

文章编号: 2096-1618(2018)06-0681-07

# 2011年8月4–5日四川盆地双核西南低涡 及其带来的降水天气分析

吴珍珍<sup>1</sup>, 刘海文<sup>2</sup>, 潘丽丽<sup>2</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国民航大学, 天津 300300)

**摘要:**为研究双核西南低涡及其带来的降水天气,利用 NCEP-FNL 再分析资料、CMORPH 降水资料,采用天气学诊断方法,对发生在 2011 年 8 月 4–5 日四川盆地的双核西南低涡天气过程进行了研究。结果表明,影响此次降水的西南低涡具有双核特征,其中,一个低涡 C1 的中心位置大约位于巴中附近,另一个低涡 C2 的中心位置大约位于凉山附近。两个低涡的冷暖结构并不相同,其中低涡 C1 初期为干冷低涡,并且随着南部暖湿空气北移,低涡 C1 逐渐转变为暖湿特征,而低涡 C2 一直维持暖湿结构特征。受来自孟加拉湾和南海的水汽影响下,在双核西南低涡存在的典型时段,在低涡 C1 和低涡 C2 之间产生了一明显的东北–西南向雨带。

**关键词:**气象学;双核西南低涡;三维结构;暴雨;水汽

**中图分类号:**P447

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2018.06.014

## 0 引言

西南低涡是发生在中国西南地区的气旋性环流或者有闭合等高线的低涡,在 700 hPa 和 850 hPa 上最明显<sup>[1–2]</sup>。西南低涡是中国最强烈的暴雨系统之一,所引起的暴雨天气的强度、频数和范围,仅次于台风及其残留低压<sup>[3]</sup>。叶笃正等<sup>[4]</sup>根据低涡与 500 hPa 形势及地面温压场的配置关系,将低涡分为冷涡和暖涡。彭新东等<sup>[5]</sup>发现西南低涡具有暖湿中心结构。Wang 等<sup>[6]</sup>也发现低涡附近的空气非常潮湿,温度廓线接近湿绝热。李国平<sup>[7]</sup>从流场、温湿场、温压场三方面总结了西南低涡的结构。此外,在西南低涡的形成机制上,很多学者也进行了大量研究。Kuo 等<sup>[8–9]</sup>指出潜热释放对西南低涡的发展及低涡暴雨的形成有关键性作用。钱正安等<sup>[10]</sup>指出凝结潜热和高原的阻挡作用对西南低涡暴雨过程有重要的影响。陈忠明等<sup>[11]</sup>对西南低涡与强热带气旋发生远距离相互作用进行诊断分析,揭示了两者的相互作用在促进西南低涡发展和暴雨发生中所起的重要作用。

过去研究认为,西南低涡仅是一个尺度约为 300 ~ 500 km 的中  $\alpha$  尺度涡旋<sup>[2]</sup>。近年来,随着高时空分

辨率资料的普遍使用以及中尺度数值模式的迅速发展<sup>[12]</sup>,关于西南低涡的结构又有了新认识。研究发现,导致 2013 年 7 月 17–18 日四川暴雨的西南低涡就是由两个更小尺度的低涡所组成<sup>[13]</sup>。由于西南低涡有时就表现为一个闭合气旋性环流的小低压<sup>[14]</sup>,双核西南低涡不仅在结构上比较特殊,而且在其他条件(比如水汽条件)配合下,还有可能给当地带来灾害性天气。比如,2013 年 7 月 17–18 日受双核西南低涡影响,在两个低值中心附近都出现了暴雨天气<sup>[13]</sup>。虽然不能确认所有双核西南低涡的两个低值中心位置附近都有暴雨天气出现,但是,如果出现了双核西南低涡,至少可以给预报员对暴雨中心落区的预报有一定的提醒作用,因此,开展双核西南低涡及其带来降水天气的研究就显得非常必要。

## 1 资料选取及定义

### 1.1 资料说明

利用一日 4 次的 NCEP-FNL 再分析资料分析此次过程的主要天气形势和系统,其水平分辨率为  $1^\circ \times 1^\circ$ 。降水资料来自于中国自动气象站与 CMORPH 融合逐时降水数据,其水平分辨率为  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ,该资料广泛地用于暴雨研究<sup>[15]</sup>。

收稿日期:2018-03-12

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(91337215,41475051);四川省科技计划资助项目应用基础计划资助项目(2015JY0109)。

1.2 双核西南低涡定义

为叙述方便,参照卢敬华<sup>[1]</sup>关于西南低涡的定义,不失一般性,将符合以下3个条件的西南低涡,定义为双核西南低涡:

(1)在欧亚天气图上,中国西南地区为一西南低涡,但在小范围的区域天气图上,这个西南低涡则表现为由两个更小尺度的气旋性涡旋所构成;

(2)两个小尺度的气旋性涡旋必须是由先于它们

出现的同一个中尺度西南低涡分裂而产生;

(3)两个小尺度的气旋性低涡的中心位置都必须位于西南地区( $26^{\circ}\text{N} \sim 33^{\circ}\text{N}$ ,  $100^{\circ}\text{E} \sim 108^{\circ}\text{E}$ )。

尽管有人认为其中一个小涡旋可能是另一个较大尺度西南低涡上的小扰动,由于西南低涡有时就表现为一个闭合气旋性环流的小低压<sup>[14]</sup>,所以,认为上述关于双核西南低涡具有一定的科学性和代表性。

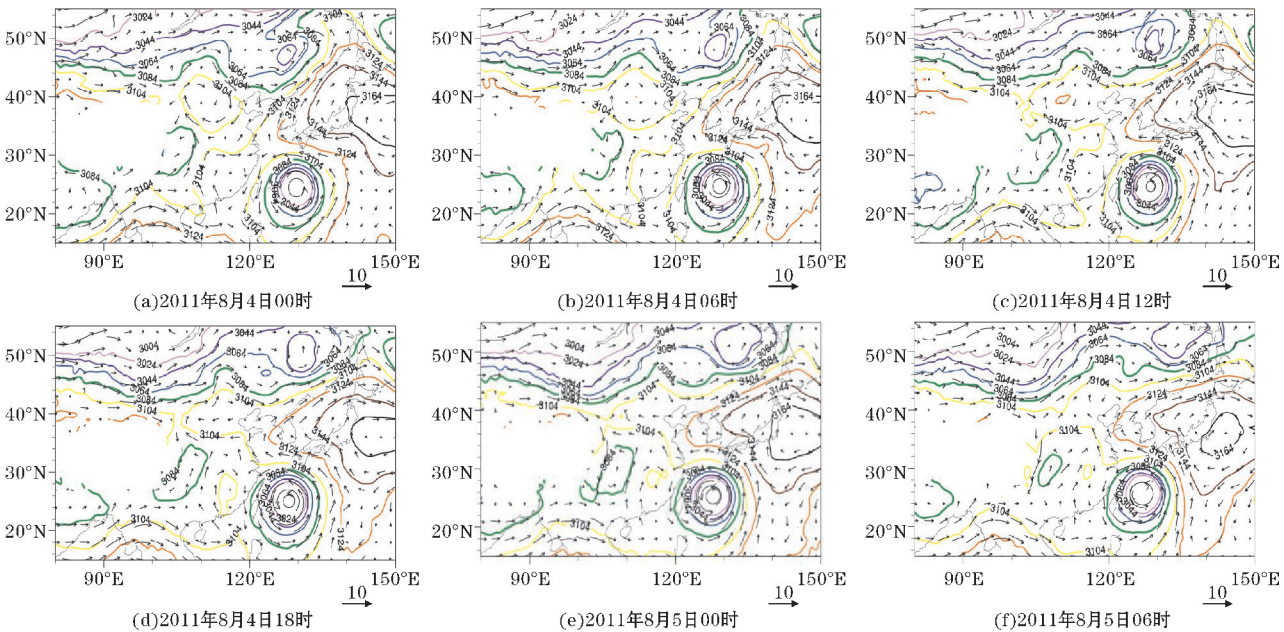


图1 700 hPa 位势高度场和风向

2 2011年8月4-5日双核西南低涡过程

图1给出了2011年8月4日00时-8月5日06时(世界协调时UTC,下同)欧亚大陆上的700 hPa天气形势。由图可见,8月4日00时-8月5日06时近30 h,整个欧亚大陆的天气形势稳定少变。在8月4日00时(图1a),中高纬度地区环流比较平直,在中国黑龙江省伊春附近有一个闭合的低值中心,从该低值中心伸向中国的渤海有一个槽线。西太平洋副热带高压呈带状分布,其脊线位置明显偏北。在副热带高压南部有一个热带气旋,主要位于中国东海海面上。需要强调的是,在中国西南地区有一个明显的西南低涡,其在副热带高压以及位于东海热带气旋的影响下,位置稳定少动。图1(b)的天气形势和图1(a)相比,变化不大。到了8月4日12时,位于四川盆地上的西南低涡与过去12 h相比,位置有所东移,此时位于海上的热带气旋也开始向东北移动,但是,位于中国西南地区

的西南低涡仍然存在。2011年8月4日18时和8月5日00时,除了高纬度的低值系统有所增强、副热带高压略有东退以外,位于东海的热带气旋位置基本不动。上述的天气形势直到8月5日06时才发生了较为明显的变化,其中,位于中国西南地区的西南低涡位置开始逐渐东移,出现了一个闭合的等值线,位于东海的热带气旋略向日本海移动,且副热带高压出现了较大的东退。

为揭示四川盆地西南低涡的中小尺度特征,图2给出了紧邻四川省地区的区域天气图。由图2(a)可见,2011年8月4日00时,四川盆地上空为一西南低涡C,低涡C北部存在一冷中心,且低涡的南北两侧具有南湿北干的特征。6小时后的区域天气图(图2b)和图2(a)相比有了明显的变化,图2(a)中的低涡C被低涡C1所代替,低涡C1位于四川巴中附近,而在其南部,由于暖湿条件的进一步加强,在四川凉山州附近出现了一个不太明显的气旋性涡旋C2,由于低涡C1和C2都被外围的3084 gpm等值线所包围,因此,低涡C1和C2应该是



从图2(a)中的中尺度低涡C中分裂产生的。到了8月4日12时,低涡C2中的气旋性环流特征比图2(b)更加明显,呈现出两个低涡即低涡C1和C2共同处于一个较大尺度的西南低涡中,这两个低涡也就是上述定义的双核西南低涡现象,此典型的双核西南低涡现象一直维持到8月5日00时。需要指出的是,从8月4日18时到8月5日00时,来自于南部的暖湿空气逐渐北移,表现为图2(d)~(e)中的较大比湿区逐渐向北扩张,使低涡C1的热力性质发生了改变,到了8月5日00时(图2e)

低涡C1逐渐表现为暖湿的特征,在8月5日00时,低涡C1后部出现了明显干冷的偏北气流,使得该时次的双核现象被破坏。到了8月5日06时(图2f),双核西南低涡逐渐演变成低涡C3和C4,显然3084 gpm等值线将低涡C3和C4隔离。由于低涡C3和C4并未被同一条外围的等值线所包围,因此,低涡C3和C4不属于上述的双核西南低涡现象,因而此时双核西南低涡不复存在,而低涡C3和C4与低涡C1和C2之间的关系,尚待做进一步深入的研究。

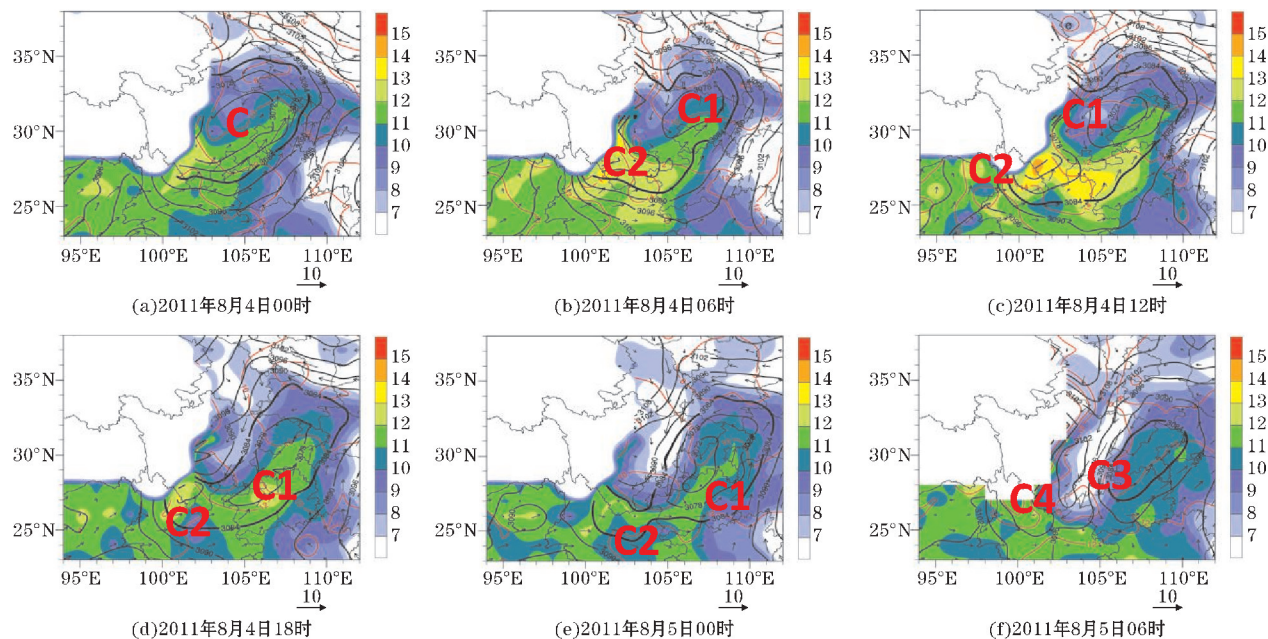


图2 700 hPa 位势高度场(黑色等值线、风场、比湿场(填色)和温度场(红色等值线))

综上所述,2011年8月4日00时-8月5日06时,四川盆地出现了一次典型的双核西南低涡过程。双核西南低涡于2011年8月4日06时开始出现,然后于8月4日12时呈现出明显的典型双核西南低涡结构,随后由于环流的调整,直到8月5日06时,双核西南低涡不复存在。

### 3 双核西南低涡三维结构

为进一步揭示双核西南低涡的三维结构及演变特征,图3给出了沿双核西南低涡中心的温度场和相对湿度场的垂直剖面。可见,2011年8月4日00时(图3a)和图2(a)相对应,低涡C呈现出北冷南暖的特征,低涡C的湿区从700 hPa延伸到150 hPa附近,而其低层为干区,主要位于700 hPa以下。8月4日06时(图3b),双核西南低涡开始出现,低涡C1和C2的湿

区从700 hPa附近延伸至150 hPa以上,同时由于受低涡C1后部冷空气的影响,低涡C1后部及其低层均存在明显的干区,低涡C1低层为干冷特征,低涡C2为暖湿特征。8月4日12时(图3c),典型的双核西南低涡形成,此时由于北方冷空气进一步的侵入,低涡C1后部的干区范围进一步扩大,低涡C1低层的干冷特征更为明显,同时由于受南部暖湿气流的影响,低涡C2的暖湿结构更加明显。8月4日18时-8月5日00时,西南暖湿气流逐渐北移,低涡C1和C2湿区的范围扩大、强度增强。到了8月5日00时,低涡C1转变为暖湿特征,而由于受低涡C1后部冷空气的影响,低涡C2的暖湿区明显减弱。由于低涡C1后部的冷空气进一步增强,8月5日06时(图3f),双核西南低涡消散,低涡C3低层具有暖湿的特征,而其中高层为干区,低涡C4区域则基本为冷空气控制,为一干冷区。

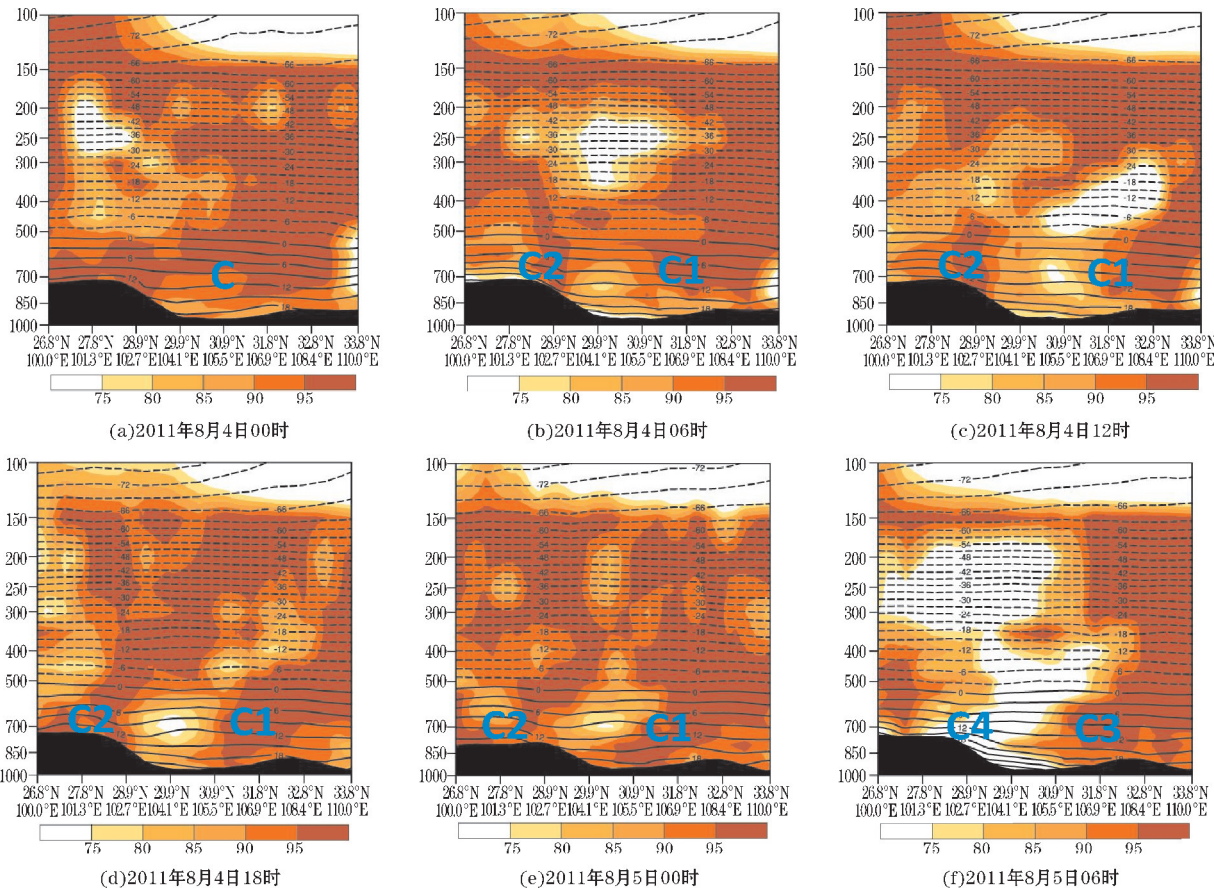


图3 沿双核西南低涡中心的温度场和相对湿度场垂直剖面图

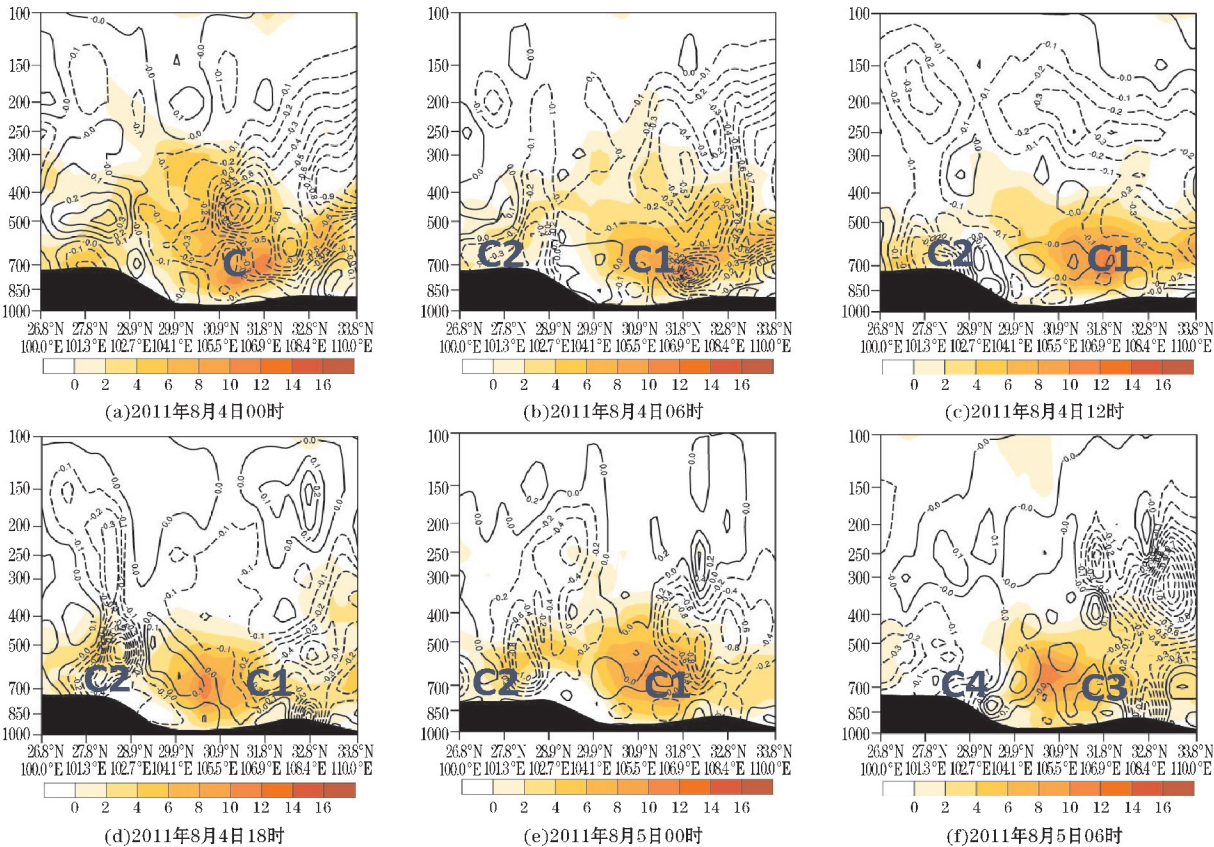


图4 沿双核西南低涡中心的涡度和垂直速度垂直剖面图



图4为各对应时刻沿双核西南低涡中心的涡度和垂直速度垂直剖面图。由图4可见,在2011年8月4日00时(图4a),位于低涡C区域内存在明显的正涡度中心和上升运动区,两个最大上升运动中心分别位于650 hPa和450 hPa附近,低涡C西南侧存在的正涡度区有利于诱发低涡C2在此区域产生。6小时后,在8月4日06时(图4b),双核西南低涡开始出现,低涡C1和C2区域内均存在明显的正涡度,低涡C1中心的涡度从近地面延伸至200 hPa附近,而低涡C2中心的涡度相对较小,此时低涡C2较为浅薄;低涡C1和C2的垂直上升运动中心主要在700 hPa附近,同时由于北方冷空气的侵入,低涡C1后部的低层存在弱的下沉运动。8月4日12时(图4c),典型的双核西南低涡形成,低涡C1和C2

的正涡度明显增强,且低涡C1在垂直方向上比低涡C2更深厚;与图4b相比,受低涡C1后部冷空气的影响,低涡C1的上升运动区向低涡前部移动,低涡低层及其后部弱的下沉运动区范围在扩大,而低涡C2的垂直上升运动延伸至100 hPa附近。8月4日18时-8月5日00时(图4d~e),低涡C1和C2区域内的正涡度中心强度逐渐减弱,到了8月5日00时,低涡C1区域内低层的强上升运动逐渐被弱下沉运动所替代,低涡C2上升运动也有所减弱。8月5日06时(图4f),双核西南低涡消散,出现的低涡C3区域内存在明显的正涡度,最大正涡度中心位于低涡C3的西南侧,而低涡C4较为浅薄,其正涡度不明显;低涡C3的后部存在上升运动区,而低涡后部为下沉运动区,低涡C4低层为上升运动区。

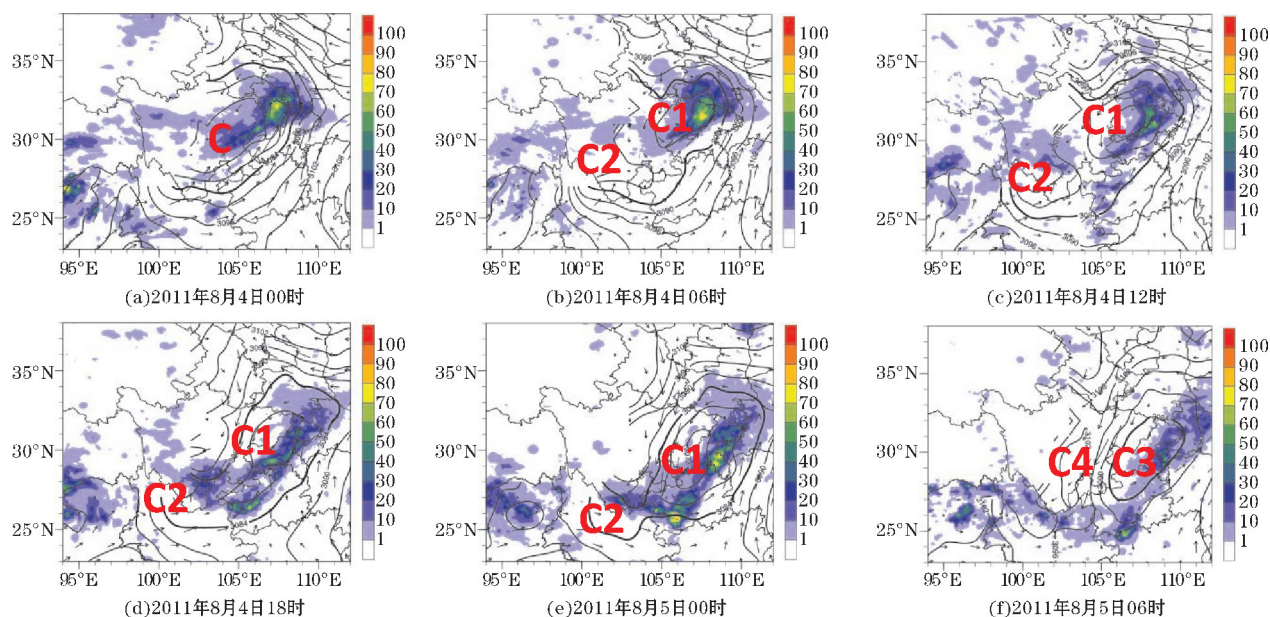


图5 700 hPa 位势高度场、风场和CMORPH降水资料6小时累积降水

## 4 双核西南低涡降水特征

和经典的西南低涡相类似,此次滞留在四川盆地上的双核西南低涡也给当地带来了降水天气。图5给出了2011年8月4日00时-8月5日06时各时刻天气形势及其对应时刻过去6 h累积降水量。由图5(a)可见,在8月4日00时,在西南低涡东北侧附近已经出现了过去6 h累积降水量超过50 mm的降水,达到了暴雨量级。6 h后(图5b),在8月4日00时的强降水中心附近开始出现低涡C1,同时低涡C2的北侧地区也出现了小范围的弱降水。在双核西南低涡形成的典型时刻,即在8月4日12时,低涡C1东侧的降水较前6 h量级有所减小,其东南侧出现了微量降水,而低涡

C2北侧的降水有所增加,过去6 h累积降水量也超过了10 mm。随着低涡C1和C2的增强,在8月4日18时,在低涡C1和C2之间形成了一明显的东北-西南向雨带。到了8月5日00时(图5e),受低涡C1后部偏北气流影响,位于C1和C2之间的带状降水逐渐东移。8月5日06时,双核西南低涡结构消失并逐步演变成两个独立的低涡C3和C4,低涡C3东侧的降水明显减弱,而低涡C4附近无明显的降水天气。

综上所述,双核西南低涡C1和C2带来的降水大小并不相同。主要的降水区域位于尺度较大的中尺度低涡C1东侧及其东南侧,这可从双核西南低涡区域内存在的强上升运动区中得到验证,而低涡C2所带来的降水并不明显。

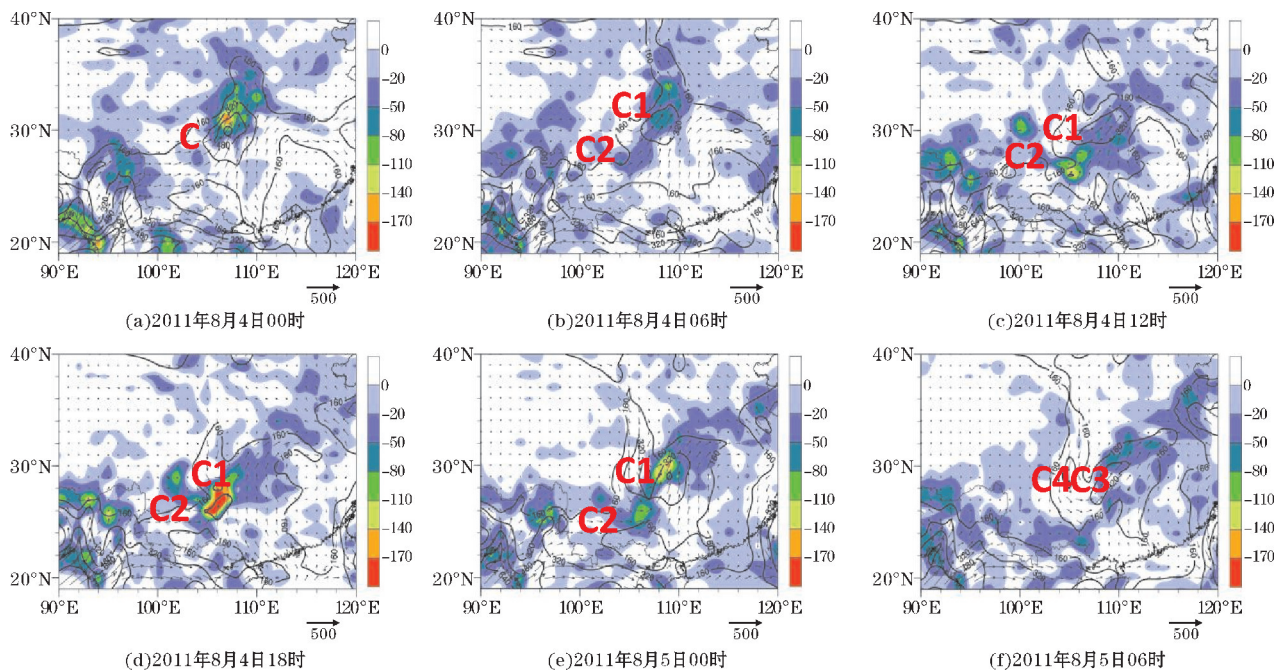


图6 地面至300 hPa水汽通量和水汽通量散度

源源不断的水汽供应是产生降水的一个必要条件<sup>[16]</sup>,图6给出了上述各对应时段的地面至300 hPa水汽通量及其散度。由图6可见,8月4日00时(图6a),来自于孟加拉湾的西南水汽和南海的东南水汽向低涡C的东侧及东北侧输送,水汽在低涡C的东北侧聚集并出现了明显的水汽辐合中心,受其影响,此时低涡C的东北侧出现了暴雨天气。8月4日06时(图6b),由于西南水汽输送减弱,低涡C1东侧的水汽辐合较8月4日00时减弱,低涡C2北侧存在弱的辐合中心,此时低涡C1东侧的降水在维持,低涡C2北侧降水并不明显。8月4日12时(图6c),受偏北气流影响,低涡C1东侧的水汽辐合进一步减弱,而由于东南水汽输送的增强,低涡C1东南侧存在明显的水汽辐合中心。同时,西南水汽在低涡C2的北侧汇聚,低涡C2北侧的水汽辐合增强。此时低涡C1东侧的降水有所减弱,其东南侧出现微量降水,而低涡C2北侧降水略有增加。8月4日18时(图6d),由于东南和西南水汽输送的增强,水汽在双核西南低涡区域内聚集,低涡C1和C2的水汽辐合区连成带状,受其影响,双核西南低涡区域内的降水强度有所增强并呈东北-西南带状分布。8月5日00时(图6e),水汽辐合中心向东移动,此时双核西南低涡的雨带也随之向东移动。到了8月5日06时(图6f),东南和西南水汽输送明显减弱,低涡C3东侧的水汽辐合减弱明显,低涡C4附近无明显的水汽辐合区,此时低涡C3东侧的降水较前六小时有所减弱,低涡C4附近无明显降水。

因此,孟加拉湾和南海是此次双核西南低涡尤其是低涡C1产生强降水过程的水汽来源,来自海上的

水汽在低涡C1的东侧及其东南侧产生辐合,非常有利于该区域强降水的发生。

## 5 结论与讨论

利用NCEP-FNL再分析资料以及CMORPH降水资料,从天气学角度对2011年8月4-5日的四川盆地双核西南低涡过程、三维结构特征以及双核西南低涡带来的降水天气进行了研究,得到以下结论:

(1)2011年8月4-5日,在四川盆地附近出现了一次典型的双核西南低涡现象。双核西南低涡的两个低值系统的水平空间尺度并不相同,一个较大的中尺度低涡C1位于巴中附近,另一个较小的中尺度低涡C2位于凉山附近。双核西南低涡于2011年8月4日06时初生,于8月4日12时呈现出典型双核西南低涡结构,到了8月5日06时,双核西南低涡消散。

(2)双核西南低涡的温湿结构较为复杂,并且存在两个明显的涡度中心和垂直上升运动区。由于冷空气的侵入,低涡C1初期低层呈现干冷特征,随着南部暖湿空气的北移,低涡C1逐渐转变为暖湿特征,而位于其南侧的低涡C2一直维持暖湿结构特征;低涡C1区域内的涡度从近地面延伸至250 hPa附近,而低涡C2区域涡度相对较小,低涡C1在垂直方向上比低涡C2更深厚;低涡C1和C2区域内均存在上升运动区,低涡C1后部存在弱的下沉运动区。

(3)来自孟加拉湾和南海的水汽主要在低涡C1的东侧及东南侧和低涡C2的北侧形成水汽辐合,受其影响,在双核西南低涡存在的典型时段,低涡C1和低涡



C2之间出现一明显的东北-西南向雨带,该雨带主要位于低涡C1的东侧及其东南侧,而低涡C2是否对该雨带的产生有一定的贡献,尚需进一步的分析和验证。

仅从个例分析的角度,对双核西南低涡演变过程进行了探讨,但是对双核西南低涡的产生机制特征需通过数值模拟等方法进行更深入地研究。

致谢:感谢中国民航大学科研启动基金(2016QD05x)对本文的资助

## 参考文献:

- [1] 卢敬华. 西南低涡概论[M]. 北京:气象出版社, 1986:276.
- [2] 何光碧. 西南低涡研究综述[J]. 气象, 2012, 38(2):155-163.
- [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[A]. 暴雨科学、业务试验和天气动力学理论的研究[C]. 北京:气象出版社, 1996:257-267.
- [4] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社, 1979:316.
- [5] 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(2):163-168.
- [6] Wang W, Y H Kuo, T T Warner. A diabatically driven mesoscale vortex in the lee of the Tibetan Plateau. Mon. Wea[J]. 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.

- [8] Kuo Y H, Cheng L, Anthes R A. Mesoscale analyses of the Sichuan flood catastrophe, 11-15 July 1981 [J]. Monthly weather review, 1986, 114(11):1984-2003.
- [9] Kuo Y H, Cheng L S, Bao J W. Numerical simulation of the 1981 Sichuan flood. Part I: Evolution of a mesoscale southwest vortex[J]. Monthly Weather Review, 1988, 116(12):2481-2504.
- [10] 钱正安,何军. 四川“81.7”特大暴雨和西南涡的数值模拟[J]. 气象学报, 1990, 48(4):415-423.
- [11] 陈忠明,黄福均,何光碧. 热带气旋与西南低涡相互作用的个例研究[J]. 大气科学, 2002, 26(3):352-360.
- [12] Bauer P, Thorpe A, Brunet G. The quiet revolution of numerical weather prediction[J]. Nature, 2015, 525:47.
- [13] Zhou, Kuo, Liu Haiwen, Zhao Liang, et al. Binary mesovortex structure associated with southwest vortex[J]. Atmos. Sci. Let., 2017, 18:246-252.
- [14] 林元弼,汤明敏,陆森娥,等. 天气学[M]. 南京:南京大学出版社, 1988:375.
- [15] 潘旸,沈艳,宇婧婧,等. 基于最优插值方法分析的中国区域地面观测与卫星反演逐时降水融合试验[J]. 气象学报, 2012, 70(6):1381-1389.
- [16] 丁一汇,胡国权. 1998年中国大洪水时期的水汽收支研究[J]. 气象学报, 2003, 61(2):129-145.

## Analysis of a Binary Southwest Vortex and its Precipitation over the Sichuan Basin on 4-5 August 2011

WU Zhen-zhen<sup>1</sup>, LIU Hai-wen<sup>2</sup>, PAN Li-li<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Plateau Atmospheric and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610225, China; 2. Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** In order to study the binary southwest vortex (SWV) and its associated precipitation weather, based on the NCEP-FNL reanalysis data, the CMORPH precipitation data this study studies a binary southwest vortex over the Sichuan Basin on August 4-5, 2011 by using the weather diagnosis methods. The results show that the binary SWV has binary structure, in which the center of the vortex C1 is located near the Bazhong and the center of the vortex C2 is located near Liangshan. The cold and warm structures of the two vortices are not the same. The initial stage of vortex C1 is a dry and cold vortex, and with the warm and moist air in the south moving northward, the vortex C1 gradually turns into warm and moist features, while the vortex C2 maintains a warm and moist structures. Under the influence of the water vapor from the Bay of Bengal and the South China Sea, an obvious northeast-southwest rainband occurs between the vortex C1 and C2 during the typical period of the binary SWV.

**Keywords:** meteorology; binary southwest vortex; three dimensional structure; heavy rainfall; water vapor