

台风“梅花”影响期间上海沿海风浪特征分析

刘旺¹, 胡松², 岳彩军¹, 朱智慧¹, 陈旻豪¹

(1.上海海洋中心气象台,上海 201306;2.上海海洋大学海洋科学与生态环境学院,上海 201306)

摘要: 基于上海沿海海域两个锚碇浮标站在台风“梅花”影响期间采集的实时观测数据,系统分析了该台风过境前后风浪的演变特征。结果表明:在台风云墙区,距离台风中心越近,平均风速越大;距离台风中心越远,风浪成长越不充分;在台风本体的移动过程中,随着台风“梅花”的趋近和远离,海浪波型呈现出“混合浪—风浪—混合浪”的交替特征;台风外围大风区风速并不是一直增大,台风经过两个浮标时气压最小值和平均风速最大值出现时间一致,波高最大值比风速最大值出现时间滞后1 h;最大有效波高越高,对应周期越长;风速与有效波高呈正相关,拟合效果较好;风对波浪具有直接驱动作用,当极大风速超过8级时,阵风系数趋于稳定的 1.3 ± 0.1 区间;风速最大时风向主要为南风,而平均风向与波向之间无显著相关性。

关键词: 锚碇浮标;台风浪;台风云墙区;台风“梅花”

中图分类号: P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2026)04-0053-08

0 引言

上海是中国重要的港口城市之一,长江口是上海重要的水源地。上海长江段是长江黄金水道的重要组成部分,其南面洋山港是全球最大的智能集装箱码头之一,也是上海国际航运中心的重要组成部分和核心港区,船舶流量大。台风浪直接威胁港区船舶作业与离岸工程安全,因此精细化风浪监测是港口防灾调度的核心支撑^[1]。最近几年,上海受台风影响较多,其破坏力极强,可以带来狂风和巨浪。风浪是局地风直接驱动生成的波浪(波陡大、周期短、形态陡);混合浪是风浪与远场传来的涌浪(周期长、波陡小)叠加的浪系,直接关联海洋活动的“风险—条件”变化。不同浪型交替作用于海洋生产、海洋工程建设时,产生的效果存在明显差异,明晰该规律对防灾减灾具有重要意义。汕尾市灾害性海浪事件主要发生在6—9月^[2],这一时段也是热带气旋高发季节;苏志等^[3]统计了北部湾2015—2018年的海浪观测资料,发现台风是引发灾

害性海浪最多的天气系统;邓丹等^[4]利用浮标站资料分析了强台风“卡努”过境期间的风浪特征,发现海浪波高峰值较最大风速滞后30 min,而波向与风向的变化趋势一致;苏志等^[5]还利用浮标资料分析了台风“贝碧嘉”过境前后风浪的变化特征,发现台风眼区以外的波高与风速呈正相关;庄红波等^[6]利用海上石油平台站资料分析了台风“海马”(1104)、台风“韦森特”(1208)对海浪的影响过程,发现风与波浪的能量转换主要由风速与波浪相速之比即波龄决定。相比于南海海域,台风浪在东海海域研究成果相对较少。上海和浙江沿岸受台风影响较为严重^[7],东海海域地形复杂、岸线曲折,河口与离岸港区风浪演化受水深、岸界约束显著,风浪、涌浪耦合过程与南海开阔海域存在明显差异^[8]。王毅等^[9]发现台风“利奇马”影响期间浙江沿海海浪有效波高等值线平行于风速等值线;姚日升等^[10]基于浮标观测和欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium Range Weather Forecasts, ECMWF)第五代全球气候再分析数据集(ECMWF fifth-

收稿日期: 2025-06-18。

基金项目: 上海市气象局科技开发项目(QM202115)。

作者简介: 刘旺(1991-),男,工程师,硕士,主要从事海洋气象探测及预报研究。E-mail:18066133616@163.com

generation global atmospheric reanalysis, ERA5), 开展了浙江沿海风浪和涌浪特征统计, 发现涌浪多发生在风速小于 4 m/s 的弱风条件下; 蒋璐璐等^[11]基于浮标观测和 ERA5 再分析资料发现浪高变化受风速和风向共同作用影响; 陈剑桥等^[12]利用岸基站和海上浮标站观测资料发现风浪成长受地形影响较大。

针对海上观测资料缺乏、站点稀疏、难以获得台风经过时一手实时观测数据等问题, 已有观测实践证实, 浮标可完整捕捉台风全过程风浪演变序列, 为台风浪机理分析提供可靠实测支撑^[13]。2010 年之前, 由于海上资料缺乏且登陆上海的台风相对较少, 所以对上海沿海台风浪特征的研究分析较薄弱。最近十几年, 上海海洋中心气象台在东海海域陆续布放了多个海洋气象锚碇浮标站, 本研究基于其中两个浮标站采集的实测数据, 剖析台风“梅花”过境前后的风浪演变特征, 为东海海域船舶海上航行安全保障、海上工程抗风浪设计、港口码头作业管控、台风浪精准预报和海洋防灾减灾能力提升提供参考。

1 观测数据

1.1 锚碇浮标站概况

锚碇浮标是通过锚、锚链或缆绳将浮标固定于海上特定位置, 并允许其在一定范围内活动的观测平台, 投放后可加装气象观测设备和海洋观测设备, 作为海上无人值守自动观测平台。上海海洋中心气象台作为中国气象局三大区域海洋气象业务中心之一, 自成立以来与厦门大学、中国科学院海洋所、自然资源部东海局等学校和科研单位合作, 先后在东海海域布放的 8 个锚碇浮标上安装了气象观测设备和海洋探测设备, 分别是上海气象 1 号、上海气象 2 号、黄泽洋灯船、南槽灯船、长江口灯船、海礁浮标、东半洋礁浮标、长禁 5 号。上海海洋中心气象台负责安装水上气象设备, 用于采集海上的空气湿度、空气温度、平均风速、平均风向、能见度、大气气压等气象观测数据; 合作单位负责安装水下海洋观测设备, 用于观测表层海水温度和海流流向、有效波高、有效波周期、波向、剖面海流流速和流向等海洋观测数据。

1.2 观测资料说明

通过对数据开展筛选和质量控制, 本文资料选自锚碇浮标站黄泽洋灯船(122.33°E, 30.30°N)和海礁浮标(122.93°E, 30.41°N), 两者相距 58.8 km, 采集数据间隔为 10 min。其中风向、风速为 10 min 平均值; 十分之一大波平均波高简称波高; 平均波高为所有波浪波高的平均值; 有效波高是指将海浪的观测数据根据波高由大到小排列, 取前 1/3 的大波平均值; 波周期为有效波周期。

2 实测资料分析与讨论

2.1 台风“梅花”概况

台风“梅花”(2212)是 1949 年以来登陆上海的最强台风。台风生成于 2022 年 9 月 8 日 08 时(北京时间, 下同), 10 日 11 时升级为台风级别, 此时台风中心的最强气压达到 940 hPa, 中心区域的最大风力可达 50 m/s; 随后持续发展, 并于 14 日 20 时 30 分左右首次在浙江省舟山普陀沿海地带登陆, 登陆时台风中心附近最大风力达到 14 级(风速为 42 m/s, 属于强台风级别)。

2.2 气压与风的关系

图 1 为台风“梅花”云墙区经过黄泽洋灯船和海礁浮标时, 24 h 平均气压和平均风速的变化关系。由图可以看出: 随着台风逐渐靠近两个浮标站, 风速并没有随着气压的降低一直增大, 而是出现起伏。中央气象台发布的台风路径显示, 14 日 23 时左右, 台风中心位置在(121.9°E, 30.5°N), 与黄泽洋灯船距离 46.8 km, 与海礁浮标距离 99.2 km。此时, 黄泽洋灯船与海礁浮标的气压都降到最小值, 分别为 981.9 hPa 和 997.3 hPa; 平均风速都达到最大, 分别为 27.5 m/s 和 22.4 m/s。黄泽洋灯船的气压低谷更“深”, 说明该区域更接近台风中心, 黄泽洋灯船的风速峰值更“高”, 反映其受台风风力的影响更强, 台风动力扰动更剧烈。由此可见: 当台风接近观测点时, 气压逐渐下降、风速逐渐上升; 台风中心(或强风圈)经过时, 气压降至最低、风速升至最高; 台风远离后, 气压回升、风速回落; 且黄泽洋灯船所在区域受台风的影响强度高于海礁浮标, 锚

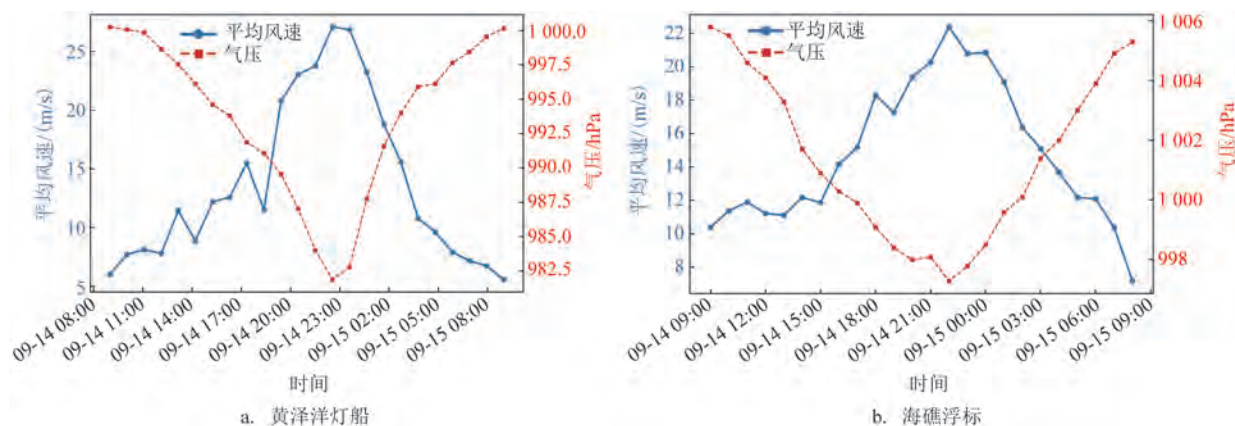


图1 2212号台风“梅花”经过时平均风速和气压变化图

Fig.1 Changes in average wind speed and air pressure during the passage of Typhoon "Muifa" (2212)

碇浮标与台风中心的距离会影响观测到的风浪强度,距离台风中心越近,平均风速越大。

2.3 风和海浪特征分析

2.3.1 波高和周期联合分布

根据海洋预报业务标准,海浪等级通常划分为10个层级(见表1)。波高与周期之间存在特定的

联合概率分布规律^[14]。本文重点针对中浪及以上级别的波高开展统计,以2s为时间间隔对波高周期进行划分;对黄泽洋灯船和海礁浮标在9月12日08时—16日08时期间共97h的波高数据进行统计,分析其在不同区间的出现频次,最终绘制最大波高与周期的联合分布图。

图2分析显示,在台风“梅花”影响阶段,黄泽

表1 波高等级

Tab.1 Wave scale

海浪等级	无浪 (0级)	微浪 (1级)	小浪 (2级)	轻浪 (3级)	中浪 (4级)	大浪 (5级)	巨浪 (6级)	狂浪 (7级)	狂涛 (8级)	怒涛 (9级)
波高/m	0	0~0.1	0.1~0.5	0.5~1.25	1.25~2.5	2.5~4	4~6	6~9	9~14	>14

洋灯船监测到的最大波高波动范围为1.3~8.3 m,对应的最大波高周期变化为5.2~11.2 s。期间海浪

等级主要介于中浪—狂浪,其中中浪—大浪的周期分布以6~8 s为主,狂浪周期多集中在8~10 s,而

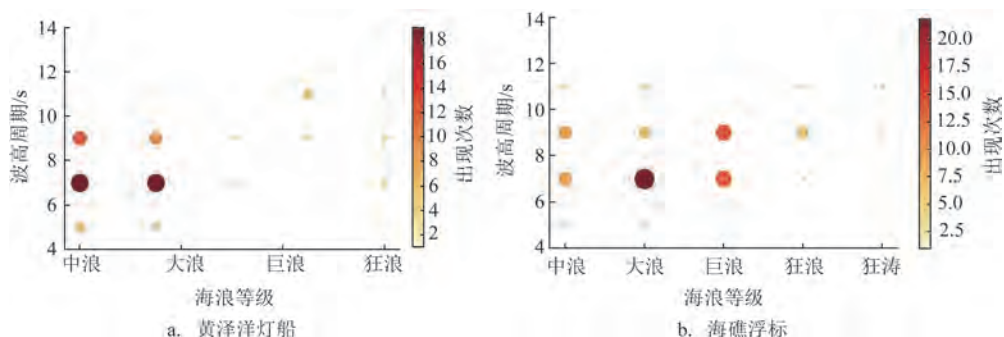


图2 9月12日08时—16日08时最大波高及周期联合出现次数圆点图

Fig.2 Dot Plot of Joint Occurrence Times of Maximum Wave Height and Period from 08:00 on September 12 to 08:00 on September 16

狂涛周期主要分布于 10~12 s。海礁浮标监测数据表明,其最大波高变化区间为 1.70~10.39 m,波高等级覆盖了从中浪—狂涛的完整区间,最大波高对应的周期变化区间为 4.5~12 s。其中,中浪和巨浪的周期主要集中在 6~10 s,狂浪与狂涛则主要分布于 8~10 s。分析显示,台风“梅花”影响期间,上海沿海最大有效波高越大,对应波周期越长,这与孔亚珍等^[15]关于台风过程中“长江口附近海域并非最大波高越大对应周期越大”的研究结论存在差异,推测可能与台风结构及同期 14 号台风“南玛都”的叠加影响相关。图中“大波高+长周期”的组合,对应台风、强风暴等极端动力环境下的剧烈海况。这类波浪对海洋工程(如船舶航行、海上平台作业)威胁显著:长周期易引发结构“共振效应”,大波高则直接增大对结构的冲击载荷,是防灾减灾需重点关注的风险源。

2.3.2 波型演变特征

在海洋学理论中,有效波陡 δ 是划分海浪类型的关键指标,判定标准如下:当 $\delta < 1/100$ 时属于涌浪;若 δ 为 $1/100 \sim 1/40$,则界定为混合浪(即风浪与涌浪共同存在的状态);而当 $\delta \geq 1/40$ 时,可判定为风浪。有效波陡的数学表达式为:

$$\delta = \frac{1.949\pi H}{gT^2} \quad (1)$$

式中: δ 为有效波陡; H 为十分之一大波平均波高(单位:m),即选取海浪中波高最大的 1/10 波浪计算其平均高度; T 为对应波高的波周期(单位:s),指相邻波浪经过同一点的时间间隔; g 为重力加速度(通常

取 9.8 m/s^2)。分别计算 9 月 12 日 08 时—16 日 08 时(共计 97 h)黄泽洋灯船和海礁浮标逐小时有效波陡 δ ,可以此判断海浪的波型类别。

分析图 3 有效波陡随时间变化的趋势可见:随着“台风”梅花靠近和远离,台风影响期间上海沿海以风浪为主,其次为混合浪,无涌浪出现。黄泽洋灯船和海礁浮标在 9 月 12 日 22 时—15 日 12 时以风浪为主;但在台风登陆前(14 日 00—12 时)出现了一段时间的混合浪,其间风速和波高都有所降低,说明台风移动过程中,台风外围大风区的风速并不是一直增大,海浪波型呈现出“混合浪—风浪—混合浪”的交替特征。台风“梅花”云墙区向黄泽洋灯船和海礁浮标逐渐靠近时,海礁浮标风区较长、水深较深,涌浪成分占比较大;多数时段的海礁浮标有效波陡的数值小于黄泽洋灯船,说明距离台风中心较远的海礁浮标风浪成长更充分。整体趋势上,两者波陡的“升—降”节奏较为同步,说明区域波浪系统的动力演变具有一致性;幅度差异上,黄泽洋灯船的波陡峰值(尤其是 9 月 15 日 00 时的极端峰值)远高于海礁浮标,反映出黄泽洋灯船所在位置的波浪陡峭程度变化更剧烈,局部动力条件更极端。

2.3.3 风速与有效波高关系

对台风“梅花”13 日 08 时—16 日 08 时共 72 h 的浮标数据进行分析(见图 4),结果显示:随着台风逐渐靠近浮标站,14 日 23 时,两个浮标处波浪的平均波高、最大波高、有效波高均达到最大值;黄泽洋灯船的波高最大值出现时间较风速最大值滞后 1 h。如图 4 所示,二者呈现出正相关关系,通过非线性回

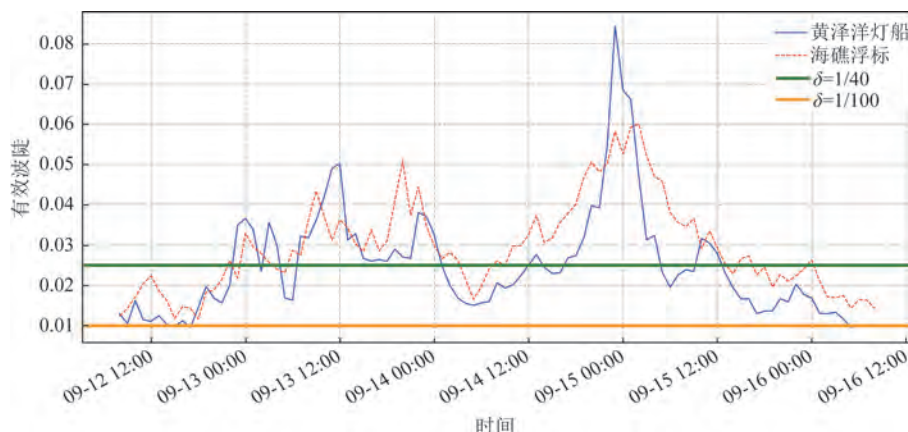


图3 9月12日08时—16日08时有效波陡

Fig.3 Significant wave steepness data from 08:00 on September 12 to 08:00 on September 16

归分析,10 min平均风速(U ,单位:m/s)与有效波高(H_s ,单位:m)满足幂函数关系,拟合公式为 $H_s = 0.0125 \cdot U^{1.92}$ (决定系数 $R^2=0.89$,拟合效果较好)。数据分布与拟合曲线趋势表明:风速较低时($U < 10$ m/s),波高增长较缓;风速较高时($U > 10$ m/s),波高随风速增加显著上升,符合风浪成长的物理规律。对数据取对数后进行线性回归,同样拟合海礁浮标的幂函数模型($H_s = a \cdot U^b$),拟合公式为 $H_s = 0.0145 \cdot U^{1.628}$,决定系数 $R^2 = 0.82$ (全部数据), $R^2 = 0.91$ (仅保留 $U \geq 5$ m/s的数据)。高风速区($U \geq 5$ m/s)的拟合效果显著优于全部数据的拟合效果。通过分析发现,两个浮标在台风“梅花”引发的高风速区间内,风速与有效波高呈正相关,拟合效果较好。

本次拟合的幂函数关系并非经验巧合,而是基于风浪能量平衡理论,黄泽洋浮标 a 值小但 b 值大,海礁浮标 a 值大但 b 值小。 a 值为“比例系数”,

反映相同风速下有效波高的基础水平,由“能量积累总量”(风区、水深、涌浪叠加)决定, b 值为“幂次”,反映有效波高随风速增长的“敏感度”,由“风浪成长阶段”(是否充分成长)决定。黄泽洋是近岸半封闭海域(风区短、风时不足,海水深度浅),台风“梅花”过境时,风浪始终处于“能量输入远大于耗散”的非充分成长状态;海礁是外海开阔海域(风区较长、风时相对充足,海水深度深),台风影响时,风浪更易接近“能量平衡”的准充分成长状态。因此,在台风云墙区,距离台风中心越远,风浪成长状态越充分。

9月13日08时—16日08时的浮标数据表明(见图5),台风“梅花”在移动过程中可分为4个阶段。前期波动阶段(13日12时—14日凌晨):风速在10~15 m/s范围内小幅震荡,有效波高在2~3 m小范围起伏,体现了小风况下波高对风速“细微波

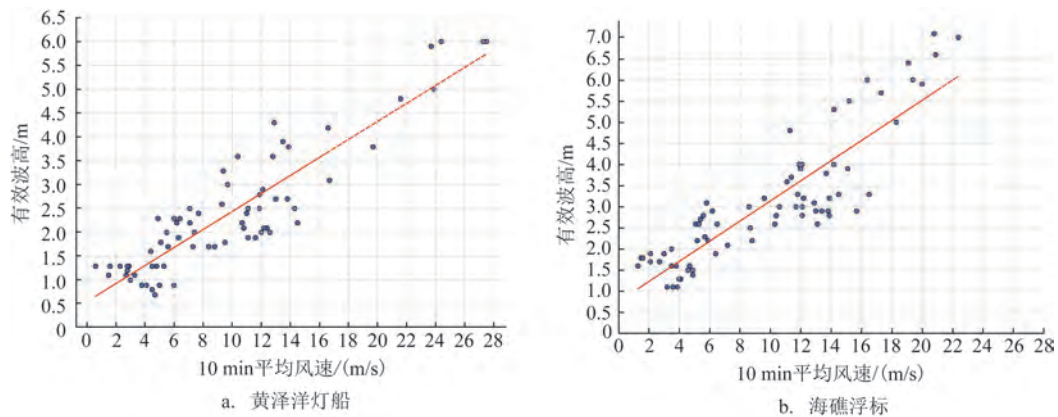


图4 10 min平均风速与有效波高关系

Fig.4 Relationship between 10-minute average wind speed and significant wave height

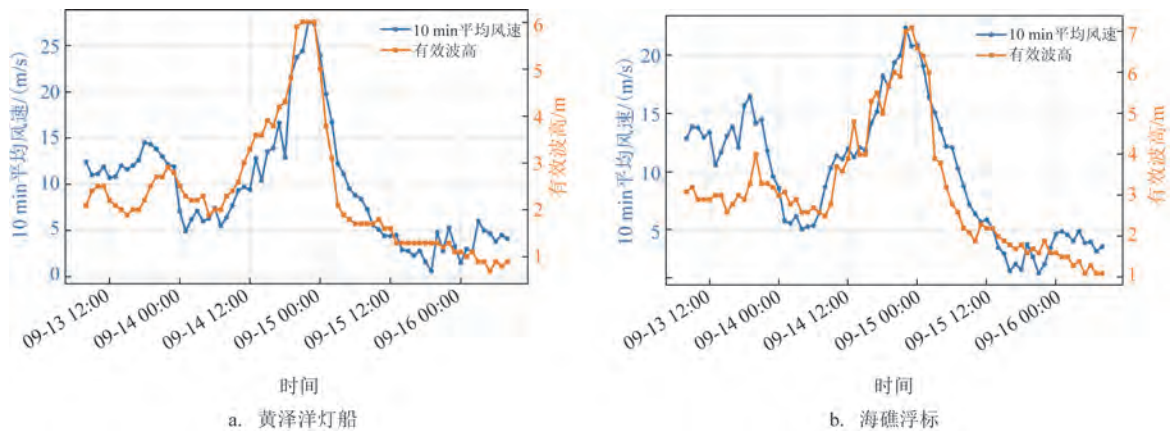


图5 台风“梅花”经过时风速与有效波高变化

Fig.5 Chart of wind speed and significant wave height changes when Typhoon "Muifa" passes by

动”的即时响应。发展上升阶段(14日白天—15日凌晨):风速从较低水平持续攀升,最终达到峰值(接近25 m/s),同时,有效波高也从约3 m持续增长,最终达到峰值(接近7 m),风速上升与波高上升的“速率变化”同步(即风速加速上升时,波高也加速增长),反映出风的持续作用让波浪不断积聚能量的过程。衰减下降阶段(15日凌晨—中午):风速从峰值快速下降,有效波高也随之快速降低,两者下降的时段和幅度高度一致,体现了风的驱动作用减弱后,波浪能量快速耗散的特点。根据实时观测资料,台风“梅花”以25~30 km/h的速度由北偏西方向移动,8级以上大风维持了约12 h。后期平稳阶段(15日中午—16日):风速维持在较低水平(多在5 m/s以下),有效波高也降至2 m以下,且两者都趋于平稳,说明风的驱动作用极弱时,波浪能量逐渐耗尽,波高进入低幅稳定状态。有效波高的变化与10 min平均风速的变化紧密同步、高度正相关,即风速上升时,有效波高上升,风速下降时,有效波高也随之下落。这体现了风对波浪的直接驱动作用:风通过对水面的持续扰动,为波浪提供能量,风速越强,波浪获得的能量越多,有效波高也越高。通过分析风浪成长与衰减规律、台风逼近时波高随风速同步增长的规律,以及台风远离后风浪能量消散的速度,可为风暴潮与风浪叠加预警提供时间窗口。

2.3.4 风向与波向关系

对台风“梅花”14日11时—15日11时共24 h的浮标数据进行分析:台风中心靠近两个浮标站,风速均变大(见图6),14日22时,台风中心距离两个

浮标站距离最近,黄泽洋灯船平均风速达到27.5 m/s,极大风速达到36.6 m/s,海礁浮标平均风速达到22.4 m/s,极大风速达到27.6 m/s。两个浮标站极大风速超过18 m/s(平均风速超过12 m/s)的时长维持约12 h。根据阵风系数公式: $CF = G/U$,式中:CF是阵风系数;G是阵风风速(单位:m/s);U为10 min平均风速(单位:m/s),本研究中界定的阵风为极大风速,具体指1 h内出现的最大3 s平均风速值(单位:m/s),10 min平均风速指整点的10 min平均风速值。通过计算,台风靠近和远离24 h内黄泽洋灯船的平均阵风系数为1.31,海礁浮标的平均阵风系数为1.29,整体稳定在1.3左右;风速较大时,阵风系数趋于平稳,波动较小。风向变化比较明显:台风靠近前,黄泽洋灯船风向由SSE转为N,风速达到峰值时风向为S;海礁浮标风向由ENE沿顺时针偏转,风速峰值时刻风向为SE,由此可见,平均风速达到最大时风向主要为S或者SE。波向变化较大,黄泽洋灯船波向由最初的NNE转变至风速最大时的NNW,海礁浮标波向由WNW转为N再到风速最大时的NW,可以看出,两个站点波向的变化趋势与风向不完全一致。

通过分析台风前后两组数据风向与波向样本的相关性,黄泽洋灯船和海礁浮标的Pearson线性相关系数分别为0.01和0.03;通过假设检验判断其是否由“随机误差”导致(95%置信度),t检验所得p值为0.82和0.87,远大于0.05,表明两组数据均无统计学上的显著关联。由此可见,台风处于不同位置时波浪、风向特征存在差异;通过分析风向和波向的相关性,发现两者无明显线性或简单非线性关系。

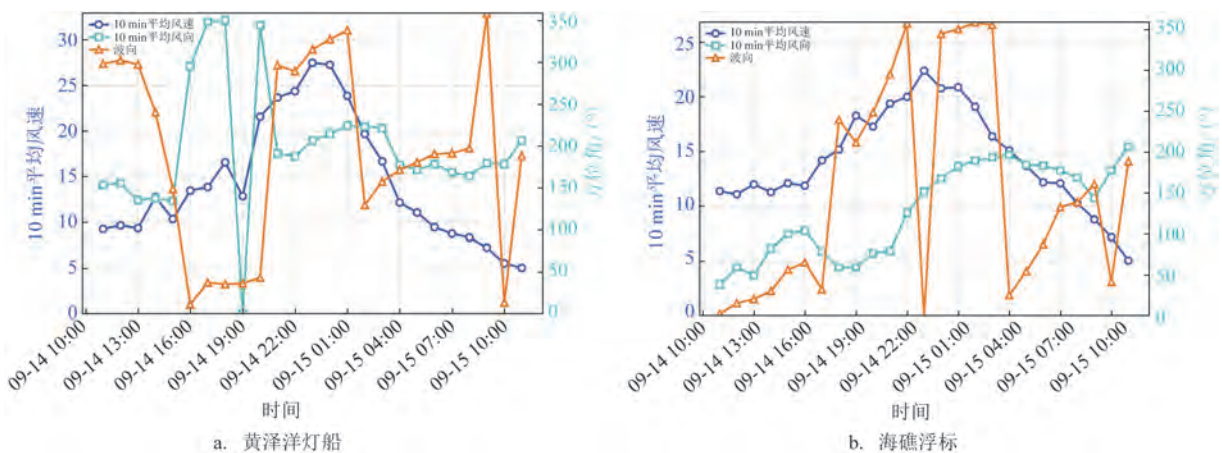


图6 台风“梅花”经过时风速、风向和波向24 h变化

Fig.6 24-hour variation chart of wind speed, wind direction and wave direction when Typhoon "Muifa" passes by

这一结果与邓丹等^[4]分析强台风“卡努”过境期间的风和海浪特征所得波向和风向变化趋势不一致的结论相符,主要原因可能与天文大潮期、向岸风和离岸风的转变有关。

3 结论

为了填补区域研究空白,挖掘风浪演变规律,厘清台风影响下上海沿海风浪的独特演变特征,本文利用黄泽洋灯船和海礁浮标观测资料,针对2022年第12号台风“梅花”影响时段上海沿海的风场与海浪特征及其关联性展开分析,所得成果可为东海海域船舶航行安全保障、海上工程抗风浪设计、港口码头作业管控,以及台风浪精准预报和海洋防灾减灾工作提供科学参考依据。结论如下:

①台风对风浪影响的距离效应:当台风“梅花”经历趋近—远离的过程时,海浪波型呈现出“混合浪—风浪—混合浪”的交替特征;在台风云墙区,观测站点距离台风中心越近,观测到的平均风速越大;观测站点距离台风中心越远,风浪成长越充分。台风本体在移动过程中,台风外围大风区的风速并不是一直增大;台风经过两个浮标时,气压最小值和平均风速最大值出现时间一致,波高最大值比风速最大值出现时间滞后1 h。

②波高与周期关系:在台风“梅花”影响时段内,最大有效波高越高,对应周期越长。

③风速与有效波高关系:通过对两个浮标风速与有效波高的相关性分析,发现风速与有效波高呈幂指数正相关,拟合效果较好。当极大风速超过8级时,阵风系数趋于稳定的 1.3 ± 0.1 区间。风通过对水面的持续扰动,为波浪提供能量,风速越强,波浪获得的能量越多,有效波高也越高,反映了风对波浪的直接驱动作用。

④风向与波向关系:平均风向与波向之间无明显相关性,风速最大时风向主要为南风。

以上分析结论仅基于两个站点的浮标数据、单个台风个例开展初步分析,仍存在一定局限性。台风作用下的风浪演变过程极为复杂,可能受天气系统、地形、海水温度、移动路径、天文大潮期共同影响。因此在今后的研究工作中,还要结合更多台风个例以及多站浮标观测资料和其他多源观测资料,

同时从数值模式及算法等方面开展深入的机理机制研究。

参考文献:

- [1] 李铖, 顾人伟. 洋山港海域台风浪对航运作业的影响及气象保障对策[J]. 上海海事大学学报, 2023, 44(2): 1-7.
Li Cheng, Gu Renwei. Impacts of typhoon waves on shipping operations in Yangshan port waters and meteorological support countermeasures[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2023, 44(2): 1-7.
- [2] 殷玉齐, 侯一筠, 冯兴如, 等. 汕尾市引发灾害性海浪的热带气旋特征研究[J]. 海洋与湖沼, 2021, 52(1): 66-74.
Yin Yuqi, Hou Yijun, Feng Xingru, et al. Characteristics of tropical cyclones that cause disastrous waves in Shanwei City[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2021, 52(1): 66-74.
- [3] 苏志, 赵飞, 郑凤琴, 等. 北部湾海域灾害性海浪特征及影响天气系统分析[J]. 气象与环境科学, 2019, 42(2): 55-61.
Su Zhi, Zhao Fei, Zheng Fengqin, et al. Characteristics and weather impact system analysis of disastrous wave in Beibu Gulf[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2019, 42(2): 55-61.
- [4] 邓丹, 周泉, 马磊, 等. 强台风“卡努”过境期间的风和海浪特征分析[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(6): 1529-1536.
Deng Dan, Zhou Quan, Ma Lei, et al. The wind and wave characteristics during severe Typhoon Khanun[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2023, 54(6): 1529-1536.
- [5] 苏志, 何如, 陶伟, 等. 利用浮标站观测资料分析台风“贝碧嘉”过境时风浪变化特征[J]. 气象科技, 2020, 48(3): 415-420.
Su Zhi, He Ru, Tao Wei, et al. Characteristics of wind and wave changes in transit of Typhoon "Bebinca" using buoy station observation data[J]. Meteorological Science and Technology, 2020, 48(3): 415-420.
- [6] 庄红波, 高瑞泉, 范文龙. 台风影响下海浪的特征分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 30(2): 30-34.
Zhuang Hongbo, Gao Ruiquan, Fan Wenlong. Characteristics of the waves in the effect of tropical cyclone[J]. Meteorological, Hydrological and Marine Instruments, 2013, 30(2): 30-34.
- [7] 薛根元, 俞善贤, 何风翩, 等. 云娜台风灾害特点与浙江省台风灾害初步研究[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 39-47.
Xue Genyuan, Yu Shanxian, He Fengpian, et al. Damage characteristics of Typhoon Ranim and primary research on typhoon disasters in Zhejiang Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(4): 39-47.
- [8] 郑金海, 时健, 张弛. 东海河口型海域台风浪演化机理与海区差异性研究[J]. 水科学进展, 2024, 35(1): 112-122.
Zheng Jinhai, Shi Jian, Zhang Chi. Research on evolution mechanism and sea area difference of typhoon waves in estuarine waters of the East China Sea[J]. Advances in Water Science, 2024, 35(1): 112-122.

- [9] 王毅, 涂小萍, 蒋璐璐, 等. 台风“利奇马”影响期间浙江沿海海浪特征分析[J]. 气象科学, 2020, 40(1): 97-105.
Wang Yi, Tu Xiaoping, Jiang Lulu, et al. Analysis of wave characteristics along Zhejiang coast during Typhoon “Lekima”[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2020, 40(1): 97-105.
- [10] 姚日升, 涂小萍, 徐蓉, 等. 基于浮标观测和ERA5资料的浙江沿海海浪特征分析[J]. 海洋预报, 2024, 41(5): 34-43.
Yao Risheng, Tu Xiaoping, Xu Rong, et al. Sea wave characteristics along Zhejiang coast based on buoy observations and ERA5 data[J]. Marine Forecasts, 2024, 41(5): 34-43.
- [11] 蒋璐璐, 姚日升, 王毅, 等. 基于浮标站和ERA5再分析资料的浙江沿海台风浪特征分析[J]. 海洋技术学报, 2024, 43(1): 1-9.
Jiang Lulu, Yao Risheng, Wang Yi, et al. Analysis of typhoon wave characteristics on the sea surface of Zhejiang coastal area based on buoy stations and ERA5 reanalysis data[J]. Journal of Ocean Technology, 2024, 43(1): 1-9.
- [12] 陈剑桥, 曾银东, 李雪丁. 1205号台风“泰利”影响下台湾海峡风浪特征分析[J]. 海洋预报, 2015, 32(2): 31-36.
Chen Jianqiao, Zeng Yindong, Li Xueding. Analysis of the “Talin” (NO. 1205) Typhoon wave at the Taiwan Strait[J]. Marine Forecasts, 2015, 32(2): 31-36.
- [13] 唐原广, 张磊. 波浪浮标在台风“梅花”观测中的应用与风浪数据特征分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2023, 53(8): 112-120.
Tang Yuanguang, Zhang Lei. Application of wave buoys in observation of Typhoon Muifa and characteristic analysis of wind-wave data[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science), 2023, 53(8): 112-120.
- [14] 潘锦嫦, 陈志宏. 海浪波高与周期联合概率密度分布的研究[J]. 海洋通报, 1996, 15(3): 1-13.
Pan Jinchang, Chen Zhihong. Study of the joint probability density distribution of wave heights and periods[J]. Marine Science Bulletin, 1996, 15(3): 1-13.
- [15] 孔亚珍, 丁平兴, 周根源, 等. 长江口附近海域台风浪特征分析[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2001(3): 85-90.
Kong Yazhen, Ding Pingxing, Zhou Genyuan, et al. Characteristic analyses of storm waves in the Changjiang Estuary[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2001(3): 85-90.

Analysis of wind and wave characteristics along the Shanghai Coast during the impact of Typhoon "Muifa"

LIU Wang¹, HU Song², YUE Caijun¹, ZHU Zhihui¹, CHEN Minhao¹

(1. Shanghai Marine Meteorological Center, Shanghai 201306, China; 2. College of Marine Science and Ecological Environment, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Based on the real-time observation data collected by two moored buoy stations in the coastal waters of Shanghai during the impact of Typhoon "Muifa", this study systematically analyzed the evolution characteristics of wind waves before and after the typhoon's passage. The results show that in the typhoon cloud wall area, the closer the distance to the typhoon center, the higher the monitored average typhoon wind speed. The farther the distance from the typhoon center, the more fully developed the wind waves. During the movement of the typhoon itself, as Typhoon "Muifa" experienced the process of approaching and then moving away, the wave patterns exhibited an alternating characteristic of "mixed waves-wind waves-mixed waves". The wind speed in the outer strong wind area of the typhoon did not keep increasing; the time of the minimum air pressure and the maximum average wind speed when the typhoon passed the two buoys was consistent, and the time of the maximum wave height lagged behind that of the maximum wind speed by one hour. The higher the maximum wave height of the sea waves, the longer the corresponding period. There is a positive correlation between wind speed and significant wave height, with a good fitting effect. Wind exerts a direct driving effect on waves. When the maximum wind speed exceeds Level 8, the gust factor tends to stabilize in the range of 1.3 ± 0.1 . The wind direction was mainly southerly when the wind speed was maximum, while no significant correlation was found between the average wind direction and the wave direction.

Key words: moored buoy; typhoon wave; typhoon eyewall region; Typhoon "Muifa"