

文章编号: 1674-5566(2017)06-0946-07

DOI:10.12024/jso.20170702098

基于 SAR 波模式数据的沉船事故海浪要素分析

魏永亮^{1,2}, 高志一³, 唐泽艳⁴, 曾银东⁵

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 国际海洋研究中心, 上海 201306; 3. 国家海洋环境预报中心海洋灾害预警报室, 北京 100081; 4. 国家海洋局东海预报中心, 上海 200081; 5. 福建省海洋预报台水文预报科, 福建 福州 350003)

摘要: 涌浪是近海波浪系统中的重要组成部分, 因其持续时间长且蕴含巨大能量, 可导致渔船沉没事故, 造成生命、财产和环境危害。合成孔径雷达(SAR)能够对海浪成像并提供二维方向谱, 成为遥感海浪的重要手段。本研究将利用欧空局环境卫星搭载的高级合成孔径雷达(ENVISAT-ASAR)的波模式轨道数据提供的涌浪信息, 量化涌浪在中国近海致渔船沉没事故中的影响。首先, 对浪致渔船沉没事故、ASAR 数据和模式数据进行时空匹配; 其次, 对匹配成功的数据进行对比统计, 分析涌浪要素特征, 量化涌浪影响。结论: 渔船沉没事故发生时, (1) 天气形势多为冷空气、温带气旋或台风; (2) 风浪、涌浪混合有效波高绝大部分大于 2.0 m, 涌浪波高占比在 50% 以上; (3) 风浪和涌浪夹角 $>45^\circ$, 当同时满足(2)和(3)条件时更容易发生沉船事故。

关键词: 涌浪; 渔船沉没事故; 合成孔径雷达; 有效波高; 波向夹角

中图分类号: P 715.7 **文献标志码:** A

中国渔船数量众多, 截止到 2016 年底, 机动渔船总数为 65.42 万艘^[1]。渔船一旦发生事故沉没, 会造成生命、财产和环境危害。很多渔船事故与海况有关, 而海况一般是由海面的海浪决定的^[2]。海浪是海洋表面最为普遍和复杂的波动现象, 在海气相互作用中起着显著作用, 按照成因可分为风浪和涌浪。当海浪波高达到一定量值后即可发展成灾难性海浪, 会掀翻船只、造成人员伤亡、摧毁海上工程和设施, 对海上生产和作业造成较大威胁^[3-4]。研究表明, 海上自然破坏力的 90% 来自海浪, 并且海上巨浪造成的海难占世界海难的 60% ~ 80%^[5]。中国沿海地区一向是海洋灾害最严重的地区, 也是世界上最严重的灾害带之一^[6]。在诸多海洋灾害中, 台风、寒潮相伴生的海浪灾害造成的损失仅次于台风引起的风暴潮灾害, 位列第二^[6-8]。

许富祥^[3]的研究指出, 造成中国近海灾害性波浪的主要天气系统有冷高压、台风、气旋以及

冷高压与气旋结合等 4 种类型。房文鸾等^[9]阐述了由热带气旋(包含台风)引起的暴风波浪的危害与防御对策。张薇等^[4]利用渤海周边 10 个波浪观测站 40 余年的海浪观测资料, 研究了渤海灾害性海浪的时空变化和分布特征, 其研究表明, 渤海的灾害性海浪主要由冷空气和温带气旋引起。李德亮和刘宪斌^[10]利用 2005—2014 年的中国海洋灾害资料, 采用描述性统计方法分析了中国沿海地区的海浪灾害, 发现造成死亡人数最多的海浪灾害主要受气旋和冷空气的影响。许富祥和余宙文^[11]、李本震和邢闯^[12]分别对中国近海的灾害性海浪特征进行了研究, 并提出了预报预测方法。

灾害性海浪主要是指风浪, 但在对海难失事船只的搜救报告中, 经常会提到涌浪, 由此看来, 涌浪在船只沉没事故中应该起到一定的作用。由于获救船员对涌浪概念比较模糊, 此外没有定量化研究, 因此涌浪在沉船事故中的作用有待探

收稿日期: 2017-07-06 修回日期: 2017-10-12

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41606196); 国家重点基础研究发展计划(2014CB745004); 国家重点研发计划(2016YFC1402005); 海洋赤潮灾害立体监测技术与应用国家海洋局重点实验室开放研究基金(MATHAB201601)

作者简介: 魏永亮(1981—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为海洋微波遥感、海浪。E-mail: yl-wei@shou.edu.cn

通信作者: 高志一, E-mail: gaozy@nmefc.gov.cn

讨。但在灾害性海浪造成的海难事故中,一般来说海况非常恶劣,这就导致了常规海浪观测的困难。幸运的是,遥感观测技术的发展解决了常规海浪观测的难题。

合成孔径雷达(Synthetic aperture radar)是一种主动式成像雷达,雷达天线首先发出微波脉冲信号并在海面散射,通过接收海面的后向散射信号(称为后向散射截面)并根据信号强弱生成相应的图像。SAR 因其全天时/全天候以及高分辨率的特点,已经成为遥感观测海浪非常重要的手段^[13]。其观测结果可转换成二维海浪谱,能够提供大面积的海况信息,如有效波高、波浪传播方向(下称波向)等。但 SAR 对海浪的成像机制特点决定了其很难观测到波长为 100 m 以下的海浪^[14],而百米以上波长的海浪一般可认为属于涌浪的范围,因此 SAR 所观测到的海浪一般情况下为涌浪^[15]。

海洋渔业是全球公认的高危险行业,我国每年每 10 万从业人员伤亡约 145 人,其中约 1/8 是由浪灾所致沉船事故造成的(中国渔船船东互保会报告)。本文将采用 SAR 的海浪观测数据作为涌浪数据进行分析研究,量化涌浪在渔船沉没事故中的作用。

1 研究区域与数据

本文将研究分布于整个中国海海域内的渔船沉没事故(图 1),图中的符号“+”表示沉船位置。用到的数据包括中国海洋灾害公报沉船数据、欧洲空间局(ESA)环境卫星(ENVISAT)上搭载的高级合成孔径雷达(Advanced SAR, ASAR)的波模式(Wave Mode)数据以及国家海洋环境预报中心波浪场再分析数据。

1.1 中国海洋灾害公报沉船数据

历年的中国海洋灾害公报包含了大量沉船信息^[16],我们提取了部分数据,具体包含沉船日期、时间、经纬度和致沉天气过程等信息。值得注意的是,部分记录只有日期而没有时间信息,这为后面的研究带来一些误差。经仔细核实,1991—2012 年 22 内的 50 条沉船记录是由波浪引起的,其中 46 条是 2003 年以后发生的。

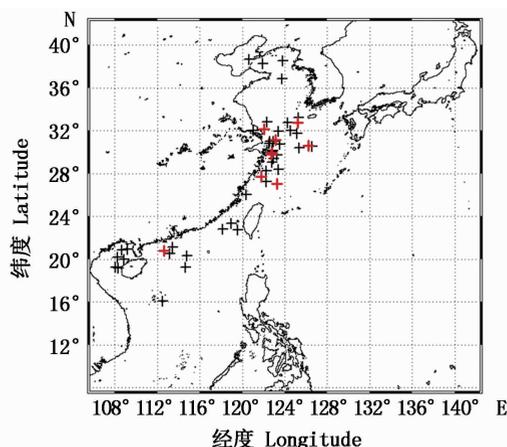


图 1 研究区域以及沉船位置

Fig. 1 Study area and locations of shipwreck

“+”表示沉船位置,红色“+”表示有匹配数据的位置点
showed as “+” and red “+” means locations with matchup data

1.2 ENVISAT-ASAR Wave Mode 数据

欧空局的 ENVISAT 卫星于 2002 年 3 月 1 日发射升空,ASAR(高级合成孔径雷达)传感器是其上最大的仪器设备,工作频率是 C 波段,波模式是其 5 种观测模式之一,用于观测海洋表面的涌浪现象^[17]。波模式工作时,观测的区域很小,称为波元。每个波元分辨率为 30 m × 30 m,覆盖范围大约为 5 km × 5 km,最大约为 5 km × 10 km(沿轨方向 × 交叉轨道方向),沿轨间隔 100 km,每条轨道理论上最多可获取 400 个波元数据。

波模式数据共有 Level 0、Level 1B 和 Level 2 三个等级产品。Level 0 数据为观测的波元原始数据。Level 1B 数据有两种:第一种是由 Level 0 产品处理生成的单视复(SLC)图像数据以及通过交叉谱方法进一步处理得到的图像功率谱数据;第二种仅包含图像功率谱数据。Level 2 数据是海浪谱数据,也是最高级别的产品,同样也是由 SLC 图像数据处理得来。SLC 图像数据经处理后获得交叉谱,对交叉谱进行反演操作即可获得本研究所用的海浪方向谱。从具体的处理过程可知,此海浪谱可视为涌浪谱。

ENVISAT-ASAR 波模式涌浪谱在波长和波向两个维度上以极坐标形式生成,数据大小是 24 × 36(图 2)。24 个波长从 30 m 到 800 m 不均匀分布,36 个波向从 0°到 350°以 10°等间距分布。

由此谱可计算涌浪有效波高、谱峰波长和谱峰波向等参数,其中波向的定义是波浪传去的方向,以正北为 0° ,顺时针计量。图2中,一个非常明显的特征是谱的 180° 方向模糊,即谱有对称的两个峰值,可以从研究的具体海域位置等方面,确定涌浪传播方向^[13]。

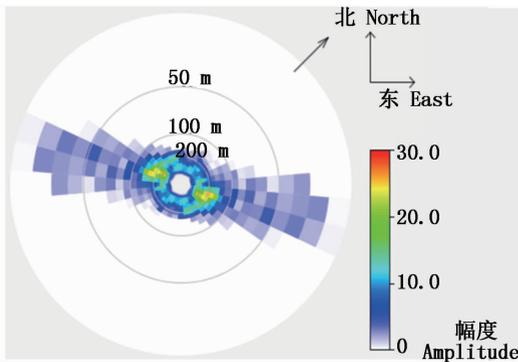


图2 ENVISAT-ASAR 波模式反演的涌浪谱
Fig. 2 Swell spectrum retrieved from ENVISAT-ASAR wave mode

圆圈上的数字代表波长,图中谱的 180° 方向模糊特征很明显
Numbers on circles mean wavelengths. The feature of 180° directional ambiguity is clear in the spectrum

图3是2008年11月中国海海域的所有ASAR波模式的波长反演数据,从图3中可以看出,大部分波长均超过150 m,风浪的典型波长在几十米,一般小于100 m,而涌浪波长一般大于此数值,这意味着波模式中的波长为涌浪所有,观测的是海面的涌浪现象。

1.3 国家海洋环境预报中心波浪场再分析数据

再分析数据由数值模式计算得到,驱动风场为CFS再分析风场,海浪模式为WAVEWATCHIII v3.14。数据的空间分辨率是 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,时间分辨率是1 h。海浪场再分析数据包含海浪有效波高、波长和波向等信息,且有效波高数据为风浪和涌浪的混合值。该数据用于对比ENVISAT-ASAR波模式数据,判断涌浪在海浪场中所占比重,从而分析涌浪在渔船沉没事故中的影响。

2 数据匹配方法

研究渔船沉没时的海况以及涌浪在海况中的占比情况,首先需要进行数据匹配,生成匹配数据对,即把渔船沉没的位置、日期和时间数据与ENVISAT-ASAR波模式数据以及国家海洋环

境预报中心波浪场再分析数据进行比对匹配。由于波模式数据是沿轨道测量的数据,在空间上分布不均匀,匹配时距离不能相差太远;卫星针对某特定地点的观测有一定的重复周期,意即有一定的时间间隔,并且卫星经过固定地点的时间相对固定;此外,很多沉船事故的沉没时间比较模糊,因此要考虑到时间间隔也不能太久。综合上述因素,并假设涌浪场的变化比较缓慢,采用以下规则进行沉船数据与ASAR数据的匹配:

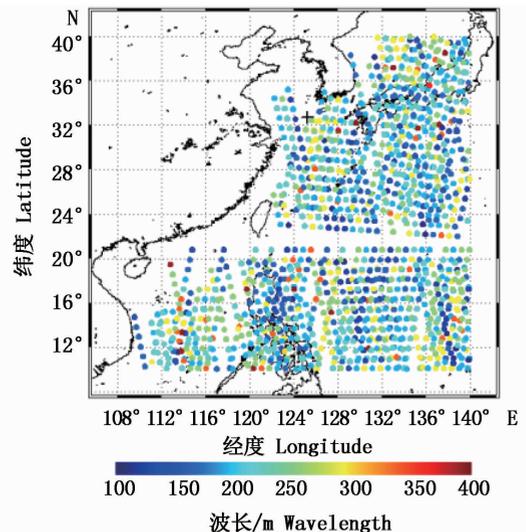


图3 ENVISAT-ASAR 波模式在2008年11月的波长反演值
Fig. 3 An example of retrieved wavelength from ENVISAT-ASAR wave mode in Nov., 2008

圆圈上的数字代表波长,图中谱的 180° 方向模糊特征很明显
Numbers on circles mean wavelengths. The feature of 180° directional ambiguity is clear in the spectrum

(1)空间上,渔船沉没位置与ASAR观测位置距离相差不超过100 km;

(2)时间上,渔船沉没事故发生前后12 h以内的ASAR数据均视为有效。

因为再分析数据是时空分辨率都较高的规则网格,沉船数据与再分析数据的匹配比较简单,但也要遵循上述类似的规则。在50条确定的沉船记录中,最终有9条记录匹配成功,结果见图1中红色“+”位置,主要分布在长江口附近,具体匹配信息见表1。

3 结果与分析

为了分析涌浪在渔船沉没事故中的影响,对

匹配数据中的 ASAR 波模式数据和国家海洋环境预报中心波浪场再分析数据进行对比。比较的

内容为有效波高和波向,从结果中可得出涌浪的作用。

表 1 匹配数据信息
Tab.1 Information of matchup data

序号 Number	ASAR 日期时间(UTC) Date and time of ASAR (UTC)	ASAR 经纬度 Longitude and latitude of ASAR		沉船记录日期时间(北京) Date and time of shipwreck (Beijing)	沉船经纬度 Longitude and latitude of shipwreck		天气过程 Weather system
		经度 Longitude	纬度 Latitude		经度 Longitude	纬度 Latitude	
2	200402021331	122.61	27.04	20040202*	121.75	27.75	冷空气
3	200410011337	123.35	30.00	20041001*	122.82	29.93	温带气旋
4	200410171337	123.15	33.76	200410172100	122.03	32.13	台风
5	200502131423	111.43	19.33	200502131800	112.65	20.80	冷空气
6	200503121345	122.20	25.71	20050312*	123.25	27.08	冷空气
7	200507051331	124.81	29.91	20050705*	122.72	29.82	温带气旋
8	200701071304	128.76	31.39	200701070500	126.25	30.63	冷空气
9	200811090143	125.68	30.59	200811092000	123.12	31.15	冷空气

注: * 表示缺少准确沉船时间

Note: * means lack of exact time of shipwreck

3.1 有效波高对比

提取沉船事故匹配的 ASAR 波模式和国家海洋环境预报中心波浪场再分析数据的有效波高,并进行比较,结果见表 2。在 9 个事故中 ASAR 波模式反演的涌浪有效波高均小于波浪场再分析的混合有效波高,证实了我们将再分析数据作为整个海况的估计是合理的。首先,从波浪场再分析有效波高看,沉船事故发生时,混合有效波

高基本上都超过 1.5 m,且有 7 个事故超过 2 m,说明恶劣的海况是导致沉船事故的一个原因;其次,从 ASAR 波模式的涌浪有效波高看,均超过 1 m,一半超过 1.5 m,说明涌浪也起了非常重要的作用;最后,涌浪有效波高在混合有效波高中的比例,超过 50% 的有 6 个事故,超过 40% 的有 8 个事故,意味着涌浪在沉船事故中的影响非常明显。

表 2 有效波高对比信息
Tab.2 Comparisons of significant waveheight

序号 Number	ASAR 日期时间(UTC) Date and time of ASAR (UTC)	ASAR 波模式有效波高/m Significant waveheight of ASAR wave mode	波浪场再分析有效波高/m Significant waveheight of reanalysis wave field	有效波高比值 Rate of significant waveheight
1	200311030153	1.34	1.49	89.93%
2	200402021331	1.58	3.57	44.26%
3	200410011337	1.68	2.08	80.77%
4	200410171337	1.04	1.78	58.43%
5	200502131423	1.15	2.34	49.15%
6	200503121345	1.45	5.18	27.99%
7	200507051331	1.68	2.33	72.10%
8	200701071304	1.68	3.23	52.01%
9	200811090143	1.68	3.29	51.06%

3.2 波向对比

提取沉船事故匹配的 ASAR 波模式和国家海洋环境预报中心波浪场再分析数据的波向,并进行比较,结果见表 3。首先要注意的一点是,波浪场再分析谱峰波向是指波浪的来向与正北的夹

角,顺时针计量。因此,在与 ASAR 波模式的谱峰波向对比时,需要将角度根据具体数值 $\pm 180^\circ$,即角度大于 180° 时做减法,反之做加法。

波浪场再分析波向的分布没有规律可言,各个方向的波浪均有,而 ASAR 波模式的波向分布

由于数据的方向分辨率不高,导致计算的波向数值比较单一。从两者的夹角绝对值看,超过 45° 的有 7 个事故,其中,6 个集中在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 之间,

说明风浪和涌浪间存在夹角,而且在上述夹角范围内,更易发生沉船事故。

表 3 波向对比信息
Tab. 3 Comparisons of wave direction

序号 Number	ASAR 日期时间(UTC) Date and time of ASAR(UTC)	ASAR 波模式波向/ $(^\circ)$ Wave direction of ASAR wave mode	波浪场再分析波向/ $(^\circ)$ Wave direction of reanalysis wave field	夹角绝对值/ $(^\circ)$ Absolute value of intersection angle
1	200311030153	110	356	66
2	200402021331	260	20	60
3	200410011337	260	348	92
4	200410171337	260	96	16
5	200502131423	260	78	2
6	200503121345	260	25	55
7	200507051331	80	215	45
8	200701071304	80	313	53
9	200811090143	100	342	62

3.3 有效波高和波向夹角的综合作用

将表 2 和表 3 的相关信息综合后生成表 4,可以发现,有 5 个事故满足涌浪有效波高占比大于 50% 且波向夹角绝对值大于 45° ,有 2 个涌浪占比大于 50% 但夹角绝对值小于 45° ,剩余 2 个恰好相反。综上,9 个事故发生时,最起码满足上述两个条件中的一个。

表 4 有效波高、波向对比信息
Tab. 4 Combination of significant waveheight
and wave direction comparisons

序号 Number	ASAR 日期 时间(UTC) Date and time of ASAR(UTC)	有效波高比值 Rate of significant waveheight	夹角绝对值/ $(^\circ)$ Absolute value of intersection angle
1	200311030153	89.93%	66
2	200402021331	44.26%	60
3	200410011337	80.77%	92
4	200410171337	58.43%	16
5	200502131423	49.15%	2
6	200503121345	27.99%	55
7	200507051331	72.10%	45
8	200701071304	52.01%	53
9	200811090143	51.06%	62

4 结论

本研究利用欧空局 ENVISAT-ASAR 波模式反演的涌浪有效波高和国家海洋环境预报中心再分析海浪场数据,结合中国海洋灾害公报沉船数据,对涌浪在渔船沉没事故中的作用做了分

析。具体结论如下:

(1) 渔船沉没事故发生时,风浪、涌浪混合有效波高绝大部分大于 2.0 m,而涌浪有效波高一般大于 1.5 m,涌浪有效波高占比大部分在 50% 以上,说明涌浪在事故中的影响非常显著。

(2) 事故发生时,风浪和涌浪传播方向有明显的夹角,此角度的绝对值一般大于 45° 。本研究中的 9 个事故中,有 6 个符合该条件。表明风浪、涌浪传播方向偏离较大是沉船事故的一个重要因素。

(3) 在满足以上两个条件时,沉没事故更容易发生。9 个事故中有 5 个同时符合两个条件,说明涌浪在浪致渔船沉没事故中所起的作用非常显著。

(4) 沉船事故对应的主要天气过程是冷空气,其次是温带气旋,再次是台风。一般来说,发生渔船沉没事故时,海上的海况均比较恶劣。常规条件下没有对大面积海浪场的有效观测手段。而借助于卫星遥感观测手段,可以实施恶劣海况下的海浪观测。这也是遥感的一个优势。

灾害性海浪一般是指海上有效波高达到 6 m 以及上的波高,但在中国近海一般 4 m 及以上的有效波高就能形成灾害^[3]。从本研究的结果来看,在涌浪存在且有效波高占比超过 50%、风浪和涌浪夹角超过 45° 时,海面总体有效波高 2 m 左右即可造成渔船沉没事故。这表明,海面同时存在风浪和涌浪时,会导致海况更加复杂,也更

容易造成事故的发生。

本研究虽然取得了一些与事实相符的结论,但由于需要进行数据匹配,因此分析的事故实例较少。涌浪是否在渔船沉没事故中具有以上所述的重要作用,尚需进一步研究。

诚挚感谢欧空局提供的免费 ENVISAT-ASAR 波模式数据、国家海洋局提供的中国海洋灾害公报沉船数据。感谢中国海洋大学管长龙教授对本文提出的建议。感谢审稿专家的意见和建议。

参考文献:

- [1] 姚朝晖. 2016 年全国渔业经济统计公报[N]. 中国渔业报, 2017-06-26(A01).
YAO Z H. Bulletin of economic statistics for national fisheries 2016[N]. China Fisheries Daily, 2017-06-26(A01).
- [2] TOFFOLI A, LEFÈVRE J M, BITNER-GREGERSEN E, et al. Towards the identification of warning criteria: analysis of a ship accident database[J]. Applied Ocean Research, 2005, 27(6): 281-291.
- [3] 许富祥. 西北太平洋灾害性海浪的监测和预报[J]. 海洋预报, 1991, 8(1): 36-42.
XU F X. Monitoring and forecasts of disastrous ocean waves in northwest Pacific Ocean[J]. Marine Forecasts, 1991, 8(1): 36-42.
- [4] 张薇, 高山, 闫忠辉, 等. 渤海灾害性海浪特征分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(5): 73-77.
ZHANG W, GAO S, YIN Z H, et al. Characteristics of the disastrous wave in the Bohai Sea [J]. Marine Forecasts, 2012, 29(5): 73-77.
- [5] 许富祥. 中国近海及其邻近海域灾害性海浪的时空分布[J]. 海洋学报, 1996, 18(2): 26-31.
XU F X. Temporal and spatial distributions of disastrous ocean waves in China coastal seas and its adjacent seas[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1996, 18(2): 26-31.
- [6] 左书华, 李蓓. 近 20 年中国海洋灾害特征、危害及防治对策[J]. 气象与减灾研究, 2008, 31(4): 28-33.
ZUO S H, LI B. Marine disasters characteristics and its prevention measures in China over the past 20 years [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 2008, 31(4): 28-33.
- [7] 杨华庭. 近十年来的海洋灾害与减灾[J]. 海洋预报, 2002, 19(1): 2-8.
YANG H T. Marine disasters and its reduction in the last 10 years[J]. Marine Forecasts, 2002, 19(1): 2-8.
- [8] 董月娥, 左书华. 1989 年以来我国海洋灾害类型、危害及特征分析[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(6): 28-33.
DONG Y E, ZUO S H. Analysis to types, harmfulness and characteristics of marine hazards in China's coastal zone since 1989[J]. Marine Geology Letters, 2009, 25(6): 28-33.
- [9] 房文鸾, 章家琳, 谭常波, 等. 暴风波浪的危害与防御对策[J]. 海洋与海岸带开发, 1993, (4): 62-66.
FANG W L, ZHANG J L, TAN C B, et al. Harm and defense strategy of storm waves[J]. Ocean and Coastal Zone Development, 1993, (4): 62-66.
- [10] 李德亮, 刘宪斌. 2005~2014 年中国主要海洋灾害的危害及防治对策[J]. 海洋信息, 2015(4): 37-42.
LI D L, LIU X B. Harm and defense strategy of main ocean disasters of China in 2005—2014 [J]. Marine Information, 2015(4): 37-42.
- [11] 许富祥, 余宙文. 中国近海及其邻近海域灾害性海浪监测和预报[J]. 海洋预报, 1998, 15(3): 63-68.
XU F X, YU Z W. Monitoring and forecasts of disastrous ocean waves in China coastal seas and its adjacent seas[J]. Marine Forecasts, 1998, 15(3): 63-68.
- [12] 李本霞, 邢闯. 中国近海 2011 年灾害性海浪分析及 2012 年预测[J]. 海洋预报, 2012, 29(3): 20-25.
LI B X, XING C. Analysis of disastrous wave of China seas in 2011 and prediction for 2012 [J]. Marine Forecasts, 2012, 29(3): 20-25.
- [13] WEI Y L, KAWAMURA H. Case study of the transformation of swells propagating into Sendai Bay [J]. Journal of Oceanography, 2012, 68(1): 163-172.
- [14] HASSELMANN K, HASSELMANN S. On the nonlinear mapping of an ocean wave spectrum into a synthetic aperture radar image spectrum and its inversion [J]. Journal of Geophysical Research, 1991, 96(C6): 10713-10729.
- [15] 魏永亮, 唐泽艳, 刘建强, 等. L 波段合成孔径雷达影像反演涌浪参数[J]. 遥感信息, 2016, 31(3): 109-114.
WEI Y L, TANG Z Y, LIU J Q, et al. Retrieval of swell parameters using L-band synthetic aperture radar images[J]. Remote Sensing Information, 2016, 31(3): 109-114.
- [16] 国家海洋局. 中国海洋灾害公报[EB/OL]. 北京: 国家海洋局, 1991-2012. <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/>.
State Oceanic Administration, People's Republic of China. Bulletin of marine disasters of China [EB/OL]. Beijing: State Oceanic Administration, People's Republic of China, 1991-2012. <http://www.soa.gov.cn/zwgk/hygb/zghyzhgb/>.
- [17] KULT A. ASAR products specifications[EB/OL]. ENVISAT-1 Products Specifications, 2009, 8: 69-95.

Analysis of wave factors in shipwreck accidents based on SAR wave mode data

WEI Yongliang^{1,2}, GAO Zhiyi³, TANG Zeyan⁴, ZENG Yindong⁵

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. International Center for Marine Studies, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. Department of Marine Disaster Warning, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081, China; 4. East China Sea Prediction Center, State Oceanic Administration of China, Shanghai 200081, China; 5. Section of Hydrological Forecast, Fujian Marine Forecasts, Fuzhou 350003, Fujian, China)

Abstract: Swell is an important part in near shore wave systems and it can cause fishing shipwreck accidents due to its long duration and huge energy. Synthetic aperture radar (SAR) can image ocean waves and provide 2-dimensional wave spectra, making it an important remote tool for observing waves. In this study, swell information from orbital wave mode data of European Space Agency (ESA) ENVISAT-ASAR was used to quantify the effect of swells in wave-caused shipwreck accidents in China coastal seas. First, temporal and spatial match-up data among the wave-caused shipwreck accidents, ASAR wave mode data and model data were generated; and then the swell factors of match-up data were compared and analyzed. Conclusions are: when the shipwreck accidents happened, (1) weather systems were mostly cold air, extratropical cyclone or typhoon; (2) most mixed significant wave heights of wind waves and swells were larger than 2.0 m with swell portion greater than 50%; (3) the intersection angles between propagate directions of wind waves and swells were greater than 45°, and the shipwreck accidents happened more likely when conditions (2) and (3) were both satisfied.

Key words: swell; fishing shipwreck accident; synthetic aperture radar; significant wave height; intersection angle of wave directions