

杜倩,覃丹宇,张鹏. 2013. 一次西南低涡造成华南暴雨过程的 FY-2 卫星观测分析. 气象, 39(7):821-831.

一次西南低涡造成华南暴雨过程的 FY-2 卫星观测分析^{*1}

杜倩¹ 覃丹宇² 张鹏²

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 国家卫星气象中心, 中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室, 北京 100081

提 要: 2008年6月11—13日华南发生了一次西南涡暴雨天气过程, 其中, 广西区有6个台站11日20时至12日20时的降水打破6月雨量历史纪录, 分别为东兰306 mm、环江218 mm、灵川270 mm、桂林251 mm、柳城177 mm和田林163 mm。采用FY-2卫星云图资料、NCEP再分析资料、常规观测资料及地面降水资料, 对这次强降水过程的暴雨云团及其影响系统和环境场作了分析研究。结果表明: (1) 红外和水汽图像配合, 可以反映西南低涡发展东移过程中低层辐合带云系、高空扰动云系和弱冷空气的不同作用, 云图的演变过程可以刻画强降雨发生时低层辐合、高层辐散的气流结构。(2) 本次广西特大暴雨过程可分为两个阶段, 第一阶段主要是西南涡东南侧的暖区降水, 对流云团分布范围较广, 中尺度对流系统具有涡旋状云系结构; 第二阶段有弱冷空气南下, 在边界层辐合线的组织下, 中尺度对流系统组织成线状云带, 南移消失。过程中, 无论是红外云顶亮温随时间的演变, 或者是红外与水汽亮温差的时间演变均可以反映云团的演变过程, 并与强降水有较好对应关系。在局地要素满足暴雨发生的必要条件下, 监测多通道亮温的急剧下降, 可作为重要指标提前2~3 h预警强降雨的发生。(3) 西南低涡暴雨云团出现在西南涡东南和南侧的南风盛行区域, 云团发展伴有低空急流加强, 同时, 云系发展与500 hPa正涡度平流的贡献有关。

关键词: 西南低涡, 暴雨, FY-2 卫星云图

中图分类号: P458

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.07.003

Observation and Analysis of a Southwest Vortex Rainstorm in Southern China Using FY-2 Satellite Data

DU Qian¹ QIN Danyu² ZHANG Peng²

1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

2 Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites, China Meteorological Administration (LRCVES/CMA) National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081

Abstract: During 11–13 June 2008, one south vortex (SV) rainstorm occurred in South China, in which the 24-h precipitation from 6 stations in Guangxi broke the historical record of daily precipitation in June, and they are: Donglan (306 mm), Huanjiang (218 mm), Lingchuan (270 mm), Guilin (251 mm), Liucheng (177 mm) and Tianlin (163 mm). Based on the FY-2C Infrared (IR) cloud imagery, NCEP reanalysis data, the conventional observation data and surface precipitation data, this paper analyzes the rainstorm cloud cluster, the impact system and ambient fields of this severe rainfall process. The results show that: (1) the infrared and water vapor images can reflect the different effects of the cloud system in mid- and low-level convergence zone, the upper-air disturbed cloud system and weak cold airs when the SV

* 国家自然科学基金面上项目(40975023)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY20110644)共同资助

2012年5月7日收稿; 2013年2月27日收修定稿

第一作者: 杜倩, 主要从事卫星气象学方向研究. Email: duqian2080@126.com

通信作者: 覃丹宇, 主要从事卫星遥感应用研究. Email: qindy@cma.gov.cn

moves eastward. The evolution process of the images depicts the flow pattern of the low level convergence and high level divergence when the rainstorm occurs; (2) This SV rainstorm in Guangxi has two stages in its life cycle. In the 1st stage, the rainfall forms in the warm side of the SV and the convection cloud clusters spread widely with rotation structures; in the 2nd stage, when the weak cloud airs move down from the north, the mesoscale convective system (MCS) of the SV becomes band-shaped and dissipates. During the process, both the temporal evolutions of the infrared brightness temperature (TBB) and the TBB difference between the infrared and water vapor images are well corresponding to the evolution of the severe precipitation. By monitoring the rapid drop of multi spectral TBB, the severe rainfall warning could be issued 2–3 h in advance; (3) the rainstorm cloud cluster appears in the areas in the southeast and the south side of the SV, where the southerly wind prevails. Meanwhile, the developing of the cloud cluster is accompanied by the intensification of low-level jet and the contribution of the positive vorticity advection at 500 hPa.

Key words: southwest vortex, rainstorm, FY-2 satellite cloud imagery

引 言

西南低涡是我国南方最重要的暴雨天气系统之一。针对西南低涡的研究,一直是气象学家和预报员关注的焦点,并且,已经取得了许多重要的成果。卢敬华(1986)对西南低涡的形成、发展、结构与降水等方面都进行了全面的概括,陈忠明等(2004)对 21 世纪初的西南低涡研究成果也做了总结,并指出了存在问题,何光碧(2012)指出了对西南低涡的云系特征和雷达回波特征的认识等方面研究存在的不足。总的来看,西南低涡是我国青藏高原东部特殊地形与大气环流共同作用的结果,西南低涡的发展和东移,往往会造成暴雨和大暴雨,甚至是特大暴雨天气,导致洪涝灾害。

从气候统计看,西南低涡主要影响长江流域,对华南地区的直接影响较少(党建涛,2007),但研究发现,西南低涡的发展和东移同样会造成华南大暴雨天气过程(刘国忠等,2007),甚至造成华北地区的暴雨过程(陈艳等,2006)。林开平(1996)分析了 1994 年 6 月中旬广西大暴雨过程,认为暴雨天气主要出现在西南低涡东部及其暖式切变线上,大暴雨中心受低涡区内的 β 中尺度系统支配,强降水中心出现在近地层 β 中尺度气旋附近。

尽管对于西南低涡的研究成果很多,但在卫星监测分析方面相对较少,尤其是以卫星资料为主进行的深入分析研究就更少。高时空分辨率的静止卫星可以用作识别大气中正在发生的动力和热力过程,可以监测小到单个对流云团、大到行星尺度天气

系统的发生、发展和演变(巴德等,1998),因此,在揭示诸如中尺度对流复合体(MCC)这类一度令预报员不解的夜间降水现象时获得了成功,并引起延续至今的研究热潮(Maddox,1980,Joshua et al,2009)。现代卫星遥感技术突飞猛进,在日常天气预报业务中正发挥越来越重要的作用,对西南低涡的卫星观测研究也理应体现其应有的价值。

2008 年 6 月 11—13 日,在国家重点基础研究发展计划(973)“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究”项目组织的南方暴雨野外试验(SCHeREX)期间,捕捉到华南发生的一次西南涡暴雨天气过程,其中,广西区有 6 个台站 11 日 20 时至 12 日 20 时的降水打破 6 月日雨量历史纪录。陈涛等(2011)分析了这次过程中西南涡的发生发展机制,积云对流加热与正位涡异常之间的正反馈过程对西南低涡的快速发展起到了重要的作用。而本文将利用 FY-2 卫星云图资料、NCEP 再分析资料、常规观测资料及地面降水资料,对这次强降水过程的暴雨云团及其环境场作分析研究,特别是从卫星观测的角度,进一步理解西南低涡的卫星遥感特征,为天气分析和预报提供有用的线索。

1 天气概况

6 月 10 日受高原槽的影响,西南地区东部出现大范围强降水,11 日西南涡生成,云南东部、广西北部大暴雨,12 日西南涡东移发展,广西北部和东部、湖南南部、江西南部、广东北部和中北部和沿海局地大暴雨,其中广西中北部和珠江口特大暴雨。13 日

强降水带东移,受北面东移高空槽影响,雨带转为西南—东北向,大暴雨主要位于华南沿海、广东北部、江西北部 and 南部的部分地区。14 日降水减弱。广

西地区的强降水主要发生在 11—13 日之间,6 个台站 11 日 20 时至 12 日 20 时(北京时)的降水打破 6 月日雨量历史纪录(表 1)。

表 1 2008 年 6 月 12 日日雨量(20 时至 20 时)破纪录的站点

Table 1 Stations with daily precipitation breaking historical records on 12 June 2008

站名	日雨量及 出现日期	6 月历史最大日雨量 及出现日期	全年历史最大日 雨量及出现日期
东兰	306.0 mm (2008 年 6 月 12 日)	270.4 mm (1987 年 6 月 30 日)	270.4 mm (1987 年 6 月 30 日)
环江	218.0 mm (2008 年 6 月 12 日)	141.4 mm (1994 年 6 月 14 日)	182.6 mm (2007 年 8 月 24 日)
灵川	270.0 mm (2008 年 6 月 12 日)	226.6 mm (1964 年 6 月 19 日)	250.7 mm (1974 年 7 月 17 日)
桂林	251.0 mm (2008 年 6 月 12 日)	230.3 mm (2002 年 6 月 16 日)	255.9 mm (1974 年 7 月 17 日)
柳城	177.0 mm (2008 年 6 月 12 日)	162.8 mm (1970 年 6 月 26 日)	207.1 mm (1987 年 5 月 20 日)
田林	163.0 mm (2008 年 6 月 9 日)	153.9 mm (2007 年 6 月 4 日)	264.0 mm (1959 年 7 月 2 日)

2 西南低涡发展移出的云图特征

迄今,西南低涡发展移出的云图特征并没有被很好地总结。利用 FY-2C 高时间频次的多通道云图,分析西南低涡发展移出过程中相应的云系演变特点,可帮助理解其物理过程。

2.1 FY-2 红外图像特征

图 1 是西南低涡发展移出过程当中不同阶段的 FY-2C 红外云图。由于红外图像反映了目标物的温度特性,可定性分析不同高度云的特征。比如,冷的云顶在红外图像上比较白亮,而暖的地表则表现为近黑色,一些高度较低的暖云则为暗灰色。

从图 1a 可以看到,2008 年 6 月 11 日 06:00 UTC,江南到华南沿海有大范围结构松散凌乱的云系存在,表明这一地区低层维持有弱的辐合带和静止锋,西南低涡在发展移出之前源地主要在稳定的中低暖云(图中 A 处),形态为近圆形,直径超过 5 个经纬距,其上有快速移动的高空卷云。此时西南低涡刚刚形成,低涡中心位于 A 的西南部,即 500 hPa 高空槽底部的弯角处。在西南低涡东部 C 处和南部 B 处,对流减弱形成的高云指示高层气流的流出为偏南方向,B 处是东北风,C 处是西北风。12:00 UTC(图 1b),西南低涡开始发展,D 处虽位于 500 hPa 高空槽前,但云区中呈现一个黑灰色的

“楔形”缺口,表明低层有弱冷空气入侵,这可能是与辐合带云系的南北振荡有关。此时,与低涡联系的中低暖云北边界收缩到 30°N 以南,从 A 区透过薄的高云仍可以分辨出暗灰色的稳定云区。而 B 处开始有对流云团发展,云团边缘整齐,顶部还没有被强烈辐散形成的高云模糊。C 处受快速东移的高云影响,指示气流运动方向开始由偏北气流转为偏西气流,西南低涡开始随高空槽云系移动。22:00 UTC(图 1c),高空槽云系覆盖 D 处的黑灰色的“楔形”缺口,西南低涡继续随高空槽云系向东南方向移动。A 处可清晰看到西南低涡所形成的近圆形暖云,B 处对流云团爆发,C 处高云量增加,并且高云的移速加快。通过云图动画可以看到,A—C 为偏西气流,A—B 为偏北气流,因此,在 A—C 和 A—B 之间流线为“喇叭口”状,表明高空出现强烈的辐散场,为对流的发展和维持提供了有利的高层辐散条件。12 日,03:00 UTC 开始,在高空槽云系的引导下,其后部有新的冷空气补充,D 处的黑灰色缺口不断扩大且颜色加深,表明干冷空气持续南下,红外云图上甚至可分辨出高原东部的山川河流地物特征。至 14:00 UTC,图 1d 中 D 区的高空扰动云系已东移到了 110°E 附近(A 的北部),低涡随高空槽云系移至广西东部,A 区的低涡暖云形状已被破坏,稳定的中低云趋于消散,C 区的高云量继续增加,浓密的卷云往往预示中尺度对流云团发展到了成熟和消亡期,A—C 和 A—B 之间形成的高空辐散场也东移,

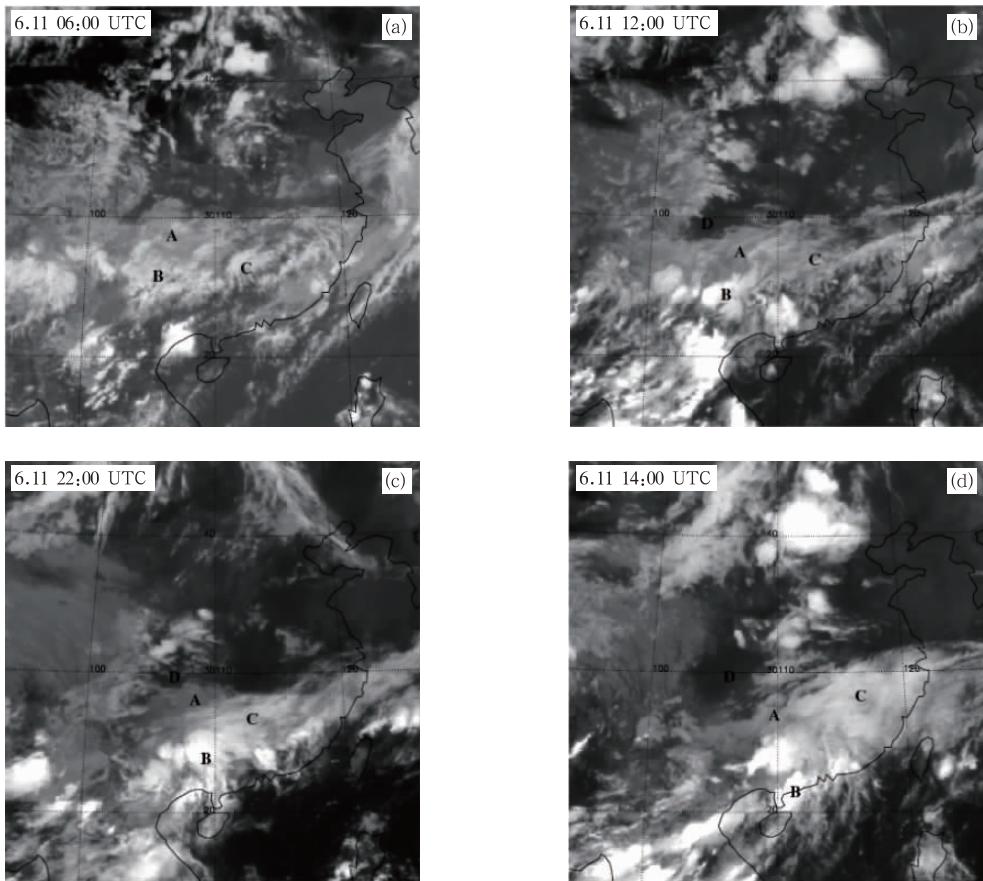


图 1 2008 年 6 月 11—12 日 FY-2C 红外云图显示的西南低涡演变过程
(图中字母说明见正文)

Fig. 1 The evolution process of southwest vortex shown by FY-2C infrared images during 11—12 June 2008

对流云的活跃区域转到了广东省。

同样的分析方法也适用于中低层暖云(暗灰色)。借助云图动画的手段,可以看到从南海北部向华南地区有低云的移动,同时,与西南低涡相关的低云也向华南地区移动,这两种相向的运动表明华南地区低层存在气流的辐合带。配合高空卷云指示的高层气流辐散得知,强降雨发生过程,华南地区存在低层辐合、高层辐散的有利配置。

红外云图分析结果表明,西南低涡发展东移影响华南并造成暴雨过程有几个基本要素:(1)江南到华南沿海有大范围结构松散凌乱的弱的辐合带云系存在;(2)高原东部靠近西南低涡源地有高空扰动云系东移;(3)冷空气南下。

2.2 FY-2 水汽图像特征

水汽图像上,特殊的水汽型可反映出大气中上部的环流情况(Weldon 等,1994)。图 2 为西南低涡

发展移出过程当中不同阶段的 FY-2C 水汽图像,图中叠加了 NCEP 再分析的 500 hPa 风场和高度场等值线。可以看到,在西南低涡开始发展向偏东南方向移出之前,主要的水汽暗带呈纬向分布,边界位于 30°N 附近(图 2a 和 2b),500 hPa 高度场和风场为“L”型,弯角处即西南低涡的位置,江南到华南上空盛行偏西气流。伴随高空槽加深和东移,大气环流有所调整,经向度加大。水汽图像上表现为暗区持续由东北向西南方向发展,范围扩大,颜色变暗,广西大部此时位于高空槽前,受西南气流影响(图 2c)。随后,高空槽继续东移到华南中部,广西已转受槽后偏北气流控制,水汽暗带进一步延伸到广西中部,强降雨过程趋于结束(图 2d)。

从水汽图像上暗区的演变情况看,高空环流的改变可通过分析暗区边缘的走向,以及暗区范围和颜色的变化来获知,暗区一般与干冷的下沉气流有关。

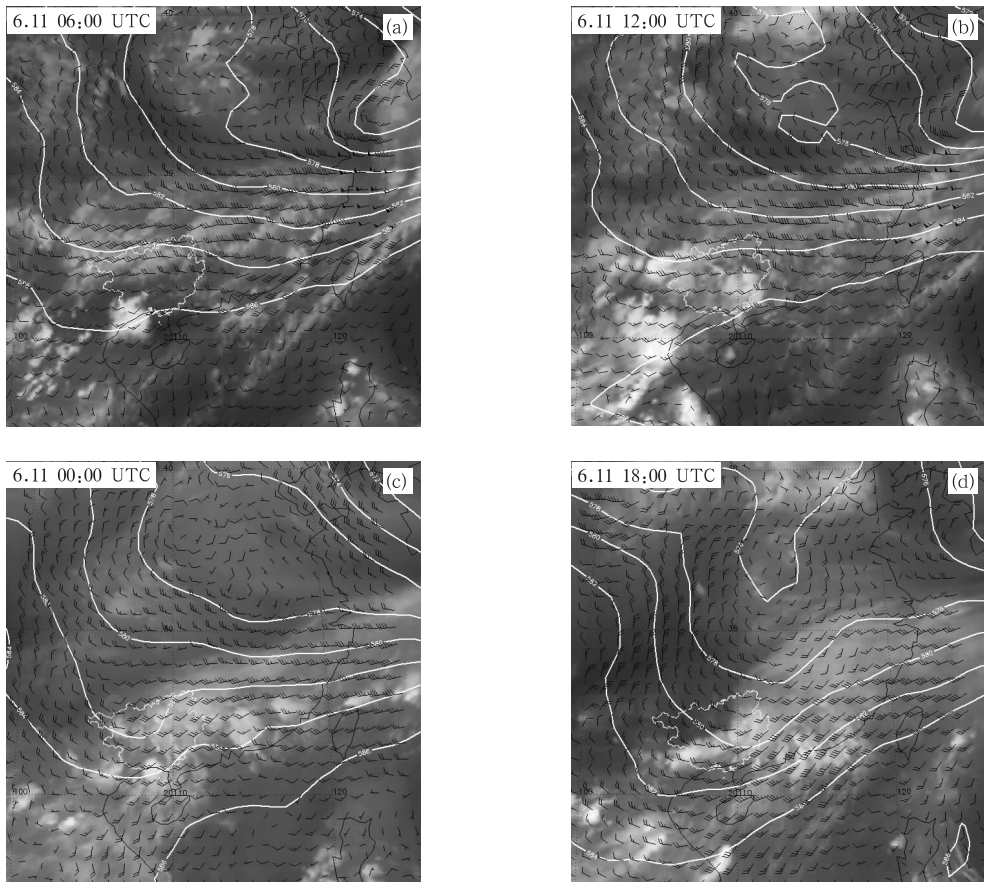


图 2 2008 年 6 月 11—12 日 FY-2C 水汽图像演变过程

(图中叠加了 NCEP 再分析的 500 hPa 风场和高度场等值线,间隔为 2 dagpm)

Fig. 2 The evolution process of water vapor images during 11—12 June 2008

(The images stacking wind field and contour, the interval is 2 dagpm)

2.3 高空短波槽对西南低涡的引导作用

青藏高原东移的高空短波槽对西南涡加强和东移的作用从红外云图中可看出,高空短波槽云系对西南低涡的加强和东移有一定的影响,图 3 为红外云图叠加 350 hPa 的高度场、风场与槽线,850 hPa 的高度场及等高线可用于确定西南低涡的位置与强度变化。

如图 3 可见,11 日 06:00 UTC(图 3a),高空短波槽云系位于青藏高原上空,此时西南涡刚刚形成,代表低涡的 850 hPa 上的 1460 gpm 等值线位于短波槽的下游。18:00 UTC(图 3b),350 hPa 高空槽线东移至 100°E 以东,槽线与高空槽云系位置有一定的偏差,但基本走向一致,1460 gpm 等值线范围缩小,中心位于 105°E 附近,西南低涡开始随高空槽云系移动。至 12 日 00:00 UTC(图 3c),高空槽云系迅速加深并略向东南向移动,西南低涡随之东南移并增强,闭合等值线值变为 1450 gpm。至 12:00

UTC(图 3d),高空槽云系已东移到了 110°E 附近并继续加深,槽前引导气流逐渐由东南向转为偏东向,低涡继续增强,闭合等值线值降至 1430 gpm,并随高空槽云系东移至广西东部。

在这一过程中,西南低涡始终随高空短波槽的变化而变化,可见高空短波槽对西南低涡的东移和增强有重要的引导作用。

3 西南低涡影响下的对流活动

3.1 对流云团的活动

分析红外 1 通道云图上中尺度对流云团的活动情况,可以看到,在西南低涡发展东移过程中,中尺度对流云团主要活跃于低涡的东南侧(图 1)。利用广西区域的 FY-2C 红外 1 通道逐时图像,组成时序图(图 4),其中以灰色等值线(-58℃)的变化代表

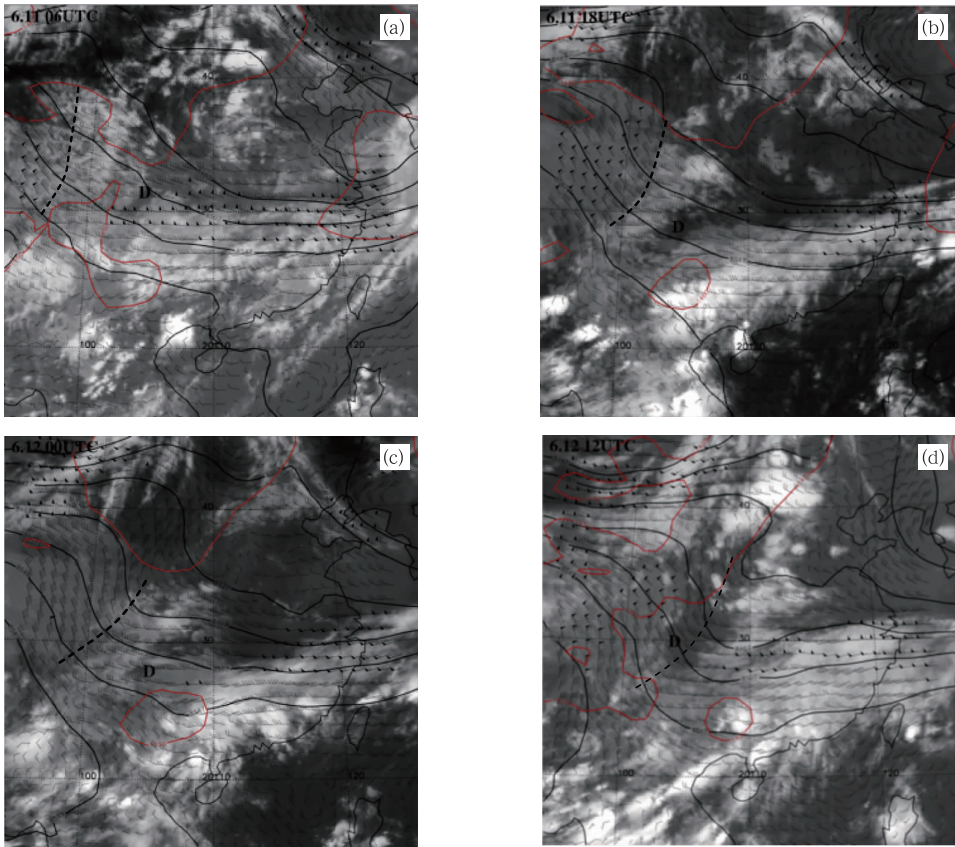


图 3 天气形势与红外云图叠加图

[FY-2C 红外云图叠加 350 hPa 等高线(实线)、槽线(长虚线)、风矢量和 850 hPa 等高线(红色虚线)]

Fig. 3 The superposition chart of FY-2C infrared images and 350 hPa contour (solid line), trough line (long dashed line), wind vector and 850 hPa contour (red dashed line)

对流云团的发展变化,进一步了解中尺度对流云团的活动情况。从图 4 中可以看出,11 日下午(08:00 UTC),热对流在广西南部周边开始发展,但系统性的中尺度对流云团则是从广西西北部和贵州省交界处生成和发展(10:00 UTC),随后向东南方向移入广西。14:00 UTC 至 17:00 UTC,造成广西中部和北部自西向东的对流云团爆发(云团 A)。从 18:00 UTC 到 23:00 UTC,新的对流云团 B 发展起来并覆盖了广西中部大部分地区,这一过程对应着 6 月 11 日贵州南部、广西西北部至广西中部的强降水,部分地区 12 小时降水量超过了 100 mm(图略)。12 日 00:00 UTC,广西西部有新的对流云团 C 发展起来,并在发展过程中不断东移至广西中部,04:00—10:00 UTC,在广西中部可以清晰看到中尺度云系的涡旋结构,表明中尺度气旋是这次广西北部大范围的强降水过程的主要组织者,部分地区 12 h 降水量超过了 100 mm,东兰、桂林等地 12 h 降水量超过了 200 mm(图略)。12 日 01:00 UTC,

广西中部有对流云团 D 生成并迅速东移,造成桂林地区连续两个时次降水量超过了 $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,此后,08:00 UTC 开始广西中部又有新的对流云团 E 生成,并引发新一轮的降水。整个过程中,暴雨云团基本上为尺度较小的 γ 或 β 中尺度系统,单个云团生命史短,发展迅速,对流云团生消频繁。以东兰为例,通过对流云团与降水的比对分析,其 24 h 之内主要受图 4 中 A、B 和 C 这 3 个对流云团的影响,导致产生 306.0 mm 的单日历史最大降雨量。12 日 14:00 UTC 以后,冷空气南下,涡旋云系转变成中尺度云带,并持续南移,过程趋于结束。

因此,西南低涡移出造成广西特大暴雨过程可分为两个阶段,第一阶段主要是西南涡东南侧的暖区降水,对流云团分布范围较广,中尺度对流系统具有涡旋状云系结构;第二阶段有弱冷空气南下,在边界层辐合线的组织下,中尺度对流系统组织成线状云带,南移消失。

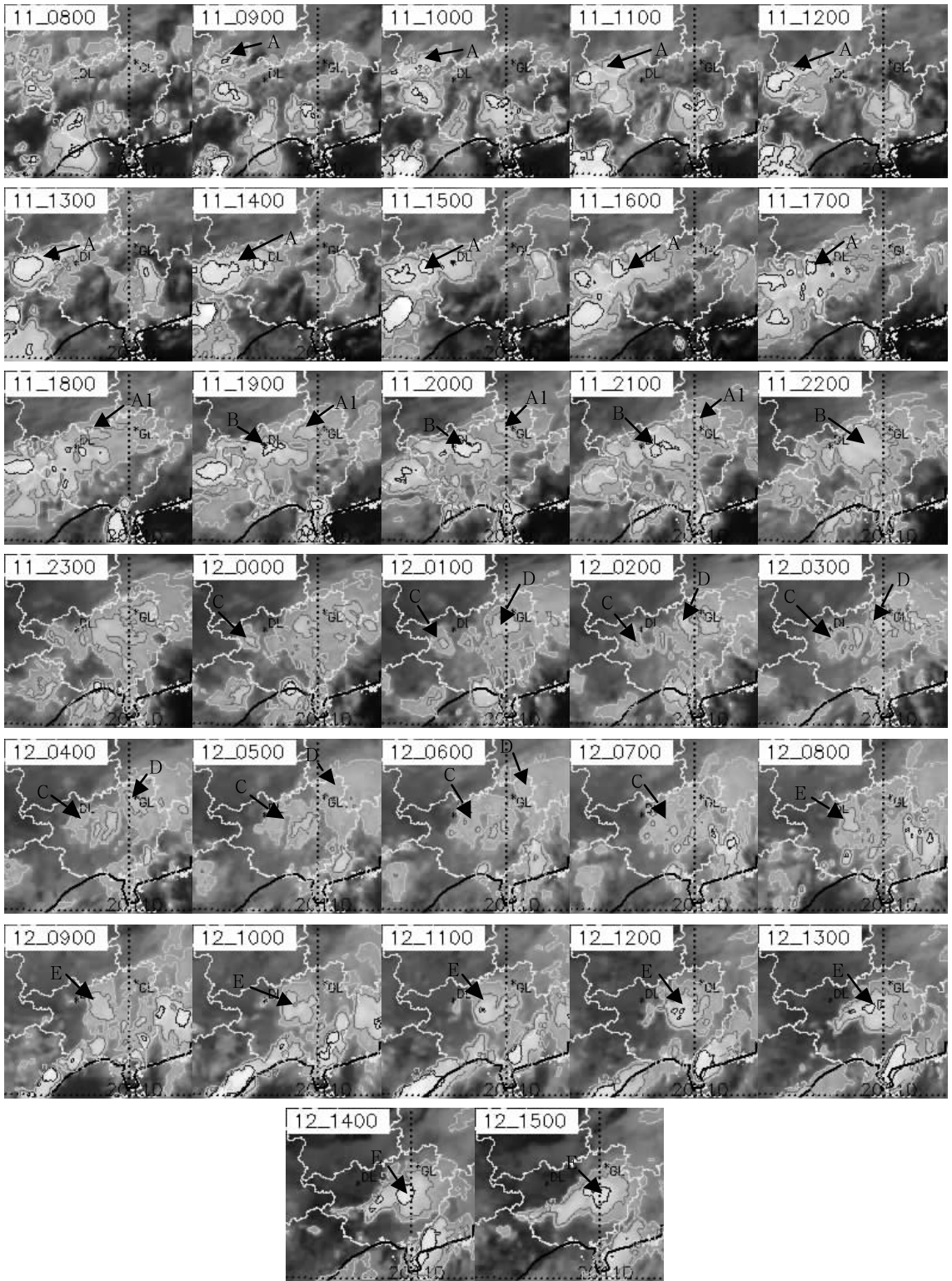


图 4 2008 年 6 月 11—12 日广西区中尺度对流云团活动时序图
 (TBB 等值线, 黑色: -75°C , 灰色: -58°C , 浅灰: -42°C)
 Fig. 4 Sequence diagrams of mesoscale convective clouds
 during 11—12 June 2008 in Guangxi
 (TBB isolines, black: -75°C , gray: -58°C , light gray: -42°C)

3.2 局地强降雨时段多通道亮温时间演变

通过分析 FY-2C 多通道云顶亮温与 1 h 降雨量的关系,可以帮助了解西南低涡发展东移造成华南暴雨的局地对流特点。图 5 是桂林站 1 h 降雨量与 FY-2C 多通道云顶亮温的时间演变图(图中柱形表示 1 h 降雨量,黑色实线是 FY-2 红外 1 通道云顶亮温,虚线代表水汽亮温,点线是 4 通道亮温),从图中可以看到以下几个特点:

(1) 监测快速发展的对流活动,可以提前 2~3 h 预警强降雨。桂林站在 11 日 17:00 UTC 开始测到 0.4 mm 的地面降水,17:00—18:00 UTC,1 h 降雨量加大到 4 mm,此后,降雨量逐步增大。值得注意的是,从 14:00—17:00 UTC,即降雨发生前 2~3 h,对流云快速发展,表现为红外 1 通道亮温急剧下降,14:00—15:00 UTC,亮温下降了约 18℃,15:00—16:00 UTC,下降了约 10℃,16:00—17:00 UTC,下降了约 27℃,17:00—18:00 时,亮温下降了约 12℃。并且,16:00 UTC 以后,红外亮温开始低于水汽亮温(17:00 UTC,红外是 -76℃,水汽是 -62℃)。由于水汽通道探测的是对流层中上部的水汽信息,那里的水汽高度高、温度较低,这个过程物理解释是,在对流开始发展的阶段,对流云顶不高(较暖),水汽亮温低于红外云顶亮温,但随着对流的快速发展,对流云顶迅速抬高,云顶亮温降低;终于到某一时刻达到了水汽平均高度,和水汽亮温相等;如果对流云继续发展,云顶更高,云顶亮温更低,必然使得红外亮温开始低于水汽亮温。图 5 提示,在单站要素(温、压、湿、不稳定条件等)满足强降雨条件时,如果看到红外云顶亮温急剧下降(如 1 h 降温 10℃以上),同时,红外云顶亮温接近并低于水汽亮温,往往是对流快速发展的前兆,不久将发生强降雨。这一特征符合“先有云,后降雨”的规律。

(2) 多通道亮温演变反映了对流活动情况,与降水有密切联系。无雨阶段,红外 1 通道和 4 通道亮温差较小,对流发展起来后,两者亮温差大。在整个对流性降水期间,红外 1 通道云顶亮温低于水汽亮温,红外 4 通道亮温高于水汽亮温,并且,红外 1 通道云顶亮温最低可达 -93℃,多数时候也能达到 -60℃以下。对桂林站而言,红外 1 通道和水汽通道亮温出现多峰结构,对照图 4,表明强降雨过程可分成几个阶段,分别与不同对流云团的生消有关。对于红外 4 通道,其波段中心波长约为 3.7 μm,包含

了反射太阳辐射及地球和云所发射的辐射,辐射属性比较复杂。在某种意义上,红外 4 通道既可作为可见光通道(日间),又可作为红外长波通道(夜间)。研究表明,红外 4 通道反照率的增强与风暴云顶的属性有关(Sevčák et al, 1991)。在图 5 中可以看到,红外 4 通道云顶亮温在 11 日 17:00 UTC 之前与 1 通道的亮温都是下降的,此后到 12 日 00:00 UTC 基本不变,但 12 日 00:00—08:00 UTC 的强降雨时段,红外 4 通道云顶亮温升高,与 1 通道的亮温变化相反。红外 4 通道随降雨过程的变化与云滴尺度和相态的变化有关,变化特征与王凌霄等(2011)的结果一致。本文暂不讨论红外 4 通道所反映的云顶相态变化,如果要进一步分析,则需要对红外 4 通道的反射和辐射作用进行分离。

(3) 对流降水时间持续较长,形成突破历史极值的累计降雨量。从 6 月 12 日 12:00 UTC 的 24 h 累计降雨量看,桂林站的雨量是 251 mm,超过了历史同期的最大降雨量(图 4 中的黑色五角星 GL 所标示的位置为桂林站的位置)。但从 1h 降雨量分布看,从 11 日 19:00 UTC 到 12 日 20:00 UTC,超过 20 mm·h⁻¹ 的次数有 5 次,最大是 12 日 07:00 UTC 的 25 mm·h⁻¹,而超过 10 mm·h⁻¹ 的次数有 12 次。可以说,较强降雨持续时间长是造成累计降雨量超历史同期的主要原因。对比图 4 和图 5 可见,11 日 16:00 UTC 对流云团 A 逐渐减弱并东扩至桂林上空,其间有小的对流云团 A₁ 爆发,造成了桂林 17:00—21:00 UTC 的降水,至 22:00 UTC,对流云团 B 东移至桂林附近,降水持续发生,对流云团 A 和 B 造成了 11 日夜间至 12 日上午的降水,期间有一个时次降水量超过了 20 mm·h⁻¹,因为

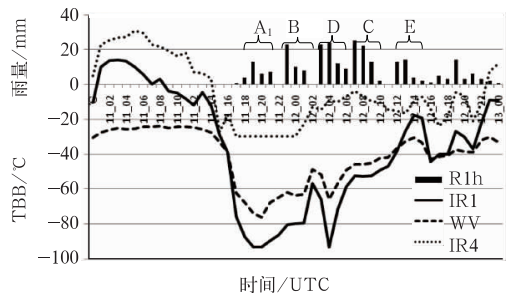


图 5 2008 年 6 月 11—13 日桂林站 1 h 降雨量与 FY-2C 多通道亮温时间演变图

Fig. 5 1 h precipitation in Guilin and the temporal evolution of FY-2C multi spectral brightness temperature during 11—13 June 2008

对流云团在东移中逐渐减弱,这一阶段的降水没有达到最强,12日01:00 UTC,对流云团D生成并引发连续两个时次降水量超过 $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水,05:00 UTC开始对流云团D逐渐减弱东移,对流云团C逐渐扩至广西东部,造成了07:00—08:00 UTC两个时次的强降水,之后对流云团C逐渐减弱,08:00 UTC对流云团E生成,12:00 UTC左右开始影响桂林地区,造成了新一轮的降水,14:00 UTC之后桂林站降水逐渐减弱。

4 低涡暴雨的有利环境条件

4.1 低空急流

陶诗言等(1980)在论述中国的暴雨时就指出我国暴雨天气过程多数伴有低空急流。通过在FY-2C红外云图上叠加NCEP再分析的850 hPa高度

场和风场的方式,可以分析广西特大暴雨过程中西南低涡的发展变化、中尺度对流云团的活动与低空急流演变之间的关系。可以看到,在西南低涡发展之前,广西低空盛行西南风,风速不到 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。西南低涡发展初期,850 hPa开始出现 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速线,位于148 dagpm的闭合低值中心的东南侧,风向转变成偏南风(图6a和6b)。随着低涡的发展,等高线闭合线降低到144 dagpm,低涡的东南象限气压梯度增大,低空急流风速 $>18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图6c)。这个阶段正是对流云团最活跃的时期,伴随有低空急流加速。而在西南低涡发展东移的阶段,低空急流带也随之东移,并与降水区域对应良好,西南低涡发展东移的后期,等高线低值区范围扩大, $>12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的等风速线范围也扩大,系统的尺度变大,对流活动反而变弱了(图6d)。

可见,在西南低涡发展东移造成广西强降雨过程中,低空急流加强可能是中尺度对流系统形成和

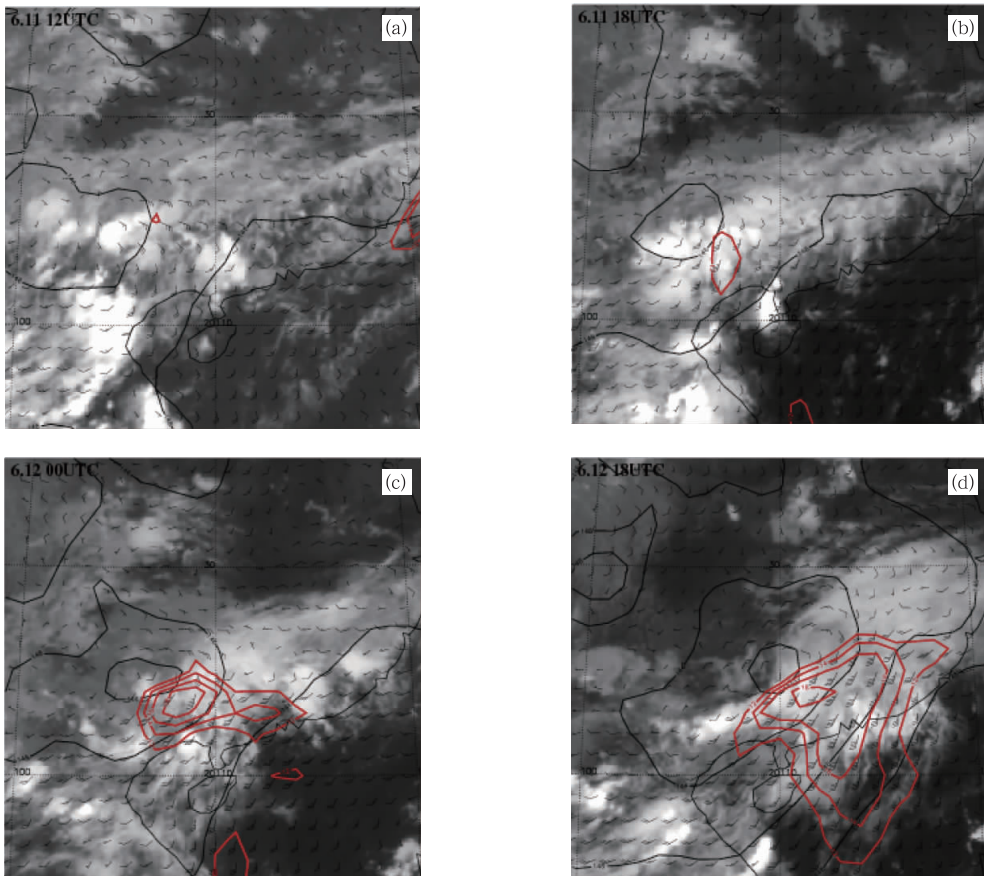


图6 2008年6月11—12日FY-2C红外云图和850 hPa高度场(黑色实线)、 $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 等风速线(红色实线)叠加图

Fig. 6 The superposition chart of FY-2C infrared images during 11—12 June 2008 and 850 hPa height field (black solid line) and $\geq 12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ isotach (red solid line)

维持的机制之一。

4.2 高空正涡度平流相关的上升运动

由 P 坐标的 ω 方程可知,当涡度平流随高度增加时,有上升运动,反之则有下沉运动。通常在地面低压中心附近,涡度平流很小,而其上空高空槽前为正涡度平流,符合涡度平流随高度增加的条件,于是有上升运动。在地面高压中心,涡度平流也很小,其上空高空槽后为负涡度平流,显然,涡度平流随高度减小,因此有下沉运动。

从图 7 可以看到 2008 年 6 月 12 日 00:00 UTC 低层西南涡和高空槽的配置情况。在 950 hPa 等压面上,贵州南部、云南东部和广西西北部有一个 72 dagpm 闭合低值中心,有气旋性环流与之对应,中心位于贵州和广西交界处。高空 500 hPa 等压面上,低层气旋中心上空有一明显高空槽。可见,低层气旋高层槽的配置是这次过程华南西部的天气形势特点。另外,在 FY-2C 可见光图像上可以看到,西南涡盘踞的区域覆盖了大片混合云,中低层状云区与西南涡的对应关系较好,尤其是北部边缘,具有较整齐的圆形边缘,而位于涡旋中心附近是对流云活跃区,可以看到对流云顶起伏的纹理。

2008 年 6 月 12 日 00:00 UTC,高空 500 hPa 小槽位于贵州和广西西北部,此时槽前正涡度平流较小,正涡度平流中心分布零散,槽后有负涡度平流(图 8a)。到了 12:00 UTC,与高空 500 hPa 槽线位置相对应的涡度平流零线东移到了广西中东部,

槽前正涡度平流量级和范围加大,呈东北西南向带状分布,槽后负涡度平流变化不大(图 8b)。结合云图分析得知,对流系统活跃区对应着与高空槽相关的 500 hPa 正涡度平流中心或正涡度平流带,强降水也出现在这些区域。在这个过程中,西南涡随高空槽引导东移,造成该地区出现了历史最大单日的降水。

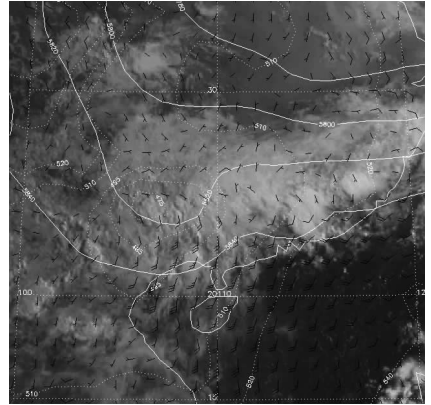


图 7 2008 年 6 月 12 日 00:00 UTC
FY-2C 可见光云图叠加 500 hPa
(实线)、950 hPa(虚线)等高线
以及 950 hPa 风矢量

Fig. 7 The superposition chart of FY-2C
visible cloud images and 500 hPa contour
(solid line), 950 hPa contour (dashed line)
and wind vector (the long vector for
 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and a short vector for $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)
at 00:00 UTC 12 June 2008

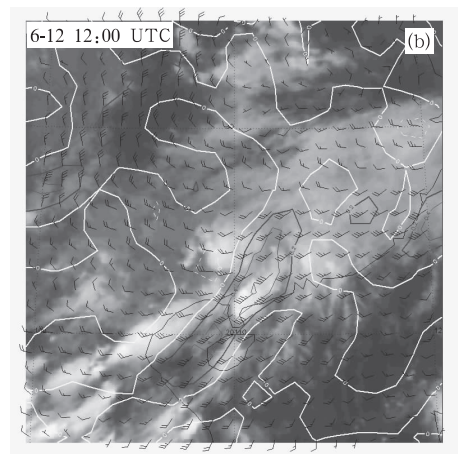
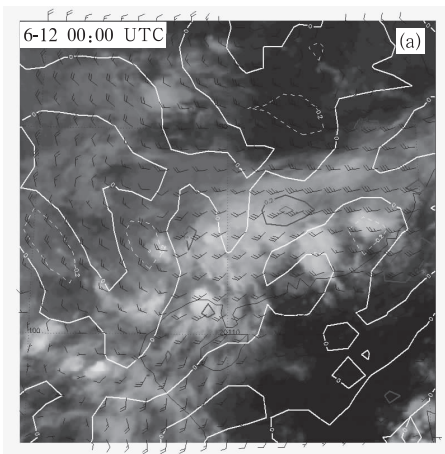


图 8 2008 年 6 月 12 日 500 hPa 涡度平流与卫星云图叠加图
(a)00:00 UTC, (b)12:00 UTC

Fig. 8 The superposition chart of FY-2C infrared images and 500 hPa vorticity
advection at (a) 00:00 UTC, (b) 12:00 UTC 12 June 2008

5 结 论

采用 FY-2 卫星云图资料、NCEP 再分析资料、常规观测资料及地面降水资料,对 2008 年 6 月 11—13 日发生的一次西南低涡发展东移造成华南暴雨天气过程进行了分析研究。结果表明:

(1) 红外和水汽图像配合,可以反映西南低涡发展东移过程中低层辐合带云系、高空扰动云系和弱冷空气的共同作用,云图的演变过程可以刻画强降雨发生时低层辐合、高层辐散的气流结构。

(2) 此次广西特大暴雨过程可分为两个阶段,第一阶段主要是西南涡东南侧的暖区降水,对流云团分布范围较广,中尺度对流系统具有涡旋状云系结构;第二阶段有弱冷空气南下,在边界层辐合线的组织下,中尺度对流系统组织成线状云带,南移消失。过程中,无论是红外云顶亮温随时间的演变,或者是红外与水汽亮温差的时间演变都反映了云团的演变过程,并与强降雨有较好对应关系。在局地要素满足暴雨发生的必要条件下,监测多通道亮温的急剧下降,可作为重要指标提前 2~3 h 预警强降雨的发生。

(3) 西南低涡暴雨云团出现在西南涡东南和南侧的南风盛行区域,云团发展伴有低空急流加强,同时,云系发展与 500 hPa 正涡度平流的贡献有关。

(4) 高空间、高时间分辨率的卫星资料对于分析低涡移出和中尺度强降雨的发生十分有利,半小时一次的卫星云图直接反映了高空天气系统的发展变化情况和引导气流的方向,从而判断出低涡的发展移动情况、云系特点等;对流云团和多通道亮温的演

变对降水的发生发展有一定的指示作用,从中分析出的降水的物理过程、发生时间和强弱变化等与实际情况较为相符;卫星云图与再分析资料的结合,可用于判断低涡的发生发展机制。

参考文献

- 巴德 M J 等,卢乃锰等译. 1998. 卫星与雷达图像在天气预报中的应用. 北京:科学出版社,60-343.
- 陈涛,张芳华,端义宏. 2011. 广西“6.12”特大暴雨中西南涡与中尺度对流系统发展的相互关系研究. 气象学报,69(3):472-485.
- 陈艳,宿海良,寿绍文. 2006. 华北秋季大暴雨的天气分析与数值模拟. 气象,32(5):87-93.
- 陈忠明,闵文彬,崔春光. 2004. 西南低涡研究的一些新进展. 高原气象,23(增刊):1-4.
- 党建涛. 2007. 西南天气. 北京:国防工业出版社,124-128.
- 何光碧. 2012. 西南低涡研究综述. 气象,38(2):157-162.
- 刘国忠,丁治英,贾显锋,等. 2007. 影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究. 气象,33(1):45-50.
- 卢敬华. 1986. 西南涡概论. 北京:气象出版社,64-230.
- 林开平. 1996. 1994 年 6 月中旬广西一次西南低涡大暴雨过程的中尺度分析//1994 年华南特大暴雨洪涝学术研讨会论文集. 北京:气象出版社,93-96.
- 陶诗言,等. 1980. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,51-90.
- 王凌霄,王洪庆,王玉,等. 2011. IR4 通道反照率计算及其在降水过程分析中的应用. 北京大学学报(自然科学版),47(4):599-606.
- Durkee J D, Mote T L, Shepherd J M. 2009. The contribution of mesoscale convective complexes to rainfall across subtropical south America. J Climate, 22(17):4590-4605.
- Maddox R A. 1980. Mesoscale convective complexes. Bull Amer Meteor Soc,61(11):1374-1387.
- Setvak M, Doswell C A. 1991. The AVHRR channel 3 cloud top reflectivity of convective storms. Mon Wea Rev,119:841-847.
- Weldon R B, Holmes S J. 郑新江,陆文杰,等译. 1994. 水汽图像在天气分析和天气预报中的解译与应用. 北京:气象出版社,218.