

基于ERA-Interim资料近37年南海波浪时空特征分析

易风, 冯卫兵, 曹海锦

(河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 基于ECMWF的ERA-interim37a的风场及海浪场再分析资料,探讨了南海海域波浪的时空分布特征,主要分析了波浪场和风场的空间分布、季节特征以及4个海域(南沙、西沙、中沙、东沙)波高与周期的联合分布以及南海波高的长期变化趋势。结果表明:南海海域的有效波高大值区呈东北-西南走向,且具有明显季节性变化特征,波高与风速以及波向与风向整体相关性较好;有效波高和波周期有良好的对应关系,不同区域波高与周期联合分布相近。1979—2015年期间,南海大部分海域的有效波高呈逐年递增趋势,其量值约为0.2~0.8 cm/yr。本文的研究成果,对南海远洋运输、海洋工程设计、岛礁建设及海洋能开发与利用等有着重要的参考价值。

关键词: 南海;有效波高;季节特征;长期变化

中图分类号: P731.22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)01-0044-08

1 引言

随着“一带一路”的全球化战略部署,中国在21世纪海上丝绸之路上的航运、港口建设等活动也日益频繁,而黄金通道南海是海上“丝绸之路”的最主要出口。南海属于台风多发海域,并处于季风变换带,岛屿和暗礁众多,海浪特征复杂。因此南海的波浪要素的区域分布特征及其季节、年际变化等研究,对能源开发、航海安全、海洋工程、国防建设等都具有重要的意义。

从20世纪80年代起,我国学者对南海海域的风、浪特征进行了大量的研究。姚国权等^[1]选取国家海洋局南海6个测站的观测资料,统计分析了主波向、年极值波高及其所对应的波周期。齐义泉等^[2]利用GEOSAT卫星高度计资料对南海海域风、浪的季节变化特征进行了统计分析,经过验证效果较好,但对于大风过程,遥感资料可能带来较大的测量误差。周良明等^[3]采用WAVEWATCH-III波浪模式,对南海的海浪特征进行了模拟分析,与大量的T/P高度计波浪资料和部分台风资料进行对比后发现,波

浪计算结果较好。宗芳伊等^[4]应用SWAN得到南海海域1986—2005年较高分辨率的波浪场,计算了南海海域的波浪能流密度,对南海海域波浪能资源进行了研究。梅勇等^[5]采用WAVEWATCH-III波浪模式对印度洋及南海的波浪场、风场的年际变化特征进行了讨论。沈春等^[6]基于QuikSCAT海面风场产品,对海面风场资料进行了EOF分析和随机动态分析,以此分析南海海面风场的变化特征。以往研究南海波浪的时间跨度较短,缺少对波高、波向以及风速、风向系统的分析,并且针对南海波浪波高长期变化趋势的研究较少,此外,数据集精度也限制了其发展。本文将利用欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)近37 a的波浪场、风场数据对南海海域的波浪、风的时空特性进行系统的分析。

2 资料来源

欧洲中尺度天气预报中心的再分析同化数据集 ERA-Interim^[7](网址: <http://apps.ecmwf.int/data->

收稿日期: 2017-04-26; 修回日期: 2017-06-03。

基金项目: 中交2015—1号重大课题(2015-ZJKJ-01)。

作者简介: 易风(1993—),男,硕士在读,主要从事波浪方面的研究。E-mail:723945231@qq.com

sets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/), 数据是由大气同化系统同化常规资料和卫星观测资料获得, 向全球用户提供最新的全球大气数值预报再分析资料。而最新的 ERA-Interim 数据集是在早期资料 ERA-15 和 ERA-40 产品的基础上进行了升级, 耦合了大气、海洋和陆地模型, 使用了最新的四维变分分析(4D-Var)同化技术, 并且结合改进的湿度分析、卫星数据误差校正等技术, 实现了再分析资料质量的提升, 所以 ERA-Interim 再分析数据提供了更高精度的全球范围内的海浪场和风场数据。万勇等^[8]通过与浮标和高度计的观测结果对比发现, ERA-Interim 提供的海浪场数据在东海和南海离岸深水区域和近岸浅水区域均有较高的精度。这里选用空间分辨率为 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 的波浪场数据, 其时间分辨率为 6 h, 空间范围为 $4^{\circ}\text{S} \sim 24^{\circ}\text{N}$ 、 $104^{\circ}\text{W} \sim 124^{\circ}\text{E}$, 时间范围从 1979 年 1 月 1 日 00:00 时(世界时, 下同)—2015 年 12 月 31 日 18:00 时共 37 a。

3 波候统计分析

利用上述资料分析了南海海域的波浪特征, 主要包括: 波浪场和风场的分布特征、季节特征、不同海域波高与周期的联合分布以及南海波高的长期变化趋势。

3.1 波浪场的全年分布特征

统计分析了 37 a、时间间隔为 6 h 的 ERA-

interim 海浪再分析资料, 多年平均有效波高与波向、风速与风向在南海海域的分布见图 1。

从图中可以看出, 南海平均有效波高呈东北-西南走向, 巴士海峡附近海域波高达 1.7 m 以上, 大部分海域多年平均波高在 0.9~1.8 m, 波周期(图略)在 5.6~7 s, 并且周期的空间分布和有效波高有着良好一致性。平均风速整体分布与波高分布较为一致, 大部分海域平均风速在 5~7.5 m/s, 但是在越南东南海域呈现一个小范围的大值区域, 而同一区域的波高并没有呈现大致区域, 这主要是因为该风速大值区域范围较小且较为近岸, 并没有引起该区域波高较大的变化。南海北部波向以 E 向为主导, 中部为 NE 向, 而南部为偏 N 向, 风向与波向空间分布特征一致性较好。

3.2 波浪场的季节特征

南海热带海洋性季风气候非常明显, 为研究南海波浪场季节变化特征, 将 37 a、时间间隔为 6 h 的有效波高与波向、风速与风向等数据进行多年季节平均, 见图 2—3。

由图 2 可以看出南海有效波高的季节性变化显著, 春(3—5 月)、夏(6—8 月)、秋(9—11 月)、冬(12—1 月)四季平均有效波高整体依次增大, 该规律与宗芳伊^[9]分析得到的结果基本一致。

冬季, 南海受东北信风作用明显, 大部分海域均以 NE 向的风和 NE 向的浪为主, 平均波高在

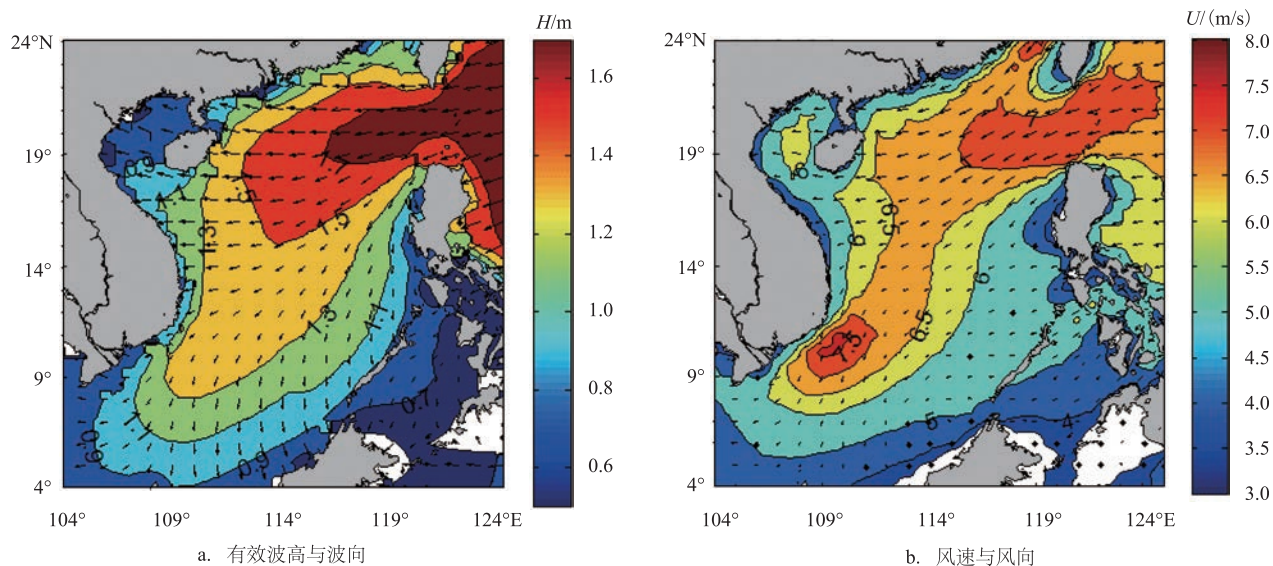


图1 南海年平均波浪场、风场分布

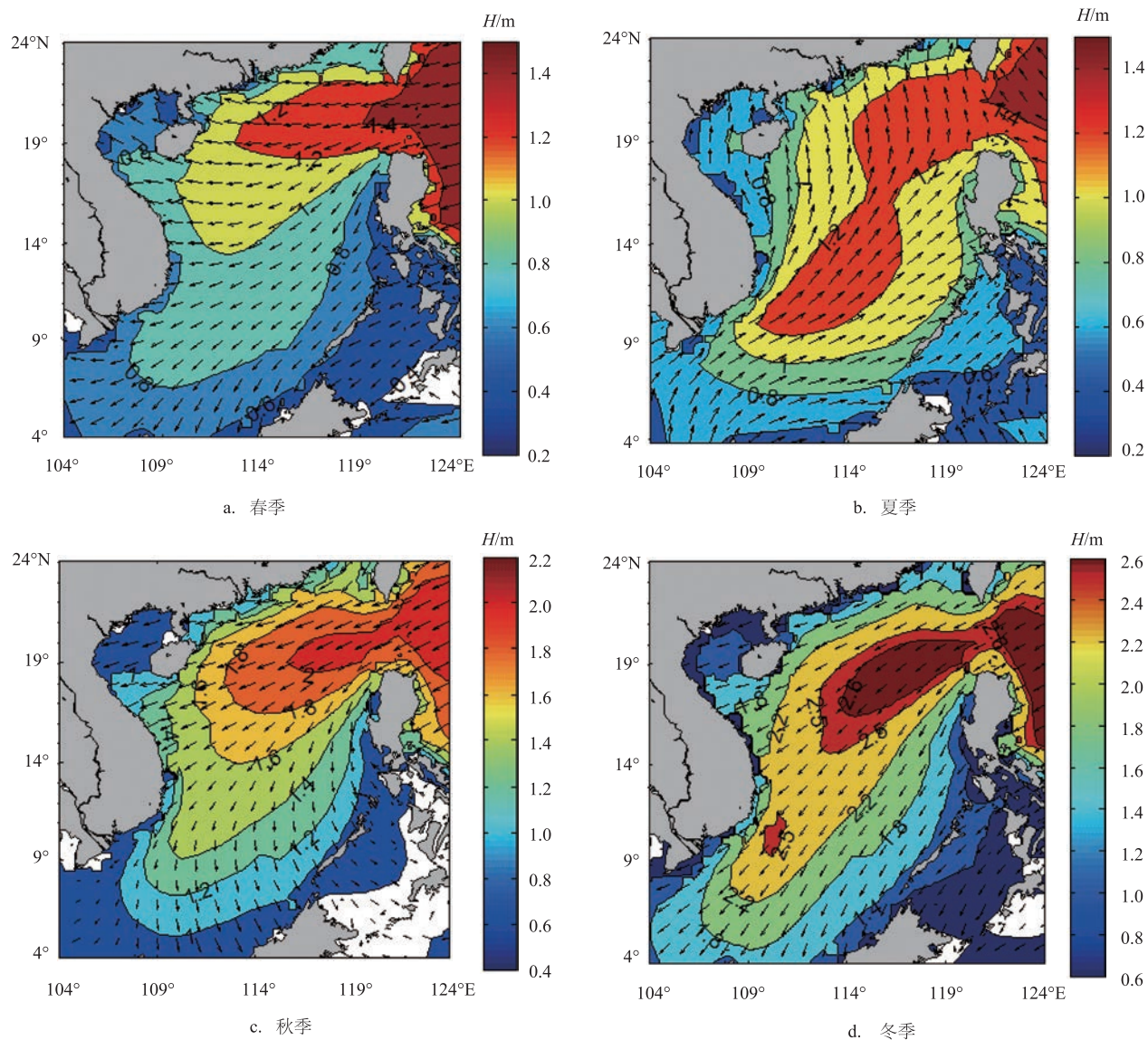


图2 南海海域各季节多年平均有效波高和波向

1.8~2.6 m,达到全年最大值。波高和风速的大值中心吻合,大致呈现东北-西南走向,主要有两个大值中心:南海东北海域和越南东南海域,风速达9 m/s以上,波高分别约为2.6 m和2.5 m。

而春季处于季风转换期间,该区域北部波向和风向以偏E风为主,南部以NE向为主,北部湾则为SE向。平均有效波高全年最小,大部分海域波高处于0.8~1.4 m,只有南海北部平均有效波高在1 m以上;

到了夏季,南海转而受热带与赤道海洋气团的影响,盛行西南季风,波向和风向吻合较好,北部和

南部分别都以S向和SW向为主。大部分海域的平均有效波高都在1 m以上,波高在南北分布上较春季更为平均并有所增大。

秋季同春季一样同属于季风变换季节,风向在南海中部和南部相对紊乱。为了更好的了解南海波向和风向在季风转换的情况,在该区域南部取点P1(113°E, 10°N)进行波浪和风的玫瑰图分析。从图4可以看出,南海夏季和冬季分别受西南季风和东北信风的作用,而秋季处于转换期受西南季风和东北信风的共同作用,风向和波向都以SW向和NE向为主。东北海域平均波高可达2 m以上,大部分

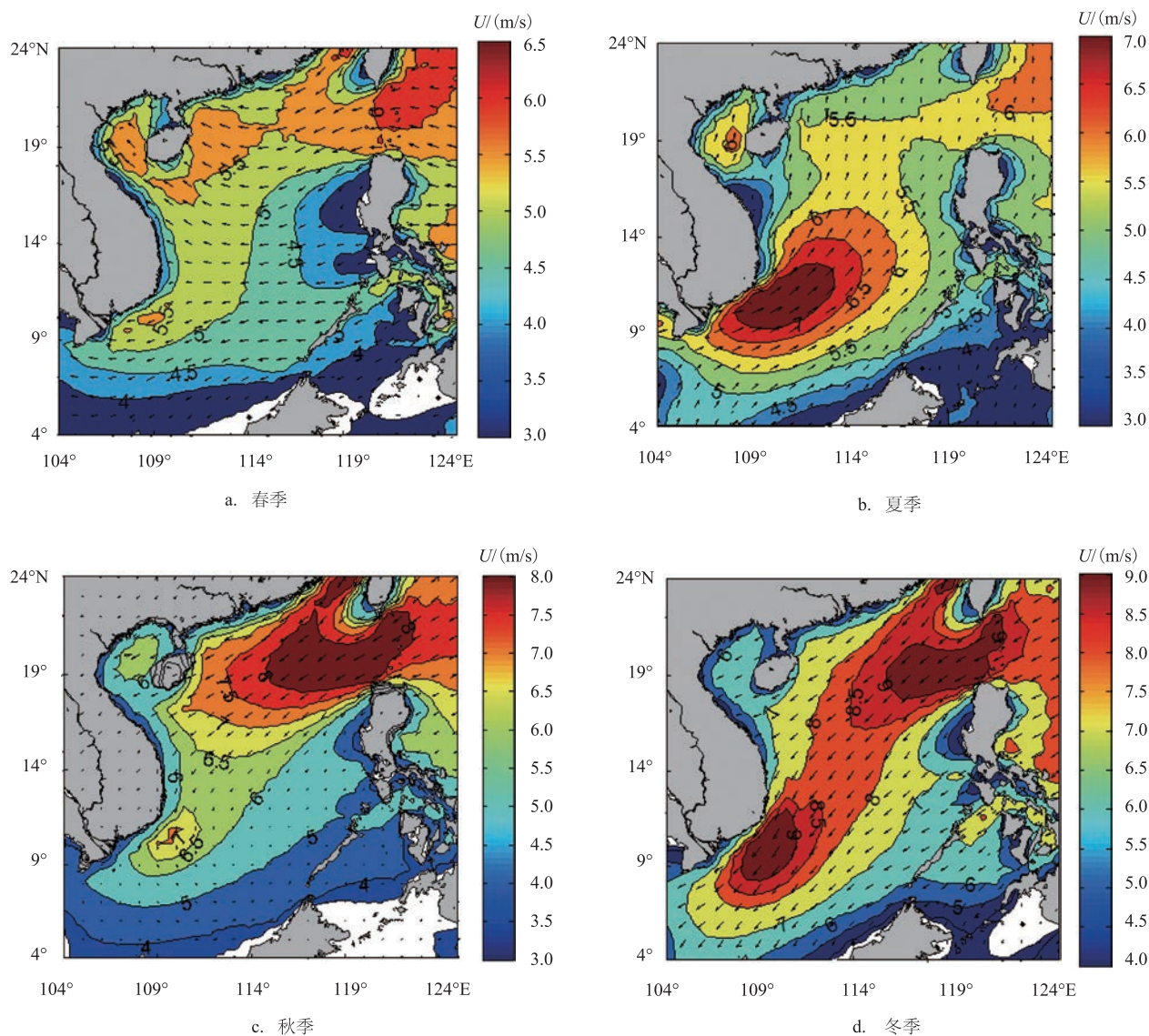


图3 南海海域各季节多年平均风速、风向

海域波高都在1~2 m。

南海波周期(图略)的季节变化特征和有效波高较为相似,冬季的平均波周期达到全年最大,大部分海域波周期基本在6.5 s以上,东北海域的平均波周期超过7.2 s;春季和夏季的波周期分布相近,大部分海域的波周期较小都在5~6.7 s;而在秋季期间,波周期基本在6~7 s,同样也是东北海域波周期较大。

3.3 四大群岛波高与周期的联合分布

为了更清晰的表明各区域的波浪特征,选取4

个代表性区域(南沙、西沙、中沙、东沙)的波高和周期采取空间平均,进行波高周期联合分布的对比分析。令 $x = H/\bar{H}$, $\tau = T/\bar{T}$, 将波高和周期无因次化,统计得出波浪在各个单位区间的概率密度,四大群岛波高与周期联合概率密度分布见图5。

从图中可以看出,不同海域的波高与周期联合分布规律相近,类似于一个上部较尖的椭圆形,波高和周期有良好的对应关系;但是从南沙到西沙群岛,地理位置由南到北,平均有效波高、波周期依次变大,高概率密度区域也逐渐从小波高比、小周期比逐步向平均波高、平均波周期移动;并且可以看

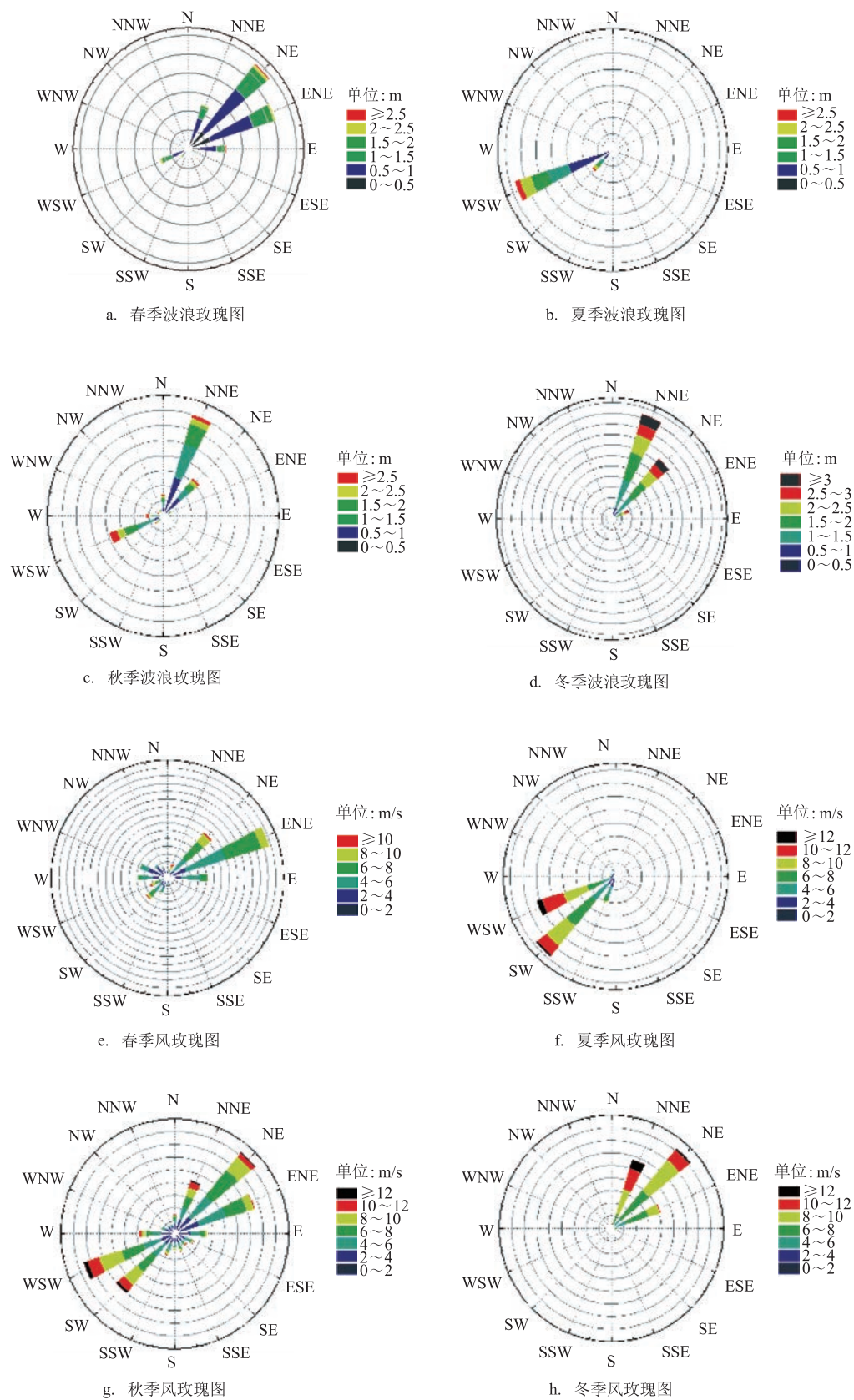
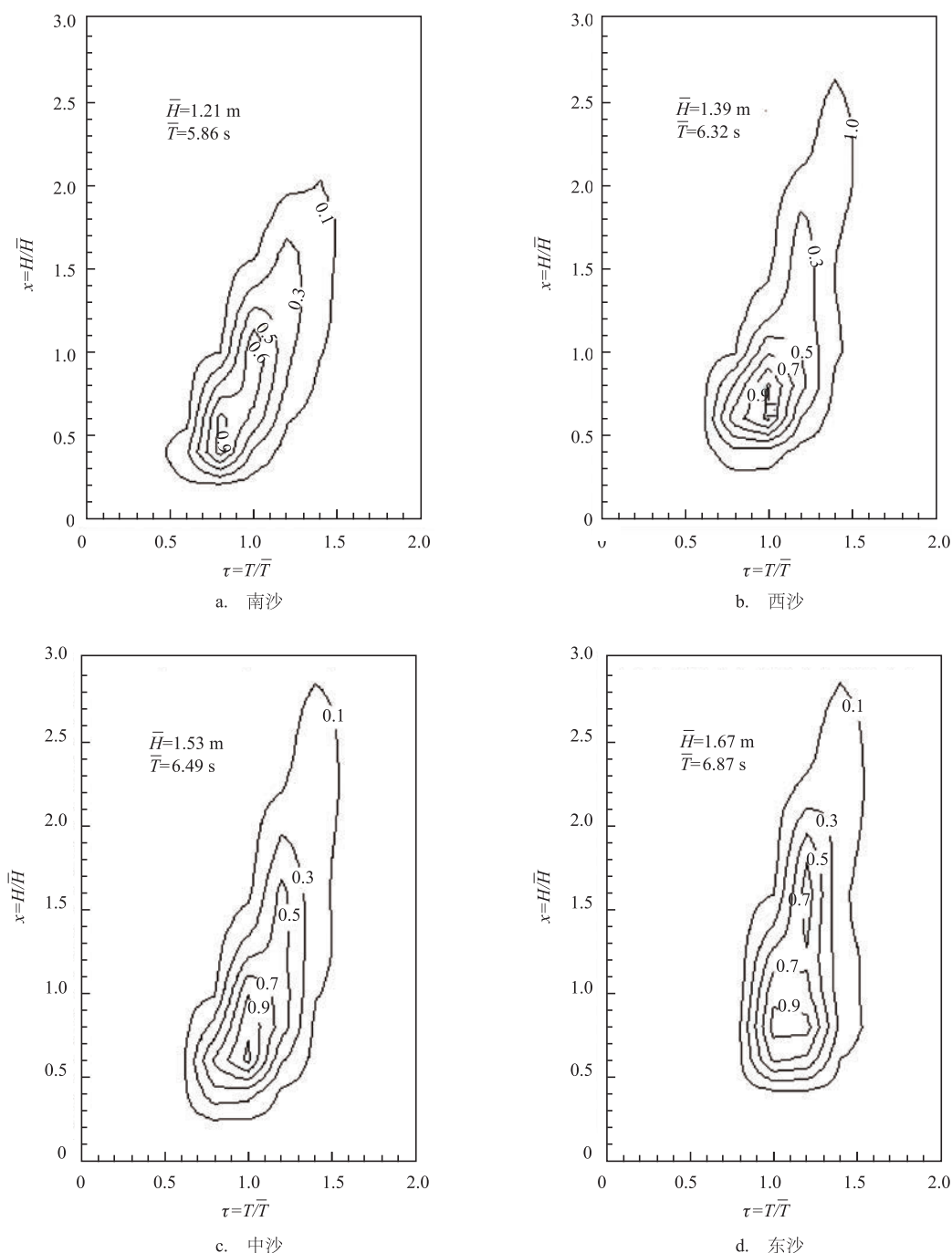


图4 南海P1点波浪与风玫瑰图

图5 不同群岛波高(\bar{H})与周期(\bar{T})联合分布

出,南沙地区整体分布主要集中在小周期比区域,说明该区域以风浪为主,但四大群岛联合分布整体向高周期比区域移动,说明涌浪成分逐步增大,是因为东沙靠近南海与太平洋相通的巴士海峡,有大量的涌浪传入,然后逐步向西南方向消散。

3.4 南海有效波高长期变化趋势

将南海海域有效波高数据 1979—2015 年进行逐年区域平均,分析近 37 a 该海域平均有效波高和风速的整体变化趋势见图 6。

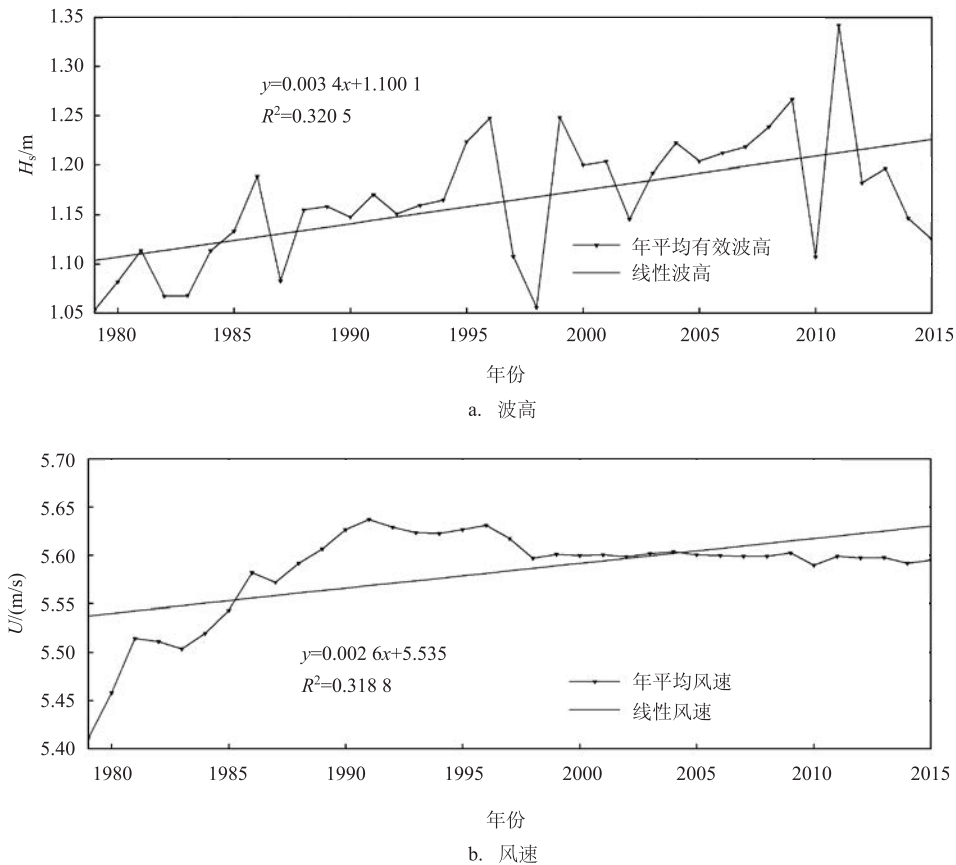


图6 南海海域1979—2009年逐年平均有效波高和风速线性趋势

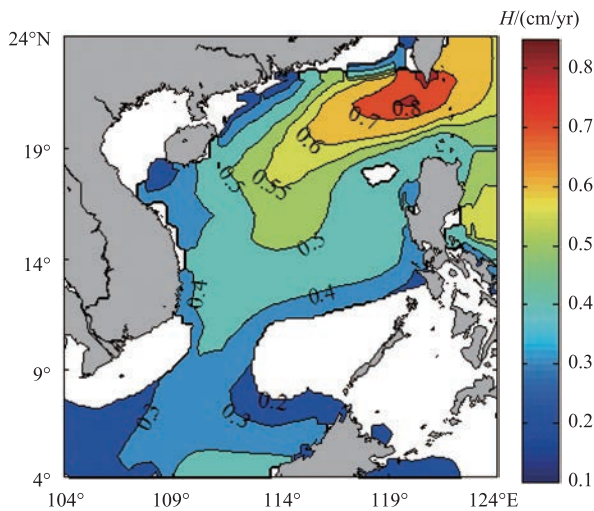


图7 南海海域有效波高的长期变化趋势

风速变化的线性相关系数为0.565 6,通过了99%的置信度检验,但是从图6b可以看出,风速的增长主要集中于1979—1996年,而从1997年以后,

年平均风速基本保持在5.6 m/s附近且波动不大。

波高变化的线性相关系数为0.566 1,通过了99%的置信度检验,线性递增趋势明显,回归系数为0.003 4,即1979—2015年的37 a期间,南海海域的平均有效波高以每年0.34 cm的速度显著性逐年线性递增。从曲线走势来看,除了1996—1999年和2009—2011年两个较大波动之外,整体比较平稳,2011年平均有效波高到达峰值为1.34 m,近37 a最大值与最小值相差近30 cm。

区域平均后再分析线性趋势只能反映出南海海域有效波高的整体变化趋势,但却不能体现出变化趋势的区域性差异。本文还将南海海域 $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ 每个网格点上的有效波高从1979—2015年取逐年平均,分析每个网格点上有效波高的逐年线性趋势(见图7),白色区域表示相关系数大于等于0.408 2,即通过了99%的置信度检验,线性趋势显著)。

由图5a可以明显的看出,1979—2015年期间,

南海大部分海域的有效波高呈显著的逐年线性递增趋势,其量值约为 $0.2 \sim 0.8 \text{ cm/yr}$,与郑崇伟等^[10]分析得到的结果基本一致。而北海湾、越南南部近岸地区以及菲律宾巴拉望岛附近有效波高没有通过置信度检验,表明没有显著的线性趋势;递增趋势相对较强的区域位于巴士海峡附近海域,递增趋势基本在 $0.6 \sim 0.8 \text{ cm/yr}$,逐步向西南方向递减。

4 结论

利用来自 ECMWF 的 ERA-interim 再分析资料,结合风场数据,对南海海域的波浪场进行了系统分析,主要探讨了波高和周期的分布特征、季节特征、四大群岛波高与周期的联合分布以及南海波高的长期变化趋势。得到如下结论:

(1)南海海域的有效波高、波周期的大值区呈东北-西南走向,其变化趋势呈带状分布,大部分海域多年平均有效波高在 $0.9 \sim 1.8 \text{ m}$,周期在 $5.6 \sim 7 \text{ s}$;且具有明显季节特征,波高与风速以及波向与风向整体相关性较好;

(2)南海海域的有效波高和波周期有良好的对应关系,不同海域(四大群岛)波高与周期联合分布整体相近;

(3)1979—2015 年期间,南海大部分海域的有效波高呈逐年递增趋势,其量值约为 $0.2 \sim 0.8 \text{ cm/yr}$,

递增趋势相对较强的区域位于巴士海峡附近海域,而北海湾、越南南部近岸地区以及菲律宾巴拉望岛附近有效波高则没有显著的线性趋势。

参考文献:

- [1] 姚国权, 丁炳灿, 王鉴义, 麻志雄. 南海海浪年极值统计分析[J]. 水利水运科学研究, 1991, 2: 141-150.
- [2] 齐义泉, 施平, 毛庆文. 南海海面风场和浪场季平均特征的卫星遥感分析[J]. 中国海洋平台, 1997, 12(3): 118-12
- [3] 周良明, 吴伦宇, 郭佩芳, 等. 应用 WAVEWATCHIII 模式对南海的波浪场进行数值计算、统计分析和研究[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(5): 1-8.
- [4] 宗芳伊, 吴克俭. 基于近 20 年的 SWAN 模式海浪模拟结果的南海波浪能分布、变化研究[J]. 海洋湖沼通报, 2014, (3): 1-12.
- [5] 梅勇, 宋帅, 周林. 北印度洋-南海海域海浪场、风场的年际变化特征分析[J]. 海洋预报, 2010, 27(5): 27-33.
- [6] 沈春, 蒋国荣, 施伟来, 等. 南海 QuikSCAT 海面风场变化特征分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(3): 1-8.
- [7] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656): 553-597.
- [8] 万勇, 张杰, 孟俊敏, 等. 基于 ERA-Interim 高分辨率数据的中国东海南南海波浪能评估[J]. 太阳能学报, 2015, 36(5): 1259-1267.
- [9] 宗芳伊. 近 20 年南海波浪及波浪能分布、变化研究[D]. 中国海洋大学, 2014.
- [10] 郑崇伟, 付敏, 芮震峰, 等. 经略 21 世纪海上丝路之海洋环境特征: 波候统计分析[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(10): 1-7.

Wave analysis based on ERA-Interim reanalysis data in the South China Sea

YI Feng, FENG Wei-bing, CAO Hai-jin

(College of harbor, coastal and offshore engineering, Hohai university, Nanjing 210098 China)

Abstract: The ERA-interim wave data from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and wave reanalysis data were used to analyze the spatial and temporal distribution characterizes of wave and wind field in the South China Sea (SCS). The joint distribution of islands wave height and period, the long-term trend of the South China Sea wave height were also discussed in this paper. The results show that the distribution of significant wave height in the SCS is from northeast to southwest with an obvious seasonal variation characteristics. The wave height and wave direction have a good correlation with the wind speed and wind direction. The significant wave height has a good correspondence with the wave period. The significant wave height in the most regions of the SCS presents an increasing tendency with a value $0.2 \sim 0.8 \text{ cm/yr}$ from 1979 to 2015.

Key words: the South China Sea; significant wave height; seasonal characteristic; long-term trend