

2018年云南盛夏强降水天气过程个例分析

赵梓成¹, 师丽娜²

¹云南省气象服务中心, 云南 昆明

²云南省通海县气象局, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年4月25日; 录用日期: 2026年6月19日; 发布日期: 2026年6月30日

摘要

利用MICAPS常规资料和区域自动站、FY-2G等非常规观测资料,应用诊断分析方法,分析了2018年8月3~4日云南强降水过程的天气成因。结果表明:(1) 500 hPa两高辐合、700 hPa低涡切变、地面辐合线是主要的影响天气系统;(2) 物理量场上,低层水汽充沛,具有大气对流不稳定层结、有利的垂直风切变、高层辐散、低层辐合、上升运动发展、低层水汽辐合加强,导致强降水天气发生发展;(3) 4家数值预报模式对云南强降水过程均有一定的预报能力,具有业务参考价值。

关键词

强降水, 诊断分析, 天气成因, 辐合区, 数值模式

A Case Analysis of Heavy Summer Precipitation Weather Process in Yunnan Province in 2018

Zicheng Zhao¹, Lina Shi²

¹Yunnan Meteorological Service Center, Kunming Yunnan

²Tonghai Meteorological Bureau, Yuxi Yunnan

Received: April 25, 2026; accepted: June 19, 2026; published: June 30, 2026

Abstract

By using the conventional data of MICAPS and unconventional observation data such as regional automatic weather stations and FY-2G meteorological satellite cloud images, and applying diagnostic analysis methods, the weather causes of the heavy precipitation process in Yunnan from August 3rd to 4th, 2018 were analyzed. The results show that: (1) The 500 hPa two-high convergence, the

700 hPa low eddy shear, and the ground convergence line are the main weather influencing systems; (2) On the physical quantity field, the lower layer is rich in water vapor, featuring unstable atmospheric convective stratification, favorable vertical wind shear, upper-level divergence, lower-level convergence, the development of ascending motion, and the strengthening of lower-level water vapor convergence, which leads to the occurrence and development of heavy precipitation weather. (3) All four numerical prediction models have certain forecasting capabilities for heavy precipitation processes and have business reference value in Yunnan meteorological service.

Keywords

Heavy Precipitation, Diagnostic Analysis, Weather Causes, Convergence Field, Numerical Prediction Model

Copyright © 2026 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

云南地处低纬高原, 受大陆性气团和热带海洋气团的共同影响, 形成了丰富的气候类型, 同时天气表现出多样化与复杂化特征[1][2]。云南属典型的季风气候区, 干湿季分明, 雨季集中在 5~10 月, 常年雨季于 5 月中下旬先后开始[3], 强降水天气主要出现在雨季, 主汛期 6~8 月最为集中, 大雨、暴雨往往引发洪涝、滑坡、泥石流灾害, 强降水预报服务是云南气象部门的汛期工作重点。强降水天气是云南主要的灾害性天气之一, 特别是进入盛夏 8 月后, 强降雨的发生叠加上前期的累积降水量, 往往会造成云南区域性或局地性的山洪、滑坡、泥石流灾害, 给人民生命财产安全带来极大威胁[4]。就影响天气系统而言, 8 月是青藏高压(滇缅高压)与西太平洋副热带高压(西太副高)活动最频繁的季节, 云南常处于青藏高压东侧与西太副高西侧之间, 这在环流形势上常称为两高辐合区[5]。由于青藏高压东侧偏北气流引导北方冷空气南下, 结合地形因素, 冷空气常从四川盆地进入云南[6]。西太副高外围偏南气流将南海暖湿气流经中南半岛输送至云南, 暖湿空气与南下冷空气在云南交汇, 致使云南境内发生强降水天气过程[7]-[9]。

西太副高和青藏高压之间的两高辐合区, 是云南夏季主要的强降水系统之一。研究表明[10], 虽然两高辐合区是造成云南盛夏暴雨的重要天气环流形势, 但也并不是有两高辐合区, 就能造成云南暴雨天气, 其与辐合区位置及周边天气系统均有关系。统计发现[11], 西太副高与青藏高压之间的两高辐合造成的强降水, 占云南强降水天气的 30%, 500 hPa 青藏高压活动与云南暴雨具有密切联系[12]。当青藏高压主体在高原上时, 其与西太副高之间形成一狭长的辐合区, 青藏高压东侧的偏北风引导冷空气南下, 与副高西侧的偏南暖湿气流在辐合区内交汇, 常造成我国中西部地区的暴雨天气过程。但在实际预报业务中的大气环流形势要复杂得多[13], 青藏高压受地形因素影响, 断裂后常在滇缅之间形成小高压, 称之为滇缅高压, 而西太副高主体常偏北, 致使南海附近存在一个弱高压环流。如果没有明显北方冷空气南下, 云南常处于滇缅高压和西太副高的两高辐合区的控制之下。有时若两高压势力较强时, 在辐合区内还会有低涡形成。在这样的环流形势背景下, 云南不仅多全省性强降水天气, 还易产生区域性暴雨天气, 甚至局地大暴雨天气。两高辐合系统背景下的强降水, 多为对流性质的降雨, 主观上很难判断辐合区的强弱[14]。

目前数值预报模式, 甚至区域数值模式, 对云南此类强降水过程的预报可靠性和稳定性仍较弱。为此, 本文基于云南区域自动站观测资料、高低空观测资料及数值模式预报产品, 运用诊断方法, 对 2018

年 8 月 3~4 日两高辐合背景下一次云南盛夏强降水天气过程的主要特点、影响系统、物理量场等进行分析, 对数值模式降水预报偏差进行了检验, 以期提高对此类强降水天气过程的认识。

2. 强降水过程及灾情概况

2.1. 降水实况

2018 年 8 月 2 日 20 时至 4 日 20 时, 云南自东向西出现强降水天气过程(图 1)。2 日 20 时至 4 日 20 时, 累积雨量超过 250 mm 的有 3 站, 其中最大值为绿春县半坡, 达 377.7 mm; 100~250 mm 的有 337 站(占总站数 10%); 50~100 mm 有 1238 站(占总站数 35%); 25~50 mm 有 1048 站(占总站数 30%)。2 日 20 时~3 日 20 时累积雨量 100~200 mm 有 6 站, 主要分布在滇中南部及滇南地区, 其中最大雨量达 165.4 mm(昭通市盐津县中和站), 50~100 mm 有 145 站, 25~50 mm 有 821 站。从降水的逐日演变看(图 1(a)), 强降雨带由北向南、自东向西扫过云南全境, 滇中及以东、滇西南及滇西北东部先后出现中到大雨, 局部暴雨或大暴雨, 同时伴有雷电、短时强降水等强对流天气(图略)。强降水中心位于昭通市盐津县中和镇, 24h 降水量 165.4 mm(大暴雨), 于 3 日 09 时出现降水峰值 49.8 mm, 为单峰型(图 2(a)); 3 日 20 时~4 日 20 时, 强降水区域移至滇南(图 1(b)), 累积雨量 100~200 mm 有 19 站, 大于 200 mm 有 2 站, 其中最大雨量 294.5 mm(红河州绿春县半坡乡), 50~100 mm 有 207 站。强降水中心位于红河州绿春县半坡乡, 24h 累积降水量 294.5 mm, 分别于 4 日 05 时、11 时出现降水峰值 62.5 mm 和 40.2 mm, 为双峰型降水(图 2(b))。降雨期间, 滇中、滇西南及滇东北出现雷暴并伴有短时强降水(图略)。本次强降水过程有以下 4 个特点: (1) 雨带自北向南、自东向西移动, 影响范围广; (2) 过程持续时间长, 累积雨量大; (3) 小时雨强大(有 9 个站的小时雨强超过 50 mm), 最大小时雨强为新平县水塘镇 74.7 mm; (4) 伴有大范围雷暴、短时强降水等强对流天气。

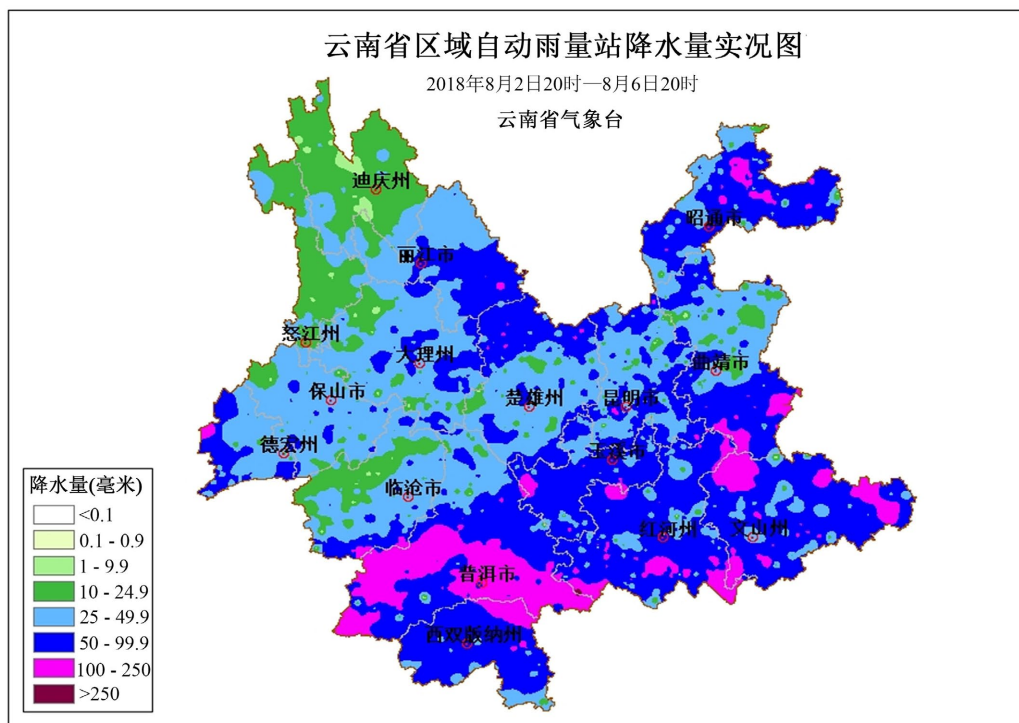
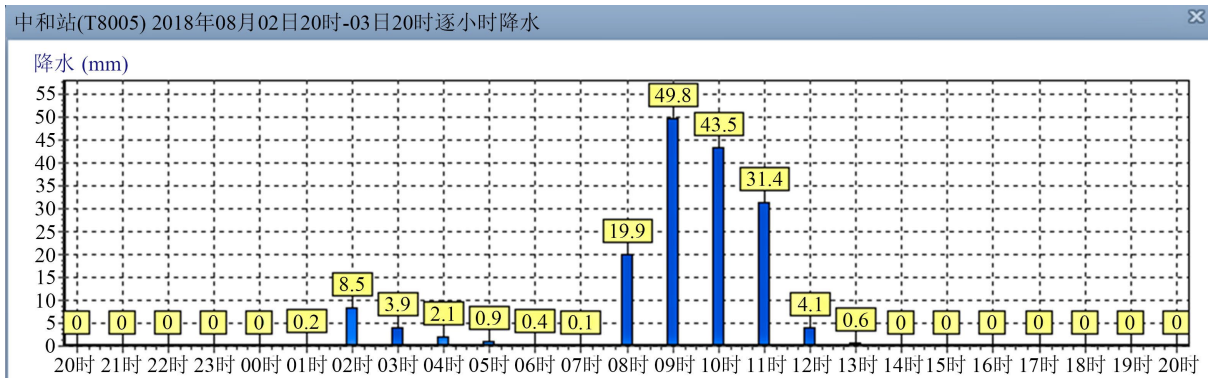
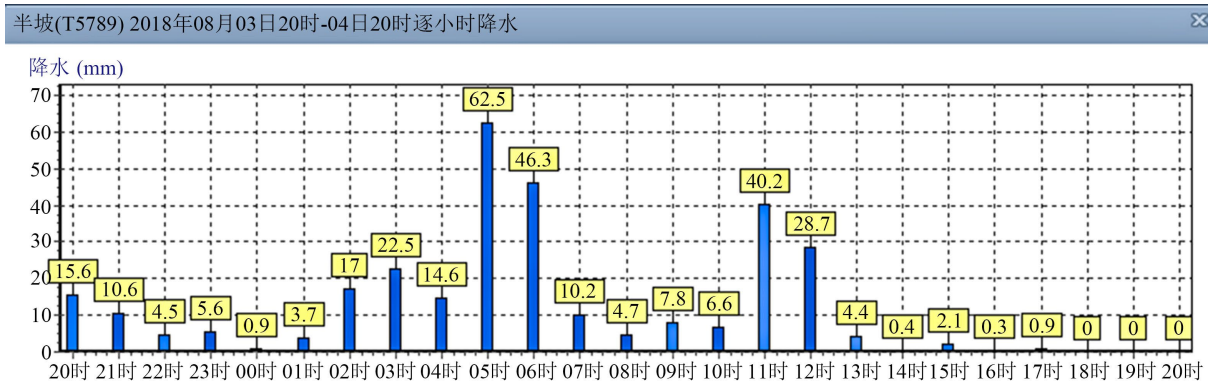


Figure 1. Accumulated precipitation distribution from August 3 to August 6

图 1. 8 月 3 日~8 月 6 日累积降水量分布图



(a) 2日20时~3日20时盐津县中和镇



(b) 3日20时~4日20时绿春县半坡乡

Figure 2. Hourly precipitation evolution at the maximum precipitation center in Zhonghe over Yanjin county (a) and in Banpo over Luchun county (b) (Unit: mm) on August 3rd to 4th

图 2. 8月3日~4日最大降水中心盐津中和(a) 和绿春半坡(b) 逐小时降水演变(单位: mm)

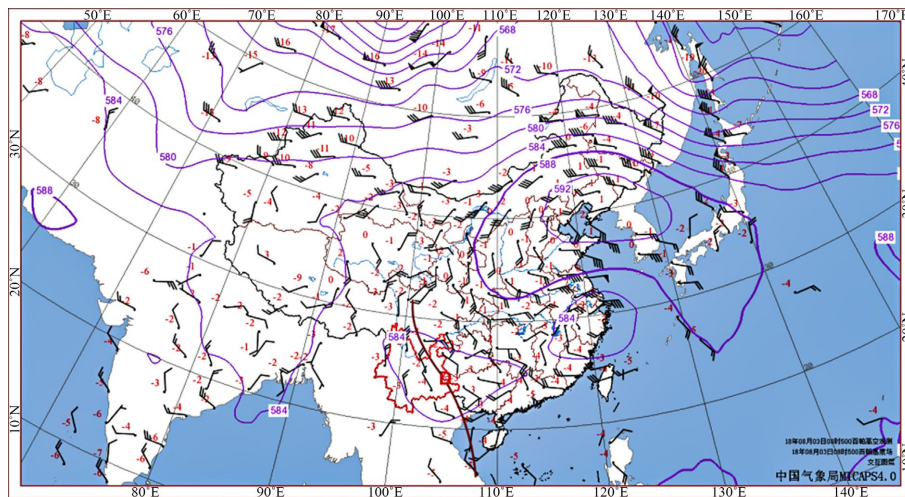
2.2. 灾情

此次云南强降水天气过程共造成昭通、昆明、红河、文山、普洱、西双版纳、丽江、德宏、临沧等9个州(市) 26县(区)发生洪涝灾害,农作物、县乡公路、沟渠不同程度受损。丽江市华坪县8月3日出现滑坡灾害,造成1人死亡。昆明空港经济开发区8月3日因强降水导致宝象河出现30米决堤,造成大板桥街道沙沟社区被3米多深的洪水围困,损失严重。

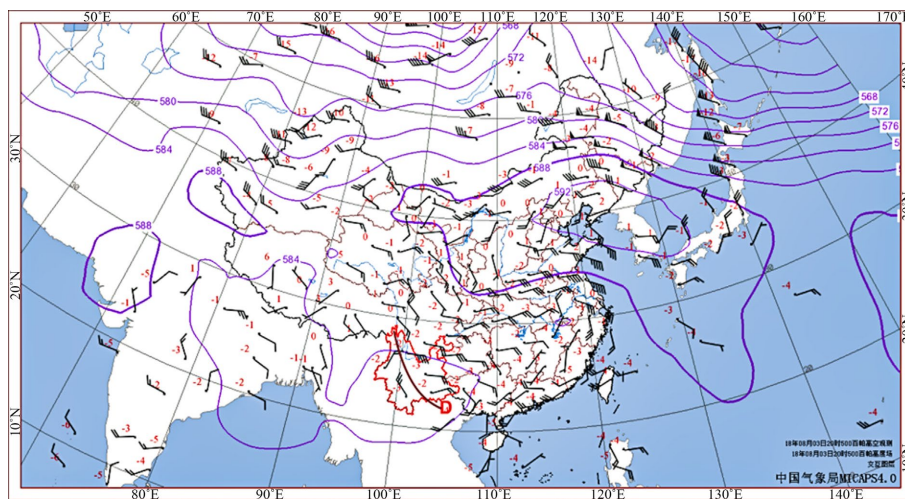
3. 高空环流背景分析

3.1. 500 hPa 形势

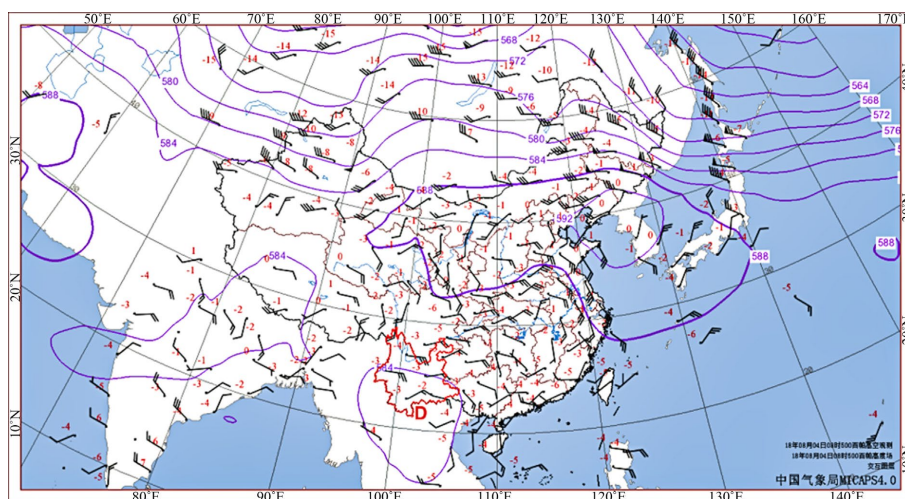
8月2日20时(图略),西太平洋副热带高压主体位于辽东半岛和山东半岛附近,青藏高原为584 gpm高压环流控制,滇缅之间有反气旋环流,云南东部处于两高辐合区中。3日08时(图3(a)),副热带高压略西伸,588线西脊点由110°E移至108°E,其南侧偏东风加强,滇东边缘的辐合区略东移;3日20时(图3(b)),副热带高压持续西进并加强,中心强度为592 gpm,云南东部的辐合区移至哀牢山沿线,辐合区两侧风速由4~6 m/s增强至8~12 m/s;4日08时(图3(c)),588线西伸至西北地区中部,强度维持,两高辐合区西移南落,位于滇南地区,云南中部以北地区转为偏东风控制,偏东风速6~10 m/s,强降水有所减弱;4日20时(图略),副热带高压进一步西移,偏东风范围扩大,云南大部转为偏东风控制,强降水过程趋于结束。可见,500 hPa两高之间辐合区是造成强降水的主要影响天气系统之一。



(a) 2018年8月3日08时



(b) 2018年8月3日20时

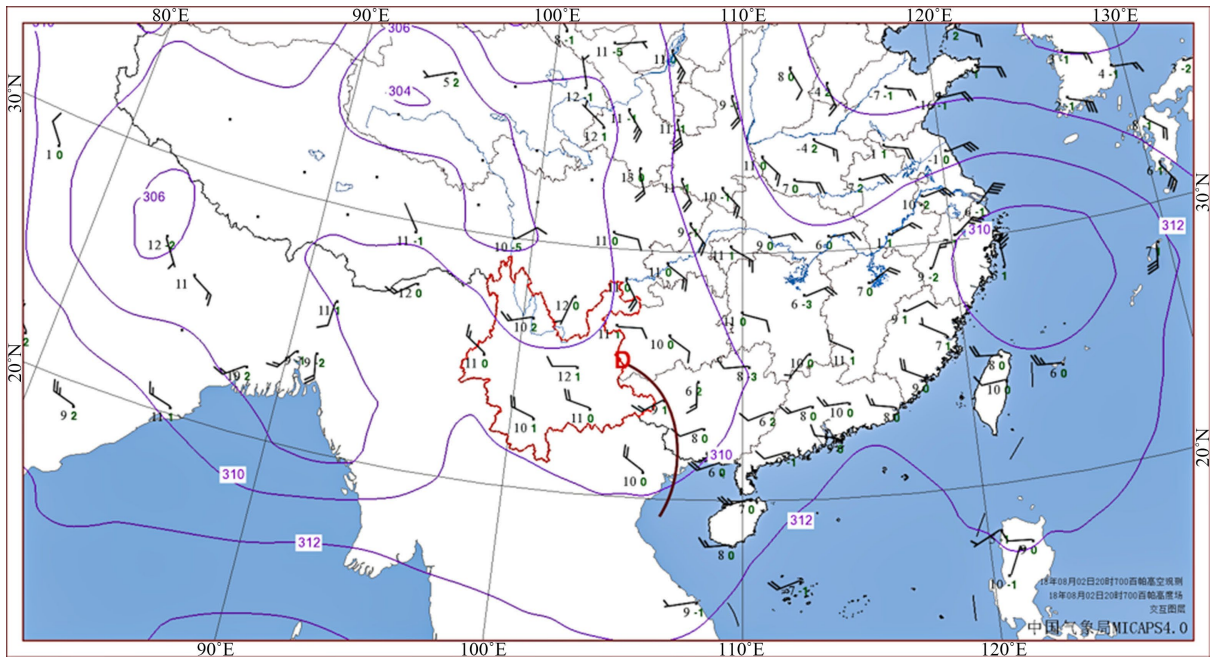


(c) 2018年8月4日08时

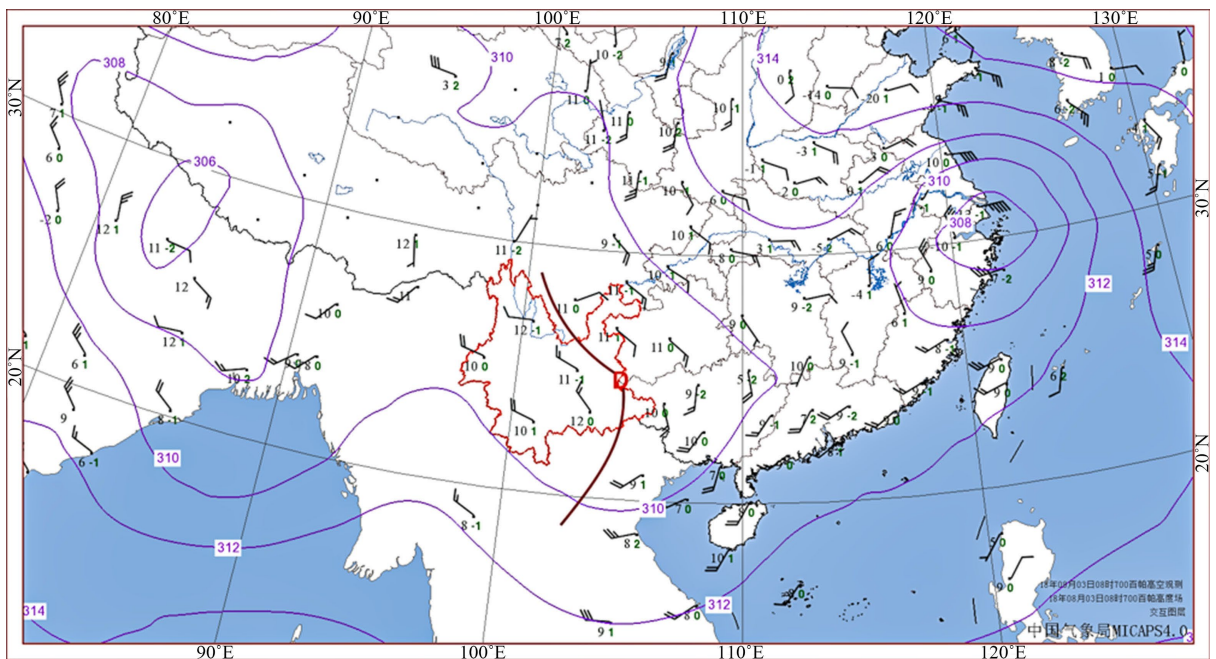
Figure 3. 500 hPa height field (unit: gpm) and wind field (unit: m/s)
图 3. 500 hPa 高度场(单位: gpm)与风场(单位: m/s)

3.2. 700 hPa 形势

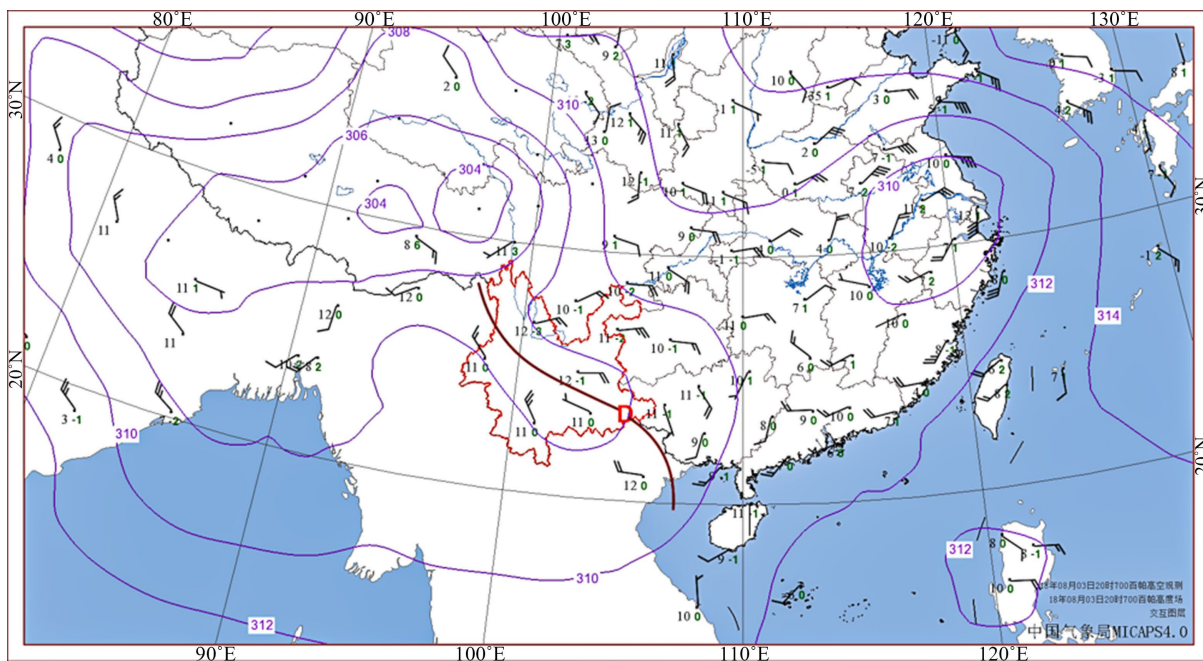
从 700 hPa 高度场演变可得出, 8 月 2 日 20 时(图 4(a))云南东部为南 - 北向的低涡切变线, 而 500 hPa 为两高之间的辐合区, 为一深厚系统, 动力条件较好, 强降水在滇东地区产生。8 月 3 日 08 时至 20 时(图 4(b)、图 4(c)), 伴随着西太副高的加强西伸, 低涡切变西移, 切变线北段移动较快, 形成西北 - 东南向的低涡切变, 强降水移至滇中至哀牢山沿线一带。4 日 08 时(图 4(d)), 低涡切变线越过哀牢山, 位于滇西南, 强降水也随之西南移(图略)。



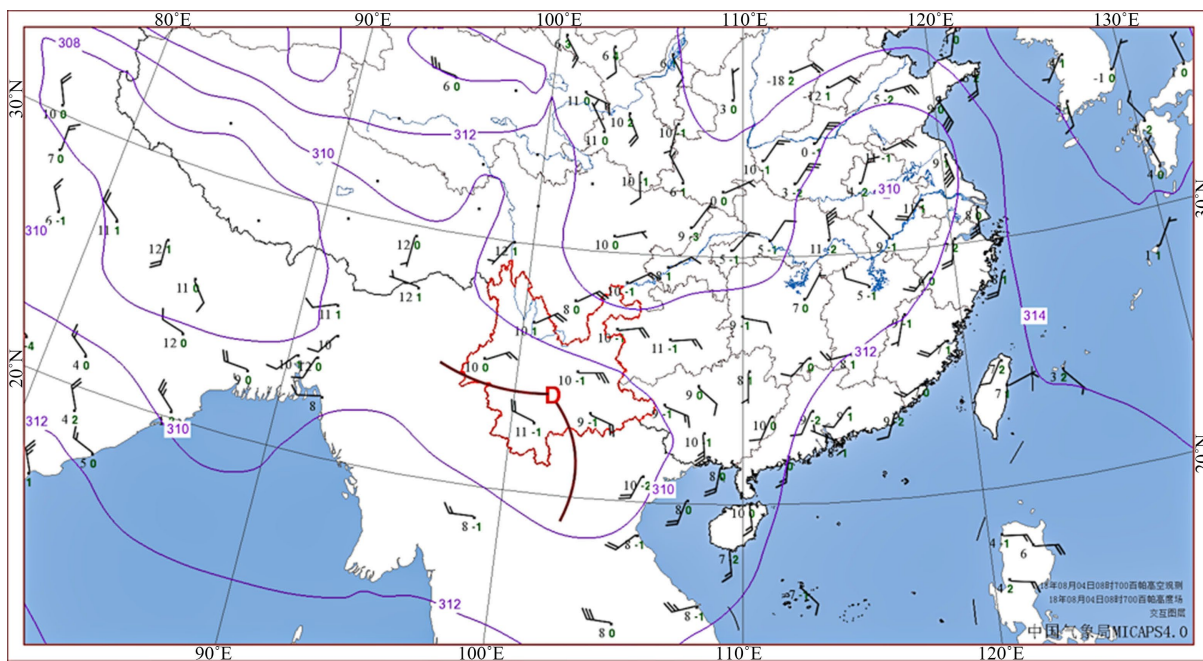
(a) 2018 年 8 月 2 日 20 时



(b) 2018 年 8 月 3 日 08 时



(c) 2018年8月3日20时



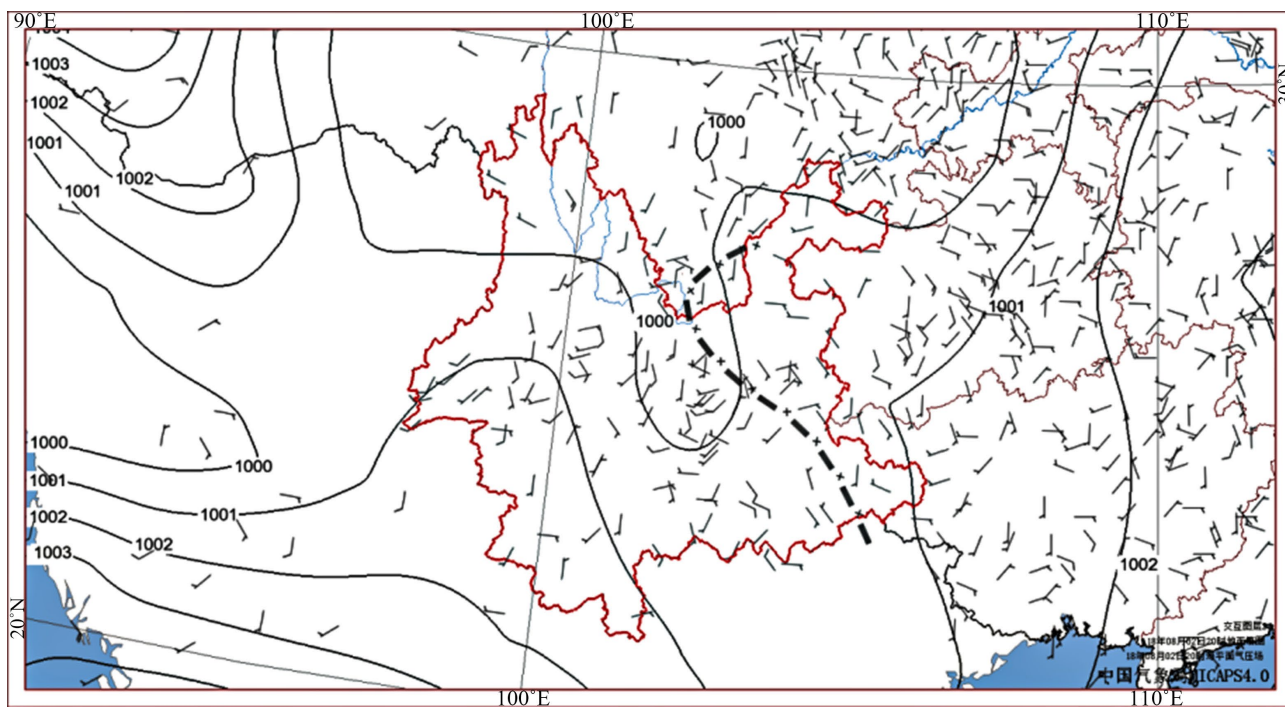
(d) 2018年8月4日08时

Figure 4. 700 hPa height field (unit: gpm) and wind field (unit: m/s)**图 4.** 700 hPa 高度场(单位: gpm)与风场(单位: m/s)

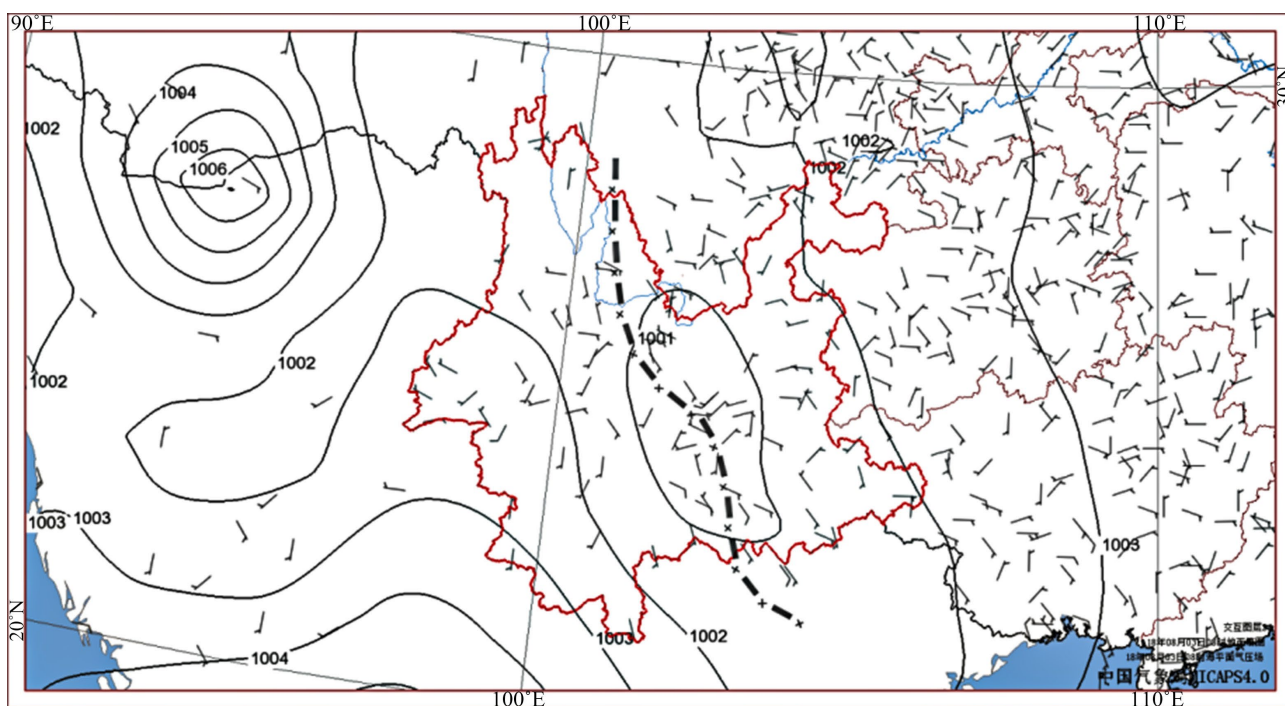
3.3. 地面场

地面辐合线在中尺度对流系统的触发和维持方面起着重要作用。8月2日20时(图5(a)),地面辐合线位于云南楚雄至文山一线;3日08时(图5(b)),地面辐合线向西推进至丽江东部至红河南部;3日20时(图5(c)),印缅高压西南移动,高原南侧有低压形成,地面辐合线由西北-东南向转为东-西向,压在

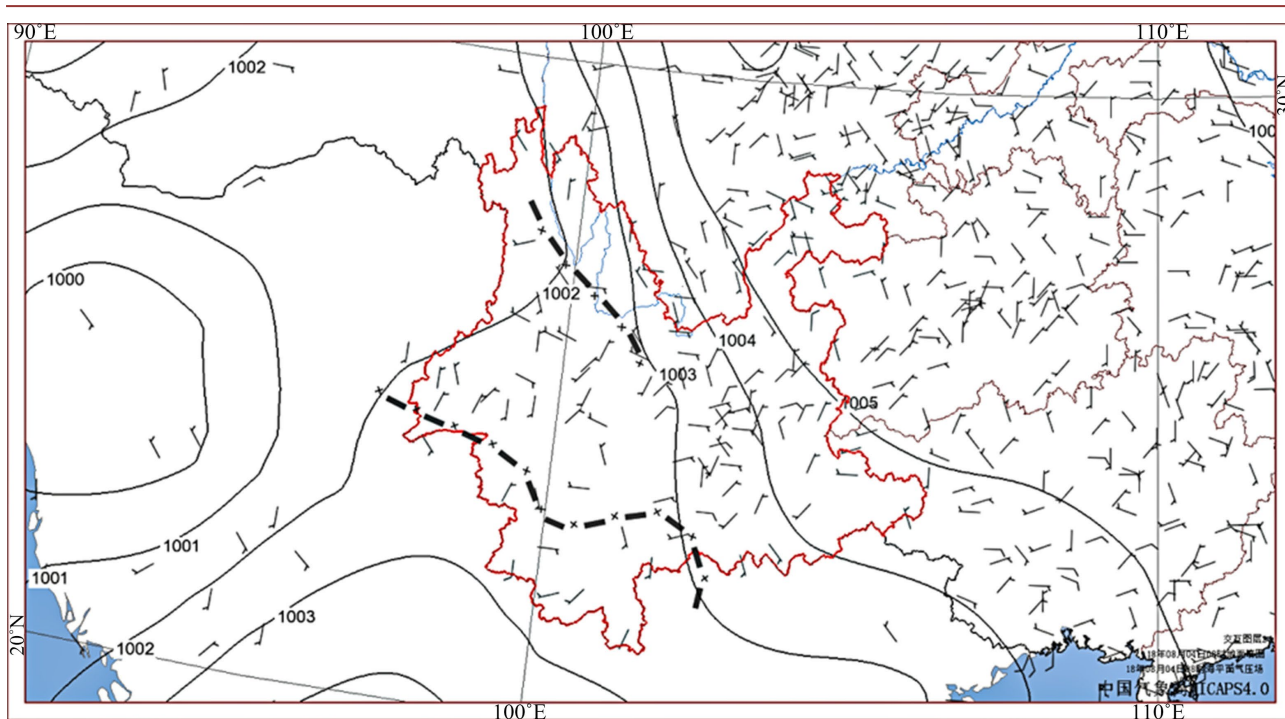
普洱至文山西部一线; 4日20时(图略), 云南西南部的地面辐合线移出境外, 云南区域的强对流明显减弱。此次强降水过程中地面辐合线的触发作用, 为强对流的发生发展提供了良好的动力条件。同时, 地面辐合线的稳定维持, 也是这次过程较长时间维持的必要条件之一。



(a) 2018年8月2日20时



(b) 2018年8月3日20时



(c) 2018年8月4日08时

Figure 5. Sea level pressure (unit: hPa) and surface wind field (unit: m/s)

图 5. 海平面气压(单位: hPa)与地面风场(单位: m/s)

4. 环境场分析

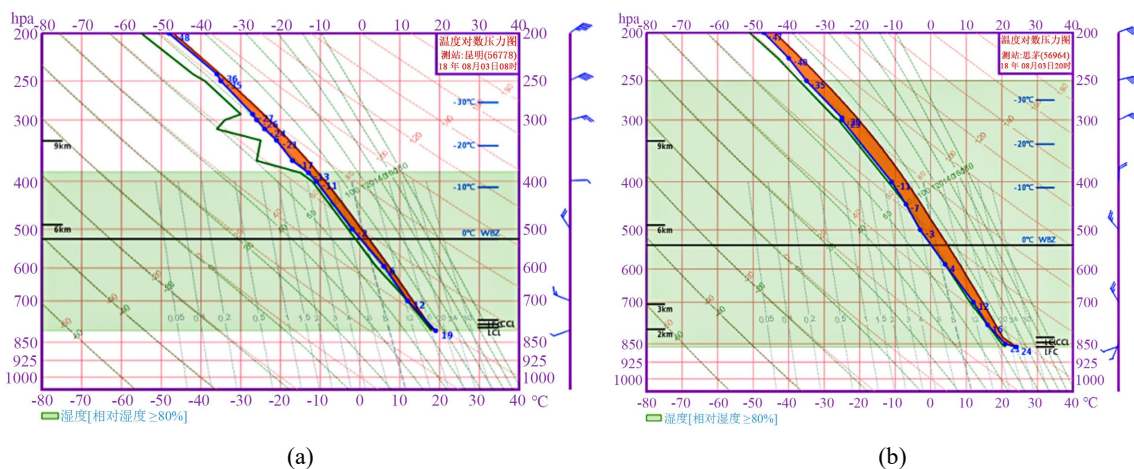


Figure 6. T-lnP map of Kunming (a) and Simao (b) sounding stations at 20:00 on August 3rd

图 6. 8月3日20时昆明(a)与思茅(b)探空站 T-lnP 图

实况分析表明, 本次强降水过程伴有强对流天气发生。8月3日午后到夜间强对流天气主要分布于滇中及以北地区, 以雷暴、短时强降水为主; 8月4日白天到夜间则主要位于滇中以南地区, 以短时强降水为主。从8月3日20时昆明和思茅探空站 T-lnp 图(图 6(a)、图 6(b))可以看出, 两站的 CAPE 值均 ≥ 1000 J/kg, 普洱站达到了 1626.3 J/kg, 具有较高的对流有效位能, 沙氏指数小于 0°C , 大气层结不稳定。风场随高度顺转, 表明中低层具有暖平流且大气湿层较深厚, 有利于短时强降水的产生。从 0~6 km 的垂

直风切变看, 丽江风切变较大, 分别为丽江 12 m/s、昆明 6 m/s、思茅 8 m/s、蒙自 4 m/s, 表明丽江和普洱的环境条件更有利于对流系统的组织化发展。

从中尺度环境条件看, 强降水发生时段(8月3日20时), 云南上空存在切变线, 地面配合有辐合线(图略), 为强对流的发生提供了较好的触发机制, 而滇中以南、滇西南处于显著湿区内, 700 hPa 比湿达到了 11~12 g/kg, 为强降水的发生提供了充足的水汽条件。另外, 8月2日全省最高气温偏高明显, 河谷地区在 30°C 以上, 滇中地区在 25°C 左右, 滇南、滇西南在 27°C~28°C 左右(图略); 全省 K 指数在 37°C 以上, 滇中及以南地区甚至 $\geq 42^\circ\text{C}$, 较好的热力条件, 有利于大气储备充足的能量。对流一经触发, 在切变线附近持续有中尺度云团生成发展, 从而导致强降水的发生。强降水主要发生在高温高湿高能区域。

5. 卫星云图演变

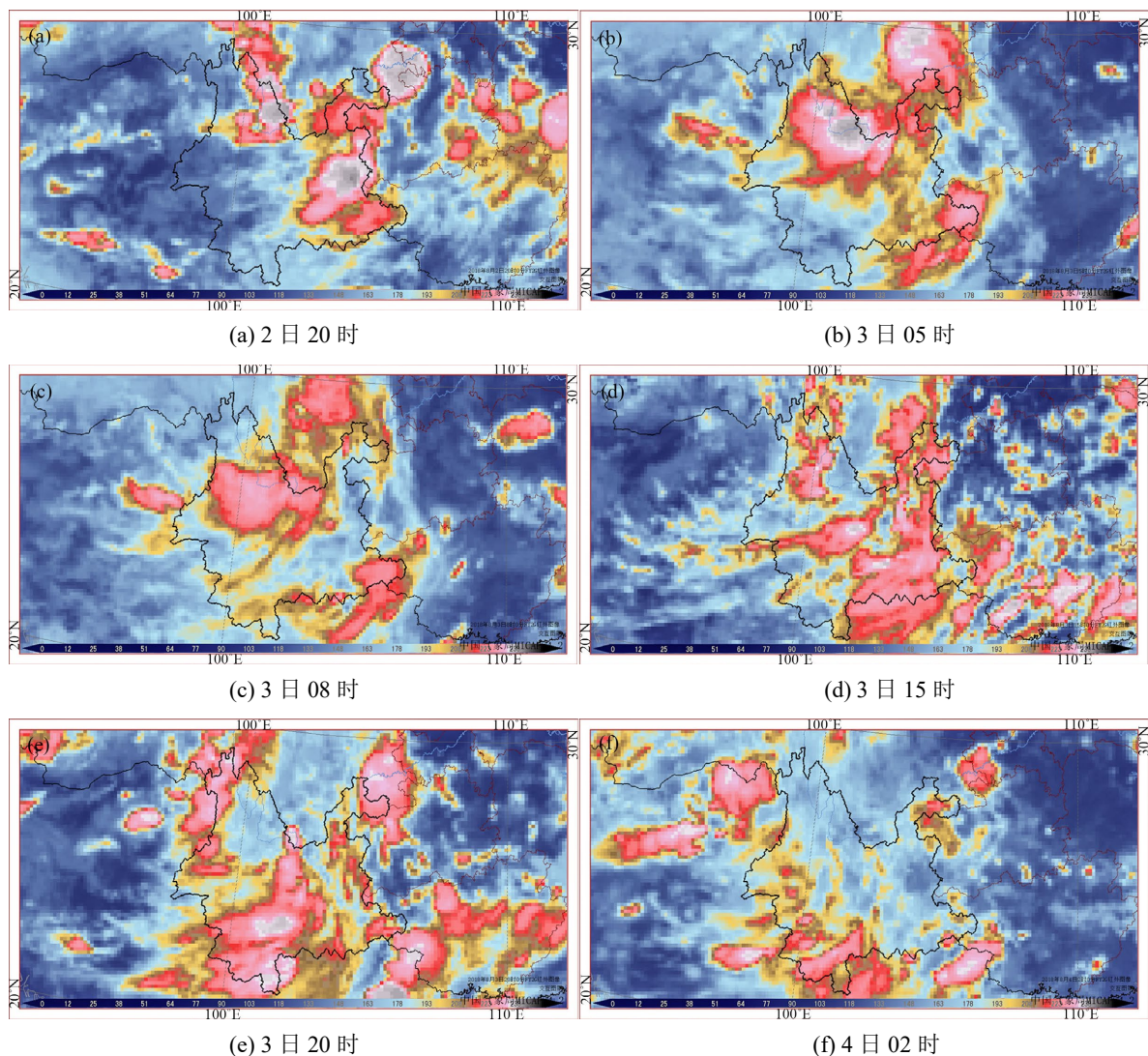


Figure 7. The evolution of FY-2G infrared cloud images from 20:00 on August 2nd to 02:00 on August 4th

图 7. 8月2日20时~4日02时FY-2G红外云图演变

在卫星云图上, 2日20时(图7(a))云系主要集中在云南东部、东南部及西北部, 对流云团在 700 hPa 低涡切变线上发展; 3日05时(图7(b)), 云系在云南中部以北地区及东南部地区发展, 一直持续到4日

02 时(图 7(c)~(f)); 随着低涡云系形成与发展, 在云南中部以东以南地区, 对流云团发展并随低涡切变西移而西推; 3 日 20 时后, 低涡云系强中心移到哀牢山以西, 在 700 hPa 切变线西侧与地面辐合线附近, 对流发展旺盛; 随着低涡切变线西推, 对流云团也逐步向西移动(图略); 4 日 20 时后, 滇西南仍有对流云团, 但是影响范围明显缩小。

6. 物理量场分析

6.1. 不稳定条件

K 指数用以表征大气的层结稳定度情况, 是大气对流不稳定判据参数, K 指数越大, 大气越不稳定和潮湿, 越易产生对流性降水。从 k 指数场的时间演变图(图 8)上看出, 过程期间, 云南 k 指数达到 40℃ 及以上, 其中 2 日 20 时至 3 日 08 时, k 指数大值区集中在云南中部及以东地区, 最大出现在 2 日 20 时红河、文山北部, 达 41℃; 3 日 20 时大值区西移至滇西南, 中心强度达 44℃, 非常有利于对流性降水的产生。

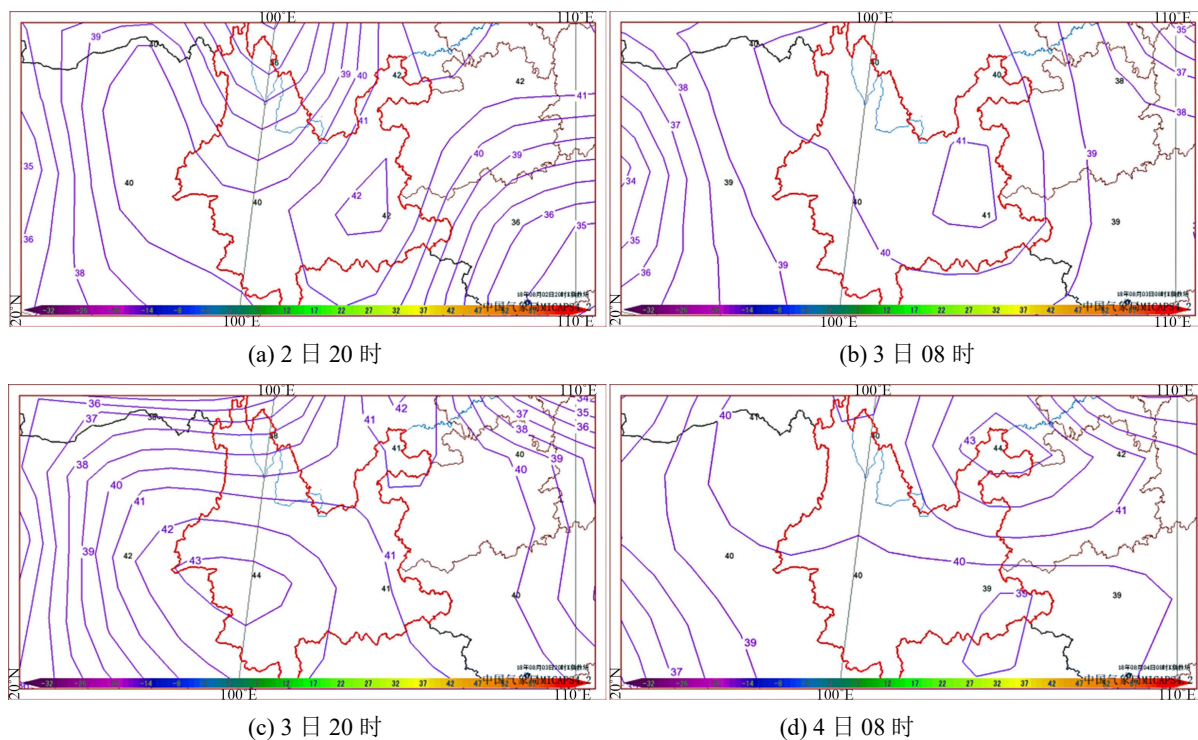


Figure 8. K-exponential field evolution diagrams at different times (Unit: $^{\circ}\text{C}$)

图 8. 不同时刻的 K 指数场演变图(单位: $^{\circ}\text{C}$)

6.2. 水汽条件

6.2.1. 700 hPa 水汽通量

水汽条件是形成降水的重要因素之一, 水汽通量是描绘水汽输送情况的常用物理量。从 700 hPa 水汽通量演变(图 9)可看出, 随着两高辐合区的建立, 辐合区东部来自北部湾的东南气流将水汽输入辐合区, 云南东北部及西南部水汽条件明显增强, 水汽通量值达 $8\sim 10 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 随低涡切变西移, 云南西南部地区水汽通量值高达 $8\sim 11 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 充沛的暖湿水汽提供了强降水必需的水汽条件, 有利于强对流和强降水天气的产生。

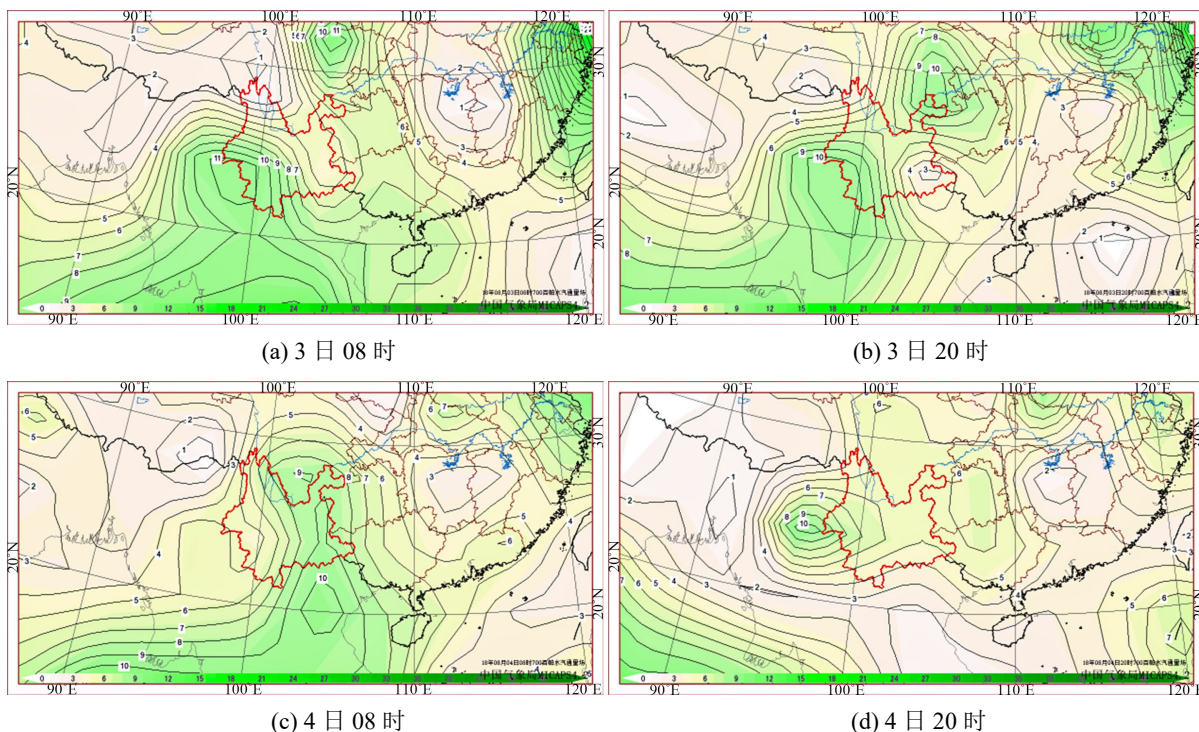


Figure 9. Evolution diagram of water vapor flux field at 700 hPa (Unit: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
图 9. 700 hPa 水汽通量场演变图(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)

6.2.2. 700 hPa 水汽通量散度

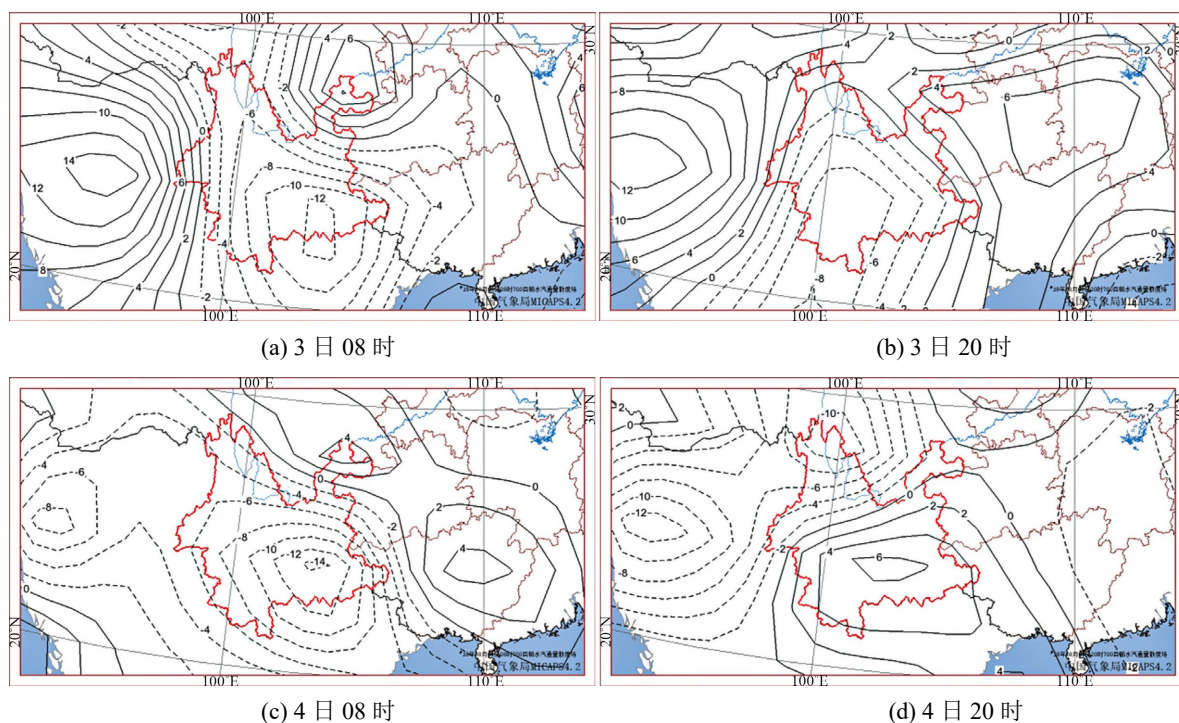


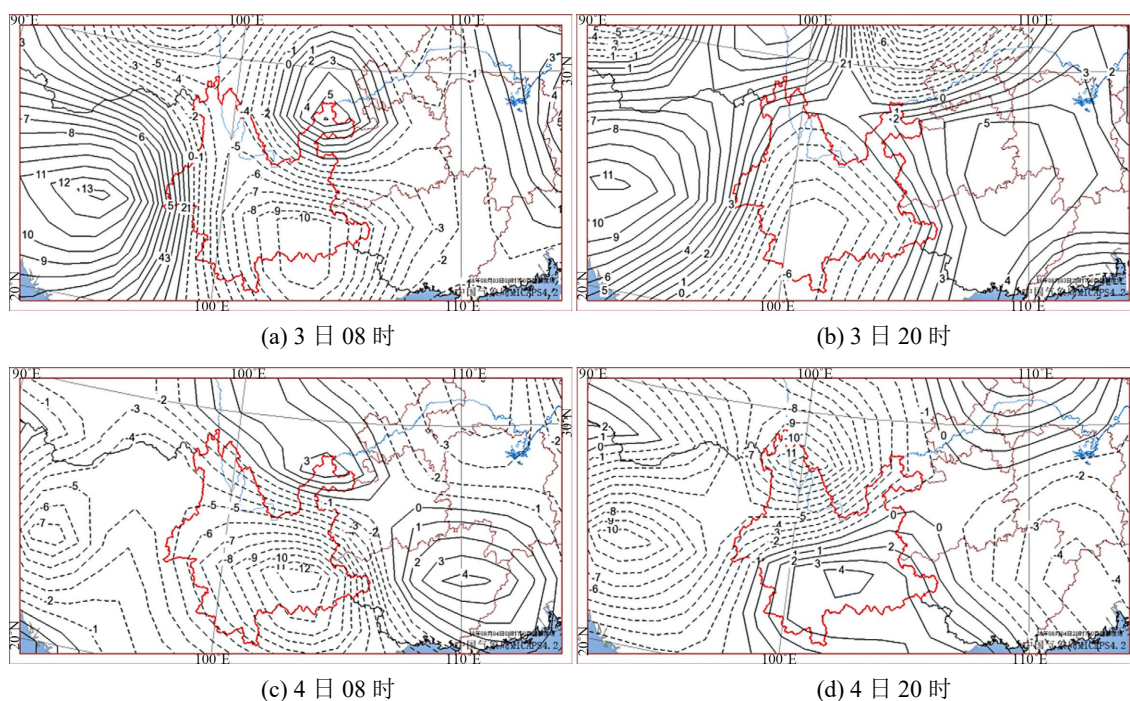
Figure 10. Evolution diagram of the divergence field of 700 hPa water vapor flux (Unit: $10^{-8}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
图 10. 700 hPa 水汽通量散度场演变图(单位: $10^{-8}\text{g}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)

水汽通量散度是描述水汽辐合强度的主要物理量, 是诊断强降水落区的有效参数。从 700 hPa 水汽通量散度场演变(图 10)可看出, 3 日 08 时, 云南大部地区由之前的水汽辐散区转为水汽辐合区, 且云南南部的辐合强度达 $-12 \text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$, 且辐合区随之向西南移动; 4 日 08 时, 云南南部的辐合强度达 $-14 \text{ g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$, 表明该区域内水汽在此辐合强度较大; 4 日 20 时, 随着系统的减弱西移, 整个南部地区转为一个水汽辐散区域, 降水减弱。低涡切变影响云南期间, 强降水区域与水汽通量散度的强辐合区有较好的对应关系。

6.3. 抬升条件

6.3.1. 700 hPa 散度

散度是描述气流水平汇合或发散程度的一个物理量, 与大气垂直上升运动密切相关。分析 700 hPa 散度场(图 11)可看出, 从 3 日 08 时, 云南转为辐合场, 强辐合区域位于滇南地区, 中心强度为 -10 s^{-1} , 对应强降水发展, 此后辐合中心西移, 强降水区也随之西移; 4 日 20 时, 滇南地区转为辐散区, 降水减弱。



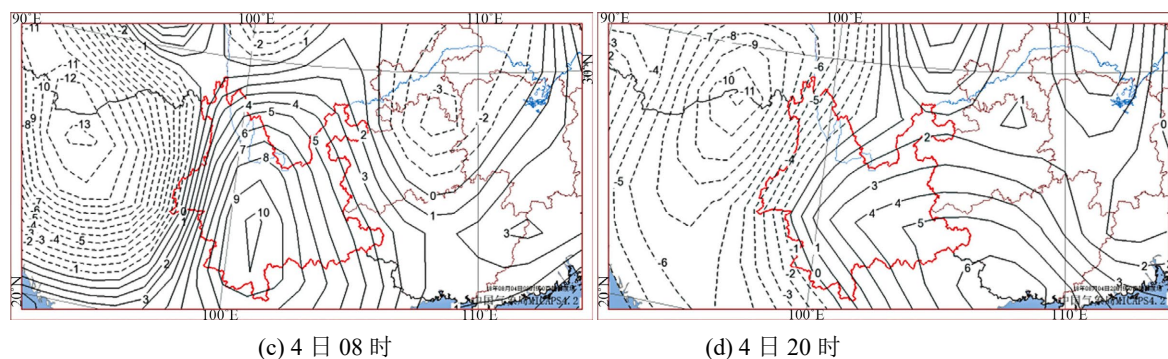


Figure 12. Evolution diagram of 500 hPa divergence field (Unit: $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$)

图 12. 500 hPa 散度场演变图(单位: $10^{-6}\cdot\text{s}^{-1}$)

从 500 hPa 散度场(图 12)可看出, 3 日 08 时, 云南东部及东南部出现辐散区域, 之后辐散区域向西扩, 强度增加, 至 4 日 08 时, 强辐散区域集中在云南西南部, 强度达 10 s^{-1} , 4 日 20 时, 辐散区强度明显减弱, 强中心消失。结合 700 hPa 散度场来看, 3 日 08 时至 4 日 08 时, 500 hPa 高层辐散, 700 hPa 低层辐合, 有利于上升运动的加强, 为强降水的产生提供了动力条件。

7. 数值模式降水预报检验

数值模式降水预报是日常业务中制作要素预报的主要参考, 选取最强降水时段 8 月 3~4 日, 对 ECthin、Grapes-meso、华东区域数值模式、华南区域数值模式 12 小时间隔的降水预报进行了对比检验(图略)。对比检验发现, ECthin (欧洲中心模式)对本次过程的雨带位置及移速预报与实况基本一致, 但雨强明显偏弱, 特别是暴雨、大暴雨强度和落区明显漏报。Grapes-meso (中国中尺度模式)对 8 月 3 日的雨带预报较接近实况, 但对 8 月 4 日滇南及滇西南的强降水预报存在明显漏报, 主雨带位置偏差较大。华东、华南两家区域模式均报出了自北向南的强降水雨带, 但强降水的落区仍然偏差较大, 华南模式的强度预报较华东模式的偏强, 但两家模式对南部、西南部的强降水仍然出现明显漏报。

对本次强降水过程, ECthin 降水预报总体偏弱, 雨带移速及趋势值得参考, 华南区域模式的强度预报值得参考。各家模式对滇南、滇西南地形作用影响较明显地区的强降水, 均存在漏报现象。

8. 结论

(1) 此次强降水过程具有雨带摆动, 影响范围广; 过程持续时间长, 累积雨量大; 小时雨强大, 局地性和极端性强; 伴有大范围雷暴、短时强降水。是一次典型的云南盛夏强降水过程。

(2) 此次强降水过程的主要影响系统是 500 hPa 两高辐合区、700 hPa 低涡切变、地面辐合线, 系统深厚, 持续时间长, 自东向西影响云南, 产生连续两天的全省性大雨 - 暴雨过程。

(3) 物理量场上, 低层水汽充沛, 具有大气对流不稳定层结、有利的垂直风切变, 高层辐散、低层辐合上升运动发展, 低层水汽辐合加强, 强降水发展。

(4) ECthin、Grapes-meso、华东、华南等 4 家数值模式, 对此次云南强降水过程均有一定的预报能力, 具有业务参考价值, 但也存在落区和强度的漏报与偏差现象。

参考文献

- [1] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [2] 李玉柱, 罗兰仙, 石鲁平. 云南强降水天气 500 hPa 形势场的客观分型[J]. 气象, 1990, 16(6): 31-34.
- [3] 许美玲, 段旭. 云南主汛期大雨过程的诊断与预报[J], 气象, 1998, 24(10): 55-58.

-
- [4] 张腾飞, 鲁亚斌, 张杰, 等. 2000 年以来云南 4 次强降雨过程的对比分析[J]. 应用气象学报, 2007, 18(1): 64-72.
- [5] 李华宏, 王曼, 闵颖, 等. 昆明市雨季短时强降水特征分析及预报研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2019, 41(3): 518-525.
- [6] 鲁亚斌, 郭荣芬, 张腾飞, 等. 一次滇中暴雨中尺度对流系统特征分析[J]. 气象科学, 2005, 25(4): 376-384.
- [7] 梁红丽, 许美玲, 段旭, 等. 孟加拉湾风暴引发云南初夏强降水初探[J]. 高原气象, 2014, 33(5): 1240-1250.
- [8] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [9] 张秀年, 段旭. 低纬高原西南涡暴雨分析[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 941-947.
- [10] 许美玲, 段旭, 杞明辉, 等. 云南省天气预报员手册[M]. 北京: 气象出版社, 2011.
- [11] 鲁亚斌, 潘里娜, 王恒康. 500hPa 青藏高压的活动规律与云南降水的关系[J]. 云南气象, 1997, 17(3): 15-17.
- [12] 梁红丽, 段旭, 符睿, 等. 影响云南西南涡的统计特征[J]. 高原气象, 2012, 31(4): 1066-1073.
- [13] 段旭, 吴皖明. 西南涡影响滇中大-暴雨的天气环流分型[J]. 云南气象, 1989(3): 13-15.
- [14] 张腾飞, 张杰, 马联翔. 一次西南涡影响云南强降水过程分析[J]. 气象科学, 2006, 26(4): 376-383.