

何编, 孙照渤. “0806” 华南持续性暴雨诊断分析与数值模拟. 气象科学, 2010, 30(2): 164-171. He Bian, Sun Zhaobo Diagnostic analysis and numerical simulation of persistent torrential rain in south China in June 2008. Scientia Meteorologica Sinica, 2010, 30(2): 164-171.

## “0806” 华南持续性暴雨诊断分析与数值模拟

何 编 孙照渤

(南京信息工程大学 大气科学学院, 南京 210044)

**摘 要** 用 NCEP 再分析资料、常规气象观测等资料, 对 2008 年 6 月 11—13 日发生在华南地区的持续性暴雨的大尺度背景进行了分析, 用 MM5 模式模拟出了暴雨的大尺度背景, 利用模拟结果对这次暴雨过程的系统演变做了进一步的分析。结果表明: (1) 西南涡是暴雨的直接影响系统, 随着西南涡的东移, 暴雨从广西北部一直推进到广东东南部。(2) 中高纬稳定的两槽一脊的环流形势和偏南的西太平洋副高, 及不断南下的小股冷空气, 为这次暴雨提供了有利的中高纬环流背景冷空气条件; 东亚夏季风偏南, 越赤道气流偏强, 给暴雨的维持提供了丰富的水汽条件。(3) 模拟的结果验证了暴雨发生的大尺度环流背景, 并在 700 hPa 上模拟出了 3 个正涡度中心, 是华南暴雨发生的动力因子。

**关键词** 持续性暴雨 大尺度背景 数值模拟

**分类号** P458.3 **文献标识码** A

## Diagnostic analysis and numerical simulation of persistent torrential rain in south China in June 2008

He Bian Sun Zhaobo

(School of Atmospheric Sciences Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044 China)

**Abstract** Based on the reanalysis data of NCEP and the regular meteorological observation, the large scale background of persistent torrential rain on June 11—13, 2008 in south China is analyzed, the large scale background environment has been simulated by high resolution MM5 model. The result shows that (1) Southwest vortex was the direct impact system of the persistent torrential rain, as the vortex move eastward, the torrential rain moved from northern area of Guangxi to southeast area of Guangdong. (2) The stable circulation of two troughs and one ridge at middle and high latitudes, the more southward position of the subtropical high in the west Pacific and small-scale cold current continuously advancing south provided a favorable circulation cold air background condition of middle and high latitude area for the maintenance of the persistent torrential rain. An anomalously southern summer monsoon in East Asia and anomalously strong air current across equator provided abundant moisture for the maintenance of the persistent torrential rain. (3) The result of the simulation proves the large scale circulation background of the torrential rain, and three positive vorticities appeared on 700 hPa are the dynamical factor of the torrential rain.

**Key words** Persistent torrential rain Large scale background Numerical simulation

收稿日期: 2008-11-26 修改稿日期: 2009-03-24

基金项目: 国家 973“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”项目 (2004CB418303)

第一作者简介: 何编 (1983-), 男, 南京, 硕士生, 主要从事暴雨数值模拟研究, biah\_H\_522@163.com

通讯作者: 孙照渤, 教授, sunz@nuist.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

## 引言

2008年6月中旬,华南地区出现了范围大,强度高,持续时间长的持续性暴雨天气,比往年降水量明显偏多,其中11—13日这一时段降水强度达到最大,降水量主要分布于广西北部 and 广东东南部。这一时期的降水过程,给人民生命财产造成了巨大的损失。

华南地区,由于受季风、高原地形等复杂因素的影响,常常会爆发持续性的暴雨,是中国气象学者关注的热点问题。持续性暴雨的发生和维持与大尺度背景环境有密切的联系,我国学者经过多年不懈的研究,对持续性暴雨的认识已经有了一系列的研究成果。陶诗言等<sup>[1]</sup>把持续性暴雨的发生发展背景大致分成了三类:稳定经向型、稳定纬向型及过渡型,并指出了西太平洋副高的位置决定了从海上来的水汽通道。薛纪善<sup>[2]</sup>等的研究表明,活跃的南海季风与低纬度环流配置是华南前汛期持续性暴雨产生的背景条件。鲍名<sup>[3]</sup>对2006年6月华南持续性暴雨的研究表明,副热带高压在华南地区持续西伸是持续性暴雨发生的大尺度环流背景。吴丽姬等<sup>[4]</sup>对华南前汛期持续性暴雨的分布特征做了分析,并总结出了夏季风爆发前后出现频率较高的几种分布雨型。胡亮等<sup>[5]</sup>对华南持续性暴雨的大尺度降水条件进行了分析,讨论了不同类型华南持续性暴雨的形成原因。陈晓红等<sup>[6]</sup>利用EC模式资料研究了欧亚环流形势与淮河流域致洪暴雨之间的关系。王黎娟等<sup>[7-8]</sup>从大气热源的角度研究了淮河流域及华南地区暴雨发生的环流背景形势。林毅等<sup>[9]</sup>研究了高低空急流对暴雨发生的影响,并用数值模拟证明了动力因子是2002年6月福建地区暴雨发生的主要影响因子。

而对于在华南地区活动频繁的西南低涡的研究也一直得到广大学者的关注,陈栋等<sup>[10]</sup>对在“鞍”型大尺度环流背景下西南低涡发展的物理过程进行了分析,赵思雄等<sup>[11]</sup>对2004年9月西南低涡的结构及环境场进行了分析,于波等<sup>[12]</sup>利用MM5模式对西南涡的结构及演变过程做了高分辨的个例分析。杨帅等<sup>[13]</sup>利用数值模拟结果讨论了高空急流的走向与西南涡活动的关系。

由于持续性暴雨是多尺度系统相互作用的結果,其发生发展过程相当复杂,在现有的认识基础上,对持续性暴雨的预报能力仍十分有限,因此,对持续性暴雨的研究工作很有必要进一步的进行分析

与探讨。本文利用6h一次的NCEP全球再分析资料、NOAA/ESRL/PSD提供的 $H$ 、 $u$ 、 $v$ 多年平均值资料(1968—1996年)、常规观测站资料等,分析了此次持续性暴雨的大尺度环流背景,并用高分辨的MM5模式对这次西南涡的形成与发展进行了模拟验证,为进一步研究持续性暴雨的发生发展背景提供了一个参考。

## 1 降水过程分析

2008年6月11—13日,我国华南地区出现了持续暴雨局地特大暴雨的降水过程,图1给出了此次降水过程的降水量分布形势。由图1a可以看出,本次的华南持续性暴雨主要分布在两个区域,一个是在广西北部有两个强降水中心,另一个位于广东东南部沿海地区。从逐日的降水图上来看(图略)6月11日00时—12日00时(世界时,下同),强降水区集中于广西北部地区,雨带大致呈东西向分布,24h后,雨带有所东移,主要降水带处于广西中部,广东地区也有一条呈南北向的雨带,广西境内的两个强降水中心分别位于沙塘和富川,其中富川的24h雨量达到了300mm,广东东南部的强降水中心位于东莞,12日18时—13日00时6h雨量达到了241mm。13日00时—14日00时,整个雨带向东南方向推进到广东沿海地区,主要有两个强降水中心,分别位于深圳、香港地区和潮州、汕头地区,其中13日06时—12时汕头的6h雨量有206mm之多。

为进一步讨论本次暴雨降水的特征,本文选取了华南区域( $21^{\circ}\sim 26^{\circ}\text{N}$ ,  $106^{\circ}\sim 118^{\circ}\text{E}$ )共92个站点,将6h雨量 $> 50\text{mm}$ 的站点数和 $> 20\text{mm}$ 的站点数累计得出在时间上的演变过程(图1b),可以看出,此次暴雨的发生主要有三次比较明显的过程,第一次从11日18时开始,由于西南涡的影响,华南地区开始出现强度较大的暴雨,范围和强度同步增大;第二次发生在12日18时,到了13日06时,暴雨强度达到了最大,影响范围也最广;而第三次在13日的06—18时,暴雨下的比较集中,范围不是很广,但强度很大,与第二次接近。

## 2 天气背景分析

### 2.1 天气特征

分析发生较强暴雨的时期,6月12日00时开始,随着500hPa高度上低压槽的加深,在云南西南部850hPa高度上出现了一个闭合性低压(图2a),700hPa高度上风场气旋性辐合有所增强,但未见闭

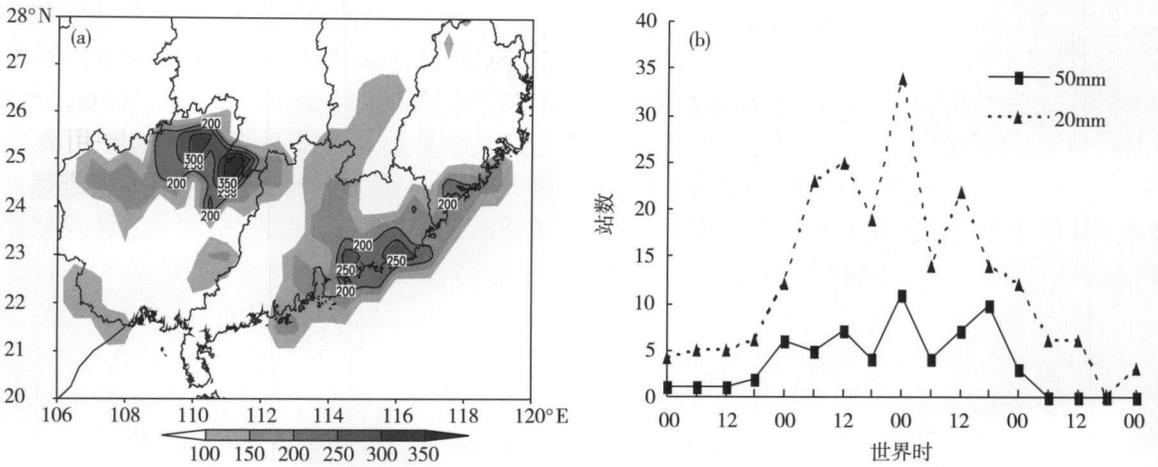


图 1 (a) 2008年 6月 11—13日累计降水量分布图 (单位: mm); (b) 11日 00时至 15日 00时 6 h雨量  $\geq 50$  mm 和  $\geq 20$  mm 的站数  
 Fig 1 (a) Accumulated precipitation (unit mm) from June 11 to 13 in 2008; (b) torrential rain station numbers

合性低压出现。06时在 700 hPa 上有闭合性低压产生,到了 12日 18时,低压中心东移至广西中北部地区,并且强度比前一阶段加强(图 2b), 700 hPa 中心位势高度达到 3 055 gpm, 低压东南部的急流也较前时期增强不少,与这一时期广东地区的局地特大暴雨的区域相一致。13日 00时, 500 hPa 高度上,西太平洋副高西进至 125°E, 低压中心呈东北—西南向的形状开始向东北方向移动, 06时低压有所减弱,此时广东南部正处于西南低空急流带区域。13日 18时开始, 低压逐渐向长江中下游地区移动。综上分析可知, 西南涡是这次持续性暴雨的主要影响因素。

## 2.2 大尺度背景特征

### 2.2.1 高度场

2008年 6月 11日 06时开始,随着 500 hPa 高度上巴尔喀什湖低压槽的东移, 贝加尔湖以东上空的

阻塞形势加深, 中纬度南支槽也逐渐加深并稳定维持在云贵高原上空, 副高西伸至 115°E, 使得两广地区这一时段以来一直受到槽前西南暖湿气流影响, 6月 11日 18时, 高纬阻高形势有所加强, 副高东退至 140°E, 850 hPa 场地上在青藏高原东部地区有气旋性切变, 由于副高的东退, 经南海至华南地区的低空急流有所增强, 在气旋性切变的前部, 广西北部地区出现了大暴雨天气。从 6月 11—13日的平均 500 hPa 高度场上(图 3)可以看出, 高纬地区为两槽一脊的环流形势, 巴尔喀什湖上空为一深厚的长波槽, 槽前的暖平流使得贝加尔湖以东地区明显加压, 这样便使贝加尔湖以东上空高压脊加强, 而在日本海上空存在一个闭合冷中心。中低纬度上, 云贵高原地区为一浅槽, 西太平洋副高位置较为偏南, 这样给西南的暖湿气流和北方的冷空气在我国的华南

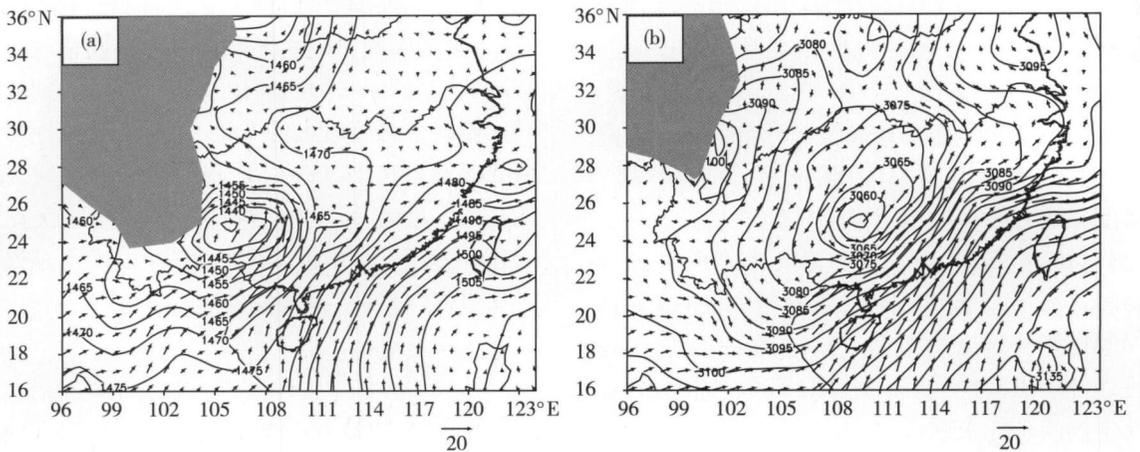


图 2 2008年 6月 12日高度场 (单位: gpm) 风场 (单位 m/s) (a) 00时 850 hPa (b) 18时 700 hPa

(图 2a 阴影部分地形高度 > 1 500 m, b 阴影部分地形高度 > 3 000 m)

Fig 2 Geopotential height field (unit gpm) and wind field (unit m/s) (a) 850 hPa at 00 00UTC on June 12, 2008 (b) 700 hPa at 18: 00UTC on June 12, 2008 (in Fig 2a and b terrain height of shadow area > 1 500 m and > 3 000 m)

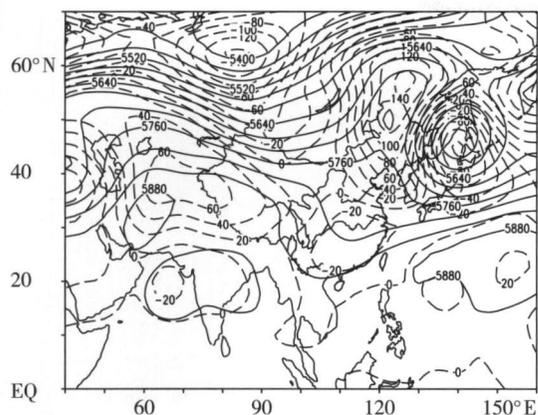


图3 2008年6月11—13日500 hPa的高度场平均(实线)和距平图(虚线)(单位:gpm)

Fig 3 500 hPa averaged geopotential height(unit gpm) and its anomaly field from June 11 to 13 in 2008

地区交汇提供了有利条件,这样一种两槽一脊,副高偏南的环流型有利于从高原上下来的涡旋向偏南方向东移。

从高度场的距平图(虚线)中可以很明显的看出,(用2008年6月11—13日高度场的平均值与同期多年平均值作差值)巴尔喀什湖上空这一时期有一个较强的负距平中心,中心强度达到 $-140$  gpm。从贝加尔湖往东到我国东北地区上空为较强的正距平区,在鄂霍次克海上空为一个次强的负距平中心,这些区域与平均图上两槽一脊的环流形势有很好的对应关系。从长江以南到我国华南大部分地区表现出一个负距平区,这表明了华南地区这一时期处于低压系统西南涡的影响范围内。

### 2.2.2 厚度场和风场

厚度场可以反映大尺度背景的冷空气活动情况<sup>[14]</sup>,从对流层中下层(500—1000 hPa)厚度场逐日距平图上可以看出(图略),11日在巴尔喀什湖北有一冷中心由于槽后偏西北气流的影响开始逐渐分裂,青藏高原东部有一弱冷中心缓慢东移,12—13日,分裂出来的冷中心在偏北气流的引导下侵入我国北部地区,进而推动高原东部的冷中心加强侵入我国南方地区。垂直方向上,对这一时期各层的厚度场距平分析发现(图略),在高纬巴尔喀什湖上空100—300 hPa主要表现为一个正距平中心,而300 hPa以下(图4a)为一个负距平中心,且我国南方大部分地区为负距平区,这说明了此次冷空气的来源主要在高纬对流层中层,经巴尔喀什湖上空的槽后西北气流把高纬冷空气从我国新疆以北越过青藏高原带到华南地区,进而与西南暖湿气流交汇,给华南持续性暴雨提供了有利条件。从 $104\sim 106^{\circ}\text{E}$

的厚度场经向剖面图上来看(图4c),冷空气有一个明显南下的过程,11日00时开始,从 $36^{\circ}\text{N}$ 左右有一股冷空气开始南侵,到了13日的00时,5785线已达 $22^{\circ}\text{N}$ ;从 $22\sim 26^{\circ}\text{N}$ 的厚度场纬向剖面图上来看(图4d),11日00时开始,冷空气已经侵入华南地区,这和500 hPa华南地区高空的低槽有紧密联系,槽后西北气流把冷空气输送到高原南部地区,12日00时开始,在 $113^{\circ}\text{E}$ 附近有一个冷中心,中心厚度小于5760 gpm,随着高空槽前的偏西风气流,这三股冷空气向东侵入,与西南暖湿气流交汇形成降水。

在对流层低层,从这一时期的850 hPa风场(图略)上来看,比较明显的是从阿拉伯海有一支低空急流把孟加拉湾和我国南海的水汽输送到华南地区,从马来群岛到新几内亚岛有一支较强越赤道气流沿副高边缘移动与西南低空急流在南海地区汇合。850 hPa的厚度场距平图上在鄂霍次克海以西有一个弱负距平中心,风场距平图上(图4b)(用2008年6月11—13日风场的平均值与同期多年平均值作差值运算得出),贝加尔湖以东地区为一个较强的距平风的反气旋性环流,把鄂霍次克海附近的冷空气带入我国华南地区。南海地区表现为偏强的南风距平,马来群岛和新几内亚岛的偏强的越赤道气流距平把南半球的水汽向南海附近输送,副高边缘有比较明显的距平风的反气旋性环流,使得西太平洋的越赤道气流对华南地区的水汽输送偏强,进而导致华南地区的持续性暴雨异常偏强。在华南地区,表现出较强距平风的气旋性环流,这表明了西南涡给持续性暴雨的发生提供了有利条件。

### 2.2.3 水汽通量场

水汽的输送是持续性暴雨得以维持的必要条件。11日西南低空急流有所增强,700 hPa上从孟加拉湾和南海的水汽输送也随之增强(图略),12日18时,850 hPa高度上(图略),比较明显的可以看出,从马来群岛有一条水汽通道在苏门答腊岛以东与来自孟加拉湾的水汽汇合经我国南海输送到华南地区,从新几内亚岛以东的西太平洋上也有一支水汽输送通道随副高边缘在南海与前两支水汽通道汇合。从12日18时850 hPa水汽通量散度图上可以看出(图略),华南及青藏高原东部大部分地区在西南低涡的影响下处于水汽的辐合区,随着西南涡的东移,水汽的辐合在13日00时达到了最强,辐合中心东移至广东东北部,中心强度达到了 $-1.5\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 。从6月11—13日平均水汽通量图上可以看出(图5a

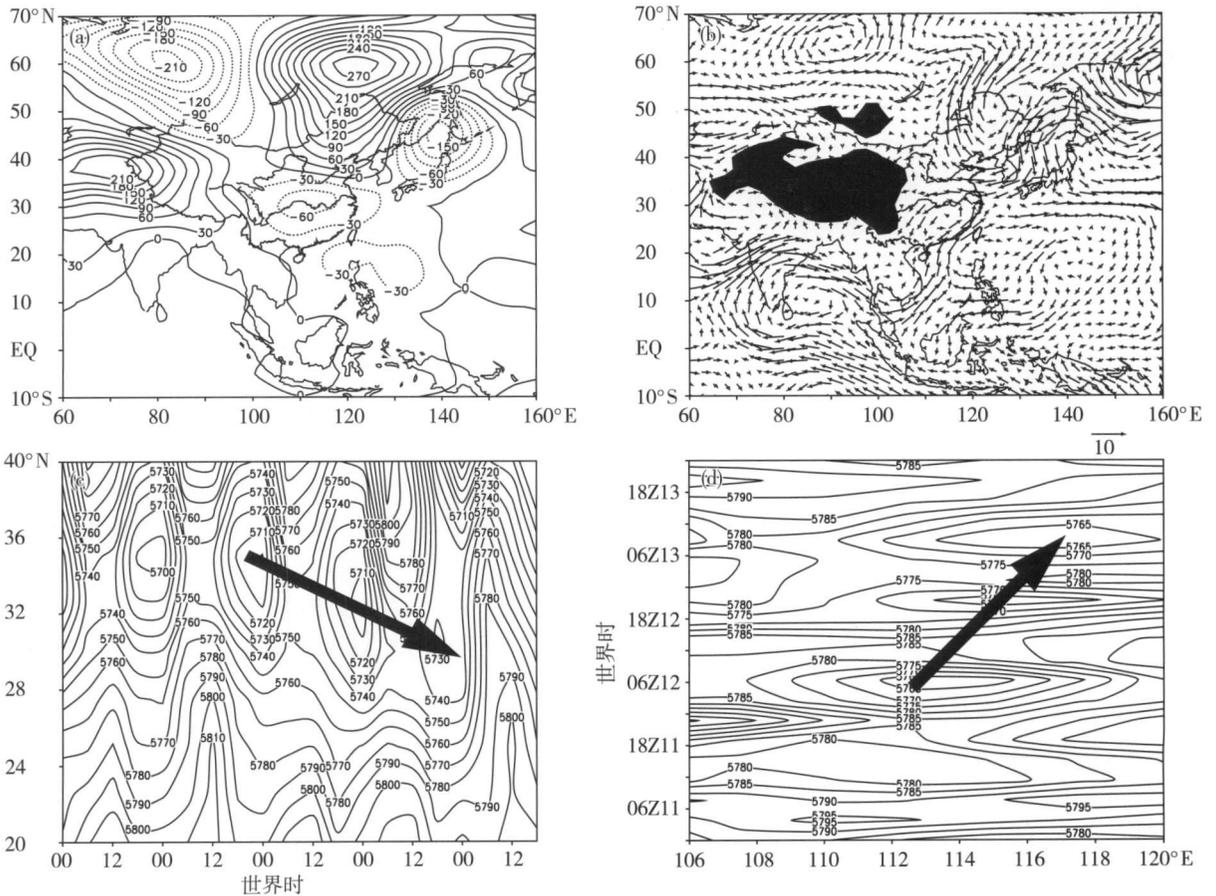


图 4 (a) 2008年 6月 11-13日平均厚度场距平图 (单位: gpm) (300-1 000 hPa); (b) 同期 850 hPa 平均风场距平图 (单位: m/s) (阴影部分地形高度 > 1 500 m); (c) 6月 9-13日 104~ 106°E 平均的厚度场 (500-1 000 hPa) 经向剖面图 (单位: gpm) (d) 6月 11-13日 22~ 26°N 平均的厚度场 (500-1 000 hPa) 纬向剖面图 (单位: gpm)

Fig 4 (a) Averaged thickness anomaly field from June 11 to 13 in 2008 (unit gpm) (300-1 000 hPa); (b) 850 hPa averaged wind anomaly field during the same period (unit m/s) (terrain height of the shadow area > 1 500 m); (c) averaged thickness field (unit gpm) (500-1 000 hPa) along 104°E~ 106°E during the same period; (d) averaged thickness field (unit gpm) (500-1 000 hPa) along 22°N~ 26°N during the same period

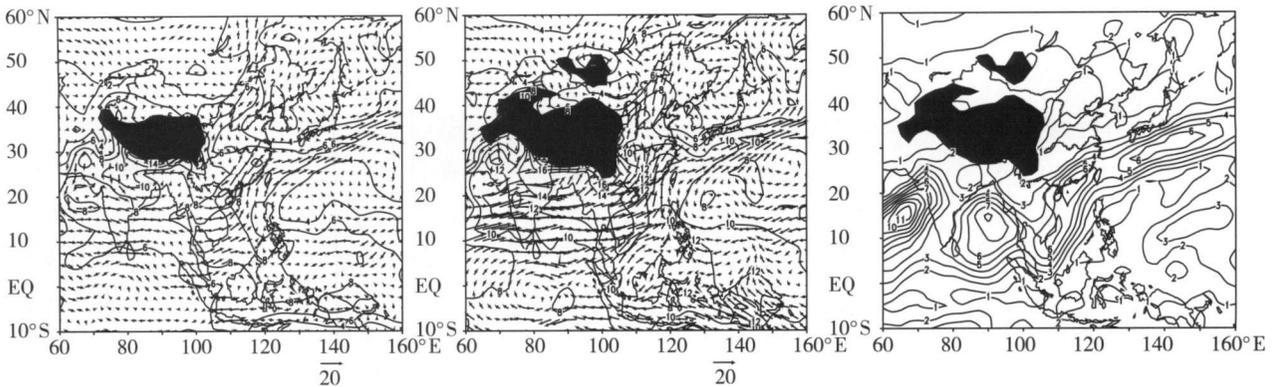


图 5 2008年 6月 11-13日平均水汽通量 (单位:  $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ ) 和比湿场 (单位: g/kg) (a) 700 hPa (b) 850 hPa (c) 平均整层水汽通量 (从地面到 300hPa) (单位:  $10^4 g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$ ) (阴影部分地形高度: (a) 中 > 3 000m; (b) (c) 中 > 1 500m)

Fig 5 Averaged moisture flux vector (unit  $g \cdot cm^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ ) and specific humidity (unit g/kg) of 700 hPa from June 11 to 13 in 2008 (a) 700 hPa (b) 850 hPa (c) averaged moisture flux of total levels (from bottom to 300 hPa unit  $10^4 g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$ ) (in Fig 5 a terrain height of the shadow area > 3 000 m in Fig 5 b c terrain height of the shadow area > 1 500 m)

b), 此次华南暴雨的低层的水汽输送较强, 广东南部地区一直处于水汽含量的高值区, 850 hPa上的平

均比湿达到 12 g/kg 高低层的水汽通道来源略有不同, 在 700 hPa 高度上, 水汽主要来源于我国南海和

孟加拉湾地区,在 850 hPa 高度上,水汽输送更强一些,除了来自南海和孟加拉湾的水汽以外,新几内亚岛附近大部分地区的平均比湿超过了  $12 \text{ g/kg}$  在该地区近有一支较强的水汽输送通道在赤道附近分为两支,一支随副高边缘向北输送到华南东南部,另一支经马来群岛向西与西边的水汽通道汇合。计算了从地面到 300 hPa 高度的平均整层水汽通量

$$Q = \left[ \int_{p_s}^{300} \frac{1}{g} u q dp \right]^2 + \left[ \int_{p_s}^{300} \frac{1}{g} v q dp \right]^2$$

(1)式可以反映出这一时期平均水汽输送的强度状况(图 5c),可以看出,华南大部分地区处于水汽通量的高值区,最大值超过了  $6 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,经阿拉伯海—孟加拉湾—南海的水汽通量维持了一条大于  $3 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  的水汽输送带,是华南水汽的主要来源。

### 3 数值模拟

本文采用的有限区域模式为 (PSU/NCAR) 发布的第五代中尺度模式 MM5V3.7 版本<sup>[15-16]</sup>,本次模拟的方案采用粗细网格双向嵌套,粗网格格距 30 km,细网格格距 10 km,水平格点数均为  $295 \times 295$  粗细网格选择同一模拟区域中心位于  $114^\circ \text{E}$ ,  $22.5^\circ \text{N}$ ,垂直方向 24 层,模式层顶气压为 10 hPa,积分时间步长 90 s。积云参数化方案粗细网格都选择 Grell 方案,边界层方案选择高分辨 Blackadar 方案,显式水汽方案选择简单冰方案,辐射方案选择简单冷却辐射方案,侧边界条件粗网格选择松弛流入-流出方案,细网格选择时间依赖方案。模式积分初始时刻为 2008 年 6 月 11 日 18 时。

#### 3.1 降水量的模拟

图 6 是降水的模拟与实况的对比,总体来说这次模拟与实况大致是吻合的。12 日的模拟降水区域范围比实况略广,广西北部的降水极值中心略微偏西,广东中南部的降水中心模拟的略微偏强、偏北,降水的强度模拟与实况较为一致,都达到了 240 mm。13 日的模拟总体来说降水范围较实况偏小了些,但是降水中心强度与实况是相当的,广东东南部的强降水区域位置基本一致,强度也大致相当,但汕头到福建南部的降水区域没有模拟出来,而在广东西部出现了一个异常降水中心。

#### 3.2 大尺度背景场的模拟

从积分 24 h 后的背景场的模拟情况来看(图略),高纬地区两槽一脊的环流形势模拟的比较成功,与实况相比强度和位置都较一致,中纬度华南地

区的浅槽也成功的模拟出来。西太平洋上,模拟的副高与实况强度相当,位置也大致吻合,副高南部边缘 850 hPa 风场由于边界强迫的原因表现的异常偏强,西边经孟加拉湾—南海的西南急流范围模拟与实况基本一致,强度上略微偏强,850 hPa 风场上模拟的西南涡的位置与实况基本一致,说明模式对这次暴雨过程的模拟结果是比较好的,从而在此基础上可用模拟结果分析这次过程的细节,以弥补观测数据不足的困难。

#### 3.3 西南涡的演变

通过研究模拟的高分辨各层涡度场及风场特征发现,此次影响华南地区暴雨的低涡基本呈东北—西南向的狭长形状分布,在 700 hPa 的风场辐合区内大致存在 3 个正涡度中心。11 日 21 时(图 7a),高原低涡南下至广西西北部地区,在低涡的东南部还有一个强度不大的正涡度中心,风场上,西南急流主要位于广西地区和广东西部,在广西北部地区有气旋性切变,广西北部的暴雨也发生在此区域内,在  $114^\circ \text{E}$  以东地区基本维持平直的风,到了 12 日 9 时(图 7b),  $26^\circ \text{N}$  以南地区已全部在西南急流的控制之下,在广西北部地区,自西至东的连续 3 个正涡度中心已经形成,2 号涡度中心最强,此时段的降水也发生在 2 号涡度中心的东南侧(图略)。12 日 18 时—13 日 00 时(图 7c)是广东南部暴雨发生的最强的一段时间,此时的 3 个正涡度中心有所分离,2 号和 3 号涡度中心位于风场辐合区内,1 号涡度中心略微滞后,3 个中心略有东移,在广东南部的西南急流带中存在一系列尺度较小的正涡度中心,模拟的暴雨就发生在这些小的正涡度中心下(图略),到了 13 日 12 时(图 7d),2 号和 3 号涡度中心向东北方向移动过去,而 1 号涡度中心减弱并远滞后于 2 号和 3 号,与此同时,西南急流带内的一系列小涡度中心有所增强,广东沿海地区发生了强度较大的暴雨。通过前面的分析可以总结得到,移出高原的低涡在适宜的大尺度背景条件下,在两广地区发展成东西向分布较集中的 3 个正涡度中心,随着气旋性切变的增强,涡度中心开始分散,1 号涡度中心减弱滞后,2 号和 3 号涡度中心向长江中下游地区移动,给华南持续性暴雨的发生提供了动力条件。

### 4 结论

通过前面对观测资料的分析 and 模拟试验结果的分析,得到 2008 年 6 月中旬华南地区持续性暴雨的一些大尺度背景特征及西南涡的演变特征:

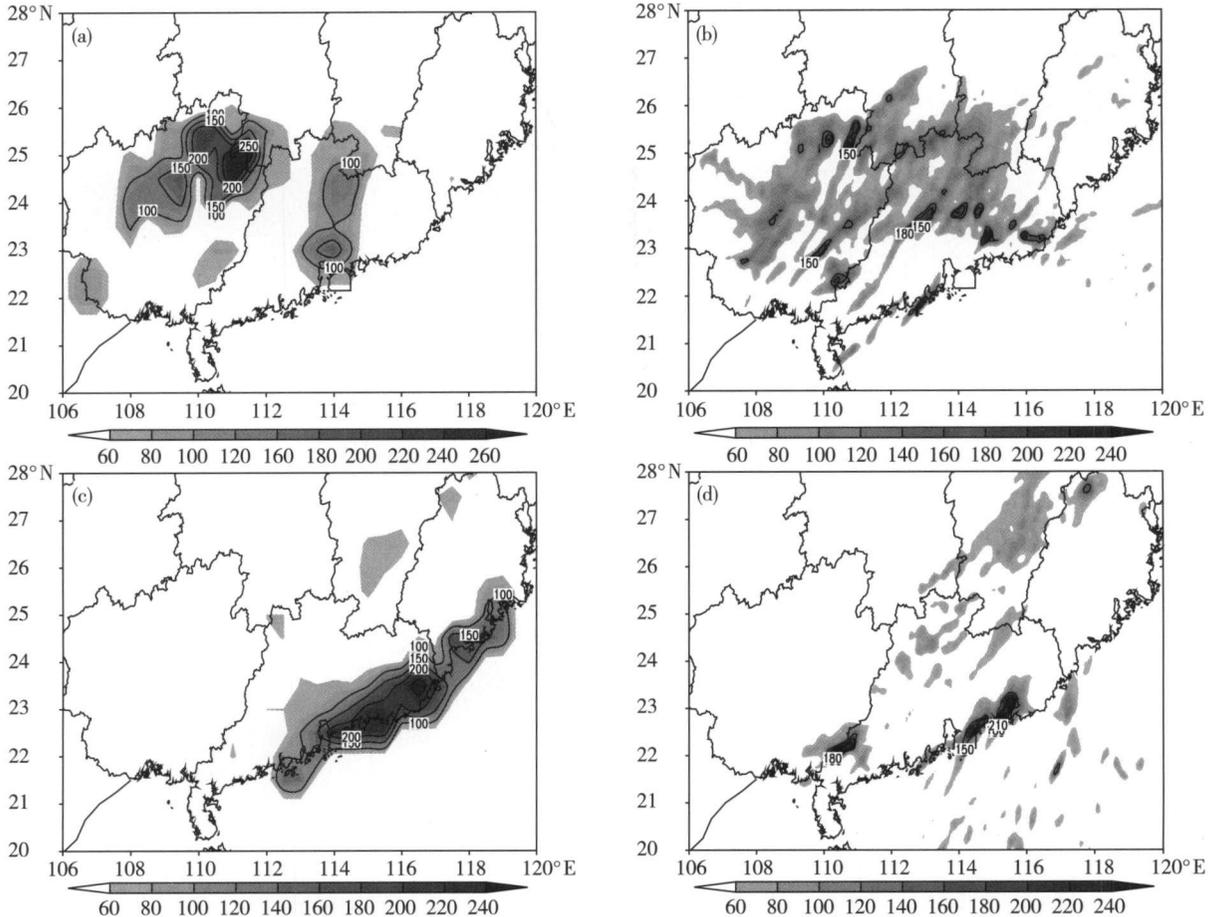


图 6 6月12日降水量(单位: mm)的(a)实况;(b)模拟;6月13日降水量(单位: mm)的(c)实况;(d)模拟  
Fig 6 Precipitation of June 12 and 13 (a c) observation (b d) simulation

(1)西南涡是6月11—13日华南持续性暴雨的直接影响系统,随着西南涡的东移,暴雨的雨带从广西北部一直推进到广东东南部。

(2)高度场分析表明2008年6月中旬中高纬两槽一脊的环流形势较为稳定,西太平洋副高位置偏南,为持续性暴雨的维持提供了有利的大尺度环流背景条件。

(3)厚度场分析表明,中高纬对流层中层有冷空气南下导致华南地区出现厚度场负距平,在和西南暖气流的交汇下给华南持续性暴雨提供了有利的条件。500 hPa上低槽的稳定维持是冷空气侵入华南地区的直接原因。

(4)水汽通量场的分析表明,东亚夏季风偏南,

越赤道气流偏强使得从孟加拉湾、我国南海及西太平洋向我国华南地区输送的水汽持续偏强,给华南持续性暴雨的维持提供了丰富的水汽条件。

(5)MM5的模拟结果表明上低涡移出高原后,在适宜的大尺度背景条件下,不断发展并形成降水。700 hPa涡度场上华南地区表现出东西向分布较集中的3个正涡度中心,随着气旋性切变的增强发展,涡度中心开始分散,1号涡度中心减弱滞后,2号和3号涡度中心向长江中下游地区移动,给华南地区发生持续性暴雨提供了动力条件。

目前的分析是初步的,对这次持续暴雨过程的动力学机制的认识,有待于进一步深入研究。

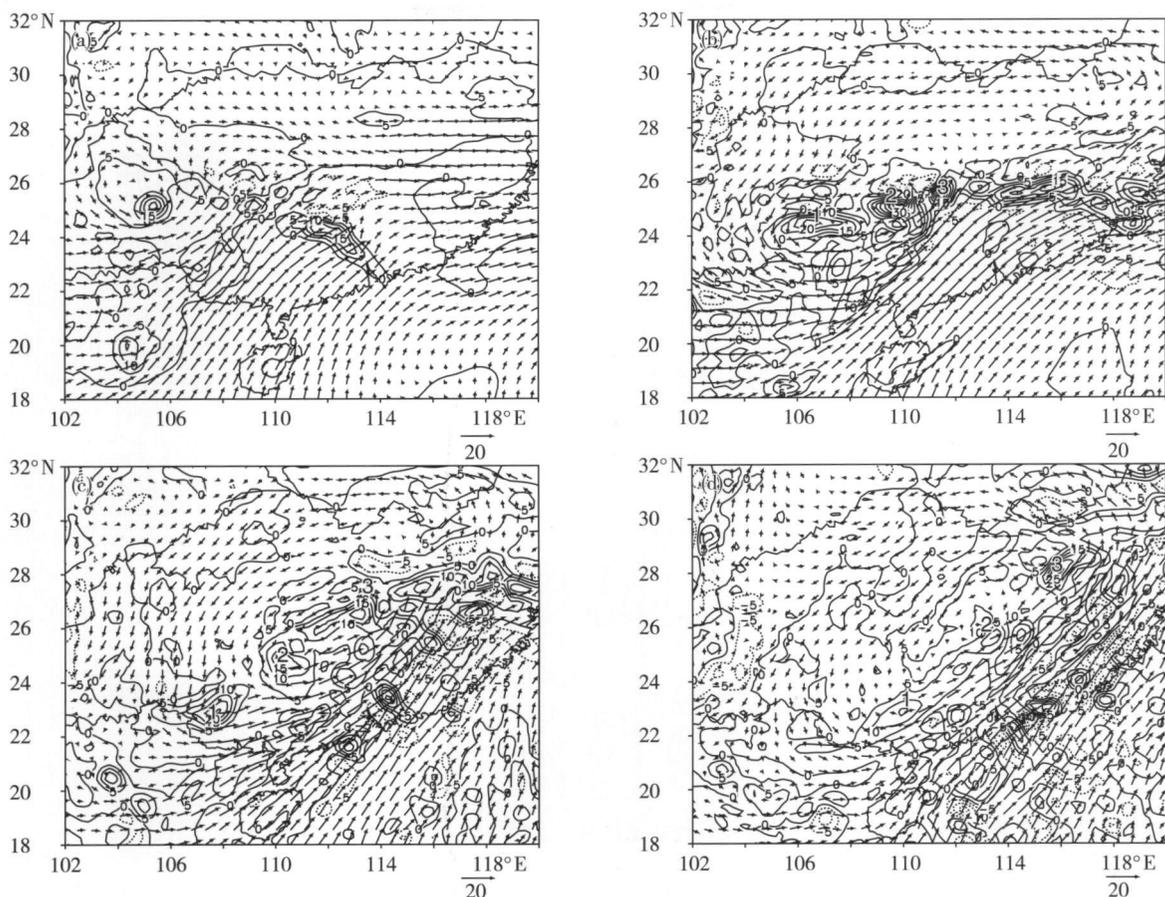


图7 模拟的700hPa涡度场(单位:  $10^{-5} s^{-1}$ )与风场(单位:  $m/s$ )分布图 (a)11日21时; (b)12日9时; (c)13日00时; (d)13日12时  
Fig 7 Simulated 700hPa vorticity field (unit  $10^{-5} s^{-1}$ ) and wind field (unit  $m/s$ )

## 参 考 文 献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980
- [2] 薛纪善. 1994年华南夏季特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1999
- [3] 鲍名. 两次华南持续性暴雨过程中热带西太平洋对流异常作用的比较. 热带气象学报, 2008, 24(1): 27-35
- [4] 吴丽姬, 温之平, 贺海晏. 华南前汛期区域持续性暴雨的分布特征及分型. 中山大学学报(自然科学版), 2007, 46(6): 108-113
- [5] 胡亮, 何金海, 高守亭. 华南持续性暴雨的大尺度降水条件分析. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 345-351.
- [6] 陈晓红, 冯皖平, 璩瑛. 2003年淮河流域致洪暴雨的环流演变. 气象科学, 2006, 26(2): 192-196
- [7] 王黎娟, 管兆勇, 何金海. 2003年淮河流域致洪暴雨的环流背景及其与大气热源的关系. 气象科学, 2008, 28(1): 1-7
- [8] 王黎娟, 管兆勇, 何金海. 2005年6月华南致洪暴雨的大尺度环流特征及成因探讨. 南京气象学院学报, 2007, 30(2): 145-152
- [9] 林毅, 刘铭, 刘爱鸣. 高低空急流在闽西北大暴雨过程中的作用及数值模拟. 气象科学, 2006, 26(4): 449-455
- [10] 陈栋, 李跃清, 黄荣辉. 在“鞍”型大尺度环流背景下西南低涡发展的物理过程分析及其对川东暴雨发生的作用. 大气科学, 2007, 31(2): 185-200.
- [11] 赵思雄, 傅慎明. 2004年9月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析. 大气科学, 2007, 31(6): 1059-1075.
- [12] 于波, 林永辉. 引发川东暴雨的西南低涡演变特征个例分析. 大气科学, 2008, 32(1): 141-154
- [13] 杨帅, 丁治英, 徐海明. 梅雨暴雨中高低空急流与西南涡的活动. 南京气象学院学报, 2006, 29(1): 122-128
- [14] 任广成. 对流层上、下部厚度场变化特征与我国南方春季(3-4月)冷暖. 气象科学, 1987, (1): 42-49
- [15] Grell G A, Dudhia J, Stauffer D R. A description of the Fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR, 1994
- [16] Dudhia J. MM5 VERSION 3.7 (The final Version). The 6th WRF / 15th MM5 Users' Workshop 1. 1, NCAR, June 27-30, 2005