

# GB/T 41165-2021《海洋预报结果准确性 检验评估方法》风暴潮部分研制方法

徐婷婷<sup>1</sup> 邓小东<sup>1\*</sup> 马卫军<sup>1</sup> 徐丽丽<sup>1</sup> 梁颖瑜<sup>1</sup> 郜海<sup>1</sup> 姚圣康<sup>1</sup> 邬惠明<sup>2</sup>

(1. 自然资源部东海预报减灾中心; 2. 自然资源部东海生态中心)

**摘 要:** 风暴潮警报涉及要素较多, 检验评估有一定困难性, 本文详述了GB/T 41165-2021《海洋预报结果准确性检验评估方法》风暴潮部分的制定过程。研制过程中基于风暴潮警报调研和历史灾情分类研究, 设计了风暴潮警报质量的量化评价方式, 并应用东海区警报结果和实况数据反复测试和验证, 结合多轮意见征求与试用成果, 修正了潮时和潮位评估的阈值, 撤消了过程整体评分的固定模式, 分别建立了警报等级、潮时和潮位的检验评估算法, 首次为海洋预报机构风暴潮警报评价提供了统一量化检验评估标准。

**关键词:** 风暴潮, 警报检验, 潮位评估, 等级评估

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2023.06.008

## Methodology on the Development of the Storm Surge Section of GB/T 41165-2021, *Accuracy evaluation methods of marine forecast results*

XU Ting-ting<sup>1</sup> DENG Xiao-dong<sup>1\*</sup> MA Wei-jun<sup>1</sup> XU Li-li<sup>1</sup>  
LIANG Ying-yu<sup>1</sup> GAO Hai<sup>1</sup> YAO Sheng-kang<sup>1</sup> WU Hui-ming<sup>2</sup>

(1. East China Sea Forecast and Hazard Mitigation Center, MNR; 2. East China Sea Ecological Center, MNR)

**Abstract:** There are many elements involved in storm surge alarm, which makes testing and evaluation difficult. The development process of the storm surge section of the GB/T 41165-2021, Accuracy evaluation methods of marine forecast results, is detailed in this paper. The quantitative evaluation method for storm surge alarm quality was designed based on storm surge alarm research and historical disaster classification studies, and repeatedly tested and verified by applying historical alarms and data from the East China Sea, combined with the feedback and trial results, the thresholds of tide time and tide level evaluation are revised, as well as the fixed model of overall process scoring was withdrawn, thus the test and evaluation algorithms of alarm level, tide time and tide level were established respectively, which provides a unified quantitative test assessment standard for the evaluation of storm surge alarms by marine forecasting agencies for the first time.

**Keywords:** storm surge, alarm verification, tide level assessment, grade assessment

**基金项目:** 本文系全国海洋标准化技术委员会推荐性标准制修订计划(项目编号: 20140698-T-418)研究成果。

**作者简介:** 徐婷婷, 综合预报室副主任, 工程师, 学士, 主要从事风暴潮预警技术研究。

邓小东, 通信作者, 预报中心副主任, 高级工程师, 硕士, 主要从事预警管理工作。

## 0 引言

风暴潮灾害是我国沿海最主要的海洋灾害,近20年我国风暴潮灾害总经济损失达2,003亿余元,占海洋灾害经济损失的91.78%<sup>[1]</sup>。风暴潮警报是减少沿海人民群众生命财产损失的有效手段。2012年《风暴潮、海浪、海啸和海冰灾害应急预案》发布后风暴潮警报启动及发布流程开始规范化,2018年《海洋观测预报管理条例》出台后全国风暴潮警报发布形式逐步统一。基于警报横向比较和社会价值体现等因素,风暴潮警报的标准化验证需求也日益迫切,制定统一的客观检验评估标准,是健全警报质量管理体系的重要组成,也是促进各家预报机构相互学习、交流,有利于防灾减灾服务能力的手段。

近年来众多预报员、学者在风暴潮预警报验证方面做了大量的研究工作,2008年风暴潮业务化预报模式结果的检验研究逐步标准化<sup>[3]</sup>;2009年我国海洋预报机构开始在警报过程总结时进行等级检验;2013年国家海洋局在海洋灾害应急管理体系建设中着重强调了预警报检验评估体系建设的重要性<sup>[4]</sup>,警报等级定性检验开始细化至每一份预报单;而后预报机构愈发重视各类预警报的量化检验评估工作,我国近海预警报和海洋灾害评估相关研究日渐深入,灾情等级的量化评价规则<sup>[5]</sup>、风暴潮预警报与灾情评估系统平台<sup>[6]</sup>、全球大洋潮汐模式的预报准确性综合评估<sup>[7]</sup>等研究成果先后发表。

国家海洋环境预报中心、各海区预报中心及其他警报发布机构先后制定了风暴潮警报评估企业标准,但因评估标准存在属地特征,不适宜进行评估结果的跨海区对比。2017年自然资源部海洋减灾中心牵头,由国家海洋信息中心作为第三方开始对全国海洋预报系统的警报进行客观评分,初步实现了警报的量化评分,但是由于风暴潮警报涉及要素较多、潮汐预报的地域性特点十分突出等原因,只对每个警报过程做单一评分存在很大的偶然性和地域局限性,不足以全面评价整个预警过程。

GB/T 41165-2021《海洋预报结果准确性检验评估方法》风暴潮警报检验评估方法制定过程中,基于对2009-2018年风暴潮警报经验产品和实况的研究分析,研制了一套风暴潮警报量化检验评估规则,

同时根据风暴潮灾害特点,在警报等级评估时采用加权平均算法,更能突出不同级别警报准确性之间的差异。规则初步制定后在东海区进行了充分试用,并对部分关键性技术问题进行了专题论证,经逐步完善,对等级检验和要素评估进行剥离,首次制定了一套中国沿海普适性的风暴潮警报量化检验评估标准。

## 1 资料来源

本文研究数据来源主要包括:自然资源部东海预报减灾中心、自然资源部东海局、《中国海洋灾害公报》和《中国风暴潮灾害史料集》等。检验研究和测试涉及的高潮位、高潮时采用警报总结和灾害公报中公示过的数据,警报等级验证采用过程发生当年警戒潮位和发布标准(见表1)。

表1 风暴潮检验评估研究资料表

序号	资料类型	资料来源	资料年限
1	风暴潮警报单	自然资源部东海预报减灾中心	2008-2020年
2	高低潮数据	自然资源部东海局	2008-2020年
3	风暴潮灾害资料	《中国海洋灾害公报》 《中国风暴潮灾害史料集》	1989-2020年

## 2 要素处理和规则制定

风暴潮警报需检验评估要素主要包含警报等级、高潮时和高潮位项,不同预报机构预报内容形式差异不大,要素提取条件较好。检验评估规则研究目的是实现预报结果量化评价,方便警报结果的横向、纵向比对,所以检验评估阈值的设定应以现有警报单的实际误差情况为主要考量标准,脱离现有预报误差制定过于严苛或宽松的规则都会造成检验评估结果集中于某一分值区间,无法拉开分数差距,也就失去了结果评价的意义。

### 2.1 警报等级评估与检验

为便于研究和规则制定,对警报等级和观测等级分类赋值,赋值规则见表2。

表2 风暴潮警报及观测等级赋值表

等级名称	无预警级别	蓝色	黄色	橙色	红色
警报等级 (FL)	5	4	3	2	1
观测等级 (ML)	5	4	3	2	1

## 2.1.1 等级评估

风暴潮警报等级绝对误差为观测等级与警报等级的绝对误差值,按公式(1)计算。

$$DL = |FL - ML| \quad (1)$$

式中:

$DL$ ——警报等级与观测等级的绝对误差;

$FL$ ——警报等级;

$ML$ ——观测等级。

2009~2020年东海区共计发布带有单站潮位潮时的风暴潮警报204份,因其警报单名称过于复杂,为便于统计和制图,将整理后按照1~204编号,如:0903号台风风暴潮“莲花”的“风暴潮0903-02~风暴潮0903-09”警报单编号1~8,0904号台风风暴潮“浪卡”的“风暴潮0904-02~风暴潮0903-04”警报单接续编号9~11,以此类推。

根据公式(1)对级别误差统计发现:绝大多数警报预警级别准确,1级误差占比1.96%,2级误差占比6.86%,现有预报单未见3级及以上误差。2016年警戒潮位开始重新核定之后,由于部分岸段四色警戒差值较小,甚至存在只有三色警戒的情况,在增水波动较大且路径多变的台风过1~2级误差出现的概率有所增加。

根据警报误差等级分布规律,以表2中5级对分值平均分配,制定评估标准如下:

$$S_{\text{等级}} = 100 - 20 \times DL \quad (2)$$

$S_{\text{等级}}$ ——警报级别得分;

## 2.1.2 等级检验

风暴潮警报单等级检验用准确率表示,分为预报正确、空报、漏报3种;预报时效内每个预报岸段有且仅有一次准确、空报或漏报次数,检验方法如下:

(1)  $FL = ML$ , 为预报正确,准确率按公式(3)计算。

$$CS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$CS$ ——风暴潮警报等级准确率;

$NA$ ——规定时效内警报准确次数;

$NB$ ——规定时效内警报空报次数;

$NC$ ——规定时效内警报漏报次数。

(2)  $FL > ML$ , 为空报,空报率按公式(4)计算。

$$FAR = \frac{NB}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (4)$$

式中:

$FAR$ ——风暴潮警报空报率。

(3)  $FL < ML$ , 为漏报,漏报率按公式(5)计算:

$$PO = \frac{NC}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$PO$ ——风暴潮警报漏报率。

单份警报的警报准确率、空报率和漏报率为所有警报预报海域的累加平均。

## 2.2 高潮位评估

原则上潮位预报偏高和偏低均会造成警报等级偏差,为便于研究误差分布,本文取潮位预报绝对误差为分析样本,按公式(6)计算。

$$DE = |FE - ME| \quad (6)$$

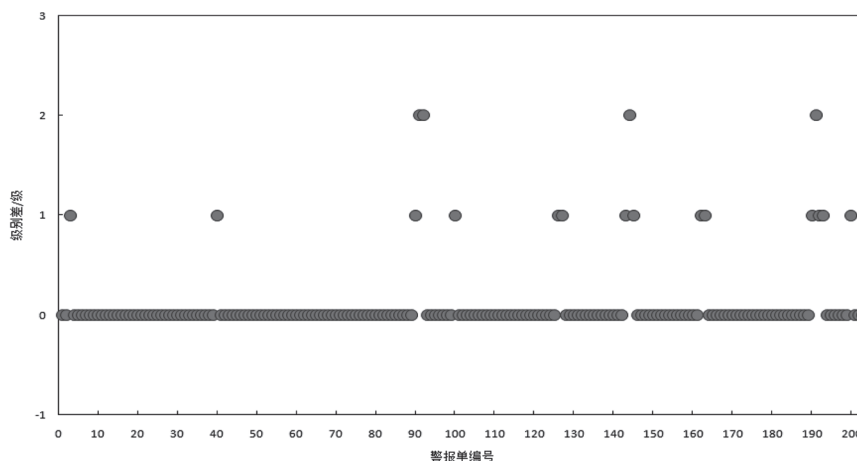


图1 2009~2018年警报等级绝对误差分布图

式中:

$DE$ ——预报潮位与观测潮位的绝对误差, 单位为厘米(cm);

$FE$ ——预报潮位, 单位为厘米(cm);

$ME$ ——观测潮位, 单位为厘米(cm)。

现行四色警戒潮位两级之间差值一般都不超过30cm, 警报等级误差已有单独评价, 本节主要考虑级别差不超过1级的高潮位预报评估, 故以30cm为上限, 5~10cm为一档, 误差超过30cm的高潮位预报为0分。从2009–2020年东海预报中心的204份警报统计来看(如图2所示), 高潮位预报误差主要集中在5~20cm, 30cm以上分布锐减, 实际警报也符合这一评价标准。

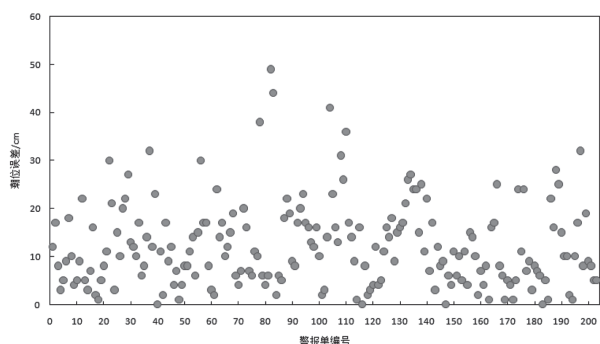


图2 2009–2020年高潮位预报误差分布图

高潮位误差分5段评估, 见公式(7):

$$S_{\text{潮位}} = \begin{cases} 100 & (DE \leq 5) \\ 80 & (5 < DE \leq 10) \\ 60 & (10 < DE \leq 20) \\ 40 & (20 < DE \leq 30) \\ 10 & (DE > 30) \end{cases} \quad (7)$$

$S_{\text{潮位}}$ ——单站潮位得分。

若单站出现超警戒而未发布预报潮位, 视为漏报, 此时按照 $S_{\text{潮位}}=0$ 处理; 若警示性蓝色警报单中未涉及单站预报, 按照 $S_{\text{潮位}}=100$ 处理。

### 2.3 高潮时评估

高潮时预报也以绝对误差为研究样本, 按公式(8)计算。

$$DET = |FET - MET| \quad (8)$$

式中:

$DET$ ——预报潮时与观测潮时的绝对误差, 单位为小时(h);

$FET$ ——预报潮时, 单位为小时(h);

$MDE$ ——观测潮时, 单位为小时(h)。

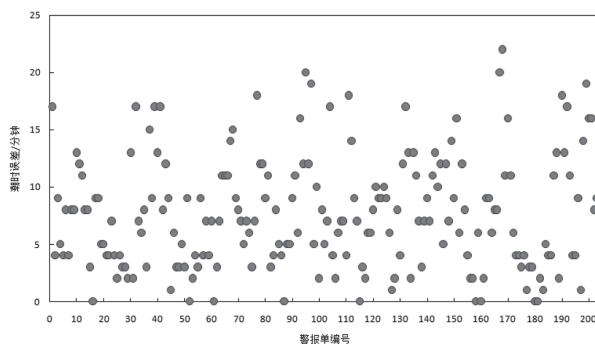


图3 2009–2020年高潮时预报误差分布图

潮时误差分布概率和潮位误差分布规律十分相似(如图3所示), 考虑到天文潮预报的可能误差, 以及预警报的可用性等因素, 我们暂时设定5min以下的潮时预报误差记100分, 30min以上的潮时预报误差为0分, 其间分5段评估, 规则如公式(9):

$$S_{\text{潮时}} = \begin{cases} 100 & (DET \leq 5) \\ 80 & (5 < DET \leq 10) \\ 60 & (10 < DET \leq 20) \\ 40 & (20 < DET \leq 30) \\ 10 & (DET > 30) \end{cases} \quad (9)$$

$S_{\text{潮时}}$ ——单站潮时得分。

若单站出现超警戒而未发布预报潮时, 视为漏报, 此时按照 $S_{\text{潮时}}=0$ 处理; 若警示性蓝色警报单中未涉及单站预报, 按照 $S_{\text{潮时}}=100$ 处理。

### 2.4 综合得分

针对每次风暴潮预警报过程, 分别计算站点各要素得分, 警报过程得分按公式(10)计算

$$S_{\text{单份}} = S_{\text{等级}} + \sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{潮位}}(i)}{n} \times 10\% + \sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{潮时}}(i)}{n} \times 10\% \quad (10)$$

$S_{\text{单份}}$ ——警报过程中单份警报的得分。

综合得分为风暴潮过程涉及的各单份警报单得分的算数平均, 见公式(11)。

$$S_{\text{过程}} = \sum_{i=1}^n \frac{S_{\text{单份}}(i)}{n} \quad (11)$$

$S_{\text{过程}}$ ——警报过程的综合得分。

## 3 规则测试及试用



基于以上规则,选取东海区涉及站点信息相对丰富的2011–2018年台风风暴潮警报和过程实况进行评估与检验测试,结果见表3。

从检验结果看,得分和警报最高等级误差相关性过高的情况,即使一份警报单中只有少数站点最高级别与实况相符,其他站点误差较大,按照此方法总分差异也不大。这种单一的评估方式不能满足所有情况下的警报检验评估,尤其是超历史过程中,潮位评分占比仅有10%的情况下很难突出预报准确

度的重要性。

## 4 问题修正

通过核查天气系统影响过程对比检验结果,为了解决存在的问题,完善检验评估方法,增强规则的合理性、兼容性及适用性,2018–2019年在东海区及全国各级海洋预报机构之间进行了充分试用,并召开数次工作研讨会,经全国海洋预报机构意见

表3 2011–2018年东海区风暴潮警报检验评估结果表

过程 名称	预报 级别	实测 级别	级别差	等级				潮位		潮时		综合得 分
				等级检验			等级 评估	潮位平 均误差	潮位 评估	潮时平 均误差	潮时 评估	
				准确率	空报率	漏报率						
1205泰利	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1209苏拉	橙	橙	0	50%	30%	20%	80	15	64	6	92	95.6
1211海葵	红	橙	1	60%	40%	0%	60	10	80	19	55	73.5
1214天秤	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1215布拉万	蓝	黄	1	60%	0%	40%	60	23	73	13	47	72
1216三巴	黄	黄	0	80%	20%	0%	80	11	68	16	60	92.8
1217杰拉华	黄	黄	0	50%	25%	25%	80	6	80	41	40	92
1221派比安	黄	黄	0	63%	25%	12%	80	17	83	39	33	91.6
1307苏力	黄	蓝	1	42%	29%	29%	80	42	40	37	30	87
1308西马仑	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1312潭美	红	红	0	67%	11%	22%	80	5	95	8	82	97.7
1315康妮	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1319天兔	红	红	0	100%	0%	0%	80	27	33	4	93	92.6
1323菲特	红	红	0	80%	15%	5%	80	32	27	9	79	90.6
1410麦德姆	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1416凤凰	黄	黄	0	87%	13%	0%	80	19	62	5	95	95.7
1419黄蜂	橙	橙	0	88%	13%	0%	80	15	81	10	79	96
1509灿鸿	红	红	0	82%	0%	18%	80	22	76	16	48	92.4
1510莲花	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1513苏迪罗	黄	橙	1	50%	25%	25%	60	37	69	15	50	71.9
1521杜鹃	红	红	0	64%	27%	9%	80	12	86	6	67	95.3
1601尼伯特	黄	/	2	25%	75%	0%	40	52	43	7	75	51.8
1614莫兰蒂	黄	黄	0	67%	17%	16%	80	6	95	19	57	95.2
1616马勒卡	橙	橙	0	67%	11%	22%	80	5	98	13	62	96
1617鲇鱼	黄	黄	0	80%	0%	20%	80	16	78	17	61	93.9
1622海马	黄	蓝	1	29%	71%	0%	60	46	52	5	80	73.2
1709纳沙	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1713天鸽	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1717古超	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1718泰利	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	41	0	12	45	84.5
1808玛莉亚	红	红	0	78%	22%	0%	80	6	95	5	100	91
1810安比	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	/	/	/	/	100
1812云雀	蓝	蓝	0	100%	0%	0%	80	9	85	8	77	96.2
1814摩羯	橙	橙	0	75%	25%	25%	80	6	90	18	59	94.9
1818温比亚	黄	蓝	1	57%	43%	43%	60	43	67	7	77	74.4
1822山竹	蓝	/	1	100%	0%	0%	60	32	69	12	65	73.6
1824潭美	蓝	蓝	0	67%	33%	33%	80	10	83	34	12	89.5
1825康妮	蓝	蓝	0	75%	25%	25%	80	3	100	9	73	97.3

征询、讨论与研究,从3个方面对检验评估规则进行补充完善。

#### 4.1 等级评估

在测试结果分析和意见征求过程中都发现,按照整体警报级别评分容易出现越弱的过程得分越高的情况,如:1205泰利、1214天秤、1308西马仑等警示性蓝色警报单,这明显和警报的重要性有矛盾;测试结果和试用中均发现了按照整体警报单评估的方式无法全面评价每个站点预报的准确度的现象,如图4中两份警报最高预警级别均准确,得分相同,但是预报级别准确的单站(见表4)“1209”苏拉过程仅有27.8%，“1419”黄蜂过程有72.0%，仅评判整体级别准确率没有足够的代表性。

针对这一问题,多次邀请各级海洋预报机构讨论研究,以方便实操和充分体现单站不同等级预警

准确度为目的,拟改整体等级评分为分站点等级评分后取加权平均的方式进行等级评估。考虑实际预警过程中,警报级别不仅是应急响应和处置依据,也和灾情密切相关。由于在风暴潮过程中实测级别更贴近灾情,漏报(应急措施不到位)较比空报(应急处置过度)造成的损失大得多,故以实测等级为加权系数判定依据。

表4 “苏拉风暴潮”和“黄蜂风暴潮”警报评价示例

评估分类	1209苏拉	1419黄蜂
警报等级得分	100分	100分
警报涉及站点	18个	25个
级别准确站点	5个	18个
站点级别准确率	27.80%	72%

为确定加权系数的取值,统计整理了1949–2020年的风暴潮灾损和实测等级对应关系<sup>[1-2]</sup>,图4和图5显示越高实测等级至灾越严重(根据《海洋灾害应

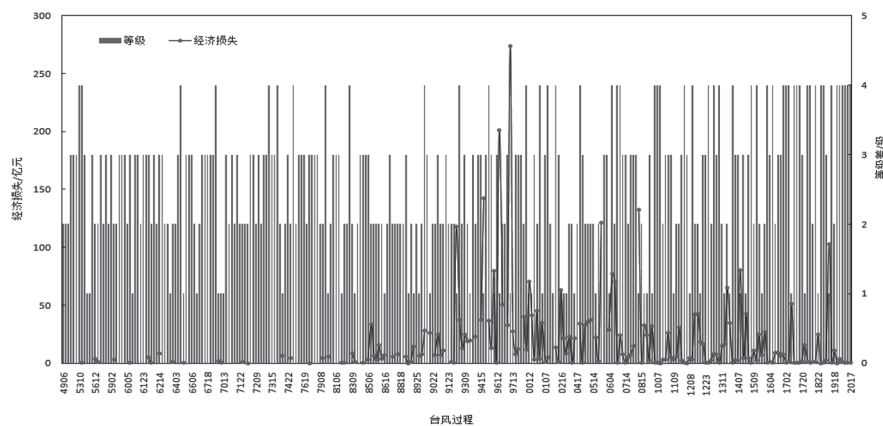


图4 历年台风风暴潮经济损失和实测等级统计图(1949–2020年)

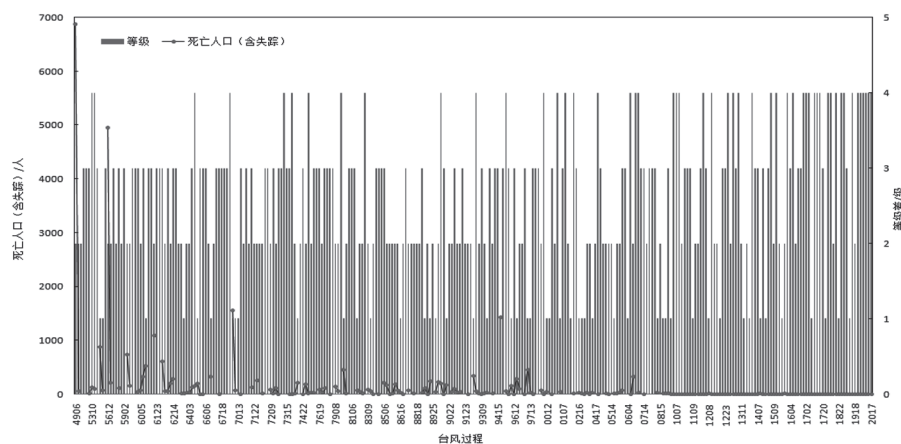


图5 历年台风风暴潮死亡人口(含失踪)和实测等级统计图(1949–2020年)

急预案》1级红色最高,4级蓝色最低,下同),2006年风暴潮警报开始发布后,人员伤亡锐减,但经济损失仍随预警等级波动。表5的不同等级平均人员伤亡和经济损失比例基本呈倍数关系,人口损失为10:5:3:1,经济损失为6:3:1:1,取平均为8:3:2:1,同时按照前3等级递进比例取4:3:2:1为两组测试权重,调取2012–2018年实测红色的台风评分测试结果如表6所示,前3级比例调整红色取值为4时,分差均不超过2分,分值分布影响很小,考虑方法的等级协调性,选用4:3:2:1的权重取值。

表5 不同等级风暴潮经济损失和死亡人口(含失踪)

统计表(1949–2020年)

等级	死亡人口(含失踪,单位:人)		经济(单位:亿元)	
	平均	最大	平均	最大
红色 (1级)	172.1739	1554	43.39616	274.1
橙色 (2级)	261.0615	6883	17.15624	121.3
黄色 (3级)	49.16667	605	7.512132	37.4289
蓝色 (4级)	17.90244	195	7.093908	77.057

表6 加权评分测试表(2012–2018年)

序号	过程名称	涉及站点	系数8	系数4	分数差
1	1211海葵	15	95.5	94.8	0.7
2	1312潭美	17	93.0	91.6	1.5
3	1319天兔	3	95.7	94.0	1.7
4	1323菲特	20	93.2	91.7	1.5
5	1521杜鹃	27	92.6	90.5	2.0
6	1808玛莉亚	9	70.6	72.5	-1.9

单站等级评估根据观测等级与警报等级的绝对误差进行评估,按公式(12)计算:

$$S_{\text{单站}} = \begin{cases} 100 & (DL=0) \\ 80 & (DL=1) \\ 60 & (DL=2) \\ 40 & (DL \geq 3) \end{cases} \quad (12)$$

单份风暴潮警报等级得分按公式(13)计算:

$$S_{\text{单份}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{红}}} S_{\text{红}}(i) \times 4 + \sum_{i=1}^{n_{\text{橙}}} S_{\text{橙}}(i) \times 3 + \sum_{i=1}^{n_{\text{黄}}} S_{\text{黄}}(i) \times 2 + \sum_{i=1}^{n_{\text{蓝}}} S_{\text{蓝}}(i) + \sum_{i=1}^{n_{\text{未达}}} S_{\text{未达}}(i)}{n_{\text{红}} \times 4 + n_{\text{橙}} \times 3 + n_{\text{黄}} \times 2 + n_{\text{蓝}} + n_{\text{未达}}} \quad (13)$$

式中:

$S_{\text{单份}}$ ——单份警报单的警报级别得分;

$n_{\text{红}}$ ——达到红色预警级别的验潮站数;

$S_{\text{红}}$ ——警报单中红色警报验潮站的警报级别得分;

$n_{\text{橙}}$ ——达到橙色预警级别的验潮站数;

$S_{\text{橙}}$ ——警报单中橙色警报验潮站的警报级别得分;

$n_{\text{黄}}$ ——达到黄色预警级别的验潮站数;

$S_{\text{黄}}$ ——警报单中黄色警报验潮站的警报级别得分;

$n_{\text{蓝}}$ ——达到蓝色预警级别的验潮站数;

$S_{\text{蓝}}$ ——警报单中蓝色警报验潮站的警报级别得分;

$n_{\text{未达}}$ ——未达到蓝色警戒潮位的验潮站数;

$S_{\text{未达}}$ ——警报单中未达到蓝色警报验潮站的警报级别得分。

以1209“苏拉”过程2012年8月1日22时发布的风暴潮橙色警报为例对更改前后的等级评估规则进行对比如下。

该过程共涉及验潮站15个,其中等级预报准确站点7个,最高预报等级和实测等级均为橙色,按照原评估规则整体等级发布准确,得分为100分,该评分过于笼统,未能体现该预报单中单站预报情况;按照更改后评估规则取单站等级预报加权平均,如表7所示得分为89.6分,更改后规则得分更能体现单站预警实际情况。

表7 苏拉风暴潮过程单站得分统计表

站点	预警级别	实测级别	单站等级得分
连云港	蓝色	/	80
射阳	/	/	100
洋口港	/	/	100
吕泗	/	/	100
乍浦	黄色	蓝色	80
澈浦	黄色	蓝色	80
温州	黄色	蓝色	80
瑞安	黄色	黄色	100
鳌江	橙色	橙色	100
沙埭	蓝色	黄色	80
三沙	蓝色	黄色	80
瑄头	黄色	黄色	100
白岩潭	蓝色	黄色	80
梅花	蓝色	黄色	80
平潭	蓝色	蓝色	100
崇武	蓝色	/	80
厦门	蓝色	/	80
东山	蓝色	/	80
合计	89.6(加权平均)		

## 4.2 高潮位和高潮时评估

在全国试用和意见征求过程中,南海和渤、黄海的部分验潮站均出现了复杂的潮汐尤其是天文潮特征导致的警报中潮位潮时预报偏差过大的情况(潮时误差超过30min,潮位误差超过30cm),这是在以东海区风暴潮警报为样本制定评分规则时未遇到的情况,在进一步调研后对这两部分评估的阈值进行了调整。考虑到风暴潮警报时效通常为24小时,个别重大过程可达36小时的情况下,结合南海和北海的潮位预报误差范围,适当放宽了潮位和潮时的评估阈值。

调整的目标是使国家标准应具有广泛的适用性,尽量避免区域性不适用的现象,如:过于严苛的评估标准导致局部区域长期结果均为零分,造成评估结果没有比较性等情况,这就违背了本检验评估规则研究的初衷。扩大高潮位和高潮时的容错范围,在提高适用性的同时,也便于地方标准在国家标准的阈值内适当收紧以适应本地区潮汐特征。

调整后的高潮位评估,按公式(14)计算。

$$S_{\text{潮位}} = \begin{cases} 100 & (DE \leq 10) \\ 80 & (10 < DE \leq 20) \\ 60 & (20 < DE \leq 30) \\ 40 & (30 < DE \leq 40) \\ 20 & (40 < DE \leq 50) \\ 0 & (DE > 50) \end{cases} \quad (14)$$

其中:

$S_{\text{潮位}}$ ——潮位得分。

若单站出现超警戒而未发布预报潮位,视为漏报,此时按照 $S_{\text{潮位}}=0$ 处理,单份风暴潮警报潮位得分为所有预报海域潮位得分的累加平均。

调整后的高潮时评估,按公式(15)计算。

$$S_{\text{潮时}} = \begin{cases} 100 & (DET \leq 1.0) \\ 90 & (1.0 < DET \leq 1.5) \\ 80 & (1.5 < DET \leq 2.0) \\ 70 & (2.0 < DET \leq 2.5) \\ 50 & (2.5 < DET \leq 3.0) \\ 30 & (3.0 < DET \leq 3.5) \\ 10 & (3.5 < DET \leq 4.0) \\ 0 & (DET > 4.0) \end{cases} \quad (15)$$

式中:

$S_{\text{潮时}}$ ——预报潮时得分。

若单站出现超警戒而未发布预报潮时,视为漏报,此时按照 $S_{\text{潮时}}=0$ 处理,单份风暴潮警报潮时得分为所有预报海域潮时得分的累加平均。

## 4.3 综合得分

本方法试用过程中发现,原公式(10)中等级、潮位和潮时占比为8:1:1的评分硬性规定有很大的局限性,该综合评分设定不适用于所有区域,没有足够的警报和灾损资料支撑这一评估取值方式,目前关于预警级别和潮位、潮时预报的重要性仍存在一定争议。如:浙江乍浦验潮站,该站点对应了两个警戒潮位核定岸段,平湖岸段的四色警戒潮位分别为445cm、475cm、510cm和540cm(基面:85高程,下同),乍浦港岸段的四色警戒潮位分别为440cm、455cm、475cm和490cm(基面:85高程,下同),乍浦站475cm的潮位预报,平湖岸段为黄色预警级别,乍浦港岸段就达到了橙色预警级别,此种情况下潮位预报的准确度就不能以占比10%来评判了。具体比例应根据地区特征分段取值比较稳妥,不宜做统一规定。同时综合评分除了技术评定的因素外也有行程处置需求等因素,本研究最终取消了综合得分规定,改为仅提供每一个警报要素的检验评估方法,各地区和各单位可以根据区域特征对各要素评估结果进行组合,或者就单要素的检验评估结果进行横向比对。

## 5 结语

本方法将风暴潮警报分为预警等级、高潮位和高潮时3个要素进行检验评估。其中检验是准确率、空报率和漏报率的比率统计,仅针对预警等级;评估对3个要素均有统计,在规则研究初期,研究样本主要为东海区的警报单,潮位和潮时的评估阈值过于狭窄,在全国试用和征求意见过程中北海部分地区出现了天文潮导致的潮时潮位误差偏离过大情况,考虑到本方法的适用性,几经研讨和调整,最终确定了潮位10~50cm,潮时1~4h的评估阈值,以方便地方应用时根据本地特征收窄取值范围;最终撤消了过程整体评分的固定比例,改为仅提供警报等级、潮时和潮位的量化检验评估算法。

目前,如何客观、公正和科学地评估风暴潮警报



是一个综合性的问题, 现有研究制定的评估方法存在一定的不足之处: 本方法为解决风暴潮检验评估全国性规则从无到有的问题, 评估阈值过于宽泛, 部分区域需要更严格的地方标准配合执行; 在最终制定过程中取消了综合评分, 仅提供了每个警报要

素的检验评估规则, 综合评分还需要进一步制定区域性规则; 本规则的配套的自动评分系统对警报制作系统的联动需求较高。以上问题我们将在实践中深化研究, 并在修订过程中逐步完善。

#### 参考文献

- [1] 自然资源部海洋预警监测司. 中国海洋灾害公报[OL]. 000019174/2022-00004. <http://gi.mnr.gov.cn/202205/P020220507388929214813.pdf>.
- [2] 于福江, 董剑希, 叶琳, 等. 中国风暴潮灾害史料集(1949~2009)[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
- [3] 董剑希, 付翔, 吴玮, 等. 中国海高分辨率业务化风暴潮模式的业务化预报检验[J]. 海洋预报, 2008(2):11-17.
- [4] 王锋. 关于海洋灾害应急管理体系建设的思考[J]. 海洋开发与管理, 2013.
- [5] 任姝彤. 中国近海突发性海洋灾害的特征分析与评分[D/OL]. 青岛: 中国海洋大学, 2015[2013-5-30]. <https://cdmd.cnki.com.cn/Article/CDMD-10423-1015714958.htm>.
- [6] 夏达忠, 黄依之, 张行南. 沿海风暴潮预警预报与灾情评估系统研究[J]. 水利信息化, 2020(1):64-67.
- [7] 刘经东, 张文静, 刘春笑, 等. 全球大洋潮汐模式在北印度洋潮汐预报准确性的评估[J]. 海洋通报, 2019(2):159-166.
- [8] 全国海洋标准化技术委员会. 海洋预报结果准确性检验评估方法: GB/T 41165-2021[S/OL]. 北京: 中国标准出版社, [2021-12-31]. <https://www.biaozhun99.com/p-151745.html>.