

张羽,牛生杰,于华英,等. 雷州半岛一次特大暴雨的特点及成因[J]. 南京气象学院学报,2009,32(1):108-114.

雷州半岛一次特大暴雨的特点及成因

张羽^{1,2},牛生杰¹,于华英¹,陈倩¹

(1. 南京信息工程大学 中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室,江苏 南京 210044;

2. 湛江市气象局,广东 湛江 524000)

摘要:2007 年 8 月 8—11 日雷州半岛西南部出现了一次特大暴雨,日雨量和时雨量均超出当地历史观测资料的极大值。对本次暴雨过程雨量、日雨量和时雨量进行了特征分析,讨论了热带气旋“帕布”和“蝴蝶”的路径、天气形势、卫星云图和雷达回波的演变与特大暴雨的关系。结果表明:此次特大暴雨具有降水强度大、持续时间长、雨量大、地段集中的特点。前期受“帕布”环流和外围云系影响,雷州半岛普降大到暴雨;后期由于“帕布”路径转向,大气环流调整,受“帕布”环流和外围云系、北部湾低涡云团共同作用,强降水中心长时间维持和摆动。天气形势有利于大量的水汽和能量汇合,南北降水云系、回波相汇雷州半岛西南部,致使出现特大暴雨。

关键词:特大暴雨;时雨量;雨量;成因分析

中图分类号:P458.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-2022(2009)01-0108-07

Characteristics and Causes of a Severe Rainstorm in Leizhou Peninsula

ZHANG Yu^{1,2}, NIU Sheng-jie¹, YU Hua-ying¹, CHEN Qian¹

(1. Key Laboratory for Atmospheric Physics & Environment of China Meteorological Administration, NUIST, Nanjing 210044, China;

2. Zhanjiang Meteorological Bureau, Zhanjiang 524000, China)

Abstract: A severe rainstorm occurred in southwest part of Leizhou Peninsula for the period of August 8 to 11, 2007, with both daily and hourly rainfalls exceeding the maximum of historical observations. This paper analyzes the characteristics of total, daily and hourly rainfall, discussing the relationships of the heavy rain with paths of tropical cyclones “Pabuk” and “Wutip”, weather pattern, variations of satellite cloud images and radar echo, respectively. The results show that this heavy rain is characteristic of high intensity, long duration, large amount and concentrative location. In the early stage, heavy rain occurred in Leizhou Peninsula on account of the effects of the “Pabuk” circulation and its outer region cloud system. In the subsequent stage after the early morning August 10 the track of “Pabuk” turned, the circulation adjusted, and the center of rainstorm sustained and swayed over southwest part of Leizhou Peninsula for a long period of time as a consequence of the interactions of the “Pabuk” circulation, the outer region cloud system and the cold vortex cloud clusters over the Beibu Gulf. Such a weather situation was in favor of the convergence of a huge amount of energy and water vapor, and the southern and northern convective cloud systems and radar echoes meted in southwest part of Leizhou Peninsula, leading to a severe flood disaster.

Key words: sever rainstorm; hourly rain amount; rain amount; cause analysis

0 引言

雷州半岛西南部是重旱区,年雨量一般

1 200 mm 左右,干旱年份仅为 800 mm 左右。2007 年 8 月 8—11 日,该区普降历史罕见特大暴雨,遭遇严重洪涝灾害,导致村庄被淹、农作物受浸、部分道

收稿日期:2007-12-28;改回日期:2008-03-24

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(40537034);广东省科技计划项目(2005B36001063)

作者简介:张羽(1968—),男,广东吴川人,博士生,高级工程师,研究方向为天气预报业务,zy2202604@163.com.

路被毁、桥梁冲垮、水利设施严重受损,共有3个县(市)、31个乡镇86.5万人受灾,直接经济损失达16.2亿元。

研究表明,暴雨是在有利的大尺度环境下,由中小尺度系统直接造成的。气象学家已经利用常规观测资料和数值模拟手段对暴雨过程中的中小尺度系统结构和发生发展的机理做了大量的科学研究^[1-3]。1979年,陈联寿等^[4]对台风特大暴雨成因作了系统概述,认为台风登陆后的维持不消、停滞、源源不断的水汽输送、中低纬环流的相互作用、中尺度系统影响及地形作用等是造成台风特大暴雨的基本成因,提出中尺度系统是暴雨必须具备的条件,中尺度扰动一般对应中尺度雨团,中尺度扰动强的垂直速度对质量、动量和能量的输送往往是造成特大暴雨的关键。关于高低空急流之间及其与暴雨中尺度系统之间的关系,中外学者曾开展过一系列研究。Matsumoto等^[5]认为低空急流是对流将高空急流动量下传的结果。董佩明等^[6]在研究1999年长江中下游地区持续暴雨成因时也发现西风分量有从高层向低层传播的现象。Bei等^[7]、Sun等^[8]和Fang^[9]利用各种常规和非常规观测资料对长江中下游地区暴雨的中尺度特征进行了分析。

近年来,一些学者从不同角度对特大暴雨特点和成因做了细致的分析和研究。Maddox^[10]和Kou等^[11]揭示了中 α 尺度暴雨系统的某些物理量场结构。Zhang等^[12]对梅雨锋上发展的中 α 尺度气旋的暴雨作了探讨。气象学家逐渐认识到暴雨的发生必须具备有利的大尺度环流背景条件^[13-15]。程小慷^[16]研究了1998年夏季(6—8月)天气图及部分资料,对引起1998年夏季长江流域特大洪水的大到暴雨作了初步分析。赵玉春等^[17]通过对2002年7月长江中游一次暴雨中尺度天气系统分析,研究了切变线上并不深厚的中 β 尺度对流系统活动造成强降水的“造雨”机制。孙健等^[18]在分析中发现了中 β 尺度线状强降雨带是该降雨过程中的重要系统。陈忠明等^[19]对1998年7月21日发生在武汉附近地区的突发性特大暴雨过程之激发机制与中尺度环境场特征进行诊断。陈永林等^[20]研究了上海“0185”特大暴雨的中尺度强对流系统活动特征及其环流背景。毛冬艳等^[21]利用地面加密观测资料、贵州自动站雨量资料、FY-2C卫星红外辐射亮度温度资料等,对2006年6月12日夜间贵州南部突发大暴雨过程进行了中尺度分析。公颖等^[22]利用数值试验结果进一步分析了梅雨暴雨中中尺度系统的结构和发

生、发展机理。赵世发等^[23]对陕南的两次暴雨过程进行分析,得到了一些有意义的结论。

2007年8月8—11日雷州半岛西南部出现了历史罕见特大暴雨,本文分析了这次特大暴雨的特点及成因,以便为今后强降水预报提供参考依据。

1 特大暴雨特点

1.1 过程雨量

图1为雷州半岛特大暴雨过程的雨量分布,由图可见,此次降水过程主要呈东北—西南走向。8月8日20时—11日20时(北京时,下同),雷州半岛32个气象自动站,有7个站雨量在200~300 mm之间,7个站雨量在300~400 mm之间,3个站雨量在400~500 mm之间,3个站雨量在500 mm以上,强降水主要集中在雷州半岛西南部,其中强降水中心附近的雷州龙门自动气象站降雨量为798.1 mm,乌石为661.9 mm,唐家为483.4 mm,调风为431.4 mm,徐闻曲界为509.2 mm,和安为420.6 mm。另外,据调查,幸福农场雨量为1174 mm,龙门农场为993 mm。此次暴雨的累积雨量与该地区干旱年份的年雨量相当。

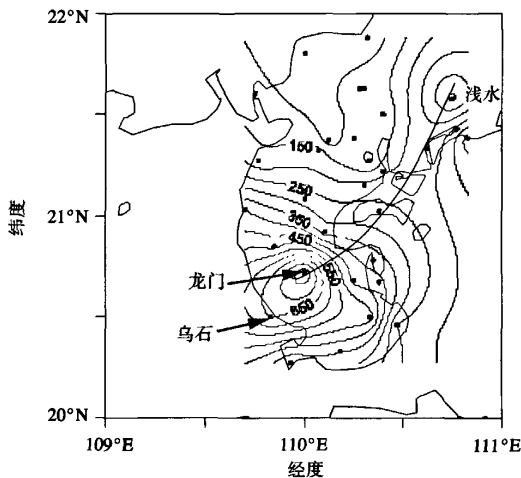


图1 2007年8月8日20时—11日20时雷州半岛自动站记录累积降水量分布(单位:mm)

Fig. 1 The distribution of 24-h accumulative rainfall (mm) from 2000 BST 8 to 2000 BST 11 August 2007

1.2 日雨量分析

表1将此次雷州半岛特大暴雨过程分3个不同时段,进行日雨量分析。8日20时—9日20时,降水中心主要集中在雷州半岛东北部,其中东海岛降雨量为109.9 mm,湛江市市区为60.9 mm,中部客路

为 36.4 mm,南部均为 30 mm 以下降水;9 日 20 时—10 日 20 时和 10 日 20 时—11 日 20 时,降水中心主要集中在雷州市西南部和徐闻县的西北部,龙门雨量分别为 270.2 mm 和 505.1 mm,乌石雨量分别为 142.0 mm 和 482.3 mm,其他大部分地区均低于 250 mm。

此次强降水过程测得最大日雨量是龙门自动气象站 10 日 05 时—11 日 05 时的降水,为 674.9 mm,是雷州半岛历史上有气象记录以来的最大日雨量(最大历史记录值为 300.1 mm),此降水量值是最大历史记录值的 2 倍多,超过雷州半岛 2006 年年平均降雨量的二分之一。

表 1 3 个时段不同站点的日雨量分布

时段	浅水	黄坡	湛江	遂溪	客路	龙门	乌石	苞西	海安
8 日 20 时—9 日 20 时	35.1	38.0	60.9	17.9	36.4	22.5	26.7	23.4	22.2
9 日 20 时—10 日 20 时	241.2	192.2	111.6	104.1	231.7	270.2	142.0	201.2	184.2
10 日 20 时—11 日 20 时	90.1	18.8	3.5	5.2	11.2	505.1	482.3	118.0	100.8

1.3 时雨量分析

分析雷州半岛 8 日 23 时—11 日 16 时的时雨量资料,考虑降水的间歇,将特大暴雨过程分为 6 个降水过程。

第 1 次过程(8 日 23 时—9 日 2 时)为小雨降水过程,从吴川北部开始,从北向南至遂溪县城。第 2 次过程(9 日 5—11 时)比第 1 次降水过程强度加强,从北向南至雷州半岛南部。第 3 次过程(9 日 20 时—10 日 4 时)比第 2 次降水过程强度再次加强,最大时雨量出现在客路镇,海安时雨量呈增长趋势。第 4 次过程(10 日 4—17 时)降水强度较强,从 10 日 4 时明显降水从吴川北部浅水镇开始,由北向南移至雷州市中南部,同时也有明显降水从南部海安开始由南向北移至雷州市中南部,10 日 13 时汇点在客路和龙门镇间。第 5 次过程(10 日 15 时—11 日 6 时)降水强度特别强,在第 4 次过程降水汇合到龙门镇后,10 日 15 时又有明显降水从吴川北部浅水镇开始,从北往南移至雷州市中南部龙门镇附近,

在龙门、乌石镇一带产生强降水。其中龙门 19—22 时 4 h 累计雨量 289.8 mm。第 6 次过程(11 日 9—13 时)降水强度也特别强,在第 5 次过程降水基本结束 2 h 后,在雷州半岛西南端又有新的明显降水出现。降水再次由西南向东北移至雷州市中南部龙门镇附近,又在龙门、乌石镇一带产生强降水,其中乌石 11 日 10 时、11 时 2 h 累计雨量 239 mm,在雷州半岛历史上是罕见的。11 日 13 时以后,雨势明显减弱。

综上,这次特大暴雨具有降水强度大、持续时间长、雨量大、地段集中的特点。

2 特大暴雨成因分析

2.1 强热带风暴“帕布”和热带风暴“蝴蝶”的作用

从强热带风暴“帕布”和热带风暴“蝴蝶”路径(图 2)可见,在特大暴雨出现前,未来强降水区的东北方有 07 号强热带风暴“帕布”和 08 号热带风暴“蝴蝶”生成。“帕布”在高低层流场引导作用及其

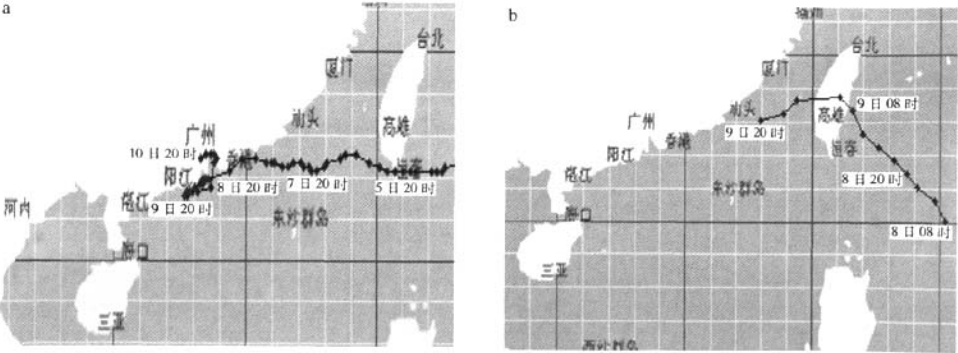


图 2 “帕布”(a)和“蝴蝶”(b)的路径

Fig. 2 The paths of tropical storms (a) Pabuk and (b) Wutip

与“蝴蝶”的双热带气旋的相互吸引作用下,先沿海岸线缓慢西行后折向东北,并长时间在粤西沿海逗留,气旋中心距强降水区最近距离约 300 km。热带风暴“蝴蝶”8 日 8 时生成,穿过台湾进入台湾海峡后,强度迅速减弱。此次雷州半岛特大暴雨“帕布”的贡献最大。

2.2 天气形势分析

由 8 月 10 日 20 时欧洲格点资料实况场分析,在 200 hPa 的风场上,强降雨落区处在南亚高压顺时针风区的东南方;500 hPa 天气图(图 3)上,副热带高压偏东,脊线偏北,在中国东部上空有西风槽东移,热带气旋“帕布”的低值区位于珠江口附近,轴线为东北—西南走向,强降雨区上空风向切变最大,降雨区南部风速较大,为雨区输送大量水汽和能量。

700 hPa 相对湿度(图 4)上,相对湿度呈鞍形场分布,强降雨区上空为鞍点,东北、西南方为相对湿度高值区,达 90% 以上,西北、东南方为低值区,低于 70%;850 hPa(图略)和 700 hPa 形势相近,切变线南侧风速较北侧大,同时西南急流建立,有利于不断向特大暴雨区输送大量动能和水汽,提供了特大暴雨所必须的位势不稳定和动力抬升,对持续暴雨的发生有着相当大的贡献。过程水汽充沛,北海至阳江之间比湿大于 15 g/kg,为雷州半岛强降水提供了有利的水汽条件,相对湿度也呈鞍形场分布;从

9 日 08 时到 10 日 20 时,雷州半岛附近的 K 指数在 35~40 °C 之间($K \geq 30$ °C 为强对流标准值),表明雷州半岛上空不稳定度大,有利于强对流的发生。地面形势上(图略),强降雨区处在热带气旋“帕布”环流的低压槽中,“帕布”环流轴线呈东北—西南走向,同时,地面强降水中心西南方的南风脉动也十分明显,且与强降水发生相对应。低层西南风的脉动,增大了暴雨区的大气不稳定度,使暴雨具备了持续发生的能量条件。

从中尺度地面自动站的风场资料分析,地面中尺度辐合和局地气旋性环流辐合明显,在雷州半岛的中、西部长时间存在一南北向的辐合线,龙门与乌石之间是一气旋性环流,辐合明显,过程大的降水主要出现在辐合线附近,最大值出现在气旋性环流辐合明显的龙门、乌石及附近一带,地面中尺度辐合线及较明显的局地气旋性环流,使暴雨区内的上升运动得以加强和维持,降水持续和增幅,连续性暴雨随之产生。

2.3 卫星云图分析

8 月 8 日的红外卫星云图(图略)显示,强热带风暴“帕布”的云体接近广东东部沿海,由于受东南方热带风暴“蝴蝶”的作用,“帕布”的主云体有减弱趋势,但在其西侧生成强盛的螺旋对流云带,不断快速西移,给雷州半岛带来受“帕布”外围影响的第一

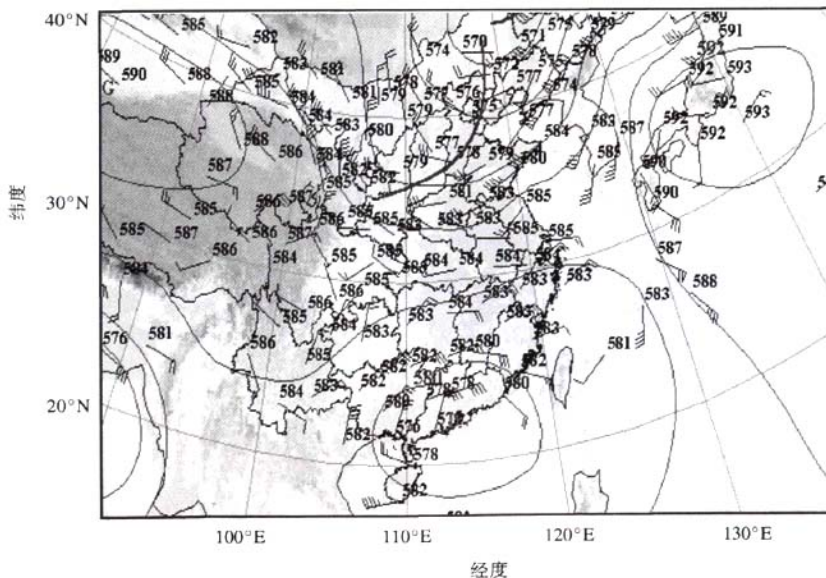


图3 8月10日20时500 hPa天气图

Fig. 3 500 hPa weather chart at 2000 BST 10 August 2007

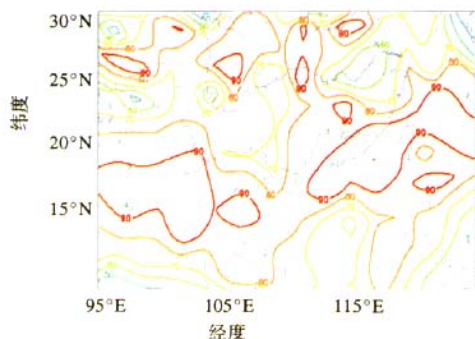


图 4 8 月 10 日 20 时 700 hPa 相对湿度欧洲格点实况

Fig. 4 700 hPa relative humidity from the European grid data at 2000 BST 10 August 2007

个对流云带。9 日 05 时(图 5a),螺旋对流云带移入广西和北部湾后,在珠江口西侧沿海的“帕布”主云体在其西部再生成第二云团,沿着海岸线西移。在 9 日中午前后云团从东北往西南移入雷州半岛。9 日夜间至 10 日下午,雷州半岛上空不断有新的“帕布”外围云系产生,移动路径是东北至西南。10 日早上在北部湾开始生成低涡云团,云团不断加强、扩大,随着南海的热带辐合带北抬而向东北方向移动。10 日夜开始,低涡云团逐步覆盖雷州半岛西南部,并长时间维持,直到 11 日 11 时。图 5b 为 11 日 10 时的红外卫星云图。11 日 12 时,低涡云团减弱,向西南方移出雷州半岛。另外,水汽云图上(图略),在南海热带辐合带云系南侧有条明显的东北—西南走向的水汽输送带。

2.4 雷达回波分析

利用湛江气象局 714SD 雷达强度 PPI 实时观测产品分析可知:8 日 22:35 天线仰角为 2°的雷达回波图上(图 6a),在雷州半岛东北方的茂名市有一

条西北—东南走向的回波带向西南方向移动,回波带宽 60 km,前沿强度较强,移动速度快,在移动过程中明显减弱。9 日 02:17 移到遂溪,强回波基本减弱消失。

9 日 05:30,又有新的回波从东北方移入雷州半岛,回波分散,有较强的回波块分布在雷州半岛的东北部。08:01 时,西北—东南走向的回波带位于雷州半岛中部,带宽约 50 km。09:16,西北—东南走向的回波带移到雷州半岛西南部。东北方向又有新的回波移入雷州半岛。11:52 雷州半岛西南部回波已移出陆地,只在东北部还维持大片回波。15:00—18:00,回波带主要位于雷州半岛中部。

9 日 19:16 开始(图 6b),在雷州半岛上逐渐开始形成东北—西南走向的回波带,带宽超过 60 km,强回波从东北往西南移。同时,雷州半岛西南部海面已有大片强回波。10 日 04:00,东北端又有新的强回波,东北—西南走向的回波带再次加强,两端强,中间弱。09:24,东北段减弱消失。13:43 回波仍主要位于雷州半岛中南部。

10 日 15:53(图 6c),在雷州半岛东北部有一条西北—东南走向的强回波带向西南方向移动,回波带宽 30 km 左右,强度很强,强中心位于带中轴线附近。19:20,回波带移至雷州半岛中南部,强中心位于雷州市的西南部。至 11 日 03:40,强中心基本在雷州市的西南部附近摆动。04:05,强中心向西南移动。07:00—08:00,强中心逐渐减弱,大部分强回波已在北部湾海面上。09:00 起,雷州市西南部回波再次加强,强中心位于乌石镇附近,并向东北移动。11:01 回波强中心位于雷州市西南部乌石和龙门镇附近,同时在雷州半岛中部也有一条东—西走向南移的 10 km 左右宽的强回波带。11:54 南移的

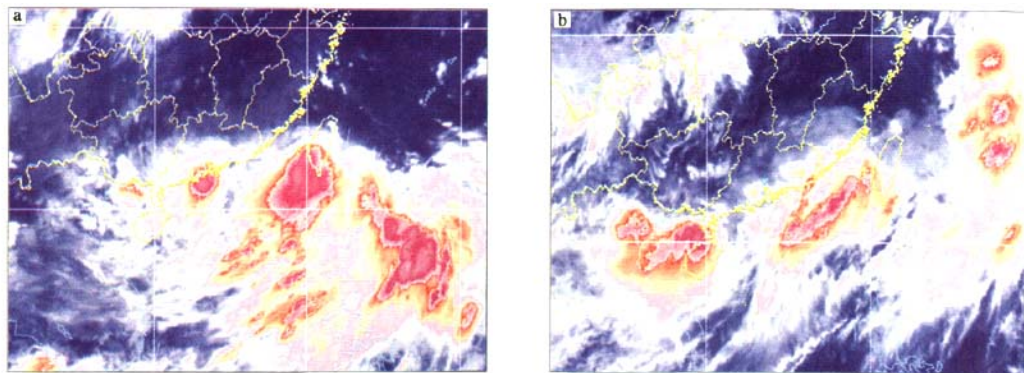


图 5 9 日 05 时(a)和 11 日 10 时(b)FY-2C 卫星红外云图

Fig. 5 FY-2C satellite IR images at (a)0500 BST 9 and (b)1000 BST 11 August 2007

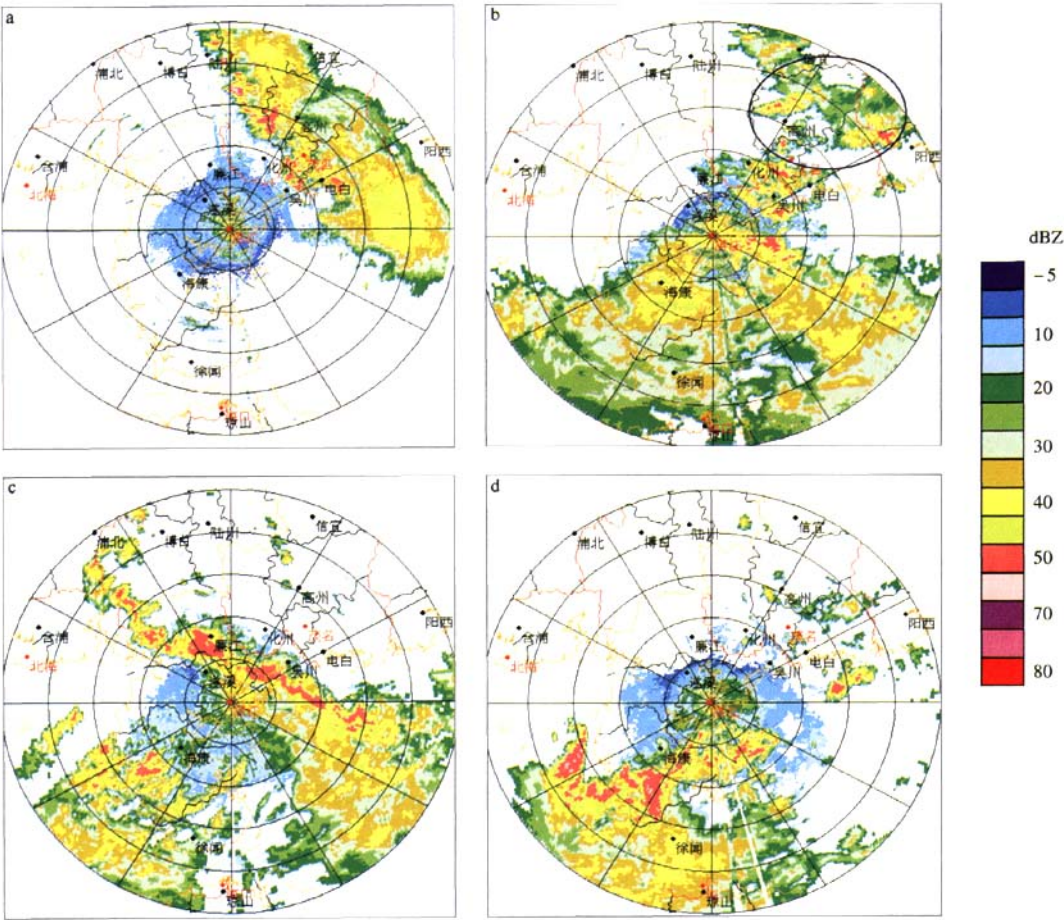


图 6 湛江 714SD 雷达回波

a. 8 日 22:35; b. 9 日 19:16; c. 10 日 15:53; d. 11 日 11:54

Fig. 6 PPI echoes by 714SD at Zhanjiang station

a. 2235 BST 8 August 2007 on elevation 2°; b. 1916 BST 9 August 2007 on elevation 2°;
c. 1553 BST 10 August 2007 on elevation 2°; d. 1154 BST 11 August 2007 on elevation 2°

强回波带和雷州市西南部强回波汇合,汇合后强中心一直维持在雷州市西南部及附近(图 6d)。14:00 后,雷州半岛上的回波逐渐减弱。

综上所述,特大暴雨过程基本分为前后 2 个阶段:10 日凌晨前为第 1 阶段,07 号热带气旋“帕布”以偏西移为主,逐渐靠近雷州半岛,受其环流和外围云系影响,给雷州半岛带来 3 个较为明显的降水过程,雨量为大到暴雨;10 日凌晨后为第 2 阶段,07 号热带气旋“帕布”原地摆动,之后向偏东北方向移动,逐渐远离雷州半岛。台风槽东北抬,南海热带辐合带也随着北抬到雷州半岛南部,同时在北部湾辐合带中产生的低涡云团也覆盖在雷州半岛西南部。由于受“帕布”环流和外围云系、南海热带辐合带、

低涡云团共同作用,高空的中、低层南、北方,特别是南海热带辐合带南侧为辐合点提供大量的水汽和能量,并且辐合点长时间在雷州半岛西南部维持和摆动,南北降水云系、回波相汇,引发长时间、落区集中的强降水。由于两个阶段的持续间歇性强降水,特别是第二阶段的大量降水,致使雷州半岛出现严重洪灾。

3 结论

(1)本次特大暴雨具有降水强度大、持续时间长、雨量大、地段集中的特点。10 日 4 时前,降水中心是从东北往西南移;10 日 4 时—11 日 6 时,强降水中心分别从西南、东北两个方向汇合到龙门镇附

近;11日9—13时,强降水中心再次由西南向东北移至乌石、龙门镇一带。

(2)结合天气形势、卫星云图和雷达回波分析可知,10日凌晨前,“帕布”以偏西移为主,其环流和外围云系给雷州半岛带来大到暴雨;10日凌晨后,“帕布”原地摆动后向偏东北方向移动,受“帕布”环流和外围云系、南海热带辐合带、北部湾低涡云团共同作用,强降水中心长时间在雷州半岛西南部及附近地区维持,致使当地出现罕见的强降水。

参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 斯公望. 暴雨和强对流环流系统[M]. 北京: 气象出版社, 1990.
- [3] 黄士松. 华南前汛期暴雨[M]. 广州: 广东科技出版社, 1986.
- [4] 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
- [5] Matsumoto S, Ninomiya K, Yoshizumi S. Characteristic features of “Baiu” front associated with heavy rainfall [J]. J Meteor Soc Japan, 1971, 49(4): 267-281.
- [6] 董佩明, 赵思雄. 引发梅雨锋暴雨的频发型中尺度低压(扰动)的诊断研究[J]. 大气科学, 2004, 28(6): 876-891.
- [7] Bei Naifang, Zhao Sixiong, Gao Shouting. Numerical simulation of a heavy rainfall event in China during July 1998 [J]. Meteor Atmos Phys, 2002, 80(1/4): 153-164.
- [8] Sun Jianhua, Zhang Xiaoling, Qi Linlin, et al. An analysis of a meso- β system in a Meiyu front using the intensive observation data during CHeRES 2002 [J]. Adv Atmos Sci, 2005, 22(2): 278-289.
- [9] Fang Zongyi. The preliminary study of medium-scale cloud clusters over the Changjiang basin in summer [J]. Adv Atmos Sci, 1985, 2(3): 334-340.
- [10] Maddox R A. Mesoscale convective complexes [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1980, 61(11): 1374-1387.
- [11] Kou Y H, Cheng Linsheng, Richard A A. Mesoscale analyses of Sichuan flood catastrophe 11—15 July 1981 [J]. Mon Wea Rev, 1986, 114(11): 1984-2003.
- [12] Zhang Feng, Zhao Sixiong. Study on one kind of cyclone on Meiyu (Baiu) front [C]//International conference on mesoscale convective systems and heavy rainfall/snowfall in East Asia. Tokyo, 2002: 117-122.
- [13] 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[J]. 气象科学, 2006, 26(5): 449-455.
- [14] 商兆堂, 濮梅娟, 蒋名淑. 盐城市发生大暴雨的天气类型分析[J]. 气象科学, 2007, 27(4): 436-440.
- [15] 任敏, 郝莹, 陈森. 暴雨落区的统计与分析研究[J]. 气象科学, 2007, 27(2): 214-219.
- [16] 程小慷. 1998年长江流域致洪暴雨的天气特点分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(3): 405-412.
- [17] 赵玉春, 王仁乔, 郑启松, 等. 长江中游一次暴雨中尺度天气系统的观测分析[J]. 气象, 2003, 29(11): 14-19.
- [18] 孙健, 刘淑媛, 陶祖钰, 等. 1998年6月8—9日香港特大暴雨中尺度对流系统分析[J]. 大气科学, 2004, 28(5): 713-721.
- [19] 陈忠明, 闵文彬, 徐茂良. 大气运动非平衡强迫与“98·7”暴雨云团的中尺度特征[J]. 气象学报, 2004, 62(3): 375-383.
- [20] 陈永林, 杨引明, 曹晓岗, 等. 上海“0185”特大暴雨的中尺度强对流系统活动特征及其环流背景的分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 29-35.
- [21] 毛冬艳, 钱传海, 乔林, 等. 贵州南部一次突发性大暴雨的中尺度分析[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 601-609.
- [22] 公颖, 周军, 胡伯威, 等. 一次强梅雨暴雨过程的数值模拟和伴随的中尺度系统分析[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(6): 760-767.
- [23] 赵世发, 周军元, 王俊, 等. 一次罕见的特大暴雨物理量场特征分析[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(2): 271-276.

(责任编辑: 刘菲)