

成都双流机场暴雨天气分型及特征分析

林 莉, 傅文伶, 刘小渝, 俞 涵, 曾钰婷, 段飞帆

西南空管局气象中心, 四川 成都

收稿日期: 2024年10月15日; 录用日期: 2024年11月13日; 发布日期: 2024年11月21日

摘 要

利用2011~2020年常规气象观测资料、双流机场地面观测资料、NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 逐6小时再分析资料等, 根据四川省的暴雨预报经验与方法, 对成都双流机场18次暴雨过程进行天气学分型, 分析物理量场等特征。结果表明: 1) 双流机场暴雨天气主要可分为5类: 切变低涡型、冷锋切变型、西部阻塞型、两高切变型和南风型暴雨。低涡切变型暴雨出现次数最多, 南风型出现最少。2) 切变低涡型和冷锋切变型暴雨, 整层配置和各个物理量指标配合较好; 西部阻塞型暴雨, 前期我国东南沿海均有台风活动, 台风阻挡作用及副高西侧水汽输送对四川盆地位势不稳定有增强作用, 地面辐合线和低层风速辐合为暴雨提供触发机制。两高切变型暴雨较其它四类暴雨, 水汽条件和热力条件相对较差, 但整层的动力抬升条件较好。南风型暴雨的影响系统不明显, 但湿层深厚, 饱和湿层的厚度可达500 hPa, 地面辐合线是触发南风型暴雨不稳定能量释放的重要条件之一。

关键词

暴雨, 天气形势, 主观分型, 特征分析

Classification and Characteristics of Rainstorm Weather in Chengdu Shuangliu Airport

Li Lin, Wenling Fu, Xiaoyu Liu, Han Yu, Yuting Zeng, Feifan Duan

Mereorological Center of Southwest Regional Air Traffic Management Bureau, CAAC, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 15th, 2024; accepted: Nov. 13th, 2024; published: Nov. 21st, 2024

Abstract

Based on the routine meteorological observation data from 2011 to 2020, The ground observation data of Shuangliu Airport, and the NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 6-hour reanalysis data, according to the methods of

文章引用: 林莉, 傅文伶, 刘小渝, 俞涵, 曾钰婷, 段飞帆. 成都双流机场暴雨天气分型及特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2024, 13(6): 1647-1655. DOI: 10.12677/ccrl.2024.136176

rainstorm forecasting in Sichuan Province, the weather classification of 18 rainstorms in Chengdu Shuangliu Airport was carried out, and the characteristics of physical were analyzed. The results show that: 1) The rainstorm weather at Shuangliu Airport can be divided into five categories: shear low vortex type, cold front shear type, western blocking type, two high shear type and southerly wind type rainstorm. The occurrence of low-vortex shear rainstorms was the highest, and the occurrence of southerly winds was the least. 2) Shear low vortex and cold front shear rainstorms, the whole layer configuration and various physical quantity indexes are well coordinated. The typhoon blocking effect and water vapor transport on the west side of the subtropical high have enhanced the geopotential instability of the Sichuan Basin, and the surface convergence line and low-level wind speed convergence provide a trigger mechanism for the heavy rainfall. Compared with other types of rainstorms, the water vapor and thermal conditions of the two high-shear rainstorms are relatively poor, but the dynamic uplift conditions of the whole layer are better. The influence system of southerly rainstorm is not obvious, but the wet layer is deep, and the thickness of the saturated wet layer can reach 500 hPa, and the surface convergence line is one of the important conditions for triggering the unstable energy release of southerly rainstorm.

Keywords

Heavy Rain, Weather Situation, Subjective Classification, Characteristic Analysis

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

西南地区以山地为主,地形地势复杂,且暴雨频发。每年都会出现因暴雨天气引发的洪涝灾害,对工农业、交通运输等国民经济造成很大的损失。四川省暴雨洪灾具有出现频率高、范围广、强度大、重复性多、年际变化大等特点。区域分布以东部多、西部少,上游山洪多、中下游洪灾面积大,其重灾区主要分布在盆地区西部,其次在盆地区东北部。西南涡是我国最强的暴雨系统之一,它所造成的暴雨的强度、频数和范围仅次于台风及其残余低压,可造成我国西南乃至东部广大地区灾害性天气[1]-[3]。周春华等[4]分析了诱发四川盆地极端暴雨的西南涡环流背景和结构特征,将环流背景通过动态合成进行分类。肖递祥等[5]分析了四川盆地极端暴雨过程基本特征分析。王佳津等[6]分析了四川区域暴雨过程中短时强降水时的空间分布特征。肖红茹等[7]给出四川盆地暖区暴雨的定义,并根据天气形势和影响系统将暖区暴雨进行分类。张武龙等[8]分析了四川盆地不同强度短时强降水物理量特征的区别和联系。王钦等[9]对四川盆地两类区域持续性暴雨的环流物理量场特征及成因进行了分析,对比分析了近55年四川盆地西部型和东部型区域持续性暴雨事件中尺度环流背景场,水汽来源和输送以及物理量场的差异。

关于西南地区暴雨[10]及四川盆地暴雨[11]-[16]的环流背景和形成机理已做了大量研究,取得了不少成果,而对成都双流机场暴雨,过去的研究针对性不强。因此本文拟对2011~2020年双流机场暴雨过程进行特征分析,以期揭示双流机场暴雨的特征与形成机理提供参考。

2. 资料和方法

本文采用中国气象局暴雨的定义:1 d(或24 h)降雨量50~100 mm。选取2011~2020年成都双流机场观测记录中24小时过程降水量达暴雨的个例进行诊断分析,利用常规气象观测资料、NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 资料,

分析对应的天气环流形势及物理量特征，对比暴雨过程的异同点，以期为成都双流机场暴雨研究和预报提供支持。

3. 暴雨过程的分类

本文分型主要是基于 500 hPa 的大尺度环流场特征，兼顾中低层流场特征，普查双流机场 2011 至 2020 年共 10 年的暴雨天气个例(见表 1)，将暴雨划分为三大类和两小类共计五种主要的类型，三大类为切变低涡型暴雨、切变冷锋型暴雨、西部阻塞型暴雨，两小类为两高切变型和南风型暴雨。

主要类型切变低涡型暴雨、切变冷锋型暴雨、西部阻塞型暴雨三类是影响双流机场暴雨最基本的形势，两高切变型暴雨和南风型暴雨或多或少具有上述三类的某些特征，单独列出是因为这两类暴雨本身在某些方面具有特殊性，且在实际中出现的次数偏少，在业务预报中难度较大，容易造成漏报等，所以在分型上需要重点加以强调。

Table 1. Time and precipitation amount of the rainstorm at Chengdu Shuangliu Airport
表 1. 成都双流机场暴雨出现时间和降水量

分型	暴雨出现时间	过程降水量(单位: mm)
切变低涡型	2011 年 7 月 3 日	71.2
	2011 年 9 月 17 日	51.2
	2013 年 6 月 19 日	54.5
	2013 年 7 月 9 日	53
	2015 年 8 月 17 日	88.6
	2016 年 7 月 3 日	67.6
	2019 年 7 月 11 日	71.6
冷锋切变型	2013 年 6 月 20 日	73.2
	2013 年 7 月 10 日	97.4
	2016 年 7 月 22 日	53.3
	2019 年 9 月 13 日	66.6
西部阻塞型	2015 年 6 月 23 日	52.8
	2017 年 7 月 23 日	57.3
	2019 年 7 月 22 日	55.6
	2020 年 8 月 11 日	58.2
两高切变型	2016 年 7 月 31 日	68.2
	2018 年 7 月 27 日	62.8
南风型	2017 年 7 月 21 日	92.8

根据环流背景可分为以下五类：切变低涡型、冷锋切变型、西部阻塞型、两高切变型、南风型。下面分析各类暴雨天气分型的天气形势及概念模型图。各种标识说明见表 2。

Table 2. Identification description in the conceptual model diagram
表 2. 概念模型图中的标识说明

图标	说明	图标	说明	图标	说明
	200 hPa 急流		槽线		地面辐合线
	500 hPa 急流		500 hPa 显著气流		500 hPa 切变线
	700 hPa 急流		700 hPa 显著气流		700 hPa 切变线
	850 hPa 急流		850 hPa 显著气流		850 hPa 切变线
	显著湿区		等高线		地面冷锋

3.1. 切变低涡型

切变低涡型暴雨(如图 1 所示)在成都双流机场暴雨天气类型中出现频率最高,一般对流层高层,南亚高压呈带状控制青藏高原及我国中部地区,200 hPa 急流轴位于 35°N 附近,四川盆地位于高空急流出口区右侧,强烈的高空辐散有利于对流层中低层辐合发展。副高维持在东部沿海一带,中高纬为两槽一脊型,高原低值系统东移,我国西北到西南地区形成阶梯槽,与西南地区东部低层西南急流或显著气流配合,产生气旋性涡度和正涡度平流,辐合上升运动得以维持和加强而诱生西南低涡。该暴雨类型的动力条件:高层低槽发展东移,中低层切变低涡发展,动力抬升作用强。水汽条件:一般湿层可达 600 hPa,西南低空急流或显著气流向低涡东部输送暖湿空气,利于水气的持续补充。热力条件:低层暖脊伸展,地面热低压控制,利于不稳定层结的加强。0℃层高度高:利于暖云高效率降水产生。垂直风切变中等:对流单体发展适中,利于降水产生。

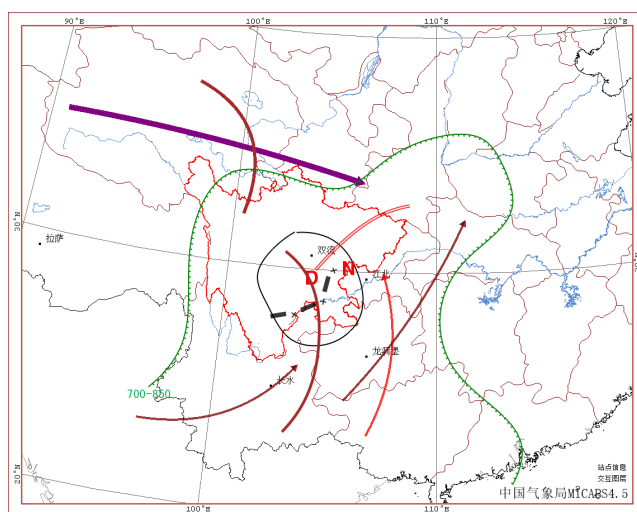


Figure 1. Weather situation configuration of shear low vortex type rainstorm
图 1. 切变低涡型暴雨天气形势配置

3.2. 冷锋切变型

冷锋切变线型暴雨(如图 2 所示)。高空 200 hPa 为南亚高压控制,高空辐散抽吸作用有利于中低层辐合的发展。500 hPa 欧亚中高纬地区为两槽一脊的大尺度环流背景下,在乌拉尔山东南侧至我国西北地区形成宽广的阶梯槽,这种乌拉尔山高脊前部的低槽具有疏散结构,利于把高纬的冷空气向南输送;副高控制我国中东部一带,500 hPa 为典型的“东高西低”环流形势。此时需要关注副高外围偏南气流的加大,将向四川盆地暴雨区提供了足够的水汽和能量。700 hPa、850 hPa 偏南急流或显著气流,与偏北气流在四川盆地东部至华东一带交汇,形成东北-西南向切变。地面为热低压,陕西至秦岭一带有明显的气压梯度,有地面冷锋。该类暴雨动力条件:高空辐散抽吸作用利于上升运动加强和维持,中低层切变及地面冷锋配合,有强盛的动力抬升条件,水汽条件:副高外围偏南气流为暴雨提供充足的水汽和不稳定能量,使前期环境高温高湿,湿层深厚,0℃层高度高:利于暖云高效率降水产生。热力条件:中高层有冷平流,低层暖脊伸展,地面热低压控制,利于不稳定层结的加强。地面冷空气冲击暖湿空气为暴雨提供触发机制。此类暴雨常出现前倾结构,切变线上有利的垂直上升运动与不稳定的下垫面相结合,在地面辐合线附近触发对流性降水,上空干冷空气入侵增强了大气层结的对流不稳定性,随着地面冷气团南下,暖湿气团沿冷锋爬升,常造成持续性降水。

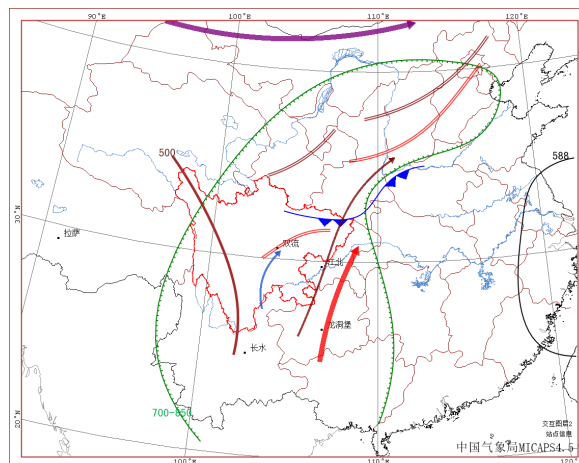


Figure 2. Weather situation configuration of cold front shear rainstorm
图 2. 冷锋切变型暴雨天气形势配置

3.3. 西部阻塞型

西部阻塞型暴雨(如图 3 所示), 过程期间 500 hPa 为典型的“东高西低”环流形势, 我国长江中下游地区受带状副热带高压控制, 副高 588 线西脊点可伸至 110°E 以西, 副高脊线稳定在 30°N 附近, 其位置较常年异常偏西, 脊线异常偏北, 需要关注 24 小时台风警戒线至东南沿海一带, 有台风或热带低压及其残余势力, 沿西北路径向我国东南沿海移动, 在副高底部偏东气流引导下西进, 而台风的西进又反作用于副高, 使副高更加稳定。副高的稳定和台风的西进又阻挡了西风带系统的东移, 500 hPa 青藏高原东部至四川盆地一直维持偏南气流, 有时并无高原低值系统活动(这也是连续性暴雨预报的难点之一), 副高西北侧往往具备正涡度辐合, 水汽充沛, 高能不稳定等利于暴雨产生的条件, 稳定的副高对暴雨具有阻塞作用, 使暴雨持续。动力条件: 地面辐合线和低层风速辐合为暴雨提供触发机制, 中低层弱风场及垂直风切变, 使对流发展强度以中等为主, 引导气流弱, 东部副高稳定强盛, 对流降水系统移动较慢, 容易造成暴雨。水汽条件: 湿层较厚, 副高边缘偏东南气流, 湿舌伸展, 为暴雨提供水汽来源。热力条件: 不稳定能量较强, 上干下湿对流不稳定层结, 利用对流产生。0°C 层高度高, 利用暖云高效降水。

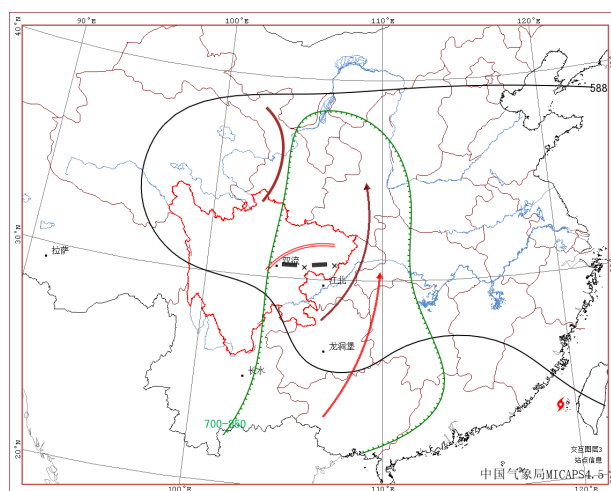


Figure 3. Weather situation configuration of west obstructive rainstorm
图 3. 西部阻塞型暴雨天气形势配置

3.4. 两高切变型

与四川盆地很多暴雨过程的西低东高形势所不同的是,两高切变型暴雨(如图4所示),前期500 hPa均为588位势什米的高压环流控制,其后高度场才有所下降,后期出现高压的断裂,过程的主要触发系统是500 hPa 青藏高压和副高之间的风场切变、中低层辐合流场以及弱冷空气,且降雨前后,盆地南风气流偏弱,均无低空急流建立。

动力条件:高空200 hPa具有辐散式分流区,在南亚高压或大陆高压脊线附近,高空辐散抽吸作用有利于低层辐合发展。500 hPa受两高切变影响,副热带高压与大陆高压之间的切变稳定维持,有利于暴雨产生所需的系统性上升运动。700 hPa处于切变东侧,850 hPa受切变影响,对流发生前地面有辐合线生成,这种高层辐散,低层辐合的配置形势为暴雨发生提供了强盛的动力条件。低空显著气流为中纬度地区暴雨提供水汽和能量输送,四川盆地的区域性暴雨过程在700 hPa和850 hPa,也大多有一支云贵高原至四川盆地的西南低空急流或者广西经贵州至四川盆地东部的偏南低空急流形成,将孟加拉湾和南海的水汽向四川盆地输送,有时暴雨过程在降雨前后均无低空急流建立,因此此类暴雨预报较难。需要分析暴雨过程期间中低层的风场演变,虽然没有急流形成,但暴雨过程临近和发生时存在明显的风向转变。水汽条件:中低层水汽饱和,湿舌自云南南部向北延伸至河套东部一线,偏南气流将水汽沿副高外围源源不断输送至西南地区。热力条件:500 hPa切变有一定的前倾,上层切变后部冷平流与下层切变前暖平流的重叠,造成了上冷下暖的不稳定大气层结,不稳定能量强,中低层暖脊影响,地面前期双流机场位于鞍型场中,有较高的能量累积,有利于对流产生。

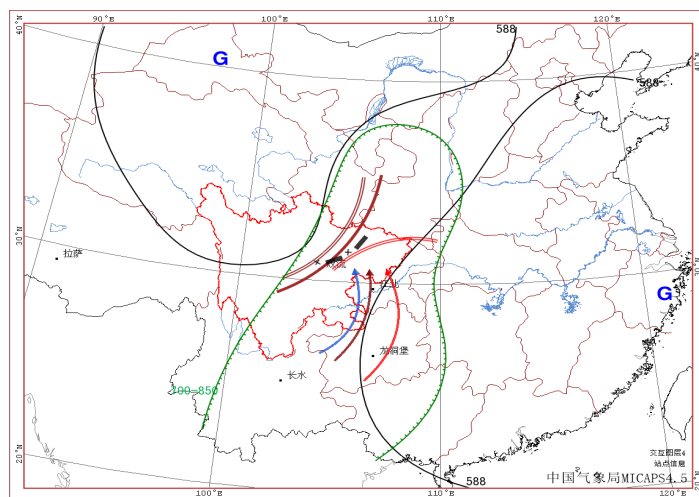


Figure 4. Weather situation configuration of two high-shear rainstorms

图4. 两高切变型暴雨天气形势配置

3.5. 南风型

南风型暴雨(如图5所示)多发生在副高控制区内,此时青藏高原东部到四川盆地为大范围的偏南气流,高原中东部无明显的低值系统。西太平洋副高较强,副高脊线西伸至盆地西部,有时甚至西伸至川西高原-青藏高原东部一线。盆地大部受副高控制,天气晴朗。

此类暴雨发生时,热力不稳定条件:过程前副高控制下的四川盆地剧烈增温,高温高湿,大气层结具有强大的位势不稳定,地面前期双流机场位于均压场中,有较高的能量累积,有利于对流产生。动力条件:高空200 hPa具有辐散式分流区,位于南亚高压或大陆高压脊线附近,高空辐散抽吸作用有利于强

对流发生，中高层偏南气流风速辐合明显，850 hPa 在川东 - 重庆一线有辐合切变生成。暴雨发生前，地面大多有辐合线，辐合线触发不稳定大气的能量释放，是重要的触发条件之一。水汽条件：湿层深厚，在副高边缘的低层偏南气流的水汽输送形成湿舌，湿舌有时能到达 500 hPa，存在强水汽辐合带，中低层南风流场辐合，使得对流层中低层形成较强的水汽通量辐合区。

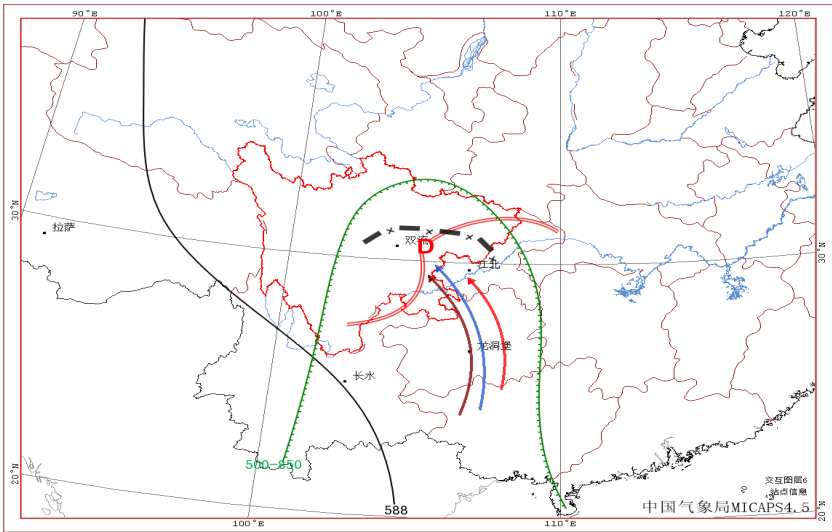


Figure 5. Weather situation configuration of southerly wind type rainstorm
图 5. 南风型暴雨天气形势配置

4. 天气系统配置及物理量特征分析

4.1. 热力条件

主要选取了 CAPE、 $\theta_{se}(850 \text{ hPa})$ 、 $\theta_{se}(850\sim500 \text{ hPa})$ 、 $T(850\sim500 \text{ hPa})$ 表征热力条件的对流参数，CAPE 是强对流天气分析预报中最常用的一个环境参数，在发生深厚湿对流的环境里，与环境联系最密切的热力学变量，可反映大气的能量条件，数值越大，大气越不稳定，越容易发生对流天气[1]。通过分析成都双流机场对流参数(表 3)发现，暴雨前 CAPE 达较高值， $\theta_{se}(850 \text{ hPa})$ 均大于 78°C ，且南风型 $\theta_{se}(850 \text{ hPa})$ 最高，可达 91°C ，说明暴雨开始前低层均为高温高湿状态。K 指数均大于 38°C ，南风型可达 43°C ；沙氏指数 SI 均为负值，说明不稳定层结较强。850 hPa 与 500 hPa 温度差达 $23\sim25^\circ\text{C}$ ，850 hPa 与 500 hPa 的假相当位温差均大于 8°C ，高低层温差条件不太大(强雷暴温差达 -27°C 以上)，说明发生暴雨的大气层结垂直温度梯度往往不大，但位势不稳定层结均较强。LI 表示中低层大气层结不稳定，LI 指数越小则越不稳定，LI 指数负值越大，发生极端强降水的可能性就越大。

Table 3. Physical quantity conditions of typical rainstorm in Chengdu Shuangliu Airport
表 3. 双流机场各类型暴雨天气物理量条件

暴雨类型	CAPE (J/Kg)	K ($^\circ\text{C}$)	SI	$\theta_{se}(850\sim500 \text{ hPa})$ ($^\circ\text{C}$)	$T(850\sim500 \text{ hPa})$ ($^\circ\text{C}$)	$\theta_{se}(850 \text{ hPa})$ ($^\circ\text{C}$)	LI
切变低涡型	924	38	-0.7	9	23	79	-3.5
冷锋切变型	1450	41	-0.6	13	23	85	-2.9
西部阻塞型	1105	41	-1.5	16	23	87	-2.7
两高切变型	1602	38	-1.7	14	25	83	-3.9
南风型	947	43	-2.8	11	23	91	-2.8

4.2. 水汽条件

水汽是暴雨发生的基本条件之一,本文主要分析以下 4 种表征水汽条件的对流参数 $q_{(850\text{ hPa})}\text{ g/kg}$, $q_{(700\text{ hPa})}\text{ g/kg}$, $T-T_{d(700\text{ hPa})}$, $T-T_{d(500\text{ hPa})}$ 。温度露点差表征的是空气中水汽的饱和程度,即干湿程度。对于对流性降水而言,需要的是下层较湿(中上层较干的水汽垂直分布,即上干下湿的不稳定层结特征[1])。从表 4 可以看到,暴雨发生前的中低层比湿均较高,只有两高切变型,中层比湿相对较低。温度露点差来看,两高切变型暴雨 700 hPa 及以上温度露点差均较大,其余类型暴雨中低层温度露点差均小于 3℃。从水汽条件综合来看,饱和湿层的厚度至少要达到 600 hPa,为出现暴雨的必要条件,而南风型暴雨,中层和低层比湿和温度露点差均接近饱和,说明南风型暴雨饱和湿层的厚度可达到 500 hPa。

Table 4. Water vapor conditions in Chengdu Shuangliu Airport
表 4. 双流机场各类典型暴雨水汽条件

类型	$q_{(850\text{ hPa})}\text{ g/kg}$	$q_{(700\text{ hPa})}\text{ g/kg}$	$T-T_{d(700\text{ hPa})}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$	$T-T_{d(500\text{ hPa})}\text{ (}^{\circ}\text{C)}$
切变低涡型	15	11	2	5
冷锋切变型	16	13	1	8
西部阻塞型	17	12	2	6
两高切变型	14	10.7	5.5	6
南风型	18.4	11	1	1

4.3. 动力条件

通过分析总结典型暴雨天气系统配置以及物理量条件(见表 5),从而对双流机场各类暴雨天气的发生发展机制有更深入的理解,以期对成都双流机场暴雨天气预报有一定的参考作用。其中, q_{div} 为水汽通量散度(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), ω 为垂直速度(单位: pa/s), vor 为涡度(单位: s^{-1})。从动力条件来看,大气中低层有一定的垂直上升速度是产生暴雨天气的必要条件,在平时预报中常使用 700 hPa 垂直速度表征中低层垂直上升运动的强弱,负值越大,垂直上升运动越强。涡度场的配合对降水的持续时间有指示作用,在强降水开始前,500 hPa 均为正涡度区;水汽辐合对暴雨的产生以及落区也有一定指示意义。从各类暴雨的物理量条件综合来看,低涡切变型、冷锋切变型暴雨天气系统配置较好,动力、水汽条件好,再配合一定的热力条件,导致降水效率较高;西部阻塞型暴雨,水汽、动力条件配合较好;两高切变型暴雨的水汽条件较差,热力、动力条件较好;南风型暴雨水汽、热力条件最好,但动力条件上,垂直速度配合较差。

Table 5. Typical rainstorm weather system configuration and physical quantity conditions in Chengdu Shuangliu Airport
表 5. 成都双流机场各类典型暴雨天气系统配置及物理量条件

类型	切变低涡型	冷锋切变型	西部阻塞型	两高切变型	南风型
200 hPa	辐散	辐散	辐散	切变	辐散
500 hPa	高空槽	波动/高空槽	东南沿海台风	切变	副高
700 hPa	(低涡前)西南急流	(切变前)西南气/急流	(切变前)西南气/急流	切变前西南气流	偏南气流
850 hPa	低涡	切变顶部	辐合	辐合	辐合
地面	辐合线/热低压	冷锋前、热低压	辐合线	辐合线	辐合线
动力条件	$vor_{(500\text{ hPa})} > 0$ $\omega_{(700\text{ hPa})} < 0$	$vor_{(500\text{ hPa})} > 0$ $\omega_{(700\text{ hPa})} < 0$	$vor_{(500\text{ hPa})} > 0$ $\omega_{(700\text{ hPa})} < 0$	$vor_{(500\text{ hPa})} > 0$ $\omega_{(700\text{ hPa})} < 0$	$vor_{(500\text{ hPa})} > 0$
水汽条件	$q_{div} < 0$	$q_{div} < 0$	$q_{div} < 0$	$q_{div} < 0$	$q_{div} < 0$

5. 结论

本文分析了成都双流机场 2011~2020 年 18 次暴雨过程, 分为切变低涡型、冷锋切变型、西部阻塞型、两高切变型和南风型。通过对比暴雨环流形势和物理量特征发现:

暴雨开始前, 200 hPa 受南亚高压控制, 有明显的高层辐散形势和抽吸作用, 利于中低层对流系统的发生发展。暴雨开始前, 均有较高的对流有效位能, 大气垂直温度梯度不大, 但位势不稳定层结均较强。

切变低涡型和冷锋切变型暴雨, 大气整层配置较好, 各个物理量指标也配合较好; 前期中低层为西南气流/急流, 暖湿平流输送为大气显著增湿, 中低层位势不稳定层结的增强, 为暴雨的发生提供了必要条件, 中低层均有切变或西南涡维持, 中低层辐合和高层辐散为暴雨的发生提供动力条件, 切变低涡型暴雨触发机制为地面辐合线。冷锋切变型暴雨, 地面冷锋与中层暖湿气流的上下配置, 冷空气将暖湿空气抬升而形成暴雨天气。此类暴雨常出现前倾结构, 锋前暖区常出现对流性降水, 随着冷锋南下, 形成持续性降水天气。

西部阻塞型暴雨, 前期我国东南沿海均有台风或残余环流的活动, 台风阻挡作用及副高西侧水汽输送对四川盆地的位势不稳定有增强作用, 低层风速辐合和地面辐合线为暴雨提供触发机制。两高切变型暴雨较其它几类暴雨, 水汽条件相对较差, 但整层的动力抬升条件较好。南风型暴雨的影响系统不明显, 在副高控制下, 湿层深厚, 饱和湿层的厚度可达 500 hPa。在预报中需要关注南风脉动, 地面辐合线也是不稳定能量释放的重要触发条件之一。

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, 2014.
- [2] 李跃清, 徐祥德. 西南涡研究和观测试验回顾及进展[J]. 气象科技进展, 2016, 6(3): 134-140.
- [3] 刘冲, 赵平. 1979-2016 年四川盆地低涡的气候特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2020, 16(2): 203-214.
- [4] 周春花, 肖递祥, 郁淑华. 诱发四川盆地极端暴雨的西南涡环流背景和结构特征[J]. 气象, 2022, 48(12): 1577-1589.
- [5] 肖递祥, 杨康权, 俞小鼎, 等. 四川盆地极端暴雨过程基本特征分析[J]. 气象, 2017, 43(10): 1165-1175.
- [6] 王佳津, 肖递祥, 王春学. 四川盆地极端暴雨水汽输送特征分析[J]. 自然资源学报, 2017, 32(10): 1768-1783.
- [7] 肖红茹, 王佳津, 肖递祥, 等. 四川盆地暖区暴雨特征分析[J]. 气象, 2021, 47(3): 303-316.
- [8] 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.
- [9] 王钦, 曾波. 四川盆地两类区域持续性暴雨的环流物理量场特征及成因分析[J]. 高原气象, 2022, 41(5): 1175-1189.
- [10] 马志敏, 杨素雨, 王治国, 等. 云南局地暴雨分型研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2020, 42(1): 108-118.
- [11] 王成鑫, 高守亭, 梁莉, 等. 动力因子对地形影响下的四川暴雨落区的诊断分析[J]. 大气科学, 2013, 37(5): 1099-1110.
- [12] 邱静雅, 李国平, 郝丽萍, 等. 高原涡与西南涡相互作用引发四川暴雨的位涡诊断[J]. 高原气象, 2015, 34(6): 1556-1565.
- [13] 赖子洋, 周玉淑, 葛旭阳, 等. 四川盆地一次暴雨过程中的穿透性对流形成机理分析[J]. 大气科学, 2024, 48(2): 755-772.
- [14] 付智龙, 李国平, 姜凤友. 四川盆地西部一次暖区山地暴雨事件的动力过程分析与局地环流数值模拟[J]. 大气科学, 2022, 46(6): 1366-1380.
- [15] 宋雯雯, 李国平, 叶瑶. 基于多源资料的四川盆地西部一次持续性极端暴雨过程分析[J]. 暴雨灾害, 2024, 43(1): 13-22.
- [16] 王茂书, 黄飞, 竹利, 等. 川东北极端强降水预报方法对比研究[J]. 中低纬山地气象, 2024, 48(2): 17-23.