

近44年北印度洋海表风速变化趋势分析

刘铁军¹, 郑崇伟², 李训强³, 张文静³

(1.海军海洋水文气象中心,北京 100161; 2.92538部队,辽宁 大连 116041; 3.解放军理工大学气象海洋学院,江苏 南京 211101)

摘 要:利用来自ECMWF的ERA-40风场资料,就北印度洋海表风速的长期变化趋势展开分析,以期可为海洋水文保障、防灾减灾、研究全球气候变化提供参考。结果表明:(1)1958—2001年期间,北印度洋低纬度海域、索马里至斯里兰卡一带的大范围海域的海表风速表现出显著的逐年线性递增趋势,基本在 $0.01—0.02\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$;呈显著性递减的区域主要分布于亚丁湾、红海、波斯湾、斯里兰卡北部零星海域、以及缅甸仰光西南部近海等小范围海域,约 $-0.01—-0.005\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$;阿拉伯海、孟加拉湾等海域的海表风速在近44年期间则无显著性变化趋势;(2)近44年期间,北印度洋海域的海表风速整体上以 $0.0061\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ 的速度显著性震荡递增,震荡区间在 $5.0—5.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间;(3)不同海域海表风速的变化趋势在不同季节表现出很大差异:冬季和夏季,大部分海域海表风速的变化趋势显著,春季次之,秋季仅在赤道附近一带海域呈显著性递增;(4)近44年期间,北印度洋的海表风速存在显著的2.0年、2.6—3.7年、5.2年的变化周期,以及26年以上的长周期震荡。

关键词:ERA-40风场资料;北印度洋;长期变化趋势;变化周期

中图分类号:P732 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2013)04-0034-06

1 引言

南海-北印度洋是全球重要的海上通道之一,更是我国亚丁湾护航编队的必经之地,是我国极其重要的海上能源通道之一,对我国而言具有重要的经济和军事战略意义。海表风场经常给人类的经济、军事活动造成影响,因此深入研究海表风速的长期变化特征具有重要价值,可为防灾减灾、研究全球气候变化提供参考。Ward等^[1]认为,在20世纪后半叶全球平均近海面风速没有明显的变化趋势,在赤道附近海域、南大西洋热带海域和北太平洋亚热带海域呈减小趋势;刘志宏等^[2]研究发现西北太平洋大部分海域的海表风速在1988—2009年期间表现出显著的递增趋势;郑崇伟等^[3-4]的研究发现中国海的有效波高(SWH——Significant Wave Height)在1988—2009年期间表现出显著的逐年递增趋势,并推断这应该是由于中国海的海表风速在1988—

2009年期间呈递增趋势所致;梅勇等^[5]研究发现南海大风中心(范围 $115^{\circ}—117.5^{\circ}\text{E}$, $15^{\circ}—17.5^{\circ}\text{N}$)的海表风速在1958—2001年期间呈显著的逐年线性递增趋势;孙龙^[6]发现东中国海的海表风速在1999—2008年期间呈显著性递增;柳艳菊等^[7]利用西沙台站观测资料研究发现西沙地区地面风速自1975年以来呈明显的下降趋势。对于北印度洋海表风速的研究较少,本文利用来自ECMWF(欧洲中期天气预报中心-European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)的ERA-40风场资料,就北印度洋海表风速的长期变化趋势展开分析,以期可为防灾减灾、研究全球气候变化提供参考。

2 资料简介

本文所用资料为ERA-40海浪再分析资料中的海表风速资料(标量场),ERA-40海浪再分析资料来自ECMWF^[8-14],该资料的空间范围为 $90^{\circ}\text{S}—90^{\circ}\text{N}$,

收稿日期:2013-01-27

基金项目:中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q11-03)

作者简介:刘铁军(1971-),男,高级工程师,主要从事海洋水文保障相关研究。E-mail:364704410@qq.com

180°W—180°E,空间分辨率为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$,时间范围从1957年09月01日00:00时—2002年08月31日18:00时,时间分辨率为6 h。

3 海表风速逐年变化趋势

3.1 逐网格点海表风速的变化趋势

为了体现不同海域海表风速的变化趋势,本文就 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 每个网格点上的海表风速从1958—2001年取逐年平均,分析每个网格点上海表风速的逐年线性趋势,见图1。

近44年期间,北印度洋低纬度海域、索马里至斯里兰卡一带的大范围海域的海表风速表现出显著的逐年线性递增趋势,基本在 $0.01—0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,尤其是斯里兰卡南部-苏门答腊岛一带的递增趋势尤为强劲,在 $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上;呈显著性递减的

区域主要分布于亚丁湾、红海、波斯湾、斯里兰卡北部零星海域、以及缅甸仰光西南部近海等小范围海域,约 $-0.01—-0.005 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$;阿拉伯海、孟加拉湾等海域的海表风速在近44年期间则无显著性变化趋势。

3.2 整体变化趋势

为了从整体上把握北印度洋海表风速近44年期间的变化趋势,本文还将北印度洋的海表风速从1958—2001年进行逐年区域平均,采用一元线性回归方法,分析该海域海表风速的整体变化趋势,见图2。

变化趋势的相关系数 $|r|=0.54 > r_{0.05}=0.29$,通过了95%的信度检验,表明北印度洋海表风速的线性递增趋势显著,回归系数为0.0061,即1958—2001年期间,北印度洋海域的海表风速整体上以

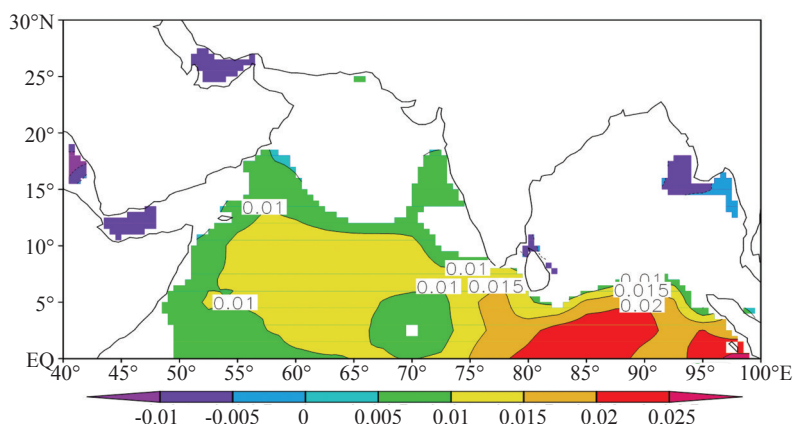


图1 1958—2001年北印度洋海表风速变化趋势(单位/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$);彩色区表示通过了95%的信度检验

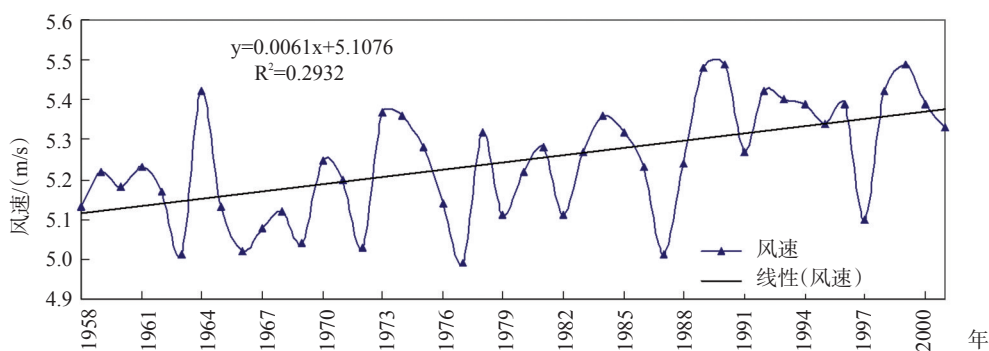


图2 1958—2001年北印度洋逐年平均的海表风速及其变化趋势

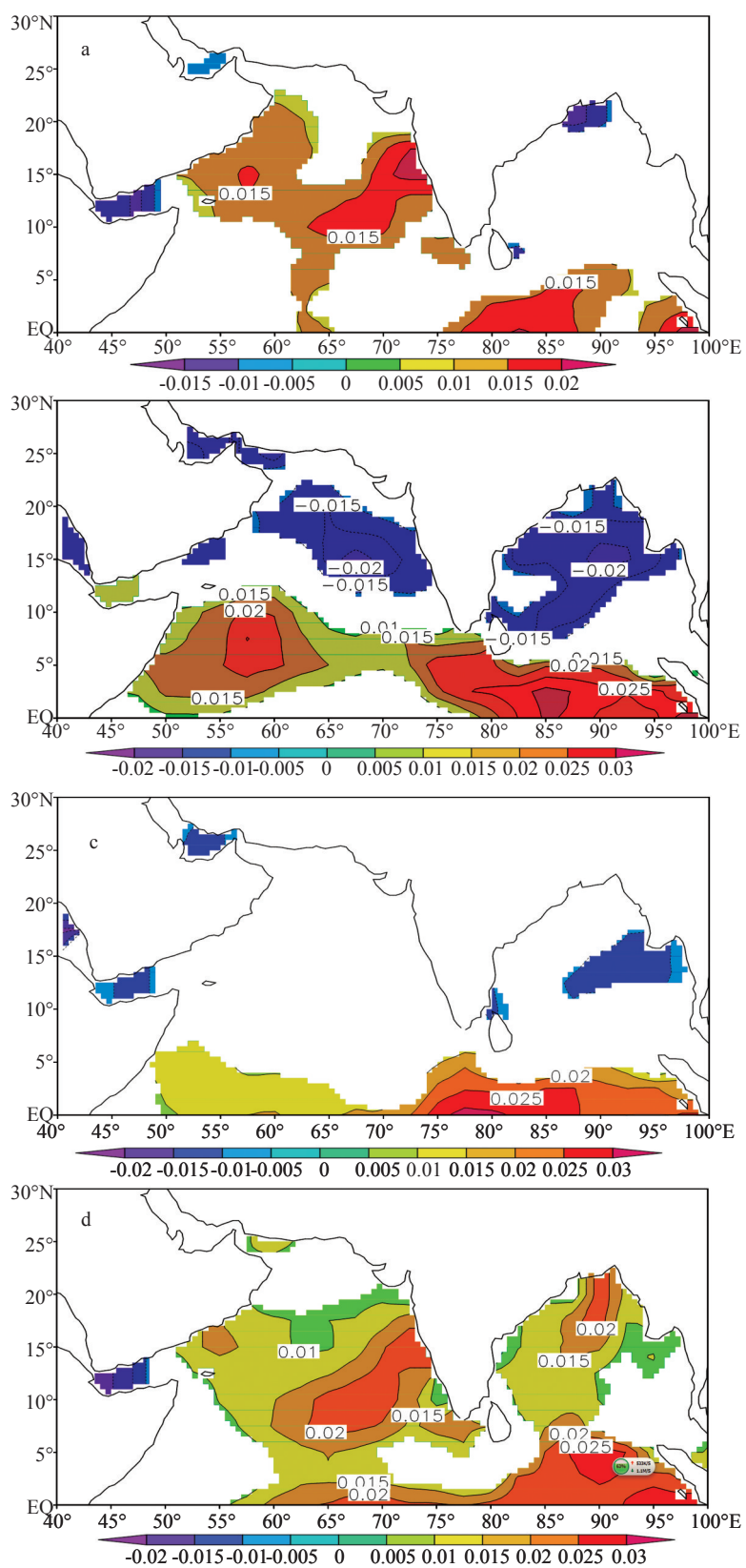


图3 近44年逐春季、逐夏季、逐秋季、逐冬季海表风速的变化趋势(单位/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$), 彩色区表示通过了95%的信度检验

$0.0061 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速度显著性逐年线性递增。

从曲线走势来看,在近44年期间,北印度洋的海表风速呈震荡递增,震荡区间在 $5.0\text{--}5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,1958—1963年期间表现出递减趋势,而后急速递增,并在1964年达到短期内的一个高点,年平均风速在 $5.43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,1966—1973年期间为第一波比较显著的递增区间,1977—1984年期间为第二波比较显著的递增区间,而后迅速递减,并在1987年达到短期内的波谷,年平均风速在 $5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,1991—2001年期间,震荡较为明显,但整体变化区域平缓,详见图2。

3.3 不同季节的变化趋势

为了体现北印度洋海表风速在不同季节的变化趋势,本文将该海域的海表风速从1958—2001年进行逐夏季、逐冬季平均,分析不同季节海表风速变化趋势的差异。

逐春季:约有40%的海域海表风速的变化趋势显著,呈显著性递增的区域主要分布于阿拉伯半岛东南海域,递增趋势在 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,印度半岛中部以西海域,呈西南-东北走向,递增趋势基本在 $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上, $77^{\circ}\text{--}88^{\circ}\text{E}$ 的低纬度海域,递增趋势在 $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,苏门答腊岛西部近海,递增趋势在 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上。呈显著性递减的区域主要分布于波斯湾、亚丁湾、孟加拉湾北部近海等小范围海域,详见图3a。

逐夏季:孟加拉湾和阿拉伯海大范围海域的海表风速表现出显著的递减趋势, $-0.02\text{--}-0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,此外在波斯湾和红海也呈显著的递减趋势;呈显著性递增的区域主要分布于索马里以东的大范围海域,递增趋势在 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,递增趋势较强的高值区在 $0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,斯里兰卡西部海域,递增趋势在 $0.015\text{--}0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,斯里兰卡南部至苏门答腊岛的大范围海域,递增趋势基本在 $0.015 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,高值中心甚至达到 $0.025 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,见图3b。

逐秋季:大部分海域的海表风速无显著性变化趋势;呈显著性递增的区域集中分布于 5°N 以南,递增趋势在 $0.01\text{--}0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,高值中心位于 $75^{\circ}\text{--}88^{\circ}\text{E}$ 之间的赤道附近海域;呈显著性递减的海域主要分布于亚丁湾、红海、波斯湾、斯里兰卡北部近海、缅甸仰光的西南部等小范围海域,详见

图3c。

逐冬季:仅仅在亚丁湾一小范围海域的海表风速呈显著递减趋势,约 $-0.02\text{--}-0.005 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$,其余大部分海域的海表风速表现出显著性逐年线性递增趋势,基本在 $0.01 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,尤其是在马尔代夫周边海域、孟加拉湾北部近海、苏门答腊岛西部大范围海域,递增趋势基本在 $0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上,见图3d。

4 变化周期

本文还将北印度洋的海表风速从1958—2001年进行逐年区域平均,采用功率谱分析方法,分析该海域海表风速的变化周期,当谱密度大于红(或白)噪音检验标准谱时,该周期是显著的。

由图4可见,北印度洋的海表风速存在显著的2.0年、2.6—3.7年、5.2年的变化周期,以及26年以

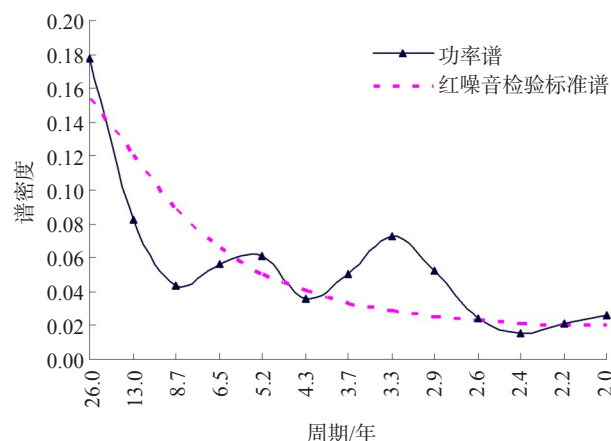


图4 1958—2001年北印度洋海表风速的功率谱分析

上的长周期震荡。陈红霞等^[15]指出中国近海及临近海域($15^{\circ}\text{--}25^{\circ}\text{N}$, $112^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$)海浪的年际变化中以5年为周期的变化最为显著,和ENSO事件有着很好的对应关系;郭随平等^[16]的研究发现南海的风浪、涌浪、混合浪与厄尔尼诺有着较为密切的关系。本文发现北印度洋的海表风速也与厄尔尼诺存在5年左右的共同周期,本文猜想北印度洋的海表风速与厄尔尼诺现象可能存在一定的相关性,在下一步的研究中可重点就厄尔尼诺现象与北印度洋海表风速之间的超前、同期、滞后相关进行计算,

探索厄尔尼诺与北印度洋海表风速是否存在联系,为气候预测、全球气候变化做贡献。

5 结论

(1)1958—2001年期间,北印度洋低纬度海域、索马里至斯里兰卡一带的大范围海域的海表风速表现出显著的逐年线性递增趋势,基本在 $0.01—0.02\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$;呈显著性递减的区域主要分布于亚丁湾、红海、波斯湾、斯里兰卡北部零星海域、以及缅甸仰光西南部近海等小范围海域,约 $-0.01—-0.005\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$;阿拉伯海、孟加拉湾等海域的海表风速在近44年期间则无显著性变化趋势;

(2)近44年期间,北印度洋海域的海表风速整体上以 $0.0061\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ 的速度显著性逐年线性递增。从逐年变化趋势来看,该海域的海表风速呈震荡递增,震荡区间在 $5.0—5.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间;

(3)不同海域海表风速的变化趋势在不同季节表现出很大差异:冬季和夏季,大部分海域海表风速的变化趋势显著,其中冬季以递增趋势为主,夏季在低纬递增,中纬度递减;春季次之;秋季仅在赤道附近一带海域呈显著性递增;

(4)近44年期间,北印度洋的海表风速存在显著的2.0年、2.6—3.7年、5.2年的变化周期,以及26年以上的长周期震荡。

参考文献:

- [1] Ward M N, Hoskins B. Near surface wind over the global ocean 1949-1988[J]. *Journal of Climate*, 1996, 9: 1877-1895.
- [2] 刘志宏,郑崇伟. 近22年西北太平洋海域海表风速变化趋势研究[J]. *海洋技术*, 2011, 30(2): 127-130.
- [3] 郑崇伟,李训强. 基于WAVEWATCH-III模式的近22年中国海波浪能资源评估[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2011, 41(11): 5-12.
- [4] 郑崇伟,林刚,邵龙潭. 1988-2010年中国海大浪频率及其长期变化趋势[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2013, 52(3): 395-399.
- [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] 孙龙,于华明,王朋,等. 东中国海及毗邻海域海面风场季节及年际变化特征分析[J]. *海洋预报*, 2010, 27(2): 30-37.
- [7] 柳艳菊,闫俊岳,宋艳玲. 近50年南海西沙地区的气候变化特征研究[J]. *地理科学*, 2008, 28(6): 804-808.
- [8] Caires S, Sterl A. A new non-parametric method to correct model data: Application to Significant Wave Height from the ERA-40 Re-Analysis [J]. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2005, 22: 443-459.
- [9] 郑崇伟,李荣波,周林,等. 近43年北大西洋海浪场与AO的相关性研究[J]. *海洋预报*, 2012, 39(3): 36-41.
- [10] ZHENG Chong-Wei, ZHUANG Hui, LI Xi, et al. Wind Energy and Wave Energy Resources Assessment in the East China Sea and South China Sea [J]. *Science China Technology Sciences*, 2012, 55(1): 163-173.
- [11] 郑崇伟,潘静,田妍妍,等. 全球海域风浪、涌浪、混合浪波候图集[M]. 北京:海洋出版社, 2012.
- [12] Hemer M A, Church J A, Hunter J R. Waves and Climate Change on the Australian Coast [J]. *Journal of Coastal Research*. 2007, 50: 432-437.
- [13] Zheng C W, Pan J, Li J X. Assessing the China Sea Wind Energy and Wave Energy Resources from 1988 to 2009 [J]. *Ocean Engineering*, 2013, 65: 39-48.
- [14] 郑崇伟,林刚,孙岩,等. 近45年太平洋波浪特征分析[J]. *热带海洋学报*, 2012, 31(6): 6-12.
- [15] 陈红霞,华锋,袁业立. 中国近海及临近海域海浪的季节特征及其时间变化[J]. *海洋科学进展*, 2006, 24(4): 407-415.
- [16] 郭随平,庄卉,郑崇伟,等. 南海海浪场与厄尔尼诺的相关性分析[J]. *海洋预报*, 2012, 29(6): 37-43.

Long term trend of sea surface wind speed in the Northern Indian Ocean from 1958 to 2001

LIU Tie-jun¹, ZHENG Chong-wei², LI Xun-qiang³, ZHANG Wen-jing³

(1. Navy Marine Hydrometeorological Center, Beijing 100161 China; 2. NO. 92538 Army of PLA, Dalian 116041 China ;3. Institute of Meteorology, PLA Univ. of Sci. & Tech., Nanjing 211101 China)

Abstract: In this paper, based on the ERA-40 wind field data from ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), the long-term linear trend of sea surface wind speed from 1958 to 2001 in the northern Indian Ocean was analyzed. Results show that, (1) from 1958 to 2001, wind speed in low latitude of northern Indian Ocean and a wide range areas from Somalia to Sri Lanka shows an obvious increasing trend. Only some scatter regions have a decreasing trend during the last 44 years. (2) Sea surface wind speed in the entire of the northern Indian Ocean shows an obvious increasing trend with a rate of $0.0061\text{m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{a}^{-1}$ from 1958 to 2011. (3) Linear trends of sea surface wind speed in different areas of the northern Indian Ocean have prominent seasonal variability. (4) During the last 44 years, there is a significant 2.0 years 2.6—3.7 years, 5.2 years of change cycles, and 26 years of long-period oscillation for the North Indian Ocean sea surface wind speed.

Key words: ERA-40 wind field data; North Indian Ocean; long-term trend; periods