

文章编号:1004-9045(2007)01-0063-05

2005 年 7 月清江流域一次连续暴雨的中尺度分析

宋春远,熊传辉,陈亮,秦承平,罗剑琴,何明琼

(湖北省宜昌市气象局,宜昌 443000)

摘要:利用气象卫星、多普勒雷达及常规气象资料,对 2005 年 7 月 8~10 日清江流域连续暴雨过程进行综合分析。结果表明:(1)高低空急流的优势配置、高空急流右侧强辐散场的存在,副热带高压稳定于我国东南沿海,为此次暴雨提供了有利的大尺度环境背景;(2)雨团滞留和经过区域正是暴雨发生区域;(3)低层垂直风切变可使回波加强而产生强降水;(4)雷达回波中“逆风区”对于暴雨识别及暴雨落区预报具有很好的指示性。

关键词:清江流域;连续暴雨;副热带高压;雷达回波;雨团

中图分类号:P458.1+21.1 文献标识码:A

1 引言

清江流域横贯鄂西南山地,是我国著名的暴雨中心之一^[1]。2005 年 7 月 8~10 日,清江流域连续 3 d 出现流域性暴雨、局部特大暴雨(以下简称“05.7”清江暴雨),3 日面雨量累计达 182.2 mm。这次过程使湖北恩施境内的水布垭水电站建设工程出现自其 2000 年开工以来的最大洪峰,7 月 10 日 17 时的瞬时流量达 $8\ 500\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,湖北长阳境内的隔河岩水库出现自其 1994 年建库以来的第 3 大洪峰,10 日 20 时瞬时流量达 $11\ 600\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 。此次降水过程持续时间长、强度大,位于恩施境内的天窝池 10 日 08~09 时 1 h 雨量为 69.0 mm,清江流域多个地方出现了泥石流、滑坡等次生灾害,农田被毁,房屋倒塌,交通、水利、通讯等设施受到严重破坏。因此,对这次连续暴雨天气过程进行深入分析十分必要。

我国对江河流域连续暴雨的研究已取得不少成果,文献[2~6]从环流背景、影响系统、物理量和暴雨中尺度特征等多方面揭示了江河流域连续暴雨的特征,但对连续暴雨与高层大气的关系、清江流域特定条件下云系在卫星云图及雷达回波上的反映及其与雨团、暴雨之关系缺乏深入分析。为此,本文侧重对这次过程中 7 月 9 日 08 时 200 hPa 形势图、FY2C 红外云图及宜昌 CINRAD/SA 多普勒天气雷达资料与清江流域降水资料进行对比分析。

2 雨情实况

“05.7”清江暴雨过程始于 7 月 8 日 17 时,暴雨集中出现在 9~10 日,其间最为集中的时段为 10 日 01~

16 时,这 15 h 清江流域面雨量达 110 mm。过程最大降水出现在建始境内的当阳坝(雨量 304 mm),清江流域 39 个水文站中有 20 个站降水量超过 200 mm,24 h 最大降水出现在 7 月 9 日 16 时至 10 日 16 时,面雨量为 131.2 mm,为该流域自 1960 年以来 24 h 面雨量最大值。

3 大尺度环流背景与主要影响系统

从 7 月 9 日 08 时 200 hPa 天气图上可见(图 1),南亚高压主体位于青藏高原南部,其北缘有一东西向高空急流轴,清江流域正好位于南亚高压脊线和高空急流轴之间的强辐散气流中,这在同一时刻 200 hPa 流场上表现十分清楚。

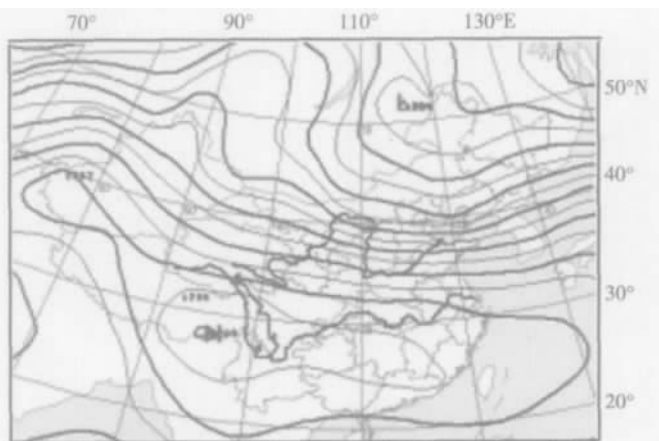


图 1 2005 年 7 月 9 日 08 时 200 hPa 天气图

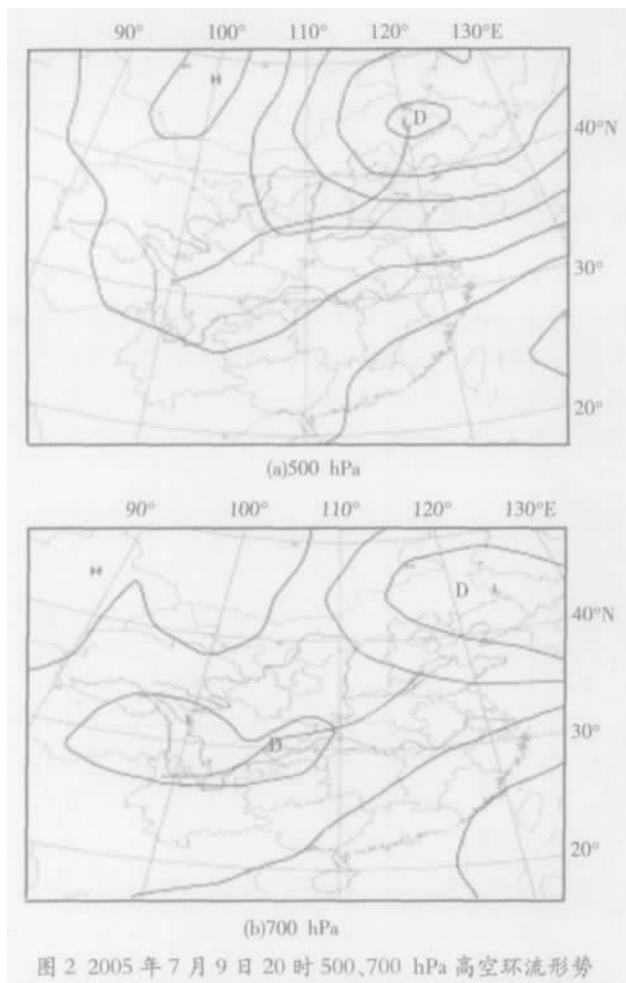
由于高层大气强烈辐散,与其对应的是 500 hPa 以下的辐合流场和整层负值的垂直速度场(上升运动),其“抽吸”效应使低层辐合上升运动更为强烈,促使深对流发展和暴雨区附近中小尺度系统生成和维

收稿日期:2006-08-22;定稿日期:2007-01-15

作者简介:宋春远,男,1950 年生,高级工程师,主要从事天气预报技术与方法研究.E-mail:ycqxsy@126.com

持,从而有利于强降水发展和维持。事实上,200 hPa 大气的“抽吸”效应对此次暴雨过程的维持和发展起着主导作用。

“05.7”清江暴雨过程前,清江流域为晴热高温天气。7月7日,大气环流形势开始调整,副热带高压减弱东撤,到8日08时,副高已东撤至东南沿海。东移到我国东北的蒙古冷涡,不断带动低槽南下,8日20时500 hPa 槽线位于南阳至贵阳一线。9日20时,500 hPa 副高加强西伸,低槽南压到天津、郑州、成都到西昌一线;700 hPa 低涡位于川东北,切变线位于郑州到南充一线;850 hPa 低涡位置与700 hPa 相同,切变线南压到清江流域,出现北槽南涡形势(图2);地面图上冷空气进入四川,沿长江为暖低压控制。随着500 hPa 低槽东移南压,槽后冷空气与副高外围西南暖湿气流在清江流域交汇。“05.7”清江暴雨就是在上述有利环流背景下发生的。



从7月8日08时到10日20时500 hPa 图上可见,副热带高压经7月7日减弱东撤后稳定于我国东南沿海,青藏高原东部到四川盆地为摆动的低槽区,清江流域受高原槽前和副高外围西南气流控制。另外,500 hPa 副高主体位于台湾以东洋面,不仅稳定且

势力较强,阻止降水系统东移,降水系统被迫滞留于清江流域而使暴雨持续时间延长。

在7月8日08时到9日20时各时刻700 hPa 图上,江淮流域到四川盆地之间始终维持一条切变线,四川盆地滞留一低涡。9日20时,850 hPa 切变南压到清江流域,四川盆地维持气旋性环流,清江流域始终处在切变南侧及低涡前部辐合最强的区域。中低层西南急流建立于8日08时之前,9日08时其急流轴位于贵阳、芷江到汉口一线,清江流域则位于急流轴左前侧。由此可见,中低层西南急流是“05.7”清江暴雨主要的水汽和不稳定能量输送带。

4 地面要素的中尺度特征分析

4.1 地面降水的中尺度特征

雨团是构成暴雨的主要降水部分,它往往反映暴雨的中尺度特征。雨团定义为 $10 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 闭合等雨量线^[2]。选取清江流域上、中、下游共6个站,对其8~10日自记雨量进行分析:清太平受4个雨团影响,其中3个雨团生命史仅1 h,另一雨团生命史达7 h,此期间降水量122 mm;中间坪受5个雨团影响,其中4个生命史1 h,另一雨团生命史4 h,4 h 降水量133 mm,仅此1个雨团降水量就占日降水量的73%,其中05~06时1 h 降水量53 mm,其后06~07时1 h 降水量为42 mm,使得位于恩施南部的中间坪成为“05.7”清江暴雨的强降水中心。与“05.7”清江暴雨有关的雨团多达19个,其生命史分别在1~7 h 之间不等。从尺度大小看,影响“05.7”清江暴雨的雨团属中小尺度雨团,数量多,且稳定少动。

强降雨团定义为 $25 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 闭合等雨量线^[3]。“05.7”清江暴雨过程中先后有4个强降雨团活动,第一个强降雨团于9日07时在恩施生成,持续1 h后消失;第二个强降雨团由10日05时在中间坪生成的雨团发展增强而在06时形成,持续2 h后减弱成雨团,09时消失。该强降雨团是这次过程中最强的雨团,2 h 降水量达95 mm。第三个强降雨团由10日05时在清太平生成的雨团发展增强而在06时形成,持续1 h后减弱成雨团,12时消失。第四个强降雨团于10日09时在毛岗头生成,持续1 h后减弱成雨团,12时消失。由于中间坪强降雨团持续2 h且其前后均有雨团配合,从而使得该站9日降水量多达182 mm,成为这次过程的强降水中心。上述分析表明,雨团滞留区域正是暴雨发生区域。

4.2 地面中尺度辐合线

分析不同时刻地面风场,8日14时,恩施至万县之间存在一条东北-西南向中尺度辐合线,17时辐合线南压越过恩施,且较稳定;直至9日05时该辐合线再

度北抬,近于东西走向,位于恩施北侧,从而加剧利川、恩施、中间坪、清太平等地雨团活动;10 日 05 时,辐合线西端、中端分别位于恩施和五峰两地南侧,东端位于枝江北侧。同时,在地面生成一中 β 尺度气旋,随后数小时,即清江流域雨团出现高峰期,中间坪、清太平和毛岗头等地强降雨团均出现在其后 1~4 h。随着辐合线东移出清江流域,中 β 尺度气旋减弱消失,雨团随之消亡。以上分析表明,中尺度切变线(辐合线)是造成此次强降水的重要中尺度系统。

5 卫星云图特征分析

暴雨和强对流天气是在多种尺度系统相互作用的条件下发生发展的,即在一定大尺度环流形势下由嵌入天气尺度系统的中小尺度系统直接造成^[7]。具有高时空分辨率的气象卫星能观测到中小尺度系统的移动、排列和发展演变等重要特征。通过对 7 月 8~10 日 FY2C 红外云图的分析发现,影响“05.7”清江暴雨的中尺度云团共 9 个。

(1)云团 1。8 日 17 时 30 分,该云团位于恩施到宣恩之间,在东移过程中,与恩施、中间坪(恩施境内)和清太平(巴东境内)的雨团对应。

(2)云团 2。8 日 21 时 30 分,该云团在宣恩至来风之间生成并发展东北移,与中间坪雨团对应。

(3)云团 3。9 日 03 时 30 分,该云团在重庆市焚江南

部生成并发展东南移,与利川、恩施的雨团和强降雨团对应。

(4)云团 4。9 日 07 时,该云团在四川达川北部生成并东移,与中间坪、清太平和桃山(长阳境内)雨团相对应。

(5)云团 5。与云团 4 移出清江流域同时,该云团在恩施附近生成并发展东移,与中间坪雨团的活动相对应。

(6)云团 6。9 日 17 时 30 分,该云团在四川达川附近生成并东南移,与桃山雨团活动相对应。

(7)云团 7。该云团为 9 日 22 时生成于重庆凉平附近对流云团东移过程中与从重庆彭水北部东北移来云团于 10 日 00 时 30 分在利川西北结合而成。10 日 01 时 30 分,该云团到达恩施,强度明显加大,形成切变云带,云带中存在数个中尺度云团,致使恩施雨团活动持续 3 h;03 时 30 分,位于清江流域这一发展成熟的中 β 尺度云团被椭圆形白色云罩所包围;04 时,近于东西向的云罩覆盖清江流域中下游。随后数小时,该云团缓慢东移,所到之处,均有雨团和强降雨团与之对应。10 日 07 时后新生一中尺度云团,08 时前者迅速东移出清江流域,后者稳定少动,直至 13 时后才向东移出该流域。与这 2 个云团对应,恩施、中间坪、清太平出现雨团及强降雨团。此云团强度大、影响范围广、持续时间长,其演变过程见图 3。

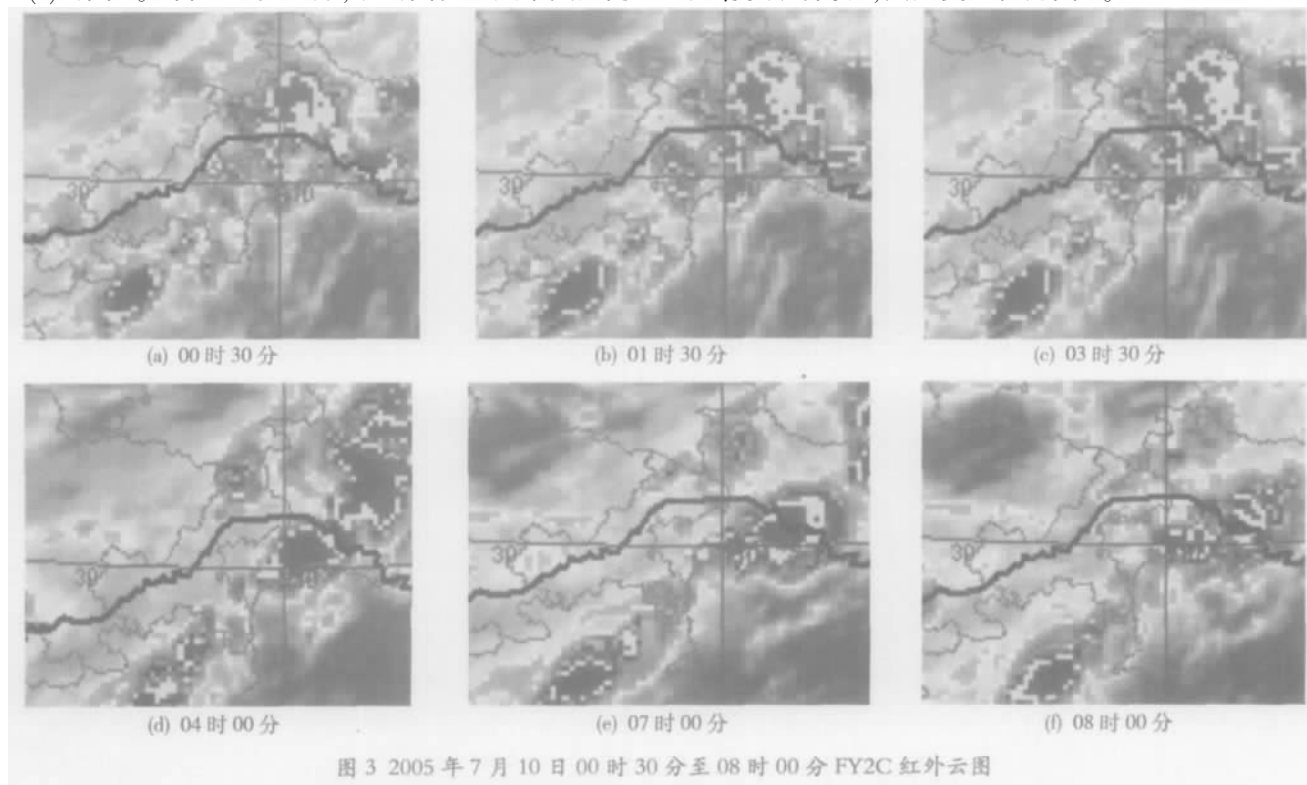


图 3 2005 年 7 月 10 日 00 时 30 分至 08 时 00 分 FY2C 红外云图

(8)云团 8。该云团 10 日 08 时在重庆云阳附近生成,并迅速发展东南移,与之对应,天窝池(位于建始境

内)1 h 降水量 69 mm。

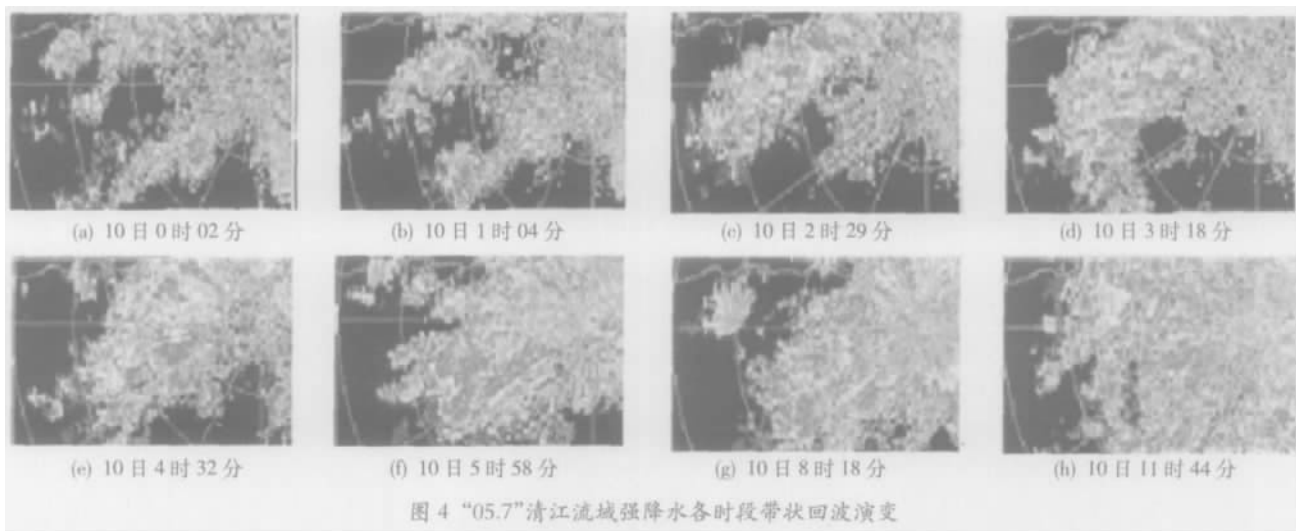
(9)云团 9。该云团 10 日 10 时生成于重庆酉阳附近

的切变云系上,其东移的过程中,与宣恩 14 时雨团对应。

6 雷达回波特征分析

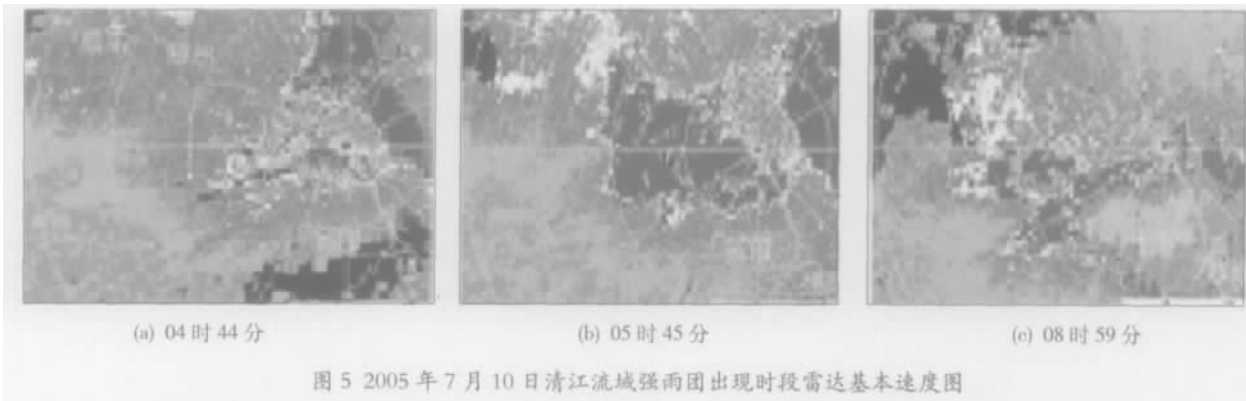
在宜昌 CINRAD/SA 多普勒天气雷达回波图上,7 月 8 日 16 时左右,清江流域上游开始出现弱对流单体回波,并迅速发展为较大范围的层积混合型回波,8 日夜间恩施附近不断有对流回波生成并东北移,导致清江流域中上游出现强降水;9 日 10 时,恩施北部对流回波发展东移,与恩施南部发展东移的回波于 12 时 30 分在恩施东部结合成为一南北向带状回波,其中心强度 45~50 dbz,回波顶高 14~15 km,垂直积分液态含水量 15~20 kg·m⁻²(图略),随其东移,清江中下游

出现雨团。9 日 23 时以后,清江流域中下游南部对流回波强烈发展,到 10 日 00 时已形成明显东北-西南向带状回波。随着清江流域北部对流回波迅速发展,10 日 01 时该流域南北各有一条带状回波。南部带状回波迅速减弱东移的同时,北部对流回波迅速发展并缓慢南压,02 时 30 分已成为东北-西南向带状回波。10 日 03 时后,该带状回波强烈发展,为层积混合型絮状回波,在带状回波中镶嵌着一些条块状小尺度强回波。由于回波结构密实,强度 50 dBz,顶高 15 km,其缓慢东移过程中,对应该流域雨团活动,“05.7”清江暴雨过程中三个强降雨团均出现在该时段。10 日 11 时 30 分后,随回波范围增大和结构变松散,回波强度逐渐减弱。其演变过程见图 4。



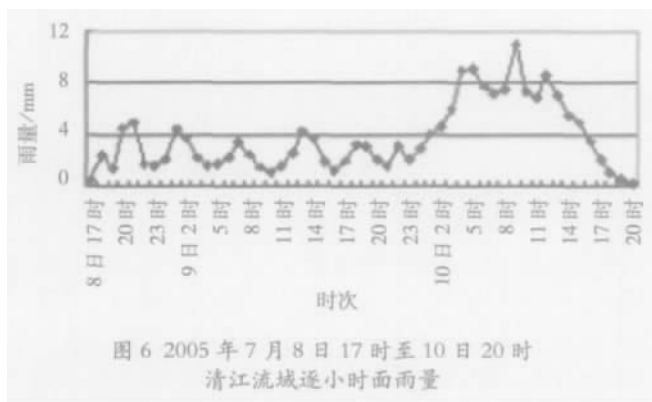
结合中低层和地面风场的分析不难看出,上述带状回波是中尺度辐合线在雷达回波上的反映。中尺度雨团活动与雷达回波具有很好的对应关系,其活动由带状回波中镶嵌的中小尺度强回波移动所致。另外,在 10 日清江流域强降雨团出现时段雷达基本速度图上(图 5),04 时 30 分该流域中下游北部开始出现“逆风区”,到 05 时 45 分,逆风区范围明显扩大南压,零速度线

近似于东西向,位于该流域北部,与其南部偏南气流形成一条中尺度辐合线,其位置与零速度线基本重合。随零速度线两侧正负速度值明显增大,辐合强度随之增强,与之对应的雷达回波、雨区和雨强明显扩大或增强。10 日 04 时,“05.7”清江暴雨降水高峰开始出现(图 6)。可见,雷达回波中“逆风区”对于识别暴雨及预报暴雨落区具有很好的指示性。



10 日 05 时 45 分速度图显示,在清江流域中下游北部距测站 75 km 范围内为正速度区。由测高公式可

知,75 km 对应高度为 1.7 km,即 1.7 km 以下为偏北风,与其上空的西南风之间形成垂直风切变(风廓线图



略),从而激发风暴相对气流,使得回波加强和维持,实况出现强降水(图 6)。可见,低层垂直风切变可使回波加强并产生持续性强降水。

7 结论

(1)500 hPa 副热带高压稳定于东南沿海,青藏高原东部低槽、中低层低涡、切变及低空急流的维持,为“05.7”清江暴雨过程的发生和维持提供了大尺度环流背景;高低空急流的有效配置、高空急流右侧强辐散场的存在为此次清江暴雨发生提供了有利环境条件。

(2)中尺度雨团活动与地面中尺度辐合线、中低层中尺度气旋、中尺度云团、雷达回波等具有很好的对应关系。中尺度系统对应着雨团活动,强降水则对应着深对流云团、雷达强回波、较高回波顶及具有较大垂直积分液态含水量的强对流单体。中尺度雨团滞留和经过区域正好对应“05.7”清江暴雨出现区域。

(3)对“05.7”清江暴雨而言,低层垂直风切变是造成回波加强而引起持续性强降水的重要原因;雷达回波中的“逆风区”对于暴雨识别及暴雨落区预报具有很好的指示性。

(4)速度图显示,清江流域中下游北部距测站 75 km 范围内为正速度区,对应高度 1.7 km 以下为偏北风,与其上空的西南风之间形成垂直风切变,从而激发风暴相对气流,使得回波加强和维持,实况出现强降水。可见,低层垂直风切变可使回波加强并产生持续性强降水。

参考文献:

- [1] 宋春远,关世雄,于大峰,等.清江流域汛期暴雨短期预报数理统计模型[J].湖北气象,2005,24(1):16-18.
- [2] 关世雄,宋春远,于大峰,等.1998 年清江流域主汛期四次致洪暴雨天气分析[C]//中国气象局预测减灾司.天气预报技术论文集.北京:气象出版社,1999:119-123.
- [3] 邓秋华,王登炎,黄治勇,等.“98.7”鄂东南持续特大暴雨的分析[C]//中国气象局预测减灾司.天气预报技术论文集.北京:气象出版社,1999:74-79.
- [4] 关世雄,宋春远.副热带高压西北边缘一次连续暴雨天气分析[J].湖北气象,1996(3):5-7.
- [5] 倪允琪,周秀骥.中国长江中下游梅雨锋暴雨形成机理以及监测与预测理论和方法研究[J].气象学报,2004,62(5):647-662.
- [6] 尹恒.汉江中游一次盛夏阴雨中的暴雨分析[C]//中国气象学会.推进气象科技创新 加快气象事业发展.北京:气象出版社,2004:175-176.
- [7] 中国气象局科教司.省地气象台短期预报岗位培训教材[M].北京:气象出版社,1998:253.

Mesoscale Analysis of a Continuous Heavy Rain Occurrence in the Reaches of the Qingjiang River in July, 2005

SONG Chun-yuan, XIONG Chuan-hui, CHEN Liang, QIN Cheng-ping, LUO Jian-qin, HE Ming-qiong
(Yichang Meteorological Bureau of Hubei Province, Yichang 443000)

Abstract: Based on the satellite data, Doppler radar data and the general station data, the continuous heavy rain occurrence in the reaches of the Qingjiang River during 8-10th July, 2005. The results show that: (1) the suitable allocation of the upper and lower level jets, the strong divergence at the right of the upper level jet and the stable subtropical high at the southeast coast of China provide the favorable large-scale background for the generation of the heavy rain; (2) the region where the rain clusters last and pass is just the heavy rain region; (3) the vertical shear of the low level wind intensifies the precipitation, which is indicated by the enhanced radar echo; (4) the “anti-wind area” of the radar echo is a good predictive index for the heavy rain identification and location.

Key words: Reaches of Qingjiang River; Continuous Heavy Rain; Subtropical High; Radar Echo; Rain Clusters