

# 台州夏季短时强降水日变化特征及其成因初探

周嘉涵<sup>1</sup>, 张灵杰<sup>2</sup>, 王 亮<sup>1</sup>

<sup>1</sup>仙居县气象局, 浙江 台州

<sup>2</sup>天台县气象局, 浙江 台州

收稿日期: 2025年10月23日; 录用日期: 2025年12月19日; 发布日期: 2025年12月29日

## 摘 要

本文利用2014~2023年台州市98个气象站点的逐小时降水资料, 统计分析了台州市夏季短时强降水的降水量PA、降水频率PF和降水强度PI的日变化特征及区域差异, 并利用ERA5再分析资料对一次极端短时强降水过程进行了初步分析。研究结果表明, 台州市夏季短时强降水的PA、PF日峰值的空间分布相似。PA和PF的日变化均呈现为午后单峰型, 而PI呈双峰结构。PA日变化的日峰值受PF和PI共同影响, 受PF的影响更为显著。L1类短时强降水对夏季短强总降水量的贡献更大, 其中中部地区的贡献尤为显著; 各子区域L1类短时强降水和L2类极端短时强降水的PA、PF的日变化呈现为单峰型分布, 而西部地区短时强降水更为活跃。在动力抬升机制、不稳定能量、水汽条件、地形强迫等方面的良好配合下, 易发生极端短时强降水。

## 关键词

台州, 短时强降水, 日变化, 降水量, 降水频率

# Diurnal Variation and Causes of Summer Short-Duration Heavy Rainfall in Taizhou

Jiahuan Zhou<sup>1</sup>, Lingjie Zhang<sup>2</sup>, Liang Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Xianju Meteorological Bureau, Taizhou Zhejiang

<sup>2</sup>Tiantai Meteorological Bureau, Taizhou Zhejiang

Received: October 23, 2025; accepted: December 19, 2025; published: December 29, 2025

## Abstract

This study utilizes hourly precipitation data from 98 meteorological stations in Taizhou during

2014~2023 to statistically analyze the diurnal variation and regional differences of precipitation amount (PA), precipitation frequency (PF) and precipitation intensity (PI) for summer short-duration heavy rainfall events in Taizhou. Additionally, ERA5 reanalysis data were employed to conduct a preliminary analysis of one extreme short-duration heavy rainfall. Results indicate that the spatial distributions of peak values for PA and PF in Taizhou's summer short-duration heavy rainfall are similar. Both PA and PF exhibit a single-peak diurnal pattern, while PI shows a double-peak structure. The peak of PA is influenced by both PF and PI, with PF exerting a more significant effect. Short-duration heavy rainfall L1 contributes more significantly to total summer short-duration heavy rainfall, with the central region exhibiting the highest contribution. Diurnal variations of PA and PF for L1 and extreme short-duration heavy rainfall L2 in each subregion follow a single-peak distribution, while western regions experience more active short-duration heavy rainfall. Extreme short-duration heavy rainfall is prone to occur under the synergistic interaction of dynamic lifting mechanisms, instability energy, moisture conditions, and topographic forcing.

## Keywords

Taizhou, Short-Duration Heavy Rainfall, Diurnal Variation, Precipitation Amount, Precipitation Frequency

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

在全球气候变化背景下, 极端降水事件的频次与强度呈上升趋势, 对生态环境、社会经济发展及人民生命财产安全构成严重威胁。短时强降水作为极端降水的关键类型, 虽持续时间通常不足 12 小时, 但由于其突发性强、降水强度大、局地性显著等特点, 极易诱发城市内涝、山洪及地质灾害等次生灾害, 其预报预警一直是气象领域的重点与难点问题[1]。因此, 深入剖析短时强降水的时间演变规律, 尤其是日尺度上的变化特征, 对于提升极端降水灾害的防灾减灾能力具有重要的科学价值与现实意义。

日变化是区域降水在热力、动力及地形等多因素协同作用下呈现的重要时间属性, 不同气候背景与地理环境会导致降水日变化特征存在显著差异。汪冬冬等人[2]对浙江梅雨期降水日变化进行了分析, 再结合地形特点进行区域划分, 发现各区域雨量集中分布时段、不同时段各区域的降水量级分区都有所不同; 郭玉琳等人[3]对新疆天山山区夏季降水的降水量、降水频次和降水强度的日变化特征进行了分析, 发现这几个特征量对降水日变化的贡献、趋势主导的差异, 并且发现降水与海拔高度有密切的联系; 李晓婷等人[4]对辽宁夏季降水的降水特征量的日变化进行统计分析, 发现各特征量的空间分布差异, 不同持续时间、不同强度等级的降水事件对降水日变化特征也有不同贡献。

我国东部季风区是短时强降水的高发区域, 其中浙江省地处亚热带季风气候区, 夏季受梅雨、台风及局地对流系统的综合影响, 短时强降水事件频发且具有显著的时空异质性[5]-[8]。目前对于浙江省降水特征的研究多集中于季节或年际尺度变化, 关于夏季短时强降水日变化特征的研究较少。小时尺度数据因其具有较高的时间分辨率, 能够更准确地反映出降水过程的时间演变特征及其发展规律。

因此, 利用 2014~2023 年夏季(6~8 月)台州市内国家站和代表乡镇区域自动站(共 98 个站点)的逐小时降水资料, 系统分析短时强降水日变化的时空特征, 包括降水量、降水频率、降水强度方面, 并选取极端短时强降水典型个例, 初步探讨夏季极端短时强降水的成因。期望能够为台州地区夏季降水精细化

预报预警提供参考, 以及为预报服务和防灾减灾提供科学依据。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 数据

本文采用浙江省气象局提供的 2014~2023 年夏季(6~8 月)台州市内国家站和代表乡镇区域自动站(共 98 个站点)的逐小时降水资料(由仪器设备自动采集并上传), 通过气候极值检验和内部一致性检查对数据进行质量控制; 欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的 ERA5 再分析资料(时空分辨率为 1 h 和  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ), 本文使用的要素包括地面气压、CAPE 值、K 指数、大气整层水汽含量、位势高度、温度、相对湿度、经向风、纬向风、垂直速度等物理量。

### 2.2. 方法

本文的研究区域为台州市(东经  $120^{\circ}17' \sim 121^{\circ}56'$ , 北纬  $28^{\circ}01' \sim 29^{\circ}20'$ )。将小时降水量  $\geq 20$  mm 的降水定义为短时强降水[1]。对 2014~2023 年夏季逐小时降水资料进行统计, 得到各时次累计降水量与累计降水时数, 进一步计算逐时气候平均降水量 PA、降水频率 PF、降水强度 PI(降水量与降水频率的比值)。日峰值是指一天 24 个时次气候平均值的极大值, 为更清晰体现各气象站降水峰值的不同, 采用自然间断点法将台州市降水量、降水频率、降水强度的日峰值进行分级[4]。结合地形对台州市进行分区并计算各区域平均的降水量和降水频率, 进而分析降水日变化的区域差异。将不同强度的短时强降水分为两类: L1 类短时强降水( $20 \text{ mm} \leq \text{小时降水量} \leq 49.9 \text{ mm}$ )和 L2 类极端短时强降水(小时降水量  $\geq 50 \text{ mm}$ ) [1], 然后根据分类将不同强度的逐小时数据进行累计及求平均。基于 ERA5 再分析资料, 对极端短时强降水典型个例的形势场、指数条件等方面进行初步分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 台州市夏季短时强降水日变化的基本特征

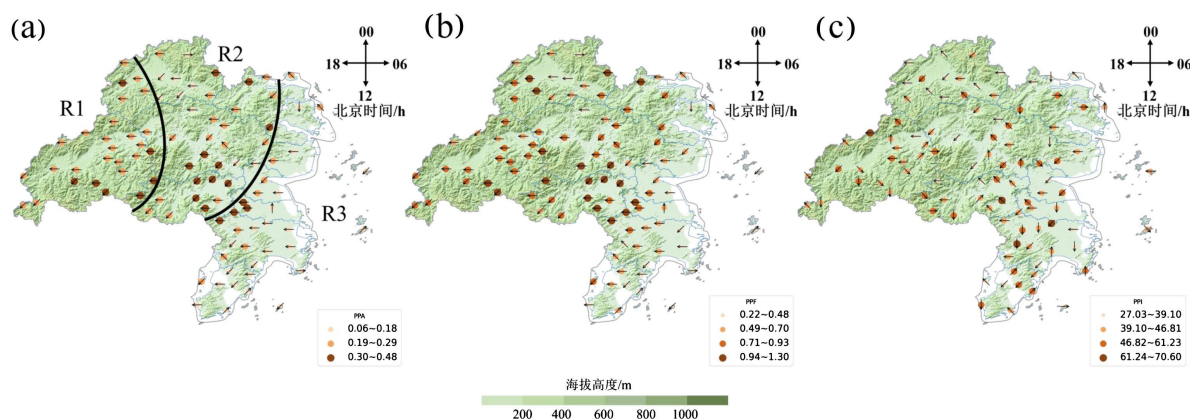
#### 3.1.1. 台州市夏季短时强降水日峰值及其出现时间的空间分布

由图 1(a)可知, 中南部山区的降水量日峰值多数达到 0.30 mm/h 以上, 部分东部沿海及个别中北部平原地区的降水量日峰值在 0.18 mm/h 以下, 而多数中西部山区的降水量日峰值介于两者之间。不同区域箭头指向不同, 说明降水量日峰值的出现时间存在区域差异性。西部山区表现较为统一, 大多集中在 17~19 时; 中部、东部沿海地区则多在 14~19 时出现。

台州市短时强降水的降水频率日峰值空间分布与降水量日峰值分布相近(图 1(b)), 中南部山区的降水量和降水频率日峰值偏大, 而部分东部沿海及个别中北部平原地区, 这两项日峰值偏小。西部山区、中东部部分平原地区的降水频率日峰值多在 17~19 时出现, 中南部山区降水频率日峰值则常出现在 14~16 时, 这与降水量日峰值的出现时间基本吻合。

由图 1(c)可知, 降水强度日峰值的空间分布与降水量、降水频率存在一定区别。降水强度日峰值的大值区多分布在山地与平原的交界地带, 这或许是因为山地与平原间的对流活动较强[5]; 个别东部沿海地区站点, 其降水强度日峰值也较大, 可能是受到台风影响或向西地面抬升的喇叭口地形影响的降水[6]。

复杂的下垫面条件及海陆热力差异等原因使台州市不同区域在降水量、降水频率与降水强度的日峰值及出现时间上存在差异。据此, 基于地形特征将全市划分为 3 个子区域(图 1(a))。西部山区 R1 地形以山地为主, 海拔较高, 降水受地形影响明显; 中部丘陵区 R2 为西部山区和东部沿海的过渡地带, 地形以低山丘陵为主, 海拔中等, 地势起伏和缓, 降水受系统移动或局地地形影响; 东部沿海地区 R3 紧邻东海, 以平原地形为主, 海拔较低, 地势平坦, 易受台风影响。



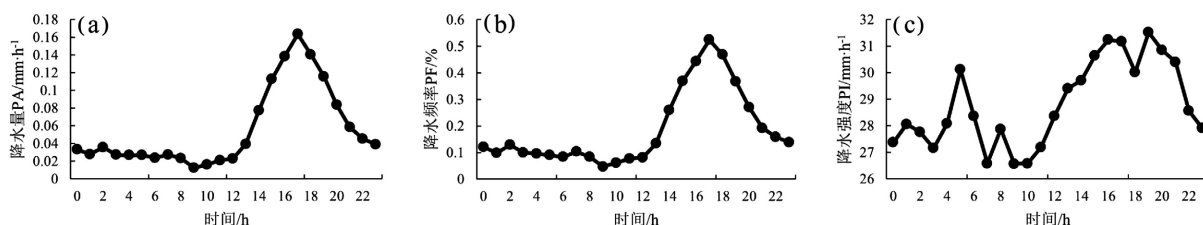
图片来源: python 制图。

**Figure 1.** Spatial distribution of peak precipitation amount (a), peak precipitation frequency (b), peak precipitation intensity (c), and their occurrence times (arrows) in a day (24 h) for summer short-duration heavy rainfall events in Taizhou

**图 1.** 台州市夏季短时强降水的降水量日峰值(a)、降水频率日峰值(b)、降水强度日峰值(c)及其出现时间(箭头)的空间分布

### 3.1.2. 区域平均短时强降水日变化特征

从图 2(a)、图 2(b)可以看出,台州市区域平均的短时强降水的降水量和降水频率日变化均呈现典型的单峰分布特征,峰值出现在傍晚时段,谷值则出现在上午。0~12 时期间降水量和降水频率始终保持较低水平,说明后半夜到上午降水活动偏弱且发生短时强降水的概率低;12 时后降水量和降水频率快速上升,在 16~18 时之间达到峰值,随后逐渐下降,22 时后回到低值区间。



**Figure 2.** Diurnal variations of regional average PA (a), PF (b), and PI (c) for summer short-duration heavy rainfall events in Taizhou

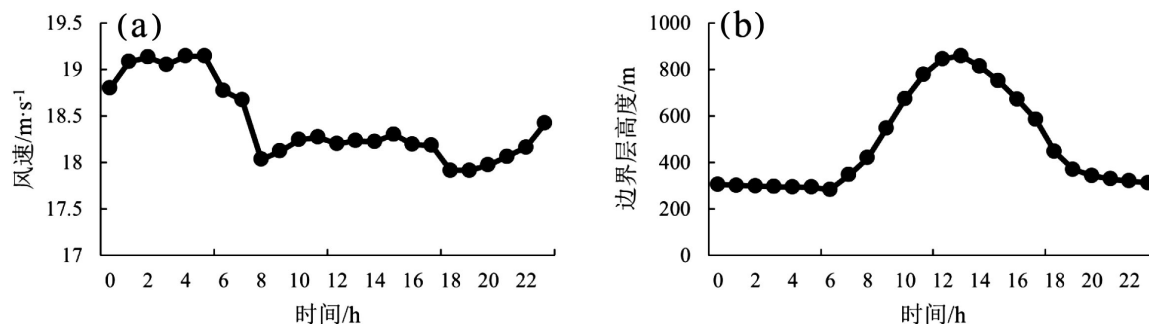
**图 2.** 台州市夏季短时强降水区域平均降水量(a)、降水频率(b)和降水强度(c)的日变化特征

而降水强度日变化与降水量、降水频率的日变化并不完全同步(图 2(c)),整体呈双峰型分布,峰值分别出现在清晨与傍晚,其中傍晚时段的峰值高于清晨。在 4~6 时之间出现次高峰,而降水量和降水频率为低值,说明此时降水频率低但强度相对较高,850 hPa 低空急流最大风速(图 3(a))在凌晨至清晨维持较高风速,午后到傍晚呈波动状态,反映出局地动力条件的日变化特点,夜间增强的低空急流带来水汽输送和辐合可能是降水强度在清晨出现次高峰的原因之一[9];7~10 时之间降水强度降至低谷,是一日中强度最低的时段;10 时之后降水强度逐渐上升,在 16~20 时达到主高峰,随后下降;边界层高度(图 3(b))因地表加热、湍流旺盛,通常在午后达到峰值,清晨时段较低且稳定;午后主高峰与降水量、降水频率的峰值时段部分重叠,体现了午后对流性降水频繁、雨量大、强度高的特征。

由图 4 可知,各子区域短时强降水的降水量和降水频率日变化均呈单峰型,峰值出现在傍晚,谷值则在上午出现;西部与中部地区日峰值高于东部,且中部地区峰值出现时间略早于西部与东部。

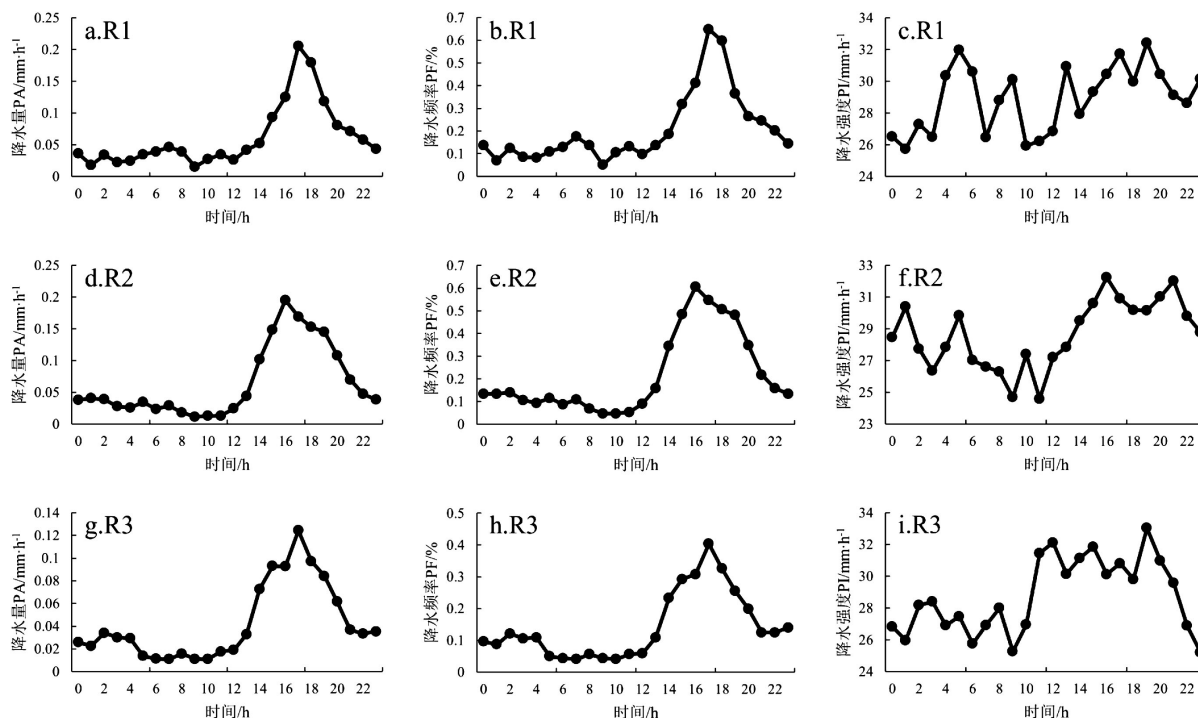
而各子区域的降水强度日变化与降水量、降水频率的单峰型不同,降水强度呈多峰波动型,且峰值

时段、波动幅度的区域差异更明显。西部地区 R1 在凌晨 5 时左右出现次高峰,傍晚 19 时左右为主高峰;中部地区 R2 在凌晨 1 时左右出现次高峰,16、21 时左右出现主高峰;东部地区 R3 凌晨峰值不明显,在 11~20 时主高峰更突出,后期下降速度快,且强度的极端性略高于西部、中部地区。



**Figure 3.** Diurnal variation of maximum wind speed of the 850 hPa low-level jet (a) and the average boundary layer height (b) in Taizhou during summer

**图 3.** 台州市夏季 850 hPa 低空急流最大风速(a)和平均边界层高度(b)的日变化特征



**Figure 4.** Diurnal variations of regional average PA, PF, and PI for summer short-duration heavy rainfall events of each subregion in Taizhou

**图 4.** 台州市夏季各子区域短时强降雨区域平均降水量、降水频率和降水强度的日变化特征

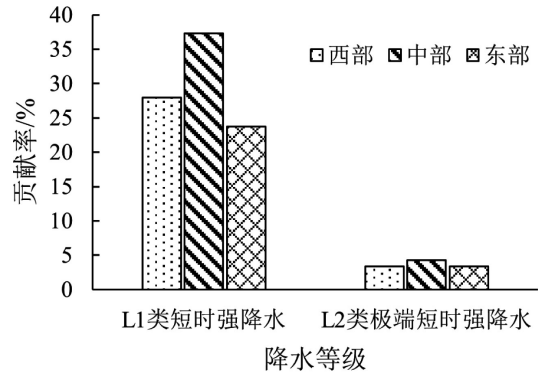
降水量、降水频率日变化的趋势相似,区域差异也基本一致,说明降水量日变化的日峰值受降水频率、降水强度共同影响,且降水频率的影响更为显著。而降水强度与降水量、降水频率的日变化特征差异明显且区域差异显著,反映出降水强度不仅受降水是否发生影响,还与降水系统类型(如对流性降水、稳定性降水)、不同区域局地热力或动力条件(如午后热力对流、低空急流夜间增强)等因素有关[7][9],导致其日变化规律更复杂。



### 3.2. 不同等级短时强降水的日变化特征

#### 3.2.1. 不同等级短时强降水对夏季总短时强降水的贡献

分别统计并计算各子区域内不同等级的短时强降水对夏季总短时强降水的降水量。由图 5 可知，与 L2 类极端短时强降水相比，小时降水量在 20~49.9 mm 的 L1 类短时强降水对 3 个子区域夏季短强总降水量的贡献更大，占比达 89%，其中中部地区该类降水的贡献尤为显著，占 37%；而小时降水量  $\geq 50$  mm 的 L2 类极端短时强降水对夏季总短时强降水的降水量贡献有限，且不同子区域的贡献差异不明显。

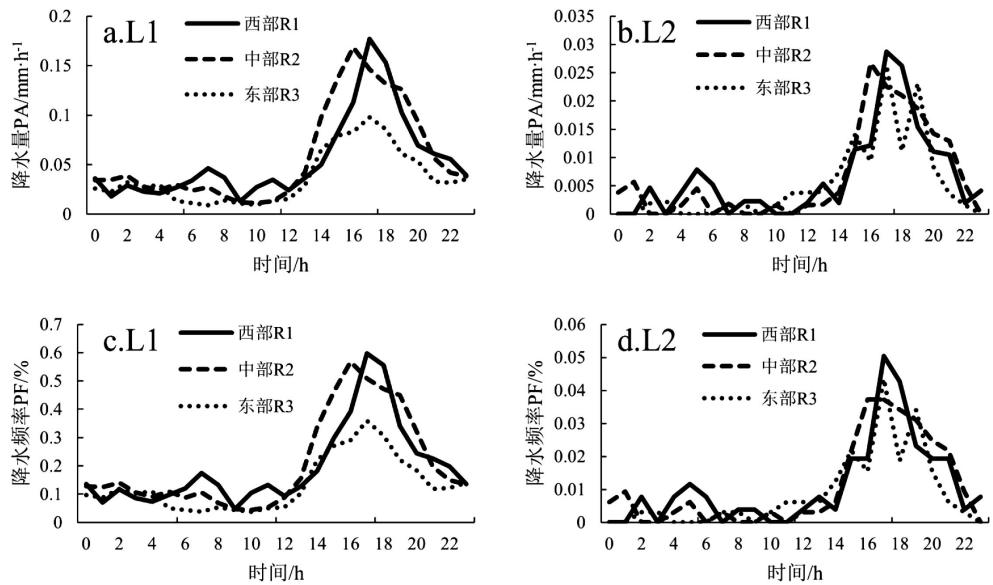


**Figure 5.** The percentage contribution of different intensity levels of summer short-duration heavy rainfall events to total summer short-duration heavy rainfall of each subregion in Taizhou

**图 5.** 台州市各子区域不同等级短时强降水对夏季总短时强降水的降水量贡献

#### 3.2.2. 各子区域不同等级短时强降水的日变化特征

由图 6 可知，各子区域 L1 类短时强降水和 L2 类极端短时强降水的降水量、降水频率出现峰值的时间较一致，均出现在傍晚时段，呈现为单峰型分布，与夏季午后热力对流旺盛、易触发强降水的规律一致。



**Figure 6.** Diurnal variations of average PA and PF for different intensity levels of summer short-duration heavy rainfall events of each subregion in Taizhou

**图 6.** 台州市各子区域夏季不同等级短时强降水的气候平均降水量、降水频率日变化特征

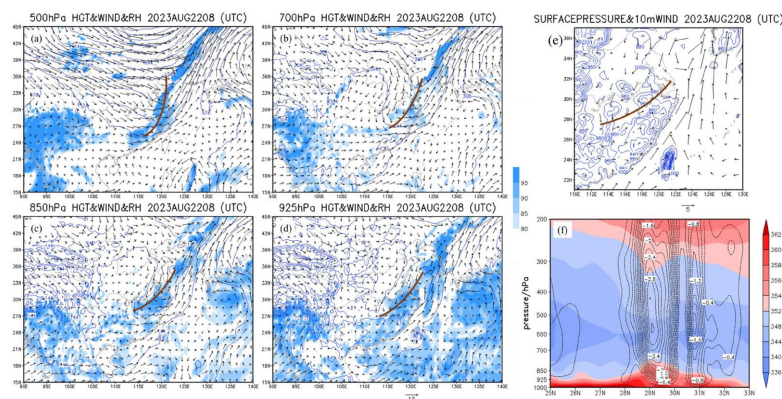
其中 L1 类短时强降水(图 6(a)、图 6(c))主要出现在 16~17 时,中部地区略早于西部和东部地区,而西部地区和中部地区短时强降水的降水频率均高于东部地区,其中西部地区短时强降水的降水量和降水强度峰值最大,说明西部地区短时强降水更为活跃;L2 类极端短时强降水(图 6(b)、图 6(d))主要出现在 16~19 时,西部和中部地区均呈现为单峰型,东部地区呈现为双峰型,其中 16~18 时均易发生极端短时强降水,而东部地区在 17、19 时易发生极端短时强降水,L2 的区域差异与 L1 一致,西部地区仍为极端短时强降水的核心区。

#### 4. 典型个例分析

本文在统计分析台州市夏季短时强降水日变化特征的同时,筛选了台州市各子区域内小时雨强最大的站点及发生时间,分别为:西部 R1 街头站点 2021 年 8 月 15 日 18 时小时雨强 89.3 mm、中部 R2 沿江站点 2023 年 8 月 22 日 16 时小时雨强 117.1 mm、东部 R3 杜桥站点 2023 年 7 月 20 日 15 时小时雨强 100.6 mm。台州市夏季短时强降水易发生在傍晚时分,因此选取 2023 年 8 月 22 日的极端短时强降水过程作为典型个例,从大尺度环流背景与动力抬升机制、不稳定能量累积、水汽输送与聚集、多尺度抬升触发机制配合方面进行初步分析。

##### 4.1. 大尺度环流背景与动力抬升机制

8 月 20 日至 22 日,高空槽与中低层切变线缓慢东移并进行了结构调整,整层槽切位置趋于一致,系统发展深厚,高空槽后冷空气东移下沉,槽前暖湿空气上升,中低层切变线附近的水平辐合进一步加强垂直上升运动,形成从近地面到高空的上升区,抬升速度快、范围广,能快速将低层暖湿空气抬升至高空冷却凝结,形成强降水。如图 7(a)~(e)所示,22 日高空槽东移至赣皖一带,中低层切变线由安徽南压至浙江中西部,整层槽切位置上下对应的深厚结构持续维持,且地面浙西及赣皖交界地区存在辐合线,为极端降水的发生提供了动力框架。从图 7(f)中也可以看到,28°~32°N 处大气作上升运动,大值中心位于 29°~30°N 处 600~500 hPa 附近,上升速度约为 2.8 Pa/s,动力条件良好;600 hPa 以下假相当位温随高度减小,28°~31°N 处存在向上凸起的高能舌,大气层结为对流性不稳定[10],这也有利于垂直对流的发展。



图片来源: GrADS 软件制图。

**Figure 7.** Potential height (contour lines, units: dagpm), horizontal wind (arrows, units: m/s), and relative humidity (shading, units: %) at the 500 hPa (a), 700 hPa (b), 850 hPa (c), and 925 hPa (d) levels at 16:00 on August 22, 2023. (e) Surface pressure (contour lines, units: hPa), 10 m horizontal wind (arrows, units: m/s). Brown curves indicate trough lines, shear lines, and surface convergence lines. (f) Longitudinal-vertical cross-section along 121.25°E: pseudo-equivalent potential temperature (shaded, units: K), and vertical velocity (black dashed lines, display negative values only, units: Pa/s)

**图 7.** 2023 年 8 月 22 日 16 时(a) 500 hPa、(b) 700 hPa、(c) 850 hPa、(d) 925 hPa 各层位势高度(等值线, 单位: dagpm)、水平风场(箭头, 单位: m/s)和相对湿度(填色, 单位: %), (e) 地面气压(等值线, 单位: hPa)、10 m 水平风场(箭头, 单位: m/s), 图中棕色曲线表示槽线和切变线、地面辐合线。(f) 沿 121.25°E 的经向-垂直剖面, 假相当位温(填色, 单位: K)、垂直速度(黑色虚线, 仅显示负值区, 单位: Pa/s)

## 4.2. 不稳定能量累积

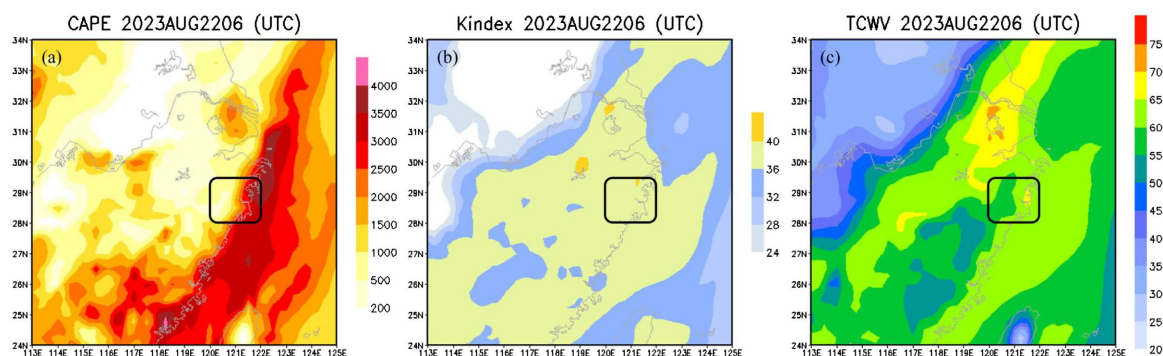
对流有效位能(CAPE)是衡量大气不稳定程度的关键指标。22 日 CAPE 值(图 8(a))在 1500 J/kg 以上,可能是由于增强的西南风将低纬度南海、孟加拉湾的暖湿空气源源不断输送至台州,低层暖湿空气堆积导致温度直减率增大,表明大气层结变得不稳定,为极端降水提供了强大的能量基础。同时,K 指数达到 36~40 的高值(图 8(b)),使得近地面暖湿空气经一定抬升即可达到饱和并触发对流,不稳定能量释放效率大幅提升。

## 4.3. 水汽输送与聚集

强降水发生的另一核心要素是充足的水汽。由图 8(c)可以看到,22 日台州地区大气整层水汽含量(TCWV)超过 55 kg/m<sup>2</sup>,水汽储备非常充沛。水汽的输送依赖西南气流的增强:22 日西南风加强,形成低空西南急流,将低纬度海洋的暖湿空气持续向台州地区输送;同时,地面浙西及赣皖交界的辐合线使输送至该区域的水汽进一步辐合聚集,为短时强降水提供了持续的水汽补给。

## 4.4. 多尺度抬升触发机制配合

22 日多个抬升触发机制在台州地区实现了精准叠加:中低层切变线由安徽南压,其附近是气流辐合和动力抬升的集中区,为对流的发生提供了大范围的、持续的动力触发条件;在浙西及赣皖交界存在明显的地面辐合线,是触发对流最直接、最有效的机制之一;在 925 hPa 沿海风速辐合的加强,增强了低层的辐合抬升作用;台州中部地区可能受到括苍山等山脉的地形影响,被迫抬升,从而进一步加剧上升运动,对降水有明显的增幅作用。



图片来源: GrADS 软件制图。

**Figure 8.** Distribution of (a) CAPE (units: J/kg), (b) K-index (units: °C), and (c) total column water vapor (units: kg/m<sup>2</sup>) at 14:00 on August 22, 2023. The black box indicates the discussion area for this case

**图 8.** 2023 年 8 月 22 日 14 时(a) CAPE 值(单位: J/kg)、(b) K 指数(单位: °C)、(c) 大气整层水汽含量 TCWV (单位: kg/m<sup>2</sup>)分布, 图中黑色框内为本个例讨论区域

综上所述,2023 年 8 月 22 日台州市中部的极端短时强降水,是大尺度环流、动力抬升、不稳定能量、水汽等多因子协同的结果:高空槽与中低层切变线的深厚发展提供了动力框架;较高的 CAPE 值与 K 指数表明大气积累了大量不稳定能量;而高 TCWV 说明水汽充沛;地面辐合线和整层抬升机制触发并维持了强盛对流。各类条件在 22 日傍晚达到最佳配合状态,最终导致了此次极端短时强降水过程的发生。

## 5. 结论与讨论

利用 2014~2023 年夏季台州市 98 个气象站点的逐小时降水资料,对该地区夏季短时强降水的降水



量、降水频率及降水强度的日变化与区域差异展开系统分析。研究结果表明,降水量与降水频率的日峰值空间分布相似,西部与中部地区日峰值普遍高于东部地区,峰值出现在午后到傍晚时段,且中部地区略早于西部和东部地区。二者日变化均呈午后单峰型,而降水强度则表现为双峰分布。降水量日峰值的变化受降水频率与降水强度共同影响,相较之下受到降水频率的影响更为显著。从不同等级的短时强降水来看,小时降水量在 20~49.9 mm 的 L1 类短时强降水对 3 个子区域夏季短强总降水量的贡献更大,其中中部地区的贡献尤为显著;各子区域 L1 类短时强降水和 L2 类极端短时强降水的降水量、降水频率出现峰值的时间较一致,均出现在傍晚时段,呈现为单峰型分布,且西部地区短时强降水更为活跃。

利用 ERA5 再分析资料对一次极端短时强降水过程进行了初步分析,发现台州市夏季短时强降水的发生与动力抬升机制、不稳定能量、水汽条件、地形强迫等方面均存在一定关系,而在各方面条件的良好配合下,易发生极端短时强降水。台州市夏季傍晚时段的不稳定能量条件常常有利于强对流的发生,尤其是中西部山区,而这也恰好符合台州市夏季短时强降水的降水量和降水频率日峰值均出现在午后到傍晚时段的特点[8]。

本文对台州市夏季短时强降水的日变化特征进行了统计分析,并选取极端短时强降水个例进行了初步分析。但由于研究区域较小,研究区内的区域差异也相对较小,且对于短时强降水日变化的形成机制和影响因子仅进行了初步探讨,而降水日变化涉及的物理机制极其复杂,除了与环流背景、地形强迫有关,还与云物理过程、对流活动、辐射传输、大气边界层的发展等多方面有关[11],有待进行进一步讨论。

## 基金项目

台州市气象科技计划项目(TZ2024QN04)。

## 参考文献

- [1] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 202-209.
- [2] 汪冬冬, 方艳莹, 申华羽, 等. 浙江省梅雨期降水日变化及 ECMWF 预报能力评估[J]. 水利水电技术(中英文), 2023, 54(7): 36-49.
- [3] 郭玉琳, 赵勇, 周雅蔓, 等. 新疆天山山区夏季降水日变化特征及其与海拔高度关系[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 57-65.
- [4] 李晓婷, 刘利民, 李雪洋, 等. 基于逐小时数据的辽宁省夏季降水日变化特征分析[J]. 沈阳农业大学学报, 2021, 52(2): 129-136.
- [5] 俞佩. 浙江省短时强降水的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2022, 27(3): 397-407.
- [6] 陶局, 唐燕玲, 易笑园, 等. 近 10a 浙江省极端短时强降水时空特征分析[J]. 暴雨灾害, 2021, 40(6): 599-607.
- [7] 吕劲文, 姚日升, 涂小萍, 等. 浙江省 6-9 月午后短时强降水空间分布特征分析[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(4): 320-328.
- [8] 沈晓玲, 李锋, 黄海迅, 等. 浙江梅汛期极端短时强降水特征分析[J]. 气象科学, 2025, 45(3): 367-377.
- [9] 智协飞, 李佳, 张玲. 双低空急流影响下华南初夏降水日变化的时空分布特征[J]. 大气科学学报, 2022, 45(3): 444-455.
- [10] 闵锦忠, 张申葵, 杨婷. 一次梅雨锋暴雨发生发展机制的诊断与模拟[J]. 大气科学学报, 2018, 41(2): 155-166.
- [11] Trenberth, K.E., Dai, A., Rasmussen, R.M. and Parsons, D.B. (2003) The Changing Character of Precipitation. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **84**, 1205-1218. <https://doi.org/10.1175/bams-84-9-1205>