

舟山2025年梅雨期内一次强对流过程诊断分析

张旭东, 陈淑琴*, 刘 菡, 姚懿芸, 许欣欣

舟山市气象局, 浙江 舟山

收稿日期: 2026年4月23日; 录用日期: 2026年5月22日; 发布日期: 2026年5月28日

摘要

2025年6月7日舟山市入梅, 15日出现暴雨过程并伴随显著强对流, 局地出现10~13级雷暴大风。本文基于探空资料、地面自动观测站资料的综合诊断表明: 500 hPa舟山位于副热带高压北缘槽前西南急流区, 700~850 hPa层存在切变线和显著暖湿平流, 低层强盛西南急流和地面辐合促使暖湿空气快速抬升, 是典型的“低层暖平流强迫类”强对流。探空显示CAPE值中等强度, 但0~6 km风切变超过达到22.8 m/s, 动力条件十分突出, 同时中层强风速和相对干的空气为动量下传和冷池密度流的产生创造了条件。S波段、X波段雷达的监测资料展示了风暴的典型结构特征, 包括飚线、弓状回波、低层大风区等。X波段雷达的剖面图及三维反演风场揭示了前期风暴中的悬垂结构、弱回波区、强上升气流, 后期风暴的减弱、下沉气流。舟山立体风暴实时监控分析系统显示了强回波质心快速下沉、速度模糊区下沉, 与极端大风实况相对应, 说明大风是由下击暴流引起的。值得注意的是梅雨期在热力条件不显著的情况下, 仍可能在强动力环境中产生破坏性大风, 在短临监测预报中应特别关注中高层风速、垂直风切变、低层急流与切变线、对流风暴的悬垂结构、核心下沉以及速度模糊等信号。

关键词

梅雨期, 强对流, 下击暴流, 雷暴大风

Diagnostic Analysis of a Severe Convection Process during the Meiyu Period in Zhoushan in 2025

Xudong Zhang, Shuqin Chen*, Han Liu, Yiyun Yao, Xinxin Xu

Zhoushan Meteorological Bureau, Zhoushan Zhejiang

Received: April 23, 2026; accepted: May 22, 2026; published: May 28, 2026

*通讯作者。

文章引用: 张旭东, 陈淑琴, 刘菡, 姚懿芸, 许欣欣. 舟山2025年梅雨期内一次强对流过程诊断分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(3): 688-695. DOI: 10.12677/ccrl.2026.153073

Abstract

Zhoushan entered the Meiyu period on June 7, 2025, and a heavy rain event accompanied by significant severe convection occurred on the 15th, with local thunderstorm gales of magnitude 10~13. Based on a comprehensive diagnosis using sounding data and ground automatic weather station data, this study shows that at 500 hPa, Zhoushan was located in the southwest jet area ahead of the trough on the northern edge of the subtropical high. Shear lines and intense warm-wet advection existed at 700~850 hPa. The strong low-level southwest jet and surface convergence triggered rapid uplift of warm-wet air, representing a typical severe convection event forced by low-level warm advection. Soundings indicated moderate convective available potential energy (CAPE), while the 0~6 km vertical wind shear reached 22.8 m/s, suggesting extremely favorable dynamic conditions. Meanwhile, strong winds and relatively dry air in the middle layer provided conditions for momentum downward transport and the formation of cold pool density currents. Monitoring data from S-band and X-band radars revealed typical structural characteristics of the storm, including squall lines, bow echoes, and low-level gale regions. Cross-sections and three-dimensional retrieved wind fields from X-band radar illustrated the overhanging structure, weak echo region, and strong updrafts in the early stage of the storm, as well as the weakening and downdrafts in the later stage. The Zhoushan Three-Dimensional Storm Real-Time Monitoring and Analysis System captured the rapid descent of strong echo centroids and the sinking of velocity aliasing areas, corresponding well to the observed extreme gales, indicating that the gales were caused by downbursts. Notably, even under insignificant thermal conditions during the Meiyu period, destructive gales can still form in a strong dynamic environment. In short-term monitoring and forecasting, special attention should be paid to signals such as middle-upper-level winds, vertical wind shear, low-level jets and shear lines, overhanging structures of convective storms, core descent, and velocity aliasing.

Keywords

Meiyu Period, Severe Convection, Downburst, Thunderstorm Gale

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

舟山市地处东海前沿,属于北亚热带南缘海洋性季风气候,具有典型的海岛季风气候特征。每年6、7月份,盛行的东亚季风带来的暖湿空气和北方南下的冷空气对峙,形成梅雨锋并持续对峙[1],梅雨锋的建立与维持往往表现为闷热、高湿、降水天气频繁。与持续性降水并行的是,梅雨期也常夹杂短时强降水、雷暴大风、冰雹等强对流天气[2]。

低空急流和切变线常构成梅雨锋区强对流产生的动力触发背景。研究指出,在复杂地形作用下,低空急流的演变与冷池边界在中尺度对流系统的激发和传播中起关键作用[3]。此外,梅雨锋区的触发和组织形式受到冷池、地形和边界层结构的影响,沿锋面对流单体的“列车式”触发与“列车带”结构是典型组织模式[4]。舟山作为海岛地区,在梅雨期更易受到副高边缘急流、低层切变线及海陆风辐合作用,因而强对流过程发生频繁且局地性显著[5]。这些灾害性天气对港航运输、渔业生产及沿海基础设施安全威胁突出,提升梅雨期对流识别和短临预警能力具有重要现实意义。

2025年舟山梅雨期共持续23天,总降水量211.3mm,出现四次强降水过程,其中6月15日过程尤

为典型。该次过程伴随大范围雷电、短时强降水和极端雷暴大风，定海小沙站和普陀东亭站分别出现 13 级和 12 级大风。该过程在探空上并未表现出极端大的 CAPE 值，但却出现了典型的“低层暖平流强迫型”对流[6]，这种梅雨期暴雨过程中出现极端强对流大风的个例比较少见，有必要开展研究。本文将应用探空资料、地面自动站观测数据、S 波段多普勒雷达和 X 波段相控阵雷达资料等，对 6 月 15 日强对流过程进行诊断，以期雷暴大风的短临监测预报提供参考。

2. 天气实况

2025 年 6 月 15 日，舟山市范围出现暴雨和强对流天气，定海区、普陀区、岱山县出现暴雨，降雨量超过 50 毫米的镇(街)有 13 个，其中最大单站为普陀六横西站(73.8 mm)，如图 1(a)所示；岱山及以南区域出现强雷电和雷暴大风，其中 10 级 9 站，定海小沙、普陀东亭站分别出现 13 级(40 m/s)和 12 级(33.2 m/s)雷暴大风，如图 1(b)所示。

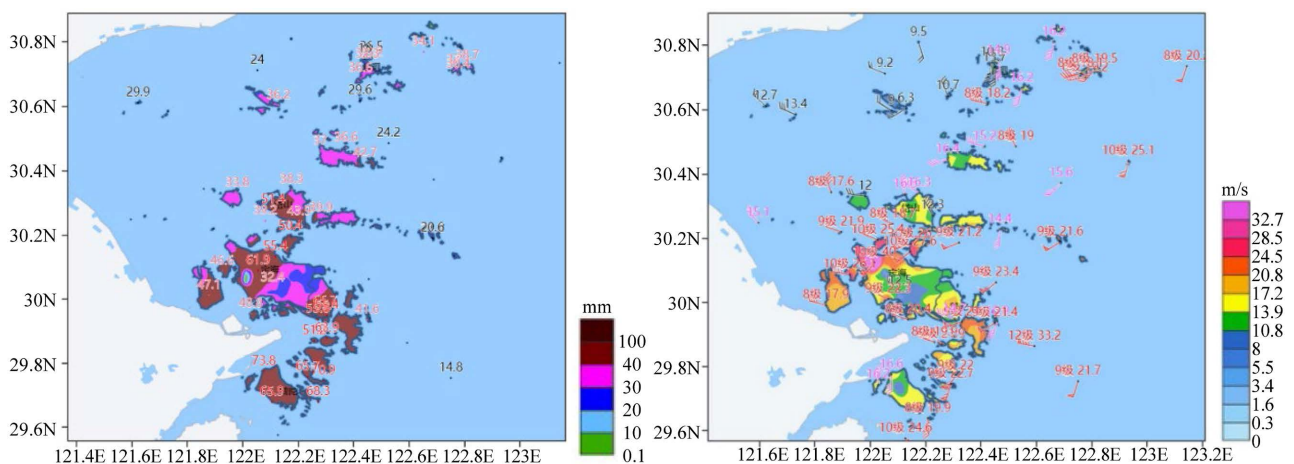


Figure 1. (a) Precipitation in Zhoushan from 0800 UTC 15 June to 0800 UTC 16 June 2025; (b) Maximum wind gusts from 1400 UTC to 1600 UTC 15 June 2025

图 1. (a) 2025 年 6 月 15 日 08 时~16 日 08 时舟山降水; (b) 2025 年 6 月 15 日 14 时~16 时极大风

3. 天气形势和对流条件分析

图 2(a)是 2025 年 6 月 15 日 08 时 500 hPa 形势图，可以看出舟山位于副热带高压北侧边缘，华北有冷涡携高空槽东移，高空西南急流显著，达 22 m/s，舟山位于槽前西南急流内，且有显著风速辐合。700 hPa (图 2(b))华北仍有冷涡，华南有 2025 年第 1 号台风“蝴蝶”减弱后的低压，仍有显著的西南急流，且在上游杭州、绍兴地区有风速、风向辐合和切变，舟山位于切变南面急流轴左前侧。850 hPa (图 2(c))华南同样存在西南急流，在上游地区出现风速、风向辐合和西北、西南风形成的切变，强化了水平辐合，迫使暖湿空气加速上升，同时，南面残留低压持续提供暖湿气流，进一步补充水汽和不稳定能量。925 hPa (图 2(d))形势与 850 hPa 类似，风速略小。通过天气形势分析可知本次舟山的强对流是一次比较典型的“低层暖平流强迫类”强对流过程。

进一步揭示本次过程舟山强对流天气的热力和动力条件，选取了舟山附近的杭州(58457)与洪家(56665)两站 15 日 08 时探空资料(图 3)，对关键对流指数进行对比分析。杭州站探空(图 3(a))显示整层空气湿度很大，抬升凝结高度 LCL 和自由对流高度 LFC 分别在 975 hPa 和 830 hPa 附近，高度比较低，对流易于触发。对流有效位能 CAPE 约 $190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，最有利抬升指数 BLI 为 -2.8°C ，K 指数为 39.6°C ，具备一定的能量条件，但这是 08 时的探空，随着中午地面温度升高，CAPE 会加大，能量条件将变得更好。

0~6 km 垂直风切变为 12 m/s, 0~3 km 垂直风切变为 8.7 m/s, 具有一定的垂直风切条件, 随着西风槽和西南急流东移, 中午垂直风切也会加大。洪家站探空显示(图 3(b)), 低层空气湿度较大, 中层 500 hPa 湿度较小, 有利于产生冷池密度流。CAPE 值约为 $1045 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$, BLI 为 -4.8°C , K 指数达到 42.8°C , 表明大气环境具有中等强度的不稳定能量。值得注意的是, 0~6 km 垂直风切变高达 22.8 m/s, 0~3 km 垂直风切变为 15.6 m/s, 这一数值远超一般深对流阈值, 显示出显著的垂直风切变条件, 为风暴组织和维持提供了有利动力背景。

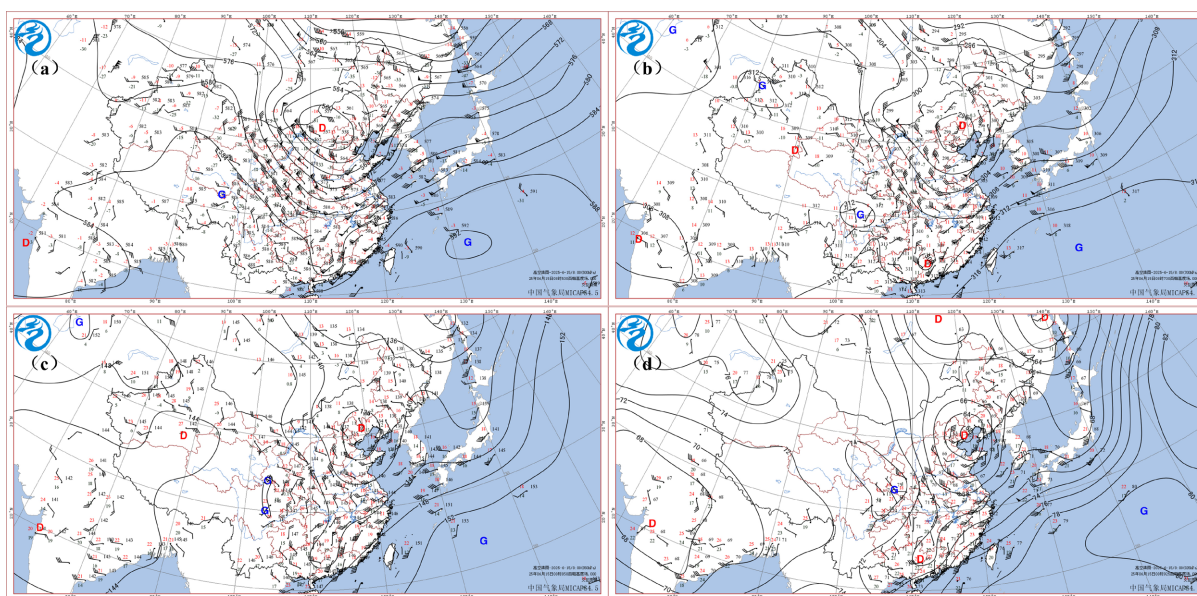


Figure 2. Synoptic situation maps at 0800 UTC 15 June 2025 (a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa; (d) 925 hPa

图 2. 2025 年 6 月 15 日 08 时天气形势图(a) 500 hPa; (b) 700 hPa; (c) 850 hPa; (d) 925 hPa

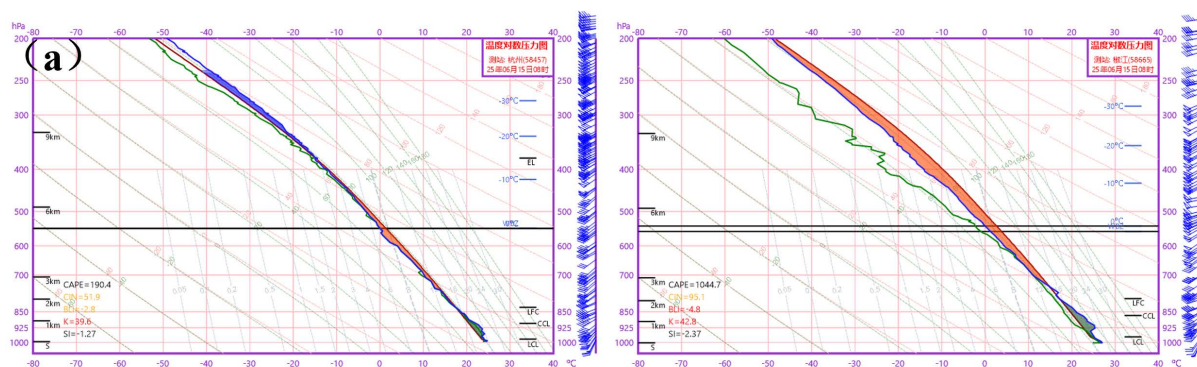


Figure 3. Sounding diagrams at 0800 UTC 15 June 2025 (a) Hangzhou Station; (b) Hongjia Station

图 3. 2025 年 6 月 15 日 08 时探空图(a) 杭州站; (b) 洪家站

综合环流背景和附近探空站资料可见, 本次强对流过程的环境特征在于: 500 hPa 舟山位于副热带高压北缘槽前西南急流区, 700~850 hPa 层存在切变线和显著暖湿平流, 低层强盛西南急流和地面辐合促使暖湿空气快速抬升, 表现为典型的“低层暖平流强迫”型环境。综合杭州、洪家两个探空站的数据, 舟山上空水汽条件很好, 热力不稳定条件中等, 而动力条件十分突出, 强风切变和中层急流使得高层动量能够向下传输, 为下击暴流和雷暴大风的产生创造了条件。同时, 洪家探空反映中层存在一定干空气层,

与低层暖湿空气叠置，有利降水蒸发冷却加大下沉气流。

4. 雷达资料分析

本次强对流过程展现出比较典型的雷达特征，本节将基于舟山 S 波段多普勒雷达资料、X 波段相控阵雷达资料、立体风暴监测系统资料对强对流过程的雷达特征进行分析。

4.1. S 波段多普勒雷达

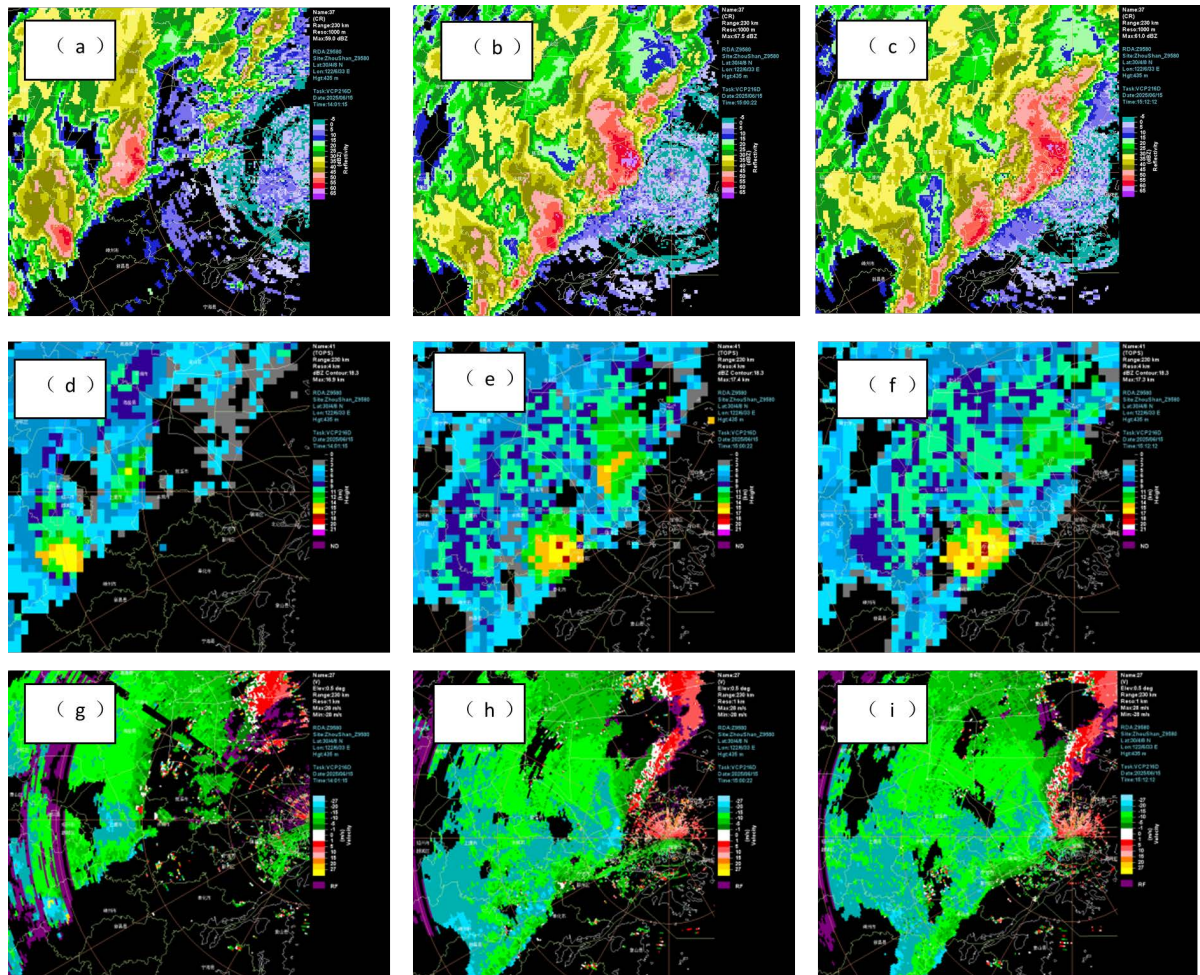


Figure 4. Zhoushan radar composite reflectivity (a, b, c); echo top height (d, e, f) and 0.5° elevation radial velocity (g, h, i) at 1401 UTC, 1500 UTC and 1512 UTC 15 June 2025

图 4. 2025 年 6 月 15 日 14:01、15:00 和 15:12 舟山雷达组合反射率因子(a, b, c)、回波顶高(d, e, f)和 0.5° 仰角径向速度(g, h, i)

2025 年 6 月 15 日受高空槽、西南急流和台风“蝴蝶”减弱后的低压共同影响，浙江省有明显的降水过程，中午浙北到浙西南有大范围的降水回波，呈东北西南带状分布，在带状回波的前沿有一些较强的单体形成。13 时(图略)，浙江绍兴一带有回波东移，此时绍兴地区位于底层切变和风向、风速辐合带，同时近地面温度偏高，为回波加强提供了有效动力和热力条件。因此，14 时左右(图 4(a))回波在绍兴一带迅速加强，组合反射率因子达到了 55 dBz ，回波顶高达 15 km (图 4(d))，形成明显的弓状回波，速度图(图 4(g))上也出现了明显的大风区。同时在宁波、舟山西部海域也有一些单体生成并快速发展，绍兴的强回

波和宁波的回波逐渐合并加强。15:00 (图 4(b))形成一条爬线进入舟山西部海域,组合反射率因子最强达到了 65 dBz,径向速度产品(图 4(h))显示爬线前侧出现了速度模糊,速度值超过了 27 m/s。15:12 (图 4(c))强回波达到定海西侧,强中心有所减弱,最强回波为 60 dBz,回波顶高只有 12 km (图 4f),和前两个时刻相比有了明显下降,径向速度(图 4(i))显示仍有速度模糊,模糊的数值超过 30 m/s,表明很可能此时已出现下击暴流在地面辐散形成强风。此时开始附近地面出现了 10 级以上的大风,15:15 定海小沙自动观测站观测到了 40 m/s 的雷暴大风。

4.2. X 波段相控阵雷达

舟山范围有 3 部 X 波段相控阵雷达组网,其探测的时间分辨率为 1 min,空间分辨率为 100 m,较 S 波段多普勒雷达有更高的时间和空间分辨率,其展示平台可以更好表现单体的垂直结构,并且有三维反演的风场,能展示风暴中的运动特征。图 5(a)为 14:59 舟山 X 波段相控阵雷达拼图产品,可以明显看出系统非常强,大于 60 dBz 的强回波达到了 7 km 高度,并且有明显的悬垂结构,强回波的中下层(5 km 以下),有向上伸展的窄带状的弱回波区,这是由强盛的上升气流形成的。反演的风场可以看出,系统的中前侧盛行上升气流,上升速度达 20~30 m/s,系统的后侧是从中层往下的下沉运动,可以把高空的动量下传到低层。15:05 开始系统强度明显减弱,强回波范围减小,系统前侧的上升气流转为下沉气流。15:09 (图 5(b))强回波中心的高度明显降低(4 km 左右),反演的风场也显示系统中盛行下沉气流,加大了地面风速,之后附近地面出现了 10 级以上的大风。X 波段相控阵雷达资料补足了 S 波段相控阵雷达在时间尺度上的不足,且直观地展现了风暴内部的垂直结构和风场的变化。

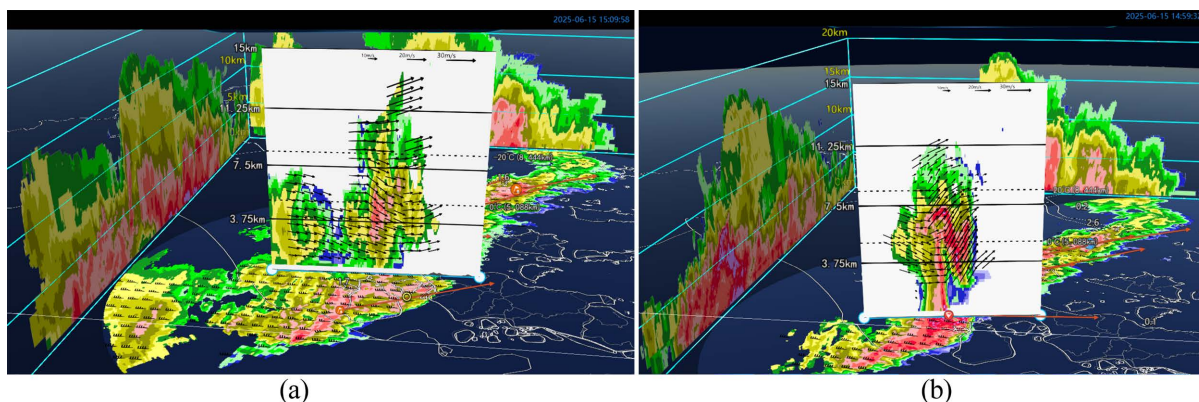


Figure 5. X-band radar reflectivity and retrieved wind field cross-section in Zhoushan on 15 June 2025 (a: 1459 UTC, b: 1509 UTC)

图 5. 2025 年 6 月 15 日(a: 14:59, b: 15:09)舟山 X 波段雷达反射率因子及反演风场剖面

4.3. 舟山立体风暴实时监测分析系统

通过 S 波段多普勒雷达了解回波形态发展、结构特征和移动方向,通过 X 波段相控阵雷达了解回波单体垂直结构后,还需要分析强对流系统整体的形态和运动特征,舟山立体风暴实时监控分析系统将雷达资料插值处理得到三维立体数据,可以更直观地显示风暴立体结构,提前获取核心的沉降状态,帮助提前预报预警。

图 6 展示了 15:06、15:12 和 15:18 单体的垂直结构。15:06 存在明显强回波中心(65 dBz),高度接近 7 km,15:12 强回波中心明显下沉,高度降至 3 km,中心强度也略有减弱,为 60 dBz,15:18 强回波中心接近地面,在短时间内反射率因子核心快速下降接地,说明本次强对流过程存在下击暴流。15:06 强单体

核心下方(3~4 km 高度)存在较强的大风区,有明显的速度模糊,且在 1~2 km 高度也有速度模糊,表明高层强核心下降在中低层形成了辐散大风。15:12 随着反射率因子核心快速下降到 3 km 附近,速度模糊区高度也下降至 1 km 高度和近地面,并且处于反射率因子核心的下方和前侧,此时地面附近测站观测到 10~13 级大风,说明此大风是由下击暴流形成的。

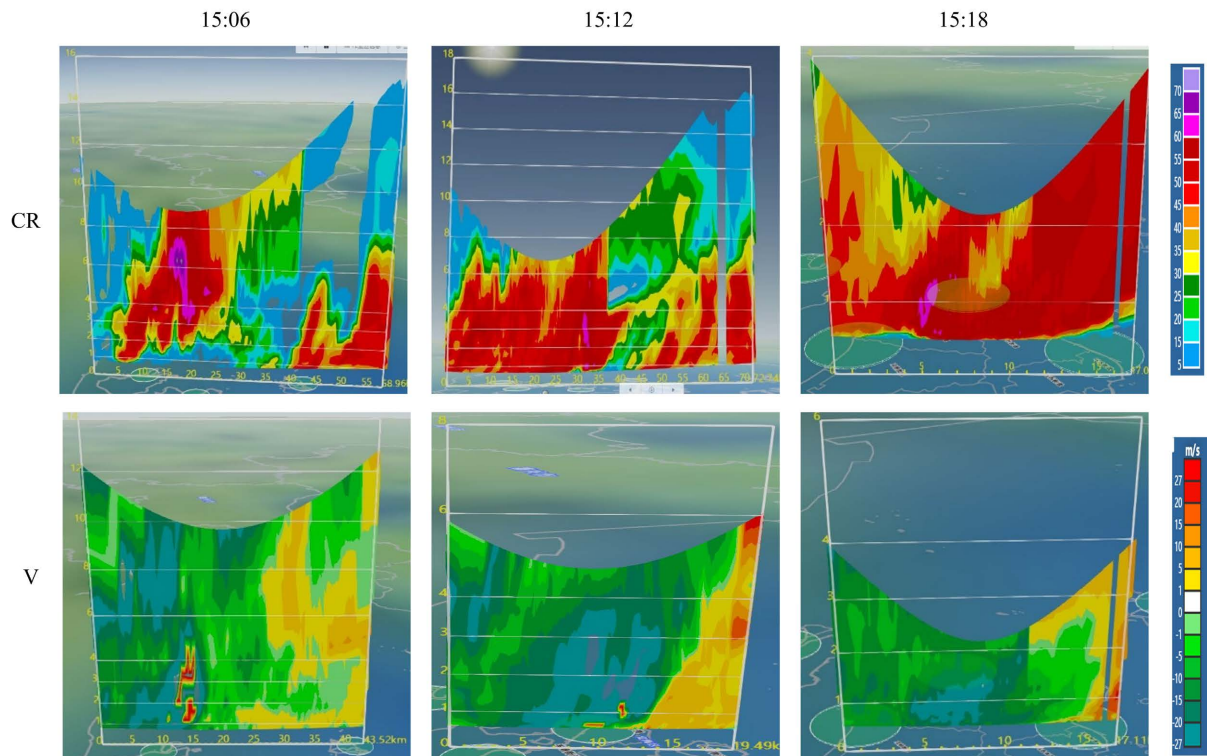


Figure 6. Vertical structure of radar composite reflectivity (CR) and radial velocity (V) at 1506 UTC, 1512 UTC and 1518 UTC 15 June 2025

图 6. 2025 年 6 月 15 日 15:06、15:12 和 15:18 雷达组合反射率(CR)和径向速度(V)垂直结构图

5. 结论

本文对舟山市 2025 年 6 月 15 日梅雨期中一次典型强对流过程进行了分析, 结果表明:

1) 此次强对流天气是在暴雨过程中产生极端雷暴大风, 比较罕见。从天气背景看是典型的“低层暖平流强迫类”, 中高层副热带高压北抬, 舟山位于槽前西南急流区, 中低层存在强烈的西南急流和切变, 地面辐合显著, 为对流发展提供了有利的热力和动力环境。

2) 探空资料显示舟山上空水汽条件很好, CAPE 值中等, 但 0~6 km 风切变达到 22.8 m/s, 远超深对流阈值, 动力条件十分突出, 同时中高层强风速和相对干的空气为动量下传和冷池密度流的产生创造了条件。

3) S 波段、X 波段雷达的监测资料揭示了风暴的典型结构特征, 包括飚线、弓状回波、低层大风区等。X 波段雷达的剖面图及三维反演风场揭示了前期风暴中的悬垂结构、弱回波区、强上升气流, 后期风暴的减弱、下沉气流。舟山立体风暴实时监控分析系统显示了强回波核心快速下沉、速度模糊区下沉、与极端大风实况相对应, 说明存在下击暴流, 在地面辐散, 造成局地 10~13 级雷暴大风。

综上, 梅雨期暴雨过程中也可能产生强对流天气, 但是在典型暴雨形势下很容易忽略大风, 要重点关注中高层风速、垂直风切变, 动力条件特别强的情况下也会产生极端的大风。对于舟山这样的海岛地

区, 在短临监测预报中应特别关注低层急流与切变线、对流风暴的悬垂结构、核心下沉以及速度模糊等信号, 避免因忽视动力条件而漏报极端大风事件。

基金项目

浙江省自然科学基金项目(LZJMY25D050009)、舟山市气象科技计划项目(2025YB06)、浙江省科技计划项目(2023ZDZL01)资助。

参考文献

- [1] Tao, S.Y. (1987) A Review of Recent Research on the East Asian Summer Monsoon in China. *Monsoon Meteorology*, 7, 60-92.
- [2] Zhou, T. and Yu, R. (2005) Atmospheric Water Vapor Transport Associated with Typical Anomalous Summer Rainfall Patterns in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **110**, 0148-0227. <https://doi.org/10.1029/2004jd005413>
- [3] 黄小彦, 孙继松, 刘文婷. 地形作用下低空急流的演变与强降水对流风暴系统的相互作用[J]. 气象学报, 2020, 78(4): 551-567.
- [4] 赵宇, 裴昌春, 杨成芳. 梅雨锋暴雨中尺度对流系统触发和组织化的观测分析[J]. 气象学报, 2017, 75(5): 700-716.
- [5] Chen, G.T., Wang, C. and Lin, D.T. (2005) Characteristics of Low-Level Jets over NorthernTW in Mei-Yu Season and Their Relationship to Heavy Rain Events. *Monthly Weather Review*, **133**, 20-43. <https://doi.org/10.1175/mwr-2813.1>
- [6] 许爱华, 孙继松, 许东蓓, 等. 中国中东部强对流天气的天气形势分类和基本要素配置特征[J]. 气象, 2014, 40(4): 400-411.