

2025年6月14日宁波强雷雨天气过程分析

简远航^{1,2}, 董晟霖^{1,2}

¹民航宁波空中交通管理站, 浙江 宁波

²民航宁波空中交通管理站甬象云枢创新工作室, 浙江 宁波

收稿日期: 2026年8月1日; 录用日期: 2026年8月27日; 发布日期: 2026年9月3日

摘要

目的: 丰富宁波地区机场强雷两个例的研究成果, 完善栎社机场雷暴大风天气的诊断分析体系, 为机场应对同类极端天气、保障航空运行安全高效提供切实可行的参考。方法: 基于ERA5再分析资料、浙江省自动站资料、宁波机场自动气象观测系统(AWOS)资料及多普勒天气雷达资料, 对本过程进行诊断分析。结果: 此次过程呈现“高空槽前-中低层西南急流输送-台风环流水汽补给”的多尺度环流配置特征, 本场低层辐合、高层辐散且地面存在辐合线, 动力抬升条件充足; K指数达31℃, CAPE值高达946 J/kg, 低层暖湿、中高层干冷, 不稳定能量充足。结论: 此次过程为与高空槽相结合的台风远距离降水, 各动力、水汽及不稳定条件的协同配置, 为强对流发展提供了有利支撑。

关键词

强雷雨, 雷暴大风, 诊断分析, 台风远距离降水

Diagnostic Analysis of a Severe Thunderstorm Event over Ningbo on 14 June 2025

Yuanhang Jian^{1,2}, Shenglin Dong^{1,2}

¹Ningbo Air Traffic Management Station, Civil Aviation Administration of China (CAAC), Ningbo Zhejiang

²Yongxiangyunshu Innovation Studio, Ningbo Air Traffic Management Station, Civil Aviation Administration of China, Ningbo Zhejiang

Received: August 1, 2026; accepted: August 27, 2026; published: September 3, 2026

Abstract

Objective: To enrich case-based studies of severe thunderstorm events at airports in the Ningbo region, improve the diagnostic framework for thunderstorm gale weather at Ningbo Lishe Airport,

文章引用: 简远航, 董晟霖. 2025年6月14日宁波强雷雨天气过程分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(5): 946-954.
DOI: 10.12677/ccrl.2026.155100

and provide practical references for enhancing aviation safety and operational efficiency under similar extreme weather conditions. **Methods:** This study conducts a diagnostic analysis of the event based on ERA5 reanalysis data, surface automatic weather station data from Zhejiang Province, Automatic Weather Observing System (AWOS) data from Ningbo Airport, and Doppler weather radar data. **Results:** The event exhibited a multi-scale circulation configuration characterized by an upper-level trough, mid- to low-level southwesterly jet moisture transport, and moisture supply from a typhoon circulation. The local environment featured low-level convergence, upper-level divergence, and a surface convergence line, providing favorable dynamic lifting conditions. The K-index reached 31°C , and CAPE values peaked at 946 J/kg , indicating a warm-moist lower atmosphere and a dry-cold mid-to-upper troposphere, with sufficient convective instability. **Conclusions:** This event was a remote precipitation process associated with a typhoon interacting with an upper-level trough. The synergistic configuration of dynamic forcing, moisture supply, and atmospheric instability provided favorable conditions for the development of severe convection.

Keywords

Severe Thunderstorm, Thunderstorm Gale, Diagnostic Analysis, Typhoon Remote Precipitation

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

暴雨作为我国主要气象灾害之一,其引发的洪涝灾害、地质灾害等对国民经济、生态环境及人民生命财产安全构成严重威胁。据统计,1950~1999年我国平均每年洪涝受灾面积达942.4万公顷,严重年份农田受灾面积超1300万公顷[1]。历史上长江流域1954年大洪涝、1998年全流域特大洪涝等重大灾害,均由持续性暴雨引发[2]。我国暴雨具有显著的地域性和季节性特征,东南沿海地区受季风、台风及地形共同影响,成为暴雨高发区域[3]。6月正值长江中下游梅雨期与台风活动初期叠加时段,暴雨过程频繁、强度大[4],易引发强对流、低云、低能见度等复杂天气,雷雨过程中伴随的雷电、积冰、风切变、强降水等天气现象,可能导致飞机雷击损坏、发动机故障、操纵困难甚至失速等风险[5],严重影响航班正常运行、机场地面保障与飞行安全,对民航运行保障构成严峻考验。国际民航组织统计显示,89.3%的低空风切变相关飞行事故与雷雨天气相关[6],强对流天气对民航运行保障构成严重威胁。

浙江宁波作为东南沿海城市,6月易受梅雨锋、高空槽、台风系统及其残余低压环流等多重天气系统影响,易产生强雷雨天气。强雷雨天气还会造成机场能见度降低、道面湿滑,造成航班返航、备降或延误,带来巨额经济损失。宁波机场作为区域重要航空枢纽,强雷雨天气的精准预报与成因分析,对保障民航运行安全、降低经济损失具有重要现实意义。

国内外学者已针对强对流天气过程开展大量研究。赵强等[7]指出低层系统对我国东部暴雨起决定性作用,低空急流与切变线的耦合是水汽输送和对流触发的关键机制。刘希等[8]通过对台风“利奇马”远距离暴雨的研究,阐明了台风外围环流远距离水汽输送与中纬度系统耦合是华东地区极端暴雨发生的关键动力与水汽供应机制。但现有研究中,针对浙江地区6月梅雨期“台风残留低压-高空槽”叠加影响下的强雷雨过程诊断分析较少,尤其是对该类叠加系统的水汽输送路径、动力耦合机制及其对降水强度的影响研究有待深化。

2025年6月14日,浙江省出现“台风-副高-高空槽”协同影响降水过程。本文基于ERA5再分析

资料、浙江省自动站资料, 宁波机场自动观测系统资料及宁波市双偏振多普勒天气雷达资料, 重点分析南部台风水汽输送与北部槽线过境的协同影响下, 此次强雷雨过程的水汽来源、动力条件及不稳定能量积累特征, 以期为浙东沿海地区类似强对流天气的预报预警提供科学依据, 为民航运行安全保障提供技术支撑。

2. 资料与方法

本文所采用的资料包括浙江省自动站资料、宁波市 S 波段多普勒天气雷达资料、宁波机场自动气象观测系统(简称 AWOS)资料与欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的第 5 代全球大气再分析资料(ERA5)小时数据(空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$)。其中 ERA5 再分析资料用于强对流天气出现前的大尺度环流演变和环境条件诊断分析, S 波段多普勒天气雷达资料用于分析此次雷雨过程的对流风暴结构特征和发展演变。此外本文还利用浙江省自动站资料、宁波机场的逐分钟观测数据对雷暴发生的中尺度环境, 对流触发机制以及强降水、雷暴大风的精细结构进行分析。

3. 过程概况

3.1. 过程降水与大风

2025 年 6 月 14 日 13:00~15:00 宁波市出现短时强降水伴雷暴天气, 宁波机场 13:40~14:03 观测到大风天气, 出现 17.1 m/s 的雷暴大风。如图 1(a)所示, 本次过程的降水与大风呈现双核心、局地性强的特征: 北部强降水集中在镇海区、江北区、海曙区中东部, 南部强降水位于宁海县, 累计降水量均超 80 mm, 局部达 100 mm 以上; 宁波机场处于北部降水区边缘, 累计降水量 49.2 mm。极大风(8~10 级)落区与强降水核心区高度重合。本次降水受高空槽东移和台风远距离水汽输送共同作用, 宁波市自西向东出现大范围雷雨天气, 过程累计降水量均超 80 mm, 宁海局部达 100 mm 以上; 宁波栎社国际机场过程累计降水量 49.2 mm。如图 1(b)所示, 部分地区伴有短时 8~10 级雷暴大风。此次过程也造成宁波栎社国际机场航班延误 37 架次、备降 12 架次。

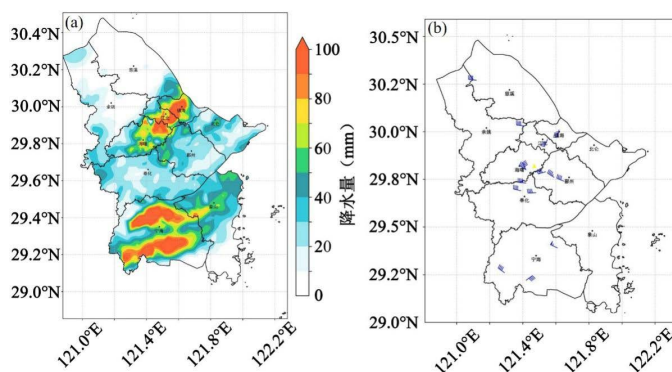


Figure 1. Spatial distribution of (a) event precipitation and (b) maximum wind gusts in Ningbo City
图 1. 宁波市 (a) 过程降水量与 (b) 过程极大风分布图

3.2. 实况对流发展演变

分析天气雷达反射率因子图, 如图 2 所示, 造成宁波机场 14:19~15:51 (北京时间, 下同)的大雷雨过程的对流云团生成自上游地区, 在高空偏西气流引导下东移覆盖机场, 在机场西北部加强。分析雷达图可知, 14:20 大于 30 dBz 带状回波已覆盖本场, 14:20~14:32 本场上空反射率因子达到 40 dBz 以上, 14:32 后回波逐渐减弱, 大于 40 dBz 区域范围减小, 14:51 强回波移出本场。此次大雷雨过程中, 大于 30 dBz 回波覆盖本场的时段与本场大雷雨持续时段基本吻合。

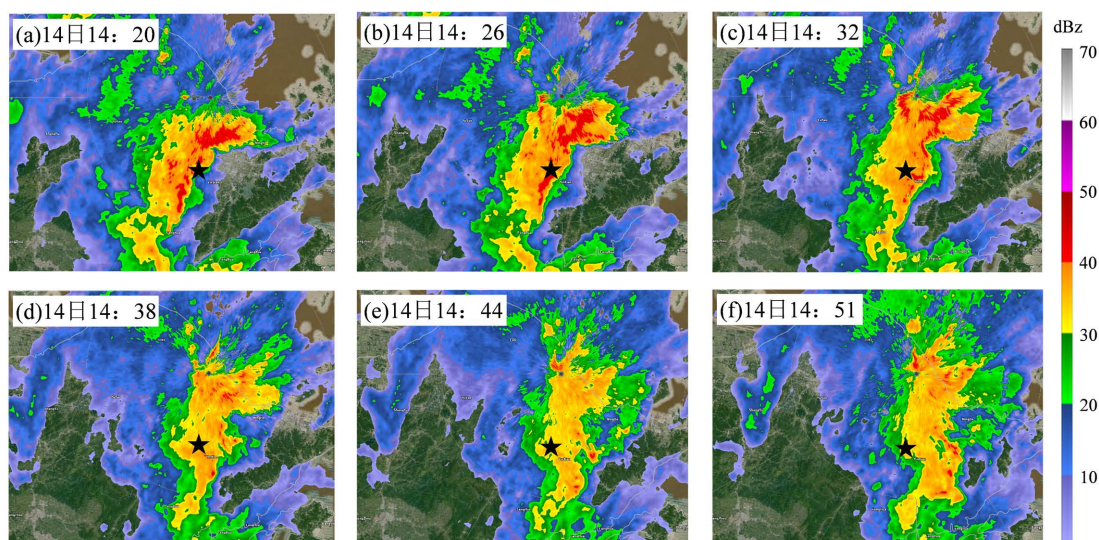


Figure 2. Base reflectivity factor from Doppler weather radar in Ningbo City

图 2. 宁波市多普勒雷达基本反射率因子

如图 3 所示,在本次对流天气过程中,宁波栎社国际机场自动气象观测系统(AWOS)监测到典型的短时强降水事件。降水自 14:06 前后强度快速攀升,雨强于 14 日 14:31 左右达到峰值,瞬时雨量超过 1.5 mm/min 达到大雨标准;对应小时雨强可达 90 mm/h,远超《民用航空气象地面观测规范》¹(AP-117-TM-2021-01R2)中 ≥ 8.1 mm/h 的大雨参考标准。此次降水过程中,大雷雨时段集中在 14:19~14:51,持续约 32 min。

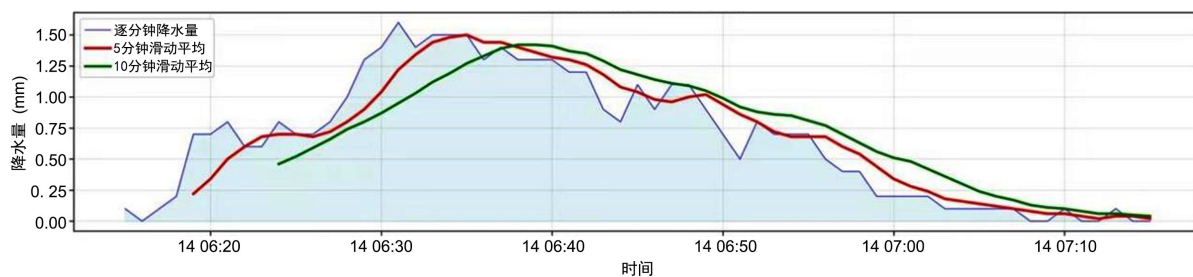


Figure 3. Minute-by-minute precipitation and moving average curve from the AWOS at Ningbo Airport

图 3. 宁波机场 AWOS 系统逐分钟降水量及滑动平均曲线

4. 天气背景

4.1. 大尺度环流背景

如图 4 所示,2025 年 6 月 14 日 08:00,500 hPa 高度上我国北方地区有高空槽东移,华东中北部为槽前西南气流,浙北地区有短波槽东移。同时,2501 号台风“蝴蝶”的低压环流位于北部湾海面,副热带高压北抬至华南-浙南一带,588 dagpm 西脊点位于浙江中南部,宁波机场处于“高空槽前、副高西北侧”的西南气流中。700 hPa 与 850 hPa 的环流场较为一致,浙江北部浅槽已东移入海,本场为弱脊区控制,偏西风 12~16 m/s,本场上游西南急流强盛,急流中心最大风速 20 m/s。

此外,850 hPa 与 925 hPa 低涡后部西北风分别达到 12 m/s 与 10 m/s,850 hPa、925 hPa 低涡入海,宁波机场位于入海低涡后部,也是造成地面西北大风的环流形势之一。

¹<https://www.caac.gov.cn/XXGK/XXGK/GFXWJ/202112/P020220209588831109510.pdf>

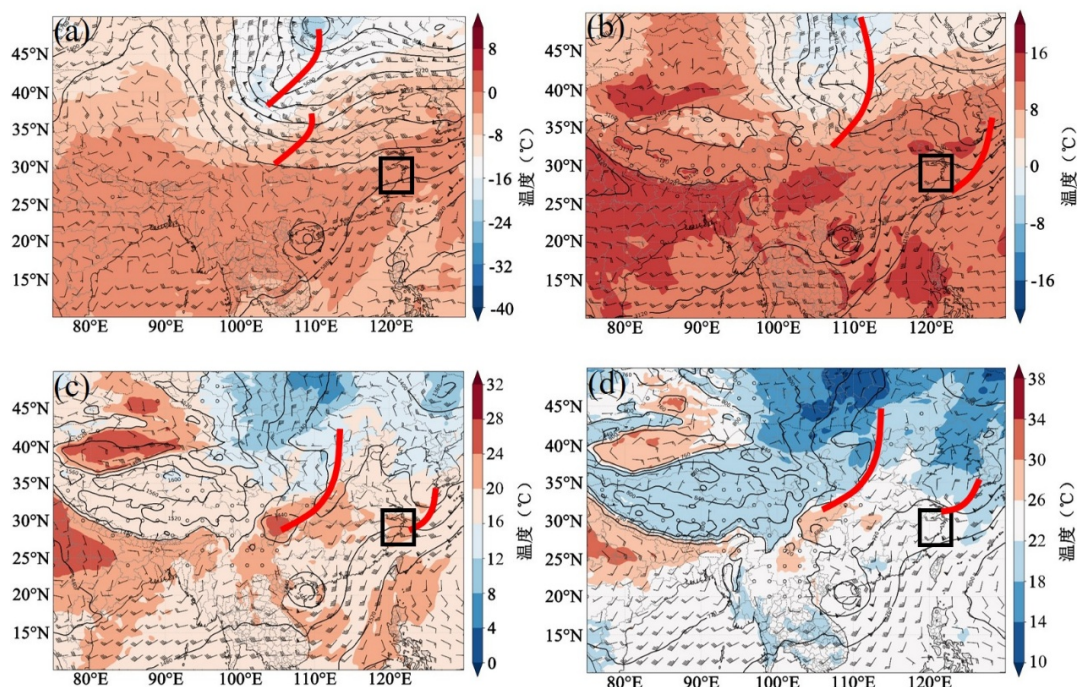


Figure 4. Synoptic circulation at 08:00 on 14 June 2025 at (a) 500 hPa, (b) 700 hPa, (c) 850 hPa, and (d) 925 hPa (red solid lines indicate troughs and shear lines; black box indicates the study area)

图 4. 2025 年 6 月 14 日 08:00 环流形势 (a) 500 hPa、(b) 700 hPa、(c) 850 hPa、(d) 925 hPa (红色实线表示槽线、切变线, 黑色方框表示研究范围)

4.2. 水汽条件分析

分析 2025 年 6 月 14 日 12:00 的 850 hPa 水汽通量与水汽通量散度, 如图 5 所示, 本场位于副高西北侧, 台风“蝴蝶”外围倒槽环流叠加副高西北侧气流形成强西南急流, 形成稳定的水汽通道, 来自南海的暖湿水汽沿急流北上输送至浙闽地区, 为宁波地区强降水提供了充足的水汽供应。12:00 宁波地区 850 hPa 上出现明显的水汽通量散度负值区, 水汽辐合较为明显。此次过程中台风外围远距离水汽输送明显, 结合较好的水汽辐合条件, 为宁波地区此次强对流天气过程提供了较好的水汽条件。

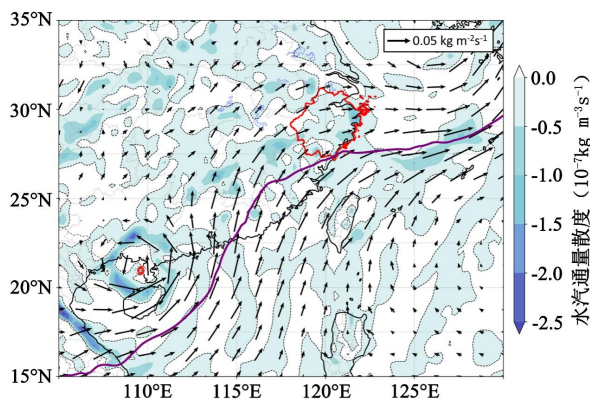


Figure 5. Moisture flux (vectors) and moisture flux divergence (shaded) at 850 hPa at 12:00 on 14 June 2025 (purple lines indicate the 5880 gpm contour at 500 hPa; “●” denotes the position of Typhoon “Butterfly”)

图 5. 2025 年 6 月 14 日 12 时 850 hPa 水汽通量(箭头)与水汽通量散度(填色)图(紫色线条为 500 hPa 588 线, “●”表示台风“蝴蝶”位置)

4.3. 动力抬升条件分析

强对流天气的发生与维持依赖于充足的动力抬升条件, 垂直运动与涡度演变是表征对流系统动力结构的核心参量, 中尺度强迫上升气流是对流触发的核心机制, 低层辐合引发的“预抬升”通常早于地面降水 1.5~2 h [9]。结合宁波栎社国际机场的垂直速度、涡度与风场时间剖面, 本次过程的动力抬升特征如下:

垂直上升运动是强降水形成的关键动力条件——其不仅能将低层暖湿空气向高空输送, 促进水汽凝结释放潜热, 还能维持对流系统的垂直结构。如图 6(a)所示: 强上升运动的集中时段为 10:00~13:00, 100~850 hPa 高度层出现显著负垂直速度区, 最大垂直速度 ≤ -225 cm/s, 表明该时段存在强烈的上升运动。

本次过程中, 垂直强上升运动较机场强降水阶段(北京时 14:20~15:10)提前约 1.5~2 h, 垂直强上升运动的提前出现, 本质是低层暖湿空气的“预抬升”过程, 而云滴增长至降水粒子的物理过程会产生时间差: 中尺度对流系统的触发始于低层辐合, 涡度剖面中 10:00~12:00 的低层为正涡度, 这一过程驱动暖湿空气向中高层抬升, 即 11:00~13:00 的强上升运动, 但此时空气需经历“绝热冷却→水汽饱和凝结→云滴碰并增长”的过程, 云滴从微米级(凝结阶段)增长至雨滴量级(直径 >0.5 mm), 通常需要 2 h 左右, 这与本次降水过程的实况相吻合。

涡度是表征大气旋转运动的物理量, 低层正涡度的增强通常对应低层辐合的加强, 进而触发或维持上升运动。如图 6(b)所示: 正涡度的增强与辐合抬升: 10:00~12:00, 850 hPa 以下高度层出现显著的正涡度区, 表明低层辐合运动加强。正涡度区与垂直速度剖面中的强上升运动区时空重合, 低层正涡度引发的辐合抬升是本次强降水的重要触发机制。

涡度的垂直配置上, 775 hPa 以下为正涡度, 775 hPa 以上为负涡度, 形成“低层正涡度辐合-高层负涡度辐散”的配置, 这种配置能显著增强垂直上升运动的强度与持续时间, 是本次强降水维持的关键动力条件。本次过程中中低层强上升运动和低层正涡度辐合的动力配置, 为强降水提供了充足的抬升条件。

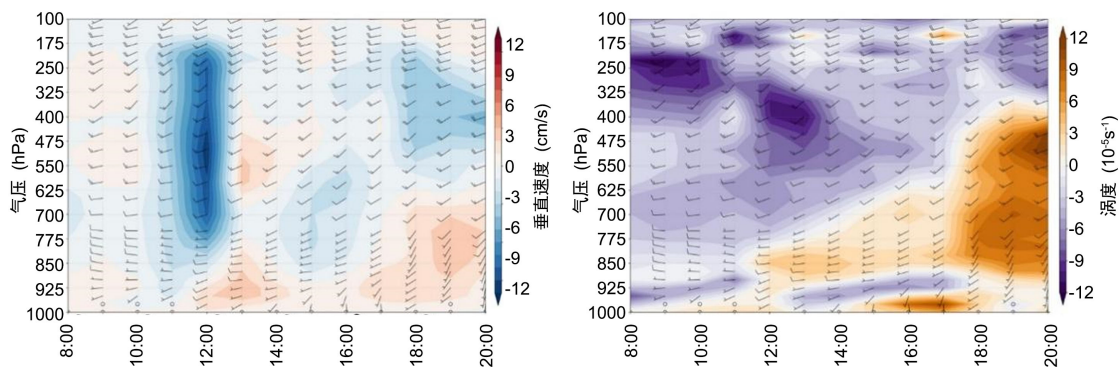


Figure 6. Time-height cross-section of (a) vertical velocity, (b) vorticity, and wind field at Ningbo Airport from 08:00 to 20:00 on 14 June 2025

图 6. 2025 年 6 月 14 日 08 时~20 时宁波机场 (a) 垂直速度、(b) 涡度与风场时间剖面图

4.4. 抬升触发机制

地面辐合线是对流触发的关键中尺度系统。当两侧气流在此处汇合时, 会产生强烈的垂直抬升运动, 将低层暖湿空气向上输送, 为对流云团的发展提供初始动力。

如图 7 所示, 2025 年 6 月 14 日午后余姚市存在一条地面辐合线向南稳定推进。14:00 辐合线移至江北区中部至海曙区中北部, 呈东北-西南走向, 其北侧为风速较大的西北风, 南侧为偏南风与偏东风, 两侧气流在辐合线附近形成明显的水平辐合。受辐合线影响, 机场上游移来的对流云团加强, 覆盖本场, 为此次大雷雨过程提供了对流触发条件。

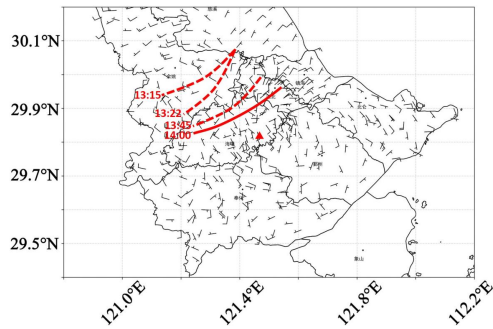


Figure 7. Surface wind field at 14:00 on 14 June 2025 (red solid line indicates the observed convergence line at 14:00; red dashed line indicates the previous position of the convergence line; red triangle indicates the location of the airport)
图 7. 2025 年 6 月 14 日 14:00 地面风场(红色实线表示 14:00 时实况辐合线位置，红色虚线表示辐合线过去位置，红色三角表示机场位置)

4.5. 热力与层结条件

T-lnp (温度 - 对数压力)图是分析大气热力层结与垂直动力条件的核心工具，本次选取 2025 年 6 月 14 日北京时间 08:00 杭州站(与宁波同处浙东区域，具有环境场代表性)的 T-lnp 图，如图 8 所示，从 T-lnp 图的温湿廓线可见对流不稳定显著，图中湿绝热线与干绝热线呈“上凸下凹”分布，850 hPa 以下温度(19.2℃)高于气团抬升后的湿绝热温度，说明低层暖湿、中高层相对干冷，形成了条件性不稳定层结。另外，此时的抬升凝结高度(LCL)较低，抬升凝结高度仅为 965.5 m，且此时的对流有效位能(CAPE)高达 946 J/kg，不稳定能量十分充沛，为强降水的短时爆发储备了充足的不稳定能量。

该时刻的整层空气湿度高、接近饱和，还具有“强热力不稳定、低抬升凝结高度、弱垂直风切变”的特征，气流只需稍微的抬升即可触发凝结，这种配置是浙东沿海梅雨期短时强降水的典型环境场，为宁波地区强雷雨过程的发生提供了关键的热力与动力基础。

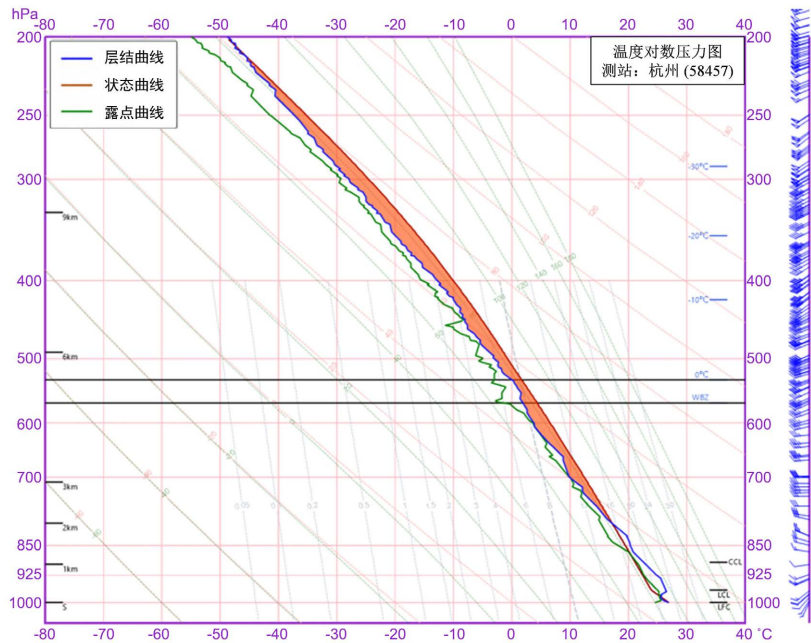


Figure 8. T-lnp diagram at Hangzhou Station at 08:00 on 14 June 2025
图 8. 2025 年 6 月 14 日 08:00 杭州站 T-lnp 图

K 指数作为表征大气热力不稳定与湿度垂直分布的关键参数, 其数值大小与强对流天气的发生概率、强度呈显著正相关。李文娟等[10]对杭州地区短时强降水的研究结论指出 $K \geq 27^\circ\text{C}$ 且配合低层高湿时, 短时强降水发生概率显著提升。因此绘制出 2025 年 6 月 14 日 08:00、12:00 两个关键时次的 K 指数 $\geq 27^\circ\text{C}$ 等值线图, 宁波栎社国际机场所在区域的 K 指数演变与本次强雷雨过程高度匹配, 具体特征分析如下:

如图 9(a)所示, 08:00 的 K 指数大值区总体呈现“西强东弱”的梯度分布, 宁波及浙东沿海区域 ($120^\circ\sim 122.5^\circ\text{E}$, $29^\circ\sim 31^\circ\text{N}$) 也已形成 K 指数 $\geq 27^\circ\text{C}$ 的不稳定区, 且在宁波地区也呈现“西强东弱”的梯度分布: 不稳定核心区位于杭州湾西侧(杭州至绍兴一带), K 指数达 $29^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$, 宁波栎社国际机场所在区域($29^\circ 49.5'\text{N}$, $121^\circ 27.9'\text{E}$) K 指数为 $29^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$ 的窄带中, 略低于西侧核心区。该时段 K 指数高值区与 ERA5 再分析资料中 850 hPa 比湿 $\geq 14\text{ g/kg}$ 的高湿区重叠, 说明热力不稳定的累积已具备“高温高湿”的环境基础。

如图 9(b)所示, 14:00 的 K 指数分布呈现不稳定区东扩且强度增强的特征, 与机场强降水的快速增强阶段(14:20~14:30)良好对应。宁波及周边区域($121^\circ\text{E}\sim 123^\circ\text{E}$, $29^\circ\text{N}\sim 31^\circ\text{N}$) K 指数全面升至 $30^\circ\text{C}\sim 31^\circ\text{C}$, 机场所在区域 K 指数在 30°C 左右, 进入强不稳定区间, 不稳定区的东扩路径与中尺度对流云团的移动方向一致。西侧杭州 - 绍兴一带的 K 指数高值区随对流云团东移, 14:00 完全覆盖宁波地区。

从天气学意义看, K 指数的增强与垂直温度递减率的增大密切相关, 14:00 宁波地区 850~500 hPa 温度差达 22°C , 较 08:00 增大 4°C , 而垂直温度递减率正是 K 指数的核心贡献项, 且较强的高空冷平流可以强迫暖湿空气剧烈抬升, 所以这种温度层结进一步加剧了大气的对流不稳定性, 为机场强降水的短时爆发提供了关键热力条件, 这是雷暴的典型启动机制。

此次过程的 K 指数的高值分布是台风残留环流输送暖湿水汽和高空槽前弱抬升共同作用的结果。2501 号台风“蝴蝶”残留云系带来的偏南气流将南海水汽输送至浙东沿海, 使低层大气湿度饱和, 同时 500 hPa 高空槽前的正涡度区触发弱上升运动, 为不稳定能量的初步累积提供动力条件。

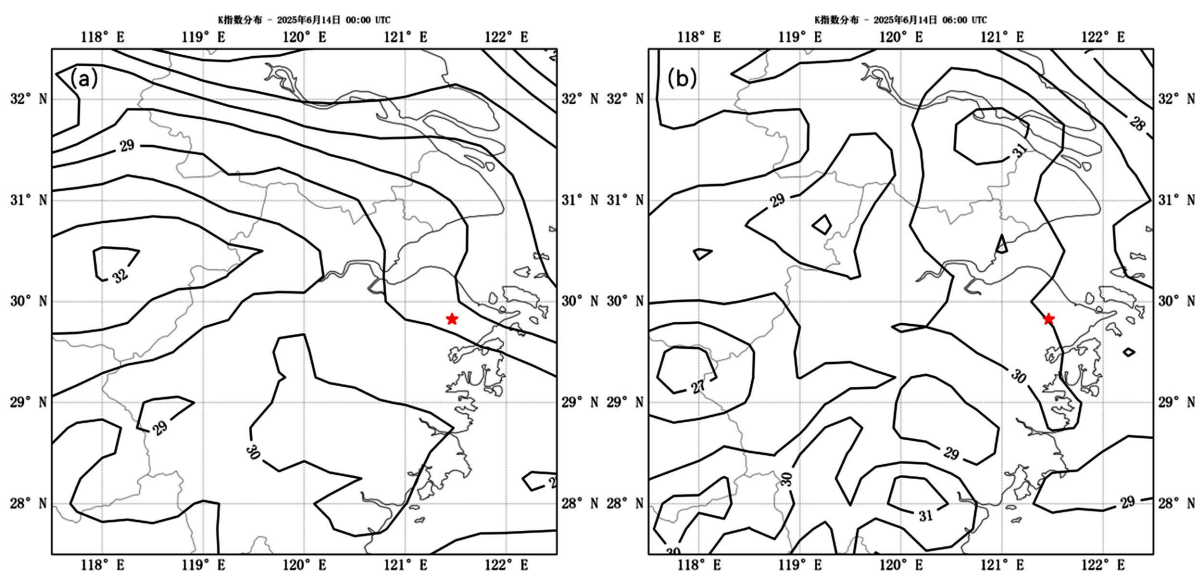


Figure 9. Distribution of K-index at (a) 08:00 and (b) 14:00 on 14 June 2025

图 9. 2025 年 6 月 14 日 K 指数分布 (a) 08:00 (b) 14:00

5. 结论与讨论

本文利用 ERA5 再分析资料、浙江省自动站资料、宁波机场 AWOS 资料及多普勒天气雷达资料, 对

2025 年 6 月 14 日宁波地区一次强雷雨天气过程进行了系统的诊断分析, 主要结论如下:

1) 此次强雷雨过程发生在“台风-副高-高空槽”协同影响的有利大尺度环流背景下。500 hPa 高空槽前正涡度区、副热带高压西北侧西南气流与台风“蝴蝶”外围环流共同构成了“高空槽前-中低层西南急流输送-台风环流水汽补给”的多尺度环流配置, 为强降水的发生提供了较强的水汽条件和动力条件。

2) 动力抬升条件充足, 中低层强上升运动提前于强降水约 1.5~2 h 出现, 为“预抬升”过程。低层正涡度辐合与高层负涡度辐散的配置显著增强了垂直上升运动的强度与持续时间, 地面中尺度辐合线的稳定推进为对流触发提供了关键条件, 其移动路径经过宁波栎社国际机场上空。

3) 大气层结不稳定, 满足李文娟等[10]对杭州地区短时强降水的研究结论, K 指数 $\geq 27^{\circ}\text{C}$, CAPE 值高达 946 J/kg, 低层暖湿、中高层干冷的不稳定层结为强对流发展提供了充足的不稳定能量。这种“强热力不稳定、低抬升凝结高度、弱垂直风切变”的配置是浙东沿海梅雨期短时强降水的典型环境场。

此次强雷雨过程造成宁波栎社国际机场航班延误 37 架次、备降 12 架次, 对民航运行造成了较大影响。本研究系统揭示了“台风残留低压-高空槽”叠加影响下强雷雨过程的形成机制, 可为浙东沿海地区类似强对流天气的预报预警提供科学依据, 为民航运行安全保障提供技术支撑。

需要指出的是, 本文主要基于诊断分析方法, 对此次过程的数值模拟和敏感性试验有待进一步开展, 以更深入地理解各影响因子对强降水强度和落区的贡献。此外, 针对民航运行保障的短时临近预报技术, 如基于雷达回波外推的降水预报、雷暴大风预警指标等, 也是后续研究的重要方向。

参考文献

- [1] 李茂松, 李森, 李育慧. 中国近 50 年洪涝灾害灾情分析[J]. 中国农业气象, 2004(1): 40-43.
- [2] 张小玲, 陶诗言, 卫捷. 20 世纪长江流域 3 次全流域灾害性洪水事件的气象成因分析[J]. 气候与环境研究, 2006(6): 669-682.
- [3] 寿绍文. 中国暴雨的天气学研究进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 450-463.
- [4] 陈有利, 钱燕珍, 段晶晶, 等. 南海台风苗柏对一次梅雨暴雨加强影响的模拟试验[J]. 气象, 2019, 45(10): 1402-1414.
- [5] 王波. 民用航空雷暴天气观测与保障浅析[J]. 科技与创新, 2019(18): 96-97.
- [6] ICAO (2024) The Developments of Detection, Warning and Service of Low-Level Wind Shear and Turbulence. ICAO Asia and Pacific Office.
- [7] 赵强, 王楠, 李萍云, 等. 两次陕北暴雨过程热力动力机制诊断[J]. 应用气象学报, 2017, 28(3): 340-356.
- [8] 刘希, 曾明剑, 王亚强, 等. 台风“利奇马”远距离暴雨的关键动力因子和水汽来源[J]. 大气科学学报, 2023, 46(5): 776-789.
- [9] 俞小鼎, 周小刚, 王秀明. 雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J]. 气象学报, 2012, 70(3): 311-337.
- [10] 李文娟, 赵放, 赵璐, 等. 基于单站探空资料的不同强度短时强降水预报指标研究[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(2): 132-138.