

# 北印度洋-南海海域海浪场、风场的年际变化特征分析

梅勇<sup>1,2</sup>, 宋帅<sup>3</sup>, 周林<sup>1</sup>

(1.解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2.济南军区特种大队气象台, 山东 泰安 271000;  
3.解放军总参谋部气象水文局 北京 100094)

**摘要:**利用1957年9月~2002年8月共45年的逐6小时ERA40 10 m风场, 驱动WAVEWATCH III海浪模式, 得出北印度洋-南海海域3小时一次, 分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的海浪场; 对上述海浪场和对应风场进行EOF分析, 讨论它们的年际变化的特征。研究结果指出: 亚丁湾以东洋面、孟加拉湾和南海都存在海浪和风速场的高值变化中心, 尤其是亚丁湾以东洋面风力最强, 有效波高最高; 赤道印度洋中东部有效波高为高值区可能是南印度洋西风带产生的涌浪向北传播引起的; 北印度洋-南海海域海面风速和有效波高呈线性增强趋势, 海面风速还存在3年左右的周期变化现象。

**关键词:**北印度洋-南海; WW3模式; EOF分析

**中图分类号:**P732 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2010)05-0027-07

## 1 引言

北印度洋、南海海域历来就是沟通太平洋与大西洋的必经海域, 也是中国亚丁湾护航编队的必经之地, 更是中国的一条极其重要的海上能源通道, 具有重要的经济和军事战略意义。由于印度洋北面受大陆环抱的地形影响, 注定了印度洋气候受大陆的影响极大, 并成为世界著名的季风区, 而季风带来海浪的影响对船舶的航行安全至关重要。因此深入了解该海域的海浪和风场的特征显得尤为重要。李培<sup>[1]</sup>等人利用 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格分辨率的气象船舶报资料, 较详细的分析了北印度洋风等海洋气象要素的分布特点及其年变化规律。张弦<sup>[2]</sup>等人同样利用气象船舶报资料, 研究了南印度洋的海浪时空特征。由于印度洋海域的气象水文资料国内并不多, 气象船舶报资料分辨率也不高, 给我们较深入, 较精细地分析该海域海浪场、风场的时空分布特征带来一定的困难。本文利用长达45年(1957年9月~2002年8月)ERA40的10 m风场, 驱动WAVEWATCH III(V2.22)海浪

模式(以下简称WW3), 得出该海域每3 h一次, 分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 共45年的较高精度的海浪场。利用上述资料, 作者<sup>[3]</sup>曾对比WW3模拟45年平均海浪场与ICOADS(综合海洋大气数据集)给出的40年平均海浪场, 得到它们年变化的时空分布相当一致, 表明我们模拟的海浪场是可信的。本文将利用模拟海浪场和卫星等其它资料讨论北印度洋-南海海域海浪场和风场的年际变化特征。

## 2 论文采用的资料

### 2.1 WW3模拟的海浪场

本文利用1957年9月~2002年8月的逐6 h ERA40(欧洲中期天气预报中心ECMWF40年再分析资料)的10 m风场, 驱动WW3海浪模式。模拟区域范围为 $10^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$ ,  $40^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$ , 经纬度网格坐标, 水平分辨率为 $1/2^{\circ} \times 1/2^{\circ}$ , 采用etopo5地形, 有限区的JONSWAP谱初始化方案, 海浪谱频率分布 $0.0418\text{Hz} \sim 0.41\text{Hz}$ , 共25个频段, 方向上离散为24个方向, 方向分辨率为 $15^{\circ}$ 。模式采用

Tolman and Chalikov 风输入和耗散源函数参数化方案, 采用DIA方法计算非线性波-波相互作用源函数。模式的时间积分步长为900 s, 每3 h输出一次模式结果。

ICOADS资料(综合海洋大气数据集)是全球海洋表面观测资料, 由来自许多国家和国际来源的数据集加工合并而成的, 包括来自船只(商业、海军、研究)的测量或观测数据, 系泊浮标和漂浮浮

标数据, 海岸站点数据以及其它海洋台站数据。

本文将1958年~1997年ICOADS 40年平均的逐月海浪场资料(<http://www.ucar/datasets/>)做为观测资料用来检验WW3模拟的海浪场。图1(a-f)分别为ICOADS观测资料(40年平均)和WW3模拟资料(44年平均)得出的北印度洋-南海海域有效波高年变化的EOF的前三个特征向量的空间分布。从图1可以看出WW3模拟的海浪场的时空分布和

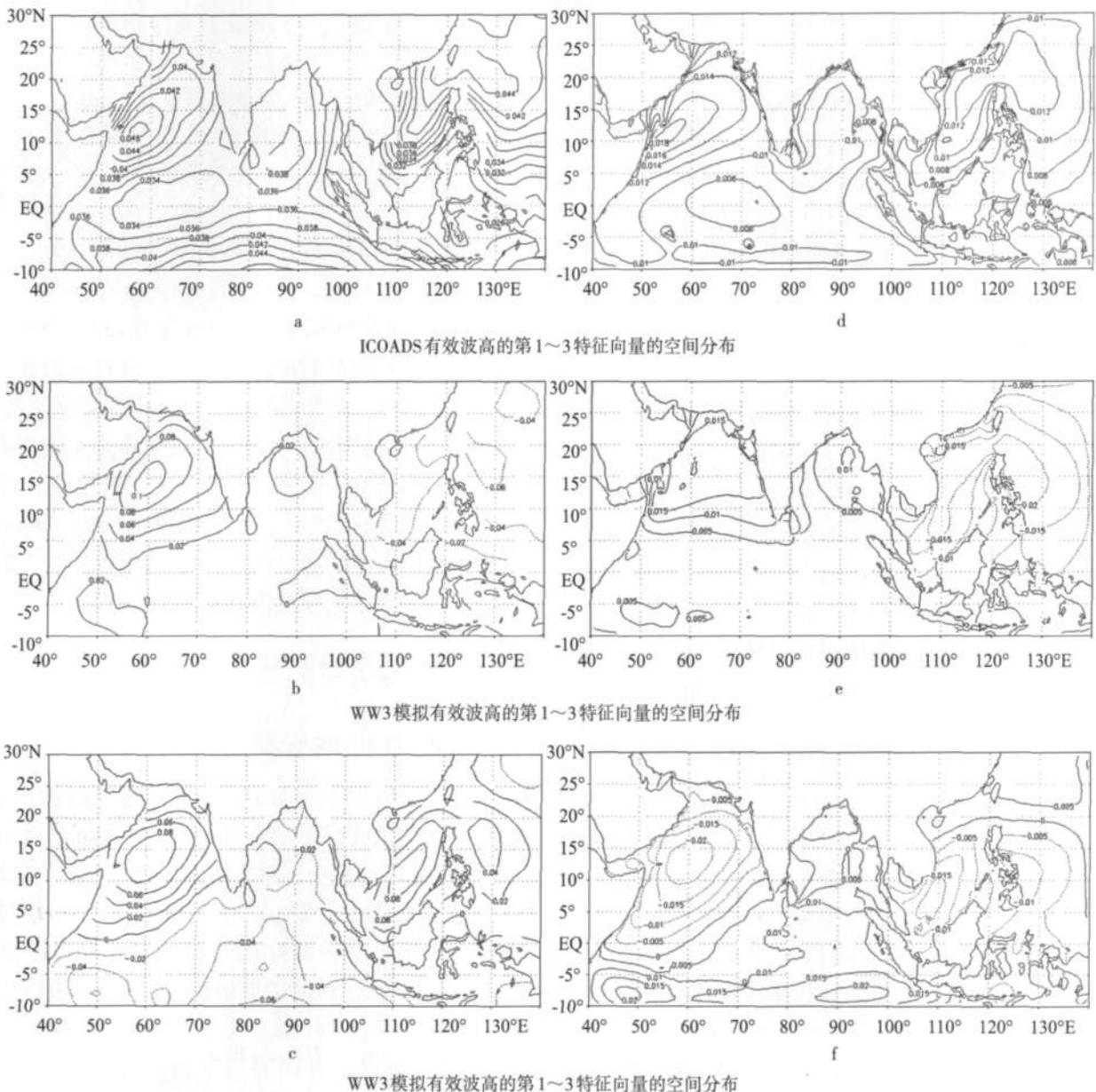


图1 ICOADS有效波高和WW3模拟有效波高多年平均年变化 EOF分析的前3个特征向量的空间分布

表1 年平均有效波高和风场年际变化 EOF 前3个模态占原始场的方差贡献

序号	模式海浪场 方差贡献率	累计贡献率	ERA40风场 方差贡献率	累计贡献率
第一模态	99.49%	99.49%	99.65%	99.65%
第二模态	0.13%	99.62%	0.08%	99.73%
第三模态	0.08%	99.7%	0.05%	99.78%

观测资料基本一致。具体分析见文献<sup>[3]</sup>。

2.2 卫星资料

为了验证和解释模拟结果，本文还利用法国航天局 Aviso 中心发布的融合多颗卫星 1.0°×1.0° 网格 2 天平均的海面有效波高和风场资料 (<http://www.aviso.oceanobs.com/en/data/>)，该数据融合了 TOPEX/POSEIDON, Jason-1, ERS-1/2 以及 Envisat 等卫星资料，同以往卫星高度计资料相比，精度有了较大的提高。此外我们还采用美国国家大气研究中心 (NCAR) 提供的 QSCAT/NCEP 混合卫星风场资料 (0.5°×0.5°) (<http://dss.ucar.edu/datasets/>) 驱动 WW3 海浪模式，比较模拟结果。

3 海浪场、风场的年际变化特征

对 WW3 模式生成的 1958 年 1 月~2001 年 12

月有效波高和同期 ERA40 10 m 风场取逐年平均，分别得到 44 个时次的年平均有效波高场和风场并进行原始场的 EOF 分析，分别得到有效波高、风速场的时空分布特征。从表 1 看出有效波高和风速场 EOF 分析的第一模态方差贡献达到了 99%，所以本文只讨论第一模态的时空变化特征。由于本文 EOF 分析是针对原始要素场的，故第一模态反映了气候背景场的特征，其它模态则是反映了叠加在背景场上的扰动场。

3.1 海浪场和风场的第一模态空间、时间分布

由图 2 可以看出，在研究海域的亚丁湾以东洋面、孟加拉湾和南海都存在海浪和风场的高值中心，其中亚丁湾以东洋面风速和有效波高的特征值最高，南海次之，孟加拉湾相对偏低。图 2b 中，除了赤道西印度洋海域以外，在整个赤道附

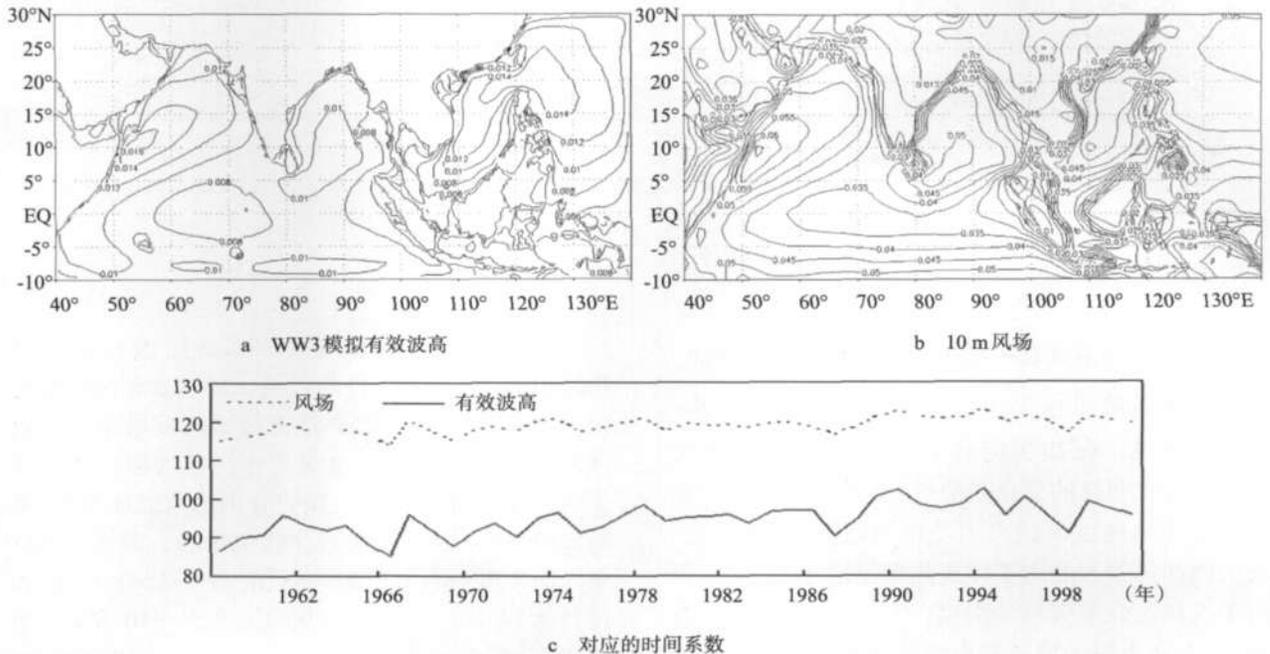


图2 有效波高、风速场 44 年年际变化 EOF 第一模态空间和时间分布

近海域均存在东西带状风速特征值的低值区域,这反映了赤道无风带的特征;在西印度洋有一明显的南北向分布的特征向量高值区,这和索马里越赤道气流的位置相吻合。和图 2b 相对应的有效波高(见图 2a)特征向量分布也显示赤道海域呈现出低值区,尤其在  $60^{\circ}\sim 75^{\circ}\text{E}$  赤道海域出现了低值中心;整个海域以亚丁湾以东洋面风力最强,有效波高最高。图 2c 中风速和有效波高 EOF 的时间系数的相关性达到 0.96362,这说明北印度洋-南海海域海浪场的基本特征或时空变化主要由风场的基本特征或时空变化决定。

需要引起重视的是在  $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}$ ,  $75^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$  的赤道印度洋中东部,往往存在较大的有效波高区,而这一特征不能被 WAVEWATCH3 (V2.22) 较好地模拟。在多年平均的有效波高年变化特征与观测资料对比中(见图 1a~d)可以看出这一点,在我们对北印度洋-南海海域 WW3 模式逐日积分运

算中也发现该问题。例如我们利用精度较高的 QSCAT/NCEP 混合卫星风场资料驱动 WAVEWATCH3 (V2.22) 模式,图 3 为 2008 年 1 月 15 和 16 日两天平均的模拟有效波高、同期 Aviso 卫星有效波高和卫星海面风场。从图 3 中可以看到北印度洋索马里以东洋面、印度半岛南部海域以及波斯湾均有和大风速区相对应的大的有效波高区,模拟的有效波高偏强 0.2 m 左右;但在  $10^{\circ}\text{S}\sim 0^{\circ}$ ,  $75^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$  的赤道印度洋中东部卫星海面风场为极小值区,模拟有效波高约 0.4~1.0 m,但卫星观测的有效波高为相对大值区,达到 1.6 m 以上。从图 3b、图 3c 对比发现来源相同资料源的赤道低风速区却对应着有效波高相对高值区,我们推测赤道附近的有效波高大值可能与南印度洋咆哮西风带引起的向北传播的涌浪有关,而 WAVEWATCH3 (V2.22) 模式没有模拟涌浪的能力。

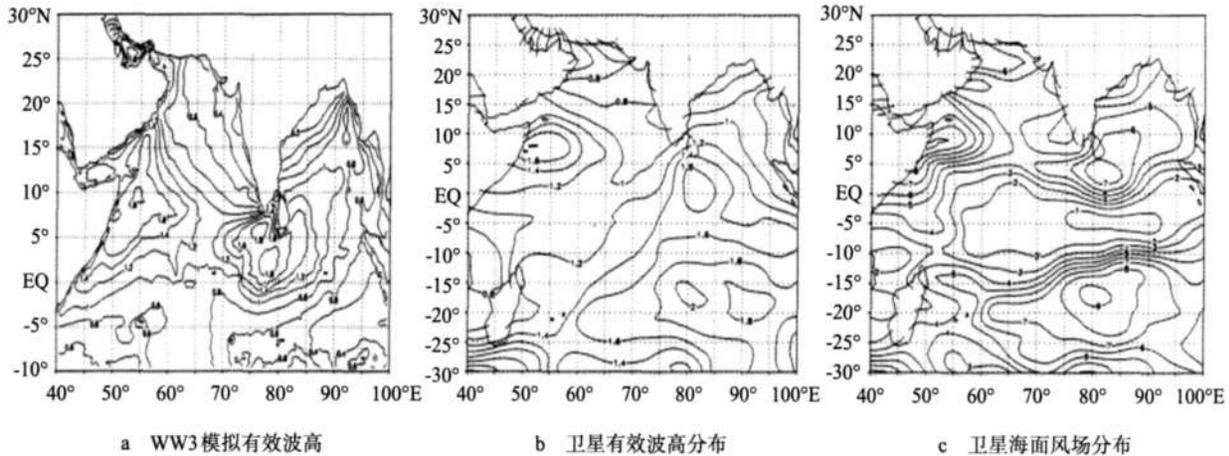
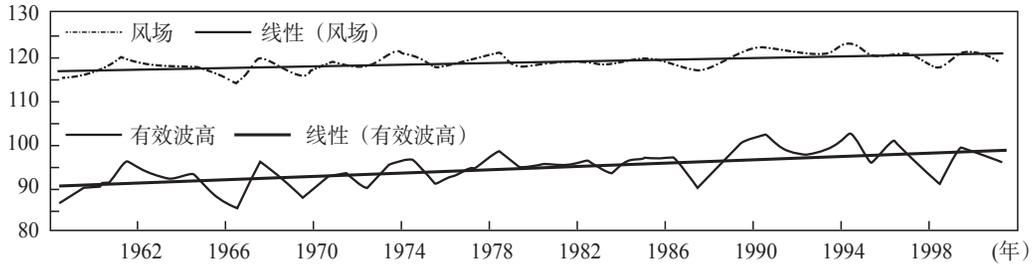


图 3 2008 年 1 月 15~16 日两天平均

### 3.2 风场、海浪场第一模态时间系数的变化趋势

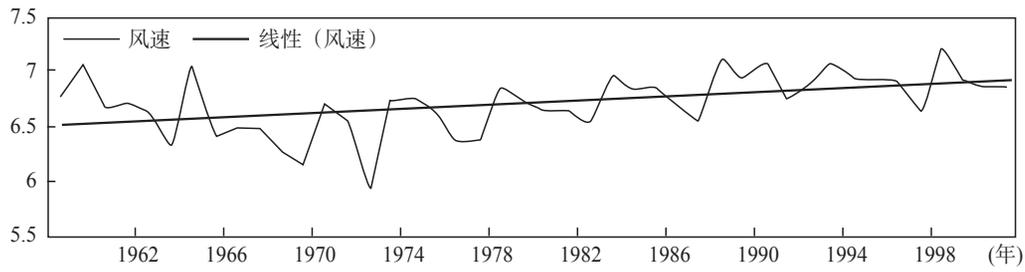
近海面风速变化的观测事实研究已有不少,总体上来说,在 20 世纪后半世纪,全球平均近海面风速没有明显的变化趋势<sup>[4]</sup>,热带北大西洋<sup>[5-6]</sup>和北太平洋高纬度海区风速呈增加趋势<sup>[7]</sup>,而赤道、南大西洋热带和北太平洋亚热带呈减小趋势<sup>[4]</sup>。但由于大洋上观测资料的限制(卫星资料时间长度有限),大洋上海面风速和有效波高的长期变化趋势了解的还不太清楚。

针对图 2c 中的风场时间系数做线性回归分析,得到图 4 所示线性趋势线。通过显著性检验可以得出:整个北印度洋-南海海域海面风速和有效波高自 1958~2001 年呈现逐年线性增强趋势。为了进一步验证该结论,我们分别选取北印度洋-南海海域海面风速 EOF 的 4 个极值中心,即亚丁湾以东洋面大风中心 a ( $52.5^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{E}$ ,  $5^{\circ}\sim 7.5^{\circ}\text{N}$ ),孟加拉湾大风中心 b ( $87.5^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ ,  $7.5^{\circ}\sim 10^{\circ}\text{N}$ ),南海大风中心 c ( $115^{\circ}\sim 117.5^{\circ}\text{E}$ ,  $15^{\circ}\sim 17.5^{\circ}\text{N}$ ) 和赤道低风速中心 d ( $67.5^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$ ,  $0^{\circ}\sim 2.5^{\circ}\text{N}$ ),取



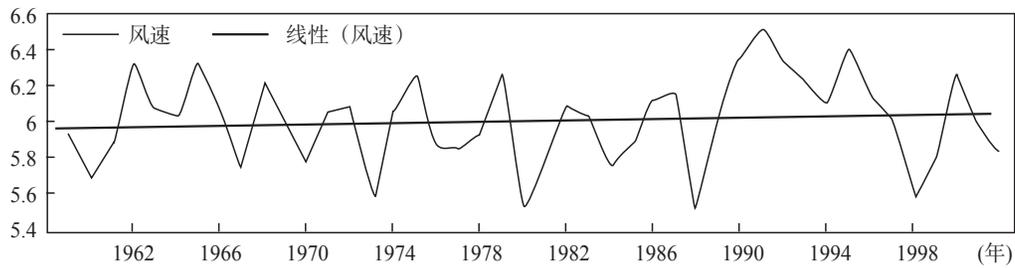
海面风速: 回归系数是: 0.093; 回归常数是: -65.3; 相关系数 $|r|=0.60 > r_{0.05}=0.2875$ ,显著  
 有效波高: 回归系数是: 0.200; 回归常数是: -300.8; 相关系数 $|r|=0.65 > r_{0.05}=0.2875$ ,显著

图4 北印度洋-南海44年海面风速和有效波高EOF第一模态时间系数逐年变化及其线性回归趋势线



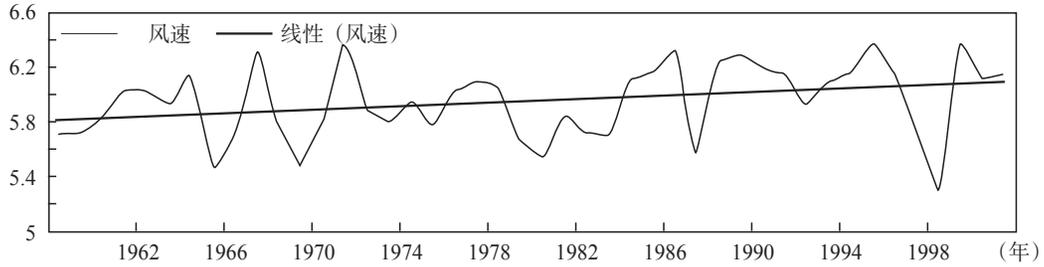
回归系数是: 0.01; 回归常数是: -12.8; 相关系数 $|r|=0.46 > r_{0.05}=0.2875$ ,显著

图5 区域a风速逐年变化和线性回归趋势线



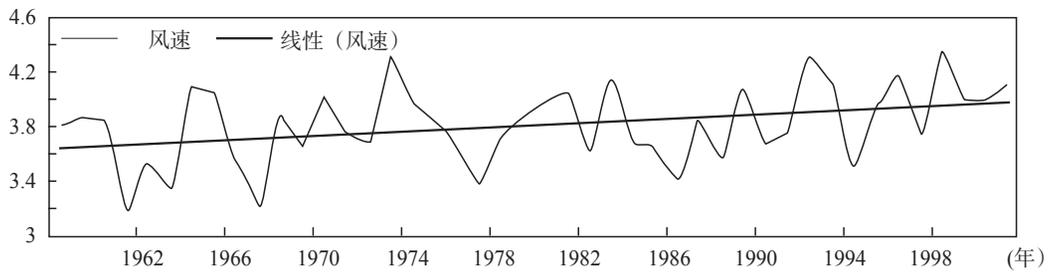
回归系数是: 0.002; 回归常数是: 2.72; 相关系数 $|r|=0.09 < r_{0.05}=0.2875$ ,不显著

图6 区域b风速逐年变化和线性回归趋势线



回归系数是: 0.006; 回归常数是: -6.44; 相关系数 $|r|=0.29 > r_{0.05}=0.2875$ ,显著

图7 区域c风速逐年变化和线性回归趋势线



回归系数是: 0.008; 回归常数是: -12.05; 相关系数 $|r|=0.36 > r_{0.05}=0.2875$ ,显著

图8 区域d风速逐年变化和线性回归趋势线

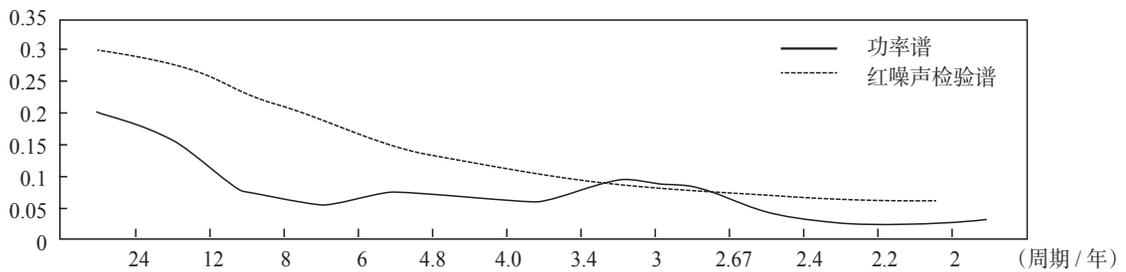


图9 1958~2001年北印度洋-南海海面风速第一模态时间系数的功率谱分析

各中心周边4个网格点值平均,分别得到4个中心点的线性回归趋势线,见图5~8,通过对4个中心的 $\alpha=0.05$ 显著水平检验可知a区,c区,d区3个大风中心风速与时间均存在明显线性增长关系,b区线性关系不显著,可以认为线性增长不明显,或者没有增长。

### 3.3 风场第一模态时间系数的主周期分析

通过对逐年变化中的风场第一模态时间系数的功率谱分析,发现风场时间系数存在准3年的主周期(见图9),这表明北印度洋-南海海域海面风速除了我们熟悉的年周期和半年周期的变化外,还存在3年左右的长周期振荡,这一周期是否与印度洋偶极子以及ENSO事件有关系有待进一步研究发现。

## 4 结论

(1) 利用1957年9月~2002年8月年长达45年的ERA4010 m风场资料,通过WAVEWATCH3(V2.22)海浪模式,模拟了北印度洋-南海海浪场。通过与ICOADS资料比对验证了WW3模拟的长期海浪场的有效性,可靠性;

(2) 北印度洋-南海海域海面风场和海浪场的年际变化EOF分析表明:亚丁湾以东洋面、孟加拉湾和南海都存在海浪和风速场的高值变化中心,尤其是亚丁湾以东洋面风力最强,有效波高最高;50°E以西赤道印度洋有效波高相对高值区

与索马里越赤道气流相对应;10°S~0°,75°~100°E的赤道印度洋中东部虽然处于赤道无风带的海面风场低值区,但有效波高却为相对高值区,这可能是南印度洋西风带产生的涌浪向北传播引起的。这一现象用WAVEWATCH3(V2.22)模式难以模拟出来,这对我们用该版本模式业务化应用要引起重视;

(3) 整体而言,北印度洋-南海海域海面风场的时空分布与有效波高的时空分布有很好的对应关系,并且海面风速和有效波高在1958~2001年期间呈线性增强趋势,海面风速还存在3年左右的周期变化现象。

### 参考文献:

- [1] 李培,张弦等.北印度洋气候特点分析[J].海洋预报,2003,20(3):25-30.
- [2] 张弦,刘金芳,张学宏等.南印度洋海浪场时空特征分析[J].海洋通报,2003,22(2):25-31.
- [3] 梅勇,周林等.北印度洋-南海海域海浪场风场的年变化特征分析[J].气象水文装备,2010,21(3):37-40.
- [4] Ward M N, Hoskins B. Near surface wind over the global ocean 1949-1988[J].J Climate,1996,9:1877-1895.
- [5] Gulev S K, Zolina O, Grigotieva S. Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data[M].Geophy Res Lett,31,L24302,2004.
- [6] Gulev S K, Hasse L.Changes of wind waves in the north Atlantic over the last 30 years[J]. Int J Climatol, 1999,19:1091-1117.
- [7] Gower J F R. Temperature, wind and wave climatologies, and trends from marine meteorological buoys in the northeast pacific [J]. J Climate, 2002,15:3709-3718.