

唐鹏,黄艳,张丽,等.中昆仑山北坡一次极端暴雨天气过程分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(6):34-41.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.06.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



中昆仑山北坡一次极端暴雨天气过程分析

唐鹏,黄艳*,张丽,陈天宇,杨小芳

(和田地区气象局,新疆 和田 848000)

摘要:利用常规气象探测、FY卫星、多普勒天气雷达以及再分析等资料,对2021年6月15—16日出现在中昆仑山北坡极端暴雨成因进行分析。结果表明:西伯利亚到中亚有低槽稳定维持,昆仑山北坡环境大气逐渐变得潮湿不稳定。500 hPa低槽东移分成两段,位于中亚低槽与印度半岛西北部低槽南北叠加,地面东、西两股冷空气进入盆地,使得不同性质空气充分混合。东风急流中心在且末至若羌,和田中部有偏东与偏西风辐合、水汽辐合、强的水汽输送、强上升运动。水汽输送主要距地4 000 m以下,水汽源地位于天山南坡、高原南坡。地面的热力不均匀、高空急流、地面辐合线、地形等作用使得降水强度增强。强降水以 γ 小尺度系统为主,在地面辐合线附近表现为快速生消的特征。

关键词:昆仑山北坡;极端暴雨;水汽

中图分类号:P458.121.1

文献标识码:A **文章编号:**1002-0799(2022)06-0034-08

昆仑山脉中段位于 $77^{\circ}\sim 86^{\circ}\text{E}$,主要位于新疆南部(以下简称“南疆”)和田地区,主脉向南略呈弧形。在全球变暖背景下,南疆降水和气温增幅大于全国平均,降水增加主要是极端和短时对流降水的增加^[1-5]。陈冬冬等^[6]研究发现南疆降水增多与水汽输送和环流调节有关,杨莲梅和卢星等^[7-8]认为南疆降水偏多存在副热带西风急流位置偏南、500 hPa中高纬经向环流强,从阿拉伯海、西太平洋的水汽分别从青藏高原两侧绕流进入南疆上空。一些学者通过分析南疆夏季强降水给出了暴雨的环流和环境参数特征^[9-13],表明100 hPa南亚高压呈双体型分布,副热带槽加深,500 hPa塔什干低涡与贝加尔湖附近低槽构成“东西夹攻”形势,高空强辐散区与低空偏东风急流左前方强烈的气旋式辐合区在大暴雨区上空叠加,低层偏西气流与偏东风急流有利于水汽向暴雨区汇

聚和强对流天气的触发。曾勇^[14]、刘雯^[15]、杨莲梅等^[16]使用云图、雷达、地面加密风场等资料发现南疆强降水发生的一些中小尺度特征,地面辐合线是重要的触发条件,雷达多以 γ 尺度系统为主。谢泽明等^[17]总结了新疆降水的一些研究成果,同时提出了应该加强水汽输送、中小尺度、地形对降水的影响研究,加强雷达、卫星、自动站等气象资料的应用等。冀翠华等^[17-23]通过后向轨迹追踪或探空分析等方法来找出暴雨过程水汽和环境条件变化等。

中昆仑山北坡强降水越发明显,如何正确地认识造成强降水的成因十分重要。2021年6月15—16日中昆仑山北坡发生的大范围强降水极其罕见,通过分析本次强降水环流、环境参数、水汽输送、中小尺度系统、雷达与卫星图像的特征,进一步认识昆仑山中北部强降水。

1 资料和方法

利用常规气象探测、地面实况融合产品、风云卫星、和田CINRAD/CC天气雷达及ERA5再分析资料(水平分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为1 h),探究极端暴雨发生的影响系统、环境条件、中小尺度

收稿日期:2022-02-09;修回日期:2022-08-09

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2021D01A15)

作者简介:唐鹏(1988—),工程师,主要从事中短期天气预报和气象服务工作。E-mail:42901322@qq.com

通信作者:黄艳(1974—),女,正高级工程师,主要从事新疆短时强降水等灾害性天气研究。E-mail:1085858493@qq.com

系统特征等,使用 Hysplit-5 后向轨迹模拟来追踪强降水的水汽来源、输送通道,以期为中昆仑山北坡强降水的预报预警提供一定参考。

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^m q_{\text{last}}}{\sum_{i=1}^n q_{\text{last}}} \times 100\% . \quad (1)$$

式中, Q_s 表示通道水汽贡献率, q_{last} 表示通道上最终位置的比湿, m 表示通道所包含的轨迹的条数, n 表示轨迹的总数。公式(1)可计算不同高度后项轨迹的水汽贡献率。

2 暴雨实况及极端性

2021年6月14日—16日,中昆仑山北坡出现极端暴雨,其具有范围大(图1a)、暴雨站数多、持续时间长、累计雨量大、极端性强、灾害重等特点。此次暴雨过程累计受灾4.08万户、12.61万余人,安全转移人口1.15万人,受灾农作物1.08万 hm^2 ,直接经济损失1.08亿元。

2.1 降水实况

此次暴雨天气过程的主要降水时段为15日19时—16日14时,洛浦站降水持续16h。累计降水量中心位于和田地区中西部平原(图1b),49站降水量在25.9~47.3 mm,45站降水量为48.9~90.3 mm,6站为97.6~121.6 mm,最大降雨中心为洛浦县山普鲁乡泥石流频发区1号站,累计降水量达121.6 mm。过程共55站次暴雨,31站次大暴雨,2站次特大暴雨。

59站次出现短时强降水(≥ 10 mm),最大小时

雨强为28.8 mm/h,最大3h雨量为64.9 mm,最大6h雨量为90.2 mm(洛浦县山普鲁乡泥石流频发区1号站,15日19:00—16日02:00)。洛浦县山普鲁乡泥石流频发区1号站(图1c)15日19—23时为对流性降水,23时以后为西风带系统性降水。

2.2 日降水的极端性分析

2021年6月16日洛浦县(74.1 mm)、墨玉县(59.6 mm)、和田市(56.0 mm)日降水量均打破建站以来历史极值,并超过其年平均降水量,其中洛浦县16日降水量为该站年平均降水量的1.7倍。皮山县过程累积降水达80.5 mm,打破建站以来夏季降水极值,同时也超过了年平均降水量。和田地区自动站有56%以上气象站都出现了暴雨,第一次同时监测到大范围暴雨。

3 环流形势及天气系统

2021年6月平均500 hPa环流中高纬度为两脊一槽,欧洲东部至乌拉尔山和鄂霍次克海高压脊强盛,新疆受低槽影响,5月28日—6月20日新疆大部地区断续出现降水天气。

3.1 暴雨环流配置

6月15日100 hPa位于伊朗高原的南亚高压东扩至青藏高原以东上空(图2a),逐渐演变成具有2个中心的“双体型”。14日位于青藏高原以东的高压中心强度加强、面积增大,南疆处于高空低槽前。14日200 hPa南疆西部处于高空急流断裂处和东段急流的入口区附近,最大风速达 $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。

6月11—14日,500 hPa伊朗副热带高压和西

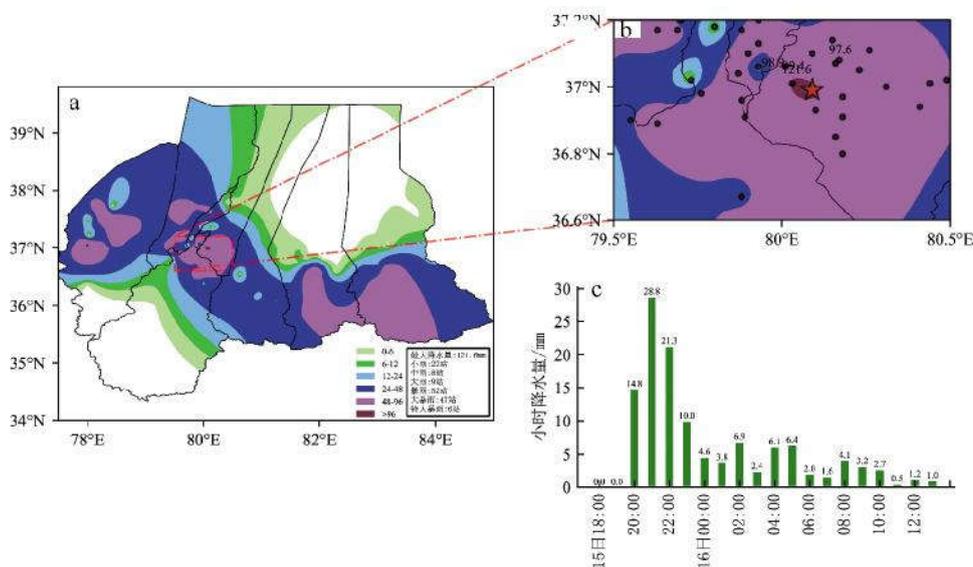


图1 6月14日21时—16日20时和田地区降水(a)和最大降水区域放大(b,●为观测站,★为过程降水量最大站点)及洛浦县山普鲁乡泥石流频发区1号站逐小时降水(c,单位:mm)

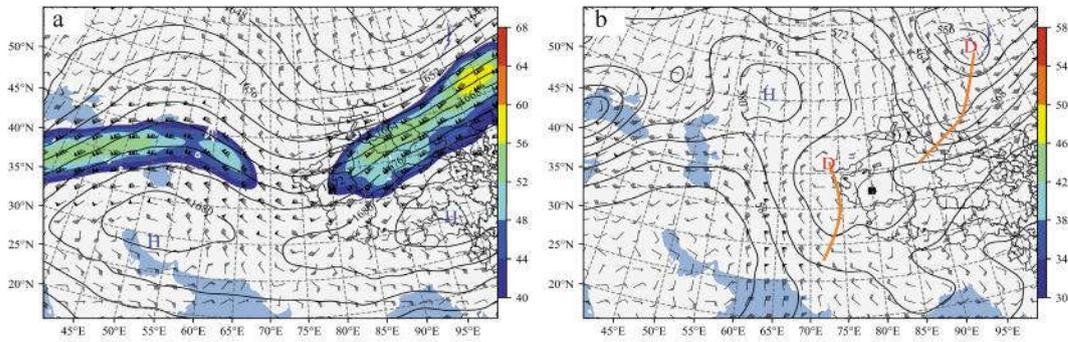


图2 6月15日20时100 hPa位势高度及200 hPa风速(a)和500 hPa位势高度及风速(b)
(位势高度单位:dagmp, 阴影代表强风速区, 单位:m/s, 棕色线为槽线)

太平洋副热带高压之间在印度半岛形成低槽, 西伯利亚至中亚有经向度不断加强的低槽系统, 西伯利亚低槽东移过程受地形影响, 在巴尔喀什湖形成横槽, 北段东移北收, 低槽分裂短波和东移过程造成北疆、东疆、南疆山区出现明显降水。15—16日, 北段低槽东移到贝加尔湖, 新疆北部和东部处于低槽底部, 巴尔喀什湖横槽东移翻越高原进入南疆西部(图2b), 并与印度半岛的低槽同相位结合。典型的“东西夹攻”和“南北结合”共同造成了昆仑山北坡历史罕见暴雨。

3.2 东风急流

15日20时850~700 hPa且末至民丰有12~16 m·s⁻¹的东风急流(图3a、3b), 最强的风速中心位于且末, 此时强降水区为东风急流前沿, 16日08时

偏东急流达到最强, 风速为20 m·s⁻¹, 在和田中部逐渐转为东南风并增强, 强降水区向西北移动。15日20时850 hPa和田西侧的西北风与东北侧的偏东风同时加强(图3b), 和田中部形成切变, 16日14时以后偏东风减弱, 西北风加强, 辐合线向东北移动。

偏东急流作用主要有水汽的输送、辐合和动力辐合抬升, 本次暴雨与普通暴雨一样发生在低层东风急流前侧的辐合区。辐合持续的时间和强度与东西两股冷空气势力和昆仑山向南的弧形地形有关, 东风强于西风在昆仑山西部山区产生强降水, 西风强于东风在昆仑山东部山区产生强降水, 本次主要是东西风同时到达和田, 在和田中部产生持久的强辐合, 这种情况十分少见。

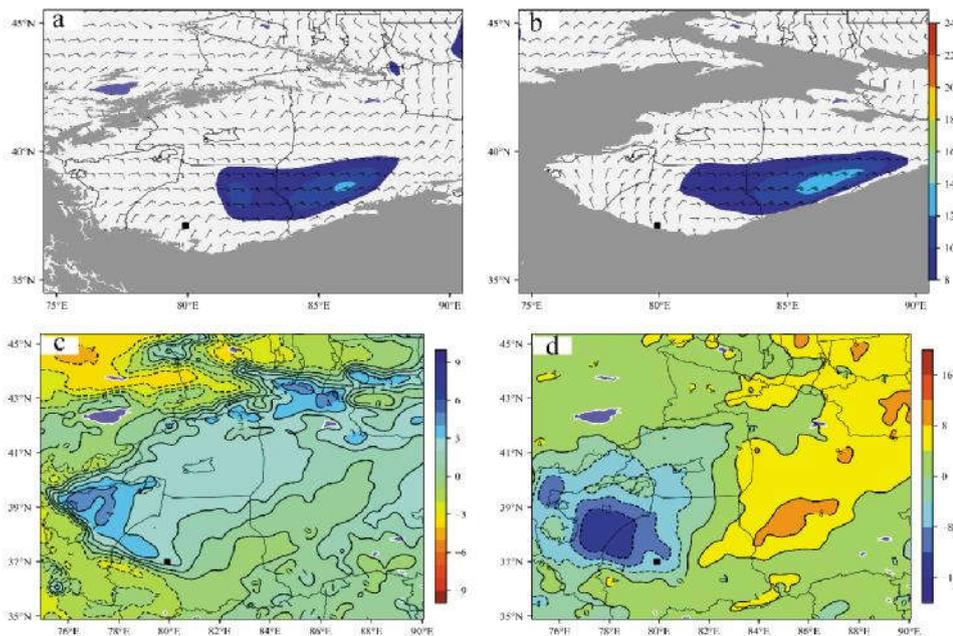


图3 地面6月15日20时700 hPa风场(a, 灰色阴影为海拔>3500 m)、850 hPa风场(b, 灰色阴影为海拔>1500 m)及过去24 h变压(c, 单位:hPa)、变温(d, 单位:°C)
(黑色方框代表洛浦站)

3.3 地面冷空气

使用实况融合产品计算地面 24 h 变压、变温情况。14—15 日南疆盆地地面先后有东灌和西部翻山冷空气进入南疆地面,前后两股冷空气使得盆地底部形成冷垫(图 3c),同时变压使得中昆仑山北部有东西风的辐合。15 日白天西翻冷空气及和田上游降水影响,20 时(图 3d)地面 24 h 变温南疆西部降温幅度在 8~12 °C,而东部升温 4~8 °C,由于不同热力性质的空气在和田中部交汇,利于锋生和环境热力不稳定的产生。

此次暴雨主要影响系统有高空西南急流、500 hPa 低值系统、低层偏东急流、切变线和地面东西路冷空气。中亚低值系统和印度半岛低槽南北结合、低层东西风在和田中部持续辐合,造成了此次极端降水过程。

4 暴雨环境条件

4.1 探空分析

和田市探空表明,13—15 日中昆仑山北坡中部有能量、水汽聚集,15 日 20 时对流有效位能(CAPE)为 4 64.9 J·kg⁻¹,这个数值比黄艳等^[12]分析 4 种类型南疆短时强降水的 CAPE 值都要小。14—15 日 20 时低层水汽条件变好,K 指数 15 日 20 时达到了 35.9 °C,抬升指数(LI)<-2.3 °C,大气极不稳定。

根据方文维等^[24]采用分层差分的方式计算大气可降水量,南疆年平均大气可降水量<10 mm,13—15 日大气可降水量不断增加,15 日 20 时达 242 mm。13—15 日抬升凝结高度逐步下降,15 日下降到距离地面 1 000 m 左右。0~1 km 垂直风切变降雨前达到最小,为 0.9 m·s⁻¹,弱的垂直切变有利于低层辐合线长时间维持。

在大尺度环流作用下,暴雨区大气表现为不稳定,大气的可降水量异常增加和低层弱垂直切变是本次极端降水的最主要环境特征。

4.2 暴雨过程的水汽条件

本次降水前地面到 300 hPa 整层水汽通量情况,6 月 10—14 日低槽或短波携带水汽不断地输送至盆地,主要沿着西南东北向移动。15—16 日强中心由东向西移动,中心强度可达 200 kg·(m·s)⁻¹(图 4a),暴雨位于强中心附近。水汽输送有东北、西北、偏南路径,强度最强的为东北路径,东北风将天山南坡阿克苏至巴州的水汽输送到中昆仑山北坡。500 hPa 为偏南水汽输送,700 hPa 为东北水汽输送(图 4b),850 hPa 为西北、东北水汽输送(图 4c)。

700 hPa 偏东水汽输送一直维持到降水结束,强降水区有水汽通量辐合。850 hPa 水汽输送有偏西、偏北、偏东路径,15 日傍晚,850 hPa 由于偏东北风和西北风在和田中部汇合,水汽通量散度表现出

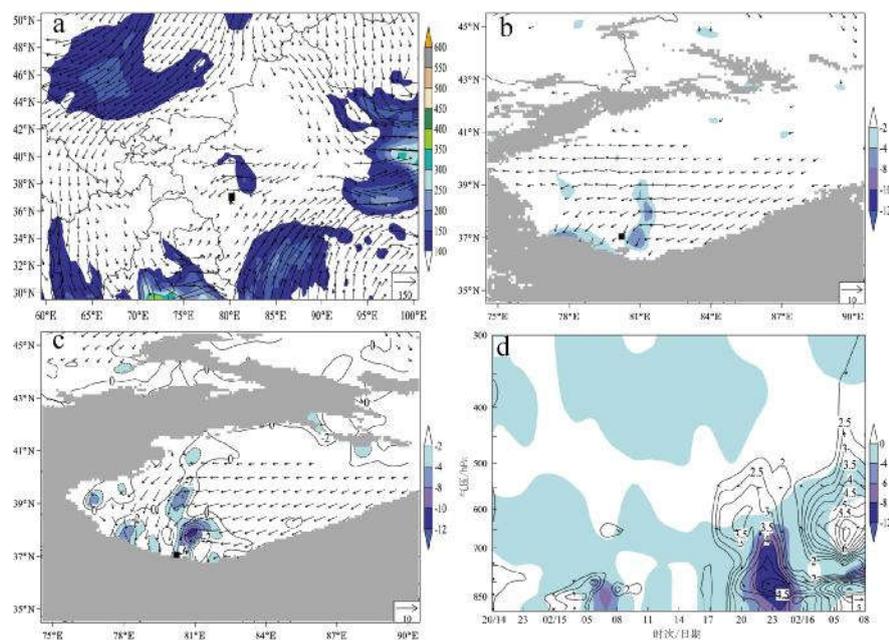


图 4 6 月 15 日 20 时整层水汽通量(a,单位:kg·m⁻¹·s⁻¹),700 hPa(b)、850 hPa(c)水汽通量(单位:g·cm⁻¹·hPa⁻¹·s⁻¹)和水汽通量散度(单位:10⁻⁵ g·cm⁻²·hPa⁻¹·s⁻¹),洛浦站(d)水汽通量和水汽通量散度随时间(北京时)垂直剖面(黑色方框为洛浦站)

强辐合,中心强度达 $10 \text{ g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$,暴雨区位于强辐合区。从洛浦单站水汽通量和水汽通量散度垂直剖面(图4d)可知,水汽输送加强对应西北风或偏东风加强,低层水汽通量和水汽辐合同时达到最强时,开始出现暴雨。

4.3 暴雨的水汽来源和水汽贡献率

利用 HYSPLIT-5.1.0 轨迹模型,绘制大暴雨上空4个高度、5个时刻水汽后向轨迹曲线(图5),模拟距离地面高度1500 m(图5a)、3000 m(图5b)、4000 m(图5c)和5000 m(图5d),模拟站点为洛浦站,后向模拟时长为120 h,初始时刻选择16日02时,每6 h后向追踪分析一次,每6 h输出一次轨迹点的位置。水汽的轨迹有东北、偏西长距离输送、偏南翻山路径。其中,东北路径水汽源地在天山南坡,主要集中在距地面1000~3000 m。暴雨发生前,在1000 m高度的天山南坡中西部和2000 m高度的塔里木盆地中部有水汽聚集,水汽移动速度慢,14—15日水汽贴地输送至和田1500~5000 m高空。在各个高度层都存在偏西路径水汽输送,主要的水汽源地为地中海—咸海水汽沿帕米尔高原进入昆仑山北坡,1000~2000 m偏西路径的水汽通过抬升到4000 m,再沿帕米尔高原贴地下滑到1000~2000 m,4000~5000 m的偏西路径水汽主要平流至盆地上空。偏南路径的水汽源地主要为阿拉伯海—印度半岛,水汽翻越青藏高原进入中昆仑山北坡4000 m高

空,在暴雨发生前,偏南路径气流与西路部分水汽结合并且移动速度明显增加。

本次强降水的水汽源地有天山南坡、青藏高原南坡、以及地中海—咸海,分别以东北、偏南、偏西路径进入中昆山北坡上空不同高度层,空气移动速度较慢,水汽聚集过程较长。计算得出1500、3000、4000、5000 m水汽的贡献率分别为38.7%、31.2%、17.1%、13.1%。水汽的贡献层次深厚,从低层至高层逐渐减小,4000 m以下的水汽贡献率达到86.9%。

昆仑山北坡暴雨最重要的是水汽条件,通常西风带系统造成小范围暴雨的水汽主要是低槽系统携带的水汽、以及中低层急流输送水汽,本次暴雨的水汽主要是盆地中低层水汽的聚集和低槽结合后北上携带的水汽。

4.4 热力和动力条件

15日20时南疆西部冷暖平流分布不均,850 hPa冷暖平流差异很大(图6a)。洛浦单站的温度平流15日白天850 hPa为暖平流,800~700 hPa为冷平流,高低层冷暖平流叠置有利于形成大气层结不稳定(图6b)。

15日08—20时200 hPa南疆中东部上空西南急流不断增强,天山南坡急流中心风速达 $55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。沿着高空急流方向做垂直速度、水平风速、比湿空间垂直剖面(图6d),高原南侧的云团在高空急流的引导下携带水汽向北运动,天山南坡下沉气流在低层

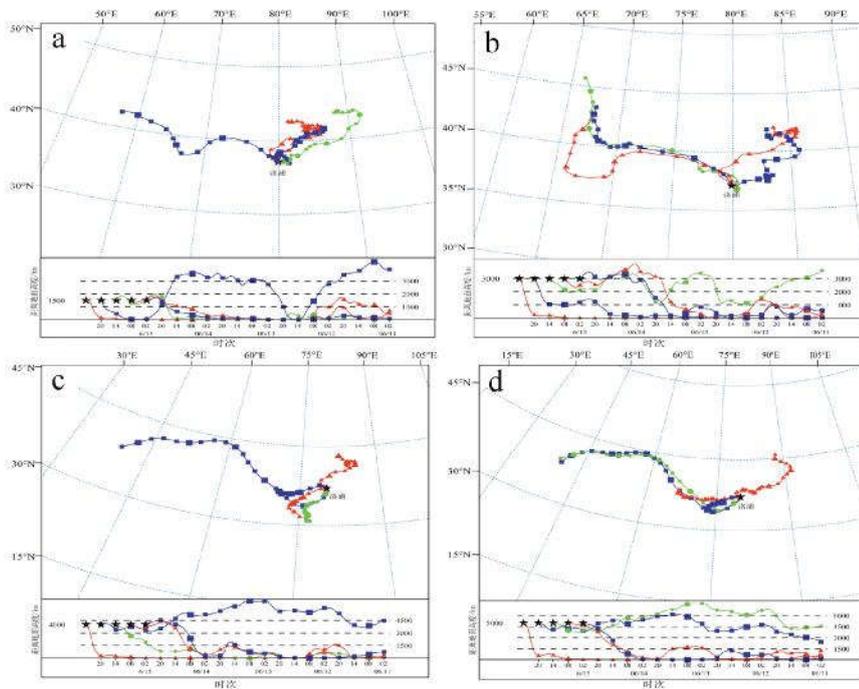


图5 6月16日02时洛浦站距地面1500 m(a)、3000 m(b)、4000 m(c)、5000 m(d)高度逐6 h水汽后向轨迹模拟

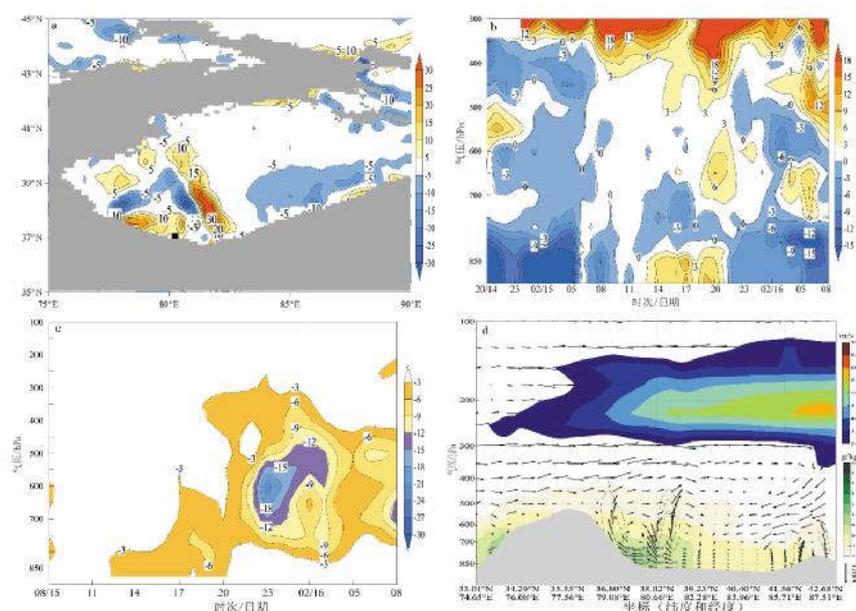


图6 6月15日20时850 hPa温度平流(a)及洛浦站温度平流(b)随时间(北京时间)垂直剖面(单位: $10^{-5}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}^{-1}$)、洛浦站垂直速度随时间(北京时间)垂直剖面(c,单位: $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)、沿高空大风速经向风与垂直速度的矢量剖面(d,灰色阴影为地形)

形成偏北回流,偏北气流与昆仑山北坡地形作用,在昆仑山北侧 37°N 附近形成了一个强的上升区,19时上升速度达 $20\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从洛浦单站垂直速度垂直剖面时间变化(图6c)可知,15日20时垂直速度迅速达到最大,中心为 $30\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$,地面至400 hPa都有上升运动,强度和上升运动的厚度较大。

15日17时和田市至策勒县有东北风、偏西风辐合线,15日23时辐合线向西移动,辐合线有利于触发不稳定能量的释放,产生强的上升运动。

5 卫星、雷达特征

5.1 云图特征分析

夏季翻越青藏高原的云系进入昆仑山北坡以高云为主,最低亮温 $<-40^{\circ}\text{C}$,不会造成昆仑山北坡明显降水,昆仑山北坡短时强降水黑体亮温为 $-48\sim-36^{\circ}\text{C}$ 。6月15日15时在印度半岛低槽前部有发展中的对流云,塔什库尔干地区低槽云系中有对流云发展,昆仑山北坡为中低云。18—23时南北支低槽结合(图7a、7b、7c),位于印度半岛的云系沿西南—东北向移动,19时到达昆仑山北坡中部并与本地发展的中低云合并加强,降水开始。23时逐渐形成涡旋云系,并向西北方向移动合并。根据FY-2G卫星云顶黑体亮温演变,18时由青藏高原以南翻山进入盆地,在移动方向上有多个亮温为 -28°C 的低值中心,19—23时低的亮温中心面积迅速变大并向西北

方向翻过高原向西移动,此时也是降水发生的最强时段。从洛浦单站的云顶黑体亮温变化可知,15日19—22时变化最大,下降至 -30°C 以下(图7d)。本次强降水云顶亮温的特征与南疆常见暴雨没有区别,只是云的移动和发展有差异,云系先向北移动然后向西北逆时针旋转移动,并与本地发展的云系合并加强。

5.2 雷达回波特征

15日18—20时,和田的雷达回波在东南和东北方向开始出现线状排列多单体,中心强度为 $35\sim40\text{ dBZ}$,对流单体的移动方向为东南—西北方。15日20—23时主要在雷达的东北方向有2个线状排列的单体,线状单体移动方向转为东北—西南向,移动速度较快,两条线状排列的单体移动到洛浦至和田市加强。15日23时线状回波移出和田市向西北方向移动,主要影响墨玉和皮山县,墨玉县和皮山县的降水开始加强,和田市至策勒以层状云回波为主,降水强度减弱。

沿着小时最强降水的分布中心作反射率的垂直剖面可知,19—23时在东部有多个质心为 $35\sim45\text{ dBZ}$ 的回波生成,洛浦县以东 $>35\text{ dBZ}$ 的回波中心位置距离地面 $2\sim4\text{ km}$,每个单体水平尺度在 20 km 以内,自东向西移动到洛浦—和田市迅速发展,之后迅速衰减,移动过程中质心的位置逐步下降。这与南疆短时强降水雷达回波特征相似,线状多单体长时间

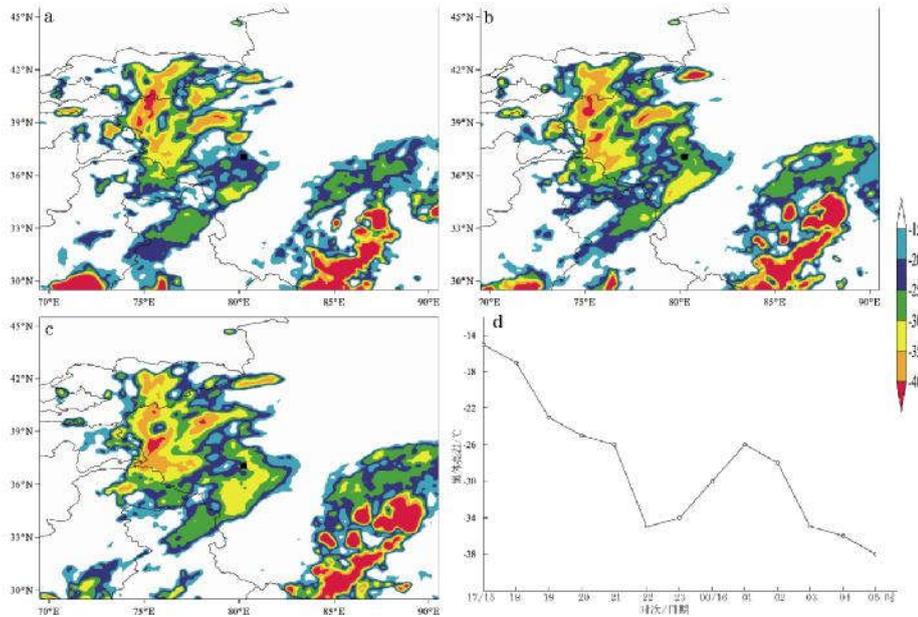


图7 15日FY-2G云顶黑体亮温19时(a)、20时(b)、21时(c)和洛浦单站云顶黑体亮温(d)随时间变化(黑色方框为洛浦站,单位:℃)

影响同一地区造成强降水在南疆比较少见。

6 结论与讨论

通过分析得出以下主要结论:

(1)昆仑山北坡大范围暴雨发生前期塔克拉玛干逐渐转为潮湿和不稳定。南亚高压2个中心青藏高原东部强于伊朗高原,高空急流加强,急流的入口区附近利于暴雨发生。

(2)500 hPa 西伯利亚—中亚有低槽稳定维持,低槽东北移动分成两段,形成了“东西夹攻”的形势,中亚低槽与印度半岛低槽南北结合有利于降水强度加强。

(3)降水出现在东风急流的前端和西风交界的辐合最强区,辐合区有强的水汽辐合和上升运动,辐合线是对流触发和降水维持的一个重要条件。

(4)水汽输送主要是距地4 000 m以下,水汽源地在天山南坡、高原南坡,强降水环境参数中可降水量表现得最显著。

(5)暴雨与低空急流和切变、地面风场辐合等中小尺度系统有关,雷达上表现为线状多单体长时间影响同一区域。

本文从环流、物理参数等方面分析了本次极端降水产生的一些原因,但对于对流的触发机制、地形、局地热力环流、高空急流等因素的作用研究不够深入,翻越高原的云系与昆仑北坡云系的相互作用的微观物理过程等方面研究,还有待加强。

参考文献:

- [1] 赵东升,高璇,吴绍洪,等.基于自然分区的1960—2018年中国气候变化特征[J].地球科学进展,2020,35(7):750-760.
- [2] 卢珊,胡泽勇,王百朋,等.近56年中国极端降水事件的时空变化格局[J].高原气象,2020,39(4):683-693.
- [3] 王澄海,张晟宁,张飞民,等.论全球变暖背景下中国西北地区降水增加问题[J].地球科学进展,2021,36(9):980-989.
- [4] 徐栋,孔莹,王澄海.西北干旱区水汽收支变化及其与降水的关系[J].干旱气象,2016,34(3):431-439.
- [5] 杨霞,周鸿奎,许婷婷,等.新疆夏季不同类型暴雨精细化特征对比分析[J].干旱气象,2021,38(3):747-754.
- [6] 陈冬冬,戴永久.近五十年中国西北地区夏季降水场变化特征及影响因素分析[J].大气科学,2009,33(6):1247-1258.
- [7] 杨莲梅,张庆云.新疆夏季降水异常的环流和青藏高原地表潜热通量特征分析[J].高原气象,2007,26(3):435-441.
- [8] 卢星,赵勇,王天竺.新疆夏季降水的环流差异分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(1):84-90.
- [9] 张云惠,李海燕,蔺喜禄,等.新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.
- [10] 张俊兰,杨霞,施俊杰.青藏高原天气系统对昆仑山北坡一次罕见暴雨过程影响分析[J].高原气象,2021,40(5):1002-1011.
- [11] 周雪英,贾健,刘国强,等.2017年春季新疆中部两次强降水天气环流配置及干冷空气侵入特征对比[J].气象科

- 技,2018,46(6):1201-1210.
- [12] 黄艳,俞小鼎,陈天宇,等.新疆短时强降水概念模型及环境参数分析[J].气象,2018,44(8):1033-1041.
- [13] 杨霞,张云惠,张超,等.新疆西部“5·21”极端大暴雨成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(1):21-30.
- [14] 曾勇,杨莲梅.新疆西部两次短时强降水天气中尺度特征对比分析[J].暴雨灾害,2017,36(5):410-421.
- [15] 刘雯,李建刚,杨莲梅.2016年夏末南疆地区中尺度对流系统(MCS)活动特征[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(4):9-16.
- [16] 杨莲梅,张云惠,黄艳,等.新疆短时强降水诊断分析暨预报手册[M].北京:气象出版社,2020.
- [17] 谢泽明,周玉淑,杨莲梅.新疆降水研究进展综述[J].暴雨灾害,2018,37(3):204-212.
- [18] 冀翠华,李姝霞.开封“7·19”大暴雨天气过程的极端性分析[J].气象与环境科学,2021,44(4):53-62.
- [19] 毛紫怡,李国平,许霖.湖南一次持续性暴雨过程的水汽输送与收支特征[J].暴雨灾害,2021,40(5):513-522.
- [20] 刘国强,佟欣怡,邓京,等.2012年6月巴州一次暴雨水汽输送特征[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(2):22-31.
- [21] 刘晶,曾勇,刘雯,杨莲梅.伊犁河谷和天山北坡暴雨过程水汽特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(3):65-71.
- [22] 苏爱芳,吕晓娜,崔丽曼,等.郑州“7·20”极端暴雨天气的基本观测分析[J].暴雨灾害,2021,40(5):445-454.
- [23] 冯丽莎,宋攀,田力,等.河南3次重污染天气过程的气象条件诊断及传输影响分析[J].气象与环境科学,2020,43(1):104-113.
- [24] 方文维,朱紫云,林风新,等.我国大气可降水量变化特征分析[J].海峡科学,2019,151(7):19-32.

Causes Analysis of an Extreme Torrential Rain on the North Slope of Middle Kunlun Mountains

TANG Peng, HUANG Yan, ZHANG Li, CHEN Tianyu, YANG Xiaofang
(Hotan Meteorological Bureau, Hotan 848000, China)

Abstract The causes of the extreme rainstorm that occurred on the north slope of the middle Kunlun Mountains on June 15-16, 2021 are analyzed by using conventional meteorological soundings, FY satellites, Doppler weather radar, and reanalysis data. The results showed that this rainstorm was maintained by a stable low trough from Siberia to Central Asia, and the ambient atmosphere on the north slope of the Kunlun Mountains gradually became moist and unstable. The 500 hPa trough moved eastward and divided into two sections, located in the Central Asian trough and the north-western Indian peninsula trough superimposed north-south, and the cold air from the east and west of the ground entered the Tarim Basin, which made the air of different properties fully mixed. The center of the easterly jet stream was in the area from Qiemo to Ruoqiang, and there were convergence of easterly and westerly winds, convergence of water vapor, strong water vapor transport, and strong upward movement in the central part of Hotan. The water vapor transport was mainly below 4,000 meters from the ground, and the water vapor source was located on the south slope of Tianshan Mountains and the south slope of the plateau. The precipitation intensity was enhanced by the thermal inhomogeneity of the ground, the high-altitude jet stream, the ground convergence line, and topography. The intense precipitation was dominated by meso- γ scale systems, which showed rapid generation and extinction near the ground convergence lines.

Key words north slope of middle Kunlun Mountains; extreme rainstorms; water vapor