

许爱华, 马中元, 叶小峰. 江西 8 种强对流天气形势与云型特征分析[J]. 气象, 2011, 37(10): 1185-1195.

江西 8 种强对流天气形势与云型特征分析^{*}

许爱华¹ 马中元² 叶小峰³

1 江西省气象台, 南昌 330046

2 江西省气象科学研究所, 南昌 330046

3 江西省萍乡市气象台, 萍乡 337002

提 要: 利用 1999—2009 年红外云图、常规天气图、雷电和地面危险报等资料, 针对江西 62 次强对流天气过程, 在分析强对流天气发生时天气尺度影响系统的基础上, 提炼了引发强对流天气的中尺度对流云带(团)发生发展的典型云型特征。结果表明: 副热带高压边缘强对流云型、斜压扰动云系尾部强对流云型、地面倒槽中 MCS、东风波(热带低压倒槽)、冷锋前强对流云带、冷锋前部的 MCC、高空低槽后强对流云型、热带气旋及其外围飚线云带云型, 这 8 种云型特征是构成江西强对流天气的典型云型。8 种云型特征和低槽、切变、冷空气、东风波及热带气旋, 高低空急流、副热带高压等影响系统的强弱、相对位置有密切关系。斜压扰动云系尾部强对流云型、冷锋前强对流云带、冷锋前部的 MCC 常常和低层较强空气活动有关, 当 500 hPa 低槽经向度大, 低层槽前暖平流显著时易出现斜压扰动云, 其尾部出现强对流天气; β 中尺度的对流云团易在锋前异常暖中心和不稳定中心合并发展成 MCC。而高空低槽后部、副热带高压边缘、东风波这三型则和中高层干冷空气及中低纬天气系统相互作用关系较大, 高空负变温或水汽云图的“暗区”移近低层辐合系统时, MCS 发展。当高空出现辐散气流和辐散状卷云时, 地面倒槽中的辐合线附近 MCS 强烈发展。热带气旋及其外围飚线云型则与台风的活动密切相关。斜压扰动云系尾部强对流云型预报指示性最好。

关键词: 云图, 强对流天气, 天气系统配置, 云型特征

Eight Kinds of Strong Convective Weather Situations and Related Cloud-Type Characteristics in Jiangxi

XU Aihua¹ MA Zhongyuan² YE Xiaofeng³

1 Jiangxi Provincial Meteorological Observatory, Nanchang 330046

2 Jiangxi Provincial Institute of Meteorological Sciences, Nanchang 330046

3 Pingxiang Meteorological Office of Jiangxi Province, Pingxiang 337002

Abstract: By means of 11 year (1999—2009) data, such as infrared cloud image, synoptic chart, lightning and ground dangerous telegram, aiming at the 62 processes of strong convective weathers in Jiangxi, on the basis of analysis of large-scale circulation background when convective weather happens, the features of typical clouds from occurrence and development of mesoscale convective cloud band which triggers convective weather were abstracted. It showed that eight types of cloud features are typical cloud patterns forming convective weather in Jiangxi, which include the strong convective cloud type in the edge of subtropical high, the strong convective cloud type in tail of baroclinic disturbance cloud system, MCS in a ground inverted trough, easterly wave (inverted trough of tropical depression), the strong convective cloud band ahead of cold front, MCC ahead of cold front, the strong convective cloud type behind an upper-trough,

^{*} 江西省科技厅项目“江西省突发性强对流天气监测和预警研究”、中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室 2010 开放课题(2010LASW-A03)、江西省气象局创新基金(GCX200909)、公益性行业(气象)专项(CYHY201006002)和全国强对流预报团队项目共同资助

2010 年 8 月 19 日收稿; 2011 年 4 月 19 日收修定稿

第一作者: 许爱华, 主要从事天气预报和预报技术研究. Email: fengyu198208@yahoo.com.cn

tropical cyclone and its peripheral cloud type of squall line. The eight kinds of cloud-based features are closely related to the strength and relative position of affected systems such as low trough, shear, cold air, east wind wave and tropical cyclone, upper-air jet and others. The strong convective cloud types in tail of baroclinic disturbance cloud system, the strong convective cloud band ahead of cold front, and MCC ahead of cold front are often related to stronger lower air activities. When 500 hPa trough's meridional degree is large, and low-level warm advection in front of the trough is obvious, baroclinic disturbance clouds are prone to occur, a convective weather easily occurs at its tail. On the other hand, meso- β -scale convective cloud clusters are easy to merge into MCC at abnormal warming center before the front and the unstable center. Rear of the upper trough, edge of the subtropical high and easterly wave are related to the interaction between high-level dry cold air and weather system at mid- and low-latitudes, when high-level negative temperature-variation or water vapor "dark zone" moves closely to the lower-level convergence system, then an MCS develops. When divergent airflow and divergent cirrus clouds occur at the upper level, the MCS near the convergence line of a ground inverted-trough develops strongly. Additionally tropical cyclone and its peripheral cloud type of squall line are closely related to the typhoon. The predictable indicative of the strong convective cloud type in tail of baroclinic disturbance clouds is the best.

Key words: cloud image, strong convective weather, weather system configuration, features of cloud type

引 言

卫星云图是大气运动状况的直观表征。根据云图上云或云区的型式、范围、边界、色调、暗影和纹理等 6 个基本特征来识别和分析,是预报业务流程中重要分析内容,其中带状云系、涡旋云系、云线云团、逗点云系和斜压叶状云系等云型特征,对天气分析和预报有重要的指示作用。

强对流天气是预报业务中十分重要的一个预报对象,国内外专家学者在利用云图资料对强对流天气进行监测和预报等方面进行了深入研究,取得了大量成果。例如:方宗义等^[1]对卫星监测、分析和研究暴雨云团的国内外若干研究结果和进展给予了简要综述。胡波等^[2]通过对梅汛期强降水云团特征分析,指出云顶亮温的宏观特征与中高层的垂直速度、水汽通量密切相关。朱亚平等^[3]对一次锋面气旋云系中的强对流云团进行识别,得出水汽和红外通道亮温差,对强对流云团能进行较好定位。覃丹宇等^[4]研究表明,MCC 发生在较弱的斜压环境里,对流层低层有明显的天气系统如切变线、中尺度低涡,中层可以没有低压槽参与,高层则出现在反气旋环流里。朱官忠等^[5]通过对盛夏华北南部集中出现 MCC 的原因进行了分析,指出:华北南部 MCC 产生于控制黄淮上空的带状副热带高压西北部边缘。

低空的暖湿偏南气流在静止锋上被强迫抬升,引起中尺度对流云团不断新生、合并,是 MCC 生成的主要机制。卢乃锰等^[6]对大量数据统计分析得出,云顶温度、温度梯度、云团膨胀、穿透性云顶、云体偏离量等特征,与云的降水强度有着对应关系。这些研究成果为利用云图分析和预报强对流天气提供了依据和参考。

本文根据江西 62 次强对流天气个例,从天气形势系统配置和云图云型演变上总结提炼出 8 种典型云型特征,旨在江西强对流天气的预警预报提供依据。

1 资料与统计

文中使用 1999—2009 年 3—9 月 62 次强对流天气过程,常规高空、地面观测资料、江西地面危险报和雷电监测资料及卫星云图资料进行分析。

强对流天气过程标准为:冰雹、8 级以上雷雨大风和大于 $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水,这 3 种强对流现象累积站数达到 8 站以上称为一次强对流天气过程。1999—2009 年 3—9 月共有 62 次符合标准的强对流天气过程。

在研究 62 次强对流天气过程的大尺度环流背景基础上,对云型特征进行统计分析发现,江西强对流天气有 8 种典型云型特征(具体见表 1)。

表 1 江西 8 种强对流天气典型云型

Table 1 Eight typical types of cloud of strong convective weather

云图类型	副热带高压边缘强对流云型	斜压扰动云系尾部强对流云型	地面暖倒槽中的 MCS	东风波(热带低压倒槽)云型	冷锋前强对流云带	冷锋前部的 MCC	高空低槽后强对流云型	热带气旋及其外围飚线云带
次数	16	14	10	6	5	3	2	5+1
月份	6—9	4—5	4—7	7—9	3—6	4—7	5—6	7—9
影响地区	全省	赣北 赣中	赣北 赣中	赣中 赣南	全省	赣北 赣中	赣北 赣中	全省

2 强对流天气典型云型特征

2.1 副热带高压边缘强对流云型

这类云型有 16 例,占个例总数的 25.8%。6 月下旬到 9 月,当副热带高压东退南落或西进北抬,且低层湿度较大的时候,江西常常会出现雷雨天气。特别是在副热带高压西北侧有西风带低槽和低层切变活动时,在云图上有东北—西南向的云带,云带上嵌有 β 中尺度的对流云团。云团之间的晴空少云或云层较薄区域在上午受太阳辐射影响,边界层加热显著,午后对流不稳定性加大,对流云团移到这些地区加强或在这些地区新生发展,造成强雷电(高密度地闪和正负闪超过 30 kA)、雷雨大风、短时强降水等强对流天气。

以 2007 年 6 月 24 日强对流天气过程为例(图 1)。赣北和赣中出现 8 站雷雨大风、5 站短时强降水和 52335 次地闪,造成了重大人员伤亡。24 日副热带高压减弱东退,但江西中北部仍处在副热带高压 588 线的北缘,北侧有明显的低槽、切变线和干线(图 1a),由于大气层结具有对流不稳定条件(南昌 CAPE 达到 $2055 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$)、湿度大(850 hPa 江南大部 $T - T_d \leq 3^\circ\text{C}$)和动力辐合以及午后边界层加热等条件,午后对流强烈发展^[7-8]。

2007 年 6 月 24 日 08 时,在副热带高压北缘大范围带状切变线云系位于江南北部到西南地区东部,云带呈东北—西南走向,景德镇附近地区和湘中北地区有对流云团向东北方向移动。12 时以前(图 1b)江西北部处于少云区,13—14 时分别在赣西北和赣东北有 β 和 γ 中尺度对流云团发展,16 时前后(图 1c)在湘鄂赣交界处对流有组织合并加强,云顶温度低于 -60°C ,此时 MCS 形成并缓慢地向东北方向移动;18 时(图 1d)MCS 发展旺盛,云顶温度达到 -94°C 。从 15—18 时在 MCS 生成和发展阶段江西中北部出现了雷雨大风、短时强降水等强对流天气,地面落雷次

数达到 30557 次。20 时以后 MCS 强度逐渐减弱,云顶温度逐步升高,落雷次数迅速下降。

由此可见,这类强对流云型特征是主云带中, β 中尺度雷暴云午后在少云区中发展、合并。形状为团块状,尺度为 100~300 km。

2.2 斜压扰动云系尾部强对流云型

这类云型有 14 例,占个例总数的 22.6%,是江西春季强对流天气主要云型。它反映了大气的明显的斜压性特征,常和高空低槽、低涡或气旋联系在一起,在云型上主要有两种表现:斜压叶状云系和涡度逗点云系。

这类云型形成于高空 500 hPa 有较大经向度的低槽前部,并且在东移过程中影响长江中下游地区到江南一带。主要天气系统配置是低槽前有强正涡度平流,850~700 hPa“人”字型切变,切变北侧(或西侧)和南侧(东侧)分别有强烈冷暖平流,850 hPa 江南到华南西南风急流可达到 $16 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。地面图上江淮、江南有气旋性环流或气旋波形成,24 h 负变压明显,有明显低于日变化 3 h 变压中心。低槽云系后边和北侧边界光滑,常常对应一支中高层急流(或强的西风带)云系,在中高空急流云系的右后方有较强的辐散。当低槽后边界出现“V”字型缺口,则表示中高层有干冷空气入侵和下沉,造成潜在的对流不稳定,云型的尾部是冷暖空气交错剧烈的地区。这些条件都为强对流天气的发生发展,提供了充足的动力、热力条件及不稳定能量释放的触发机制。

以 2003 年 4 月 12 日强对流过程为例(图 2),是一次典型的斜压叶状云系造成的冰雹、雷雨大风过程,赣北赣中出现了 5 站冰雹、10 站雷雨大风和多站次强降水,是江西致灾严重的强对流天气过程之一。

12 日 08 到 20 时天气系统演变符合上述特征(图 2a),江淮到江南有明显的锋区和冷暖平流,冷空气在浙闽赣交界地区强烈辐合,并形成低涡。

同时,200 hPa 赣东北、闽北、浙中南处在明显辐散气流中。形势配置和演变十分有利地面气旋的生成。14 时地面图上,江西东部就发展出气旋波,其中心附近出现 -4.2 hPa 的 3 小时变压中心,云图上迅速发展形成斜压扰动云系(图 2b),云系后界呈现“S”状,并在其后部出现晴空区,对应水汽云图上有干区(图略),这表明中层有干冷平流。在 15—17 时云图上(图 2c,d),斜压叶状云的尾部形成了 β 中尺度强对流云团,云图亮温梯度很大,在其北侧卷云羽向东伸展范围大,此时对流发展旺盛。对应雷达回波上也形成了长生命史超级风暴单体,造成了江西东北部、福建西北部、浙江较大范围冰雹、飏线大风等强对流天气。

另一种斜压扰动典型云型是涡度逗点云系,与斜压叶状云系相比,低槽经向度更大,冷暖平流更强。例如:2005 年 4 月 9 日,涡度逗点云系(图 2e,f,g)经过江西时其尾部形成的飏线造成 12 站 8 级以上大风、1 站冰雹和 2 站强降水天气。2003 年 5 月 6 日形成的涡度逗点云系(图略),同样造成了江西西北部 13 站雷雨大风、6 站强降水天气。

由此可见,斜压扰动云系的云型的主要特征是“S”状的后边界和后侧晴空区(水汽图上的暗区)以及向前明显伸展的卷云羽,表明槽后(冷锋后)有干冷空气侵入,槽前辐散强这些条件十分有利产生较大范围的强对流天气。

2.3 地面暖倒槽中 MCS^[9]

这类云型有 10 例,占个例总数的 16%。江西春夏季节地面常常有低压倒槽发展,倒槽中有辐合线或静止锋活动,当江南到华南中低层有西南急流和低槽切变线系统影响时,在对流不稳定条件下会有 MCS 强烈发展和合并,从而形成强对流天气。

以 2006 年 4 月 11 日强对流天气过程为例(图 3)。11 日 15 时到 20 时,多个 MCS 造成冰雹、雷雨大风等强对流天气,其中吉安、南昌等 6 站出现冰雹,最大冰雹直径 50 mm;4 站出现 8~11 级雷雨天,以金溪 $31.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为最大;5 站 1 h 雨量超过 30 mm,强对流天气自南向北发展。雷达回波上则呈现多个超级风暴单体结构(图略)。

图 3a 显示 2006 年 4 月 11 日 08 时天气系统的配置,江南处在 500 hPa 气旋性曲率较大西南气流中,850 hPa 有“人”字切变,暖切变位于贵阳到南昌一线,其南侧西南急流达 $14 \sim 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,三支气流组成气旋性流场,高层有辐散,地面江西境内有辐合

线。引发这次强对流天气过程发生还有以下有利条件:(1)强对流发生前 08 时 500 hPa 暖脊控制江西,起到了“干暖盖”和下沉增温作用,同时 950~1000 hPa 的逆温层有利于高静力能的积累,在较深厚的层次中对流不稳定能量不被释放;(2)对流不稳定区由江西中部向北移并迅速加大,南昌 K 指数从 08 时 12°C 增加到 20 时 39°C ;(3)有明显的上干下湿特点,江南 400~200 hPa 有 $1 \sim 4^\circ\text{C}$ 降温;(4)地面暖槽发展,上午晴空辐射增温明显,尤其是江西中南部 6 h 增温在 10°C 以上;(5)12 时在江西中部形成了 β 中尺度辐合线和 θ_{sc} 高能舌^[10]。

分析 11 日 10—14 时卫星云图演变发现从湖北到江西中部有西北—东南向发散的丝缕状卷云形成,表明高空为西北气流,且气流辐散。在其下方的切变线附近迅速发展出多个 MCS 对流云团。图 3 显示,11 日 15—18 时 β 中尺度 A、B 强对流云团迅速加强并向东北方向移动、合并过程。18 时 A、B 强对流云团合并,云顶呈现云毡,MCS 发展强盛。19 时以后卷云毡明显变大,MCS 减弱。MCS 在雷达回波上先后对应有三个超级风暴单体形成。15 时 20 分最早一个超级风暴单体造成地面 50 mm 大冰雹。

由此可见,这类强对流云型演变特征是高空辐散状卷云下,地面辐合线附近中尺度对流系统 MCS 发展合并。

2.4 东风波(热带低压倒槽)云型

这类云型有 6 例,占个例总数的 9.6%,且以强降水、雷雨大风为主。7—9 月当东风波或热带低压(气旋)倒槽伸向江西时,在对流不稳定条件下,容易出现这类强对流天气。对应云图上有热带云系活动,尤其是当热带东风波或低压倒槽系统和西风带低值系统靠近时,中低纬度系统相互作用(系统常常在 500 hPa 上表现更为明显),会造成大范围强对流天气。

以 2004 年 8 月 3 日为例(图 4)。14—22 时共有 10 站出现 8 级以上大风,以余江 $27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 为最大风速;3 站下了强降水;强对流天气主要发生在江西东部和北部。这类强对流天气的形势特征:(1)热带低压倒槽的位置位于 $113^\circ \sim 122^\circ\text{E}$,其东侧的东南气流为江西强对流天气提供了水汽条件。(2)江淮地区低槽云系提供了中层弱的冷空气条件。(3)满足 $\Delta T_{850-500} \geq 27^\circ\text{C}$ 的强垂直温度梯度的条件^[10-11]。(4)200hPa 江西处在南亚高压辐散气流中(图 4a)。

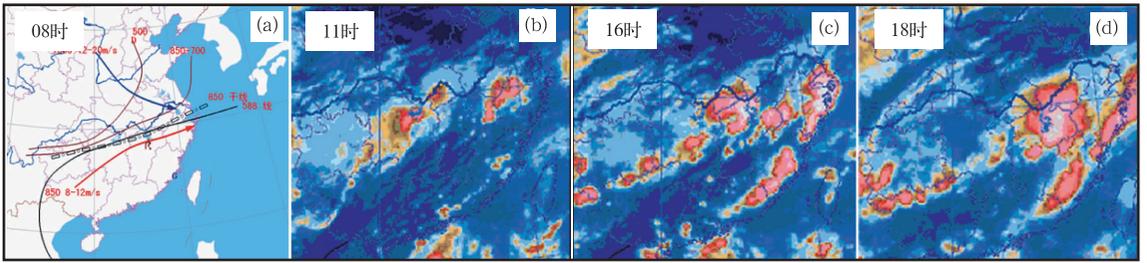


图 1 2007 年 6 月 24 日天气系统配置和红外云图

(a)08 时天气系统配置(红箭头为 850 hPa 急流,蓝箭头为 700 hPa 急流), (b), (c)和(d)分别为 11、16、18 时红外云图

Fig.1 Weather system configuration and IR cloud pictures on June 24, 2007

(a) weather system configuration at 08:00 BT (Red arrow denotes 850 hPa southwest jet stream, and blue arrow denotes 700 hPa southwest jet stream), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 11:00 BT, 16:00 BT, 18:00 BT 24 June 2007 respectively

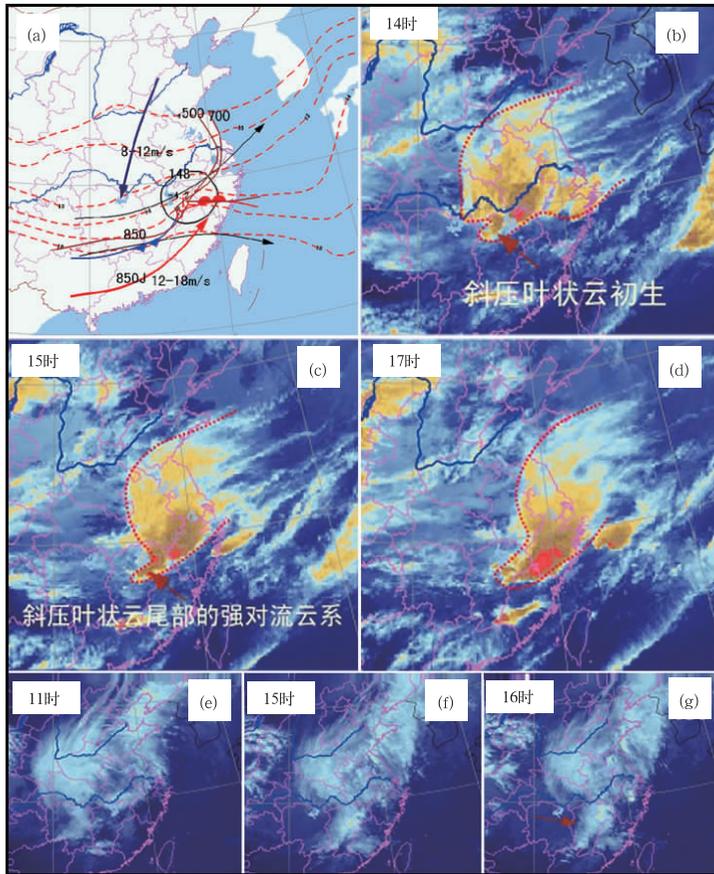


图 2 2003 年 4 月 12 日天气系统配置和红外云图及 2005 年 4 月 9 日红外云图

(a)20 时天气系统配置(红虚线为 850 hPa 温度线,间隔 2℃;黑细箭头为 200 hPa 流线;红箭头为 850 hPa 西南急流;蓝箭头 850 hPa 为偏北气流); (b), (c)和(d)分别为 14、15、17 时红外云图(红点为云系外轮廓);

(e), (f)和(g) 分别为 2005 年 4 月 9 日 11、15、16 时红外云图

Fig.2 Weather system configuration and IR cloud pictures on April 12 of 2003 and April 9 of 2005

(a) weather systems configuration at 20:00 BT (Red dotted line denotes 850 hPa thermal line, at 2℃ interval.

Black-slender arrow denotes 200 hPa flow line. Red arrow denotes 850 hPa southwest jet stream.

Blue arrow denotes flow inclined to north); (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 14:00 BT, 15:00 BT,

and 17:00 BT 12 April 2003 respectively (red dot denotes outline of clouds); (e), (f) and (g) IR cloud

pictures at 11: 00 BT, 15: 00 BT, and 16: 00 BT 9 April, 2005 respectively

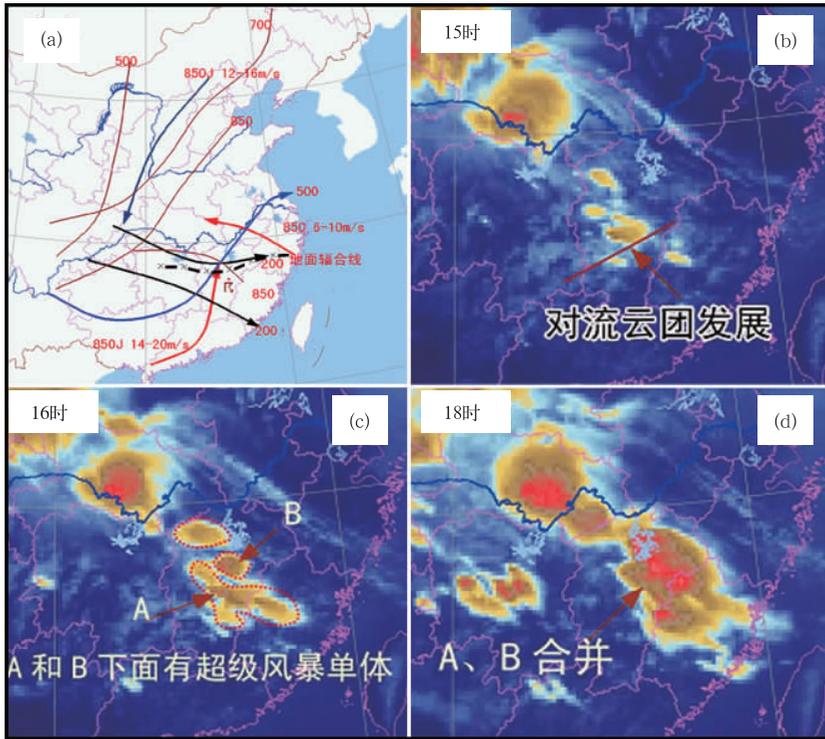


图 3 2006 年 4 月 11 日天气系统配置和红外云图
 (a) 20 时天气系统配置 (箭头为各层急流或显著流线),
 (b), (c) 和 (d) 分别为 15、16、18 时红外云图

Fig. 3 Weather system configuration and IR cloud pictures on April 11, 2006
 (a) weather system configuration at 20:00 BT (the arrowed flow denotes obvious flow or jet stream in different layers), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 15:00 BT, 16:00 BT, and 18:00 BT 11 April 2006 respectively

2004 年 8 月 3 日 08 时(图 4b), 西风带低槽云系和热带低压倒槽云系靠近时, 15—17 时(图 4c, d) 在两支云系移动的前部, 开始有 β 中尺度对流云团发展, 并逐渐加强和汇合, 造成江西午后的强对流天气。这类云系演变是在两个系统云系之间发展起对流云团, 其尺度较小(200 km 以下)而分散。

2.5 冷锋前强对流云带

这类云型有 5 例, 占个例总数的 8.0%, 主要发生春季和初夏季节。当低层冷空气比较强时, 850 hPa 以下有明显的东西向温度锋区或湿度锋区, 江南到华南维持 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的西南急流, 即冷暖空气势均力敌, 动力辐合强。地面冷锋南移时, 冷锋云系的前部或附近明显的降压中心地方往往会形成带状对流云系, 引发强对流天气。

有两种不同背景, 一是在 3—5 月当冷锋前部还没有大范围水汽输送带时, 常常是对流性大风和冰雹为主, 有时伴有飑线。二是当南海季风和印度

季风建立以后, 冷锋云系常常与长达数千千米的一支西南水汽输送带相结合, 产生多个 MCS, 发展旺盛的 MCS 给江西带来的天气以短时强降水为主, 并伴有少量对流性大风。这类过程和斜压扰动云型相比, 不同之处在于低层暖平流相对弱一些, 西南风与等温线交角小, 暖舌呈东西分布。

以 2009 年 3 月 21 日江西中北部一次飑线强对流天气过程为例(图 5), 有 11 站出现 8 级以上雷雨大风(最大 $28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) 和 5 站冰雹(最大直径 2 cm)。这次飑线天气系统配置有以下特征(图 5a): (1) 低槽锋面具有陡直结构。(2) 500 hPa 两支低槽相对位置有利, 一支从渤海伸到长江下游地区, 低槽云系和西风急流云系结合东移, 江西处在冷槽的后部; 一支浅槽位于河南到湖北, 浅槽东移并入到前一个低槽过程中, 在冷锋前部诱发线状飑线云带。(3) 具有异常显著的上干冷下暖湿特征, 南昌 $\Delta T_{850-500}$ 达到 30°C , $\Delta T_{d850-500}$ 更是达了 67°C , 南昌市 22 时出现大风、冰雹天气。(4) 江西北部有强风

垂直切变(图略)。

19 时(图 5b)云图上可以看出两个低槽之间的冷锋前部有对流云带初生,形成了线状对流云系,之后(图 5c,d)迅速发展成飚线云系,并向东南方向移动。飚线云系南段从江西西北部移过,带来较大范围

的强对流天气。从雷达回波动态图上也能清楚追踪到典型的飚线回波的生成和演变(图略)。由于这类锋前飚线发生在低槽或切变、锋面系统陡直(前倾),槽前正涡度呈现窄带分布情况下,对流云带也呈窄带状分布,且平行于锋面,随锋面南移而移动。

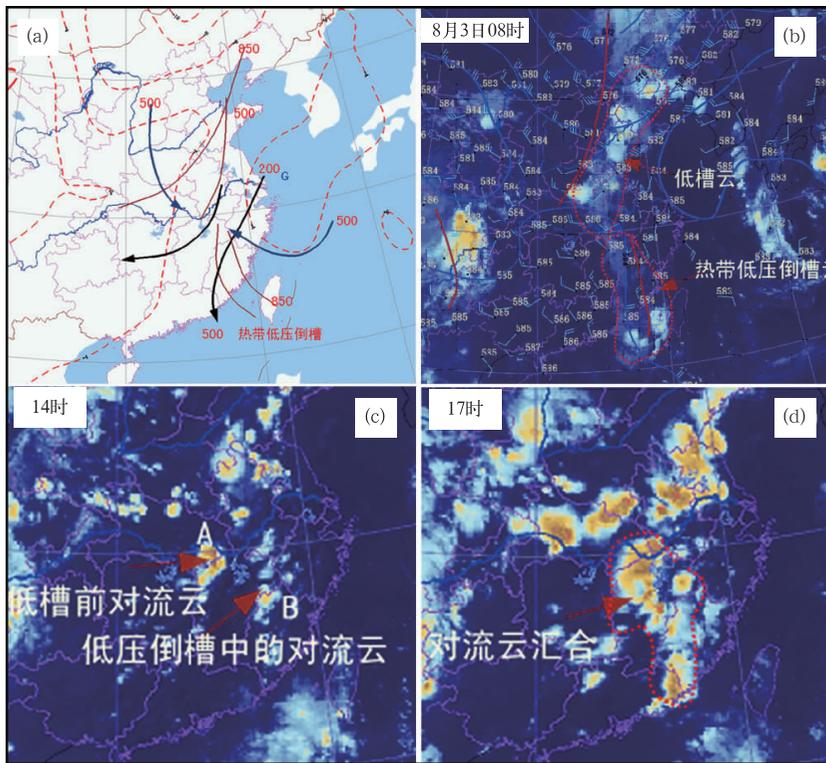


图 4 2004 年 8 月 3 日天气系统配置和红外云图

(a) 20 时天气系统配置(虚线为 500 hPa 等温线,间隔 2℃,黑细箭头为 200 hPa 流线;蓝箭头为 500 hPa 为流线), (b), (c) 和 (d) 分别为 08、14、17 时红外云图

Fig. 4 Weather system configuration and IR cloud pictures on August 3, 2004

(a) weather system configuration at 20:00 BT (dotted line denotes 500 hPa isothermal line, at 2℃ interval, the arrowed flow denotes obvious flow in different layers), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 08:00 BT, 14:00 BT, 17:00 BT 3 August 2004 respectively

2.6 冷锋前部的 MCC^[9]

这类云型有 3 例。江西 MCC 活动频率虽然较低,但造成的强对流天气是剧烈的,往往是大风、冰雹、强降水相伴出现。与覃丹宇等^[4]研究结果相似的是:MCC 发生对高温高湿能量的需求比一般暴雨云团更高,对流层低层有明显的天气系统如切变线、中尺度低涡存在。

2000 年 7 月 29 日是一次较为典型的 MCC 过程(图 6)。受 MCC 影响,江西中北部出现了 12 站次大风和 8 站次强降水。影响江西的 MCC 形成环

境条件有:(1)MCC 生成在 500 hPa 588 高压环流中和 200 hPa 南亚高压脊线东段附近,中高层的辐散抽吸作用有利于 MCC 发展。(2)925~700 hPa 有辐合线,但强度较弱;850~700 hPa 为偏北和西西北风之间的切变,925 hPa 切变南侧有 SW 风速 4~8 m·s⁻¹。(3)江西省北部处于高温高湿和强对流不稳定层结中:南昌 850 hPa 温度达 24℃,为全国最高;CAPE = 3090 J·kg⁻¹;K = 43℃;SI = -5.0;Δθ₈₅₀₋₅₀₀ 达到 16.5 K。(4)925 hPa 至地面存在明显的温度锋区,冷锋南移是大尺度抬升触发机制(图 6a)。

分析这次 MCC 形成过程的卫星云图发现, MCC 生成于一条数千千米的冷锋前部(图 6a), 09 时开始在赣东北地区有小于 100 km 的 β 中尺度的对流云团生成, 随后在其西侧不断有 γ 中尺度或 β 中尺度的对流云团生成, 即对流团有一个向南昌高

温中心的传播, 并快速合并加强。14 时合并后形成的对流云团冷云面积达到 MCC 强度(图 6b, c), 其长度达到 800 km 左右, 宽度 300 km 左右, 冷云覆盖了浙江大部、江西北部部和湖南东北部。之后, 由于冷空气南下, MCC 缓慢地向东南方向移动(图 6d),

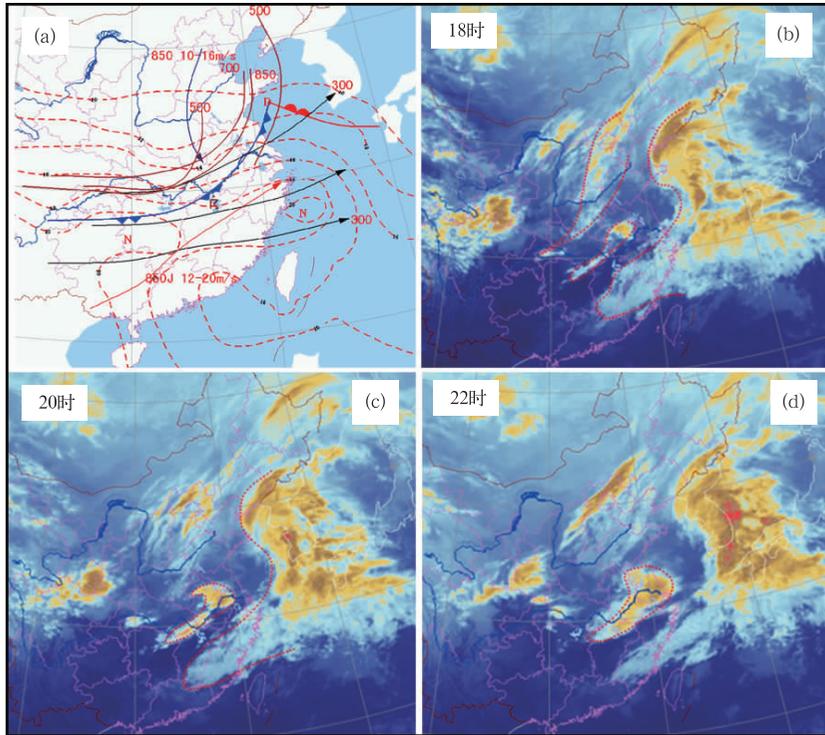


图 5 2009 年 3 月 21 日天气系统配置和红外云图

(a) 08 时天气系统配置 (红虚线为 850 hPa 温度线, 间隔 2°C; 黑细箭头为 300 hPa 流线;

红箭头为 850 hPa 西南急流; 蓝箭头为偏北气流),

(b), (c) 和 (d) 分别为 18、20、22 时红外云图 (红点为蛇线云系外轮廓)

Fig. 5 Weather system configuration and IR cloud pictures on March 21, 2009

(a) weather systems configuration at 08:00 BT (Red dotted line denotes 850 hPa thermal line, at 2°C interval. Black-slender arrow denotes 300 hPa flow line. Red arrow denotes 850 hPa southwest jet stream. Blue arrow denotes flow inclined to north), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 18:00 BT, 20:00 BT, 22:00 BT 21 March 2009 respectively (red dot denotes outline of clouds)

19 时进入福建省, 其东部和南部仍然保持强的亮温梯度, 在北侧和西侧出现了向外辐散的卷云毯, 并分裂多个低亮温中心, 这表明 MCC 强度开始减弱, 生命史达到 7 小时。

由此可见, MCC 在高温、高湿及强的对流不稳定条件下快速发展, 云图上表现为多个 β 中尺度的对流云团在高温中心和不稳定中心附近生成、合并和加强, 且移动缓慢。

2.7 高空低槽后强对流云型

长江以南这类强对流天气过程发生少, 区域性过程江西只出现过 2 次。但其突发性和致灾性强, 以冰雹、雷雨大风天气为主, 有时还会出现强阵风锋。强对流天气主要发生在赣北和赣中的偏东部地区。这类是 500 hPa 低槽后西北气流下及边界层辐合系统附近发生的强对流天气云型, 天气系统具有

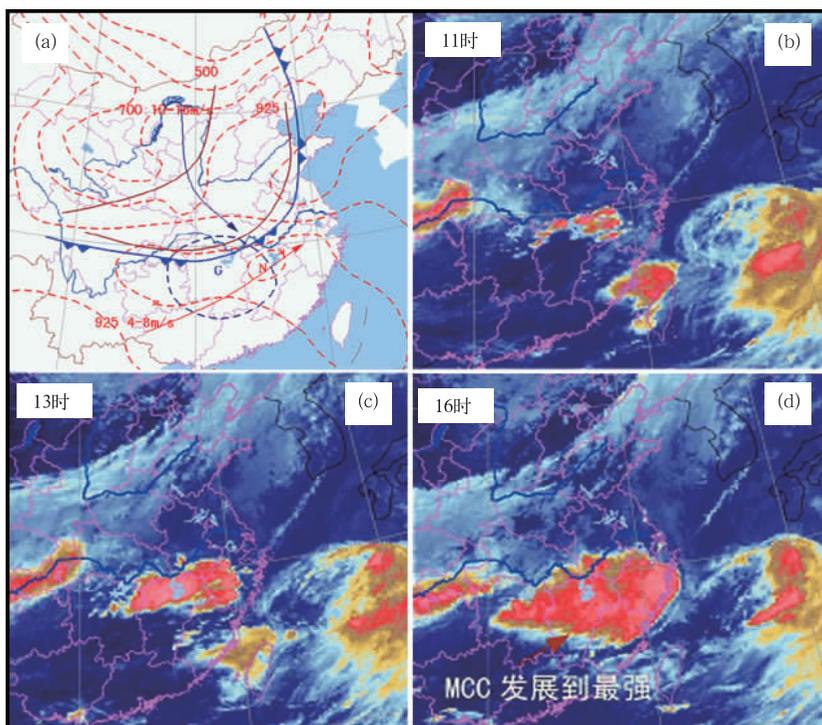


图 6 2000 年 7 月 29 日天气系统配置和红外云图

(a)08 时天气系统配置(红虚线为 850 hPa 温度线,间隔 2°C ;红箭头为 925 hPa 西南气流;蓝箭头为 700 hPa 偏北气流), (b), (c)和(d)分别为 11、13、16 时红外云图

Fig. 6 Weather system configuration and IR cloud pictures on July 29, 2000

(a) weather system configuration at 08:00 BT (Red dotted line denotes 850 hPa thermal line, at 2°C interval. Black-slender arrow denotes 200 hPa flow line. Red arrow denotes 850 hPa southwest jet stream. Blue arrow denotes 700 hPa flow inclined to north), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 11:00 BT, 13:00 BT, and 16:00 BT 29 July 2000 respectively

前倾结构。云图上江西省处在高空低槽云系后部或者是冷锋云系北侧晴空区,午后由于高层冷平流南侵与边界层暖平流形成差动温度平流,垂直温度梯度和风切变都较大,在 925 hPa 边界层辐合线或地面弱冷锋(副冷锋)附近产生强对流云带。

以 2006 年 6 月 10 日为例(图 7),当天下午到傍晚赣北 5 站次冰雹、7 站次 8~9 级雷雨大风,南昌市下了冰雹和强雷雨,最大 1 小时雨量达 60 mm,最大冰雹直径达到 15 mm。6 月 10 日 08 时(图 7a),高空 500 hPa 在我国东北地区有低涡,其南侧低槽经向度大,700 hPa 和 850 hPa 江西上空及上游均为北到西北气流。由于冷涡后部冷空气南下,500 hPa 长江中下游到江南地区有大片负变温,南昌 ΔT_{24} 达到 -4°C 。而在 925 hPa 切变线位于南京、安庆到长沙,其南侧暖平流明显,南昌和安庆 ΔT_{24} 分别为 2°C 和 4°C , $\Delta T_{850-500}$ 达 32°C 。从南昌 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南风和安庆 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 西北风之间

有较强切变线及辐合。值得注意的是,在切变两侧还存在明显的露点锋(干线),安庆和南昌露点差达到 26°C 。地面弱冷锋位于江淮地区,强对流天气就发生在干线南侧和弱冷锋附近。再次证实了边界层辐合系统是强对流天气的重要触发条件。

图 7 显示西风带低槽及主要锋面云系已经移出我国大陆,江南上空处冷平流中,但在东北地区有冷涡和低槽云系发展(以下称北支槽)。09 时(图 7b),北支槽的底部首先产生对流云团,造成安徽南部和浙江中北部强对流天气。14 时(图 7c),由于高空继续有干冷空气南下,水汽云图上表现河南到安徽的西部有暗区向南侵入(图略),在地面弱冷锋和 925 hPa 上的切变线、干线附近,再次有对流云团新生,16 时后逐步发展成带状,形成云顶温度达 -64°C 的中尺度对流系统 MCS,实况 15 时 50 分江西开始出现冰雹。19 时(图 7d),在高空西北气流的引导下, MCS 向东南方向移动,沿途再次造成安徽南

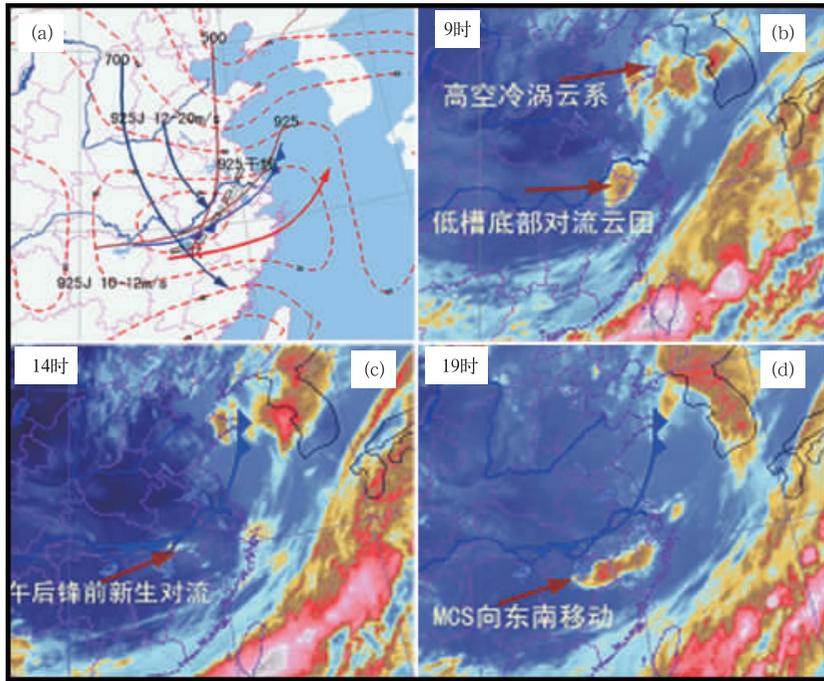


图 7 2006 年 6 月 10 日天气系统配置和红外云图

(a) 08 时天气系统配置 (红虚线为 850 hPa 温度线, 间隔 2°C ; 红箭头为 850 hPa 西南急流; 蓝箭头为 925~700 hPa 偏北气流), (b), (c) 和 (d) 分别为 09、14、19 时红外云图

Fig. 7 Weather system configuration and IR cloud pictures on June 10, 2006

(a) weather system configuration at 08:00 BT (Red dotted line denotes 850 hPa thermal line, at 2°C interval. Red arrow denotes 850 hPa southwest jet stream. Blue arrow denotes flow (925~700 hPa) inclined to north), (b), (c) and (d) IR cloud pictures at 09:00 BT, 14:00 BT, and 19:00 BT 10 June 2006 respectively

部和江西北部及浙江中北部大范围强对流天气。这是一次比较典型的高空冷涡和低槽后部, 冷空气补充南下引发地面锋生的锋前飏线过程, 主体影响浙江一带, 江西处在飏线西端尾部。

由此可见, 当有水汽云图上的“暗区”移入边界层辐合线附近时, MCS 便会生成并快速发展, 引发强对流天气。

2.8 热带气旋及其外围飏线云带

这类云型有 6 例, 占个例总数的 10.3%。热带气旋(低压)经过江西时, 常常出现暴雨到大暴雨天气, 但出现较大范围 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上短时强降水并不多, 其形势特征是: 有完整的闭合低压环流经过江西, 在云图上, 进入江西前为台风为实心结构; 移速缓慢(小于 $10\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$); 特别是当热带气旋(低压)通过赣江中下游和鄱阳湖地区时, 由于受大型水体下垫面的影响或和冷空气结合时, 往往降水加强, 出现雷暴和短时强降水。如: 2004 年第 14 号台风

云娜、2005 年第 13 号台风泰利和 2006 年第 8 号台风桑美及 2008 年第 8 号台风凤凰(图略)。

另外, 当江西还没有进入台风本体环流时, 有时会在其外围出现飏线过程。此类飏线在卫星云图上不易和台风螺旋雨带区别开, 但在雷达回波上有明显的特征。这类飏线的形成可能和台风外围倒槽及边界层存在 α 中尺度的辐合线有关。这类过程在江西省出现的次数少, 仅在 2006 年第 6 号台风派比安在江西南部 and 西部出现过一次外围飏线过程(图略)。由于这类云系更与台风暴雨关系密切, 我们将在台风分析文章中讨论。

3 结语与讨论

从上述 8 种天气形势下强对流天气云型特征分析可以看到, 强对流云型是在特定的动力和热力不稳定条件中形成的, 与低槽、切变、冷锋、东风波及热

带气旋,高空急流等天气系统密切相关,这些天气系统的强弱、结构和所处位置,决定了江西强对流天气云型的特点。

(1) 当冷空气在低层表现明显时,则易在锋面前部发展出线状、带状和 MCC(MCS);而当低层有明显的冷暖平流,中高层低槽经向度加大,则易形成斜压扰动云系,江西常常处在斜压扰动云系尾部(南端)而产生强对流天气,这类云系具有很好的预报指示性。

(2) 水汽云图上反映干冷空气的“暗区”和高空辐散状卷云下,地面辐合线附近极易引发 MCS 发展、合并,造成强对流天气。

(3) 夏季,副高边缘和东风波附近的 MCS 会在上午晴空增暖的强烈的地区得到发展,热带气旋及其相关的强对流云型则形成于结构密实的螺旋云系中。

另外,本工作对云型的物理意义涉及较少,今后还需加强这方面分析研究工作。

参考文献

[1] 方宗义,覃丹宇.暴雨云团的卫星监测和研究进展[J].应用气

象学报,2006,17(5):583-593.

- [2] 胡波,杜惠良,滕卫平,等.基于云团特征的短时临近强降水预报技术[J].气象,2009,35(9):104-111.
- [3] 朱亚平,程周杰,刘健文.一次锋面气旋云系中强对流云团的识别[J].应用气象学报,2009,20(4):428-436.
- [4] 覃丹宇,江吉喜,方宗义,等. MCC 和一般暴雨云团发生发展的物理条件差异[J].应用气象学报,2004,15(5):590-600.
- [5] 朱官忠,刘恭淑.华北南部产生中尺度对流复合体的环境条件分析[J].应用气象学报,1998,9(4):441-448.
- [6] 卢乃锰,吴蓉璋.强对流降水云团的云图特征分析[J].应用气象学报,1997,8(3):269-275.
- [7] 许爱华,李玉塔,郑婧,等.两次致灾雷电天气过程对比分析[J].气象,2008,34(4):71-78.
- [8] 马中元,许爱华,陈云辉,等.江西灾害性强雷电天气的雷达回波特征分析[J].自然灾害学报,2009,18(5):16-23.
- [9] 巴德 MJ,福布斯 GS,格兰特 JR,等.卫星与雷达图像在天气预报中的应用[M].北京:科学出版社,1998:312-342.
- [10] 许爱华,应冬梅,郭艳,等.“2006.04.11-12”罕见的强风雹和暴雨过程分析[M]//2006年灾害性天气预报技术文集.北京:气象出版社,2007:128-141.
- [11] 许爱华,詹丰兴,刘晓晖,等.强垂直温度梯度条件下强对流天气分析与潜势预报[J].气象科技,2006,34(4):376-390.