

## 2106号台风“烟花”的路径及降水特点分析

项素清<sup>1</sup>, 韩兴<sup>1</sup>, 方鹤鸣<sup>2</sup>, 姜涵<sup>3</sup>

(1. 浙江省金华市气象局, 浙江 金华 310002; 2. 金东区气象局, 浙江 金华 310002; 3. 浦江县气象局, 浙江 金华 322200)

**摘 要:** 2106号台风“烟花”(In-Fa)在浙江省两次登陆,影响时间从7月22日一直持续到28日,受其影响,浙江过程累积面雨量及单站雨量均破登陆浙江台风历史记录。通过分析发现:台风时段副热带高压位置比常年同期异常偏北,导致引导气流很弱,是造成台风“烟花”移速缓慢甚至在原地回旋的直接原因。2107号台风“查巴卡”和2108号台风“尼伯特”与台风“烟花”无直接互旋作用,而是通过对副热带高压强度和范围的影响,间接对台风“烟花”路径产生影响。西南季风向台风“烟花”持续输送水汽,是其登陆后强度得以维持的原因,台风在杭州湾长时间逗留,水汽供应有利于强度的维持。台风西侧云系在浙江上空受干侵入影响,减弱非常明显,形成非对称结构。对流有效位能很小,影响对流发展,小时雨强普遍较小,但由于台风“烟花”影响时间是一般台风的2倍,故累积雨量大。后期边界层辐合线的形成触发了对流的发展。地形对降水的增幅非常显著,累积雨量大的站点通常都位于海拔较高的山区,地形增水作用下站点雨量可达其他站点的2~3倍。

**关键词:** 台风暴雨;非对称结构;西南急流;边界层辐合线;地形增水

**中图分类号:** P444; P732.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2023)03-0075-10

### 0 引言

中国是世界上台风登陆最多、受灾最严重的国家之一。浙江位于中国东部沿海,台风灾害很重。台风灾害往往由台风引发的暴雨造成,并引起山洪爆发、农田受淹、城市内涝和道路损毁等灾害。国内外学者已经利用各种观测资料对台风降雨开展了大量研究<sup>[1-4]</sup>。台风暴雨区大体可分为台风环流本身的暴雨区(包括眼壁暴雨、内外螺旋雨带降水、台风倒槽内的暴雨、台风内切变暴雨及台前飚线暴雨)和台风远距离暴雨区<sup>[5]</sup>。一般来说台风降水的分布可分为轴对称分布和非对称分布<sup>[6]</sup>。在非对称降水研究方面,当台风已经登陆或将要登陆时,台风右前方向岸风的地形抬升比较显著,最大雨量往往出现在台风右前象限或前半部。张建海等<sup>[7]</sup>在对台风“Rananim”登陆后引发强降水的成因和暴雨分

布进行诊断分析时发现,在台风登陆后,台风环流本身产生的降水呈现明显的非对称分布,最大降水中心主要出现在台风登陆点的东北侧,这与台风的自身结构、水汽条件和地形等因素有关。台风在登陆后往往强度减弱较快,降水也随之减少,但由于地形的抬升以及地表的拖曳效应会导致降水在一定时间内得到增强,台风与地形相互作用还会激发中小尺度系统发展,从而影响降水强度和分布<sup>[8]</sup>。

2021年第6号台风“烟花”(In-Fa,编号2016)登陆浙江,影响时间长,累积雨量大,并破历史气象记录。本文利用常规观测资料、卫星云图、多普勒雷达观测、浙江省自动气象站资料及美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)1.0°×1.0°再分析资料,对台风“烟花”的路径及降水特点进行分析。

收稿日期: 2021-12-27。

基金项目: 中国气象局预报员专项(CXFZ2021Z033);金华市科技局项目(2021-4-370)。

作者简介: 项素清(1973-),女,高级工程师,硕士,主要从事台风及暴雨预报研究。E-mail:307619867@qq.com

## 1 台风“烟花”概况

台风“烟花”于2021年7月18日02时(北京时,下同)在西北太平洋洋面上生成(见图1),20日14时加强为台风级,21日11时加强为强台风级,25日12时30分前后在浙江省舟山普陀区登陆(登陆风力为13级),26日09时减弱为强热带风暴级,26日09时50分前后在浙江省平湖市沿海二次登陆(登陆风力为10级),然后缓慢向西北方向移动,17时进入江苏省境内,28日移入安徽省境内,后逐渐转向偏北方向移动,穿过山东省后于30日进入渤海湾。受台风“烟花”影响,7月22日08时—28日08时,浙江省平均面雨量达191 mm(见图2),单站最大雨量出现在余姚大岚镇丁家畈,达1 034 mm,破浙江省登陆台风过程雨量极值。宁波市平均面雨量为360 mm、舟山市为334 mm、绍兴市为331 mm、湖州市为256 mm、嘉兴市为230 mm、杭州市为209 mm。金华市平均面雨量为141.4 mm,各县市面雨量较大的为磐安(253.6 mm)、浦江(221.7 mm)、东阳(192.2 mm),累积雨量大于200 mm的站点有74个,大于300 mm的站点有19个,最大为东阳市虎鹿镇西垣站(681.1 mm),破全市有气象资料以来台风降雨极值记录。最大小时雨强出现在磐安县新渥深泽站,为36.4 mm,过程最大风力出现在磐安县维新滑雪场站,达31 m/s(风力为11级)。台风“烟花”主要特点为台风环流大且云系广、台风移速慢且路

径复杂、台风影响时间长且累积雨量大。

## 2 台风移动路径分析

台风“烟花”移动路径复杂多变,出现了北移、西折、南落、停滞等“花式”路径。台风“烟花”移速很慢,特别是在浙江省滞留期间移速只有6 km/h。25日中午台风登陆舟山,26日上午在浙江平湖市二次登陆,17时才移出浙江省,后在江苏南部继续缓慢西北行,28日才转为向偏北方向移动。

从500 hPa形势场上可以看到(见图3),在7月18日台风“烟花”生成初期,西太平洋副热带高压(简称副高)呈东西块状分布,中心位于日本海,副高脊线比常年同期偏北10个纬距以上,588线在日本南部海上。19日08时2107号台风“查巴卡”在南海生成,和台风“烟花”相距15个纬距左右,两者存在一定的互旋作用,导致台风“烟花”向西偏南方向移动。23日中高纬蒙古一带有高空槽东移,日本海副高减弱东退,西侧脊明显削弱,586线东撤10个纬距左右,副高南侧引导气流由偏东风转变成东南风,同时台风“查巴卡”西移强度减弱,对台风“烟花”影响变小,导致台风“烟花”23日开始折向西北方向移动,折角将近90°,移速为10~15 km/h。24日副高588线范围增大,东南气流加强,移速达15 km/h左右且略有加快。2108号台风“尼伯特”于24日凌晨在150°E附近生成,与台风“烟花”相距20

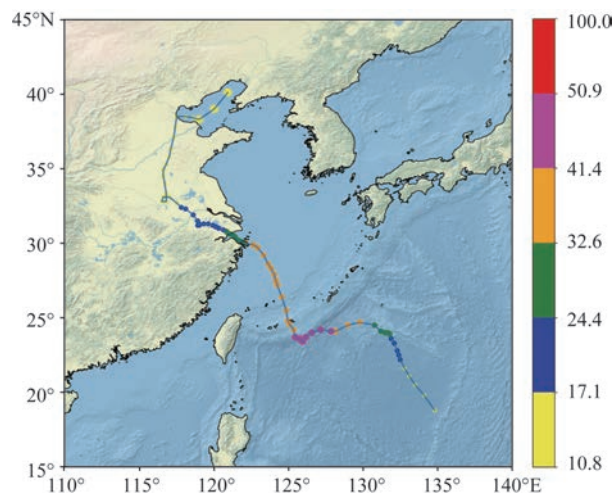


图1 “烟花”台风移动路径

Fig.1 Movement path of the typhoon "In-Fa"

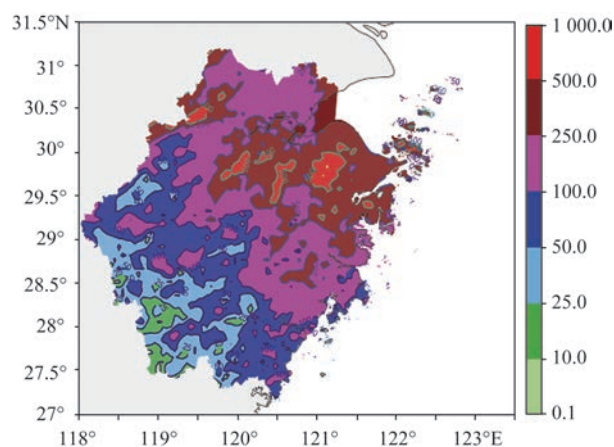


图2 浙江省自动气象站雨量分布图(单位:mm)

Fig.2 The rainfall distribution of the automatic meteorological station in Zhejiang Province (unit:mm)



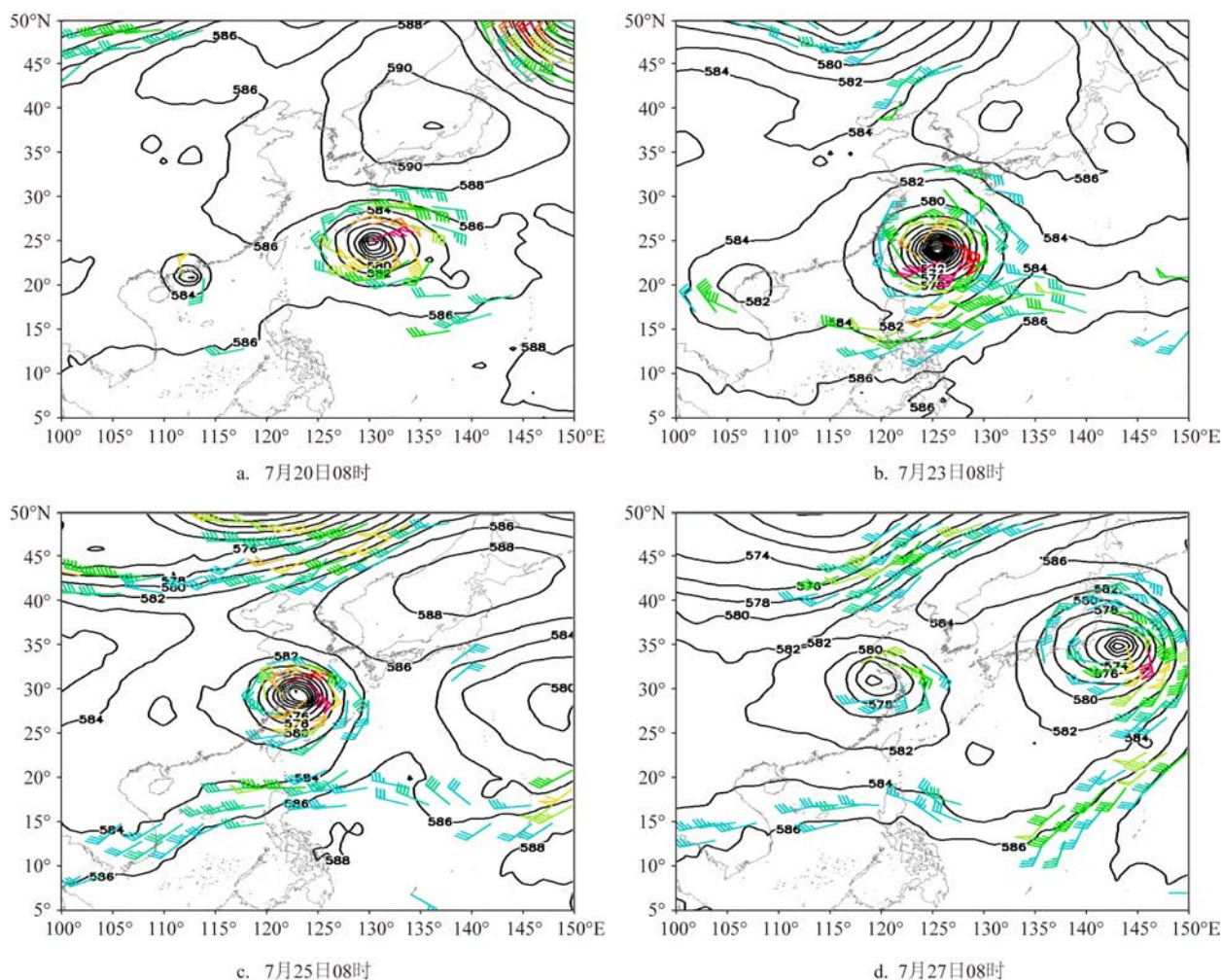


图3 500 hPa天气形势图

Fig.3 500 hPa weather situation

个纬距以上,两者不存在直接的互旋作用,台风“烟花”主要受副高南侧引导气流及内力的作用,但台风“尼伯特”对其北侧副高具有削弱作用。25日副高588线从朝鲜半岛向东撤了10个经距,引导气流减弱,台风“烟花”于25日中午在舟山市普陀区登陆后移速缓慢。26日副高进一步减弱东退,此时中高纬的西风槽还在西北地区,台风“烟花”处在均压场里,平均移速只有6 km/h,非常缓慢。27日副高继续减弱,台风“烟花”依靠内力朝西北方向移动,移速依旧缓慢。28日随着西风槽东移靠近,台风“烟花”14时进入西风槽,并开始转向偏北方向移动,移速加快。

由此可见,2106号台风“烟花”主要受副高南侧气流引导,副高位置比常年同期异常偏北,导致引导气流很弱,是造成台风“烟花”移速缓慢甚至在原

地回旋的直接原因。前期台风“烟花”和2107号台风“查巴卡”存在一定的相互作用,所以路径出现南折;而2108号台风“尼伯特”和台风“烟花”无直接互旋作用,而是通过对副高强度、范围的影响,间接影响台风“烟花”的路径。

### 3 台风“烟花”降水量大的原因分析

由于台风“烟花”环流大,云系广,22日台风在尚未进入东海时,其外围云系就开始影响浙江,沿海部分地区出现大到暴雨。台风在23日夜间进入东海后一直维持台风级别(风力为13级),23日浙江沿海普降大到暴雨,局部出现大暴雨,受台风密蔽云区影响,23日夜里—25日出现降水最强时段,

浙江东北部地区出现暴雨和大暴雨,局部特大暴雨。台风“烟花”于25日中午登陆舟山后在本岛滞留5 h,随后在杭州湾一带滞留16 h,26日上午在嘉兴一带缓慢移动历时7 h,致使浙江东部、北部地区持续出现暴雨和大暴雨,局部特大暴雨。26日傍晚台风移出浙江后沿着浙江与江苏的省界缓慢西北行,台风本体云系继续给浙江北部地区带来暴雨。27日夜里受台风后部残余云系和对流云团影响,浙西北地区 and 金华西部又出现暴雨。28日降雨过程才基本结束,台风影响时间长达6 d,全市过程平均面雨量和单站最大累积雨量均为有气象记录以来最大值。在台风“烟花”影响浙江期间,由于高空槽位置偏高,降水由台风本体带来。

2019—2021年,每年都有1个台风登陆浙江并产生严重影响,表1为3个台风对浙江金华造成的风雨影响对比。从表1可以看到,全市过程平均面雨量和单站最大累积雨量为台风“烟花”最大,台风“利奇马”次之,台风“黑格比”最小;单站日雨量极值、最大小时雨强极值和过程最大风速/风力均为台风“黑格比”最大,台风“利奇马”次之,台风“烟花”最小;从影响时间来看,台风“烟花”比另外两个台风多1倍。台风“烟花”降水强度虽不大,但影响时间长。从浙江省自动气象站资料来看,浙江省累积降水量最大值出现在余姚大岚镇丁家岙,达1 034 mm,其降水集中在23日傍晚—25日早晨,最强降水时段出现在24日下午—夜里,小时雨强基本在20~40 mm/h,最大为24日20时的37.4 mm/h。金华累积雨量最大的站点为东阳市西垣站,其降水集中时段为24日03时—25日20时,小时雨强基本在10~20 mm/h,最大为17.3 mm/h,较大值出现在24日07时—25日08时。由此可见,台风“烟花”期间雨强并不大。下面通过物理量来进行诊断分析。

### 3.1 水汽条件分析

从比湿场上看(图略),从22日开始,浙江大部分地区850 hPa比湿在14 g/kg以上,25日02时浙江东北部沿海地区比湿达16 g/kg,25日20时金华东部也处在16 g/kg的大值区里,对应925 hPa比湿达18 g/kg,700 hPa比湿达12 g/kg,并一直维持到27日,28日700 hPa比湿减小,由此可见,水汽比较充沛。在925 hPa水汽通量散度图上(图略),22日14时水汽通量大值区位于海上,但在浙江沿海及中北部有弱的水汽通量散度辐合区出现,中心值为 $-20 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,对应降水;23日08时辐合区扩大,沿海中心水汽通量散度达 $-80 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,降水增强;24日08时宁波西部到绍兴一带出现一个水汽通量散度辐合中心,中心值为 $-140 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,对应降水明显时段。在25日02时水汽通量图上(见图4a),台风环流和水汽通量大值区配合很好,结构对称,南侧来自西南季风的水汽输送带为台风“烟花”源源不断地输送水汽,浙江省东北部地区处在水汽通量大值区里,沿海最大水汽通量散度辐合中心值达 $\geq -220 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,金华东部达 $-100 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ ,说明水汽辐合较强。25日14时水汽通量散度大值区变得不对称,北侧强而南侧弱,辐合区位于环杭州湾一带,最大值位于嘉兴,为 $-240 \times 10^{-6} \text{ g}/(\text{hPa} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。26日02时台风结构变得更不对称(见图4b),大的水汽通量中心位于台风东北侧,低层西南水汽通道仍然维持,但强度减弱,另有一支东南气流将来自西太平洋的水汽向台风“烟花”输送,充足的水汽使台风登陆后强度一直维持台风级。26日08时后850 hPa南侧的水汽通道逐渐断开,925 hPa西南水汽通道也明显减弱,台风“烟花”减弱为强热带风暴。

表1 对金华影响较大3个台风风雨影响对比

Tab.1 Comparison of the storm impacts of three typhoons with great influences on Jinhua

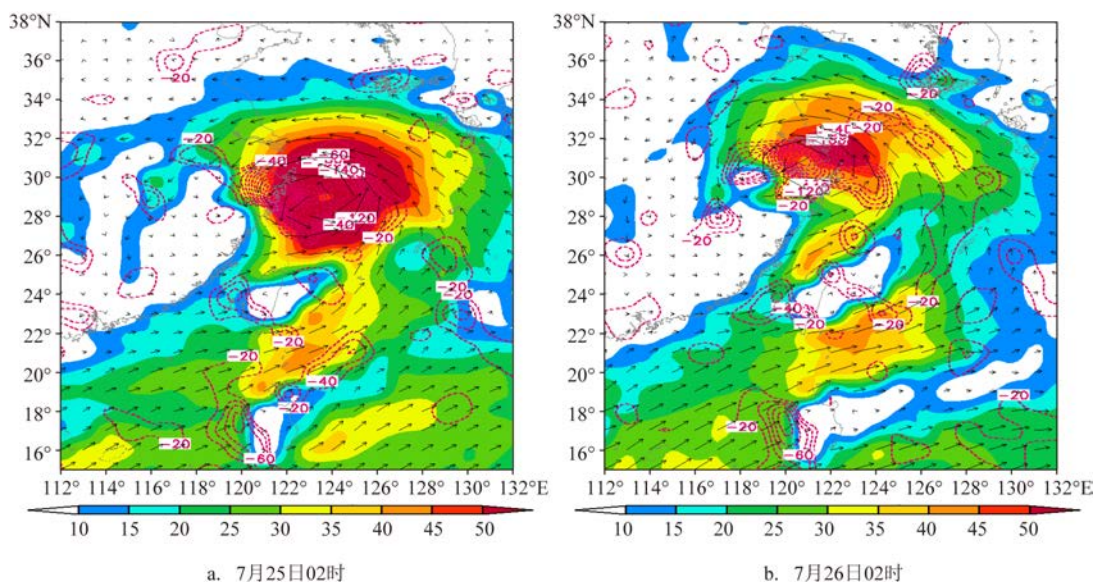
台风名称	全市过程平均面雨量/mm	单站最大累积雨量/mm	单站日雨量极值/mm	最大小时雨强极值/mm	过程最大风速(m/s)/风力	影响时间/d
“烟花”	141.4	681.1	303.2	36.4	31.0/11级	6
“黑格比”	86.7	390.4	382.4	100.4	32.5/11级	3
“利奇马”	128.7	397.9	330.1	45.2	32.2/11级	3



### 3.2 能量条件

从7月22日下午开始,浙江中南部K指数逐渐增大,大部地区位于35℃的大值区里,24日08时起大于37.5℃的区域明显扩大,25日02日金华东部也处在37.5℃线控制下(见图5a),但对流有效位能

(Convective Available Potential Energy, CAPE)较小,基本在100 J/kg以下,所以对流不易发展,降水强度并不大。27日浙中南出现一个40℃以上K指数大值中心,同时东南沿海CAPE值也增大到700 J/kg以上,对流发展明显,台州、温州出现一段较强的降水,27日夜里浙江西部对流发展,也出现较强降水过



注:箭头为风场;填色为水汽通量,单位: $\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}\cdot\text{s})$ ;虚线为水汽通量散度,单位: $10^{-6}\text{g}/(\text{hPa}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{s})$

图4 925 hPa水汽通量图

Fig.4 Water vapour flux divergence distribution at 925 hPa

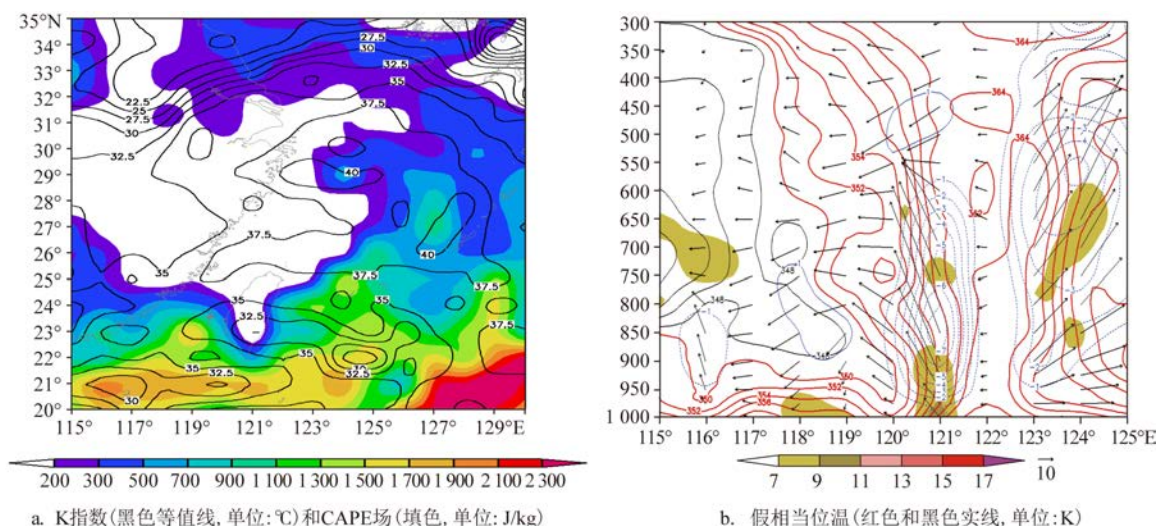


图5 7月25日02时K指数和CAPE场和14时沿30°N假相当位温纬向垂直剖面图

Fig.5 K index and CAPE field at 02:00 on July 25 and vertical section along the 30°N pseudo-equivalent potential temperature at 14:00 on July 25

程。在沿  $30^{\circ}\text{N}$  的假相当位温  $\theta_{\text{sc}}$  纬向垂直剖面图上, 24 日之前浙江上空  $\theta_{\text{sc}} \leq 350 \text{ K}$ , 24 日 20 时 500 hPa 以上高层  $\theta_{\text{sc}}$  逐渐增大并往下扩展, 25 日 02 时  $123.5^{\circ}\text{E}$  附近出现大值区, 对应台风中心, 750 hPa 以下为 360 K, 底层为 364 K,  $120^{\circ}\text{E}$  以西是  $\theta_{\text{sc}}$  小值区, 说明浙江西部仍受干气团控制,  $120^{\circ} \sim 122^{\circ}\text{E}$  是  $\theta_{\text{sc}}$  密集区, 对应于锋区,  $121^{\circ}\text{E}$  有一个垂直上升运动中心, 中心值  $-3.5 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于 700 hPa 附近。25 日 14 时 (见图 5b) 能量大值区继续西移到  $122^{\circ}\text{E}$  附近, 整层基本都处在高温高湿的 364 K 的大值区中, 为湿对流不稳定层, 台风中心两侧等  $\theta_{\text{sc}}$  线更加陡峭和密集, 斜率增大, 有利于低层暖湿空气由此通道向高层爬升; 低层暖湿空气在垂直抬升作用下上升, 冷暖空气在对流层中层相遇, 促使气旋性涡度剧烈发展, 对应垂直上升运动迅速加强, 构成有利于台风中尺度雨团深对流发展的环境条件。 $\theta_{\text{sc}}$  锋区位于  $119^{\circ} \sim 121^{\circ}\text{E}$ , 垂直上升运动区移到  $121^{\circ}\text{E}$ , 中心值  $-7 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于 850 hPa, 底层 925 hPa 附近有干侵入, 对应浙江东北部地区的强降水。26 日开始  $\theta_{\text{sc}}$  减小到 358 K 左右, 且仍有上升运动中心配合, 说明能量条件满足降水的需求。

### 3.3 动力条件

在沿  $30^{\circ}\text{N}$  涡度的纬向垂直剖面图上, 24 日之前浙江上空都是负涡度区, 从 24 日 14 时开始浙江沿海

出现正涡度区, 最大值  $6 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于 700 hPa。25 日 08 时  $123^{\circ}\text{E}$  附近出现正涡度区, 强度强且非常深厚, 大值区  $50 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于  $950 \sim 650 \text{ hPa}$ , 但上升运动区和正涡度区并不重合, 前者位于后者左侧浙江沿海地区。26 时 08 时正涡度区移到  $121^{\circ}\text{E}$  附近 (见图 6a), 中心值下降到  $35 \times 10^{-5}/\text{s}$ , 位于 800 hPa 附近, 垂直上升运动中心和涡度中心基本重合。26 日 20 时正涡度中心移到  $120.5^{\circ}\text{E}$ , 中心值降到  $18 \times 10^{-5}/\text{s}$ , 上升运动最大值  $-4 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于  $119^{\circ}\text{E}$ , 对应 26 日夜里浙江西北部出现强降水。

在 25 日 08 时沿  $30^{\circ}\text{N}$  散度垂直剖面图上 (图略), 850 hPa 以下是辐合区, 中心值  $-15 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于  $122^{\circ}\text{E}$ , 850 hPa 以上是辐散区, 最大值  $6 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于 700 hPa, 即高空辐散低层辐合, 有动力抬升作用, 但高层辐散小于低层辐合, 说明动力作用有限。14 时辐散区西移到  $121^{\circ}\text{E}$ , 最大值  $8 \times 10^{-5}/\text{s}$  位于 800 hPa, 底层辐合区略有西移, 高低空辐合、辐散差值减小。26 日 20 时低层辐合、高层辐散位于  $119^{\circ}\text{E}$ , 并西移减弱。从 850 hPa 温度平流图来看, 25 日 08 时 (见图 6b) 台风暖中心维持, 浙江上空为相对冷的区域, 沿海地区为温度密集带 (锋区), 动力作用强, 对应宁波和台州一带的大降水。

### 3.4 边界层辐合线

从各层流场图上看, 在 7 月 25 日 14 时 (图略) 台

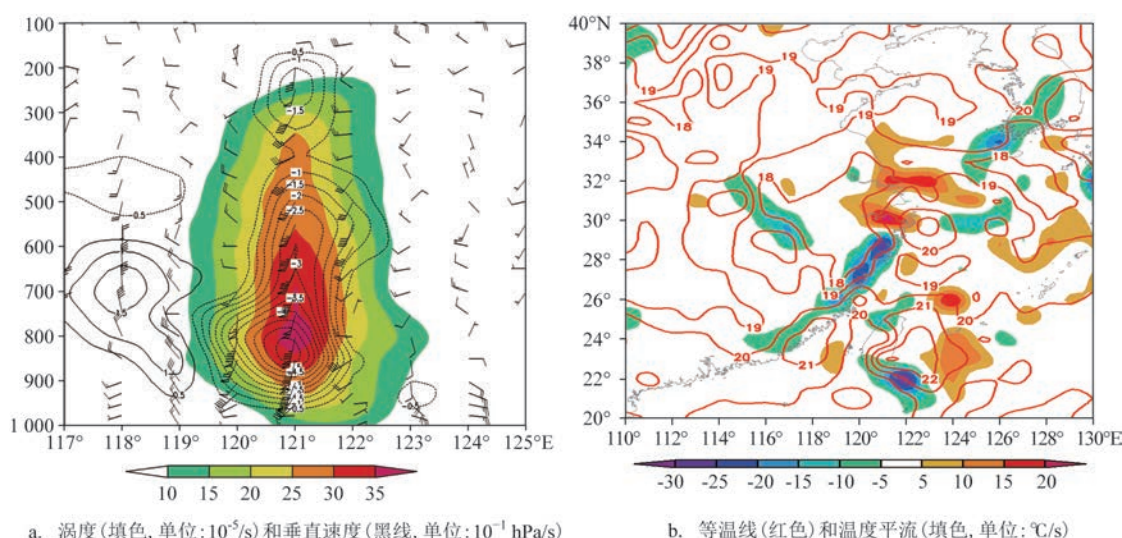


图6 7月26日08时沿  $30^{\circ}\text{N}$  涡度和垂直速度纬向垂直剖面图和7月25日08时850 hPa等温线和温度平流图

Fig.6 Latitudinal vertical profile of vorticity and vertical velocity along  $30^{\circ}\text{N}$  at 08:00 on July 26 and isotherm, temperature advection at 850 hPa at 08:00 on July 25



风刚登陆舟山时,925 hPa和500 hPa台风中心基本位于同一个经纬度,说明台风上下一致,没有出现偏心结构,宁波、绍兴东部有西北风和偏北风的辐合,对应该时段宁波出现大降水。7月26日20时台风中心移到嘉兴上空,925 hPa和500 hPa台风中心仍基本一致,说明台风结构依旧完整,在925 hPa上(见图7a),杭州西部形成一条边界层辐合线,有利于对流的发展,对应杭州西部的强降水时段。27日夜里(见图7b)在金华西部形成一条西南气流和偏南气流形成的辐合带,该辐合带影响兰溪,造成该地出现较强降水。

### 3.5 卫星云图及雷达拼图分析

从红外卫星云图上可以看到(见图8),7月24

日08时台风“烟花”环流大,云系广,结构完整,台风眼小而清晰,东西宽约1 000 km,七级风圈半径达300 km,台风眼南侧和热带云团尚未断开。25日02时台风密蔽云区结构变得有些松散,对流减弱,台风眼区范围扩大。08时台风中心西侧云系明显减弱,东侧云系仍较强,南侧已经和热带云团断开,但东侧有一条新的云带形成。受大陆干气团影响,台风西侧云系明显削弱,导致非对称结构的形成。

从浙江省雷达拼图可以看到(略),24日中午浙江中北部有对流云团影响,台风本体密蔽云区还在海上,17时台风本体云系开始影响浙江中北部沿海地区。随着台风西北移,降水云系向内陆推进,金华东部从半夜开始降水趋于明显,25日03时左右开始影响金华市市区,回波强度为40~45 dBZ,出现一

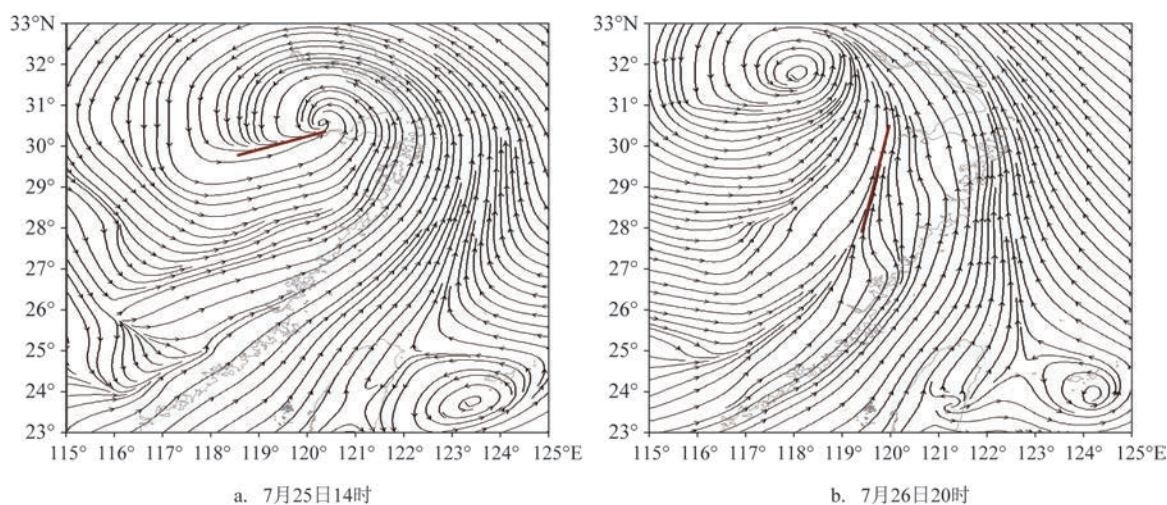


图7 925 hPa流场图

Fig.7 Flow field diagram analysis at 925 hPa

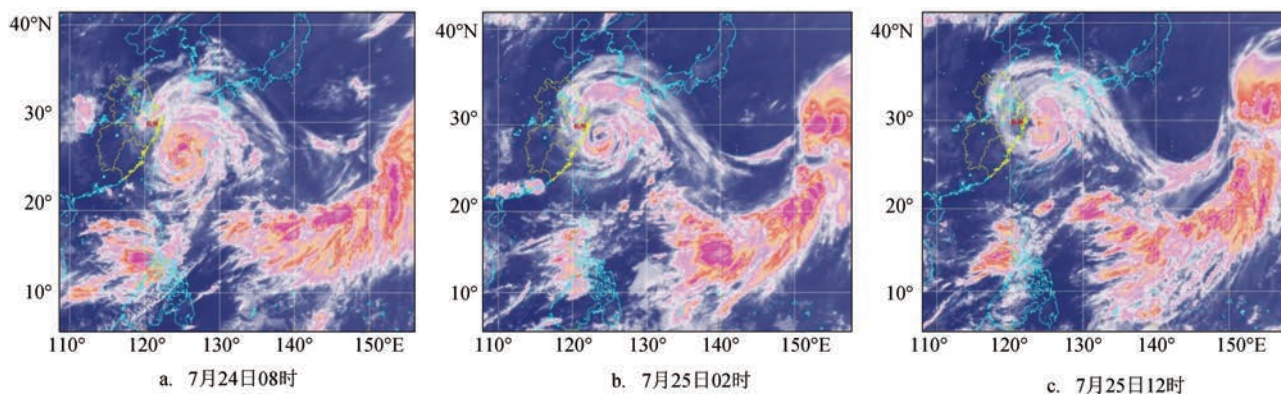


图8 红外卫星云图

Fig.8 Infrared satellite cloud

段较明显的降水天气。在 12 时 30 分台风登陆前后,台风西侧的降水回波明显减弱,结构松散,最大强度为 30 dBZ 左右,小时雨强不大,仅有 5~10 mm/h。

### 3.6 地形作用

地形对热带气旋暴雨增幅的作用主要包括 3 个方面。一是辐合抬升作用,即一些特殊地形如喇叭口、峡谷等地形会使得辐合作用突然加强,抬升作用加大,导致对流系统发生、发展,并对对流系统有组织和增强作用,如诱生低压等,造成强降水的出现;二是阻挡作用,地形的阻挡作用还能使降水系统停滞少动,致使某地降水不断加大而酿成重灾;三是通过地形抬升形成各种云型,进而影响云中的微物理过程并促进降水增加。地形作用使迎风坡雨量增加、背风坡雨量减少,从而使降水分布更不对称、更不均匀<sup>[9]</sup>。当地面盛行风向与雨带移向相同且都指向山地,尤其是与山地走向垂直时,地形抬升作用最明显。

浙江省地势自西南向东北呈阶梯状分布,西南以山地为主,中部以丘陵为主,东北部是低平的冲积平原。浙江沿海分布有雁荡山、括苍山、天台山、会稽山、四明山等,浙江西北部为天目山。从浙江省地形及台风影响过程累积雨量叠加图可以看到(见图 9a),除浙西南山区由于距离台风中心较远外,其他地区大的雨量中心和浙江的地形分布相一致,累积雨量大于 500 mm 的大值中心对应高海拔的

山区。四明山位于浙江省东部,海拔为 400~900 m,最高峰为 1 018 m,余姚大岚镇丁家畈位于四明山区,海拔在 500 m 以上,且向东北开口存在喇叭口地形,地形对降水增幅明显,丁家畈站过程最大雨量为 1 034 mm,单日最大雨量为 533 mm。东白山位于浙江省中部东阳市、诸暨市、嵊州市交界处,属会稽山脉南麓,主峰最高为 1 194.7 m,西垅站位于东白山,海拔为 484 m。从台风“利奇马”影响过程雨量分布图看(见图 9b),雨量空间分布特点明显,浙江东部沿海和浙西北山区都有大值区,东部沿海雨量高值区与地形相关好,两个强降水中心分别对应台州括苍山脉、台州天台山和宁波四明山,累计雨量较大的站点通常都是高海拔的站点,过程雨量最大的站点括苍山站总雨量为 834.3 mm,其海拔高度为 1 382 m。

台风登陆前,浙江沿海位于台风北侧,偏东气流和沿海南北走向的山脉相垂直,台风带来的高温、高湿气流受到山体的阻挡被迫抬升,特别是喇叭口地形的辐合抬升作用,有利于水汽凝结潜热释放,增大降水量,因此浙江沿海站点雨量比平原地区偏多 2~3 倍。台风登陆后,转为台风后部西北气流影响,高湿的气流和东北-西南走向的山体垂直,同样有利于降水云团的触发,使降水强度增强。

## 4 总结

2106 号台风“烟花”强度强、范围大,路径复杂

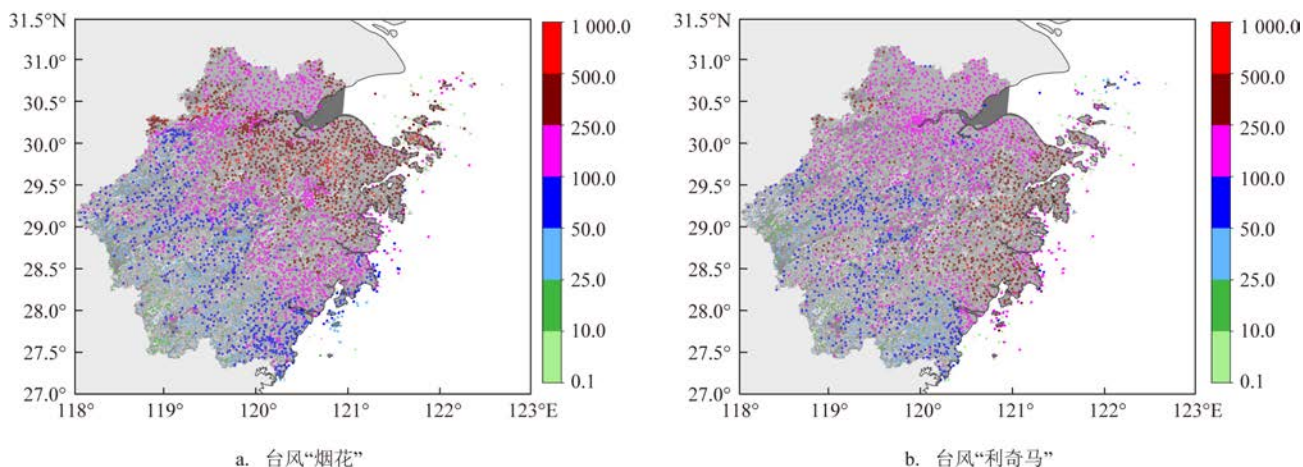


图9 浙江省地形及台风影响过程累积雨量叠加图(单位:mm)

Fig.9 Overlay of terrain and typhoon impact process of cumulative rainfall in Zhejiang Province (unit:mm)



多变,移动速度非常缓慢,影响时间长。受台风外围螺旋雨带和本体影响,浙江地区过程累积雨量较大。本文对台风“烟花”的移动路径及对浙江的风雨影响进行诊断分析。结论如下:

①前期台风“烟花”和2107号台风“查巴卡”存在一定的相互作用,路径出现南折;而2108号台风“尼伯特”和台风“烟花”无直接互旋作用,而是通过对副高强度、范围的影响,间接对台风“烟花”的路径产生影响。副高位置较常年同期异常偏北10个纬度,高空槽位置也偏北,台风处在没有明确引导气流的均压场里,是造成台风“烟花”移速缓慢甚至在原地回旋的直接原因。

②西南季风向台风“烟花”持续输送水汽,大的水汽通量中心位于台风东北侧,副高南侧另有一支东南气流将来自西太平洋的水汽向台风“烟花”输送,是台风“烟花”登陆后强度得以维持的原因,充足的水汽使台风登陆后强度一直维持在台风级。台风“烟花”在杭州湾长时间逗留,水汽供应有利于强度的维持。

③台风“烟花”西侧云系在浙江上空受干侵入影响,减弱非常明显,台风形成非对称结构。台风暖中心维持,浙江上空为相对冷的区域,沿海地区为温度密集带(锋区),动力作用强,对应宁波、台州一带的大降水区。整层基本都处在高温高湿的364 K的能量大值区中,为湿对流不稳定层,台风中心两侧等 $\theta_{se}$ 线陡峭密集,斜率增大,有利于低层暖湿空气由此通道向高层爬升。

④浙江上空K指数和比湿大,说明水汽条件好,不稳定能量小,影响对流发展,台风西侧的降水回波最大强度在30 dBZ左右,小时雨强普遍较小,但台风“烟花”移动缓慢,影响时长是一般台风的2倍,故累积雨量大。后期边界层925 hPa辐合线的生成触发了对流的发展,辐合线和强降水区对应好。

⑤浙江省实况降水量分布与浙江地形相匹配,地形对降水的增幅非常显著,累积雨量大的站点通常都位于海拔较高的山区,山体的走向及喇叭口地形与高空风的风向密切相关,底层气流受到山体的阻挡被迫抬升,有利于水汽凝结潜热释放,增大降水量,地形增水作用下站点雨量可达其他站点的2~3倍。

## 参考文献:

- [1] 程正泉,陈联寿,徐祥德,等. 近10年中国台风暴雨研究进展[J]. 气象, 2005, 31(12): 3-9.  
CHENG Z Q, CHEN L S, XU X D, et al. Research progress on typhoon heavy rainfall in China for last ten years[J]. Meteorological Monthly, 2005, 31(12): 3-9.
- [2] 林毅,陈思学,吕思思. 1601号“尼伯特”台风特大暴雨的中尺度系统特征与成因分析[J]. 暴雨灾害, 2017, 36(6): 542-549.  
LIN Y, CHEN S X, LYU S S. Mesoscale system characteristics and cause analysis of an excessive rainstorm event triggered by super typhoon Nepartak[J]. Torrential Rain and Disasters, 2017, 36(6): 542-549.
- [3] 张进乐,王晓丽,韩方强,等. 台风“麦莎”对大连地区造成暴雨的分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(1): 36-41.  
ZHANG J L, WANG X L, HAN F Q, et al. Analysis of Dalian "Matsa" rainstorm[J]. Marine Forecasts, 2012, 29(1): 36-41.
- [4] 陈镭,徐海明,余晖,等. 台风“桑美”(0608)登陆前后降水结构的时空演变特征[J]. 大气科学, 2010, 34(1): 105-119.  
CHEN L, XU H M, YU H, et al. Temporal and spatial variations in precipitation of typhoon Saomai (0608) before and after its landfall [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2010, 34(1): 105-119.
- [5] 薛煜,李靓靓,朱业,等. 1323号台风“菲特”螺旋云带中“列车效应”特征及形成分析[J]. 大气科学, 2021, 45(2): 379-392.  
XUE Y, LI L L, ZHU Y, et al. Analysis of characteristics and formation of "train effect" in the spiral cloud belts of typhoon "Fitow" (No. 1323) [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2021, 45(2): 379-392.
- [6] 陈联寿. 登陆热带气旋暴雨的研究和预报[C]. 第十四届全国热带气旋科学讨论会论文摘要集. 2007:3-7.  
CHEN L S. Research and forecast of landfall tropical cyclone rainstorm [C]. Abstract collection of the 14th National Tropical Cyclone Science Symposium. 2007:3-7.
- [7] 张建海,薛根元,诸晓明,等. 台风Rananim登陆后引发强降水成因和暴雨分布的诊断分析[J]. 海洋学研究, 2007, 25(2): 1-12.  
ZHANG J H, XUE G Y, ZHU X M, et al. Analysis of heavy rain causes and distribution caused by the landfall typhoon "Rananim" [J]. Journal of Marine Sciences, 2007, 25(2): 1-12.
- [8] 项素清,周梅,徐亚钦,等. “利奇马”台风的特点及极端强降水的成因分析[J]. 海洋预报, 2020, 37(5): 76-85.  
XIANG S Q, ZHOU M, XU Y Q, et al. The characteristics of typhoon "Lekima" and the cause of extreme rainfall[J]. Marine Forecasts, 2020, 37(5): 76-85.
- [12] 钮学新,杜惠良,滕代高,等. 影响登陆台风降水量的主要因素分析[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(1): 76-80.  
NIU X X, DU H L, TENG D G, et al. Main factors affecting the rainfall caused by landing typhoons[J]. Torrential Rain and

Disasters, 2010, 29(1): 76-80.

[9] 郑庆林, 吴军. 地形对9216号台风暴雨增幅影响的数值研究[J]. 南京气象学院学报, 1996(1): 8-17.

ZHEN Q L, WU J. Numerical study of orographic effect on amplification of typhoon precipitation[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1996(1): 8-17.

## The path and precipitation characteristics of "In-Fa" in typhoon 2106

XIANG Suqing<sup>1</sup>, HAN Xing<sup>1</sup>, FANG Heming<sup>2</sup>, JIANG Han<sup>3</sup>

(1. Jinhua Meteorological Bureau, Jinhua 310002, China; 2. Jindong Meteorological Bureau, Jinhua 310002, China; 3. Pujiang County Meteorological Bureau, Jinhua 322200, China )

**Abstract:** The 2106 typhoon "In-Fa" landed twice in Zhejiang Province with its impacts lasting from July 22 to 28, the cumulative rainfall and single station rainfall in Zhejiang Province broke the historical record of typhoon in Zhejiang Province. Through this analysis, we find that the position of subtropical high during the period of the typhoon is abnormal norther than that in the climatology, which leads to a weaker guiding airflow further resulting in the slow movement speed of the typhoon "In-Fa". Typhoon 2107 "Chabaka" and typhoon 2108 "Nibert" have no direct interaction with the typhoon "In-Fa", but pose indirectly effect on the path of the typhoon "In-Fa" through affecting intensity and range of subtropical high. Continuously water vapor supplying to typhoon "In-Fa" by the southwest monsoon sustains the intensity of the typhoon "In-Fa" after landing, creating advantage condition for the long duration in Hangzhou Bay. The cloud system on the west side of the typhoon "In-Fa" encounters dry air over Zhejiang Province, leads to the weakening of the typhoon and forms an asymmetric structure. The convective available potential energy is low, thus limit the development of vertical convection and the intensity of hourly rainfall. The lasting period of the typhoon "In-Fa" is twice of those of general typhoons, so the cumulative rainfall is large. The increase in precipitation induced by land surface elevation is very significant. Stations with high cumulative rainfall usually locate in montanic areas with high altitude, and the rainfall reaches 2~3 times of those of other areas.

**Key words:** typhoon rainstorm; asymmetric structure; southwest jet stream; terrain increase water