DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2020.04.006

谭震[1,2,3] 梁梅[1,2,3] 薛宇峰[1,2,3] 徐建军[1,2,3] 徐峰[1,2,4]

1909 号超强台风“利奇马”强降水特征的诊断

摘要

基于 TRMM 卫星降雨资料、MERRA-2 卫星位势高度、风速、垂直速度等资料，对 1909 号台风“利奇马”的移动特征及其引发浙江、江苏、山东等地暴雨进行诊断分析.分析结果发现，台风“利奇马”是北上型台风，移动路径主要受副高与 1910 号台风“罗莎”等系统影响.在北上的过程中，由于台风倒槽与西风槽携带的冷空气配合，且存在大量不稳定能量，引发了此次强降水过程.此外，低空急流及西风槽为降水提供了良好的动力上升条件，南海西南季风与台风“罗莎”是台风“利奇马”充沛的水汽与能量来源，为暴雨提供了良好的水汽条件.

关键词

“利奇马”台风；台风降雨；北上台风；西风槽

中图分类号 P444

文献标志码 A

收稿日期 2020-05-06

资助项目 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)资助项目(ZJW-2019-08)；中国科学院战略性先导科技专项(XDA20060503)；广东省基础与应用基础研究基金(2019B1515120018)；广东省普通高校青年创新人才项目(2016KQNCX061)；国家重点研发计划(2018YFC1506902)；广东海洋大学“冲一流”学科建设科研项目(231419022)；海洋与气候变化人才培养和创新团队(002026002002)

作者简介

梁梅(通信作者)，女，博士生，主要从事海台风生成预报机理与强度变化的研究. liangmei@gdou.edu.cn

薛宇峰(通信作者)，男，硕士，副教授，主要研究方向为数值预报及天气诊断. xueyf@gdou.edu.cn

1 南方海洋科学与工程广东省实验室，湛江，524088

2 广东海洋大学 南海海洋气象研究院，湛江，524088

3 广东海洋大学 海洋与气象学院，湛江，524088

4 广东海洋大学 科技处，湛江，524088

0 引言

台风灾害大多数是由于其带来的狂风暴雨造成的，因此，台风暴雨的研究与预报一直是学界关注的重点问题之一.由于环流形势等诸多因素影响台风暴雨的落区，不同的台风过程产生的暴雨落区不大相同，比如：0604“碧利斯”由于高压系统与西南气流的作用导致暴雨区在台风西南侧[1]；1212“达维”由于低空暖湿气流输送带与不稳定能量作用导致降水出现在台风东部[2]；1307“苏力”因环流西北风与西南风汇流形成的辐合以及高温高湿不稳定气团使暴雨主要出现在台风南侧[3].关于台风暴雨落区，Hughes[4] 和 Jordan[5] 研究了相对于台风坐标的风雨分布，给出了计算台风不同象限的总降水量分布的方法；陈联寿等[6] 阐述了台风暴雨落区影响因子主要分为三类：台风涡旋环流内的结构特征、台风周围环流和天气系统影响、台风环流下垫面地形强迫作用.台风进入中纬度地区后，会受到中纬度西风带系统和冷空气的影响，比如此次“利奇马”台风受到了冷空气的影响.有研究表明[7]，冷空气入侵台风外围可以大幅度增加其外围及倒槽的降水，但入侵到台风中心附近又会造成中心附近降水明显减少.李英等[8] 指出，台风周围干冷空气侵入会破坏台风内核暖心结构，其带来的影响分为两类，一是可造成“空心”台风，使内核暴雨消失或减弱，二是可能使台风变性，通常会使暴雨落区扩大.比如 9711 号“Winnie”与 1818 号“温比亚”[9] 的暴雨都是由冷空气作用导致的.可见，冷空气对台风降水的影响变化既重要也复杂.除冷空气外，地形对台风降雨也有影响.张建海等[10] 分析浙江地形与台风“Khanun”降水的关系时，指出随着地形增高，降水增加，地形降低，降水减弱，地形对暴雨的增幅作用十分明显.

参考前人对台风降水的分析[1,11-12]，本文主要对台风“利奇马”对浙江中南部至山东中部地区造成暴雨进行分析.形成降水主要是要具备充足的水汽条件、上升条件和较长的持续时间[13]，所以本文主要从动力条件、热力条件、水汽条件这三方面来分析此次台风暴雨的成因.

1 “利奇马”及降雨概况

1909 号台风“利奇马”(Lekima)是 2019 年影响我国最强的台风，具有登陆强度强、陆上滞留时间长、风雨强度大、影响范围广、灾害影响重等特点.如图 1 所示，台风“利奇马”于 2019 年 7 月 29 日在菲律

宾以东洋面上生成,8 月 6 日加强为强热带风暴,8 月 7 日升级为台风,于 10 日 1 时 45 分(北京时,下同)在浙江省温岭市城南镇沿海登陆,登陆时中心附近最大风力达 16 级(52 m/s),中心最低气压为 930 hPa.而后在 8 月 11 日 20 时 50 分许在山东省青岛市黄岛区沿海再次登陆,登陆时中心附近最大风力达 9 级(23 m/s),中心最低气压 980 hPa.8 月 15 日在渤海消散.

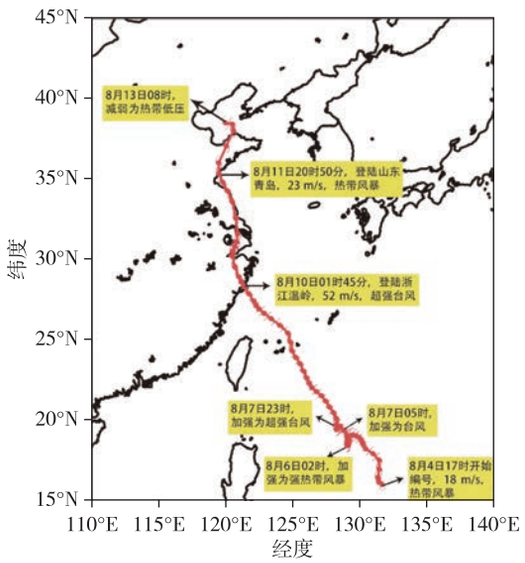


图 1　1909 号台风“利奇马”从生成到消亡的移动路径

Fig. 1　The track of typhoon Lekima

根据中央气象台网站发布的信息,受东移西风槽后冷空气与 1910 号台风“罗莎”共同影响,“利奇马”登陆后给浙江、江苏、山东、河北、天津、辽宁、吉林等地带来了大范围降水.由图 2、图 3 可知,降雨主要出现在台风北部,其中浙江东部沿海地区及山东中南部地区雨势最大.受此次强降水影响,上述省区相继出现了严重的洪涝灾害,其所造成的过程降雨强度位列山东历史第一、浙江历史第二.

因此,本文将从动力条件、热力条件以及水汽条件对台风登陆后造成暴雨进行诊断.由于降雨主要集中在浙江东部沿海及山东中部,所以以下主要分析这两个区域 10 日 08 时、10 日 20 时、11 日 08 时、11 时 20 时的物理量特征.

2　资料与方法

文中采用的资料来自美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration,NASA)戈达德地球科学数据和信息服务中心(https://disc.gsfc.nasa.gov/)的热带降雨测量任务卫星(Tropical Rainfall Measuring Mission,TRMM),分辨率为0.25°×0.25°,时间分辨率为 3 h,采用 TRMM_3B42 和 24 h 3B42RT_Daily 累积降水这两种产品资料.现代的分析与回顾性分析研究与应用卫星(The Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2,MERRA-2),是 NASA 为卫星时代提供的大气再分析资料,覆盖天气和气候时间尺度与水循环相关领域,分辨率为 0.5°×0.625°,选取位势高度、相对湿度、比湿、垂直速度等气象要素分析.台风路径数据来自美国 NOAA 国家环境信息中心(National Centers for Environmental Information, NCEI)的 IBrACS(International Best Track Archive for Climate Stewardship)数据.

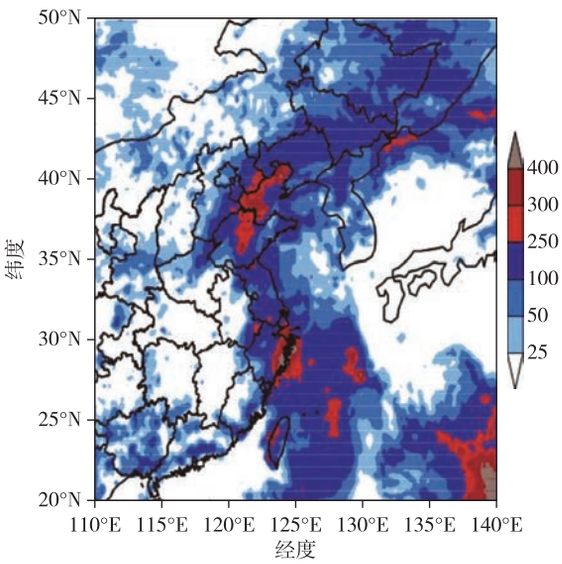


图 2　2019 年 8 月 8 日 08 时—13 日 08 时降水总量(单位:mm)

Fig. 2　Total precipitation from 08:00 of Aug.8 to 08:00 of Aug.13,2019 (unit:mm)

分析方法主要采用天气动力学诊断分析方法,包括对动力、热力、水汽条件进行诊断分析.

3　台风倒槽、西风槽及急流等环流场

在 500 hPa 上,副热带高压(以下简称“副高”)是影响台风路径的重要因子之一,中高纬度西风槽携带的冷空气会影响台风降水,所以在此主要分析副高和中高纬度西风槽对台风“利奇马”的影响.10 日 08 时,台风中心位于浙江省境内,500 hPa 上空中高纬度主要呈“两脊一槽”分布(图 4a),西风槽位于我国内蒙古中部,西侧脊位于内蒙古西部,东侧脊位

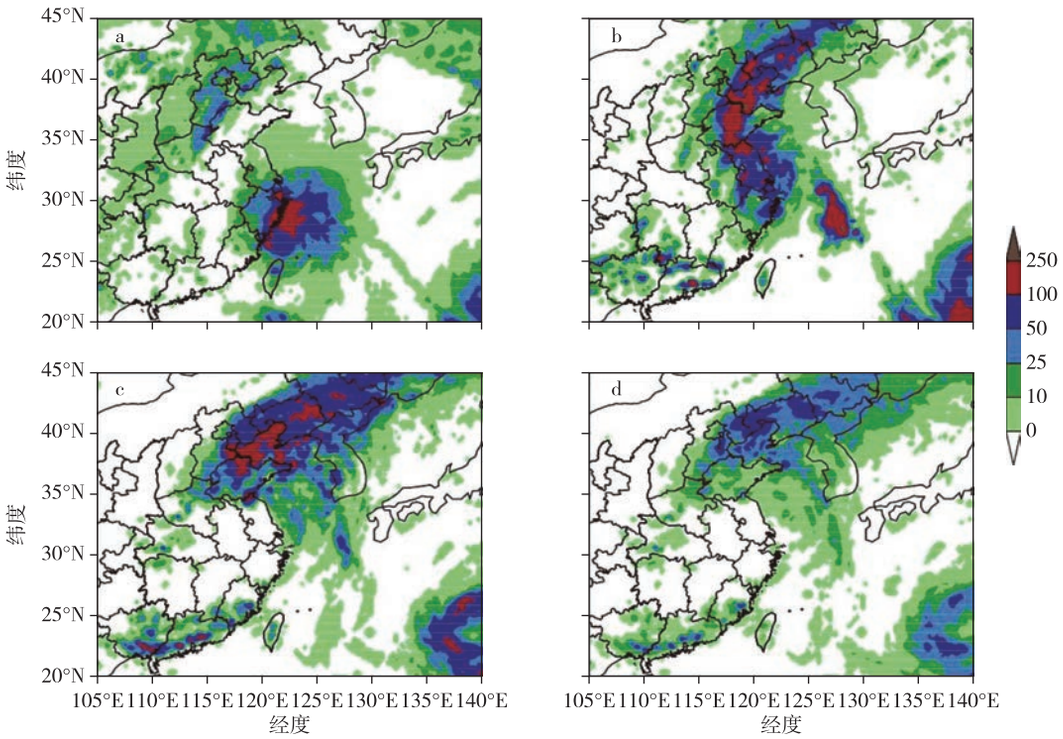


图 3　2019 年 8 月 8 日—12 日逐日(24 h)累积降雨量(单位:mm)

(a)8 日 08 时—9 日 08 时;(b)9 日 08 时—10 日 08 时;(c)10 日 08 时—11 日 08 时;(d)11 日 08 时—12 日 08 时

Fig. 3　The 24-hour (08:00 to next 08:00) accumulated rainfall from Aug.8 to Aug.12 of 2019 (unit:mm),

(a) Aug.8 to Aug.9,(b) Aug.9 to Aug.10,(c) Aug.10 to Aug.11,and (d) Aug.11 to Aug.12

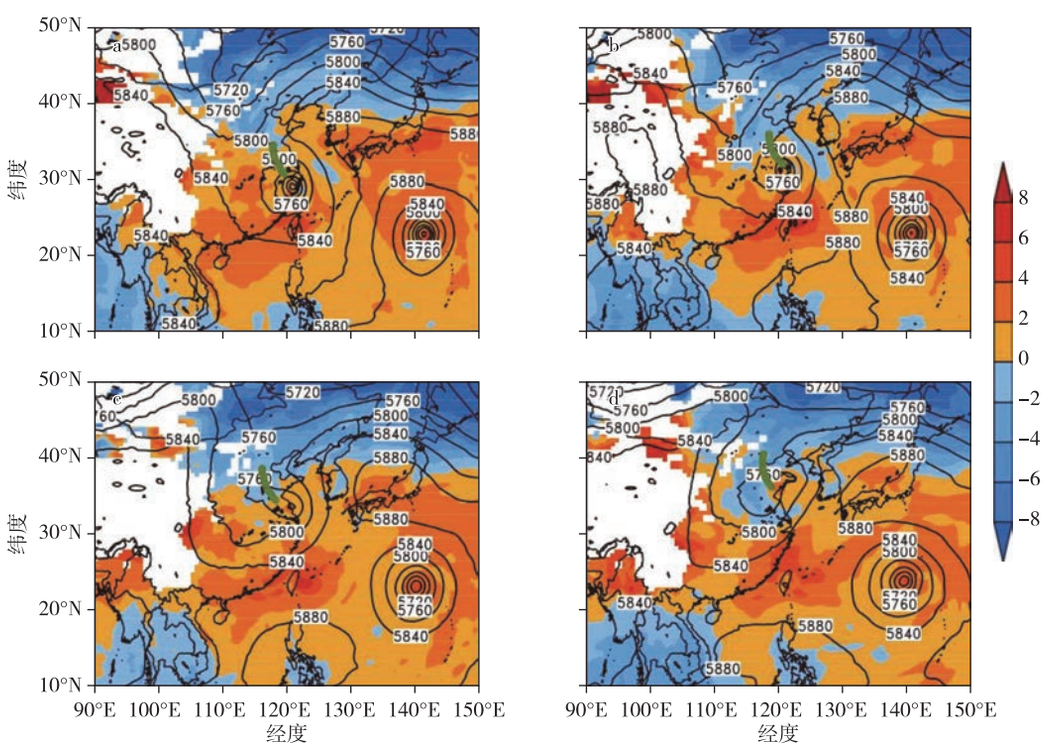


图 4　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时 500 hPa 位势高度(黑线,单位:gpm)、槽线(绿线)和 850 hPa 温度距平(阴影,单位:℃).(a)10 日 08 时;(b)10 日 20 时;(c)11 日 08 时;(d)11 日 20 时

Fig. 4　Geopotential height (contour,unit:gpm) at 500 hPa,trough line (green line) and temperature anomaly at 850 hPa (shaded,unit:℃) at (a) 08:00 of Aug.10,(b) 20:00 of Aug.10,(c) 08:00 of Aug.11,and (d) 20:00 of Aug.11,2019

于我国东北地区,副高主体位于125°E以东区域,在副高东南侧为正在发展的10号台风“罗莎”(Krosa).“罗莎”与“利奇马”将副高挤压,使副高在10°~30°N呈南北较窄的条状分布.副高南侧的西南气流与“罗莎”北部东南气流交汇形成“利奇马”强劲的东南气流,并向我国输送.在850 hPa温度距平上,“利奇马”台风的西北侧为负的温度距平,说明在内蒙古中部的西风槽槽后的冷空气开始向南渗透.此时浙江、上海、江苏南部等地的降雨主要是由台风北部倒槽引起的,在倒槽附近出现明显的强降水.10日20时,由于受到副高西侧偏南风和西风槽前西南气流影响,“利奇马”缓慢北上,此时中心位于江苏省境内.西风槽东移变窄,原来带状分布的副高分裂为南北两个副高.随着西风槽东移,温度负距平范围也向南延伸,冷空气继续南下.向北延伸台风倒槽与南下的冷空气结合,在江苏与山东形成强降水.11日08时,西风槽缓慢东移,副高相应东撤,脊线东退到130°E,西风槽一分为二为南北两支槽.“利奇马”逐渐并入南支西风槽,使槽加深,范围扩大.西风槽加深,使更多的冷空气渗透到台风倒槽区域,此时倒槽位于山东地区,造成山东地区的降水明显增强.11日20时,“利奇马”位于黄海北部,即将二次登陆青岛.从图4d温度场可以看出,大量的冷空气已经渗透到“利奇马”的东侧与南侧,此时降雨主要分布在山东与河北的倒槽附近,江苏的降雨趋于结束.副高和大陆高压脊分别稳定维持在日本列岛和内蒙古中西部地区,西风槽东移至东北地区.台风环流位于山东半岛,在高度场上形成较为稳定的鞍形场,使台风登陆后在莱州湾回旋,随后冷空气不断填塞台风低压,台风“利奇马”在13日减弱为低压环流最终消失.

在天气学中[13],将850 hPa或700 hPa等压面上,风速≥12 m/s的西南风极大风速带定义为低空急流.当台风在副高西南侧生成时,也可出现东南向的低空急流,暴雨的产生与低空急流有密切的关系.由图5可知,从10日08时到11日20时,850 hPa上的低空急流范围大体上维持不变,在台风东侧始终存在大范围的急流区.10日08时,“利奇马”东侧在一条自孟加拉湾和南海到黄海的急流带,并且在台风东侧分为上下两个较强的急流区域;到10日20时,台风东侧的急流明显消退,台风中心与东侧两个强急流区内风速也有所减小;到11日08时,台风东侧下部的急流区已经减弱甚至消失,但台风北侧的东风急流区有所增强,若水汽充足,则会使水汽输送加强.此时台风西侧急流较10日有所增强,较强的偏北风说明西风槽槽前冷空气被大量地输送进台风内部,增加了降雨区的大气不稳定,更易形成强对流天气.台风中心及附近的降水受台风自身辐合影响较大,在急流区左侧出现了暴雨.而北部降雨主要受西风槽槽前与急流共同影响,造成强烈辐合,为强降水提供有利的条件,从而也造成东北等地的强降雨.11日20时,台风东侧急流区范围明显缩小,强急流区主要位于渤海.此时台风强度减弱为热带风暴级,降雨主要出现在山东与东北地区,浙江与江苏的降水趋于结束.

从形势图上看,此次降雨过程主要是由于台风倒槽与冷空气的作用形成的.台风登陆后,前期降雨主要是由于台风倒槽引起的,后期降雨主要是由于台风倒槽与对流层中底层的冷空气结合引起的.

4 动力及热力条件的诊断

4.1 相对涡度场

孙兴池等[14]发现,台风进入中纬度后与西风系统作用,会出现涡度的不对称分布,暴雨与正涡度相对应.涡度场上,10日08时,我国东南沿海一带主要呈现正涡度区分布,其中涡度大值区主要位于浙江中部,中心可达到60×10^{-5} s^{-1}.随着台风北移,正涡度区也不断向北部扩展,强度随着台风减弱而减弱.10日20时,涡度大值区中心位于江苏与浙江交界处(图6),山东中部开始出现小范围的正涡度区,此时该区域逐渐受到台风倒槽与冷空气的影响,降水开始增强.11日08时到20时,山东境内的正涡度区逐渐扩大,11日20时青岛附近出现涡度大值中心,可达30×10^{-5} s^{-1},山东境内降雨明显增强.

涡度大值区随着台风北上而向北移动,与台风结构分布有关,且涡度大值区对应出现暴雨.暴雨区上空低层是正涡度的大值区域,表明暴雨地区大气低层有很强的辐合上升运动(图3、图6).

4.2 不稳定能量

暴雨的形成除了强烈的上升运动以外,还需要不稳定能量的释放.假相当位温是表示温度和水汽的综合性物理量,当对流层低层出现高假相当位温区时,可以形成强的对流不稳定,造成强降水.本文分别选取对应时刻台风中心位置所在经纬度的经向和纬向剖面图(120.7°E,29.1°N;120.4°E,30.8°N;120.5°E,33.6°N;119.5°E,36°N),如图7和图8所示.

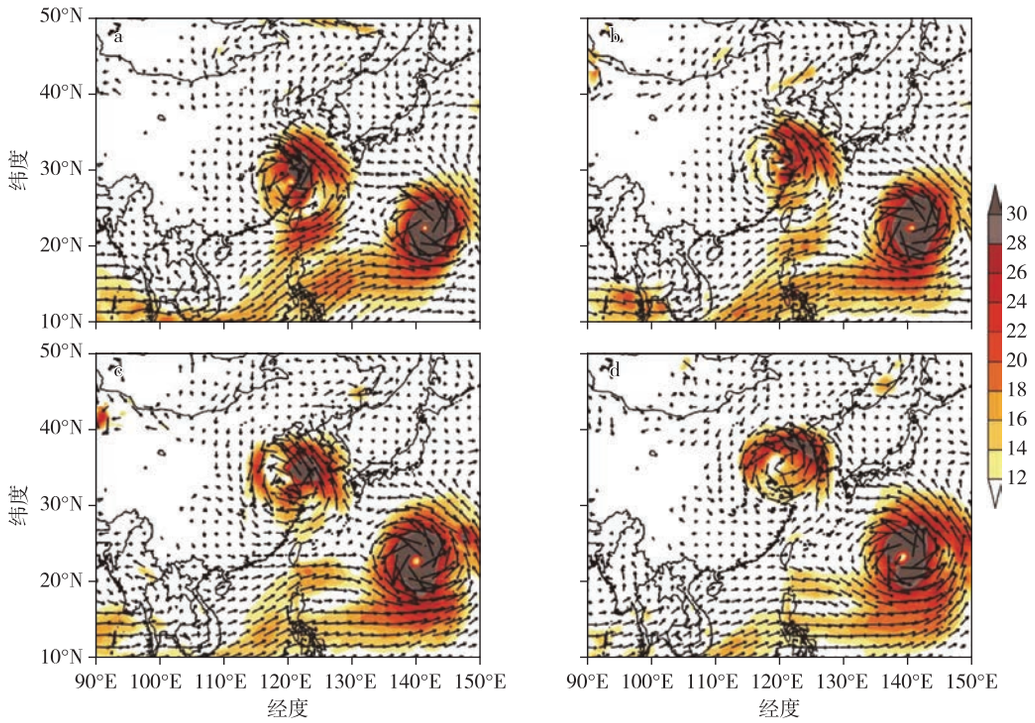


图 5　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时 850 hPa 流场(箭头,单位:m/s)、850 hPa 急流区(阴影,单位:m/s).
(a)10 日 08 时;(b)10 日 20 时;(c)11 日 08 时;(d)11 日 20 时

Fig. 5　Flow field (arrow,unit:m/s) and jet stream area (shaded,unit:m/s) at 850 hPa at (a) 08:00 of Aug.10, (b) 20:00 of Aug.10,(c) 08:00 of Aug.11,and (d) 20:00 of Aug.11,2019

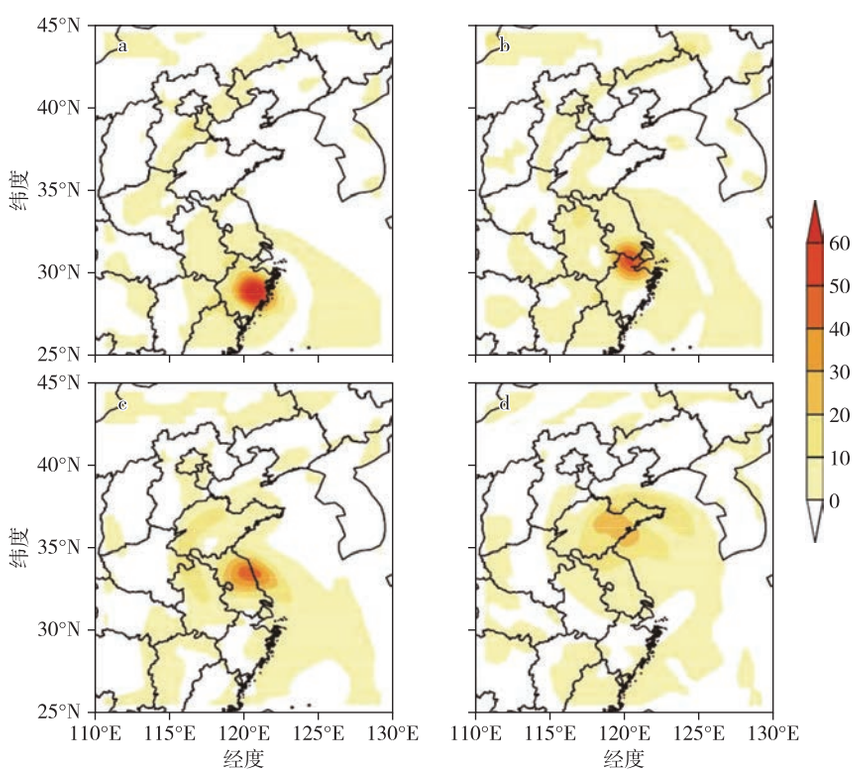


图 6　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时 850 hPa 涡度场(阴影区,单位:10^{-5} s^{-1})
(a)10 日 08 时;(b)10 日 20 时;(c)11 日 08 时;(d)11 日 20 时

Fig. 6　Relative vorticity field (shaded,unit:10^{-5} s^{-1}) at 850hPa at (a) 08:00 of Aug.10, (b) 20:00 of Aug.10,(c) 08:00 of Aug.11,and (d) 20:00 of Aug.11,2019

由图7和图8可知,在台风北部和西部始终存在一个假相当位温小于350 K的低能量区,不稳定能量主要集中在台风中心及其附近上空,大气在500 hPa以下拥有大量的不稳定能量,不稳定能量经向比纬向明显.10日08时—11日08时,在"利奇马"影响的区域,假相当位温线密集,500 hPa以下的对流层中低层都维持较高的假相当位温,绝大部分区域超过360 K,图7b在对流层800~900 hPa还出现了375 K以上的假相当位温区高值区.从图中还可以发现,从10日08时至11日20时,台风影响区域假相当位温经历了从高变低的过程,在10日20时,纬向和经向的不稳定能量达到最大,其中经向最大,在800 hPa以下还出现了东西范围较大的不稳定能量高值区;在11日20时,纬向和经向的不稳定能量最弱,高度缩减到500 hPa.总体上,在暴雨区上空500 hPa对流层中低层在这期间内始终保持着强烈的不稳定性,大气层结的不稳定能量得到很大聚集(图3、图7).

通过图7和图8的垂直速度高度-纬度和经度剖面图,可以发现在台风中心附近200 hPa以下对流层中低层都处于上升速度大值区,上升运动明显,其中纬向的垂直速度比经向大.10日08时,台风上升运动强烈,从地面到100 hPa都处在上升运动区域.在纬向剖面图中,上升速度大值中心位于400~500 hPa,中心速度可达-1.2 hPa/s,同时在台风前部出现了一个较弱的上升区,高度可达200 hPa,这是由台风倒槽引起的上升运动;经向上升速度在500和300 hPa分别存在一个大值区.10日20时—11日08时,纬向上升速度增强,中心在600 hPa.在11日08时,台风中心速度区范围增大,达250~500 hPa,台风前部的上升速度增强到-1.8 hPa/s,此时山东地区(35°~40°N)的降雨明显增强.到了11日20时,台风的上升速度明显减弱,台风前的上升区消失.经向上升区则随着台风北移而减弱,在11日20时,台风中心上空出现了大范围较弱的下沉区,上升区主要分布在台风东西两侧且强度较弱.纬向上升区自

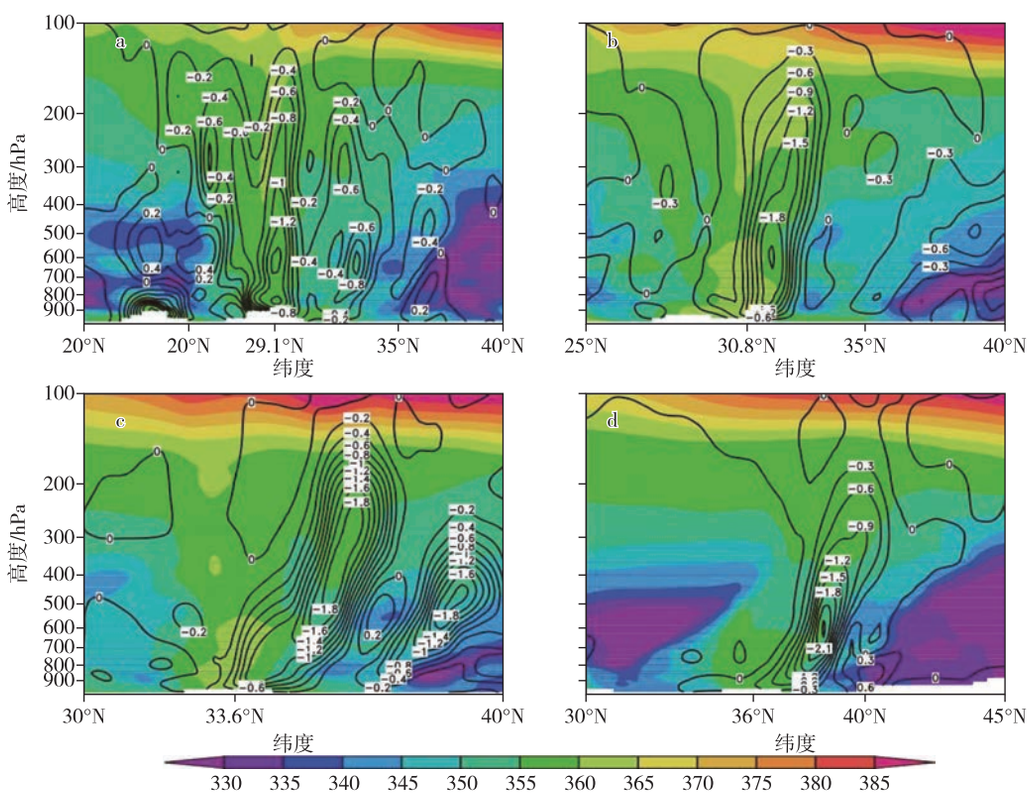


图7 2019年8月10日08时—11日20时假相当位温的高度-纬度剖面图(阴影,单位:K)和垂直速度高度-纬度剖面图(等值线,单位:hPa/s).(a)沿120.7°E剖面,10日08时;(b)沿120.4°E剖面,10日20时;(c)沿120.5°E剖面,11日08时;(d)沿119.5°E剖面,11日20时

Fig.7 Cross sections of potential pseudo-equivalent temperature (shaded,unit:K) and vertical velocity (contour,unit:hPa/s) along (a) 120.7°E at 08:00 of Aug.10,(b) 120.4°E at 20:00 of Aug.10,(c) 120.5°E at 08:00 of Aug.11,and (d) 119.5°E at 20:00 of Aug.11,2019

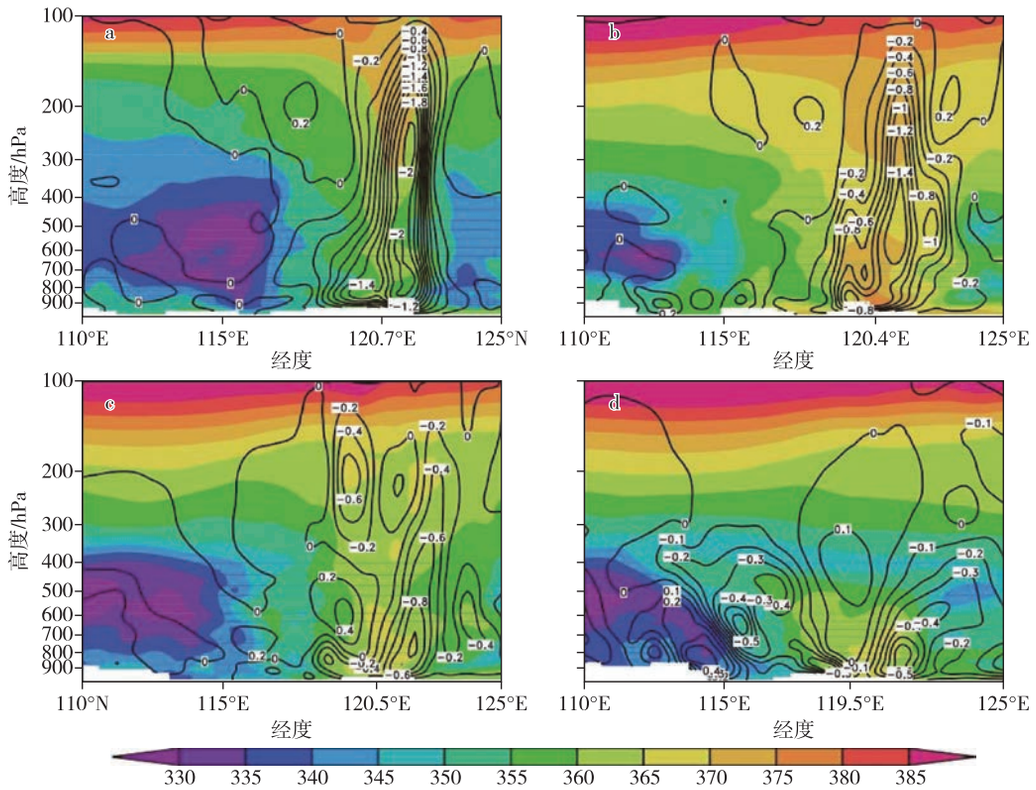


图 8　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时假相当位温高度-经度剖面图(阴影,单位:K)和垂直速度高度-经度剖面图(等值线,单位:hPa/s)(a)沿 29.1°N 剖面,10 日 08 时;(b)沿 30.8°N 剖面,10 日 20 时;(c)沿 33.6°N 剖面,11 日 08 时;(d)沿 36°N 剖面,11 日 20 时

Fig. 8　Zonal sections of potential pseudo-equivalent temperature (shaded,unit:K) and vertical velocity (contour,unit:hPa/s) along (a) 29.1°N at 08:00 of Aug.10,(b) 30.8°N at 20:00 of Aug.10,(c) 33.6°N at 08:00 of Aug.11,and (d) 36°N at 20:00 of Aug.11,2019

低层到向高层向北倾斜,除了在台风中心有强上升区运动外,在台风中心前部也存在较强的上升运动;经向上升区则随着台风北移上升运动逐渐减弱.

在台风“利奇马”移动过程中,台风中心存在大量不稳定能量且上升速度最大.不稳定能量的聚集,如果此时有大量的水汽不断汇入,长时间持续不断的上升运动会使低层大量的水汽辐合抬升,凝结释放潜热,加剧大气的不稳定,有利于强降水产生.

4.3　强暖心结构

图 9 中的温度距平为当前时间温度与当日平均温度的差值.由图 9 可知,从 10 日 08 时至 11 日 20 时,“利奇马”台风中心都维持较高的温度,暖核中心出现在 300 hPa 附近,而 11 日 20 时最高温度高度则降到 500 hPa 左右,在 10 日 08 时温度距平可达 8 ℃,其余时刻温度距平也维持在 6 ℃,其暖心结构明显.从 10 日 20 时开始,台风北部的垂直温度高温区向北倾斜,对流层中低层存在负温度距平,说明有冷空气渗透.在 11 日 20 时,在台风中心附近,850 hPa 以下的南北侧均出现负距平,结合图 4d 可知,此时冷空气已经到达台风西侧与南侧.台风暖心温度较高,说明存在充足的水汽上升凝结释放潜热.此外,对流层中低层有冷空气入侵,造成大气不稳定且极易触发不稳定能量的释放,造成强降水.

5　丰富的水汽

赵凯等[15]将 500 hPa 的水汽通量散度 D_{500} 减去 850 hPa 的水汽通量散度 D_{850} 称为水汽通量相对散度,即 $D_{500-850}=D_{500}-D_{850}$,以下用 $D_{500-850}$ 表示,作为此次暴雨的水汽条件来分析降水的强度与落区.暴雨强度的趋势与落区基本上与水汽通量相对散度有关,水汽通量相对散度越大,暴雨越强.

从图 10 可知,10 日 08 时,在“利奇马”东侧存在一条水汽通量大值区,来自南海季风与台风“罗莎”的水汽汇聚于“利奇马”,达到 60 $g\cdot cm^{-1}\cdot hPa^{-1}\cdot s^{-1}$ 以上.此时强的 $D_{500-850}$ 正值区出现在浙江中南部,同时在河北沿海、河南中北部和湖北南部也出现了小范围的强

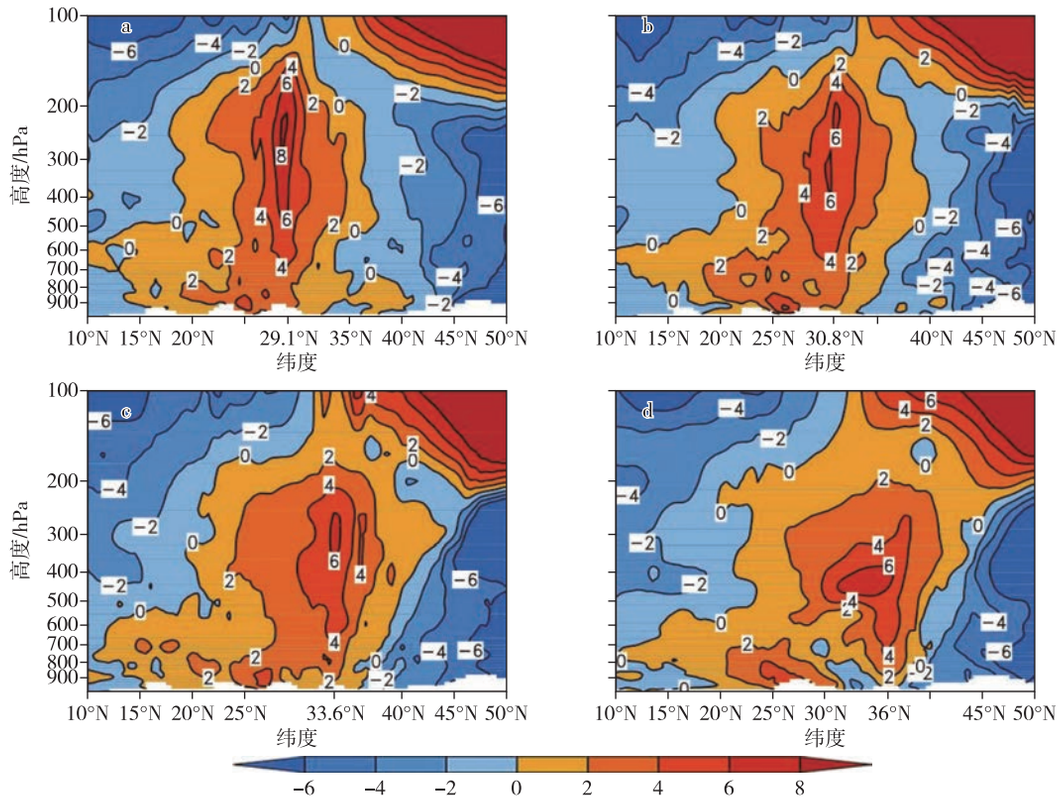


图 9　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时温度距平的高度-纬度剖面图(单位:℃).(a)沿 120.7°E 剖面,10 日 08 时;(b)沿 120.4°E 剖面,10 日 20 时;(c)沿 120.5°E 剖面,11 日 08 时;(d)沿 119.5°E 剖面,11 日 20 时

Fig. 9　Zonal section of vertical temperature along (a) 120.7°E at 08:00 of Aug.10, (b) 120.4°E at 20:00 of Aug.10, (c) 120.5°E at 08:00 of Aug.11, and (d) 119.5°E at 20:00 of Aug.11, 2019

正值区,这与降水分布(图 3)大致相当,且强正值区除湖北省外都出现了大雨级别的降水,而台风中心所在的浙江中南部则出现了暴雨(≥50 mm)以上级别的降水,且与正中心(≥20×10^{-5} g·s^{-1}·cm^{-2}·hPa^{-1})所在位置吻合.10 日 20 时,强 $D_{500-850}$ 正值区则分别出现在江苏南部和山东南部,结合图 3 可看出此时暴雨区大致与之吻合,主要是由于台风倒槽引起的降雨.11 日 08 时,台风东侧依然维持着较强的水汽通量带,强 $D_{500-850}$ 正值区已经移出江苏与浙江,主要分布在山东北部和辽宁吉林一带,范围增大且呈带状分布,山东近海海域出现次大值区(≥12×10^{-5} g·s^{-1}·cm^{-2}·hPa^{-1}),此时暴雨区也主要出现在上述区域.11 日 20 时,水汽通量带减弱,台风的水汽主要来自南海季风,山东北部强 $D_{500-850}$ 正值区北移至渤海,暴雨区主要出现在山东东营至莱州一带.

在 10 日 08 时—11 日 20 时,“利奇马”东侧一直维持着较强的水汽输送,且水汽辐合条件良好.$D_{500-850}$ 正中心分布与台风倒槽降雨区吻合,说明在倒槽区存在强烈的上升运动,雨势也较强.“利奇马”东侧存在自孟加拉湾和南海到黄海的急流带,水汽通过该急流带源源不断地输送到“利奇马”中心.东移西风槽的冷空气作用与台风“罗莎”输送的西太平洋水汽、低纬度海域的水汽供应,构成了良好的水汽条件,丰富的水汽在低空急流与高空槽前作用下辐合上升,并且暴雨区存在不稳定能量的聚集,给我国浙江至东北沿线地区带来灾害性的降水过程,并且台风移速缓慢造成长时间的强降雨,加剧了受灾程度.

6　结论与讨论

1909 号台风“利奇马”在我国浙江省登陆后,在我国东部沿海一带引发强降水,造成了严重的经济损失和人员伤亡.利用 MERRA-2、TRMM 卫星资料,通过动力条件、热力条件、水汽条件对此次台风暴雨进行分析,分析结果表明:本次强降水过程对浙江与山东的影响最大,具有持续时间长、雨势大、时空分布均匀的特点.前期浙江与江苏等地的降水主要是由台风本体与倒槽引起,后期山东等地区主要是由于对流层中低层的冷空气入侵台风产生的降水.台

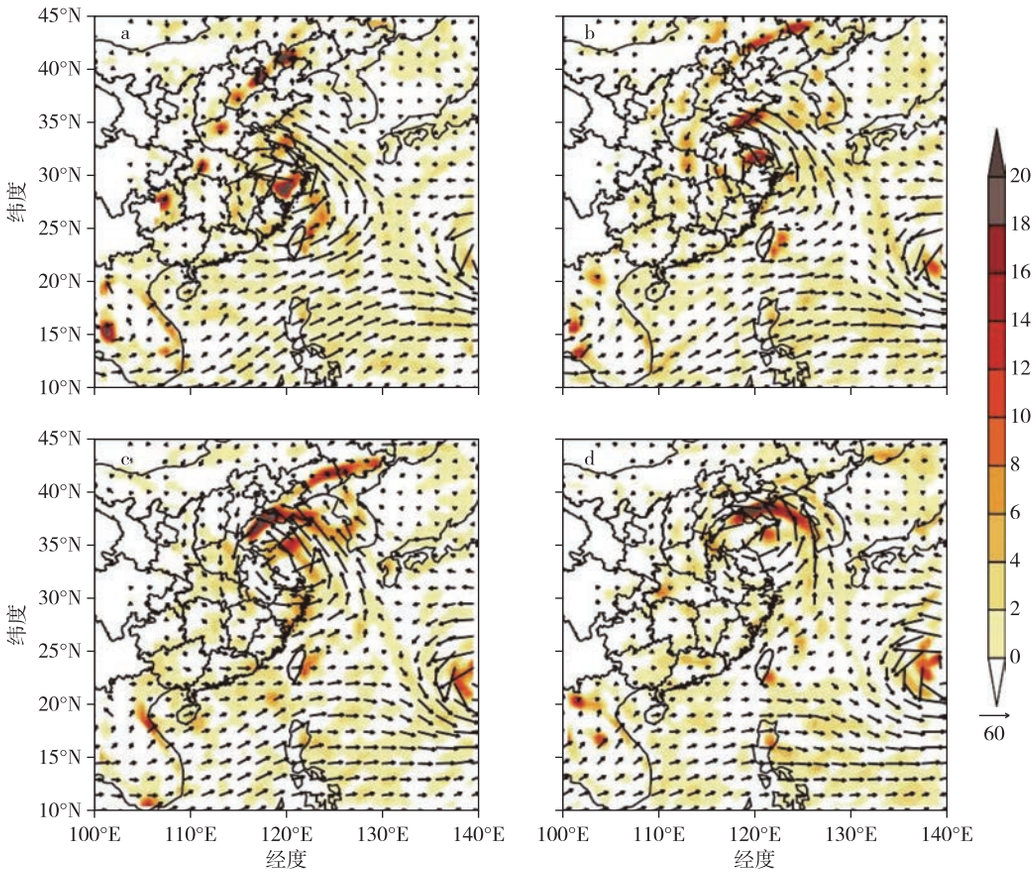


图 10　2019 年 8 月 10 日 08 时—11 日 20 时 850 hPa 水汽通量(箭头,单位:g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1})、水汽通量相对散度 $D_{500-850}$(阴影,单位:10^{-5} g·cm^{-2}·hPa^{-1}·s^{-1}).(a)10 日 08 时;(b)10 日 20 时;(c)11 日 08 时;(d)11 日 20 时

Fig. 10　Moisture flux (arrow, unit: g·cm^{-1}·hPa^{-1}·s^{-1}) at 850 hPa and relative divergence of moisture flux $D_{500-850}$ (shaded, unit: 10^{-5} g· s^{-1}·cm^{-2}·hPa^{-1}) at (a) 08:00 of Aug.10, (b) 20:00 of Aug.10, (c) 08:00 of Aug.11, and (d) 20:00 of Aug.11 of 2019

风“利奇马”环流背景复杂,登陆后沿着海岸向北移动,使其能够不断地从洋面汲取水汽与能量.暴雨区上空上升速度较大,不稳定能量充足,并且台风暖心结构明显,在对流层 300~500 hPa 暖心温度最大,此时大量的水汽不断汇入,长时间持续不断的上升运动也会使低层大量的水汽辐合抬升,凝结释放潜热,加剧了大气的不稳定,从而有利于强降水产生.

此外,涡度、水汽通量、水汽通量相对散度等物理量的大小与分布对暴雨的落区与强度具有一定的指示意义,后期的工作可以进行数值模式进一步模拟,比如对局地暴雨的精细化模拟、冷空气影响台风结构的数值模拟、水汽输送影响台风降水的数值试验等.

参考文献

References

[1] 张恒德,孔期.0604 号强热带风暴碧利斯异常强降水过程的诊断分析[J].气象,2007,33(5):42-48
ZHANG Hengde, KONG Qi. Diagnostic analysis of severe tropical storm Bilis heavy rain event[J]. Meteorological Monthly, 2007, 33(5): 42-48

[2] 周雪松,孙兴池.台风“达维”(1210)非对称性结构及其对风雨分布的影响分析[J].海洋气象学报,2017,37(4):58-64
ZHOU Xuesong, SUN Xingchi. A study on asymmetrical structure of typhoon Damrey (No.1210) and its impacts on wind field and precipitation distributions[J]. Journal of Marine Meteorology, 2017, 37(4): 58-64

[3] 赵玉春,王叶红.2013 年“苏力”台风西行登陆引发闽南大暴雨成因的模拟研究[J].气候与环境研究,2017,22(3):365-380
ZHAO Yuchun, WANG Yehong. A numerical investigation of the formation mechanism for the extremely heavy-rain event in southern Fujian induced by westward-moving typhoon Soulik in 2013[J]. Climatic and Environmental Research, 2017, 22(3): 365-380

[4] Hughes L A. On the low-level structure of tropical storms[J]. Journal of Meteorology, 1952, 9(6): 422-428

[5] Jordan E S.An observational study of the upper wind circulation around tropical storms[R].Defense Technical Information Center,1952.DOI:10.21236/ad0010465
[6] 陈联寿,孟智勇,丛春华.台风暴雨落区研究综述[J].海洋气象学报,2017,37(4):1-7
CHEN Lianshou, MENG Zhiyong, CONG Chunhua. An overview on the research of typhoon rainfall distribution [J].Journal of Marine Meteorology,2017,37(4):1-7
[7] 钮学新,杜惠良,滕代高,等.影响登陆台风降水量的主要因素分析[J].暴雨灾害,2010,29(1):76-80
NIU Xuexin, DU Huiliang, TENG Daigao, et al. Main factors affecting the rainfall caused by landing typhoons [J].Torrential Rain and Disasters,2010,29(1):76-80
[8] 李英,陈联寿,雷小途.Winnie(9711)台风变性加强过程中的降水变化研究[J].大气科学,2013,37(3):623-633
LI Ying, CHEN Lianshou, LEI Xiaotu. Study on rainfall variation associated with typhoon Winnie (9711) during its extratropical transition process[J].Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2013,37(3):623-633
[9] 郑怡,杨晓霞,孙晶.台风"温比亚"(1818)造成山东极端强降水的成因分析[J].海洋气象学报,2019,39(01):106-115
ZHENG Yi,YANG Xiaoxia,SUN Jing.Causal analysis of extremely heavy precipitation in Shandong province caused by typhoon Rumbia[J].Journal of Marine Meteorology,2019,39(01):106-115
[10] 张建海,于忠凯,庞盛荣.浙江地形对台风 Khanun 影响的数值试验和机理分析[J].科技导报,2008(21):66-72
ZHANG Jianhai,YU Zhongkai,PANG Shengrong.Numerical experiment and mechanism analysis on the effect of Zhejiang orography on typhoon Khanun[J].Science and Technology Review,2008(21):66-72
[11] 曹楚,王忠东,吴舒婷.台风"莫兰蒂"(1614)影响期间浙江暴雨成因分析[J].浙江气象,2019,40(2):25-31
CAO Chu, WANG Zhongdong, WU Shuting. Analysis on causes of rainstorm in Zhejiang province during typhoon Meranti (1614)[J].Journal of Zhejiang Meteorology, 2019,40(2):25-31
[12] 陈汶江,王伟.2016 年 14 号台风"莫兰蒂"特征分析[J].成都信息工程大学学报,2019,34(4):435-442
CHEN Wenjiang,WANG Wei.Analysis on the characteristics of the fourteenth typhoon "Morandi" in 2016[J].Journal of Chengdu University of Information Technology, 2019,34(4):435-442
[13] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,2007
ZHU Qiangen, LIN Jinrui, SHOU Shaowen, et al. Principles and methods of synoptic[M].Beijing: China Meteorological Press,2007
[14] 孙兴池,吴炜,孙莎莎.登陆北上山东台风暴雨非对称分布的成因对比分析[J].海洋气象学报,2019,39(3):55-63
SUN Xingchi,WU Wei,SUN Shasha.Causal-comparative study of asymmetric distribution of rainstorm by typhoon crossing Shandong[J].Journal of Marine Meteorology, 2019,39(3):55-63
[15] 赵凯,孙燕,王山旗.0515 号登陆台风"卡努"引发江苏暴雨过程的动力学诊断分析[J].台湾海峡,2006,25(3):414-419
ZHAO Kai,SUN Yan,WANG Shanqi.Diagnostic analysis on dynamic of landing typhoon 0515(Khanun) with Jiangsu heavy rain course[J].Journal of Oceanography in Taiwan Strait,2006,25(3):414-419

Diagnosis on the heavy precipitation of typhoon Lekima

TAN Zhen[1,2,3] LIANG Mei[1,2,3] XUE Yufeng[1,2,3] XU Jianjun[1,2,3] XU Feng[1,2,4]
1 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory,Zhanjiang 524088
2 South China Sea Institute of Marine Meteorology,Guangdong Ocean University,Zhanjiang 524088
3 College of Ocean and Meteorology,Guangdong Ocean University,Zhanjiang 524088
4 Technology Department,Guangdong Ocean University,Zhanjiang 524088

Abstract Based on rainfall data from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite,and data such as potential height,wind speed,and vertical speed from the Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications version 2 (MERRA-2) satellite,the moving path of typhoon 1909 (Lekima) and its rainstorm in Zhejiang, Jiangsu and Shandong provinces are analyzed.It is found that Lekima is a northward typhoon,and its moving path is mainly affected by the subtropical anticyclone and typhoon 1910 (Krosa).During its moving north,the typhoon inverted trough and the cold air in westerly trough cooperated and caused a large amount of unstable energy,which result in heavy precipitation.In addition,the low-altitude jet stream and the westerly trough provide favorable dynamic rising conditions for precipitation.The southwest monsoon and typhoon Krosa,as sources of water vapor and energy for typhoon Lekima,provide abundant water vapor for the rainstorm.

Key words typhoon Lekima;typhoon precipitation;northward typhoon;westerly trough