

## 2024年海水倒灌事件长江口海域风浪潮特征分析

吴旭云, 丁骏, 秦涛

(上海市海洋监测预报中心, 上海 200062)

**摘要:** 2024年我国沿海部分区域发生了两次海水倒灌, 引发全国关注。基于实测资料和浪潮耦合数值模型, 分析两次海水倒灌事件期间长江口海域风浪潮特征, 研究海水倒灌事件成因和机制。结果表明: 两次事件均与强北风过境有关, 但又显著不同。10月海水倒灌事件前期异常北风占主导, 但后期东海出现强东北偏东风, 渤海罕见的二次增水是北风松弛阶段回荡的开尔文波和东海强东北偏东风过程诱发的陆架强迫波共同作用的结果, 二者的贡献占比为42%和58%, 受陆架波的影响, 此事件期间长江口海域出现两次增水过程。11月海水倒灌事件中北风持续时间更长, 空间范围更大, 长江口海域出现先增水后减水的特征。今后需要重点关注冷空气松弛阶段的风场变化, 特别是异常偏东风过程, 为极端突发海水倒灌灾害防御提供新思路。

**关键词:** 海水倒灌; 风暴潮; 陆架波; 浪潮耦合模型; 长江口海域

**中图分类号:** P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2025)03-0034-11

### 0 引言

海水倒灌是指海水通过地表或地下进入陆地, 这一现象通常发生在沿海地区或河流入海口。它可能由多种因素引起, 包括地质结构、潮汐、台风季的强风和暴雨等<sup>[1]</sup>。2024年全国发生了“一北一南”两次显著的海水倒灌事件。10月18—21日, 渤海和黄海沿岸的辽宁省营口市、盘锦市、天津市滨海新区、河北省唐山市、江苏省南通市、连云港市等多地沿海地区突发海水倒灌<sup>[1]</sup>, 辽宁省多个验潮站出现破历史记录的高潮位。11月17—19日, 上海市、浙江省宁波市、广东省惠州市、深圳市和广西北海市沿海出现了达到当地橙色警戒潮位的高潮位, 部分区域出现海水倒灌。历史上受强天气系统影响引发的风暴增水与天文大潮叠加导致的海水漫滩漫堤现象常有发生, 而2024年引发社会关注的两次海水倒灌事件中除天文潮位较高、前期受强冷空气影响外, 突发异常强增水期间并无明显的天气系统影响。最新研究认为, 10月渤海和黄海沿岸的增水是

由陆架边缘波引起的<sup>[1]</sup>。一般认为, 陆架边缘波是风暴过境后的余振, 属于高频惯性重力波, 其显著部分集中在岸边且沿岸传播<sup>[2]</sup>。但也有研究认为, 强北风松弛阶段的陆架波主要由自由的开尔文波模态和第一模态的陆架地形波组成, 属于低频的惯性重力波<sup>[3-4]</sup>。在陆架波理论中, 岸线和海底地形的变化会对陆架波的性质有很大的影响。研究表明, 陆架波的开尔文波模态的波长可达3 000 km, 在渤海、黄海、东海沿岸逆时针传播, 甚至会影响南海近岸的水位变化<sup>[3-6]</sup>。

在两次海水倒灌突发异常增水期间, 长江口海域也观测到了水位明显升高现象。长江口岸线地形特殊, 两次异常增水如何影响长江口海域? 强异常北风可能是诱发2024年10月异常增水的主要原因<sup>[1]</sup>, 不同的增水事件是否会诱发沿岸传播的强迫波继而影响长江口海域? 掌握特殊天气事件期间长江口及周边海域的风场、浪场和增水的演变规律, 对于灾害防御和应对具有重要意义。

本文基于实测数据分析了2024年10月18—21

收稿日期: 2025-02-17。

基金项目: 上海市海洋灾害综合防治体系建设工程项目(沪发改环资[2024]23号); 上海市海洋观测预报共建与服务项目(C2024-123)。

作者简介: 吴旭云(1965-), 男, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋监测预报与管理研究。E-mail: gxwj20241122@163.com

日(简称10月事件)和11月17—19日(简称11月事件)两次海水倒灌事件期间长江口海域的增水和海浪特征,揭示两次事件对长江口海域的影响。基于浪潮耦合模型模拟两次事件期间长江口海域增水和波高的演变规律,分析陆架波传播引起的沿岸增水对长江口海域的影响特征,掌握突发异常天气事件期间风暴增水和海浪的演变规律,为长江口海域防灾减灾提供技术支撑。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源

水位、风的实测数据来自上海市海洋局金山嘴、芦潮港、堡镇和高桥Ⅱ4个海洋站的监测数据;波浪观测数据为上海市海洋局预警1号和预警3号浮标的有效波高和波向。模型风场为欧洲中期天气预报中心ERA5气候再分析数据,空间分辨率为 $0.125^\circ$ ,时间间隔为1 h。站点和浮标位置见图1。

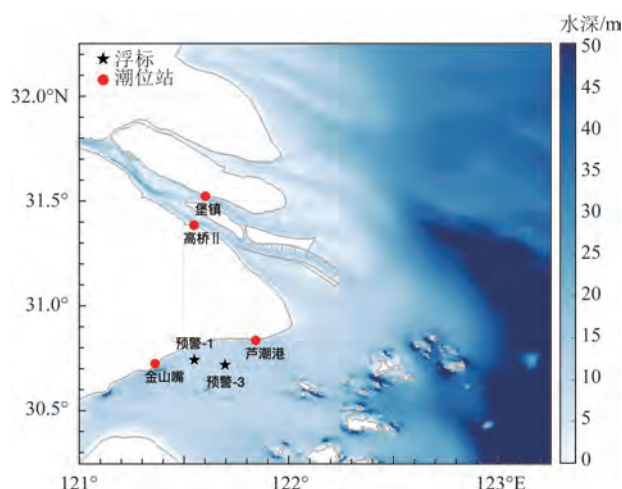


图1 海洋站和浮标位置

Fig.1 Locations of tidal gauge stations and wave buoy stations

### 1.2 模型方法

为模拟海水倒灌期间长江口海域增水和波浪的空间演变规律,本文选取高级环流模型(The Advanced Circulation Model, ADCIRC)和近岸海浪模型(Simulating Waves Nearshore, SWAN)的浪潮耦合模型。模型考虑了风暴潮和海浪之间的相互作用,能够更准确地模拟风暴潮、海浪及其对沿海地区的影响<sup>[7-8]</sup>。模型网格区域包括渤海、黄海、东海和

西北太平洋部分海域,范围为 $18^\circ\sim 41^\circ\text{N}$ , $117^\circ\sim 138^\circ\text{E}$ ,共有175 773个计算节点、331 232个网格。网格在开边界处分辨率为 $0.75^\circ$ ,开边界两侧陆地边界分辨率为20 km,向长江口逐渐加密,长江口附近重点区域的最高分辨率可达100 m。模型网格和参数设置见Chi等<sup>[8]</sup>。

## 2 浪潮耦合模型结果检验

Jiang等<sup>[9-10]</sup>已经充分验证了海浪模型的模拟能力,本研究进一步验证模型对风暴增水的模拟能力。图2为两次增水事件期间,实测计算与模拟的风暴增水对比,其中,实测计算的增水为调和分析后的余水位,模拟增水是由浪潮耦合模拟结果减去纯天文潮的模拟结果得到。从图中可以看出,数值模拟较好地再现了两次风暴增水的时间演变。10月事件期间长江口有两次增水过程,分别为19日晚和22日凌晨,但增水维持时间较短;11月事件的增水幅度与10月事件相当,但维持了约1天。两个事件模拟的最大增水略低于实测值,平均相对误差分别为27.6%(10月事件)和28.3%(11月事件)。这主要是因为对实测进行调和和分析后的增水信号中仍然包含有相当振幅的高频变化,如果对余水位进行滑动平滑以消除高频振荡,则平均相对误差分别为10.2%(10月事件)和15.6%(11月事件)。据此认为,数值模型可以很好地再现两次事件期间长江口海域的增水过程。

图3为两次事件期间模型模拟的有效波高和浮标观测的对比。从图中可以看出,ADCIRC+SWAN浪潮耦合模型可以很好地再现实测有效波高的变化,均方根误差分别为0.14 m(10月事件)和0.21 m(11月事件)。与增水过程类似,11月事件期间,预警浮标的大浪持续时间更长。与单独的海浪模式相比,浪潮耦合模型可以更好地再现观测中有效波高的潮频振荡。

## 3 长江口海域风浪潮特征分析

### 3.1 10月事件风浪潮特征分析

图4和图5为2024年10月19—22日渤海、黄海、东海风暴增水和风场的时间演变,其中图4为第一阶

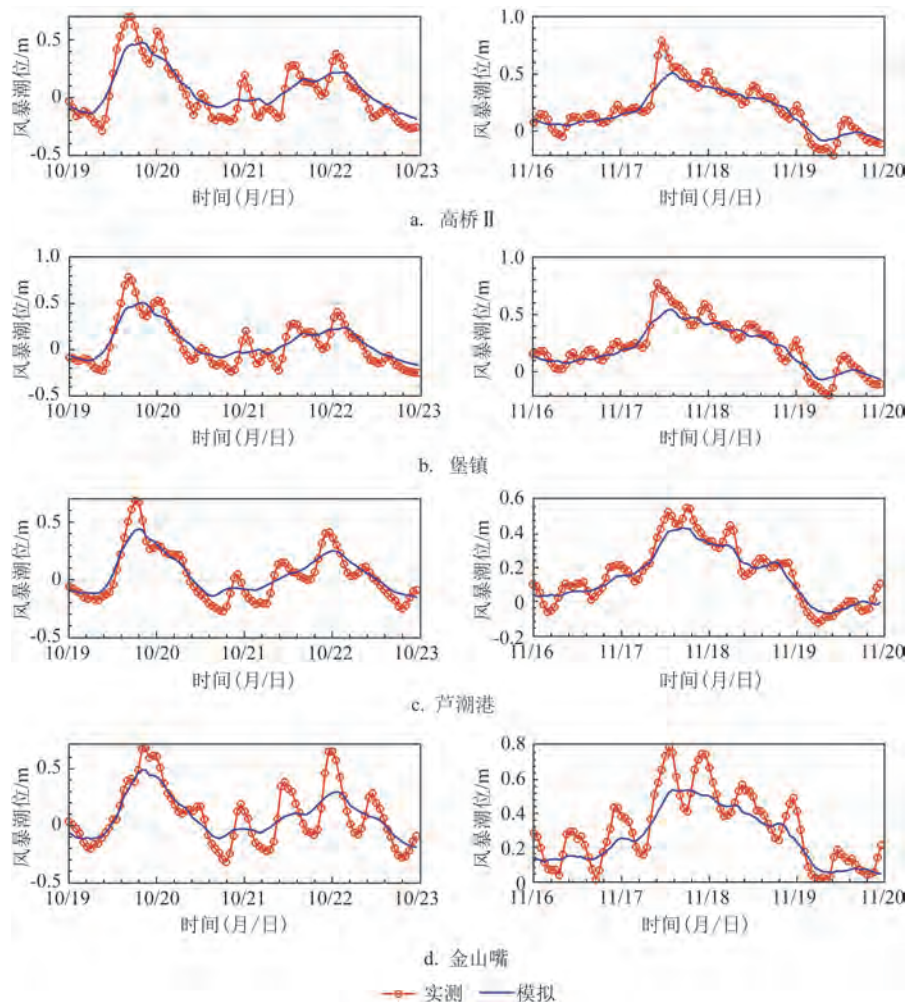


图2 长江口风暴增水模拟结果与实测对比

Fig.2 Comparison of time series of model simulated surge and observed surge around the Changjiang River Estuary

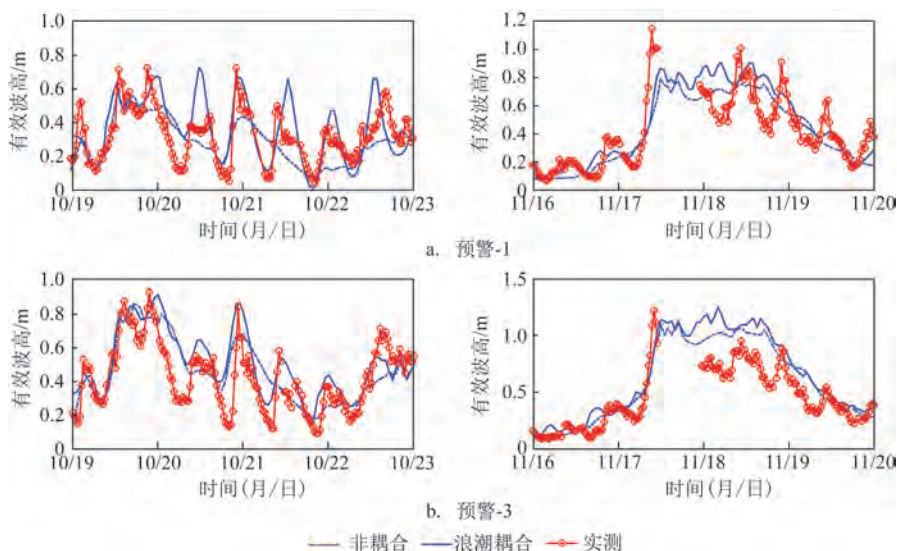


图3 长江口海域浮标观测和模型模拟的有效波高对比

Fig.3 Comparison of time series between model simulated and observed significant wave height around the Changjiang River Estuary



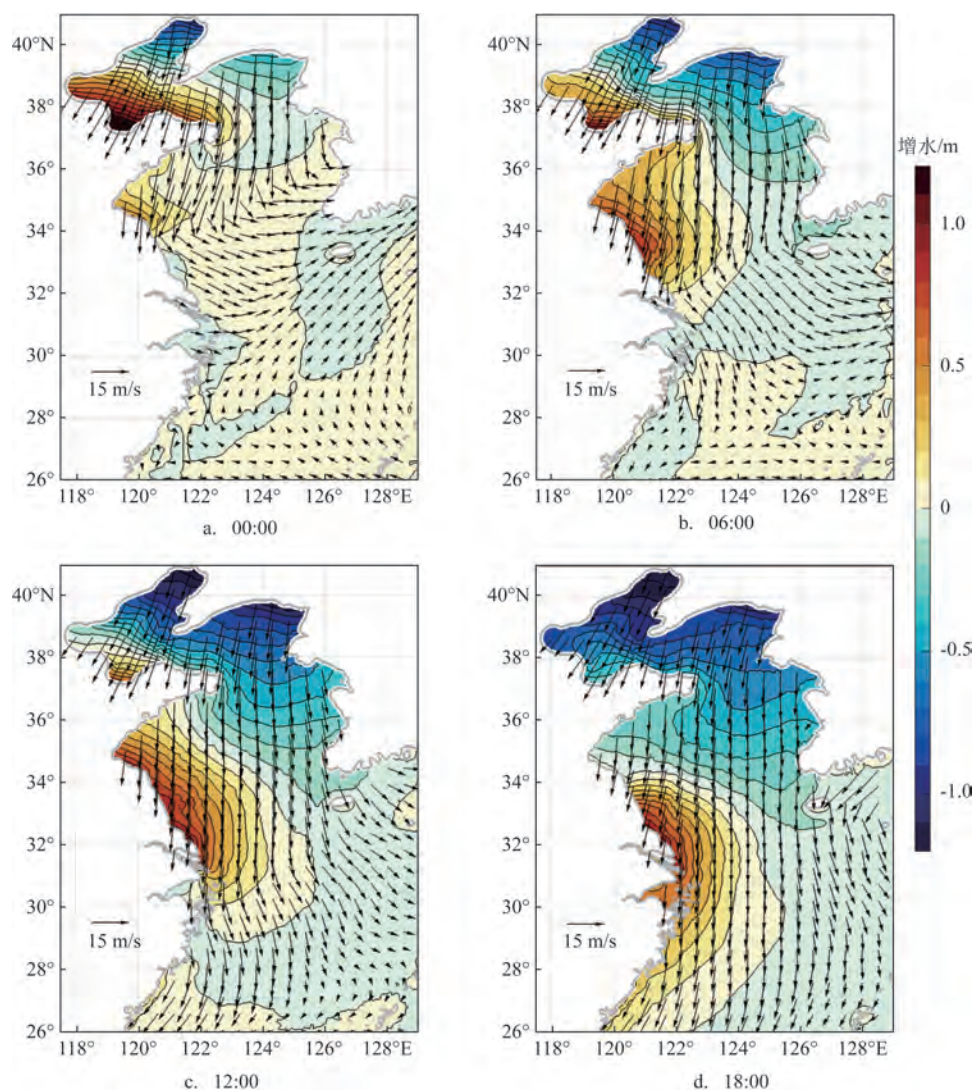


图4 2024年10月增水事件第一阶段(19日)的风暴增水和风场(箭头)演变

Fig.4 The time evolutions of model simulated surge level and wind field (vectors) on October, 19, 2024

段(19日)的风暴增水过程,图5为第二阶段(20—21日)的风暴增水过程。在第一阶段的风暴增水期间,受强北风的影响,18日晚间—19日凌晨,莱州湾和山东半岛北部出现超1 m的增水,随着北风的持续增强和向南移动,19日苏北浅滩区域也出现超1 m的增水,最大增水发生的时间由北向南逐渐推后。20日开始,渤黄海的北风转为偏南风,向南扩展的低水位信号减弱,长江口海域的增水信号继续沿浙闽沿岸向南传播,强度逐渐减弱。长江口区域观测记录的最大增水发生在19日傍晚,实测和模拟符合良好。在第二阶段的风暴增水过程中,长江口区域4个验潮站也记录了一定程度的增水,但增水幅度

小于第一阶段(见图2),数值模拟证实了这一结果,该阶段的增水主要发生在渤海和黄海沿岸,对长江口区域的影响较小(见图5)。

图6为2024年10月19—21日模型模拟的有效波高的时空演变。受强北风影响,黄海中部发生了4~6 m的巨浪过程。浮标观测的有效波高一定程度反映了风场的变化特征,受强北风影响,预警1号浮标在10月19日出现最大波高(0.9 m)。在第二阶段增水过程期间,预警浮标观测的有效波高均低于0.5 m。值得注意的是,虽然第二阶段预警浮标没有记录到显著的波高变化,但有效波高的空间分布显示,从10月19日晚开始,对马海峡—东海中西部区

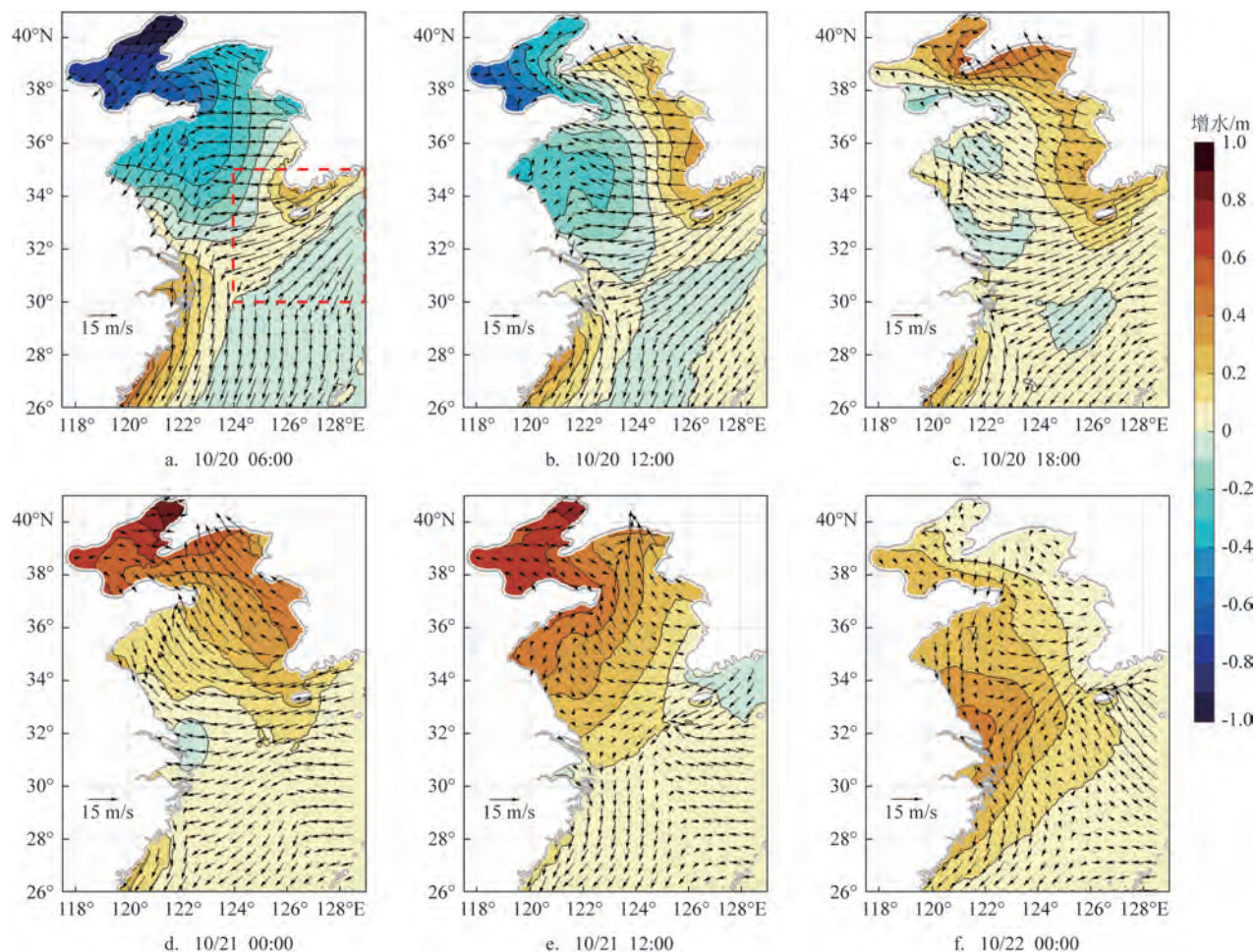


图5 2024年10月增水事件第二阶段(20—21日)的风暴增水和风场(箭头)演变

Fig.5 The time evolutions of model simulated surge level and wind field (vectors) during October, 20—21, 2024

域出现了一次2.5 m以上的大浪过程,这与朝鲜半岛西南区域持续的强东北风有关(见图5)。在黄海中部,由于北风转变为偏南风,波浪以东南向为主。东海自东向西出现的大浪过程具有显著的指导意义,19日晚开始出现的持续性强东北偏东风,可能对第二阶段的风暴增水产生影响,本文将在第4节中进行讨论。

### 3.2 11月事件风浪潮特征分析

2024年11月17—18日,长江口和杭州湾区域出现了达到当地橙色警戒潮位的高潮位,预警浮标也记录了超过1.25 m的中浪过程(见图2、3)。就海浪而言,此次事件中长江口海域的有效波高、增水和大浪的持续时间均超过了10月事件(见图2)。芦潮港的风速记录显示,11月17—18日的风速达10 m/s,

且较高风速维持了约1.5天。与10月事件不同,长江口海域并没有观测到二次振荡增水。

图7为11月16—19日的风暴增水和风场演变情况。从图中可以看出,该时段黄海、东海沿岸也经历了一次由北向南的增水过程。长江口北部的苏北海域增水最大,最大增水超1 m。长江口海域的增水持续了约1天,持续时间超过了10月事件(见图2和图7)。这主要是因为此次强北风的持续时间和范围较10月事件更大,北风覆盖整个渤海、黄海、东海范围,且在黄海南部和东海更强。东海持续的北风有利于长江口增水的持续。受北风影响,最大增水发生在黄东海西岸,并以沿岸开尔文波的形式向南传播(见图7)。

图8为11月16—19日渤海、黄海、东海有效波高和波向的时空演变。从图中可以看出,冷空气前



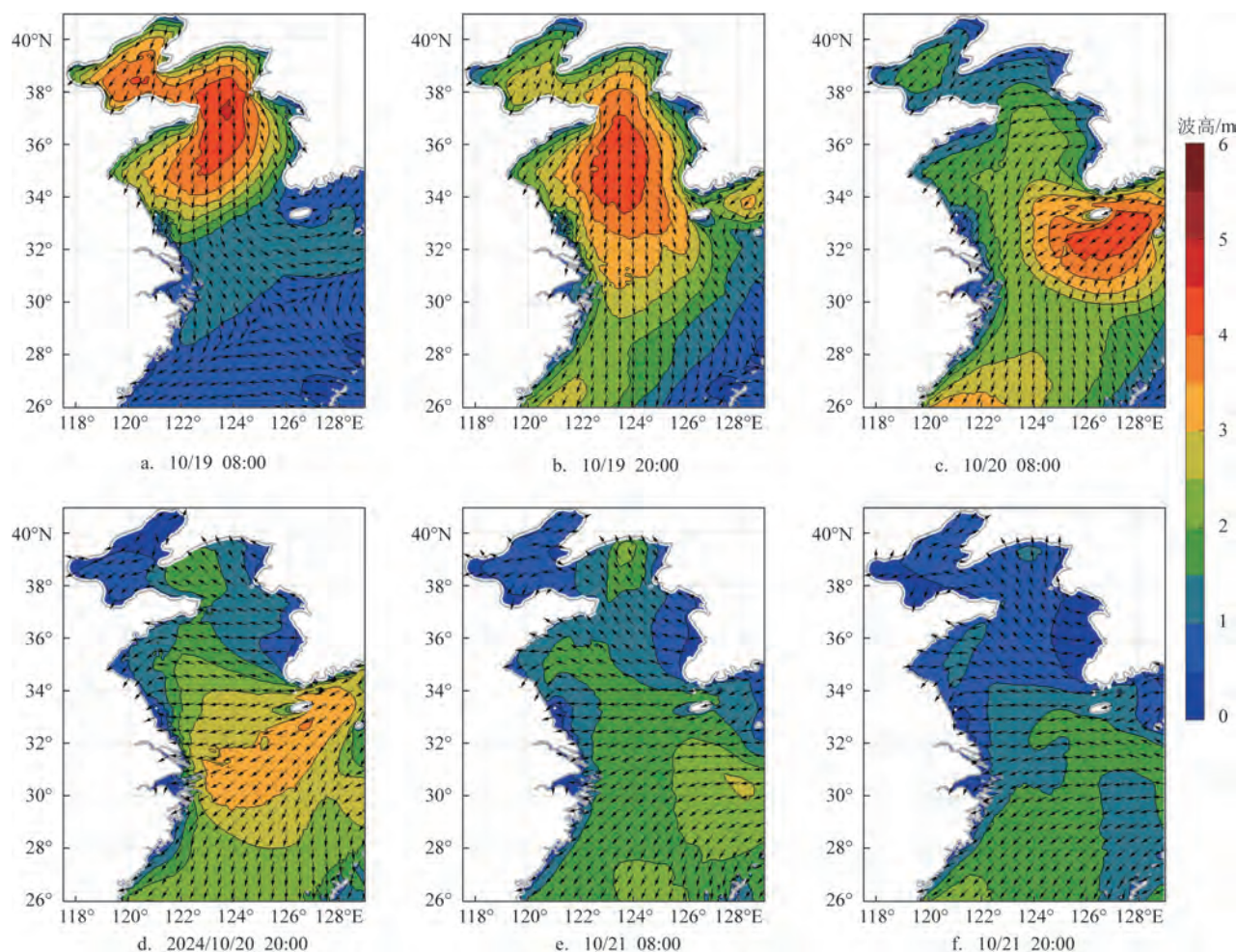


图6 2024年10月增水事件期间(19—21日)的有效波高和平均波向(箭头)演变

Fig.6 The time evolutions of model simulated significant wave height and mean wave direction (vectors) during October, 19—21, 2024

期,北风强度弱于10月事件,黄海浪高也小于10月事件。但由于北风作用的空间范围更大,持续时间更长,黄东海自北向南经历了一次大浪过程,大浪范围一直延伸到东海中部和南部,对长江口的影响也强于10月事件,影响时间也更持久(见图2和图8)。对比10月和11月异常增水和波浪演变特征可以发现,北风的持续时间、范围和强度是影响黄东海和长江口海域增水和海浪特征的关键因子,是需要重点关注的预报要素。

#### 4 机制与讨论

2024年“一北一南”的两次海水倒灌事件在全国范围内引起了广泛关注。海水倒灌虽然没有发

生在长江口海域,但该海域也记录到显著的增水变化。分析显示,两次事件的发生均与强北风过境有关,但引起的增水变化显著不同。我们发现,强北风的强度、范围和持续时间是影响增水和波高变化的关键因素。前人研究表明,风场强迫可以激发沿岸传播的陆架强迫波,沿岸方向的风速和水位之间有着很好的一致性变化规律<sup>[11-12]</sup>,我们的研究证实了这一结论。数值模拟证实,在2024年10月19—22日强风事件期间,大风主要集中在渤海、黄海且强度较大,受此影响,渤海北部水位降低,南部水位升高,南高北低的水位异常导致渤海向黄海的出流增强,渤海、黄海、东海的水位呈现北低南高的态势,长江口海域出现增水现象(见图4和图7)。如果风场持续增强或空间范围继续向南扩展,可以使北



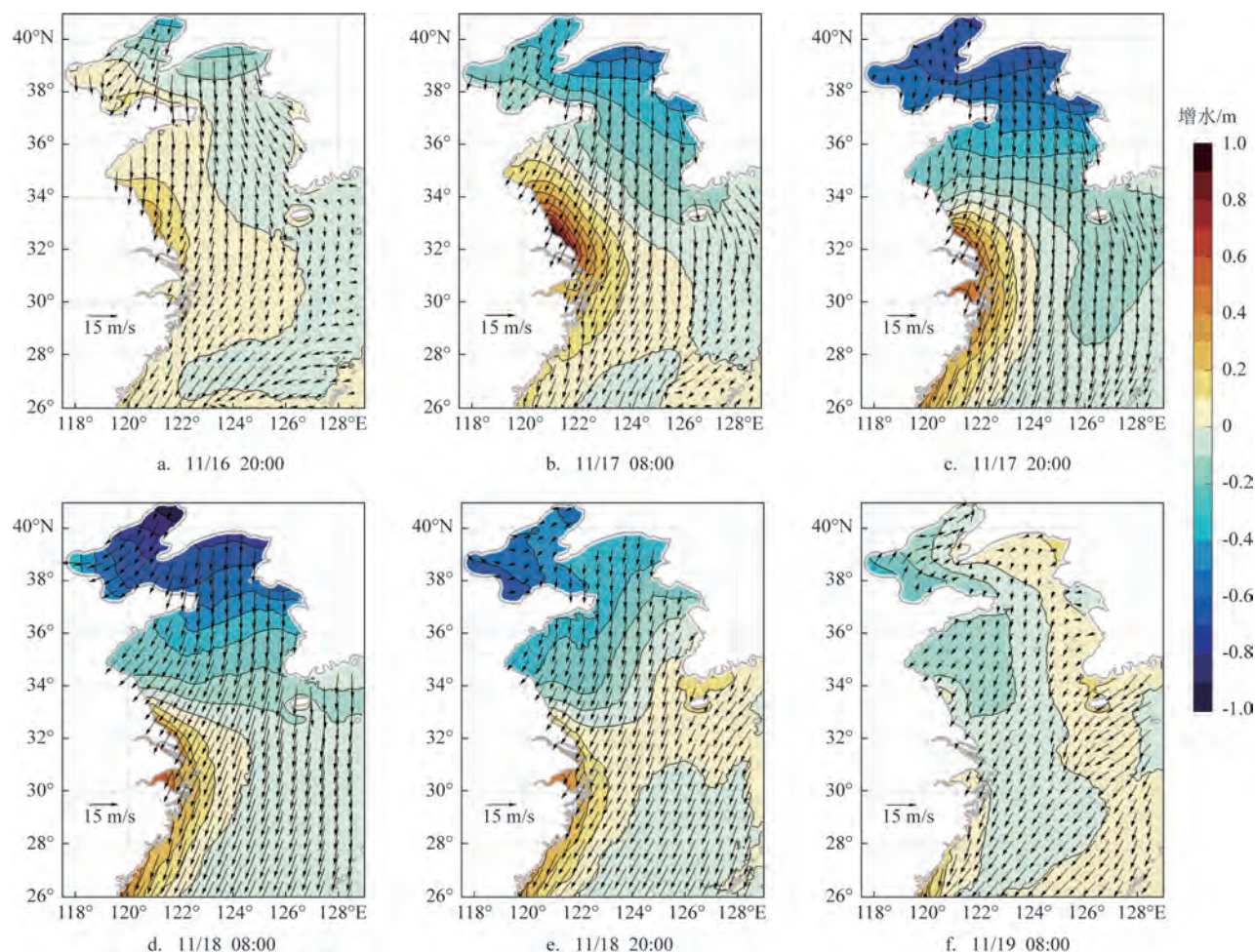


图7 2024年11月增水事件期间(16—19日)的风暴增水和风场(箭头)演变

Fig.7 The time evolutions of model simulated surge level and wind field (vectors) during November, 16—19, 2024

部的低水位信号进一步向南扩展,长江口海域或出现减水现象。10月事件期间,北风发展迅速但持续时间较短,且事件后期东海出现了强的东北风。受此影响,长江口海域并未出现减水现象,并且受渤海二次增水的影响,出现了一定程度的二次增水。与10月事件相比,11月事件的北风空间范围更大、持续时间更长,长江口海域出现了一定程度的减水(见图2和图7f)。值得注意的是,两次事件期间最大增水均发生在沿岸处,这是因为北风引起的增水主要以开尔波的形态沿岸传播,在传播过程中形成很强的东西向压强梯度且沿岸流动。当陆架波传至长江口海域后,在河口和杭州湾区域失去了岸线的依托,最大增水首先发生在口门附近,继而向长江口和杭州湾区域传播,这是冷空气(强北风)诱发陆架波传播引起的增水区别于台风增水的特

征之一。

前人研究表明,在北风松弛阶段,朝鲜半岛西岸会发生异常增水,并以自由陆架开尔文波的形式逆时针由南向北传播<sup>[4,12]</sup>。此时水位西低东高,产生向北的补偿流,渤海水位将振荡回升(见图5和图7)。受逆时针传播的陆架波影响,长江口海域水位将逐渐恢复正常或出现二次增水(见图5e—f)。但由于波动信号的衰减,长江口海域的二次增水一般小于北风强迫阶段的增水(见图4和图5)。与11月事件不同,10月事件期间,渤海和黄海沿岸出现了历史罕见的二次增水并发生海水倒灌。分析显示,10月事件后期(19日18时)开始,黄东海由东向西经历了一次强东风影响,波高分布直观反映了该强东风的影响(见图5和图6),韩国济州岛气象站的风矢量观测也显示19日傍晚—22日下午,该海域持续



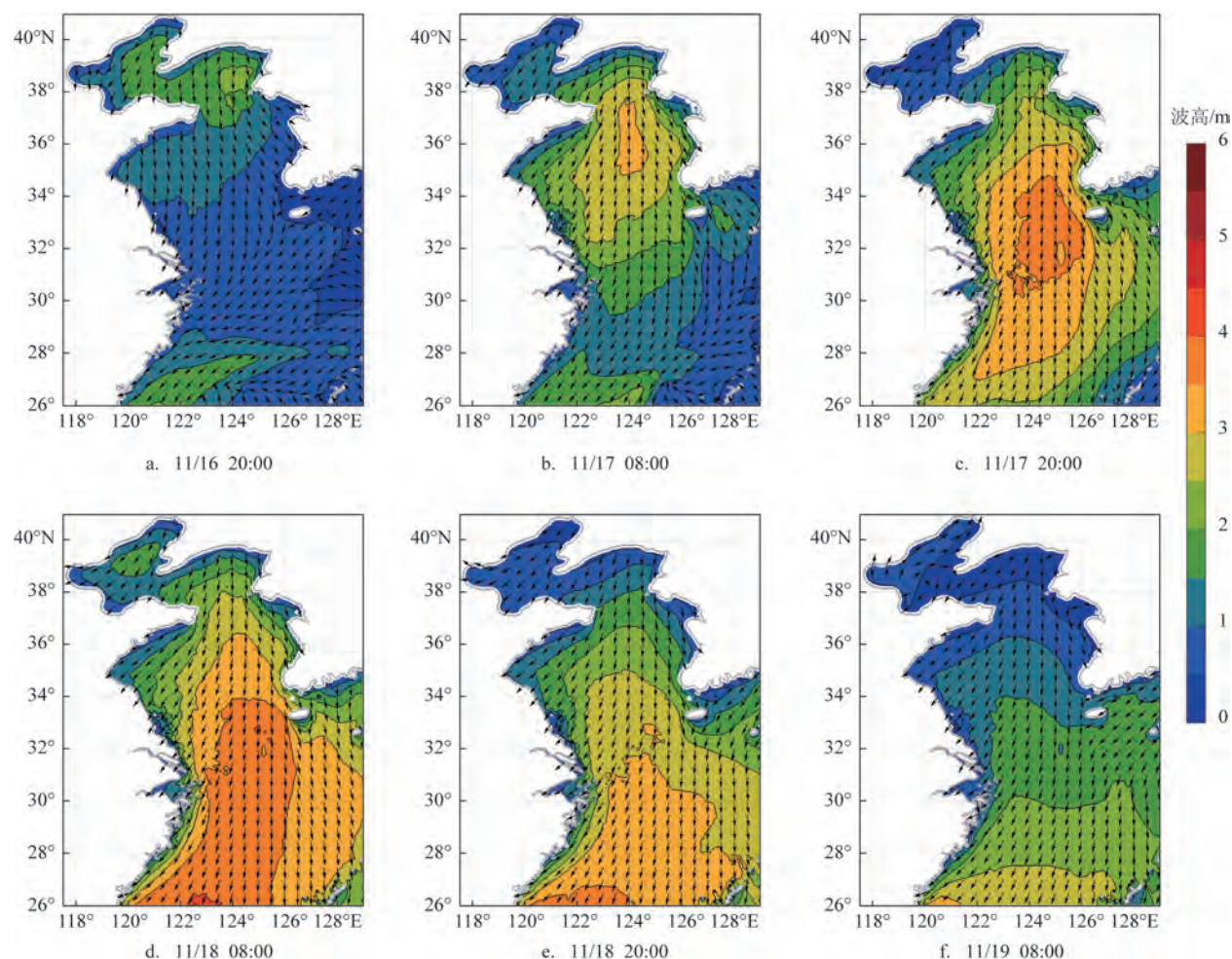


图8 2024年11月增水事件期间(16—19日)的有效波高和平均波向(箭头)演变

Fig.8 The time evolutions of model simulated significant wave height and mean wave direction (vectors) during November, 16—19, 2024

受到东北偏东或东向风的影响(见图9a),这与ERA5再分析风场的变化一致(见图5和图9b)。考虑到偏东风有利于水体向黄东海堆积,我们推测,在北风松弛阶段,黄东海的强东北偏东风可能对10月渤海、黄海罕见海水倒灌有重要影响。为了验证该猜想,我们开展了区域无风试验,将10月19日18时—22日24时强东北风影响期间 $124^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ ,  $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$ 范围(见图5a红框)内的风速设置为0,研究该区域中强东北风过程对二次增水和渤海海水倒灌的影响。图9b—d为数值试验的对比结果,其中图9b中的红色和蓝色曲线分别为完全风场试验和区域无风试验中渤海区域的平均风暴增水。从结果可以发现,区域无风试验中渤海的二次增水显著降低,21日的平均水位仅约为原来的42%,这

强调了北风松弛后期东海东北部异常强东北风对渤海二次增水的贡献。根据Ekman理论,朝鲜半岛南侧东海的强偏东风和偏北风均有利于水体向东海及朝鲜半岛西岸堆积,诱发陆架强迫波并进一步沿朝鲜半岛西岸由南向北传播。

图9c和图9d为10月事件中渤海二次增水事件发生前(10月20日14时)完全风场试验和区域无风试验的风暴潮位和风暴潮流的空间分布差异。从图9c和9d可以看出,在区域无风试验中,与陆架波对应的由南向北的补偿流显著减弱,其表现出和11月事件较为相似的特征(见图7f和图9d)。此外,强东北风引起的水位和流场变化可以阻止渤海、黄海水位由北向南降低,这也是10月事件北风过境后长江口海域没有发生减水的原因。上述试验证实,



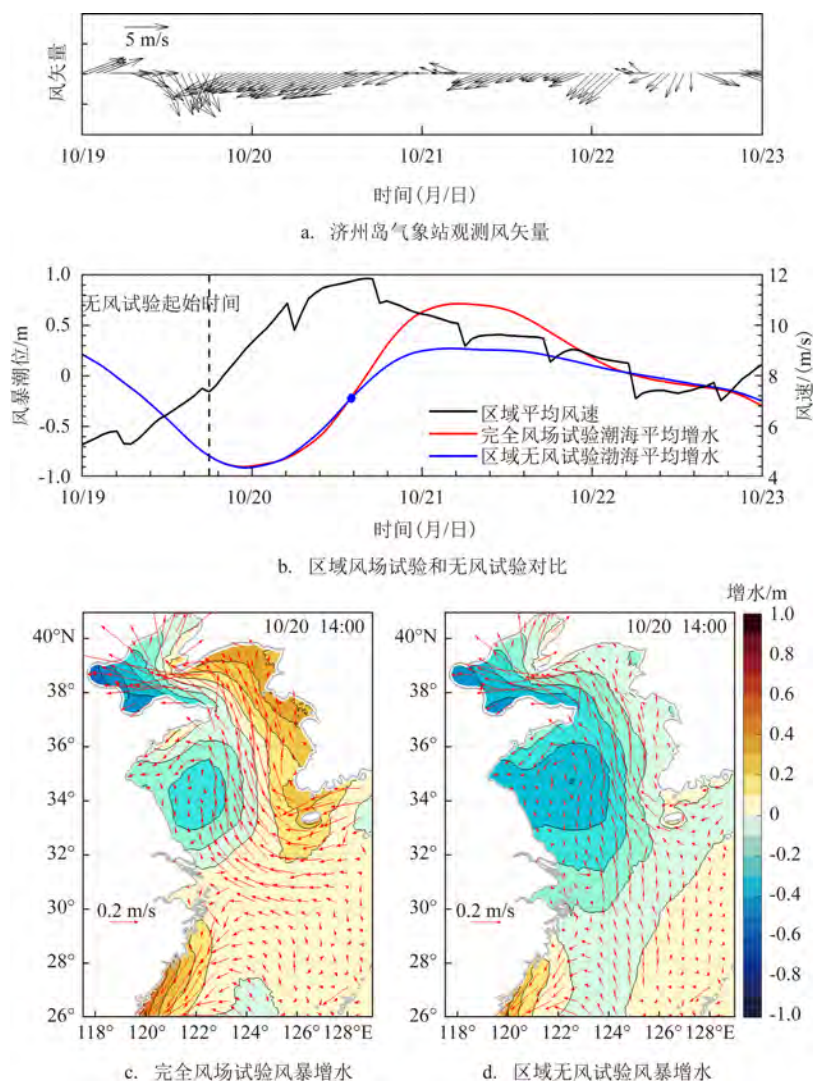


图9 2024年10月增水事件期间(19—22日)完全风场试验和区域无风试验的对比

Fig.9 Comparison between the fully coupled simulation and the simulation with winds setting to zero during 18:00 October 19 to 24:00 October 22, 2024

2024年10月影响整个渤海、黄海、东海的罕见的二次增水是由北风松弛阶段风暴增水回流的开尔文波和东海东北部强东北风强迫产生的陆架强迫波二者共同引起的,二者的贡献分别为42%和58%。傅赐福等<sup>[1]</sup>对2024年10月渤海和黄海沿岸海水倒灌事件的成因分析认为,边缘波对渤海的二次增水起主导作用,占比约为94%。本研究认为造成这种差异的原因在于二者停止风驱动的时间不同。在傅赐福等<sup>[1]</sup>的研究中,停止风驱动的试验开始于10月20日08时,而本研究开始于10月19日18时。通过ERA5风场和济州岛观测风矢量可以发现,10

月20日08时之前,东北偏东风已经持续了14 h甚至更长时间(见图4、图5和图9a)。持续的强东北风势必对朝鲜半岛西岸的增水产生影响。我们重复了傅赐福等<sup>[1]</sup>的试验,研究发现,如果将风驱动关闭的时间推迟至10月20日08时,渤海的平均风暴潮位会增大到原来的约72%,这体现了前期东海异常强东北风驱动的影响。此外,文献[1]中的模式边界东至128°E,南至29.5°N,小于本研究的模型范围,也无法覆盖本研究“区域无风试验”中关闭风驱动的范围(124°~130°E,30°~35°N),这可能也是两个研究结果存在差别的原因之一。

## 5 结论

2024年我国渤海与黄海沿岸以及南海北部沿岸发生了较为严重的水倒灌,引发了全国性关注。本文结合实测潮位和海浪资料,分析了两次事件期间长江口海域的增水和波高变化特征。在此基础上采用浪潮耦合模模型,进一步分析了长江口海域增水和海浪的时空演变规律。结果如下:

①2024年10月和11月两次海水倒灌事件均与强北风过境有关。受强北风影响,增水率先出现在渤海南岸和黄海沿岸,然后以陆架波的形式向南传播,两次事件前期长江口海域均出现明显的增水过程,最大增水首先发生在口门附近,然后向长江口和杭州湾区域传播。

②风场的强度、持续时间和范围决定了增水和浪高的程度。在10月事件的北风松弛阶段,朝鲜半岛西岸发生异常增水,并以陆架开尔文波的形态逆时针由南向北传播,渤海、黄海水位振荡回升,增水沿岸线向长江口传播,叠加东海海域因强东风作用出现的一次2.5 m以上的大浪,长江口海域出现二次增水。11月事件中,北风覆盖整个渤海、黄海和东海,且持续时间较10月事件更长,因此增水和波浪特征显著不同。

③数值试验发现,10月事件中渤海罕见的二次增水是由北风松弛阶段的风暴增水回流的开尔文波和东海异常强东北偏东风过程引起的陆架强迫波共同作用引起的,二者的贡献占比约为42%和58%。

利用浪潮耦合的研究方法能够更全面地揭示海水倒灌的成因,不同要素之间具有很强的提示作用,可以为极端突发灾害的演变规律研究提供新思路,为海洋防灾减灾工作提供科学依据。

### 参考文献:

[1] 傅赐福, 于福江, 董剑希, 等. 基于数值模拟的2024年10月渤海和黄海沿岸海水倒灌事件成因分析[J]. 海洋预报, 2025, 42(1): 1-

10.  
FU C F, YU F J, DONG J X, et al. Causal analysis of the October 2024 seawater backflow event along the coasts of the Bohai Sea and the Yellow Sea based on numerical simulation[J]. Marine Forecasts, 2025, 42(1): 1-10.  
[2] 冯士筭. 风暴潮导论[M]. 北京: 科学出版社, 1982.  
FENG S Z. Introduction to storm surge[M]. Beijing: Science Press, 1982.  
[3] YIN L P, QIAO F L, ZHENG Q A. Coastal-trapped waves in the East China Sea observed by a mooring array in winter 2006[J]. Journal of Physical Oceanography, 2014, 44(2): 576-590.  
[4] LI Z Y, HUANG D J. Sea surface height and current responses to synoptic winter wind in the Bohai, Yellow, and East China Seas: Two leading coastal trapped waves[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2019, 124(4): 2289-2312.  
[5] DING Y, BAO X W, SHI M C. Characteristics of coastal trapped waves along the northern coast of the South China Sea during year 1990[J]. Ocean Dynamics, 2012, 62(9): 1259-1285.  
[6] LI J Y, ZHENG Q A, HU J Y, et al. Wavelet analysis of coastal-trapped waves along the China coast generated by winter storms in 2008[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2015, 34(11): 22-31.  
[7] 李近元, 王宇, 曹淑刚, 等. 海流海浪耦合作用对台风浪影响的数值研究[J]. 海洋科学进展, 2023, 41(3), 456-465.  
LI J Y, WANG Y, CAO S G, et al. Numerical study on the influence of Ocean current wave coupling on typhoon waves[J]. Advances in Marine Science, 2023, 41(3), 456-465.  
[8] CHI Y T, RONG Z R. Assessment of extreme storm surges over the Changjiang River Estuary from a wave-current coupled model[J]. Journal of Marine Science and Engineering, 2021, 9(11): 1222.  
[9] JIANG Y, RONG Z R, LI P X, et al. Modeling waves over the Changjiang River Estuary using a high-resolution unstructured SWAN model[J]. Ocean Modelling, 2022, 173: 102007.  
[10] JIANG Y, RONG Z R, LI Y G, et al. Toward a high-resolution wave forecasting system for the Changjiang River Estuary[J]. Remote Sensing, 2023, 15(14): 3581.  
[11] ALLEN J S. Continental shelf waves and alongshore variations in bottom topography and coastline[J]. Journal of Physical Oceanography, 1976, 6(6): 864-878.  
[12] HSUEH Y, ROMEA R D, DEWITT P W. Wintertime winds and coastal sea-level fluctuations in the Northeast China Sea. Part II: numerical model[J]. Journal of Physical Oceanography, 1986, 16(2): 241-261.



## Analysis of wind, wave, and surge characteristics over the Changjiang River Estuary during the 2024 seawater backflow events

WU Xuyun, DING Jun, QIN Tao

*(Shanghai Ocean Monitoring and Forecasting Center, Shanghai 200062, China)*

**Abstract:** In 2024, two severe storm surge events occurred along the coasts of the Bohai Sea, Yellow Sea, and South China Sea, leading to coastal flooding in some areas which attracted national attention. Based on in situ observations and the coupled wave-current model, we investigate the spatiotemporal characteristics of winds, surface waves and storm surges around the Changjiang River Estuary, and the involved physical mechanisms of the coastal flooding processes. The results show that both events were associated with strong northerly winds, but with significant difference between them. For the storm surge event during October 19 to 22, the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea were dominated by northerly winds firstly and experienced high surge from north to south as coastal trapped waves. The East China Sea, however, experienced strong northeasterly winds from east to west during the late period of the event, thus a rare secondary high surge occurred in the Bohai and Yellow Seas, as a result of the combined effect of free Kelvin waves during the relaxation stage of cold air and shelf waves triggered by northeasterly winds in the East China Sea. Numerical simulation shows that the free oscillating Kelvin wave and the forced shelf wave contribute to about 42% and 58% of the secondary high surge, respectively. For the storm surge event during November 16 to 19, the northerly winds lasted a longer time and covered a large area, resulting in surge set-up firstly and then surge set-down over the Changjiang River Estuary. Changes in the wind field during the relaxation phase of cold air, especially the abnormal easterly wind events, are key factors that need to be closely monitored in wave and storm surge forecasts. This study provides new insight into strategy dealing with extreme coastal flooding events in the future.

**Key words:** seawater backflow; storm surge; shelf wave; wave-current coupled model; Changjiang River Estuary