

文章编号:1673-8411 (2016) 03-0079-05

# 2016年4月23日福建省暖区暴雨过程成因分析

陈艳真<sup>1</sup>, 刘爱鸣<sup>2</sup>, 邓以勤<sup>3</sup>, 陈艺芳<sup>1</sup>

(1 莆田市气象局, 福建 莆田, 351100; 2 福建省气象局, 福建 福州, 350001; 3 平潭综合实验区气象局, 福建 平潭, 350400)

**摘要:** 利用 NCEP/NCAR  $1^\circ \times 1^\circ$  逐六小时的全球再分析资料、风廓线和雷达回波及常规观测资料, 对 2016 年 4 月 23 日福建省暴雨过程成因进行了分析。结果表明: 西南低空急流和超低空急流是这次暴雨的主要影响系统, 暴雨主要位于超低空急流左前侧的辐合区内和地面层辐合线附近, 在低层辐合线的东南侧不断有回波生成, 回波在西南气流的引导下往东北方向移动, 同时超低空急流增强和北推的过程亦是回波开始有组织的发展和往东北移动过程; V-30 图分析对这次暴雨天气有较好的指导作用; 与低空急流相对应的低层正涡度中心是暖区暴雨的一个重要指标; 高湿高能区的存在表明有湿热能量集中, 的锋区和上干下湿的对流不稳定有利于激发释放大量不稳定能量, 易产生暴雨天气。因此, 的锋区对暖区暴雨有着较好的指示意义。

**关键词:** 暖区暴雨; 西南急流; 超低空急流; 假相当位温; 低层正涡度

中图分类号: P458.1\*21.1

文献标识码: A

## Analysis of a warm zone heavy rainfall in Fujian on April 23th 2016

Chen Yanzhen<sup>1</sup>, Liu Aiming<sup>2</sup>, Deng Yiqin<sup>3</sup>, Chen Yifang<sup>1</sup>

(1. Putian Municipal Meteorological Service, Putian, Fujian 351100; 2. Fujian Municipal Meteorological Observatory, Fuzhou, Fujian, 350001; 3. Pingtan Meteorological Service, Pingtan, Fujian 350400)

**Abstract:** Based on NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  reanalysis data, wind profile data, Doppler radar and AWS observational data, the warm zone heavy rainfall in Fujian on April 23th was studied by means of physical diagnosis. The results show that: low-level southwest jet and 925hPa jet are the main systems that trigger the rainfall. Precipitation center falls between the convergence area in 925hPa jet (left aside) and ground convergence line. Echo emerges consistently in the south of low level convergence line and moves northeast under the guidance of southwest flow along with the evolution of 925hPa jet stream. V-30 diagram shows good guidance in this process. Low level vortex center associated with low level jet stream is an important factor in heavy rainfall; High  $\theta_{se}$  means unstable energy concentration.  $\theta_{se}$  front and convection instability with dry level above wet level can induce enormous energy, which triggers the heavy rainfall. So  $\theta_{se}$  can be a good indicator of warm zone heavy rainfall.

**Key word:** warm zone heavy rainfall; southwest jet; ultra-low-level jet; potential pseudo-equivalent temperature; low-level positive vortex

## 1 引言

福建是中国暴雨高频区之一, 常因暴雨导致严

重的洪涝灾害, 因此, 对暴雨的持续时间和落区的准确把握是为防洪抗灾工作提供良好服务的先决条件。然而, 不同影响系统下, 暴雨的触发机制不同, 强

收稿日期: 2015-05-12

作者简介: 陈艳真(1987-), 福建莆田人, 本科, 理学学士, 助理工程师, 从事短期天气预报工作。

降水的持续时间、降水强度和落区都存在差异。福建省位于中国的东南沿海,处于中纬度西风带和热带东风带交替影响的过渡地带,暴雨成因复杂,既有前汛期的锋面系统暴雨,也有台风等热带系统影响造成的暴雨。近年,关于暴雨的研究,主要从气候、大尺度背景、环流条件、触发机制和维持机制<sup>[1-4]</sup>等方面着手。近些年的观测事实表明暖区暴雨也是暴雨的重要组成部分,暖区暴雨往往强度大,降水集中,具有明显的对流特征,易造成重大灾害<sup>[5]</sup>。有不少针对暖区暴雨的研究,围绕暖区暴雨的环流特征<sup>[6-8]</sup>、落区<sup>[9]</sup>和出现规律<sup>[10-11]</sup>等方面进行分析,但是目前对暖区暴雨机制研究还不够深入,影响系统常不明显,预报难度很大。2016年4月23日(本文所提时间均为北京时)福建省出现了一场暖区暴雨,本文应用常NCEP/NCAR $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐六小时的全球再分析资料、风廓线风和雷达回波资料及常规观测资料,对这次暴雨过程的环流背景、中尺度特征和物理量场特征进行分析,探讨暖区暴雨的发生机制,加深对此类暴雨的认识。

## 2 降水概况

4月23日08时至24日08时福建省出现大范

围强降水天气,福建省中部、东南部和三明市中部出现了暴雨天气,特别是龙岩市东南部、漳州市西北部、泉州市西南部出现大暴雨,强降水带主要呈东北—西南向,共有8个基本站、31个县市、264个自动站达到暴雨标准(50.0–99.9mm),8个县市、27个自动站达大暴雨(100.0–249.9mm),其中安溪庄灶达到了148.5mm为最大。此次暴雨主要降水时段在23日白天,降水区位于东部,夜间开始强降水落区往西和往北调,且降水有所减弱。本次强降水过程中还伴有雷电活动,部分地区还出现了能见度不足500m的浓雾。

## 3 大尺度环流背景分析

此次暴雨过程发生期间,500hPa亚欧大陆中高纬为一脊一槽形势,乌拉尔山–贝加尔湖以西为脊,贝加尔湖及其以东为槽,高空槽位于东北地区;西太平洋副热带高压较常年同期偏强,南方多波动,南支槽活跃,23日08时南支槽移动至105°E附近,福建省位于槽前西南受气流控制(图1a)利于水汽向福建省输送。

从低层系统来看,23日08时850hPa低涡中心位于江西、安徽、湖北三省交界处,广东至福建中南

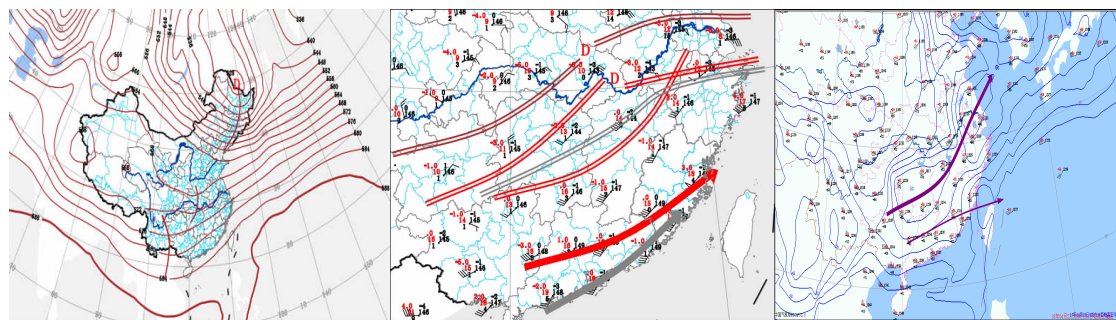


图1 23日08时高低空系统配置((a)200hPa分析场;(b)500hPa环流形势;(c)低层系统配置)

部有西南急流维持,最大风速为 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图1b),925hPa广东、福建沿海为超低空急流控制,最大风速为 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。23日20时850hPa低涡东移北抬,西段切变南压,广东东部和福建沿海仍是西南急流的控制,但强度略有减弱,最大风速为 $16\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,24日08时西南风速明显减弱。低层急流和超低空急流是此次暴雨过程对流不稳定层结的建立者和维持者,同时也是不稳定能量释放的触发者。地面福建处于锋前暖区内,地面倒槽的南侧,地面有6–7级西南风,且地面有辐合线的维持,此次暴雨主要是暖区内

低空急流附近的不稳定降水。

200hPa急流区位于我国 $30^{\circ}\text{N}$ 以南,福建省处在高空西南急流入口区右侧的辐散区,同时暴雨区上空福建省中南部地区高层存在分流,有辐散抽吸作用(图1c)。

## 4 中尺度系统分析

由福建省雷达拼图可知,23日08时–24日08时福建的强降水基本是混合性回波降水,且此次强降水可以分成三个阶段,第一个阶段是23日8:00

左右开始至 13:00 左右结束, 位于中南部沿海的一条窄带上, 时段最大降水量漳浦石榴镇达 68.6mm; 第二阶段是 10:00 之后至 18:30 回波由漳州市和龙岩市东南部起沿东北方向移缓慢的一次降水, 时段最大降水量仙游社硠乡达 102.8mm; 第三阶段是 18:00 起至 24 日 6:00 从南部一直往北扩展的较强降水, 时段最大降水量宁化安乐乡达 101.6mm。

从地面风场分析(图 2a), 23 日福建沿海有辐合线维持近 21 小时(从 09:00 至 23:00)。从风廓线雷达分析, 850hPa 福建省沿海有西南风急流的维持, 且 23 日 08 时至 13 时 925hPa 在广东东部沿海到福建省东南部有风速上的辐合(图 2b、c), 此时间段与第一阶段的降水时间相吻合, 低空西南急流和低层风速的脉动是第一阶段强降水产生的主要原因; 10 时开始 925hPa 在龙岩、漳州交界处附近有南风和西

南风的辐合, 且在龙岩中部到漳州西部有辐合线的维持(图 2d), 南风和西南风的辐合的开始时间与第二阶段降水相一致, 辐合线维持到 21 时左右(图 2e、f), 在此辐合线的东南侧一直有回波生成, 第二和第三阶段的降水都是从福建南部即龙岩一带辐合线东南侧生成在中高层西南急流的引导下往东北和北移动。

此次回波的发展源头主要在漳州市和龙岩市的东南部与粤东交界处, 分析 925hPa 的风廓线雷达资料可知此次回波的发展与超低空急流的增强北推有密切关系。超低空急流对暴雨产生起到重要作用, 在暴雨发生过程中超低空南风急流是暴雨所需水汽的最大提供者<sup>[12]</sup>。在 23 日 06 时广东省东南部风速为  $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 23 日 09 时风速均增强到  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 超低空急流在增强北推, 对应的回波也有组织的发

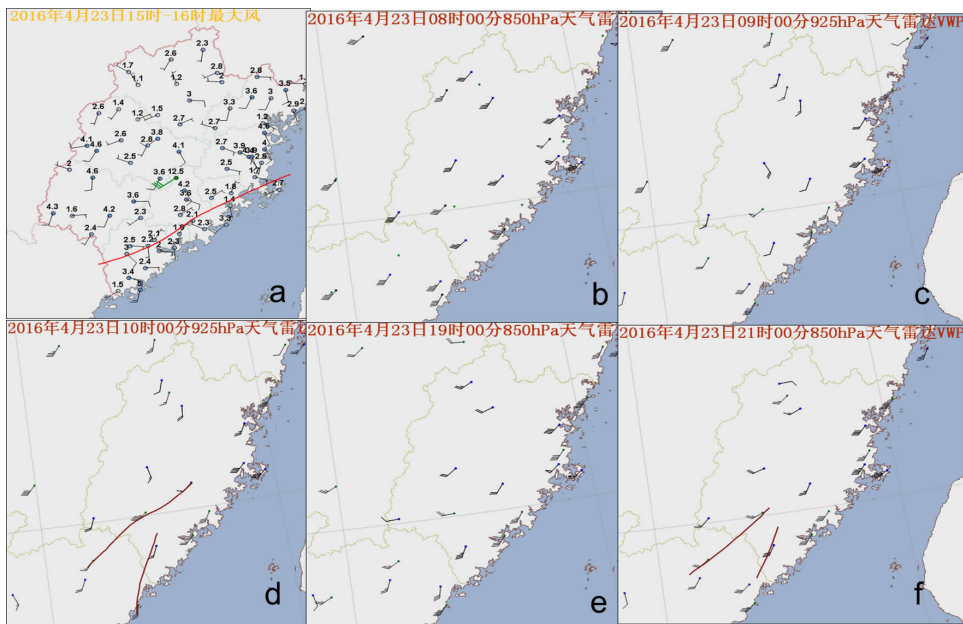


图 2 23 日 15–16 时地面风场(a)和 23 日风廓线风场 ((b) 8:00; (c) 9:00; (d) 10:00; (e) 19:00; (f) 21:00)

展, 往东北移动。此次暴雨主要在超低空急流前方的辐合区内, 超低空急流是此次暴雨发生的主要影响系统。在暖区暴雨的预报中要关注超低空急流的变化。

## 5 物理量诊断分析

### 5.1 V-30 图表分析

是用单站探空资料计算和绘制出的垂直方向上的二维图, 表示探空资料中风向、风速。3 即、饱和, 其中是位温, 是以露点温度计算的假相当位温, 饱和

是假定饱和状态下的位温。图中 3 条曲线从左向右依此为、以及饱和。

从 23 日 08 时厦门站(图 3)可见: (1) 整层、饱和和线都靠的很近, 饱和和线和  $\theta_{\text{sed}}$  的差值小于 8K, 说明湿度大, 湿层深厚; (2) 在 400~250hPa 之间 3 线几乎垂直于轴, 有超低温层; (3) 925~600hPa 之间, 饱和和线明显向左倾, 与轴成钝角, 表示该层大气的垂直结构极度不均匀, 而且积聚了不稳定能量有待释放; (4) 近地面层为西南风, 高层为偏西风, 且高层风速大于低层, 形成深厚的顺滚流, 有利于垂直运动发



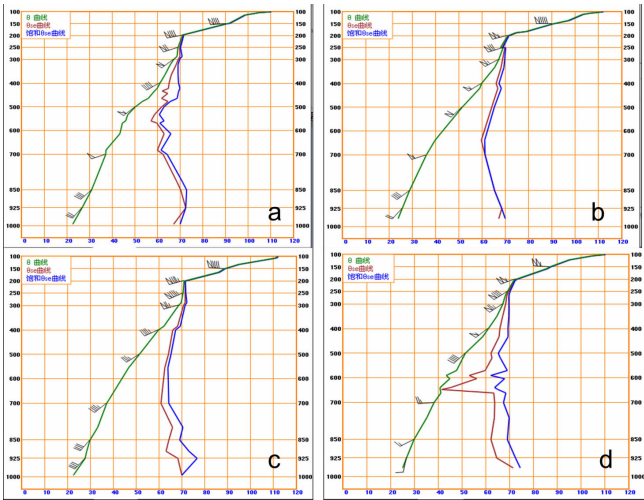


图3 23日((a)08时厦门站;(b) 08时龙岩站;(c) 20时厦门站;(d) 20时龙岩站)

展。从以上分析可以预测未来将有强降水和雷电等天气发生。同样从23日08时的龙岩站的图可分析出深厚的水汽和顺滚流的出现,是典型的暴雨图形特征。23日20时厦门站和龙岩站,从垂直风场来看仍然有深厚的顺滚流维持,但是、饱和线之间距离加大,水汽条件减弱,且龙岩站低层的风力有所减弱,因此降水仍在继续,但是夜间降水较白天略有减弱,且较强降水有所北抬。图在此次暴雨天气预报中具有较大应用价值。

5.2 动力条件分析

从低层涡度场(图4a、b,见彩页)分析可以明显看出在1000hPa和850hPa有正的涡度中心与西南低空急流和超低空急流相对应,亦与暴雨落区相对应,中心值为 $4\times10^{-5}\text{S}^{-1}$ 和 $6\times10^{-5}\text{S}^{-1}$ ,同时沿强降水带上((24.3°N;116.2°E)—(26.2°N;120°E))的涡度垂直剖面(图4c,见彩页)发现4月23日08时暴雨中心附近近地面至400hPa为正涡度区,有两个正涡度

强中心,分别位于550hPa和800hPa,中心值分别为 $2\times10^{-5}\text{S}^{-1}$ 和 $2.5\times10^{-5}\text{S}^{-1}$ ,其位于大暴雨中心附件,400hPa以上为负涡度区,强中心位于200hPa,中心值为 $-2.5\times10^{-5}\text{S}^{-1}$ ,位于大暴雨中心略偏南,说明暴雨区上空的涡度场是一个由下自上向南倾斜的斜管。这种高空负涡度低空正涡度形势有利于暴雨的发生。

沿强降水带上((24.3°N;116.2°E)—(26.2°N;120°E))的垂直速度剖面(图4d,见彩页)可见,暴雨发生期间,暴雨区上空有强烈的垂直上升运动,最高上升到200hPa,垂直上升运动最强是在500hPa,中心值达 $-1.2\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ,强烈的上升运动是造成暴雨的直接原因。

5.3 水汽条件

分析该次暴雨过程850hPa的水汽通量分布(图略),暴雨发生期间华南上空盛行西南风,水汽源源不断从南海向华南沿海输送,23日08时的水汽通量,在广东东部为一个水汽通量高值中心,850hPa水汽通量在 $24\text{g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{hPa}\cdot\text{s})^{-1}$ 以上,低空西南急流形成水汽输送通道汇合到强降雨区上空。由于西南急流的存在和维持,暴雨区上空有源源不断的水汽输送,为暴雨的产生提供了充足的水汽条件。

5.4 能量条件

假相当位温反映了大气的温湿状况,应用的水平分布和垂直分布可以分析大气中的能量分布、垂直稳定度状况和大气斜压性<sup>[13]</sup>。从场分布看,暴雨出现前23日08时粤东-闽东一带低层有一个高湿高能轴。从图5a可以看到,23日08时在850hPa上有一条高能舌在福建东部沿海,高能舌中心强度在335K以上。由此说明,暴雨发生前在闽东沿海低层已经有大量湿热能量集中。在闽中有一个相对的低值中心,说明在低层有弱冷空气的渗透,该低值中心

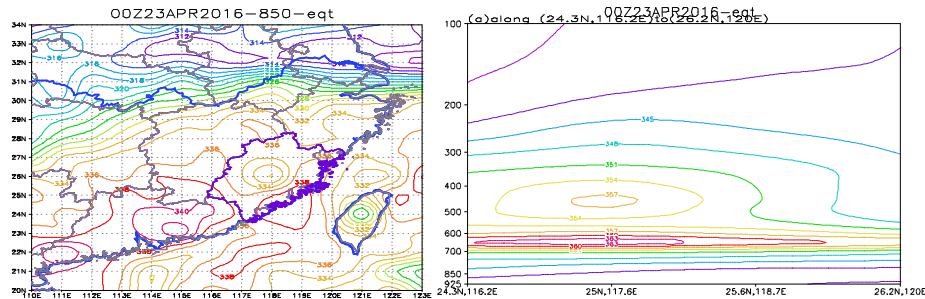


图5 23日08时850hPa假相当位温(a)和假相当位温垂直剖面(b)(单位:K)

与高能舌形成的能量锋,有利于产生强对流天气。从沿强降水带上((24.3°N;116.2°E)—(26.2°N;120.°E))的假相当位温剖面(图5b)上可见在700—600hPa有相对的大值中心达363K以上,往高层值在减小,可分析出暴雨区上空存在上干冷下暖湿,即 $\delta\theta_{se}/\delta z < 0$ ,存在对流不稳定,易发生强降水天气。

## 6 结论

(1)本次暴雨过程是明显的暖区暴雨过程,主要的影响系统是西南低空急流和超低空急流。低层急流和超低空是对流不稳定层结的建立者和维持者,同时也是不稳定能量释放的触发者。超低空急流和近地层辐合是这次强降水的一个重要特点,暴雨主要位于超低空急流左前侧的辐合区内和地面层辐合线附近。

(2)本次暴雨过程的发生与中尺度系统密不可分,在低层辐合线的东南侧不断有回波生成,回波在西南气流的引导下往东北方向移动,同时超低空急流增强和北推的过程亦是回波开始有组织的发展和往东北移动过程。

(3)V-30图分析对这次暴雨天气有较好的指导作用,能看出湿度大小、湿层深厚、超低温、顺滚流、强不稳定非均匀结构等特征。通过这些特征结合其他物理量进行诊断分析,能更好地预报强降水过程。

(4)与低空急流对应的低层正涡度中心是暖区暴雨的一个重要指标;高湿高能区的存在表明有湿热能量集中,的锋区和上干下湿的对流不稳定有利于激发释放大量不稳定能量,易产生暴雨天气。

(5)数值预报常对这种暖区暴雨漏报,因此,在日常预报中,在有利环流背景下,要足够重视低空急

流和超空急流的分析,同时要结合物理量配置和实况等资料对数值预报的暴雨落区进行订正。

## 参考文献

- [1] 钟平威,陈敏,孙喜艳.海丰县暴雨的气候特征[J].广东气象,2009,31(3):26-28.
- [2] 蔡建初,梁广沃.2009年7月4-6日北海地区暴雨过程初步分析[J].气象研究与应用,2010,31(2):16-17.
- [3] 王红军,白爱娟.2008年6月广东阳江特大暴雨过程触发机制分析[J].广东气象,2009,31(4):16-19.
- [4] 苏贵睦,陈向东,陆洪波等.2009年7月初广西致洪暴雨过程综合分析[J].气象研究与应用,2010,31(1):35-38.
- [5] 林良勋,冯业荣,黄忠等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006:119.
- [6] 林确略,寿绍文.广西锋面、暖区及高压后部暴雨个例对比研究[J].气象研究与应用,2012,33(2):11-18.
- [7] 黄治逢,谢凯,姚才.广西前汛期暖区暴雨与环流系统特征分析[J].广西气象,1989,(1):2629.
- [8] 周乐明,肖明坤,涂建文.一次暖区特大暴雨过程分析[J].广东气象,2004,26(3):11-12.
- [9] 魏启梅,韦有暹.锋前暖区暴雨的落区问题[J].广东气象,1997,19(2):17-18.
- [10] 陈启彬.玉林地区前汛期暖区暴雨分析[J].广西气象,1987(4):4-8.
- [11] 熊亚丽.5月3-5日珠江三角洲暖区强降水过程分析[J].广东气象,2004,26(2):8-10.
- [12] 姚胜芳.急流对一次特大暴雨形成的影响分析[J].气象研究与应用,2007,28(S1):35-37.
- [13] 郑启康,何敏玲.广东一次区域性暴雨的数值模拟分析[J].广东气象,2011,33(2):16-19.