

唐鹏,张丽,陈天宇,等.2019 年 6 月下旬中昆仑山北坡两场强降水对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):27-34.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.004

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



2019 年 6 月下旬中昆仑山北坡两场强降水对比分析

唐 鹏,张 丽,陈天宇,李 静,黄 艳*

(和田地区气象局,新疆 和田 848000)

摘 要:利用常规观测、NECP $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 和 EC $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 再分析等资料,对比分析 2019 年 6 月 25 日(简称“过程 1”)和 28 日(简称“过程 2”)中昆仑山北坡两场强降水过程。结果表明:两场过程影响系统均有高空西南急流、中层低值系统、低层辐合线;“过程 1”强降水范围大,持续时间长,影响系统移动缓慢,冷空气从东西两侧进入昆仑山北坡,同时西太平洋副热带高压西侧西南风将大量水汽输送至昆仑山北坡,低层有偏东和偏北、偏西风辐合;“过程 2”为分散、对流性强降水,低值系统移动迅速、对流层有逆温和不稳定层结,午后升温 and 低层弱辐合、山前偏北风是对流触发条件。中高层偏西偏南风水汽输送至昆仑山北坡,在低层合适的风场将水汽输送汇集到昆仑山北坡是强降水的关键,“过程 1”水汽输送强度和厚度明显强于“过程 2”。另外,地形对于降水的增幅表现在热力和动力两方面。

关键词:中昆仑山北坡;强降水;水汽

中图分类号:P426.6

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)02-0027-08

“21·7”河南特大暴雨分析表明此次过程是发生在远距离台风和有利的大尺度环流影响下,水汽输送充足,是在低涡、切变、辐合线、地形等作用下引发的强降水^[1-2]。对于非季风区的新疆暴雨,已有不少研究成果,研究内容涉及到新疆强降水发生的大尺度环流背景、动热力结构、触发机制、水汽输送和聚集、地形作用、中小尺度特征等^[3-16];中亚低值系统东移、低层偏东急流建立过程有利于昆仑山北坡强降水的形成,通常强降水位于高空急流入口区右侧和低层辐合或切变线附近;在中层,低槽自身携带水汽或西南风将阿拉伯海水汽输送至青藏高原以北,700~

850 hPa 偏东急流将水汽输送至强降水区。通过新疆强降水的数值模拟也发现了一些水汽循环、中小尺度、地形作用等特征^[17-20],特别是姚俊强等^[21]指出新疆水汽再循环降水量占降水总量的 10% 左右,6 月为塔里木盆地大面积灌溉时段,此时水汽循环和水汽输送共同作用利于强降水的发生。

昆仑山北坡地处青藏高原北部、塔克拉玛干沙漠南缘,主脉自西向东向南略呈弧形,中部主要和田地区,年降水量为 53.5 mm,暴雨($R_{24} \geq 24.1$ mm)属于小概率事件。全球变暖背景下,新疆极端降水事件、暴雨日数呈增加趋势^[22-25],如 2018 年 5 月 21 日皮山县测站 1 h 降水量达 53.8 mm,超过其多年历史平均降水量;2021 年 6 月 15 日和地区多个气象站突破历史日降水极值,最大日降水量达 121.6 mm。强降水导致的暴雨洪涝是和地区社会经济发展影响比较大的自然灾害之一^[26]。且昆仑山北坡地形复杂、植被覆盖率低、生态脆弱,因此做好强降水预报对当地经济社会发展至关重要。

收稿日期:2022-08-31;修回日期:2022-11-16

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2021D01A15);国家自然科学基金项目(41965002)

作者简介:唐鹏(1988—),男,工程师,主要从事中短期天气预报、服务工作。E-mail:429013224@qq.com

通信作者:黄艳(1974—),女,正高级工程师,主要从事短时临近天气预报研究。E-mail:1085858493@qq.com

2019年6月25日(简称“过程1”)和28日(简称“过程2”)在中昆仑山北坡出现了两场强降水过程,“过程1”为大范围持续时间长的强降水,“过程2”则是短时强降水,两场天气间隔时间短,在降水强度和环流、水汽输送、动力结构等机理方面有很大差异,本文通过对比分析,提炼两场暴雨预报着眼点,为今后做好中昆仑山北坡强降水预报提供参考。

1 资料和方法

和田地区自动气象站小时降水量、陆面数据同化系统实时产品数据集(CLDAS-V2.0)等实况资料来自中国气象局天擎数据平台。利用实况资料对两场天气过程强降水发生的影响系统、环境条件、中小尺度等特征进行分析。

ERA5再分析资料,温压湿风等要素,水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,时间分辨率为1 h。资料时段为2019年6月24日08时—28日20时。图1为和田探空观测与ERA5再分析数据的温度、露点、风场信息,对比结果可以看出,25日08时ERA5与实况探空(图1a)都为深厚湿层、低层冷平流、中层强西南风 and 高层急流。28日08时(图1b)850~700 hPa和600~500 hPa呈干冷、中低层风速小特征。ERA5再分析数据比较准确地再现了此阶段大气温湿风信息。利用ERA5资料对降水中的环流、风场、水汽等条件进行分析,选取 $36^{\circ} \sim 38^{\circ} \text{N}$ 、 $78^{\circ} \sim 83^{\circ} \text{E}$ 区域计算两场过程东、南、西、北各边界水汽输送情况,表征水汽的输送强度和通道。

利用美国国家环境预报中心(NCEP/NCAR) $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 再分析资料作为拉格朗日轨迹模式HYSPLIT输入资料,时间分辨率为6 h。利用HYSPLIT模式系统分别追踪两次强降水过程不同高度上的水汽源地和输送通道,使用聚类方法得到两个过程主要的

水汽路径。

定义为:

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

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。使用式(1)计算不同高度后向轨迹水汽贡献率。

2 天气过程概况及环流形势分析

2.1 降水实况

“过程1”:2019年6月24日20时—25日20时,昆仑山北坡出现强降水过程,其特点是降水范围大、累积量大、持续时间长、暴雨站数多、分布不均匀等(图2a)。中昆仑山北坡有22站暴雨($R_{24} \geq 24.1 \text{ mm}$)、6站大暴雨($R_{24} \geq 48.1 \text{ mm}$),暴雨站数占测站总数的20%以上,最大降水量达61.3 mm(策勒县奴尔乡)。民丰至策勒海拔2 000~3 000 m的山区有17站出现暴雨到大暴雨,墨玉到民丰的浅山至沙漠边缘出现大到暴雨,和田市周边7站出现暴雨。25日20时过去24 h和田市降水量为27.7 mm,日降水为1953—2020年日最大值;和田市小时雨强(图2b)表现为稳定性降水,持续21 h,最强时段为25日08—11时。

“过程2”:2019年6月28日15—23时,昆仑山北坡出现强降水过程,降水分散在沙漠边缘和浅山区(图2c),和田市北部沙漠边缘的阿克恰勒(29.9 mm)和南部阿其克河谷(56.6 mm)出现短时强降水导致的暴雨,期间伴随大范围雷电活动,具有明显对流性。阿克恰勒在28日16时降水量为29.1 mm;洛浦县

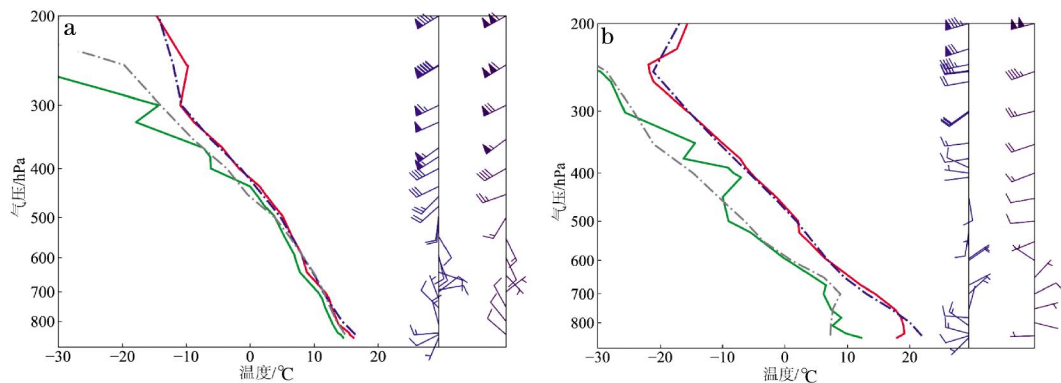


图1 和田市25日08时(a)和28日08时(b)探空(实线和蓝色风向杆)和ERA5(点线和黑色风向杆)层结(红色和蓝色为温度,绿色和灰色为露点温度)

南部阿其克河谷 28 日 18—21 时 3 h 累计降水量达 46.3 mm(图 2d), 小时最大雨强为 18.5 mm, 21 时左右强降水导致通讯、道路、电力中断。

2.2 环流形势及天气系统

6 月 20—25 日南亚高压位于青藏高原中部的中心强度增强、面积增大, 24—25 日位于新疆西部的长波槽东移南压。24—25 日 200 hPa 新疆南部上空形成了 $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上急流(图 3a), 中昆仑山北坡处在急流入口区右侧。

“过程 1”: 24—25 日 500 hPa 中高纬西伯利亚为低槽, 上游伊朗副热带高压东北伸, 下游贝加尔湖高压脊东南衰退, 西伯利亚低槽主体缓慢东移至新疆东部, 槽后 $16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上偏北风引导冷空气进入东疆, 与此同时西伯利亚低槽在中亚形成的低值系统东移进入昆仑山北坡, 昆仑山北坡 500 hPa 表现为“东西夹攻”形势。低值系统偏南气流与西太平洋副热带高压西北部西南风结合, 将阿拉伯海大量暖湿空气输送到昆仑山北坡, 昆仑山北坡 500 hPa 比湿达 $3\sim 4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。24 日 20 时(图 3a), 昆仑山北坡有 $200 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 对流能量, 同时 850~700 hPa 库车偏北风、喀什偏西风、若羌偏东风将冷空气和水汽输送至中昆仑山北坡堆积、辐合、抬升产生降水; 700 hPa

中昆仑山北坡相对湿度达 90%、假相当位温为 330 K 以上(图 3c), 24 日午后至傍晚中昆仑山北坡监测到多个 γ 尺度对流单体; 25 日 08 时, 中昆仑山北坡由于冷平流、降水低层为冷空气, 周边为相对暖空气, 850 hPa 若羌偏东风加强至 $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、喀什西北风达 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 东西风将大量相对暖湿空气输送到昆仑山北坡被冷空气抬升产生降水, 雷达回波以稳定性降水云为主。25 日白天低层偏西风加强, 偏东风减弱, 降水减弱且向东移动。

“过程 2”: 26—28 日 200 hPa 副热带急流与极锋急流在昆仑山北坡出现叠加、汇合, 有利于环境不稳定增强(图 3b)。27 日 500 hPa 中高纬度新疆高压脊东西两侧分别为贝加尔湖低槽、西西伯利亚低槽, 西西伯利亚低槽底部冷空气下滑到巴尔喀什湖以南形成低值系统并维持, 昆仑山北坡为浅脊控制, 在塔里木盆地低层存在一个反气旋环流。28 日 08 时低值系统迅速东移进入昆仑山北坡, 低槽前偏西风向昆仑山北坡输送水汽; 槽后西北气流引导中低层冷空气从西部侵入盆地, 20 时 850 hPa 喀什、和田 24 h 变温分别为 -4.6 、 -6.6 $^{\circ}\text{C}$; 低层反气旋东南部东北气流与偏西气流在昆仑山北坡辐合; 28 日 08 时探空在边界层有逆温层, 和田对流温度 T_g 为 26.4 $^{\circ}\text{C}$, 14

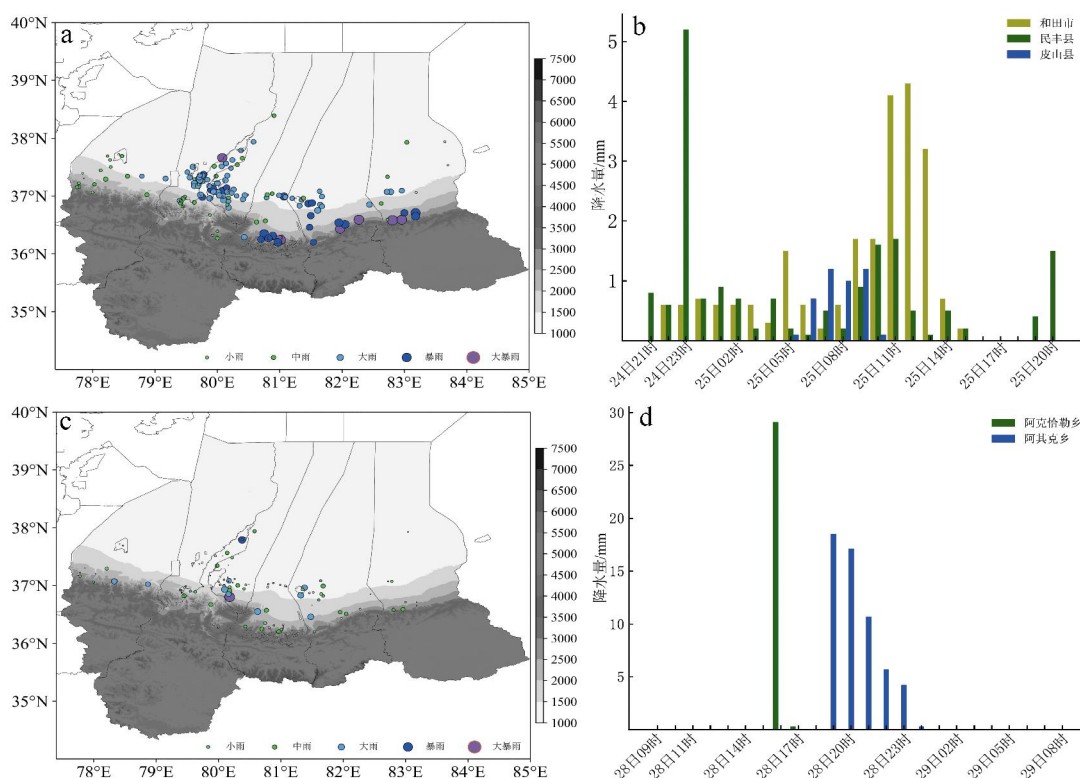


图 2 “过程 1”(a、b)和“过程 2”(c、d)降水等级分布(a、c)及逐时降水量(b、d)
(a、c 分别为 25 日 20 时和 29 日 08 时过去 24 h 降水等级分布, 灰色阴影为海拔高度, 单位: m;
b、d 分别为 25 日和 28 日降水过程逐小时降水量, 单位: mm)

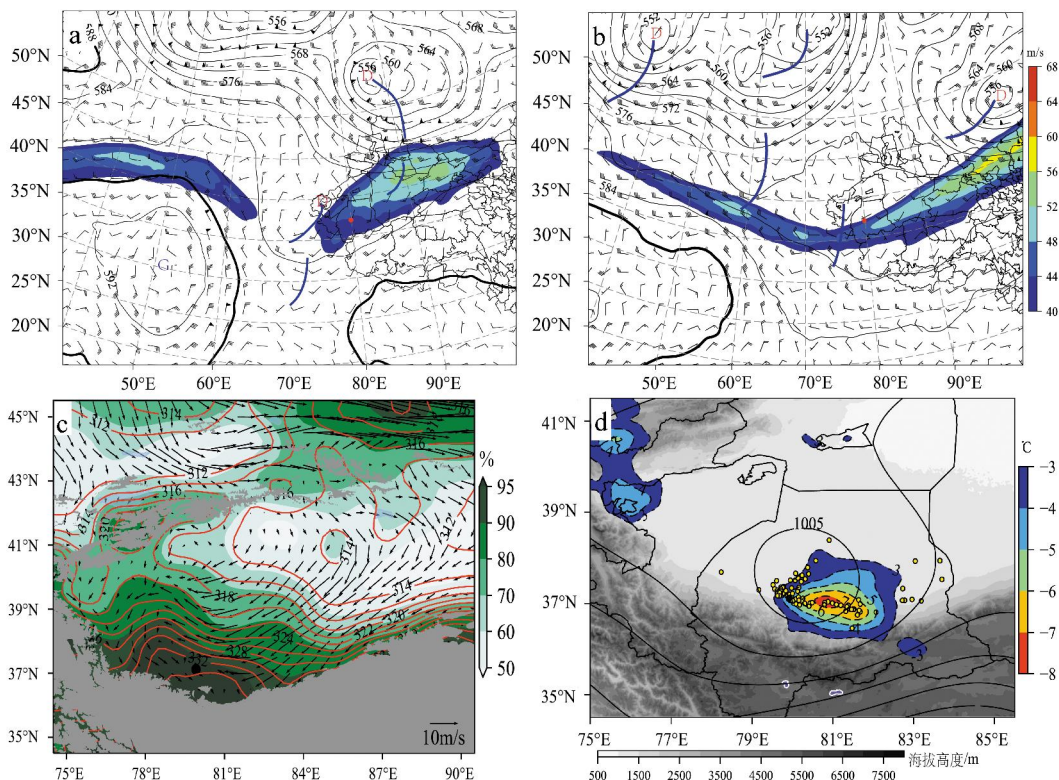


图3 2019年6月25日08时(a、c)和28日08时(b)500 hPa高度场(等值线,单位:dgpm,蓝色线为低槽)和風场及200 hPa急流(填色, $\geq 40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)(a、b),700 hPa風场(箭头)和假相当位温(红色等值线,单位:K)及相对湿度(绿色填色,灰色为地形大于3 500 m区域)(c),28日最高气温 $\geq 26^\circ\text{C}$ 站点(黄色点)和20时地面海平面气压(黑色等值线)及3 h变温(填色,单位: $^\circ\text{C}$)(d)

时和田北部沙漠区气温上升到 26°C 以上(图3d),在和田北部沙漠区生成了MCS对流云团,28日14时—29日00时昆仑山北坡出现大范围雷暴大风等强对流天气,20时CLADS—地面2 m温度计算的过去3 h在中昆仑山北坡和田市至于田气温下降了 6°C 以上;19—20时地面到700 hPa都存在强的西北风,对山区的降水有利。

两场天气过程中,中亚都存在低值系统,昆仑山北坡中低层有切变线或辐合线,低层有偏东和偏西水汽辐合。“过程1”500 hPa由于下游系统阻挡移动缓慢,冷空气从东、西2个方向进入,西太平洋副热带高压西侧为西南风,对大范围持续性降水有利;“过程2”中亚低值系统移动迅速,冷平流和低层增温明显,使大气不稳定,低层冷空气侵入、低层弱辐合和热对流有利于局地产生强降水。

3 水汽输送特征

3.1 水汽后向追踪特征

对两场天气过程分别选取和田市观测站($37.17^\circ\text{N}, 79.90^\circ\text{E}$)、洛浦阿克其乡($36.82^\circ\text{N}, 80.18^\circ\text{E}$)

为代表点进行后向轨迹追踪模拟,距地高度为1 500、3 000、4 000、5 000 m,模拟时长120 h,间隔6 h一个点,“过程1”模拟时次为24日08时—25日14时共计6个时次24条轨迹,“过程2”模拟时次为28日02—20时得到轨迹16条,使用聚类的方法得到2个过程都有3条水汽路径(图4)。

“过程1”轨迹数中东北路径(通道3)占比为33.33%,2条西南路径(通道1和通道2)占比分别为16.67%、50%(图4a),降水开始至结束东北路径(通道3)将天山南坡水汽平流输送至1 500~3 000 m高度,西南路径是低槽自身携带水汽(通道1)和西太平洋副热带高压西南风(通道2)将水汽输送至4 000 m以上高空;24日白天主要是低槽自身携带水汽输送至降水区,24日夜间至25日白天则是西太平洋副热带高压西侧西南风和低槽西南风共同作用使得水汽输送加强。1 500、3 000、4 000、5 000 m高度层水汽贡献率分别为37.8%、27.2%、20.1%、14.9%。

“过程2”主要有2条偏西路径(通道1和通道2)轨迹数占比分别为68.75%、18.75%、1条偏北路径

(轨迹占比 12.5%)(图 4b),偏西路径主要是低值系统自带的水汽和西西伯利亚低槽后部冷空气携带的水汽输送到 3 000~5 000 m 高度,偏北路径将天山南部水汽输送至中昆仑山北坡 1 500 m 高度上,1 500、3 000、4 000、5 000 m 高度层水汽贡献率分别为 44.7%、26.9%、16.8%、11.6%。

3.2 不同边界水汽通量特征

通过分析研究区域(36°~38°N、78°~83°E)不同边界整层(地面至 300 hPa)水汽通量变化(图 5a)和各边界水汽通量变化(图 5b、5c)找出水汽输送特征。“过程 1”中,24—25 日各边界水汽通量总和(Net)为净输入,整层水汽主要是西边界(West)和南边界(South)输入,其中南边界达 $2.5 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$,北边界(North)和东边界(East)水汽是输出或收支接近平衡;南边界水汽输送主要在 500~300 hPa,最大值位于 400 hPa 的大风速区,达 $1.0 \times 10^7 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$;近地层 850~600 hPa 为水汽输入最大层次,水汽通量北边界达 $3.0 \times 10^7 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 、东边界为 $1.0 \times 10^7 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,西边界只有少量的水汽输入;水汽的输入与中层低

槽和西太平洋副热带高压西部西南风和低层的辐合线、东西风对应。

“过程 2”各边界水汽输送强度明显弱于“过程 1”,28 日 08 时白天整层水汽通量输入主要是北边界、南边界、西边界,最大为北边界,总水汽净输入量在 $0.8 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,主要水汽输入层为 800~600 hPa,偏北为主,近地层东边界有弱的输入;水汽输入与高空低槽和低层反气旋环流相对应。两场天气过程水汽条件差异大,“过程 1”低层水汽输入强于“过程 2”,“过程 2”水汽输入强度弱、时间短,低层的水汽输入主要与风场和冷空气相关。

3.3 不同高度水汽输送特征

由两场过程各个气压层的水汽通量情况(图 6)可知,“过程 1”在中低层有明显的水汽输送通道,24—25 日 14 时,500 hPa(图 6a)偏南水汽输送逐渐增强,在中昆仑山北坡最强,达 $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$;700 hPa 随着盆地东部东北风加强,在中昆仑山北坡有偏东路径的水汽通道建立,25 日 08 时偏东路径水汽输送到喀什东北部转为西北路径进入中昆仑

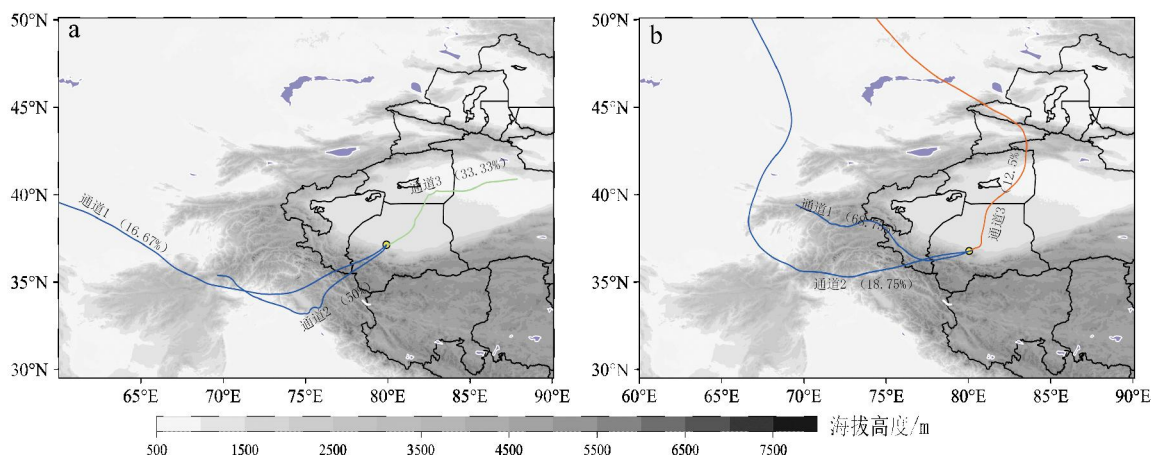


图 4 “过程 1”(a)和“过程 2”(b)后向轨迹追踪聚类轨迹和各通道轨迹占比
(a 为 24 日 08 时—25 日 14 时, b 为 28 日 02—20 时;原点为轨迹模拟点,灰色阴影代表地形高度)

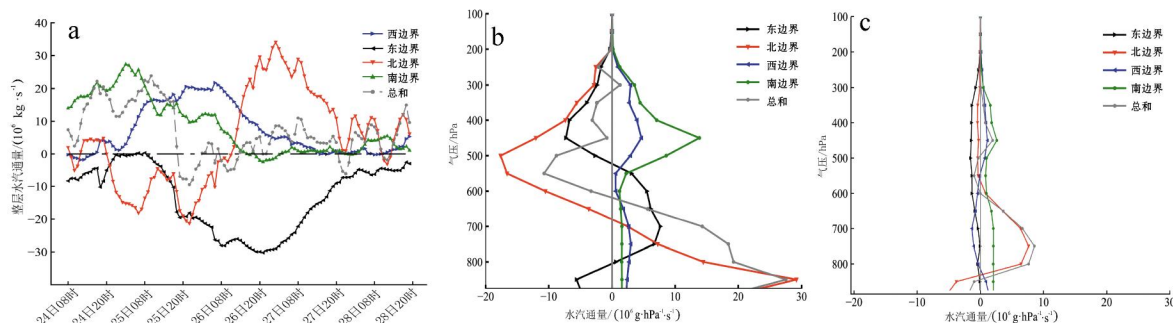


图 5 6 月 24 日 08 时—28 日 20 时不同边界整层水汽通量时间变化(单位: $10^6 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$)和水汽通量(单位: $10^6 \text{ g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)垂直变化
(a 为整层累计水汽通量, b 和 c 分别为 25 日 08 时、28 日 08 时水汽通量垂直分布)

山北坡,最强水汽通量达到了 $8 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$; 25 日 02—14 时, 850 hPa 在喀什西北部有反气旋环流, 使得偏北风不断加大, 偏北的水汽通道建立, 最强达到了 $12 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。“过程 2”在 28 日白天, 500 hPa 有偏西的水汽输送, 700 hPa (图 6b) 和 850 hPa (图 6c) 为反气旋环流东部的东北方向的水汽输送, 在 850 hPa 还有偏西水汽输送, 存在水汽辐合区, 水汽通量的最大强度为 $4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ 。

综上, 低层水汽源地主要在天山南坡, 中高层水汽来自低槽自带和阿拉伯海, 水汽贡献主要在 4 000 m 以下, 水汽的输送强度和范围与大尺度环流相对应, 降水落区和强度与低层水汽的辐合和湿层厚度有关。

4 低层风场辐合和地形作用

在充沛的水汽输送背景下, 降水发生在何时, 又落在哪里, 常与低空风场密切相关, 边界层气流又常与地形密切相关。中昆仑山北坡呈东西向并向南弯曲, 地形落差大, 北部平原区有绿洲和沙漠, 热力分布不均, 不同区域下垫面对降水作用存在差异。

4.1 低层风场辐合

“过程 1”: 25 日 02—14 时 850 hPa 偏北、偏东风突然变大, 在 24 日 20 时 850~500 hPa 都为辐合

区, 由于 500 hPa 偏南气流、700 hPa 偏东气流加强, 在喀什东北部上空的辐合强度不断增加 (图 7a), 辐合中心散度为 $-40 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$, 850 hPa 辐散中心散度达 $100 \times 10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。上层辐合或冷平流导致低层等压面下降、地面气压上升, 为使风场和高度场 (或气压场) 适应, 低层等压面上必然有强辐散。850 hPa 偏北风加强与上层强辐合和天山南坡的冷平流有关, 偏东风加强则和冷平流、地形作用有关。

“过程 2”: 28 日早间到中午盆地西部有冷平流、中昆仑山北部沙漠区为散度正值下沉区、晴空、风力较小, 早间在近地层形成浅薄逆温, 逆温上有一定不稳定能量, 14 时升温 850 hPa 弱辐合触发在沙漠产生对流 (图 7b), 对流发生后在地面出现冷池, 沿着河道形成了强偏北风流出 (图 7c), 18 时 $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的北风与东西向的昆仑山作用, 在北坡产生了辐合上升运动, 同时云图上也显示有对流云团产生, 特别是南北向的阿其克河谷对流云团发展旺盛并产生强降水。

4.2 地形作用

地形对于强降水的作用主要表现在热力和动力两方面: (1) 低层在昆仑山北坡有偏西、偏北、偏东风, 使高温高湿空气在昆仑山北坡堆积形成高的假相当位温大值区和水汽饱和区; “过程 1” 24—25 日

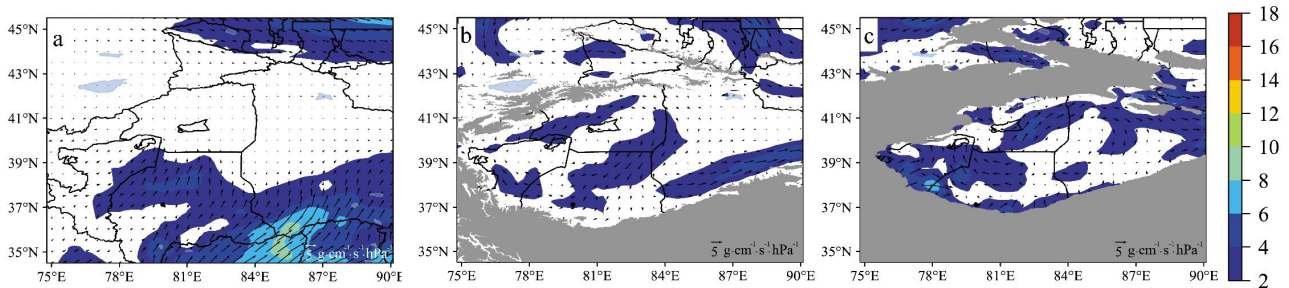


图 6 6 月 25 日 08 时和 28 日 08 时不同层次水汽通量 (单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$)

(a 为 25 日 08 时 500 hPa, b、c 分别为 28 日 08 时 700、850 hPa; 700 和 850 hPa 灰色分别为海拔 >3 500、1 500 m 的地形)

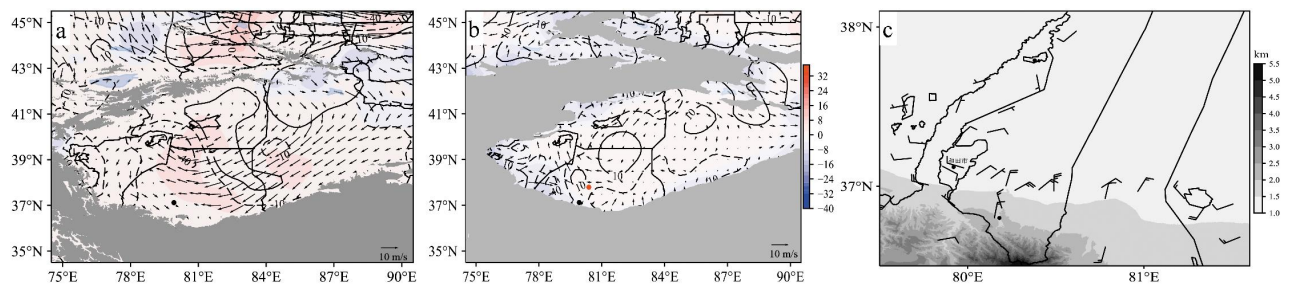


图 7 6 月 25 日 08 时 (a) 和 28 日 08 时 (b) 不同层次风矢量 (箭头)、散度 (等值线, 单位: 10^{-5} s^{-1})、温度平流 (填色, 单位: $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$) 及 28 日 18 时 (c) 地面风场 (单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 灰色为地形)

(a 为 700 hPa, b 为 850 hPa; 和田市北边原点为阿克恰勒、南边为阿其克, 700 和 850 hPa 灰色分别为海拔 >3 500、1 500 m 的地形)

850~700 hPa 假相当位温达 330 K 以上(图2c);而“过程 2”只有 700 hPa 假相当位温在 320 K、饱和区域较小,但裸露的沙漠和戈壁地表加热作用明显,有利于局地空气趋于热力不稳定。(2)地形作用还有风场辐合、强迫抬升和狭管效应等。“过程 1”民丰至策勒偏北风与地形夹角接近 90°,利于强降水的产生;“过程 2”低层对流出流的北风在阿其克河谷风速加大,傍晚地形形成的谷风在浅山区辐合;从东西不同路径进入盆地的冷空气存在势能向动能转换。

5 结论

通过对比分析 2019 年 6 月 25 日和 28 日中昆仑山北坡两场强降水过程,得到以下结论:

(1)南疆强降水通常受高层急流、中层西南风、低层偏东风共同作用产生,而西伸的西太平洋副热带高压西侧西南风与西风带低槽西南风共同作用,使中昆仑山北坡降水强度增加。

(2)盆地低层偏北与偏东风将天山南坡的水汽向暴雨区输送、汇聚和强对流天气的触发,发生在中昆仑山北坡的强降水中偏西风和偏东风同时存在。

(3)6 月是昆仑山北坡灌溉时段,此时盆地内水汽循环加强,与有利的环流条件相互作用,强降水的概率增加。外界水汽输送强度影响降水维持时间和范围,落区主要与低层的水汽输送和辐合区有关。

(4)近地层逆温且逆温之上有不稳定层结,有弱的水汽输送或辐合,中层有冷空气侵入,极易产生热对流或弱辐合触发对流。

(5)风场和地形对降水增幅作用主要表现在热力和动力两方面,使高能高湿空气在山前聚积,地形使水汽辐合和强迫抬升,利于产生强降水。

本文仅对昆仑山北坡两次强降水过程进行了分析,随着观测资料的不断丰富,未来将持续关注昆仑山北坡强降水过程,深入研究其发生机理,并揭示新的观测事实。

参考文献:

- [1] 杨浩,周文,汪小康,等.“21·7”河南特大暴雨降水特征及极端性分析[J].气象,2022,48(5):571-579.
- [2] 苏爱芳,席乐,吕晓娜,等.豫北“21·7”极端暴雨过程特征及成因分析[J].气象,2022,48(5):556-570.
- [3] 苏小岚,熊秋芬,吐莉尼沙,等.中亚气旋引发的 2 次新疆强降水过程成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(4):35-41.
- [4] 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[J].气象,2015,41(7):816-824.
- [5] 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.
- [6] 周雪英,贾健,刘国强,等.2017 年春季南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.
- [7] 黄艳,俞小鼎,陈天宇,等.南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.
- [8] 努尔比亚·吐尼牙孜,杨利鸿,米日古丽·米吉提.南疆西部一次突发极端暴雨成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(6):75-82.
- [9] 张俊兰,魏荣庆,杨柳.2013 年南疆两场罕见暴雨落区和强度的对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(5):1-9.
- [10] 彭军,周雪英,赵威,等.新疆巴州“6·4”罕见大暴雨中尺度特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(1):68-75.
- [11] 曾勇,杨莲梅.中亚低涡背景下新疆连续短时强降水特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(4):67-73.
- [12] 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.
- [13] 刘晶,刘兆旭,张晋茹,等.东天山哈密地区典型暴雨事件对流触发机制对比分析[J].大气科学,2022,46(4):965-988.
- [14] 刘晶,周雅蔓,杨莲梅,等.伊犁河谷“7·31”极端暴雨过程不稳定性及其触发机制研究[J].大气科学,2019,43(6):1204-1218.
- [15] 杨霞,张云惠,张超,等.南疆西部“5·21”极端大暴雨成因分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(1):21-30.
- [16] 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.
- [17] 马玉芬,赵玲,赵勇.天山地形对新疆强降水天气影响的数值模拟研究[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(5):40-45.
- [18] 徐祥德,王寅钧,魏文寿,等.特殊大地形背景下塔里木盆地夏季降水过程及其大气水分循环结构[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(2):1-11.
- [19] 曾勇,杨莲梅.南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.
- [20] 曾勇,杨莲梅,张迎新.伊犁地区一次罕见特大暴雨中尺度系统的数值模拟[J].干旱气象,2020,38(2):290-300.
- [21] YAO J, CHEN Y, ZHAO Y, et al. Climatic and associated atmospheric water cycle changes over the Xinjiang, China [J]. Journal of Hydrology, 2020, 585: 124823.
- [22] 吴秀兰,张太西,王慧,等.近 60 a 新疆区域气温降水变化事实分析[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(4):27-34.
- [23] 赵丽,韩雪云,杨青.近 50 年西北干旱区极端降水的时空变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(1):19-26.
- [24] 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.

- [25] 杨霞,周鸿奎,许婷婷,等.南疆夏季不同类型暴雨精细化特征对比分析[J].干旱区研究,2021,38(3):747-756.
- [26] 魏艳英,龚美玲,李海花.2010—2019年南疆致灾暴雨时空分布及其影响[J].干旱气象,2021,39(6):930-938.

Comparative Analysis of Two Heavy Precipitation Events on the North Slope of Middle Kunlun Mountains in Late June 2019

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

Abstract Based on data collected from conventional weather stations,NCEP,and EC reanalysis,this study conducted an in-depth analysis of two significant precipitation events that occurred on the northern slope of the Central Kunlun Mountains on June 25 and 28,2019.The results showed that:The rainfall event on the 25th exhibited large-scale and prolonged attributes,while the event on the 28th was characterized as convective severe precipitation.The meteorological systems influencing these weather processes comprised the upper-level jet stream,middle-level low-pressure system,and low-level convergence line.On the 25th,the heavy precipitation system demonstrated slow movement,coinciding with the influx of cold air from the east and west into the northern slope of the Kunlun Mountains.The southwest wind originating from the western side of the West Pacific subtropical high transported a substantial volume of water vapor to the northern slope of the Kunlun Mountains.Furthermore,convergence of easterly,northerly,and westerly winds at the lower level was observed.In contrast,the low-pressure system associated with heavy precipitation on the 28th exhibited a rapid movement.Inversion and instability within the troposphere,coupled with afternoon warming,weak convergence at the lower level,and northerly winds in front of the mountain,served as trigger conditions for convective activity.The study findings emphasize the pivotal role of water vapor transport from west to south at middle and high levels,as well as the transport of water vapor by the wind field at lower levels,as key factors driving heavy rainfall.The intensity and thickness of water vapor transport were notably more pronounced on the 25th compared to the 28th.Notably,the analysis highlights the profound impact of topography on the precipitation process,influencing both thermal and dynamic aspects.

Key words north slope of Middle Kunlun Mountains; heavy precipitation; water vapor