

2020年8月16日龙泉驿区暴雨天气过程分析

黎金鑫, 毛文书, 杨慧鑫, 董自正

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2022年10月7日; 录用日期: 2022年11月7日; 发布日期: 2022年11月15日

摘要

利用2020年8月14~16日的逐日NCEP/FNL再分析资料, 网格距 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间间隔为6 h, 龙泉驿区本站的24小时逐日降水观测资料, 对2020年8月16日龙泉驿区暴雨天气过程进行分析, 结果表明: 1) 2020年8月16日暴雨过程中, 100 hPa南亚高压脊线位置位于 35°N 附近, 500 hPa副高脊线位于 25°N 左右, 700 hPa四川盆地上空存在切变线和西南低空急流, 850 hPa西南低涡逐渐东移与副高西北侧西南低空急流相互作用, 从而诱发暴雨的产生。2) 热力条件和动力条件诊断分析表明: 此次暴雨天气过程, 假相当位温在600 hPa以下随高度的升高而减小, 表明暴雨发生过程中层结不稳定, 低层正涡度的气旋性运动与高层负涡度的反气旋运动相互作用, 且为大气上升运动提供抬升条件, 由西南急流所运输的来自孟加拉湾和南海的水汽, 为此次暴雨天气过程提供了充沛的水汽条件。

关键词

暴雨, 环流分析, 水汽输送, 副热带高压

Analysis of the Stormy Weather Process in Longquanyi District on 16 August 2020

Jinxin Li, Wenshu Mao, Huixin Yang, Zizheng Dong

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 7th, 2022; accepted: Nov. 7th, 2022; published: Nov. 15th, 2022

Abstract

Using the day-by-day NCEP/FNL reanalysis data from August 14~16, 2020, with a grid distance of $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ and a time interval of 6 h, and the 24-hour day-by-day precipitation observation data from the Longquanyi District Station, the weather process of the heavy rainfall in Longquanyi District on August 16, 2020 was analyzed. The position of the 100 hPa South Asian high pressure ridge was located near 35°N , the 500 hPa vice high ridge was located at about 25°N , there were shear lines and

southwest low-level rapids over the Sichuan basin at 700 hPa, and the 850 hPa southwest low vortex gradually moved eastward and interacted with the southwest low-level rapids on the northwest side of the vice high, thus inducing the heavy rain. 2) The diagnostic analysis of thermal and dynamic conditions shows that the pseudo-equivalent level temperature below 600 hPa decreases with the increase in altitude, indicating that the stratification is unstable during the rainstorm, and the cyclonic motion of positive vorticity at the lower level interacts with the anticyclonic motion of negative vorticity at the upper level, and provides lifting conditions for the upward movement of the atmosphere. The water vapour from the Bay of Bengal and the South China Sea, transported by the southwest rapids, provided abundant water vapour conditions for the storm.

Keywords

Heavy Rainfall, Circulation Analysis, Water Vapour Transport, Subtropical High Pressure

Copyright © 2022 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

暴雨天气作为影响四川最为严重的气象灾害之一，一直以来都备受国内气象专家关注。如邱雅静[1]等人揭示了高原涡与西南涡在东移过程中的强度变化对暴雨产生的影响。程晓龙[2]等用数值模拟的方法研究了青藏高原大地形下，双涡系统对我国西南暴雨的影响。桑友伟[3]等通过 MK 检验和重标极差的方法，分析了湘北 50 年暴雨的变化趋势。高筱懿[4]等人采用长江中下游 381 站的逐日资料，分析了从 1961 年到 2018 年长江中下游暴雨的气候特征。贾文韬[5]等研究了西风急流对暴雨区的影响，发现急流在上游释放潜热向下游输送，是急流诱发暴雨产生的主要原因。林晓霞[6]等人利用绝热无摩擦湿位涡守恒进行诊断一次华南地区受低槽东移引起的暴雨过程，结果发现对流不稳定是此次强降水发展的主要机制。肖递祥[7]等人对于四川盆地极端暴雨进行研究发现极端暴雨大多出现于持续暴雨过程之中，同时针对“东高西低”和“两高切变”的环流形势进行了比较，得出了两种环流形势的异同。赵宇等人[8]通过 WRF3.2 模式，模拟了西风槽与台风“海鸥”的相互作用所产生的暴雨过程的水汽条件，表明水汽辐合主要来自南边界。程晓龙[9]等人，分析了西南涡和贵州高原涡的合并所产生的暴雨，结果表明两涡的南边界水汽输送最大，湿位温高值区可以反映地面降水的落区。李琴等人[10]研究一次四川暴雨过程后发现，西南涡的发展与副高西侧风速的增大为暴雨的发展提供有利条件。陈永仁等人[11]通过对 2012 年 7 月 21~22 日四川暴雨中的中尺度对流系统(MCS)特征及其对短时强降雨影响进行分析后，发现此次暴雨过程是由 500 hPa 高原涡与 700 hPa 低涡切变线、低空急流共同作用所引发的。吴启树[12]等人利用 NCEP 再分析资料分析了一次福建中部的暴雨过程，结果发现暴雨降水的水汽通量散度平流与散度配合较好，也发现了假相当位温在对大气不稳定性度的影响。郭文刚[13]等人发现暴雨区的大气流动动力正、斜压分解表明，在本次强降水过程中，斜压分量是主要的；在暴雨初期，正压动能向斜压动能转化较快，各项指标均最大；之后的强降雨过程中，逐渐减弱，最后趋于 0，并有微弱的斜压动能转化为正压动能。任丽[14]等人对副热带高压北侧暖锋暴雨进行动力和热力诊断后发现，暴雨区的位温高值区因凝结潜热的释放而向下延伸，而强烈的暖平流促进了中低层的湿斜压性的增加，从而有利于暖锋的生成。

对大范围地区暴雨的研究一直是气象学家关注的重点，并获得了不少成果，而本文通过对本次暴雨天气过程进行动力诊断和热力诊断分析，对提高龙泉驿区的暴雨预报水平有重要的理论意义和现实意义。

2. 资料与方法

利用 2020 年 8 月 14~16 日的 NCEP/FNL 再分析资料, 网格距 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间间隔为 6 h, 以及龙泉驿区本站 24 小时逐日降水观测资料, 通过合成分析法, 分析本次暴雨过程的高低空环流形势、动力条件、热力条件及水汽输送情况。从而得出龙泉驿区暴雨的基本特征。

3. 龙泉驿区暴雨天气过程分析

3.1. 过程实况

由 2020 年 8 月 16 日四川降水 24 小时实况图(图 1)可知: 此次暴雨天气过程的暴雨中心位于盆地西北部, 龙泉驿区 24 小时累积降水量达到 150 mm 以上, 降水等级达到大暴雨。

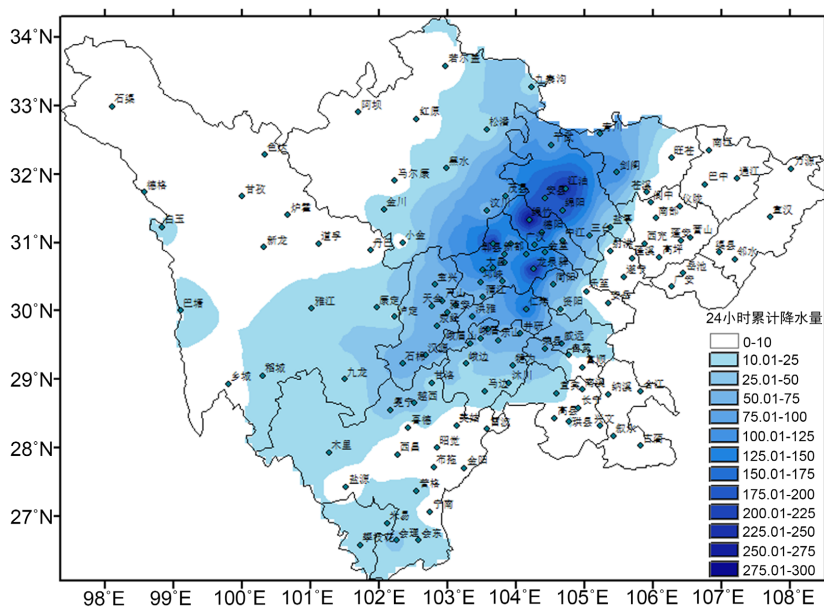


Figure 1. 24-hour precipitation distribution in Sichuan at 20:00 on 16 August 2020 (unit: mm)

图 1. 2020 年 8 月 16 日 20 时 24 小时四川降水分布图(单位: mm)

3.2. 高低空环流形势

3.2.1. 100 hPa

由 2020 年 8 月 16 日的 100 hPa 环流形势图(图 2)可知, 本次暴雨南亚高压强盛稳定, 南压高压脊线在 35°N 左右, 并随时间有东移发展的趋势。

3.2.2. 500 hPa

由 8 月 16 日 500 hPa 环流场(图 3)可知: 中高纬度地区整体表现为“两槽一脊”型, 16 日 08 时(图 3(b))其中一条槽线由蒙古延伸到我国新疆。乌拉尔河附近存在一个较大的低压槽。低涡的中心位于新疆和蒙古交界处的阿尔泰山脉附近, 靠近乌拉尔河。巴尔喀什湖至新西伯利亚有一条高压脊, 位于我国新疆西部, 贝加尔湖以西至蒙古东部有一条脊。四川受一条槽线控制。副热带高压, 副热带高压途经我国福建、江西、湖北、河南、山东。至 16 日 20 时(图 3(d)), 整体槽脊略有东移, 位于我国西部的槽线东移并发展, 影响到中国的甘肃和青海地区。低槽在中低纬度地区加深, 对四川地区产生较大的影响。而低涡中心位置几乎不变, 与 08 时相比, 副热带高压略微向西延伸, 副高脊线位于 25°N 左右, 但整体位置保持不变。

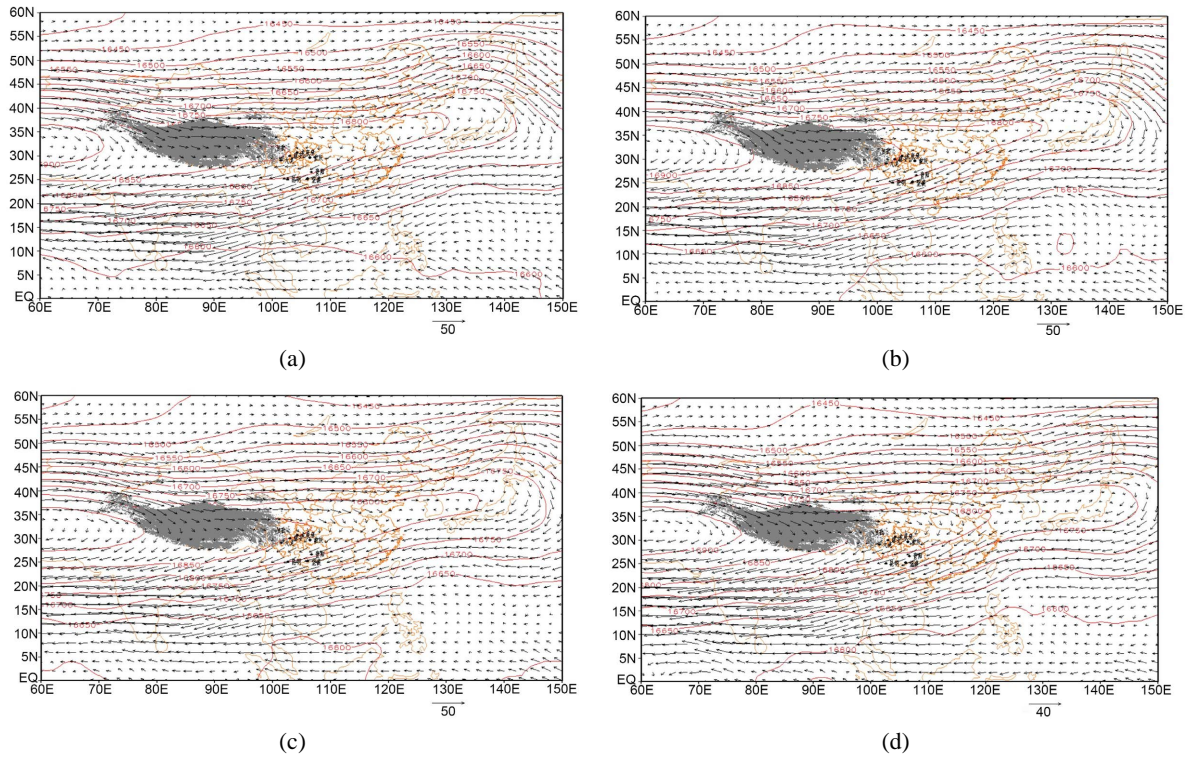


Figure 2. Circulation field at 100 hPa on 16 August. ((a) 02 h, (b) 08 h, (c) 14 h, (d) 20 h) (UTC)

图 2. 8月16日 100 hPa 环流场。(a) 02 时, (b) 08 时, (c) 14 时, (d) 20 时 (UTC)

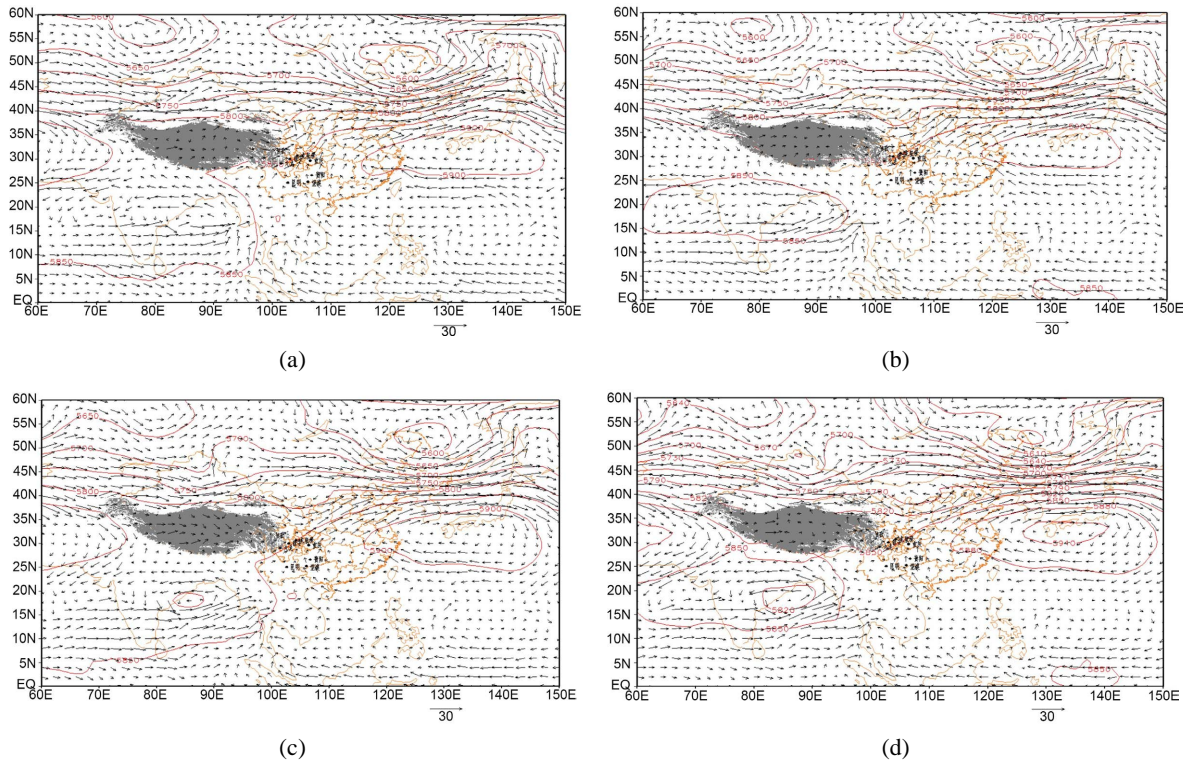


Figure 3. 500 hPa circulation field on 16 August. ((a) 02 h, (b) 08 h, (c) 14 h, (d) 20 h) (UTC)

图 3. 8月16日 500 hPa 环流场。(a) 02 时, (b) 08 时, (c) 14 时, (d) 20 时 (UTC)

3.2.3. 700 hPa

由8月16日700 hPa环流场(图4)可以看出,08时(图4(b))甘肃北部有一条较强的切变线,切变线以北是北风,以南是南风,推测为冷切变线。贵州和云南两省存在急流。四川省整体皆受西南急流控制。至20时(图4(d))冷切变线南移至四川东北部,开始影响龙泉驿区附近,携带冷空气与成都地区的暖湿空气融合,急流整体保持不变,但最大风速有所减弱,四川盆地整体受西南风的影响。

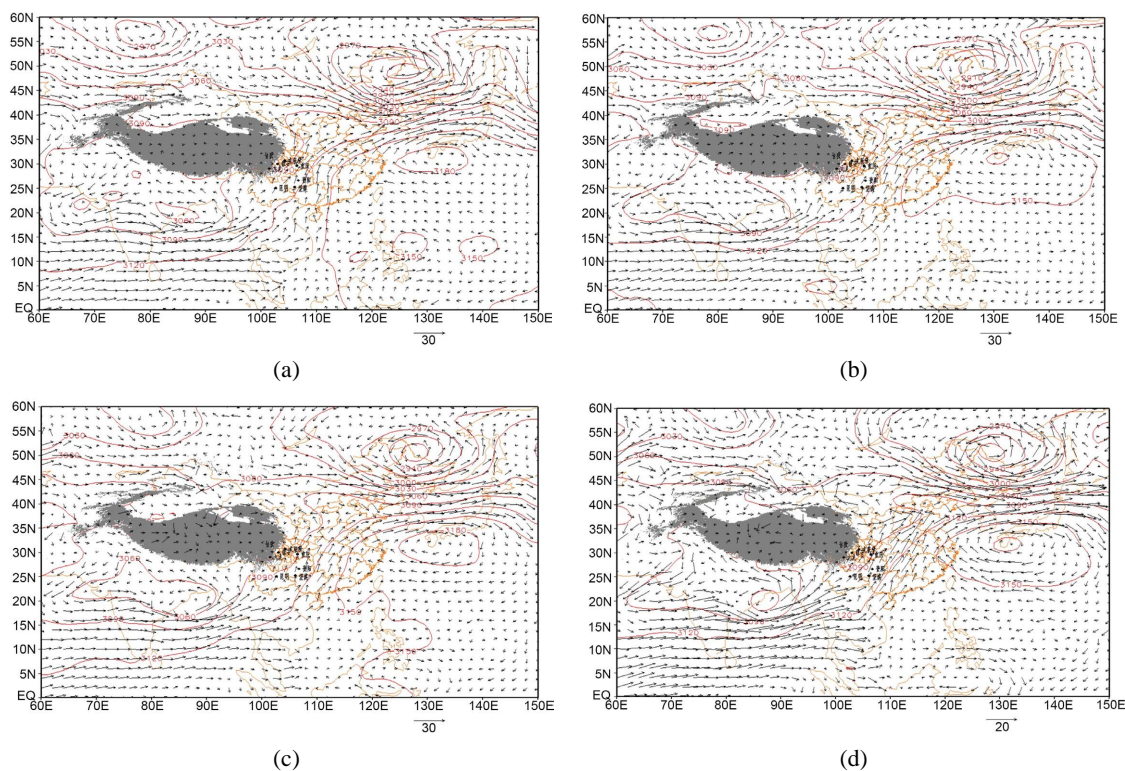
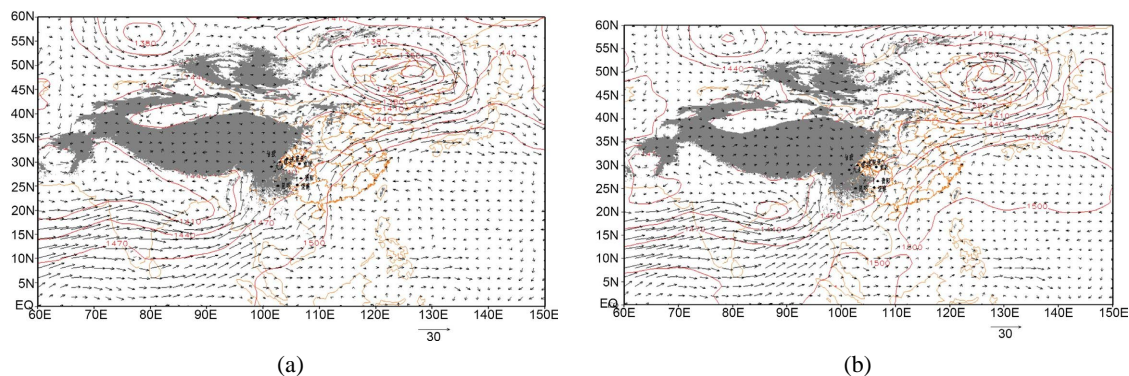


Figure 4. 700 hPa circulation field on 16 August. ((a) 02 h, (b) 08 h, (c) 14 h, (d) 20 h) (UTC)

图4. 8月16日700 hPa环流场。((a) 02时, (b) 08时, (c) 14时, (d) 20时) (UTC)

3.2.4. 850 hPa

从8月16日850 hPa环流形势图(图5)显示,四川盆地整体受偏南气流控制,认定四川盆地为暖湿气流。四川内部存在一个小的低涡系统。随着时间推移,低压槽逐渐减弱为切变线,整个低值系统位于盆地的东北部,对龙泉驿区影响增大。



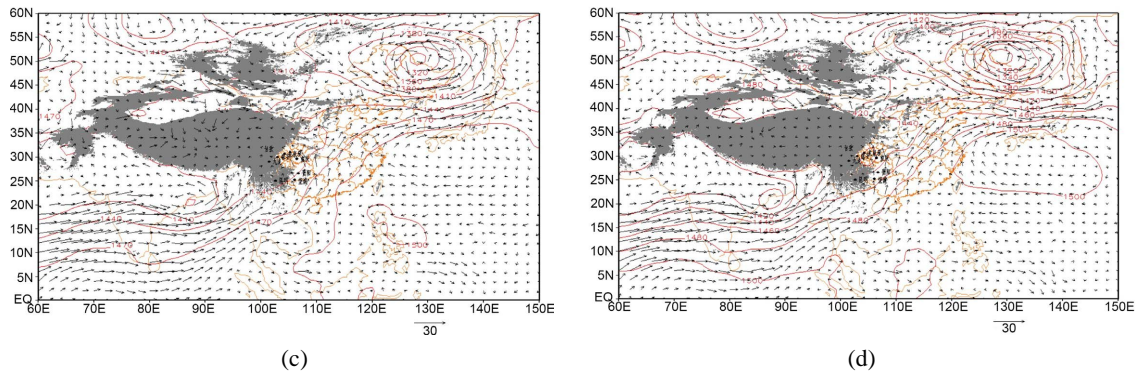


Figure 5. 850 hPa circulation field on 16 August. ((a) 02 h, (b) 08 h, (c) 14 h, (d) 20 h) (UTC)
图 5. 8 月 16 日 850 hPa 环流场。((a) 02 时, (b) 08 时, (c) 14 时, (d) 20 时) (UTC)

3.3. 动力条件

由 2020 年 8 月 14 日至 16 日的垂直速度剖面图(图 6)可知, 14 日 00 时起, 龙泉驿区 700 hPa 至 800 hPa 之间存在负的垂直速度并随时间逐渐增加, 到 16 日 08 时左右到达最大值, 高度在 700 hPa 左右, 说明此时大气上升运动最为强烈, 有利于强对流的发展。

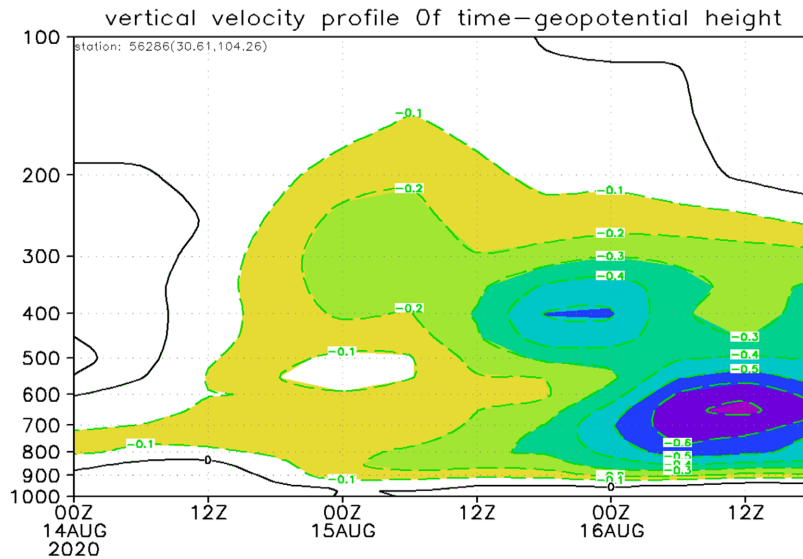


Figure 6. Vertical velocity profile of Longquanyi District on 14~16 August
图 6. 龙泉驿区 8 月 14~16 日垂直速度剖面图

从 2020 年 8 月 14 日~16 日的垂直螺旋度剖面图(图 7)可知。15 日 00 时起, 约 600 hPa 之下出现正的垂直螺旋度, 高层为负的垂直螺旋度, 有利于对流活动的增强。随着时间推移, 至 16 日 00 时底层正值垂直螺旋度发展旺盛, 300 hPa 以下都为正垂直螺旋度, 到 16 日 06 时, 正垂直螺旋度达到最大值, 但高度有所回落, 降水达到峰值。此时, 低层上升, 具有气旋涡度, 而高层下沉, 具有反气旋涡度, 对流活动强烈, 大气不稳定。之后垂直螺旋度逐渐减弱, 暴雨逐渐结束。

由 8 月 14 至 16 日的垂直涡度剖面图(图 8)可知, 从 8 月 14 日 12 时开始, 龙泉驿区中低层开始有较强的正涡度产生, 高层区域为负涡度。到 8 月 15 日 00 时, 正涡度区域显著上升到达 250 hPa 左右, 低层正涡度加强, 气旋性运动强烈, 在高层反气旋运动的配合下, 有利于强对流的产生, 暴雨雨量在此时

有明显增加。之后低层正涡度有所减弱，雨量有所减小但仍处于暴雨阶段。在 15 日 20 时又再次加强，雨量再次增加，直至 16 日 20 时开始大幅减弱，暴雨过程结束。

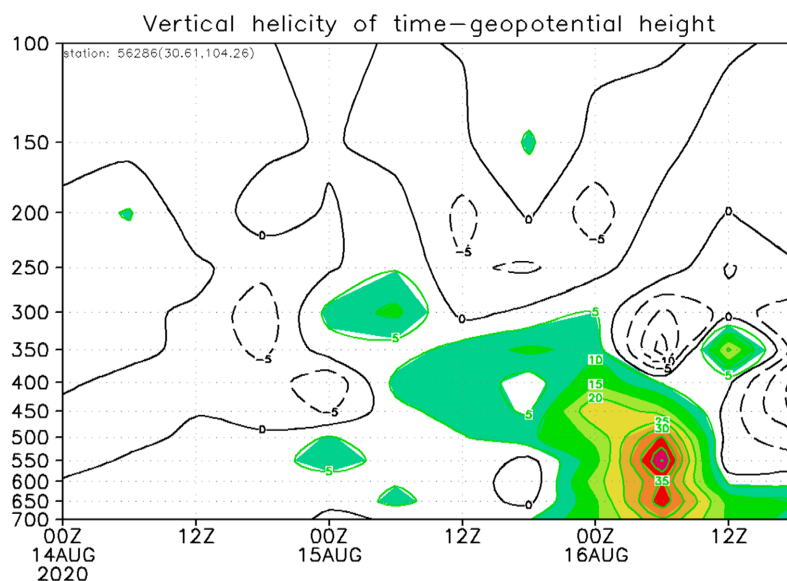


Figure 7. Vertical helicity profile of Longquanyi District on 14~16 August (units: $\times 10^{-7}$ hPa·s⁻²)
图 7. 龙泉驿区 8 月 14~16 日垂直螺旋度剖面图(单位: $\times 10^{-7}$ hPa·s⁻²)

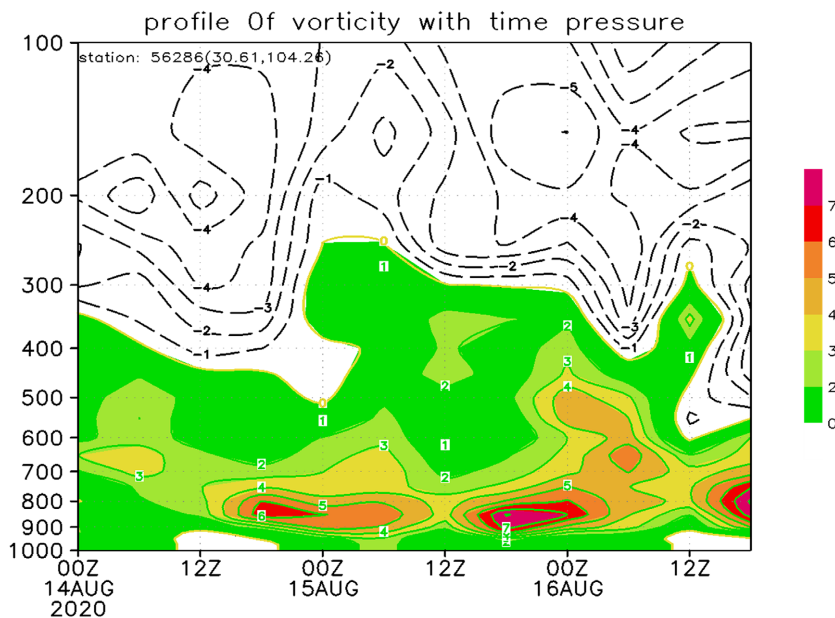


Figure 8. Vorticity profile of Longquanyi District on 14~16 August (unit: $\times 10^{-4}$ ·s⁻¹)
图 8. 龙泉驿区 8 月 14~16 日涡度剖面图(单位: $\times 10^{-4}$ ·s⁻¹)

3.4. 热力条件分析

从龙泉驿区 8 月 14 至 16 日的假相当位温图(图 9)可知,龙泉驿区自 15 日起 600 hPa 以下的假相当位温呈现为舌区,即假相当位温随高度降低,表明此时大气不稳定性较大,暴雨正处于发展阶段。而到了 16 日 20 时,大气趋于稳定,表明暴雨已经进入结束阶段。

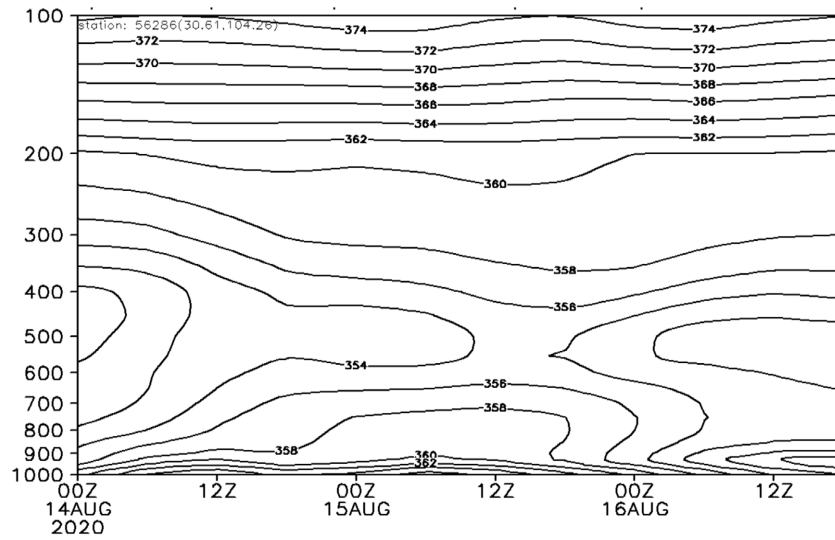


Figure 9. False equivalent temperature map for 14~16 August in Longquanyi District (unit: K)
 图 9. 龙泉驿区 8 月 14~16 日假相当位温图(单位: K)

3.5. 水汽条件

从暴雨过程的整层水汽通量图(图 10)可知, 本次龙泉驿区暴雨水汽输送的主要系统是四川, 云南西南部的西南急流, 由图(图 10(a))可知, 16 日 02 时暴雨产生之前, 水汽通道就已经建立, 自孟加拉湾和南海的水汽途径云南, 广西最后抵达四川, 为本次暴雨提供了充足的水汽条件。而降水量最大的 16 日 14 时(图 10(c)), 水汽通道整体向南偏移, 水汽输送明显增加, 这种条件极利于暴雨的发展。

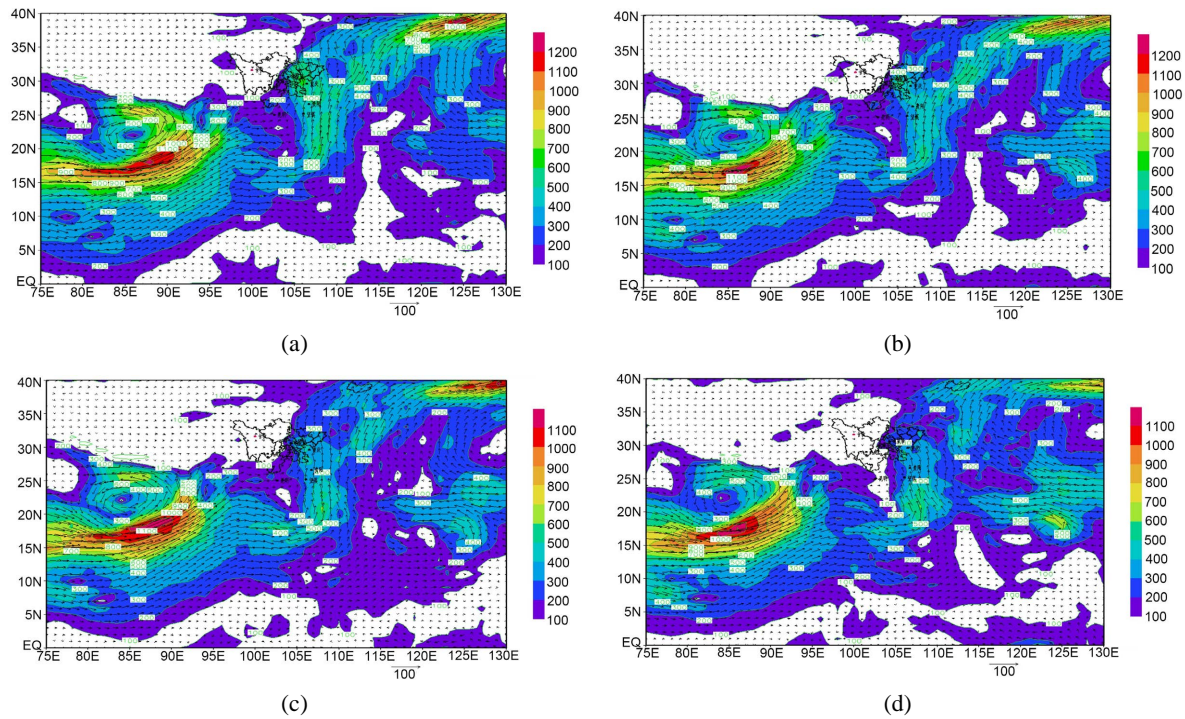


Figure 10. Whole layer water vapour fluxes on 16 days. ((a) 02 h; (b) 08 h; (c) 14 h; (d) 20 h)
 图 10. 16 日整层水汽通量。((a) 02 时; (b) 08 时; (c) 14 时; (d) 20 时)

由四川水汽通量散度图(图 11)可知,自 16 日 02 时(图 11(a))起以江油为中心,绵阳,都江堰,龙泉驿区附近皆有较强的负的水汽散度,表面此时水汽辐合上升,有剧烈的抬升作用,有利于暴雨的产生与发展。至 16 日 08 时(图 11(b))时,龙泉驿区水汽负散度略有降低,此时降水相对于较为平缓,至 16 日 14 时(图 11(c))时龙泉驿区水汽负散度再次增强达到最大值,暴雨过程发展到最为旺盛的阶段。最后至 16 日 20 时(图 11(d))负散度减弱,暴雨过程趋于结束。

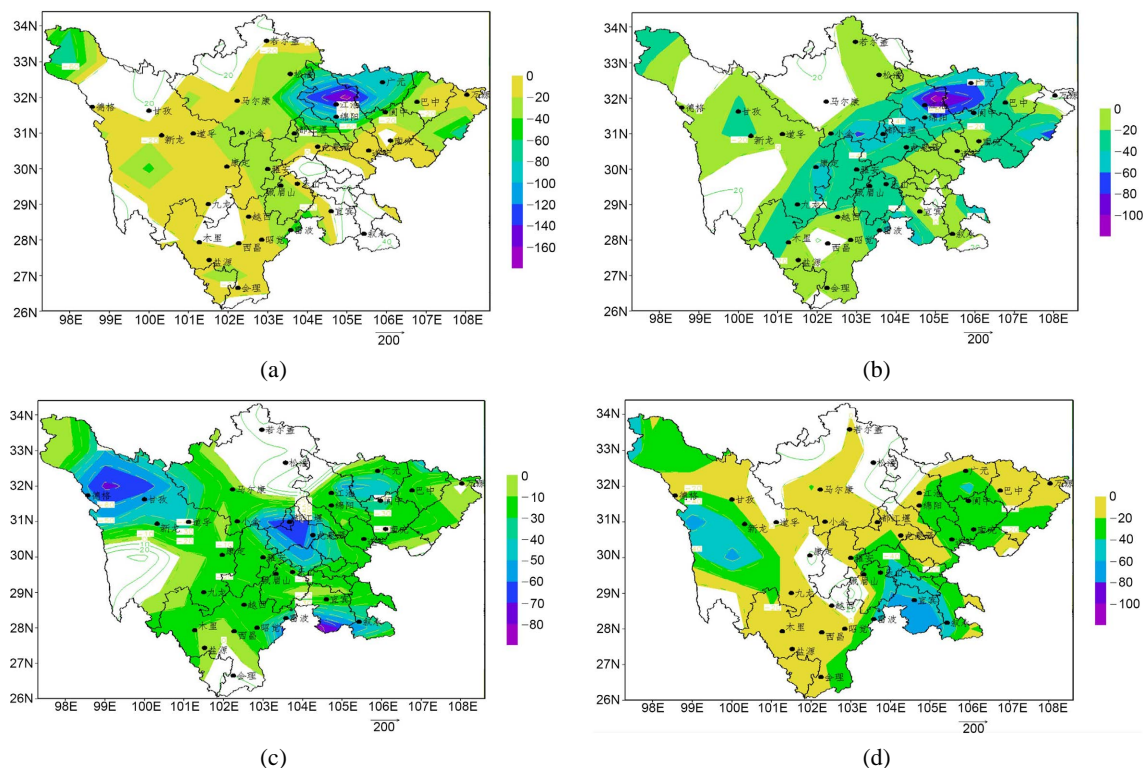


Figure 11. 16 day 850 hPa water vapour flux dispersion. ((a) 02 h; (b) 08 h; (c) 14 h; (d) 20 h)

图 11. 16 日 850 hPa 水汽通量散度。((a) 02 时; (b) 08 时; (c) 14 时; (d) 20 时)

综上所述,龙泉驿区此次暴雨过程,是由于在南亚高压的影响下,500 hPa 高度场上四川受槽前正涡度平流的影响,在与低空西南涡的耦合下,为本次暴雨过程提供动力条件。而副高和西南急流使得孟加拉湾与南海的水汽能够进入四川盆地,为本次暴雨过程提供水汽条件。其次假相当位温表明,大气不稳定层结随着时间发展,有充足的不稳定能量,同时上冷下暖的结构也为本次暴雨过程的发展提供热力条件。经过上述过程的共同作用,从而产生了本次龙泉驿区的大暴雨过程。

4. 结论

利用 2020 年 8 月 14~16 日 NCEP/FNL 全球逐日再分析资料,网格距 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$,时间间隔为 6 h 和龙泉驿区本站的逐日降水量资料,通过动力诊断、热力诊断及水汽输送特征等分析,对 2020 年 8 月 16 日龙泉驿区暴雨天气过程进行了详细研究,结果如下:

1) 2020 年 8 月 15 日至 16 日此次特征暴雨过程中,100 hPa 南亚高压脊线位置位于 35°N 附近,500 hPa 副高表现强盛位于 25°N 左右,在 850~700 hPa 低层上空的切变线、西南低涡逐渐东移与副高西北侧的西南低空急流相互作用,从而诱发暴雨的产生。

2) 通过环境条件的分析可以发现,从垂直螺旋度,垂直速度及涡度剖面图可知,此次过程大气表现

为上升状态, 这样的上升状态有利于大气不稳结构的维持与发展, 同时涡度剖面图也表明, 低层正涡度的气旋性运动与高层负涡度的反气旋运动, 为大气上升运动提供抬升条件。而本次暴雨的水汽条件, 是由西南急流所运输的来自孟加拉湾和南海的水汽。水汽受抬升作用辐合上升, 诱发暴雨的产生。而假相当位温则表明暴雨发生过程中的不稳定层结, 随着时间推移而增强, 有利于暴雨的发展。

参考文献

- [1] 邱静雅, 李国平, 郝丽萍. 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.
- [2] 程晓龙, 李跃清, 衡志炜. 川贵渝复杂地形下横槽诱发双涡贵州暴雨过程的数值模拟[J]. 气象学报, 2021, 79(4): 626-645.
- [3] 桑友伟, 孟蕾, 周玉. 1968-2018年湘北地区暴雨过程气候特征及变化趋势[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(9): 3487-3494.
- [4] 高筱懿, 赵俊虎, 周杰, 等. 1961-2018年长江中下游地区暴雨过程的客观识别及其变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(3): 329-339.
- [5] 贾文韬, 孙即霖, 高山红. 西风急流对鲁西北一次暴雨过程的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2018(4): 13-20.
- [6] 林晓霞, 冯业荣, 张诚忠, 等. 华南一次暴雨过程热力和动力特征的诊断分析[J]. 热带气象学报, 2017, 33(6): 975-984.
- [7] 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.
- [8] 赵宇, 李静, 杨成芳. 与台风海鸥相关暴雨过程的水汽和干侵入研究[J]. 高原气象, 2016, 35(2): 444-459.
- [9] 程晓龙, 李跃清. 一次两涡作用下的贵州大暴雨过程分析[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1490-1500.
- [10] 李琴, 崔晓鹏, 曹洁. 四川地区一次暴雨过程的观测分析与数值模拟[J]. 大气科学, 2014, 38(6): 1095-1108.
- [11] 陈永仁, 李跃清. “12.7.22”四川暴雨的 MCS 特征及对短时强降雨的影响[J]. 气象, 2013, 39(7): 848-860.
- [12] 吴启树, 郑颖青, 林金淦, 等. 一次暴雨过程的动力诊断[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 21-25.
- [13] 郭文刚, 王坚红, 于华, 等. 西风槽与强热带风暴配置下动力正、斜压性对暴雨影响研究[J]. 气象科学, 2013, 33(3): 347-354.
- [14] 任丽, 赵柠, 赵美玲, 等. 两次副热带高压北侧暖锋暴雨动力热力诊断[J]. 高原气象, 2021, 40(1): 61-73.