

“利奇马”台风的特点及极端强降水的成因分析

项素清¹, 周梅¹, 徐亚钦¹, 杜金杉²

(1. 浙江省金华市气象局, 浙江 金华 321000; 2. 浙江省磐安县气象局, 浙江 磐安 322300)

摘要: 通过分析自动气象站、雷达、卫星等常规资料和NECP再分析资料,发现台风移动路径上高海温、西南季风输送带和副高南侧偏东急流输送充足的水汽和能量、高层辐散场出流条件好、垂直风切变不大等因素使得1909号台风“利奇马”得以快速发展。重点研究了地形在局地极端强降水中的作用,“利奇马”台风携带的高湿、高能大气为强降水的发生提供了可能的大气环流背景条件。低层强西北急流垂直于东北-西南走向的北山山体,受到山体阻挡后产生强烈的爬升作用,水汽被迫抬升到高空凝结成雨,产生强降水。山体的抬升作用触发了不稳定能量的释放,激发了中尺度雨团的形成;而不断生成的中尺度雨团,导致降水量大。山体的阻挡作用使降水系统移动减慢,降水持续时间变长,从而使累积雨量更大。

关键词: 极端强降水;地形作用;西北风急流;中尺度雨团

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)05-0076-10

1 引言

我国每年平均有7~8个台风登陆。登陆台风往往引发暴雨^[1],从而导致城乡积涝、山体滑坡和小流域山洪等灾害的发生。气象学家和预报员对台风暴雨进行了大量的分析和研究^[2]:如台风近海打转^[3]和后期强度突变的原因^[4-5]、台风螺旋带和眼壁上有中尺度对流体^[6-7]等。台风和中纬度系统相互作用,使暴雨增强或产生远距离暴雨^[8];多数台风登陆右半圆内的暴雨范围和强度明显大于左半圆区。台风登陆后强度往往减弱较快,降水也随之减弱,但由于地形的抬升以及地表的拖曳效应会导致降水在一定时间内得到增强。台风与地形和中纬度系统作用,还会激发中小尺度系统,从而影响降水的强度和分布^[9-10]。孙密娜等^[11]对两次北上影响黄渤海的台风过程的对比研究表明,两者北上时与中纬度的高空槽云系结合,锋生显著,降水范围增大。近十余年来,随着观测资料精度的提高和数值模式的发展,地形对降水影响的数值模拟研究得到进一

步的发展。朱红芳等^[12]对1211号台风“海葵”引发的安徽强降水过程进行数值模拟,发现大别山区和皖南山区的地形对“海葵”的移动路径和强度、降水分布和强度均有不同程度的影响;不同地形高度下模拟的台风路径及降水分布差异较大,降水中心强度与地形高度相关性较好,地形对暴雨增幅作用明显。王晓芳等^[13]对2006年第4号强热带风暴“碧利斯”登陆后造成内陆暴雨,特别是湘东南特大暴雨的成因进行了分析。结果表明,独立存在于湘东南的尺度较小而强度特大的NNE-SSW向的暴雨带与罗霄山脉的地形影响有密切关系:地形强迫上升及其对暴雨的触发主要不在山坡上,而是在迎风坡气流上游平原地区(即湘东南)。黄奕武等^[14]对0716号台风“罗莎”登陆期间地形对降水的影响作了分析,发现强降水区主要分布在沿海山体的迎风坡上。分析1h降水量在不同强度区间的频次分布,发现在山体地形的影响下,山脉区域降水加强。用再分析资料和地形资料计算了气流过沿海山体时的无量纲数Fr值。由于气流Fr较小,气流过浙江沿

收稿日期: 2019-09-10; 修回日期: 2019-12-24。

基金项目: 浙江省气象局预报员专项(2020YBY11);金华市气象局一般类科技项目(2019-01)。

作者简介: 项素清(1973-),女,高工,硕士,主要从事台风及暴雨预报研究。E-mail: 307619867@qq.com

海地形时更容易翻越山体。抬升位置发生在迎风坡上,因而强降水区也落在迎风坡上。吴启树等^[15]开展了地形敏感性试验,结果说明福建东部沿海的特殊地形对登陆福建中部沿海的台风暴雨有明显的增强作用,最大增幅发生在山脉迎风坡的地形坡度与气流正交速度乘积最大的时段。

2 概况

2019年第9号台风“利奇马”(1909号)于8月4日14时(北京时,下同)在西北太平洋洋面上生成,生成后朝西北方向移动;7日05时加强为台风、17时加强为强台风、23时加强为超强台风;8日21时中心风速17级(62 m/s),中心最低气压915 hPa,达到最强,登陆前一直维持超强台风强度。10日01时45分在温岭市城南镇登陆,登陆时中心附近最大风力16级(52 m/s),中心最低气压930 hPa;登陆后向北偏西方向移动,03时减弱为强台风,05时减弱为台风,09时减弱为强热带风暴;台风先后穿过台州、金华、绍兴、杭州、湖州等地,于10日22时离开浙江省进入江苏省,其中9—12时穿过金华东部地区(磐安、东阳)。

受“利奇马”影响,浙江省普降暴雨,沿海地区出现大暴雨甚至局部特大暴雨,局地出现极端降水。8月8日08时—11日08时全省平均面雨量165 mm。各地市平均面雨量前3位分别为台州市291 mm、宁波市276 mm、湖州市209 mm。全省有40个站点超过500 mm,最大过程雨量临海括苍山831 mm,在登

陆浙江省台风中位列第二。金华市平均面雨量128.7 mm,除磐安252.8 mm外,其他县市面雨量在80~150 mm之间,呈东多西少分布。单站过程雨量最大为磐安岭干397.9 mm,其中婺城区北山336.4 mm。

据浙江省防汛指挥部统计,超强台风“利奇马”致浙江省667.9万余人受灾,因灾死亡46人,因灾失踪2人,紧急转移安置126万人;农作物受灾面积 $2.34 \times 10^5 \text{ km}^2$,绝收约 $2.3 \times 10^4 \text{ km}^2$,因灾倒损房屋4.1万间,直接经济损失242.6亿余元。金华市直接经济损失约6.08亿元,所幸无人员因灾伤亡。本文通过分析自动气象站、雷达、卫星等常规资料和美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NECP)的 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料,对“利奇马”的强度变化和移动路径进行分析。特别是对造成极端强降水的原因进行分析,重点研究地形的作用。

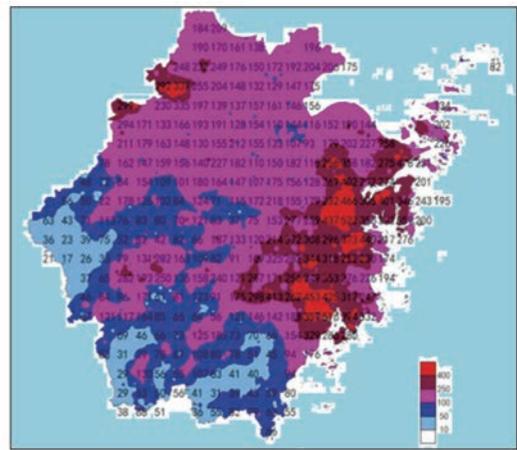
3 “利奇马”台风分析

3.1 强度分析

“利奇马”8月4日在菲律宾以东洋面上生成时,东侧有一个热带云团,6日发展成10号台风“罗莎”;南海也有一个热带云团;日本南部为台风“范斯高”,副高脊线在 35°N 以北。“利奇马”在广阔的热带洋面上发展,在其西北方向移动的路径上,海水温度都在 29°C 以上(见图2a);特别是在台湾东南侧经



a. “利奇马”移动路径图

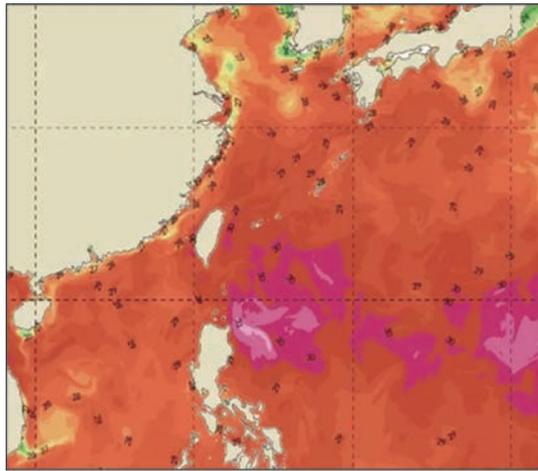


b. 8日08时—11日08时浙江省自动气象站累积雨量(单位: mm)

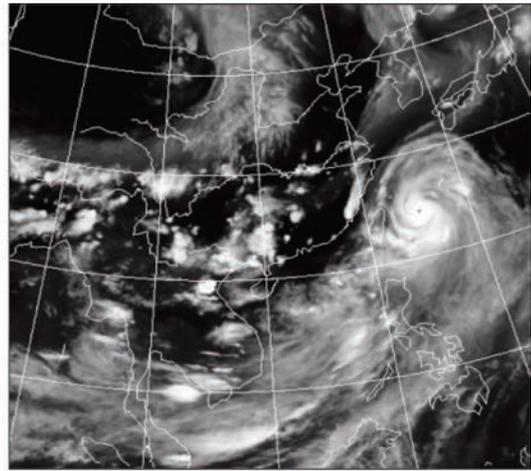
图1 “利奇马”移动路径和浙江省累积雨量

过温度高达 30 ℃ 以上的太平洋黑潮暖流, 能量充足。“利奇马”南侧和西南季风主通道相连, 东边的副高有一支偏东急流绕过“罗莎”为它输送水汽和能量, 两支气流为台风提供源源不断的水汽供应。8月7日08时台风上空 300~850 hPa 的垂直风切变为 5~8 m/s (见图 3a), 大小适合, 有利于台风强度加强; 同时 200 hPa 副热带急流为“利奇马”打通了高空辐散, 所以“利奇马”强度快速增强, 8月7日完成三级跳, 由台风加强为超强台风。7日20时卫星云图上 (图略), 台风中心密闭云区云系浓密紧致, 小而清晰的台风眼已经生成, 南侧是长长的螺旋云

带, 台风云系范围庞大, 环流广阔。从8日19时25分卫星云图上可以看到 (见图 2b), 台风眼小而深邃, 西南季风云带仍源源不断地为它输送水汽。9日进入东海后, 其南侧和季风云系仍未断开, 西南暖湿气流仍在供应水汽和能量。东海的表层海温在 28 ℃ 左右, 但垂直切变有所增大 (见图 3b), 所以台风强度略有减弱, 登陆时中心风力为 16 级。“利奇马”登陆后, 虽然南侧和季风云系断开, 但在它的东北侧还有一支东南风急流将海上的水汽向大陆输送, 所以登陆后仍能长时间维持台风强度不变。“利奇马”从生成到登陆只有 5~6 d 时间, 正好处在它

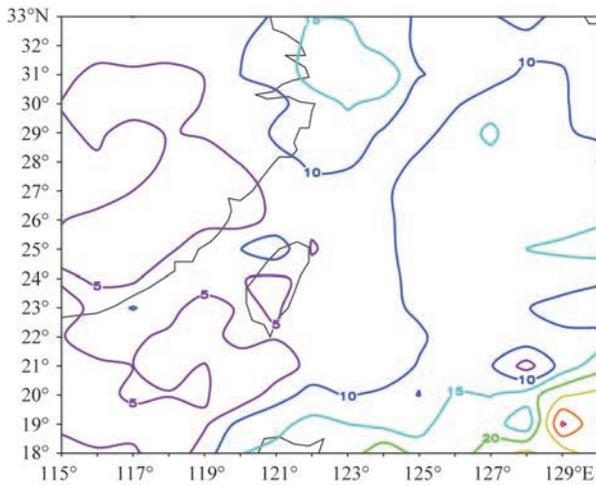


a. 8月7日西太平洋海温分布图

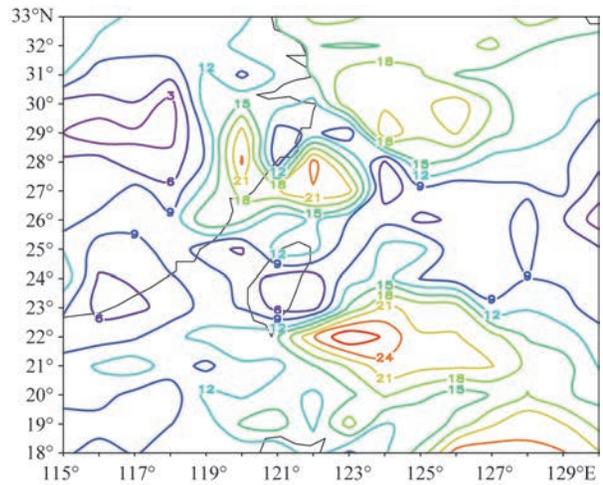


b. 8月8日19时25分卫星云图

图2 “利奇马”台风路径的海温分布与卫星云图



a. 8月7日08时



b. 8月9日20时

图3 300~850 hPa 垂直风切变图

的青壮年时期,因此强度特别强。

3.2 路径分析

台风的移动路径直接关系着降水的落区和强度。纵观“利奇马”台风的路径,开始路径偏东,登陆点位置偏北,对浙江中西部影响较小;后来随着路径西调,影响程度明显加大。“利奇马”生成初期,由于海上多个热带系统共存,副高位置偏东偏北,引导气流弱,主要靠内力作用向西北方向移动。8月6日08时500 hPa上西太平洋副高主体592线在140°E以东,台风“范斯高”已经在日本西部登陆,强度迅速减弱,河套附近有高空槽缓慢东移;7日08时“范斯高”已经消失(见图4),副高588线西伸加强,

高空槽东移北缩;8日08时副高进一步西伸,脊线呈东西向分布,高空槽已移到渤海湾,其后的西风带高压脊将并入副高,使带状副高坝稳定维持。“利奇马”在副高西南侧东南气流引导下稳定地朝西北方向移动。其东侧的热带云团于8月6日下午发展成台风“罗莎”,两者中心相距1 300 km以上,直接作用较小,但“罗莎”的存在阻挡了副高往南伸,减小了“利奇马”向北的分量。“利奇马”西侧的南海热带低压与其相距1 000 km以内,在藤原效应的作用下,对其有向西向北的作用力。9日08时副高西伸脊点位于125°E附近,相比前一天更偏西,所以“利奇马”稳定朝西北方向移动直至登陆浙江台州。由于中高纬西风带活跃,河套以西又有高空槽东移,导致副

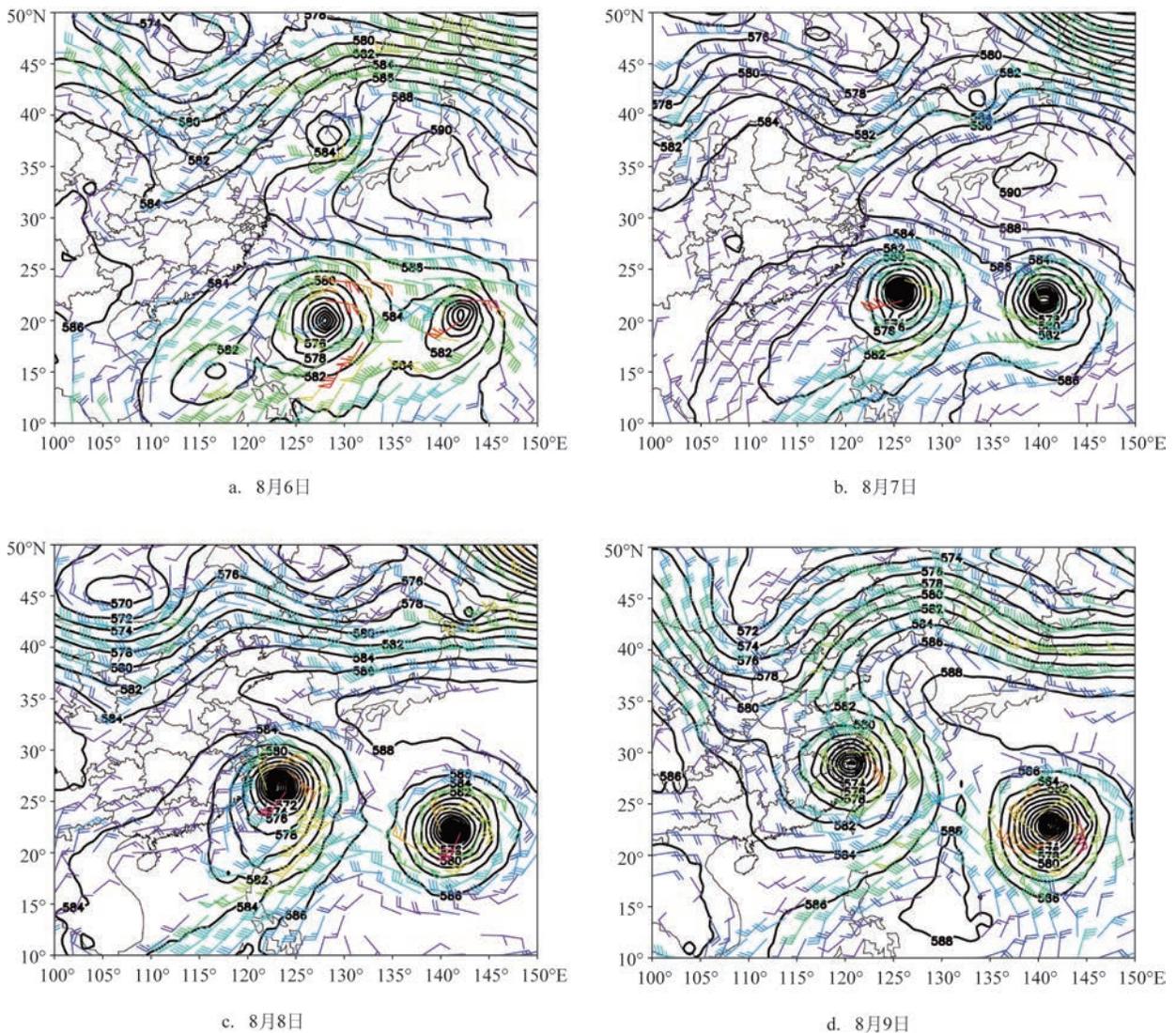


图4 不同日期08时500 hPa高空图

高脊不能大尺度西伸,所以台风登陆后继续朝偏北方向移动,在华东沿海地区北上,无法深入内陆。由于高空槽位置偏北,“利奇马”对浙江的影响主要是本体降水,到山东一带才和高空槽结合产生强降水。

4 极端强降水成因分析

4.1 “利奇马”台风引起的强降水分析

由于引导气流不强,“利奇马”移动速度较慢。登陆前后移速都在 15 km/h 左右,登陆后滞留浙江省长达 20 h,其中超强台风强度维持 1 h,强台风强度维持 2 h,台风强度维持 4 h。浙江 8 日白天开始受“利奇马”外围环流影响,以对流降水为主。8 日夜里受台风螺旋雨带影响,台州地区降水开始明显,部分地区出现暴雨。9 日上午降水主要集中在浙江东部沿海地区;9 日下午磐安和东阳东部受螺旋云带影响,降水开始明显;夜里金华全市降水变大,特别是磐安等东部地区离台风中心近,先后受台风螺旋云带和密蔽云区影响,产生低质心暖云降水,降水强度非常可观。从 8 月 10 日 01 时 30 分浙江省雷达拼图和卫星云图可以看到(见图 5),“利奇马”登陆时结构完整、云系范围广,密蔽云区和螺旋云带上中尺度对流活动,台风眼虽然已经被云覆盖,但强度依然非常强,台风本体云系覆盖浙江全

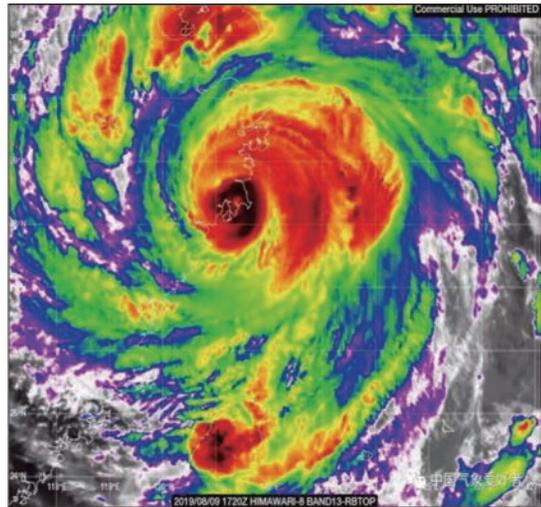
省。10 日 02 时 850 hPa 水汽通量图表明(图略),浙江省大部地区都处在水汽通量大值区域,辐合中心位于浙江东部,中心值达 $-220 \text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$,说明水汽辐合非常强。9 日夜里—10 日早晨是浙江省降水最集中的时段,10 日白天随着台风北移,强降水中心逐渐北移。

4.2 台风后部局地极端强降水分析

虽然都被“利奇马”台风本体云系覆盖,但各地的降水分布并不均匀(见图 6),极端降水往往出现在山区。本次降水量最大的括苍山站总雨量达 834.3 mm(海拔高度为 1 382 m),而离它最近的羊棚头村站降水量只有 215.7 mm(海拔高度只有 142 m),两者降水量相差非常悬殊。浙江东部的山脉从雁荡山、括苍山到四明山均呈东北-西南走向。根据括苍山站的逐时降水量分布来看(见图 6a),降水主要集中在 8 月 9 日 09 时—10 日 14 时之间,其中 8 月 9 日 20 时—10 日 07 时小时雨强都在 40 mm/h 左右;从站点的气压变化来看,10 日 04—05 时气压最低,也就是离台风中心最近,10 日 05—06 时受台风云墙影响,小时雨强达 80 mm/h,降水强度非常大。随着台风北移,气压上升,08 时以后降水显著减弱。究其原因,登陆前台风中心位于其南侧,受偏东气流影响,而偏东气流和山脉走向近于垂直,抬升作用非常显著,从而使降水强度加强。浙江西北部山



a. 01时30分浙江省雷达图



b. 02时卫星云图

图5 8月10日浙江省雷达拼图和卫星云图

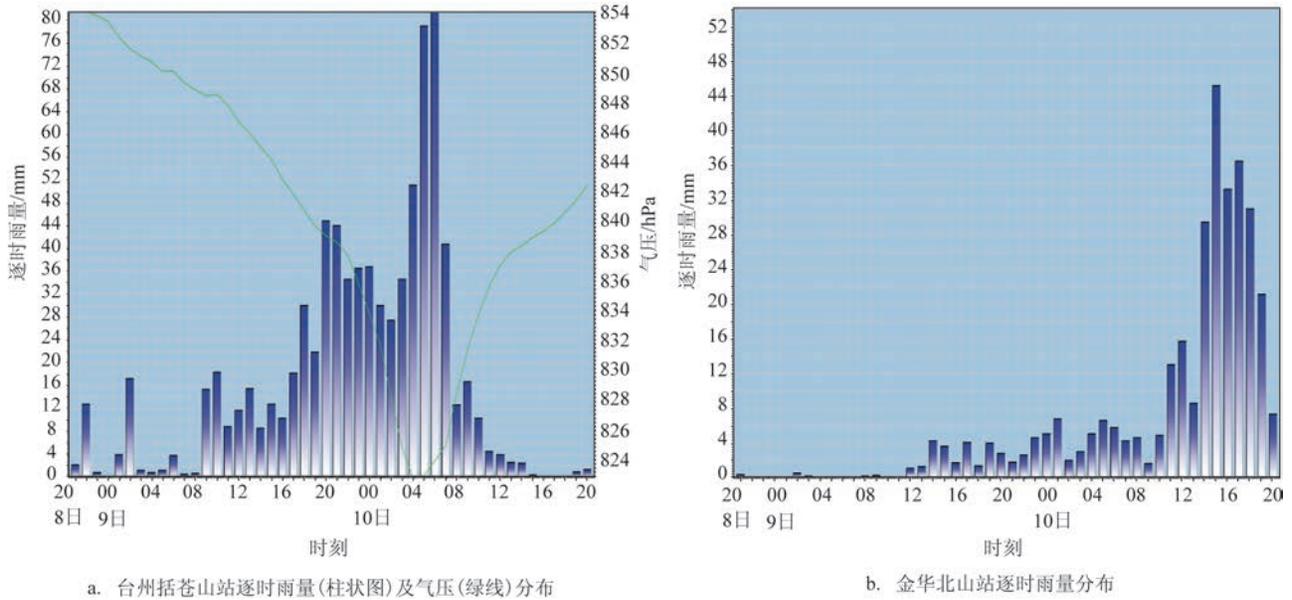


图6 8月8日20时—10日20时逐时资料

区也是一个暴雨多发点,天目山呈东北西南分布,山体对气流的抬升作用导致迎风坡降水增幅明显,如安吉天荒坪海拔725 m,累积降水量达629.2 mm。

金华地处金衢盆地东段,地势南北高、中部低。市区境内东部和东北部有大盘山和会稽山,南属仙霞岭,西北接龙门山及千里岗山脉。山地内侧散布起伏相对和缓的丘陵,整个大盆地大致呈东北-西南走向,西面开口。金华北山(见图7a箭头所示)位于金华市区北侧,主峰海拔1300 m以上,最高峰大盘山为1314 m,面积约2.5 km²,山体走向为东北-西南。金华北山自动气象站海拔1191 m,过程累积降水量达336.4 mm。降水主要出现在8月9日12时—10日22时,强降水集中在10日13—19时,6 h累积雨量196.4 mm,小时雨量20~40 mm/h,其中15时雨强最大,达45.2 mm/h。强降水引发局地山洪爆发,一度造成险情。10日11时“利奇马”中心已过金华同纬度。从卫星云团上看(图略),台风云系主要集中在台风北侧倒槽里,南侧云系明显减弱;下午台风中心移至杭州、湖州市,随着台风中心逐渐远离,金华全区降水减弱;北山站降水反而增大,实属意料之外,预报难度极大,因此有必要对其进行详细分析。此次强降水局地性非常强,同一时段北山降水量196.4 mm、双龙84.2 mm、罗店18.3 mm、金华站仅为9.7 mm,降水量级相差极大(见表1)。而金

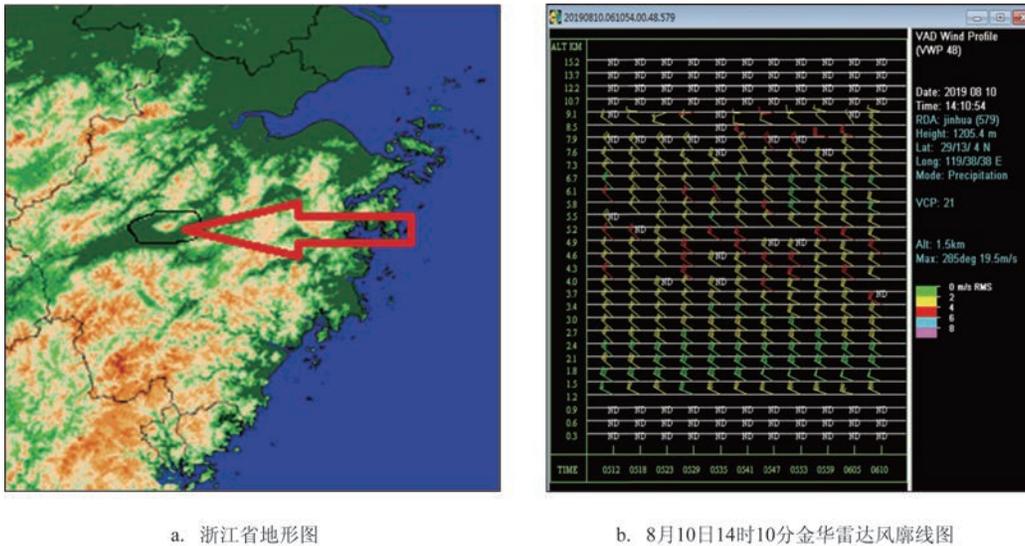
华站到北山站直线距离不过6.6 km,海拔相差1000 m以上,说明地形起了非常关键的作用。

4.2.1 雷达和卫星云图资料分析

从卫星云图上看(图略),10日下午台风中心移至杭州、湖州市,台风云系主要集中在台风北侧倒槽里,南侧云系明显减弱。从金华雷达风廓线上看(见图7b),10日上午金华北山上空为东北风,随着台风北上,中午开始风向转为偏北风,下午进一步逆转为西北风。低层1.5 km高度西北风风速达16~20 m/s,达到低空急流的标准,高层风速14 m/s左右。14时30分浙江省雷达拼图上,台风中心空心化,回波很弱,最强的螺旋雨带位于上海至江苏南部。浙江省内较强的回波主要位于浙西北山区和杭州湾一带,其他地区雷达回波都较弱,强度一般只有20~25 dBz。在金华北山有一块30~45 dBz的回波,该回波范围非常小,依据外推雨最多持续1h,但实际上10日11时以后北山的小块回波一直维持到20时,21时回波才减弱消散,降水停止(见图8)。由于回波正好位于金华雷达站的位置,探测强度有可能比实际偏小。

4.2.2 水汽和能量条件

从8月10日08时水汽通量图来看(见图9a),有一支西南气流水汽输送带经过台风东北侧卷入台风内部,水汽通量大值中心位于浙江中北部,金华上空



a. 浙江省地形图

b. 8月10日14时10分金华雷达风廓线图

图7 浙江省地形图与金华雷达风廓线图

表1 金华北山附近站点情况对比

站名	纬度/°N	经度/°E	海拔/m	降水量/mm
北山	29.13	119.39	1191	196.4
双龙	29.12	119.38	525	84.2
罗店	29.10	119.37	40	40
金华	29.07	119.39	64.7	9.7

有一个水汽辐合中心,中心值 $-260 \text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 。14时水汽通量图上(见图9b),浙江上空水汽通量明显减小,但金华和嘉兴北部各有一个大值区,金华附近有一个水汽通量辐合中心,中心值 $-140 \text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$ 。这说明水汽还是相对充沛的。10日14时K指数图上(见图10a),浙江西北部有一个 40°C 的大值中心。从金华探空看,金华站高空为一致的西北气流控制,K指数达 41°C ,对流有效位能(Convective Available Potential Energy, CAPE)为 1189 J/kg ,抬升指数(Lifting Index, LI)为 -4 。10日14时假相当位温垂直剖面图上(见图10b),台风附近仍是暖心结构,在 29°N 附近有一个大值中心,中心值达 364 K ,说明水汽和不稳定能量都很好。

4.2.3 地形作用及动力机制

当水汽和能量条件具备时,动力和抬升的触发作用非常关键。10日14时沿 120°E 的散度纬向垂直剖面图上(见图10a), 29.5°N 附近低层 900 hPa 有一个辐合中心,中心值达 $-18 \times 10^{-5}/\text{S}$; 800 hPa 以上都是辐散区,辐散中心位于 700 hPa ,中心值为 $9 \times 10^{-5}/\text{S}$,

说明此次辐合主要出现在边界层内。同一时刻高度和垂直速度的纬向剖面图上(见图11b), $29.5^\circ\sim 30^\circ\text{N}$ 上空为正涡度区,中心值为 $40 \times 10^{-5}/\text{S}$,且对应整层都是上升运动区,大中心值 $-3.5 \times 10^{-3} \text{ hPa/s}$ 位于 850 hPa 。由此可见从物理量诊断来看,浙江中部仍有较好的降水环流背景条件。

由于高空西北气流与东北-西南走向的金华北山近乎垂直,因此 850 hPa 以下的低层西北急流受到北山山体阻挡。地形的动力抬升作用在边界层造成强烈的辐合上升运动,将水汽向高空输送,水汽遇冷后凝结成云致雨,从而产生强降水。19日下午北山站雨强都在 20 mm/h 以上,说明有中尺度系统活动,即山体的抬升作用触发了不稳定能量的释放并激发了中尺度雨团的形成,不断生成的中尺度雨团导致累积降水量大;同时地形的阻挡作用使系统移动减慢、降水持续时间变长、降水总量更大。从金华雷达速度图上看,10日下午入流大于出流,存在速度辐合,有利于降水回波的维持和加强;20时以后出流大于入流,转为辐散,回波减弱,降水趋

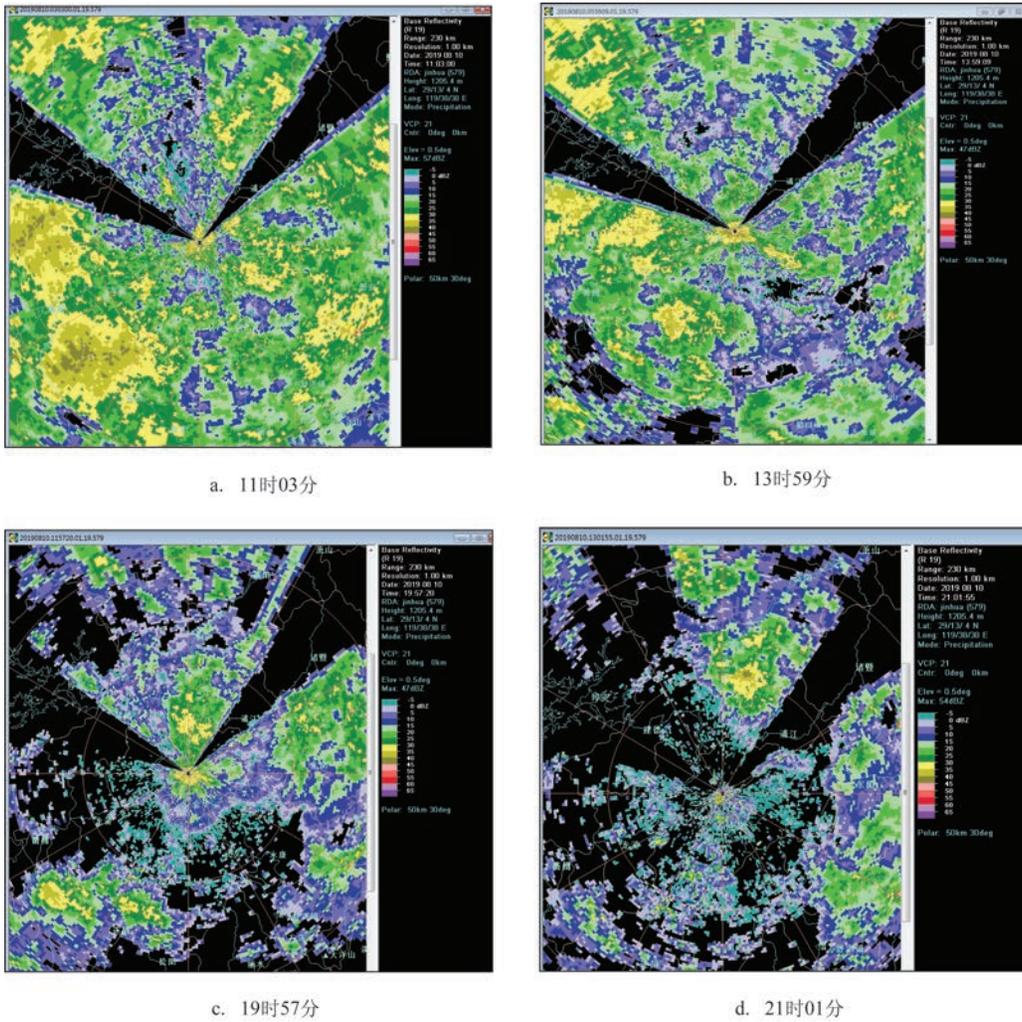


图8 8月10日不同时刻金华雷达反射率因子图

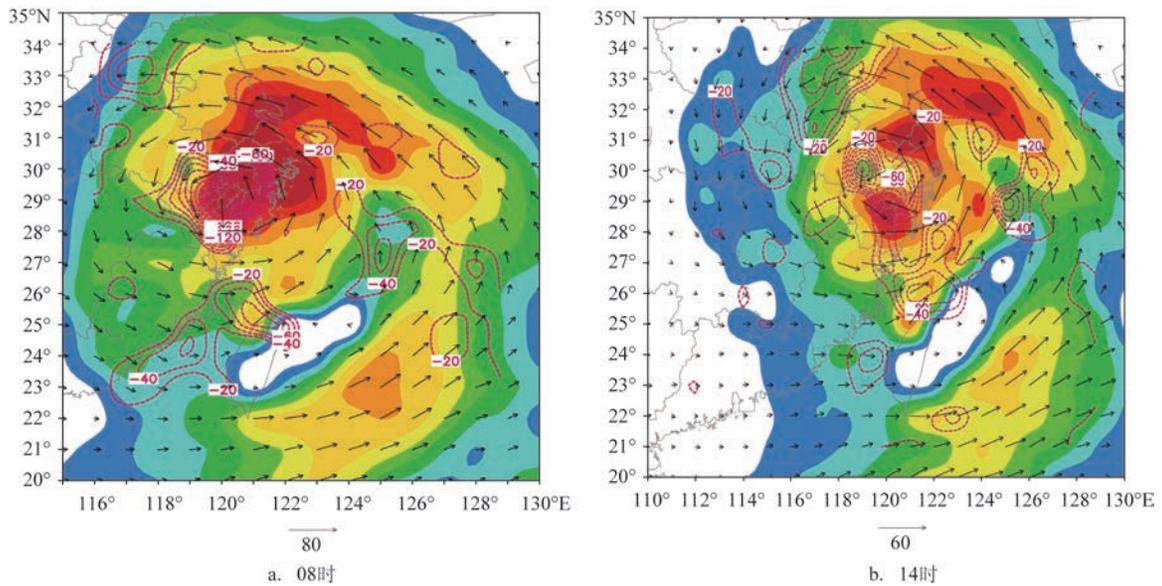


图9 8月10日不同时刻水汽通量图(单位:g/(hPa·cm²·s))

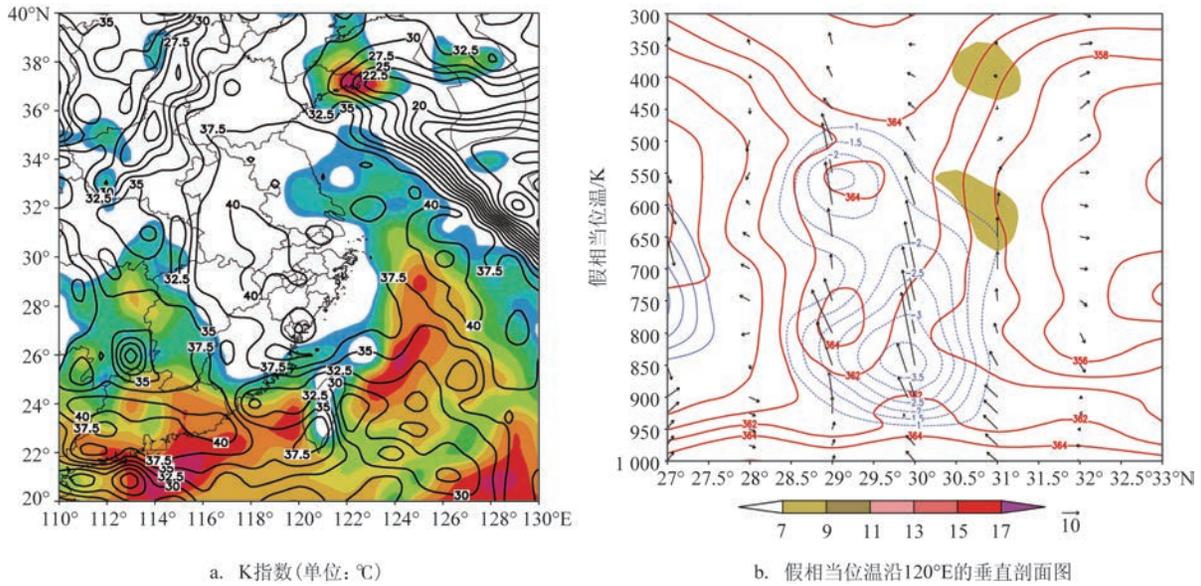


图10 8月10日14时K指数和假相当位温图

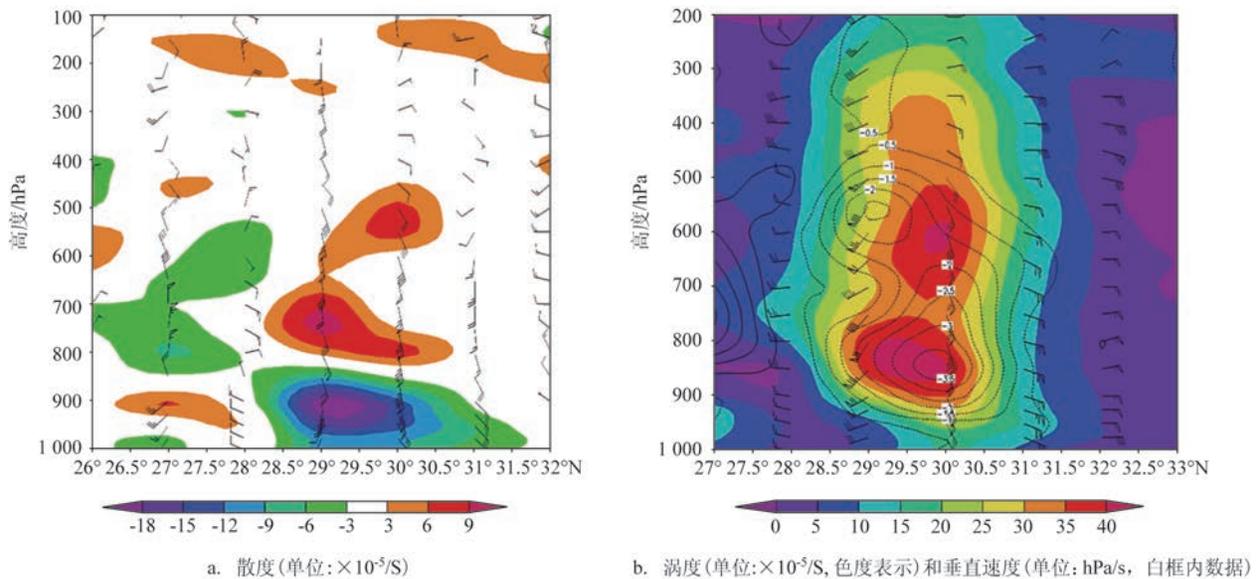


图11 8月10日14时不同物理量沿 120°E 的纬向垂直剖面图

于结束。

5 总结

(1)“利奇马”强度强、范围大、影响时间长。浙江受台风螺旋雨带和本体云墙影响,过程雨量大,局部出现极端强降水。

(2)移动路径上高海温、南季风输送带和副高南侧偏东急流输送充足的水汽和能量、高层辐散场

出流条件好、垂直风切变不大等使“利奇马”得以快速发展。

(3)“利奇马”台风登陆后携带的高湿、高能大气为局地极端强降水的发生提供了大气环流背景条件。K指数高达 40°C ,假相当位温达 364K ,说明水汽和能量条件都非常好。

(4)台风后部低层强西北急流(20m/s)垂直于东北-西南走向的北山山体,地形的动力抬升作用在边界层造成强烈的辐合上升运动,水汽被迫抬升到

高空凝结成雨,从而产生强降水。

(5)低层辐合、高层辐散,整层都是上升运动,同时处在大的水汽通量辐合中心,使水汽抬升凝结,从而形成强降水。

(6)山体的抬升作用触发了不稳定能量的释放,激发了中尺度雨团的形成,不断生成的中尺度雨团,导致降水量更大。

(7)山体的阻挡作用使降水系统移动减慢,降水持续时间变长,从而使累积雨量更大。

参考文献:

- [1] 陈联寿,丁一汇. 西太平洋台风概论[M]. 北京: 科学出版社,1979.
- [2] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等. 近10年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象,2005,31(12): 3-9.
- [3] 陈春忠,罗艳艳,蒋荣复,等. “海棠”台风近海打转成因分析[J]. 海洋预报,2008,25(2): 18-24.
- [4] 董良森,陈见,何冬燕. 0518号台风“达维”后期强度突变成因分析[J]. 海洋预报,2008,25(3): 28-32.
- [5] 王雷,许岳庭,徐哲永,等. 201211号台风“海葵”近海路径和强度突然变化的成因分析[J]. 海洋预报,2018,35(5): 93-103.
- [6] 查贲,卢美,张炎. “罗莎”台风环流北部中- β 尺度大暴雨成因分析[J]. 海洋预报,2009,26(3): 71-75.
- [7] 林毅,陈思学,吕思思. 1601号“尼伯特”台风特大暴雨的中尺度系统特征与成因分析[J]. 暴雨灾害,2017,36(6): 542-549.
- [8] 张进乐,王晓丽,韩方强,等. 台风“麦莎”对大连地区造成暴雨的分析[J]. 海洋预报,2012,29(1): 36-41.
- [9] 李英,陈联寿,徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值试验[J]. 大气科学,2005,29(1): 91-98.
- [10] 黄亿,寿绍文,傅灵艳. 对一次台风暴雨的位涡与湿位涡诊断分析[J]. 气象,2009,35(1): 65-73.
- [11] 孙密娜,杨洋,姜皓严. 影响黄渤海区域两次北上台风的对比分析[J]. 海洋预报,2018,35(5): 74-84.
- [12] 朱红芳,王东勇,娄珊珊,等. 地形对台风“海葵”降水增幅影响的研究[J]. 暴雨灾害,2015,34(2): 160-167.
- [13] 王晓芳,胡伯威. 地形对0604号“碧利斯”登陆台风暴雨的影响[J]. 暴雨灾害,2007,26(2): 97-102.
- [14] 黄奕武,端义宏,余晖. 地形对超强台风罗莎降水影响的初步分析[J]. 气象,2009,35(9): 3-10.
- [15] 吴启树,沈桐立,李双锦. 影响福建沿海的0010号“碧利斯”台风暴雨的地形敏感性试验[J]. 台湾海峡,2005,24(2): 236-242.

The Characteristics of typhoon “Lekima” and the cause of extreme rainfall

XIANG Su-qing, ZHOU Mei, XU Ya-qin, Du Jin-shan

(1. Jinhua City Meteorological Bureau of Zhejiang Province, Jinhua 321000 China; 2. Panan County Meteorological Bureau of Zhejiang Province, 322300)

Abstract: Based on the data analysis of automatic weather station, radar, satellite and the NECP reanalysis, we find that the fast development of typhoon “Lekima” (1909) is induced by the high sea surface temperature along the typhoon track, the sufficient water vapor and energy transferred by the southwest monsoon conveying belt and the easterly jet south of the subtropical high, the good outflow conditions in the divergent field and small vertical wind shear. Moreover, the effect of the terrain on the extreme rainfall is analyzed in this paper. The high humidity and energy carried by typhoon “Lekima” provides favorable background condition for heavy rainfall. The low-level northwest jet lifts after being blocked by the northeast-southwest trending Beishan Mountain, and the water vapor condenses into rain producing heavy precipitation. The uplifting effect of the mountain triggers the release of unstable energy and stimulates the formation of the mesoscale rain cluster, which causes the heavy rainfall. The blocking effect of the mountain slows down the movement of the precipitation system end and increases the duration of precipitation, which results in greater accumulated rainfall.

Key words: extreme rainfall; topography; northwest wind jet; meso-scale rain mass