

## 浙江省沿海县级风暴潮危险性区划研究

李涛<sup>1,2</sup>, 朱业<sup>3</sup>, 付翔<sup>1</sup>, 郭敬<sup>3</sup>

(1.国家海洋环境预报中心,北京 100081; 2.国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室,北京 100081;  
3.浙江省海洋监测预报中心,浙江 杭州 310007)

**摘 要:** 以浙江省沿海13个潮位站30 a(1985—2014年)共85次的台风风暴潮历史过程资料为基础,利用统计相关以及数值模拟对个别潮位站进行资料增补,确保资料丰富、全面。选用风暴增水和超警戒两个自然属性因子进行等级划分,考虑权重后计算得到浙江沿海县级风暴潮危险性指数。在此基础上,以20 a资料时长和危险性指数7为衡量标准,通过资料法及包含历史灾情在内的综合法对浙江沿海县级风暴潮危险性进行区划。研究结果表明:在33个浙江沿海县中18个可划为风暴潮灾害重点防御区,约占全部沿海县的54.5%,主要位于浙江的中南部和杭州湾北岸。上述沿海县在海洋灾害风险管理和涉海产业的利用规划中应重视风暴潮灾害影响并应加强风暴潮灾害风险评估工作。

**关键词:** 风暴潮;危险区划;浙江沿海;县级

**中图分类号:** P731.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)01-0012-07

### 1 引言

浙江是海洋大省,海洋为浙江省提供了区位优势和丰富的“港、渔、景、油”等资源,使浙江省成为全国社会、经济和文化最为发达的省份之一。2014年浙江省全省海洋经济增加值约完成6 000亿元,占GDP的比重由2002年的7.5%上升到15%,海洋经济已经成为浙江省国民经济的重要组成部分,对全省经济发展的辐射拉动作用不断增强<sup>[1]</sup>。

在海洋经济快速发展、海洋开发活动日趋频繁的同时,浙江省沿海地区的台风风暴潮、海浪等灾害所造成的经济损失总体呈上升趋势。据统计<sup>[2]</sup>,浙江省每3—5年即会造成一次特大的风暴潮灾害,如“9417”、“9711”、“0216”、“0414”、“0509”、“0608”、“1323”号等台风风暴潮过程,都造成了大量的人员伤亡和严重的经济损失。因此,浙江省沿海迫切需要开展风暴潮灾害的风险评估,划定重点防御区,采取有效措施减少风暴潮灾害损失影响。

近些年来,在美国卡特里娜台风风暴潮<sup>[3]</sup>和日本3.11地震海啸<sup>[4]</sup>极端灾害影响推动下,海洋灾害风险区划研究异常活跃。这其中,依据海洋灾害危险性所开展的灾害风险区划方法大致可以分为统计区划和模拟区划两大类。统计区划是在对大量历史资料的数据统计分析的基础上,通过规律、特征和趋势分析等,进行灾害风险的区划<sup>[5-6]</sup>。模拟区划则是结合气象、水文和GIS等手段,整合或建立数值预报模型,通过假定的情景模拟后进行重现期水位<sup>[7-8]</sup>、淹没范围<sup>[9-10]</sup>等风险区划研究。两种方法各有优缺点,统计区划可真实地反映海洋灾害发生特点及规律,但需要大量的历史资料进行支持;模拟区划可提供更全面的海洋灾害时空变化特征,但情景设置及模拟精度均会对区划结果有较大的影响。两种区划方法可互为补充,本文即是在历史资料支持下,参考《风暴潮灾害风险评估和区划技术导则》<sup>[11]</sup>,以统计区划为主,结合数值模拟,综合灾情等资料,开展覆盖整个浙江沿海并以县级为区划单元的风

收稿日期: 2017-04-26; 修回日期: 2017-06-02。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1402005)。

作者简介: 李涛(1981-),男,高级工程师,博士,主要从事风暴潮数值预报、区域气候变化模拟研究。E-mail: litao@nmefc.cn

暴潮危险性区划研究。

## 2 资料及处理

### 2.1 资料

遵循代表性强、分布合理和资料丰富等原则,本文共收集浙江省沿海包括乍浦站在内23个潮位站共85次台风风暴潮影响期间的历史潮位资料(见表1),来源包括国家海洋局、浙江省水文局等。通过潮汐调和分析方法对资料进行处理,进而分离得到台风影响期间的风暴增水,并将增水小于50 cm的潮位资料予以排除。此外,也通过海洋灾害公报<sup>[2]</sup>、地方统计年鉴<sup>[12]</sup>及史料论文<sup>[13]</sup>等方式收集了浙江省沿海的海洋灾害历史灾情、陆地高程、防潮能力等资料。从表1可以看出,排除建站时间及启用观测因素外,海洋局所属站点潮位资料的起止年份均为1985—2014年,时间序列长度为30 a;而水利部所属站点潮位资料的起始年份较晚,如浙江盐官潮位站的建站时间为1928年,但是本文只收集到1991年之后的潮位观测资料。同时需要注意的是,由于盐官、七堡、闸口3站均是位于杭州湾顶的钱塘江内,潮位受径流影响严重,无法进行调和分析,因此无法计算分离得到风暴增水;此外,曹娥江口站的水位数据存在低潮位无法测量情况,该站点的资料本文中也不予以考虑。平均而言,每站有20.17 a的潮位资料、17.04 a的增水资料和29.74次台风风暴潮过程资料,基本上可以满足本研究的需要。

### 2.2 处理

尽管曹娥江口站的低潮位部分资料无法使用,但高潮位资料可信并可使用。通过采用高潮同步相关法<sup>[14]</sup>分析曹娥江口和澈浦站同步观测的2003年整个3月的潮位资料可以发现(见图1a),两站高潮位的相关系数较高,相关系数 $R^2$ 可达0.971,由此曹娥江口站的高潮位可使用澈浦站的高潮位推算得到。

针对曹娥江口站的风暴增水,采用二维水动力软件ZIHE2D<sup>[15]</sup>建立覆盖浙江近海和长江口并对杭州湾、钱塘江口区进行加密细化的风暴潮计算模型(图略)进行数值模拟。在模型验证的基础上,通过对17次台风风暴潮过程模拟可以发现(见图1b),曹

表1 浙江省沿海1985—2014年台风风暴潮过程期间潮位站观测资料汇总

编号	站点	起始年份	资料时长/a	过程/次	建站时间/年
1	乍浦站*	1985	30 <sup>#</sup>	49	1951
2	澈浦站*	1985	30 <sup>#</sup>	47	1951
3	盐官站* <sup>①</sup>	1991	24	34	1928
4	七堡站* <sup>①</sup>	1991	24	36	1991
5	闸口站* <sup>①</sup>	1991	24	36	1922
6	曹娥江口站*	—	0	0	1990
7	定海站*	1985	30 <sup>#</sup>	24	1977
8	六横站	2008	7	9	2008
9	岱山站	2011	4	8	2006
10	嵎山站	1997	18	8	1995
11	镇海站	1985	30 <sup>#</sup>	38	1988
12	北仑站	2009	5	6	2009
13	湖头渡站*	1991	24 <sup>#</sup>	37	1991
14	石浦站	2004	11	17	2003
15	健跳站	1985	30 <sup>#</sup>	40	1956
16	海门站*	1985	30 <sup>#</sup>	43	1951
17	石塘站	2010	5	6	2010
18	坎门站	1985	30 <sup>#</sup>	33	1959
19	龙湾站*	1985	30 <sup>#</sup>	36	1959
20	甌江口站	2008	7	7	2008
21	洞头站	2004	11	13	2003
22	瑞安站*	1985	30 <sup>#</sup>	50	1956
23	鳌江站*	1985	30 <sup>#</sup>	60	1958
平均			20.17 (17.04 <sup>②</sup> )	29.74	

注:\*为水利部属潮位站,其他为海洋局属潮位站,#为站点资料连续时长超过20 a;

①只有潮位资料,无增水资料;②为超警戒平均资料时长。

娥江口站的风暴增水均要大于澈浦站;同时,相关分析表明两站风暴增水的相关系数 $R^2$ 可达到0.9167,由澈浦站的风暴增水也可推算得到曹娥江口站的风暴增水。

钱塘江内的盐官、七堡和闸口3站处潮位受河床高程影响十分显著,表现为低潮位急剧抬升,潮差显著减小,涨潮历时明显缩短,河道特性比较明显。统计分析证实,无论高潮位和风暴增水,这3站均无法与附近有较长实测资料序列的澈浦等站建立较好的相关关系,因此无法对这3站进行资料增补。

## 3 指数计算

风暴增水量值可以表征风暴潮的强度;而风暴

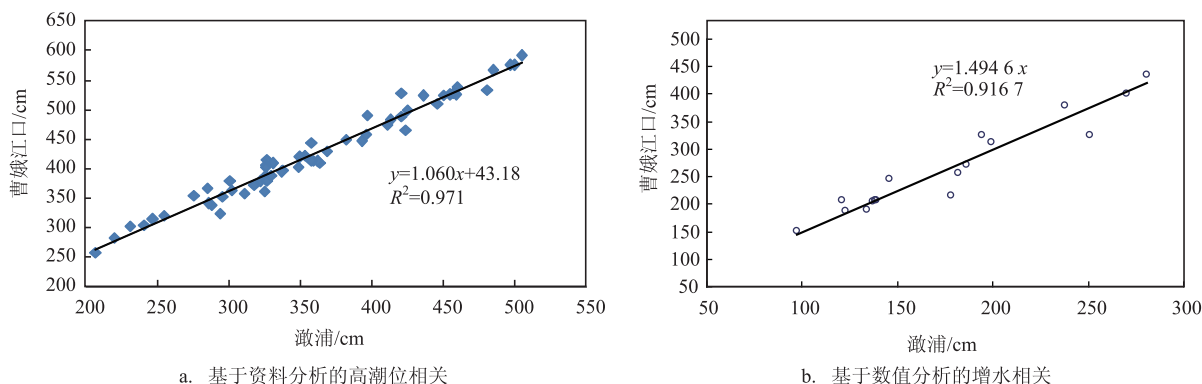


图1 曹娥江口与澉浦站的相关关系图

潮超警戒则由于考虑了风暴潮过程中高潮位超过当地警戒潮位的情况,能够很大程度地反映风暴潮致灾程度<sup>[16]</sup>,因此选用这两个参数作为计算风暴潮危险性的因子。将风暴增水和风暴潮超警戒均划分为4个等级,其中风暴增水主要依据增水量值的高低;而风暴潮超警戒则主要依据台风风暴潮影响期间潮位站的实测最高潮位达到当地警戒潮位的级别进行划分,划分的具体标准可详见表2。

表2 风暴增水和风暴潮超警戒等级划分标准

等级	I	II	III	IV
风暴增水/cm	≥201	151~200	101~150	50~100
风暴潮超警戒	红	橙	黄	蓝

单个潮位站的风暴潮危险性指数( $D_g$ )的计算采用式(1),考虑到高潮位和风暴潮灾害的相关性略高,因此因子中风暴潮超警戒的权重系数略高,为0.6,风暴增水为0.4。

$$D_g = S_g \times 0.4 + H_g \times 0.6 \quad (1)$$

式中:  $S_g$  和  $H_g$  分别代表风暴增水和风暴潮超警戒,采用相同的计算公式,以  $S_g$  为例,其计算公式如式(2)所示:

$$S_g = (S_1 \times 20 + S_2 \times 15 + S_3 \times 10 + S_4 \times 5) / N \quad (2)$$

式中:  $N$  为统计资料序列的资料时长,每站具体值可参见表1,下标1—4为表2中风暴增水依次对应由高至低4个等级的  $N$  年发生总次数。

## 4 结果分析

《警戒潮位核定规范》<sup>[14]</sup>中采用以沿海县辖区内

的岸段为对象,由代表性潮位站进行警戒潮位值的核定,因此,即使同一县辖内不同岸段采用相同的代表潮位站,也可能存在着一套以上的警戒潮位值的可能。具体从浙江省可知<sup>[17]</sup>,33个沿海县共有52套县级岸段警戒潮位值,存在着一县多值的情况。考虑到本研究主要关注以县级为整体单元分析风暴潮危险性,根据代表性强和警戒值低的原则,一县只选取一套潮位站的警戒潮位值进行代表;同时,参照《风暴潮灾害风险评估和区划技术导则》将风暴潮危险性指数值7作为度量标准,  $D_g \geq 7$  为风暴潮灾害重点防御区;  $D_g < 7$  为风暴潮灾害一般防御区。表3给出了浙江沿海基于潮位站历史资料计算得到的县级风暴潮增水、超警戒和危险性指数。可以发现,如果统一、简单以风暴潮危险性指数来进行区划,其结果是不太能令人信服的,主因是存在着诸如盐官站等缺少资料的潮位站以及六横站等资料时长较短的潮位站。为恰当处理所遇到的难题,首先明确采信指数所需的资料时长,考虑到收集历史资料的平均时长为20.17 a/站,因此以20 a为采信标准,单站历史潮位资料超过20 a可以认定其计算的指数能够真实反映风暴潮的危险性;同时排除采用统计相关后计算的指数(曹娥江口站)和无风暴潮增水资料的盐官、七堡和闸口3站,这种完全基于历史潮位资料进行分析的简称资料法;对于不满足资料法要求的,将利用收集到的历史灾情等资料对计算的危险性指数进行旁证,从而对风险区进行区划,简称综合法。

### 4.1 资料法

分析表1可知,满足资料法的潮位站共有11



表3 基于潮位站历史资料计算的浙江省县级各项风暴潮指数及资料法适用判定

编号	站点	代表县 (市、区)	增水指数 ( $S_g$ )	超警戒 指数 ( $H_g$ )	危险性 指数 ( $D_g$ )	资料法 适用 及判定
1	乍浦站	平湖市	14.67	3.33	8	√ √
2	澉浦站	海盐县	17.17	3.67	9	√ √
3	盐官站	海宁市	/	2.71	3	×
4	七堡站	江干区	/	2.29	2	×
		萧山区		2.71	3	×
5	闸口站	滨江区	/	1.17	1	×
6	曹娥江口站	柯桥区	25.48	2.17	11	×
		上虞市		2.83	12	×
		余姚市		5.50	13	×
7	定海站	定海区	5.00	3.50	4	√
8	六横站	普陀区	4.29	5.71	5	×
9	岱山站	岱山县	10.00	8.00	9	×
10	嵊山站	嵊泗县	2.78	3.33	3	×
11	镇海站	慈溪市	6.00	5.83	6	√
		镇海区				
		宁波杭州湾新区				
12	北仑站	北仑区	4.17	4.17	4	×
13	湖头渡站	鄞州区	4.38	3.75	4	√
		奉化市		4.17	4	√
14	石浦站	象山县	10.00	8.18	9	×
15	健跳站	宁海县	10.67	4.83	7	√ √
		三门县				
16	海门站	临海市	14.50	6.83	10	√ √
		椒江区		6.83	10	√ √
		路桥区				
17	石塘站	温岭市	4.00	1.00	2	×
18	坎门站	玉环县	8.50	6.00	7	√ √
19	龙湾站	龙湾区	9.67	7.67	8	√ √
20	瓯江口站	乐清市	5.71	3.57	4	×
21	洞头站	洞头区	6.36	3.18	4	×
22	瑞安站	瑞安市	16.67	10.50	13	√ √
23	鳌江站	平阳县	21.67	9.00	14	√ √
		苍南县				

注:“√ √”表示代表县为资料法确定的风暴潮灾害重点防御区;“√”表示代表县为资料法确定的风暴潮灾害一般防御区;“×”表示资料法不适用该代表县。

站,共代表浙江沿海18个县(见表3),这其中,包括浙江省平湖市在内12个沿海县的风暴潮危险性 $D_g \geq 7$ ,划定为风暴潮灾害重点防御区;除这11站

外,定海、镇海和湖头渡3站所代表的6个沿海县的 $D_g < 7$ ,这6个沿海县确定为风暴潮灾害一般风险区。

## 4.2 综合法

除资料法可以明确18个浙江沿海县的风暴潮危险性高低外,仍有12个潮位站所代表的15个沿海县无法区划风暴潮危险性,这里采用综合法进行判别,分别从灾情资料、陆地高程、防护能力等方面进行分析。表4给出了 $D_g \geq 7$ 的潮位站、对应的代表县及其防御区判定,曹娥江口站所代表的3个沿海县的风暴潮危险性指数均超过11,但该指数较大程度受风暴增水指数的影响(见表3),风暴潮超警戒指数贡献并不是很大,暗示上述沿海县发生风暴潮超警戒的情况并不严重。历史灾情分析可知,对杭州湾造成严重灾害影响的9711台风对杭州湾南岸的柯桥等区域的灾害影响较轻,无明显溃堤现象。此外,柯桥和上虞之间的曹娥江大闸于2007年完工,也大大提高了当地的防潮能力,因此,曹娥江口所代表的3个沿海县均判定为风暴潮灾害一般防御区。岱山站尽管风暴潮危险性指数也为9,但这仅是建立在4a的观测资料中,并且这4a中指数偏高主要由2014年4次并不严重的台风风暴潮过程引起,而分析这30a的历史灾情可知,岱山县仅由“0012”号台风造成1人死亡,风暴潮灾害影响并不严重,同时考虑到岱山县的陆地高程较高、海塘防御能力也较强,故判定岱山县为风暴潮灾害一般防御区。

宁波象山县是浙江省登陆台风最多的地区之一,30a中有包括“8807”、“8909”、“0008”、“1211”、“1416”号共5次台风登陆,除直接登陆台风对象山县的巨大灾害影响外,象山县以南登陆和近海北山的台风均会对该县造成严重的风暴潮灾害影响,如“9711”号台风对象山县的直接经济损失就达到19.7亿元。石浦站的风暴潮危险性指数计算值9也表明,象山县应该划定为风暴潮灾害重点防御区。

表5也给出 $D_g < 7$ 的潮位站、对应的沿海县及其防御区判定。尽管盐官站的风暴潮危险性指数只有3,但盐官站所代表的海宁市位于钱塘江河口的下游,受杭州湾喇叭口地形的作用潮能集聚明显,易受到台风风暴潮灾害。寓意“平息海患”的海宁自古为有名的潮灾猖獗之地,诸如“9417”、

表4 基于综合法对危险指数 $D_s$ 超过7的县级重点  
防御区判定

站点	代表县 (市、区)	重点防御 区判定	判定说明
曹娥江 口站	柯桥区	否	代表站曹娥江口缺潮位和风暴潮观测资料,根据澈浦站资料推算。台风风暴潮灾害影响不严重,故判定为一般防御区。
	上虞市	否	
	余姚市	否	
岱山站	岱山县	否	岱山站的资料年限为2011—2014年,发生较轻台风风暴潮过程次数较多,造成年均指数较大,陆地高程高;海塘防潮能力强;没有造成较大的风暴潮灾害损失。
石浦站	象山县	是	象山县登陆台风多;存在一级隐患区;“5612”号台风风暴潮造成象山3 403人死亡。

“9711”、“0216”、“0414”、“0509”号等台风屡次造成海宁海塘受损、海堤溃决,综合分析可知海宁为风暴潮灾害重点防御区。七堡站和闸口站位于钱塘江内,分别代表江干区、萧山区和滨江区,该区域水位受河道高程影响比较严重,不易发生严重的台风风暴潮灾害,在30 a中也仅有“8807”号和“9711”号对该区域造成了较严重的台风风暴潮影响,风暴潮超警戒指数小也表明该区域的风暴潮超警戒基本上在浙江省沿海潮位站中是最低的,可以判定为风暴潮灾害一般防御区。

六横站所在的普陀区有约11.5 km<sup>2</sup>(占全部陆地总面积3.3%)的陆地高程低于海平面,虽然30 a中只有“9806”号台风直接登陆普陀区,但《舟山市水利志》中记录的从1985—2002年的造成严重灾害损失的台风过程就有12次,仅“8807”号台风就造成普陀区死亡46人,考虑六横站仅计算2008—2014年期间的风暴潮危险性指数就为5.14,因此将普陀区划定为风暴潮灾害重点防御区。

北仑区陆地高程较高,均在海平面以上,沿海建有标准海塘45条,50 a及100 a一遇的就达到21条,海塘防潮能力较高。台风风暴潮灾害对北仑区的影响并不严重,30 a中经济损失最严重由“0509”号台风造成,直接经济损失为4.57亿元,可以判定为风暴潮灾害一般防御区。

温岭市30 a间共遭受“8923”、“9507”、“9711”、

“0414”号共4次台风的正面登陆,海洋灾害损失严重,仅“9711”号台风就造成温岭6人死亡,8条海塘全部冲垮,直接经济损失9.7亿元;类似的还有乐清市,“9417”号台风造成乐清市海塘全线崩溃,死亡达207人,直接经济损失达22.11亿元,尽管代表这两个沿海县的潮位站所计算的风暴潮危险性指数低,这两个沿海县应划定为风暴潮灾害重点防御区。

洞头区为海岛县,地处浙江南部的温州市外部海域,直面太平洋,所属的温州市是浙江省受台风风暴潮灾害最严重的区域,尽管缺乏强台风期间的受灾情况,但考虑到其周边沿海县均为重点防御区,可以判定该区也是风暴潮重点防御区。虽然均为海岛县,但地处浙江省最东部的嵊泗县风暴潮灾害影响和洞头区迥然不同,历史统计表明该县无特大风暴潮灾害。指数计算所使用的嵊山站历史资料年限为18 a,接近20 a的判定标准,而量值仅为3,同时嵊泗县地形以丘陵为主,平地较少,因此该县为风暴潮灾害一般防御区。

表6给出了基于资料法和综合法所分析得到的浙江33个沿海县的风暴潮危险性划定汇总,共有包括平湖市在内共18个县被划定为风暴潮灾害重点防御县,占全部沿海县的54.5%,主要位于浙江的中南部沿海和杭州湾北岸(见图2),其他15个沿海县为风暴潮灾害一般防御县,主要位于杭州湾顶的钱塘江沿岸、杭州湾南岸、象山湾北岸以及浙江东北部近海岛屿。

## 5 结论与讨论

本文以浙江省沿海县级风暴潮危险性为关注点,借鉴《风暴潮风险评估和区划技术导则》的相关方法和标准,使用《浙江省警戒潮位核定》中的警戒潮位值和代表岸段,基于1985—2014年的历史潮位观测资料,结合统计相关和数值模拟方法,分类运用资料分析及综合历史灾情、陆地高程和防潮能力等对浙江省全部沿海县级的风暴潮危险性进行风险区划。从区划结果可知,作为受台风风暴潮影响最为严重的省份之一,浙江33个沿海县中半数均为风暴潮灾害重点防御区,这与于福江等<sup>[9]</sup>统计分析所得到的浙江省杭州湾、台州沿海和温州沿海为风

表5 基于综合法对危险指数 $D_g < 7$ 的县级重点防御区判定

站点	代表县 (市、区)	重点防御区 判定	判定说明
盐官站	海宁市	是	受杭州湾喇叭口地形的作用,潮能集聚,历史台风风暴潮灾害严重。
七堡站	江干区	否	深入钱塘江河口,风暴潮灾害影响不严重。
	萧山区	否	
闸口站	滨江区	否	
六横站	普陀区	是	台风风暴潮灾害损失严重。
北仑站	北仑区	否	陆地高程较高,海塘防御能力好,无特大风暴潮灾害。
石塘站	温岭市	是	温岭时登陆台风多,风暴潮灾害损失严重。
瓯江口站	乐清市	是	风暴潮灾害损失严重。
洞头站	洞头区	是	地处温州市外部海域,直面太平洋,更加容易遭受到台风风暴潮灾害的直接影响。
嵊山站	嵊泗县	否	陆地高程较高,无特大风暴潮灾害。

表6 浙江省沿海县级风暴潮危险性区划

沿海市	沿海县(市、区)	重点防御区判定	方法
嘉兴市	平湖市、海盐县	是	资料法
	海宁市	是	综合法
杭州市	江干区、滨江区、萧山区	否	综合法
绍兴市	柯桥区、上虞市	否	综合法
舟山	定海区	否	资料法
	普陀区	是	综合法
宁波市	岱山县、嵊泗县	否	综合法
	宁海县	是	资料法
	慈溪市、镇海区、宁波杭州湾新区、鄞州区、奉化市	否	资料法
	象山县	是	综合法
	余姚市、北仑区	否	综合法
台州	三门县、临海市、椒江区、路桥区、玉环县	是	资料法
	温岭市	是	综合法
温州市	龙湾区、瑞安市、平阳县、苍南县	是	资料法
	乐清市、洞头区	是	综合法



图2 浙江省风暴潮重点防御区岸线图

风暴潮灾害危险性最高区域的结论保持一致。

由于历史潮位观测资料的不足,本文使用了包括历史灾情资料在内的许多非潮位观测资料进行沿海县级风暴潮危险性区划研究,而如使用历史灾情等资料证实完全基于潮位观测资料所进行的风暴潮危险性区划结果或是一个更可信的方法。本项工作也是县级尺度的风暴潮灾害风险评估和区划工作的一个试点,希望通过此可为全国开展此类工作提供一个有意义的参考。此外,甄别风暴潮灾害危险性的高低,主要目的还是服务于防灾减灾。应加强海洋灾害风险管理和涉海产业利用规划中风暴潮灾害的评估,尤其是沿海风暴潮灾害高风险县,更应提早部署,提出技术可行的适应措施,实现经济、社会和环境的协调发展。

参考文献:

[1] 刘亨. 新格局下心优势-习近平总书记“经略海洋”战略思想的浙江实践(三)[N]. 浙江日报. 2015-06-04(009).

[2] 国家海洋局. 1989-2014年中国海洋灾害公报[R]. 北京: 国家海洋局, 1989-2014. [http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/index\\_1.html](http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/index_1.html).

[3] URS. High-water Mark Collection for Hurricane Katrina in Loui-



- siana[R]. FEMA-1603-DR-LA, Task Orders 412 and 419. Washington, DC: Federal Emergency Management Agency, 2016.
- [4] Mori N, Takahashi T, Yasuda T, et al. Survey of 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Inundation and Run-up[J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(7): L00G14
- [5] 于福江, 董剑希, 李涛. 风暴潮对我国沿海影响评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
- [6] 董剑希, 李涛, 侯京明, 等. 广东省风暴潮时空分布特征及重点城市风暴潮风险研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(3): 83-93.
- [7] 尹庆江, 王喜年, 吴少华. 镇海可能最大台风增水的计算[J]. 海洋学报, 1995, 17(6): 21-27.
- [8] 李涛, 吴少华, 侯京明, 等. 宁波台风风暴潮数值模拟与风险计算[J]. 海洋学报, 2013, 35(2): 9-14.
- [9] 吴玮, 刘秋兴, 于福江, 等. 台州沿海地区台风风暴潮淹没风险分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(2): 25-31.
- [10] 傅赐福, 于福江, 王培涛, 等. 滨海新区温带风暴潮灾害风险评估研究[J]. 海洋学报 2013, 35(1): 55-62.
- [11] 国家海洋局. 风暴潮灾害风险评估和区划技术导则[S]. 北京: 国家海洋局, 2012.
- [12] 李晓武. 舟山市水利志[M]. 上海: 中华书局, 2006.
- [13] 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.
- [14] 国家海洋局. GB/T 17839-2011 警戒潮位核定规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [15] 潘存鸿, 林炳尧, 毛献忠. 钱塘江涌潮二维数值模拟[J]. 海洋工程, 2007, 25(1): 50-56.
- [16] 方伟华, 王静爱, 史培军, 等. 综合风险防范数据库、风险地图与网络平台[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [17] 龚茂珣, 张慧, 堵盘军, 等. 浙江省警戒潮位核定总册[R]. 上海: 国家海洋局东海预报中心, 2014.

## Research on county-level regionalization of storm surge hazard in the coast of Zhejiang province

LI Tao<sup>1,2</sup>, ZHU Ye<sup>3</sup>, FU Xiang<sup>1</sup>, GUO Jing<sup>3</sup>

(1. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting of State Oceanic Administration, Beijing 100081 China; 3. Marine Monitoring and Forecasting Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310007 China)

**Abstract:** Based on the total 85 storm surge historical data from 13 tide gauge stations during 30 years (1985—2014) along the coast of Zhejiang province, the statistical and the numerical simulation are used to supplement the data of the individual station for the abundance and comprehensiveness. The two natural factors, the storm surge and the exceeded water level, are selected to rank the storm surge at different level. The county-level of storm surge risk index are calculated by considering the different weight of factors. Under this basis, taking 20 year data length and risk index 7 as the standard of division, the county-level regionalization are conducted by the data-analyzing method and the comprehensive method which includes the analyzing the historical disaster. The results show that 18 coastal counties are regionalized into the storm surge key preventing regions, nearly account for 54.5% of the total 33 coastal counties, which mainly located in the central and south coast of Zhejiang province and the north bank of Hangzhou Bay. The above coastal counties should pay attention to the impact of storm surge disasters in the management of marine disaster risk and the planning of marine industry, as well as the enhancement of the risk assessment of storm surge disaster.

**Key words:** storm surge; risk regionalization; Zhejiang coast; county level