

汛期博州东部最早一次强降水天气成因分析

王华媛¹, 达英¹, 哈尔勒哈西·加阿吾木尔², 张雅静¹

¹博尔塔拉蒙古自治州气象局, 新疆 博乐

²精河县气象局, 新疆 精河

收稿日期: 2022年12月15日; 录用日期: 2023年1月11日; 发布日期: 2023年1月19日

摘要

本文主要利用Micaps高空、地面天气实况、模式预报0时刻资料及新疆博州区域自动站资料, 运用天气动力学诊断方法, 综合分析2022年5月5~6日博州东部强降水天气过程。此次暴雨大值落区位于博州南北部沿山及精河, 500 hPa乌拉尔大槽不断分裂短波与中亚低槽结合影响北疆, 低层博州受暖低压影响, 高层冷低层暖, 冷暖交绥, 中高层偏南风与低层偏北风形成垂直环流, 配合700 hPa伊犁博州之间冷式切变、中尺度气旋及地形抬升触发下, 造成中尺度对流, 形成短时强降水。中层气团自阿拉伯海移至伊犁州境外, 水汽辐合上升经别珍套山、科古琴山进入博州南部。CMA模式对强降水落区预报好于定点预报, 组合反射率及k指数对对流性降水预报有一定的指示意义; ECMWF模式预报落区较好但单点预报量级偏大, 模式时间垂直剖面能一定程度地反映降水时段。通过CMA及ECMWF模式预报性能检验, 为以后博州东部定时、定点暴雨预报预警提供依据。

关键词

强降水, 后向轨迹, 冷式切变, 中尺度气旋, 模式检验

Analysis on Weather Causes of the Earliest Heavy Precipitation in the East of Bozhou in Flood Season

Huayuan Wang¹, Ying Da¹, Haerlehaxi-Jiaawumuer², Yajing Zhang¹

¹Boltala Mongolian Autonomous Prefecture Meteorological Bureau, Bole Xinjiang

²Jinghe Meteorological Bureau, Jinghe Xinjiang

Received: Dec. 15th, 2022; accepted: Jan. 11th, 2023; published: Jan. 19th, 2023

Abstract

Based on Micaps facts, model prediction data at 0 time and automatic station data, the weather

文章引用: 王华媛, 达英, 哈尔勒哈西·加阿吾木尔, 张雅静. 汛期博州东部最早一次强降水天气成因分析[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(1): 99-106. DOI: 10.12677/ccr.2023.121011

process of heavy precipitation in the east of Bozhou during May 5~6, 2022 was comprehensively analyzed by using the diagnostic method of weather dynamics in this study. The heavy rainfall area was located along the mountains and Jinghe River in the south and north of Bozhou. The 500 hPa Ural Trough continuously split short wave and combined with the Central Asian low trough to affect northern Xinjiang. The low level Bozhou was affected by the warm low, and the upper level cold and lower level warm, and the cold and warm interacted, and the southerly wind in the middle and upper level formed vertical circulation with the north wind in the lower level. Combined with 700 hPa cold shear between Bozhou and Yili, mesoscale cyclone and topographic uplift triggered mesoscale convection and short-time heavy precipitation, the middle air mass moved from the Arabian Sea to the outside of Yili prefecture, and the water vapor converged and rose through Beizhen Tao and Keguqin Mountains to enter the south of Bozhou. The CMA model is better than the fixed point forecast for the heavy precipitation falling area, and the combined reflectance and k index have certain indicative significance for the convective precipitation forecast. The ECMWF model has a good forecast area, but the magnitude of single point forecast is larger. The vertical profile of model time can reflect the precipitation period to a certain extent. The forecast performance test of CMA and ECMWF model provides the basis for the forecast and early warning of regular and fixed heavy rain in the east of Bozhou.

Keywords

Heavy Rainfall, Backward Track, Cold Shear, Mesoscale Cyclone, Model Test

Copyright © 2023 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

博尔塔拉蒙古自治州(以下简称博州)位于北疆西部,地形环境与其南部向西开口的伊犁不同,北侧为阿拉套山,南侧为别珍套山、科古琴山,博州西、北、南三面环山,中间是喇叭状的谷地平原,造成西部高东部低,特殊的地形造成博州全年降水远远少于“塞外江南”伊犁,而地形的复杂性使得降水天气尤其难预报。

近年来,不少学者对博州降水特征进行了统计分析[1]、对博州不同级别降水及极端降水事件的时空变化做了研究[2],也有学者运用多种检验方法研究了博州不同气候区降水量与降水日的长期变化趋势[3]、博州地区降水时空分布特征[4]等,但都是从气候变化趋势角度来分析[5]-[15],对于降水的天气特征形势分析较少。精河县位于博州东部,主要降水时段为6至8月,而2022年5月6日该测站降水22.1毫米,突破测站近60年5月上旬单日降水极值,此次强降水天气也是近博州近7年入汛以来最早的一次大降水天气过程。本文主要利用Micaps高空、地面天气实况、模式预报0时刻资料及博州区域自动站和加密自动站资料等进行天气特征分析,以期提高强降水预报的落区、强度等精细化预警能力。

2. 天气实况

2022年5月5~6日,博州出现强降水天气过程,各地普遍出现中到大雨,山区大到暴雨,局部大暴雨;博州共62个测站出现有量降水,其中16个测站小雨,11个测站中雨,30个测站大雨,4个测站暴雨,1个测站大暴雨。(本文暴雨标准为24h时降雨量24.1~48mm,大雨标准为24h降雨量12.1~24mm,中雨标准为24h降雨量6.1~12mm)。

降水空间分布特点为:大雨落区主要集中在温泉南部、北部山区及博州东部的精河县大部。暴雨落

区主要集中在温泉南部山区及精河西南部，降水量南多北少，沿山大平原小、迎风坡大背风坡小；从排名前3个区域站的小时降水量来看，最大小时降水量出现在温泉哈夏林场站，出现时间为5日17~18时，雨强为15 mm/h，其他2站也都有短时强降水(小时降水量 > 10 mm)，出现时间分别集中在6日03~04时。此次降水天气有过程累积雨量大、暴雨站数多，降雨强度大、持续时间长的特点。

3. 天气尺度影响系统及环流特征

此次降水过程是在500 hPa两槽一脊的环流形势下产生的，影响系统分别为200 hPa高空急流、500 hPa低槽、700 hPa低空切变、地面低压。

3.1. 高空影响系统及环流特征分析

100 hPa上南亚高压为双体型(图1(a))，这是有利于北疆大降水的行星尺度背景。高压中心分别在印度半岛和太平洋上，高压边加强边西移，在5日20时印度半岛高压中心由1664 hPa加强至1672 hPa并且南亚高压主体西移。

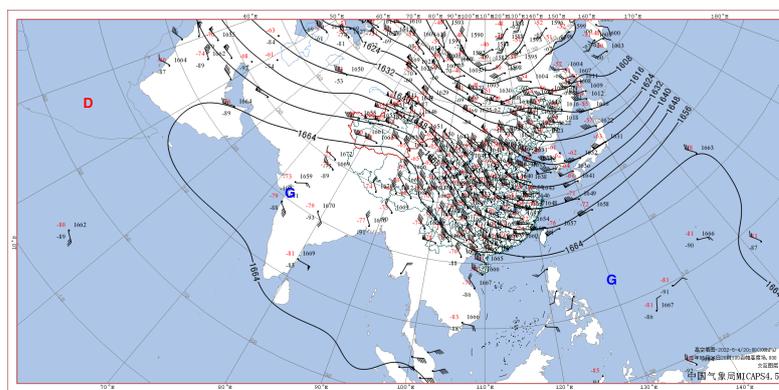
200 hPa上，伴随着西伯利亚-中亚环流经向发展，5日08时(图1(b))高空偏西急流位于新疆北部至蒙古国，急流核在蒙古国中部，核区风速45~50 m/s，北疆阿勒泰北部在高空偏西急流核入口区的右侧，风速35~40 m/s。同时，5日08时高空为正散度区，高空辐散，为强降水提供动力抽吸条件，为短时强降水提供了动力条件。

5月4日20时500 hPa上，中高纬度欧亚范围为两槽一脊的经向环流形势，乌拉尔山附近为深厚的低槽，低槽逆转在中亚-里咸海区域多波动影响，西西伯利亚地区高压脊脊顶北伸至北纬70°，西西伯利亚地区温度脊落后于高度脊，东亚地区受低涡影响。5日08时(图1(c))，随着东亚低涡逆转减弱成槽，西西伯利亚脊东移，里咸海区域波动与东移北上的中亚低槽南北结合影响北疆，导致北方中空冷空气逐渐入侵进入北疆西部，与低空西南暖气流交汇，使对流活动加强，出现短时强降水。

3.2. 海平面气压场和低层风场特征

此次强降水天气过程中，暖舌伸展的顶端、低层风场切变线等中尺度系统与暴雨落区有较好的对应关系。5日08时海平面气压场上(图1(d))南疆、东疆受997.5 hPa热低压控制，其东北部的蒙古国地区有中心强度1030 hPa冷高压，博州受偏东风影响位于低压顶部，是暖舌伸展的顶端附近，另一方面暖低压亦有利于气团的辐合上升。

700 hPa风场上，5日08时，博州西部偏北风与伊犁偏西风形成冷式切变，20时冷式切变加强并影响博州大部，强降水落区出现在冷式切变区内，降水伴随低层切变的加强而加强。



(a)

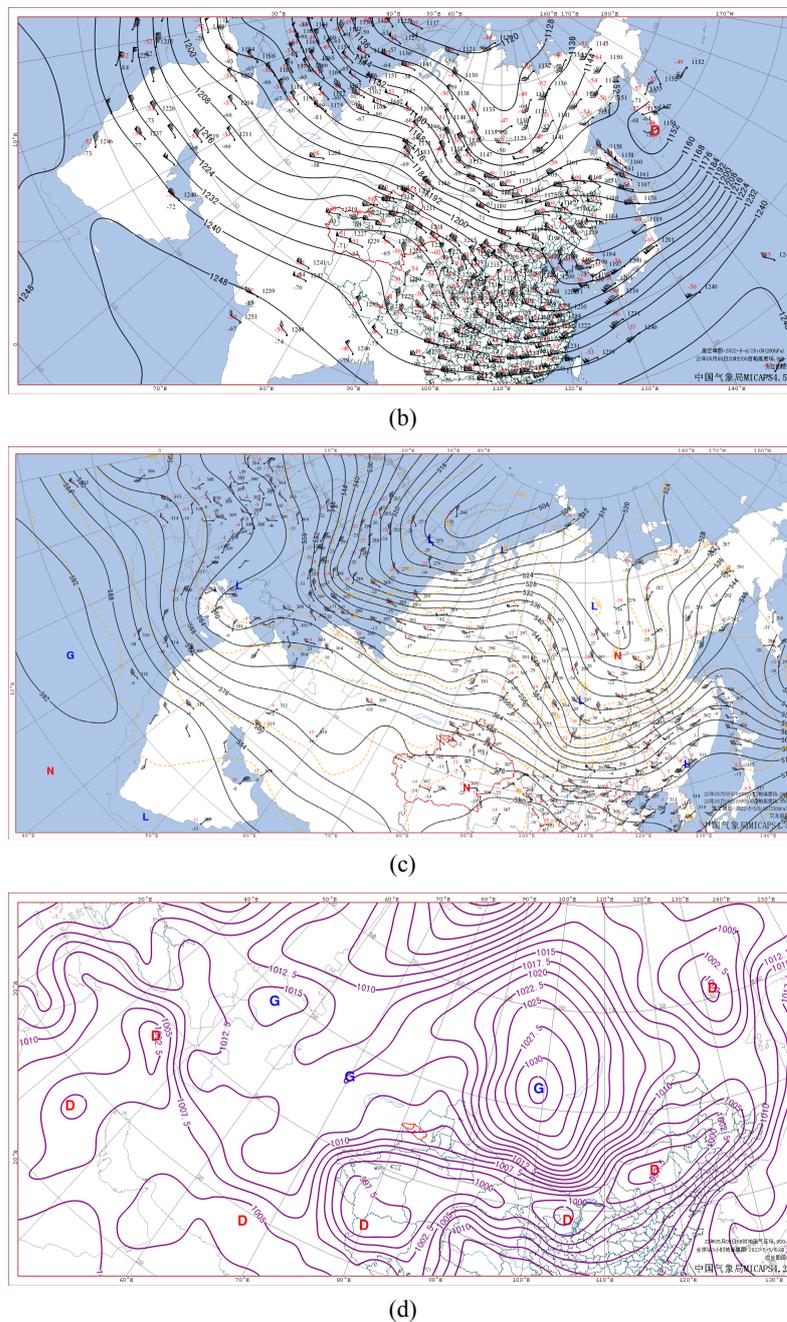


Figure 1. (a) 100 hPa height field and wind field; (b) 200 hPa height field and wind field; (c) Height field, wind field and temperature field at 500 hPa; (d) Sea level pressure

图 1. (a) 100 hPa 高度场与风场; (b) 200 hPa 高度场与风场; (c) 500 hPa 高度场、风场与温度场; (d) 海平面气压

4. 物理量分析

4.1. 气团路径及水汽通量发展

以精河(44.6°N, 82.89°E)为基点, 计算 2022 年 5 月 6 日 00 时(UTC)过去 72 h 后向轨迹, 气流轨迹资料来源于 NCEP (美国国家环境预报中心)的 GDAS (全球资料同化系统)气象数据, 高度选定为 500、1500 和 5000 m AGL (距地面高度), 来分析影响此次天气的气团传输路径(图 2)。

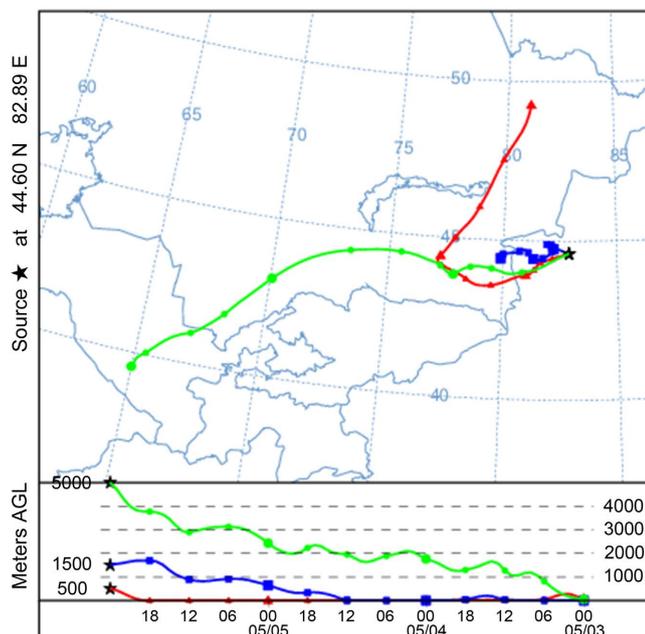


Figure 2. Backward trajectory of Jinghe (44.6°N, 82.89°E) over the past 72 hours at 00 UTC on May 6
图 2. 5 月 6 日 00 时(UTC)精河(44.6°N, 82.89°E)过去 72 h 后向轨迹

5000 m 气团 3 日 00 时(BTC 为 3 日 08 时)从伊朗中部至 4 日 00 时(BTC 为 4 日 08 时)到达哈萨克斯坦南部并且高度升至 2000 m, 气团不断升高在 5 日 08 时气团高度 2500 m 并进入伊犁最终到达精河。1500 m 气团 3 日 00 时(BTC 为 3 日 08 时)时从伊犁境外在 4 日 12 时(BTC 为 4 日 20 时)开始抬升经过伊犁到达精河最终抬升至 1500 m 高度。500 m 气团 3 日 00 时(BTC 为 3 日 08 时)从哈萨克斯坦东北部经过巴尔喀什湖至伊犁境外再经伊犁跨别珍套山与科古琴山地势较低的豁口进入精河。从距地面高度变化可以看出: 5 日 00 时(BTC 为 5 日 08 时)中层、低层气团均开始上升并聚集在伊犁境外至伊犁一线, 说明水汽在境外边辐合上升边东南移。

从 700 hPa 的水汽通量散度和流场分析: 5 日 08 时在伊犁境外、伊犁中部有水汽通量辐合区, 随着时间的推移至 5 日 20 时, 水汽强辐合区移至精河。这一路径与气团传播方向一致, 由以上可以得出此次天气的中层水汽来源于阿拉伯海, 水汽沿西南气流, 经中亚过伊犁进入博州。

所以西南风携带暖湿空气在中亚东南上, 水汽通量增大, 随后丰沛的水汽在高空抽吸作用和抬升共同作用下, 充足的水汽产生了强烈辐合, 使得过程中发生强降水, 从而达到暴雨。

4.2. 中低层干冷空气下沉抬升作用

高层干冷空气的侵入对强降水具有触发作用。此次暴雨过程中强降水的发生与干冷空气下沉有直接关系。

综合博州及周围站 08 时的温度平流、垂直运动和相对湿度, 发现中低层有干冷空气下沉活动, 造成暖湿气流抬升。随着暖湿气流的抬升, 冷暖交汇, 促使强降水的发生。

5. 中尺度特征

5.1. 地面风场气旋性旋转和地形抬升

5 日 10 时(图 3(a))地面风场在博州西部温泉县及博州中部(小营盘 - 贝乡)分别形成气旋性旋, 至 14 时(图 3(b))精河县大河沿子一带风由前期西北风转为西南风, 风场气旋性旋转影响范围加大至博州中西部从而

形成中尺度气旋，至 18 时中尺度气旋仍维持且风速加强。博州西部哈夏林场出现小时降水 15 mm 的短时强降水，正是由于中尺度气旋不断逆转风速加强引导水汽聚集形成强辐合区，加之哈夏林场地处迎风坡，地形条件对降水强度增益使得哈夏林场小时雨强。另一方面，中尺度气旋的存在也利于触发对流性天气。

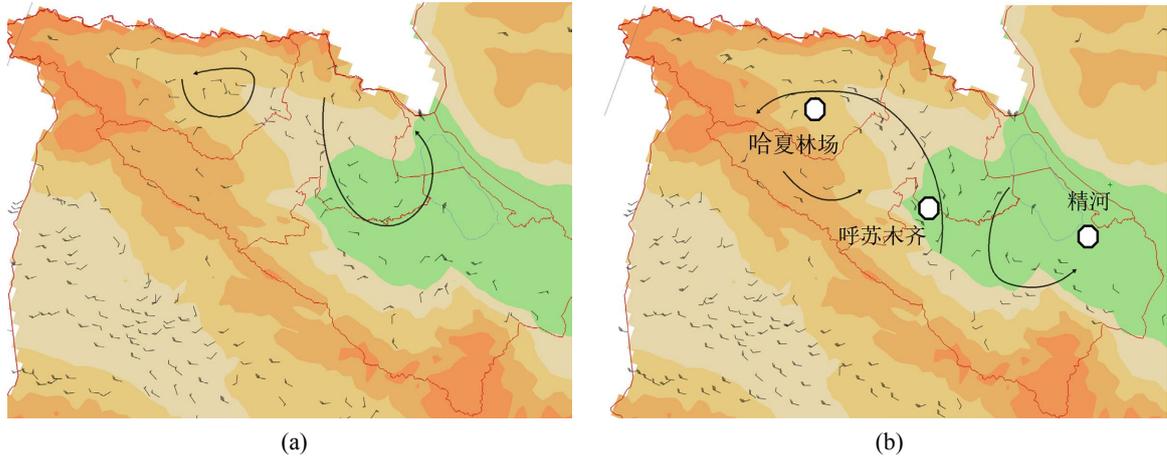


Figure 3. (a) Surface wind at 10:00 on 5 May; (b) Surface wind at 14:00 on May 5
图 3. (a) 5 月 5 日 10 时地面风; (b) 5 月 5 日 14 时地面风

前期水汽不断聚集在博州中西部，加大低层水汽含量，南部沿山西南风引导南部水汽不断进入，水汽聚集并下坡使得坡下的精河测站及呼苏木齐在 6 日 04 时分别出现 9.3 mm/h 和 14.2 mm/h 的强降水。

5.2. 模式预报 0 时刻探空资料分析

利用 ECMWF 模式 5 日 08 时预报场 0 时刻资料分析博乐(图 4(a))、精河(图 4(b))探空曲线可以发现：SHR3 为 8 m/s，SHR6 为 12.6 m/s，风切变强度属于中等偏弱，不太利于组织化强对流的发生发展，不利于冰雹、雷暴大风的发生。0℃层高度为 3700 m，-20℃层高度为 6980 m，k 指数为 32.3℃，cape 值为 10，物理参数弱，垂直温度直减率方面：T85 为 26.5℃，T75 为 15.7℃，700 hPa 及以上温度露点差 ≤ 4℃，中高层水汽条件较好，整体有利于降水。

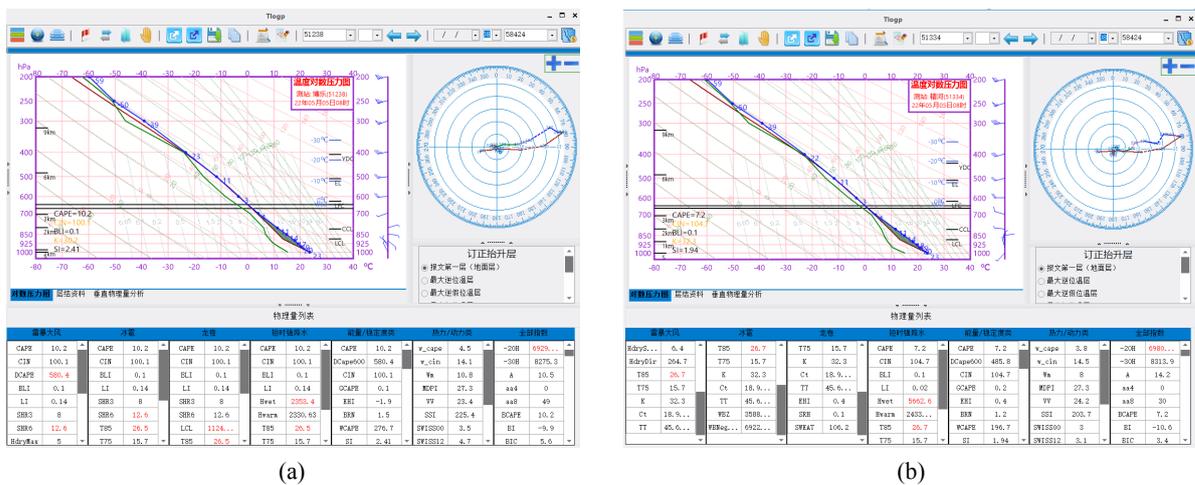


Figure 4. (a) The ECMWF model prediction data of initial filed at 08:00 in Bole sounding on May 5; (b) The ECMWF model prediction data of initial filed at 08:00 in Wenquan sounding on May 5
图 4. (a) ECMWF 模式 5 月 5 日 08 时预报场 0 时刻博乐探空; (b) ECMWF 模式 5 月 5 日 08 时预报场 0 时刻温泉探空

5.3. 高低空风场配置

自温泉县经过博乐至精河做剖面可以得到此次强降水高低空风场模型：中高层偏南风引导南部水汽，700~850 hPa 偏北风与中高层偏南风形成经向垂直环流，经向垂直正环流引导高空水汽下降且自北向南引导，使得此次降水大值区位于南部，南部暴雨区的生成又加强了垂直环流。近地面低空偏东风配合西高东低的地形，产生迎风坡效益有利于降水增加(图 5(a)、图 5(b))。

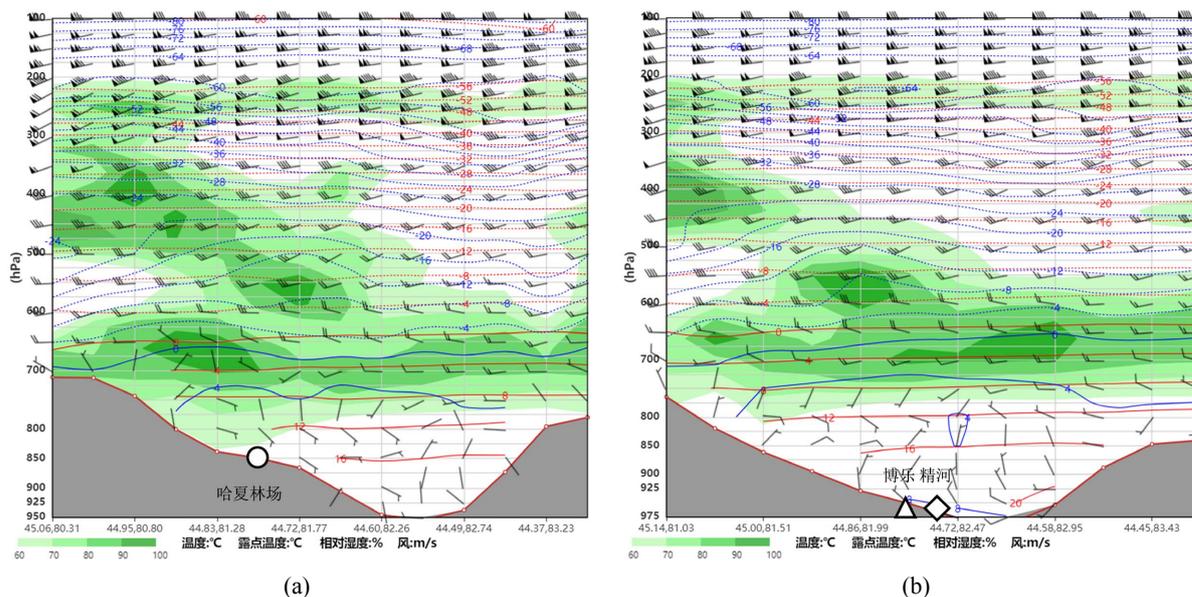


Figure 5. (a) The profile of the initial field predicted by CMA model along the latitude of Harxia forest farm at 08:00 on May 5; (b) The profile of the initial field predicted by CMA model along the latitude of Bole forest farm at 08:00 on May 5
图 5. (a) 5月5日08时CMA模式预报初始场沿哈夏林场所处纬度的剖面；(b) 5月5日08时CMA模式预报初始场沿博乐所在纬度的剖面

6. CMA 及 ECMWF 模式检验

针对5日降水检验CMA模式稳定性。CMA-GFS：5日08时起报量级随着时间推进增大，4日20时起报量级随着时间推进减小；降水落区逐渐偏西偏南。对比降水大值区08时预报落区好于20时起报产品，但是对比四个国家站降水预报4日20时预报的降水更接近实况。CMA-MESO：随着时间推进强降水落区与量级与实况越来越接近，但精河降水预报量级与实况差异变大。

针对5日降水检验ECMWF模式稳定性：随着时间临近，东南部区域降水预报大值区与实况基本一致，但局地暴雨没有显示，而对西部降水预报较小。ECMWF模式累计降水单站(博乐、温泉、精河、阿拉山口)分别是27 mm、16 mm、19 mm、10 mm与实况对比(8 mm、8 mm、22 mm、2 mm)，大部测站偏多2倍左右，精河预报与实况基本一致，从趋势可以看出此次降水预报大值区在博州中部，有一定的指导意义。

运用ECMWF模式做时间垂直剖面图，以水汽自低层延伸至高层来判断降水开始时间。经过检验：博乐在5日17时至6日09时出现降水，模式预报较实况出现降水时间偏晚；精河在5日22时至6日10时出现降水，模式预报与实况出现降水时间基本一致；温泉在5日18时至6日02时、08时出现降水，模式预报较实况出现降水时间偏早；阿拉山口在5日23时至6日06时、09时出现降水，模式预报与实况基本一致。

CMA-GFS模式预报组合反射率35 dBZ以上的区域及时刻均与实况基本对应，但对照雷达回波预报

强度偏强；CMA-GFS 预报产品 k 指数在 35 以上区域对博州对流的发生有指导意义。

7. 结论

1) 此次博州东部强降水是近 60 年汛期最早的一次，全球变暖背景下天气变化无常。100 hPa 上南亚高压双体型，200 hPa 高空急流辐散抽吸作用强，500 hPa 乌拉尔大槽不断分裂短波与南支低槽叠加影响北疆，700 hPa 偏北风与偏西风形成切变，地面暖低压影响，上层干冷下层暖湿，垂直运动使冷暖空气交绥，大尺度环境为降水提供有利的背景场。

2) 西南风携带暖湿空气自阿拉伯海至中亚东南上，水汽通量在伊犁州西部增大，在高空抽吸作用和抬升共同作用下，充足的水汽产生了强烈辐合，为暴雨提供源源不断的水汽来源。经向垂直正环流有利于降水较长时间持续。

3) 暖舌伸展的顶端、低层风场切变等中尺度系统与暴雨落区有较好的对应关系。地面风场气旋性旋转形成中尺度气旋，一方面辐合加强上升运动另一方面强化地面水汽聚集，迎风坡产生地形强迫抬升作用，均有利于触发对流。

4) 此次强降水是系统性降水与对流性降水叠加的产物。从探空图来看，风切变较弱，T85 为 26.5℃、T75 为 15.7℃即大气热力不稳定，中高层水汽充沛的条件下，易产生短时强降水。

5) CMA 模式对强降水落区预报好于定点预报，组合反射率及 k 指数对对流性降水预报有一定的指示意义；ECMWF 模式预报落区较好但单点预报量级偏大，模式时间垂直剖面能一定能力地反映降水时段。

参考文献

- [1] 辛渝, 崔彩霞, 张广兴, 等. 博州不同级别降水及极端降水事件的时空变化[J]. 中国沙漠, 2008, 28(2): 362-369.
- [2] 张新, 刘兴旺, 卢戈, 刘忠礼. 新疆博州地区降水量、降水日的时空变化[J]. 沙漠与绿洲气象, 2008, 2(3): 12-17.
- [3] 辛渝, 张广兴, 杨修群, 等. 新疆博州地区降水时空分布特征及典型旱涝年[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 656-662.
- [4] 陈贵川, 谌芸, 张勇, 陈鹏, 王欢, 黎中菊, 刘念, 翟丹华, 龙美希. “12.7.21”西南涡极端强降雨的成因分析[J]. 气象, 2013, 39(12): 1529-1541.
- [5] 杨璐, 费建芳, 黄小刚, 程小平, 阳向荣, 马占宏. 西北太平洋环境风垂直切变和热带气旋移动对涡旋内对流非对称分布影响的特征分析[J]. 气象学报, 2017, 75(6): 943-954.
- [6] 刘裕禄, 杜其成, 黄勇. 黄山地区短时强降雨的地形增幅机制[J]. 气象, 2017, 43(2): 181-188.
- [7] 赵玲. 松嫩平原西部局地暴雨天气成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(4): 47-53.
- [8] 杨霞, 张云惠, 张超, 于碧馨, 牟欢. 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.
- [9] 韩宁. 陕西南部一次区域性大暴雨过程成因分析[J]. 陕西气象, 2009(2): 22-26.
- [10] 张云惠, 陈春艳, 杨莲梅, 贾丽红, 杨霞. 南疆西部一次罕见暴雨过程的成因分析[J]. 高原气象, 2013, 32(1): 191-200.
- [11] 庞玥, 王欢, 夏繁, 罗娟. ECMWF 集合预报统计量产品在重庆降水预报中的检验与分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 1-7.
- [12] 陈小婷, 胡启元, 黄少妮. 陕西省 2014 年汛期 ECMWF 集合预报降水产品评估检验[J]. 山西气象, 2016(1): 7-12.
- [13] 武英娇, 杨浩, 钱仙桃, 曹晋娟, 李冰. ECMWF 集合预报在安徽大别山区降水预报中的检验[J]. 湖北气象, 2019, 38(1): 66-71.
- [14] 徐姝, 熊明明, 王颖, 王旭东. 改进的 ECMWF 集合预报融合产品在海河流域的检验与分析[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(4): 43-48.
- [15] 王红军, 白爱娟. 2008 年 6 月广东阳江特大暴雨过程触发机制分析[J]. 广东气象, 2009, 31(4): 16-19.