

2021年5月深圳一次暴雨天气过程诊断分析

曹耘畅

南京信息工程大学大气科学院, 江苏 南京

收稿日期: 2022年4月20日; 录用日期: 2022年5月20日; 发布日期: 2022年5月26日

摘要

本文采用NCEP再分析资料、地面常规气象观测资料, 运用天气学诊断分析方法对深圳市2021年5月31日的一次暴雨天气过程进行分析。结果表明: 1) 导致本次暴雨的中尺度天气系统是低层850 hPa切变线, 其南侧的西南风带将大量水汽输送至暴雨区, 同时暴雨落区、降水量突增发生时间与切边线移动及偏南大风带前端的位置配合较好。2) 本次暴雨水汽来源主要为南海区域和北部湾, 水汽辐合带自南向北传播, 暴雨发生前深圳上空较强的水汽辐合区, 为此次暴雨提供充足的水汽供应。3) 本次暴雨的动力结构表现为低层强辐合, 高层强辐散, 符合抽吸原理, 加强了垂直上升运动强度, 因此垂直运动可以作为深圳今后暴雨预报的提前指示量。

关键词

深圳暴雨, 切变线, 物理量诊断

Diagnostic Analysis of a Rainstorm Weather Process in Shenzhen in May 2021

Yunchang Cao

Academy of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

Received: Apr. 20th, 2022; accepted: May 20th, 2022; published: May 26th, 2022

Abstract

Using NCEP reanalysis data and ground conventional meteorological observation data, this paper analyzes a rainstorm weather process in Shenzhen on May 31, 2021 by using synoptic diagnostic analysis method. The results show that: 1) the mesoscale weather system leading to this rainstorm is the low-level 850 hPa shear line. The southwest wind belt on the south side of it transports a large amount of water vapor to the rainstorm area. At the same time, the rainstorm falling area and the occurrence time of sudden increase of precipitation are well matched with the movement of the shear line and the position of the front end of the southerly gale belt. 2) The water vapor

source of this rainstorm is mainly from the South China Sea and Beibu Gulf. The water vapor convergence zone spreads from south to north. The strong water vapor convergence area over Shenzhen before the rainstorm provides sufficient water vapor supply for this rainstorm. 3) The dynamic structure of this rainstorm is characterized by strong convergence at the low level and strong divergence at the high level, which conforms to the suction principle and strengthens the intensity of vertical upward movement. Therefore, the vertical movement can be used as an early indicator of Rainstorm Forecast in Shenzhen in the future.

Keywords

Rainstorm in Shenzhen, Shear Line, Physical Quantity Diagnosis

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

暴雨是我国主要的气象灾害之一，强暴雨可以引起洪水泥石流等自然灾害，城市发生强度较大暴雨会导致人员伤亡，交通瘫痪，暴雨一般是由中尺度天气系统直接造成，暴雨发生时，往往伴随着雷电，狂风等自然现象，对人民的生命财产安全造成巨大的危害，对国民生产建设也带来了巨大的威胁[1]。同时，在全球范围内，极端暴雨事件发生的次数也在不断增加[2][3]，我国地形复杂，国土面积辽阔，近些年来，因暴雨导致的灾害损失事情时常发生。例如，2011年6月9日，一次强暴雨天气过程袭击了湖北和湖南两省份。其中湖北省局部地区降水量值创近200年来记录，整个省份共计有20多个县市出现了强降水，湖南省约有1500平方千米面积的降水量在200毫米以上。此次强暴雨天气过程，造成严重的洪涝灾害，大量房屋受损严重，交通瘫痪，暴雨导致了湖北湖南两省份因灾死亡41人，失踪33人，造成直接经济损失高达9.57亿元。因此，对暴雨的及时准确预报就显得尤为重要，对灾前的防御准备工作具有十分重要的科学意义和指导作用。

国内外对于暴雨天气过程的研究分析比较多，其中一大部分的研究主要是以某一地区，某一时间发生的一次或者多次暴雨天气过程为个例分析[4][5][6][7][8]，通过相关气象资料数据，对暴雨发生过程的低层及高层的环流形式，动力结构，水汽条件及来源，不稳定能量等进行详细的探究，从而分析出该次暴雨天气过程的特征，为当地暴雨的预告提供现实的理论参考依据。高宇[9](2019)等利用NOAA提供的逐日分析资料，对陕西省2015年6月28日的一次特大暴雨天气过程进行了相关研究分析，计算了陕西省该次特大暴雨垂直速度，水汽通量散度等物理量值，分析结果表明，孟加拉湾和青藏高原是陕西省此次暴雨的主要水汽来源，同时也发现，陕西省低空850 hPa水汽通量散度值为负，表明在暴雨期间，大量的水汽在陕西省低空汇聚，而高空500 hPa则为水汽的辐散区，正是在这种高低空有利的动力配置状况下，暴雨的强度得以不断增强。张凌云[10]利用NCEP再分析资料和当地的区域自动站资料，详细而深入地分析了桂北地区某一次强暴雨天气过程，作者着重分析了桂北地区此次暴雨天气过程的大范围环流形势，分析得出了此次暴雨的大范围环流形势是在500 hPa两槽一脊的形势下，同时季风涌北推与越赤道气流的增强，共同为此次暴雨提供了大量充足的水汽供应，另外高低空急流耦合的配置形势在此次暴雨中也特别重要，是暴雨得以强大发展的有利动力机制。北方的降水主要受冷涡影响，姜湖园[11]对2019年北方呼伦贝尔市的一次暴雨天气过程进行了分析和探讨，分析得出了气旋冷涡在此次东移过程

中主要受到大兴安岭阻挡的影响,冷涡强度从而得以不断得到增强,对降水的持续加大具有有利的促进作用。而对于南方暴雨天气过程,特别是华南地区的暴雨天气过程的研究,国内学者对此也发表了大量的相关论文,但对于华南地区暴雨的预报作用依然有限,还需进一步加强对相关暴雨过程的研究分析。本文通过分析一次深圳暴雨天气过程,从天气系统、水汽条件、动力条件等方面,研究引起本次暴雨天气的形成机制,为今后深圳暴雨预报及研究提供一定参考。

2. 环流背景

强对流过程一般出现在有利的高低空系统配置下,从500 hPa图(图1)上分析此次雷暴强对流天气发生

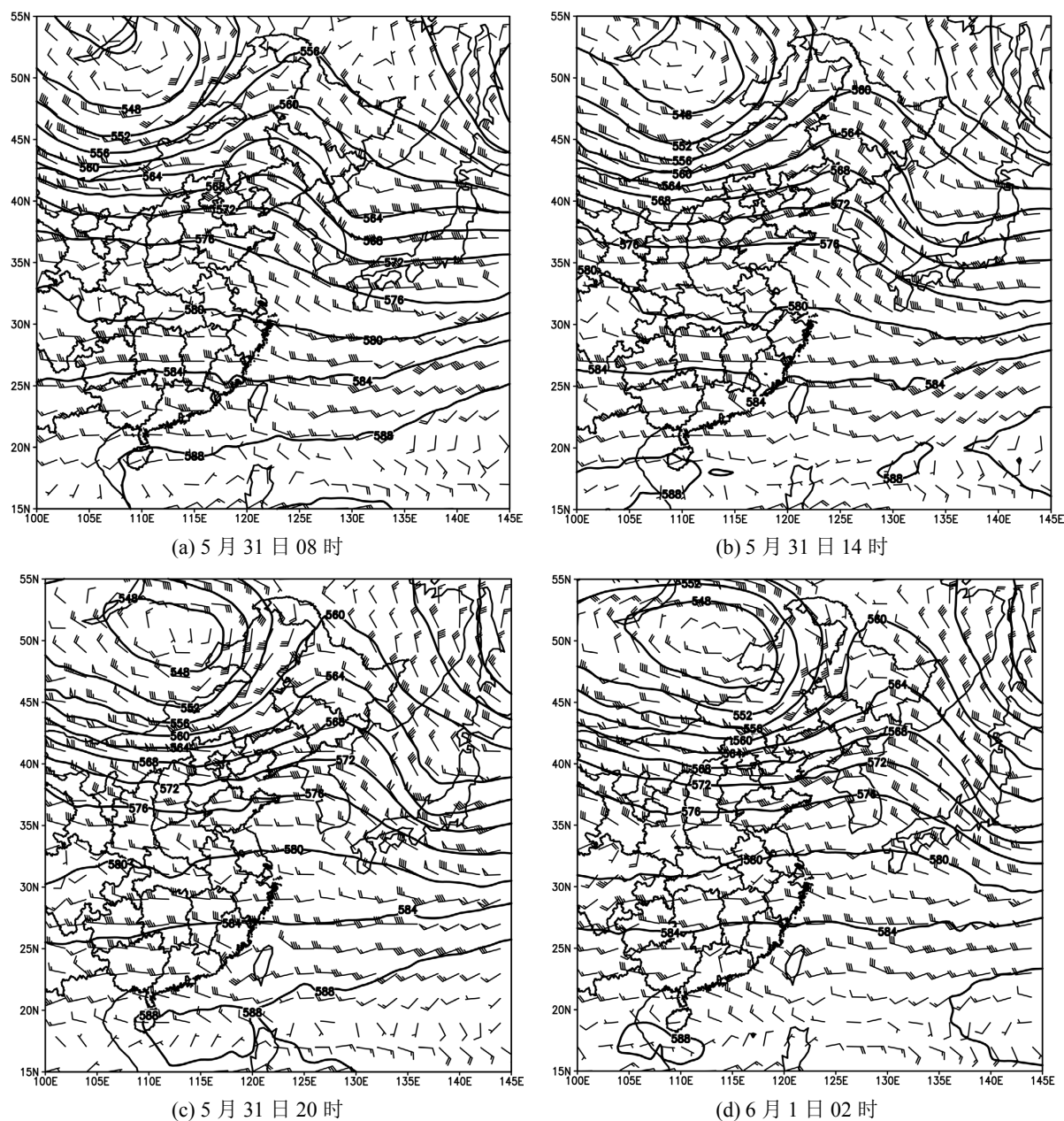


Figure 1. May 31st to Jun 1st in 2021 500 hPa geopotential height field and wind field

图1. 2021年5月31~6月1日500 hPa位势高度场及风场

前、中、后期的高空环流形势。31日08时,在降水过程开始前,欧亚中高纬度500 hPa高度场上基本为两槽一脊型(图1(a)),阻塞高压位于内蒙古东北部地区,其下游地区存在短波槽,槽前冷空气南下,进入我国长江、淮河流域,副热带高压西伸,西脊点位于我国海南岛地区,呈带状分布,北界控制我国南海地区;槽区分别位于蒙古国-内蒙古中西部-河套以西地区一线以及日本国西南部-西太平洋一线,槽后偏北气流引导冷空气持续南下。至31日14时(图1(b)),在我国华南地区有一短波槽,槽后西北气流引导冷空气南下,与槽前西南暖湿气流交汇,为暴雨的形成提供了良好的动力热力条件;至31日20时(图1(c)),槽线过境,深圳地区发生雷雨天气过程;至6月1日02时(图1(d)),槽线已经移动至我国台湾海峡地区,深圳地区降水过程逐渐结束。

此外西太平洋副热带高压(以下简称副高)在中低纬地区加强,西伸北抬,西伸脊点在 105°E , 20°N 附近;副高的加强西伸,既延滞了东亚深槽的移动,又促使西南气流加强,为降水区输送大量的暖湿气流。内蒙古东北部地区高压脊线的维持,使得内蒙古中西部地区的槽线移动缓慢,无法有效输送干冷的空气。到31日14时(图1(b)),华南地区的槽线得以发展,为暴雨的发生发展提供了有利的动力及热力条件。由高空环流形势分析可知,在对流中层风场出现辐合,副高西伸北抬,再配合华南地区的槽线的发展,这些都是有利于暴雨发生发展的一些基本条件。

从700 hPa图(图2)上分析此次雷暴强对流天气发生前、中、后期的环流形势,华南地区处于弱辐合区,使得槽线进一步维持加强且向东北方向移动。31日14时(图2(b)),有一横槽位于我国西南-华南地区以及东海一线,为暴雨的发生提供了良好的动力热力条件;至31日20时(图2(c)),槽线北抬至我国台湾海峡东北部地区,而深圳地区于19时达到了强暴雨级别;至6月1日02时(图2(d)),槽线已经移动至我国东海地区,深圳地区降水过程基本结束。

从850 hPa图(图3)上分析此次雷暴强对流天气发生前、中、后期的环流形势,850 hPa位势高度场揭示了本次华南地区强降水过程的水汽来源,加强的西南气流将大量水汽由孟加拉国以及我国南海地区输送至我国华南地区,与东北气流交汇,华南地区形成暖式切变线。上游的江淮流域地区又有新的短波槽形成,不断引导冷空气南下,与南部暖湿气流交汇,为本次暴雨过程的形成提供了有利条件。31日08时(图3(a)),华南地区低空形成了西南急流,且深圳地区此时处于西南气流中,为暴雨的形成提供了大量的暖湿气流;至31日14时(图3(b)),急流进一步北抬,且延伸至我国东海以及西太平洋地区;至31日20时(图3(c)),在我国台湾东北部地区形成了一闭合的气旋,此时华南地区有较大的风切边,而这样的切边又为暴雨的持续提供了动力条件;至6月1日02时(图3(d)),横槽移动至我国东海地区,此次降水过程基本结束。

3. 水汽条件

从850 hPa水汽通量场上分析此次雷暴强对流过程发生前、中、后期的水汽条件,可以看到,31日08时(图4(a)),本次雷暴强对流过程开始前,在广西、广东一带存在低层水汽通量的大值区,水汽通量大值区呈片状分布,水汽通量大值区的中心出现在广东省西南部地区,中心数值超过 $18\text{ g}(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$,此水汽通量大值区位于深圳市的上游,未来即将东移影响深圳市。同时,可以看到深圳市上游存在较强的偏南水汽平流,有利于将孟加拉湾及南海上的水汽进一步向深圳方向输送,提供深圳市雷暴强对流过程所需的水汽条件;31日14时(图4(b)),本次雷暴强对流过程开始前,广西、广东一带的低层水汽通量的大值区继续东移,水汽通量大值区仍然呈片状分布,覆盖了深圳市,水汽通量大值区的中心出现在广东省东北部地区,中心数值超过 $20\text{ g}(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$ 。同时,可以看到深圳市上游存在较强的偏南水汽平流,且同上一时段相比有一定程度的加强,同时在海南省的西南部有新的水汽通量大值区生成,有利于将孟加拉湾及南海上的水汽进一步向深圳方向输送,提供深圳市雷暴强对流过程所需的水汽条件。

31日20时(图4(c)),本次雷暴强对流过程进行中,广西、广东一带的低层水汽通量的大值区面积有一定的缩小,水汽通量大值区呈现条状分布,覆盖了深圳市,表明水汽已经得到一部分释放。水汽通量大值区的中心出现在广西省东部地区和广东省东北部地区,中心数值超过 $20\text{ g}(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$ 。同时,可以看到深圳市上游仍存在一定的偏南水汽平流,同时在海南省的西南部有新的水汽通量区生成,有利于将孟加拉湾及南海上的水汽进一步向深圳方向输送,深圳市的强对流过程和降水过程仍将有一定的持续。

6月1日02时(图4(d)),本次雷暴强对流过程已基本结束,广西、广东一带的低层水汽通量的大值区面积进一步缩小,水汽通量大值区呈现条状分布,逐步南退,深圳市处于低层水汽通量大值区边缘,表明水汽已经得到大量凝结、释放。水汽通量大值区的中心出现在广西省西南部地区,中心数值超过 $20\text{ g}(\text{s}\cdot\text{hPa}\cdot\text{cm})$,若其东移将带来下一波强对流和降水过程。同时,可以看到深圳市上游仍存在一定的偏南水汽平流,同时在海南省的西南部有新的水汽通量区生成。

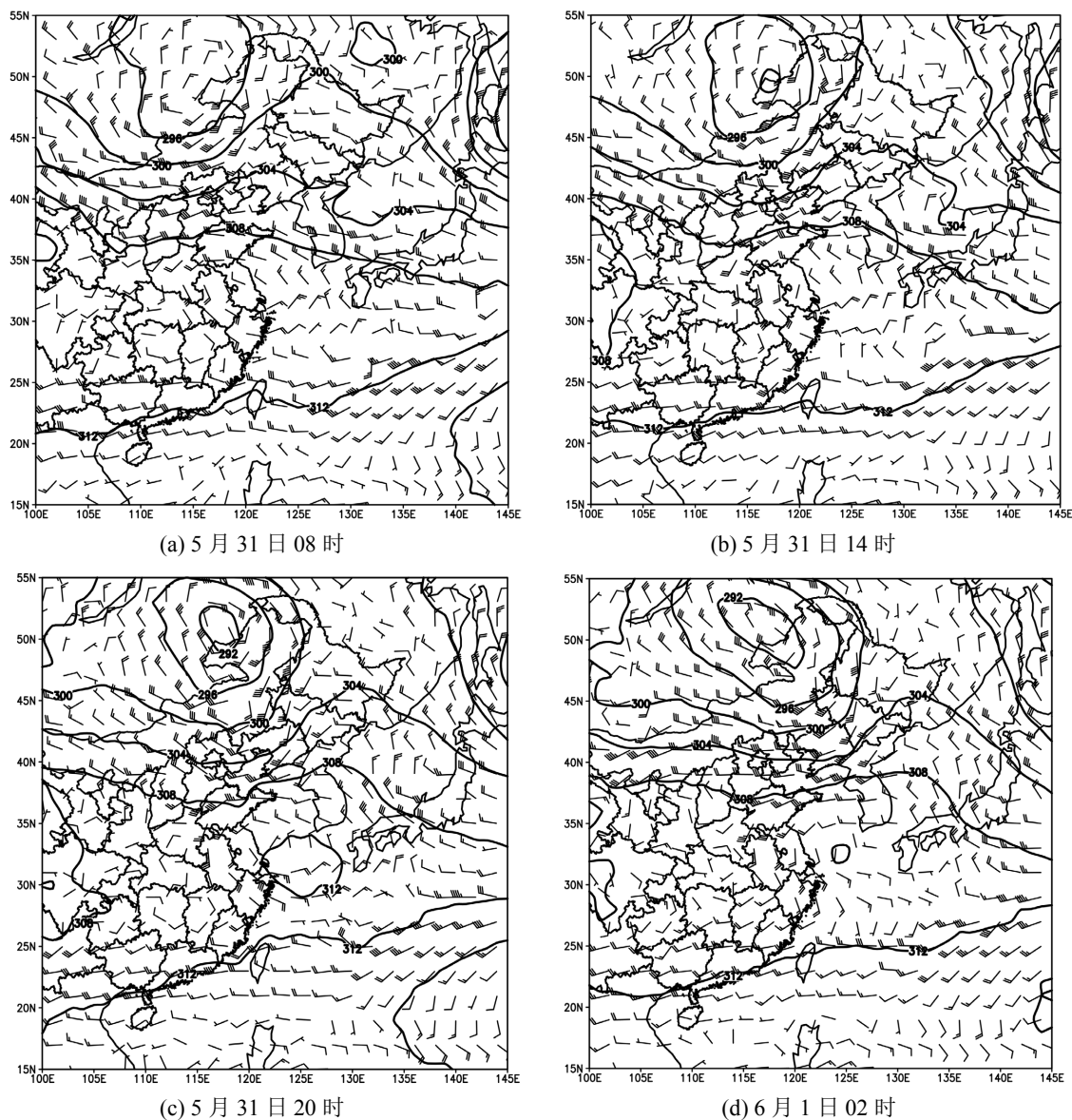


Figure 2. May 31st to Jun 1st in 2021 700 hPa geopotential height field and wind field
图 2. 2021 年 5 月 31~6 月 1 日 700 hPa 位势高度场及风场

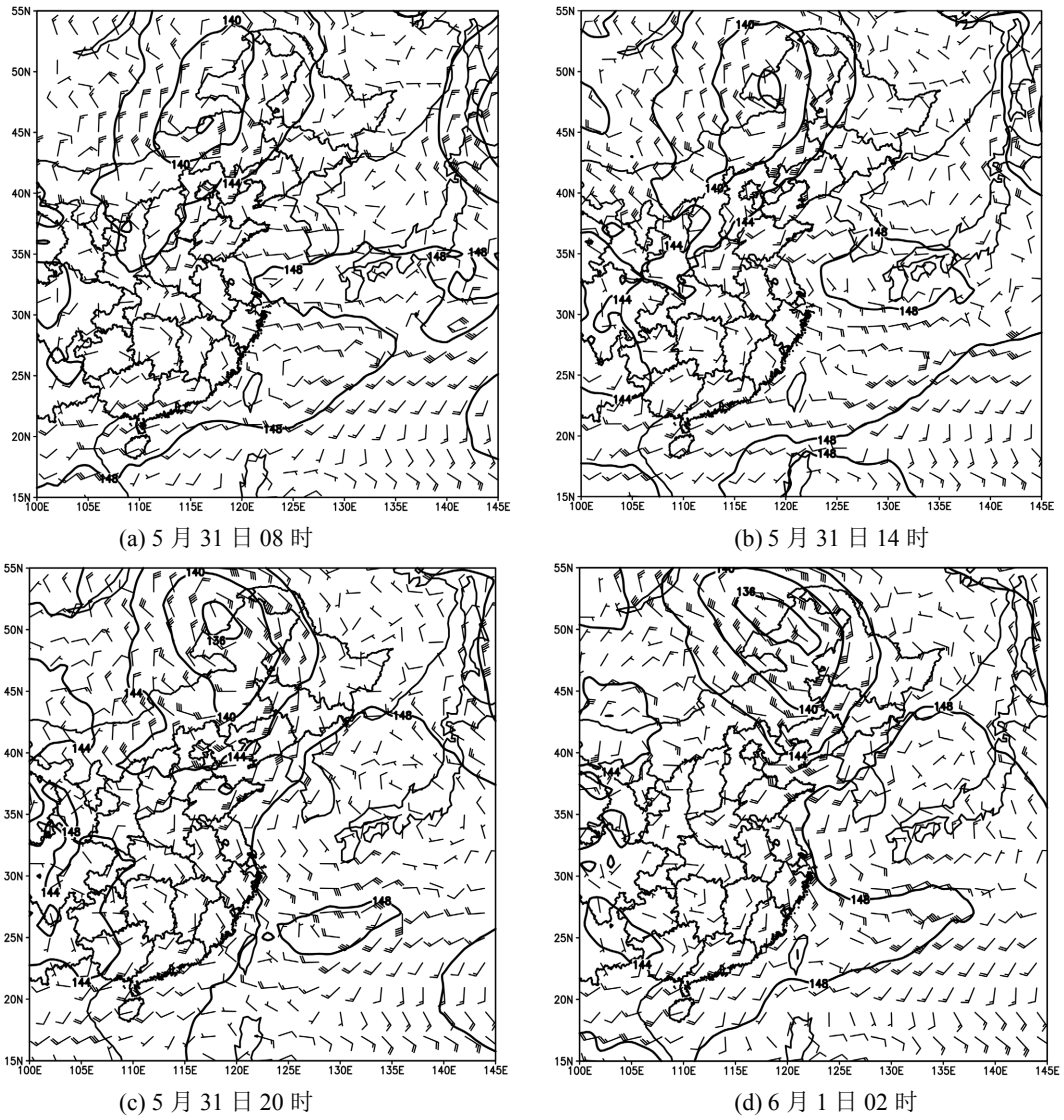
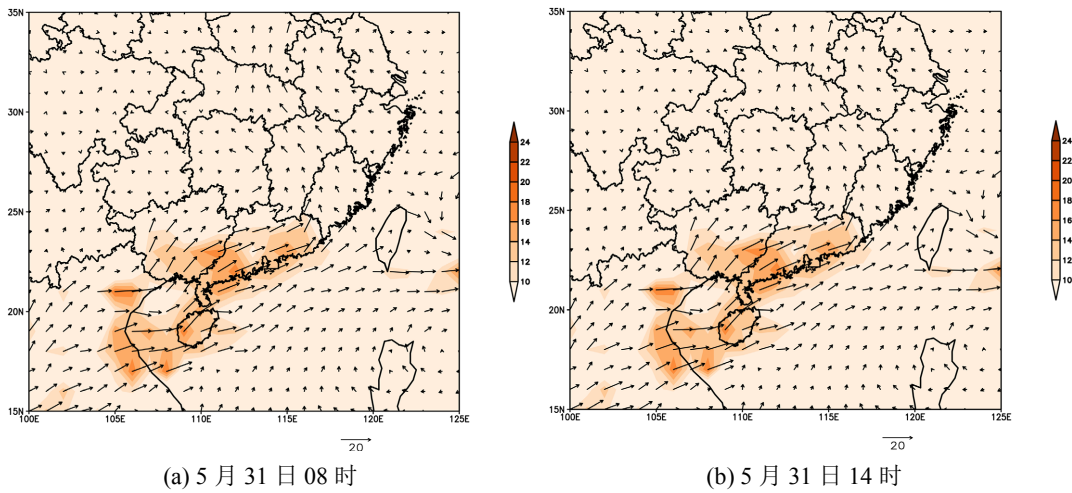


Figure 3. May 31st to Jun 1st in 2021 850 hPa geopotential height field and wind field

图 3. 2021 年 5 月 31~6 月 1 日 850 hPa 位势高度场及风场



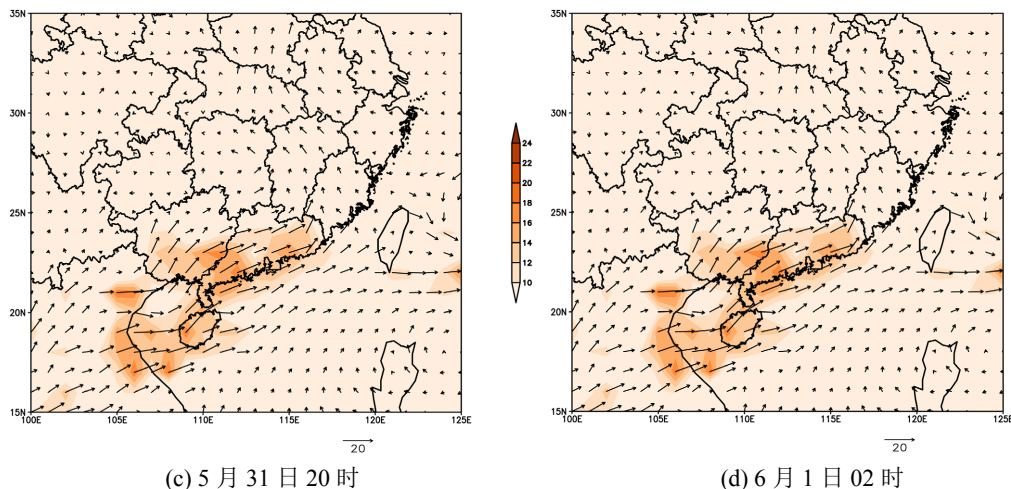


Figure 4. 2021 a) 08:00 on May 31; b) 14:00 on May 31; C) 20:00 on May 31; d) 02:00 on June 1 850 hPa water vapor flux
图 4. 2021 年 a) 5 月 31 日 08 时; b) 5 月 31 日 14 时; c) 5 月 31 日 20 时; d) 6 月 1 日 02 时 850 hPa 水汽通量

从比湿时间 - 高度剖面场(图 5)上分析此次雷暴强对流过程发生前、中、后期的本地水汽层结条件, 可以看到, 本次过程中, 比湿大值区层结十分深厚, 大于 6 g/kg 的湿层可达 600 hPa 以上, 近地层比湿在过程开始前(31 日 17 时之前)超过 18 g/kg, 过程开始后超过 20 g/kg, 强对流过程开始后, 随大量级降水的产生, 近地层比湿进一步加大, 过程结束后有一定程度的减弱。

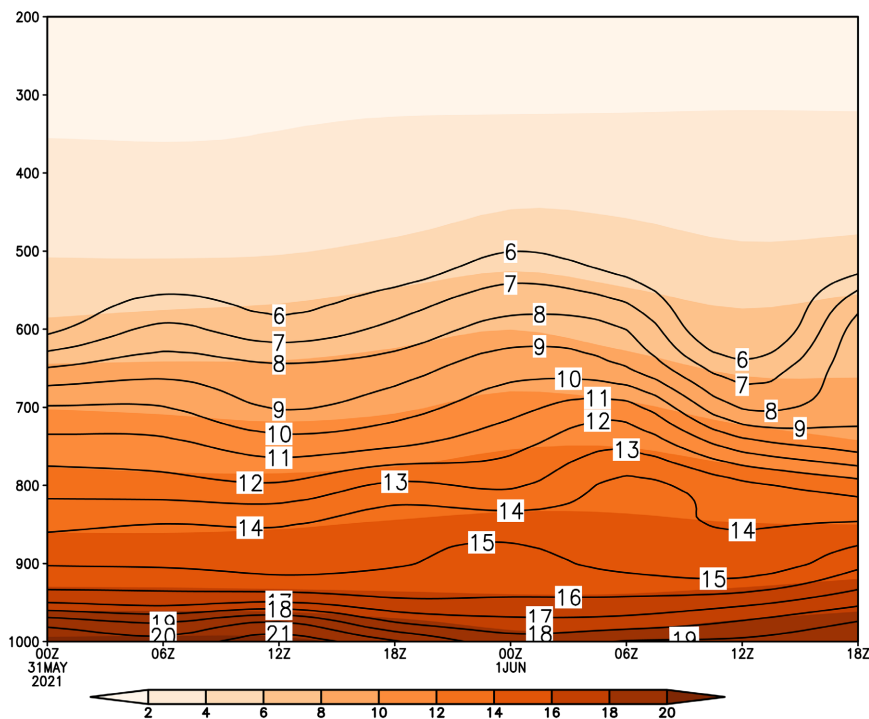


Figure 5. Specific humidity time height profile from 08:00 on May 31 to 02:00 on June 1, 2021
图 5. 2021 年 5 月 31 日 08 时至 6 月 1 日 02 时比湿时间 - 高度剖面

从水汽通量散度时间 - 高度剖面场(图 6)上分析此次雷暴强对流过程发生前、中、后期的水汽输送层结条件, 可以看到, 本次过程中, 过程开始前(31 日 17 时之前), 700 hPa 以下有非常显著的水汽通量散

度负值区,代表有明显的水汽辐合,风场上表现为较强的偏南风,有利于暖湿气流的向北输送,过程开始后(31日17时至20时),伴随水汽的大量凝结、释放,低层水汽通量散度有一定程度的减小,同时偏南风减弱,31日20时之后减弱更加明显,标志此次雷暴强对流天气的暂时结束。

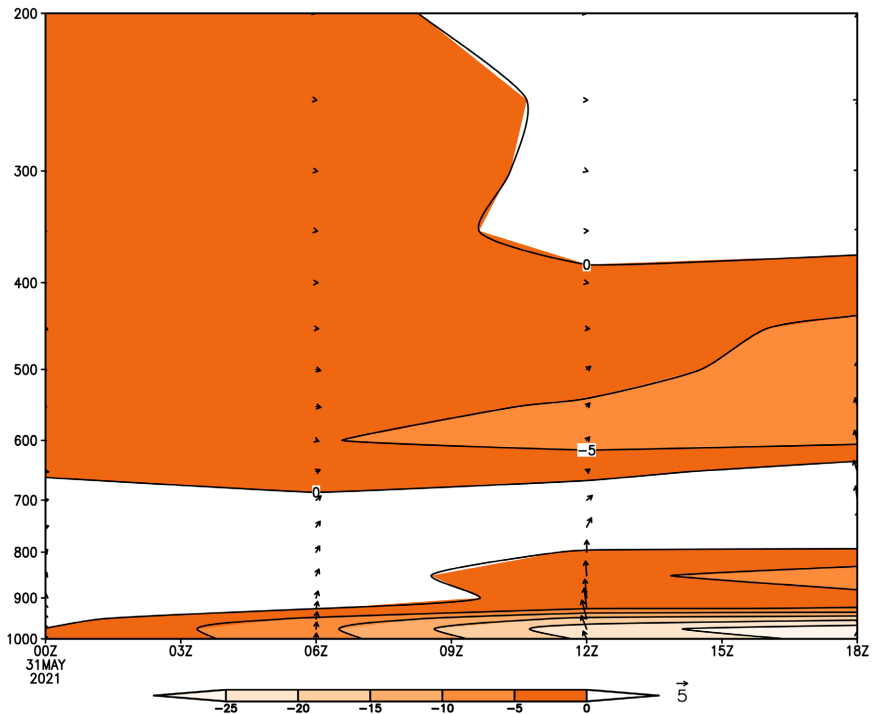
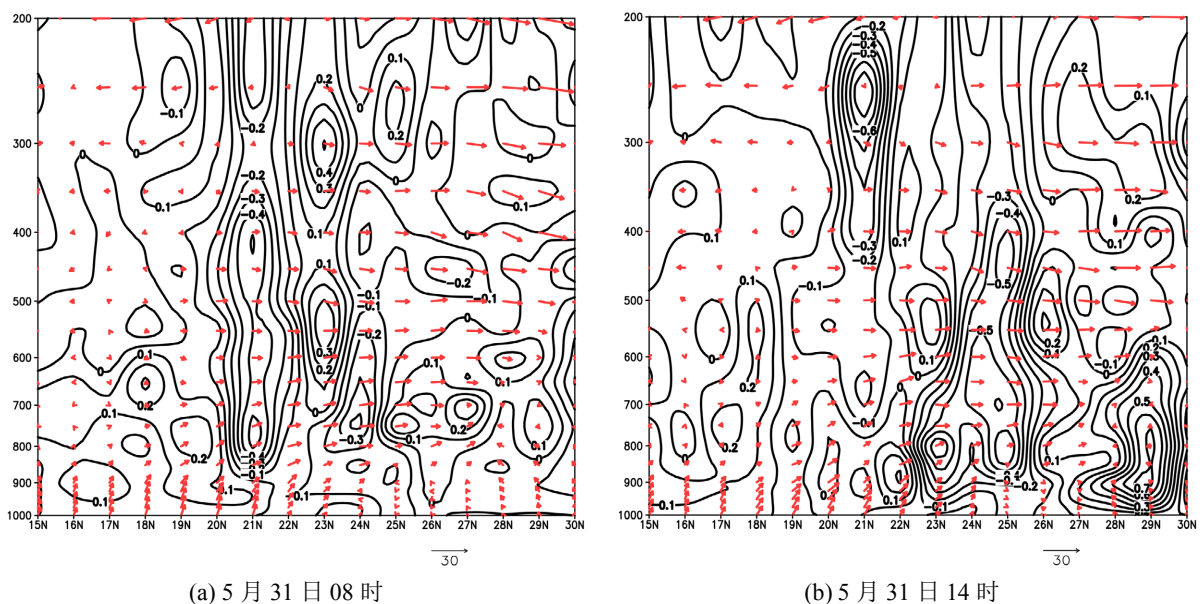


Figure 6. Water vapor flux divergence time height profile field from 08:00 on May 31 to 02:00 on June 1, 2021
图 6. 2021 年 5 月 31 日 08 时至 6 月 1 日 02 时水汽通量散度时间 - 高度剖面场

4. 动力条件

从垂直速度场和 u 、 v 风矢量场沿 113.49°E 剖面(图 7)分析此次雷暴强对流过程发生前、中、后期的动



(a) 5 月 31 日 08 时

(b) 5 月 31 日 14 时

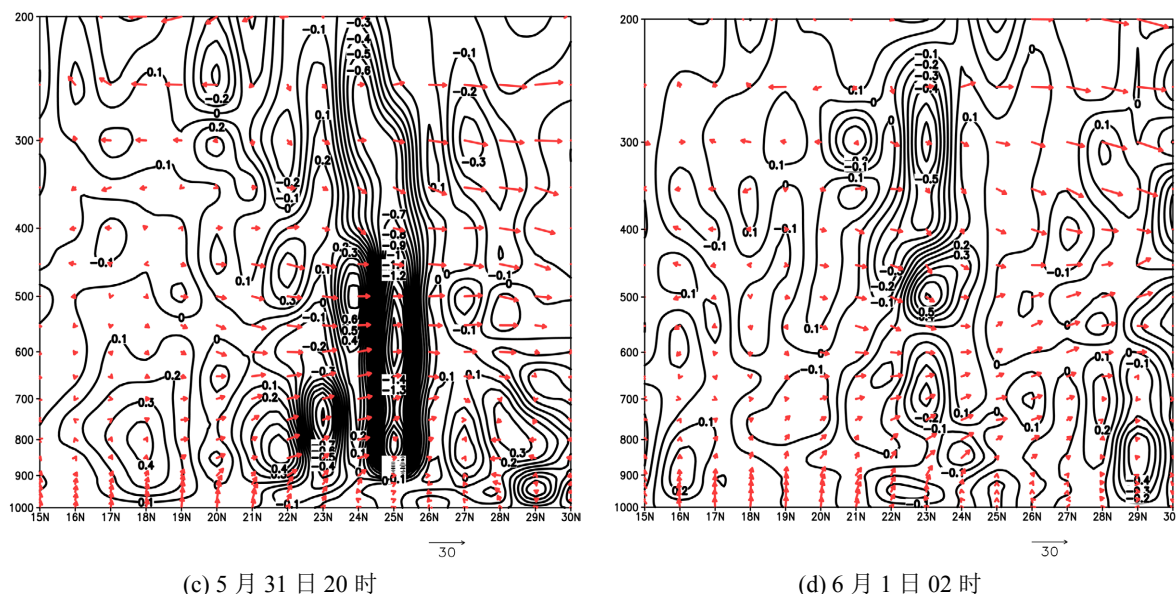


Figure 7. 2021 a) 08:00 on May 31; b) 14:00 on May 31; C) 20:00 on May 31; d) 02:00 on June 1 vertical velocity field and wind vector field along section 113.49°E

图 7. 2021 年 a) 5 月 31 日 08 时; b) 5 月 31 日 14 时; c) 5 月 31 日 20 时; d) 6 月 1 日 02 时垂直速度场和风矢量场沿 113.49°E 剖面

力层结条件, 可以看到, 31 日 08 时(图 7(a)), 本次雷暴强对流过程开始前, 20°N 以南, 深圳市上游地区有明显的 ω 场正值区, 表明有较强的下沉垂直运动, 在中低层表现更加明显。深圳市附近(21°N~22°N), 中低层有明显的上升垂直运动, 但强度较弱。31 日 14 时(图 7(b)), 本次雷暴强对流过程开始前, 20°N 以南, 深圳市上游地区仍有明显的 ω 场正值区, 但强度和达到的垂直高度已有一定程度的减弱, 表明下沉垂直运动有一定的减弱, 在中低层表现更加明显, 深圳市附近(21°N~23°N), 中低层显著上升垂直运动区域强度进一步加强。31 日 20 时(图 7(c)), 本次雷暴强对流过程进行中, 下沉垂直运动正值区到达 22°N, 深圳市上空出现非常强的垂直上升运动, 几乎贯穿整个对流层, 中心速度超过 1.5 Pa/s, 可见本次雷暴强对流过程具有非常优渥的动力条件。6 月 1 日 02 时(图 7(d)), 本次雷暴强对流过程已经基本结束, 高低空基本表现为较弱的下沉运动。

5. 结论

1) 导致本次暴雨的中尺度天气系统是低层 850 hPa 切变线, 其南侧的西南风带将大量水汽输送至暴雨区, 同时暴雨落区、降水量突增发生时间与切边线移动及偏南大风带前端的位置配合较好。

2) 本次暴雨水汽来源主要为南海区域和北部湾, 水汽辐合带自南向北传播, 暴雨发生前深圳上空较强的水汽辐合区, 为此次暴雨提供充足的水汽供应。

3) 本次暴雨的动力结构表现为低层强辐合, 高层强辐散, 符合抽吸原理, 加强了垂直上升运动强度, 因此垂直运动可以作为深圳今后暴雨预报的提前指示量。

参考文献

- [1] 蒋熙, 何保善, 李凯. 暴雨的危害及其防御对策[J]. 现代农业科技, 2017, 46(14): 231-235.
- [2] Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., et al. (2006) Global Observed Changes in Daily Climate Extremes of Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research*, **111**, D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- [3] Allen, M.R. and Ingram, W.J. (2002) Constrains on Future Changes in Climate and the Hydrologic Cycle. *Nature*, **419**,

224-232. <https://doi.org/10.1038/nature01092>

- [4] 刘蕾, 丁治英, 陈茂钦. 2010年5月6-7日广州大暴雨过程分析[J]. 气象研究与应用, 2011, 32(1): 10-17.
- [5] 李刘, 肖四友, 王凯丽. 一次强雷暴, 局地大暴雨天气个例分析[J]. 南方农业, 2018, 18(26): 158-159.
- [6] 林磊, 姚展予, 王伟健. 一次突发性暴雨过程的个例研究[C]//中国气象学. 第35届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报, 2018: 973-982.
- [7] 杨文月, 张锦泉. 2016年8月14日临夏州区域性暴雨个例诊断分析[J]. 现代农业科技, 2016, 45(23): 212-214.
- [8] 余丽萍, 余建. 对衢州汛期大暴雨和暴雨两次天气过程的对比分析[C]//长三角科技论坛. 第四届长三角科技论坛论文集(下册), 2007: 362.
- [9] 高宇, 李杏, 张鑫, 等. 陕西省夏季一次暴雨过程的个例分析[J]. 新疆农垦科技, 2019, 42(10): 43-46.
- [10] 张凌云, 刘蕾, 苏小玲. 桂北后汛期一次持续性暴雨天气过程分析[J]. 中纬度山地气象, 2020, 44(6), 25-31.
- [11] 姜湖园. 2019年6月3日呼伦贝尔市大到暴雨天气过程分析[J]. 南方农机, 2021, 52(1): 85-86.