

# 台风“烟花”暴雨特性与成因探析

韩风军 韩雪蕾 徐娟

聊城市气象局

DOI:10.12238/eep.v7i10.2266

**[摘要]** 基于自动站、Micaps和GNSS/MET数据,对2021年6号台风“烟花”在山东地区引发的暴雨特性及其成因进行分析。研究结果显示,台风“烟花”在山东地区的降雨有移动缓慢、小时雨强低、持续时间长、累积雨量大、影响范围广的特点。强降水区主要分布于台风中心的第一和第二象限。稳定的天气背景、持续的水汽供应以及蒙阴山区的地形特征共同促成大暴雨的发生。

**[关键词]** 台风“烟花”; 降雨特性; 地形特征

**中图分类号:** S423+.9 **文献标识码:** A

## Analysis of the characteristics and causes of typhoon "fireworks" rainstorm

Fengjun Han Xuelei Han Juan Xu

Liaocheng Meteorological Bureau

**[Abstract]** Based on the data of automatic stations, Micaps and GPS-NET, the characteristics and causes of rainstorm caused by Typhoon 6 "fireworks" in Shandong in 2021 are analyzed. The research results show that the rainfall caused by Typhoon "Fireworks" in Shandong region has the characteristics of slow movement, low hourly rainfall intensity, long duration, large accumulated rainfall, and wide impact range. The areas of heavy precipitation are mainly distributed in the first and second quadrants of the typhoon center. The stable weather background, continuous water vapor supply and the topographic characteristics of Mengyin Mountain jointly contributed to the occurrence of heavy rainstorm.

**[Key words]** Typhoon "fireworks"; rainfall characteristics; terrain features

## 引言

针对台风“烟花”引发的暴雨,学者从多个角度进行了深入研究。夏武松等人<sup>[1]</sup>揭示了大气可降水量与降雨量的高度相关性;陈立波等人<sup>[2]</sup>证明了风场信息在台风预测中的重要性;李靖怡等人<sup>[3]</sup>和钱卓蕾等人<sup>[4]</sup>分别分析了台风进入安徽和登陆浙江前后的降水特征,指出降水强度和雨带分布的变化。此外,罗斐然<sup>[5]</sup>、梁佳等<sup>[6]</sup>和王海平<sup>[7]</sup>探讨了台风路径转折的物理机制,涉及热动力因子、季风涡旋与台风相互作用及高空冷涡等因素。尽管这些研究为台风预报提供了科学支撑,但台风在山东的路径、强度与降水落区的关系仍需进一步探索。本文聚焦于台风路径和地形对降雨分布的影响,为极端天气预报提供新视角。

## 1 台风“烟花”风雨概况

1.1 台风概况。2021年第6号台风“烟花”7月18日在西太平洋生成,向西北增强,7月25日首次登陆浙江舟山,次日再登浙江平湖。随后减弱,7月28日在安徽由热带风暴降为热带低压,期间在安徽回旋北上。至7月30日,“烟花”结束,生命过程长达183小时,超出平均台风生命周期36小时。

1.2 雨情。台风“烟花”7月26日至30日影响山东,全省1895站降雨,其中453站暴雨,836站大暴雨,22站特大暴雨,最大降水量在临沂蒙阴雨王庙达322.5毫米。1918站数据显示,59.2%站点小时雨强10~25毫米,176站超25毫米,2站超50毫米。表明“烟花”降雨特征为移动慢、雨强小、持续时间长、累积雨量大、影响广。

1.3 大风情况。“烟花”台风期间,山东平均风力5~6级,泰山站最大阵风11级,青岛沿海5站记录10级及以上大风。极大风向与台风路径密切相关。

## 1.4 降雨落区特征。

1.4.1 方法和资料。为了探究导致强降水的对流云团的发展及其移动路径,本研究采用了一种基于台风中心移动坐标的追踪方法。该方法将每一时刻台风中心的位置设为坐标原点,未来某一时刻的中心位置视为终点,并将从原点至终点的连线矢量方向定义为0°方位。随后,按照逆时针方向,将台风右侧前方划分为第一象限,依次类推至第二、第三和第四象限,构建了一个完整的台风移动坐标系。这种坐标系能够清晰反映台风在不同方位上的结构特征,并直观地展示台风引发的暴雨落区。

表 1 台风给山东带来的各级降雨站数和距离

台风中心 时间	3 小时降雨 落区 (象限)	3 小时 小雨站数	3 小时 中雨站数	3 小时 大雨站数	3 小时 暴雨站数	小雨距中心最 大距离 (km)	中雨距中心最 大距离 (km)	大雨距中心最 大距离 (km)	暴雨距中心最 大距离 (km)
26 日 08 时	1	9	0	0	0	642	/	/	/
26 日 11 时	1	9	4	1	0	660	616	581	/
26 日 14 时	1	19	3	0	0	674	578	/	/
26 日 17 时	1	18	0	0	0	615	/	/	/
26 日 20 时	1	18	0	0	0	724	/	/	/
26 日 23 时	1	19	0	0	0	723	/	/	/
27 日 02 时	1	16	0	0	0	715	/	/	/
27 日 05 时	1	18	1	0	0	762	620	/	/
27 日 08 时	1	18	0	0	0	742	/	/	/
27 日 11 时	1	22	6	0	0	740	737	/	/
27 日 14 时	1	38	7	0	0	712	700	/	/
27 日 17 时	1	21	6	0	0	620	393	/	/
27 日 20 时	1	27	1	0	0	478	358	/	/
27 日 23 时	1	35	2	0	0	514	381	/	/
28 日 02 时	1	33	12	0	0	554	387	/	/
28 日 05 时	1	41	7	0	0	385	387	/	/
28 日 08 时	1	44	2	0	0	524	244	/	/
28 日 11 时	1	54	4	8	0	575	314	282	/
28 日 14 时	1	52	8	15	3	571	352	332	305
28 日 17 时	1	46	18	19	3	554	394	363	241
28 日 20 时	1、2	43	34	14	4	552	449	387	224
28 日 23 时	1、2	40	42	17	1	502	439	365	238
29 日 02 时	1、2	44	44	16	0	456	425	336	/
29 日 05 时	1、2	58	27	17	4	/	366	362	312
平均值		31	10	4	1	608	452	376	264

本研究的核心是分析台风位置对山东省降水影响的特征。在追踪台风路径时,我们主要依赖Micaps系统的第七类数据。然而,在7月29日02:00至7月30日11:00期间,由于台风结构相对松散,Micaps系统的第七类数据无法有效定位台风中心。为了弥补这一不足,采用了温州台风网每3小时发布一次的台风中心定位数据,以确保台风路径追踪的准确性和完整性。

1.4.2降雨落区和台风中心的关系。本研究首先结合国家站三小时降水量数据与台风位置信息,对山东地区的降水特征进行了深入剖析。7月26日11时,鲁东南地区开始出现小雨,此时台风中心位于浙江北部海域并向西北移动,因此鲁东南地区处于台风中心的第一象限。进一步分析显示,山东地区最远的降雨观测点与台风中心的距离达到了642公里。基于此,我们系统性地分析了台风中心周围不同等级降雨(小雨、中雨、大雨、暴雨)在山东地区的分布站点数量及其与台风中心的距离,具体结果参见表1。

表1的数据揭示,随着台风沿西北方向移动并登陆,降水最初主要集中在第一象限,随后逐渐扩展至第二象限。当台风逐渐逼近山东时,降雨区域已全面覆盖至第二象限。台风登陆后,其降水影响更是扩大至四个象限。鉴于台风影响的广泛性,对单一省份降水站点的数量统计已失去实际意义,因此相关数据统计工作随即终止。

从表1中还可看出,在距离台风中心650公里的范围内即可观测到小雨,其中小雨距离台风中心的最大平均距离为608公里。这主要是由于台风中心附近以下沉气流为主,伴随的下沉增温和蒸发作用,导致台风中心周边以小雨为主。相比之下,中雨的最远观测距离为737公里,平均距离为452公里;大雨的最远观测距离为581公里,平均距离为376公里;而暴雨的最远观测距离则缩短至305公里,平均距离为264公里。

本研究选取7月29日05时的台风中心位置作为基准点,设定其未来三小时的移动方向为0°方位角,并据此绘制了29日05-08时的三小时降水量图(图1),旨在展现不同降水级别与台风位置之间的关系。结果显示,台风中心附近及较远距离的区域主要以小雨为主,而大雨则分布在小雨区的外围。值得注意的是,暴雨区与大雨区几乎重叠,主要集中在台风移动方向的第一和第二象限,外围则主要是中雨区。

进一步观察7月29日08时至随后24小时的降雨色斑图(图2),该图直观地展示了28日08时台风中心位置与降水分布的关系。台风中心周边区域以小雨为主,随着距离的增加,降雨量逐渐增大,依次分布大雨、暴雨、大暴雨,随后又回落至大雨、中雨直至小雨。特别地,最强的降水区域集中在台风的第二象限,其次是第一象限,而第三和第四象限则主要以小雨为主。

这一现象主要由以下因素导致:在第一象限,东南风占据主

导, 由于靠近海洋, 水汽输送路径短且效率高, 加之暖湿气流的充足供应, 导致降水量较大。而在第二象限, 东北风盛行, 同样拥有丰富的水汽条件, 且东北风更有利于水汽的凝结, 凝结效率高。此外, 第二象限的气流更易于与西风带系统结合, 引发中低纬度系统间的相互作用, 产生较强的辐合抬升力, 常伴随对流活动, 因此在这种气象条件下, 强降水事件的发生概率较高。

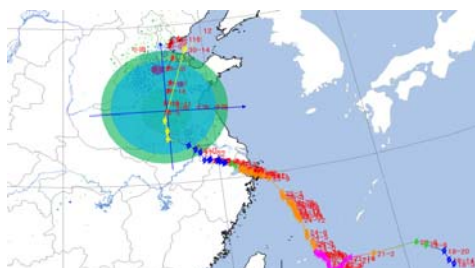


图1 7月29日05-08时台风降水分布图

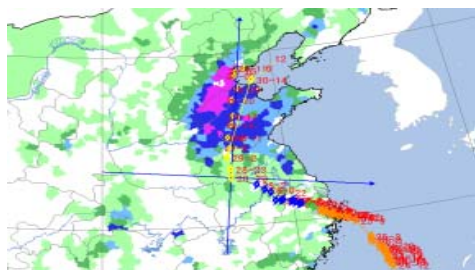


图2 7月29日08时至30日08时降雨色斑图

## 2 暴雨成因分析

2.1 稳定的大气环流场。在2021年7月26日至29日的台风登陆影响期间, 500hpa等压线图显示大陆性高压系统位于青藏高原之上, 而副热带高压则主导了朝鲜半岛, 其势力西伸至 $120^{\circ}$  E附近。这两个高压系统形成的东西高压脊, 迫使台风“烟花”缓慢地沿西北方向移动。在贝加尔湖以北地区, 阻塞高压呈现稳定且少动, 而贝加尔湖以南地带则受到稳定的西风槽的影响。同时, 第8号台风“尼伯特”在日本东南海域进行回旋。该“鞍型场”形势, 呈东高西低的特点, 致使“烟花”台风在登陆后移动速度显著放缓。自26日08时起, 开始影响山东, 至30日08时, 其影响逐渐减弱, 期间山东地区经历了长达四天的降水。此外, 随着台风登陆, 高空200hPa区域出现持续的气流辐散, 而低空925hPa区域则有持续的偏东方向水汽辐合。这种高低空的抽吸作用, 导致“烟花”台风强度的减弱过程缓慢。加之我国东部地区地形较为平坦, 摩擦力较小, 同样有利于“烟花”台风强度的保持。

2.2 持久且充足的水汽供应。GPS-NET水汽图像显示, 7月26日至29日, 华东至山东广大地区的大气可降水量维持在60mm以上。特别是在泰安站, 从26日的17时开始直至29日的17时, 其大气可降水量连续三天都保持在52mm以上。

通过对章丘7月28日20时的探空图进行分析, 得知: 在700hpa以下的大气层, 偏东风为主, 700hpa以上至200hpa的这一层次, 风向则转变为东南风或偏南风, 说明风向随高度增加呈顺时针转变, 在200hpa以下的大气层, 出现了整体的暖平流现象,

湿层厚度高达10746.1米, 这一深厚的暖湿平流为持续降水提供了大量的水汽以及不稳定能量条件。

2.3 地形对降水的增幅作用。累积降雨量显示, 临沂蒙阴地区的三个气象观测站在全省降水量排名中分列第1、第2和第5位。地形图分析显示, 这三个站点均坐落于南北走向山脉间的东西向谷地之中。就风场状况而言, 7月28日20时, 这三个站点正处于台风移动路径的第一象限, 主要受东南风和东北风的影响。

当东南风经过谷地时, 会在北侧山脉的迎风坡产生抬升效应。同时, 北侧山脉的阻挡作用还容易诱发气旋式切变。而东北风进入谷地后, 遇到南侧山脉, 同样在迎风坡形成抬升。通过对28日20时的风场进行分析, 在该谷地内识别出了三个气旋式辐合区域。迎风坡的抬升效应与气旋性辐合的抬升作用, 共同促进了上升气流的形成与维持, 为中小尺度对流性降水系统的持续存在提供了有利条件, 从而延长了其影响时间。此外, 这些过程还增强了低层大气中水汽的辐合供应, 最终促使该地区极端降水事件的发生。

## 3 小结

(1) 台风“烟花”在山东地区的降雨特点为: 移速慢、小时雨强小, 持续时间长、累积雨量大、影响范围广。(2) 以台风中心为原点, 以其移动方向为 $0^{\circ}$ 方位, 对“烟花”降雨落区进行了定量分析。研究显示, “烟花”的主要强降雨落区集中分布在第一和第二象限。(3) 台风“烟花”暴雨的形成主要受稳定的天气形势和持续充足的水汽供应影响。(4) 蒙阴山谷迎风坡气流抬升作用和气旋性辐合抬升效应, 一方面促进了上升气流的形成与维持, 使得中小尺度的对流雨团能够在该地区持续存在并延长影响时间; 另一方面, 这些地理和气象因素还增强了低层大气中的水汽辐合供应。因此, 天气尺度系统的抬升作用与中小尺度系统的叠加效应, 共同导致了该地区极端强降水的发生。

## 【参考文献】

- [1] 夏武松, 鲁小琴. GNSS/MET观测的台风“烟花”对上海地区PWV的影响[J]. 大地测量与地球动力学, 2024, 44(8): 815-819.
- [2] 陈立波, 许凌轩, 张佳婷, 等. 风廓线雷达资料在典型天气过程预报预警中的应用[J]. 高原山地气象研究, 2024, 44(3): 85-94.
- [3] 李靖怡, 姚晨, 丁从慧, 等. 台风“烟花”进入安徽前后降水特征差异及成因分析[J]. 陕西气象, 2024, (05): 9-17.
- [4] 钱卓蕾, 钱月平, 马洁华. 台风“烟花”登陆浙江前后强降水雨带变化特征及成因分析[J]. 气象科学, 2024, 44(4): 643-654.
- [5] 罗斐然. 台风“烟花”路径突然北折的热动力因子诊断与分析[D]. 南京信息工程大学, 2024.
- [6] 梁佳, 黎诗瑜. 季风涡旋对台风“烟花”路径突变的影响[J]. 气象科学, 2024, 44(03): 527-535.
- [7] 王海平. 高空冷涡对台风烟花(2106)路径的影响[J]. 应用气象学报, 2023, 34(05): 586-597.

## 作者简介:

韩风军(1977--), 女, 汉族, 聊城人, 大学本科, 高级工程师, 从事的研究方向: 短期天气气候预测。