

近 45 年北印度洋海表风、浪特征研究

郑友华¹, 郑崇伟^{2,3}, 李训强², 刘志宏³

(1. 海军蚌埠士官学校, 安徽 蚌埠 233012; 2. 解放军理工大学 气象学院, 江苏 南京 211101; 3. 92538 部队气象台, 辽宁 大连 116041)

摘要: 基于第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III), 以 ERA-40 海表风场为驱动场, 得到北印度洋 1957 年 9 月~2002 年 8 月的海浪场, 并分析其特征。研究发现, 北印度洋 1958~2001 年年平均海表风速和有效波高均呈缓慢递增趋势; 北印度洋的海表风速、有效波高存在 2.36~5.2 a 左右的共同周期及 26 a 的长周期震荡; 北印度洋海域年平均海表风速、有效波高的突变形势与冬季相似, 突变期在 20 世纪 80 年代初。本研究可以为在北印度洋这一重要战略通道上作业的船只提供重要参考。

关键词: 第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III); ERA-40 海表风场; 年变化; 周期; 突变

中图分类号: P731.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2012)08-0053-06

北印度洋是全球海上航运中心之一, 具有重要的战略地位, 亚丁湾是我国护航重点海域。该海域海表风、浪特征分布复杂, 对航海、海洋工程设计、军事等方面都有重要影响, 对印度洋的海表风、浪特征做更深入研究极为重要。目前我国国内对印度洋中某些重点海域的研究较多, 专门研究整个北印度洋风、浪特征的还较少。本文研究北印度洋长时间风、浪特征, 关注其分布特征以及变化规律, 以期在北印度洋这一重要战略通道上作业的船只提供参考。

1 资料来源、模拟方法及资料验证

ERA-40(欧洲中期天气预报中心 40 年再分析)海表风场的空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 时间分辨率为 6 h。该数据的时间范围从 1957 年 9 月 1 日 00:00 ~ 2002 年 8 月 31 日 18:00, 空间范围覆盖全球。

本文以 ERA-40 海表风场驱动第三代海浪数值模式(WAVEWATCH-III), 计算范围为 $10^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$, 分辨率取 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 计算时间从 1957 年 9 月 1 日 00:00~2002 年 8 月 31 日 18:00。积分步长 900 s, 每 3 h 输出一次结果。海表风场、海浪资料均已经过梅勇等^[1]与 ICOADS(综合海洋大气数据集)对比检验, 具有较高精度。从中截取北印度洋 ($0^{\circ}\text{S} \sim 30^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{E}$)用作本文分析。

2 结果分析

2.1 海表风速、波高、周期的季节特征

以 ERA-40 海表 10 m 高度风场驱动

WAVEWATCH-III, 得到北印度洋风速、风向及有效波高、波向和平均周期季平均特征及全年风速、有效波高平均特征, 如图 1~图 3, 可以看出:

(1)春季, 大陆沿岸季平均风速较大, 大洋中部季平均风速较小。阿拉伯海东北部沿岸、孟加拉湾西部及北部沿岸、索马里沿岸(含亚丁湾)季平均风速较大, 前两者达 5 m/s 以上, 后者也达到 4.5 m/s 以上; 苏门答腊周边海域、孟加拉湾东南部、阿拉伯海盆中部以及赤道中西印度洋具有较小的季平均风速, 均在 1 m/s 以下, 局部在 0.5 m/s 以下。以 60°E 左右为界, 西面吹东风或偏东风, 东面吹西风或偏西风, 阿拉伯海盆中部低值区(14°N , 58°E 附近)有显著的反气旋式环流, 印度半岛近岸海域风向呈经典的沿岸风(左岸)特征, 即印度半岛以西吹西北风或偏北风、以东吹西南风或偏南风, 波斯湾呈大陆风特征。与风速相对应, 北印度洋春季沿岸波高较大, 大洋中部波高较小。阿拉伯海东北部沿岸、孟加拉湾北部沿岸、斯里兰卡东南部海域以及索马里东部沿岸具有较大的季平均有效波高, 前三者达 0.8 m 以上, 后者也达 0.6 m 以上; 苏门答腊周边海域、孟加拉湾东南部、阿拉伯东南海域、波斯湾以及赤道中西印度洋具有较小的季平均有效波高, 均在 0.2 m 左右。北印度洋春季海浪有明显的从低纬向高纬传播的特

收稿日期: 2010-10-03; 修回日期: 2012-06-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41076048)

作者简介: 郑友华(1986-), 男, 重庆大足人, 硕士, 主要从事海洋动力学及数值计算研究工作, 电话: 15955209383, E-mail: 147695116@qq.com

征, 在印度半岛近岸海域, 波向几乎与岸平行, 60°E 以西波向与风向正好相反, 以东波向与风向相吻合。

春季北印度洋波周期均较小, 除苏门答腊西岸部分海区外, 平均周期均在 5 s 以下。

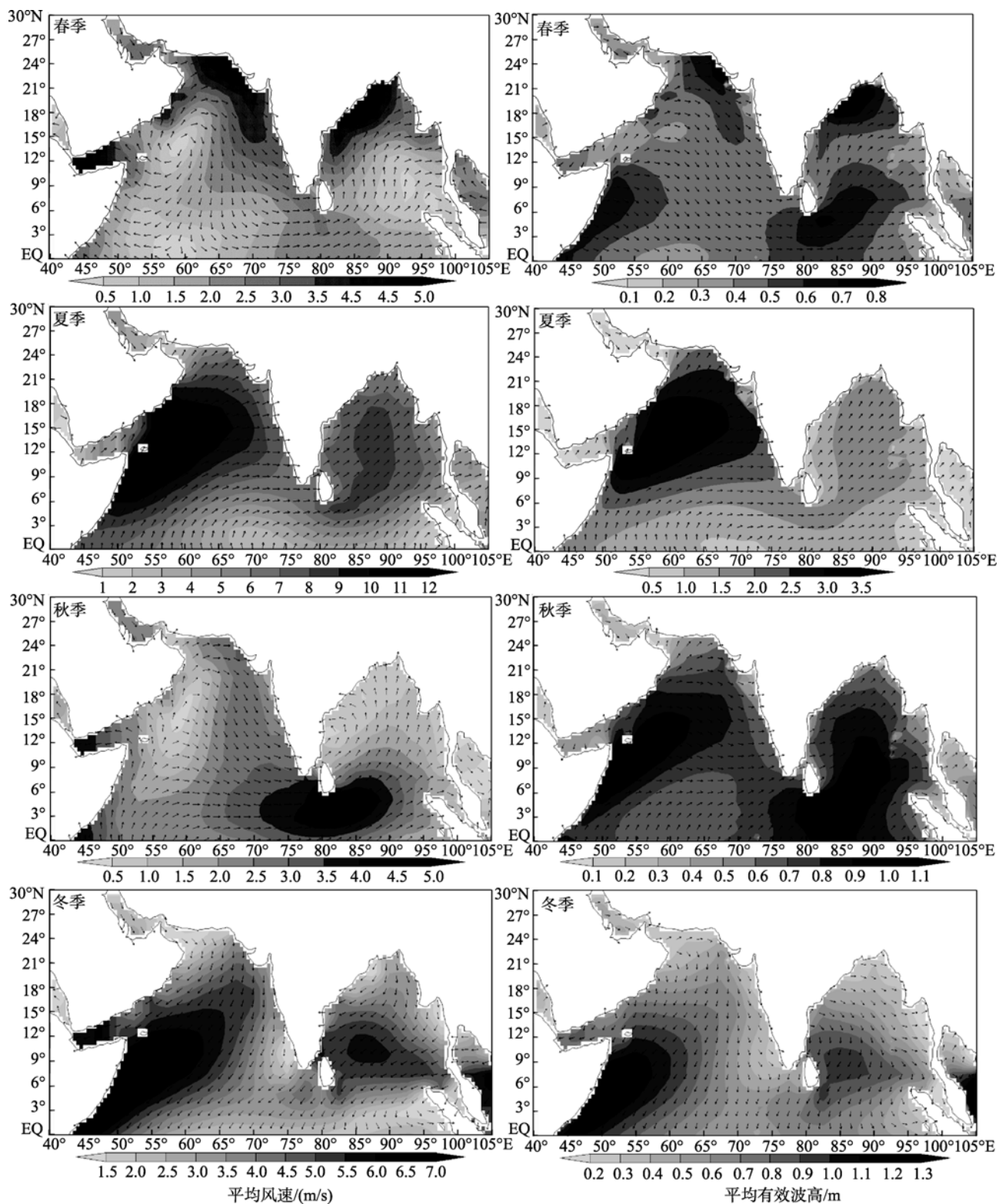


图 1 近 45 年北印度洋春、夏、秋、冬季的平均风速和平均有效波高及其方向

Fig. 1 Average speeds and directions of surface winds and average wave-heights in the North Indian in various seasons from 1957 to 2002

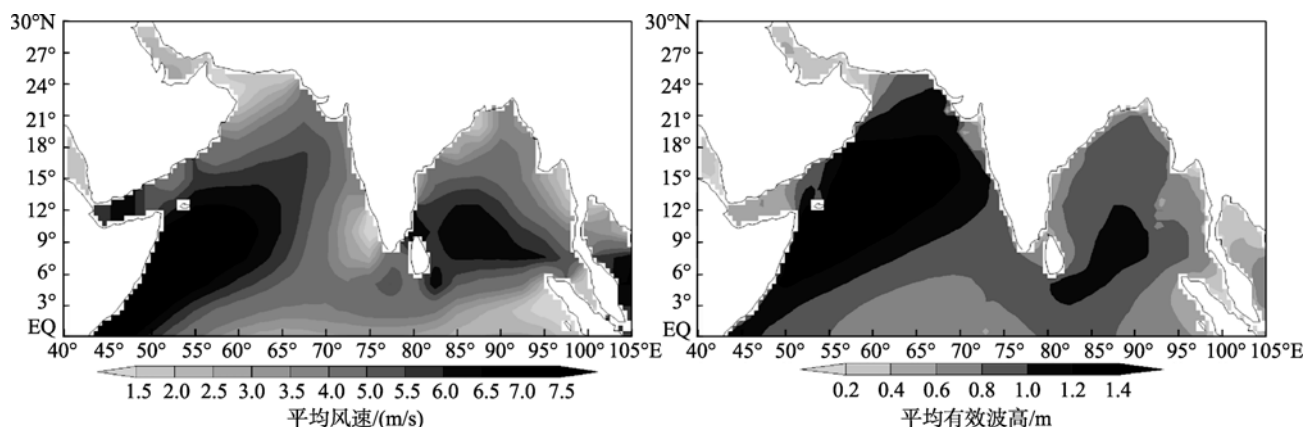


图 2 近 45 年北印度洋年平均风速和年平均有效波高

Fig. 2 Average surface wind-speeds and wave-heights in the North Indian from 1957 to 2002

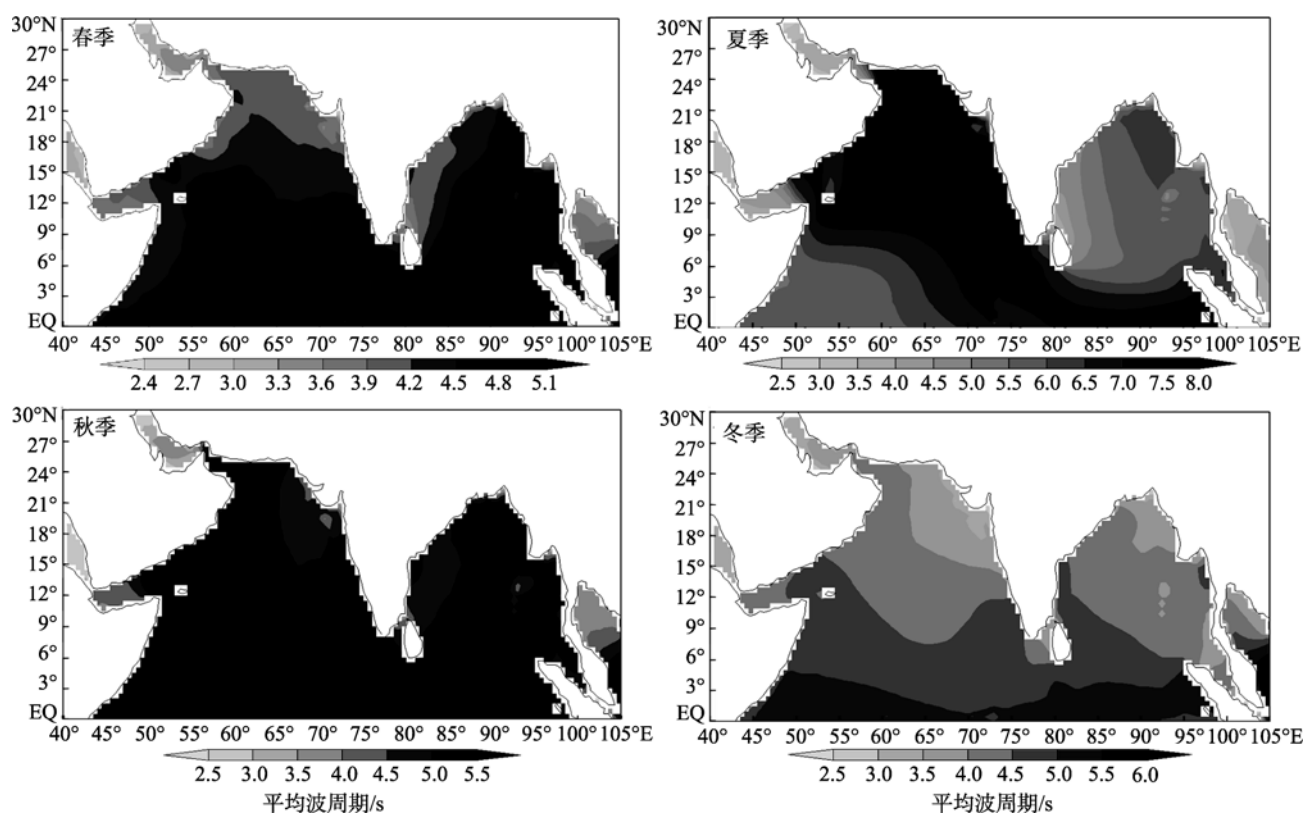


图 3 近 45 年北印度洋春、夏、秋、冬季的平均波周期分布

Fig. 3 Distribution of average wave periods in the North Indian in seasons from 1957 to 2002

(2)夏季, 除波斯湾、红海等吹大陆风外, 北印度洋均吹西南风或偏西风。孟加拉湾中部和阿拉伯海西南大部具有很大的季平均风速, 前者在 8 m/s 以上, 后者更是达 12 m/s 以上;赤道中东印度洋、波斯湾季平均风速相对较小, 在 3 m/s 左右, 其中苏门答腊周边海域在 2 m/s 以下。夏季北印度洋波向与风向相对应, 并从低纬向高纬传播, 并有自西向东传播的趋势。与季平均风速对应, 阿拉伯海西南大部海域季平

均有效波高在 3 m 以上, 其中索科特拉岛附近超过 3.5 m , 孟加拉湾中部季平均有效波高也在 1.5 m 以上;赤道中东印度洋、印度半岛东部沿海、波斯湾和亚丁湾季平均有效波高相对较小, 在 0.5 m 以下。夏季北印度洋波周期很大, 其中阿拉伯海、赤道东印度洋平均周期均在 7 s 以上, 表现出很强的涌浪特征。

(3)秋季, 大洋中部仍受西南季风的影响, 与夏季环流形式一致, 而在印度半岛周边海域, 形成一

个非常明显的气旋式环流,其西面已经完全转向为西北风。斯里兰卡南部海域、亚丁湾和肯尼亚东海岸均具有 5 m/s 以上季平均风速,阿拉伯海大部、孟加拉湾北部季平均风速均在 2 m/s 以下,其中阿拉伯半岛东南部存在一个风速在 0.5 m/s 以下的准静风区,位置比春季准静风区稍靠北。秋季北印度洋平均有效波高较夏季小了很多,除索马里东部和斯里兰卡东南部海域外,均在 1 m 以下。波向与夏季相当,从低纬向高纬传播,在 6°N 以南的低纬海区,自西向东传播的趋势非常明显。秋季北印度洋波周期比春季略大,大部分海区均在 5 s 以上。

(4)冬季,除波斯湾、红海等吹大陆风外,北印度洋盛行东北风或偏北风。西北印度洋大部以及孟加拉湾南部均有 5 m/s 以上季平均风速,其中索马里东部沿海达 7 m/s 以上;苏门答腊周边海域、印度半岛西南沿海以及波斯湾季平均风速均在 2 m/s 以下,局部在 1.5 m/s 以下。冬季,除印度半岛西部沿海、孟加拉湾东北部以及波斯湾自东南向西北传播外,北印度洋大部分海区海浪均从东北向西南传播,在 6°N 以南的低纬海区,几乎平行于赤道向西传。季平均有效波高比秋季更小,除索马里东部沿海在 1.2 m 以上、孟加拉湾西南部在 0.8 m 以上外,其他均在 0.6 m 以下。冬季,除赤道印度洋外,北印度洋平均周期均小于 5 s。

(5)西北印度洋索马里沿海和孟加拉湾南部具有

很大的年平均风速,前者在 7 m/s 以上,局地超过 8 m/s,后者也在 6 m/s 以上;苏门答腊周边海域、孟加拉湾东部、北部和印度半岛西南沿海以及波斯湾具有较小的年平均风速,在 2 m/s 以下。与风速对应,阿拉伯海大部具有 1.2 m 以上的年平均有效波高,其中索马里东北部海域达 1.4 m 以上,孟加拉湾南部也具有 1 m 以上的年平均有效波高。赤道东印度洋全年平均波周期较大,均在 5.5 s 以上。

综合全年来看,北印度洋主要受季风影响,冬夏两季风速较大,春秋两季风速较小;夏秋两季有效波高较大,冬春两季较小。其中夏季风速、有效波高明显高于其他三季。从海区来看,索马里附近海域冬夏两季均存在大风大浪,春秋呈准静风状态,但有效波高仍然很大,斯里兰卡东南部海域则相反,春秋两季均存在明显的大风大浪区,冬夏两季不明显。这表明此两海区的季节调整比其他海区更早且更明显。苏门答腊周边海域常年存在风、浪低值区。赤道东印度洋波周期常年较大,表现出将明显的涌浪特征;红海、阿拉伯海等边缘海区波周期常年很小。

2.2 海表风速、波高的年平均变化特征

将北印度洋 1958~2001 年的海表风速、有效波高进行逐年平均,得到各个要素 44 年的年平均值,用线性回归方法^[2]分析其变化趋势,如图 4。

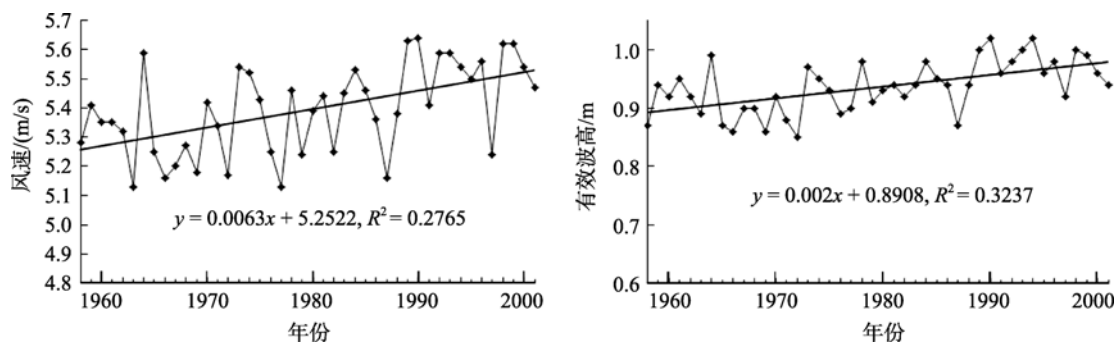


图 4 1958~2001 年北印度洋海表风速、有效波高的年平均变化趋势及其回归曲线

Fig. 4 Trend and regression curve of annual average speeds of surface winds and wave heights in the North Indian from 1958 to 2001

海表风速回归系数为 0.0062, 相关系数 $|r|=0.5258 > r_{0.01}=0.38$; 有效波高回归系数为 0.002, 相关系数 $|r|=0.5689 > r_{0.01}=0.38$ 。表明北印度洋 1958~2001 年年平均海表风速和有效波高均呈缓慢递增趋势, 且都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

2.3 海表风速、波高的周期变化特征

将北印度洋 1958~2001 年的海表风速、有效波高进行逐年平均, 得到各个要素 44 年的年平均值, 用功率谱^[2]分析各个要素的周期, 如图 5。

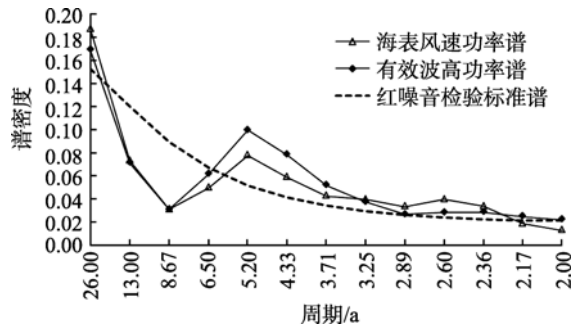


图5 北印度洋海表风速、有效波高的功率谱

Fig. 5 Power spectra of surface winds and wave heights in the North Indian

海表风速具有明显的 2.36~5.2 a 的主周期变化及 26 a 的长周期震荡, 有效波高具有明显的 2~5.2 a 的主周期变化及 26 a 的长周期震荡。

在上述要素的这些周期上, 功率谱估计值都超

过了 $\alpha=0.05(95\%)$ 的红噪音检验标准谱。北印度洋的海表风速、有效波高存在 2.36~5.2 a 的共同周期及 26 a 的长周期震荡。

2.4 M-K 检验

M-K(MANN-KENDALL)检验方法是一种非参数统计检验方法, 它不需要样本遵从一定的分布, 也不考虑少数异常值的干扰。其优点在于不仅计算简便, 而且可以明确突变时间, 给出突变区域。通过分析 UF 与 UB 曲线, 用 M-K 检验方法可以非常直观地看出统计量的突变形式^[3]。

将北印度洋 1958~2001 年的海表风速、有效波高进行逐年季节平均和逐年平均, 得到各个要素 44 年的季节平均值及年平均值, 用 M-K 检验方法分析其突变特征, 如图 6。

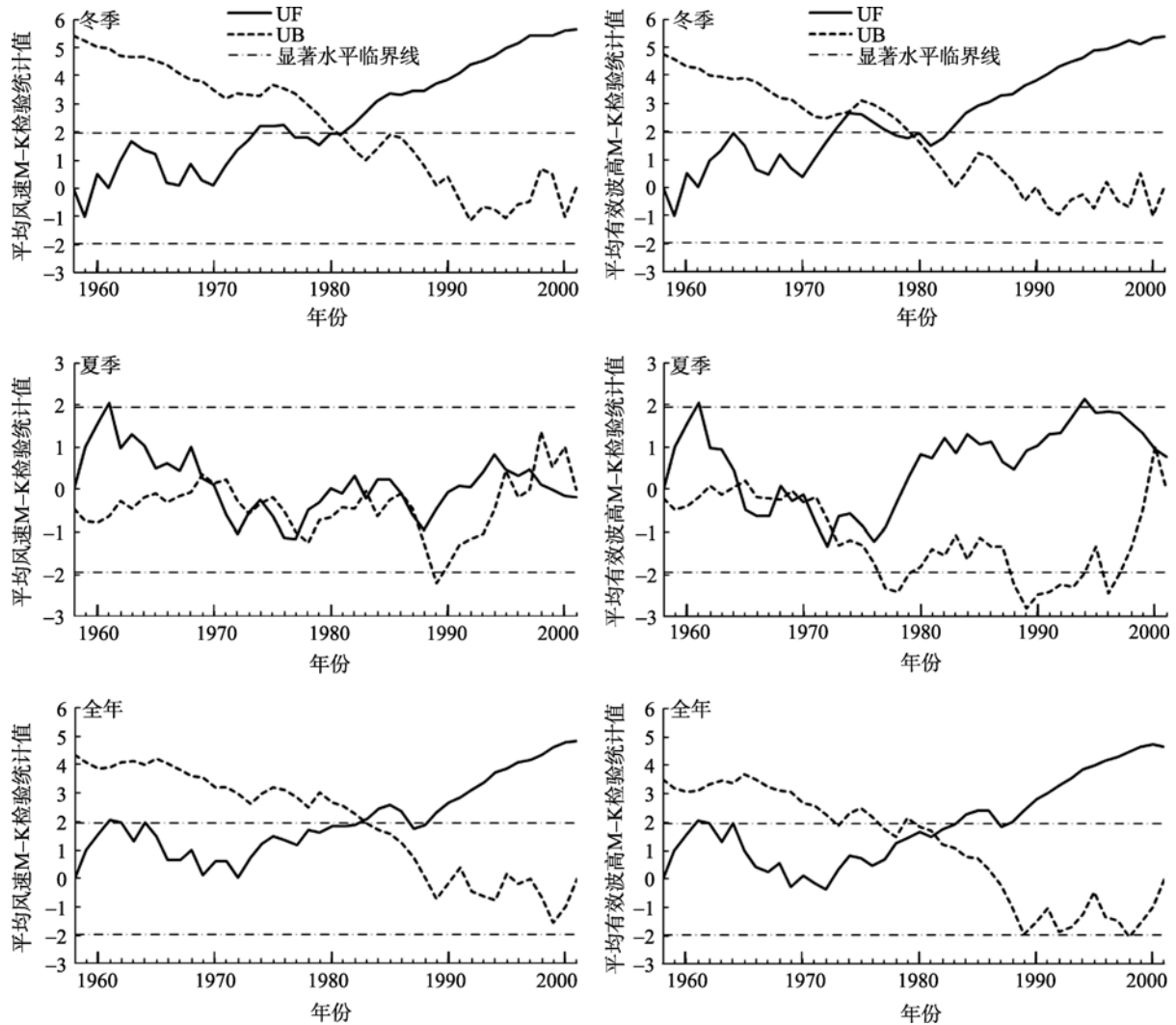


图6 北印度洋 1958~2001 年逐年冬、夏季及全年的平均风速、有效波高的 M-K 检验

Fig. 6 M-K inspection in average surface wind-speeds and wave-heights in the North Indian in winters, summers or years from 1958 to 2001

自 1981 年, 北印度洋海域冬季海表风速存在较强的增强趋势, 增强趋势均超过 0.05 显著性水平临界线(临界值为 ± 1.96), UF 线与 UB 线交于 20 世纪 80 年代初, 且交点在临界线之间, 说明北印度洋海域的冬季海表风速突变期在 20 世纪 80 年代初。冬季有效波高的突变形势与海表风速突变形势吻合较好, 只是在 1974 年到 1980 年之间有一个调整期。

北印度洋海域夏季海表风速没有明显的突变形势, 自 1969 年, 一直都只有非常弱小的年变率。夏季有效波高 1964 年到 1973 年之间进入调整期, 之后缓慢增强。

北印度洋海域年平均海表风速、有效波高的突变形势与冬季大体相似, 突变期比冬季晚 1~2 a。

对照文献[4~5], 可以看出, 北印度洋风速、有效波高的突变形势与海表温度、水平环流突变形势是相似的。

3 结论

(1) 索马里附近海域冬夏两季均存在大风大浪, 春秋呈准静风状态, 但有效波高仍然很大, 斯里兰卡东南部海域春秋两季均存在明显的大风大浪区, 冬夏两季不明显。表明此两海区的季节调整比其他海区更早且更明显。苏门答腊周边海域常年存在风、

浪低值区。赤道东印度洋波周期常年较大, 表现出将明显的涌浪特征。

(2) 北印度洋 1958~2001 年年平均海表风速和有效波高均呈缓慢递增趋势。

(3) 北印度洋的海表风速、有效波高存在 2.36~5.2 a 的共同周期及 26 a 的长周期震荡。

(4) 北印度洋海域海表风速冬季自 1981 年存在较强的增强趋势, 有效波高的突变形势与海表风速突变形势吻合较好; 夏季没有明显的突变形势。年平均风速、有效波高的突变形势与冬季大体相似, 突变期在 20 世纪 80 年代初。

参考文献:

- [1] 梅勇, 周林. 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(5): 37-40.
- [2] 陈上及, 马继瑞. 海洋数据处理分析方法及其应用[M]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [3] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 69-70.
- [4] 肖栋. 全球海气系统年代际突变的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [5] 徐建军, 王东晓. 印度洋-太平洋海温的年际、年代际异常及其对亚洲季风的影响[J]. 海洋学报, 2000, 22(3): 34-43.

Wave analysis of the North Indian Ocean from 1957 to 2002

ZHENG You-hua¹, ZHENG Chong-wei^{2,3}, LI Xun-qiang², LIU Zhi-hong³

(1. Bengbu Naval Petty Officer Academy, Bengbu 233012, China; 2. Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China; 3. 12 Unit, NO. 92538 Army of PLA, Dalian 116041, China)

Received: Oct., 3, 2010

Key words: WAVEWATCH - III; ERA-40; annual variation; cycle; saltation

Abstract: Characteristics of waves from Sep. 1957 to Aug. 2002 in the North Indian had been analyzed, on the basis of WAVEWATCH - III driven with ERA-40 sea-surface wind field. The North Indian monsoon was affected mainly by winter and summer. Wave-heights in summer were obviously higher than those in other seasons. Year-averages of surface winds or wave-heights were slowly increasing in the North Indian, 1958~2001. The cycles of 2.36~5.2 years of sea-surface winds and wave-heights were the same, and so were the cycles of longer than 26 years. In the North Indian, saltation with year-average of surface winds and wave-heights were similar to winter in the early 1980s.

(本文编辑: 刘珊珊)