印度洋—南海海域海表风场的时空分布特征

苏　勤[1]，杨　艳[1]，郑崇伟[2]

（1. 海洋出版社　北京　100081；2. 92538 部队气象台　大连　116041）

摘　　要：利用来自 ECMWF 的 ERA－40 风场资料，采用 EOF、线性回归等方法，分析了 1958－2001 年期间印度洋—南海海表风场的时空分布特征。结果表明：（1）该海域背景特征存在两个比较明显的高值区：索马里附近海域、南海海域，分别反映的是夏季索马里附近海域强劲的西南季风、南海冬季频繁的冷空气。（2）该海域海表风场的第二模态在空间分布特征上，北印度洋中纬度海域与赤道附近海域呈反位相分布，40°S 与 60°S 海域也呈反位相分布；第三模态则整个北印度洋与南印度洋呈反位相分布。（3）1958－2001 年期间，印度洋—南海的海表风速整体上呈显著性逐年线性递增，尤其以 1975—1980 年期间的递增趋势最为强劲，1975 年的年平均风速为近 44 年的最低点。

关　键　词：印度洋；南海；海表风场；时空分布特征；变化趋势

1　引言

作为全球第三大洋，印度洋是连接太平洋和大西洋的枢纽，处于世界海权体系的中心地位，马汉曾经说过：“谁控制了印度洋，谁就控制了亚洲”，海表风场作为一项重要的气象要素，对航海、海洋工程、海洋资源开发等都具有重要影响[1]。

研究表明[2]：印度洋 10°S 以北的大部分洋区都在季风的控制之下。北印度洋是全球海洋上最显著的季风区。冬季盛行 NE 风，夏季盛行 SW 风，风力、风向稳定。北印度洋风速的分布规律为：南、北两端小，中部大；东部小，西部大。南印度洋全年的风场基本相似，风向基本是以 35°S，75°E 为中心逆时针方向旋转[3]。梅勇等[4－5]利用 ERA－40 的 10 m 风场驱动 WW3 海浪模式，模拟得到北印度洋—南海海域 44 年的海浪场资料，分析发现北印度洋—南海海域存在 3 个大风、大浪区，亚丁湾以东洋面风力最强；海表风场和有效波高存在 35 年、15 年和 3 年的主周期的变化，并自 20 世纪 70 年代中期以来，年平均风速和有效波高都存在明显的增强趋势，1977 年为突变起始年；年平均海表风速和有效波高随时间增大主要是由冬季和春季海表风速和有效波高随时间增大引起的；冬季和秋季海表风场和有效波高年际和年代际变化的周期或位相比较一致，冬季以 35～40 年左右的周期为主，秋季以 11～12 年左右的周期为主。郑崇伟等[6]曾利用 ERA－40 海表 10 m 风场驱动第三代海浪数值模式 WW3，得到南海—北印度洋 1957 年 9 月至 2002 年 8 月的海浪场，分析了该海域的波候、风候特征，结果表明：北印度洋大部分海域的海表风速呈显著性逐年线性递增趋势，约 0.01～0.02m/（s·a），南海线性递增的区域则较少。由于受到资料等问题的限制，以往的研究多是基于极为有限的观测资料展开的研究，本研究利用来自欧洲中期天气预测中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts，ECMWF）的 ERA－40 风场资料，对印度洋的海表风场特征进行研究，为航海、海洋资源开发等提供科学依据。

2　资料简介

ERA－40 风场来自 ECMWF，其时间范围从 1957 年 09 月 01 日 00：00 时至 2002 年 8 月 31 日 18：00 时，时间分辨率为 6 小时；该数据的空间范围为 87.5°S—87.5°N，0°—357.5°E，空间分辨率为 2.5°×2.5°。ERA－40 为 45 年（1957 年中期至 2002 年中期）的同化数据，包括航海观测、飞机观测、高空探测以及卫星资

料在内的观测资料参与同化。ERA－40 包括分辨率为 2.5°×2.5°、1.0°×1.0°、0.75°×0.75°的每日 00：00 时、06：00 时、12：00 时、18：00 时的数据、日平均和月平均等数据，但对中国只提供 2.5°×2.5°资料。整体来看 ERA－40 再分析资料具有较高的可信度，在国外也得到广泛的认可和运用[7－11]。

3 海表风场特征分析

3.1 海表风场的空间分布特征

将印度洋－南海海域的海表风速从 1958—2001 年进行逐年平均，得到 44 个时次的年平均海表风场，用 EOF（Empirical Orthogonal Function）分析方法，分析印度洋－南海海域海表风速的时空分布特征（图 1）。第一模态主要反映气候背景场特征，其他模态则是反映叠加在背景场上的扰动场。

计算得到印度洋－南海海域海表风场 EOF 分析的第一模态方差贡献率为 99.799%，第二模态的方差贡献为 0.052%，第三模态的方差贡献为 0.021%，前三模态累积方差贡献率超过 99.8%，取前三模态做研究已能够充分反映该海域海表风场的主要特征。

从海表风场的气候背景特征可以看出（图 1a），存在两个比较明显的高值区：索马里附近海域、南海海域，索马里附近海域的大值区呈 NE—SW 走向，该模态反映的是夏季索马里附近海域强劲的西南季风，也就是说该海域的风场主要受西南季风影响；南海的大值区位于吕宋海峡至中南半岛东南海域一带，呈 NE—SW 走向，该大值区应该主要是由于冬季大风造成的，也就是说该海域的背景场以冬季风为主导，即第一模态主要体现了南海海域冬季频繁的冷空气过程。赤道及赤道以南海域的等值线则主要呈东西带状分布，由赤道往南半球高纬度海域表现出“低—高—低—高”的分布特征。赤道附近的低值区较好地体现了赤道无风带风速较小的特征；40°—60°S 的大值区主要表现的是南半球西风带海域常年都为风速的大值中心，这与南印度洋西风带海域素有“咆哮西风带”之称的特征相吻合。

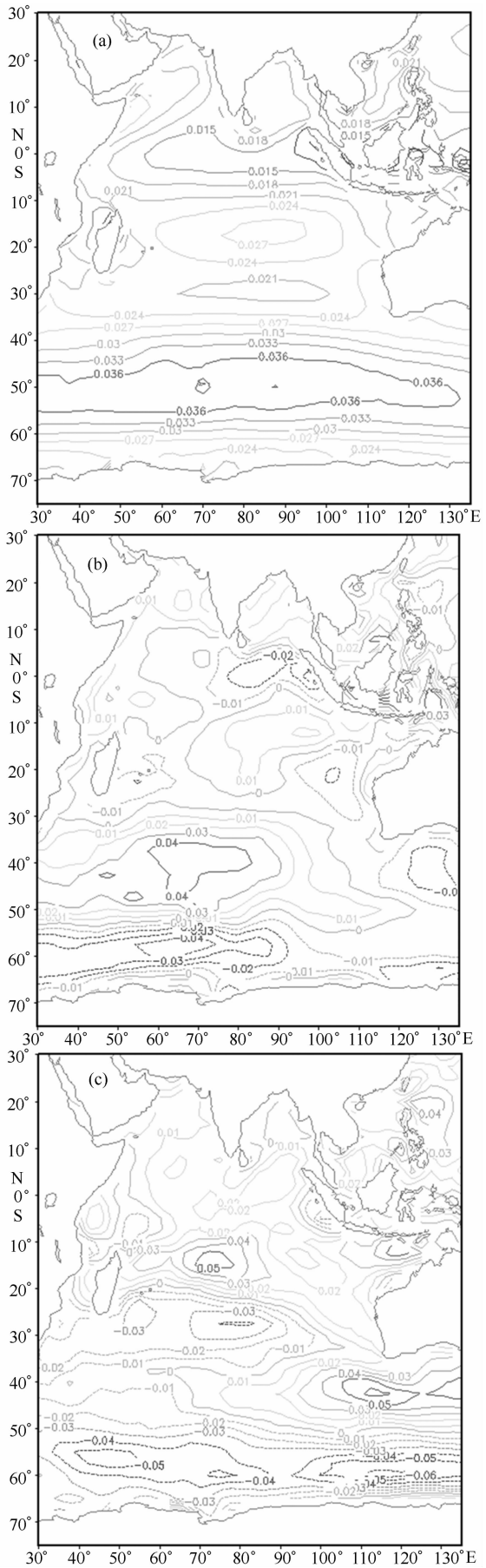

图 1 a－c：印度洋－南海海域海表风场 EOF 分析的第一、第二和第三模态的空间分布特征

第二、第三模态是叠加在气候背景场上的扰动场，等值线的分布特征明显没有第一模态规则。第二模态在空间分布特征上，北印度洋中纬度海域与赤道附近海域呈反位相分布，40°S 与 60°S 海域也呈反位相分布。第三模态整个北印度洋与南印度洋则呈反位相分布（图 1b 和图 1c）。

3.2　海表风速的时间变化特征

采用一元线性回归分析方法，分析印度洋－南海海表风场 EOF 分析第一模态时间系数的长期变化趋势（图 2）。

相关系数 $|r| = 0.78 > r_{0.05} = 0.29$，通过了 99%的信度检验，说明印度洋－南海海表风速的线性变化趋势是显著的；回归系数为 0.458 4，即近 44 年期间，印度洋－南海的海表风速整体上是显著性逐年线性递增的。

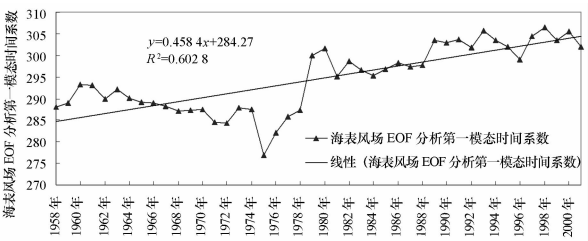

图 2　印度洋海域海表风场 EOF 分析的第一时间系数及其变化趋势

4　结论

利用 ERA－40 风场资料，采用 EOF、线性回归等方法，分析了 1958－2001 年期间印度洋－南海海表风速的时空分布特征，结果表明：

（1）该海域背景特征存在两个比较明显的高值区：索马里附近海域、南海海域，索马里附近海域的大值区呈 NE—SW 走向，该模态反映的是夏季索马里附近海域强劲的西南季风；南海的大值区位于吕宋海峡至中南半岛东南海域一带，呈 NE—SW 走向，主要体现了南海海域冬季频繁的冷空气过程。赤道及赤道以南海域的等值线则主要呈东西带状分布，由赤道往南半球高纬度海域表现出“低—高—低—高”的分布特征。赤道附近的低值区较好地体现了赤道无风带风速较小的特征；40°—60°S 的大值区主要表现的是南半球西风带海域常年都为风速的大值中心，这与南印度洋西风带海域素有“咆哮西风带”之称的特征相吻合。

（2）该海域海表风场的第二模态在空间分布特征上，北印度洋中纬度海域与赤道附近海域呈反位相分布，40°S 与 60°S 海域也呈反位相分布；第三模态则整个北印度洋与南印度洋呈反位相分布。

（3）1958－2001 年期间，印度洋－南海的海表风速整体上呈显著性逐年线性递增。1958－1960 年期间呈递增趋势，1960－1972 年期间呈缓慢的递减趋势，1974－1975 年，风速剧烈递减，并在 1975 年达到近 44 年的最低点，1975－1980 年期间表现出非常强劲的递增趋势，1981－2001 年期间呈缓慢的递增趋势。

参考文献

[1]　郑崇伟，苏勤，刘铁军．1988－2010 年中国海波浪能资源模拟及优势区域划分[J]．海洋学报，2013，35(3)：104－111.

[2]　李培，张鎧，俞慕耕．北印度洋气候特点分析[J]．海洋预报，2003，20(3)：25－30.

[3]　梁玉清，刘金芳，张珐，等．南印度洋海浪场时空特征分析[J]．海洋预报，2003，20(1)：25－31.

[4]　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.

[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]　郑崇伟，李训强，潘静．近 45 年南海－北印度洋波浪能资源评估[J]．海洋科学，2012，36(6)：101－104.

[7]　郑崇伟，李训强，潘静．近 45 年南海－北印度洋波候统计分析[J]．台湾海峡，2012，31(3)：317－323.

[8]　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.

[9]　郑崇伟，潘静．全球海域风能资源评估及等级区划[J]．自然资源学报，2012，27(3)：364－371.

[10]　郑崇伟．近 45 年全球海域波浪能资源研究及等级区划[J]．亚热带资源与环境学报，2013，8(1)：18－24.

[11]　Zheng Chong-wei, Pan Jing, Li Jia-xun. Assessing the China Sea Wind Energy and Wave Energy Resources from 1988 to 2009 [J]. Ocean Engineering, 2013, 65: 39－48.