

# 新疆伊犁3.13强降水成因诊断分析

江友飞\*, 覃家秀, 玛合巴·巴合提, 陈晓文

伊犁州气象局, 新疆 伊宁

收稿日期: 2023年12月13日; 录用日期: 2024年1月10日; 发布日期: 2024年1月18日

## 摘要

采用常规观测资料、NCEP逐6小时再分析资料(0.25° × 0.25°)、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2023年3月13~14日伊犁暴雨过程(中高山区为雨转雪)。暴雨是在中高纬地区环流经向度较大的背景下, 中亚低槽东移进入伊犁造成的。暴雨中心区850 hPa以下的水汽通量散度辐合中心高达 $-12 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , 为暴雨提供良好的水汽条件。暴雨期间边界层比湿大于 $6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。暴雨中心区散度场、涡度场结构利于暴雨发生发展。暴雨期间低空急流强盛, 急流核风速高达 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。冷平流利于中高山区雨转雪。FY-2G卫星TBB分析显示, 暴雨中心区降水最强时段 $\text{TBB} \leq -40^\circ\text{C}$ 。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 $41.2 \text{ dBZ}$ , 回波顶最大高度 $7 \text{ km}$ ; 偏西低空急流强盛, 利于强降水的发生发展。

## 关键词

初春暴雨, 中亚低槽, 低空急流, 伊犁河谷

# Diagnosis and Analysis of the Causes of the 3.13 Heavy Rainfall in Yili, Xinjiang

Youfei Jiang\*, Jiaxiu Qin, Maheba Baheti, Xiaowen Chen

Yili Meteorological Bureau, Yining Xinjiang

Received: Dec. 13<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 18<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

The rainstorm process from 13th to 14th March 2023 in Yili (rain to snow in middle and high mountains) is synthetically diagnosed and analyzed based on the multi-source data such as conventional observation data, NCEP reanalysis data every 6 hours (0.25° × 0.25°), FY-2G satellite and

\*通讯作者。

文章引用: 江友飞, 覃家秀, 玛合巴·巴合提, 陈晓文. 新疆伊犁 3.13 强降水成因诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(1): 129-138. DOI: 10.12677/ccrl.2024.131014

**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 high meridional circulation in the mid-high latitudes. The convergence center of water vapor flux divergence flux below 850 hPa in the central area of rainstorm is as high as  $-12 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , providing good water vapor conditions for rainstorm. The specific humidity of boundary layer during rainstorm is greater than  $6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ . The structure of divergence field and vorticity field in the central area of rainstorm is conducive to the occurrence and development of rainstorm. The low-level jet is strong during the rainstorm, and the core wind speed of the jet is up to  $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Cold advection is fluent in the transition from rain to snow in the middle and high mountain areas. The analysis of FY-2G satellite TBB shows that  $\text{TBB} \leq -40^\circ\text{C}$  during the strongest precipitation period in the rainstorm center area. Doppler radar echo analysis shows that the maximum combined reflectivity factor is 41.2 dBZ and the maximum height of echo top is 7 km during rainstorm; The strong westerly low-level jet is conducive to the occurrence and development of heavy rainfall.**

## Keywords

Rainstorm in Early Spring, Central Asia Trough, Low Level Jet, 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. 引言

伊犁河谷位于新疆的北疆最西部,属温带大陆性气候,三面环山,为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。降水时空分布极不均匀,伊犁年均降水量 241~523 毫米,山区 600~800 毫米。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、热力条件等各个方面开展了很多研究工作,取得了丰硕成果[1]-[17]。李海花等利用多源资料,采用水汽通量诊断、后向轨迹模型等方法分析了 2022 年 3 月 18~22 日阿克苏地区西部早春极端暴雨的环流形势、高低空配置、水汽输送、水汽收支及水汽追踪等[12]。热孜瓦古·孜比布拉等分析了 2020 年 4 月 17~24 日南疆西部喀什地区极端暴雨过程[13]。但针对伊犁河谷这一特殊地形下的初春暴雨的研究却很少。

2023 年 3 月 13 日至 14 日,受中亚低槽东移影响,伊犁河谷出现一场初春暴雨天气(中高山区为雨转雪),其中 14 个测站暴雨、6 个测站暴雪,降水中心位于伊宁县。

## 2. 资料与方法

选取 2023 年 3 月 13 日至 14 日伊犁河谷常规气象观测、自动气象站逐时降水量、NCEP  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  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。降水量按照新疆降水等级标准,24 h 降雨量(R)  $\geq 24.1 \text{ mm}$  为暴雨,24 h 降雪量(R)  $\geq 12.1 \text{ mm}$  为暴雪。

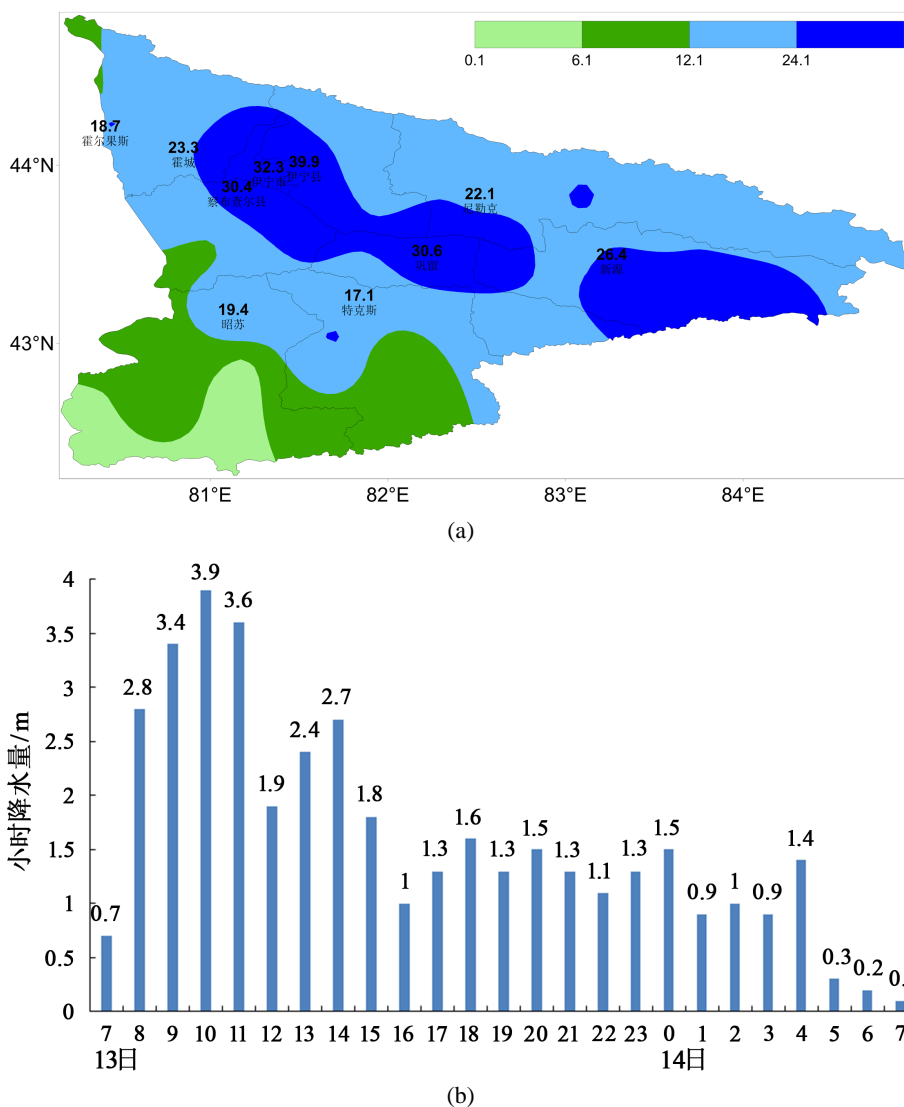
## 3. 结果与分析

### 3.1. 强降水概况

受中亚低槽东移影响,2023 年 3 月 13 日至 14 日伊犁河谷出现一场暴雨雪过程(图 1),21 个测站累计降水量超过 20 毫米,4 个国家站累计降水量超过 30 毫米,暴雨中心位于伊宁县(39.9 毫米)。伊宁县、伊宁

市、察布查尔县、巩留县、新源县、霍尔果斯市、尼勒克县共 14 站出现暴雨, 昭苏县、尼勒克县共 6 站出现暴雪。国家气象观测站中, 12 日 20 时至 13 日 20 时, 伊宁县(29.9 mm)、察布查尔县(27 mm)、巩留县(26.6 mm)、昭苏县(19.4 mm)打破本站 3 月最大日降水量极值, 霍尔果斯市(18.3 mm)居同期历史第二, 伊宁市(24.1 mm)、霍城县(20.2 mm)居同期历史第三。降水主要时段在 13 日早晨至夜间。

在降水前两天 3 月 11~12 日伊犁河谷升温明显, 平原地区最高气温升至 20°C~23°C, 为强降水发生提供较好的热力条件。



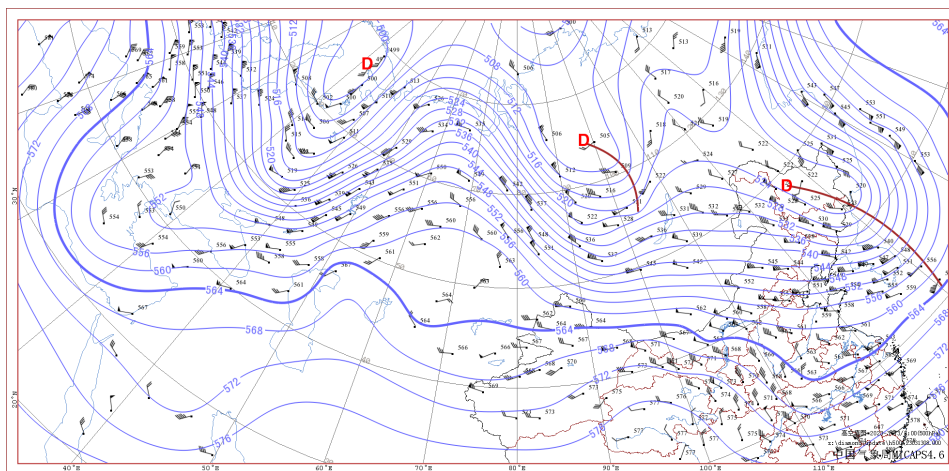
**Figure 1.** (a) The precipitation distribution map of Yili from 06:00 on 13 March to 14:00 on 14 March, 2023 (unit: mm); (b) The hourly precipitation map of Yining County from 06:00 on 13 March to 07:00 on 14 March, 2023 (unit: mm)

**图 1.** (a) 2023 年 3 月 13 日 06 时至 14 日 14 时伊犁降水量实况图(单位: mm), (b) 2023 年 3 月 13 日 06 时至 14 日 07 时伊宁县逐小时雨量图(单位: mm)

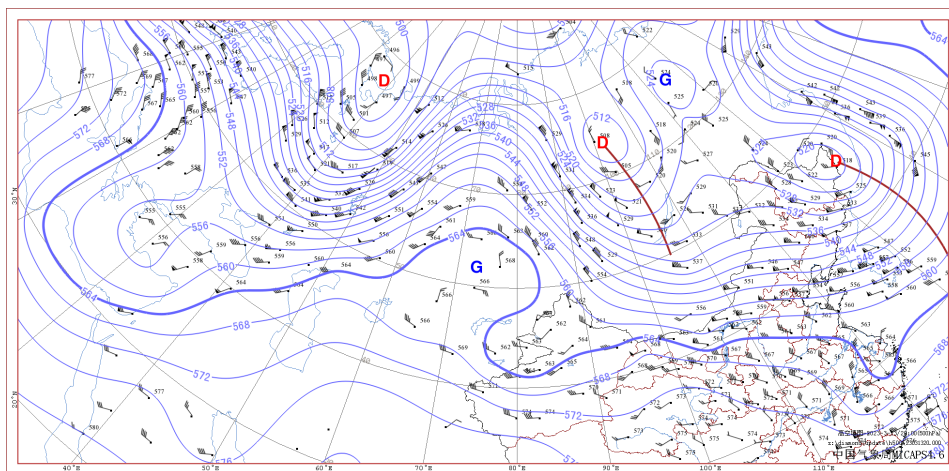
### 3.2. 高空环流形势

500 hPa 天气图上(图 2), 3 月 12 日 08 h, 欧亚范围中高纬地区环流经向度较大, 呈三槽二脊型, 二脊位于里海以北、贝加尔湖至新疆地区, 三槽分别位于黑海及其以北地区、西伯利亚至中亚地区、东亚

地区,伊犁为新疆脊区西风气流;12日20h,威海至巴尔喀什湖为中亚低槽活动区,新疆脊有些东移,伊犁转为脊后西南气流;13日08h,中亚低槽移入新疆偏西地区,温度槽落后于高度槽,利于低槽发展维持,伊犁为槽区西风气流;13日20h,新疆西部为低槽区,巴尔喀什湖以北高压脊前的偏北风引导冷空气入侵新疆西部,伊犁为偏西气流;14日08h,巴尔喀什湖以北形成阻塞高压,北疆北部转为偏东风,新疆低槽减弱填塞,伊犁转为槽后西北气流,降水趋于停止。



(a)



(b)

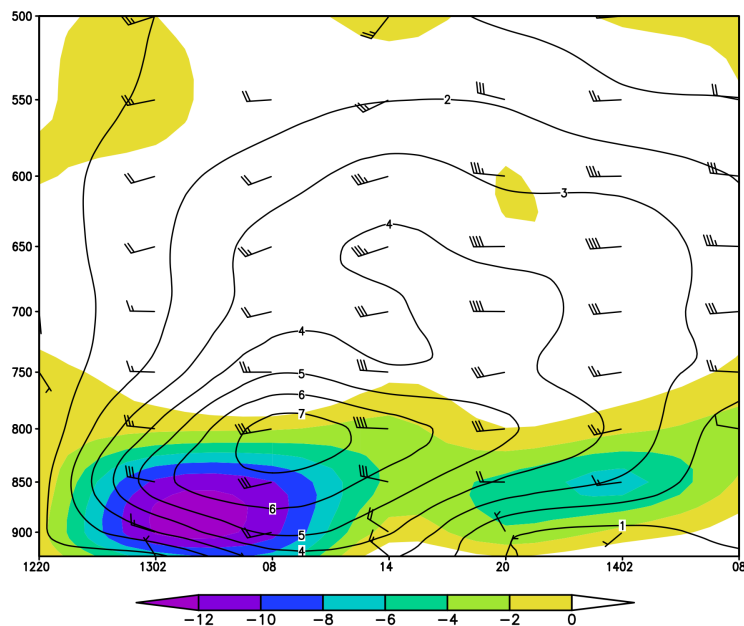
Figure 2. 500 hPa synoptic chart at 08:00 (a) and 20:00 (b) on 13 March, 2023

图 2. 2023 年 3 月 13 日 08 时(a)、20 时(b) 500 hPa 天气图

### 3.3. 物理量诊断分析

#### 3.3.1. 水汽通量、水汽通量散度

分析暴雨中心伊宁县的水汽通量、水汽通量散度时间-高度剖面图可见(图 3),水汽通量大值区主要在 700 hPa 以下,高值中心在 800 hPa,暴雨最强时段 3 月 13 日 08~14 h 中心值达  $7 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,13 日 20 h 后,水汽通量明显减小,降水强度亦骤减。水汽通量散度辐合区主要在 750 hPa 以下,大值区在 800 hPa 以下,辐合中心在 850 hPa 以下的边界层,中心值高达  $-12 \times 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,利于水汽快速集中、辐合上升,为暴雨发生发展提供良好的水汽条件。

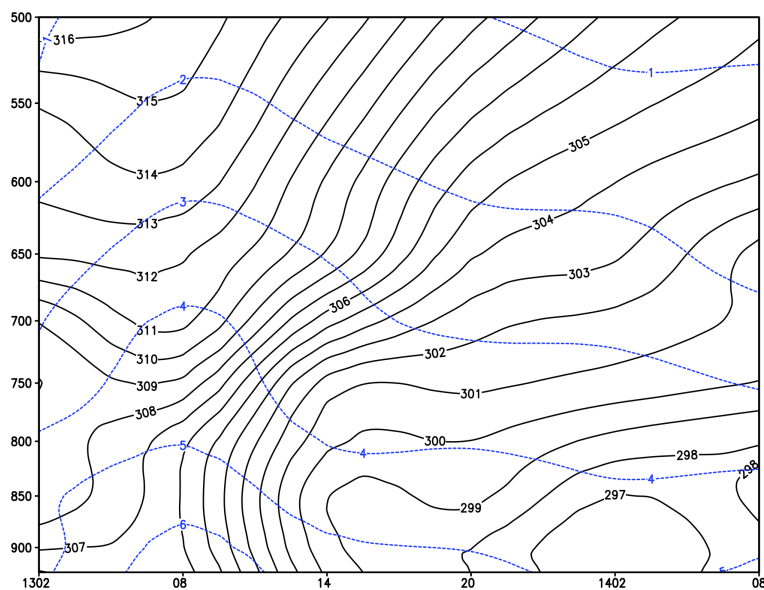


**Figure 3.** The time-height profile of water vapor flux (isoline, unit:  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ), water vapor flux divergence (stain, unit:  $10^{-5}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and wind field (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) from 20:00 on 12 March to 08:00 on 14 March, 2023

**图 3.** 伊宁县 2023 年 3 月 12 日 20 时至 14 日 08 时水汽通量(等值线, 单位:  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )、水汽通量散度(色斑, 单位:  $10^{-5}\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )、风场(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )时间 - 高度剖面图

### 3.3.2. 比湿、假相当位温

从暴雨中心伊宁县的比湿时间 - 高度剖面图上可见(图 4), 暴雨期间湿层较厚, 暴雨最强时段 13 日 08~14 h, 边界层比湿大于  $6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 850 hPa 比湿大于  $5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,  $3\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的比湿线升至 650 hPa, 假相当位温线密集而陡峭, 说明大气斜压性大、锋区强, 利于强降水的发生。



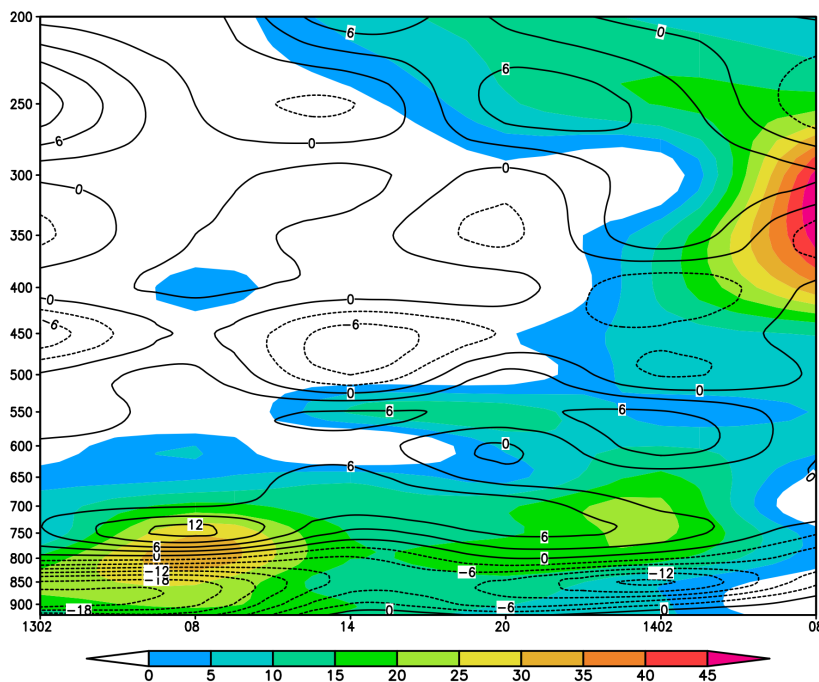
**Figure 4.** The time-height profile of specific humidity (dotted line, unit:  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) and pseudo-equivalent potential temperature (solid line, unit: K) from 02:00 on 13 March to 08:00 on 14 March, 2023 in Yining County

**图 4.** 伊宁县 2023 年 3 月 13 日 02 时至 14 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



### 3.3.3. 水平散度、垂直涡度

从伊宁县的水平散度、垂直涡度时间 - 高度剖面图上可见(图 5), 暴雨期间 800 hPa 以下为强辐合区, 辐合中心位于 850 hPa 及以下的边界层, 辐合中心值高达  $-21 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , 800~500 hPa 基本为辐散区, 750 hPa 的辐散强中心达  $12 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 。涡度场上, 650 hPa 以下基本为正涡度区, 13 日 08 时 800 hPa 的正涡度中心达  $30 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ , 13 日 14 时后正涡度减小, 上升运动由盛而衰, 降水强度随之有些减弱。散度场、涡度场结构为暴雨提供有利的动力条件。



**Figure 5.** The time-height profile of horizontal divergence (isoline, unit:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) and vertical vorticity (stain, unit:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ ) from 02:00 on 13 March to 08:00 on 14 March, 2023 in Yining County

**图 5.** 伊宁县 2023 年 3 月 13 日 02 时至 14 日 08 时水平散度(等值线, 单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )、垂直涡度(色斑, 单位:  $10^{-5} \text{s}^{-1}$ )时间 - 高度剖面图

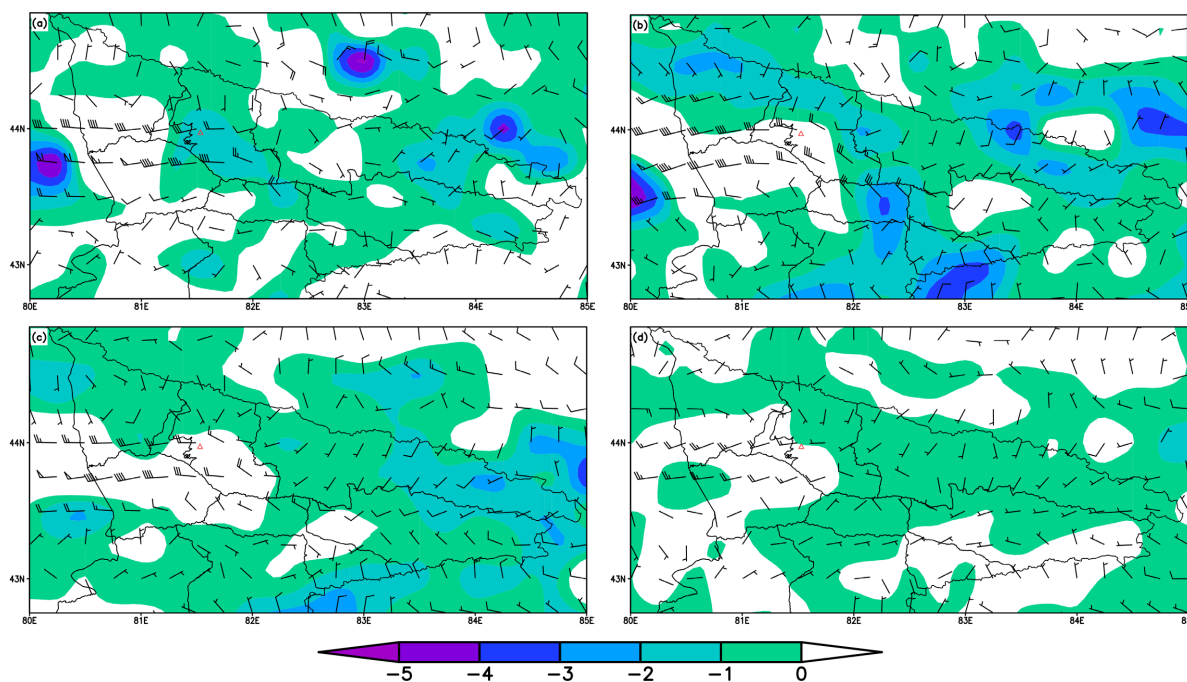
### 3.3.4. 850 hPa 低空急流、温度平流

3 月 13 日 02 h 后, 偏西低空急流进入伊犁西部。13 日 08 h 低空急流(图 6)加大且风速辐合, 急流核风速高达  $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 为暴雨区输送充沛的水汽, 伊犁大部为冷平流, 伊宁县冷平流为  $-1 \times 10^{-4} \text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$ 。13 日 14 h, 伊犁西部低空急流略有减弱, 降水强度随之有些减弱, 伊犁北部山区、东部、南部冷平流增大, 中高山区降水相态逐渐由雨转为雪。13 日 20 h, 伊犁西部低空急流继续有些减弱, 伊犁北部山区、东部的冷平流也略有减弱, 降水强度亦略有减弱。14 日 02 时, 伊犁西部低空急流消退, 东部冷平流明显减弱, 降水强度随之骤减。14 日 08 时, 伊犁大部地区转为偏东风和暖平流, 降水基本结束。低空急流及温度平流的发展演变对应于降水强度的强弱变化。

## 3.4. FY-2G 卫星相当黑体温度 TBB 演变特征

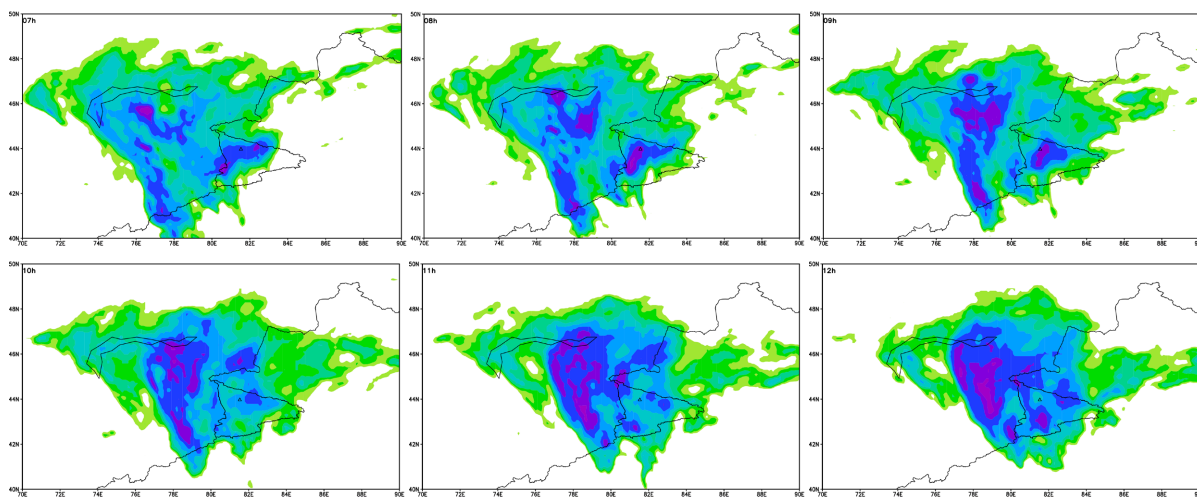
3 月 13 日凌晨在中亚低槽前的偏西气流引导下, 降水云系逐渐进入伊犁。13 日 08 h (图 7), 云系  $-52^\circ\text{C} \sim -48^\circ\text{C}$  的 TBB 低值中心区移入伊犁西部, TBB 中心区呈东北-西南向的近似椭圆形, 伊宁县处于 TBB 中心区的前端, TBB 为  $-48^\circ\text{C}$ , 小时降水量 2.8 mm。13 日 09 h, 伊犁西部的 TBB 中心区升至  $-48^\circ\text{C}$ , 中心区面积略有缩小, 伊宁县 TBB 为  $-48^\circ\text{C} \sim -44^\circ\text{C}$ , 小时降水量 3.4 mm。13 日 10 h, 伊犁西部的 TBB

升高,  $-44^{\circ}\text{C}$ 的中心区移至伊犁北部东部, 伊宁县 TBB 为  $-40^{\circ}\text{C}$ , 小时降水量  $3.9\text{ mm}$ 。13 日 11 h, 伊犁西南部出现一个  $-48^{\circ}\text{C}$  的 TBB 低值中心区, 伊犁西北部的 TBB 降至  $-48^{\circ}\text{C}\sim-44^{\circ}\text{C}$ , 伊犁东北部出现两个  $-44^{\circ}\text{C}$  的 TBB 低值区, 伊宁县 TBB 为  $-40^{\circ}\text{C}$ , 小时降水量  $3.6\text{ mm}$ 。13 日 12 h, 伊犁南部 TBB 降低,  $-48^{\circ}\text{C}$  的 TBB 低值中心区面积增大, 伊犁东北部的 TBB 中心区降至  $-48^{\circ}\text{C}$ , 伊宁县 TBB 升至  $-36^{\circ}\text{C}$ , 小时降水量减小为  $1.9\text{ mm}$ 。13 日 13~15 h, 伊宁县  $\text{TBB} \leq -44^{\circ}\text{C}$ , 小时降水量为  $2.4\text{ mm}$ 、 $2.7\text{ mm}$ 、 $1.8\text{ mm}$ 。13 日 16~20 h, 伊宁县 TBB 为  $-40^{\circ}\text{C}\sim-36^{\circ}\text{C}$ , 小时降水量减为  $1.0\sim 1.6\text{ mm}$ 。之后, 伊犁 TBB 明显升高, 云系东移, 降水逐渐减弱, 13 日 07 h 后伊犁大部降水基本结束。由以上分析可见云系 TBB 的演变与暴雨发生、发展有密切关系。



**Figure 6.** 850 hPa wind field (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and temperature advection (unit:  $10^{-4}\text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$ ) at 08:00 on 13 March (a), 14:00 on 13 March (b), 20:00 on 13 March (c), and 02:00 on 14 March (d), 2023, and  $\Delta$  is Yining County

**图 6.** 2023 年 3 月 13 日 08 时 (a)、13 日 14 时 (b)、13 日 20 时 (c)、14 日 02 时 (d) 850 hPa 风场(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )和温度平流(单位:  $10^{-4}\text{ K}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $\Delta$ 伊宁县



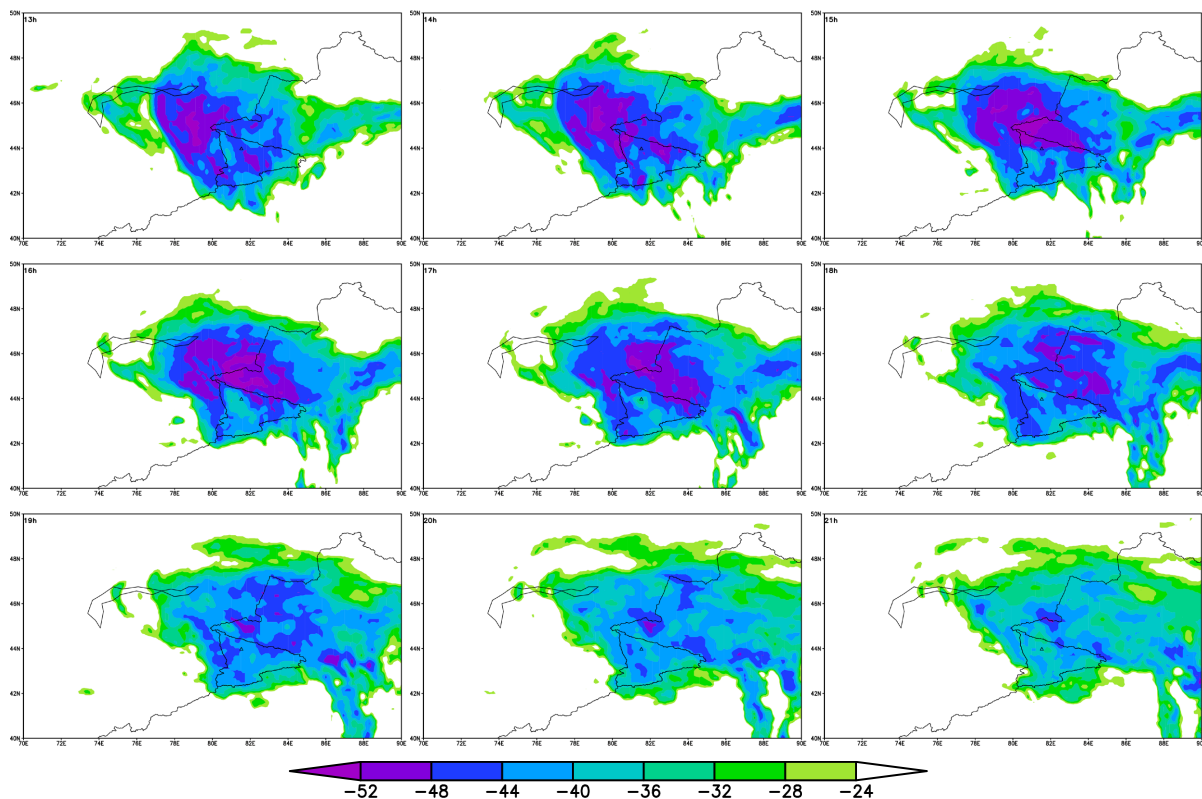


Figure 7. FY-2G Satellite TBB from 07:00 to 21:00 on 13 March, 2023 (unit: °C), and  $\Delta$  is Yining County  
图 7. 2023 年 3 月 13 日 07 时至 21 时 FY-2G 卫星 TBB(单位: °C),  $\Delta$ 伊宁县

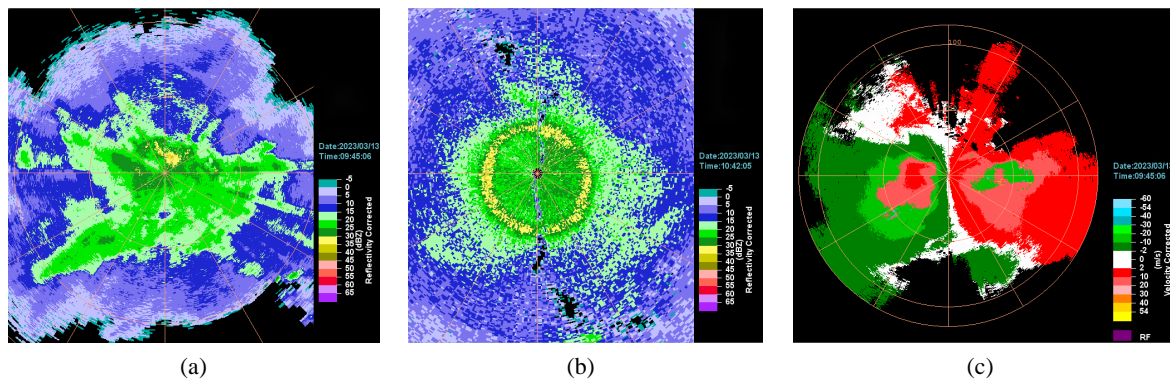
### 3.5. 多普勒雷达回波特征

暴雨期间以层状云降水为主(图 8), 组合反射率因子大多在 15~35 dBZ, 最大值 41.2 dBZ; 回波顶高度大多在 2~5 km, 最大高度 7 km。暴雨较强时段, 高仰角反射率因子图上有清晰的 0°C 层亮带。径向速度场上, 暴雨区偏西低空急流强盛, 出现速度模糊, 低层辐合、高层辐散, 利于水汽辐合上升。

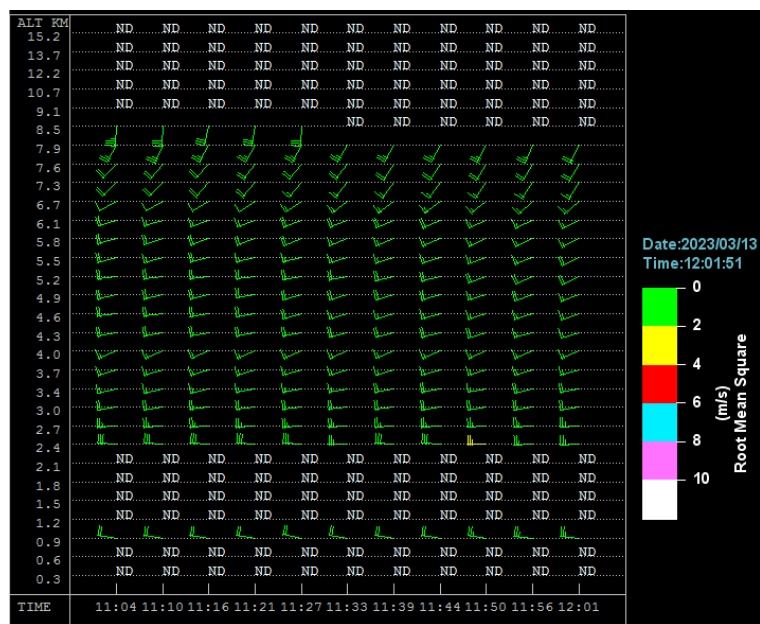
风廓线图上, 暴雨较强时段雷达站上空 2.4 km 处有低空急流; 低层西风随高度逆转为西南风, 为冷平流, 利于降水的发生发展。

## 4. 结论

- 1) 此次强降水过程是在中高纬地区环流经向度较大的背景下, 中亚低槽东移进入伊犁造成的。







(d)

**Figure 8.** (a) Combined reflectivity factor at 09:45 on 13 March, 2023 (unit: dBZ), (b) Elevation angle  $6.0^\circ$  reflectivity factor at 10:42 on 13 March (unit: dBZ), (c) Elevation angle  $1.5^\circ$  radial velocity field at 09:45 on 13 March (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), (d) Wind profile map from 11:04 to 12:01 on 13 March

**图 8.** (a) 2023 年 3 月 13 日 09:45 组合反射率因子(单位: dBZ), (b) 3 月 13 日 10:42 仰角  $6.0^\circ$  反射率因子(单位: dBZ), (c) 3 月 13 日 09:45 仰角  $1.5^\circ$  径向速度场(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), (d) 3 月 13 日 11:04~12:01 风廓线图(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

2) 暴雨中心区的水汽通量大值区主要在 700 hPa 以下, 800 hPa 高值中心达  $7 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , 水汽通量散度辐合大值区在 800 hPa 以下, 850 hPa 以下边界层的辐合中心值高达  $-12 \times 10^{-5} \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ , 为暴雨提供良好的水汽条件。暴雨期间湿层较厚,  $3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  的比湿线升至 650 hPa, 边界层比湿大于  $6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3) 暴雨中心区散度场、涡度场结构为暴雨提供有利的动力条件。800 hPa 以下为强辐合区, 850 hPa 及以下的边界层辐合中心值高达  $-21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ , 800~500 hPa 为辐散区。涡度场上, 650 hPa 以下为正涡度区, 800 hPa 的正涡度中心达  $30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 。

4) 暴雨期间低空急流强盛, 低空急流的演变对应于降水的强弱变化; 冷平流利于中高山区雨转雪。

5) FY-2G 卫星 TBB 分析显示, 暴雨中心区降水最强时段  $\text{TBB} \leq -40^\circ\text{C}$ 。

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 41.2 dBZ, 回波顶最大高度 7 km; 低空急流强盛, 利于强降水的发生发展。

## 基金项目

新疆气象局引导性计划项目(三维 WebGis 在地质灾害气象监测预警服务中的应用)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] 杨霞, 周鸿奎, 许婷婷, 等. 南疆夏季不同类型暴雨精细化特征分析[J]. 干旱区研究, 2021, 38(3): 747-756.
- [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, 邓子凤. 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] 李海花, 李吉州, 刘大锋, 等. 阿克苏地区早春一次极端降水水汽特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(6): 18-24.
- [13] 热孜瓦古·孜比布拉, 吕新生, 王鹏飞, 等. 2020年春季南疆西部一次极端暴雨成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(3): 20-28.
- [14] 杨莲梅, 刘晶. 新疆水汽研究若干进展[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(2): 1-13.
- [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] 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.
- [17] 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.