

2009年7月珠江流域暴雨致洪成因分析

齐丹¹ 赵鲁强²

(1 国家气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081)

摘要: 利用常规和非常规气象、水文资料以及T639模式同化资料, 对2009年7月初发生在珠江流域的暴雨致洪过程进行雨情和水情特征分析。结果表明, 该次流域性洪涝是在有利的大尺度环流背景下, 由南下冷空气和东移南支槽造成的两次暴雨过程产生的, 具备华南汛期暴雨的典型特征。致洪暴雨导致多个水文站点水位起涨快、涨率大, 洪峰流量高, 属历史罕见。同时, 雨带的移向与洪峰演进方向一致, 干支流洪水遭遇, 造成洪峰叠加, 因而形成了珠江流域性大洪水。

关键词: 暴雨致洪, 珠江流域, 流量, 水位

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2012.02.004

The Analysis of Precipitation and Flooding Cause of Formation in the Zhujiang Basin at the Beginning of July in 2009

Qi Dan¹, Zhao Luqiang²

(1 National Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

2 Public Meteorological Service Center of CMA, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract: The generally observed precipitation data and hydrological information and T639 data are employed to analyze the precipitation and flooding features which happened in the Zhujiang Basin at the beginning of July in 2009. The results show that the flood was caused by the twice heavy rainfall made by the southward cold air and the eastward south trough under the advantageous large scale circulation which had the typical features of the heavy rainfall in the pre-flood period in South China. The heavy rainfall caused the water level to rise rapidly, high-up rate, high discharge peak at many hydrological stations, which is rarely seen in history, at the same time, the movements of rain belts were in the same direction as the flood peak evolution, the flood of the main stream and the anabranch were encountered, which resulted in superimposed peaks, thus causing the valley a heavy flood.

Key words: heavy flood, Zhujiang Basin, discharge, water-level

1 引言

珠江流域是一个复合流域, 流域西部为云贵高原, 中东部为桂粤中低山区丘陵和盆地, 东南部为三角洲冲积平原, 北靠乌蒙山脉和南岭、苗岭山脉, 南临南海。流域内水系类型众多, 干支流洪水组合复杂, 主要河系由西江、北江、东江和珠江三角洲诸河四个水系组成。西江是主干流, 自源头至入海口, 依次为南盘江、红水河、黔江、浔江、西江, 沿途接纳北盘江、柳江、郁江、桂江、贺江等支流。由于流域面积广且我国华南暴雨强度通常较大, 洪水具有峰高、量大、历时长特点。同时, 西北高、东南低的地势也使流域上游易受山洪威胁, 中下游的地面高程大都处于江河洪水水位以下, 大洪水径流总量往往超过河道自然排泄能力, 水位频频超警, 另外下游无天然湖泊调蓄, 因而使得人口众多、经济发达的

城镇和广大农田屡受洪水灾害威胁^[1, 2]。20世纪80年代, 以珠江三角洲为轴心的华南经济圈迅速崛起, 创造了世人瞩目的成绩, 流域洪水给人民生命财产和经济建设带来巨大影响, 许多地方承灾能力差, 使得小灾大害的情况突显, 近百年发生的较大洪水灾害就有1915, 1968, 1988, 1996, 1998年的西江洪水和1959年东江大洪水、1982年北江大洪水和2005年6月珠江流域特大洪水等, 暴雨洪涝灾害依然是珠江流域的心腹之患, 珠江流域的防汛抗旱任务越来越艰巨。

2009年7月1—6日, 珠江流域出现当年入汛以来强度最强的持续性大范围暴雨天气过程, 本文对该次致洪暴雨天气过程的大尺度环流形势以及影响系统进行了深入分析, 试图找出本次华南汛期暴雨的成因。同时, 利用水文观测资料, 对洪水特征及其与暴雨的关系进行深入分析。所使用的资料为常规气象、水文观测资料以及国家气象中心业务下发的分辨率为0.28125°的T639模式的3h同化系统资料。T639采用全球三维变分同化分析, 具有较高的模式分辨率, 全球水平分辨率达到30km, 垂直分辨率60层, 模式顶到达0.1hPa。

收稿日期: 2011年5月31日; 修回日期: 2012年1月11日

第一作者: 齐丹(1979—), Email: qidan@cma.gov.cn

资助信息: 中国气象局气象新技术推广项目“2009年珠江流域暴雨致洪的雨情水情特征分析”(CMATG2010Y23)

2 雨水情概况

2009年6月29—30日，降水首先出现在柳江流域，此后雨区东移南下，强度增加，较强降雨集中在7月3—4日，主雨带位于广西北部的都安—罗城—融安—资源一带，南部防城港、合浦等地也出现了比较集中的强降水。从7月1日20时—6日20时过程累计雨量来看（图1），广西有29个县（区）的108个乡镇雨量超过250mm，有92个县（区）的539个乡镇雨量达到100~249.9mm，最大雨量出现在融安县泗维乡泗维河水库（716.1mm），24小时的累计雨量达525.4mm，超过广西国家气象观测台站有观测资料以来日降雨量历史极值。暴雨导致广西西江主要支流融江、柳江、桂江等水位超警，干流水位全线上涨，罗城县卡马水库库区受强降雨影响，水位急剧上涨，导致水库水压增大，出现山体塌方，7月5日实施爆破泄洪。受持续强降雨影响，7月1日六漫河等柳江小支流发生超警洪水，但幅度不大；7月2日柳江干支流水位快速上涨；3日，随着降水范围的扩大，广西桂江、柳江干流及支流均发生超警洪水，伴随着降水中心的加强；4日08时，柳江柳州水文站出现超警戒水位，柳江支流东小江、小环江水位超历史极值；5日02时，柳江柳州站发生1996年以来最大洪水，超警戒水位7.14m，重现期为20年一遇，16时，柳江、桂江洪水全线回落，柳江干流洪峰向西江推进，受其影响，西江水位全面上涨，梧州站5日08时出现今年第一号洪峰（超过警戒水位18m）；6日20时，洪峰水位位于大湟江口，维持时间较长；7日08时，西江干流洪峰已通过大湟口，西江干流宣武至德庆江段水位仍超警0.72~3.77m；至7月7日14时，随着梧州水文站第一号洪峰的出峰，珠江流域水位全面回落。

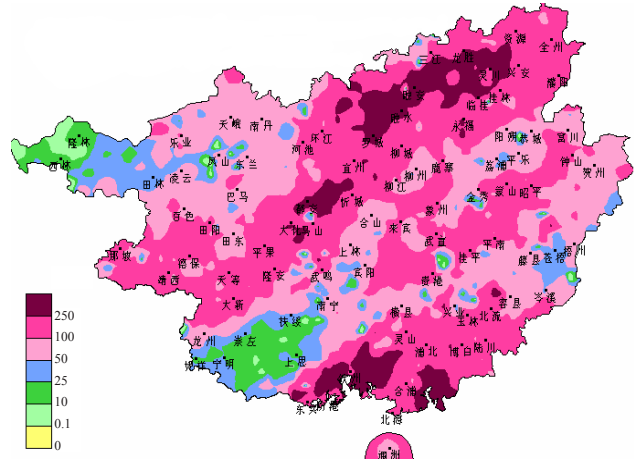


图1 广西过程降水累计（2009年7月1日20时—6日20时）
（单位：mm）

3 环流和影响系统分析

3.1 高空环流形势分析

本次过程发生在大气环流调整期，具体表现为北半球极涡由准单极型分裂为准偶极型，并分别向东亚和北美伸展，西北太平洋副热带高压东退，亚洲中东部中高纬地区呈两槽一脊模态，但径向度明显加大，南支槽同时发生替代过程（见图2、图3）。

2009年从7月1日08时—6日08时200hPa环流形式逐日演变来看（图略），南亚高压主体位于西藏南部上空，脊线稳定维持在25°N附近，且南亚高压主体不断向东发展并得到加强，高压内部存在两个反气旋环流中心，而珠江流域恰好位于南亚高压主体的东南侧边缘反气旋曲率最大处的右下方，同时，华南北部上空存在一支强劲的东北—西南向急流，高空辐散对对流层中低层有明显的抽吸作用，因而对暴雨的产生极为有利。

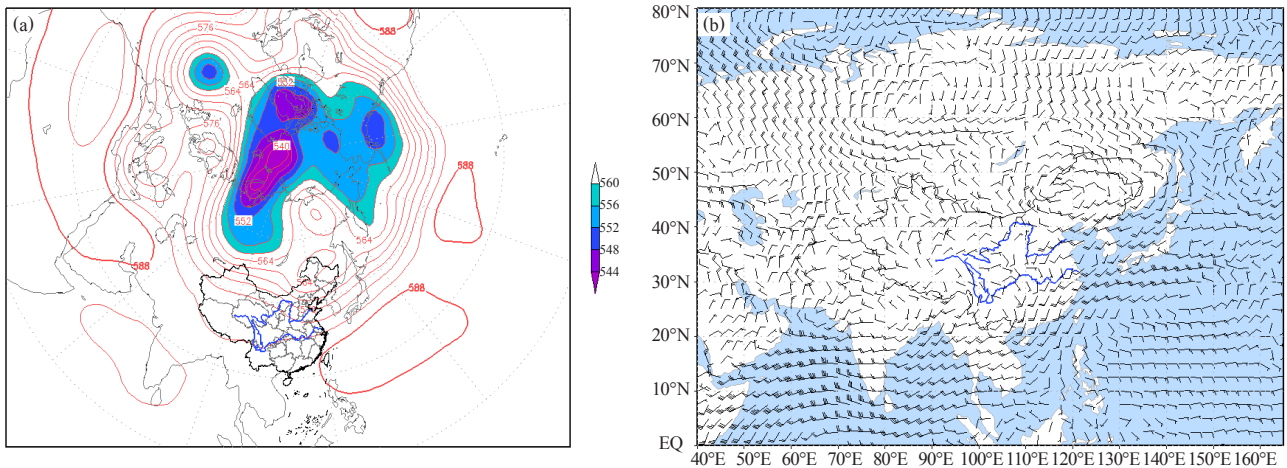


图2 2009年6月25—30日500hPa平均高度场（单位：dagpm）（a）和850hPa平均风场（单位：m/s）（b）

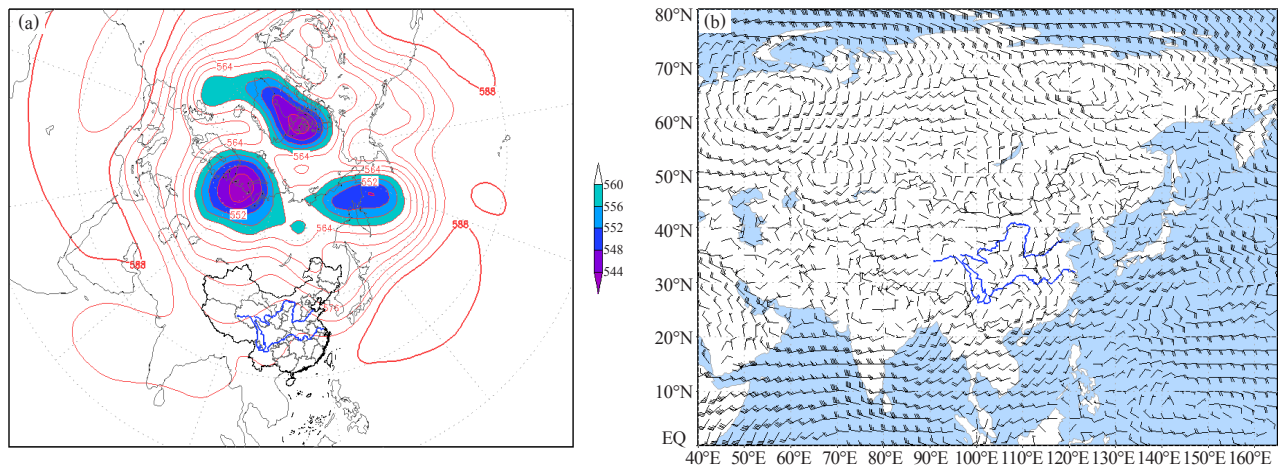


图3 2009年7月1—6日500hPa平均高度场 (单位: dagpm) (a) 和850hPa平均风场 (单位: m/s) (b)

500hPa环流维持“两槽一脊”的形式(图3a),在河套地区到贝加尔湖附近是一高压脊,东北地区有一冷涡,其南面是东亚大槽,极涡南掉至巴尔喀什湖附近,其南侧西风槽宽广深厚,高空冷槽前伸至青藏高原。南支槽在替换过程中原来槽分裂东移,槽前有正涡度平流。7月1日20时前,西太平洋副高脊线稳定维持在20°N附近,高压主体北部稳定控制在我国华南南部。流域处于副高西侧和北侧气流控制中。2日08时起,副高主体出现明显东退,这种环流背景有利于南支槽以及西风带短波槽、低涡、切变线等低值系统的生成以及东移,也有利于孟加拉湾和中南半岛的水汽输送至广西地区。2日20时,四川盆地东部有新的西南涡生成并移出。3日08时—5日08时,西南涡与南支槽分裂东移的小槽系统合并,在贵州东南部和广西北部形成较宽广的低槽区,槽线压在广西境内西部,广西中东部始终受到槽前西南气流辐合区控制,具备上升运动条件。随后,低值系统不断南移,导致雨带不断南压。6日低涡移出广西境内并减弱,副高西进,重新控制华南大部地区,强降雨结束。

3.2 中低空及地面形式分析

2009年7月1日起,700和850hPa(图略)上均有低层切变线系统生成,850hPa上切变线南侧均存在一支强盛的(16~18m/s)西南低空急流,将孟加拉湾的水汽源源不断地输送到华南地区。7月2—3日,低层出现闭合的低涡系统,切变线呈现西南—东北走向,位于江南南部地区并不断南移,3日08时,切变线位于广西上空,并呈现准东西向,20时,切变不断下摆,同时发生顺时针旋转,呈现西南—东北走向,广西北部再次受到西南暖湿气流的控制,且存在一支较强盛的低空急流达18m/s左右,暴雨区位于在低涡中心东南侧的暖区之内。4—5日,切变线稳定

少动,略有南压,广西中南部仍有12~18m/s的西南低空急流维持,广西东南部出现较大的风速切变。20时,低涡系统南掉,广西大部受到低涡倒槽的控制。

7月2日08时,地面弱静止锋位于广西北部(图略),7月3日08时,静止锋位于24°—25°N,同时在广西西北部出现了一个1000hPa的低压环流,静止锋及低压环流的共同作用造成了广西北部大范围的暴雨,东南的附近也有一个1001hPa的低压环流,造成东南部地区的暴雨。7月4日,静止锋南压了两个纬距,百色、崇左一带出现999hPa的低压环流,北部的降水带也随之南压,广西南部出现暴雨。

流域西部的独特的弧形山脉使来自偏北的冷空气较易深入河谷南下,与暖湿的偏南气流交汇,易产生较强的降水,同样,北高南低的地势及东北—西南走向的山脉,也常使副热带高压南部的偏东暖湿气流受到抬升,产生局部暴雨。该次珠江流域连续性暴雨呈现出两次不同的影响主体,首先是南下的冷空气,其次是分裂东移的南支槽,这两次过程是在有利的大尺度环流背景条件下,高低空急流、西南涡、低层切变线、地面静止锋等多种天气系统相互作用形成的,该次过程符合典型的华南暴雨天气模型^[3-6]并与流域特殊的地形配合。

4 物理量场特征分析

充分的水汽条件,强烈的上升运动和大气层结不稳定以及大尺度天气系统的相对稳定是连续性暴雨过程的必要条件^[3-9],下面对这次强降雨过程的物理量特征进行深入的分析。

4.1 水汽条件

水汽通量散度不仅能够反映水汽的来源,也能反映水汽辐合的区域,预示降水可能的落区。从水汽通量散度分布图来看(图4),中低层均存在一条明显

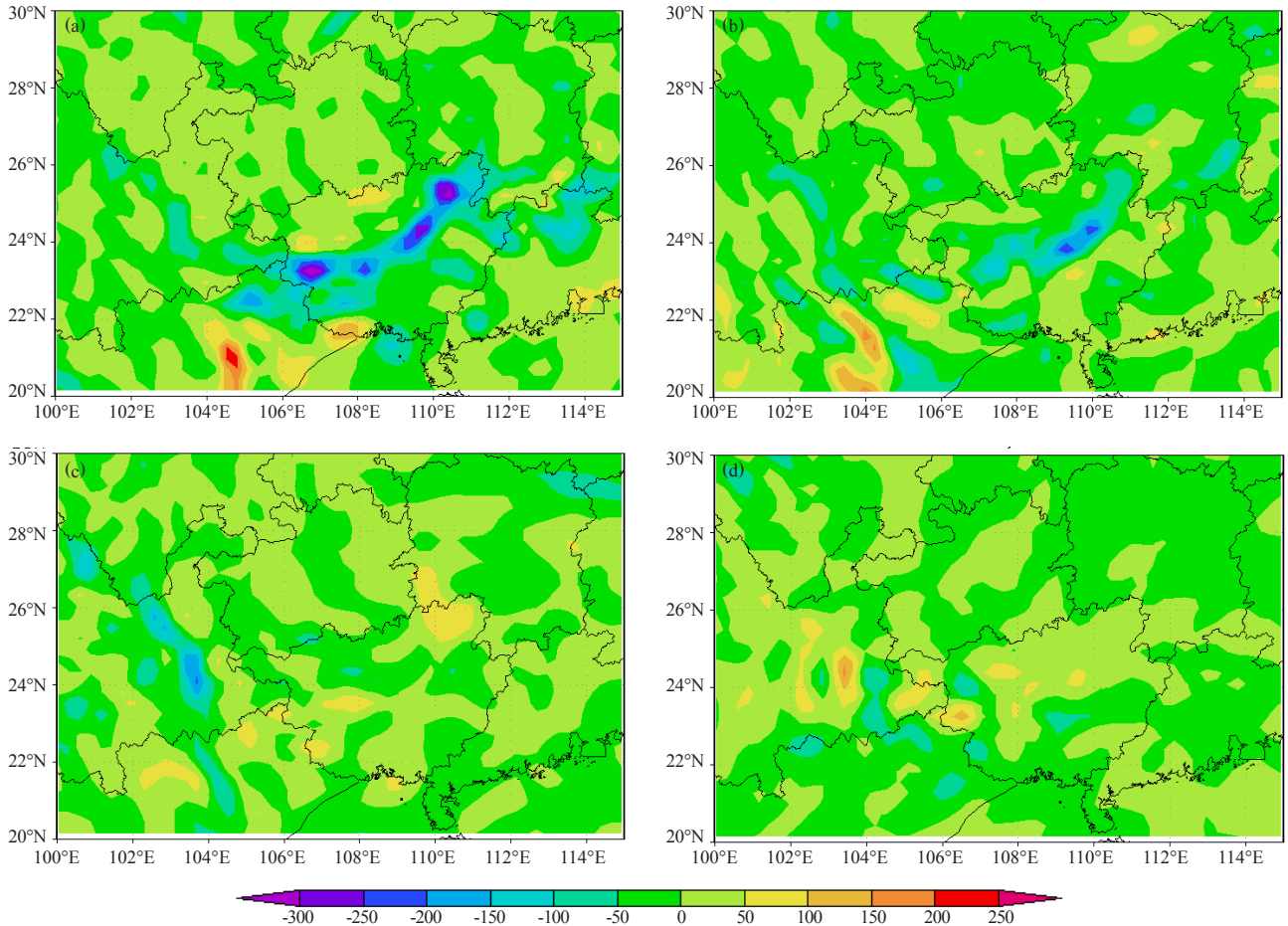


图4 2009年7月3日20时水汽通量散度分布 (单位: $10^{-7}g \cdot s^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2}$)
(a) 925hPa; (b) 850hPa; (c) 700hPa; (d) 500hPa

的西南—东北向的水汽辐合大值带, 表明强降水的水汽来源以及水汽的辐合条件均存在, 但是高层水汽通量散度的辐合大值区逐渐缩小并逐渐南压, 与降水带走向一致, 这表明高层水汽条件的变化先于低层表现出来, 这对预报具有一定的指示意义。

为了明确水汽通量辐合大值的轴线, 分别沿主雨带

做水汽通量散度沿24°N和110°E的剖面图(图5), 发现在强降水时段, 沿110°E的准南北方向存在一支较强的水汽通量辐合区, 可见主要的水汽是来自西南低空急流携带的孟加拉湾以及北部湾的水汽输送到华南上空, 是这次降水的主要的水汽来源。

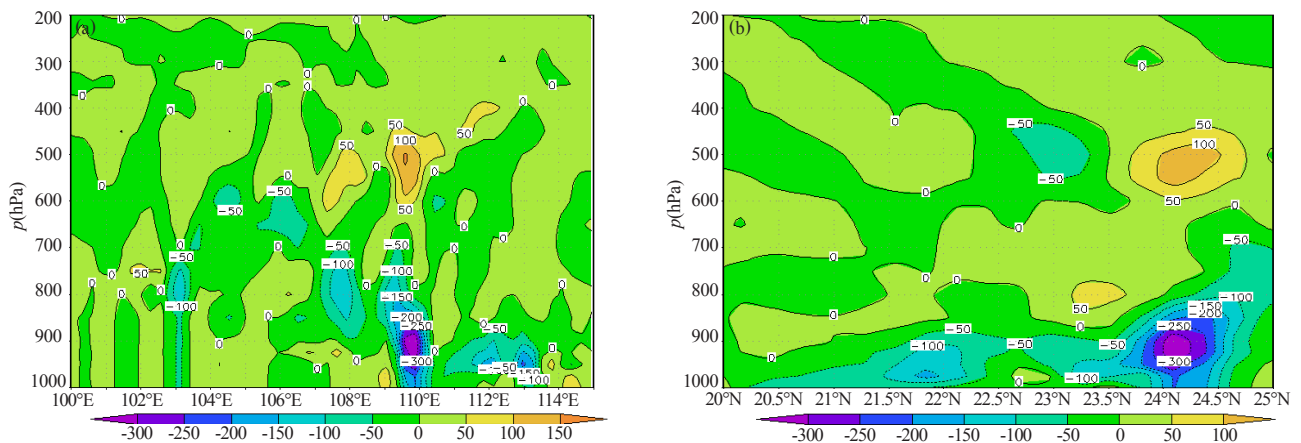


图5 2009年7月4日08时水汽通量散度沿24°N (a) 和110°E (b) 的剖面图 (单位: $10^{-7}g \cdot s^{-1} \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2}$)

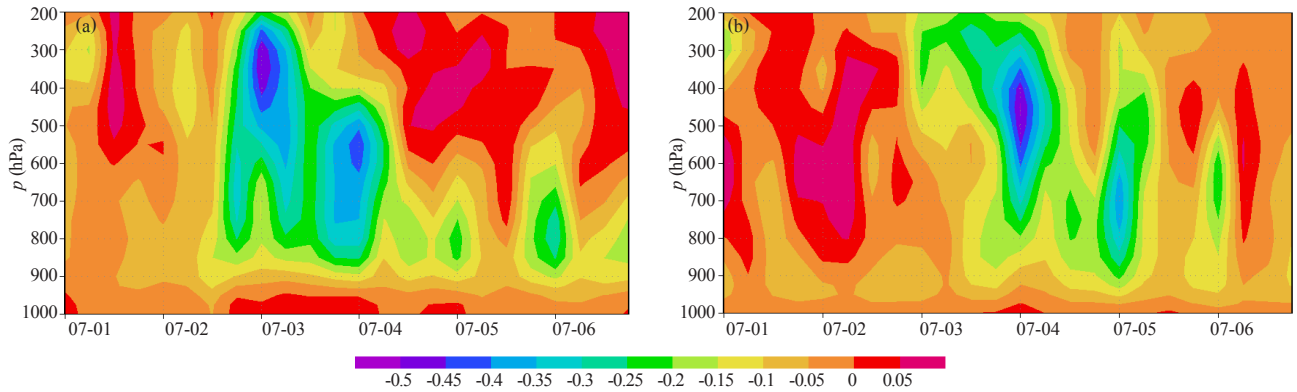


图6 2009年7月1—6日平均垂直速度随时间演变 (单位: Pa/s)
(a) 23°—25°N, 105°—110°E; (b) 20°—23°N, 105°—110°E

4.2 动力条件

对广西北部 (23°—25°N) 强降水区内的平均垂直速度发现 (图6a), 上升运动集中出现在2009年7月2日后半段至4日, 且强上升运动区一直伸展到200hPa高空, 4日后的广西北部的上升运动较弱, 主要的垂直上升运动南移到20°—23°N区域 (图6b), 这与雨带的走势也十分吻合。

高层的辐散形式与低层辐合场相配置的垂直结构是暴雨发生的极为有利的条件之一。从涡度场与风场的配置来看 (图7), 低层925hPa自2日20时开始出现十分强的西南低空急流, 急流核达到18m/s左右, 一直维持至4日20时; 5日后, 925hPa辐合带出现逆时针旋转, 呈现准南北向, 这与850hPa分析的切变线的转向一致, 急流的北侧与低空切变线南侧之间的区域与雨带位置对应得很好。这符合华南前汛期暖区暴雨的特征。另外发现, 自低层至高层都

是强盛的辐合区, 直到100hPa才转为辐散区, 这说明高空的抽吸作用十分强盛, 能够激发垂直上升运动的发展, 形成暴雨。

4.3 不稳定条件

通过假相当位温的分析发现 (图8), 从925hPa一支延伸到500hPa均存在一个高温高湿区, 位势不稳定一直伸展到了5000m以上的高度, 且越到高层, 不稳定能量越大, 这说明从低层到高层, 气温由低到高, 空气由干到湿, 是一个深厚系统。另外, 从风矢来看, 低层的高能来自孟加拉湾的水汽, 北部湾的西南急流也不断向广西北部输送水汽和不稳定能量, 高层的高能来自青藏高原的南麓, 一直输送到广西北部上空, 使高温和高湿区在广西上空积聚, 而暴雨区落区正好位于高空高能舌附近, 不稳定能量的积蓄为这次暴雨的发生准备了良好的条件。

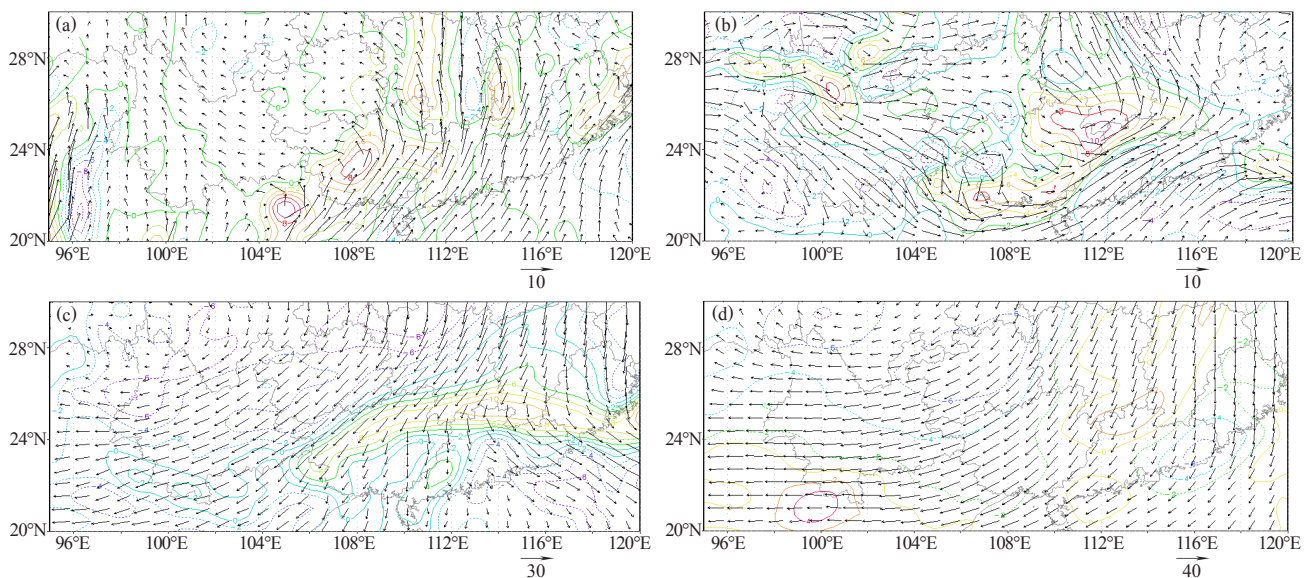


图7 2009年7月3日20时涡度场 (单位: 10^{-6} m/s) 与风场 (单位: m/s)
(a) 925hPa; (b) 500hPa; (c) 200hPa; (d) 100hPa

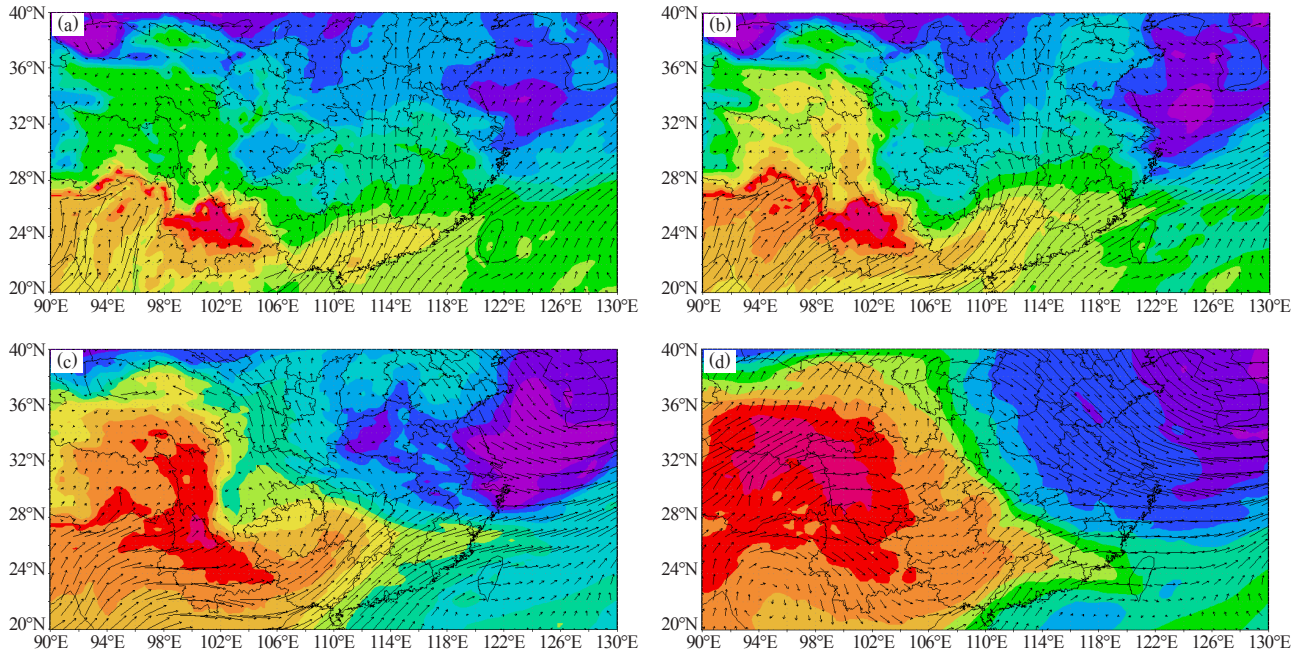


图8 2009年7月3—4日假相当位温平均场 (单位: K) (a) 925hPa; (b) 850hPa; (c) 700hPa; (d) 500hPa

4.4 中尺度云图资料分析

从2009年7月3日云图的演变来看, 多个中尺度降水云团在7月3日的14个小时内经历了发展、成熟、演变以及消亡的全过程。03时, 桂西北上空出现了四个明显的中尺度云团, 云团B和云团C处于发展旺盛阶段, 因而造成融水、融安逐小时雨量30mm的强降水(图9、图10); 到了06时, B、C云团进一步合

并, 呈带状, 同时, 在沿海新生成一个带状云系E向北部移动, 桂中的都安开始出现30mm的强降水, 维持2h左右; 到了10时, 带状云团E继续北上与B、C合并, 合并后的中尺度云团从桂西北逐渐向东南呈带状移动, 桂东南以及桂南开始出现强降水, 贵县降水迅速增加, 达到每小时22mm, 融安、融水、都安的降水逐渐趋于减弱。

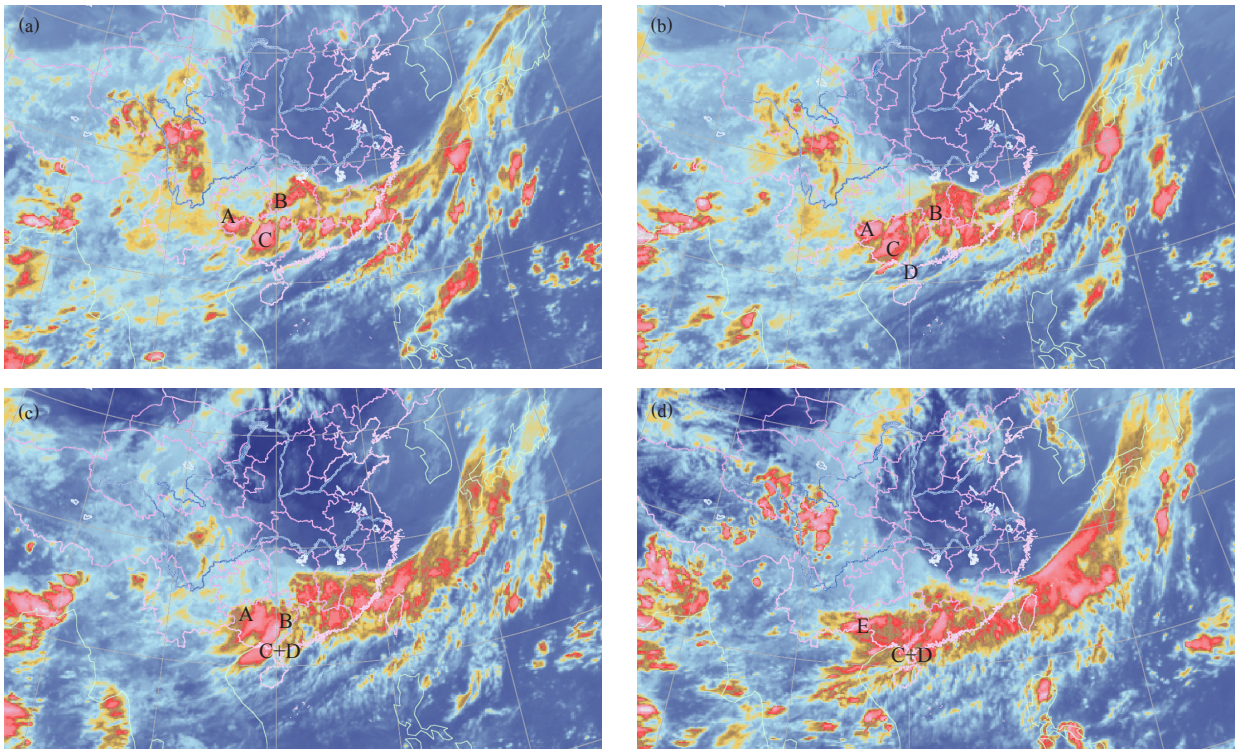


图9 2009年7月3日云图演变 (a) 03时; (b) 06时; (c) 10时; (d) 17时

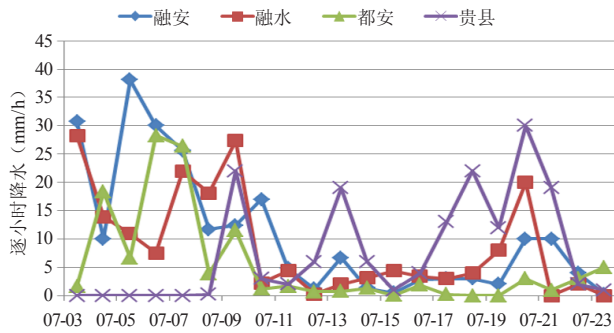


图10 融安、融水、都安、贵县站逐小时降水 (mm/h)

5 洪水过程分析

这次暴雨致洪的洪水情势主要呈现以下几个主要特征。

5.1 暴雨走向有利于造峰

该次洪水过程由于暴雨中心首先位于柳江、桂江流域及其以北地区，后扩大并逐渐向广西东南、南部移动，于洪水汇流方向一致，有利于造峰。

5.2 水位起涨快、涨率大

柳州水文站从2009年7月2日起涨，4日超警戒水位，至5日的3d内水位陡涨10.77m，这样快的上涨速度为柳州水文站历次洪水罕见。此后，广西北部的强降水减弱，水位迅速回落。受上游支流来水以及雨带南掉的影响，梧州水文站7月3日开始起涨，至4日08时1d内涨幅2.2m，3—7日的5d内涨幅9.43m（表1）。

表1 流域内主要水文站逐日水位 (m)

水文站	6月30日	7月1日	7月2日	7月3日	7月4日	7月5日	7月6日
桂林水文站	142.96	142.99	143.16	145.73	147.07	145.09	144.00
柳州水文站	78.33	78.33	78.48	80.09	87.03	89.25	83.20
江口水文站	24.39	24.75	25.20	27.01	28.64	31.80	34.48
南宁水文站	63.86	63.51	63.31	63.31	63.39	65.11	68.82
梧州水文站	10.16	10.26	10.60	12.34	14.54	18.12	20.54
石角水文站	5.06	4.93	4.77	4.36	6.83	7.51	6.83
高要水文站	2.08	1.89	1.89	2.08	3.27	5.49	7.36
天河水文站	1.71	1.70	1.70	1.78	2.01	2.69	3.54
博罗水文站	1.29	0.91	0.48	0.38	0.31	0.65	1.08

5.3 下游流域干支流洪水遭遇，支流水位被迫抬升

位于北江流域的石角和东江流域的博罗水文站过程降水量不大，因而流量不大，但是逐日水位差较大，造成这种现象的主要原因是支流洪水汇入干流时遇到干流洪峰通过，支流洪水不能及时汇入干流，因而在支流内滞留，形成高水位。而在洪峰通过干流后，支流洪水迅速通过，水位急速下降。

6 小结

该次持续性暴雨到特大暴雨过程是在副热带高压、南亚高压、高空槽等大尺度天气系统有利配置的环境下，低层低涡、切变线、静止锋、西南暖

低压等天气尺度及中小尺度系统得到发展及各尺度天气系统相互作用下产生的。一方面大系统孕育了天气和中小系统的发生、发展和壮大，反过来又对大系统起作用，使整个暴雨系统能长时间的维持和加强，从而造就了持续性致洪暴雨天气过程。从天气系统的相互配置来看，暴雨落区位于高空槽前、南亚高压脊线反气旋曲率最大处、中低层低涡切变与低空急流之间和地面静止锋附近。在暴雨形成的动力与热力机制方面，散度、涡度、垂直速度的配置以及高能量、水汽条件在暴雨期正好形成了相互耦合的正反馈机制，使暴雨对流系统得到了加强和维持。

(1) 副高东撤、中高纬西风带东移加深，天气形势径向加大，有利于北方冷空气南下至两广地域，有利于南支槽以及西风带短波槽、低涡、切变线等低值系统的生成以及东移，也有利于孟加拉湾和中南半岛的水汽输送至广西地区，引发了较强的暴雨过程。

(2) 700和850hPa切变线在广西维持，且存在强盛的低空急流，从孟加拉湾和北部湾一带地区为广西输送大量的水汽和不稳定能量，低空急流轴与切变线之间出现大的辐合带，并伴随着深厚的垂直上升运动，使高层辐散、低层辐合作用更加明显，多尺度天气系统的组合和相互作用造成了该次致洪暴雨过程。

(3) 广西北部静止锋弱，但地面闭合低压环流使低层辐合明显，对降雨的增幅有明显的作用，低压环流附近均出现强降雨带。

(4) 降雨趋势与洪峰的演进方向一致，有利于造峰，是导致流域内水文测站由上向下洪水量级逐渐增大的主要原因。

参考文献

- [1] 吴伟强, 余有贵, 潘维文. 珠江“05·6”洪水水情和雨情分析. 人民珠江, 2005, 5: 11-15.
- [2] 余有贵, 吴伟强. 西江流域“2005·06”特大暴雨洪水分析. 水文, 2006, 26(2): 87-90.
- [3] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理及方法. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 陶诗言. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 1980.
- [5] 《华南前汛期暴雨》编写组. 华南前汛期暴雨. 广州: 广东科技出版社, 1986.
- [6] 包澄澜. 华南前汛期暴雨研究的进展. 海洋学报, 1986, 8(1): 312-40.
- [7] 叶萌, 张东, 何夏江. “05·6”广东致洪暴雨过程的预报着眼点. 广东气象, 2006(1): 35-38.
- [8] 梁必骥. “94·6”珠江流域特大暴雨洪涝特征分析. 中国减灾, 1997, 7(4): 21-24.
- [9] 谢志强, 姚章民, 李继平, 等. 珠江流域“94·6”、“98·6”暴雨洪水特点及其比较分析. 水文, 2002(3): 56-58.