doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2017.05.013

基于 SAR 海浪方向谱的中国海海浪特性研究

刘晓燕[1],杨 倩[1*],宗芳伊[1],张晓楠[1],曾 侃[2],吴承璇[1]
(1.山东省科学院海洋仪器仪表研究所,山东 青岛 266001;2.中国海洋大学,山东 青岛 266001)

摘 要:基于 Hasselmanns 提出的 SAR 反演海浪方向谱的 MPI 算法,对 2003-2012 年间的中国海 Envisat ASAR 波模式数据进行了海浪方向谱反演。统计由反演的海浪方向谱得到的海浪有效波高数据,依据海浪浪级的划分,分析了中国海海浪浪级的分布特点,获得一些有参考价值的结果:(1)中国海 3-4 级海况的年出现概率最高,达 85%;(2)中国海累月不同浪级的海浪出现概率分布符合高斯分布函数:$f(x)=a*\exp(-((x-1-b)/c)\hat{}2)$;(3)分析上述高斯分布函数的拟合系数 a、b、c,发现其分布也有一定规律性。同时应用反演得到的海浪有效波高、平均波周期、平均波向等数据,分析了中国海的海浪时空分布特性,得到一些可供参考的结果。

关键词:SAR;海浪方向谱;有效波高;海浪特性;中国海
中图分类号:P733 **文献标志码**:A **文章编号**:1003-2029(2017)05-0081-07

海浪是海洋动力学的重要研究内容。早期对于海浪的观测主要依赖于现场浮标获得的时间序列的海浪有效波高数据,在时间和空间上具有局限性。随着空间卫星技术和传感器技术的发展,海浪观测有了新的技术手段。星载合成孔径雷达 SAR (Synthetic Aperture Radar) 是一种主动式微波成像雷达,具有全天候海浪方向谱观测能力,这是海洋浮标所不可比拟的。SAR 对海浪的独特观测能力始于 1978 年 Seasat-A/SAR 数据。20 世纪 90 年代,以欧空局发射的 ERS-1、2/SAR 和 Envisat/ASAR 为代表,世界各国发射的星载 SAR 为海浪研究和预报提供了强有力的支持。Hasselmanns et.al (1991) [1]首次提出了卫星 SAR 海浪图像谱与海浪方向谱之间的非线性理论关系,并基于数据同化的概念提出了从 SAR 图像反演海浪方向谱的方法 MPI (Max Planck Institute)。随后,诸多学者展开了 SAR 反演海浪方向谱的研究[2-7]。

传统的海浪场时空分布特性统计分析一般包括 :波高波向季节特征分析,波高年变化趋势,风/浪变化关系,峰值波高和波周期空间分布等。数据源主要是浮标、科学考察船等实测数据,卫星高度计测量的有效波高值数据以及海浪数值预报模式数据。前人基于以上数据对中国海海浪场的研究表明[8-10] :有效波高冬季最大,春季最小 近 20 多年,海浪有效波高每年增加 0.005~0.03 m。我国不仅是一个陆地大国,也是一个海域广阔、海岸线漫长的海洋大国。要加强海洋的开发利用,首先要对它有整体了解。海浪是海洋中最常见的现象,熟悉和掌握其时空分布规律,对保障海上通道安全、海洋减灾防灾都有重大意义。

本文基于 Hasselmanns 提出的 SAR 反演海浪方向谱的 MPI 算法,处理了 2003 年 1 月-2012 年 1 月的中国海的 Envisat/ASAR 波模式数据,并利用卫星 SAR 数据的海浪方向谱反演结果,统计了海浪有效波高数据,依据海浪浪级的划分依据,分析了中国海的海浪浪级特征。同时应用反演得到的海浪有效波高、平均波周期、平均波向等数据,分析了中国海的海浪时空分布特性,得到一些可供参考的结果。

收稿日期 :2017-09-03
基金项目 :国家自然科学基金资助项目(41206165);山东省科学院基础研究资助项目(科基合字(2015)第 11 号)
作者简介 :刘晓燕(1989-),女,硕士,工程师,主要研究方向为卫星海洋遥感。E-mail:ouclxy@163.com
通讯作者 :杨倩(1980-),女,博士,副研究员,主要研究方向为卫星海洋遥感。E-mail:qian.yang@ymail.com

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 方法与数据

1.1 MPI 反演方法

星载 SAR 并非对海浪直接成像，SAR 仅与海面短重力波或毛细波相互作用而成像。由于海浪对海面短重力波的调制作用，因而在 SAR 图像上可观测到作为调制信号的海浪信息，表现为明暗相间的波纹图像。从 SAR 图像可以反演获得海浪方向谱。Hasselmanns (1991) 推导出从海浪方向谱到 SAR 图像谱的非线性变换关系，同时提出通过迭代求逆方法得到最优海浪方向谱的 MPI 反演算法。MPI 反演流程图见图 1。

本文在此只给出 SAR 对海浪成像的完全非线性关系的表达式 (1) 及其一阶近似准线性表达式 (2) (详细推导过程见 Hasselmanns 1991)：

$$P^{S}(\boldsymbol{k})=\exp(-k_x^2\xi'^2)\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=2n-2}^{2n}(k_x\beta)^m P^{S}_{n,m}(\boldsymbol{k}) \tag{1}$$

式中：n 表示非线性阶数；m 为速度聚束参数 β 的阶数；k_x 方位向波数。

$$\dot{P}^{\cdot}_{ql}=\dot{H}^{\cdot}_{k}\frac{F_k}{2}+\dot{H}^{\cdot}_{-k}\frac{F_{-k}}{2} \tag{2}$$

式中：P^{R}_{ql} 为纯 RAR 谱；P^{Vb}_{ql} 为纯准线性速度聚束谱；P^{int}_{ql} 为准线性干涉项。

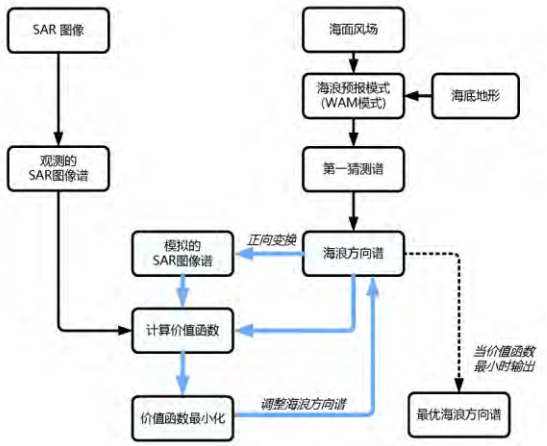


图 1 MPI 反演算法流程图

图 1 MPI 算法的框架核心是一个迭代求逆过程。需要 SAR 图像谱和第一猜测谱作为输入项。通过迭代来不断修改海浪方向谱，使得第一猜测谱通过非线性变换得到的模拟 SAR 图像谱尽量接近观测的 SAR 图像谱。定义了价值函数 J (式 3)，当 J 取最小值时所得的海浪方向谱 $F(k)$ 为最适海浪方向谱。

$$J=\int[P(\boldsymbol{k})-\hat{P}(\boldsymbol{k})]^2\,\mathrm{d}\boldsymbol{k}+\mu\int\left[\frac{F(\boldsymbol{k})-\hat{F}(\boldsymbol{k})}{B+\hat{F}(\boldsymbol{k})}\right]^2\mathrm{d}\boldsymbol{k} \tag{3}$$

式中：$\hat{P}(k)$ 为观测 SAR 图像谱。$P(k)$ 为最优 SAR 图像谱。$\hat{F}(k)$ 是由海浪数值预报模式得到的第一猜测谱。$F(k)$ 代表最适海浪方向谱。

1.2 数据介绍

1.2.1 SAR 波模式数据 Hasselmanns 提出的 MPI 迭代循环需要观测的 SAR 图像谱作为输入项。本文用于反演海浪方向谱的数据是 Envisat_ASAR 波模式单视复数据 Level 1B 产品 ASA_WVI_1P，来源于欧空局 ESA。其数据是大小为 10 km×5 km 的小图像，在轨道方向的间距为 100 km，极化方式为 VV 或 HH。每天在全球海域可得到大约 2 500 幅小图像。

1.2.2 数值预报模式数据 MPI 反演算法需要海浪数值预报模式提供初猜谱信息。本文第一猜测谱使用的是 WAM cycle4.5 的数值模式结果。WAM 的运行需要风场和地形数据驱动。本文采用 ECMWF ERA40 再分析模式风场数据作为 WAM 运行所需的风场和地形数据，其空间分辨率为 1°x1°，时间间隔为 6 h。地形数据来自 TerrainBase Global Land Elevation and Ocean Depth (tbase)，其空间分辨率为 5′。

1.2.3 海浪等级 目前，在国民经济和海军部门采用海浪级别 (或海况级别) 的概念来描述海浪。按照有效波高的范围可对海浪进行等级划分。国家海洋局对海浪等级进行划分如表 1 所示。

表 1 海浪级别与海浪有效波高的对照表

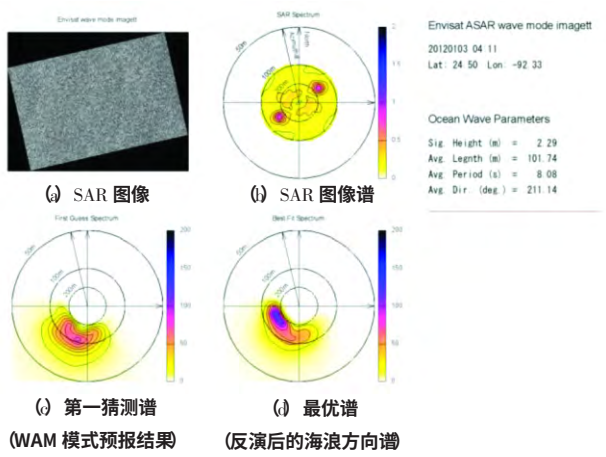
海浪级别	有效波高/m
微浪(1 级)	H_s<0.1
小浪(2 级)	0.1≤H_s<0.5
轻浪(3 级)	0.5≤H_s<1.25
中浪(4 级)	1.25≤H_s<2.5
大浪(5 级)	2.5≤H_s<4.0
巨浪(6 级)	4.0≤H_s<6.0
狂浪(7 级)	6.0≤H_s<9.0
怒涛(9 级)	H_s≥14.0

2 结果与分析

2.1 反演结果

图 2 是一幅 SAR 反演海浪方向谱的结果示例图，表示的是原始 SAR 图像和它对应的反演结果。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) SAR 图像　(b) SAR 图像谱

(c) 第一猜测谱 (WAM 模式预报结果)　(d) 最优谱 (反演后的海浪方向谱)

图 2　MPI 算法反演结果

左上角为 SAR 图像，右上角为 SAR 图像谱，由 SAR 图像通过 FFT 变换得到；左下角为第一猜测谱，是 WAM 模式预报结果，右下为最优谱，即反演后的海浪方向谱。并且可以得到海浪的有效波高、平均波长、平均周期、平均波向等海浪参数。该算法中国海的反演误差为 4.9%[11]。

2.2　中国海海浪浪级特性研究

本文利用 2003 年 1 月–2012 年 1 月年间的 Envisat 波模式数据反演海浪方向谱，共获得中国海海浪方向谱观测数据 58 246 个。由反演的海浪方向谱得到海浪有效波高值，依据海浪浪级的划分依据，统计并分析了中国海的海浪浪级特征。表 2 为 2003 年 1 月–2012 年 1 月期间中国海及其附近海域 (0~50°N，100°~150°E) 各级海况出现的年平均概率及季度平均概率，表 3 为各级海况出现的月平均概率。可以看出，全年中国海的 3~4 级海况年出现概率高达 85%；5~6 级海况出现概率约 12.6%；7 级以上海况出现概率不到 1%。每年 4–10 月份，5 级以上海况出现频率较低。11 月份开始，出现大浪 (5 级) 的频率开始增加。

表 2　2003–2012 年中国海全年及各个季度不同浪级的海浪出现的概率

海浪级别	有效波高/m	年出现概率	春季	夏季	秋季	冬季
微浪(1 级)	H_s<0.1	1.7%	1.5%	2.6%	1.9%	0.5%
小浪(2 级)	0.1≤H_s<0.5					
轻浪(3 级)	0.5≤H_s<1.25	56.9%	57.6%	71.2%	64.2%	34.6%
中浪(4 级)	1.25≤H_s<2.5	27.9%	28.5%	18.8%	23.7%	40.7%
大浪(5 级)	2.5≤H_s<4.0	9.2%	7.8%	5.4%	7.4%	16.5%
巨浪(6 级)	4.0≤H_s<6.0	3.4%	3.5%	1.5%	2.1%	6.4%
狂浪(7 级)	6.0≤H_s<9.0	0.73%	0.9%	0.43%	0.5%	1.1%
狂涛(8 级)	9.0≤H_s<14.0	0.06%	极小	0.03%	0.03%	0.1%
怒涛(9 级)	H_s≥14.0	极小	极小	极小	极小	极小

表 3　2003–2012 年中国海累月不同浪级的海浪出现概率

浪级/频率/月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1~2 级	0.2%	0.6%	1.1%	2.5%	1.1%	2.1%	2.7%	3.2%	3.0%	1.6%	1.2%	0.8%
3 级	25.4%	37.2%	43.5%	60.3%	69.0%	77.7%	68.1%	67.7%	76.1%	69.0%	47.5%	41.2%
4 级	40.7%	43.2%	35.3%	28.1%	22.1%	16.9%	20.0%	19.4%	16.8%	23.2%	31.3%	38.2%
5 级	21.3%	14.2%	11.9%	6.8%	4.8%	3.1%	6.0%	7.0%	3.5%	5.0%	13.6%	14.0%
6 级	9.7%	4.4%	6.5%	1.8%	2.1%	0.2%	2.0%	2.2%	0.5%	0.9%	4.9%	5.0%
7 级	2.3%	0.4%	1.6%	0.4%	0.8%	极小	0.9%	0.4%	极小	0.2%	1.3%	0.7%
8 级	0.3%	极小	极小	极小	极小	极小	0.1%	极小	极小	极小	0.1%	0.1%
9 级	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小	极小

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

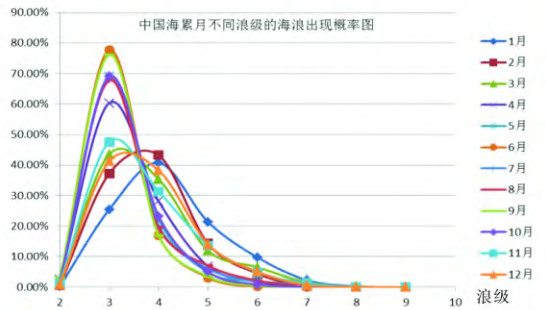


图 3 中国海累月不同浪级的海浪出现概率分布图

直观表示中国海累月不同浪级的海浪出现概率分布情况，如图 3 所示。可以看出其分布符合一定的规律。本文通过拟合方法得出该规律符合高斯分布函数：

$$f(x)=a*\exp(-((x-1-b)/c)\hat{}2) \tag{4}$$

分别拟合中国海 1–12 月不同浪级的海浪出现概率分布函数，得到系数 a，b，c 的值，见表 4。

表 4 中国海 1–12 月不同浪级的海浪出现概率分布函数的拟合系数 a，b，c 值

参数	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
a	0.404 5	0.489 7	0.498 6	0.707 8	0.842 5	0.862 7	0.758 7	0.741 0	0.822 2	0.820 5	0.539 3	0.479 1
b	2.996	2.668	2.466	2.296	2.279	2.202	2.222	2.207	2.181	2.271	2.371	2.567
c	1.364	1.139	1.036	0.735 6	0.623 7	0.625	0.674 6	0.686 4	0.650 3	0.649 6	0.915 8	1.142

图 4 显示了各个月份的拟合系数 a,b,c 值，中国海不同浪级的海浪出现概率分布函数的拟合系数 a，b，c 值有一定的分布规律。5–10 月份，中国海的 b，c 值基本不变，a 值略有差异；10 月到次年 4 月份，以 1 月份为界，系数 a 的值先减小后增大，b，c 值先增大后减小，且都符合函数 $f(x)=p1*x\hat{}2+p1*x+p3$。通过拟合，得到 a，b，c 符合如下分布规律：

$$a=\begin{cases}0.81, & \text{month}=5,6,7,8,9,10\\ 0.03x\hat{}2-0.18x+0.70 & \begin{cases}\text{month}=11,12,1,2,3,4\\ x=1,2,3,4,5,6\end{cases}\end{cases}$$

$$b=\begin{cases}2.23, & \text{month}=5,6,7,8,9,10\\ -0.08x\hat{}2+0.51x+1.94 & \begin{cases}\text{month}=11,12,1,2,3,4\\ x=1,2,3,4,5,6\end{cases}\end{cases} \tag{3}$$

$$c=\begin{cases}0.65, & \text{month}=5,6,7,8,9,10\\ -0.07x\hat{}2+0.45x+0.54 & \begin{cases}\text{month}=11,12,1,2,3,4\\ x=1,2,3,4,5,6\end{cases}\end{cases}$$

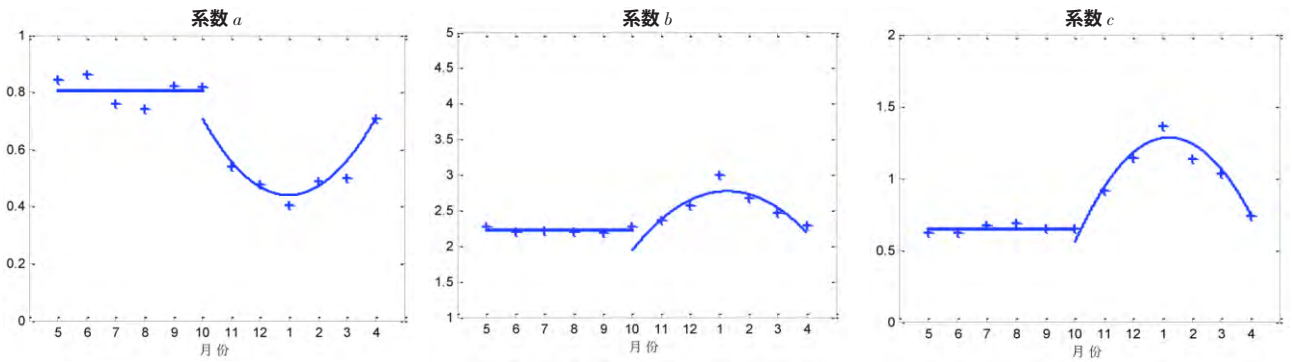


图 4 中国海累月不同浪级海浪出现概率分布函数系数拟合图

2.3 中国海海浪时空分布特性研究

2.3.1 黄渤海海域海浪特征分析 图 5 是黄渤海海域的海浪浪向（本文海浪的浪向指的是其传播方向）及有效波高的统计图，结合波周期，该海域的海浪特征分布如下：

春季，由于温带气旋活动频繁，渤黄海海域的浪向分布较为散乱。总体以 W–SW–WSW 向频率最多，约为 29%。次多浪向为 NNW–N–NNE，频率 24%。平均波高在 1.2 m 左右，平均波周期约 5.6 s。

夏季，受来自太平洋的西南季风的影响，浪向以 N–NNW–NW 为主，偏北向的总频率达 55%。平均波高在 1.2 m 左右，平均波周期约 6.5 s。

秋季，渤黄海的海浪传播方向转为西偏南方向（WSW–SSW），频率达 45%，次多浪向以 S，W 为主。平均波高在 1.3 m 左右，平均波周期约 6.1 s。

冬季，渤黄海海域盛行西北风，该海域的海浪浪向以 SSE 向为主，频率 24%。次多浪向 SE，S，频率分别约为 21%，19%。平均波高在 1.8 m 左右，平均波周期约 6.2 s。

2.3.2 东海海域海浪特征分析 图 6 是东海海域

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的海浪浪向及其有效波高的统计图，结合波周期，该海域的海浪特征分布如下：

春季，东海处于东北季风向西南季风的过渡时期，海浪传播方向以 WNW–W–WSW 向为主，总频率达 33%。平均波高在 1.6 m 左右，平均波周期约 6.6 s。

夏季，东海海域受太平洋西南季风的影响，海浪以向北 (NW–N–NE) 传播为主方向，浪向频率 55%；次多浪向为 WNW、ENE 向，频率约为 12%，8%。平均波高在 1.4 m 左右，平均波周期约 6.6 s。

秋季，东海处在西南季风向东北季风转换时期，此时海浪的传播方向由偏北(NW–N–NE)向转为偏西南向。最多浪向以 WSW–SW–SSW 为主，频率在 38% 左右。平均波高 1.7 m 左右，平均波周期约 6.9 s。

冬季，东海的浪向以 S–SSE–SE 向为主，频率分别约为 16%，18%，12%。偏南向(SW–SSW–S–SSE–SE)浪的总频率约为 63%。平均波高在 2.1 m 左右，平均波周期约 7.2 s。

2.3.3　南海海域海浪特征分析　图 7 是南海海域的海浪浪向及有效波高的统计图，结合波周期，该海域的海浪特征分布如下：

春季，南海海域主浪向为 WSW 向，频率约为 30%；次多浪向为 W，SW 向，浪向频率约为 20%，19%。平均波高在 1.2 m 左右，平均波周期约 6.0 s。

夏季，南海海域盛行西南风，海浪传播方向以 NNE–NE–ENE 向为主，频率分别为 17%，16%，14%，总计达 47%；其次是向北(NNW–N)传播的海浪，频率总计约为 17%。平均波高在 1.1 m 左右，平均波周期约 5.9 s。

秋季，南海海域海浪传播方向转为以 WSW–SW 方向，总频率为 35%左右；次多浪向为 W，SSW，频率分别约为 12%，10%。平均波高在 1.2 m 左右，平均波周期约 6.2 s。

冬季，南海海域的最多浪向为 WSW 向(26%)和 SW 向(25%)，总频率约为 51%；次多浪向以 W、SSW 为主，频率分别约为 12%，14%。平均波高在 1.9 m 左右，平均波周期约 7.2 s。

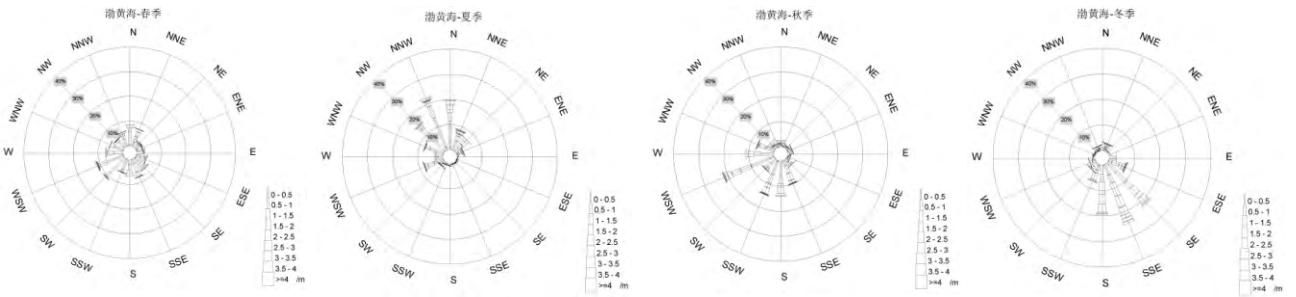


图 5　黄渤海海域春、夏、秋、冬 (从左到右) 海浪平均有效波高及浪向统计玫瑰图

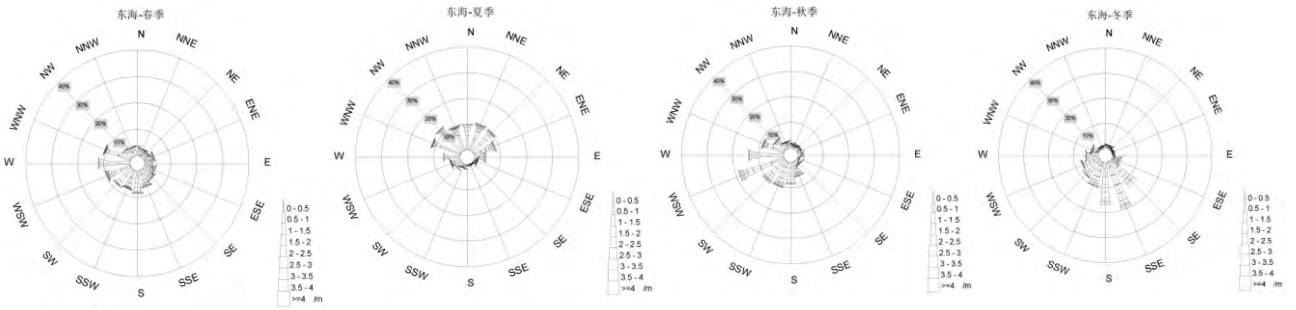


图 6　东海海域春、夏、秋、冬 (从左到右) 四季海浪平均有效波高及浪向统计玫瑰图

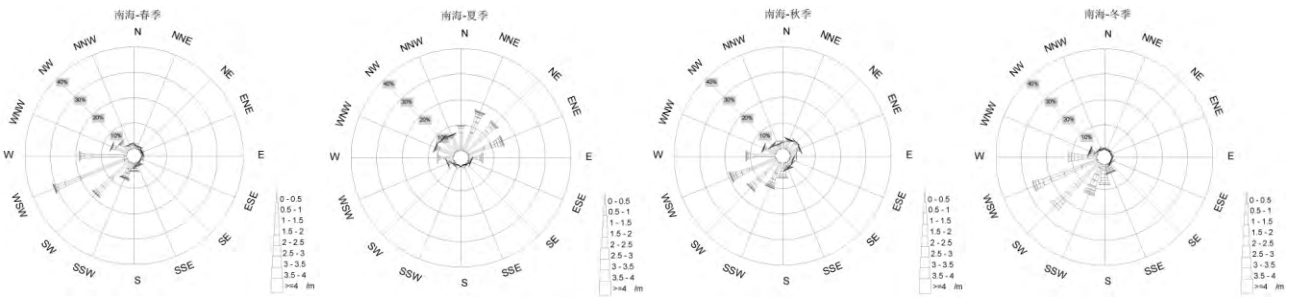


图 7　南海海域春、夏、秋、冬 (从左到右) 海浪平均有效波高及浪向统计玫瑰图

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 结 论

本文利用卫星 SAR 观测数据基于 MPI 算法反演得到了 2003 年 1 月–2012 年 1 月中国海海浪方向谱，进而计算得到海浪参数，包括有效波高、平均波周期和平均波向。将各海浪参数进行统计分析，依据海浪浪级的划分，分析了中国海海浪浪级的分布特点，发现了一些分布规律：(1) 中国海 3~4 级海况的年出现概率最高，达 85%；(2) 中国海累月不同浪级的海浪出现概率分布符合高斯分布函数：$f(x)=a*\exp(-((x-1-b)/c)\hat{}2)$；(3) 分析上述高斯分布函数的拟合系数 a，b，c，发现其分布规律性有 5–10 月份，b，c 值基本不变，a 值略有差异；10 月到次年 4 月份，以 1 月份为界，系数 a 的值先减小后增大，b，c 值先增大后减小，a，b，c 都符合函数 $f(x)=p1*x\hat{}2+p1*x+p3$ 分布规律。

结合有效波高、平均波向和平均波周期数据详细分析了黄渤海、东海和南海的海浪场时空分布特性。发现春季，由于温带气旋活动频繁，渤黄海海域的浪向分布较为散乱，总体以 W–SW–WSW 浪向为主，东海处于东北季风向西南季风的过渡时期，海浪传播方向以 WNW–W–WSW 向为主，南海主浪向为 WSW 向；夏季，渤黄海以 N–NNW–NW 浪向为主，东海以 NW–N–NE 浪向为主，南海以 NNE–NE–ENE 浪向为主；秋季，渤黄海以 WSW–SSW 浪向为主，东海以 WSW–SW–SSW 浪向为主，南海以 WSW–SW 浪向为主；冬季，渤黄海以 SSE 浪向为主，东海以 S–SSE–SE 浪向为主，南海以 WSW–SW 浪向为主；该统计结果将对中国海海域的重大和特大灾害性海浪的研究有一定参考价值。

参考文献：

[1] 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 Oceans, 1991, 96(C6):10713-10729.

[2] Krogstad H E. A simple derivation of Hasselmann's nonlinear ocean-synthetic aperture radar transform [J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 1992, 97(C2):2421-2425.

[3] Brüning C, Schmidt R, Alpers W. Estimation of the ocean wave – radar modulation transfer function from synthetic aperture radar imagery[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2012, 99(C5):9803-9816.

[4] Engen G, Johnsen H. SAR-ocean wave inversion using image cross spectra [J]. Geoscience & Remote Sensing IEEE Transactions on, 1995, 33(4):1047-1056.

[5] Schulz-Stellenfleth J, Lehner S, Hoja D. A parametric scheme for the retrieval of two-dimensional ocean wave spectra from synthetic aperture radar look cross spectra[J]. Journal of Geophysical Research Oceans, 2005, 110(C5):1-7.

[6] Hasselmann S, Brüning C, Hasselmann K, et al. An improved algorithm for retrieval of ocean wave spectra from synthetic aperture radar image spectra[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1996, 101(C7):16,615-16,629.

[7] 李晓明. ENVISAT 卫星 ASAR 波模式数据海浪反演算法研究[D]. 青岛：中国海洋大学, 2010.

[8] 谢冬梅, 陈永平, 张长宽. 东中国海波浪分布特征研究[J]. 水运工程, 2012(11):189-196.

[9] 李训强, 郑崇伟, 苏勤,等. 1988—2009 年中国海波候、风候统计分析[J]. 中国海洋大学学报：自然科学版, 2012(s1):1-9.

[10] 郑崇伟, 刘志宏, 刘寒. 中国海浪级频率、极值波高特征分析[J]. 气象水文装备, 2012(2):42-45.

[11] 刘晓燕. SAR 反演海浪方向谱及其在中国海和西北太平洋的特性[D]. 青岛：中国海洋大学, 2014.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Research on the Wave Characteristics of China's Seas Based on SAR Directional Ocean Wave Spectra

LIU Xiao-yan[1], YANG Qian[1], ZONG Fang-yi[1], ZHANG Xiao-nan[1], ZENG Kan[2], WU Cheng-xuan[1]

1. *Institute of Oceanographic Instrumentation, Shandong Academy of Sciences, Qingdao* 266001, *Shandong Province, China;*

2. *Ocean Remote Sensing Institute, Ocean University of China, Qingdao* 266003, *Shandong Province, China*

Abstract: In this paper, the MPI method proposed by Hasselmanns are used to retrieve the directional ocean wave spectra from SAR data. Its applicability has been validated with the retrieve error 4.9% by Liu xiaoyan (2014). The directional ocean wave spectra over the China's seas during the period between Jan. 2003 and Jan. 2012 were retrieved from Envisat/ASAR data provided by ESA. Then the retrieved significant wave heights, average wave direction and average wave period are counted to comprehensive analysis the spatial-temporal characteristics of China's seas. Some valuable results are acquired when analyzing the characteristics of the ocean wave state which is subdivided to nine grades according to the counted significant wave heights: (1) The highest occurrence probability of the wave condition in China's seas are level 3-4, up to 85%; (2) The distribution probability of different level waves appear in different months is in line with Gaussian distribution function in China's seas: f(x)=a*exp(-((x-1-b)/c)^2); (3) The fitting coefficient *a*, *b*, *c*, also has certain distribution regularity after analyzing the Gaussian distribution function. Then the SWH data, average wave direction data and average wave period data were combined to respectively analyze the spatial-temporal characteristics of various sea areas in China's seas, such as Bohai Sea, Yellow Sea, East China Sea and South China Sea. The results will be of great reference value to the research on the major and severe sea wave disasters in China's sea areas.

Key words: SAR; directional ocean wave spectra; SWH; ocean wave characteristics; China's seas

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net