

上海沿海海浪警报发布标准研究

于芸¹, 李钺², 徐婷婷^{1*}, 沈心仪², 梁颖瑜¹, 姚圣康¹

(1.自然资源部东海预报减灾中心,上海 201306;2.上海市海洋监测预报中心,上海 200062)

摘要: 应用 GB/T 41165-2021《海洋预报结果准确性检验评估方法》,对上海沿海 2007—2020 年发布的海浪警报作全面的准确性检验评估,详细分析空报与漏报的发生原因,并应用历史长期风浪资料,统计分析上海沿海各个测波点所在海域的波浪特征,评估 2 m 以上波浪过程的分布状况,结合警报的检验结果,合理与科学地给出上海沿海 4 个海域的海浪警报发布标准。

关键词: 海浪警报;预报海区;准确性检验;沿海海域;警报等级

中图分类号: P731.33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2024)04-0021-11

0 引言

海浪灾害是海洋灾害的主要灾种之一^[1]。我国是海浪灾害的多发地区,每年发生有效波高 4.0 m (含)以上的灾害性海浪过程 37.5 次,年直接经济损失达 1.48 亿元^[2-6]。东海预报减灾中心和上海海事局的统计资料表明,上海沿海平均每年发生 2.5 m 以上的灾害性海浪有 26 天,4.0 m 以上灾害性海浪为 4 天,平均每年发生灾害性海浪事故 33 起^[6]。海浪警报为各级海洋行政管理部门提供防灾减灾决策依据,为海洋经济、国防安全、涉海企事业单位保障服务做出积极贡献。

随着上海海洋经济的高速发展,海洋经济比重大幅度提升,因此一旦发生海洋灾害所造成的直接经济损失也大幅上升;严重的海洋灾害可能成为制约上海经济可持续发展的一大障碍。近年来上海市区两级防汛和海洋管理部门、涉海企事业单位在滨海旅游、港口航运和涉海工程建设等防灾减灾工作中,对海浪警报发布的海域范围、频次、预报质量等的要求越来越高。上海沿海海域包括三级分叉四口入海的长江口和强潮性质喇叭状的海湾杭州湾,其水下地形复杂、物理海洋性质特殊、海域功能

区划不同。为了更好地服务于海洋经济,为政府有关部门、涉海企事业单位提供防灾减灾决策依据^[7-8],上海市海洋局根据上海近岸水深地形特征、各个海域波浪时空分布特征、所属海域内服务单位需求,将上海沿海海域细分为长江口外、长江口内、洋山港、杭州湾北 4 个海域,精细化发布各个海域的海浪警报。但是国家标准^[9]中将上海沿海海域作为单一整体的海浪警报区域,明显不适应本市不同海洋功能区对预警报的要求。为确保警报信息有效发挥警示作用,需要在对警报作全面检验评估的基础上,制定适合上海不同海域的警报标准^[10]。为此,上海市海洋监测预报中心联合东海预报减灾中心,应用上海沿海所有观测站点的风浪资料,针对上海市沿海历史海浪警报和同期自然波浪极值波高分布状况作了全面系统的检验评估,根据评估结果,并结合上海海域区位、环境条件和开发利用状况,对上海沿海不同海域的警报启动标准进行了充分研究探讨,在国家标准的基础上,为编制上海《海浪预报和警报发布规范》地方标准提供依据,以确保发布的警报信息有效发挥警示作用,提高公共服务水平,更好地服务于上海市的海洋防御减灾工作。

收稿日期: 2023-05-11。

基金项目: 沪市监标技[2020]560号。

作者简介: 于芸(1981-),女,工程师,本科,主要从事海洋环境预警预报工作。E-mail:yuying620@126.com

*通信作者: 徐婷婷(1982-),女,工程师,本科,主要从事海洋环境预警预报工作。E-mail:ariellucky@163.com

1 上海沿海海浪警报准确性检验概况

1.1 资料来源及处理

本文的研究数据主要包括:自然资源部东海预报减灾中心与上海市海洋监测预报中心发布的历史海浪警报及所属海洋站、海洋观测浮标历史风浪数据。国家海洋环境预报中心发布海浪警报时,将上海沿海海域作为一个整体;东海预报减灾中心发布海浪警报时,将警报海区分为长江口(长江口外与长江口内海域)与杭州湾(杭州湾北岸与洋山港海域)两个海区。长江口以大戢山、佘山站数据参与警报质量检验,杭州湾以滩浒岛站数据参与质量检验。从2015年开始,浮标数据参与警报质量检验。各个波浪观测站点所属海域及警报参评时间见表1。

1.2 警报发布与有效参评情况

2007—2020年,长江口、杭州湾海域分别对109

次、81次海浪灾害过程启动海浪警报,分别发布各级警报529期、387期。按照GB/T 41165-2021《海洋预报结果准确性检验评估方法》^[1]的警报检验评估规则,有8次台风及气旋过程符合气旋中心距离实况观测点大于40 km的情况,检验结果属于无效,实际参与检验的灾害过程分别为101次、76次(见表2)。

1.3 警报评估规则

《海洋预报结果准确性检验评估方法》中规定^[1]发布蓝色、黄色、橙色、红色四级警报。在警报时效内,如果实况有效波高最大值位于相应的警报级别有效时间区间内,警报为正确,高于相应区间为漏报,低于相应区间为空报(见表3)。

1.4 警报检验结果

1.4.1 人工观测站检验结果

在长江口海域503期警报检验中,仅有2次蓝

表1 上海沿海海浪警报质量检验海域与相应站点表

Tab.1 Sea areas and observation stations for wave warning accuracy test along the Shanghai coast

观测站点	所属海域	参评时间	观测技术	波高属性
大戢山	长江口内	2007年7月—2020年12月	人工观测	$H_{1/10}$
佘山	长江口内	2007年7月—2020年12月	人工观测	$H_{1/10}$
佘山浮标	长江口内	2015年8月—2019年12月	浮标	$H_{1/3}$
预警2号	长江口外	2018年11月—2020年12月	浮标	$H_{1/3}$
预警4号	长江口外	2019年12月—2020年12月	浮标	$H_{1/3}$
预警6号	长江口外	2018年1月—2020年12月	浮标	$H_{1/3}$
滩浒岛	杭州湾北岸	2007年1月—2020年12月	人工观测	$H_{1/10}$
预警1号	杭州湾北岸	2018年11月—2020年12月	浮标	$H_{1/3}$
预警3号	杭州湾北岸	2019年11月—2020年12月	浮标	$H_{1/3}$
预警5号	洋山港	2020年12月	浮标	$H_{1/3}$

表2 2007—2020年上海沿海海浪警报检验统计

Tab.2 Statistical table of sea wave warning inspection in Shanghai coastal area from 2007 to 2020

统计类别	海区名称	灾害过程/次	灾害天气系统类别			不同警报等级发布期数/期				
			热带气旋/次	寒潮/次	温带气旋/次	蓝色	黄色	橙色	红色	合计
实际发布	长江口	109	55	47	7	335	146	44	4	529
	杭州湾	81	45	32	4	264	103	20	0	387
有效参评	长江口	101	54	47	1	317/2*	144/0	38/0	4/0	503/2
	杭州湾	76	44	32	0	250/4	103/0	20/0	0/0	373/4

注:*为有效参评数据中不同警报等级发布的正确期数

表3 海浪警报四色等级与对应有效波高值范围

Tab.3 Four color levels of wave warning and ranges of corresponding significant wave height

警报级别对应波高值范围/m		警报等级
$H_{1/3}$	$H_{1/10}$	
[0,2.5)	[0,3.1)	无
[2.5,3.5)	[3.1,4.3)	蓝色
[3.5,4.5)	[4.3,5.6)	黄色
[4.5,6.0)	[5.6,7.5)	橙色
[6.0,+∞)	[7.5,+∞)	红色

色警报预报正确(见表2),其他全部为空报,警报正确率为0.4%,空报率高达99.6%。在杭州湾海域373期警报检验中,有4次蓝色警报预报正确,正确率为1.1%,空报率为98.9%。

在警报发布的14年间,3个人工观测站实况波浪达到蓝色级别以上($H_{1/10} \geq 3.1$ m)的灾害过程共出现6次,均由台风过程引发,预警级别普遍比实况高1~2级(见表4)。

表4 2007—2020年实况波高达到蓝色等级时警报发布情况统计

Tab.4 Statistics of warning release when the actual wave height reaches blue level from 2007 to 2020

长江口海域		杭州湾海域	
预报警报等级/期数	实况达到等级	预报警报等级/期数	实况达到等级
红色/4	蓝色	/	/
橙色/15	蓝色	橙色/6	蓝色
黄色/2	蓝色	黄色/7	蓝色
蓝色/2	蓝色	蓝色/4	蓝色
合计期数	23	合计期数	17

警报的正确率在1%左右,检验结果显然不符合预警报客观规律。上海沿海人工观测波高点受地形、水环境、观测人员技术水平等因素影响较大,将有效波高2.5 m作为海浪警报发布标准,在大戢山、佘山和滩浒岛站所属海域显然不合适。

1.4.2 浮标检验结果

长江口海域共有佘山、预警2号、4号、6号这4个3 m浮标,浮标观测时间为2015年8月—2020年

12月。佘山浮标数据参与检验过程14次,其中台风9次,寒潮5次;预警2号浮标数据参与检验过程15次,其中台风10次,寒潮4次;预警4号浮标数据参与检验过程8次,其中台风5次,寒潮3次;预警6号浮标没有数据参与检验。

利用浮标进行检验的警报准确性为:正确率为60%,空报率为22.4%,漏报率为17.6%(见表5),其中台风灾害过程漏报率为15.6%,冷空气灾害过程漏报率为24.1%。

表5 2015—2020年长江口海域海浪警报质量检验表

Tab.5 Quality inspection table of sea wave warning in the Yangtze Estuary sea area from 2015 to 2020

准确性类型	全部灾害过程	台风过程	寒潮过程
正确/次(正确率/%)	75(60.0)	57(59.4)	18(62.1)
空报/次(空报率/%)	28(22.4)	24(25.0)	4(13.8)
漏报/次(漏报率/%)	22(17.6)	15(15.6)	7(24.1)

在海洋环境预报中,对灾害天气系统的预报要求是可以允许合理范围内的空报,但是不允许漏报。表5显示警报的漏报率为17.6%,通过分析发现,漏报都是由预警2号浮标的数据引发,包括6次台风过程、2次冷空气过程、1次冷空气与气旋共同影响过程,其中相差2级的漏报有4次(见表6)。

预警2号浮标位于122.5°E,31°N,南距花鸟岛约20 km,水深25 m,观测站点靠近沿海与近海的分界线,无限风区为NNW—SE方位,受同等级风力驱动,波浪较其他测波点较易生长。

预警2号浮标共参与15次警报检验过程,将其日最大有效波高与同日长江口外海浮标的日最大有效波高做对比,结果发现(见图1),两个数据的相关性为0.82,证明在灾害天气系统影响时,预警2号浮标的波浪数据代表性较好。由于浮标靠近沿海与近海的分界线,应用其波浪观测数据检验评估警报时必须慎重,用以判断警报启动标准时一定要加以充分论证。

杭州湾海域有两个3 m小浮标,都位于杭州湾北部、上海奉贤南岸,各向风区都较小,风浪都不利于充分成长,东向涌浪影响较大。

两个浮标参与检验的海浪灾害过程共有14次,其中台风灾害过程10次,寒潮4次,警报共70期,检验结果只有1期预报正确,其余69期全部为空报,

表6 长江口海域警报漏报统计分析

Tab.6 Statistical analysis of missed warnings

发生日期(年/月/日/时)	灾害系统	预报波高/m	实测波高/m	预报等级	实况等级
2019/7/18/18:00—2019/7/19/17:00	1905号台风“丹娜丝”	2.0~3.0	4.1	蓝色	黄色
2019/7/19/09:00—2019/7/20/08:00			4.0	蓝色	黄色
2019/8/8/18:00—2019/8/9/17:00	1909号台风“利奇马”	2.0~3.0	5.0	蓝色	橙色
2019/8/9/09:00—2019/8/10/08:00		3.0~4.4	5.1	黄色	橙色
2019/9/20/09:00—2019/9/21/08:00	1917号台风“塔巴”	2.0~3.0	3.9	蓝色	黄色
2019/9/20/18:00—2019/9/21/17:00		3.0~4.0	5.5	黄色	橙色
2019/9/21/09:00—2019/9/22/08:00		2.5~3.5	5.8	黄色	橙色
2019/9/22/09:00—2019/9/23/08:00	1918号台风“米娜”	2.0~3.0	5.4	黄色	橙色
2019/9/22/18:00—2019/9/23/17:00			5.0	蓝色	橙色
2019/9/30/18:00—2019/10/1/17:00		2.0~3.0	4.7	蓝色	橙色
2019/9/30/23:00—2019/10/1/22:00	冷空气	2.5~3.5	5.4	黄色	橙色
2020/1/26/09:00—2020/1/27/08:00		2.0~3.0	3.7	蓝色	黄色
2020/1/26/18:00—2020/1/27/17:00		1.8~2.8	4.1	蓝色	黄色
2020/1/27/09:00—2020/1/28/08:00	冷空气+气旋	2.0~3.0		蓝色	黄色
2020/2/15/09:00—2020/2/16/08:00				蓝色	黄色
2020/2/15/18:00—2020/2/16/17:00		1.5~2.5	3.5	蓝色	黄色
2020/9/1/09:00—2020/9/2/08:00	2009号台风“美克沙”	2.5~3.4	4.5	蓝色	橙色
2020/9/1/18:00—2020/9/2/17:00		2.5~3.5		黄色	橙色
2020/10/8/09:00—2020/10/9/08:00	2014号台风“灿鸿”	1.8~2.8	4.2	蓝色	黄色
2020/10/8/18:00—2020/10/9/17:00				蓝色	黄色
2020/12/29/09:00—2020/12/30/08:00	冷空气	2.8~3.8	5.5	黄色	橙色
2020/12/29/18:00—2020/12/30/17:00				黄色	橙色

注: *表中时刻均为北京时,下同

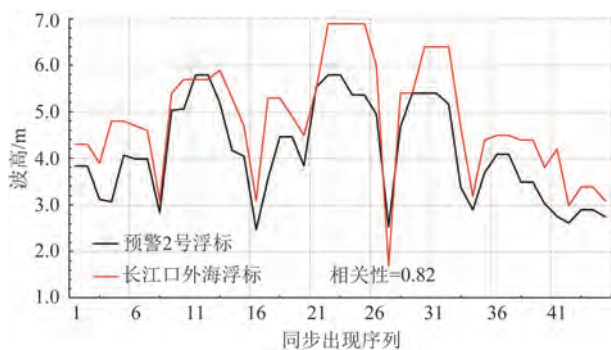


图1 预警2号浮标与长江口外海浮标同日最大有效波高比较图
Fig.1 Comparison diagram of daily maximum significant wave height observed by Early Warning Lot 2 and the buoy outside the Yangtze River Estuary

由此可见,在杭州湾北部海域,应用国家标准 $H_{1/3} \geq 2.5$ m 作为警报启动标准明显偏高。

2 各测波点海域历年波浪分布状况

2.1 大戢山、佘山、滩浒岛站附近海域

大戢山、佘山属于长江口内海域。大戢山站距大洋山约 27 km,东距泗礁岛 30 km,西距南汇咀 28 km;测波点位于岛屿的东北角,水深约 17 m, NNE—ESE 方位波浪代表性较好,其他方向的波浪受岛屿影响明显,历史最大观测波高记录为 7.0 m。佘山站西北距吴淞口约 70 km,测波点设在佘山岛东侧,水深较浅,开阔度为 120°,外侧传来的波浪受

浅滩的影响,只有N—E方位的波浪代表性较好,历史最大观测波高记录为4.4 m。滩浒岛属于杭州湾北海域,北距上海奉贤海边仅27 km,南距浙江慈溪40 km,测波点在岛屿东南角,水深小于15 m,各方风区都小于70 km,受岛屿与大陆影响明显,波高普遍较小,历史最大观测波高记录为4.6 m。

表7为2007—2020年警报发布期间,大戢山、佘山、滩浒岛 $H_{1/10} \geq 2.0$ m、 ≥ 2.5 m、 ≥ 3.0 m分级统计,3个海域 $H_{1/10} \geq 3.0$ m、 ≥ 2.5 m的年频率均小于2次,明显不合适作为警报起报标准;长江口内和滩浒岛 $H_{1/10} \geq 2.0$ m的年发生频率分别为2.3~5.3次与3.1次,小于目前海浪警报发布频率的7.8次与5.8次,所以如果以 $H_{1/10} \geq 2.0$ m作为警报启动或检验标准,是合理可行的。

表8为大戢山、佘山、滩浒岛站 $H_{1/10} \geq 2.0$ m以上波浪过程发布警报统计分析。当 $H_{1/10} \geq 2.0$ m以上时,在台风影响上海沿海时,两个海区都发布了警

报,在寒潮与温带过程影响时,长江口区有2/3的过程发布了警报,杭州湾有1/2的过程发布了警报,可见对台风灾害过程的重视程度较高,而对温带系统灾害过程的重视程度有所欠缺,同时也说明以 $H_{1/10} \geq 2.0$ m作为警报启动或检验标准是合理的。

统计分析1977—2020年大戢山、佘山、滩浒岛3个站所在海域历史观测波高 $H_{1/10} \geq 2.0$ m的状况,将其按照1 m的间隔分档,结果见表9。应用自然资源部东海局在统计上海沿海发生灾害性海浪制定的条件,定义 $H_{1/10} \geq 2.0$ m、风速(10 min平均) ≥ 6 级且出现时间持续6 h为一次灾害过程。

在大戢山 $H_{1/10} \geq 2.0$ m的877次天气过程中,有45次过程不符合灾害海浪的规定;佘山98次过程都符合灾害海浪规定,其中4.0 m以上波高全部由台风灾害引发。如果将 $H_{1/10} \geq 2.0$ m作为长江口内海区警报启动发布标准,根据表8统计的波高分布状况,可将警报从低到高分为蓝色(波高为[2.0,3.0)m)、黄

表7 2007—2020年大戢山、佘山、滩浒岛站观测 $H_{1/10} \geq 2.0$ m以上波浪过程统计

Tab.7 Statistical table of wave processes with $H_{1/10} \geq 2.0$ m observed in Dajishan, Sheshan and Tanhu Island from 2007 to 2020

观测点 /海区	$H_{1/10}$ /m	台风/次	寒潮/次	温带 气旋/次	其他 系统/次	过程 总数/次	过程 天数/d	年平均 /次	年发布 频率/次
大戢山/长江口内	≥ 3.0	5	—	—	—	5	5	0.4	7.8
	≥ 2.5	12	1	1	—	14	16	1.0	
	≥ 2.0	33	38	3	—	74	98	5.3	
佘山/长江口内	≥ 3.0	1	—	—	—	1	1	0.1	7.8
	≥ 2.5	3	—	—	—	3	3	0.2	
	≥ 2.0	17	13	2	—	32	35	2.3	
滩浒岛/杭州湾北	≥ 3.0	5	—	—	—	5	5	0.4	5.8
	≥ 2.5	14	1	—	—	15	16	1.1	
	≥ 2.0	28	12	2	1	43	57	3.1	

表8 大戢山、佘山、滩浒岛站波浪观测站 $H_{1/10} \geq 2.0$ m警报发布次数统计

Tab.8 Statistical table of warnings issued with $H_{1/10} \geq 2.0$ m observed by wave stations in Dajishan, Sheshan and Tanhu Island

天气系统	台风/次		寒潮/次		温带气旋/次		其他系统/次		合计/次
警报发布状况	发布	未发	发布	未发	发布	未发	发布	未发	
大戢山	33	0	25	13	1	2	—	—	74
佘山	17	0	9	4	1	1	—	—	32
滩浒岛	28	0	8	4	1	1	—	1	43

表9 1977—2020年大戢山、佘山海域 $H_{1/10} \geq 2.0$ m波高分级统计Tab.9 Statistical table of wave height grading with $H_{1/10} \geq 2.0$ m in Dajishan and Sheshan from 1977 to 2020

观测站	$H_{1/10}/\text{次}$				合计/次	年限/a	年平均/次
	[2.0,3.0)	[3.0,4.0)	[4.0,5.0)	[5.0, + ∞)			
大戢山	724	95	8	5	832	44	18.91
佘山	94	3	1		98	19	5.16
滩浒岛	115	9	1	0	125	38	3.79

色(波高为[3.0,4.0)m)、橙色(波高为[4.0,5.0)m)、红色(波高为[5.0, + ∞)m),在台风影响长江口海域时发布橙色或红色警报,强冷空气和中等强度冷空气影响时发布黄色或蓝色警报。

滩浒岛 $H_{1/10} \geq 2.0$ m的125次天气过程全部满足灾害海浪过程条件, $H_{1/10} \geq 4.0$ m仅出现1次。如果在杭州湾北海区将 $H_{1/10} \geq 2.0$ m作为警报启动发布标准,则年平均发布4次警报,说明此标准还是偏高,考虑到杭州湾海域三面环岸的特殊地形,自然资源部东海局在做长期预测时,实际将杭州湾发生灾害性大浪的标准定义为 $H_{1/10} \geq 2.0$ m。

2.2 佘山浮标附近海域

佘山浮标位于佘山岛东南5 km海面上,属于长江口内海域,观测时间为2015—2019年,中间有8次数据中断,观测到波高 $H_{1/3} \geq 2.5$ m以上的灾害性海浪过程共26次(见表10),其中台风灾害过程12次,冷空气灾害过程14次,出现天数为35 d,最大有效波高为3.6 m。在26次海浪灾害过程中,16次过程发布了海浪警报,10次过程没有发布海浪警报;在没有发布警报的10次过程中,受台风灾害影响过程1次(由台风涌浪引发)、冷空气过程9次。

在9次未发布警报的过程中,只有二次未达到灾害海浪过程标准,其他7次都符合灾害性海浪过程,而且序号10与15过程在弱冷空气与台风共同影响过程中,6级大风出现时间较短,但是都发布了警报,可见预报机构对台风灾害过程较为重视。

2.3 预警2号浮标附近海域

2018—2020年,预警2号有效波高记录到2.5 m以上灾害性海浪过程共42次,其中台风灾害过程10次,寒潮过程25次,温带气旋过程3次,其他灾害系统过程4次,发生天数为95 d,最大有效波高为5.8 m,

分别由2019年8月9日1909号台风“利奇马”和2019年9月21日1917号台风“塔巴”影响长江口时记录得到(见表11)。

在42次海浪灾害过程中,有14次灾害过程发布了海浪警报,28次灾害过程未发布海浪警报。在未发布警报的28次过程中,有23次过程符合灾害海浪过程,5次未达到灾害过程,一方面说明很多冷空气灾害过程没有发布警报,属于漏报,另一方面说明预警2号浮标受地形影响,在未达到规定的灾害过程时, $H_{1/3}$ 已经超过2.5 m了。

在预警2号浮标 $H_{1/3} \geq 2.5$ m的82 d中,长江口外海浮标有25 d的 $H_{1/3} < 2.5$ m,审核天气系统时发现,其中16 d的14次过程都是由弱气旋影响长江口海域引发的,没有出现6级及以上大风灾害。由此说明预警2号浮标的波浪感应较好,应用其波浪观测数据检验评估警报时必须慎重。

2019年和2020年预警2号浮标所在海域 $H_{1/3} \geq 2.5$ m的波浪过程均出现了19次,如果去除其中记录时长小于4 h和风速小于6级的过程,年平均为16次左右,高于目前警报发布频率的5.8次/a。

2.4 预警4号浮标附近海域

预警4号浮标属于长江口外海域,位于大戢山站东北大约20 km的洋面上,观测波高的代表性明显不如预警2号浮标,记录到的 $H_{1/3} \geq 2.5$ m的灾害性海浪过程共4次,台风和冷空气灾害过程各2次,出现天数为5 d,最大有效波高记录为3.1 m(见表12)。

2.5 预警1号、3号浮标附近海域

预警1号、3号浮标位于奉贤沿岸、杭州湾北海域范围,由于两个浮标离岸较近,水深较浅,所有方位的波浪都不能充分成长,波高相对较小。2019—

表 10 2015—2019 年佘山浮标海域 $H_{1/3} \geq 2.5$ m 以上灾害性海浪过程统计Tab.10 Statistical table of disastrous sea wave process with $H_{1/3} \geq 2.5$ m in Shebiao sea area from 2015 to 2019

序号	出现日期	过程最大 风速/(m/s)	6 级风 时长/h	波高/m	$H_{1/3} \geq 2.5$ m 时长/h	天气系统	警报 状况
1	2015 年 7 月 10—13 日	13.0	>6	3.4	≥ 4	1509 号台风“灿鸿”	橙色
2	2015 年 9 月 29 日	13.4	>6	2.7	≥ 4	1521 号台风“杜鹃”	蓝色
3	2015 年 10 月 8 日	12.7	>6	2.5	1	冷空气	未发
4	2015 年 11 月 23—24 日	13.4	3	2.7	≥ 4	冷空气	蓝色
5	2016 年 1 月 5 日	14.3	>6	3.2	≥ 4	冷空气	未发
6	2016 年 9 月 19 日	12.1	>6	2.7	≥ 4	1616 号台风“马勒卡”	蓝色
7	2016 年 9 月 28 日	12.2	>6	2.7	≥ 4	1617 号台风“鲇鱼”	蓝色
8	2016 年 10 月 5 日	8.4	>6	2.6	≥ 4	1618 号台风“暹芭”涌浪	未发
9	2016 年 10 月 8 日	13.0	>6	2.5	1	冷空气	未发
10	2016 年 10 月 22 日	11.2	1	2.6	1	1621 号台风“海马”+弱冷空气	蓝色
11	2016 年 10 月 26 日	13.7	>6	2.6	2	冷空气	未发
12	2016 年 11 月 8 日	15.3	>6	2.7	≥ 4	冷空气	蓝色
13	2017 年 2 月 20 日	12.6	>6	2.7	≥ 4	冷空气	未发
14	2017 年 9 月 14—16 日	11.7	>6	3.0	≥ 4	1718 号台风“泰利”	蓝色
15	2017 年 10 月 14 日	9.3	0	2.5	3	1720 号台风“卡奴”+弱冷空气	蓝色
16	2018 年 3 月 5 日	13.9	>6	2.6	≥ 4	冷空气	未发
17	2018 年 3 月 16 日	11.9	>6	2.5	2	冷空气	未发
18	2018 年 3 月 21 日	11.0	1	3.2	≥ 4	冷空气	未发
19	2018 年 5 月 20 日	10.4	0	2.5	1	冷空气	未发
20	2018 年 7 月 22 日	17.6	>6	3.6	≥ 4	1810 号台风“安比”	橙色
21	2018 年 8 月 3 日	13.9	4	3.4	≥ 4	1812 号台风“云雀”	黄色
22	2018 年 8 月 13 日	11.0	3	2.5	2	1814 号台风“摩羯”	蓝色
23	2018 年 8 月 16—17 日	17.4	>6	3.5	≥ 4	1815 号台风“温比亚”	黄色
24	2018 年 11 月 16 日	14.1	>6	2.8	≥ 4	冷空气	未发
25	2018 年 12 月 7 日	12.7	>6	2.6	≥ 4	冷空气	未发
26	2018 年 12 月 26 日	13.0	>6	3.1	≥ 4	冷空气	蓝色

2020 年,两个浮标出现 2.0 m 以上的海浪过程只有 2 次,共 3 d;和滩浒岛站的统计结果一样,观测波高 2.0 m 作为启动标准对于杭州湾北海域相对偏高。

3 第三代近岸海浪数值模型海浪模型反演结果

应用第三代近岸海浪数值模型 SWAN (Simulation Wave Nearshore) 对 2010—2020 年上海沿海海域的波浪进行反演。模型采用三角形网格,

外海分辨率约为 20 km,近岸分辨率约为 200 m。利用实测资料进行模型检验,有效波高平均绝对误差均在 0.3 m 以内,整体模拟效果较好。结果显示,长江口内海域以小—轻浪为主,位于口内最东端的佘山站轻浪、中浪、大浪的累积频率分别为 41.4%、4.5%、0.2%;杭州湾北海域也是以小—轻浪为主,位于海域最南端的滩浒山站轻浪、中浪、大浪的累积频率分别为 30.4%、9.3%、0.7%;长江口外海域以轻—中浪为主,位于口外最东端的预警 2 号浮标轻浪、中浪、大浪的累积频率分别为 51.2%、35.0%、8.8%。上海

表 11 预警 2 号浮标海域>2.5 m 波浪过程警报发布情况统计

Tab.11 Statistical table of warning release with height above 2.5 m in Early Warning No.2 Sea Area

序号	出现日期	波高/m	天气系统	日最大风速/(m/s)	6 级风≤4 h	发布警报状况
1	2018 年 12 月 6—8 日	3.1	冷空气	15.3	无	未发
2	2018 年 12 月 10—12 日	2.6	倒槽+冷空气	16.1	无	未发
3	2018 年 12 月 26—27 日	3.8	冷空气	16.4	无	蓝色
4	2018 年 12 月 28—29 日	2.9	冷空气	17.0	无	未发
5	2019 年 2 月 2—4 日	3.2	冷空气	13.7	无	未发
6	2019 年 2 月 17—21 日	3.8	气旋+冷空气	11.7	有	未发
7	2019 年 3 月 8—15 日	3.2	气旋+倒槽	12.7	有	未发
8	2019 年 3 月 29—31 日	3.8	冷空气	14.4	无	未发
9	2019 年 4 月 1—2 日	3.0	倒槽	9.5	有	未发
10	2019 年 5 月 6 日	2.6	冷空气	14.3	无	未发
11	2019 年 7 月 19—20 日	4.1	1905 号台风“丹娜丝”	15.3	无	蓝色
12	2019 年 8 月 3—4 日	2.7	东南大风	12.4	无	未发
13	2019 年 8 月 8—11 日	5.8	1909 号台风“利奇马”	19.8	无	橙色
14	2019 年 9 月 6 日	4.5	1913 号台风“玲玲”	24.9	无	橙色
15	2019 年 9 月 9—23 日	2.7	1917 号台风“塔巴”	22.2	无	黄色
16	2019 年 10 月 1—2 日	5.4	1918 号台风“米娜”	24.5	无	橙色
17	2019 年 10 月 15 日	2.8	弱冷空气	13.5	无	未发
18	2019 年 11 月 14 日	2.7	冷空气	16.0	无	未发
19	2019 年 11 月 18—19 日	2.9	冷空气	17.1	无	未发
20	2019 年 11 月 24—26 日	4.0	冷空气	17.4	无	未发
21	2019 年 12 月 5—6 日	3.0	冷空气	17.2	无	未发
22	2019 年 12 月 26—27 日	2.9	冷空气	17.5	无	未发
23	2019 年 12 月 30—31 日	3.1	冷空气	16.4	无	未发
24	2020 年 1 月 8 日	2.8	冷空气	17.5	无	未发
25	2020 年 1 月 26—27 日	4.1	冷空气	17.0	无	蓝色
26	2020 年 2 月 15—17 日	3.5	冷空气	19.0	无	蓝色
27	2020 年 3 月 10 日	3.0	冷空气	15.8	无	未发
28	2020 年 3 月 27—28 日	3.3	冷空气	16.0	无	未发
29	2020 年 5 月 13—14 日	4.4	偏南大风	13.3	无	未发
30	2020 年 5 月 30 日	2.8	温带气旋	17.3	无	未发
31	2020 年 8 月 4 日	2.8	2004 号台风“黑格比”	17.7	无	蓝色
32	2020 年 8 月 25—26 日	3.1	2008 号台风“巴威”	17.6	无	蓝色
33	2020 年 9 月 1—3 日	4.1	2009 号台风“美克沙”	13.9	无	蓝色
34	2020 年 9 月 6 日	3.0	2010 号台风“海神”	11.9	无	蓝色
35	2020 年 10 月 8—9 日	3.1	2014 号台风“灿鸿”	9.0	有	蓝色
36	2020 年 10 月 14 日	2.5	冷空气	7.6	有	未发
37	2020 年 11 月 22—23 日	2.8	冷空气	13.4	无	未发
38	2020 年 11 月 27—28 日	2.8	冷空气	10.8	无	未发
39	2020 年 12 月 3 日	2.8	冷空气	14.8	无	未发
40	2020 年 12 月 13—15 日	3.2	冷空气	13.6	无	未发
41	2020 年 12 月 19 日	2.8	冷空气	10.7	有	未发
42	2020 年 12 月 29—31 日	5.2	冷空气	18.6	无	黄色

表 12 2020 年预警 4 号浮标 2.5 m 以上灾害性海浪过程统计

Tab.12 Statistical table of disastrous wave process with height above 2.5 m in Early Warning Section 4 in 2020

序号	出现日期	出现天数/d	波高/m	影响系统	警报发布状况
1	2020 年 1 月 27 日	1	2.8	冷空气	蓝色
2	2020 年 9 月 2 日	1	2.7	2009 号台风“美克沙”	黄色
3	2020 年 10 月 9 日	1	2.6	2014 号台风“灿鸿”	蓝色
4	2020 年 12 月 29—30 日	2	3.1	冷空气	黄色

沿海海域 2.0 m 波高等值线基本沿启东角—佘山—鸡骨礁—大戢山走向;杭州湾中部、东北部和东部的波

浪较北部和西北部大,洋山港附近海域有效波高等值线在湾内可西伸至芦潮港同经度线附近(见图 2a)。

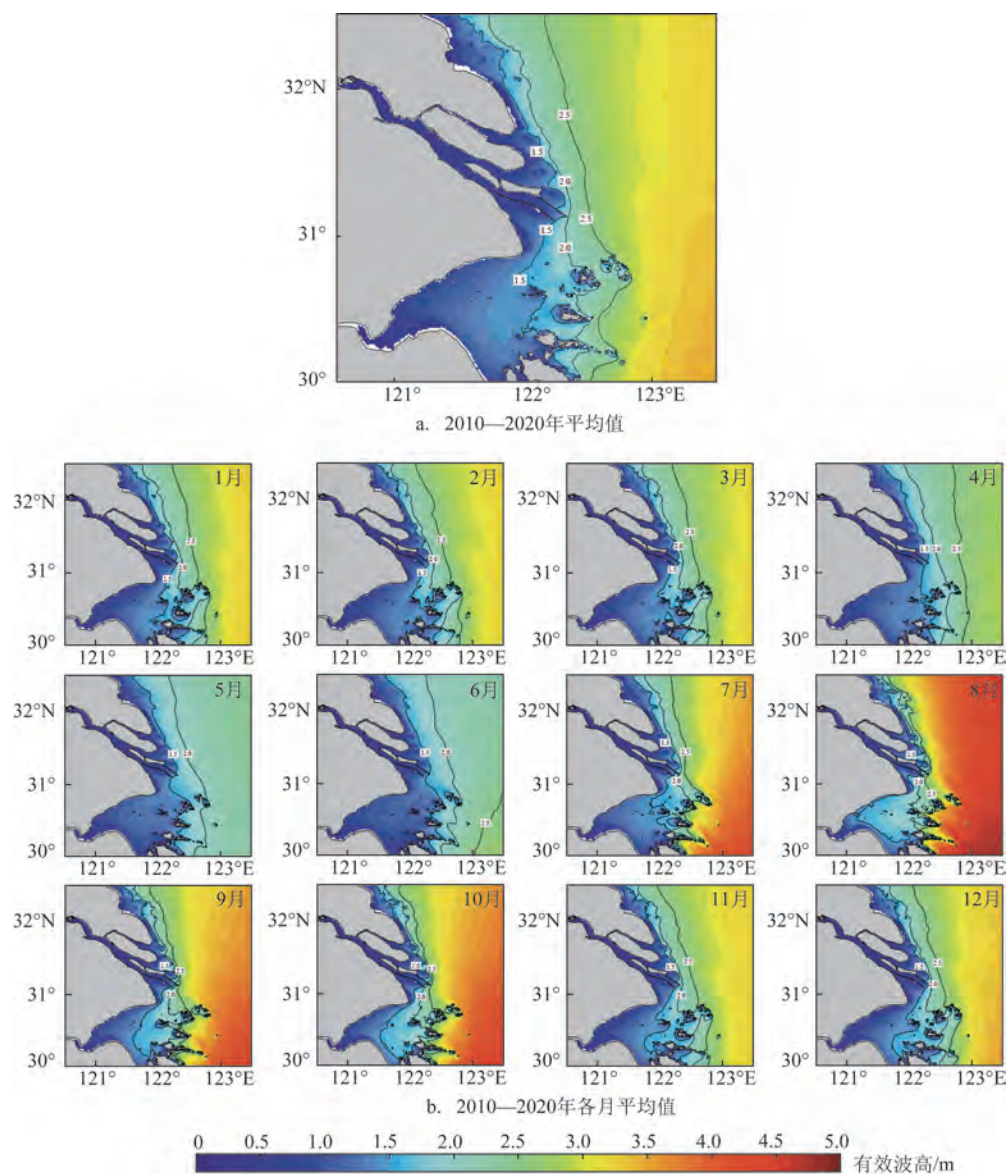


图2 2 m 有效波高

Fig.2 2 m effective wave height

图 2b 是上海沿海海域 2010—2020 年各月平均有效波高等值线图,从图中可以清楚看出,4—6 月冷空气较弱,台风尚未影响,波高基本在 2.0 m 以下,其余月份受冷空气或台风影响,有效波高都能达到 2.0 m 以上,模式模拟反演结果和常规统计分析基本一致。

4 结论与建议

综上所述,在上海沿海的 4 个海域中,长江口内海域适合以波高 2.0 m 作为警报启动标准。洋山港海域水深在 15 m 以上,是杭州湾最深区域,潮流强劲,是上海国际航运中心,大型集装箱船高频率通航,从防灾减灾角度出发,警报启动标准应同国家标准。长江口外海域按照国家标准发布警报,建议在蓝色警报检验评估时,以预警 2 号浮标 $H_{1/3} \geq 2.5$ m 并连续或累计 ≥ 4 h,且同时满足 10 min 平均风速 ≥ 6 级为正确依据。依据分析结果,杭州湾北海域以 2.0 m 波高作为警报启动标准略偏高,但是 4 个海域的警报启动标准如果出现 3 种,明显不合适,所以建议其启动标准与长江口内一致,即以波高 2.0 m 作为警报启动标准。4 个海域四级警报发布标准见表 13。

表 13 上海沿海四级警报发布标准参考表

Tab.13 Criteria for the issuance of 4-level warnings along the Shanghai coast

警报级别对应波高值范围/ m		警报等级
长江口外与洋山港	长江口内与杭州湾北岸	
[0, 2.5)	[0, 2.0)	无
[2.5, 3.5)	[2.0, 3.0)	蓝色
[3.5, 4.5)	[3.0, 4.0)	黄色
[4.5, 6.0)	[4.0, 5.0)	橙色
[6.0, +∞)	[5.0, +∞)	红色

参考文献:

- [1] 王可, 钟少波, 杨永胜, 等. 海洋灾害链及应用[J]. 灾害学, 2018, 33(4): 229-234.
WANG K, ZHONG S B, YANG Y S, et al. Construction and application of marine disaster chains[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(4): 229-234.
- [2] 张振克, 丁海燕. 近十年来中国大陆沿海地区重大海洋灾害分析[C]//2004 年联合学术年会. 南京: 中国地理学会海洋地理专业委

员会与中国第四纪科学研究会海岸线专业委员会. 75-76.

- ZHANG Z K, DING H Y. Analysis of major marine disasters in coastal areas of Chinese Mainland in the past decade[C]//2004 Joint Academic Annual Meeting. Nanjing: Marine Geography Committee of Chinese Geographical Society and Coastline Committee of China Quaternary Scientific Research Association. 75-76.
- [3] 龚茂驹, 堵盘军, 薛志刚. 上海沿海海洋灾害的危害及应对措施: 缅甸特大风暴潮灾害的启示[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2008(5): 126-133.
GONG M X, DU P J, XUE Z G. Marine hazards in Shanghai coastal regions and corresponding countermeasures: lessons from the storm surge disaster of Burma[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2008(5): 126-133.
- [4] 自然资源部, 海洋预警监测司. 2021 年中国海洋灾害公报[EB/OL]. (2022-05-07). <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyzhgb/2021nzhghyzhgb>.
Ministry of Natural Resources, Marine Early Warning and Monitoring Department. Bulletin of China marine disaster[EB/OL]. (2022-05-07). <http://www.nmdis.org.cn/hygb/zghyzhgb/2021nzhghyzhgb>.
- [5] 邢闯, 李本霞. 中国近海 2012 年灾害性海浪分析及 2013 年预测[J]. 海洋预报, 2013, 30(3): 1-8.
XING C, LI B X. Analysis of disastrous wave of China seas in 2012 and prediction for 2013[J]. Marine Forecasts, 2013, 30(3): 1-8.
- [6] 姚圣康, 吕同军, 邓小东, 等. 上海沿海海浪灾害损失评估方法研究[J]. 海洋通报, 2009, 28(S): 70-74.
YAO S K, LYU T J, DENG X D, et al. Study on loss assessment method of wave disasters in Shanghai coastal area[J]. Ocean Bulletin, 2009, 28(S): 70-74.
- [7] 王微. 我国海洋灾害风险防范体系构建研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2014.
WANG W. Research on prevention system construction of marine disaster risk in China[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2014.
- [8] 许富祥, 邢闯. 中国近海海洋灾害现状与对策[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S): 294-298.
XU F X, XING C. Current situation and countermeasures of offshore marine disasters in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(S): 294-298.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 19721.2-2017 海洋预报和警报发布 第 2 部分: 海浪预报和警报发布[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-5.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 19721.2-2017 The issue of marine forecasts and warnings—Part 2: the issue of wave forecasts and warnings[S]. Beijing: China Standards Press, 2017: 1-5.

[10] 丁骏. 上海市海浪预报和警报发布地方标准制定的思考[J]. 标准科学, 2021(7): 80-84.

DING J. Considerations on the establishment of shanghai local standards on wave forecasting and warning issuing[J]. Standard Science, 2021(7): 80-84.

[11] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 41165-

2021 海洋预报结果准确性检验评估方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021: 12-13.

State Administration for Market Regulation, National Standardization Administration. GB / T 41165-2021 Accuracy evaluation methods of marine forecast results[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021: 12-13.

Release standard of wave warning in Shanghai coastal area

YU Yun¹, LI Cheng², XU Tingting^{1*}, SHEN Xinyi², LIANG Yingyu¹, YAO Shengkang¹

(1. East China Sea Forecasting and Disaster Reduction Center, Ministry of Natural Resources, Shanghai 200136, China; 2. Shanghai Marine Monitoring and Forecasting Center, Shanghai 200136, China)

Abstract: Based on the inspection and evaluation methods in Chapter 9 of GB/T 41165-2021 'Methods for the Accuracy Inspection and Evaluation of Marine Forecast Results', this study assesses the accuracy of issued sea wave warnings in Shanghai coastal area during 2007–2020, and analyzes the causes of false and missed warnings. Combining wave feature in Shanghai coastal area around each wave measurement point derived from historical long-term wind and wave data, spatial distribution of the waves with height above 2.0 m, and test result of the issued sea wave warnings, the criteria for issuing wave warnings in four coastal waters of Shanghai are proposed in a reasonable and scientific way.

Key words: sea wave warning; forecast sea area; accuracy inspection; coastal waters; warning level