

2004年9月2~6日川渝持续性暴雨过程初步分析^①

宗志平 张小玲

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

2004年9月初,四川省东北部和重庆地区出现了大范围的持续性暴雨和大暴雨天气过程。对这次暴雨过程的持续性原因及其与低涡的关系诊断分析结果表明,(1)8月底从孟加拉湾向东北传播的西南季风的低频振荡使大量来自热带洋面的暖湿空气向四川盆地输送,从青藏高原不断有短波槽东移到盆地上空,使干冷空气和暖湿气流不断在盆地的东部交汇,为持续性暴雨的发生提供了稳定的环流背景和充足的水汽;(2)中尺度对流云团的强烈发展导致强降雨的发生,当中尺度对流系统合并发展为中 α 尺度低涡后,低涡的发展引起更强的辐合上升运动,为暴雨的持续发生提供了持续的上升运动和有利的中尺度环境场;(3)对流层低层的暖平流和对流层中层的正涡度平流的维持使低涡持续发展。

关键词: 暴雨 低涡 中尺度对流云团

引 言

2004年9月2~6日,四川东部和重庆出现区域性暴雨、大暴雨天气过程。这次强降雨具有范围广、强度大、持续时间长的特点,为1982年以来同期最强的区域性暴雨。不少地区过程雨量超过200mm,其中宣汉419mm、开县383.9mm。达州350mm、渠县324mm、开江315mm(图1),开县最大日降雨量为298.0mm,为开县日降雨量历史极大值(超过1982年7月16日的218.4mm)。渠县、宣汉、武胜、营山、开江等县的日降雨量也突破有连续气象记录以来的历史极值。持续性的暴雨带来了严重的洪涝和地质灾害,并造成了重大的人员伤亡和巨大的经济损失。此外,由于持续性的强降水发生在三峡库区的上游,对三峡大坝的安全带来巨大的威胁。

持续性暴雨发生的物理条件有三个:稳定的大形势、充足的水汽以及对流不稳定能量的释放和再生^[1,2]。四川盆地由于其特殊

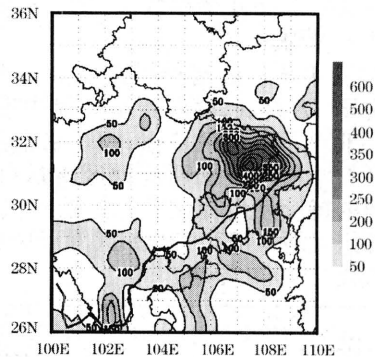


图1 2004年9月2~6日累积降水分布(单位:mm)

的地理环境受高原系统的影响非常大,其大面积的暴雨过程通常都与低涡活动有很大关系。许多研究对引起四川盆地暴雨的西南涡进行了大量的物理成因和机制的数值模拟及诊断分析^[3~6],但这些研究并没有完全解决低涡(西南涡)与持续性暴雨的关系。此外,暴雨的持续性问题也是这次暴雨过程中预报

① “973”国家重点基础研究发展规划项目 2004CB418300 资助

员面临的最大挑战之一,因此本文的工作主要围绕低涡为什么能在四川东部长时间维持以及它与持续性暴雨的关系。

1 天气形势及主要影响系统

分析 2004 年 9 月 2~6 日逐日的 500 hPa 位势高度场发现,亚欧中高纬环流平直,呈纬向型;9 月 2~3 日,较强的西太平洋副高呈带状,北侧边界位于 32~34°N;9 月 2 日从青藏高原东麓有一短波槽快速下华东移影响四川盆地,但很快减弱。3 日又有一短波槽从高原东移,副高有所减弱,与此同时台风桑达正在向西北方向移动;4 日受台风北上影响,副高断裂为两部分,西部大陆副高减弱明显,北侧边界位于 30°N,5~6 日,短波槽向东移动速度较慢,副高继续减弱成一块状直至 7 日大陆上的副高消失,此次过程结束,亚欧 500hPa 环流完成一次调整,中高纬度呈两槽一脊型。从 2004 年 9 月 2~6 日平均的 500hPa 位势高度场(图略)上我们也能发现高原上的短波槽活动比较频繁,而台风桑达对副高的影响也很大。分析低层天气图发现,在这段时间内由于西风带扰动非常活跃,来自青藏高原的扰动短波槽较多,在低层有西南涡发生发展并持续数天,造成持续性的暴雨和大暴雨。

2004 年 8 月西南季风的低频振荡特征非常明显。8 月底,随着西南季风中准 30~60 天的低频振荡向北传播,大量来自孟加拉湾地区的水汽向我国西南地区输送(图 2),为暴雨的持续发生提供了充足的水汽来源,并在四川盆地东部和三峡库区附近形成强的水汽辐合中心(图略)。

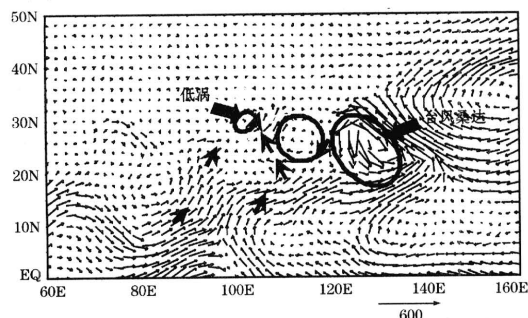


图2 2004年9月2~6日平均的整层(地面~300hPa)水汽通量(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

2 持续性暴雨与低涡的关系及其物理成因分析

当有利的大尺度环境场稳定时,在四川盆地的东部低涡发生并持续数日。卫星云图显示,9月2日23时(北京时间,下同)在四川东部的简阳、遂宁一带有对流云团发生,并向东北方向强烈发展;3日02时,对流云团已经发展成为椭圆状、云顶辐散亮温低于 -70°C 的成熟的中 α 尺度对流系统(MCS),并在盆地东部继续发展影响四川东部和重庆地区的降水(图略)。1h的降水分析表明,2日23时,当对流云团初生时,并没有引起强降水。但当对流云团强烈发展时,在嘉陵江中游地区引起了强降水,强度超过 $25\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。随后的中 α 尺度对流云团则带来了范围更广、强度更大的持续性强降水。对流系统与持续性降水的关系在图3中反映得更加清楚。2日20时,在川东南和重庆西南地区出现一条西南—东北走向的切变线,随后的6h在切变线的北面出现了10mm以上的降水(图3a)。3日14时,对流层低层的切变线上以 $30.2^{\circ}\text{N}, 106^{\circ}\text{E}$ 为中心有一低涡发展,随后的6h强降水主要出现在低涡的北象限四川的东北部地区(图3b)。随着低涡的进一步发展成熟,在低涡偏北象限的川东地区和重庆西部地区出现了大面积强降水,降水中心6h的累积降水超过50mm(图略)。4日14时(图3c),低涡发展成为直径达数百公里的西南—东北向的椭圆状成熟降水系统。此时的强降水也扩展到低涡的偏南象限,形成了西南—东北向的对称强降水区,6h的累积降水超过50mm。在随后的36h内,低涡仍然维持在这一区域,并且6日02~08时的6h最大降水量超过100mm(图略)。6日14时,随着低涡的减弱,降水强度逐渐减弱(图3d)。6日20时,四川东部和重庆上空盛行偏北风致使雨区南压、强度减弱。

上述分析表明,强降水得以持续发生与9月3~6日低涡准静止在盆地东部有很大的关系。下面主要针对低涡持续维持在盆地东部的物理机理进行分析。图4是2004年9月1~10日700hPa温度平流(a)和500hPa涡度平流(b)沿 $30\sim 32^{\circ}\text{N}$ 纬带内的经度—时间剖面。9月1日,四川东部和重庆地区已经出现暖平流,2日暖平流加强并持续到6日08时。当对流层低层有持续的暖平流维持时,在对流层中层,9月1日高空槽从青藏

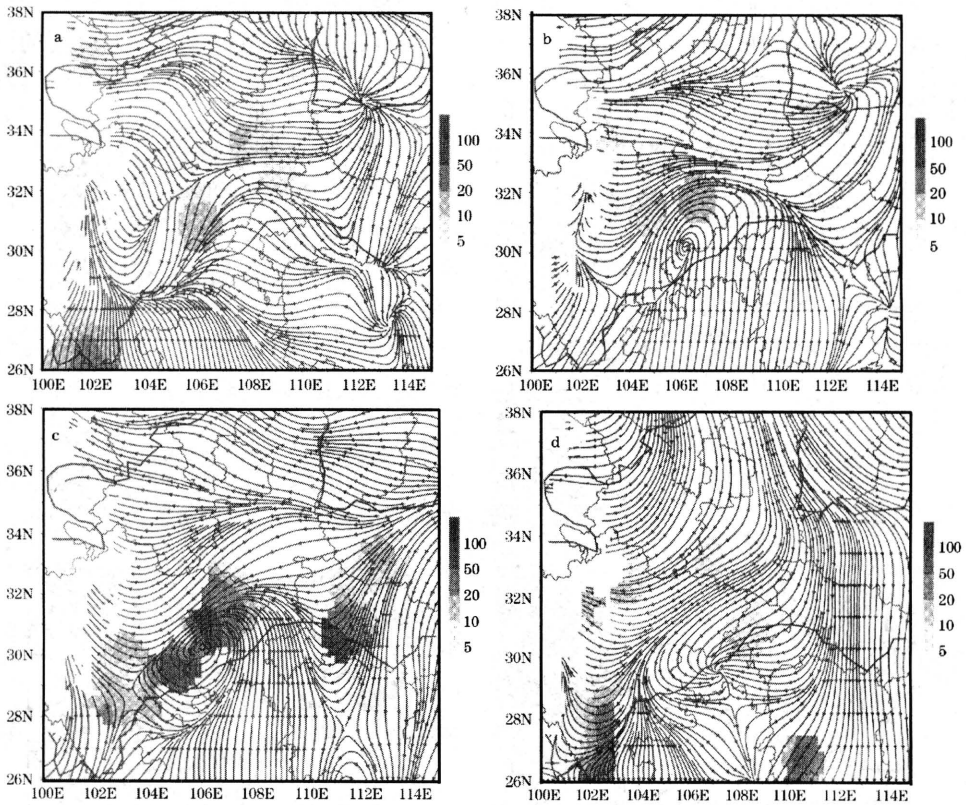


图3 2004年9月2日20时(a)、3日14时(b)、4日14时(c)和6日14时(d)700hPa流场和6h降水(阴影,单位:mm)

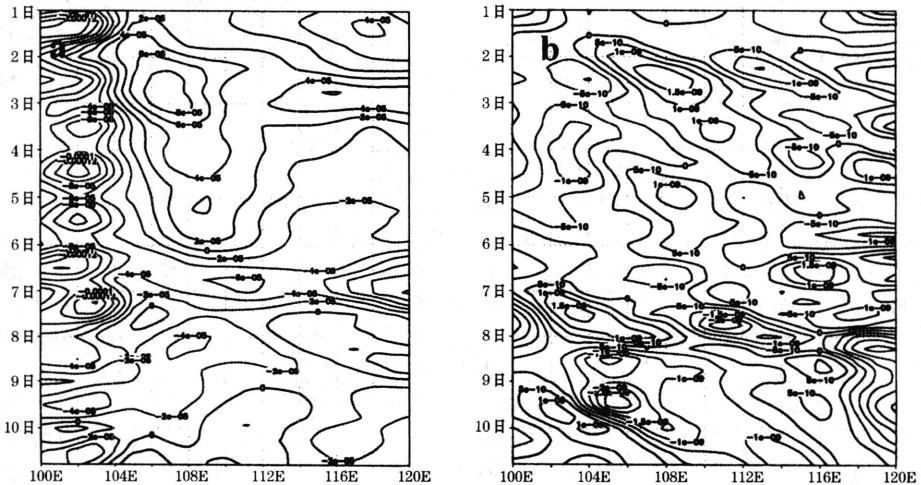


图4 2004年9月1~10日700hPa温度平流(a,单位: $K \cdot s^{-1}$)和500hPa涡度平流(b,单位: s^{-2})沿30~32°N经度-时间剖面

高原东移影响四川盆地。9月2~6日08时,在低涡发生区均为正的涡度平流。根据

涡度方程,持续的高空正涡度平流和低层暖平流非常有利于低涡在嘉陵江下游地区维

持。当对流层低层出现暖平流、中层出现负涡度平流后,低涡逐渐减弱消失。

9月3~6日400~600hPa平均的Q矢量及其散度分布显示,在暴雨区,9月3~6

日对流层中层为Q矢量的辐合区,表明当低涡在四川盆地东部维持时,大尺度的强迫使9月3~6日暴雨区上空持续维持上升运动(图5)。

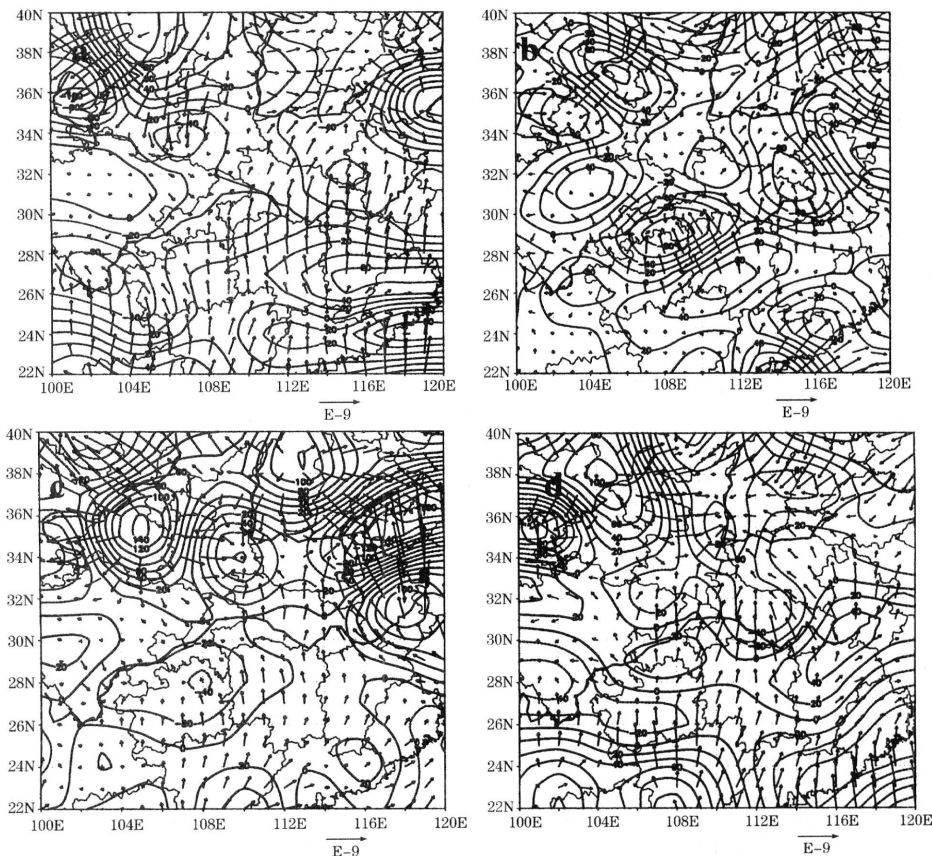


图5 2004年9月3~6日08时400~600hPa平均的Q矢量(箭头线,单位: $\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)及其散度(等值线,单位: $10^{-15} \text{m} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

根据四川达州的探空资料分析显示(表1),在暴雨发生前,达州上空已经积累了大量的水汽,空气处于弱的不稳定状态,并且积累了较大的对流有效位能。9月2日对流有效位能释放,促发了对流系统的发生,为对流系统的发生提供了相当大的上升运动。9月2~6日,达州上空维持充足的水汽。这期间,气层基本处于弱的稳定状态,对流有效位能也非常小。这就表明,9月2日,当强降水发生时,强降水系统所需的强上升运动主要由对流有效位能的释放提供,但在暴雨过程中,持续性的上升运动主要由大尺度的强迫等引起。

3 结论和讨论

通过对2004年9月2~6日四川和重庆持续性暴雨过程的初步诊断分析,得出以下结论:(1)8月底从孟加拉湾向东北传播的西南季风的低频振荡使大量来自热带洋面的暖湿空气向四川盆地输送,从青藏高原不断有短波槽东移到盆地上空,使干冷空气和暖湿气流不断在盆地的东部交汇,为持续性暴雨的发生提供了稳定的环流背景和充足的水汽;(2)中尺度对流云团的强烈发展导致强降雨的发生,当中尺度对流系统合并发展为中 α 尺度的低涡后,低涡的发展引起更强的辐合上升运动,为暴雨的持续发生提供了持续

表1 2004年9月1~7日四川达州各物理量演变表

时间	K 指数/℃		可降水量/mm		最有利抬升指数		对流有效位能/ $J \cdot kg^{-1}$		对流抑制能量/ $J \cdot kg^{-1}$		24小时降水/mm
	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	08时	20时	
9月1日	38	38	57.1	59.0	1	-2	0	643	183	0	5.4
9月2日	38	40	55.9	60.9	-1	2	152	0	12	0	0
9月3日	41	41	58.6	65.6	2	0	246	138	158	74	74.7
9月4日	39	39	61.1	68.8	0	1	151	75	8	57	126.2
9月5日	39	37	61.6	62.4	4	3	0	1	0	7	146.9
9月6日	39	32	56.2	52.3	2	2	0	26	0	14	2.7
9月7日	30	25	43.0	45.3	2	8	33	1	136	135	6.5

的上升运动和有利的中尺度环境场;(3)对流层低层的暖平流和对流层中层的正涡度平流的维持使低涡持续发展。

与2004年7月10日北京对流性暴雨和7月12日上海强对流天气中的上升运动主要由对流有效位能的释放引起不同,这类持续性暴雨的上升运动主要由大尺度强迫等引起。此外,四川盆地的持续性暴雨的发生往往与来自孟加拉湾的强水汽输送有很大关系^[1,7]。因此,监视来自孟加拉湾的水汽对这类暴雨有预报意义。类似2004年9月初四川和重庆的持续性暴雨出现的几率很小,但造成的危害很大。本文仅是对这次暴雨过程的初步分析结果,对于台风桑达对这次暴雨过程的影响、地形对持续性暴雨的影响、暴雨的直接制造者——中尺度对流系统的发生、发展机理等一系列问题都有待进一步的工作证实。

Analysis on Heavy Rain Event in Sichuan and Chongqing during 2—6 September 2004

Zong Zhiping Zhang Xiaoling

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

A persistent heavy rainfall event struck the northeast part of Sichuan and Chongqing during 2—6 September 2004. The meteorological reason and the relationship between heavy rains and the vortex in the lower-reaches of the Jialing River are analyzed. It is shown that in the east part of the Sichuan Basin, the convergence of the easterly propagating trough from the Tibetan Plateau and warm moisture from the Bengal Bay by Lower Frequency Oscillation (LFO) of the South Asian summer monsoon provides stable large-scale background and fluent moisture for the persistent heavy rains, that strongly development of meso-scale convective systems (MCSs) initiating the rainstorms and the MCSs combining into meso- α -scale vortex provides persistent lifting and available meso-scale background for lasting heavy rains, that warm advection in the lower troposphere and positive vorticity advection in the middle troposphere take advantage of the vortex development.

Key Words: heavy rain vortex meso-scale convective system

参考文献

- 1 陈静,李川,谌贵卿. 低空急流在四川“9.18”大暴雨中的触发作用. 气象,2002,28(8):24~29.
- 2 陶诗言. 中国之暴雨. 北京:科学出版社,1980:1~225.
- 3 钱正安,顾弘道,严宏等. 四川“81.7”特大暴雨和西南涡的数值模拟. 气象学报,1990,48(4):415~423.
- 4 Kuo, Y H, L Chen and R A Anthes. Mesoscale analysis of Sichuan flood catastrophe, 11—15 July 1981. Mon. Wea. Rev., 1986, 114:1—19.
- 5 Chen S J and L Dellosso. Numerical prediction of the heavy rainfall vortex over the eastern Asia monsoon region. J. meteor. Soc. Japan, 1984, 62:730—747.
- 6 程麟生,郭英华. 边界层参数化和湿过程对切变线低涡发展影响的中尺度模拟. 大气科学,1992,16(2):136~146.
- 7 王川,寿绍文. 一次青藏高原东侧大暴雨过程的诊断分析. 气象,2003,29(7):7~12.
- 8 陶诗言,张小玲,张顺利. 长江流域梅雨锋暴雨灾害研究. 北京:气象出版社,2004:1~192.