

一次强飚线过程的中小尺度特征分析

冯晋勤 童以长 林河富 张深寿 吴荣娟

(福建省龙岩市气象局, 364000)

提 要: 通过常规资料、新一代天气雷达、自动站等资料对2005年3月22日影响福建的一次飚线系统进行分析。分析指出, 该飚线系统是由高空槽前型的上干下湿引起的不稳定强对流天气。对新一代天气雷达资料分析揭示了此次飚线的典型的弓状特征、强的后侧入流槽口以及入流槽口上的弱回波区等中小尺度结构特征是造成灾害性大风的成因。

关键词: 雷达回波 飚线 云状回波 弱回波区

Analysis of Mesoscale and Microscale Structures of a Strong Squall Line

Feng Jinqin Tong Yichang Lin Hefu Zhang Shenshou Wu Rongjuan

(Longyan Meteorological Office, Fujian Province 364000)

Abstract: Based on the routine data and the observations of CINRAD/SA radar and automatic weather stations, a squall line affecting Fujian on May 22, 2005 is analyzed. The squall line is a kind of instable and strong convective weather caused by the air with upper-layer dry and lower-layer wet in front of the upper-troposphere trough. The Mesoscale structure, such as bow echo, strong rear inflow and weak echo region on the inflow entrance etc, with the squall line, caused the disasterous wind.

Key Words: CINRAD/SA squall line mesoscale and microscale structure

资助项目: 福建省科技厅社会发展重点项目“福建省交通气象灾害监测与防御对策体系的研究” (项目编号: 2006Y0033) 资助

收稿日期: 2006年8月18日; 修定稿日期: 2006年10月26日

引 言

雷暴、飚线、雷雨大风、冰雹和龙卷等强对流天气的产生一般都伴有一定的天气系统，但因其尺度小、生命史短，属中小尺度天气系统，预报上有一定的难度。近几年广大气象工作者对强对流天气开展了不少研究^[1-3]，同时，随着新一代天气雷达、自动站等现代化监测手段的建设，为我们分析预报强对流天气提供了更详尽的资料和可靠的分析。

2005 年 3 月 22 日受高空槽东移、低层切变南压及地面锋区南压影响，从下午 14 时至 17 时一南北向的飚线袭击了龙岩、漳州、泉州的部分县市，飚线经过的地方都出现了 6 级以上大风，局部瞬间刮起 10~11 级大风，瞬时最大风速达 13 级以上，此次灾害持续时间虽短，但风力大，突发性强，造成的破坏性极大，特别是农村房屋损坏特别严重。据福建省民政厅统计，截至 3 月 25 日，此次受灾人口达 211 万人，死亡 6 人，因灾受伤 5032 人，造成直接经济损失 11.6 亿元，其中农业损失 5.13 亿元。本文通过常规资料、新一代天气雷达、卫星云图对该飚线系统的天气背景、飚线演变过程及其中小尺度特征进行分析，以增加对此类天气系统的了解。

1 大尺度天气系统

3 月 22 日 08 时，高空 500hPa（图略）有槽东移，福建省处于槽前西南急流区，850hPa 处在切变南侧的西南气流内。地面有冷空气从中路扩散南下，22 日 14 时锋区位于江西与福建交界的武夷山脉一带，福建省基本处于暖区内。从 08 时 500hPa、700hPa、850hPa 三层的温度露点差可以看出，在 850hPa 上飚线发生地处于明显的湿平流区（ $\leq 4^{\circ}\text{C}$ ），而 500hPa（ $16\sim 24^{\circ}\text{C}$ 之

间）和 700hPa（ $4\sim 8^{\circ}\text{C}$ 之间）上则为一干平流区。由此可见，此次飚线过程是由高空槽前型的上干下湿引起的不稳定强对流天气^[4]。

2 中小尺度特征分析

2.1 飚线回波演变过程

此次过程是从 22 日 7 时开始首先影响广西，9 时开始一条南北向长达三百多公里的飚线自西向东影响广东，移速约 $90\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ，造成广东韶关、清远、肇庆、茂名、云浮、佛山、广州、东莞、惠州、梅州、河源等市先后出现 8 级以上雷雨大风、冰雹和强降水。14 时后开始影响福建西南部，影响时飚线南北向长度约 160km，以 $110\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 的速度向东北方向移动，造成上杭、永定、龙岩、漳平、华安、大田、永春、德化、安溪等地先后出现了 8 级以上雷雨大风天气。文中主要分析飚线进入龙岩雷达探测区影响福建省时的回波演变过程，飚线回波带于 3 月 22 日 11 时 30 分左右从广东中部进入龙岩雷达探测区，随后向东北方向发展、移动（图略），于 17 时 30 分后逐渐减弱。

分析广州、梅州雷达回波，飚线移入广东地区后回波强中心达 60dBz 以上，11 时回波移出广州后，回波整体强度有所减弱，12 时进入东莞后强回波加强发展，范围扩大，形成南北向带状回波。向东北移过程中，回波中前部继续加强发展，尾部回波逐渐减弱，回波带于 13 时 20 分在块状回波的中部前沿形成一强带状回波，强中心达 63dBz，风暴相对径向速度图上强区出现了明显的辐合区，低层径向速度值为朝向雷达，后侧入流最大值大于 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，高层基本速度值为离开雷达，出流最大值大于 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随后飚带头部不断有强回波并入，飚线回波的范围扩大，强度不断加强，逐渐形成弓状回波，北端呈气旋式旋转，南

端呈反气旋式旋转,北端的气旋式旋转在加强过程中演变成一个旋转的逗点,南端则基本不变^[6]。14时08分在弓状回波顶部出现了中气旋,14时20分影响梅州时,强中心达69dBz,并造成了梅州出现了8级大风天气,最大瞬时风速达12级。当回波继续东北移,进入广东焦岭、寻乌及上杭兰溪的喇叭口地形时,回波再次加强,形成一强中心60dBz以上的弓状回波,在风暴相对径向速度图中回波前沿的辐合区范围扩大。当影响上杭、永定时,飊带上出现了4个中气旋,上杭14时51分出现了 $19.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,永定14时58分出现了 $23\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风。回波进入龙岩时,回波带弓状特征更加明显,弓状回波中部前沿更加突出,最强中心也集中在弓状回波的中部,强中心达62dBz,15时26分龙岩出现了 $25.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,15时44分影响漳平时出现了 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风,影响华安、南靖出现短时10级以上的阵风,其中华安短时风速达 $36.1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。在回波继续向东北移过程中,受到漳平东部戴云山的阻挡,强度有所减弱,但在移入大田、德化、永春、安溪时,强度再次加强。强回波中心55~60dBz,强区带状的厚度减小,16时35分永春的最大风速超过 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,16时33分安溪的最大风速为 $18\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,16时43分德化最大风速为 $29.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。后回波逐渐减弱,17时30分强带状逐渐消散,18时后东移入海,过程结束。

在这次过程中,从不同仰角上看,回波随高度向前倾斜。垂直剖面图可以看到有弱回波存在。VIL强中心维持在 $30\sim 45\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。回波顶高在9km以上,强中心有11~12km,强回波中心所处的高度基本在6km以上。符合闽中南强对流天气的统计指标^[5]。

2.2 飊带上的小尺度系统分析

在此次过程中,飊线所经之处均出现了

大风天气,最强风出现在弓状回波的顶部,也即回波移动最快的部分。由于飊线移速太快(约 $110\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$),在基本径向速度图中切变区被掩盖,低层辐合、辐散比较不明显,但在飊线后侧可以看出,低层存在大范围的西南急流,径向速度值大于 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从风暴相对径向速度图中,可以看出在飊线发展的初期,飊线头部移速较快、发展明显,在飊线的头部(图1,见彩页)约7km及以下低层为气旋性辐合,10km以上的高度则为辐散。14时后飊线上有后侧入流急流发展,到14时32分飊线上有3个后侧入流槽口(图2,见彩页)发展强盛,所经的梅州、蕉岭遭到重大损失,随后中间入流槽口继续存在,其余逐渐减弱,14时56分后随着飊线进一步发展,弓状回波的中部加强并向前突出,此时回波中部的低层辐合线也进一步发展、范围进一步扩大。Fujita曾指出,与灾害性的下击暴流相伴随,一定存在一个强烈的后侧入流急流^[6],在此得到验证。

中气旋产品是用来显示与3种方位切变类型的探测有关的信息^[6]。因中气旋产品具有一定的误报率,在分析中应将中气旋产品与风暴相对径向速度和基本反射率产品配合。在此次过程中,带状强回波发展成弓状回波时,即进入闽粤交界处到15时20分雷达停机中气旋产品一直有报警。14时08分在弓状回波的顶部首先出现中气旋,即北端呈气旋式旋转的部位,切变值达到 $27\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。此后在弓状回波的头部一直有中气旋或三维相关切变出现。14时20分在梅州强区附近出现中气旋,切变值达 $29\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 。14时32分在弓状回波中后部的两个后侧入流槽口的前沿也出现中气旋。后随着弓状回波的中部加强发展,14时44分弓状回波的中前部出现中气旋。15时08分在弓状回波的中心突出部分出现中气旋。对飊线做剖面,可以看出飊线是由若干个风暴组成,不同的风暴处在不断加强、减弱的

交替阶段,对单个风暴成熟期间做垂直剖面存在明显的弱回波区(图 3,见彩页),后侧入流槽口位于弱回波区之上。在飊线经过龙岩测站时,从径向速度图(图 4,见彩页)分析可以看出,飊线过境时低层有弱暖平流,中高层有弱冷平流。说明中高层有冷空气入侵,与低层的暖湿空气共同作用形成强烈天气。从 VWP 资料看,15 时 26 分低层(1.5~2.4km)为明显的暖平流,在 2km 处风速迅速增加最大值达 $40\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,说明低层有明显的垂直风切变,产生较强的垂直上升运动。16 时 24 分(15:26 到 16:24 雷达停机)到 16 时 37 分,VWP 存在低层随高度顺转(暖平流),高层随高度逆转(冷平流),说明中高层仍有冷空气入侵。

从飊线经过处的地面要素场可以看出,飊线经过前后出现了风向突变、风速剧增、气压骤升、气温陡降等特征,上杭、永定、龙岩、漳平出现了增压,增压幅度约为 3hPa,降温幅度在 $8.7\sim 10.1^{\circ}\text{C}$,其中永定站气温从 14 时 27.6°C 降到 16 时 16.5°C ,降温幅度达 10.1°C ,以上各地均出现 8 级以上大风,影响漳平时出现了 $30\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的大风。由于飊线移速过快,此次过程降水量基本在十几毫米左右。

2.3 中尺度地形对飊线的影响作用

在此次过程中,地形对飊线的加强发展到一定的作用,首先回波在进入闽粤交界处时,沿粤东的九连山和莲花山之间的狭谷向东北移动,回波得以加强发展,当回波移到上杭兰溪、永定河谷一带的喇叭口地形时,气流辐合上升,对流运动加强,导致强对流风暴的出现。

当回波移出龙岩时,受到戴云山脉的阻挡,强度有所减弱,但当回波越过山脉后,由于安溪、永春一带是一马蹄形地势,沿海盛行西南风时,这里低层为定常的东南风,从龙岩越山而来的对流云,在这一带遇到相

向而行的东南气流,迅速形成相对速度加大且有组织化的低层入流而迅猛发展,回波再次加强,使这一带遭受重大损失。

3 结 论

(1) 从天气系统看,此次飊线过程是由高空槽前型的上干下湿引起的不稳定强对流天气。

(2) 在此次过程中,从雷达回波看,飊线的弓状特征明显,低层有明显的辐合和强的后侧入流槽口,弓状回波的前沿配合有中气旋发展。飊线是由若干风暴组合而成的,个别发展旺盛的强风暴存在明显的低层辐合、高层辐散的特点,风暴成熟期间做垂直剖面存在明显的弱回波区。并且飊线所经地均出现了大风天气,最强风出现在弓状回波的顶部,也即回波移动最快的部分,同时由于飊线移速较快,高达 $110\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$,所以造成的短时强降水不大。

(3) 在此次过程中,地形对飊线的加强发展到一定的作用,河谷、喇叭口地形以及有利的马蹄形地势都是造成此次强对流的有利条件。

参考文献

- [1] 夏丽花,冯晋勤,黄美金,等. 一次强对流天气过程的成因分析 [J]. 气象, 2006, 32 (7): 110-114.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 杨国祥. 中小尺度天气学 [M]. 北京: 气象出版社 1983: 76-77.
- [5] 龙岩新一代天气雷达重大科研课题论文集 [G]. 北京: 气象出版社 2004: 21.
- [6] 新一代天气雷达原理与应用讲义 [M]. 中国气象局培训中心, 2004: 177, 214.

冯晋勤等：一次强飊线过程的中小尺度特征分析

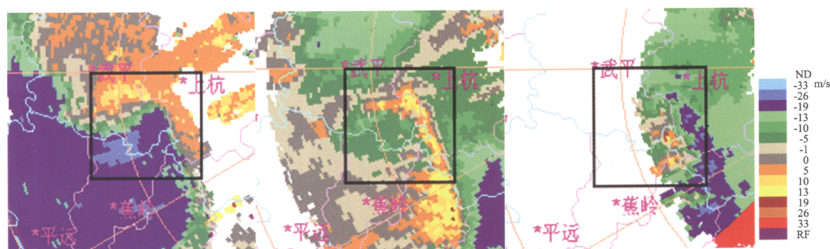


图1 2005年3月22日14时44分风暴相对径向速度图

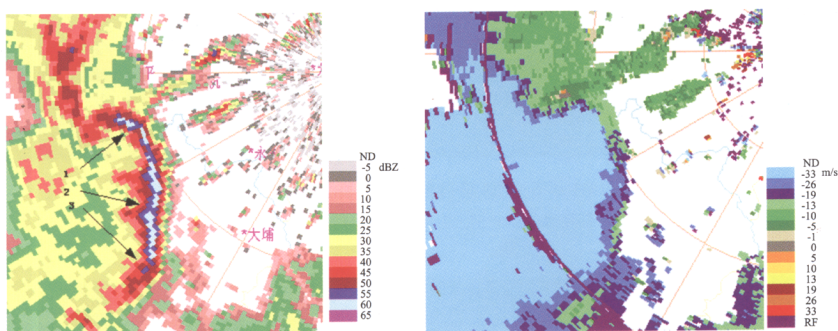


图2 2005年3月22日14时32分0.5°仰角反射率图及径向速度图

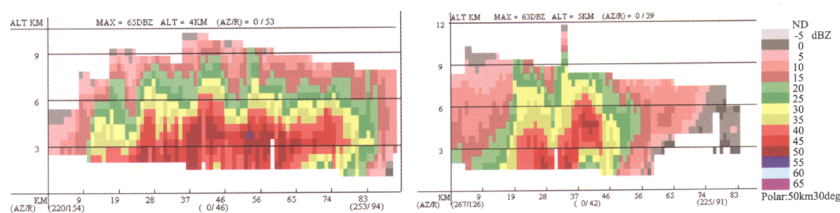


图3 2005年3月22日14时32分飊线整体及单个风暴垂直剖面图

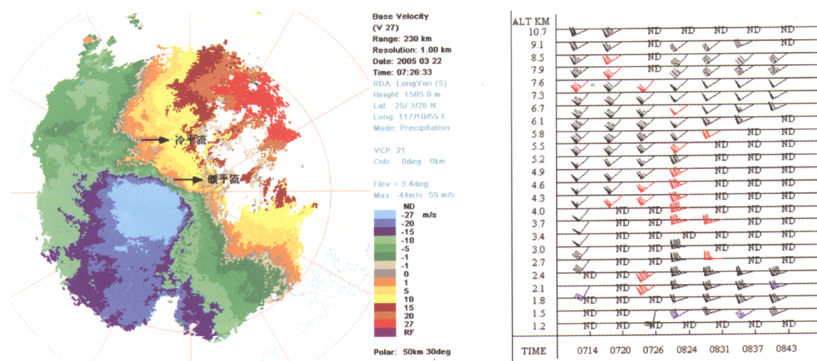


图4 2005年3月22日15时26分3.4°仰角径向速度和风廓线(VWP)图