

广东省2025年5月一次大范围暴雨天气过程分析

刘 畅

广州市气象台, 广东 广州

收稿日期: 2026年1月28日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月10日

摘 要

本文使用美国国家环境预测中心(NCEP)提供的再分析数据集, 以及由中国气象局建立的“天擎系统”和气象大数据云平台提供的降水量和极大风速等实况数据集, 从降水实况、环流形势、水汽条件、动力条件、热力条件、不稳定能量等方面, 诊断分析2025年5月17~20日发生在广东地区的强降水天气过程。研究表明: 本次强降水天气过程伴有雷暴、短时强降水等天气现象, 其特点是持续时间长, 范围广, 破坏力大以及强度大; 环流形势方面, 本次强降水过程为冷暖空气交汇, 受空中槽线和地面锋面系统过境共同影响, 为环流形势的发生和发展提供了有利条件; 在水汽条件上, 由于广东地区处于副高外围, 大量来自孟加拉湾的暖湿气流和我国南海地区向降水地区输送, 水汽条件对降水的发生和发展较为有利; 动力状况上, 强降水中心区域, 广东阳西县上空垂直运动较强, 中低层动量频繁交换, 为持续强降水提供了较好的动力状况; 从热力条件上看, 广东大部分地区高能高湿不稳定的条件长时间维持, 为形成和发展强对流天气进一步提供了较为有利的热力条件; 在不稳定能量方面, 广东西部大部分地区和西北部K指数偏大, 显示上述地区上空积聚了大量的不稳定能量, 且呈上干下湿的状态, 对持续发展的强对流天气过程有利。

关键词

广东暴雨, 副热带高压, 雷暴, 诊断分析

Analysis of a Large-Scale Rainstorm Weather Process in Guangdong Province in May 2025

Chang Liu

Guangzhou Meteorological Observatory, Guangzhou Guangdong

Received: January 28, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 10, 2026

Abstract

This paper uses the reanalysis data set provided by the National Centers for Environmental Prediction (NCEP), as well as the actual data sets such as precipitation and maximum wind speed provided by the “Tianqing System” established by the China Meteorological Administration and the meteorological big data cloud platform. From the aspects of precipitation, circulation situation, water vapor condition, dynamic condition, thermal condition and unstable energy, the heavy precipitation weather process occurred in Guangdong on May 17~20, 2025 was diagnosed and analyzed. The research shows that this heavy precipitation weather process is accompanied by thunderstorms, short-term heavy precipitation and other weather phenomena, which are characterized by long duration, wide range, great destructive power and great intensity. In terms of circulation situation, the heavy precipitation process is the intersection of cold and warm air, which is affected by the air trough line and the ground frontal system, which provides favorable conditions for the occurrence and development of the circulation situation. In terms of water vapor conditions, due to the Guangdong area is located in the periphery of the subtropical high, a large number of warm and humid air flows from the Bay of Bengal and the South China Sea area are transported to the precipitation area, and the water vapor conditions are more favorable for the occurrence and development of precipitation. In terms of dynamic conditions, in the central area of heavy precipitation, the vertical movement over Yangxi County, Guangdong Province is strong, and the momentum in the middle and lower layers is frequently exchanged, which provides a good dynamic condition for continuous heavy precipitation. From the perspective of thermal conditions, the unstable conditions of high energy and high humidity in most parts of Guangdong have been maintained for a long time, which further provides more favorable thermal conditions for the formation and development of strong convective weather. In terms of unstable energy, the K index in most parts of western Guangdong and northwestern Guangdong is too large, indicating that a large amount of unstable energy is accumulated over the above areas, and it is dry in the upper and wet in the lower, which is beneficial to the continuous development of strong convective weather processes.

Keywords

Guangdong Rainstorm, Subtropical High, Thunderstorm, Diagnostic Analysis

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

暴雨是广东省最为常见的灾害性天气之一，其频繁发生对当地的生态环境、农业生产、城市基础设施以及居民生活带来了深远的影响[1]，近年来随着全球气候变暖和区域气候特征的改变，华南地区暴雨事件的频率和强度呈现出一定的变化趋势[2]，因此，深入研究华南地区及广东省暴雨天气的时空分布、形成机制、数值模拟以及预报技术等，对于提高暴雨预报能力、减轻暴雨灾害具有重要意义。

近年来针对广东省暴雨天气的研究取得了显著进展，主要集中在暴雨的时空分布特征、形成机制、数值模拟与预报技术、微物理特征以及极端事件分析等方面。在暴雨的时空分布特征方面，肖柳斯等[3]研究了广东省汛期分钟尺度极端降水的时空分布及持续性特征，发现暴雨事件主要集中在4~9月，且在珠江三角洲地区更为频繁。此外郑腾飞等[4]分析了广东省过去50年分级降水的时空分布特征，指出暴雨频率和强度在过去几十年中呈现出一定的增加趋势，尤其是在沿海地区。在暴雨的形成机制方面，研究指出大气环流、地形、水汽输送等因素是暴雨发生的关键因素。例如，Lai R等[5]通过分析华南地区干湿

季降水的雨滴谱特征差异,指出季风期间充沛的水汽和强对流活动是暴雨形成的重要因素。Li H 等[6]通过数值模拟分析了地形、地表粗糙度和冷池出流在沿海极端暴雨中的作用,发现地形抬升和冷池出流的相互作用是暴雨增强的关键机制。在数值模拟与预报技术方面,肖辉等[7]利用 WRF-EnKF 系统对台风“天鸽”期间的暴雨进行了数值模拟,结果表明雷达反射率的同化技术可以显著提高暴雨的预报精度。此外, Lu F 等[8]通过分析台风“妮妲”登陆前后的雨滴谱特征,改进了 S 波段双偏振雷达的降水估计方法。这些研究为暴雨的精细化预报提供了新的技术手段。暴雨的微物理特征也是研究的重点之一。Liu Xiantong 等[9]研究了华南地区暴雨的雨滴谱分布特征,发现暴雨期间雨滴谱的变化与降水强度密切相关。此外, Xiao Hui 等[10]通过数值模拟分析了气溶胶对地形云的影响,指出气溶胶浓度的变化会改变云的微物理结构,进而影响暴雨的强度。Guo Zeyong 等[11]通过改进 S 波段双偏振雷达的降水估计方法,提高了对暴雨强度的监测精度。

以上研究结果表明广东省暴雨天气的研究在暴雨的时空分布特征、形成机制、数值模拟与预报技术、微物理特征以及极端事件分析等方面取得了显著进展,这些研究成果不仅深化了对暴雨天气的认识,还为暴雨的精细化预报和灾害防御提供了重要的理论依据。然而,暴雨天气的复杂性仍然需要进一步研究,特别是在全球气候变化背景下,暴雨的时空分布和强度变化仍需持续关注。

2. 资料来源

本文利用 2024 年 5 月 16~17 日的两套资料,分别为:

(1) 由美国国家环境预测中心(NCEP)提供的再分析数据集(NCEP FNL Operational Global Analysis data, 下载地址: <https://rda.ucar.edu/datasets/d083002/dataaccess/#>), 该数据时间分辨率为 6 小时, 空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。

(2) 由中国气象局开发的“天擎系统”和气象大数据云平台提供的降水量、极大风速等观测数据。

3. 实况天气分析

2025 年 5 月 17~20 日,一次大范围强降水天气过程出现在我国华南、东南沿海地区。其中,广东省大部、广西壮族自治区大部、福建省中部和北部、江西省中部和北部、浙江省中南部、湖南省东南部、云南省东南部等地的部分地区累计降水量达 100~150 毫米,贵州省中部的局部地区有暴雨,局地大暴雨,广东省中西部、广西壮族自治区中东部、福建省西北部、浙江省南部、湖南省东南部、贵州省贵阳以及广西壮族自治区红河等地局部雨量达 150~250 毫米,其中,广东省广州、清远、阳江、茂名、江门,广西壮族自治区贺州、桂林、南宁、玉林、柳州、防城港和湖南省永州等地局部雨量达 250~350 毫米;广东省阳江、阳西地区局部雨量达 661.4 毫米;上述局部地区并伴有 8~10 级局地 10 级以上雷雨大风天气,出现 50~80 毫米的最大小时雨量,局地小时降雨量超过 80 毫米。从图 1 可以看出,广东省强降水的天气过程主要集中在 17~18 日,从 18 日 08 时的过去 24 小时降水量分布可以看出,强降水主要集中在广东省西北部和西部地区,其中清远市东南部、肇庆市西北部、茂名市西北部以及阳江市东南部地区形成了局地强降水中心,降水量级达 100~250 mm。进一步分析 18 日 20 时过去 24 小时降水量分布,此时强降水范围进一步向东移动,强降水中心范围进一步扩大。由此可以看出,此次降水过程强度大、范围广、持续时间长、破坏力强,且广东地区降水性质为对流性强降水。

4. 环流形势分析

4.1. 高空环流形势

强对流天气通常在高低空系统配置得当的情况下出现。为了探究强对流天气出现时的天气系统配置

情况,对 500 hPa 图上此次强对流天气发生时的环流形势进行了分析。17 日 20 时(图 1(a)),在 500 hPa 上,亚欧大陆中高纬度地区大致呈现出“两槽一脊”的环流态势,高压脊处于我国新疆西部至帕米尔高原这一线上,低压槽区则位于我国东北东部、渤海湾、东南沿海以及华南东部地区一线,呈现出带状分布态势。此时广东地区处于高空槽的前部,槽后强劲的西北气流对冷空气向南移动起到了引导作用,与槽前的西南向暖湿气流相交汇,为暴雨的产生和发展创造了有利条件。西太平洋副热带高压(下文简称副高)在中低纬地区较为强盛,其西伸脊点位于(109°E, 25°N)附近。副高的不断加强并向西伸展,一方面延缓了东亚深槽的移动速度,另一方面促使偏西气流增强,同时温度槽滞后于高度槽,而此时广东大部分地区处于副高外围,这有利于水汽进一步向降水区域输送,为强对流天气的发展营造了有利条件。到了 18 日 20 时(图 1(b)),槽线进一步向东移动,此时副高势力依旧较强,导致槽线移动较为缓慢,槽线位于我国黄海、东海以及华南沿海地区一线,广东南部地区处于西北气流与西南气流的交汇处,持续的暖湿气流为强对流天气的发生和发展提供了较为有利的水汽和热力条件。

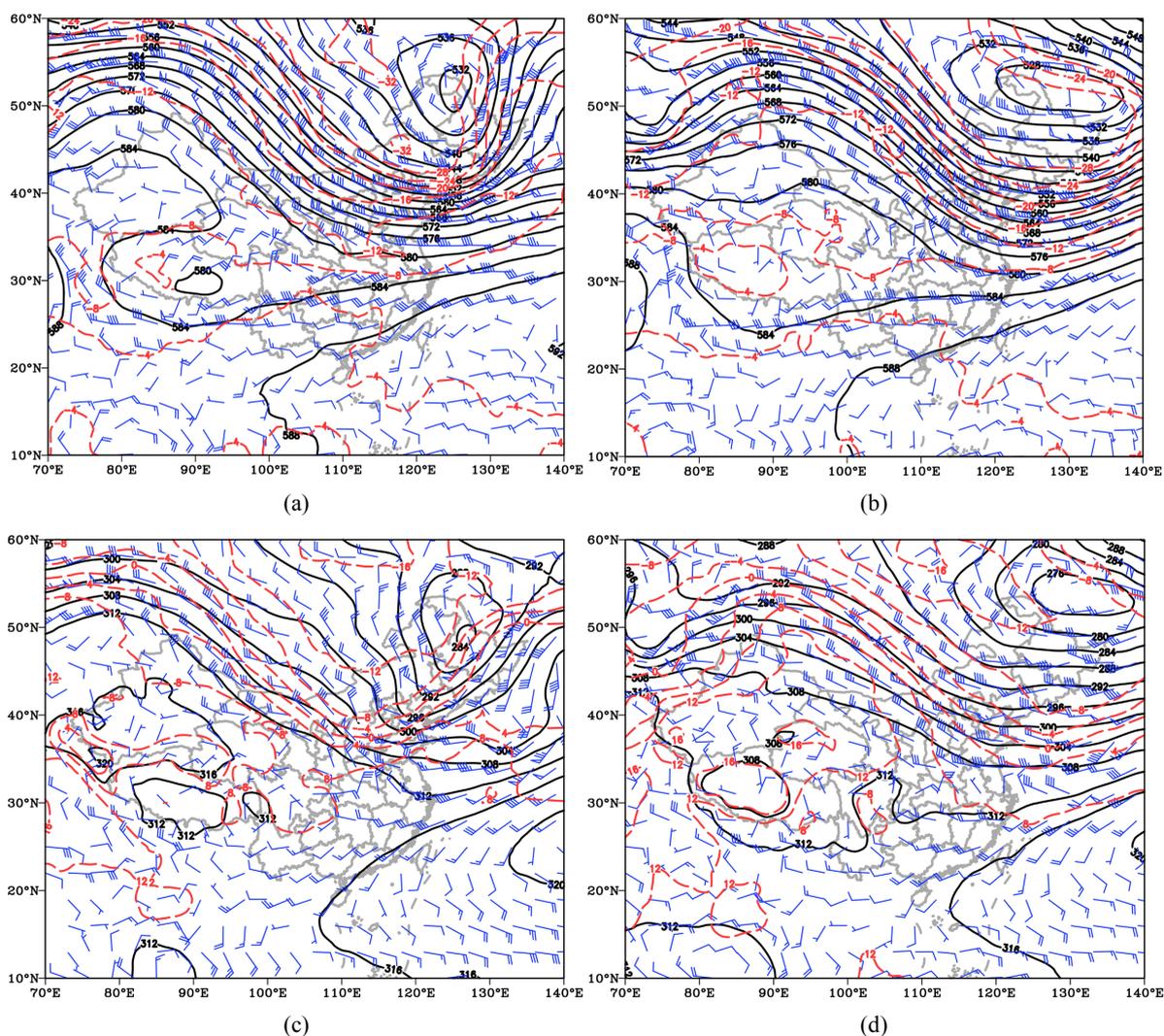


Figure 1. May 2025 (a) 20:00 on 17th; (b) 500 hPa at 20:00 on 18th; (c) 08:00 on 17th; (d) 20:00 on 18th, at 700 hPa; geopotential height field (black solid line, unit: dagpm), wind field (wind plume, unit: m/s) and temperature field (red broken line, unit: °C)
图 1. 2025 年 5 月(a) 17 日 20 时; (b) 18 日 20 时 500 hPa; (c) 17 日 08 时; (d) 18 日 20 时 700 hPa; 位势高度场(黑色实线, 单位: dagpm)、风场(风羽, 单位: m/s)以及温度场(红色断线, 单位: °C)

700 hPa上(图 1(c)、图 1(d)), 17日 08时(图 1(c)), 在此次强降水过程尚未开启之际, 槽线处于我国东南沿海至华南中部地区一线, 广东地区位于槽前, 受西南气流影响。至 18日 20时(图 1(d)), 随着槽线逐渐向东南方向移动, 广东西部地区处于槽区位置, 槽前西南气流与槽后西北气流在该区域交汇, 为强降水天气的持续提供了较为有利的条件。综合以上高空环流形势分析, 对流中层风场出现辐合, 配合冷空气南下, 为强对流天气的发生提供了有利的环流条件。

4.2. 地面环流形势

通过对此次强降水天气过程的地面形势剖析可知, 18日 20时(图 2(a)), 锋面处在我国华北至华中、华南北部一线, 锋前的西南风向该区域输送了大量暖湿气流。同时, 高空槽后冷平流输送致使广东地区海平面气压先升后降。高层干冷、中低层暖湿的配置, 加剧了大气层结不稳定性, 利于对流性强降水产生。19日 14时(图 2(b)), 锋面系统移动, 冷暖空气在广东上空交汇, 形成切变线, 为强降水进一步发展创造良好热力条件。

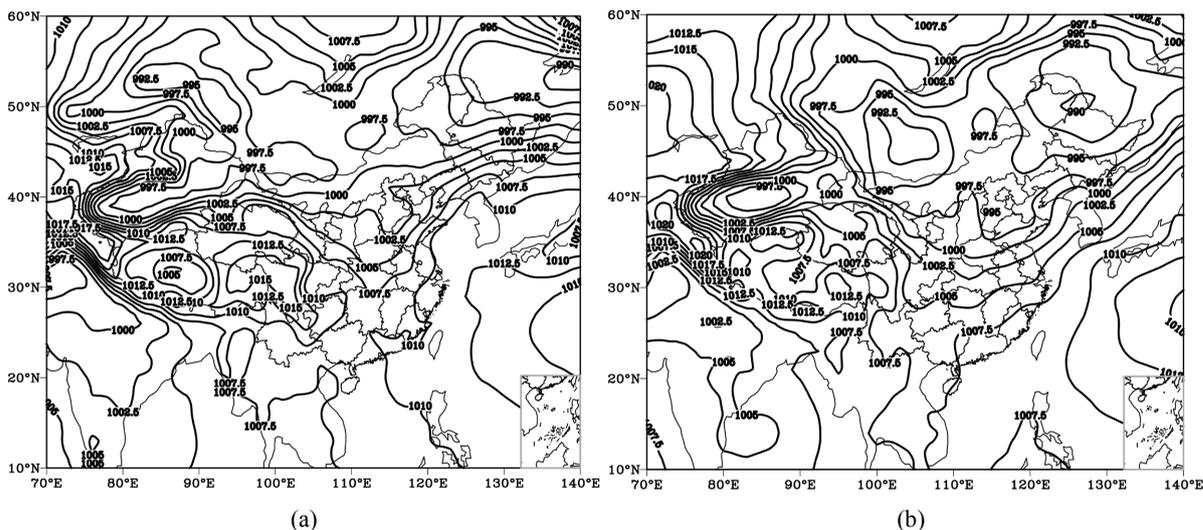


Figure 2. May 2025 (a) 20:00 on 18th; (b) 14:00 on 19th; surface pressure field (unit: hPa)

图 2. 2025 年 5 月(a) 18 日 20 时; (b) 19 日 14 时地面气压场(单位: hPa)

由以上分析可知, 此次强降水事件里, 处于中低层的锋面系统是引发广东地区强降水的关键天气系统。高空槽后的偏北气流引导冷空气向南移动, 与中低层的暖湿气流相遇, 为这次强降水营造出了比较有利的环流条件。

5. 物理量诊断分析

5.1. 水汽条件

水汽条件作为强降水过程发生的关键物理条件之一, 是否有充沛、持续的水汽供应是诊断强降水过程的重要因素, 且大气中水汽的传输特征和聚集程度是影响降水量的关键因素。

水汽汇聚程度对强降水的发生发展极为关键, 分析 850 hPa 上的水汽通量散度可知, 本次强降水过程中存在显著的水汽聚集现象。17日 20时(图 3(a)), 水汽通量散度的汇聚中心出现在广西东北部和广东西北部, 其强度超过 $-30 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ 。当时广东处于副高边缘, 持续的西南气流将孟加拉湾和南海的水汽不断向降水区域输送, 在广东西部和西北部形成了极为明显的水汽输送过程, 这表明广东地区的水汽

含量较为丰富，且在降水期间水汽汇聚一直存在。随着天气系统的移动，到18日20时(图3(b))，华南地区出现了两个水汽通量散度的汇聚中心，分别位于广西西部和福建中部，中心强度依然超过 $-30 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ ，说明此时华南大部分地区的水汽含量依旧充足，为强降水的持续提供了有利的水汽条件。由此可见，在此次广东地区出现强降水的时段内，水汽汇聚过程较为突出，为强降水的发生和持续提供了有力的水汽支持。

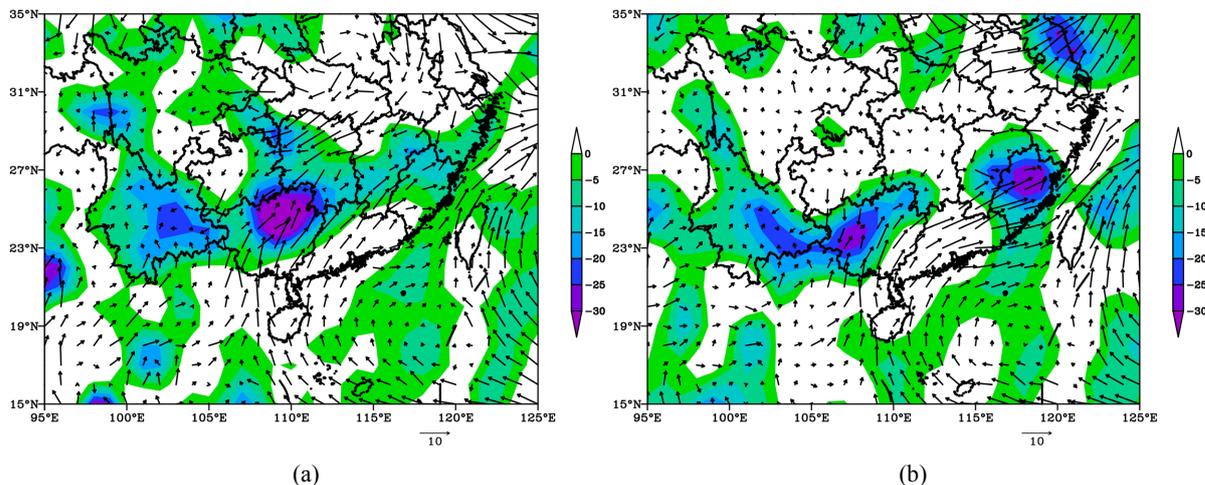


Figure 3. May 2025 (a) 20:00 on 17th; (b) 20:00 on 18th; 850 hPa water vapor flux divergence (fill color, unit: $10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) and water vapor flux vector (wind direction bar)

图 3. 2025 年 5 月(a) 17 日 20 时; (b) 18 日 20 时; 850 hPa 水汽通量散度(填色, 单位: $10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$)以及水汽通量矢量(风向杆)

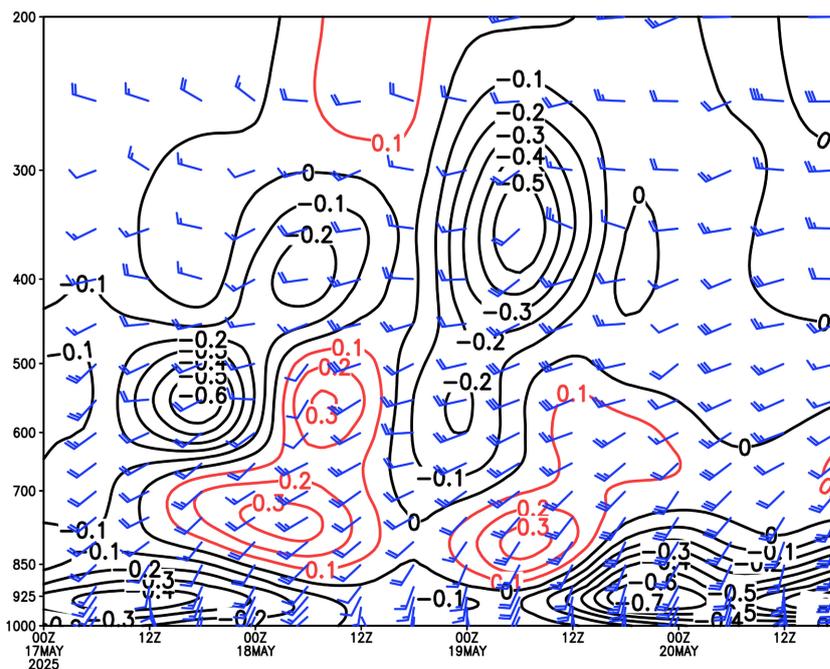


Figure 4. Vertical velocity field (isoline, unit: Pa/s) and wind field (wind plume, unit: m/s) along the time-height profile of Yangxi County from 08:00 on May 17 to 20:00 on May 2025

图 4. 2025 年 5 月 17 日 08 时~20 日 20 时沿阳西县时间-高度剖面垂直速度场(等值线, 单位: Pa/s)以及风场(风羽, 单位: m/s)

5.2. 动力条件

垂直速度常用来衡量短时强降水过程中的动力条件强弱。图 4 展示了沿此次强降水中心——广东阳西县的垂直速度和风场的时间-高度剖面。从图中可看出, 17 日 20 时至 18 日 20 时, 阳西县上空近地层至 850 hPa 的垂直速度为负, 中心最小值超 -0.4 Pa/s , 说明该区域有垂直上升运动, 且等值线密集, 意味着大气湍流运动强, 为强对流天气持续提供了有利动力条件。而 850~500 hPa 的垂直速度为正, 表明该区域有下沉运动, 这种上升下沉运动交替, 为短时强降水发生提供了良好动力条件。再看风场, 17 日 20 时至 18 日 20 时, 阳西地区上空 500 hPa 以下为西南风, 500 hPa 以上为偏西或西北风, 说明阳西地区受槽前西南气流控制, 为强降水发生提供了有利水汽条件。到 19 日 08 时~20 日 08 时, 阳西地区上空近地层至 850 hPa 的垂直速度仍为负, 中心最小值超 -0.7 Pa/s , 说明该区域垂直上升运动强, 大气层结不稳定度增大, 利于强对流天气持续。综合分析, 在阳西地区上空, 低空辐合、高空辐散产生的抽吸作用, 有利于垂直上升运动加强和维持, 为强对流发生发展提供了有利动力条件。

5.3. 热力条件

假相当位温(θ_{se})是反映大气温湿特性的物理量。强降水来临前, 广东地区持续高温, 使得近地层能量充足。如图 5(a)所示, 17 日 08 时, 850 hPa 上的假相当位温高值区位于云南东南部和广西西部, 中心最大值超 350 K, 而广东西部和西北部的假相当位温也超 346 K, 维持着高温高能状态, 说明广东处于槽前, 西南气流输送了大量暖湿气流, 提供了有利的水汽和热力条件。到 18 日 08 时(图 5(b)), 广西东部-广东西部及广东北部出现了两个假相当位温高值区, 中心最大值超 346 K, 广东大部分地区保持高能高湿的不稳定状态。随着强降水持续, 不稳定能量逐渐释放, 为强降水的持续发展提供了更有力的热力条件。

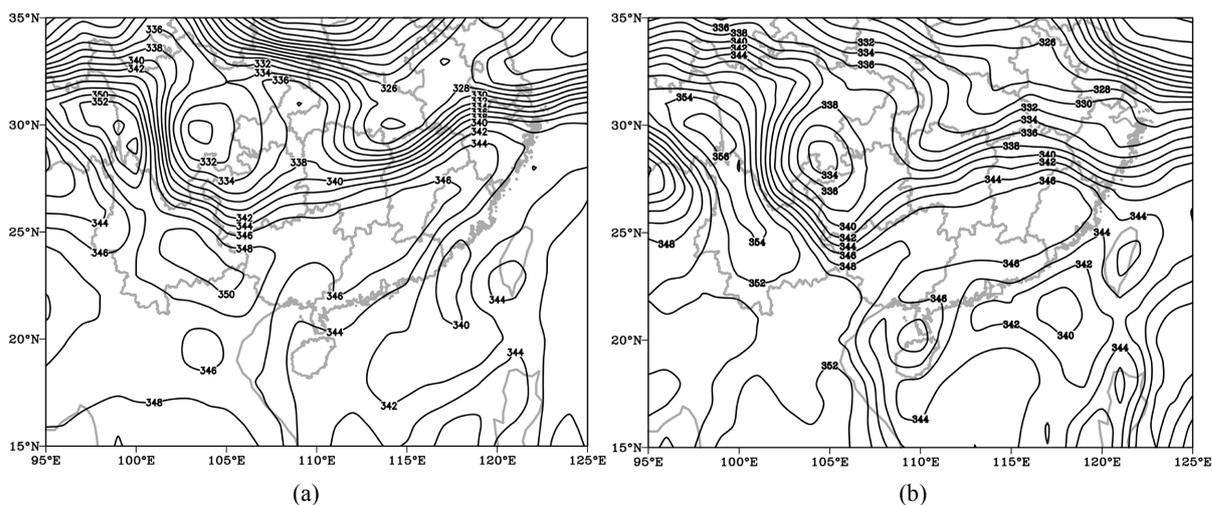


Figure 5. May 2025 (a) 08:00 on 17th; (b) 08:00 on 18th at 850 hPa; pseudo-equivalent potential temperature field at (unit: K)
图 5. 2025 年 5 月(a) 17 日 08 时; (b) 18 日 08 时 850 hPa 假相当位温场(单位: K)

5.4. 不稳定能量

对流不稳定能量的释放程度可作为衡量降水强弱的一个潜在指标, 而 K 指数是衡量大气热力不稳定度的常用参数。从图 6 可以看出, 在 17 日 08 时(图 6(a)), K 指数的高值区主要集中在我国西南地区, 其中心值超过了 40°C 。与此同时, 广东西部和西北部地区的 K 指数也超过了 36°C , 这表明这些区域的大气中积累了大量的不稳定能量, 为强对流天气的形成创造了有利条件。到了 18 日 08 时(图 6(b)), K 指数的

高值区范围进一步扩大,此时广东大部分地区的K指数都超过了36℃,为大规模强降水天气的持续提供了有利条件。综合上述分析,在广东西部和西北部地区,冷暖空气的交汇较为显著,这使得大气层结的不稳定性进一步增强。同时,由于K指数较大,也意味着温度差较大,这表明在垂直方向上的湍流运动较为强烈,从而为强降水的形成与发展进一步提供了有利的热力不稳定条件。

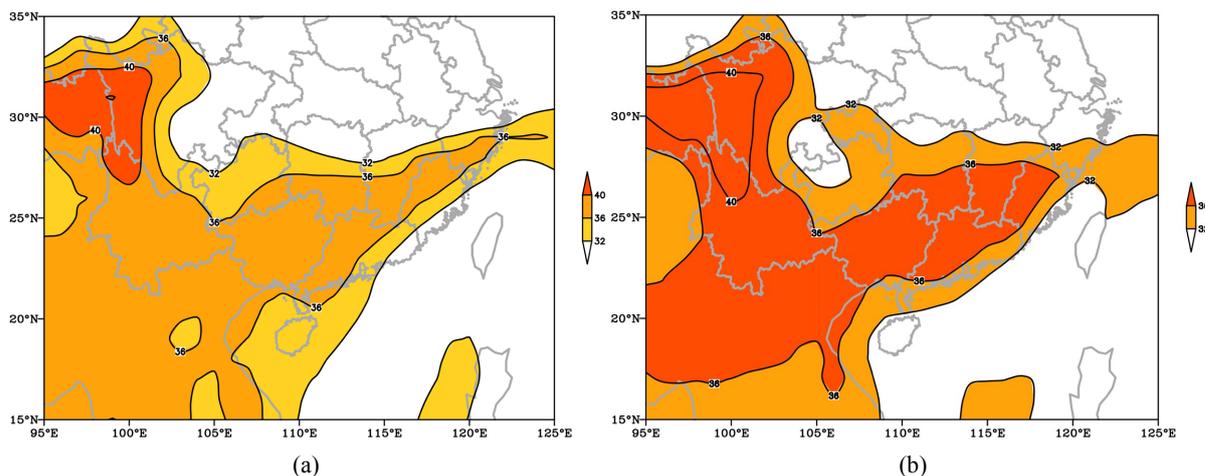


Figure 6. May 2025 (a) 08:00 on 17th; (b) 08:00 on 18th; K index field (unit: °C)

图 6. 2025 年 5 月 (a) 17 日 08 时; (b) 18 日 08 时 K 指数场(单位: °C)

6. 总结

2025 年 5 月 17 日至 20 日,广东地区因高空槽线和地面锋面系统过境,发生了一次强降水天气过程,期间出现雷暴、短时强降水等天气现象,此次强对流天气持续时间长、范围广、强度大,破坏力较强。本文运用美国国家环境预测中心(NCEP)的再分析数据集以及中国气象局“天擎系统”和气象大数据云平台提供的降水量、极大风速等观测资料,对此次广东地区强降水天气过程的天气学成因进行了诊断分析,得出以下结论:

(1) 广东地区此次降水属于典型的对流性强降水。高空槽线和中低层锋面系统是引发此次强降水的关键天气系统。高空槽后的偏北气流引导冷空气南下,与中低层的暖湿气流相遇并交汇,形成了有利于强降水发生的环流条件。

(2) 水汽条件上,广东地区在此次强降水期间处于副热带高压的外围,持续的西南气流将孟加拉湾和南海的水汽源源不断地输送到降水区域。广东大部分地区上空的水汽含量较为充足,并且存在明显的水汽辐合现象,为强降水的产生和持续提供了有利的水汽保障。

(3) 动力条件上,以此次强降水过程中心区的广东阳西县为例展开分析,低空的气流辐合与高空的气流辐散相互配合,产生了抽吸作用,这种作用有利于垂直上升运动的增强和持续,从而为强对流天气的发生与发展创造了较为有利的动力条件。

(4) 热力条件方面,随着天气系统的移动,冷暖空气相互交汇,导致大气层结的不稳定性进一步增强。在此次强降水期间,广东西部和西北部的大部分地区处于高能量、高湿度的不稳定状态,同时气温差也逐渐增大,这表明在垂直方向上的湍流运动较为强烈,为强对流天气的形成与发展提供了更为有利的热力不稳定条件。

(5) 不稳定能量方面,广东西部和西北部地区冷暖空气交汇明显,导致大气层结不稳定性增强。由于 K 指数较高,气温差较大,垂直方向上的湍流运动较强,为强降水的形成与发展提供了有利的热力不稳

定条件。此外，广东大部分地区上空积累了大量不稳定能量，有利于强对流天气的持续发展。同时，上下干湿的结构为此次强对流天气过程的持续发展提供了有利的动力和热力条件。

参考文献

- [1] 傅佩玲, 胡东明, 张羽, 等. 2017年5月7日广州特大暴雨微物理特征及其触发维持机制分析[J]. 气象, 2018, 44(4): 500-510.
- [2] 伍红雨, 邹燕, 刘尉. 广东区域性暴雨过程的定量化评估及气候特征[J]. 应用气象学报, 2019, 30(2): 233-244.
- [3] 肖柳斯, 张华龙, 吴乃庚, 等. 广东省汛期分钟尺度极端降水的时空分布及持续性特征[J]. 大气科学, 2024, 48(5): 1728-1742.
- [4] 郑腾飞, 刘显通, 万齐林, 等. 近50年广东省分级降水的时空分布特征及其变化趋势的研究[J]. 热带气象学报, 2017, 33(2): 212-220.
- [5] Lai, R., Liu, X., Hu, S., Xiao, H., Xia, F., Feng, L., *et al.* (2022) Raindrop Size Distribution Characteristic Differences during the Dry and Wet Seasons in South China. *Atmospheric Research*, **266**, Article 105947. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105947>
- [6] Li, H., Liu, C., Xue, M., Park, J., Chen, L., Jung, Y., *et al.* (2022) Use of Power Transform Total Number Concentration as Control Variable for Direct Assimilation of Radar Reflectivity in GSI En3dvar and Tests with Six Convective Storms Cases. *Monthly Weather Review*, **150**, 821-842. <https://doi.org/10.1175/mwr-d-21-0041.1>
- [7] 肖辉, 万齐林, 刘显通, 等. 基于WRF-EnKF系统的雷达反射率直接同化对台风“天鸽”(1713)预报的影响[J]. 热带气象学报, 2019, 35(4): 433-445.
- [8] Feng, L., Liu, X., Xiao, H., Xiao, L., Xia, F., Hao, X., *et al.* (2021) Characteristics of Raindrop Size Distribution in Typhoon Nida (2016) before and after Landfall in Southern China from 2D Video Disdrometer Data. *Advances in Meteorology*, **2021**, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2021/9349738>
- [9] Liu, X., Li, H., Hu, S., Wan, Q., Xiao, H., Zheng, T., *et al.* (2021) A High-Precision and Fast Solution Method of Gamma Raindrop Size Distribution Based on 0-Moment and 3-Moment in South China. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **60**, 1407-1421. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-21-0043.1>
- [10] Xiao, H., Zhao, P., Liu, X. and Li, H. (2021) Sensitivity of Aerosol-Cloud Interactions to Autoconversion Schemes in Mixed-Phase Orographic Clouds. *Atmospheric Research*, **247**, Article 105205. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105205>
- [11] Guo, Z., Hu, S., Liu, X., Chen, X., Zhang, H., Qi, T., *et al.* (2021) Improving S-Band Polarimetric Radar Monsoon Rainfall Estimation with Two-Dimensional Video Disdrometer Observations in South China. *Atmosphere*, **12**, Article 831. <https://doi.org/10.3390/atmos12070831>