

化隆地区短时强降水特征及概念模型

王探文¹, 何卓玛², 索琳², 李明¹, 张颖², 盛兆海¹

¹化隆县气象局, 青海 海东

²海东市气象局, 青海 海东

收稿日期: 2024年4月4日; 录用日期: 2024年5月3日; 发布日期: 2024年5月10日

摘要

基于化隆地区国家气象观测站以及区域气象观测站2018~2023年逐小时降水数据, 高低空观测数据以及FY-4A红外卫星云图等, 运用天气学分析方法、数理常规统计方法、“配料法”中尺度分析技术, 对化隆地区短时强降水时空分布特征及概念模型进行研究。结果表明: 1) 化隆地区短时强降水呈逐年增长趋势; 8月为短时强降水高发期且易出现极端值; 短时强降水与地形关系密切, 主要出现在中西部地区。2) 高空冷平流强迫类具有明显的水汽特征, 湿层较其余两类天气型更深厚。3) 8月更容易出现高空冷平流强迫类和低层暖平流强迫类的短时强降水, 斜压锋生类主要出现在9月。4) 细长型的CAPE配合中等偏强的垂直风切变, 造成的短时强降水局地性更强, 然而CAPE数值的大小与小时降水量无关。

关键词

短时强降水, 时空分布特征, 概念模型

Characteristics and Conceptual Model of Short-Time Heavy Precipitation in Hualong Area

Tanwen Wang¹, Zhuoma He², Lin Suo², Ming Li¹, Ying Zhang², Zhaohai Sheng¹

¹Hualong Meteorological Bureau, Haidong Qinghai

²Haidong Meteorological Bureau, Haidong Qinghai

Received: Apr. 4th, 2024; accepted: May 3rd, 2024; published: May 10th, 2024

Abstract

Based on the hourly precipitation data, high and low altitude observation data and FY-4A infrared

文章引用: 王探文, 何卓玛, 索琳, 李明, 张颖, 盛兆海. 化隆地区短时强降水特征及概念模型[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(3): 464-472. DOI: 10.12677/ccr.2024.133049

satellite cloud image of the national meteorological observation station and regional meteorological observation station in Hualong area from 2018 to 2023, the temporal and spatial distribution characteristics and conceptual model of short-time heavy precipitation in Hualong area were studied by using the weather analysis method, the mathematical conventional statistical method and the mesoscale analysis technology of the “batching method”. The results show that: 1) The short-time heavy precipitation in Hualong area showed an increasing trend year by year. August is the period of high occurrence of short-time heavy precipitation and is prone to extreme values. Short-time heavy precipitation is closely related to topography and mainly occurs in the central and western regions. 2) The upper cold advection forcing weather has obvious water vapor characteristics, and the wet layer is deeper than that of the other two. 3) Short-time heavy precipitation with upper cold advection forcing and low-level warm advection forcing is more likely to occur in August, and baroclinic frontophytes mainly occur in September. 4) The short-time heavy precipitation caused by the slender CAPE combined with moderately strong vertical wind shear is stronger, but the CAPE value is independent of the hourly rainfall intensity.

Keywords

Short-Time Heavy Precipitation, Spatiotemporal Distribution Characteristics, Conceptual Model

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

短时强降水(降水量 ≥ 20 mm/h)作为强对流天气之一,具有移动迅速、强度大而集中等特点,通常会造成城市内涝、山体滑坡、泥石流等气象衍生灾害[1]。

很多学者从不同角度对短时强降水进行大量研究,分析其发生发展规律,建立短时强降水概念模型[2]-[7],提取相关物理量指标等。研究表明短时强降水的分布及强度由切变线的断裂、高低空急流、副热带高压位置等综合配置来决定[7] [8]。许东蓓等[4]基于强对流产生的动力学原理,依据主要影响因素的差异,将西北地区强对流分为高空冷平流强迫类、低层暖平流强迫类和斜压锋生类。何钰等[5]基于“配料法”建立云南短时强降水预报概念模型,研究结果表明高空冷平流类关注点为高空强烈干冷平流和大风;低层暖平流类需关注季风槽和孟加拉湾低压;斜压类重要特征则为地面锋面。张武龙等[9]研究发现,平衡高度是区分短时强降水极端与否的关键。朱平等[10]研究发现河谷地形对对流移动和传播路径有重要作用。

化隆地区位于青海省东部,地形破碎复杂,境内生态环境脆弱,气象灾害种类多,发生频率高,强度大,极具偶然性和突发性。本文以县域为研究范围,从分区域、分时段、分强度方面入手,针对 2018~2023 年化隆地区短时强降水天气过程,总结其发生发展规律,使气象服务针对性更强,精准性更高,为政府部门决策依据提供有力支撑。

2. 资料与方法

利用 2018~2023 年化隆地区国家站以及区域自动气象观测站小时降水实况数据以及高低空常规观测资料进行研究。运用数理常规统计方法进行短时强降水次数统计:同一测站当天出现多次短时强降水时,次数进行累加;同一乡镇相邻多个测站同时出现短时强降水时,按一次进行统计。采用天气

学分析方法,应用“配料法”中尺度分析技术[11],基于西北地区三种强对流天气形势配置建立相应概念模型。

对流云的强度按照 Clark 分级方法[12],按云顶 TBB (辐射亮温)值分为 4 个等级:一般性对流云, TBB 强度为 $-54^{\circ}\text{C}\sim-32^{\circ}\text{C}$;伴有雷暴的较强对流云, TBB 强度为 $-64^{\circ}\text{C}\sim-54^{\circ}\text{C}$;穿越对流层顶的强对流, TBB 强度为 $-80^{\circ}\text{C}\sim-64^{\circ}\text{C}$;极强对流, TBB 强度 $\leq -80^{\circ}\text{C}$ 。

3. 特征分析

3.1. 时间特征分析

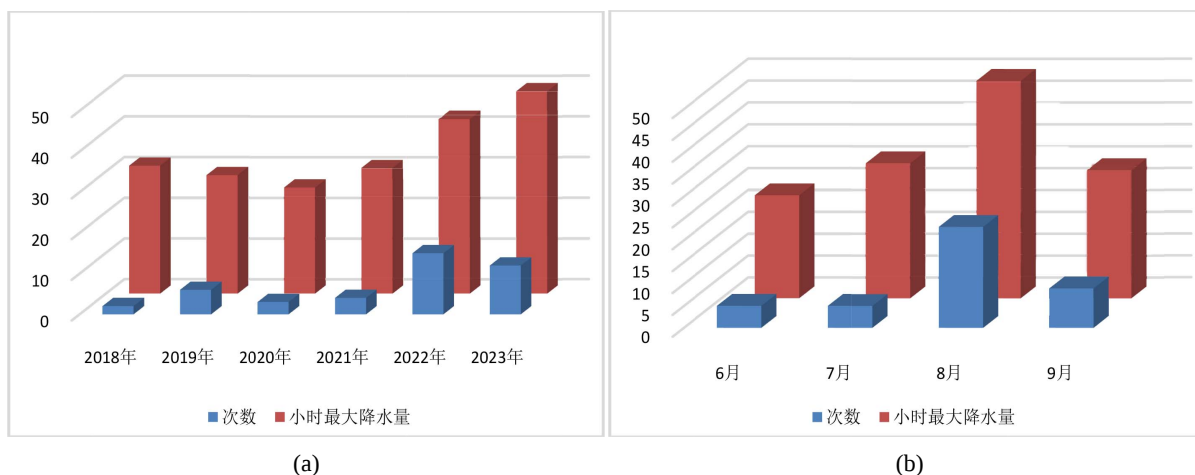
短时强降水平均每年出现 7 次, 2018~2022 年化隆地区短时强降水呈增长趋势(图 1(a)), 2023 年相比于 2022 年略有下降。年变化呈双峰型, 第一峰值出现在 2019 年(6 次), 第二峰值出现在 2022 年(15 次), 第二峰值出现突增现象。

经统计, 1 小时降水量在 20~30 mm 之间占比 76%, 30~40 mm 之间占比 14%, 40 mm 及以上占比 10%, 其中大于 30 mm 的短时强降水主要分布在化隆地区中部。小时降水量极大值呈双峰型, 第一峰值出现在 2018 年(31.4 mm), 第二峰值出现在 2023 年(49.7 mm), 强度从 2020 年开始呈增长趋势, 2022 年小时降水量突破 40 mm, 近两年极端值出现的概率增大。

短时强降水的次数以及强度的增大除受到全球气候变暖的大背景影响之外, 还有可能受到城市化进程的影响。城市化不断加快的进程使得下垫面物理属性发生变化, 人口、车辆密集度增加, 人为热源为短时强降水的发生发展提供了一定的能量, 排放的污染颗粒也为短时强降水提供凝结核[3] [13]。结合化隆地区人口密集区的分布及短时强降水逐年的分布(图略), 2022~2023 年短时强降水中心出现南移现象, 与城市发展和人口密集区有较好的对应关系。

6~9 月短时强降水发生的次数以及降水量均呈单峰型, 峰值出现在 8 月, 出现这一现象的原因与副热带高压和伊朗高压等系统的活动相关, 7 月中旬前后副热带高压第二次北跳完成, 脊线位于 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$, 受副热带高压影响, 青海东部一般出现暴雨天气[14] [15]。伊朗高压引导西风带低槽或冷空气东移南下时, 造成青海东部强对流天气[15]。

化隆地区短时强降水具有明显的日变化特征, 午后至夜间为高发期且更容易出现小时降水量极端值, 05 时、18~19 时、22 时均为短时强降水高发时段, 其中 05 时和 18 时出现降水极端值的频次高于其他时段。午后以及夜间出现短时强降水的占比分别为 38% 和 60%, 具有明显“巴山夜雨”降水特点。



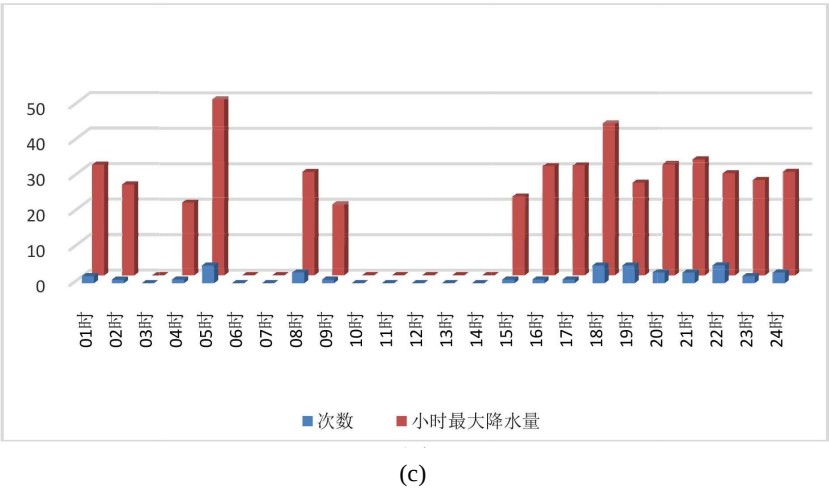
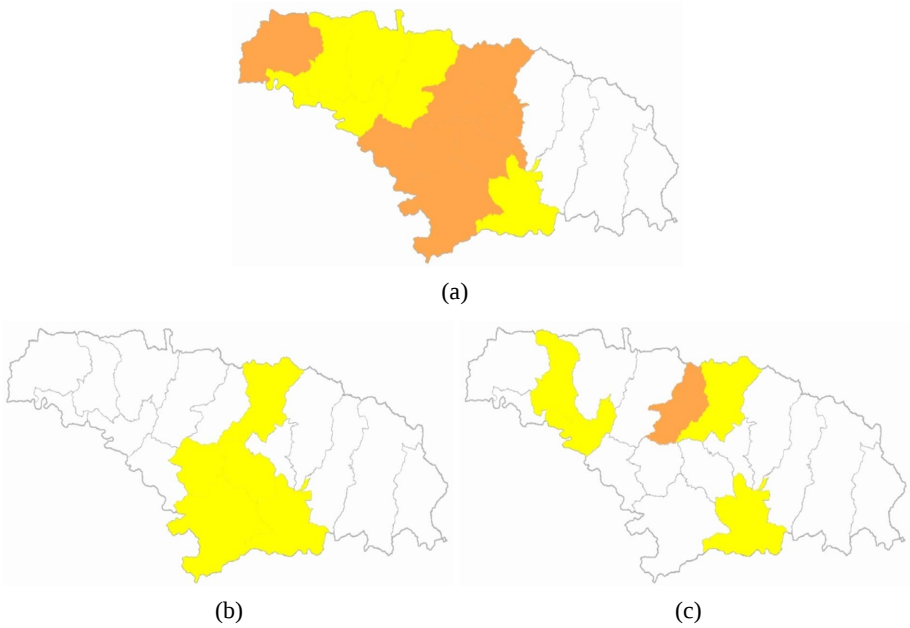


Figure 1. Characteristics of annual (a), monthly (b), and daily (c) variation of the short-time heavy precipitation from 2018 to 2023
图 1. 2018~2023 年短时强降水年(a)、月(b)、日(c)变化特征

3.2. 空间特征分析

化隆地区短时强降水主要发生在中西部(图 2(a)), 空间分布与地形关系密切。化隆地区为东开口喇叭口地形, 县域内多南北向分布的山脉, 以中部地区最多, 南部为黄河河谷, 地形落差大, 地势复杂。降水前, 河谷地带风向转变, 低层通常为东风或东南风, 受南北向山脉地形阻挡作用, 气流被迫爬坡, 强迫抬升作用明显; 夜间河谷降温慢, 山风与东部倒灌的冷空气形成辐合, 触发不稳定能量释放, 形成强对流天气, 由此可见, 山风与夜雨的形成关系密切。结合时空分布特征和特殊地形, 午后化隆地区短时强降水多发生于山脉迎风坡一侧, 夜间多发生于河谷一带。

6~8 月短时强降水范围呈逐月增加趋势(图 2(b)~(d)), 8 月短时强降水的范围以及强度均达到最大。相比于 6 月, 9 月短时强降水的分布有西移现象(图 2(e))。



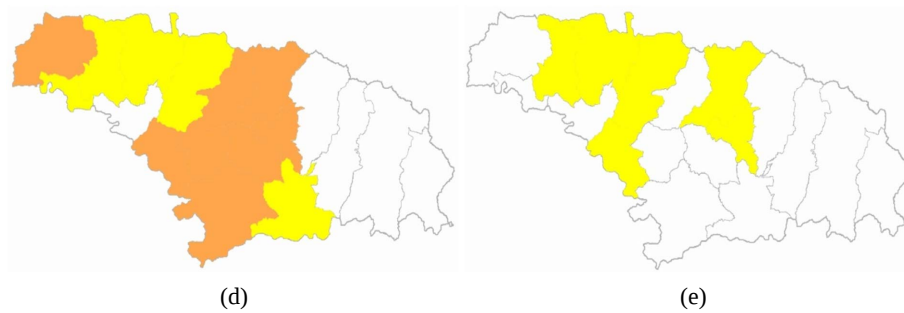


Figure 2. Comprehensive spatial distribution of the short-time heavy precipitation annual (a) and monthly spatial distribution from 2018 to 2023 (b)~(e) corresponds to June-September); The yellow and orange highlights are the areas where short-time heavy precipitation occurs, where yellow indicates the one-hour precipitation ≥ 20 mm, and orange indicates the one-hour precipitation ≥ 30 mm

图 2. 2018~2023 年短时强降水年空间分布综合图(a)、月空间分布图(b)~(e)对应 6~9 月；黄色以及橙色突出显示部分为短时强降水发生区域，其中黄色表示一小时降水量 ≥ 20 mm，橙色表示一小时降水量 ≥ 30 mm

4. 概念模型

4.1. 高空冷平流强迫类

4.1.1. 概念模型

高空冷平流强迫类是西北地区三类强对流天气型较常出现的一种，6~8 月均可出现，主要集中在 8 月。此类天气型 500 hPa 中纬地区表现为短波槽携带干冷空气东移南下，青海东部地区位于副热带高压外围西南气流中，地面为西北风与偏东风的辐合(图 3)。此类天气形势高低层水汽充沛，湿层深厚，一般从低层可延伸至 400 hPa 以上，地面露点温度可达 16°C 以上且持续时间较长。

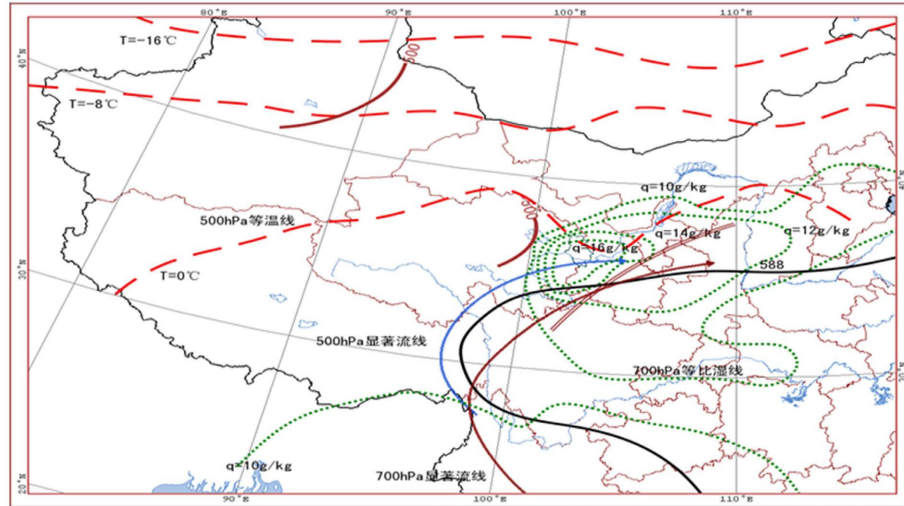


Figure 3. Conceptual model of upper cold advection forcing weather

图 3. 高空冷平流强迫类天气概念模型

4.1.2. 典型个例

2022 年 8 月 21 日夜間，化隆地区出现强降水天气，单站出现大暴雨(73.7 mm)，一小时非整点降水量 55.5 mm，具有明显的极端性和局地性特征。

分析高低层水汽条件, 21 日 08 时, 500 hPa 南疆为干区, 下游青海省东部为湿区, 700 hPa 青海东北部 - 甘肃南部 - 内蒙古中部为大范围饱和区; 化隆地区地面露点温度为 14℃。20 时, 500 hPa 干区东移南压至河西走廊西部, 范围扩大, 700 hPa 湿区范围扩至河西走廊中部, 西宁地区持续处于饱和状态, 化隆地区地面露点温度增大至 16℃。20 时西宁探空图湿层从低层延伸至 400 hPa 以上, 低层风向转变为一致的偏东风, 风速增大至 8~12 m/s, 水汽输送明显。

21 日 08 时, 西宁地区 CAPE 为 $\geq 645.4 \text{ J/kg}$, 早晨具备一定不稳定能量, 利用 14 时西宁地区温度对 08 时探空图进行订正, CAPE 值增大至 2736 J/kg, 形态为细长型, 中低层温差(ΔT_{75})为 11.2℃, 至 20 时增加 3.5℃。08 时高低空青海东北部地区温度场分布一致, 均由暖脊控制, 20 时转为冷槽控制。降水发生前 0~6 km 垂直风切变增大(22.0 m/s), 属于强深层垂直风切变, 有利于对流较长时间维持发展。

21 日 20 时红外云图显示青海东北部在副热带高压外围短波槽前区域形成结构紧密的带状云系。21~23 时, 带状对流云系在旋转东移南压过程中逐渐形成 MCC (中尺度对流复合体), 化隆地区位于 TBB 低值中心, 持续两个时次出现短时强降水, 其中 21 时短时强降水发生在 TBB 梯度大值区, 而 22 时短时强降水发生在 $TBB \leq -85^\circ\text{C}$ 覆盖区域。根据 Clark 对流云强度分级, 此次为极强对流。

4.2. 低层暖平流强迫类

4.2.1. 概念模型

低层暖平流强迫类主要集中在 8 月。此类天气型 500 hPa 中纬地区西风气流多波动, 青海整体受副热带高压控制, 高温高湿特征明显; 700 hPa 内蒙古中部沿河西走廊有暖式切变线生成, 化隆地区位于暖式切变线以南的东风气流中; 地面为低压控制(图 4)。

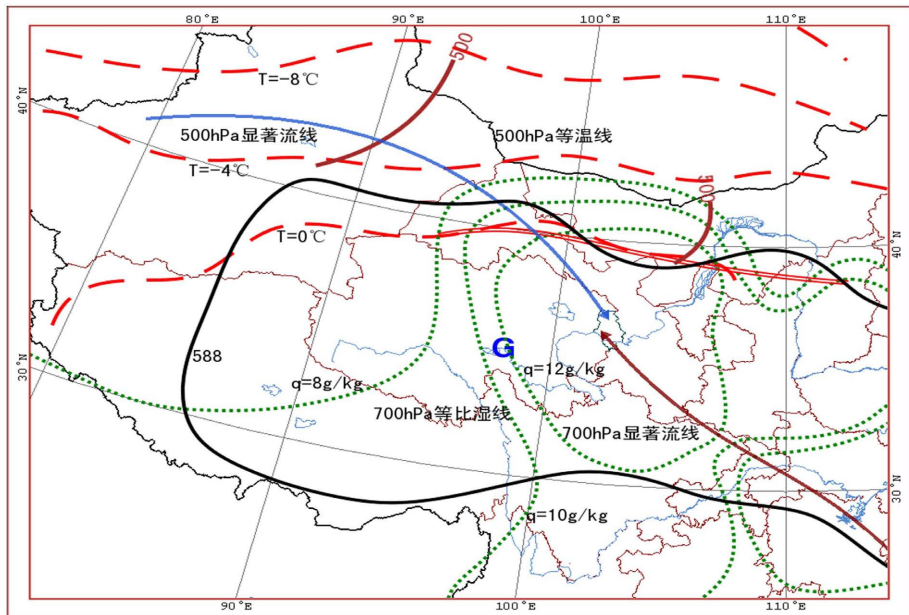


Figure 4. Conceptual model of low-level warm advection forcing weather
图 4. 低层暖平流强迫类天气概念模型

4.2.2. 典型个例

2022 年 8 月 9 日夜間, 化隆地区出现强降水天气, 单站出现暴雨(60.0 mm), 一小时非整点降水量 49.6 mm, 局地性和极端性突出。

9日08时,500 hPa 新疆东部-内蒙古中部温度露点差在 19°C 以上,青海东北部为湿区,700 hPa 河西走廊中部青海东北部处于饱和区;地面化隆地区露点温度为 12°C 。20时,500 hPa 干区范围东移,西宁地区依旧处于饱和状态,700 hPa 河西走廊中部-西宁地区为湿区,地面化隆地区露点温度增加至 14°C 。20时西宁探空图湿层从中层延伸至400 hPa,低层湿层浅薄,风向由西风转变为一致偏东风,风速为 $4\sim 6\text{ m/s}$,利于水汽输送。9日08时,西宁探空图CAPE值为 517.4 J/kg ,经订正后CAPE值增大至 2098.2 J/kg ,呈细长型,中低层温差为 13°C ,20时温差增加至 16.6°C 。08~20时,高低层青海东北部地区温度场分布一致,均为暖区控制。0~6 km 垂直风切变属于中等强度,有利于对流风暴的高度组织化。

9日14时,地面强烈升温,除柴达木盆地外,青海地区对流云系多点散发,并沿副热带高压外围气流顺时针旋转,移动过程中,强度不断增强,结构趋于紧密,逐渐由带状转为片状和团状云。20时,青海湖西北部形成MCC,沿副热带高压北侧西北气流东移南压。10日01时,MCC位于湟源、湟中、贵德三县交界处,TBB中心强度 -81°C ,化隆地区处于TBB梯度大值区,西部地区连续两个时次出现短时强降水。根据Clark对流云强度分级,这是一次极强对流。

4.3. 斜压锋生类

4.3.1. 概念模型

斜压锋生类主要发生在9月,500 hPa 低涡位于乌拉尔山,底部分裂短波槽不断东移南下影响青海东部地区,化隆地区位于副热带高压北侧短波槽前;700 hPa 河西走廊及青海北部处于强锋区,青海东部位于两高之间的切变,西北气流与西南气流在青海省东部形成辐合,地面配合有冷锋以及辐合线(图5)。

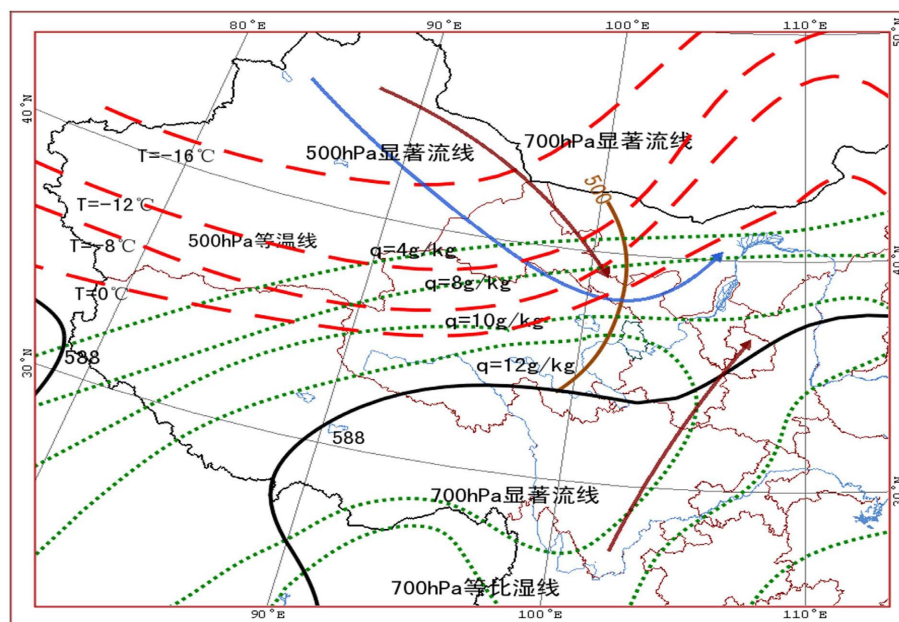


Figure 5. Conceptual model of baroclinic frontophytic weather

图5. 斜压锋生类天气概念模型

4.3.2. 典型个例

2019年9月12日凌晨,化隆地区出现强降水,最大降水量为 49.9 mm ,短时强降水强度 29.1 mm 。

11日20时,500 hPa 青海省东北部温度露点差为 21°C ,700 hPa 北疆地区-河西走廊西部为饱和区,地面化隆地区露点温度为 9°C 。12日08时,高低层青海东北部均处于饱和湿区;地面露点温度增大至

12℃。西宁探空图湿层从低层延伸至 500 hPa 附近, 低层为东南风, 风速较小, 为 2 m/s。12 日 08 时, CAPE 值为 65 J/kg, 中低层温差为 12.9℃。500 hPa、700 hPa 温度场分布一致, 上游河西走廊西部为深厚冷温槽, 河西走廊中东部为明显温度脊。0~6 km 垂直风切变偏弱(7.2 m/s)。

11 日 20 时新疆北部至贝加尔湖为高空槽前大尺度带状云系, 青海南部、海西东部以及青海湖附近有中尺度团状对流云系。12 日 03 时, 果洛地区对流云团随副热带高压西侧偏南引导气流北上至青海湖东南部。06 时, 形成孤立圆形对流云团, 位于海东中南部。08 时, 对流云团继续北上, TBB 中心强度为 -50℃, 强度较前一时次减弱, 结构趋于松散呈片状, 化隆地区位于对流云系南部边缘, 短时强降水开始。根据 Clark 对流云强度分级, 这是一般性对流云。

5. 结论与讨论

针对 2018~2023 年化隆地区短时强降水, 进行时空分布特征分析, 同时依据西北地区强对流天气形势, 选取 2022 年 8 月 21 日、2022 年 8 月 10 日、2019 年 9 月 12 日三次典型短时强降水天气过程, 从水汽、各类参数、云图特征等方面分类研究, 建立化隆地区短时强降水天气概念模型。通过研究, 得出以下结论:

1) 2018~2023 年化隆地区短时强降水及极端值呈增长趋势; 8 月份为短时强降水的高发期; 短时强降水更容易出现在午后至夜间; 05 时、18~19 时、22 时为短时强降水高发时段, 其中 05 时、18 时易出现降水极端值。

2) 短时强降水主要分布在化隆地区的中西部, 其中中部地区短时强降水的强度和发生频次大于西部地区, 空间分布与地形关系密切, 喇叭口效应、迎风坡效应显著。

3) 通过水汽特征可以初步将高空冷平流强迫类与其余两类天气型做出区分。8 月更容易出现高空冷平流强迫类和低层暖平流强迫类强降水, 对流云强度通常为极强对流云; 斜压锋生类主要出现在 9 月。

4) 细长型 CAPE 为典型降水特征, 配合中等偏强垂直风切变, 造成的短时强降水局地性更强, 然而 CAPE 数值大小与小时降水量无明显指示意义。

参考文献

- [1] 孙继松, 戴建华, 何立富, 等. 强对流天气预报的基本原理与技术方法: 中国强对流天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2021: 1-2, 32-33.
- [2] 白晓平, 王式功, 赵璐, 等. 西北地区东部短时强降水概念模型[J]. 高原气象, 2016, 35(5): 1248-1256.
- [3] 周盈颖, 陈元珺, 伍祥清, 等. 重庆东北部短时强降水时空分布及概念模型[J]. 贵州气象, 2015, 39(2): 12-22.
- [4] 许东蓓, 许爱华, 肖玮, 等. 中国西北四省区强对流天气形势配置及特殊性综合分析[J]. 高原气象, 2015, 34(4): 973-981. <https://doi.org/10.7522/j.issn.1000-0534.2014.00102>
- [5] 何钰, 陈小华, 杨素雨, 等. 基于“配料法”的云南短时强降水预报概念模型建立[J]. 气象, 2018, 44(12): 1542-1554.
- [6] 孔祥伟, 杨建才, 李红, 等. 甘肃河东地区不同环流形势下短时强降水的雷达回波特征分析[J]. 高原气象, 2021, 40(5): 1057-1070.
- [7] 花家嘉, 张婉莹, 陈桂万, 等. 河北唐山地区盛汛期短时强降水概念模型及物理量特征分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(2): 463-472.
- [8] 张俊兰, 李伟, 郑育琳. 昆仑山北坡短时强降水天气分型及雷达回波特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2022, 16(1): 1-9.
- [9] 张武龙, 康岚, 杨康权, 等. 四川盆地不同强度短时强降水物理量特征对比分析[J]. 气象, 2021, 47(4): 439-449.
- [10] 朱平, 俞小鼎. 青藏高原东北部一次罕见强对流天气的中小尺度系统特征分析[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 1-13.
- [11] Doswell III, C.A., Brooks, H.E. and Maddox, R.A. (1996) Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology. *Weather and Forecasting*, 11, 560-581. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2)

- [12] Clark, D.J. (1983) The GOES Users Guide. NESDIS/NOAA, 7-9.
- [13] Zhou, L.M., Dickinson, R.E., Tian, Y.H., *et al.* (2004) Evidence for a Significant Urbanization Effect on Climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**, 9540-9544.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0400357101>
- [14] 张玲, 智协飞. 南亚高压和西太副高位置与中国盛夏降水异常[J]. 气象科学, 2010, 30(4): 438-444.
- [15] 李生辰, 张青梅, 等. 青海省天气预报手册[M]. 北京: 气象出版社, 2022: 27-28.