

伊犁一次极端暴雨成因分析

江友飞, 祝小梅, 覃家秀, 沈晓辉, 玛合巴·巴合提, 关列娜, 齐元元, 马 龙
伊犁州气象局, 新疆 伊宁

收稿日期: 2024年4月25日; 录用日期: 2024年5月24日; 发布日期: 2024年5月31日

摘 要

采用常规观测资料、NCEP再分析资料、风云2G卫星、伊宁新一代天气雷达回波等多源资料, 综合诊断分析2022年5月5~6日新疆伊犁河谷极端暴雨过程。暴雨是在中高纬地区多波动的环流背景下, 中亚短波槽东移进入伊犁造成的。暴雨期间湿层深厚, $5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的比湿伸至650 hPa以上。800 hPa以下的正涡度中心与暴雨高峰时段完全对应。暴雨中心区低层风场出现中 β 尺度涡旋。水汽收支计算表明, 西边界输入的水汽起决定性作用。FY-2G卫星TBB分析显示, 暴雨是由多个中尺度对流云团造成。雷达回波分析表明, 暴雨期间低空急流较强, 大气层结不稳定, 上冷下暖, 利于对流性降水的发生发展, 垂直积分液态含水量峰值为 $7.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

关键词

极端暴雨, 中 β 尺度涡旋, 中尺度对流云团, 伊犁河谷

Analysis of the Causes of an Extreme Rainstorm in Yili

Youfei Jiang, Xiaomei Zhu, Jiaxiu Qin, Xiaohui Shen, Maheba Baheti, Liena Guan,
Yuanyuan Qi, Long Ma

Yili Meteorological Bureau, Yining Xinjiang

Received: Apr. 25th, 2024; accepted: May 24th, 2024; published: May 31st, 2024

Abstract

An extreme rainstorm process from May 5 to 6, 2022 in Yili is synthetically diagnosed and analyzed based on the multi-source data such as conventional observation data, NCEP reanalysis data, FY-2G satellite and Yining new generation weather radar echo. The rainstorm is caused by the eastward movement of the Central Asia trough into Yili under the background of the multiple wave-motion in the mid-high latitudes. The humid region is deep, and the specific humidity of $5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ extends above 650 hPa during the rainstorm. The positive vorticity center below 800 hPa is

文章引用: 江友飞, 祝小梅, 覃家秀, 沈晓辉, 玛合巴·巴合提, 关列娜, 齐元元, 马龙. 伊犁一次极端暴雨成因分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 679-689. DOI: 10.12677/ccrl.2024.133077

completely corresponding to the peak period of rainstorm. In the low-level wind field, there is a deep meso- β vortex in the central area of rainstorm. The calculation of water vapor balance shows that the water vapor input from the western boundary plays a decisive role. The analysis of FY-2G satellite TBB shows that the rainstorm is caused by multiple mesoscale convective cloud cluster. Doppler radar echo analysis shows that the low-level jet stream is strong, the atmospheric stratification is unstable, with upper cold and lower warm, which is conducive to the occurrence and development of convective precipitation, the peak value of vertically integrated Liquid is $7.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ during the rainstorm.

Keywords

Extreme Rainstorm, The Meso- β Vortex, Mesoscale Convective Cloud Cluster, Yili River Valley

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

伊犁河谷位于新疆的北疆地区最西部,属温带大陆性半干旱气候,三面环山,呈东高西低向西开口的喇叭口地形,东西长达 250 千米,伊犁河由东向西横贯其中。伊犁河谷降水时空分布极不均匀,年均降水量 241~523 毫米,山区 600~800 毫米,夏半年降水占全年降水的 60%左右。疆内外的气象科技工作者就新疆暴雨的气候特征、多尺度环流背景、动力机制、水汽特征、热力条件、精细化特征等各个方面开展了很多研究工作,取得了丰硕成果[1]-[19]。黄昕等利用观测资料以及 WRF 高分辨率数值模拟结果深入分析了伊犁河谷巩留县 2015 年 6 月 26 日极端暴雨过程的环流背景和不稳定条件[1]。张云惠等对比分析了伊犁河谷 2016 年 6 月 16~17 日、7 月 31 日~8 月 1 日两次极端暴雨过程的动力机制与水汽输送特征[3]。但针对伊犁河谷这一特殊地形下的春季极端暴雨的研究却很少。

2022 年 5 月 5 日白天至夜间,受中亚短波槽东移影响,伊犁河谷出现一场极端降水天气,78 个测站出现暴雨,其中 17 个测站大暴雨、1 个测站特大暴雨,强降水中心位于伊犁河谷西北部山区。暴雨洪水造成霍城县 6 个乡镇 23 个行政村、2 个社区受灾,受灾人口 1467 人。农牧民农作物受灾面积 202.52 公顷(其中绝收面积 28.78 公顷),经济损失总计 246.29 万元。

此次暴雨过程预报准确,服务效果较好,但对暴雨的极端性估计不足,暴雨量级预报偏小,对决策服务也是一次重大挑战,非常值得分析总结。

2. 资料与方法

选取 2022 年 5 月 5 日至 6 日伊犁河谷常规气象观测、自动气象站逐时降水量、NCEP ($1^\circ \times 1^\circ, 0.25^\circ \times 0.25^\circ$)逐 6 小时全球再分析、FY-2G 卫星 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 相当黑体温度和伊宁新一代天气雷达回波等资料。暴雨按照新疆现行降水等级标准,24 h 标准:暴雨 $\geq 24.1 \text{ mm}$ 、大暴雨 $\geq 48.1 \text{ mm}$ 、特大暴雨 $\geq 96.1 \text{ mm}$ 。

水汽通量垂直积分、水汽通量散度垂直积分、水汽收支计算采用 NCEP ($1^\circ \times 1^\circ$)再分析资料。比湿、假相当位温、垂直速度、垂直涡度、低层风场采用 NCEP ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$)再分析资料。

3. 结果与分析

3.1. 暴雨实况特征

受中亚短波槽东移影响,2022 年 5 月 5 日 08 时至 6 日 08 时伊犁河谷出现极端降水过程(图 1,表 1),

78 个测站出现暴雨, 其中 17 个测站大暴雨、1 个测站特大暴雨(霍城县果子沟龙口 103.3 毫米, 海拔 1100 米), 伊宁县国家站(51.7 毫米)、伊宁国家站(26.3 毫米)等 47 个测站降水量打破本站有记录以来 5 月单日降水量极值。34 个站次小时雨强超过 10 毫米, 其中 4 个测站小时雨强超过 20 毫米, 小时最大雨强出现在伊犁河谷西部平原地区的霍城县清水河镇(31.5 毫米, 5 日 17:00~18:00)。暴雨最强时段在 5 日 14 时至 6 日 03 时, 强降水落区主要位于伊犁河谷西部地区。

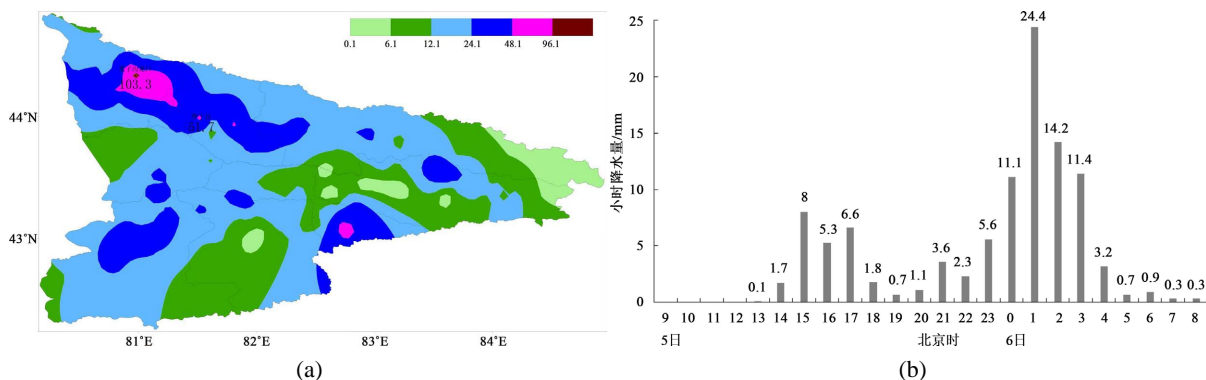


Figure 1. (a) The precipitation distribution chart in the Yili River Valley from 08:00 on 5 May to 08:00 on 6 May, 2022 (unit: mm); (b) The hourly precipitation chart of Guozigou Longkou at Huocheng County from 08:00 on 5 May to 08:00 on 6 May, 2022 (unit: mm)

图 1. (a) 2022 年 5 月 5 日 08 时至 6 日 08 时伊犁河谷降水量实况图(单位: mm); (b) 2022 年 5 月 5 日 08 时至 6 日 08 时霍城县果子沟龙口逐小时雨量图(单位: mm)

Table 1. The precipitation and historical ranking of the representative stations in the Yili River Valley from 08:00 on 5 May to 08:00 on 6 May, 2022

表 1. 2022 年 5 月 5 日 08 时~6 日 08 时伊犁河谷代表站降水实况及历史排位

县域	代表站	降水量 /mm	5 月历史 排位	最大小时雨强		最大 3h 雨强		≥0.1 mm 降水连续 小时数/h
				量值 /mm·h ⁻¹	出现时间	量值 /mm·h ⁻¹	出现时间	
	果子沟龙口	103.3	1	24.4	6 日 01 时	50.0	6 日 00~03 时	20
	萨尔布拉克镇 牧业村	91.9	1	25.4	6 日 00 时	48.3	5 日 22 时~6 日 01 时	20
	萨尔布拉克镇切得 萨尔布拉克村 白杨沟	80.2	1	18.3	6 日 00 时	32.7	5 日 23 时~6 日 02 时	20
霍城县	萨尔布拉克镇 巴依地响	78.5	1	16.9	6 日 00 时	26.8	5 日 23 时~6 日 02 时	21
	萨尔布拉克镇 切得萨尔布拉克村 克别乃克	72.4	1	15.7	6 日 00 时	36.6	5 日 23 时~6 日 02 时	20
	萨尔布拉克镇 开赞喀拉	64.2	1	23.7	5 日 17 时	35.3	5 日 14~17 时	19
	清水河镇	52.1	1	31.5	5 日 18 时	35.8	5 日 16~19 时	19
伊宁县	县城	51.7	1	17.6	5 日 20 时	21.9	5 日 17~20 时	20

3.2. 高空环流形势及探空参数

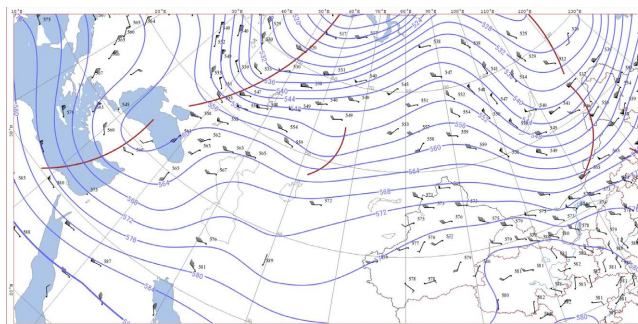
对流层上部 100 hPa 高度场上(图略), 5月 5~6 日, 北半球为 4 波, 南亚高压为单体型, 主体偏南偏东, 高压中心位于印度半岛北部上空。对流层中部 500 hPa 上(图 2(a)、图 2(b)), 5月 4 日 08 h, 欧亚范围中高纬波动较多, 北纬 40°N 以南的中亚地区为低槽活动区, 伊犁受新疆浅脊后的西南气流控制; 5日 08 h, 中亚低槽有些东移北上, 威海以北亦有短波活动, 伊犁处于中亚短波槽前的西南暖湿气流中, 温度露点差为 3°C (700 hPa T-Td 为 0°C); 5日 20 h, 中亚低槽移入新疆西部, 伊犁的槽前西南风加大至 16 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 为暴雨区输送所需的充沛水汽, 此时温度露点差为 0.2°C; 6日 08 h, 中亚低槽东移北收, 伊犁转为槽后偏西气流, 降水明显减弱直至停止。

5月 5 日伊宁的探空参数利于暴雨的发生发展(图 2(c)、图 2(d))。700 hPa 以下风场随高度顺转, 为暖平流, 700 hPa 以上风场随高度逆转, 为冷平流, 大气为上冷下暖的不稳定状态。08 时 K 指数 > 35°C, 6 KM 以下垂直风切变较大(08 时 7.9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, 20 时 9.4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), 利于不稳定发展。CAPE 值, 08 时 15.5 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、20 时 106 $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 不稳定能量大, 利于对流性降水发生发展。湿层厚度 20 时达 6772 m, 利于暴雨产生。

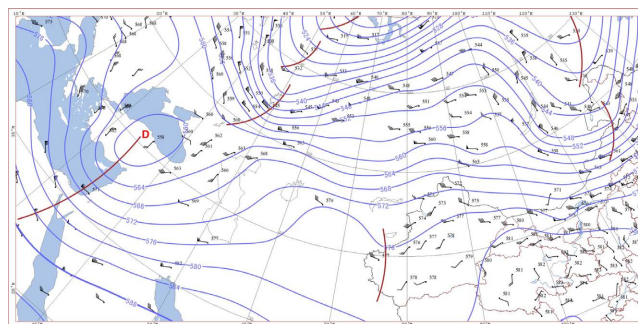
3.3. 物理量诊断分析

3.3.1. 水汽通量垂直积分、水汽通量散度垂直积分

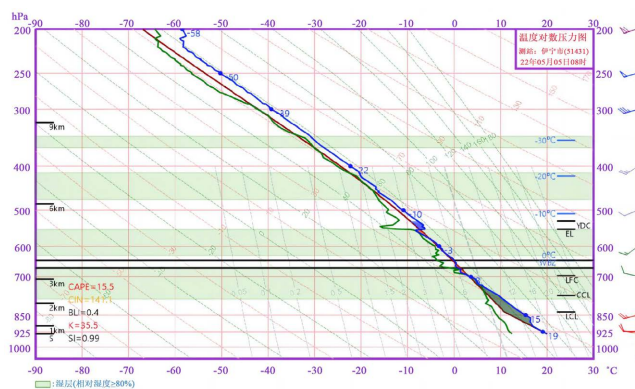
分析地面~300 hPa 水汽通量垂直积分场(图 3(a)、图 3(b)), 发现暴雨所需的水汽主要来自中亚短波槽前的偏西气流。5月 5 日 08 h, 伊犁西部边境线附近的水汽通量垂直积分高值中心为 25 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 伊犁西部的水汽通量垂直积分为 5~20 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。5日 14 h, 伊犁西部的水汽通量垂直积分为 5~10 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 略有减小。5日 20 h, 伊犁水汽通量垂直积分明显增大, 西部出现 25 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的高值区。6日 02 h, 伊犁水汽通量垂直积分继续增大, 西部 20~25 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 的高值区范围加大。6日 08 h, 伊犁的水汽通量垂直积分锐减至 5~10 $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 暴雨趋于结束。



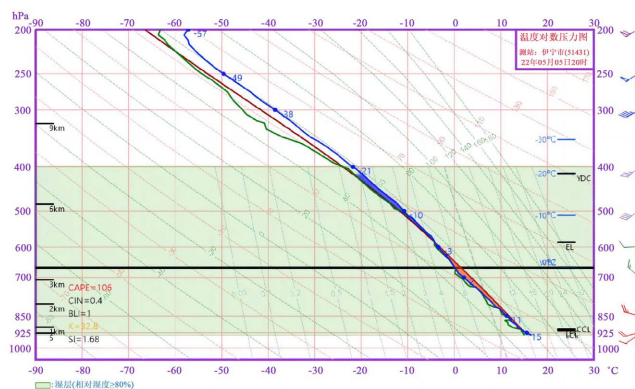
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 2. 500 hPa synoptic chart (a: 08 h, b: 20 h) and TlogP diagram of Yining sounding station (c: 08 h, b: 20 h) on 5 May, 2022
图 2. 2022 年 5 月 5 日 500 hPa 天气图(a: 08 h, b: 20 h)和伊宁探空站 TlogP 图(c: 08 h, b: 20 h)

地面~300 hPa 水汽通量散度垂直积分场上(图 3(c)、图 3(d)), 暴雨过程中伊犁西部维持较强的水汽通量辐合, 强降水落区与水汽通量辐合高值区基本对应。5 月 5 日 08 h, 伊犁西部的水汽通量散度垂直积分为 $-4 \times 10^{-5} \sim -10 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5 日 14 h, 伊犁西部的水汽通量散度垂直积分为 $-4 \times 10^{-5} \sim -6 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 略有减小。5 日 20 h 至 6 日 02 h, 水汽通量辐合强度增大, 伊犁西部出现 $-14 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的高值中心。6 日 08 h, 水汽通量辐合强度锐减, 伊犁偏西地区转为辐散, 降水明显减弱, 直至停止。

3.3.2. 比湿、假相当位温

从暴雨中心果子沟龙口的比湿、假相当位温时间—高度剖面图上可见(图 4), 暴雨期间湿层深厚, $5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的比湿线升至 650 hPa 以上, 近地面比湿超过 $10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。700 hPa 以下, 假相当位温随高度减小, 层结不稳定, 利于对流性降水的发生发展。

3.3.3. 垂直速度、垂直涡度

从果子沟龙口的垂直速度、垂直涡度时间—高度剖面图上可见(图 5), 暴雨期间果子沟龙口上空维持较强的上升运动, 为暴雨提供有利的动力条件。暴雨最强时段 5 月 5 日午后至夜间, 上升运动伸展至 300 hPa。6 日 02 h, 正涡度向上伸展至 400 hPa, 700 hPa 以下为高值区, 800 hPa 以下正涡度高达 $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 与暴雨高峰时段完全对应。

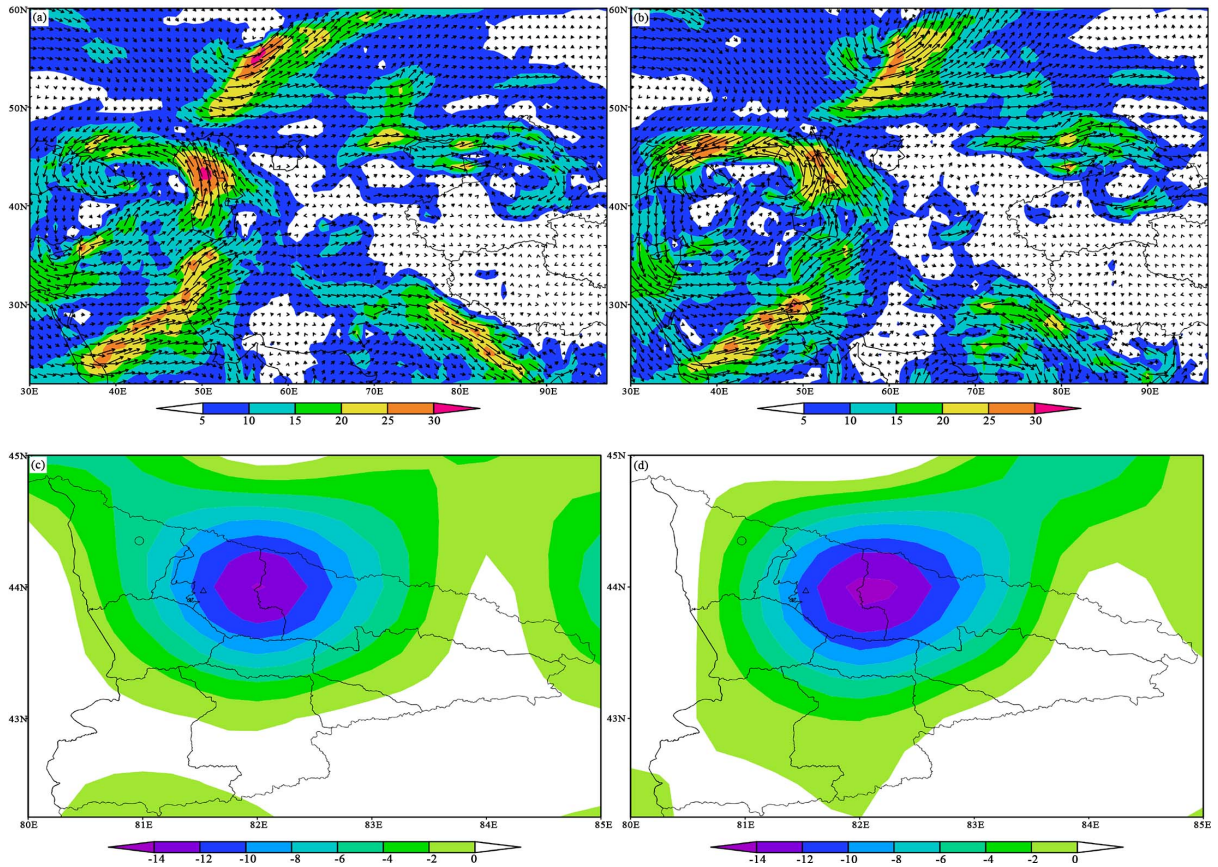


Figure 3. The vertical integrated field of water vapor flux from ground to 300 hPa (unit: $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$) (a: 20 h on 5 May, b: 02 h on 6 May, 2022), The vertical integrated field of water vapor flux divergence from ground to 300 hPa (unit: $10^{-5} \text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (c: 20 h on 5 May, d: 02 h on 6 May, 2022) (○ Guozigou Longkou, Δ Yining County)
图 3. 2022 年 5 月 5 日 20 时(a)、6 日 02 时(b)地面~300 hPa 水汽通量垂直积分场(单位: $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), 5 日 20 时(c)、6 日 02 时(d)地面~300 hPa 水汽通量散度垂直积分场(单位: $10^{-5} \text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (○ 果子沟龙口, Δ 伊宁县)

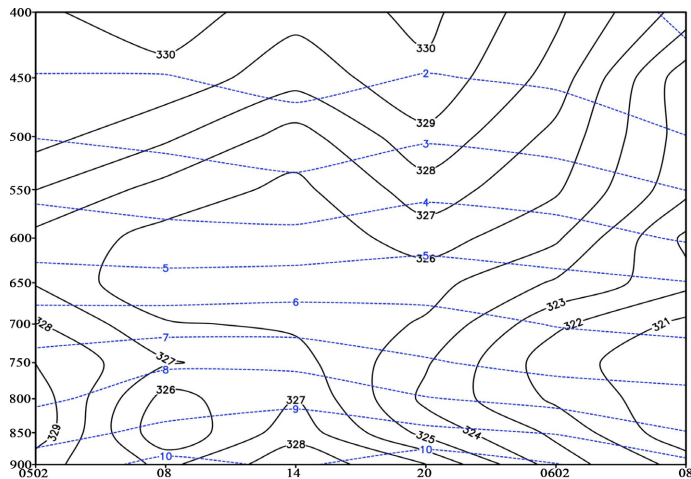


Figure 4. The time-height profile of specific humidity (dotted line, unit: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) and pseudo-equivalent potential temperature (solid line, unit: K) from 02:00 on 5 May to 08:00 on 6 May 2022 in Guozigou Longkou
图 4. 果子沟龙口 2022 年 5 月 5 日 02 时至 6 日 08 时比湿(虚线, 单位: $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)、假相当位温(实线, 单位: K)时间 - 高度剖面图

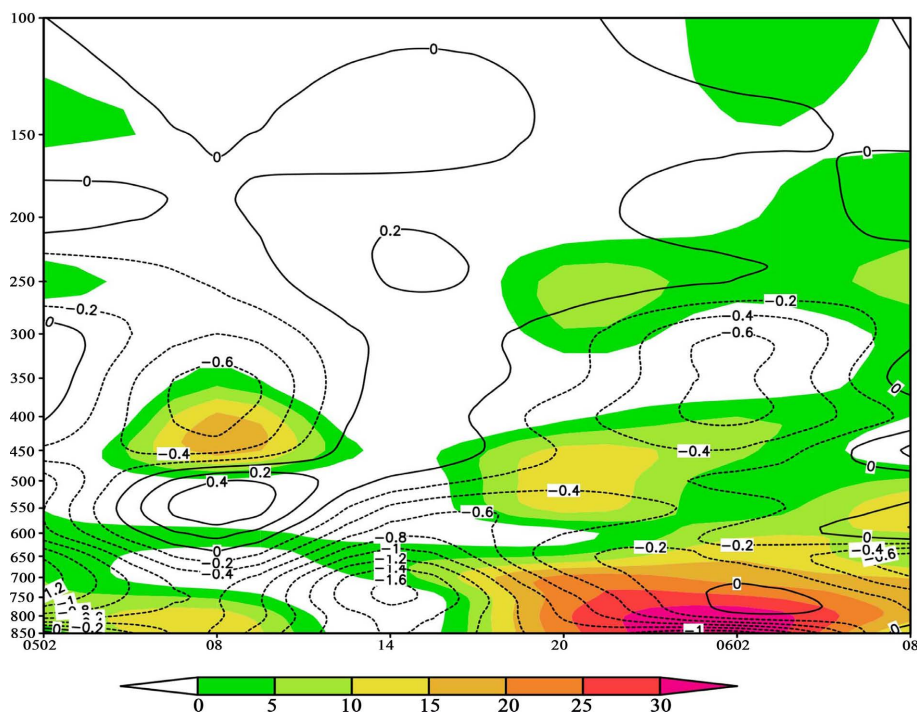


Figure 5. The time-height profile of vertical velocity (isoline, unit: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$) and vertical vorticity (stain, unit: 10^{-5}s^{-1}) from 02:00 on 5 May to 08:00 on 6 May 2022 in Guozigou Longkou
图 5. 果子沟龙口 2022 年 5 月 5 日 02 时至 6 日 08 时垂直速度(等值线, 单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$)、垂直涡度(色斑, 单位: 10^{-5}s^{-1})时间-高度剖面图

3.3.4. 低层风场

此次暴雨落区与低层风场切变、低空急流对应关系较好。850 hPa 风场上(图 6(a)、图 6(b)), 5 月 5 日 08 时后, 偏西低空急流进入伊犁西部, 果子沟龙口北侧有西北风与西南风的冷式切变, 其东侧有偏西风与偏南风的暖式切变。5 日 14 时, 果子沟龙口北侧、南侧形成东北风与西风的冷式切变。5 日 20 时, 在果子沟龙口周围形成一个中 β 尺度涡旋, 南侧为西南风, 北侧为东风, 西侧为东北风与西北风的切变, 此中尺度气旋向上伸展至 700 hPa (图 6(c)、图 6(d))。6 日 02 时, 伊犁西部的低空急流加大至 $14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 果子沟龙口仍处在气旋性风场中, 附近为东北风与西南风的冷式切变。6 日 08 时, 低空急流减弱消退, 果子沟龙口附近的气旋性风场切变消失, 暴雨骤减趋于结束。果子沟龙口位于伊犁河谷西北部山区, 地形对气流有强迫抬升作用, 低层风场切变、中尺度涡旋、低空急流、地形强迫抬升皆利于水汽快速集中辐合上升, 从而利于暴雨的发生发展。

3.4. 暴雨区水汽收支

计算 5 月 5 日 02 h~6 日 08 h 伊犁暴雨区($42^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{E}\sim 83^{\circ}\text{E}$)水汽输入、输出和收支量(正值为流入, 负值为流出)(图 7), 取地面~700 hPa (对流层低层)、700~500 hPa (对流层中层)、500~300 hPa (对流层高层)及整层(地面~300 hPa), 分析不同层次水汽输送特征及暴雨过程的水汽收支情况。西边界自始至终为水汽净流入, 暴雨期间(5 月 5 日 08 h~6 日 08 h), 整层输入的水汽占总流入的 76%, 700 hPa 以下水汽输入是西边界输入水汽的主力军, 占比 59%。北边界 500 hPa 以上有少许水汽输入。东边界各层均有水汽输入。南边界输入的水汽主要在 700 hPa 以上。中亚低槽前的偏西气流将水汽源源不断地输往伊犁暴雨区, 伊犁各边界整层水汽净收支约 $10.9 \times 10^8 \text{ t}$ 。此次暴雨过程中, 西边界的水汽输入起决定性作用, 这与前面所分析的水汽通量分布一致。

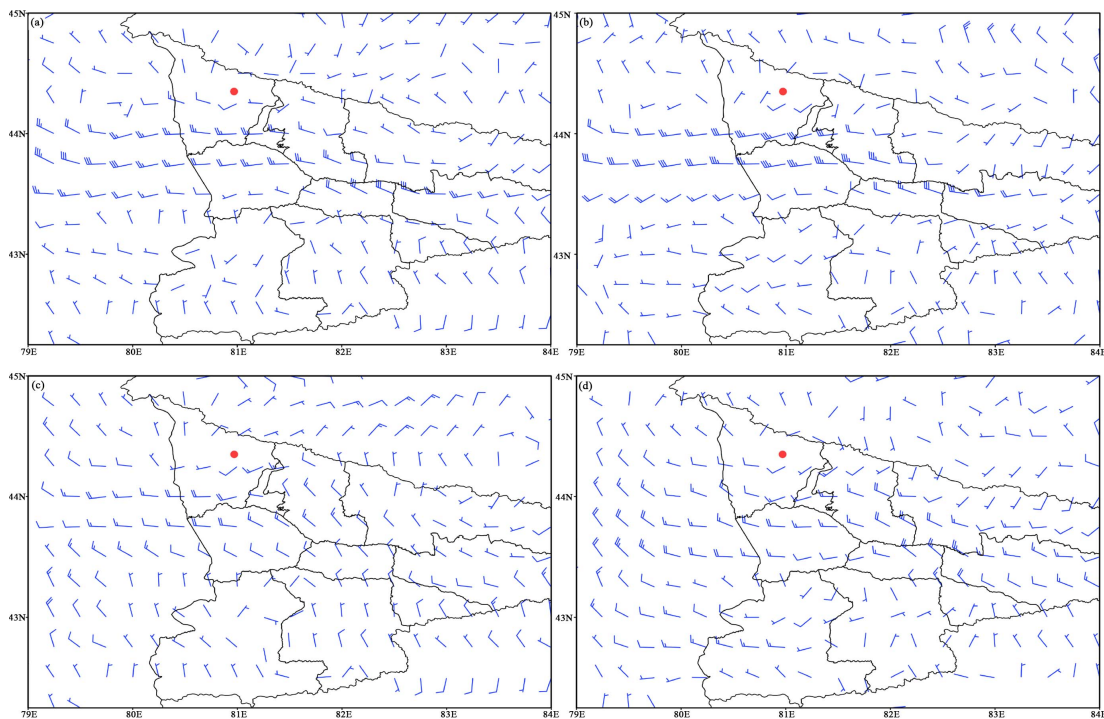


Figure 6. 850 hPa wind field (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (a: 20 h on 5 May, b: 02 h on 6 May, 2022) and 700 hPa wind field (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (a: 20 h on 5 May, b: 02 h on 6 May, 2022), ● Guozigou Longkou

图 6. 2022 年 5 月 5 日 20 时(a)、6 日 02 时(b) 850 hPa 风场, 5 日 20 时(c)、6 日 02 时(d) 700 hPa 风场(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), ● 果子沟龙口

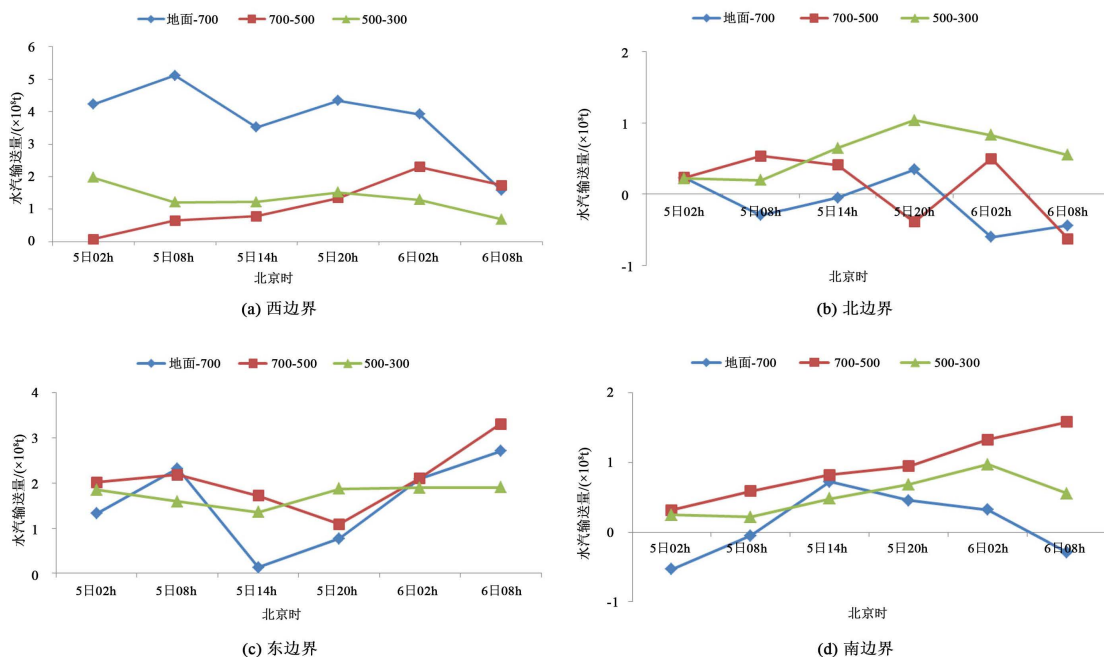


Figure 7. The evolution of 6-hour water vapor budget (unit: 10^8 t) from west (a), north (b), east (c) and south (d) boundaries in the high, middle and lower troposphere in the rainstorm area in Yili from 02:00 5 to 08:00 6 May 2022

图 7. 2022 年 5 月 5 日 02 时~6 日 08 时伊犁暴雨区对流层高、中、低层逐 6 h 西边界 (a)、北边界 (b)、东边界 (c)和南边界 (d)水汽收支演变(单位: 10^8 t)

3.5. FY-2G 卫星相当黑体温度 TBB 演变特征

5月5日凌晨在伊犁上游的中亚地区生成一个TBB中心值 -52°C 且面积很大的中尺度对流云团,5日05h(图8)后此中尺度对流云团在中亚短波槽前的偏西气流引导下逐渐进入伊犁西部,东移北上过程中云团不断分裂、破碎。5日15h伊犁西部的TBB $\leq -20^{\circ}\text{C}$,果子沟龙口的TBB为 -32°C ,之后随着云系东移,果子沟龙口的TBB值起伏波动。5日23h后,一个TBB中心值 -44°C 的中- β 尺度对流云团逐渐靠近果子沟龙口。6日00h,果子沟龙口TBB为 -32°C ,小时降水量11mm。6日01h,果子沟龙口TBB为 -36°C ,处于此中- β 对流云团的南缘,小时降水量24.4mm。6日02h,中- β 对流云团移出果子沟龙口,果子沟龙口TBB升至 -32°C ,小时降水量14.2mm。6日03h,果子沟龙口TBB仍为 -32°C ,其东南侧有一个TBB中心值 -44°C 的中- β 对流云团,果子沟龙口附近TBB梯度较大,小时降水量11.4mm。之后,云系东移北收,果子沟龙口TBB显著升高,雨强随之骤减,降水趋于结束。中尺度云团的演变与暴雨的发生、发展有密切关系。

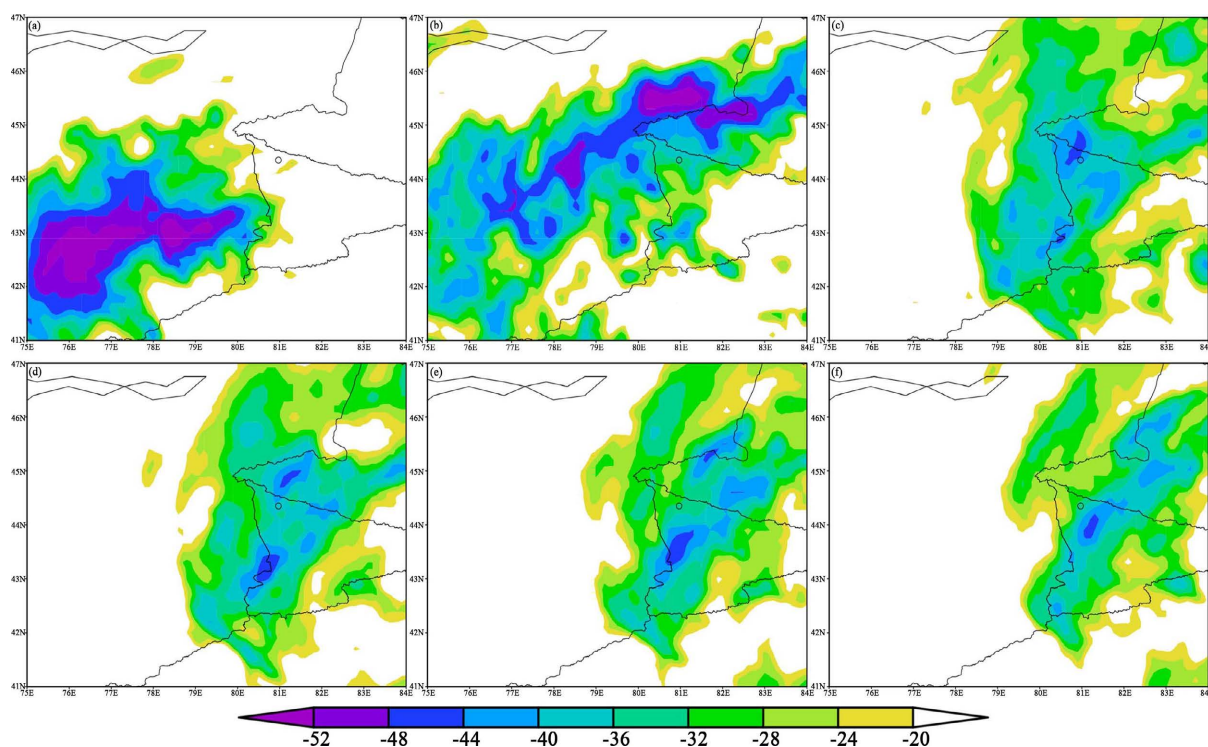


Figure 8. FY-2G Satellite TBB (unit: $^{\circ}\text{C}$) ((a): 05 h on 5 May, (b): 15 h on 5 May, (c): 00 h on 6 May, (d): 01 h on 6 May, (e): 02 h on 6 May, (f): 03 h on 6 May, 2022), \bigcirc Guozigou Longkou

图 8. 2022 年 5 月 5 日 05 时 (a)、5 日 15 时 (b)、6 日 00 时 (c)、6 日 01 时 (d)、6 日 02 时 (e)、6 日 03 时 (f) FY-2G 卫星 TBB (单位: $^{\circ}\text{C}$), \bigcirc 果子沟龙口

3.6. 多普勒雷达回波特征

暴雨期间以层状云、积状云混合型降水为主(图9),组合反射率因子大多在30~45dBZ,最大值54.5dBZ;回波顶高度大多在2~5km,积云对流单体回波顶在5~8km,最大高度8.5km;垂直积分液态含水量峰值为 $7.5\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。径向速度场上,暴雨区有较强的低空急流,出现速度模糊,低层辐合、高层辐散,利于水汽辐合上升。

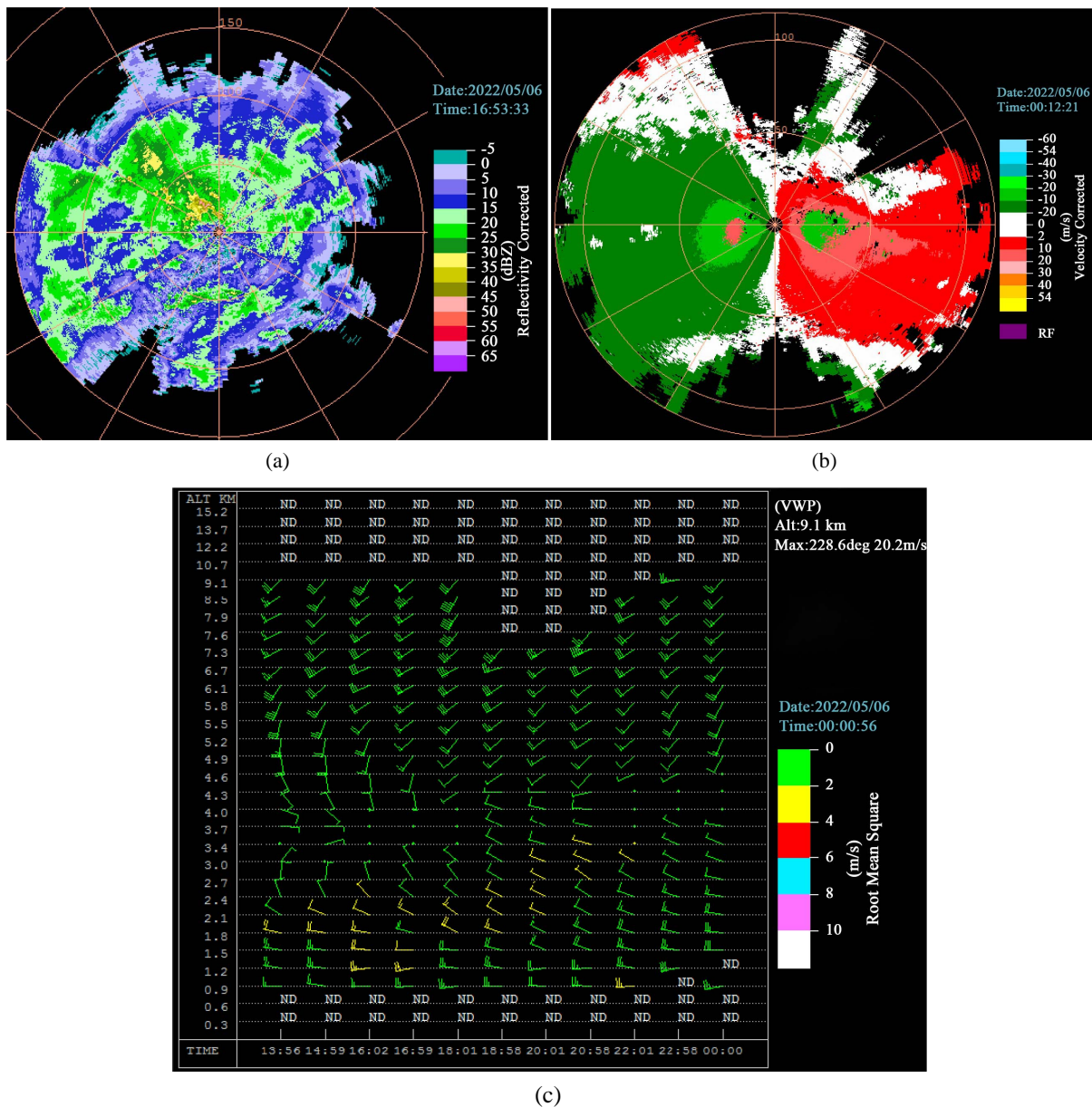


Figure 9. (a) Combined Reflectivity Factor at 16:53 on 5 May 2022 (unit: dBZ); (b) Elevation angle 1.5° radial velocity field at 00:12 on 6 May 2022 (unit: $m \cdot s^{-1}$); (c) Wind profile chart from 13:56 on 5 to 00:00 on 6 May 2022 (unit: $m \cdot s^{-1}$)

图 9. (a) 2022 年 5 月 5 日 16:53 组合反射率因子(单位: dBZ); (b) 5 月 6 日 00:12 仰角 1.5° 径向速度场(单位: $m \cdot s^{-1}$); (c) 5 月 5 日 13:56~6 日 00:00 速度方位显示廓线图(单位: $m \cdot s^{-1}$)

速度方位显示廓线图上, 4 km 以下, 西风随高度顺转为西北风, 为暖平流; 4 km 以上, 西北风随高度逆转为西南风, 为冷平流; 上冷下暖, 层结不稳定, 利于对流性降水的发生发展。

4. 结论

- 1) 此次极端暴雨是在中高纬地区多波动的环流背景下, 中亚短波槽东移进入伊犁造成的。
- 2) 水汽通量、水汽通量散度整层垂直积分场上, 发现暴雨所需的水汽主要来自中亚短波槽前的偏西气流, 暴雨落区对应于水汽通量辐合高值区。暴雨期间湿层深厚, $5 g \cdot kg^{-1}$ 的比湿伸至 650 hPa 以上, 近

地面比湿超过 $10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3) 暴雨期间, 上升运动伸展至 300 hPa, 正涡度伸展至 400 hPa, 800 hPa 以下的正涡度中心与暴雨高峰时段完全对应, 为暴雨提供有利的动力条件。果子沟龙口上空 850 hPa~700 hPa 风场上出现中 β 尺度涡旋, 加之低空急流、地形强迫抬升, 皆利于极端暴雨的形成。

4) 水汽收支计算表明, 暴雨期间西边界输入的水汽占总流入的 76%, 起决定性作用。

5) FY-2G 卫星 TBB 分析显示, 暴雨主要是由多个中尺度对流云团造成。

6) 多普勒雷达回波分析表明, 暴雨期间组合反射率因子最大值 54.5 dBZ, 回波顶最大高度 8.5 km, 低空急流较强; 上冷下暖, 层结不稳定, 利于对流性降水的发生发展。垂直积分液态含水量峰值为 $7.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

基金项目

中国气象局复盘总结专项《“5.5”伊犁河谷极端暴雨的成因分析》(FPZJ2023-147)资助。

参考文献

- [1] 黄昕, 周玉淑, 冉令坤, 等. 一次新疆伊犁河谷特大暴雨过程的环境场及不稳定条件分析[J]. 大气科学, 2021, 45(1): 148-164.
- [2] 李如琦, 李娜, 李桢宇, 等. 2021年6月14-17日新疆西南部暴雨成因及预报偏差分析. 全国高影响天气监测预报服务技术复盘(2021年)[M]. 北京: 气象出版社, 2022.
- [3] 张云惠, 于碧馨, 王智楷, 等. 伊犁河谷夏季两次极端暴雨过程的动力机制与水汽输送特征[J]. 暴雨灾害, 2018, 37(5): 435-444.
- [4] 曾勇, 杨莲梅. 新疆西部一次极端暴雨事件的成因分析[J]. 高原气象, 2018, 37(5): 1220-1232.
- [5] 杨涛, 杨莲梅, 李建刚, 等. 中亚低涡及其对新疆强降雨影响研究进展[J]. 暴雨灾害, 2022, 41(6): 613-620.
- [6] 刘晶, 曾勇, 刘雯, 等. 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.
- [7] 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.
- [8] 刘晶, 周玉淑, 杨莲梅, 等. 伊犁河谷一次极端强降水事件水汽特征分析[J]. 大气科学, 2019, 43(5): 959-974.
- [9] 孔期, 郑永光, 陈春艳. 乌鲁木齐“7.17”暴雨的天气尺度与中尺度特征[J]. 应用气象学报, 2011, 22(1): 12-22.
- [10] 张家宝, 邓子风. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987.
- [11] 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 1-457.
- [12] 庄晓翠, 李博渊, 秦裕, 等. 新疆东部一次区域极端暴雨环境场特征[J]. 高原气象, 2020, 39(5): 947-959.
- [13] 杨莲梅, 胡顺起, 张云惠. 1970-2017年中亚低涡年鉴[M]. 北京: 气象出版社, 2019.
- [14] 杨霞, 周鸿奎, 赵逸舟, 等. 新疆夏季暴雨精细化特征分析[J]. 气象, 2021, 47(12): 1501-1511.
- [15] 杨莲梅, 张云惠, 汤浩. 2007年7月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 91-101.
- [16] 陈春艳, 王建捷, 唐治, 等. 新疆夏季降水日变化特征[J]. 应用气象学报, 2017, 28(1): 72-85.
- [17] 姚秀萍, 肖峰, 马嘉理. 新疆地区夏季降水研究进展与展望[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(1): 1-9.
- [18] 祝小梅, 范宏云, 乔丽盼·别克. 2022年初冬伊犁河谷一次极端暴雪过程诊断分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(4): 1-6.
- [19] 张俊兰, 李娜, 秦贺, 等. 新疆一次暴雨过程的观测分析及水汽特征[J]. 暴雨灾害, 2016, 35(6): 43-51.