

## 湖南隆回一次大暴雨天气过程综合分析

吕校华<sup>1,2</sup>, 方宗义<sup>3</sup>, 刘从省<sup>2</sup>, 毛予晖<sup>2</sup>

(1.兰州大学 大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2.湖南省邵阳市气象局, 湖南 邵阳 422000; 3.国家卫星气象中心, 北京 100081)

**摘 要:** 利用常规探空资料、地面观测资料、自动气象站资料及水文雨量点资料、T213 数值预报资料和卫星云图等, 对湖南隆回 2006 年 6 月 25 日大暴雨天气过程进行综合分析。结果表明: 暴雨区中上升运动和水汽辐合均大于周围区域, 中低层为对流不稳定层结; 大气层结的强烈不稳定, 强烈的垂直运动, 是形成暴雨的主要因素; 700 hPa 的水汽来自孟加拉湾和南海, 850 hPa 和 500 hPa 的水汽来自南海; 大暴雨发生前, 低层有较强的水平能量输送和能量积聚, 同时整个暴雨区的大气运动由下沉运动转变为上升运动; 中低层  $Q$  矢量的辐合和大暴雨的落区、发生时段有较好的对应关系; 低层正涡度、高层负涡度与低层强辐合、高层强辐散一致, “抽吸作用”和反馈作用加强低空辐合, 促使暴雨发展。

**关 键 词:** 大暴雨; 中尺度分析; 物理量场; 湖南隆回

中图分类号: P426.62 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)03-0349-07

## Synthesis analysis of a heavy rainfall process in Longhui, Hunan

LÜ Xiao-hua<sup>1,2</sup>, FANG Zong-yi<sup>3</sup>, LIU Cong-sheng<sup>2</sup>, MAO Yu-hui<sup>2</sup>

(1.College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Shaoyang Meteorological Office, Shaoyang, Hunan 422000, China; 3.National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on some routine sounding data, surface meteorological observation, automatic meteorological station and hydrological data, T213 numerical forecast and satellite pictures, the synthesis analysis was made on a heavy rainfall in Longhui in 2006. The results showed that the heavy rainfall happened on the condition of two-trough and one-ridge current pattern in the mid and high latitude of Eurasian. The trough line and shear line are the main influential systems; the important conditions causing the event are the strong instability of atmospheric stratification and severe vertical motion. The vapor at 700 hPa comes from the Bay of Bengal and South China Sea, and vapor at 850 hPa 500 hPa is from South China Sea. There must be strong energy transportation and accumulation in the low levels before the rainfall, and the atmosphere motion changed from descending motion to the ascending one in the whole rainfall area. The  $Q$  vector convergence at low levels is correlated well to the downfall area and time. The low-level positive vorticity and the high-level negative vorticity are in agreement well with and low-level convergence and high-level divergence. The effects of pumping and feedback strengthening lower convergence are favorable for the heavy rainfall.

**Key words:** heavy rainfall; mesoscale analysis; physical quantity field; Longhui in Hunan

Ninomiya<sup>[1]</sup>研究了长江流域暴雨沿梅雨锋传播的中尺度扰动的结构, 发现降水单体既有对流性降水又有层云降水的特点。Kuo等<sup>[2]</sup>分析1981年7月11—15日四川盆地发生的特大暴雨, 认为暴雨前

期四川盆地特别强的西南季风气流, 与西伯利亚气流在青藏高原东部和四川盆地相遇, 产生大规模低层气流辐合, 为中尺度系统的发展创造了条件。Ma等<sup>[3]</sup>对1983年6月23—25日长江流域的暴雨

收稿日期: 2009-12-24

基金项目: 邵阳市人民政府项目

作者简介: 吕校华(1963—), 男, 湖南邵阳人, 高级工程师, 主要从事天气气候分析与预报, syqxltlxh@163.com

过程,从天气尺度条件分析了产生降水的气象条件.陶诗言等<sup>[4]</sup>研究指出,中国暴雨是在有利的大尺度天气形势背景下,由中尺度直接产生的.丁一汇<sup>[5]</sup>、张顺利等<sup>[6]</sup>、廖移山等<sup>[7]</sup>、矫梅燕等<sup>[8]</sup>认为,中尺度系统的发展是造成强降水的主要原因.徐双柱等<sup>[9]</sup>对湖北梅雨期暴雨的中尺度系统进行数值模拟研究,发现强降水发生时,在对应的中尺度对流系统中,存在2个分别位于300 hPa 和600 hPa 附近的强上升运动中心.上述研究主要针对较大范围的暴雨过程,对于较小范围的局部突发性大暴雨过程的研究相对较少.笔者利用常规探空、地面观测资料、中小尺度自动气象站资料及水文雨量点资料、T213数值预报资料和卫星云图等,对2006年6月25日发生在湖南隆回北部的突发性大暴雨天气过程进行综合分析,探讨特大暴雨的多尺度影响系统的相互作用,以期更全面地认识和了解对流性暴雨的特征,提高暴雨的临近预报水平.

## 1 暴雨过程描述

2006年6月25日,湖南邵阳出现暴雨天气过程,隆回北部出现暴雨和特大暴雨.根据邵阳市145个自动气象站降水资料和10个气象台站的降水资料记录,邵阳共有48个站点日降水量超过50 mm,有12个站点大暴雨(降水100~199.9 mm),有2个站点特大暴雨(降水超过200 mm),虎形山乡总降水量273.7 mm,小沙江日降水量达210.5 mm.特大暴雨在隆回虎形山乡引发历史罕见的泥石流灾害,直接经济损失达2.2亿元.

## 2 环流形势及影响系统

2006年6月24日,8:00、500 hPa 高空图上,欧亚中高纬度为两槽一脊型,西北地区受高压脊控制,大槽位于河北饶阳→河南开封→湖北枣阳→重庆梁平→四川峨眉山一线,南支小槽位于云南德钦→耿马,湖南处在槽前,受西南气流控制,水汽从南海沿副热带高压南侧的西南气流经广西向邵阳输送(图略).700 hPa 为罕见的一槽三切变线相连的形势,最北支为横切变线,西段位于山东日照→巨野附近,与北支槽相连,北支槽位于巨野→河南信

阳→湖北运安→四川巫山→万县市,并与中部的南北向切变线相连,该切变线位于万县市→金佛山→鄂西→昆明北部,这支切变线就是影响隆回的中层系统.850 hPa 切变线位于河南商丘→信阳→湖南石门→四川酉阳→叙永一线,邵阳上空为一致的西南气流控制,风速达10 m/s,水汽从南海沿西南气流通道输送到邵阳.24日08:00地面,青藏高原东部→云贵高原→湖南西部为一低压,到14:00,地面出现一地面辐合线,位于长沙→邵阳北部→怀化一线.

## 3 中尺度分析

### 3.1 雷达回波分析

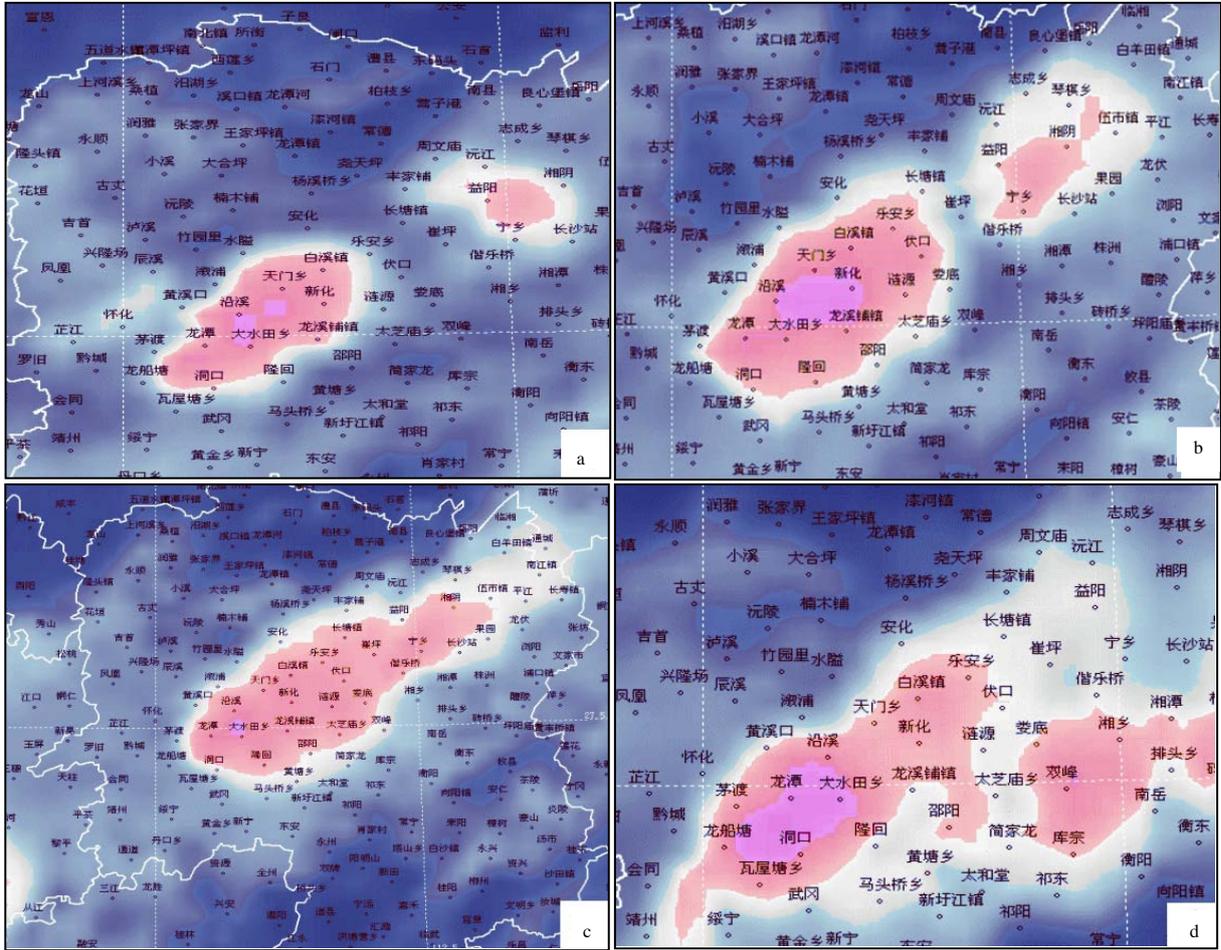
利用永州和长沙多普勒雷达天气雷达回波资料进行跟踪分析,发现这次暴雨过程大致可分为4个阶段.24日20:00—24:00,回波很弱,25日4:00前,在邵阳西北方有块状对流回波发展,其强度为30~45 dBz,呈明显的对流性降水型,以缓慢的速度向东偏北方向移动,并且在移动过程中强度进一步加强,范围不断扩大,25日6:00—6:30,有分散性弱回波,25日7:00—9:00,隆回西北上空有2块回波逐渐合并发展成1块,形成对流复合体,并不断有新的对流单体生成,发展形成一块东北西南向的强回波,强度比前一阶段更强,达40~55 dBz(图略).

### 3.2 卫星云图分析<sup>[10]</sup>

连续分析了6月24日20:00至25日14:00 GMS 卫星云图共36张,卫星云图的演变分4个阶段(图1),第1阶段是24日20:00—3:00,云系位置偏南,缓慢东移、减弱、消失,降水量较小,不足1 mm;第2阶段是25日3:30—5:30,云系迅速发展,云块面积增大成很强的对流复合体,以后缓慢东移、减弱,降水量较大,超过25 mm,最大达50 mm;第3阶段是25日6:00—6:30,对流单体发展,云体局部增强,降水强度较大,降水量10 mm以上;第4阶段是25日7:30—11:00,开始时,湖南上空有2块回波,邵阳洞口至绥宁有1块小尺度云团,隆回北部至溆浦东南部、新化西南部有1块中尺度云团,以后这2块云团逐渐合并发展成1块东北西南向的云团,云主要是雷雨云,25日7:00—9:00,强中心

在隆回西北的虎形山、小沙江，云的变化经历了加强、减弱、再加强、再减弱的过程，8:00，绥宁又有 1 块对流云团向东北方向移动，再次与原在虎形山、小沙江的中尺度云团合并加强成为对流复合体，云团为 1 边界不规则的斜压形状云团，云顶亮

温中心位于隆回西北一带，强降水就出现在第 4 阶段，7:00—9:00，隆回小沙江 2 h 雨量达 78.9 mm，虎行山超过 100 mm。9:30，云块南部开始出现倒“V”字形缺口并逐渐减弱，降水也随之减弱。



a 4:00; b 5:00; c 7:00; d 10:00.

图 1 2006 年 6 月 25 日卫星云图

Fig.1 Satellite cloud 25th June, 2006

### 3.3 雨团和雨强分析

采用文献[11]的方法，利用自动站逐小时降水资料和部分水文站降水资料，分析地面雨团和雨强的特征，图2为部分自动雨量站每小时降水变化。

25 日 3:00—12:00，雨团呈东→西向分布(图略)，与云团的分布(图 1)一致，最强雨团出现在隆回西北部的虎行山，与图 1-a 云团对应，是 MCC 初生阶段所产生的降水，6:00—07:00(图 2)，隆回西北部雨团呈东北→西南分布，形成中尺度雨带。

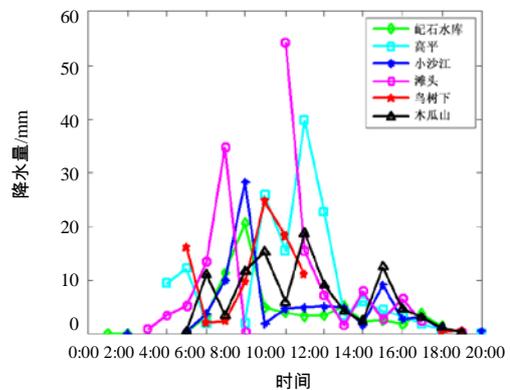


图 2 6月25日00:00—20:00部分自动站每小时降水变化

Fig.2 Parts automatic station hourly rainfall at 00:00—20:00 on 25th June

隆回县城位于云团的南缘,降水不大,但大屋、桐山的小时雨量分别为34.6 mm/h 和39.0 mm/h.随着MCC发展、加强,雨带向东北方向移动,MCC 内部出现2个积云单体活动,雨带出现2个小尺度强降水中心.25日8:30—11:30,中尺度雨带上出现3个雨团,绥宁与洞口之间的金屋塘、绥宁东北、隆回西北,降水强度最大,分别为64.5、52.2和54.1 mm/h.此后,MCC开始消亡,雨团分布松散,邵阳地区的降水迅速减弱、结束.

## 4 物理量诊断分析

利用2006年6月24—25日北京T213数值预报产品资料和地面、探空资料,分析大暴雨过程的能量、准地转 $Q$ 矢量、热力条件、动力条件、稳定度、水汽通量及水汽通量散度、湿度以及相关的物理量.

### 4.1 能量分析

#### 4.1.1 低层次天气尺度的能量系统

分析6月24日8:00和20:00的850 hPa  $\theta_{se}$ 场,发现具备典型的 $\Omega$ 型锢囚高能舌的特征<sup>[12-13]</sup>.

#### 4.1.2 低层能量的输送和积聚

(1) 总温度平流.计算6月24日20:00 850 hPa的湿静力总温度平流场<sup>[14-15]</sup>,邵阳附近强度为 $20 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ,说明暴雨发生前低层有较强的水平能量输送.

(2) 总温度通量散度.计算25日8:00的湿静力总温度通量散度场<sup>[14]</sup>,总温度通量散度为 $-50.5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C/s}$ ,说明本区低层在暴雨发生前有较强的能量积聚.

### 4.2 准地转 $Q$ 矢量分析

对2006年6月25日邵阳地区大暴雨的 $Q$ 矢量场<sup>[16-17]</sup>进行计算,发现中低层 $Q$ 矢量的辐合与大暴雨的落区、发生时段有很好的对应关系.

### 4.3 热力条件分析

采用假相当位温 $\theta_{se}$ <sup>[21]</sup>分析探讨大暴雨的热力条件,用探空资料计算周边12个高空探测站的24日8:00、20:00和25日8:00 850、700和500 hPa的 $\theta_{se}$ 值,隆回处于能量降区的下游,24日8:00—20:00逐渐上

升,24日20:00达到最大,能量释放至25日8:00, $\theta_{se}$ 值减到最小.用24日20:00北京T213资料(图5)进行分析,850 hPa隆回上游地区 $\theta_{se} \geq 82 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,上游地区为高能量锋区;700 hPa上游地区也为高能量锋区,隆回处在高能量北侧, $\theta_{se} \geq 71 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;500 hPa隆回处在东西向高能量锋区中.对比降水的分布可知,强降水正好处于高能量锋区中.

### 4.4 动力条件分析

#### 4.4.1 散度、涡度分析

从单站散度时间-高度剖面图(图略)可以看出,暴雨发生时,散度从地面到600 hPa为辐合,无辐散层在600 hPa,上层为辐散,最大辐散层约在200 hPa.根据北京T213资料分析,6月24日20:00 850 hPa,邵阳为辐合中心,达 $-329 \times 10^{-6}/\text{s}$ ,南北为辐散区.700 hPa湘北为一辐散中心,湘中以南至广东为辐合区.500 hPa散度,邵阳南部转为正值,洞口、隆回仍为负值,辐合上升.低层强烈的辐合上升,高层较强的辐散有利于对流的发展与维持,这种“抽吸作用”推动了暴雨或大暴雨的形成.对各层的涡度进行分析,24日20:00,邵阳上空500 hPa以下低层为正涡度,最大值出现在850 hPa层,从500 hPa层向上开始转为负涡度;850 hPa涡度图上,江西→湖南→贵州为一东西向的正涡度带.700 hPa涡度图上,四川为一正涡度中心,湖南绝大部分为正值,邵阳处在正值区.500 hPa涡度图上湘北为正涡度中心,湘中南为负值区.从涡度平流来看,850 hPa邵阳有正涡度平流下传,500 hPa有较强的正涡度平流,700 hPa为弱的正涡度平流.低空强正涡度与高空负涡度的形成,有利于对流系统的发展与暴雨的产生.

#### 4.4.2 垂直速度分析

选取T213数值预报图24日8:00和20:00实况,24日8:00 500 hPa,邵阳上升速度为正值区,700 hPa邵阳上升速度为0值区,北侧为大的负值中心,850 hPa邵阳上升速度为正值区,表明,此时从850 hPa到500 hPa都为下沉运动,24日20:00,500 hPa邵阳上空速度为负值区, $-0.4 \times 10^{-1} \text{ Pa/s}$ ,700 hPa邵阳处在强烈上升运动区的东南部(见图3).

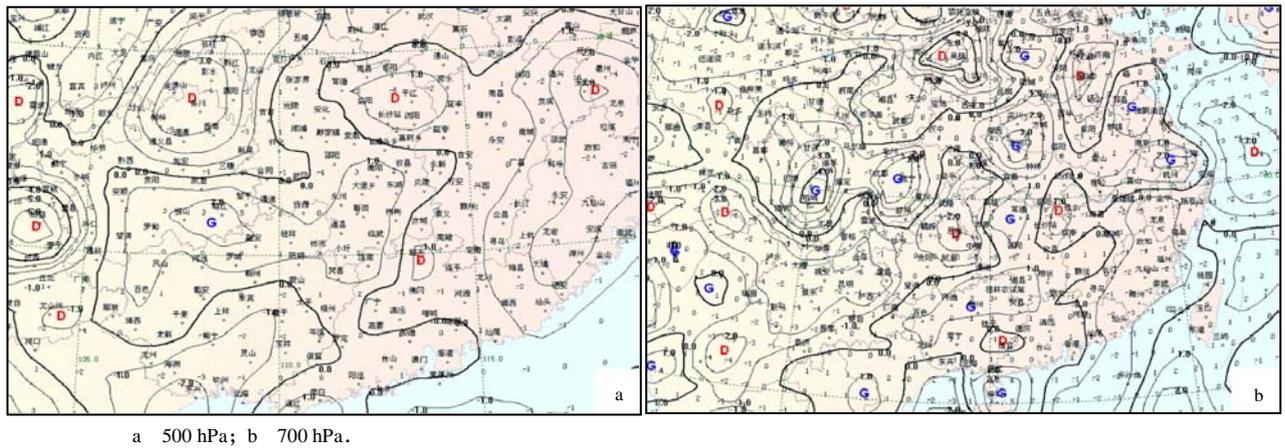


图 3 2006 年 6 月 24 日 20:00 垂直速度  
 Fig.3 Vertical velocity diagram of 500 hPa and 700 hPa at 20:00 on 24th June, 2006

850 hPa 邵阳处于上升区的东南部，境内为负值区，从 8:00—20:00，500 hPa 以下的整个大气运动发生了根本性的变化，由下沉运动转变为上升运动，有利于对流天气的发生，形成暴雨或大暴雨。

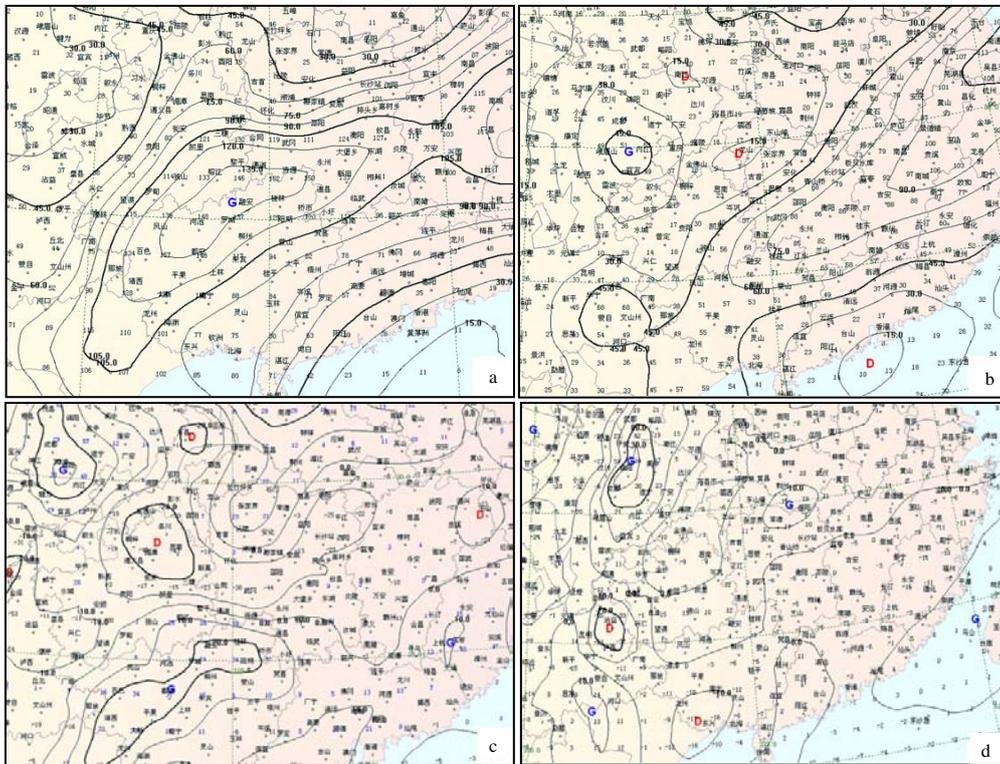
4.5 稳定度分析

6 月 25 日隆回大暴雨强度大，历时短，并伴有雷电，属于强对流型暴雨，表明大气层结极不稳定。在暴雨之前和暴雨期间， $\Delta\theta_{se}$  均为负值，说明

暴雨区低层为暖而湿，高层较冷而干，对流层低层处于对流性不稳定状态。低层暖湿空气向北输送和高层干冷空气的入侵是形成暴雨区位势不稳定层结的主要原因。

4.6 水汽通量及水汽通量散度分析

从 24 日 20:00 高空天气形势图和水汽通量(图 4)可知，850 hPa 水汽源自南海，湘南→广西



a、b 分别为 850、700 hPa 水汽通量；c、d 分别为 850、700 hPa 水汽通量散度

图 4 2006 年 6 月 24 日 20:00 水汽通量和水汽通量散度  
 Fig.4 Vapor flux graph and vapor flux dispersion

为大值区，邵阳最大水汽通量值达  $11.9 \times 10^{-1} \text{g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})$ ；700 hPa 有两支气流输送水汽，一支来自孟加拉湾的西南气流，另一支来自南海的东南气流，江苏→上海→浙江→江西→湖南为一高值水汽通量带；500 hPa 的水汽来自南海，邵阳处在强水汽通量带中，印度次大陆为一水汽通量中心，南海至广西为水汽通量最大值区，通过来自南海的东南气流输送至邵阳。24日20:00 850 hPa 水汽通量散度图上，邵阳上空处在负值区内，为一辐合中心，到25日8:00，辐合减小到  $-27 \times 10^{-7} \text{g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm} \cdot \text{s})$ ，说明暴雨期间水汽辐合一直维持，充沛的水汽自孟加拉湾、南海输送至本地，为暴雨产生提供了有利条件。500 hPa 水汽通量散度在邵阳北部为辐散中心。700 hPa 邵阳处在负值区内，在此层仍是辐合的不稳定层结条件。

4.7 湿度条件分析

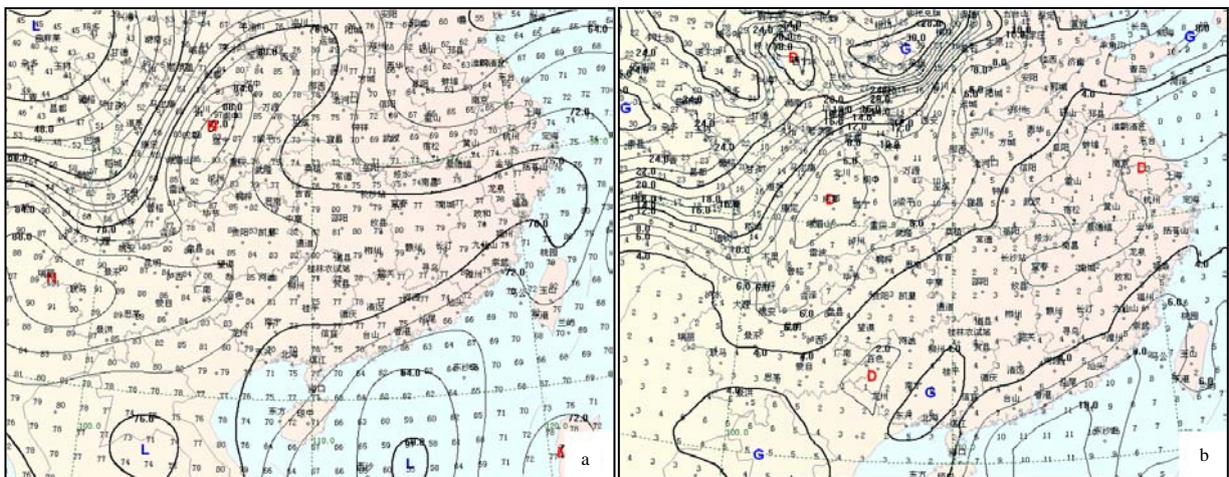
4.7.1 相对湿度

分析6月24日8:00和20:00 925~400 hPa 共6

层的相对湿度，相对湿度逐渐减小，925 hPa 邵阳处在高湿度带中；850 hPa 上海→江苏—浙江→江西→湖南→贵州，为一东北西南向高湿度带，邵阳相对湿度达88%；700 hPa 和600 hPa 强湿度中心位于邵阳，中心值分别达89%和85%；500 hPa 和400 hPa 处在高湿度带中。从8:00—20:00，相对湿度逐渐加大，这种高湿条件有利于强降水的形成。

4.7.2 温度露点差

邵阳境内，6月24日8:00，温度露点差表现为：地面为2~4℃，925 hPa 为 $\leq 1.9 \text{℃}$ ，850 hPa 为 $\leq 2 \text{℃}$ ，700 hPa 为 $\leq 3 \text{℃}$ ，邵阳处在低值中心区内，500 hPa 为 $\leq 5 \text{℃}$ 。到24日20:00，邵阳境内，温度露点差变得更小，地面为 $\leq 1 \text{℃}$ ，925 hPa 为 $\leq 1.7 \text{℃}$ ，850 hPa 为 $\leq 2 \text{℃}$ （图5-b），700 hPa 为 $\leq 2 \text{℃}$ ，邵阳处在东西向的低值带中，500 hPa 为 $\leq 3 \text{℃}$ ，邵阳为一低值中心。8:00—20:00 500 hPa 以下的整个大气层湿度大，说明气层中水汽充足，有利于暴雨的产生。



a 假相当位温；b 温度露点差。

图5 2006年6月24日20:00 850 hPa 假相当位温和温度露点差

Fig.5 Potential pseudo-equivalent temperature and dew point temperature difference at 850 hPa at 20:00 on 24th June, 2006

5 小结

a. 隆回2006年6月25日大暴雨过程，是在欧亚中高纬度两槽一脊型的大尺度环流背景下产生的，槽线和切变线是主要影响系统，暴雨区中心上升运动和水汽辐合均大于周围；大气层结的强烈不稳定，强烈的垂直运动，是形成暴雨的重要条件；

中层的水汽来自孟加拉湾和南海，而低层和高层的水汽都来自南海。

b. 雷达回波和卫星云图上，云系的移速与移向、变化与发展、减弱与消亡，与降水的加强与减弱在时间和空间上完全一致。

c. 大暴雨发生前，低层有较强的水平能量输送和较强的能量积聚，850 hPa 图上  $\theta_{se}$  具有典型的  $\Omega$

型锢囚高能舌的特征；低层暖湿空气向北输送和高层干冷空气的入侵，是形成暴雨区位势不稳定层结的主要原因。

d. 大暴雨发生前，500 hPa 以下整个暴雨区的大气运动发生了根本性的变化，由下沉运动转变为上升运动，暴雨区就出现在强烈的上升区；低层正涡度、高层负涡度与低层辐合、高层辐散完全一致，这种“抽吸作用”促进了大暴雨的形成。

#### 参考文献：

- [1] Ninomiya K . Heavy rainfalls associated with frontai depression in Asian subtropical humid region ) [J] . J Meteor Soc Japan , 1978 , 56 : 253-266 .
- [2] Kuo L Cheng , Anthes R A . Mesoscale analyses of the Sichuan flood catastrophe , 11-15 July 1981 [J] . Mon Wea Rev , 1986 , 114 : 1984-2003 .
- [3] Ma K Y , Bosart L F . Asynoptic overview of a heavy rain event in Southern China [J] . Wea Forecasting , 1987(2) : 89-112 .
- [4] 陶诗言 . 中国之暴雨 [M] . 北京 : 科学出版社 , 1980 : 196-199 .
- [5] 丁一汇 . 高等天气学 [M] . 北京 : 气象出版社 , 2005 : 320-330 .
- [6] 张顺利 , 陶诗言 . 长江中下游致洪暴雨的多尺度条件 [J] . 科学通报 , 2002 , 47(6) : 467-473 .
- [7] 廖移山 , 李武阶 , 爱容 , 等 . “6. 20” 淮河暴雨过程  $\beta$ -中尺度系统结构特征的数值模拟分析 [J] . 应用气象学报 , 2006 , 17(4) : 421-431 .
- [8] 矫梅燕 , 李川 , 李延香 . 一次川东大暴雨过程的中尺度分析 [J] . 应用气象学报 , 2005 , 16(5) : 699-704 .
- [9] 徐双柱 , 邹立维 , 一次梅雨期暴雨的中尺度数值模拟分析 [J] . 暴雨灾害 , 2008 , 27(1) : 19-25 .
- [10] 陈渭民 . 卫星气象学 [M] . 北京 : 气象出版社 , 2003 : 214-222 .
- [11] 周秀骥 , 薛纪善 , 陶祖钰 , 等 . 98 华南暴雨科学试验研究 [M] . 北京 : 气象出版社 , 2003 : 1220 .
- [12] 雷雨顺 . 能量天气学 [M] . 北京 : 气象出版社 , 1986 : 65-66 , 89-94 .
- [13] 朱乾根 , 林锦瑞 , 寿绍文 , 等 . 天气学原理与方法 [M] . 北京 : 气象出版社 , 2000 : 626-627 .
- [14] 毕宝贵 , 李晓莉 , 李泽椿 . 1997 年 7 月 19 日影响北京地区的暴雨个例分析 [J] . 气象 , 2004 , 30(6) : 21-22 .
- [15] Hoskins D I , Davies H C . A new look at the  $\omega$ -equation [J] . Quart J Roy Meteor Soc , 1978 , 104(1) : 31-38 .
- [16] 朱乾根 , 林锦瑞 , 寿绍文 , 等 . 天气学原理与方法 [M] . 北京 : 气象出版社 , 2000 : 635-636 .
- [17] 李英 , 段旭 , 潘里娜 . 昆明准静止锋的准地转  $Q$  矢量分析 [J] . 气象 , 1999 , 25(8) : 6-10 .
- [18] 李明 , 张涛 , 魏杰平 . 2008 年初夏孝感一次大暴雨天气过程的分析与诊断 [J] . 暴雨灾害 , 2009 , 28(1) : 51-57 .

责任编辑: 罗慧敏  
英文编辑: 胡东平