文章编号:1674-7070(2010)01-0040-11

2008 年 6 月一次引发广西大暴雨的西南低涡的诊断分析

陈瑶[1]　徐海明[1,2]

摘要

利用美国国家环境预报中心再分析资料、1 h 一次的华南降水资料以及局地分析预报系统再分析资料,对 2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时发生在广西的一次大暴雨个例进行了诊断分析. 结果表明:高低空急流、西南涡以及从低涡中心延伸出的切变线是这场暴雨的主要影响系统. 广西强降水主要位于高空急流的右后方、低空急流的左侧、西南涡的底部至底后部以及切变线附近,强降水中心随影响系统的东移而东移,降水随着西南涡的加强而加强. 该暴雨过程中西南涡在 700 hPa 为暖心结构,正涡度区域垂直向上伸展,整个对流层都为正涡度,低层辐合高层辐散的配置有利于对流的发展,强降水的极值中心上空对应着较强的上升运动. 水平涡度平流项和水平涡度辐散项作用相反,水平辐散项在对流层低层对总涡度起直接作用且为正贡献,对流层中高层主要是垂直平流项和扭转项起主要作用.

关键词

西南低涡;暴雨;诊断分析;涡度收支

中图分类号 P458.1

文献标志码 A

收稿日期 2009-10-19

资助项目 江苏省"六大人才高峰"培养对象资助(07-A-012);国家重点基础研究发展计划(2004CB418301)

作者简介

陈瑶,女,硕士生,研究方向为中尺度暴雨. cy0305@163.com

徐海明(通信作者),男,博士,教授,主要从事区域气候与海陆气相互作用、季方动力学的研究. hxu@nuist.edu.cn

1　南京信息工程大学　大气科学学院,南京,210044

2　南京信息工程大学　气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

0　引言
Introduction

西南低涡是在我国青藏高原地形影响及一定的环流背景形势下产生于我国西南地区对流层低层的中尺度涡旋系统. 尽管西南低涡全年均可出现,但是造成强降水或强对流性天气的西南低涡几乎都在夏半年(即 4—9 月),它是造成我国夏半年暴雨的重要天气系统之一[1-2].

有学者对西南低涡对我国暴雨的影响做出这样的评论[3]:"西南低涡是我国最强烈的暴雨系统之一,就它所造成的暴雨天气的强度、频数和范围而言,可以说是仅次于台风及残余低压,重要性位居第 2 的暴雨系统". 因此,对于西南低涡的形成与发展及其造成的洪涝灾害等,一直是气象学家和预报员分析研究的重点. 20 世纪很多学者指出西南涡的产生是地形作用的结果,或是由于 500 hPa 上东移短波槽的强迫动力作用下形成的[2,4-5],而凝结潜热则是西南涡维持和发展的机制[6]. 卢敬华[2]和李国平[7]从流场、温湿场、温压场 3 个方面总结了西南低涡的结构. 彭新东等[8]认为西南低涡具有暖湿中心结构. 韦统健等[9-10]利用合成分析方法对西南涡过程的流场、温湿场和涡度场等结构进行了分析,指出西南低涡的温湿场和铅直流场在低涡区呈现明显的不对称分布,低涡是一个显著的斜压系统. 王晓芳等[11]的研究得出了同样的结论. 在对西南低涡的垂直结构及其演变的研究方面,Kuo 等[5]指出发展成熟的西南低涡对流层高层 200 hPa 上为负涡度,黄福均[12]对西南低涡暴雨过程的合成分析也表明在 200 hPa 上合成中心呈现大片的负涡度分布. 而陈忠明等[13]对西南低涡的中尺度结构分析发现,成熟期的低涡区域内正涡度从边界层一直贯穿至对流层高层均表现为闭合性气旋环流,大值轴几乎完全处于垂直状态,这与人们长期以来所形成的西南低涡在高层对应为反气旋和高压脊的观点不同[1,5,12]. 程麟生等[14]对 1981 年 7 月四川暴雨期西南低涡进行涡源诊断,认为高、低空气旋性涡度中心在四川盆地附近上空的迭加和耦合是西南低涡在成熟阶段强烈发展的一种主要物理机制.

2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时,广西北部遭受了大暴雨、特大暴雨的袭击,其强度和范围为历史同期最大,因此有必要对这次暴雨进行深入研究. 而此次暴雨过程又是在国家 973 计划项目"我国

南方致洪暴雨监测与预测的理论和方法研究”的观测时段内发生的,相对于以往对暴雨过程分析所用的资料,这次所采用的分辨率更加精细、时间间隔更短,能更好分析这次暴雨过程,也能揭示一些中尺度的特征.

本文使用的资料有每 6 h 一次的美国 NCEP(National Centers for Environmental Prediction)再分析资料,水平分辨率为 1°×1°,垂直为 26 层;1 h 一次的加密华南自动站降水量资料;局地分析预报系统 LAPS(Local Analysis and Prediction System)资料[15],该系统最早由美国 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)所属的预报系统实验室研究开发,高分辨率的 3 h 一次的 LAPS 同化资料,同化进去的资料包括:地面站常规观测资料、自动站加密观测资料、探空资料、雷达资料,区域范围为 102~123°E,14~32°N,时间为 2008 年 6 月 7 日 00 时—6 月 14 日 21 时,LAPS 水平格距设置为 5 km,垂直层次设为 20 层.

1 大尺度环流特征
Characteristic of the large scale circulation

从 2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时的平均 500 hPa位势高度场上(图 1)可以看出,中高纬度为两槽一脊型. 对流层中高层 110~130°E 地区受高压脊控制,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

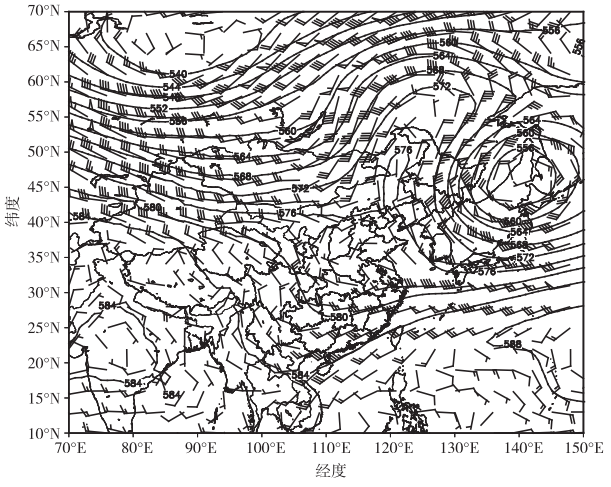


图 1 2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时 500 hPa 位势高度场(单位:10 gpm)和风场平均

Fig. 1 500 hPa average height field(unit:10 gpm) and average wind(barb) during the period from 2000Z 11th to 2000Z 13th in June,2008

贝加尔湖以东上空高压脊加强,而在日本海上空长时间维持了一个闭合的低压中心. 中低纬度上,云贵高原地区为一浅槽,西太平洋副热带高压位置较为偏南,这样给西南的暖湿气流和北方的冷空气在我国的华南地区交汇提供了有利的条件,这样的一种两槽一脊,副高偏南的环流形势有利于从高原上下来的涡旋向偏南方向东移.

在强降水期间 500 hPa 环流主要以经向型为主,中高纬度环流维持稳定的两槽一脊,南支槽为暴雨区带来暖湿的西南气流,副热带高压比常年位置偏南,为华南地区大范围的强降水创造了有利的大尺度环流条件.

2 降水实况
Actual situation of precipitation

2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时,广西遭受了大暴雨、特大暴雨的袭击,导致了山洪暴发,部分江河水位暴涨,洪涝灾害严重. 期间累积降水量大于 250 mm 有 8 站,100~250 mm 有 28 站,50~99.9 mm有 33 站,本次广西持续性暴雨过程出现的大暴雨和特大暴雨的范围为历史同期最大.

6 月 11 日 20 时—12 日 20 时的 24 h 累积降水量图上(图 2a),强降水区主要集中在广西北部地区,雨带大致呈东西向,出现了 2 个 250 mm 以上的强降水中心. 东兰、环江和灵川等站打破了当地建站以来最大日降水量记录,桂林和柳城站打破了当地建站以来 6 月份最大日降水量记录. 12 日 20 时—13 日 20 时(图 2b),雨带有所东移,广西地区的主要降水带位于广西的中部地区,雨带转为西南—东北向,广西的降水强度较 12 日有明显减弱.

中尺度雨团是指 1 h 降水量≥10 mm、生命史≥2 h、空间尺度在数十至 200 km 的雨量线所包围的区域. 从 1 h 降水量图上可以看出,此次降水过程有 4 个明显雨团活动的时段. 第 1 时段(图略)11 日 21 时—23 时,11 日 21 时在广西西北部与贵州的交界处出现了 1 个中尺度雨团,11 日 22 时发展成 2 个雨团,23 时雨团略东移,强度变化不大;第 2 时段 12 日 03 时—05 时,12 日 03 时(图 3a)在广西北部出现了 2 个中尺度雨团,分别位于(107°E、24.5°N)与(109°E、25°N)附近,04 时(图 3b)位于(107°E、24.5°N)雨团明显增强,最大降水量为 70.00 mm,随后又减弱(图 3c),在这个阶段中雨团的位置基本维持不变;第 3 时段(图略)12 日 11 时—18 时,广西北

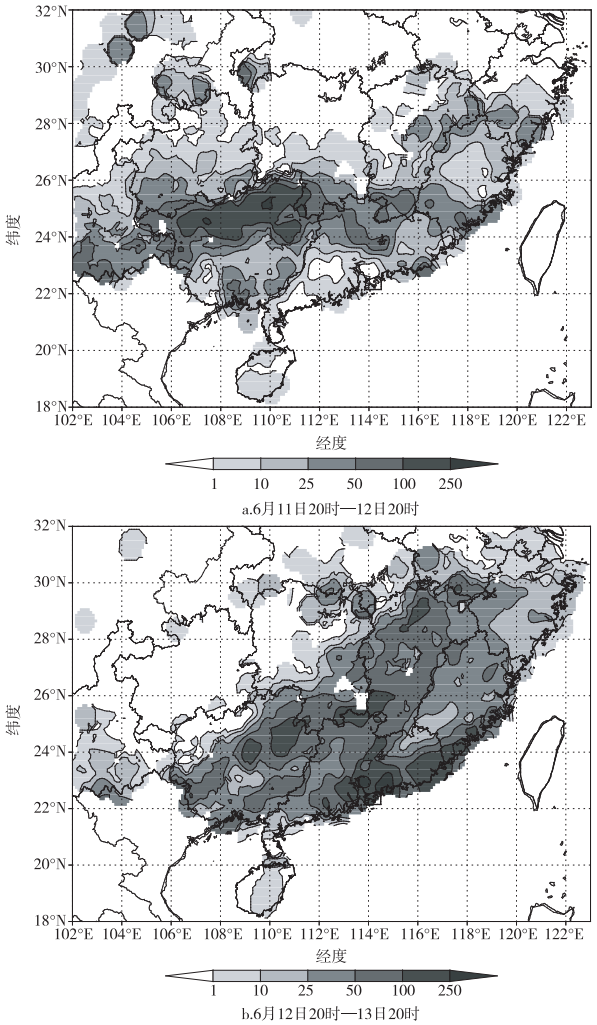


图 2　24 h 累积降水量(单位:mm)

Fig. 2　24-h precipitation(unit:mm)

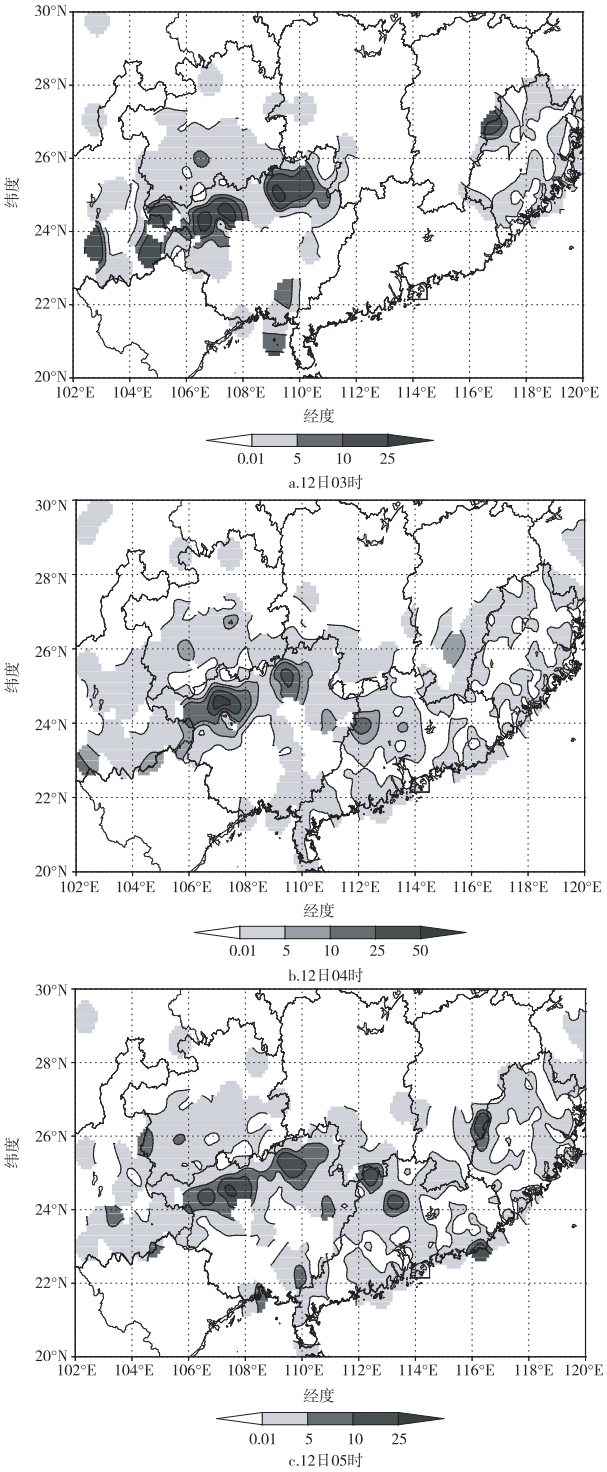


图 3　1 h 累积降水量(单位:mm)

Fig. 3　Hourly precipitation(unit:mm)

部一直维持着多个中尺度雨团,略往东移,强度变化不大,17 时广西中部及南部也开始出现雨团,19 时雨团消失;第 4 时段(图略)12 日 20 时—13 日 07 时,雨团经历了加强、减弱、加强、再减弱的过程,12 日 20 时—13 日 02 时雨团东移缓慢,13 日 03 时原位于(109°E、23.5°N)附近的雨团往东南方向移动,随后该雨团缓慢东移,06 时移出广西,13 日 07 时后,广西降水明显减弱,已无雨团存在.

从 2008 年 6 月 12 日 01 时—13 日 10 时桂林逐时降水量上(图 4)可以看出,12 日 01 时桂林开始出现降水,随后降水有明显增强的趋势. 桂林的降水主要集中在 12 日,而 12 日的连续强降水又主要集中在 12 日的 11 时—17 时,除了 12 日 14 时的 1 h 降水量只有 9 mm 外,其它时次都达到了 10 mm 以上,部分时次 1 h 累积降水量达到了大暴雨的标准. 12 日 15 时桂林 1 h 的累积降水量是此次降水过程中最大,达到了 25 mm. 13 日桂林的逐时降水强度比 12 日明显减弱,除了 03 时降水达到了暴雨标准外,其它时次降水量都不大,13 日 10 时桂林的降水基本结束,此后已无降水的观测记录.

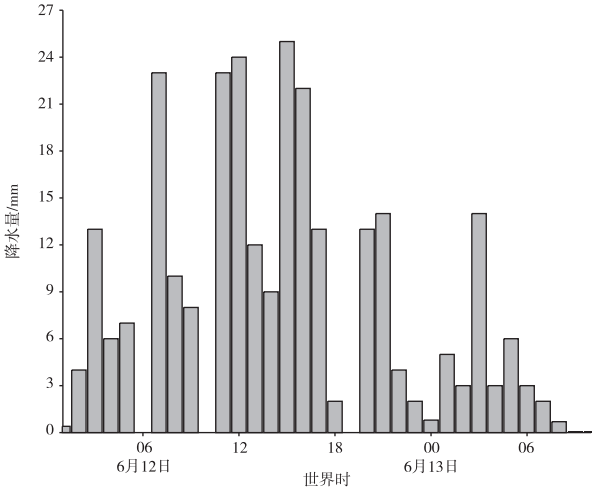


图4 2008年6月12日01时—13日10时桂林逐时降水量(单位:mm):12日06、10、19时无观察记录

Fig. 4 Hourly precipitation in Guilin from 0100Z 12th to 1000Z 13 June 2008(unit:mm) without the records of observation at 0600Z,1000Z and 1900Z

3 影响暴雨的主要系统的时间演变

Time-evolution of the main systems affecting the heavy rainfall

3.1 西南涡与降水活动

西南低涡是指在一定的环流形势下形成于我国西南地区700或850 hPa上的中尺度涡旋系统,地面气压场有时可能但不一定是每次过程都出现闭合中心,其水平尺度一般为200~500 km[2,16].

6月11日14时在四川、贵州、云南交界地区的云贵高原的700 hPa上空首先出现了闭合的流场,西南涡生成,随后西南涡逐渐东移.影响广西6月11日20时—13日20时强降水过程的西南低涡是一个东移发展的过程.从12日00时—13日21时各时刻700 hPa西南低涡中心所在的位置上(图5a)可以看出,6月12日00时,西南低涡中心位于贵州南部,此时广西西北部开始出现了强降水,强降水主要位于低涡中心至底部以及从低涡中心延伸出的切变线附近.随后低涡缓慢东移,12日03时,低涡中心移至广西境内,随后在广西北部缓慢东移.12日18时低涡中心位于广西的东北部,此时降水开始转为低涡的底部至底后部.12日21时低涡中心已移出广西,位于湖南的南部.13日06时后低涡较快的往东北方向移动,广西的降水也开始明显的减弱.13日21时低涡中心移至(119.5°E、31°N)附近,广西基本无降水.

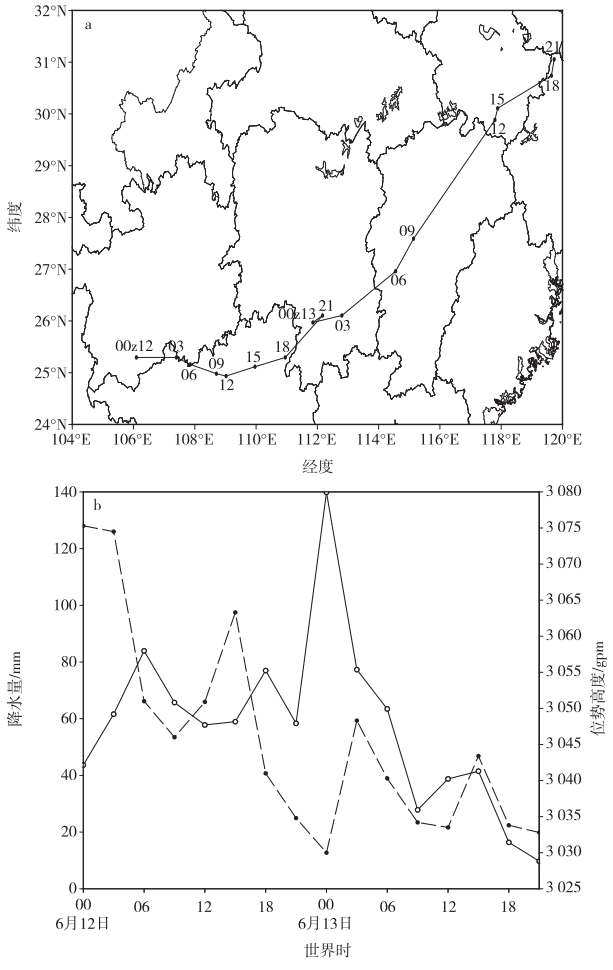


图5 2008年6月12日00时—13日21时各时刻700 hPa西南低涡中心所在的位置(a)及广西3 h站点降水极大值(单位:mm)与700 hPa低涡中心位势高度(b)(单位:gpm)随时间的分布(实线为降水,虚线为700 hPa上位势高度)

Fig. 5 (a) Location of the 700 hPa vortex center at various time levels from 0000Z 12th to 2100Z 13th June 2008 and (b) 3-h maximal precipitation in Guangxi Province (unit:mm) and the heights of the 700 hPa vortex center(unit:gpm) varying with time(solid line standing for precipitation;dash line,the heights at 700 hPa)

从广西3 h累积站点降水极大值与700 hPa上低涡中心位势高度随时间分布上(图5b)可以看出,广西降水强度的变化与西南低涡强度的变化有着很好的对应关系.6月12日00时西南低涡位于贵州与广西西北部的交界处,出现了3 080 gpm的闭合等值线,低涡已经发展到一定的强度,此时广西出现了明显的强降水,3 h的累积降水量达到了40 mm以上.随后低涡缓慢东移并加强,而广西的降水强度也随低涡的加强而加强,12日06时第1次出现了最强降

水中心,3 h 的累积降水量达到了 80 mm 以上,此时广西的强降水主要位于低涡中心及其底部附近(图 6a),12 日 09 时,维持在(109°E、25°N)附近(图 5a)的低涡强度继续增强,低涡第 1 次出现极值. 随后低涡减弱降水强度也减弱,低涡在 12 日 18 时有了明显增强,此时广西降水极值达到第 2 次极值,随后降水强度又略减弱,但低涡继续加强. 12 日 21 时低涡中心已移出广西,13 日 00 时低涡发展到此次降水过程的最强,位势高度极小值达到了3 030 gpm,对应的广西 3 h 的累积降水极大值也达到此次降水过程的最强,极值为 140 mm,此时广西的强降水主要位于低涡的底后部(图 6b). 随后低涡明显减弱降水也明显减弱,13 日 06 时后低涡较快的往东北方向移动,低涡强度的变化对广西降水的影响已不大,13 日 21 时后广西基本无降水.

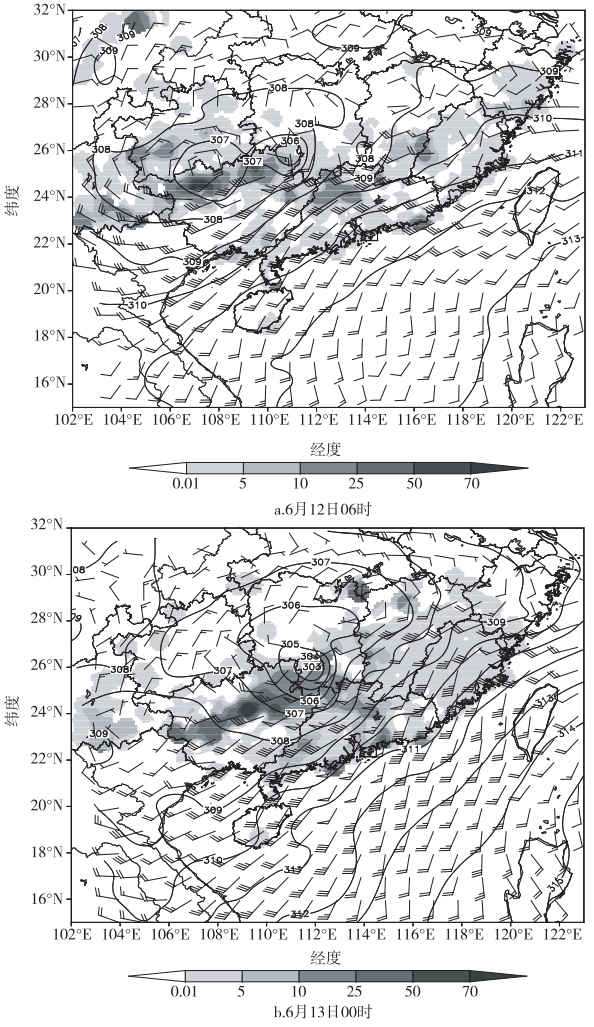


图 6　700 hPa 位势高度场(实线,单位:10 gpm)、风场和 3 h 累积降水量(阴影,单位:mm)

Fig. 6　700 hPa height field (solid line, unit: 10gpm), wind field (barb) and 3-h precipitation (shadow, unit: mm)

3.2　高低空急流与降水活动

高空急流是指 200 hPa 上空急流中心的最大风速大于 30 $m \cdot s^{-1}$ 的强风速区. 12 日 00 时(图 7a)高空急流中心达到了 50 $m \cdot s^{-1}$ 以上,急流轴位于 28°N 附近,急流轴附近都为西风所控制,广西的强降水位于高空急流的右后方. 随后急流略北抬,12 日 06 时急流轴位于 29°N 附近,急流中心风速仍维持在50 $m \cdot s^{-1}$ 以上,但有了明显的东移,急流入口区转为了西南风,急流前部仍受西风控制. 12 日 09 时(图 7b)急流快速北抬,急流轴位于 32°N附近,急流发展到最强,中心风速达到了 60 $m \cdot s^{-1}$ 以上,急流轴由东西向转为了西南-东北向. 随后高空急流略减弱并缓慢东移,13 日 09 时前急流中心的风速一直维持在 40 $m \cdot s^{-1}$ 以上,13 日 09 时后高空急流有了明显的减弱东移,13 日 21 时高空急流已完全移出我国东部的沿海地区. 最大降水中心一直位于高空急流的右后方,并随着高空急流的东移而东移.

700 hPa 上 6 月 12 日 00 时(图 7c)在广西东北部出现了 20 $m \cdot s^{-1}$ 的中尺度急流中心,广西地区上空被西南风所控制,强降水主要位于低空西南急流的左侧. 随后西南急流不断东移,12 日 03 时急流中心增强至 24 $m \cdot s^{-1}$ 位于(110°E、25°N)附近,降水也开始加强,急流中心东移强度维持. 12 日 09 时(图 7d)中尺度的急流中心已移出广西,在急流轴线上有多个急流核,随后急流略减弱继续东移. 至 13 日 03 时湖南南部与广州的交接地区一直维持着一个中尺度急流中心,强度变化不大. 12 日 06 时以后急流明显往东北方向移动. 在此过程中强降水中心一直位于低空急流的左侧,并随着急流的东移而东移,急流轴线上也有多个急流核的存在. 13 日 06 时后急流有了明显的东北方向移动,对广西降水的影响已不大,广西地区的降水开始明显减弱,13 日 21 时广西基本无降水.

高空急流型的变化与系统的移动有关,高空急流型的变化,引导了低层雨带、西南涡及低空急流等中尺度系统的改变. 西风急流有利于西南涡的东移. 西南风急流处于高空槽前有利于系统加强,移速减慢,降水加大[17],这与杨帅等[15]在分析梅雨暴雨中高低空急流与西南涡的活动中得出的结论一致. 这次暴雨过程的西南低空急流中心均位于西南涡的东南象限,随着西南涡的东移而东移,广西

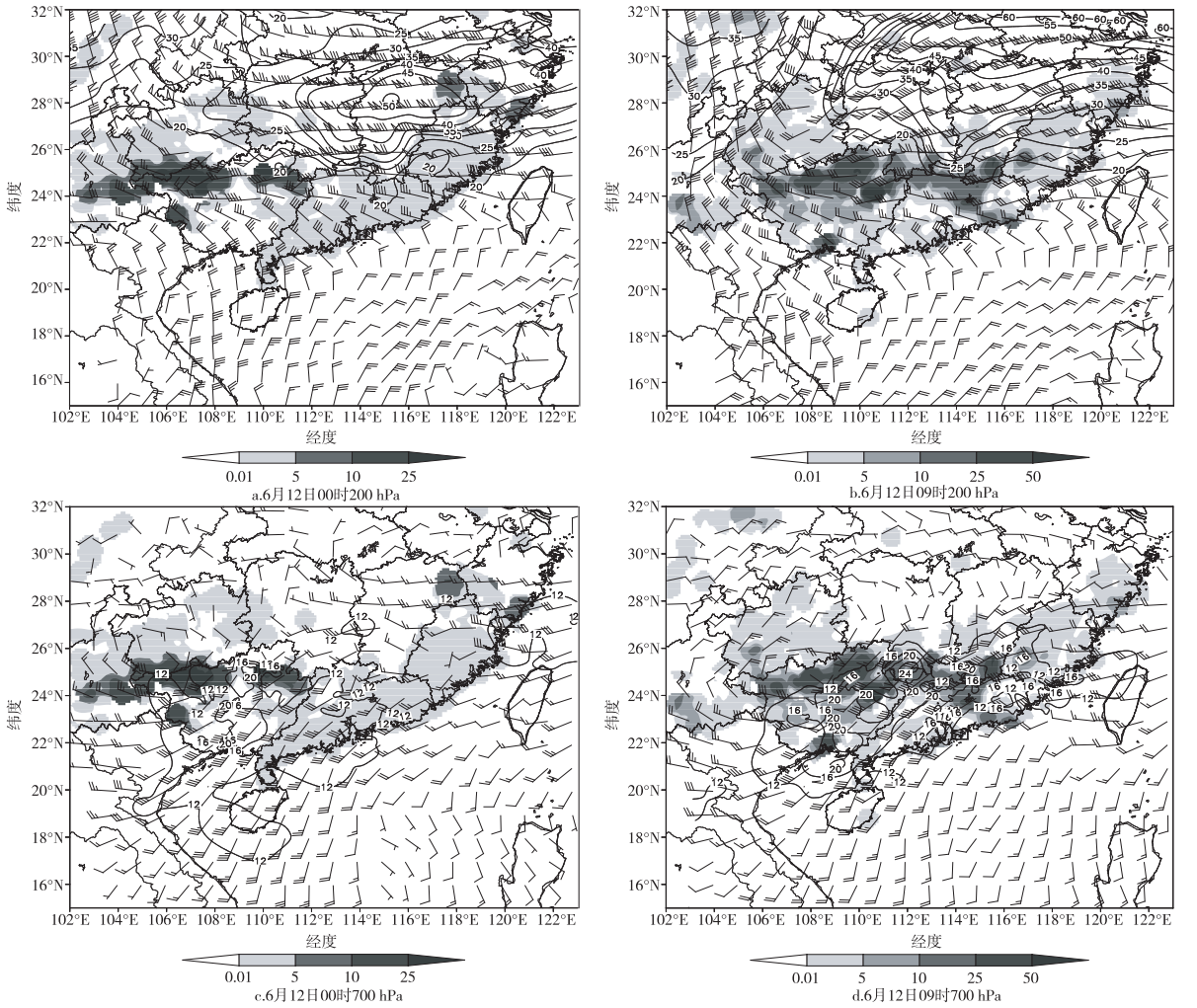


图7 6月12日00时和6月12日09时200 hPa和700 hPa
等风速线(实线,单位:$m \cdot s^{-1}$)、风场和3 h累积降水(阴影,单位:mm)

Fig. 7 200 hPa and 700 hPa wind speed(solid,unit:$m \cdot s^{-1}$),
wind field(barb) and 3-h precipitation(shadow,unit:mm) at 0000Z 12th and 0900Z 12th June

地区的降水随西南涡的加强而加大,低空急流的增强先于暴雨区的增强,低空急流对降水的影响作用非常明显.广西地区的强降水开始位于低涡的底部及其从低涡中心延伸出的切变线附近,随着低涡的东移强降水中心转为低涡的底后部,广西地区的强降水一直位于高空急流的右后方,低空急流的左侧,而杨帅等[17]在分析梅雨暴雨中高低空急流与西南涡的活动中得出降水区位于低空急流的左前方.

4 低涡结构特征
Characteristics of low eddy structure

4.1 热力结构

沿暴雨中心所在经度的温度偏差(即距平,取经向平均,范围为14~32°N)垂直剖面图上,12日00时(图8a)低涡上空对流层上层250 hPa以上为冷心结构,750 hPa以下也为冷心结构,而750 hPa与250 hPa之间为明显的暖心结构.12日06时,对应的是广西第1次出现3 h累积降水量达到最大值,此时,暴雨中心所在的温度偏差垂直剖面图(图8b)上,低涡上空850 hPa以上都为暖心结构,而850 hPa以下为冷心结构.低涡在温度场场上表现为850 hPa以上为暖心,850 hPa以下为冷心的垂直结构,这可能与北方冷空气的入侵和降水的蒸发冷却有关,但冷空气强度与垂直运动并不大,因此没有影响到较高层上.而田秀霞等[18]对暴雨中心所在纬度的温度离差垂直剖面分析中得出低涡上空对流层上层250 hPa以上为暖心结构,250 hPa以下为深厚的冷区.

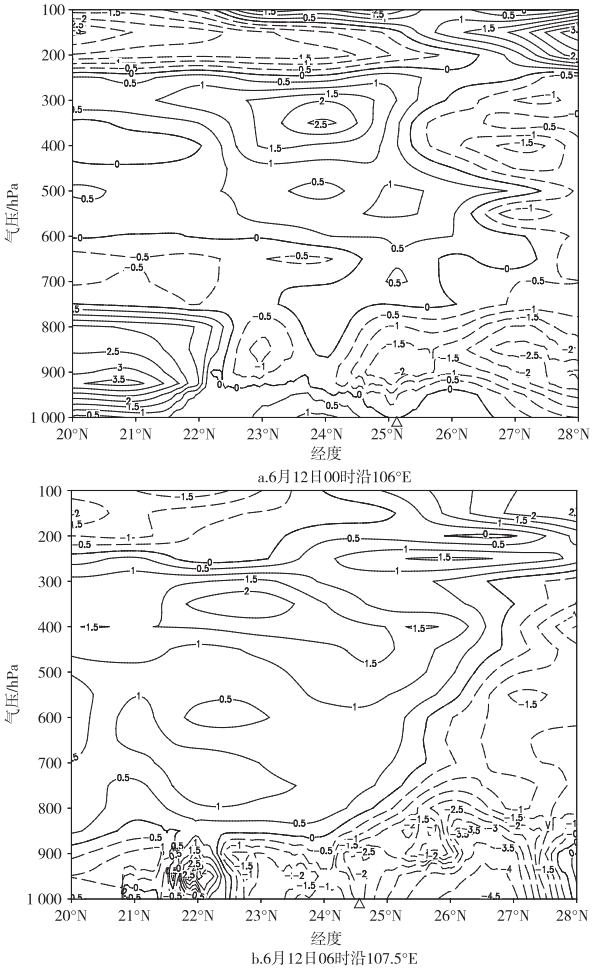


图 8　温度偏差(单位:℃)的
垂直剖面(三角形所示为低涡中心位置)

Fig. 8　Vertical section of deviation of temperature (unit: ℃)
(Triangle is the location of the vortex center)

影响广西强降水过程的西南涡是东移发展的,广西开始出现强降水的时候,低涡已有了一定的发展. 700 hPa 上的低涡在广西暴雨开始的时刻就已经有了较弱的暖心结构,而 850 hPa 上的低涡为冷心结构. 随后低涡东移发展,当广西地区第 1 次出现降水极值中心的时刻 700 hPa 上的低涡暖心结构略加强,850 hPa 上的低涡仍为冷心结构,但冷心结构略减弱,这可能与降水过程中凝结潜热的释放有关.

4.2　动力结构

影响广西 11 日 20 时—13 日 20 时的强降水过程的西南低涡是一个东移发展的过程,在广西强降水开始之前,西南低涡已经发展到了一定的强度,随着低涡的东移,涡度值一直维持着较大的强度. 低层 850 hPa 上的涡度强度比 700 hPa 上强,从 850 hPa 涡度场可以看出,12 日 03 时(图 9a)低涡中心的涡度值已经超过了 $1.5\times10^{-4}\,s^{-1}$. 12 日 15 时(图 9b)低涡中心位于(110°E、24.5°N)附近,涡度值达到了 $2.0\times10^{-4}\,s^{-1}$. 13 日 03 时(图 9c)低涡中心已移出广西,位于(112°E、26°N)附近. 中层 500 hPa 上的涡度强度比 400 hPa 上强,相对于低层的西南低涡的发展过程,中层 400 hPa(图 9d、e、f)上一直伴有涡旋的存在,中层涡旋的发展演变过程与低层一致,涡旋在东移过程中也维持着一定的强度,但中层低涡中心强度较低层明显减弱,低涡中心明显偏东.

6 月 12 日 06 时沿 107.5°E 涡度垂直剖面图(图 10a)上,在雨带上空对应着正涡度区. 从地面到 100 hPa 高度均是强的正涡度集中区,最大的正涡度位于 850 hPa 附近,涡度极值达到 $2.5\times10^{-4}\,s^{-1}$,在 200 hPa 附近出现了 $0.5\times10^{-4}\,s^{-1}$ 中心,正涡度区域垂直向上伸展,整个对流层都为正涡度. 从低涡同时期的散度场垂直剖面(图 10b)看,在雨带上空的 800 hPa 以下存在着辐合,中高层存在着弱的辐散,低层辐合高层辐散的配置有利于对流的发展. 垂直速度场(图 10c)上可以看出,位于 24.5°N 附近强降水的极值中心上空对应着较强的上升运动,最大上升速度在 300 hPa 附近,极值达到 3 Pa/s. 这与廖胜石等[19]在分析低涡垂直结构特征的时候得出的结论一致.

5　涡度收支
Vorticity budget

影响广西强降水的低涡是一个发展的过程,要分析低涡是如何发展的,就需要对大气总涡源进行诊断分析,而大气总涡源主要决定于 4 个强迫因子,它受控于 4 个强迫因子贡献的总和,为了分析贡献于该涡源的 4 个强迫因子的相对大小以及由哪 1 个强迫因子起了决定作用,就需要对涡度收支方程进行诊断分析.

涡度收支方程[20]为

$$\frac{\partial\zeta}{\partial t}=A+B+C+D+E,$$

$$A=-\left[u\frac{\partial\zeta}{\partial x}+v\left(\beta+\frac{\partial\zeta}{\partial y}\right)\right],$$

$$B=-\omega\frac{\partial\zeta}{\partial p},$$

$$C=-(f+\zeta)\nabla\cdot V,$$

$$D=-\left(\frac{\partial\omega}{\partial x}\frac{\partial v}{\partial p}-\frac{\partial\omega}{\partial y}\frac{\partial u}{\partial p}\right).$$

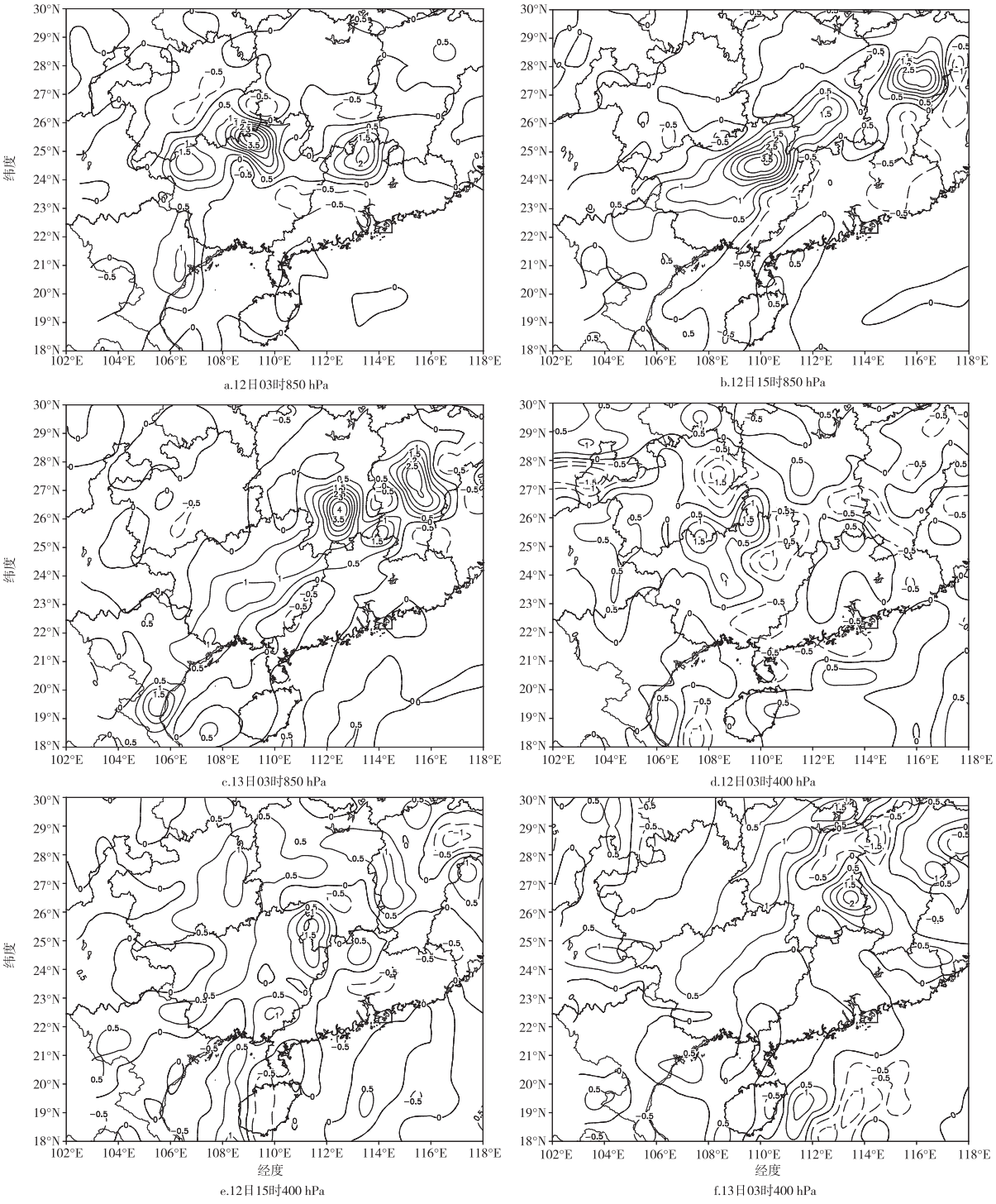


图9　850 hPa 和400 hPa 涡度场(单位:$10^{-4}s^{-1}$)的水平分布

Fig. 9　Horizontal vorticity(unit:$10^{-4}s^{-1}$) at 850 hPa and 400 hPa

A、B、C 和 D 分别是水平平流项、垂直平流项、水平辐合辐散项和扭转项,E 是摩擦项,在讨论中忽略摩擦的影响. 其中 u 是纬向水平风速,v 是经向水平风速,ω 是垂直运动速度,ζ 是涡度,f 为科里奥利参数,$\beta=\frac{\partial f}{\partial y}$.

12 日 00 时广西暴雨的前期(图 11a),总涡度项在 125 hPa 以上为负值外,其他层上都为正值,最大正涡度在 600 hPa 上为 $2\times10^{-9}s^{-1}$. 水平平流项(A)在少数层上对总涡度是正贡献外都是负贡献. 垂直平流项(B)在300 hPa 和700 hPa 附近对总涡度是正

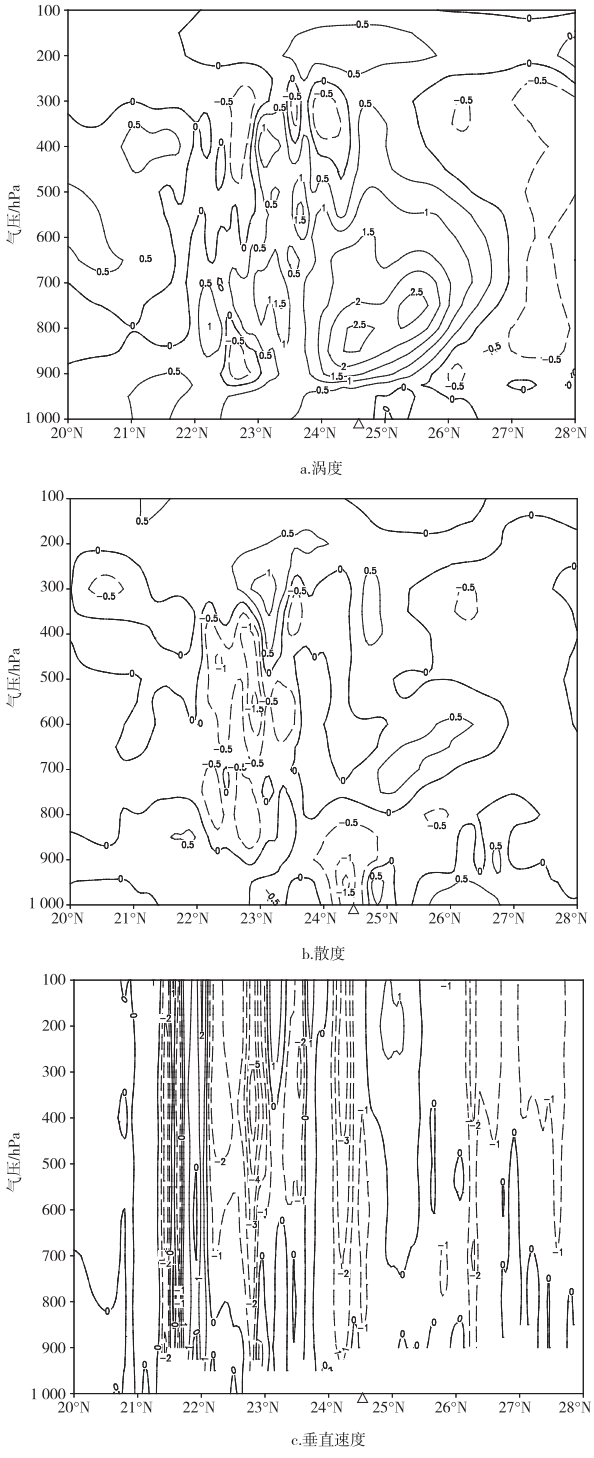


图 10　6 月 12 日 06 时沿 107.5 °E 的涡度(单位:$10^{-4}s^{-1}$)、散度(单位:$10^{-4}s^{-1}$)和垂直速度(单位:Pa/s)的垂直剖面(三角形所示为低涡中心位置)

Fig. 10　Vertical sections of vorticity (unit: $10^{-4}s^{-1}$), divergence (unit: $10^{-4}s^{-1}$) and vertical velocity (unit: Pa/s) along 107.5 °E at 0006Z 12th June (Triangle is the Location of the vortex center)

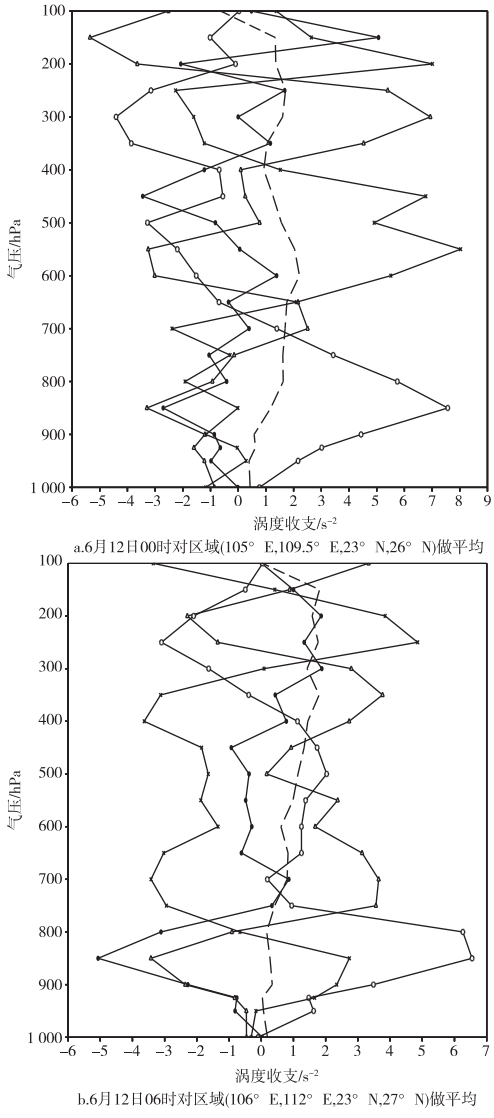


图 11　低涡区内各项及总涡度收支(单位:$10^{-9}s^{-2}$)的区域平均的垂直分布(实心圆节点为水平平流项,三角形节点为垂直平流项,空心圆节点为水平辐合辐散项,十字节点为扭转项,虚线为总涡度)

Fig. 11　Vertical distribution of the area mean of the various terms and the total vorticity budget (Filled circle node is the horizontal vorticity advection; triangle node is the vertical advection; outlined circle node is the horizontal vorticity diversion; cross node is the twisting term; and dashed line is the total vorticity.)

贡献外其它层上对总涡度是负贡献. 水平辐合辐散项(C)在 700 hPa 以下使得总涡度增加,700 hPa 以上使得总涡度减少. 扭转项(D)在低层和高层对总涡度主要是负贡献,中层是正贡献. 在 700 hPa 以下 C 对正的总涡度起主要作用,在 400 hPa 与 700 hPa

之间 D 对正的总涡度起主要作用,而在 300 hPa 附近 B 对正的总涡度起主要作用. 12 日 06 时是广西 3 h累计降水量第 1 次达到极值(图 11b),总涡度项在对流层高层和中低层均为正值,由低层至高层总涡度增加,峰值在 150 hPa 上. 水平平流项(A)和水平辐合辐散项(C)对总涡度的贡献相反,其中 C 在 400 hPa 以下使得总涡度增加,400 hPa 以上使得总涡度减少,与 12 日 00 时相比 C 对总涡度起正贡献的层抬升了,而 A 对总涡度的作用基本相反. 垂直平流项(B)在 300 hPa 与 800 hPa 之间对总涡度是正贡献. 扭转项(D)与 12 日 00 时相反,在低层和高层对总涡度是正贡献,中层是负贡献. 在 800 hPa 以下 C 对正的总涡度起主要作用,在 300 hPa 与 800 hPa 之间 B 对正的总涡度起主要作用,而在 250 hPa 附近 D 对正的总涡度起主要作用.

总的来说,水平平流项和水平辐合辐散项作用相反. 水平平流项在对流层中下层对总涡度基本都是负贡献;水平辐合辐散项在对流层低层对总涡度是正贡献,且对总涡度的贡献起直接作用,这可能与降水过程中凝结潜热的释放作用有关. 对流层中高层主要是垂直平流项和扭转项起主要作用,而扭转项起主要作用可能与高空急流的作用有关.

6 结论
Conclusions

通过对 2008 年 6 月 11 日 20 时—13 日 20 时发生在广西一次大暴雨个例进行了诊断分析,得出如下结论.

1) 在强降水期间 500 hPa 环流主要以经向型为主,中高纬度环流维持稳定的两槽一脊,南支槽为暴雨区带来暖湿的西南气流,副热带高压比常年位置偏南,为华南地区大范围的强降水创造了有利的大尺度环流条件.

2) 高低空急流、西南涡以及从低涡中心延伸出来的切变线是影响此次暴雨过程的主要系统. 广西地区的强降水开始位于低涡的中心至底部及其从低涡中心延伸出的切变线附近,随着低涡的东移强降水中心转为低涡的底后部,广西地区的强降水一直位于高空急流的右后方,低空急流的左侧. 随着西南涡与高低空急流的东移,强降水中心也随着其东移而东移. 广西地区的降水随西南涡的加强而加强,低空急流的增强先于暴雨区的增强.

3) 影响广西强降水过程的低涡在东移过程中已经发展到了比较成熟的阶段. 西南低涡在温度场上基本表现为,700 hPa 为暖心结构,正涡度区域垂直向上伸展,整个对流层都为正涡度,低层辐合高层辐散的配置有利于对流的发展,强降水的极值中心上空对应着较强的上升运动.

4) 涡度收支的计算表明,水平平流项和水平辐合辐散项作用相反,水平平流项在对流层中下层对总涡度基本都是负贡献,水平辐合辐散项在对流层低层对总涡度是正贡献,且对总涡度的贡献起直接作用,这可能与降水过程中凝结潜热的释放作用有关. 对流层中高层主要是垂直平流项和扭转项起主要作用,而扭转项起主要作用可能与高空急流的作用有关. 降水过程中凝结潜热的释放是否使得低涡得以增强,以及是否是因为高空急流作用而使得高层由扭转项起主要作用都有待于进一步研究.

参考文献
References

[1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980:225
TAO Shiyan. Rainstorms in China[M]. Beijing:Science Press,1980:225

[2] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京:气象出版社,1986:275
LU Jinghua. The conspectus of southwest vortex[M]. Beijing:China Meteorological Press,1986:275

[3] 王作述,汪迎辉,梁益国. 一次西南低涡暴雨的数值试验研究[C]//暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究. 北京:气象出版社,1996:257-267
WANG Zuoshu,WANG Yinghui,LIANG Yiguo. Numerical simulation of southwest vortex rainstorm[C]//The study of rainstorm science,business test and weather dynamic theory. Beijing:China Meteorological Press,1996:257-267

[4] WU Guoxiong,CHEN Shoujun. The effect of mechanical forcing on the formation of a mesoscale vortex[J]. Quart J Roy Meteor Sco,1985,111:1049-1070

[5] Kuo Y,Chen L,Anthes R A. Mesoscale analyses of Sichuan flood catastrophe 11—15 July 1981[J]. Mon Wea Rev,1986,114:1984-2003

[6] WANG Wei,Kuo Y,Warner T T. A diabatically driven mesoscale vortex in the lee of the Tibetan Plateau[J]. Mon Wea Rev,1993,121:2542-2561

[7] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 2 版. 北京:气象出版社,2007:23-26
Li Guoping. Qingzang Plateau dynamic meteorology[M]. 2nd Ed. Beijing:China Meteorological Press,2007:23-26

[8] 彭新东,程麟生. 高原东侧低涡切变线发展的个例数值研究:Ⅰ. 分析和诊断[J]. 兰州大学学报:自然科学版,1992,28(2):163-168
PENG Xindong,CHENG Linsheng. A numerical case study on the evolution of the plateau-east-side low vortex and shear-line[J]. Journal of Lanzhou University:Natural Science Edition,1992,28(2):163-168

[9] 韦统键,薛建军. 影响江淮地区的西南涡中尺度结构特征[J]. 高原气象,1996,15(4):456-463
WEI Tongjian,XUE Jianjun. Characteristics of southwest vortex over Jiang-Huai river areas[J]. Plateau Meteorology,1996,15(4):456-463

[10] 韦统键. 一次西南低涡流场中的分析[J]. 气象科学,1988(3):64-71
WEI Tongjian. A case study of the flow field for low vortex in southwest China[J]. Scientia Meteorological Sinica,1988(3):64-71
[11] 王晓芳,廖移山,闵爱荣,等. 影响"05-6-25"流域暴雨的西南低涡特征[J]. 高原气象,2007,6(1):197-205
WANG Xiaofang, LIAO Yishan, MIN Airong, et al. Characteristics of southwest vortex influencing "05-06-25" Yangtze River rainstorm[J]. Plateau Meteorology,2007,6(1):197-205
[12] 黄福均. 西南低涡的合成分析[J]. 大气科学,1986,10(4):402-408
HUANG Fujun. A composite analysis of the southwest vortex[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1986,10(4):402-408
[13] 陈忠明,缪强,闵文彬. 一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析[J]. 应用气象学报,1998,9(3):273-282
CHEN Zhongming, MIAO Qiang, MIN Wenbin. A case analysis of mesoscale structure of severe southwest vortex[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology,1998,9(3):273-282
[14] 程麟生,郭英华. "81·7"四川暴雨期西南涡生成和发展的涡源诊断[J]. 大气科学,1988,12(1):18-26
CHENG Linsheng, GUO Yinghua. The diagnosis of vorticity source of southwest vortex in the initial and mature stages during the Sichuan rainstorm in July 1981[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1988,12(1):18-26
[15] 李红莉,张兵,陈波. 局地分析和预报系统(LAPS)及其应用[J]. 气象科技,2008,36(1):20-24
LI Hongli, ZHANG Bing, CHEN Bo. Local analysis and prediction system(LAPS) as well as its application[J]. Meteorological Science and Technology,2008,36(1):20-24
[16] 赵思雄. 西南低涡结构的个例分析[C]//青藏高原气象会议论文集. 西宁,1977:296-306
ZHAO Sixiong. A case study of southwest vortex structure[C]// Proceedings of Qingzang Plateau Meteorology Conference. Xining, 1977:296-306
[17] 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[J]. 南京气象学院学报,2006,29(1):122-128
YANG Shuai, DING Zhiying, XU Haiming. Upper low level jets and activities of southwest vortex in a torrential rain process during the period of Meiyu[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2006,29(1):122-128
[18] 田秀霞,邵爱梅. 一次河北大暴雨的华北低涡结构和涡度收支分析[J]. 暴雨灾害,2008,27(4):320-325
TIAN Xuxia, SHAO Aimei. Study of the vortex structure and vorticity budget on a heavy rain in North China[J]. Torrential Rain and Disasters,2008,27(4):320-325
[19] 廖胜石,寿绍文. 一次江淮暴雨中中尺度低涡的数值模拟及分析[J]. 南京气象学院学报,2004,27(6):753-759
LIAO Shengshi, SHOU Shaowen. Numerical simulation of a mesoscale vortex in a heavy rain process in Changjiang-Huaihe River Basin[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(6):753-759
[20] 乔枫雪,赵思雄,孙建华. 一次引发暴雨的东北低涡的涡度和水汽收支分析[J]. 气候与环境研究,2007,12(3):397-412
QIAO Fengxue, ZHAO Sixiong, SUN Jianhua. Study of the vorticity and moisture budget of a northeast vortex producing heavy rainfall [J]. Climatic and Environmental,2007,12(3):397-412

Diagnostic analysis of a southwest vortex producing heavy rainfall in Guangxi Province in June 2008

CHEN Yao[1] XU Haiming[1,2]

1 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Based on NCEP 1° × 1° re-analysis data, hourly precipitation data and LAPS 0.045° × 0.045° re-analysis data, a severe heavy rain event that occurred in Guangxi Province at 20:00 on June 11, 2008 to 20:00 on the 13th was analyzed. The high and low level jet, the southwest vortex and the shear line extending from the vortex center were the main systems of the rainfall. The heavy rain event mainly occurred in the right-rear area of the high-level jet, on the left side of the low-level jet, at the bottom to the rear of the vortex and near the shear line. The heavy rainfall center moved toward the east with the eastward shifting of the systems. Precipitation increased with the strengthening of the southwest vortex. During the heavy rainfall the southwest vortex had the warm core at 700 hPa. The positive vorticity region extended vertically upward, and the entire troposphere took on positive vorticity. The lower-level convergence and upper-level divergence were favorable for the development of convection. The upward motion was strong over the strong precipitation center. In the vorticity budget equation, the horizontal vorticity advection was playing a role opposite to the horizontal vorticity diversion which had the direct function and made positive contributions in the total vorticity field in the lower troposphere. The vertical advection and the twisting term played the main role in the middle and upper troposphere.

Key words southwest vortex; heavy rainfall; diagnoses; vorticity budget