

文章编号: 2096-1618(2017)04-0433-07

台风“鲸鱼”对四川暴雨的远距离影响

王 钦

(中国民航飞行学院广汉分院气象台,四川 广汉 618307)

摘要:为了研究台风对四川暴雨的远距离影响,利用 Micaps 常规气象观测资料、四川省 153 站逐小时降雨资料以及 FNL $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析资料,对 2015 年第 8 号台风“鲸鱼”登陆时的环流形势以及物理量场进行了详细分析。分析结果表明:(1)与台风与西南低涡相互作用可致川东南部地区暴雨不同,本次川东地区暴雨是台风“鲸鱼”与中高纬度短波槽以及西太平洋副热带高压相互作用的大尺度环流背景下,川东地区中尺度低涡系统造成的;(2)850 hPa 台风倒槽东侧的东南急流和 700 hPa 副高西北侧的西南低空急流耦合,构成南海-四川的水汽通道,为暴雨的发生提供了充足的水汽。(3)500 hPa 西风槽与低层东南急流配合,输送正涡度,促进低层辐合,在川东地区形成中尺度低涡,同时台风不断向低涡中心提供气旋性涡度并与副高共同阻挡低涡的移动,使得低涡稳定维持,形成持续性暴雨。

关键词:气象学;天气分析;台风;低涡;暴雨; β 中尺度系统

中图分类号:P444

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2017.04.014

0 引言

四川位于中国西南地区,地处内陆,造成四川地区暴雨的天气系统一般有西南低涡、四川盆地倒槽、低空急流、高原切变线等,而台风多发于海面上,除对沿海地区有着直接影响外,对四川的暴雨过程也有着远距离影响,卓嘎^[1]的研究就表明,除了东南沿海、华北、东北地区的降水与台风关系密切外,还有青藏高原东侧的四川地区。陈联寿等^[2]提出台风远距离暴雨的概念,具体指暴雨发生在台风范围之外,且暴雨过程与台风之间存在着环流以及物理量场上的联系。

台风如何对非邻近地区的天气造成影响?事实上,许多气象工作者对这类天气已进行了大量的研究,且得到了一致的观点^[3-11],即台风远距离暴雨是中地低纬系统相互作用的产物,不同路径的台风与中纬度不同的天气系统(如副热带高压、西风槽、西南低涡、急流等)相互作用,造成的远距离暴雨落区与强度也不同。虽然目前台风远距离暴雨的研究很丰富且在概念模型以及机理的研究方面取得了很大的进展,但这些研究大多是针对陕西等西北以及华北地区,针对四川地区的研究还不是很多。1989 年 7 月 8-11 日四川盆地特大暴雨,陈忠明等^[12]研究了此次暴雨的成因,结果表明此次特大暴雨是由于南海的热带气旋与西南低涡相互作用造成的,周国兵等^[13]与李强等^[14]分别

研究了 2004 年和 2009 年夏季四川地区暴雨的成因,其结果与陈忠明^[12]的研究结果一致,即台风与西南低涡相互作用引起的,这些都是个例研究^[15]。康岚等^[16]统计了近 10 年夏季台风与四川降水的关系,表明偏西路径、转向路径以及西北路路径的台风与四川暴雨的关系最为密切,但其研究未具体分析具体的影响机制。

2015 年 6 月 23-25 日四川地区发生了大范围的暴雨洪涝灾害,与此同时,台风“鲸鱼”也于 23 日在海南登陆,该台风事实上于 21 日在南海生成,随后以西北路径移动。在预报工作中发现,与此前的个例研究不同,此次台风远距离引发四川暴雨的过程中,并未有西南低涡配合,那么在本次暴雨过程中,台风“鲸鱼”是如何远距离影响的呢?针对此次个例,诊断分析在海南登陆的台风“鲸鱼”对四川地区的远距离影响,对丰富今后此类暴雨的预报具有重要的指导意义。

1 资料

用到的资料包括:(1)国家气象局提供的 Micaps 常规观测资料;(2)四川省 153 个自动站的逐小时降水量资料;(3)FNL $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 再分析格点资料,包括每隔 6 小时的 500 hPa 和 850 hPa 位势高度场,多层的纬向风、经向风、垂直速度和比湿以及地表气压,网格分辨率均为 $1.0^{\circ}\times 1.0^{\circ}$ (<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/>)。以上资料中,使用的时间段都是 2015 年 6 月 23 日 00 时至 2015 年 6 月 25 日 23 时,文中所有的时间为北京

收稿日期:2016-12-18

基金项目:四川省气象局科技研发课题资助项目(川气课题 2013-青年-03);四川省重点实验室科技发展基金资助项目(2017-青年-11)

时。

2 降水概况与环流形势

2.1 降水概况

图 1 给出了四川地区 2015 年 6 月 23 日 20:00–25 日 08:00(北京时,下同)的累计降雨量分布。从图中可以直观地看出,主要降水落区分布在四川东部,强降水中心雨量超过210 mm,降水带呈西南–东北走向,同时在西南部还存在一强降水中心,降水量超过90 mm。四川省气象台多次发布暴雨黄色预警,广元、达州、巴中、遂宁等地山洪、泥石流等灾害频发,此次降水过程引起的洪灾造成 3 人身亡,多处房屋道路被毁。

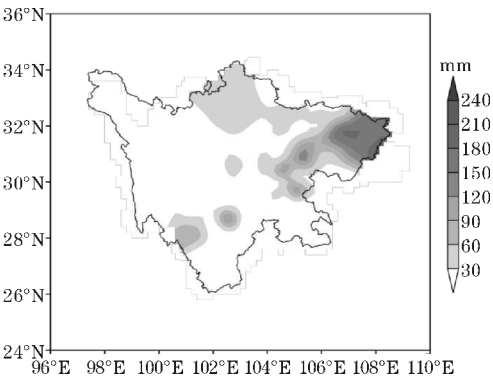


图 1 2015 年 6 月 23 日 18:00–25 日 08:00 四川地区
累计降水量的空间分布(单位:mm)

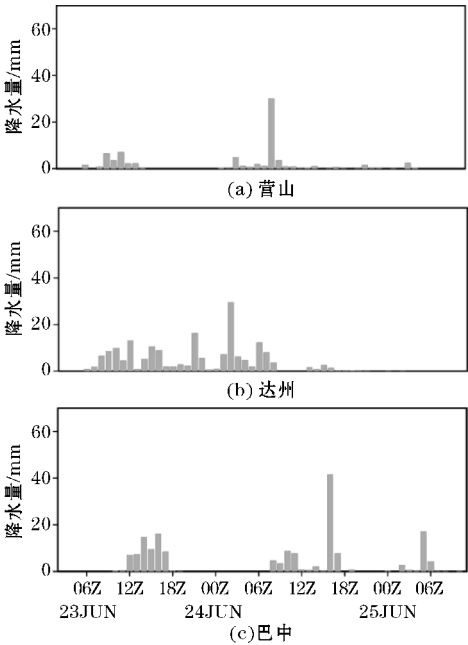


图 2 3 个代表站 2015 年 6 月 23 日 00:00–25 日 10:00 的
逐小时降水量演变图(单位:mm)

从达县和巴中等站降水的逐小时演变图可以看出,达县 1 小时的最大降雨量超过了40 mm,强度最

强。巴中 1 小时最大降水量也接近40 mm,虽然其暴雨强度不如达县,但降水时段从 23 日 08 时开始持续到 24 日 06 时,有连续数小时的降水超过了16 mm,持续时间比达县长,因此受灾也最为严重。营山和达县的降水时段主要包括 23 日和 24 日下午两个时段。这些结果都表明,此次降水过程,雨量大,强度强,持续时间长,降水落区集中等特点。

2.2 大气环流形势

23 日 08 时(图 3a),台风“鲸鱼”还未登陆,500 hPa上欧亚大陆高纬地区呈现的是两槽两脊型,巴尔克什湖(以下简称“巴湖”)附近有一低涡,贝加尔湖(以下简称“贝湖”)为低槽控制,高脊分别位于巴湖与贝湖之间,以及东亚沿岸,从巴湖低涡中心不断有短波槽分裂东移南下至四川盆地上空,被低纬地区的台风“鲸鱼”和西太平洋副热带高压所阻挡,形成倒“Ω”状的环流形势,因此四川盆地上空长时间为低槽控制,为持续性暴雨的发生提供了有利的环流条件。850 hPa 上在西太平洋副高与中纬度高脊之间有一切变线自东向西伸展至四川东部,与此同时台风倒槽东侧的东南气流一直伸展至四川地区,这有利于水汽和不稳定能量自南海向四川地区东北部聚集,此时在四川东北部广元、巴中等已开始有降水发生,每小时降水量平均在 20 mm左右(图 2)。

23 日 20 时(图 3b),“鲸鱼”已登陆并继续向西北方向移动,台风倒槽向北伸展到了四川盆地南部,此时倒槽东侧的东南气流加强,并与江淮区域两高之间的切变线相互作用,辐合增强并在四川地区东部形成了低涡,暴雨就发生在该低涡的中心以及东北侧。此时整个四川盆地开始大范围强降水,区域主要分布在四川盆地西南部和四川东北部。

24 日 08:00–20:00,台风中心已位于海南西北侧大陆上,西太平洋副热带高压也同时西伸北抬,促使江淮区域两高之间的切变线也随之北抬。但受到中纬度短波槽以及台风倒槽的影响,四川地区仍然处于低值系统控制,低涡继续维持。期间,达州等地的 1 小时降水超过了40 mm。25 日(图略),随着热带气旋的减弱,四川地区的强降水减弱并结束。

从此次降水过程的500 hPa环流形势(图 3)来看,这是一次典型的中低纬天气系统相互作用的过程,中高纬度短波槽东移南下,与台风“鲸鱼”以及西太平洋副热带高压相结合导致了此次暴雨的发生。主要的天气尺度影响系统包括,台风“鲸鱼”东侧的东南急流,西风槽以及西太平洋副热带高压,而直接造成暴雨的对流层低层的中尺度低涡环流。在中低纬度地区,在

南海中部形成的台风“鲸鱼”海南登陆,与西太平洋副热带高压在中国南方形成了西低东高的环流形势,加强了台风东侧的东南风,也进一步加强了南海上空向四川盆地的水汽输送,这对暴雨的强度影响至关重要。

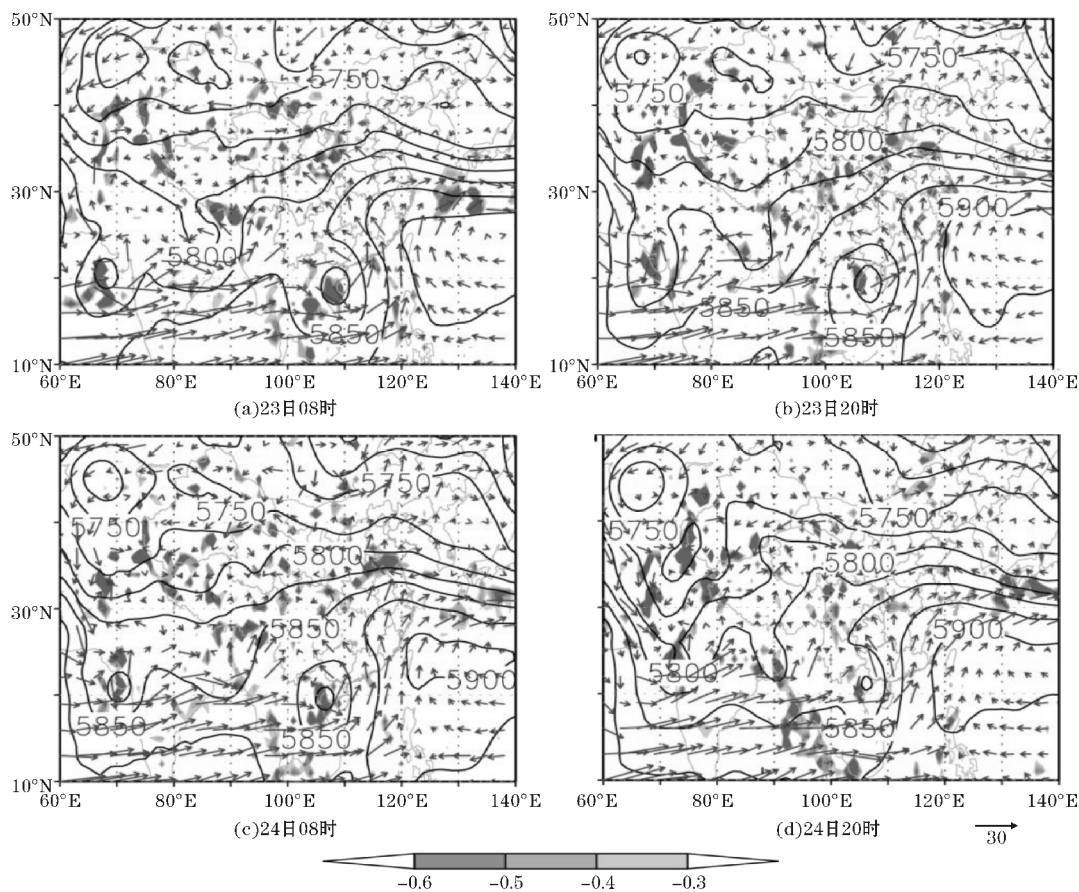


图 3 2015 年 23 日-24 日四川地区 500 hPa 高度场(等值线,单位:gpm)、垂直速度(阴影,单位:Pa·s⁻¹)和 850hPa 风场(矢量,单位:m·s⁻¹)

3 远距离影响下水汽的输送

朱洪岩等^[17]的研究表明,台风对非邻近地区降水的作用主要体现在其可通过水汽和能量的输送进而影响暴雨区的分布以及暴雨的强度。从图 4 所示的 2015 年 6 月 23-25 日平均的 850 hPa 水汽通量和水汽通量散度分布可以看出,“鲸鱼”对四川地区有着直接的水汽输送,该水汽通道从南海一直延伸至四川地区东部。与前面分析的环流形势一致,在台风“鲸鱼”倒槽的东南气流驱动下,源源不断的水汽从南海向四川输送,并且这种水汽输送随着“鲸鱼”的登陆以及逐渐向西北方向移动而更加明显。除了台风对四川地区南北向的水汽输送之外,孟加拉湾也有水汽输送,并且这些来自不同方向的水汽在四川西部以及东部地区汇聚,形成了强烈的水汽辐合中心(如图 4 中等值线所示),其辐合中心位置与图 1 所示的强降水中心一致。

为了进一步了解四川地区降水时段的水汽收支状况,对水平范围 26°N~34°N,98°E~110°E,垂直范围为 300~1000 hPa 的“箱体”进行水汽收支计算,规定北

和东边界水汽通量为负值则水汽流入,南和西边界水汽通量为正值则水汽流入,反之则为水汽流出,其结果如图 5 所示。在整个将水时段内,南边界和东边界始终为水汽流入,且从数值来看,主要的水汽也来自于南边界,这与台风外围气流的输送密不可分。从 23 日 20 时至 24 日 20 时整个区域为四个边界为净水汽流入,这表明该时段整个四川地区为水汽汇集区,与图 2 所示的降水最强时段也相对应。

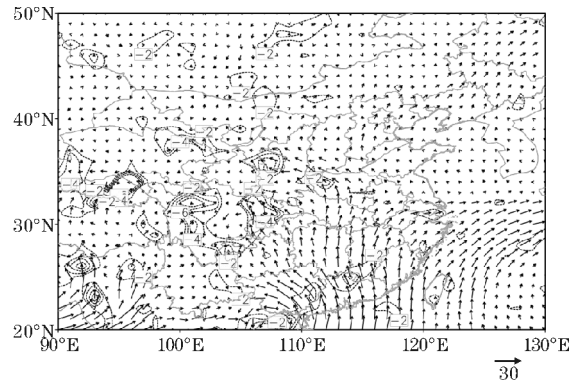


图 4 2015 年 6 月 23 日 08 时-25 日 08 时平均的 850 hPa 水汽通量(矢量,单位:10⁷·g·(cm·hPa·s)⁻¹)和水汽通量散度(等值线,单位:10⁻⁷·g·(cm²·hPa·s)⁻¹)

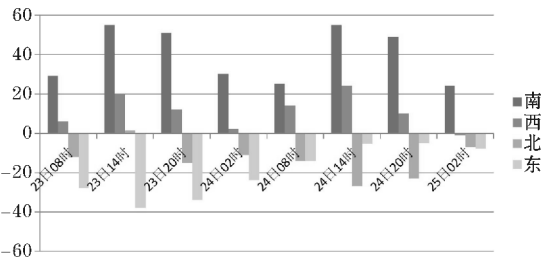


图5 2015年6月23日-25日通过四川地区(26°N~34°N,98°E~110°E)东、西、南、北4个边界垂直积分的水汽通量(单位: $\times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

4 中尺度低涡环流

暴雨的发生需要有利的大尺度环流形势,但直接造成暴雨的主要是中小尺度天气系统^[18]。上述分析表明,暴雨发生时,四川地区对应500 hPa上为低槽控制,在对流层低层台风为本次暴雨的产生提供了直接的水汽输送,对暴雨的强度起到了重要作用,而850 hPa

上中尺度低涡的生成是导致暴雨的直接环流系统,那么这个位于川东地区的低涡环流是如何生成、发展和维持的呢?

图6首先给出了2015年6月23-24日700 hPa的流场以及涡度分布。从图6(a)可以看出,23日08时,台风未登陆之前,重庆、湖北等地为西南气流控制,四川地区东部有一正涡度中心,与之对应有辐合环流,但未见闭合,而在850 hPa该地区为东南气流,结合低、中、高层可以看出风场随着高度呈顺时针变化,表明该地区有明显的暖平流以及垂直风切变。结合图2所示,500 hPa槽前有正涡度平流输送、低层切变辐合以及暖平流均有利于四川地区低层减压以及加强气旋性涡度。赵思维等^[19]的研究表明川东和重庆区域的边界层顶在850 hPa高度左右,边界层摩擦作用有利于低层东南风的气旋性涡度增强,因此低层台风倒槽东侧的东南急流不仅对四川地区起到了水汽的输送作用,而且有助于形成能造成暴雨的低涡系统。

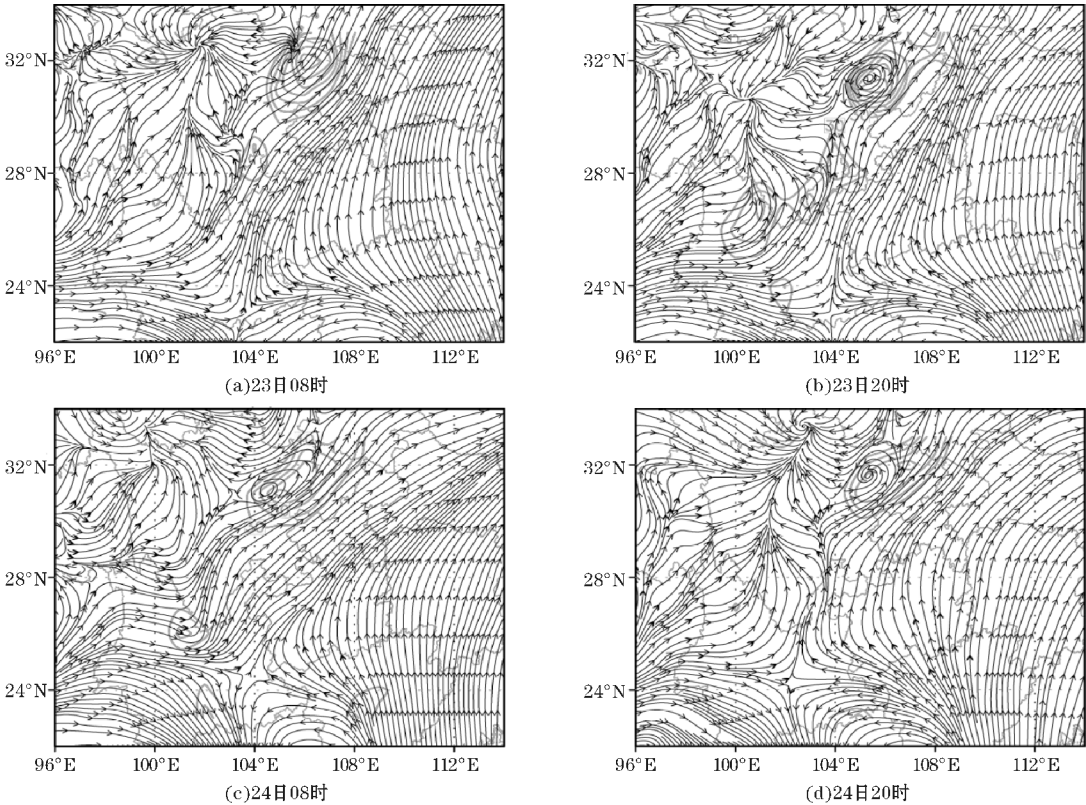


图6 2015年6月23-24日700 hPa的流场和正涡度分布(等值线,单位: 10^{-5} s^{-1})

随着台风登陆,四川东部正涡度中心增强,川东地区有一低涡生成,中心位于(31°N,106°E),该低值环流为一 β 中尺度低涡系统(图6b)。图7给出了暴雨时段卫星云图的TBB分布,这可以反映出中尺度系统的演变。结果如图7(a~d)所示,在23日20时四川盆地东南部遂宁等地已有中尺度对流云团正在发展,云团的中心位置变化不大,范围随着时间向东北方向扩展,随后在四川东部达州等地有新的对流云团生成,两个中尺度对流云团同时发展加强,可见与低涡相关的中尺度对流云团是暴雨的重要影响系统。从图8

(a)和(b)所示的涡度经向和纬向-垂直剖面图可知,20时低涡中心的正涡度已向上发展到了接近200 hPa,纬向上随高度向东倾斜,经向上随高度则同时向北和向南倾斜,其中向南倾斜更加明显,这进一步说明,在台风“鲸鱼”东侧东南气流和700 hPa西南暖湿气流的共同作用下,有源源不断的水汽和能量向该低涡输送,从而加强该区域的层结不稳定和低层扰动动能,促使 β -中尺度低涡发展,而涡度的向北倾斜也表明,中纬度西风槽前的正涡度平流对该低涡的发展也起到了动力作用。

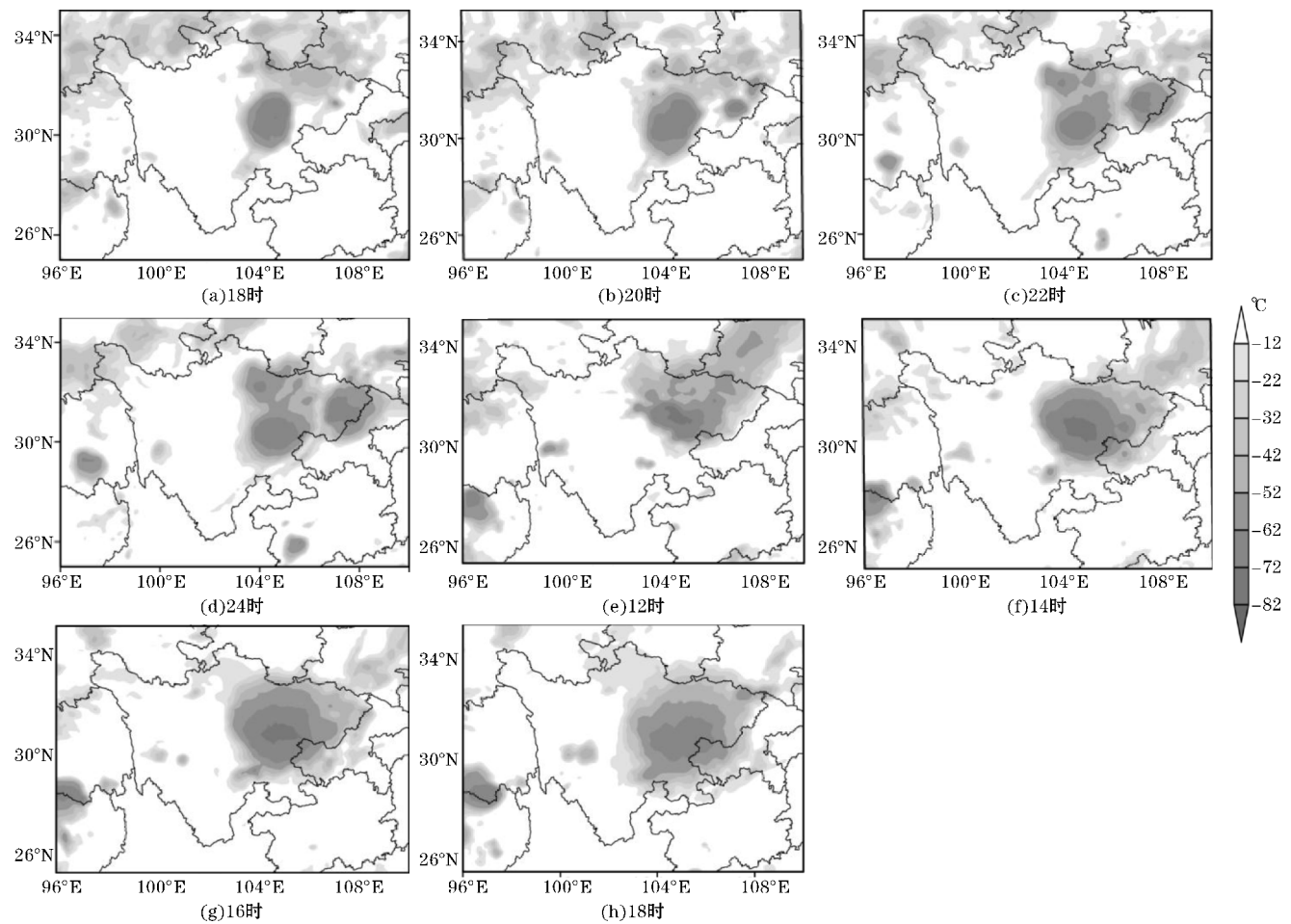


图7 2015年6月23日18:00–24:00及24日12:00–18:00暴雨时期四川地区TBB每两小时的空间分布(单位:℃)

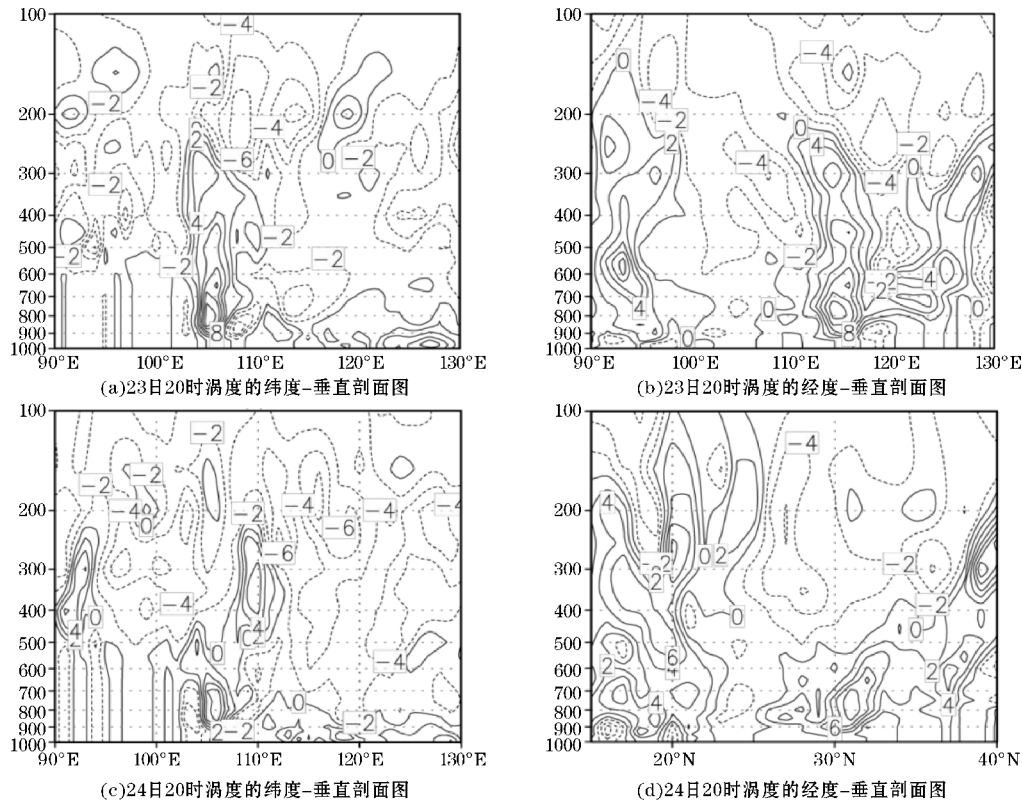


图8 沿着暴雨中心(31°N,106°E)6月23日20时及24日20时涡度的纬度-垂直剖面图和经度-垂直剖面图(单位: 10^{-5}s^{-1})

24日(图6c和d),低涡环流继续发展并维持在四川东部地区。对应图7(e-h),可以看到在24日12-18时,有一强对流云团再次在四川东部生成,并且范围不断扩大成为一中 α 尺度的对流云团,造成川东地区再次强降水。从图8(c)、(d)可知,24日在川东地区对流层中高层的涡度增强,中心向东偏移,更加向北倾斜。杨晓霞等^[20]的研究表明,当对流层低层和中高层的正涡度同时加强时,容易发生暴雨。

从以上分析可以得出,本次持续性暴雨过程的直接环流系统是川东地区生成并稳定少动的中尺度低涡系统。而该系统的形成离不开中高层西风槽的正涡度平流输送,更离不开台风倒槽东侧东南低空急流对低涡区水汽的输送,以及气旋性涡度的提供。而该低涡系统的发展与维持,与台风以及副热带高压的阻挡作用密不可分。

5 结论

此前的研究表明台风与西南低涡相互作用可造成四川东南部地区暴雨^[12-15],通过分析2015年6月23-25日四川地区的暴雨过程发现,以西北路径登陆的台风可与中纬度短波槽以及副热带高压相互作用导致川东地区发生暴雨,具体分析这一类台风远距离影响的环流形势以及物理机制,得到以下主要结论:

(1)此次四川地区暴雨过程是在中高纬“两槽两脊”的大尺度环流背景下,台风“鲸鱼”的远距离暴雨过程。巴湖冷涡不断有短波槽分裂东移,并引导干冷空气南下,同时在台风倒槽东侧的东南气流与江淮切变线共同作用下,对流层低层低涡系统的生成是导致暴雨的直接环流。

(2)台风“倒槽”东侧东南气流和西太平洋副高西北侧西南气流的共同作用下,形成了从南海到四川的一条南北向水汽通道,源源不断的向暴雨区提供水汽,不仅增加了降水的强度,同时对低涡系统的暖湿结构起到了维持作用。

(3)对流层中层的西风槽,配合低层台风东侧的东南急流,导致四川地区辐合且气旋性涡度增强,形成中尺度低涡。而四川地区处于台风倒槽顶部,其东侧的东南低空急流为四川地区低涡系统的维持提供了正涡度,由于副高的阻挡而稳定在四川东部地区,造成持续暴雨。

参考文献:

- [1] 卓嘎,谢金南,马镜娴. 登陆台风与我国降水的统计关系[J]. 高原气象,2000,19(2):260-264.
- [2] 陈联寿. 热带气旋研究和业务预报技术的发展[J]. 应用气象学报,2006,17(6):673-681.
- [3] 单磊,谭桂容,姚叶青,等. 一次台风远距离暴雨水汽条件及输送过程研究[J]. 热带气象学报,2014,30(2):353-360.
- [4] 李明,高维英,杜继稳,等. 远距离台风影响下的陕西大暴雨分析[J]. 干旱区研究,2011,28(3):514-523.
- [5] 朱明,夏金. “苏拉”台风倒槽引发鄂西北特大暴雨的诊断分析[J]. 高原山地气象研究,2015(1):74-79.
- [6] 武麦风,王桂梅,曹玲玲,等. 台风“洛克”远距离引发陕西暴雨过程的成因分析[J]. 高原气象,2014,33(5):1297-1304.
- [7] Zhao Yu, Cui Pengguo, Wang Jianguo. A study on a heavy rainfall event triggered by an inverted typhoon trough in Shandong province [J]. Acta Meteor. Sinica,2009,32(4):468-484.
- [8] Minhee L, Changhoi H, Joohong K. Influence of tropical cyclone landfalls on spatiotemporal variations in typhoon season rainfall over South China [J]. Advances in Atmospheric Sciences,2010,27(2):443-454.
- [9] Ying, WANG, JiZhi, et al. Study on wavy distribution of rainfall associated with typhoon Matsa (2005) [J]. Science Bulletin,2007,52(7):972-983.
- [10] Huang, Weiqi, Wang Ju, Huang Hong, et al. Study of Helicity in Typhoon Rainfall Regions—A Case Study of Typhoon “Muifa” [J]. Meteorological & Environmental Research,2016(1):10-13.
- [11] Gao Shuanzhu, Lv Xinya. Diagnostic analysis on the distribution of rainfall associated with typhoon “molave” (0906) [J]. Journal of Tropical Meteorology,2012(2):220-227.
- [12] 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.
- [13] 周国兵,沈桐立,韩余. 台风对西南低涡影响的数值模拟与诊断个例分析[J]. 气象科技,2006,26(6):620-626.
- [14] 李强,刘德,王中,等. 一次台风远距离作用下的西南低涡大暴雨个例分析[J]. 高原气象,2013,32(3):718-727.

- [15] 康岚,郝丽萍,罗玲,等. 1002 号台风对四川盆地大暴雨的影响分析[J]. 热带气象学报, 2013,29(1):169-176.
- [16] 康岚,牛俊丽,徐琳娜,等. 台风对四川暴雨影响的环境场对比分析[J]. 气象,2013,39(4): 427-435.
- [17] 朱洪岩,陈联寿,徐祥德. 中低纬度环流系统的相互作用及其暴雨特征的模拟研究[J]. 大气科学,2000,24(5):669-675.
- [18] 陈钟明,缪强,闵文彬. 一次强烈发展西南低涡的中尺度结构分析[J]. 应用气象学报,1998,9(3):273-282.
- [19] 赵思雄,傅慎明. 2004 年 9 月川渝大暴雨期间西南低涡结构及其环境场的分析[J]. 大气科学,2007,31(1):1059-1075.
- [20] 杨晓霞,蒋义芳,胡顺起,等. 2009 年“8.17”鲁南低涡暖式切变线极强降水分析[J]. 暴雨灾害,2013,32(6):224-234.

The Long-distance Influence of Typhoon “Kujira” on the Heavy Rainfall in Sichuan

WANG Qin

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307)

Abstract: To study the long-distance influence of typhoon “Kujira” on the heavy rainfall in Sichuan province, conventional observation data, the hourly precipitation data of 153 stations in Sichuan and the FNL $1^{\circ} \times 1^{\circ} 6$ h reanalysis data are used to analyze the circulations and quantities when the 8th typhoon “Kujira” landed. The results show that: (1) Different with the interaction of typhoon with the southwest vortex, this heavy rainfall is caused under the background of short-wave trough in mid-high latitude together with the typhoon and west Pacific subtropical high (WPSH). (2) The east flow of the inverted trough of typhoon closely connects with the low level southwest jet of WPSH, constituting the water vapor channel from the South China sea to Sichuan, which provides huge instability energy for the heavy rainfall. (3) The trough over the 500hPa interacted with the Southeast jet of the typhoon over the 850 hPa, providing positive vorticity and convergence in the low level for the formation of the vortex. At the meantime, the typhoon and WPSH halts the movement of the vortex, which causes continuous rainstorm.

Keywords: meteorology; weather analysis; typhoon; vortex; heavy rainfall; β -mesoscale system