演变的动态图

出也是其强度最强的时段,回波强度达 59~67dBz,此间在弓状突出部位后凹侧产生雷雨大风,15时50分以后,弓状回波尾部逐渐减弱,弓形回波演变为絮状,回波头部则在16时以后减弱。回波顶高在8km以上,强区12~15km,强区的垂直积分液态含水量也在 $35\sim 40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 之间,个别大于 $50\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。受此飚线影响,福建省中北部的大部分县市出现了雷雨大风和强降水天气过程,由于飚线回波移动快,造成的累积降水不大,为短时的强风和雷阵雨为主。

从风暴相对径向速度图可以看出,带状回波前沿有一明显的辐合区,有多个明显的中小尺度涡旋出现,飚线中的回波强区与中气旋位置重叠,且中气旋主要出现在弓状回波突出部位处,即带状回波移速较快的地方。中气旋是与对流风暴的上升气流紧密相联的小尺度涡旋^[5]。雷达探测到了中气旋的结构,风暴中中气旋经历了初生、成熟、消亡三个阶段。影响福州地区的风暴内部的气旋性旋转维持了42分钟,强对流出现前25分钟左右均有中气旋的报警,中气旋于14时55分在风暴低层1.4km处形成,属弱中气旋,垂直厚度1.8km,并向下向上增长,15时19分中气旋处于发展成熟阶段,核区有明显的旋转特征向下发展,底部下降至0.7km到达最低层,垂直厚度3.4km,伸展厚度达到最大值,最大核区直径从5.5km缩小至2.0km,核区内速度切变最大,属中等强度中气旋,15时50分以后,中气旋减弱。在径向速度场上,回波带强度中心与负速度中心($-27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)相伴,15时49分以后弓形回波带内侧为负速度中心,外侧为正速度中心,随着弓状突出部位的强区移速加快,飚线回波带弓形回波的头部强区与 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 正速度中心相伴。

午后广东中部块状回波加强发展,15时32分在进入闽粤交界处时,形成一弓状

回波(此为第三条飚线),影响南靖、平和、云霄。17时以后弓状回波由中部分散开,尾部减弱,头部继续加强向东北方向移动,18时以后减弱。受此飚线影响福建南部的漳州、泉州、厦门三地市出现大雨到暴雨天气。

4 小 结

(1) 此次强对流天气过程是在西风槽前及低层切变线南侧深厚的西南气流中发生的,其直接影响系统是锋前暖区内的三条飚线,强对流发生前,大气的不稳定和良好的水汽输送条件有利于飚线的形成和发展。

(2) 高空弱冷空气的侵入加剧了大气层结的不稳定性,从而触发不稳定能量释放,产生强对流天气。

(3) 高低空急流的相互配置形成的次级环流,为强对流的发生提供了有利的动力抬升条件。

(4) 多普勒雷达回波资料分析表明,飚线是由移入型的回波在福建境内发展加强形成的,强对流天气常常出现在弓状回波突出部位后凹侧;雷达相对径向速度分析表明,中气旋主要出现在弓状回波突出部位处,对强对流天气预报有提前预警能力。

参考文献

- 1 张芳华,张涛,周庆亮等. 2004年7月12日上海飚线天气过程分析[J]. 气象,2005,31(5):47-51.
- 2 王雷,赵海林,张嵩康. 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 陈秋萍,邓志,苏万康. 闽北一次降雹过程的新一代天气雷达回波特征[J]. 气象,2003,29(3):41-45.
- 4 王军,周官辉,杜滨鹤等. 豫北一次飚线天气过程分析[J]. 气象,2002,28(11):37-40.
- 5 新一代天气雷达原理与应用讲义[M]. 北京:中国气象局培训中心,2000:215-223.