

伊犁河谷一次区域性暴雨天气分析

祝小梅, 玛合巴·巴合提

伊犁州气象局, 新疆 伊犁

收稿日期: 2025年8月14日; 录用日期: 2025年9月12日; 发布日期: 2025年9月19日

摘要

本文利用常规观测资料、雷达资料, 分析了伊犁河谷2024年8月18日白天至夜间的一场区域性暴雨天气过程。结果表明: 暴雨发生时伊犁河谷500 hPa受西西伯利亚低涡的控制, 地面受冷锋影响; 河谷上游中亚地区存在700 hPa风向辐合、850 hPa风向切变, 动力及水汽辐合机制配合较好, 并配合有中尺度的对流系统; 降水时段, 河谷大部比湿在 $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 西部局地到达 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 东部、南部山区在 $10\sim 11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 东部局地达到 $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$; 散度场、垂直速度场的配置, 产生了此次暴雨过程所必须的辐合上升运动, 同时有较强的不稳定条件, 为对流行性降水提供了不稳定能量; 雷达回波显示, 大降水天气主要属于层状云降水过程, 雷达回波成片状、回波强度偏弱; 傍晚至夜间, 山区局地出现对流云降水, 回波成块状, 回波强度大于45 dBz。

关键词

暴雨, 水汽, 动力机制, 伊犁河谷

Analysis of a Regional Rainstorm in the Ili River Valley

Xiaomei Zhu, Maheba Bahiti

Ili Prefecture Meteorological Bureau, Ili Xinjiang

Received: Aug. 14th, 2025; accepted: Sep. 12th, 2025; published: Sep. 19th, 2025

Abstract

This paper analyzes a regional rainstorm weather process in the Ili River Valley from the daytime to the night of August 18, 2024, using conventional observational data and radar data. The results show that when the rainstorm occurs, 500 hPa in the Ili River Valley is controlled by the West Siberian low vortex, and the ground is affected by the cold front. In the Central Asia region of the upper reaches of the river valley, there exists 700 hPa wind direction convergence and 850 hPa wind direction shear. The dynamic and water vapor convergence mechanisms are well coordinated, and

there is also a mesoscale convective system. During the precipitation period, the specific humidity in most of the river valleys was $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, locally reaching $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in the west. In the mountainous areas of the east and south, it was $10\sim 11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, and locally reaching $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in the east. The configuration of the divergence field and the vertical velocity field generated the convergent upward movement necessary for this rainstorm process, and at the same time, there were strong unstable conditions, providing unstable energy for the epidemic precipitation. Radar echoes show that the heavy precipitation weather mainly belongs to the layered cloud precipitation process, and the radar echoes are sheet-like with relatively weak echo intensity. From the evening to the night, convective cloud precipitation occurred in some areas of the mountainous region. The echoes were blocky and the echo intensity was greater than 45 dBz.

Keywords

Heavy Rain, Water Vapor, Dynamic Mechanism, Ili River Valley

Copyright © 2025 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. 引言

伊犁河谷位于北疆西部,处于南、北天山之间,地形复杂,降水的时空分布极不均匀,由于地形复杂,自然降水时空分布不均,夏季易出现局地暴雨灾害,局地暴雨发生时,可引发严重的暴雨洪水及次生地质灾害,对人民生活、农牧业生产、交通运输构成严重威胁[1]。

疆内外的气象学者就新疆暴雨开展了许多研究工作,在暴雨的大尺度环流背景、不同尺度天气系统配置、中小尺度活动及对流结构和水汽、动力条件等方面取得了丰硕成果。张家宝等[2][3]系统地介绍了新疆降水的气候学和天气学特征,指出南疆大降水具有区域分布极不均匀、梯度大的特点,并将南疆大降水的影响系统归纳为南支槽、低涡、中亚低槽、巴尔喀什湖低槽东南移4种类型;陈春艳等[4]研究天山北坡的暴雨发现,暴雨主要发生在100 hPa南亚高压呈双体型,500 hPa中亚低值系统在天山北坡东段稳定维持的环流背景下;杨莲梅[5]认为阿拉伯海和孟加拉湾的水汽通过接力方式可以影响到南疆、东疆,从而产生大降水甚至暴雨;刘晶等[6]对伊犁河谷2016年“7·31”极端暴雨过程不稳定性及其触发机制研究进行了分析;张云惠等[7]分析了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。此外还有很多关于暴雨的研究[8]-[11],取得了较多成果[12]-[16]。上述成果为研究伊犁河谷的暴雨天气提供了诸多思路和方法,非常有借鉴意义。本文利用常规观测资料和多普勒雷达等资料,对2024年8月18日白天至夜间发生在伊犁河谷的区域暴雨天气进行分析,以期今后暴雨天气预报提供一些有益依据。

2. 降水实况

8月18日白天至夜间,伊犁河谷出现大范围的降雨天气,大部出现大雨或暴雨,河谷共101站出现暴雨,特克斯县、霍城县、昭苏县、新源县共15站大暴雨。其中区域站最大降水中心位于特克斯县齐勒乌泽克镇喀木斯提布拉克村站71.4 mm,最大小时雨量达31.5 mm;城区最大降水中心位于昭苏县33.2 mm,其次为特克斯县27.4 mm,其它县市大雨12.3~23.4 mm(图1)。午后至夜间,新源县、特克斯县、巩留县、霍城县等地共35站出现短时强降水(10.2~31.5 mm)。从空间尺度上看,强降水主要集中在河谷的北部山区、东部、南部,并且强降水区首先出现在西部和南部,随时间迅速向东扩展,雨区的移动有明显的方向性。从上述的分析说明此次降水具有持续时间长、局地强度大、雨区移动有明显的方向性等特征。

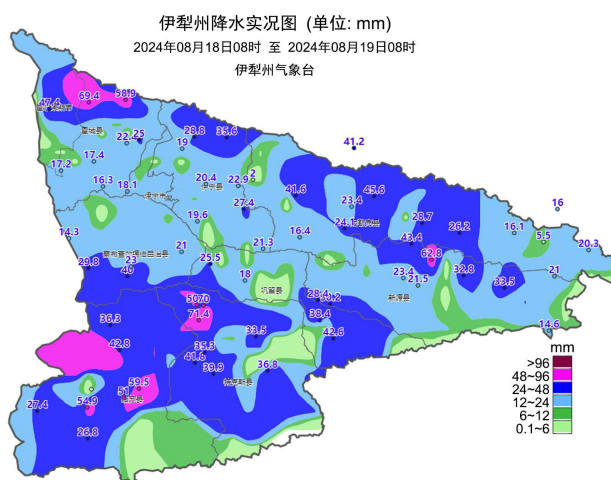


Figure 1. The actual distribution of precipitation in the Ili River Valley from 8:00 on August 18, 2024 to 8:00 on August 19, 2024

图 1. 2024 年 8 月 18 日 8 时至 19 日 8 时伊犁河谷降水实况分布图

3. 环流背景分析

8 月 17 日 08 时 500 hPa 天气图上, 欧亚范围内为两槽一脊型, 环流经向度较大(图 2(a)). 东欧和贝加尔湖地区为高压脊, 西西伯利亚低槽南伸至咸海、巴尔喀什湖间的 40°N 附近, 低涡中心为 550 dagpm, 有 -20°C 的冷中心与之相配, 伊犁河谷处于槽前西南气流的影响。至 18 日 08 时 500 hPa 上(图 2(b)), 西西伯利亚低涡槽继续南压, 环流径向度加大, 584 dagpm 控制整个伊犁河谷地区, -20°C 的冷中心也有所南压; 地面上(图 3(a)), 河谷受冷锋影响, 18 日白天, 随着低槽和冷锋的东移, 河谷自西向东出现降水天气。在 18 日 08 时, 200 hPa 中亚地区至伊犁河谷存在显著流线, 河谷上游急流核中心风速高达 $46\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 伊宁站风速达到 $40\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 850 hPa 上中亚至伊犁地区存在一低空西风急流, 中心风速达到 $12\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 且存在一湿舌由西南方向伸向暴雨区, 与低空西风急流相结合, 在暴雨区低空形成正的水汽平流(图略)。同时 925 hPa 上在中亚地区存在一超低空西南风急流, 低层 925~850 hPa 有较强的风速垂直切变, 而暴雨落区刚好位于高空西风的南下侧、低空西南急流的北侧、超低空西南急流的北端, 由此看出超低空急流为暴雨区提供了大量的水汽(图略)。而 850 hPa 上存在的湿舌与低空急流相结合, 在暴雨区低空形成高湿区, 从而建立和维持了暴雨区低空的对流不稳定层结。而高空急流为暴雨落区提供了高空辐散场, 加强了上升运动。19 日 08 时(图 3(b)), 影响我区降水的冷锋移至河谷东部, 降水趋于结束。

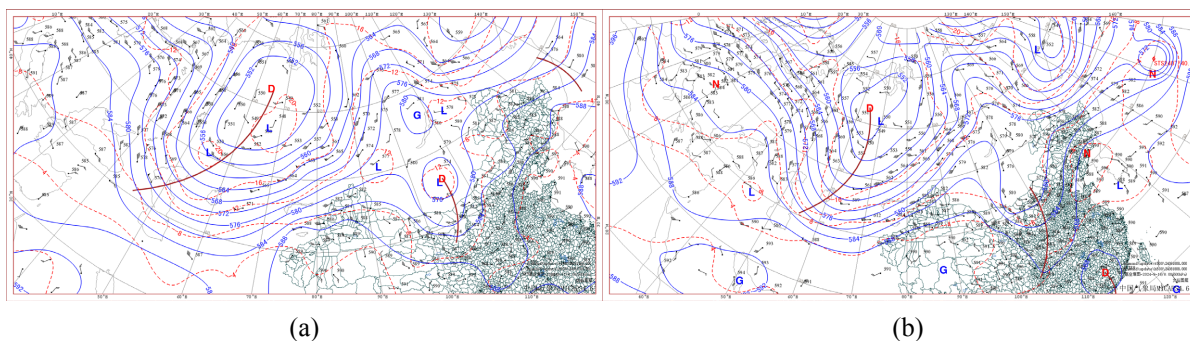


Figure 2. At 08:00 on August 17th (a) and 08:00 on August 18th (b), the potential height field (solid line), temperature field (dashed line), and wind field (vector) at 500 hPa

图 2. 8 月 17 日 08 时(a)、18 日 08 时(b) 500 hPa 位势高度场(实线)、温度场(虚线)、风场(矢量)

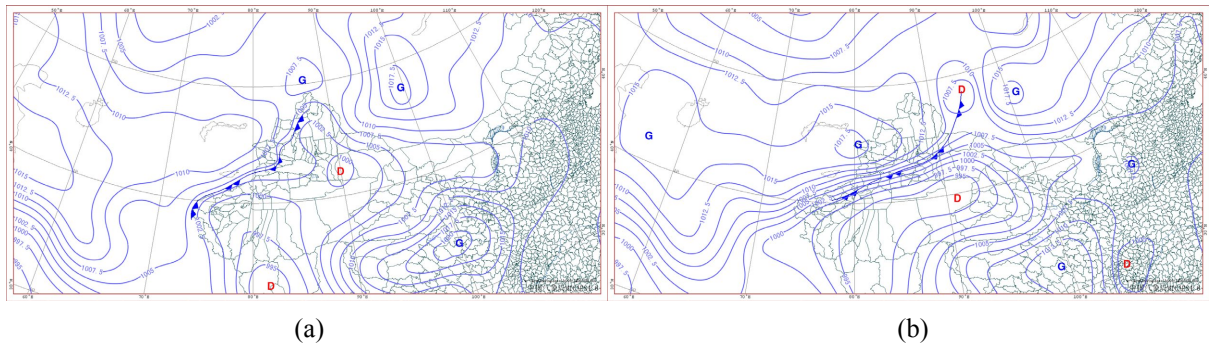


Figure 3. Sea level pressure fields at 08:00 on August 18th (a) and 08:00 on August 19th (b)

图 3. 8月18日08时(a)、19日08时(b)海平面气压场

4. 物理量诊断分析

4.1. 水汽条件分析

从 700 hPa 比湿场分析得出(图略), 18 日 08 时起, 伊犁河谷大部比湿在 $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图略)在降水大值区的西部、南部比湿值达到 $9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上, 局地达到了 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的峰值与降雨时段相及落区对应; 18 日 17 时(图略), 随着系统东移, 河谷西部比湿在 $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 比湿相对减弱, 降水也趋于减弱结束, 东部、南部山区增加至 $10\sim 11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 东部局地达 $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的比湿值, 此时段也是东部的降水时段。东部、南部持续较长时间的高比湿对出现暴雨提供了较好的水汽条件。19 日 05 时, 河谷大部比湿减小到 $5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 左右, 东部南部降水也开始减弱并趋于结束。

4.2. 不稳定条件分析

从 8 月 18 日 08 时伊宁探空资料看到(图 4(a)), 伊犁河谷上空 700 hPa 以下风向随高度顺时针旋转, 而 700 hPa 以上风向随高度逆时针旋转, 说明中低层为暖平流, 高层为冷平流, $Cape$ 值为 $46\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, K 指数 33.9°C , SI 指数为 0.06°C , 且 700 hPa 以下空气湿度较大, 850 hPa 与 500 hPa 之间温度差 25.8°C , 大气上冷下暖, 形成不稳定层结, 850~500 hPa 有较强的风速垂直切变, 并且中亚地区 $T-T_d \leq 5^\circ\text{C}$, 存在显著湿区。河谷存在一定的对流不稳定, 对 18 日白天河谷出现持续降水天气有利。

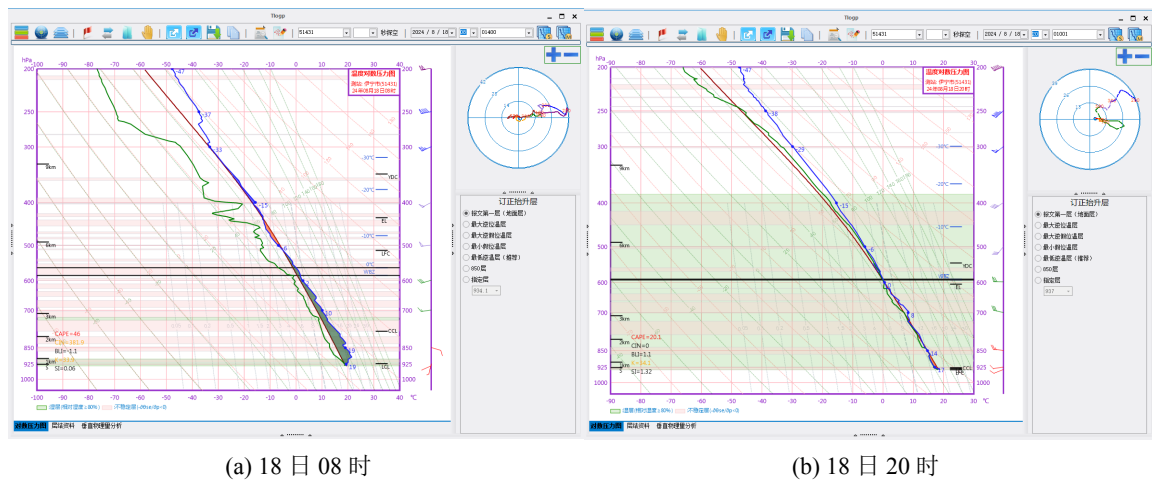


Figure 4. Sounding map of Yining Railway Station

图 4. 伊宁站探空图

18 日 20 时探空资料显示(图 4(b)), 500 hPa 以下风向随高度出现弱的逆转, 为冷平流, 表明低层有冷空气向下渗透, 说明冷锋影响伊犁河谷, 实况也显示傍晚至夜间, 河谷多站出现短时强降水天气。此时 $Cape$ 值减小到 $20.4 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, 但 K 指数增值 34.1°C , SI 指数为 1.32°C , 400 hPa 以上湿度较好, 这说明对流不稳定仍然存在且有所加强。而低层冷空气的侵入, 使冷锋前暖湿空气被抬升, 这有助于锋区上空不稳定能量的进一步释放和对流的发展, 分析表明当地强对流天气以短时强降水为主。

4.3. 上升运动条件分析——散度场

18 日 08 时散度场上(图略)分析得出, 在高空 200 hPa 上伊犁河谷西部有较强的辐散区, 而低空 850 hPa 上存在辐合, 到 18 日 20 时 200 hPa 散度场上, 在河谷东部、南部有较强的辐散区, 850 hPa 上存在辐合。由此可见, 18 日白天至夜间的这次暴雨过程中, 在伊犁河谷大部呈低层辐合 - 高层辐散的结构, 这种“抽吸效应”, 为河谷持续性降水天气的发生提供了有利的动力条件。

4.4. 上升运动条件分析——垂直速度

分析伊犁河谷西部代表站伊宁站垂直速度和涡度的时间 - 高度剖面图上(图略), 18 日 02 至 17 时上升气流从底层伸展到 100 hPa 附近, 垂直速度大值中心位于 400 hPa 附近, 大值区达 $-210 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 且底层至 400 hPa, 都有大于 80% 的湿度, 该时段也是西部的主要降水时段, 之后 900~600 hPa 转为下沉运动, 19 日 05 时后湿度减弱, 西部降水结束。

分析河谷东部代表站新源站(图略), 18 日 17 时至 19 日 11, 上升气流从底层伸展到 100 hPa 附近, 垂直速度大值中心位于 600 hPa 附近, 大值区达 $-160 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 且 18 日 20 时起底层至 400 hPa, 都有大于 90% 的湿度, 该时段也是东部的主要降水时段; 19 日 11 时后, 400 hPa 转为下沉运动, 湿度减弱, 东部降水结束。

分析昭苏和特克斯站(图略), 18 日白天降水较弱, 以小雨为主, 此时段垂直速度大值中心均位于 600 hPa 附近, 大值区分别为 $-40 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-20 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。18 日 20 时至 19 日 11 时, 两站上升气流均从底层伸展到 100 hPa 附近, 垂直速度大值中心位于 500 hPa 附近, 大值区分别达 $-120 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $-210 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}^{-1}$, 且此时段底层至 400 hPa, 都有大于 90% 的湿度, 该时段也是南部的主要降水时段; 11 时后, 700 hPa 以下转为下沉运动, 湿度减弱, 南部降水结束。

5. 多普勒雷达资料分析

5.1. 组合反射率、回波顶高分析

18 日白天至夜间, 伊犁河谷大部是自西向东移动的 $\geq 30 \text{ dBz}$ 的层状降水回波为主(图 5), 回波强度均匀、边界光滑, 无明显的强单体中心, 中心强度在 $35\sim 45 \text{ dBz}$, 回波顶高在 $5\sim 6 \text{ km}$ (图略), 属于典型的层状云降水回波。18 日夜間, 回波主要在东部南部, 至 19 日 08 时回波减弱且移至新源县东部区域, 降水减弱结束。此次天气过程的雷达回波演变过程属于层状云降水回波过程, 回波强度不强, 移动速度较慢, 回波演变的过程有一些小的对流单体活动。降水持续时间较长, 累计降水量较大; 午后至夜间, 沿山和山区出现短时强降水, 大降水落区主要位于霍城县北部山区、特克斯县局部区域, 因此主要对影响该区域的强回波进行分析。

5.2. 强降水中心各参数分析

由(图 6(a))可以看出, 19 日 02:35 强回波位于特克斯县北部, 成块状回波, 中心强度为 48.5 dBz , 其回波顶高也增加到 $9\sim 10 \text{ km}$ (图 6(b))、垂直液态水含量为 $8.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ (图 6(c)), 强降水落区附近有正负速

度对(图 6(d)), 正速度为 $6.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 负速度为 $-10.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 此时正好是特克斯县大降水出现时刻, 此时回波所经过地区的区域自动站显示已有强降水出现, 齐勒乌泽克镇喀木斯提布拉克村站最大小时雨强达 31.5 mm 。由于回波移动缓慢, 持续时间较长, 到 5 时左右, 逐渐移除特克斯区域, 导致特克斯区域内大部出现大量以上的降水天气。

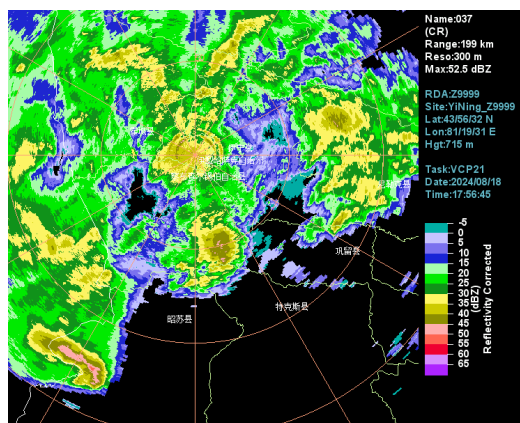


Figure 5. Radar reflectance factor diagram

图 5. 雷达反射率因子图

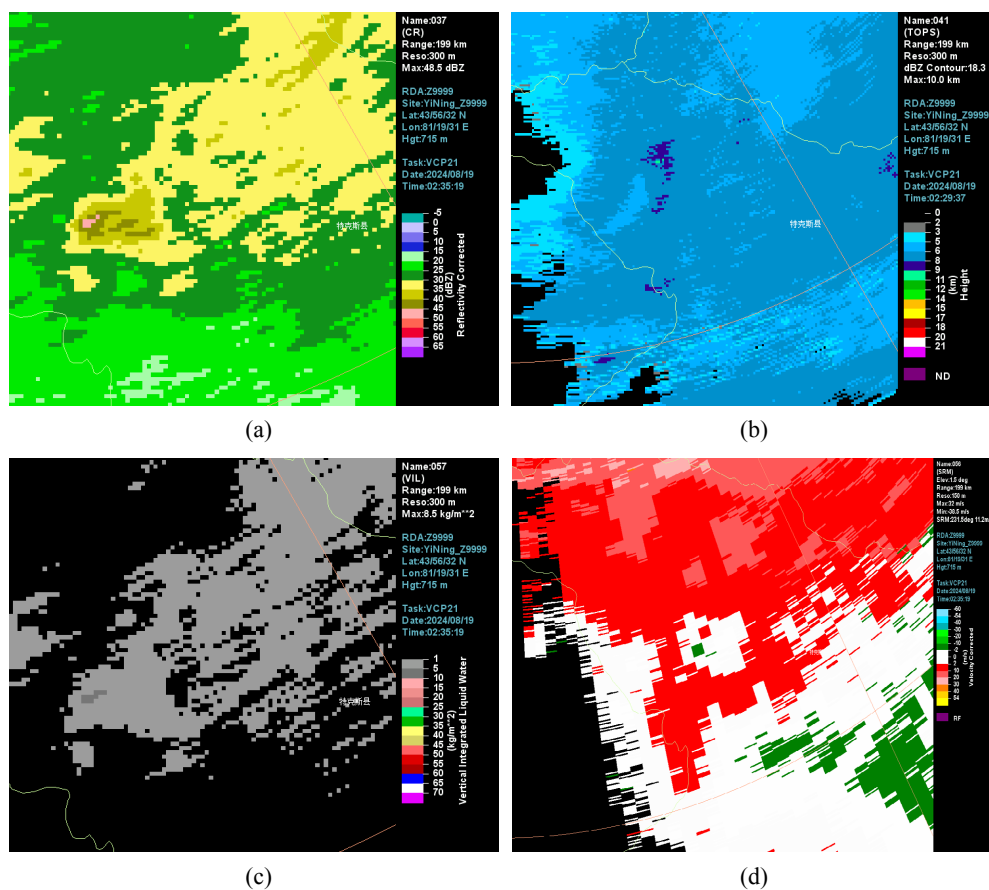


Figure 6. Radar reflectance map (a), radar echo top height map (b), vertical liquid water content map (c), and relative radial velocity map (d) of the Tex County area at 2:35 on August 19th

图 6. 8 月 19 日 2:35 特克斯县区域的雷达反射率图(a)、雷达回波顶高图(b)、垂直液态含水量(c)、相对径向速度(d)

6. 小结

(1) 暴雨发生的大尺度环流背景为欧亚范围内为两槽一脊型, 在 500 hPa 西西伯利亚低涡南压, 584 dagpm 控制整个伊犁河谷, 河谷受冷锋影响; 河谷上游中亚地区存在 700 hPa 风向辐合、850 hPa 风向切变; 动力及水汽辐合机制配合较好, 并配合有中尺度的对流系统, 是产生此次强降水过程的环流背景和天气学条件。

(2) 降水时段, 伊犁河谷大部比湿在 $8\sim 9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 在降水大值区比湿值达到 $9\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上, 西部局地达到了 $10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 东部、南部山区在 $10\sim 11\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 东部局地达 $12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 这为此次持续时间长, 局地降水较大提供了充足的水汽条件。

(3) 散度场、垂直速度场的配置, 产生了此次暴雨过程所必须的辐合上升运动, 同时有较强的不稳定条件, 为对流性降水提供了不稳定能量。

(4) 雷达回波显示, 18 日白天至夜间的大降水天气主要属于层状云降水过程, 回波成片状, 回波强度偏弱, 系统稳定, 降雨均匀, 降水持续时间较长; 但傍晚至夜间, 山区局地出现短时强降水等强对流降水, 回波成块状, 回波强度大于 45 dBz, 最大到达 50 dBz 左右。

基金项目

伊犁哈萨克自治州科技计划项目(YJC2023A10)。

参考文献

- [1] 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): 537-545.
- [2] 张家宝, 邓子凤. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1987: 113-117.
- [3] 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: 218-257.
- [4] 陈春艳, 孔期, 李如琦. 天山北坡一次特大暴雨过程诊断分析[J]. 气象, 2012, 38(1): 72-80.
- [5] 杨莲梅. 南亚高压突变引起的一次新疆暴雨天气研究[J]. 气象, 2003, 29(8): 21-25.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 丁永红, 王文, 陈晓光, 等. 宁夏近 44 年暴雨气候特征和变化规律分析[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 630-636.
- [9] 卞韬, 王丽荣, 李国翠, 等. 石家庄暴雨的气候特征和变化规律[J]. 干旱气象, 2009, 27(1): 18-22.
- [10] 练江帆, 梁必骐. 广东致洪特大暴雨的综合分析[J]. 热带气象学报, 1999, 15(3): 230-239.
- [11] 张艳梅, 江志红, 王冀, 等. 贵州夏季暴雨的气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 182-186.
- [12] 鹿翠华, 王令珍. 鲁南汛期暴雨及其气候背景分析[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 43-46.
- [13] 关莉娜, 张丽娟, 任健, 等. 洛阳市暴雨时空分布特征[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(B9): 56-58.
- [14] 侯春梅, 陈忠民, 康雯瑛, 等. 河南汛期暴雨时空分布特征及成因分析[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 159-164.
- [15] 谢五三, 田红. 近 50 年安徽省暴雨气候特征[J]. 气象科技, 2011, 39(2): 160-164.
- [16] 张红雨, 周顺武, 李新生, 等. 近 48a 山西暴雨日数气候特征及其变化趋势[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(2): 25-31.