

# 新疆哈密一次罕见暖区暴雨的成因分析

白松竹<sup>1,2</sup> 热依拉·玉努斯<sup>2</sup> 洪月<sup>3</sup> 张云惠<sup>3</sup>

(1 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002;

2 哈密市气象局, 哈密 839000; 3 新疆维吾尔自治区气象台, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用区域自动站、常规观测、卫星云图TBB及FNL资料, 对2018年7月31日(简称“7.31”暴雨)新疆哈密市东南部暖区暴雨天气成因进行分析, 结果表明: 1) 此次暴雨过程出现在南亚高压东部型的大尺度环流背景下, 暴雨区位于200 hPa强西南急流入口区右侧, 500 hPa中亚低涡前部西南气流与西太副高西侧偏南气流的汇合处, 850~700 hPa东南急流出口区前部辐合区, 700 hPa暖式切变及地面 $\gamma$ 尺度切变重叠区域; 2) 此次过程的水汽主要来自阿拉伯海、孟加拉湾及黄海, 500~700 hPa水汽辐合大值区与暴雨落区关系密切; 3)  $\beta$ 中尺度对流云团和地面 $\gamma$ 中尺度切变线在暴雨区滞留, 受西北—东南向的天山山脉地形作用, 使得垂直环流进一步加强。

**关键词:** 暖区暴雨, 西太副高, 概念模型

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.02.008

## Cause Analysis On Rare Warm-Sector Heavy Rainfall in Hami of Xinjiang

Bai Songzhu<sup>1,2</sup>, Re Yila·yunusi<sup>2</sup>, Hong Yue<sup>3</sup>, Zhang Yunhui<sup>3</sup>

(1 Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002

2 Hami Meteorological Bureau, Hami 839000 3 Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002)

**Abstract:** The warm sector rainstorm occurred in the southeast of Hami in Xinjiang on 31 July 2018 was analyzed by automatic weather station data, conventional meteorological data, the Black Body Temperature (TBB) of FY-2E satellite data and NCEP FNL reanalysis. The results show that: (1) the weather process was a regional warm sector rainstorm in the southeast of Hami, which occurred under the background of large-scale circulation of the eastern South Asian high. The rainstorm zone was located in the right side of southwest jet stream in 200 hPa, the confluence area on the 500 hPa from southwest stream before central Asia low vortex and south airflow from western Pacific subtropical high on the west side, front convergence zone of southeast jet stream outlet zone on the 800—700 hPa, the overlapping area of the warm shear line at 700 hPa and surface  $\gamma$ -scale shear. (2) The water vapor mainly comes from the Arabian Sea, the Bay of Bengal and the Yellow Sea, and the convergence of moisture flux from 700 hPa to 500 hPa was closely related to the location of the rainstorm. (3) The meso- $\beta$  scale convective cloud and the meso- $\gamma$  scale shear line at ground were detained in the rainstorm area. The vertical circulation was further strengthened due to the topography of the Tianshan Mountains that runs from northwest to southeast.

**Keywords:** warm-sector heavy rainfall, western Pacific subtropical high, concept model

### 0 引言

哈密位于新疆东部, 地形复杂、区域辽阔, 天山山脉从东至西横贯中部, 将其分为南北两部分, 北部降水充沛, 气候温凉; 春秋季节冷空气活动频繁, 冷热变化剧烈; 南部光照充足, 热量丰富, 干旱少雨。年平均暴雨日数除位于山北的巴里坤为1.1 d外, 其余各站年平均暴雨日数均不足0.1 d。哈密境内暴雨多是

在有利的大尺度环流背景下, 南支锋区稳定在40° N且强, 锋区小槽与北支冷槽汇合, 具有有利的风场辐合切变及三股气流的配合<sup>[1-4]</sup>下形成的。2018年7月31日(简称“7.31”暴雨)哈密市南部暖区暴雨天气引发洪水灾害, 造成伊州区一水库溃坝, 损失惨重。黄士松<sup>[5]</sup>最早针对华南前汛期提出了暖区暴雨的定义, 此类暴雨具有降水强度大、时段集中、对流性质明显的特征。华南暖区暴雨多集中发生在每年的4—6月, 这一时期低纬度暖湿气团增强北进而中高纬干冷气团减弱北退, 冷暖气团交界面停止在中高纬度, 使得华南地区形成了更多远离锋面区的暖区暴雨<sup>[6]</sup>。而近几年关于北方暖区暴雨的研究也越来越多。一些学者研究

收稿日期: 2020年11月4日; 修回日期: 2021年7月11日  
第一作者: 白松竹(1979—), Email: 19511514@qq.com  
通信作者: 张云惠(1969—), Email: 715208285@qq.com  
资助信息: 中亚大气科学研究基金项目(CAAS201923); 新疆气象局科研项目(201708)

指出:2012年7月21日发生在北京的大范围大暴雨,整个过程可分为锋前暖区降水和锋面降水两个阶段<sup>[7-9]</sup>,并且指出河北省拒马河流域洪涝灾害主要由暖区暴雨引起,北京西南部洪涝灾害既有暖区降水的作用,又有锋面过境降水的作用。王宝鉴等<sup>[10]</sup>、傅朝等<sup>[11]</sup>对2013年6月19—20日在甘肃陇东南出现的一次罕见暖区降水过程的中尺度特征和多普勒雷达特征做了深入的分析。对于新疆暖区降水的研究,主要集中在北疆伊犁、塔城、阿勒泰地区冬季的暖区降雪,许多学者针对暖区降雪的气候特征、环流形势、形成机理、模型特征等方面做了大量的研究<sup>[12-15]</sup>。但在新疆夏季出现暖区暴雨较少,曾勇等<sup>[16]</sup>对2016年新疆西部出现的一次极端特大暴雨过程研究表明,中低层暖平流、风切变和天山地形对天山迎风坡暴雨中尺度系统的产生和向上强烈发展有重要的作用。本文选用中国气象局提供的全国探空资料、区域自动站逐小时资料和逐5 min观测、国家卫星气象中心提供的1 km分辨率FY-2G卫星云图资料,以及美国国家环境预报中心(NCEP)气候预报系统的全球 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 逐6 h再分析资料,分析了“7.31”暴雨的环流形势和天气系统,及造成这次暴雨的动力热力特征和中尺度特征,旨在为今后预报员认识和预报该类大暴雨天气提供一些参考依据。

## 1 降水概况

新疆降水稀少,空气干燥,根据新疆有关业务规定,大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨标准分别为日降水量(20时—次日20时) $R>12$  mm、24 mm、48 mm和96 mm,短时强降水标准为10 mm/h。2018年7月31日哈密市出现罕见暴雨过程,全市有12站出现大雨,10站出现暴雨,2站达大暴雨,2站达特大暴雨;强降水有两个大值中心,一个中心位于沁城小堡,降水量为115.5 mm,是哈密南部伊州区年平均降水量(43.7 mm)的2.6倍;另一个位于淖柳公路33 km处,降水量达105.4 mm(图1a),是淖毛湖年平均降水量(23.4 mm)的4.5倍;沁城小堡和淖柳公路33 km处日降水量达到全国大暴雨标准( $R>100$  mm)。伊吾站日降水量为39.8 mm,居历史极值第二位;淖毛湖日降水量33.3 mm,突破有气象记录以来日降水量和月降水量的历史极值;沁城降水量78.9 mm,是伊州区年平均降水量的1.8倍,降水量之大,为历史罕见。

对暴雨中心区域的沁城小堡、沁城、下马崖、淖柳公路33 km 4站逐小时降水量演变(图1b)进行分析表明,降水主要发生在31日02—14时,强降水时段集中出现在31日07—10时,最大雨强出现在沁城乡,达29.5 mm/h;沁城乡小堡村07时和08时连续2小时雨强

达29.2 mm/h,4 h累计降水量达84.9 mm;淖柳公路33 km和下马崖雨强相对较小,分别为20.9 mm/h和18.4 mm/h。

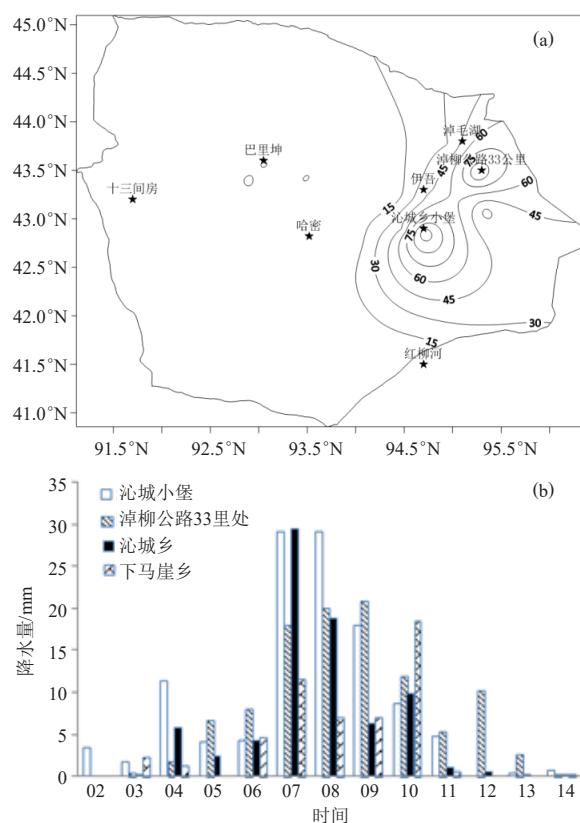


图1 哈密市2018年7月31日—8月1日累计降水量分布(a)和7月31日02—14时4站逐小时降水量(b)(单位: mm)

Fig. 1 (a) The distributions of accumulative precipitation in Hami from 31 July to 2 August 2018, (b) Hourly precipitation of automatic meteorological four stations in 02—14 BT 31 July 2018 (unit: mm)

## 2 环流背景

### 2.1 环流形势

新疆夏季暴雨发生时,南亚高压呈双体型(出现东、西两个闭合高中心),两个中心分别位于伊朗高原和青藏高原东部,且西部的高压中心强于东部的高压中心<sup>[1, 4, 17-20]</sup>。“7.31”暴雨发生前,29日100 hPa南亚高压双体型已形成,西部中心位于里海南部,中心强度为1684 dagpm,东部中心位于蒙古中部,中心强度为1692 dagpm,明显强于西部的高压中心,这与以往的暴雨明显不同,且这种形态一直持续至暴雨结束。南压高压东强西弱,有利于长波槽前西南急流建立、维持及南伸<sup>[17-18]</sup>,造成哈密市的大降水天气。暴雨发生前,7月29—30日200 hPa副热带大槽槽底伸至 $30^{\circ}$ N附近,哈密位于副热带槽前西南气流控制,随着西南急流的不断增强,在30日20时急流中心最大风速达

68 m/s, 比新疆西部极端暴雨的急流强度大12 m/s<sup>[16]</sup>, 暴雨区位于强西南急流入口区右侧, 强烈的辐散抽吸为暴雨的产生提供了有利的动力条件。

29日500 hPa上欧亚范围中高纬上为两脊一槽型, 伊朗副高发展并与欧洲脊叠加, 脊顶北伸至70°N以北, 脊前不断有弱冷空气南下, 在中亚地区堆积; 西太平洋副热带高压(简称西太副高, 下同)西伸北挺, 588 dagpm线位于河套至东北地区, 西部脊顶伸至98°E附近; 西西伯利亚低槽分为两段, 北段位于新疆北部国境线一带, 南段位于巴湖以南的中亚地区。欧亚范围中纬度地区形成“两高夹一低”的形势。30日, 西西伯利亚低槽北段北收至泰米尔半岛一带, 南段在中亚地区形成低涡, 槽底南伸至20°N以南, 西太副高西伸北挺增强, 588 dagpm线位于哈密东部95°E附近, 中心增强至592 dagpm, 中亚低涡前部西南气流与西太副高西侧偏南气流在哈密西部汇合, 偏南气流不仅为暴雨提供了水汽, 由于暖平流的作用, 导致大气中低层温度升高, 产生能量聚集。20时后中亚低涡东移减弱, 西太副高减弱东退南撤, 造成哈密市极端暴雨的产生。

进一步计算暴雨发生时500 hPa高度距平发现, 暴雨发生时7月30—31日中亚地区为低值系统活动区, 负距平达40~80 dagpm; 哈密—内蒙古—东北地区受副热带高压控制, 正距平达到60~80 dagpm, 副高西伸脊点(588 dagpm等高线)较常年偏北10个纬距, 偏西14个经距。可见, 此次暴雨产生在西太副高西部, 且西太副高西伸北挺的位置明显偏北、偏西, 与新疆南部和西部的极端暴雨<sup>[16-17]</sup>存在显著差异; 西太副高在此次暴雨过程中起到了水汽输送和阻滞系统东移的作用, 这与我国江南地区副高型暖区暴雨相似<sup>[21-22]</sup>, 具有局地性、爆发性强, 强降水时间集中的特征。

在700 hPa上, 河西走廊西部有一暖性低涡, 30日低涡前部沿河西走廊东南气流上最大风速达14 m/s, 该区域露点温度达9~13 °C, 接近饱和。随着500 hPa西太副高的西伸北抬, 东南气流逐渐加强, 在暴雨开始前, 31日02时达16 m/s, 形成低空急流, 哈密位于东南急流出口区左侧辐合区, 低空急流不仅使暴雨区增暖增湿, 急流前端强烈的水平辐合运动也有利于上升运动在暴雨区形成和维持<sup>[23]</sup>。31日08时后, 随着西太副高的东撤, 低空急流逐渐消失, 降水随之减弱。

海平面气压场上, 暴雨前29日, 青藏高原东北部热低压发展北上, 控制哈密, 中心值为1000 hPa, 高压位于45°N以北, 呈带状分布。30日20时, 青藏高原东北部热低压逆转, 呈西北—东南向, 中心加强至

995 hPa, 冷高中心位于贝湖西南部的蒙古地区, 中心为1015 hPa, 形成高低对峙形式, 哈密位于冷锋前部暖区内, 高温高湿, 有强对流天气发生的潜势。31日11时, 随着冷高压向西南伸, 弱冷空气进入哈密, 降水随之减弱。可见, 在暴雨发生前和发生时, 哈密一直位于暖区, 没有冷空气的加入。

## 2.2 高低空系统配置

29—31日100 hPa南压高压为双体型, 且东部中心强于西部中心; 200 hPa副热带大槽的建立与维持, 使中亚槽前西南急流进入哈密上空, 急流中心位于43°N、90°E附近, 哈密处于槽前高空急流核出口区的右侧; 暴雨发生前、过程中和结束时这支高空急流的位置缓慢北抬。有关研究表明<sup>[24-27]</sup>, 较强高空辐散场的通风和抽吸作用有利于加强中低层辐合上升运动。哈密南部高层长时间处于高空急流核入口区的右侧, 有助于中低层垂直运动维持加强, 而强烈的上升运动又是暴雨形成的重要条件之一。

500 hPa副高异常北上, 哈密位于副高西侧偏南气流上, 偏南气流为哈密暴雨提供了充足的水汽。30日20时700 hPa哈密探空站为ENE风, 与东南气流在哈密东南部形成辐合, 使得低层水汽迅速集中, 造成哈密南部的暴雨。850~700 hPa上30—31日沿河西走廊存在一支东南气流, 哈密位于东南急流出口区左侧辐合区。高、中、低空风场的配置与700 hPa辐合线共同造成此次暴雨过程。

此次暴雨过程出现在冷空气前部相当距离的588 dagpm等高线和700 hPa东南气流上的暖区内, 是由于副高异常北上、中亚低涡及其延伸至哈密南部的暖式切变为影响系统的暴雨过程。这与江南地区、长江中下游地区暖区暴雨极为相似。暴雨期间, 哈密一直处于槽前西南气流上, 同时西太副高的西伸北进及稳定维持, 都为此次暴雨提供了有利的环流背景。

## 3 要素分析

### 3.1 大气层结分析

降水前期副高西北侧的偏南气流一直控制着河西走廊至哈密南部, 对流层中层为暖脊控制, 地面至700 hPa温度及地面露点温度缓慢升高, 暴雨区上空的高低空温差(850~500 hPa)达到26 °C, 不稳定层结有利于对流天气的发生。

分析距暴雨中心最近的哈密站*T-lnp*图(图2)发现, 这次暴雨与一般的强对流天气有很大不同, CAPE的作用不够明显。“7.31”暴雨开始前(30日20时), 深厚湿层集中在600~400 hPa, 在近地层存在浅薄的不稳定层结, 在500~400 hPa存在不稳定层结,

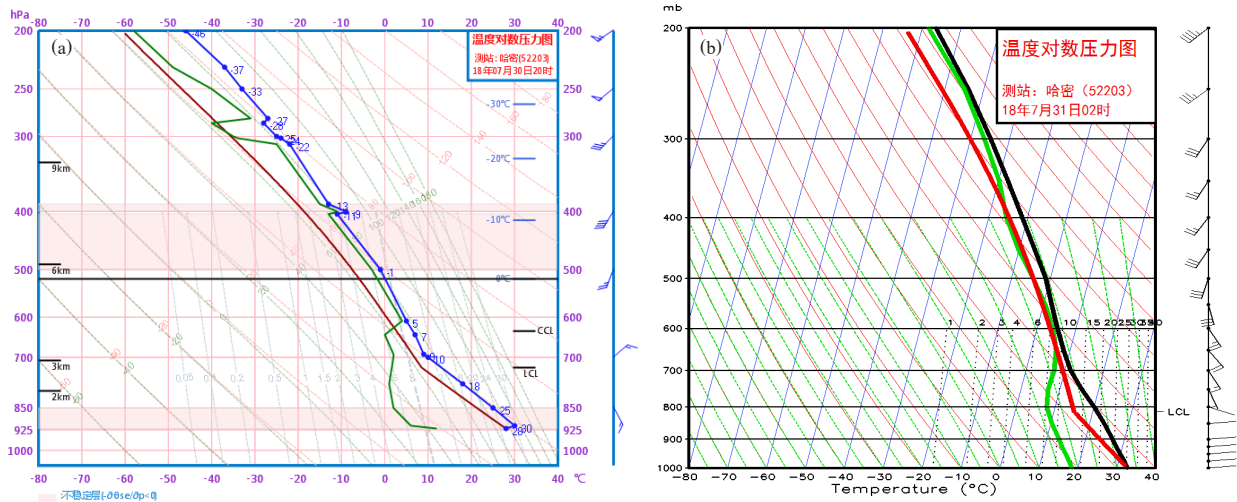


图2 2018年7月30日20时(a)、31日02时(b)哈密站T-lnp图  
Fig. 2 Sounding chart of Hami Station at 20:00 BT on 30 July (a) and 02:00 BT on 31 July 2018 (b)

CAPE值为0, CIN也为0, 表明很容易就能启动对流或者对流已经开始, 可能是由环境的动力强迫抬升以维持降水<sup>[28]</sup>。从风场垂直切变来看, 850~700 hPa风随高度逆转, 有冷平流; 700 hPa以上风随高度顺转, 有暖平流, 垂直风切变为 $1.31 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 。02时T-lnp图上, 700 hPa以上整层为湿层, 从850 hPa开始风随高度顺转, 哈密上空整层为暖平流, 垂直风切变增大为 $8 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ , 探空曲线呈现为短时强降水特征。

假相当位温 $\theta_{se}$ 是集温度、气压、湿度于一体的表征大气中能量分布的物理量<sup>[25]</sup>, 它反映了大气的温湿状况, 其水平和垂直分布可以反映大气中的能量分布、垂直稳定度状况和大气湿斜压性<sup>[27]</sup>。其表达式为:  $\theta_{se} = (T + \frac{L}{c_p}) \times (\frac{1000}{p})^{\frac{R}{c_p}}$ , 其中:  $T$ 为大气温度,  $L$

为凝结潜热,  $c_p$ 为定压比热,  $R$ 为比气体常数。分析暴雨发生阶段假相当位温空间分布发现, 850~500 hPa从30日08时—31日02时, 东北—西南走向的 $\theta_{se}$ 锋区位于南疆—河西走廊—内蒙古一带, 暴雨区位于等 $\theta_{se}$ 线密集带的西南侧边缘, 即 $\theta_{se}$ 能量锋区的高能区一侧。暴雨发生时, 700 hPa哈密南部存在强度达352 K的高能舌, 该高能舌与东南气流相联系, 反映的是一股高能、高湿、不稳定的暖湿气流, 向哈密南部输送了大量的水汽和不稳定能量。

为了能够清晰地看出系统的垂直结构, 沿 $42.9^\circ\text{N}$ 作垂直环流的经度剖面可见, 31日02:00, 一支强劲的偏南气流由南至北通过河西走廊向北输送水汽, 受地形的影响, 在暴雨区上空明显抬升, 暴雨区上空为整层的上升运动, 垂直速度大值中心位于 $95^\circ\text{E}$ 上空600 hPa附近, 强度达到 $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 强上升运动源源不

断地将水汽和能量向上输送, 造成沁城小堡6 h降水量达79.8 mm的大暴雨天气, 08:00垂直速度大值中心仍然存在, 但中心位置有所减弱、范围缩小并向东北偏移, 降水强度减弱, 此后随着垂直速度的迅速减弱, 降水结束。

### 3.2 暴雨的水汽特征

7月30日20时, 河西走廊西部至内蒙古西部上空从地面到700 hPa大气接近饱和, 700 hPa和地面露点分别达到 $12^\circ\text{C}$ 、 $14^\circ\text{C}$ 左右, 均超过北方区域性短时强降水发生的露点阈值( $4\sim 5^\circ\text{C}$ , 源自国家气象中心强天气预报中心编写的《中尺度天气图分析技术规范》), 可见强降水出现前期哈密南部低层已属于大范围高湿区。

环境大气所含水汽的丰沛程度与引发的暴雨强度有密切关系, 新疆属于干旱半干旱地区, 肖开提等<sup>[29]</sup>研究指出: 新疆大降水过程水汽在一定的环流条件下, 在新疆境外集中, 并在合适的环流条件下通过接力输送机制输送到暴雨区。分析各层水汽通量场发现, “7.31”暴雨过程, 水汽源地一是阿拉伯海、孟加拉湾的水汽随500 hPa副高前偏南气流输送至哈密市, 二是阿拉伯海、孟加拉湾的水汽通过低层偏南风输送至华北地区与来自黄海的水汽汇合, 然后沿河西走廊与内蒙的偏东急流进入哈密南部, 这支异常的偏东急流水汽输送在以往哈密暴雨中是罕见的。

分析暴雨期间逐层水汽通量散度发现700~500 hPa水汽辐合大值区与暴雨落区十分吻合。30日08时700 hPa上哈密南部沁城一带出现水汽辐合, 中心值为 $-3 \times 10^{-4} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}$ , 之后辐合不断加强, 中心缓慢东北上, 31日02时水汽通量散度负值中心下

降到 $-5 \times 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ，大值区与强暴雨区一致。31日14时，随着副高东南撤，辐合转为辐散，降水结束。

### 3.3 地形影响下的动力抬升

哈密市位于天山东端，地形可以概括为“四山夹三盆”，天山横贯，山、盆相间，由北向南依次为：小哈甫提克山、大哈甫提克山、呼洪得雷山、苏海廷山、三塘湖—淖毛湖盆地、莫钦乌拉山（北山）、巴里坤盆地、巴里坤山—哈尔里克山、哈密盆地、嘎顺戈壁位于最南部。地形中高南北低，地势差异大。中部是天山主脉—巴里坤山、哈尔里克山和支脉莫钦乌拉山等高大山地，呈西北—东南向延展，南北两侧为中、低山区。整个山区面积占总面积的五分之三。在四个山地之间相间横列着三个断陷盆地，其长轴方向与山地相近，即西北—东南向，盆地近东西向。哈密盆地地势东北高，西南低；东为淖毛湖盆地，海拔均在1000 m以下，中间一带形成两个盆地最低处（300多米），是哈密市山北纬度最高、地势最低的地区。此次特大暴雨过程集中在哈密市东南部及淖毛湖盆地，其地形作用不容忽视。特大暴雨开始前，哈密市受中亚低涡前部西南气流所控制，随着西太副高的西伸北抬，低涡前部西南气流与副高西侧偏南气流汇合加强，受到西北—东南向的天山山脉阻挡，700 hPa东南急流与东天山夹角近乎 $90^\circ$ （图3），天山地形的阻塞作用导致低层东南气流转向辐合，使得西南气流强迫抬升，在沁城一带上空形成一个中尺度垂直环流圈，为大暴雨过程提供较强的垂直上升运动。在副高东退过程中，西南气流从东天山末端进入淖毛湖盆地，同样

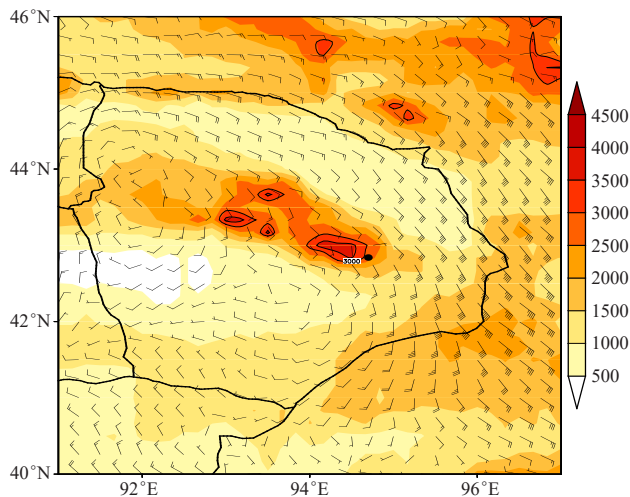


图3 2018年7月31日02时700 hPa风场和地形（黑色圆点所示为暴雨区）  
Fig. 3 700 hPa wind field at 02:00 BT on 31 July 2018 and topography (black dot area is rainstorm)

受到中蒙边境的小哈甫提克山阻挡，形成中尺度垂直环流圈，受地形影响中尺度垂直环流圈在山前增强、滞留。西南气流同时将低纬度的暖湿气流向暴雨区输送，同时850~700 hPa偏东急流携带水汽北上，中低层水汽在迎风坡强烈辐合，使得降水进一步加强。

## 4 中小尺度特点

### 4.1 中尺度对流系统

卫星遥感可获取大范围数据资料，应用时空分辨率高的卫星遥感资料可以监测对流云团的生成、发展和移动，是强对流天气预报预警的有效方法。利用风云2G (FY-2G) 高分辨率红外云图可以看到，31日03时大暴雨区上风向哈密与甘肃交界的红柳河一带出现3个小云团（图4），一个位于红柳河南部甘肃境内（云团A），另外两个相距较近，位于哈密境内红柳河至沁城之间（云团B、云团C）；04时云团东北上，B、C两个云团合并（以下称为云团B），TBB增长到 $-46.64^\circ\text{C}$ ，在云团上风方向出现另一云团D。05时B云团继续北上约20 km至沁城南端，水平尺度增长到95 km，TBB增长到 $-54.73^\circ\text{C}$ ；A云团东北上，TBB增长到 $-30.61^\circ\text{C}$ 。06时A云团快速北上，与B云团、D云团合并成为一个 $\beta$ 中尺度对流云团，并移至暴雨区上空，水平尺度增长到126.6 km，TBB增长到 $-60^\circ\text{C}$ ，沁城及淖毛湖一带的强降水开始。07—08时云团移速减慢，TBB $< -60^\circ\text{C}$ 面积增大，与此对应最强降水时段出现。09时云团东北上至淖毛湖一带，沁城区域降水减弱，至10时云团东移出哈密境内，强降水结束。

以上分析可见， $\beta$ 中尺度对流云团在沁城至淖毛湖一带滞留、增强造成哈密东南部暴雨或大暴雨天气；暴雨中心发生在中尺度对流云团影响的区域，云顶亮温值在 $-60 \sim -32^\circ\text{C}$ 。

### 4.2 地面自动站资料分析

进一步分析暴雨前、中期，哈密市逐5 min区域自动站风场、露点资料发现，31日05:45，暴雨中心沁城附近出现明显的 $\gamma$ 中尺度切变线；该切变线在强降雨过程一直维持，09:35该切变消失，随之暴雨中心降水减弱。从地面露点的分布来看，暴雨开始前沁城一带地面露点在 $15^\circ\text{C}$ 左右，接近饱和，在07时暴雨开始时地面露点迅速增大到 $18^\circ\text{C}$ 左右，达到饱和。

## 5 引发哈密南部特大暴雨的天气过程概念模型

综上所述，总结出本次哈密南部特大暴雨天气过程的高低空配置模型（图5）：100 hPa南亚高压双体型且东部中心强于西部中心，200 hPa强西南急流维持

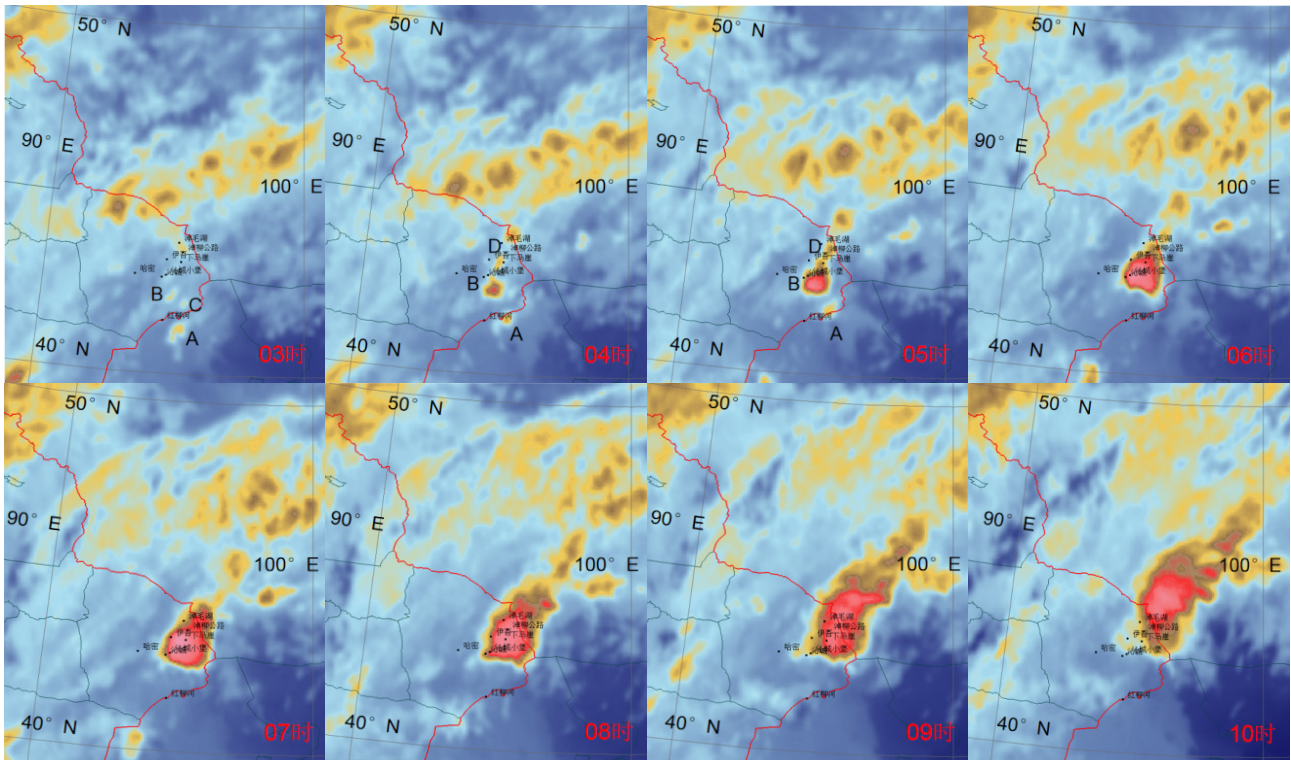


图4 2018年7月31日FY-2G红外云图

Fig. 4 Infrared cloud images of FY-2G satellite on 31 July 2018

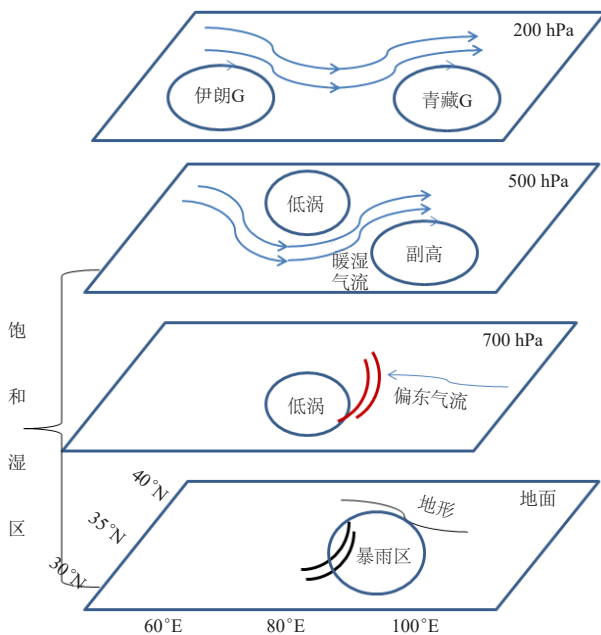


图5 哈密南部暖区暴雨高低空配置模型

Fig. 5 High to low altitude model of warm-sector heavy rainfall in south Hami

在新疆中部；500 hPa中亚低槽（涡）南伸至30°N以南，西太副高异常西伸北挺，西部脊点伸至45°N附近，副高西侧偏南气流不仅为暴雨区提供了水汽，也导致大气中低层温度升高，产生能量聚集；700 hPa暖式

切变线有利于气流的辐合上升；地面中尺度切变与西北—东南走向的有利地形加剧了暴雨区的辐合上升；阿拉伯海、孟加拉湾北上的水汽通过500 hPa副高西侧的偏南气流接力输送至中亚低值系统中，700 hPa西南气流将孟加拉湾的水汽经青藏高原东部的偏南、东南气流和850 hPa华北—内蒙古的偏东气流将渤海的水汽接力输送至降水区上空；低空暖湿气流的汇入同时增强了气团的潜在不稳定，为对流系统的发展和降水的发生提供了有利的条件。

参考文献:

- [1] 张云惠,王勇.哈密南部暴雨成因分析.气象,2007,30(7): 41-43.
- [2] 王荣梅,道然,屠月青.哈密地区7·17暴雨天气过程分析.沙漠与绿洲气象,2010,4(1): 36-40.
- [3] 冯瑶,阿依夏木.哈密地区7·11大降水天气分析.沙漠与绿洲气象,2008,2(4): 37-39.
- [4] 张家宝,邓子风.新疆降水概论.北京:气象出版社,1987: 351-357.
- [5] 黄士松.华南前汛期暴雨.广州:广东科技出版社,1986: 244.
- [6] 王坚红,杨艺亚,苗春生,等.华南沿海暖区暴雨系统研究进展.气象科技进展,2017,7(4): 38-46.
- [7] 谌芸,孙军,徐睿,等.北京7·21特大暴雨极端性分析及思考(一): 观测分析及思考.气象,2012,38(10): 1255-1266.
- [8] 孙继松,何娜,王国荣,等.“2012.7.21”北京大暴雨系统的结构演变特征及成因初探.暴雨灾害,2012,31(3): 218-225.
- [9] 段伯隆,张文龙,刘海文,等.北京“7.21”特大暴雨过程暖区降水和锋面降水的时空分布特征.暴雨灾害,2017,36(2): 108-117.
- [10] 王宝鉴,孔祥伟,傅朝,等.甘肃陇东南一次大暴雨的中尺度特征分析.高原气象,2016,35(6): 1551-1564.
- [11] 傅朝,杨晓军,周晓军,等.2013年6月19—20日甘肃陇东南暖区

(下转80页)

的时间和麻烦！”

时至今日，徐近之的研究依然对了解当时拉萨的天气、气候和地理环境有重要的参考价值，这些著作，都是西藏气象研究的奠基之作，正如他在1937年发表的文章《拉萨早涝说》一文的篇首所写：“西极遐荒，为世瞩目，拉萨测候，弹指两年，所址虽未如理想，记载之价值已彰；客岁情形，仆尝揭其大要，昭告邦人君子矣。惟是记载时浅，所见不过一斑，加以他无文献可征，立论流于武断，势所不免，今岁一切，回异乎是；幸羁旅之身犹在，躬自得之，疑窦可去。”这种中国人在中国的土地上开展科学研究的爱国情怀跃然纸上，这个意义则更加重大。

### 深入阅读

- 刘亦实, 2007. 第一个进藏的地理学家徐近之. 江苏地方志.  
马丽华, 2018. 青藏光芒. 北京: 十月文艺出版社.  
喜饶尼玛, 2020. 我国著名地理学家徐近之与拉萨测候所. 中国西藏网, (2020-08-22).  
严德一, 1983. 徐近之为我国地理科学奋斗的一生. 中国科技史料, (2): 48-54.  
严德一, 1985. 三十年代徐近之青藏高原的考察探索—缅怀去世三周年. 地理学与国土研究, (1): 59-60.  
张成忠, 2013. 第一个进藏的地理学家徐近之. 人民政协报, (2013-08-15).  
张雷, 2019. 民国地理学人 | 徐近之: 懂得了天地, 却没懂人间. 澎湃新闻(2019-03-14).  
竺可桢, 1979. 竺可桢文集. 北京: 科学出版社.

(作者单位: 王元红, 西藏自治区气象局;  
戚兴宇, 西南民族大学公共管理学院)

(上接63页)

- 暴雨多普勒雷达特征分析. 气象, 2015, 41(9): 1095-1103.
- [12] 赵俊荣, 杨雪, 杨景辉. 新疆北部冬季暖区大降雪过程中尺度云团特征分析. 高原气象, 2010, 29(5): 1280-1288.
- [13] 庄晓翠, 周鸿奎, 李博渊. T639模式在新疆北部暖区强降雪中的预报检验. 干旱气象, 2015, 33(5): 1031-1037.
- [14] 庄晓翠, 崔彩霞, 李博渊, 等. 新疆北部暖区强降雪中尺度环境与落区分析. 高原气象, 2016, 35(1): 129-142.
- [15] 王磊, 白松竹, 庄晓翠. T639模式对新疆北部暖区强降雪过程的预报效果检验. 暴雨灾害, 2016, 35(5): 489-496.
- [16] 曾勇, 杨莲梅. 新疆西部一次极端暴雨事件的成因分析. 高原气象, 2018, 37(5): 1220-1232.
- [17] 张云惠, 李海燕, 蔺喜禄, 等. 南疆西部持续性暴雨环流背景及天气尺度的动力过程分析. 气象, 2015, 41(7): 816-824.
- [18] 庄晓翠, 李如琦, 李博渊, 等. 中亚低涡造成新疆北部区域暴雨成因分析. 气象, 2017, 43(8): 924-935.
- [19] 陈春艳, 孔期, 李如琦. 天山北坡一次特大暴雨过程诊断分析. 气象, 2012, 38(1): 72-80.
- [20] 赵克明, 黄艳, 于碧馨. 2013年南疆西部暴雨天气的水汽特征. 气象科技, 2017, 45(1): 122-130.
- [21] 陈贻, 谌芸, 陈涛, 等. 长江中下游地区暖区暴雨特征分析. 气象, 2016, 42(6): 724-731.
- [22] 汪玲瑶, 谌芸, 肖天贵, 等. 夏季江南地区暖区暴雨的统计分析. 气象, 2018, 44(6): 771-780.
- [23] 孙继松, 戴建华, 何立富, 等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法. 北京: 气象出版社: 30.
- [24] 叶朗明, 苗峻峰. 华南一次典型回流暖区暴雨过程的中尺度分析. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 342-350.
- [25] 叶朗明, 徐碧裕. 两次不同类型暖区暴雨的对比分析. 气象研究与应用, 2014, 35(4): 5-15.
- [26] 吴国雄, 蔡雅萍, 庄晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387-405.
- [27] 马月枝, 张霞, 胡燕平. 2016年7月9日新乡暖区特大暴雨成因分析. 暴雨灾害, 2017, 36(6): 557-565.
- [28] 吴翠红, 龙利民. 湖北省中尺度暴雨天气分析图集. 北京: 气象出版社, 2007: 103-207.
- [29] 肖开提·多莱特, 汤浩, 李霞, 等. “96.7”新疆特大暴雨的水汽条件研究. 新疆气象, 1997, 20(1): 8-11.