

文章编号:1673-8411 (2018) 01-0038-08

# 广西一次槽前型暖区飑线的中尺度分析

林确略, 邓雅倩, 陈明璐, 陆秋霖, 苏尉宣

(广西玉林市气象局, 广西 玉林 537000)

**摘要:**利用自动站加密观测资料、常规观测资料、NCEP 资料以及 FY2G、雷达资料,对发生于 2016 年 4 月 22 日的广西暖区飑线过程进行了中尺度分析。结果表明:(1)飑线移动快速( $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ),主要引发湿对流天气(雷暴大风和短时强降雨);飑线过境前气压下降,过境时气温和露点骤降、气压涌升、风向突变、风速陡增,过境后气压再次下降;具有尾流低压、雷暴高压、飑锋和飑前低压等飑中系统特征。(2)此次暖区飑线是在 500hPa 高空槽加深东移的大尺度背景下发生的,飑线 A 初始对流的触发与云贵准静止锋前的地面辐合线密切相关,飑线 B 初始对流则由红河与玉溪间的露点锋及其锋前西南风和东南风的辐合线所触发,对流触发后随高空槽和中层基本气流向东偏南方向移动发展,影响广西。(3)虽然没有冷锋伴随而下,此次暖区飑线依然是在较强的环境下维持,有较强垂直风切变、较高对流有效位能、层结曲线和露点曲线向上形成“喇叭”状配置(上干下湿对流不稳定);地面辐合线、边界层暖切对飑线的发展和维持有重要作用。

**关键词:**暖区;飑线;地面辐合线;云贵准静止锋

**中图分类号:**P49 **文献标识码:**A

## A mesoscale analysis on a warm-sector squall line in front of the trough occurred in Guangxi

Lin Quelue, Deng Yaqian, Chen Minglu, Su Weixuan, Lu Qiulin

(Yulin Meteorological Bureau, Yulin Guangxi 537000)

**Abstract:** By using intensive observation data of automatic station, conventional observation data, NCEP data, FY2G data, and radar data, the warm-sector squall line occurred in Guangxi on April 22, 2016 was analyzed. The results showed as follows: the squall line occurred in the front of high-level trough, areas near low-level jet and warm-sector areas were far away from ground stationary front. (1) The squall line moved at a high speed ( $100\text{ km/h}$ ), which caused wet convection weather (thunderstorm gale and short-term heavy rain). Pressure reduced before the squall line crossed; the temperature and dew point plunged, pressure surged, wind shifted, and wind speed jumped when the squall line passed however, the pressure reduced again after it passed. The squall line showed other characteristics of squall line mesosystem such as wake low, thunderstorm high, squall front, and pre-squall low. (2) The squall line occurred when the 500hPa high-level trough eastward was steepening. The trigger of initial convections of squall-A closely related to surface convergence line ahead of the Yungui quasi-stationary front, while initial convections of squall-B were triggered by dew-point front situated between Yuxi and Honghe, convergence line of southwest, and southeast wind ahead of the front. After that, the convections moved southeastward along with high-level trough and middle-level basic flow then influenced Guangxi. (3) Although moving without cold front, this warm-sector squall line maintained in favorable environment, such as strong vertical wind shear, high CAPE, “trumpet” shape of stratification curve, and dew-point curve composing (convective instability). Additionally, surface convergence line and warm shear on the boundary layer were also important for developing and maintaining of the squall line.

**Keywords:** warm-sector Area; squall line; surface convergence line; Yungui Quasi-Stationary Front

收稿日期:2017-05-20

基金项目:玉林市气象局自立项目(2016[01])和中国气象局预报员专项(CMAYBY2015-057)。

作者简介:林确略(1981-),男,高工,从事天气预报工作,E-mail:L\_QL@163.com。

飇线是多个对流单体侧向排列形成的强烈的线状雷暴群,其水平长度为 150~300km,宽度仅几公里到几十公里,长宽比大于 5:1,时间尺度为 4~18 h,飇线过境常常伴有短时强降水、雷雨大风、冰雹和龙卷等强对流天气,是一种破坏性极强的中尺度天气系统<sup>[1]</sup>。广西出现的飇线多发于春季和夏季,以春末夏初季节(3~5 月)最容易发生。

广西前汛期发生的飇线主要有两种,一种是伴随着冷锋快速南下而出现的飇线,常发生在冷锋附近,如 2016 年 4 月 13 日、2016 年 4 月 17 日等飇线过程<sup>[2]</sup>,通常称为冷锋型飇线;另一种是在锋前较远的暖区里发生的飇线,称为暖区飇线。对于冷锋型飇线或锋面抬升造成的强对流天气,广西气象工作者<sup>[3-10]</sup>进行了大量研究,取得了很多有意义的成果,提高了对飇线或强对流天气的认识。然而,在华南暖区天气背景下发生的飇线,形成发展机制非常复杂,仍有待深入研究<sup>[1]</sup>。对华南西部地区而言,暖区环境有两种,一种是回流暖区,另一种是锋前暖区<sup>[11]</sup>。回流暖区处在变性高压脊的后部,实质上是有变性气团参与的,仍具有斜压性或锋面结构特征<sup>[15]</sup>,并非严格意义上的暖区;而在锋前较远地方一致西南气流的环境下的暖区可能是纯的暖区。广东气象工作者<sup>[12-14]</sup>研究了此类暖区飇线天气,其有一个共同特征,即飇线均是在高空槽前、低层西南暖湿气流背景下发生的,低层暖湿平流强迫是其发生发展的原因之一。2016 年 4 月 22 日在华南就发生了类似的一次暖区飇线天气过程,飇线影响广西和广东时,低层为一致西南暖湿气流,此次过程广西出现了大范围的雷暴大风和暴雨,上下台站均漏报,令预报员出乎意料。因此,有必要对这种暖区飇线过程深入研究。

下面利用常规观测资料、全国自动站加密观测资料、NCEP 再分析资料、雷达资料以及 FY2G 红外云图资料,使用天气学分析方法,对 2016 年“4.22”广西暖区飇线过程进行研究,通过暖区飇线的中尺度特征、影响系统特征的分析,解释其成因,挖掘一些对短期预报有指示意义的信息。

## 1 暖区飇线过程概况

2016 年 4 月 21 日晚至 22 日早晨,广西出现 3 条飇线(图 1,见彩页)。21 日 17 时前后飇线 A 的初始对流生成于桂西北西林-隆林附近、飇线 B 的初始对流生成于云南玉溪-红河附近(图 1a,见彩页),之后向东偏南方向移动;飇线 C 则是在崇左西侧于

22 日凌晨生成向东快速移动(图 1)。21 日 21 时开始飇线 A 和 B 同时影响广西,22 日 2 时飇线 A 处在减弱阶段,而飇线 B 处在成熟阶段,22 日 04:00~08:00 飇线 B 和 C 影响广西和粤西地区(图 1,见彩页),飇线自西向东横扫华南西部,出现了较大范围的雷暴大风和短时强降雨等强对流天气。广西有 46 个国家站、146 个区域站测得  $17.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  以上的大风,34 个国家站监测到雷暴(图 2a,见彩页);飇线过境时普降大雨到暴雨,广西 2472 个自动站中有 249 个站(其中 9 站为国家站)雨量达暴雨,877 个站达大雨,暴雨区呈现南北两条雨带,北部雨带位于阳朔-柳州-百色一带,南部雨带位于防城港-钦州-玉林一带(图 2b,见彩页)。可见此次暖区飇线是一次湿对流型(雷暴大风+强降雨)飇线。这 3 条飇线中以飇线 B 强度最强、影响范围最大、生命史最长,其从桂西北到桂东南一路横扫大半个广西,影响最大。强对流天气主要出现在夜间到早晨(21 日 21 时至 22 日 8 时),影响南宁的时间为 22 日凌晨 1~2 时,影响玉林的时间主要出现在 22 日 3~4 时,飇线 B 以接近  $100\text{km/h}$  的速度快速移动。

飇线 B 生命史之长(达 12h 以上)、引发雷暴大风和短时强降雨的范围之广,值得关注,下面主要研究该飇线系统。

## 2 环流形势及影响系统分析

### 2.1 高空形势及影响系统

从常规观测资料分析,21 日 20 时至 22 日 8 时,广西处在 200hPa(图略)高空槽前散开状气流中,而 21 日 20 时对流云团位于云南东南部和桂西北时(图 3a),中层 500hPa 和 700hPa 有高原槽位于云贵交界附近,对流云团在高空槽区和槽前,之后高空槽逐渐向南发展加深东移(图 3b),对流云团随之发展东移。

由于常规高空观测资料的时间只有 08 时和 20 时,时间间隔过大,空间分辨率太小,许多中尺度系统不容易被发现。因此这里采用更高分辨率的 NCEP 最终分析资料作为辅助研究。下面分析 925hPa、850hPa(图 4)影响系统的演变。飇线发生前后,云贵交界附近存在西北-东南向的辐合线(与云贵静止锋或辐合线对应),与黔桂交界处附近的低涡切变线(与南岭静止锋对应)相连。21 日 14:00(图 4a)925hPa 切变线以南(暖区)有两支气流(来源于孟加拉湾的西南风与南海的东南风)汇合于云南东

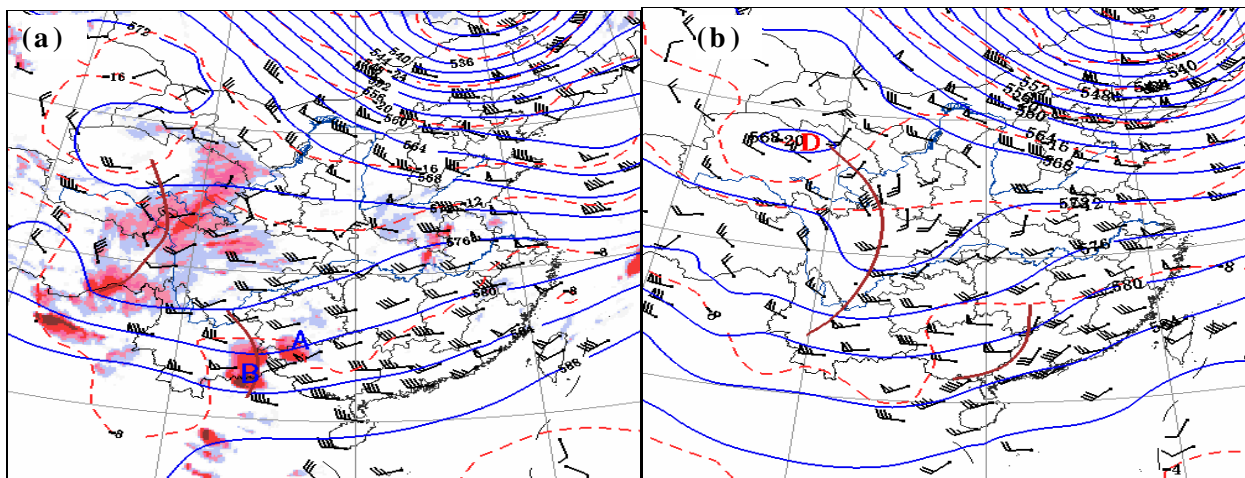


图3 2016年4月21日20时(a)、22日8时(b)500hPa天气图  
(a 叠加同时次的红外云图,蓝等值线为位势高度场,红虚线为温度场)

南部,辐合线附近有零散对流生成;到20时850hPa(图略)暖区仍为一致西南气流,但925hPa(图4b)云南东南部-百色-南宁一带风场出现了南风与东风的暖式切变,切变以南防城港、钦州一带偏南风增大到  $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,这时飊线B对流云团(图3a)已东移至云南东南部地区;到22日02时(图4c),北面的低涡切变线稍有南压,而暖区里低层西南风继续加大、850hPa达急流(图4d),急流的西侧925hPa(图4c)

百色南部至南宁一带暖切依然维持;此时,飊锋B刚经过了南宁站,到达横县至钦州一带,飊线位于低空西南急流轴附近;到22日08时(图略),北侧的低涡切变线南移至百色-桂林站附近,而这时高空实测资料(图略)显示,925hPa梧州和北海站转为西北风,存在切变线位于信宜-湛江一带(对应22日8:00飊线C位于信宜-湛江一带),表明飊锋附近具有明显的风向风速的切变。

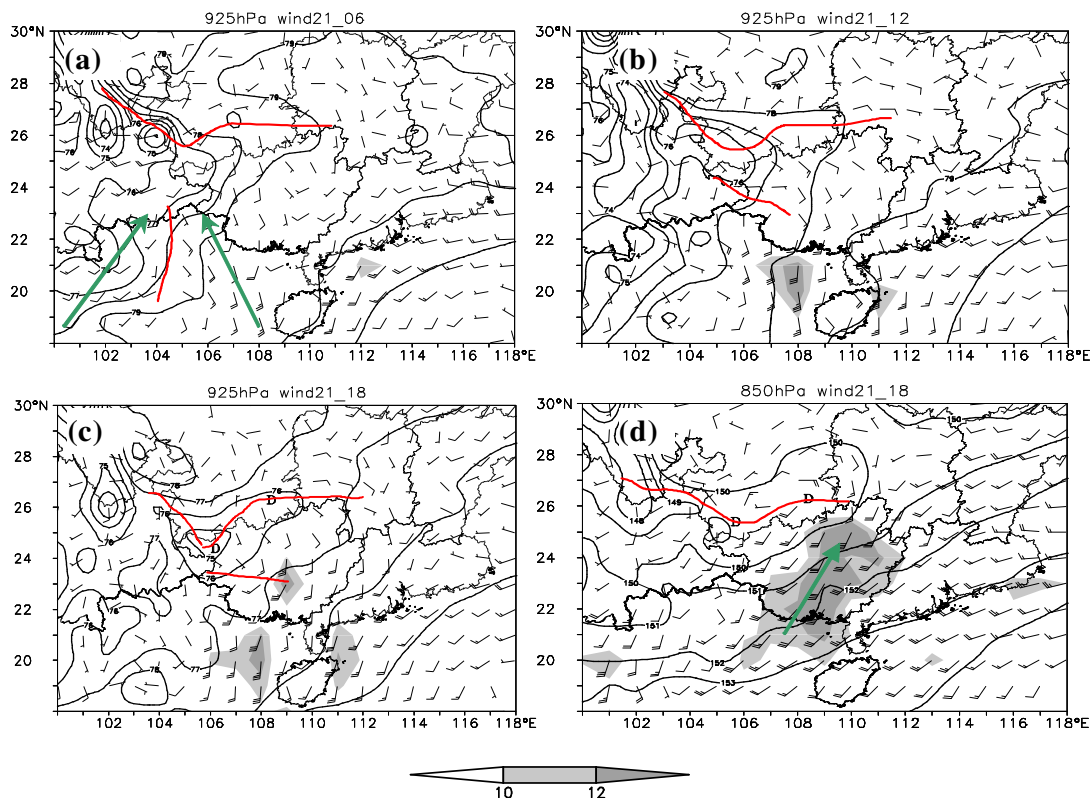


图4 2016年4月21日14时(a)、20时(b)、22日2时(c)925hPa;22日2时850hPa(d)风场及高度场(阴影为风速大小,红实线为切变线或辐合线)



以上高空形势分析可见,触发飊线 B 初始对流的天气系统仍不能确定,但与暖区里的东南风与西南风的辐合和 500hPa 高原槽有关,飊线 B 移进广西前,百色-南宁一带已提前出现了边界层暖切,飊线 B 几乎是沿着边界层暖式切变线随着高空槽加深东移而向东偏南方向移动的。飊线 B 的发展和维持与边界层暖式切变线有关。

## 2.2 地面天气系统中尺度分析

一般来说,强对流天气需要地面辐合线、边界层辐合线、露点锋/干线等中尺度抬升条件触发才能形成。什么系统触发了此次飊线 AB 的初始对流?下面利用逐小时的地面自动站加密观测资料来分析。

4 月 21 日 17 时(图 5a,见彩页)有冷高压中心位于四川重庆附近,弱冷空气在四川重庆一带活动、并向南入侵云南东北部和贵州中北部一带,但由于冷空气势力较弱,被云贵高原阻挡而停滞在云南东北部、云贵交界-贵阳附近,形成西北-东南向的准静止锋,锋面两侧有明显的风向辐合、较强气压梯度和气温、露点梯度——根据云贵准静止锋的定义<sup>[16]</sup>,这就是云贵准静止锋或昆明准静止锋。这时,贵阳以东、南岭的北侧也存近东西向的弱锋面,锋面两侧有风向的辐合——即南岭准静止锋。云贵准静止锋和南岭准静止锋相连,静止锋上可分析出气旋。贵阳低涡附近、静止锋两侧有旺盛对流云团发展,但之后呈减弱趋势(图 5a-b,见彩页)。值得注意的是,在云贵准静止锋的西南侧“会泽-沾益-西林”一带出现锋前的东南风与云南高原大陆性气团的西北风的辐合线,辐合线附近桂西北西林县附近出现对流云团发展,即飊线 A 的初始对流。同时,在玉溪与红河之间,也存在一条锋面(图 5a,见彩页),锋面北侧为云南高原大陆性气团的西北风,昆明-玉溪附近露点仅有 8~9℃,而锋面南侧的气流实际上是来源于热带海洋的季风气流,一支是来源于孟加拉湾的西南气流,另一支是来源于南海的东南气流,两支气流汇合于云南红河附近(这也可以从 fml 资料得到印证,图略),红河附近的露点普遍有 16~21℃,可见,玉溪与红河之间存在较强风向辐合和露点梯度(达 10℃/100km),是一条东西向的锋面或露点锋。此时,锋面北侧附近有对流云团发展,而南侧暖区里的气流汇合区里也有对流云团发展,这两处对流云团就是飊线 B 的初始对流,它们之后逐渐发展合并形成飊线 B。21 日 18 时(图 5b,见彩页)云贵准静止锋、静止锋前的辐合线、以及玉溪与红河间的锋面几乎没

有移动,但贵阳低涡附近的对流云团减弱,而飊线 A、B 对流云团发展并东移,飊线 B 对流云团比飊线 A 移速快,飊线 B 经过玉溪附近时出现了大风。21 日 19 时(图 5c,见彩页),云贵准静止锋有所西进,南岭准静止锋南移至黔桂交界,飊线 B 的两个对流云团发展合并向东偏南方向移动。21 日 20 时(图 5d,见彩页)弱冷空气继续缓慢向西向南入侵,云贵静止锋越过沾益、会泽进入昆明气象站的东北侧附近,锋后的昭通-会泽-昆明北部为东北风,锋前的西南季风吹到昆明站,原红河与玉溪间的锋面消失,实际上已演变成中尺度的飊锋。21 日 23 时(图 5e,见彩页)昆明静止锋位置变化不大,飊线受高空槽东移和中层基本气流引导,继续向东偏南方向移动,飊线 A 进入河池附近(之后逐渐减弱消亡),飊线 B 进入百色及其南部继续发展,此时又在越南北部新生对流云团(飊线 C 对流云团)。到了 22 日 2 时(图 5f,见彩页)昆明准静止锋位置变化不大,但黔桂交界处的南岭静止锋南移经过河池,此时,桂北海平面气压下降了约 2hPa,致使重庆至河池之间的气压梯度有所增大,并且出现了气压场的气旋性弯曲,因此,在飊线 B 成熟阶段,南岭静止锋是发展的。飊线 B 出现在静止锋前较远的暖区里,飊线后侧是较强偏北风,而前侧为东南风,飊锋在暖区里的地面辐合系统里维持。

关于热带季风气团的作用,早在 2011 年,赵尔旭<sup>[17]</sup>指出来源于孟加拉湾和南海、西太平洋的热带季风气团对云南雨季有较大影响。关于锋前地面辐合线的作用,翟国庆<sup>[18]</sup>研究了华东地区 9 次强对流天气的地面风场分析发现,强对流的发生发展与锋前暖区的中尺度辐合线有密切关系,强对流天气主要还是发生在辐合线附近。陈伟斌<sup>[4]</sup>指出强风暴在地面辐合线附近生成并沿辐合线移动发展,地面辐合线对对流风暴的触发及组织性有触发作用,较大尺度辐合线的长时间维持有利风暴强度和组织性的增强。

由此可见,飊线 A 初始对流的触发与云贵准静止锋前的地面辐合线密切相关,而飊线 B 初始对流则由云南高原大陆性气团和热带季风气团辐合形成的露点锋、和锋前西南风和东南风辐合线所触发。

## 3 暖区飊线的中尺度特征

利用 10 分钟观测一次的自动站加密观测资料,对此次暖区飊线成熟阶段的地面中尺度系统特征进

行详细分析。

3.1   飑线系统过境时气象要素的剧烈变化

表 1 显示, 飑线过境时许多观测站均出现了气温和露点骤降、气压涌升等经典飑线的典型特征, 并且多数伴随有短时强降雨、雷暴和短时大风(7 级以上的阵风)。经过玉林站时, 极大风速达  $24.9\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (10 级), 20 分钟内气温下降了  $4.5^{\circ}\text{C}$ , 1 小时内海平面气压上升了  $2.5\text{hPa}$ 、露点下降了  $4.1^{\circ}\text{C}$ , 可见气象要素的变化是非常剧烈的。

另外, 飑线过境前 3~4 个小时内, 大部气象站海平面气压均出现了不同程度的下降 (有利形成飑

前中低压), 如玉林站(图 6a)22 日 00:00~2:00 气压下降了 2~3hPa, 邕宁、横县、灵山等气象站气温上升了约  $0.6^{\circ}\text{C}$ 。可见飑线过境前大体上存在降压升温的趋势, 有利不稳定能量的积累和飑前低压的形成。飑线过境时, 气压迅速上升(形成雷暴高压), 过境之后的 2~3 小时内气压还会再次下降(形成尾流低压), 本站气压完成“降-升-降”过程的时间尺度约 6h。

此外, 此次飑线还具有移动快速的特征。飑线在云南东部形成之后向东偏南方向快速移动, 从百色移到南宁约需 2h, 南宁移到横县仅需 1h, 横县到玉林也是 1h, 移动的速度接近  $100\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

表 1   2016 年 4 月 22 日飑线过境时气象要素的变化

气象站	过境时间	1h 降雨 (mm/h)	极大风速 (m/s)	气压变化 (hPa/h)	气温变化 ( $^{\circ}\text{C}/20\text{min}$ )	露点变化 ( $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ )
武鸣	0:48	7.8	11.1	$\uparrow 0.8$	$\downarrow 3.5$	$\downarrow 3.1$
邕宁	1:10	13.4	17.3	$\uparrow 1.0$	$\downarrow 3.4$	$\downarrow 3.3$
横县	2:00	21.4	20.7	$\uparrow 2.0$	$\downarrow 4.5$	$\downarrow 3.0$
灵山	2:18	23.5	17.1	$\uparrow 2.3$	$\downarrow 4.3$	$\downarrow 2.8$
贵港	2:27	15.0	16.2	$\uparrow 0.9$	$\downarrow 2.6$	$\downarrow 1.9$
玉林	3:00	30.9	24.9	$\uparrow 2.5$	$\downarrow 4.3$	$\downarrow 4.1$

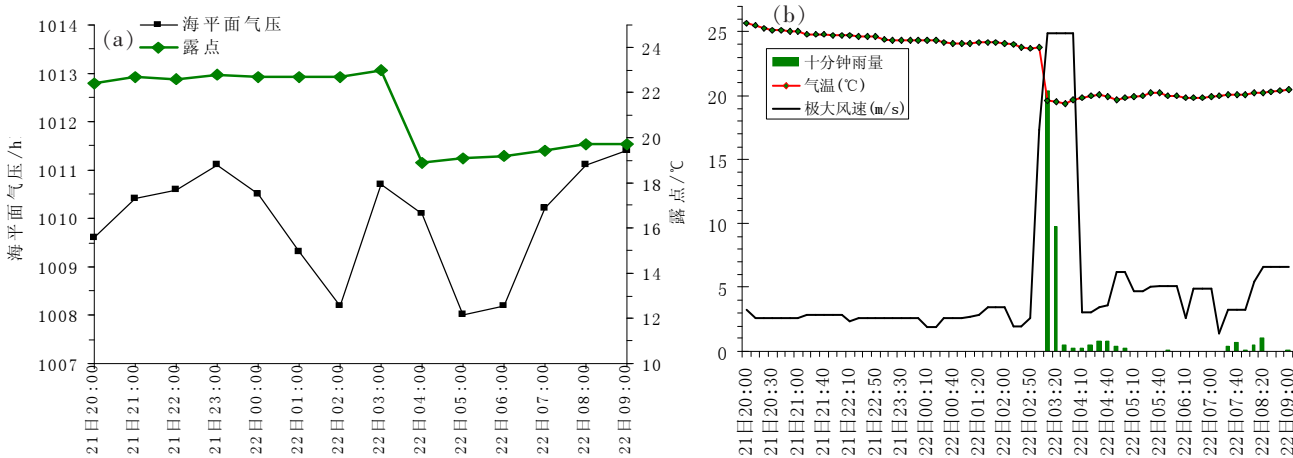


图 6   飑线过境玉林站时气象要素的变化。(a)海平面气压和露点的逐时变化;  
(b)逐 10 分钟的降雨量/mm、气温和极大风速的变化

3.2   飑中系统分析

此次暖区飑线过程展现出了典型的飑中系统特征。下面详细分析飑线成熟时期(2016 年 4 月 22 日 2 时)中尺度特征。22 日 2 时(图 7)飑线位于“来宾-横县-灵山西部-钦州”一带, 呈弓形弯曲, 横县、灵山为弓形的前端; 飑线的长度约为 300km, 飑线的宽度约为 20km, 长宽比远大于 5:1; 飑线后方是一个东北-西南向狭长的中高压区(雷暴高压), 高压中

心强度约为 1011hPa, 空间尺度约 200km; 飑线位于雷暴高压的前沿等压线密集带里, 实为飑锋; 飑线前方是一个狭长的低压槽区(飑前低压), 低压值约为 1008hPa; 雷暴高压的后方存在一个 1005hPa 中低压(都安站海平面气压仅有 1004.5hPa), 是一个比较强的尾流低压, 而显著的尾流低压正是飑线发展成熟的一个标志。尾流低压与雷暴高压形成一对气压偶, 与飑前低压对称。雷暴高压前部和后部均为偏北气

流,但前部风速大于后方。雷暴高压内部有强烈的气流辐散、飊锋前后有风速辐合、低压内部气流辐合。尾流低压要明显强于飊前低压。雷暴高压前部的气压梯度约为  $3\text{hPa}\cdot(50\text{km})^{-1}$ 。

飊线的前端存在暖中心( $25^{\circ}\text{C}$ ),飊线后方气温递减、有较强的水平温度梯度( $5^{\circ}\text{C}\cdot(100\text{km})^{-1}$ )。暖中心与低压没有重合,这可能是由于气压变化往往

先于气温变化所致。

以上分析可见,此次暖区飊线过程具有飊中系统的典型特征:雷暴高压、尾流低压、飊线前低压和飊锋;空间尺度约两三百公里,时间尺度约  $6\text{h}$ (典型的中  $\beta$  尺度特征);移动快速,过境时气温和露点骤降、气压涌升,伴有雷暴大风和短时强降雨等。

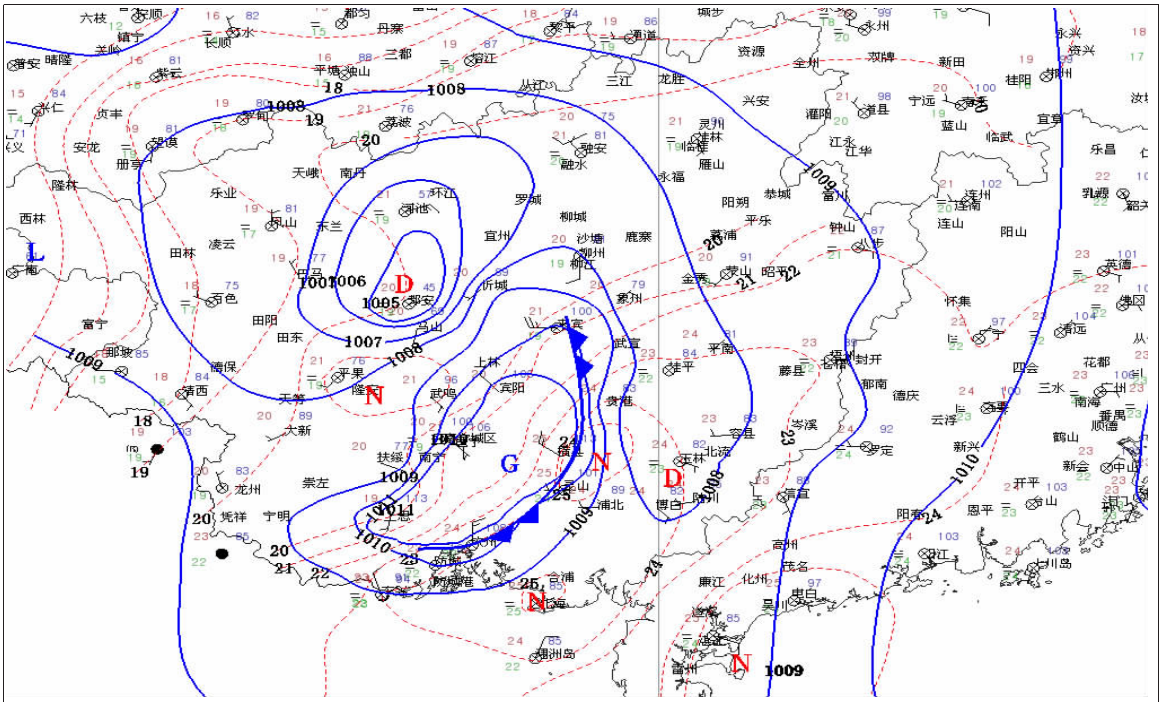


图7 2016年4月22日02时飊线成熟时期的地面中尺度系统  
注:蓝实线:等压线/hPa,间隔1hPa;红虚线:等温线/ $^{\circ}\text{C}$ ,间隔 $1^{\circ}\text{C}$ ;锯齿:飊锋

4 暖区飊线在广西维持的原因

4.1 高空低槽发展加深,槽前西南气流和低空西南急流叠加

21日20时至22日8时500hPa(图3)高空槽从云南东部移进广西西部时,槽得到发展加深(南段有南支槽、北段有高原槽),槽底已伸到越南北部,桂南和桂东南上空西南风分量增大。与此同时,21日20时至22日2时,广西中部的低层西南气流也从  $8\sim10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  增强到  $12\sim14\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,22日8时广西中南部西南急流输送区面积有所扩大。中层槽前西南气流和低层西南急流叠加,有利不稳定能量的积累和充足水汽的输送。

4.2 对流性不稳定

从南宁站的探空图(图8)和对流参数(表2)分析,飊线影响南宁前(21日20时),925hPa至

700hPa 风随高度由东南风顺转为西南风、西风,低层有暖平流;CAPE= $1573.2\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 有较高的对流有效位能;沙氏指数为-4.3;温度层结曲线和露点曲线向上形成“喇叭”状配置,是雷暴大风的典型特征;500hPa 与 850hPa 之间假相当位温的差值  $\Delta\theta_{se}$  达-

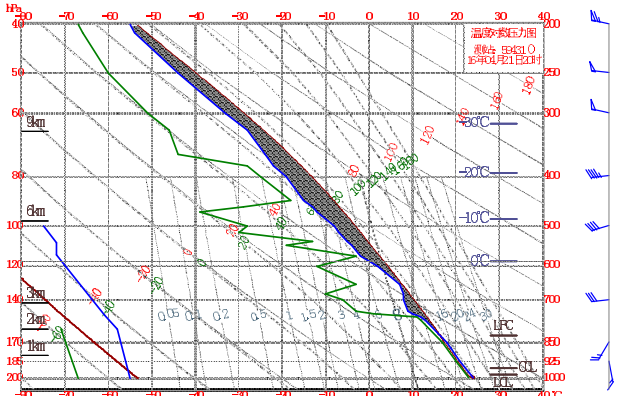


图8 2016年4月21日20时南宁站T-lnp图



22℃,形成上干冷、下暖湿的对流性不稳定层结。需注意的是,飊线影响前,广西中层位于槽前,虽然没有明显的冷平流,但低层暖湿平流非常显著、积累了较高的不稳定能量,也容易形成对流不稳定层结,具有良好的对流发生发展的环境。21日20时0℃层高度4475m,-20℃层高度达7669m,0℃和-20℃层之间的冻结层厚度达3.19km,可见槽前型暖区飊线的0℃层和-20℃层高度均比一般的冷锋型飊线要高得多,冻结层的厚度也较大,这种对流参数符合湿对流(雷暴大风+强降雨)特征。 -20℃层高度偏高的原因可能是因为槽前型暖区飊线过程中层的冷平流不明显所致,缺少中层冷平流不利-20℃层高度的下降,也就不利冰雹发生。

### 4.3 较强垂直风切变

决定对流风暴的组织结构和强弱的关键因子之一,即垂直风切变;垂直风切变分为深层垂直风切变

和低层垂直风切变,深层垂直风切变通常用0~6km的风矢量差大小来代表;在4~9月暖季,如果0~6km的风矢量差 $>20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,就认为是强垂直风切变,而 $>15\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,就是中等强度以上的垂直风切变, $<12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 就是较弱的垂直风切变<sup>[19]</sup>。环境风的垂直切变是预报强对流风暴的一个重要参数;弱的垂直风切变情况下只会出现一种强风暴—脉冲风暴,而强的垂直风切变情况下可以出现多单体风暴、飊线和超级单体风暴等形式的强风暴<sup>[20]</sup>

由表2可见,飊线过境前后,南宁站上空1000~700hPa(0~3km)低层垂直风切变为 $14.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $14.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,风切变比较显著;1000~500hPa(0~6km)深层垂直风切变为 $19.6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $23.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,基本达 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 强垂直风切变标准。这种特征在过程开始之前到结束均存在,表明较强垂直风切变是此次暖区飊线过程发展和维持的重要环境条件。

表2 飊线过境前后南宁站上空大气对流参数的变化

时间	$CAPE \cdot$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>	$CIN \cdot$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>	$SI$	$SL_{(0-6)} \cdot$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>	$SL_{(0-3)} \cdot$ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) <sup>-1</sup>	$\Delta \theta_{\infty} \cdot$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$T-Td(500) \cdot$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	$T-Td(850) \cdot$ $^{\circ}\text{C}^{-1}$	-20℃层 高度 $\cdot\text{m}^{-1}$
21日 20:00	1573.2	21.6	-4.3	19.6	14.3	-22	20	1	7669
22日 08:00	2.5	569	4	23.5	14.4	7	2	13	7906

注: $\Delta \theta_{\infty}$ 指的是500~850hPa之间 $\theta_{\infty}$ 的差值; $SL_{(0-6)}$ 为0~6公里的风矢量差; $SL_{(0-3)}$ 为0~3公里的风矢量差。

## 5 结论

(1)2016年“4.22”暖区飊线B移动快速(100km/h),主要引发湿对流天气(雷暴大风和短时强降雨);飊线过境前气压下降,过境时气温和露点骤降、气压涌升、风向突变、风速陡增,过境后气压再次下降;具有尾流低压、雷暴高压、飊锋和飊前低压等典型飊中系统特征。

(2)此次暖区飊线在500hPa高空槽加深东移的大尺度背景下发生的,飊线A初始对流的触发与云贵准静止锋前的地面辐合线密切相关,飊线B初始对流则是由云南高原大陆性气团的偏北风和热带季风气团的偏南风辐合形成的露点锋和锋前西南风和东南风的辐合线所触发。

(3)虽然没有冷锋伴随而下,此次暖区飊线之所以能在广西长时间维持,主要是由于广西上空存在较强的环境(低空急流、较强的垂直风切变);明显上干下湿对流不稳定(层结曲线和露点曲线向上形成“喇叭”状配置,雷暴大风典型特征, $\Delta \theta_{\infty}(500-850)=$

22℃);较高对流有效位能( $CAPE=1573.2\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。飊线移动时其附近几乎都伴随有地面辐合线出现,且飊线将传播至下游地区前,下游地区地面辐合线又得到增强,这有利飊线传播发展和长时间维持。可见,地面辐合线、边界层暖切对飊线的发展和维持也有重要作用。

### 参考文献:

- [1] 郭弘,林永辉,周森,等.2014.华南暖区暴雨中一次飊线的中尺度分析[J].暴雨灾害,33(2):171-180.
- [2] 相同季节和相似区域华南两次飊线过程比较分析[J].暴雨灾害,2016,35(5):445-454.
- [3] 农孟松,翟丽萍,屈梅芳,等.广西一次飊线大风天气的成因和预警分析[J].气象,2014,40(12):1491-1499.
- [4] 陈伟斌,陈见,赵金彪,等.一次飊线大风天气过程成因分析[J].气象研究与应用,2015,36(1):14-19.
- [5] 覃靖,潘海.2015年“5.1”飊线过程的环境场诊断分析[J].气象研究与应用,2016,37(S1):15-17.
- [6] 蓝春灵,韦春霞.春季一次强对流天气过程分析[J].气象研究与应用,2007,28(S1):106-107.

- [7] 陆秋霖, 黄荣, 农孟松, 等. 2017 年 4 月广西北部一次强对流天气中尺度分析[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(2): 18-21.
- [8] 李洪海. 一次强对流天气过程分析[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(s): 20-31.
- [9] 乔琪, 汤俊. 春季两次强对流天气过程多普勒雷达回波中尺度特征分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(3): 42-45.
- [10] 陈业国, 唐文. 2007 年 4 月广西一次强飑线过程的雷达回波分析及数值模拟[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(s2): 132-134.
- [11] 叶朗明, 徐碧裕. 两次不同类型暖区暴雨的对比分析[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 5-10.
- [12] 陈芳丽, 窦新英, 李明华等. 一次强对流天气过程中尺度对流系统特征分析[J]. 广东气象, 2012, 34(2): 10-15.
- [13] 李影虹, 苏文, 陈芳丽. 2016 年 6 月 4 日华南一次罕见强对流天气过程分析 [J]. 广东气象, 2017, 39(4): 10-14.
- [14] 詹棠, 宗森, 郑浩阳. 2013 年 5 月 21 日广东沿海一次飑线过程的综合分析 [J]. 广东气象, 2015, 37(6): 19-22.
- [15] 林确略, 寿绍文, 杨华. 基于数值模拟对一次广西前汛期回流暴雨形成机制的分析[J]. 气象, 2015, 41(7): 852-862.
- [16] 张精华, 张万诚, 郑建萌, 等. 1970-2009 年冬季昆明准静止锋的变化特征及其影响分析 [J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1298-1306.
- [17] 赵尔旭, 赵刚, 琚建华, 等. 热带季风气团的活动对云南雨季的影响[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(1): 428-433.
- [18] 翟国庆, 俞樟孝. 强对流天气发生前期地面风场特征[J]. 大气科学, 1992, 16(5): 522-529.
- [19] 吴剑坤, 俞小鼎. 强冰雹天气的多普勒天气雷达探测与预警技术综述[J]. 干旱气象, 2009, 27(3): 197-206.
- [20] 俞小鼎, 姚秀萍, 熊延南, 等. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社, 2006.

.....

(上接第 37 页)

(4) 物理量场的分析说明强降雨过程的水汽有三个来源通道, 源源不断地为广西上空输送水汽并辐合; 低层辐合高层辐散的散度场造成强降雨区上空强劲的上升气流; 强降雨期间广西上空存在不稳定能量。

#### 参考文献:

- [1] 王黎娟, 陈璇, 管兆勇, 等. 我国南方洪涝暴雨期西太平洋副高短期位置变异的特点及成因[J]. 大气科学, 2009, 33(5): 1047-1057.
- [2] 陈刘凤, 叶骏菲, 林开平, 等. 桂东北一次典型暴雨过程分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(2): 25-29.
- [3] 黄翠银, 陈剑飞. 2011 年 10 月一次广西区域性暴雨特征分析[J]. 气象研究与应用, 2012, 33(4): 22-26.
- [4] 黄翠银. 2010 年 1 月广西冬季暴雨水汽特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32(4): 20-22, 48.
- [5] 廖胜石, 罗建英, 张洁婷, 等. T639 数值预报产品对一次广西秋季暴雨的诊断分析[J]. 气象研究与应用, 2010, 31(4): 27-31.
- [6] 李彩玲, 夏冠聪, 陈艺芳, 等. 广东省 11 月 2 次秋季暴雨过程的对比分析[J]. 广东气象, 2014, 36(4): 1-5.
- [7] 李厚伟, 周静, 周义昌, 等. 一次罕见的冬季暴雨过程分析[J]. 广东气象, 2016, 38(2): 25-28.
- [8] 吴振鹏, 梁巧倩, 徐穗珊, 等. 2011 年秋季广东暴雨过程及其水汽特征分析[J]. 广东气象, 2014, 36(2): 13-18.
- [9] 蔡蕊, 江梦天, 赵旸旸, 等. 2011 年 10 月 13~14 日广州罕见暴雨特征和成因分析[J]. 广东气象, 2012, 34(1): 10-14.
- [10] 罗聪, 高亭, 李怀宇. 一次非典型秋季冷空气暴雨过程分析[J]. 广东气象, 2011, 33(5): 4-7.