

文章编号:1673-8411 (2017) 03-0053-08

# 副热带高压边缘一次暴雨天气诊断分析

张俊利<sup>1</sup>, 陈鹤<sup>2</sup>, 张钊<sup>1</sup>

(1.湖南省邵阳市气象局, 湖南 邵阳, 422000; 2.湖南省气象局, 长沙, 410000)

**摘要:**利用 NCEP 再分析资料,对 2014 年 5 月 25 日湖南一次暴雨过程进行分析。结果表明:500hPa 高空槽、副热带高压、中低层切变线、地面冷锋是此次暴雨的主要影响系统。暴雨发生前,850hPa 比湿达  $16\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、水汽通量达  $16\sim 18\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,700hPa 以下湖南有高达 360K 以上的假相当位温高能中心。暴雨发生时,垂直速度最强中心出现在 400~600hPa 附近,达到  $-1.8\sim -2\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从 850hPa 湿位涡水平分布来看,暴雨发生时,湿正压项等值线密集,且暴雨落区主要位于等值线密集带正负过渡地带附近;湿斜压项为负值区,且最小值为  $-0.4\text{PVU}$ ,说明大气斜压性较强,对暴雨有一定的指示意义。从湿位涡垂直分布来看,中低层湿正压项正负值交界附近与强降水有较好的对应关系;中低层湿斜压项负值区指示大气斜压性较强、与正值区交汇处附近对强降水有一定的指示意义。

**关键词:**副热带高压;比湿;水汽通量;湿位涡

中图分类号:P458.1+21.2

文献标志码:A

## Analysis on a heavy rainfall on the edge of subtropical high

Zhang Jun-li<sup>1</sup>, Chen He<sup>2</sup>, Zhang Zhao<sup>1</sup>

(1. Shaoyang Municipal Meteorological Service, Shaoyang, 422000, 2. Hunan Provincial Meteorological Service, Changsha, 410000)

**Abstract:** Based on NCEP reanalysis data, a heavy rain case occurred on May 25th 2014 in Hunan is analyzed. The results show that the main influencing system of this rainstorm are upper trough of 500hPa, subtropical high, low and middle shear line, ground cold front. Before the rainstorm, the specific humidity of 850hPa is  $16\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The vapor flux is  $16\sim 18\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ . Below the 700hPa, pseudo equivalent temperature is 360K. When the rainstorm occurs, the strongest center of the vertical velocity is 400~600hPa,  $-1.8\sim -2\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ . Form horizontal distribution of moist potential vorticity, when the rainstorm occurs, the contour of wet barotropic is dense. The rainstorm area is located near the transition zone of the isoline concentration zone. The wet baroclinic item is negative. The minimum value is  $-0.4\text{PVU}$ . It shows that the atmospheric baroclinic is stronger. It has certain indication significance to rainstorm. From the vertical distribution of the moist potential vorticity, there is a good correspondence between heavy and low pressure positive and negative values at the junction of low and medium level and strong precipitation. The negative pressure region in the middle and lower layers indicates that the atmospheric pressure is stronger than that at the confluence of the positive region, which indicates the strong precipitation.

**Key words:** subtropical high; humidity; vapor flux; moist potential vorticity

暴雨是湖南主汛期主要灾害性天气之一,常给人民生命财产安全、经济社会造成严重损失。近年

来,对暴雨的研究一直是气象工作者的研究重点。周娟等<sup>[1]</sup>、郑婧<sup>[2]</sup>、孙继松<sup>[3]</sup>、甘露<sup>[4]</sup>对短时暴雨天气过

收稿日期:2016-09-30

基金项目:湖南省气象局预报员专项(XQKJ16C008)

作者简介:张俊利(1982-),女,工程师,硕士研究生,主要从事中短期天气预报研究工作,157655129@qq.com。

程进行了分析研究;赵栋<sup>[5]</sup>等利用 SWAN 系统对一次暴雨过程进行了分析探讨;徐珺<sup>[6]</sup>、程正泉<sup>[7]</sup>、孙俊<sup>[8]</sup>、周福<sup>[9]</sup>、郑婧<sup>[10]</sup>等从不同角度分析研究了大暴雨天气发生发展的成因;陈红专<sup>[11]</sup>、徐霖<sup>[12]</sup>等对湖南地区暴雨天气成因进行了分析研究;朱义青<sup>[13]</sup>、王福侠<sup>[14]</sup>、赵东旭<sup>[15]</sup>、张艳梅<sup>[16]</sup>等对暴雨天气过程的成因进行了分析研究;胡容<sup>[17]</sup>认为低层暖湿气流抬升与高层冷空气交汇触发了暴雨;贺哲<sup>[18]</sup>等认为暴雨的落区呈狭长带状与副热带高压和低槽的相互作用使冷暖气团在河南省上空交汇有关;麦建华<sup>[19]</sup>等认为暴雨过程与南支槽东移和低空急流密切相关,郭圳勉<sup>[20]</sup>等认为暖区暴雨的环流特点与高层南亚高压、低层南支槽、低空急流等有关,使中尺度对流云团生成或输入;黄远盼<sup>[21]</sup>、<sup>[22]</sup>、<sup>[23]</sup>等认为 200hPa 高空辐散、低空辐合为暴雨的发生提供了有利的动力条件;刘桂华<sup>[24]</sup>、杨新<sup>[25]</sup>等认为高空低槽、低空切变线等是暴雨发生的有利条件。

2014 年 5 月 25 日,湖南中部地区出现一次暴雨天气过程,此次过程给湖南中部地区的经济社会、交通运输、水利工程及人民生活等造成了上亿元的直接经济损失。本文利用常规气象观测资料、NCEP 再分析资料对环流形势背景、物理量特征进行了分析,希望今后对副高边缘的暴雨天气提供一些有意义的参考依据。

## 1 暴雨概况

2014 年 5 月 24 日 20 时~25 日 20 时,湖南省中部出现一次区域性暴雨天气过程,雨区呈东-西向带状分布,暴雨落区主要位于湘中地区的怀化、邵阳、娄底、衡阳、湘潭、长沙、株洲等地市,从湖南区域站可以看出,≥50mm 有 544 个,≥100mm 有 141 个,≥200mm 有 5 个,分别为怀化辰溪苏木溪 253.4mm、邵阳新邵潭府 230.3mm、邵阳新邵尧虞塘 221.4mm、邵阳邵东天山水库 205.8mm、株洲县砖桥河 209.4mm。24 日 20 时至 25 日 08 时、25 日 08 时至 25 日 20 时的 12 小时降水量,24 日夜间暴雨落区主要位于湖南中东部地区,25 日白天暴雨落区呈东西带状分布。强降水主要集中时段为 25 日 07~09 时,其中怀化辰溪苏木溪 07 时 1 小时雨强达到 104.4mm,25 日 10~15 时,雨量逐渐减小,15 时以后降水趋于停止。

此次暴雨过程持续时间长、降水强度强、范围广,湖南中部部分城市出现了严重的城市内涝和洪

水,给人民生活和社会财产安全造成了巨大的经济损失。

## 2 大尺度环流形势特征

暴雨期间,对流层高层,南亚高压位于 90°E 以东地区,属于典型的东部型,1252dagpm 北界在 30°N,脊线在 24°N 附近,在其以北地区为深厚低槽,从 100hPa 向下延伸至 500hPa,槽底位于长江流域;≥30m·s<sup>-1</sup> 副热带西风急流(图 3)南北跨度大且强盛,且向上发展到 100hPa 高度图上,中心最大风速达到 60m·s<sup>-1</sup>,湖南处于南亚高压北侧与副热带西风急流右侧,存在强辐散分流区。

500hPa 等压面上(图 1,见彩页),24 日 08 时,中高纬度地区维持两脊一槽环流形势,高压脊分别位于贝加尔湖和日本海地区,两个高压脊之间为深厚的低槽,低槽位于新疆、甘肃、内蒙交界地区,槽后脊前西北气流引导冷空气南下,副热带高压控制 30°N 及以南大部分地区,呈块状分部,副高内侧的西南季风活跃;25 日 08 时,低槽移动至河套地区,西南季风与西北气流交汇于副热带高压 588dagpm 附近。

在中低层(925~700hPa),24 日 08 时,在湖北、湖南北部、贵州一带有一东北西南向切变线,切变线以南为西南急流,急流轴位于广西、湖南,怀化站西南风速为 20m·s<sup>-1</sup>。25 日 08 时,随着 500hPa 高空槽东移,长江流域及其以北地区均转为偏北气流,偏北风速达到 12m·s<sup>-1</sup>,切变线由东北西南向顺转为东西向,切变线南部的西南风速达到 10~12m·s<sup>-1</sup>,与其北侧的偏北气流在湘中一带强烈辐合。

地面图上(图略),24 日 08 时,新疆有一冷高压中心,地面冷锋位于四川-山西南部-陕西一线,我国西南地区有一低压倒槽发展,湖南地区增温增湿明显。25 日 08 时,冷高压中心位于青海省东部,冷锋前沿到达湖北,此时湘中一带出现强降水。25 日 20 时,随着 850hPa 切变线和地面冷锋南压过境,降水结束。

此次暴雨过程是在对流层高层南亚高压北部和副热带高空西风急流右侧的强辐散分流区、500hPa 高空槽后西北急流引导冷空气南下与副热带高压内侧的西南季风交汇、850hPa 切变线、地面冷锋共同作用下产生的。

## 3 物理量诊断分析

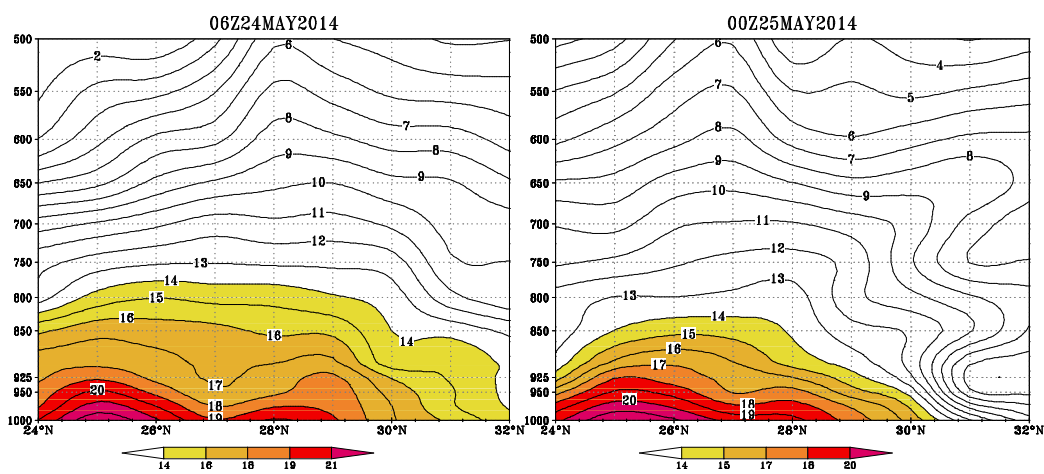


图 2 111.5°E 比湿垂直经向剖面图

3.1 水汽条件

3.1.1 比湿

从 24 日 08 时到 25 日 20 时 850hPa 等压面比湿(图略)分布来看,暴雨发生前和暴雨发生时,贵州、广西、湖南地区存在一条宽广的湿舌,湿舌北部由冷空气活动造成的湿度锋区比较明显;24 日 14 时,由于低空西南急流输送丰沛水汽,湖南处于  $15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  等值线之内,中心最大值在  $16\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  以上;25 日 08 时,随着地面冷锋不断南压,湿度锋区也南压,其中  $15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的等值线向西南退到怀化南部地区,此时  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的等值线南压位于湘中地区,湘中一带出现短时强降水,25 日 20 时,随着湿度锋区逐渐南压,  $\geq 15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的高湿区退出湖南,湖南地区降水趋于结束。从 111.5°E 比湿垂直经向剖面图可以看出(图 2),暴雨发生前 24 日 14 时,29°N 以南地区  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  比湿等值线发展到 800hPa 等压面

以上,850hPa 比湿达到  $16\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;25 日 08 时,受冷空气南下影响,在 30°N 有一明显湿度锋区,  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  比湿等值线高度下降到 800hPa 以下,850hPa 比湿下降到  $15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  以下,同时 850hPa 以下的比湿等值线加密,此时湘中一带出现短时降水;25 日 20 时,湿度锋区南压到 27°N 以南地区,降水结束。

3.1.2 水汽通量与水汽通量散度

从 700hPa 和 850hPa 水汽通量和水汽通量散度分布来看(图 3),24 日 08 时,700hPa 来自孟加拉湾的水汽经过云南,到达贵州、广西后转向东北方向输入到湖南地区,湖南水汽通量为  $10\sim 14\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ;850hPa 来自孟加拉湾和我国南海地区的水汽经过广西、广东地区向偏北方向输入到湖南地区,湖南水汽通量为  $16\sim 18\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,贵州、湖南湘中以北地区有两个水汽通量散度辐合区,一个位于贵州西南部,中心最小值  $< -4\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,一

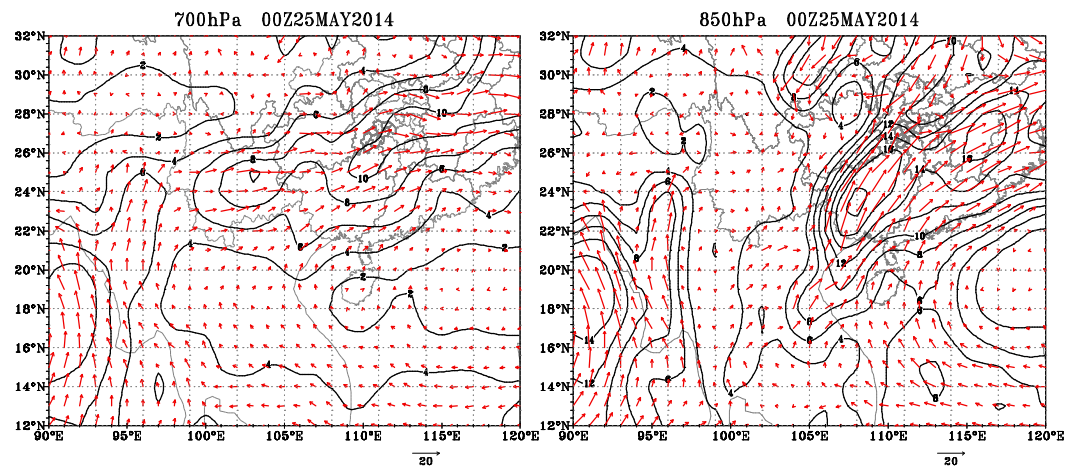


图 3 25 日 08 时 700hPa、850hPa 水汽通量



个位于湖南西北部,中心最小值 $<-3\times 10^{-7}\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。25日08时,700hPa水汽通量值较24日08时有所减小,为 $8\sim 10\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ;850hPa上,来自孟湾和我国南海地区的水汽通道与北方南下的偏北冷空气在湖南湘中地区辐合,水汽通量 $\geq 16\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 移出湖南地区,24日08时位于湘西北部地区的水汽通量散度辐合区随着500hPa偏西引导气流向东移动发展,其最小值 $<-4\times 10^{-7}\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,此时是降水最强时段,从区域站来看,其中怀化辰溪苏木溪07时1小时雨强达到104.4mm;25日20时,湖南地区转为偏北气流水汽通量散度辐合区逐渐移出湖南,降水趋于停止。

### 3.2 动力条件分析

图4为邵东天台山24日20时–26日02时垂直速度时间垂直剖面图,25日02时–25日14时整层都有较强的上升运动,其中25日08时上升运动最强,最强中心出现在500hPa附近,达到 $-1.8\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,此时天台山1小时雨强达到80mm。从图5(见彩页)中可以看出(色斑图为垂直速度),24日20时,29°N以南地区以西南气流为主,且均为弱的上升运动,中心最大值为 $-0.8\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,有利于低层水汽向高层输送;25日02时,随着冷空气南下,与西南气流交汇,28°N附近上升运动出现明显增加,其垂直速度最大值为 $-1.4\sim -1.6\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,大值区位于600~700hPa,湘中以北地区开始出现强降水;25日08时,上升运动大值区由28°N南压至27°N附近,且垂直速度最大值为 $-1.8\sim -2\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 大值区抬升至400~600hPa,此时湘中一带出现强降水;25日14时,27°N附近强垂直上升运动区转为正值区即下沉运动,降水趋于减弱停止。

### 3.3 热力条件分析

暴雨发生前,24日20时(图5,见彩页),700hPa以下,湖南地区存在中心强度高达360K以上的高能中心,高能舌向北伸展到30°N,冷空气前锋已经到达30°N,30°N以北存在着略向北倾斜的能量锋区,低空西南急流输送的暖湿空气在冷空气抬升作用下沿着锋面向上爬升;25日02时,能量锋区在偏北气流引导下逐渐南压,350K假相当位温特征线北端位于29°N附近,暖湿空气在能量锋区的作用下逐渐抬升,28°N附近850hPa以下开始转为偏北气流;25日08时,能量锋区南压至28°N附近,在27°N附近,600hPa以下,假相当位温随高度递减,表明中低层大气层结为对流性不稳定层结,600hPa~

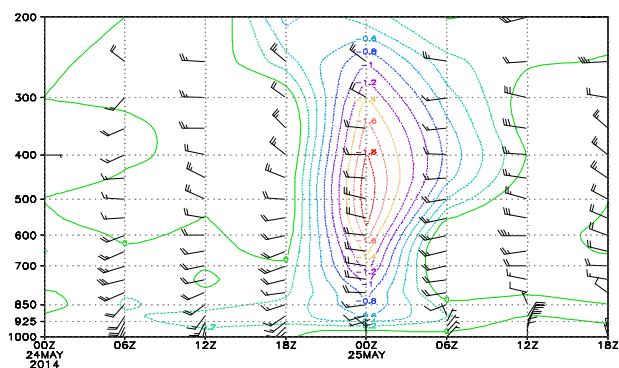


图4 24日08时–26日02时邵东天台山垂直速度时间剖面图

300hPa,假相当位温值为348–350K之间,等值线稀疏,呈漏斗状分布,此处为中性层结,这种中低层对流性不稳定层结与中高层中性层结分布在暴雨期间维持为暴雨的发生提供了能量与不稳定条件,湘中一带出现短时强降水;25日14时,随着能量锋区南压至27°N,湘中一带强降水趋于减弱停止。

暴雨发生前,中低层湖南地区存在着 $\geq 350\text{K}$ 的高能舌中心,且高能舌向北伸展到30°N,使得整层大气增温增湿明显。暴雨发生时,27°N附近中低层对流性不稳定层结与中高层的中性层结分布为暴雨的发生提供了能量与不稳定条件。

### 3.4 湿位涡

湿位涡的计算方法主要根据吴国雄等<sup>[26]</sup>所阐述的湿位涡方程,即在P坐标系下,垂直速度的水平变化比水平速度的垂直切变要小的多,引入静力近似,在绝热无摩擦的饱和大气中,湿位涡守恒表达式为:

$$MPV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p} + g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right)$$

从式中可以看出,湿位涡是综合反映大气动力学、热力学性质和斜压作用的物理量。在无摩擦湿绝热大气中,系统垂直涡度的发展与大气层结稳定度、斜压性和风的垂直切变及水汽的变化有关。

湿位涡也常用来表示,它包含水汽的变化,也可以分为湿正压项和湿斜压项 $MPV_2$ 。

$$MPV = -g(\zeta + f) \frac{\partial \theta_e}{\partial p}$$

湿正压项为湿位涡的垂直分量,取决于空气块绝对涡度的垂直分量和相当位温垂直梯度的乘积,表示惯性稳定性 $(\zeta + f)$ 和对流稳定性 $-g \frac{\partial \theta_e}{\partial p}$ 的作用。因为通常绝对涡度是 $(\zeta + f)$ 正值,当大气对流不稳定

时,  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} > 0$ , 则  $MPV1 < 0$ , 负值越大, 有利于产生对称不稳定, 则有利于暴雨的发生发展; 当大气对流稳定时,  $\frac{\partial \theta_e}{\partial p} < 0$ , 则  $MPV1 > 0$ , 正值越大, 有利于产生对称稳定。

$$MPV2 = g \left( \frac{\partial v}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial p} \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right)$$

湿斜压项为湿位涡的水平分量, 它的数值由风的垂直切变(水平涡度)和相当位温的水平梯度决定, 表征大气的湿斜压性。对流层低层大的正值的移动可作为低空急流和暖湿气流活动的示踪<sup>[26]</sup>; 当 $< 0$ 时, 大气是条件对称不稳定的, 负值越大, 说明大气斜压性越强。

湿位涡的单位为 PVU,  $1PVU = 10^{-6} m^2 \cdot s^{-1} \cdot K \cdot kg^{-1}$ 。  
3.4.1 湿正压项水平分布

24 日 14 时, 850hPa 等压面上, 湖南地区除常德东北部和湘西州以外均小于 0, 且 $< -0.3PVU$  主要位于湖南中东部长株潭地区, 湖南地区中低层呈对流性不稳定状态; 24 日 20 时, 湘西州正值区有所东移,  $MPV1 < -0.3PVU$  的负值区西移、南压, 范围有所扩大; 25 日 02 时, 湘西及湘中以北地区  $MPV1 > 0$ , 湘北地区转为偏北风, 说明此时冷空气已南压到达湖南北部。25 日 08 时, 正值区继续南压至湘中地区, 中心最大值  $MPV1 > 0.4PVU$ , 从湘东偏北地区到湘中地区形成了一条等值线密集带, 此时湘中一带开始出现短时强降水, 暴雨落区主要位于正负过渡地带附近(图 6)。25 日 14 时, 正值区继续东移南压,

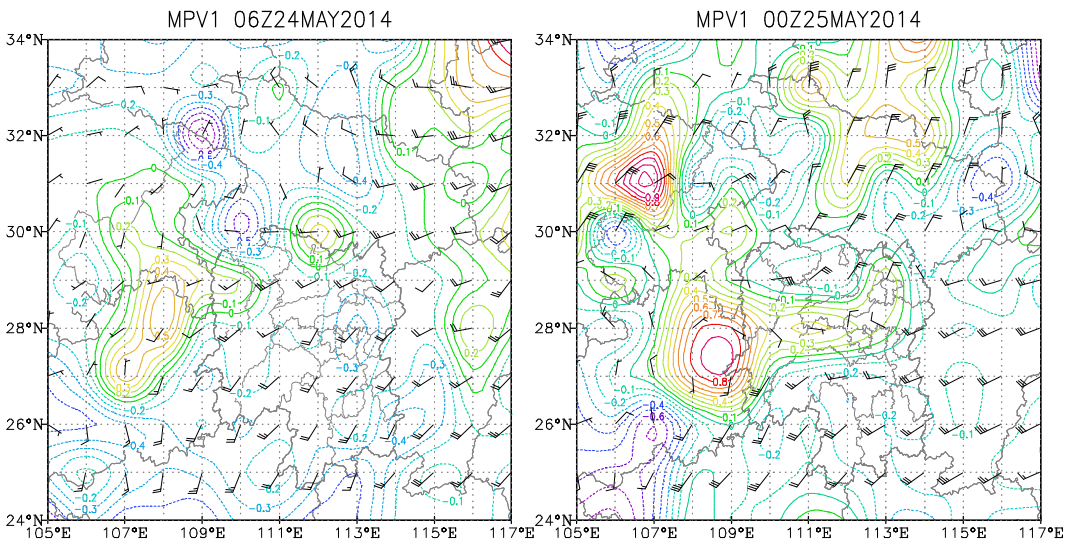


图 6 24 日 14 时、25 日 08 时湿正压项 水平分布(1PVU=10-6m2·s-1·K·kg-1)

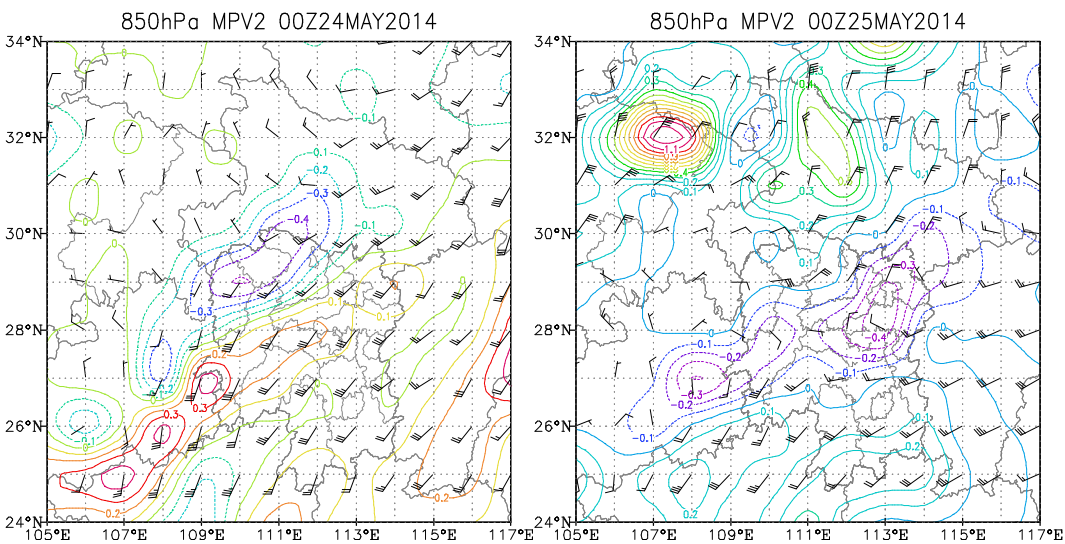


图 7 24 日 08 时、25 日 08 时湿斜压项水平分布(1PVU=10-6m2·s-1·K·kg-1)

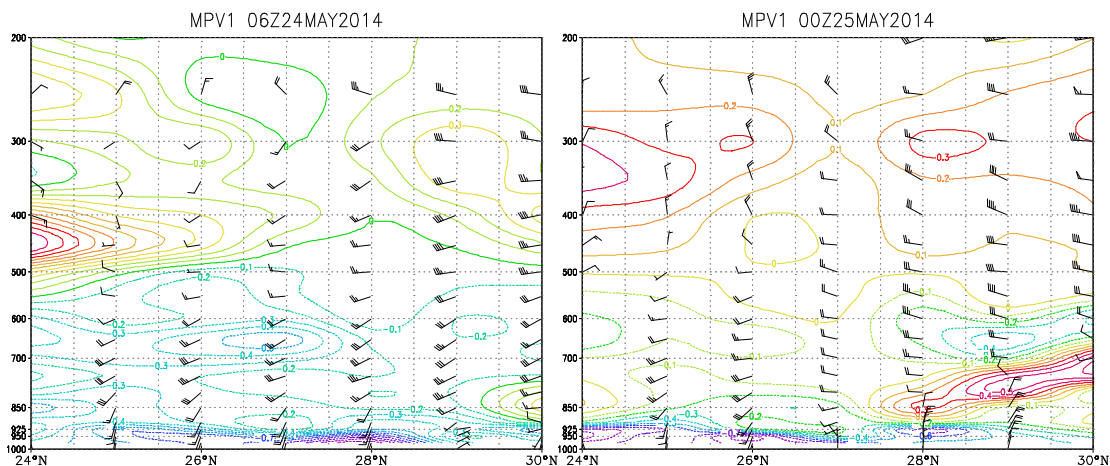


图 8 MPV1 沿 111.5°E 垂直分布 ( $1\text{PVU}=10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

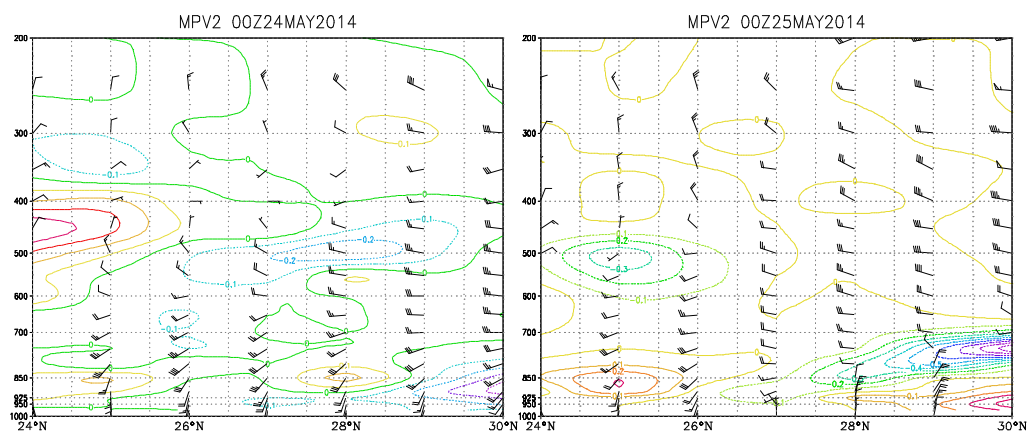


图 9 MPV2 沿 111.5°E 垂直分布 ( $1\text{PVU}=10^{-6}\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

中心最大值  $>0.8\text{PVU}$ ,  $\text{MPV1}=0\text{PVU}$  附近的梯度降低,说明此时大气逐渐趋于对流性稳定状态,降水强度较前期减弱。25 日 20 时,湖南大部地区为正值区,中心最大值  $>1.2\text{PVU}$ ,此时中低层大气转为对流性稳定状态,降水结束。

#### 3.4.2 湿斜压项水平分布

24 日 08 时,850hPa 等压面上,在广西、贵州、湖南一带  $\text{MPV2}$  为正值,中心最大值达到  $0.4\text{PVU}$ ,从风场上来看,此处为西南急流,说明  $\text{MPV2}$  正值区与低空急流有较好的对应关系;在贵州东北部至湖南西北部地区,  $\text{MPV2}$  为负值区,中心最小值达到  $-0.5\text{PVU}$ ,此处大气斜压性较强,从风场上看,此处有一东北西南向切变线存在;25 日 08 时,  $\text{MPV2}$  负值区,向东南方向移到湖南中部地区,中心最小值达到  $-0.4\text{PVU}$ ,风场上在湖南中部地区有一东西向切变线,说明此处大气斜压性较强,在其以北地区为正值,从风场上看,此处为偏北风急流带,在  $\text{MPV2}$  负值区以南地区为  $\text{MPV2}$  正值区,从风场上看,此处为

西南急流。由于对流层低层大气存在较强斜压性以及偏北急流与西南急流的强烈交汇,25 日 08 时,湖南中部地区开始出现强降水(图 7)。

#### 3.4.3 湿正压项垂直分布

24 日 14 时,500hPa 以下为负值,500hPa 以上为正值,说明中低层大气为对流性不稳定状态,中高层大气为对流性稳定状态,有利于不稳定能量在强降水发生前积累。

25 日 08 时,  $27.5^\circ\text{N}$  以南,500hPa 以下均为负值区,  $27.5^\circ\text{N}$  以北,850~700hPa 为正值区,而在其以下为负值区,说明对流层低层有冷空气入侵,并与南部西南暖湿气流交汇于  $27.5^\circ\text{N}$  地区,冷暖空气在  $27.5^\circ\text{N}$  附近强烈辐合抬升,此时湖南中部开始出现强降水。25 日 20 时,  $26^\circ\text{N}$  以北地区,850 附近均转为正值,此时对流层低层转为偏北风,大气呈对流性稳定状态,湖南地区降水趋于结束(图 8)。

#### 3.4.4 湿斜压项垂直分布

24 日 08 时,对流层低层 850hPa 附近  $\text{MPV2}$  为



弱的正值区,说明低层西南暖湿急流强盛,而在  $29^{\circ}\text{N}$  以北对流层低层  $MPV2$  为负值区。25 日 08 时,对流层低层负值区范围扩大,并向南发展到  $27^{\circ}\text{N}$  附近, $MPV2$  正值区南压且位于  $27^{\circ}\text{N}$  以南地区,由此反映了低空冷暖空气强烈交绥于  $27^{\circ}\text{N}$  附近,说明对流层低层大气斜压性增强(图 9),此时为降水最强时段。25 日 20 时,对流层低层 850hPa 附近均转为负值,降水趋于结束。

## 4 结论

利用 NCEP 再分析资料对 2014 年 5 月 25 日发生在湖南一次暴雨天气过程进行诊断分析,得到如下几点结论:

(1)此次暴雨发生在 500hPa 中高纬度两脊一槽环流形势下,对流层高层南亚高压北部和副热带高空西风急流右侧存在强辐散分流区、500hPa 高空槽后西北急流引导冷空气南下与副热带高压内侧的西南季风交汇、850hPa 切变线、地面冷锋共同作用下产生的。

(2)暴雨发生前,850hPa 湖南大部分地区比湿  $\geq 15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,中心最大值达到  $16\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  比湿等值线发展到 800hPa 等压面以上;暴雨发生时,比湿为  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  等值线南压至湘中以南地区,且  $14\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  比湿等值线高度下降到 800hPa 以下,850hPa 比湿下降到  $15\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  以下,850hPa 以下比湿等值线较暴雨发生前有所加密。

(3)此次暴雨中低层存在两条水汽输送通道,一条为孟加拉湾,一条为我国南海地区。暴雨发生前 700hPa 水汽通量达到  $10\sim 14\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,850hPa 水汽通量达到  $16\sim 18\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ,同时水汽通量散度辐合区随着 500hPa 引导气流向东移动发展,降水最强时段水汽通量散度  $< -4\times 10^{-7}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4)暴雨发生前,中低层为弱的上升运动,中心最大值为  $-0.8\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,有利于低层水汽向高层输送;暴雨发生时整层都有较强的上升运动,其中 25 日 08 时上升运动最强,最强中心出现在 400~600hPa 附近,达到  $-1.8\sim -2\text{hPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(5)暴雨发生前,700hPa 以下,湖南地区存在中心强度高达 360K 以上的假相当位温高能中心;暴雨发生时,中低层对流性不稳定层结与中高层的中性层结分布为暴雨的发生提供了能量与不稳定条件。

(6)从湿位涡水平分布来看,暴雨发生前,850hPa 湿正压项  $MPV1 < 0$ ,负值越大,说明大气对流性不稳定越强;湿斜压项  $MPV2$  为正值,中心最大值达到  $0.4\text{PVU}$ , $MPV2$  正值区与低空急流有较好的对应关系。暴雨发生时,暴雨落区附近等值线密集,且暴雨落区主要位于  $MPV1$  等值线密集附近的正负过渡地带附近;湿斜压项  $MPV2$  负值区越大,大气斜压性越强,说明冷暖空气强烈辐合抬升,对短时强降水有一定的指示意义。

(7)从湿位涡垂直分布来看,暴雨发生前,中低层  $MPV1$  为负值,中高层  $MPV1$  为正值,说明中低层大气对流性不稳定状态、中高层对流性稳定状态有利于不稳定能量在强降水发生前积累;对流层低层 850hPa 附近为弱的正值区,说明低层西南暖湿急流强盛。暴雨发生时,中低层湿正压项正负值交界附近冷暖空气强烈辐合抬升,有利于强降水发生;中低层湿斜压项负值区指示大气斜压性较强,与南部正值区交汇处附近强烈的大气斜压性对强降水有一定的指示意义。

## 参考文献:

- [1] 周娟, 高天赤, 杨军, 等. 浙江北部地区一次短时暴雨过程非常规资料特征分析 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31 (4): 7-13.
- [2] 郑婧, 孙素琴, 许爱华, 等. 强锋区结构的梅雨锋短时暴雨形成和维持机制 [J]. 高原气象, 2015, 34 (4): 1084-1094.
- [3] 孙继松, 雷蕾, 于波, 等. 近 10 年北京地区极端暴雨事件的基本特征 [J]. 气象学报, 2015, 73 (4): 609-623.
- [4] 甘露, 邓长菊, 李津. 北京地区“7.21”特大暴雨不稳定能量诊断分析 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31 (4): 01-06.
- [5] 赵栋, 郭煜, 寿绍文, 等. SWAN 系统在一次暴雨天气过程分析中的应用 [J]. 气象科技, 2013, 41 (2): 326-333.
- [6] 徐珺, 杨舒楠, 孙军, 等. 北方一次暖区大暴雨强降水成因探讨 [J]. 气象, 2014, 40 (12): 1455-1463.
- [7] 程正泉, 林良勋, 沙天阳, 等. “尤特”特大暴雨过程的热力条件分析 [J]. 气象, 2014, 40 (12): 1507-1512.
- [8] 孙俊, 邓国卫, 张渝杰, 等. “13.6.30”遂宁市特大暴雨成因的初探 [J]. 气象, 2014, 40 (10): 1174-1182.
- [9] 周福, 钱燕珍, 朱宪春, 等. “菲特”减弱时浙江大暴

- 雨过程成因分析 [J]. 气象, 2014, 40 (8): 930-939.
- [10] 郑婧, 孙素琴, 吴静, 等. 梅雨锋短时大暴雨的多尺度环境场分析 [J]. 气象, 2014, 40 (5): 570-579.
- [11] 陈红专, 叶成志, 唐明晖. 2011 年 6 月湖南两次暴雨过程的中尺度特征对比分析 [J]. 气象, 2013, 39 (12): 1580-1590.
- [12] 徐霖, 姚蓉, 李巧媛, 等. 湖南盛夏两次连续性暴雨过程对比分析 [J]. 气象与环境学报, 2015, 31 (3): 15-22.
- [13] 朱义青, 胡顺起, 张品竹, 等. 山东南部一次大暴雨过程的中尺度特征及成因分析 [J]. 干旱气象, 2015, 33 (1): 119-127.
- [14] 王福侠, 张南, 赵玉广, 等. 河北盛夏 2 次大暴雨过程对比分析 [J]. 干旱气象, 2015, 33 (1): 110-118.
- [15] 赵东旭, 杨晓玲, 周华, 等. 甘肃武威市一次局地大到暴雨天气成因分析 [J]. 干旱气象, 2015, 33 (1): 149-155.
- [16] 张艳梅, 杨宏宇, 彭芳, 等. 贵州中西部两次区域性暴雨成因对比分析 [J]. 贵州气象, 2016, (40) 1, 7-11.
- [17] 胡容, 史小康, 李耀东. 重庆一次暴雨过程的诊断分析 [J]. 气象与环境科学, 2016, 39 (1): 66-73.
- [18] 贺哲, 郑世林, 谷秀杰, 等. 2011 年秋季河南省两个暴雨日特征对比分析 [J]. 气象与环境科学, 2015, 38 (4): 47-55.
- [19] 麦建华, 于玲玲, 方宇凌, 等. 2014 年 5 月广东连续两次暴雨过程对比分析 [J]. 广东气象, 2016, 38 (2): 1-5.
- [20] 郭圳勉, 黄先伦, 麦宗天, 等. 阳江市暖区暴雨的天气学分型 [J]. 广东气象, 2016, 38 (1): 13-18.
- [21] 黄远盼, 林振敏, 葛意活, 等. 2015 年 5 月广西一次持续性暴雨天气过程诊断分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (4): 59-63.
- [22] 黄远盼, 李骄杨, 刘桂华. 桂东北一次暖区暴雨向锋面暴雨演变特征分析 [J]. 气象研究与应用, 2015, 36 (1): 30-33.
- [23] 黄远盼, 宁玉梅, 莫家尧, 等. 广西前汛期两次暴雨天气过程对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 12-35.
- [24] 刘桂华, 李永荣, 黄河, 等. 2015 年 5 月桂北两次暴雨天气过程对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2016, 37 (1): 38-42.
- [25] 杨新, 柯文华, 张小荣, 等. 两次副高边缘特大暴雨对比分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (4): 1-15.
- [26] 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展 [J]. 气象学报, 1995, 53 (4): 387-404.

(上接第 52 页)

变形成, 地面冷锋也比第一第二阶段强. 第三阶段的降雨系统配置明显优于前两阶段。

(3) 通过分析物理量得出, 整个持续暴雨天气过程的水汽、动力及不稳定能量条件都很好, 且第三阶段的水汽、动力条件配置是最好的, 最终导致出现降雨强度最大、面积最大的暴雨天气。

#### 参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 赵玉春, 李泽椿, 肖子牛. 华南锋面与暖区暴雨两个例对比分析 [J]. 气象科技, 2008, 36 (1): 47-54.
- [3] 罗建英, 廖胜石, 黄归兰, 等. 广西前汛期锋前暖区暴雨过程的模拟与分析 [J]. 气象, 2009, 35 (10): 50-57.
- [4] 刘国忠, 丁治英等. 影响华南地区西南低涡及致洪低涡活动的统计研究 [J]. 气象, 2007, 33 (1): 45-50.
- [5] 周能, 李生燕. 08.06 广西连续暴雨的大尺度环流和物理条件分析 [J]. 气象研究与应用, 2011, 32 (4): 23-26.
- [6] 黄翠银, 陈剑飞. 2013 年 12 月广西一次暴雨落区变化原因分析 [J]. 气象研究与应用, 2014, 35 (1): 30-35.
- [7] 陈国连. 2012 年 6 月 23-24 日桂林南部连续暴雨过程成因分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (4): 19-21.
- [8] 陈见, 高安宁, 陈剑飞. 广西超大范围锋面暴雨发生特征及预报方法研究 [J]. 气象研究与应用, 2013, 34 (1): 7-12.
- [9] 胡勇林, 洪展, 陈利东. 一次中尺度强降水天气过程分析 [J]. 气象研究与应用, 2012, 33 (1): 21-23.
- [10] 廖慕科, 唐乔义, 伍静, 等. 2010 年 4 月桂东北一次暖区暴雨天气分析 [J]. 气象研究与应用, 2010, 31 (4): 21-22.
- [11] 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.
- [12] 张劲梅, 莫伟强, 鄢俊一. 西南季风爆发背景下东莞两轮强降水的特征分析 [J]. 广东气象, 2014, 36 (1): 38-46.