

文章编号:1004-9045(2008)03-0204-09

# 2007 年 6 月广西柳州一次特大暴雨天气的成因分析

董海萍, 邓 辉, 岳 琨

(空军气象中心, 北京 100843)

**摘 要:** 采用常规资料、自动雨量站加密资料、NECP 1 °×1 °6 h 再分析资料和卫星云图资料, 对 2007 年 6 月 12—13 日发生在广西柳州市的一次特大暴雨过程产生的环流背景和中尺度系统进行了分析。结果表明, 高低层环流配置为暴雨的发生提供了有利的大尺度环流条件, 中尺度气旋扰动所引发的对流云团是此次暴雨的直接影响系统; 水汽输送辐合与低空急流和中尺度扰动的运动演变有着密切关联, 低空急流为暴雨的发生发展提供了充沛的水汽和不稳定能量; 引起此次暴雨的水汽源地可能主要是南海。

**关键词:** 暴雨; 柳州市; 中尺度系统; 水汽输送

**中图分类号:** P458.1\*21.1      **文献标识码:** A

## 1 引言

广西地处低纬地区, 北回归线横贯其中部, 南临热带海洋, 北接南岭山脉, 西连云贵高原, 地势由西北向东南倾斜, 具有周围高、中间低、形似盆地, 山地多、平原少的地形特点。柳州市(23.9°—24.83°E, 108.83°—109.73°N)位于广西中部偏东北, 地处柳江中游, 柳江自北穿城而过、流向东南, 市区山环水绕, 呈壶状。这使来自其南部的暖湿气流进入柳州后, 受北部山地阻挡而聚集, 易产生对流天气, 并引发洪涝灾害。

对于我国华南地区的暴雨, 已取得不少研究成果<sup>[1-9]</sup>, 对其气候特点和天气系统也进行了较为深入分析, 揭示出一些重要事实, 并弄清了一些科学问题, 使人们对中尺度强暴雨形成的物理机制有了一定认识。然而, 随着近年来气候发展演变, 加之人为因素影响, 强降水天气的发生发展有了与以往不同的特征。如气候变暖一方面会减少某些地区的小雨日数, 但另一方面会使降大雨的强度增加。2007 年 3 月联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发表的一份评估报告<sup>[10]</sup>指出, 全球变暖将持续数百年, 并预测到 2100 年, 全球平均气温将上升 1.8~4.0 °C, 海平面升高 18~59 cm, 将带来一系列灾难性后果, 如北极地区冰雪融化、墨西哥湾暖流减缓、海平面升高, 农业分布改变, 暴雨、干旱和热浪等极端天气频繁出现, 以及热带疾病疫情扩大。因此, 在新的气候背景下有必要对华南地区的强降水作进一步研究。

本文利用诊断分析方法, 根据 NECP 1 °×1 °6 h 再分析资料及红外云图资料等, 对 2007 年 6 月 12—

13 日发生在广西柳州市的一次特大暴雨过程产生的环流背景和中尺度系统进行了分析, 以期对此次强降水过程的成因机制有所揭示。

## 2 雨情与灾情

2007 年 6 月 12—13 日, 广西壮族自治区遭受暴雨袭击(图 1a), 降水主要发生在 12 日 12 时至 13 日 00 时(世界时, 下同), 12 h 柳州降水量达 233 mm, 打破了该站 2005 年 6 月 20 日创下的 184 mm 历史记录(图 1b)。与此同时, 柳江县出现 307 mm 特大暴雨, 这是该县自 1958 年有雨量监测记录以来最大的一次强降水, 也是这次广西降雨过程的暴雨中心。从柳州市和柳江县逐小时降水演变可清楚地看到(图 1c、d), 强降水主要发生在 12 日 16—20 时, 即 13 日凌晨(北京时)。1 h 最强降水, 柳州市为 54 mm, 柳江县为 105 mm, 且都发生在 12 日 18—19 时, 即 13 日 02—03 时(北京时)。由此可见, 此次暴雨过程降水范围较广, 但历时短、局地强度大, 导致柳州、柳江等地出现严重内涝, 许多路段积水, 一些路段交通中断, 60 多所学校停课, 部分工厂停产。据统计, 此次过程共造成柳州市 20.6 万人受灾、3 人死亡, 直接经济损失达 1.1 亿元。

## 3 大尺度环流背景

广西虽位于低纬地区且易受南中国海和孟加拉湾两个热带海洋的影响, 但其暴雨的产生并不是在单纯暖空气里形成的对流, 西风带系统依然起着关键作用, 即与冷空气的活动密切相关, 它往往是冷暖空气相互作用的结果和中、低纬度天气系统共同作用的产

收稿日期: 2008-04-06; 定稿日期: 2008-05-19

作者简介: 董海萍, 女, 1965 年生, 博士生, 主要从事中尺度强对流天气研究. E-mail: donghaiping@mail.iap.ac.cn

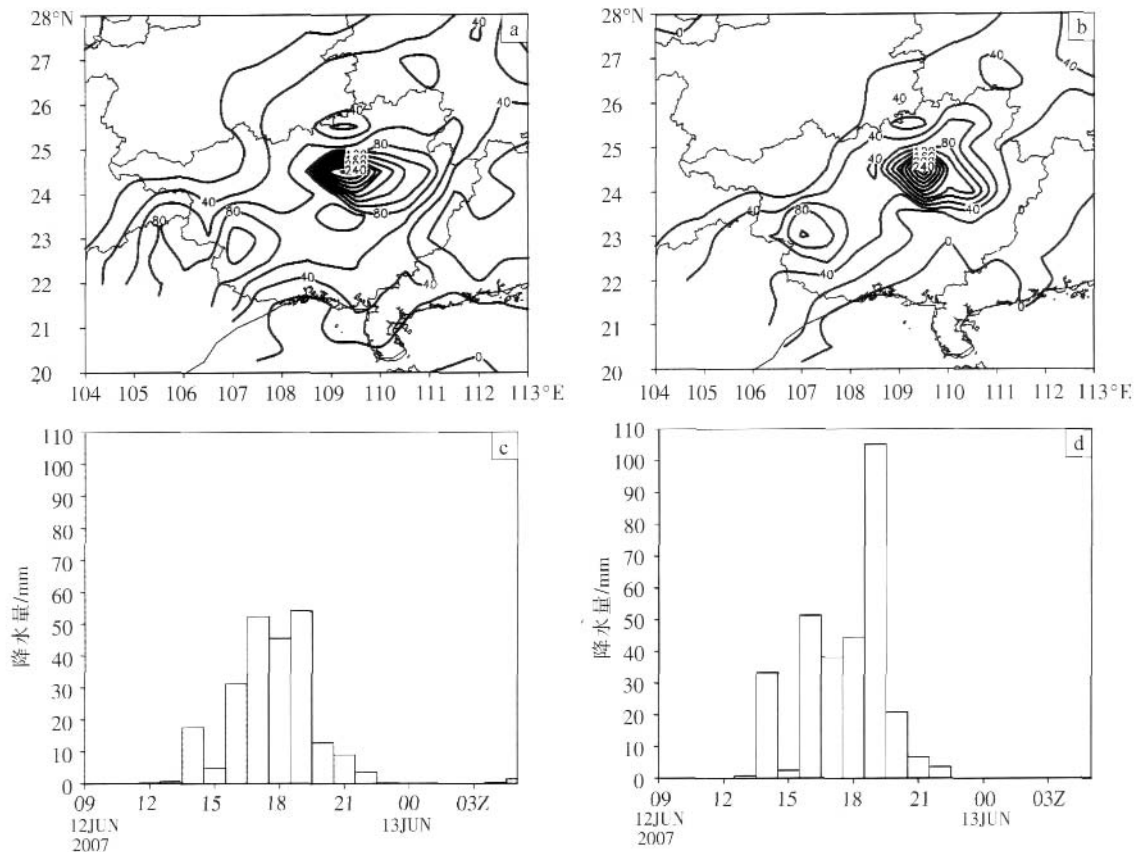


图 1 2007 年 6 月 12 日 00 时至 13 日 12 时(a)、12 日 12 时至 13 日 00 时(b)累积降水量  
(间隔 20 mm), 12 日 09 时至 13 日 03 时柳州市(c)、柳江县(d)逐时降水量(单位: mm)

物。此次暴雨过程同样如此,且上下层环流形势的配置也为强降水发生提供了较好的背景场。

### 3.1 上下层环流配置

从 2007 年 6 月 12 日 00 时至 13 日 12 时 500 hPa 过程平均图上可见(图 2a),亚欧中高纬地区为“一槽两脊”型环流形势,低气压环流中心位于华北平原,槽线从 35°N、115°E 向西南延伸至 20°N、95°E,温度槽落后于高度槽,广西地区位于槽前,此形势有利于引导槽后冷空气南下;同时,槽前暖湿气流又不断向我国西南地区输送,致使冷暖空气交汇于广西地区。这在 700 hPa 过程平均图上反映更加清楚(图 2b)。在广西北部有一冷舌向南伸展,且气流自北向南流入广西北部;同时,来自孟加拉湾的暖湿气流源源不断地向广西输送,西南暖湿气流达广西北部。在 850 hPa 过程流场图上(图 2c),同样在广西的北部和南部各有一冷舌和暖气团存在,且在广西中部偏东北地区(即柳州地区)有一气旋性环流存在,这也是柳州地区产生强降水并打破历史纪录的缘故。在 925 hPa 过程平均图上(图 2d),广西地区有一偏东北-西南向的气流辐合线存在,这也说明在广西的低层有南北气流交汇。由此可见,此次广西柳州特大暴雨的产生与冷暖空气的活动有着密切关系,暖湿空气的输送为暴雨提供了水汽和不稳定能量,而冷空气则有利于气流辐合上升和气柱

不稳定增强;同时,低层中尺度气旋和气流辐合线的存在反映出很明显的中尺度对流系统的活动特征,这次广西柳州地区暴雨过程正是在这种有利的环流背景下发生的。

### 3.2 高低空急流的相互作用

丁一汇在研究高空急流及其有关次级环流时指出<sup>[1]</sup>,在高空急流区,由于高空急流带前进的速度比风速要小得多,因而当空气质点穿过急流带时,在上风方其速度就会增大,在下风方其速度就会减小,致使在急流入口区的北侧产生高空辐合和下沉气流,南侧产生高空辐散和上升气流;随之低层大气也会发生相应的质量调整,产生与高层相反的散度场和气流运动,从而形成垂直直接环流圈,而在高空急流出口区也会形成一垂直间接环流圈,两环流圈在低层则会导致变压风,从而导致低空急流;当低空急流产生后,在低空急流出口区左侧会有辐合产生,因此在高空急流中心右后方与低空急流中心左前方的区域是强降水发生的高发区。图 3 给出了此次广西柳州特大暴雨强降水过程中高低空急流和垂直速度的演变情况。

从图 3 中可看到,12 日 12 时(图 3a),200 hPa 高空急流呈东西向,急流中心位于 32°N、115°E 附近,强度为 40 m·s<sup>-1</sup>,广西位于高空急流入口区南侧;而 850 hPa 低空急流中心位于 22°N、110°E 附近,即广西南

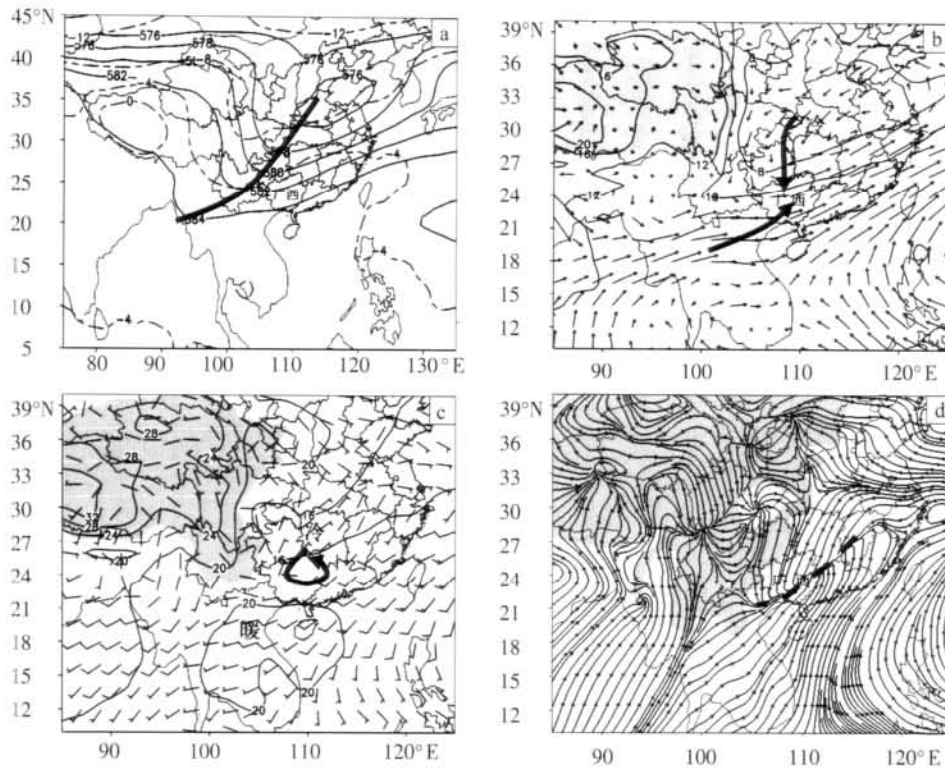


图 2 2007 年 6 月 12 日 00 时至 13 日 12 时强降水过程的平均形势

- (a) 500 hPa 过程平均(实线为等高线,间隔 20 gpm;虚线为等温线,间隔 4 °C)
- (b) 700 hPa 过程平均(实线为等温线,间隔 4 °C,加注 6 °C、10 °C 等温线;矢量箭头表示风场;阴影区地形高度大于 3 000 m)
- (c) 850 hPa 过程平均(实线为等温线,间隔 4 °C;阴影区地形高度大于 1 500 m)
- (d) 925 hPa 过程平均流线(虚线为气流辐合线;阴影区地形高度大于 760 m)

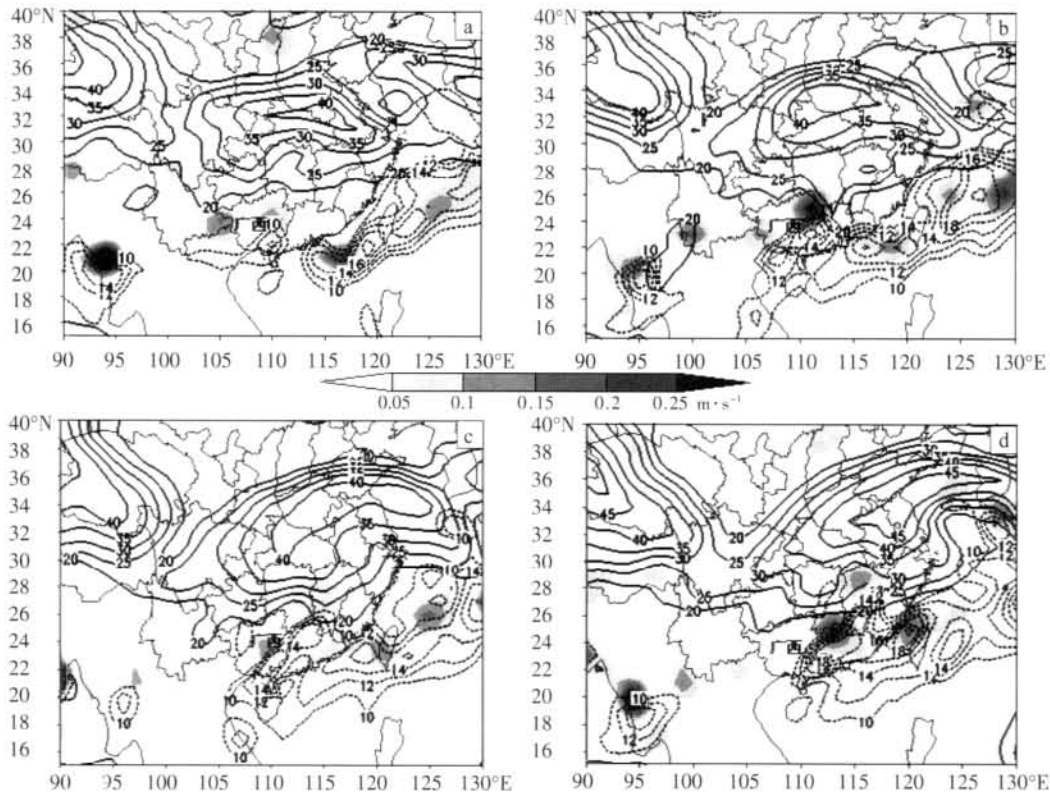


图 3 2007 年 6 月 12 日 12 时(a)、18 时(b)、13 日 00 时(c)、06 时(d)强降水过程中高低空急流和垂直速度的演变情况

- 实线为 200 hPa 层  $\geq 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的水平风速值;虚线为 850 hPa 层  $\geq 10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的水平风速值;阴影区为 600 hPa 层垂直风速值  $\geq 5 \times 10^{-2} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  区

部, 其强度为  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; 同时可看到, 在低空急流中心左侧(24°N、110°E附近)有一上升运动区, 而此时广西柳州地区降水开始增强。随后(图 3b), 高空急流中心略有西扩, 中心位于 32°N、113°E 附近, 强度不变; 而低空急流强度加强, 达  $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 其左侧的垂直上升速度也明显加强, 对应此时柳州和柳江都有暴雨产生, 且 1 h 后降水达到最强(图 1c、d); 同时可见, 在低空急流中心西南方又有一强度达  $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  的急流中心生成。至 13 日 00 时(图 3c), 高空急流中心东移, 强度不变, 而引起前段时间强降水发生的低空急流中心减弱东移出广西, 但其西南侧急流中心加强且移入, 柳州地区仍维持一上升运动区, 但强度明显减弱, 柳州地区降水也随之减弱。至 13 日 06 时(图 3d), 高空急流中心东移至 120°E 附近, 低空急流中心和上升运动区也都东移出广西, 广西降水随之停止。

由此可见, 此次暴雨过程与高低空急流及垂直上升运动区有较好的相关性, 低空急流中心左侧的辐合区与高空急流入口区南侧的辐散区的高低空配置, 使柳州地区产生较强的垂直上升运动, 因此高低空急流的相互作用是触发此次强降水的原因之一。

#### 4 中尺度环流形势分析

中尺度天气系统是直接造成暴雨的天气系统, 其水平尺度 10~300 km, 生命史数小时。它是在天气尺

度系统或中间尺度系统中生成的, 只要有利的天气尺度条件不变, 中尺度系统就可连续产生, 从而造成较持久的强暴雨<sup>[12]</sup>。对造成此次广西柳州强降水过程的中尺度系统的产生和发展演变情况分析如下。

##### 4.1 中尺度扰动及低层大气不稳定结构

从 2007 年 6 月 12—13 日不同时刻低层 850 hPa 流场可见(图 4), 在此次广西柳州特大暴雨发生过程中, 有中尺度气旋扰动自广西西部向东部移动, 并在有利的南部水汽输送配合下, 致使柳州发生强降水。12 日 12 时(图 4a), 有一中尺度气旋(A)位于广西西部, 进入该气旋的南部气流来自广西西南方的越南地区, 在气旋西部有冷暖空气交汇。随后, 中尺度气旋 A 逐渐向东偏北移动(图 4b), 进入气旋南部的气流(主要来自南海北部)加强, 水汽来源充足; 同样, 在气旋的西部有南北气流(即冷暖空气)相互作用, 造成柳州地区(气旋西部)强降水; 同时, 在该气旋的西南方还有一较弱的气旋性环流 B 产生。13 日 00 时(图 4c), 中尺度气旋 A 已移出广西, 弱气旋 B 移至柳州地区, 但冷暖空气交汇强度减弱, 其南部气流主要来自越南, 水汽来源减弱, 且南北气流交汇主要位于广西南部, 致使降水区域随之南移。到了 13 日 06 时(图 4d), 弱气旋 B 已减弱消失, 广西地区主要为偏北气流, 南北气流交汇也移至广西东南部, 降水随之减弱东移, 并逐渐移出广西。

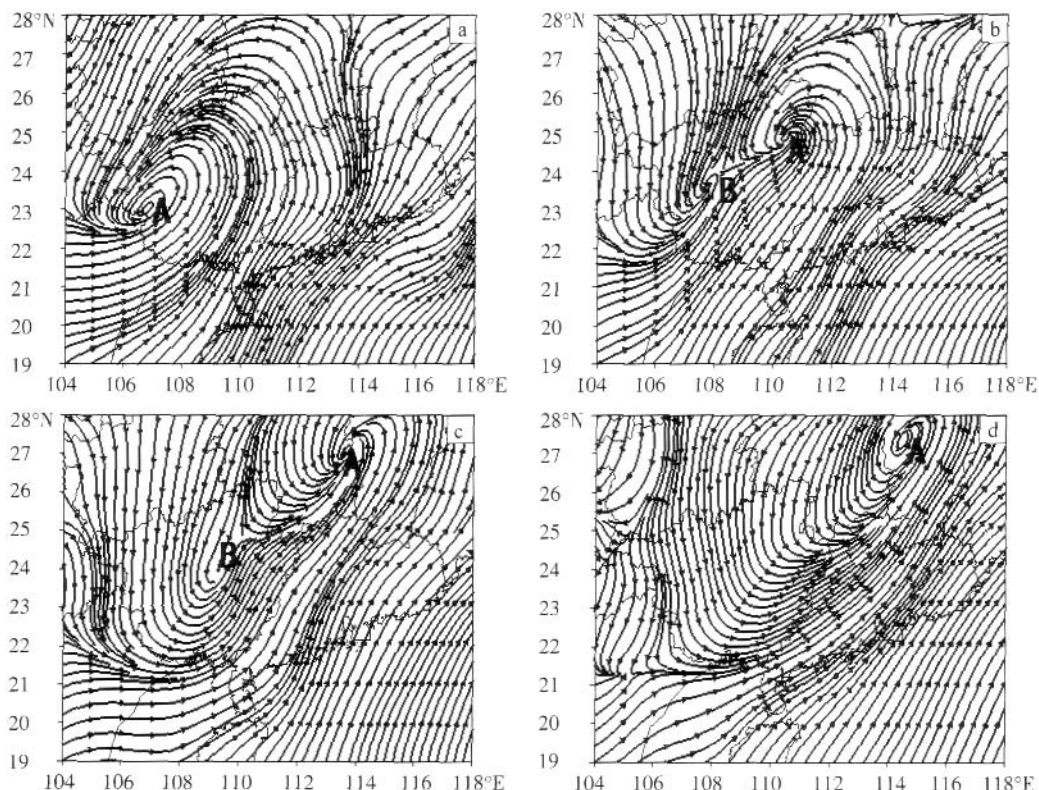


图 4 2007 年 6 月 12 日 12 时(a)、18 时(b), 13 日 00 时(c)、06 时(d) 850 hPa 流场

综上所述, 此次广西柳州特大暴雨的发生与低层

中尺度气旋的发展演变密切相关, 中尺度气旋的强度

及位置发生变化, 南北气流(即冷暖空气)交汇的区域及强度也随之发生变化, 且来自南部的水汽输送也不断发生变化。

对应中尺度气旋的扰动, 在强降水发生期间柳州地区表现为明显的不稳定层结特征。分析高低空急流的相互作用可知, 在此次强降水过程中, 降水区域具有较强的上升运动, 且低层又不断有西南暖湿气流流入, 对不稳定层结的建立十分有利。从 6 月 12 日 18 时分别沿 110°E、24.5°N 的  $\theta_{se}$  垂直剖面中可以看到(图

5), 南北方向在 24.5°N 附近有冷暖空气交汇(图 5a), 且 600 hPa 以下在 22°—24°N 之间, 即柳州强降水区域,  $\partial\theta_{se}/\partial p > 0$ , 说明此区域为对流不稳定区, 同时看到低层不稳定区由南向北伸展, 强降水中心发生在  $\theta_{se}$  大值中心以北。同时, 东西方向 600 hPa 以下在 111°—113°E 之间的低层为不稳定区(图 5b), 且不稳定区略向西伸展。由此表明, 低空不稳定区的中心位于强降水中心南侧, 低空南部暖湿气流对此次强降水区不稳定层结的建立起到重要作用。

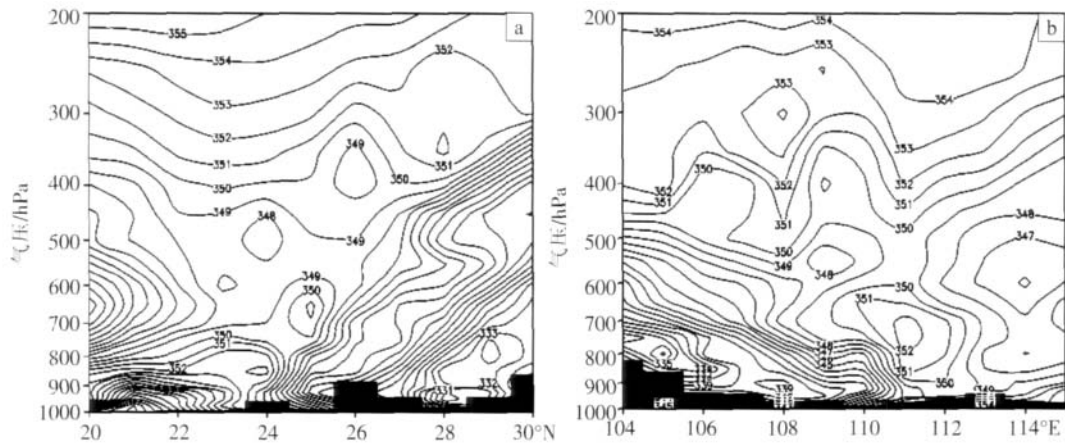


图 5 沿 110°E、24.5°N 经暴雨中心所作的 2007 年 6 月 12 日 18 时  $\theta_{se}$  的经向垂直剖面图(a)和纬向垂直剖面图(b)(单位:K)

#### 4.2 云团的活动特征

云系发展变化预示着天气的演变, 通过卫星云图上云系演变发展, 不但可综观包括观测资料缺乏区域在内的大范围云型, 还可通过云体的分布、形状、大小或云带的形状和外观等条件来识别与跟踪中尺度天气系统的演变, 从而更好地把握天气的变化与发展。

在此次广西柳州特大暴雨过程中, 随着 500 hPa 槽线向暴雨区靠近, 低层西南暖湿气流加强, 中尺度云团不断从西南方向移入广西, 在柳州地区停留加强并产生暴雨。这一现象可从红外云图的  $T_{BB}$  变化得到清楚反映。图 6 给出了此次柳州强降水发生时段内间隔 2 h 红外云图的  $T_{BB}$  演变情况。

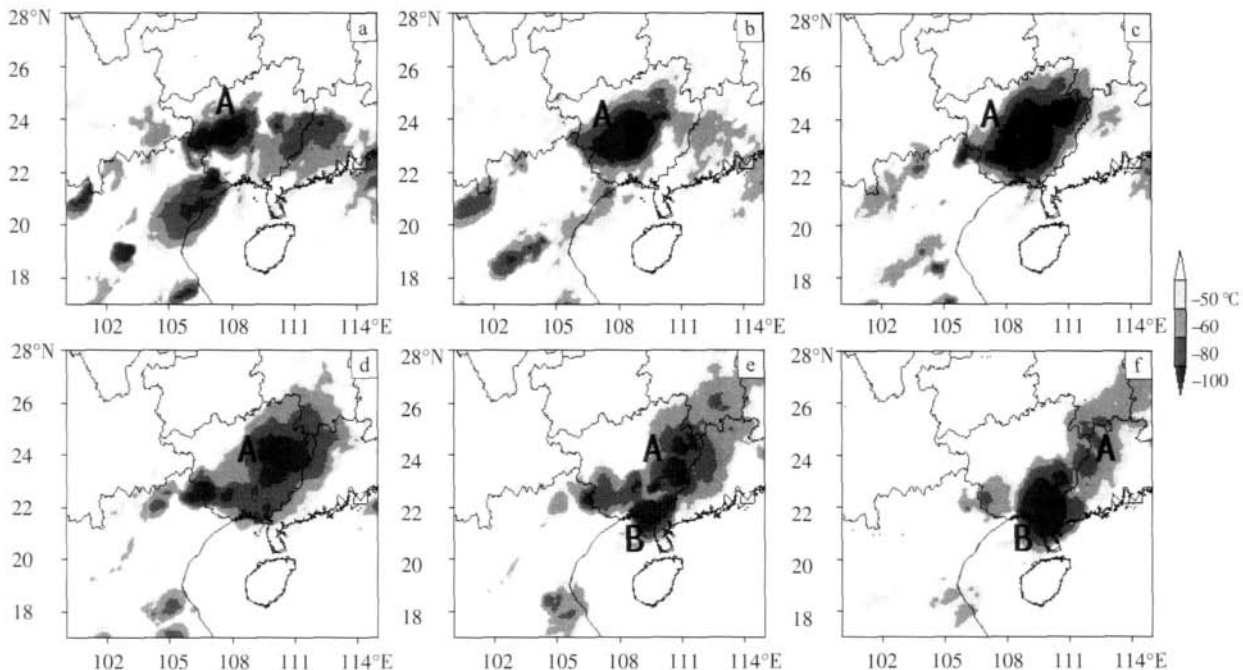


图 6 2007 年 6 月 12—13 日不同时刻风云 2C 气象卫星红外云图  $T_{BB}$ (单位: °C) 演变 (a) 12 日 14 时; (b) 12 日 16 时; (c) 12 日 18 时; (d) 12 日 20 时; (e) 12 日 22 时; (f) 13 日 00 时

从图6中可见,12日14时(图6a),对应广西西部中尺度气旋扰动(图4a),有一对流云团A移入,并不断加强发展;其后,随着气旋扰动东移,南部气流不断加强,以及北部冷空气的汇入,对流云团A继续加强发展,并不断呈东北向移入柳州地区,致使柳州产生强降水(图6b);至12日18时(图6c),随着中尺度气旋继续东移和另一个较弱气旋的产生(图4b),同时来自南海的水汽输送继续加强,致使对流云团A也发展扩大,并在柳州地区停滞少动,导致柳州地区出现建站以来最大一次强降雨过程;其后,随着中尺度气旋扰动逐渐东移,南北气流交汇也东移,并不断减弱(图6d);至12日22时(图6e),云团A已东移至广西东部,且已减弱成两小块,同时在广西南部有一对流云团B产生并逐渐发展,对应另一中尺度扰动东移(图4c),致使南北气流交汇于广西南部;13日00时(图6f),云团

A减弱并东移出广西,云团B有所加强,此时广西南部降水加大,而柳州地区降水逐渐减弱停止。

由此可见,此次柳州地区的暴雨过程与中尺度对流云团有着密切关系,而对流云团的产生和发展与中尺度气旋扰动又有直接联系,对流云团的产生和发展是在有利的环境气流场下中尺度系统演变的直接产物。

#### 4.3 中尺度系统的演变特征

从此次强降水过程的累积降水可知,柳州地区特大暴雨主要集中在6月12日12时至13日00时(图1),为此选取强降水产生的区域( $23^{\circ}$ — $25^{\circ}$ N,  $109^{\circ}$ — $111^{\circ}$ E),对其中尺度系统的结构作进一步分析,以此探究此次特大暴雨的形成机制。图7和图8分别给出了该区域平均的涡度、散度、垂直速度、相对湿度和假相当位温在不同时刻的垂直剖面图,由于该区域内地形高度平均在500m左右,这里只分析925hPa以上各层情况。

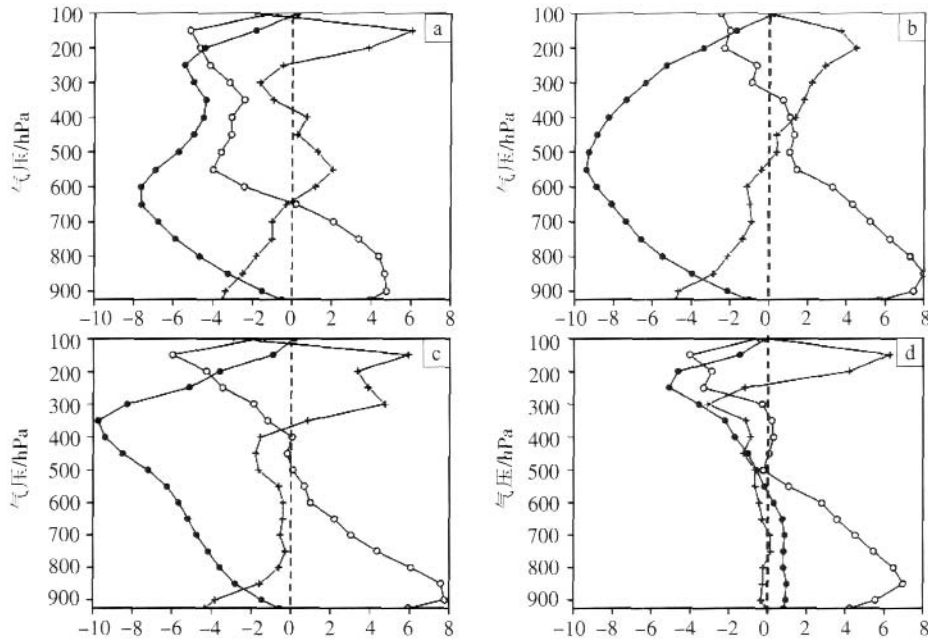


图7 2007年6月12日12时(a)、18时(b),13日00时(c)、06时(d)广西柳州强降水区域( $23^{\circ}$ — $25^{\circ}$ N,  $109^{\circ}$ — $111^{\circ}$ E)平均涡度(—○—,  $10^{-5} s^{-1}$ )、散度(—+—,  $10^{-5} s^{-1}$ )、垂直速度(—●—,  $10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$ )垂直剖面图

从图7、图8中可看到,12日12时,因柳州地区已有降水产生,该区域内650hPa以下为正涡度、气流为散合,最大值基本都位于900hPa,且区域内有较强的垂直上升运动;区域内的相对湿度基本在90%以上,湿度较大,且在900—500hPa范围内为对流不稳定层,说明有不稳定能量蓄积,对流运动将继续加强发展。至12日18时,低层的正涡度和气流辐合都有较大增强,最大正涡度区位于850hPa,其量值为 $8 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,900hPa最大气流辐合强度为 $-5 \times 10^{-5} s^{-1}$ ,垂直上升运动也有所加大,最强上升区位于550hPa,其垂直速度为 $-9 \times 10^{-3} hPa s^{-1}$ ;同时,该区域内700hPa以下相对湿度增大,而不稳定层有所减少,在850—

500hPa范围内为对流不稳定层,不稳定能量有所释放,但对流运动还较强;13日00时,低层气流辐合及正涡度都保持较大值,但800—500hPa间的气流辐合明显减小,且600hPa以下垂直上升运动减弱,最大上升运动区位于350hPa;区域内250hPa以下相对湿度有较大增长,这是强降水后的结果,不稳定层结也大大减少,只在800—650hPa间有一不稳定层结,说明不稳定能量已大量释放,强降水已发生。至13日06时,500hPa以下仍为正涡度,但500hPa以下气流辐合已基本为零,且转为下沉运动;从假相当位温来看,不稳定层结已消失,说明此时对流上升运动消失,中尺度对流系统消散,降水趋于停止。

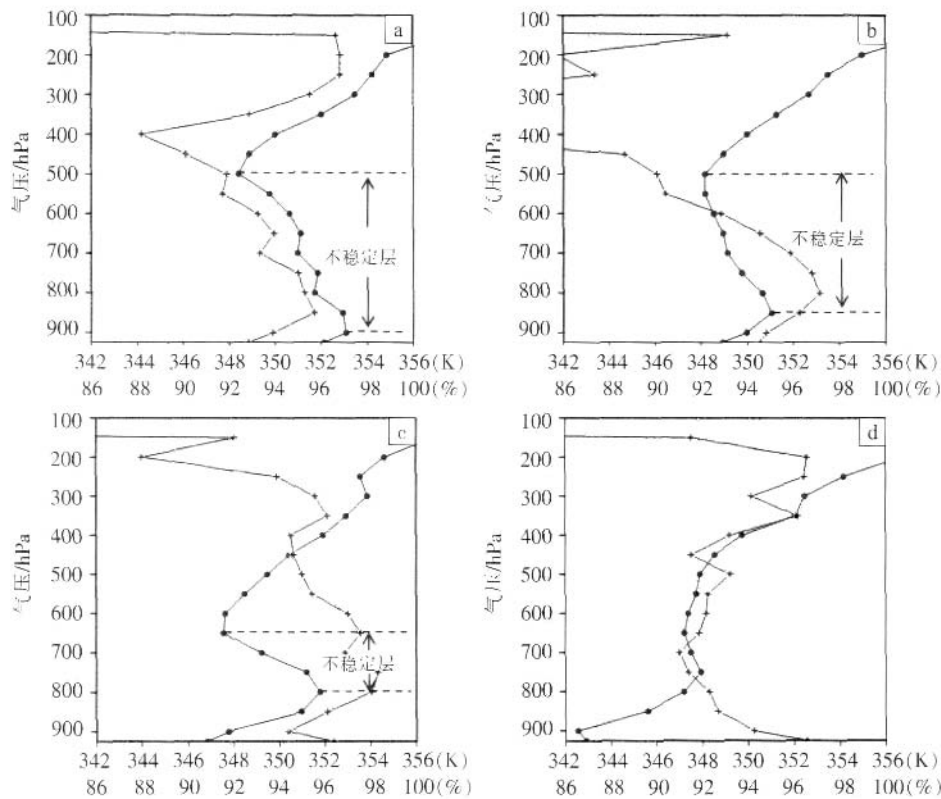


图 8 2007 年 6 月 12 日 12 时(a)、18 时(b)、13 日 00 时(c)、06 时(d)广西柳州强降水区域(23°—25°N、109°—111°E)平均相对湿度(—+—,%)、假相当位温度(—●—, K)垂直剖面图

### 5 水汽输送的演变特征

暴雨的产生要求天气尺度系统有源源不断的水汽输送，以补充暴雨发生所造成气柱内的水汽损耗。陶诗言认为<sup>[12]</sup>，持续性的暴雨发生时，经常存在一支天气尺度的低空急流，它使暴雨区外围的水汽迅速向暴雨区集中，供应暴雨所需要的“燃料”。因此，水汽的输送及辐合是暴雨产生的关键。

广西南面紧临南海，在有利的大尺度环流偏南气流引导下，较为充足的水汽源源不断地向广西输入，可为其暴雨产生提供水汽来源。从此次暴雨过程中 850 hPa 沿 110°E 的相对湿度随时间演变可见(图 9)，12 日 12 时前，柳州地区已有降水发生，但大于 95% 的相对湿度区范围很小，从 12—18 时，大于 95% 的相对

湿度区迅速向北扩展，说明水汽输送较强，也反映出是强降水产生后的结果；12 日 18 时至 13 日 00 时，湿度大值区又同时向北、向南延伸，但扩展幅度减弱，反映出是强降水减弱而降水继续的结果；其后，湿度大值区逐渐缩减，13 日 12 时，大于 95% 的相对湿度区缩减为零，说明降水逐渐停止。从前文分析可知，在此次广西柳州暴雨过程中，随着中尺度气旋扰动的发展演变，对流不稳定能量有一个从蓄积到释放的过程，中尺度对流云团在柳州地区加强发展，触发了广西柳州特大暴雨。

为了探明此次暴雨过程中的水汽来源以及水汽的输送和汇集，也考虑到水汽主要集中于对流层低层，边界层的水汽输送辐合量是暴雨形成和维持的主要水汽来源，选取 850 hPa 水汽通量及其辐合分布来分析此次暴雨过程中水汽输送的演变情况(图 10)。

从图 10 中可见，12 日 12 时(图 10a)，广西的水汽主要来自其南部，且进入广西的水汽通量方向偏西，说明水汽主要来源于广西西南方的孟加拉湾，并在柳州地区形成水汽辐合，其量值为  $-4 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。12 日 18 时(图 10b)，来自广西南部的水汽输送加强，且水汽通量方向转为偏南，说明南海成为水汽进入广西的主要源地，致使柳州地区水汽辐合加强，其量值达  $-8 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ，而此时柳州市和柳江县降水都较强，1 h 后降水均达到最强，其中柳江县

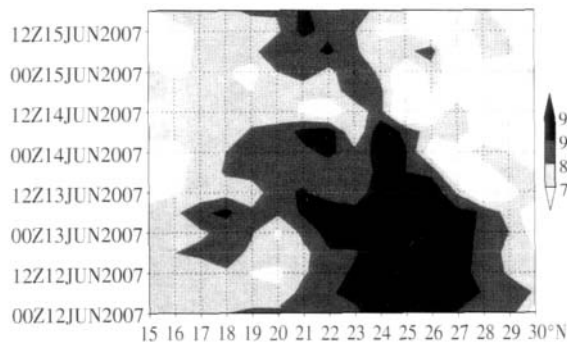


图 9 2007 年 6 月 12 日 00 时至 15 日 12 时 850 hPa 沿 110°E 的相对湿度(单位:%)的时间演变(间隔 6 h)

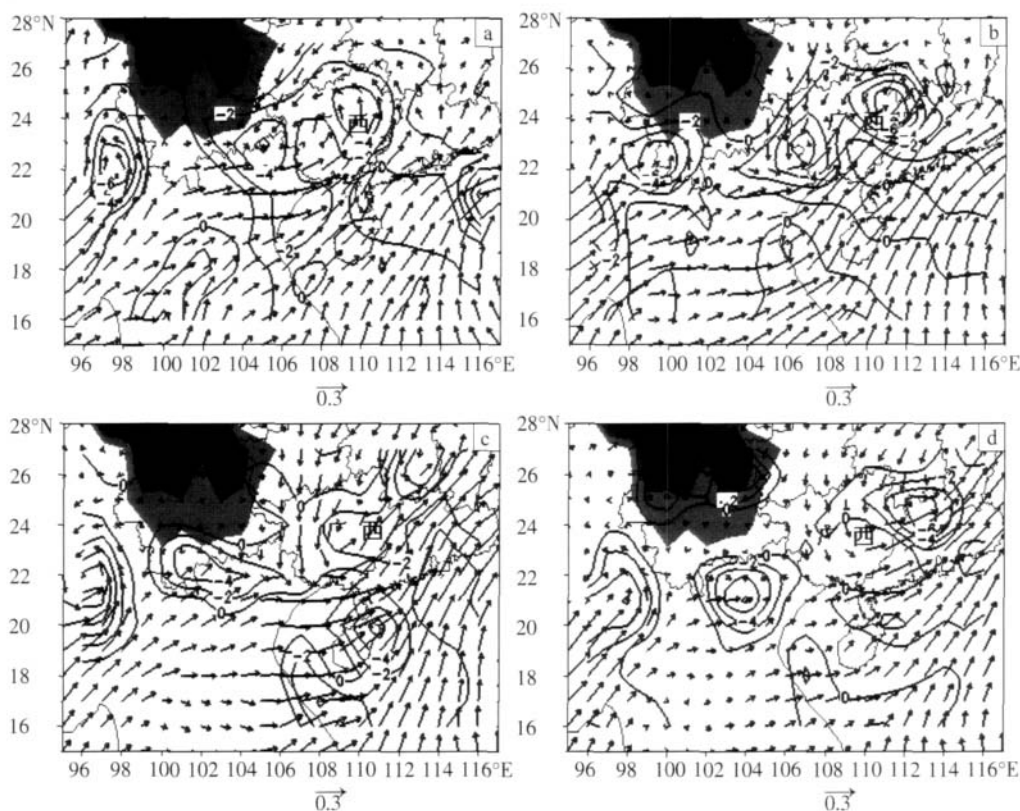


图10 2007年6月12日12时(a)、18时(b)、13日00时(c)、06时(d) 850 hPa水汽通量(由矢量箭头表示,单位:  $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ,各图下方箭头为图中矢量大小的比例尺)及水汽通量散度(单位:  $10^{-7}\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$ ) (阴影区地形高度大于1500 m)

达  $105\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (图1d); 同时又有一股来自广西北部的水汽与来自广西西南部的的水汽汇合,并在广西西南部形成一强度达  $-6\times 10^7\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}$  的水汽辐合中心,对应12 h累积降水量(图1b),在广西西部形成100 mm强降水中心。13日00时(图10c),由于环流形势的演变,来自广西南部的水汽输送又逐渐转为偏西方向,且水汽汇合中心东移,强度有所减弱,柳州地区强降水随之减弱;同时,来自广西北部的水汽输送有所加强,但由于进入广西南部的水汽通量减弱,并转为偏西气流,致使广西西部水汽辐合减弱消失。至13日06时(图10d),广西地区基本为水汽辐散,无水汽汇集,降水随之停止。由此可见,当气流由从西部转为从南部进入广西,即水汽输送主要来自南海时,水汽辐合加强,因此引起此次暴雨的水汽源地主要是南海。

需要强调的是,低层的水汽辐合与低空急流及中尺度气旋扰动关系密切。暴雨初期,随着广西西部高空槽逐渐东移,其西南气流逐渐加强,即低空急流加强;同时,在广西西部有一中尺度气旋产生并逐渐东移,也使西南气流加强,而低空西南气流的加强可促使广西地区水汽输送加强、降水不断加强,又进一步促使中尺度对流发展。暴雨后期,随着中尺度气旋及低空急流东移出广西,进入广西的偏南气流减弱,使广西的水汽输送减少,降水随之减弱。

## 6 结论

2007年6月12—13日在广西柳州市发生了一次特大暴雨过程。通过对此次过程的大尺度环流形势、中尺度气旋结构特征、水汽输送及其演变特征的分析,得出以下结论。

(1)高低层环流配置为此次广西柳州特大暴雨的形成提供了有利的大尺度环流背景。此次暴雨过程与冷暖空气的活动均有密切关系,广西南部暖湿气流的输送为暴雨提供了水汽和不稳定能量,而广西北部冷空气的入侵则有利于气流辐合上升和气柱不稳定能量蓄积。同时,高低空急流的相互作用也是引发这次暴雨的重要因素,低空急流中心左侧的辐合区与高空急流入口区南侧的辐散区的高低空配置,使柳州地区产生了较强的垂直上升运动。

(2)中尺度气旋扰动是造成此次暴雨的直接影响系统,其强度及位置变化直接影响冷暖空气强度及其交汇区域,以及柳州地区不稳定层结结构,且低空南部暖湿气流对此次强降水区不稳定层结的建立起到重要作用。而中尺度对流云团的产生和发展是在有利的环境气流场下中尺度系统演变的直接产物,是引发此次柳州地区暴雨的直接原因。

(3)在中尺度对流系统强烈发展区的低层为强辐

合、正相对涡度, 高层为强辐散、负相对涡度, 强降水区域内有较强的垂直上升运动; 相对湿度较大, 低层存在对流性不稳定层结, 且对流不稳定能量有一个从蓄积到释放的过程。

(4)大气相对湿度在强降水发生时段显著增加, 水汽输送辐合与低空急流和中尺度扰动的运动演变一致, 低空急流在向暴雨区水汽输送方面作用显著, 引起此次暴雨的水汽源地可能主要是南海。

#### 参考文献:

- [1] 周秀骥, 刘品, 王金星, 等. 海峡两岸及邻近地区暴雨试验研究[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 370.
- [2] 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: 220.
- [3] 薛纪善. 1994 年华南夏季特大暴雨研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 185.
- [4] 张丙辰. 长江中下游梅雨锋暴雨的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1990: 269.
- [5] 汪永铭, 苏百兴, 常越. 1998 年试验期间华南暴雨的系统配置和环流特点[J]. 热带气象学报, 2000(2): 123- 130.
- [6] 刘爱鸣. '98.6' 福建连续性暴雨过程环流特征及成因分析[C]// 武汉区域气象中心. 暴雨·灾害. 北京: 气象出版社, 1999(1): 141- 149.
- [7] 陈红, 赵思雄. 第一次全球大气研究计划试验期间华南前汛期暴雨过程及其环流特征的诊断研究[J]. 大气科学, 2000, 24(2): 238- 252.
- [8] 孙建华, 赵思雄. 一次罕见的华南大暴雨过程的诊断与数值模拟研究[J]. 大气科学, 2000, 24: 381- 392.
- [9] 马群飞, 赵思雄. 台湾地区中尺度试验期间梅雨锋及其对多云团的研究[J]. 大气科学, 1993, 17(2): 173- 184.
- [10] 联合国政府气候变化专门委员会(IPCC). 第四次气候评估报告[R]. 巴黎: 2007: 20.
- [11] 丁一汇. 高等天气学[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 171- 188.
- [12] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 25- 64.

## The Cause Analysis of a Strong Heavy Rainfall in Liuzhou, Guangxi Province in June 2007

DONG Hai-ping, DENG Hui, YUE Kun  
(Air Force Meteorological Center, Beijing 100843)

**Abstract:** In this paper, circulation background and mesoscale systems of a heavy rainfall occurred in Liuzhou, Guangxi province have been analyzed by using the conventional data, denser precipitation data,  $1^{\circ} \times 1^{\circ} \times 6$  h data from NECP and hourly satellite data. The results show that the circulation configuration in lower and higher level formed a favorable large scale environment for rainstorm occurring, and the mesoscale convective cloud cluster caused by mesoscale cyclonic disturbance directly influenced the heavy rain. Moreover, the convergence of water vapor transportation closely related with the variation of mesoscale disturbance and lower level jet, which made instability energy for heavy rainfall also. The water vapor source of the heavy rainfall may be mainly in the South China Sea.

**Key words:** Heavy rainfall; Liuzhou city; Mesoscale system; Water vapor transportation