

东中国海及毗邻海域海面风场季节及年际变化特征分析

孙 龙¹, 于华明², 王 朋³, 常小军², 王树乐⁴

(1. 总参气象水文局, 北京 100081; 2. 中国海洋大学 山东 青岛 266100; 3. 北海舰队海洋水文气象中心, 山东 青岛 266003; 4. 91439 部队, 辽宁 大连 116041)

摘 要: 本文基于美国 Remote Sensing Systems 公司提供的 QuickScat 海面风场产品, 空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的月平均资料, 进行了两种经验正交函数分解(EOF), 以此分析研究中国近海(渤海、黄海、东海)以及台湾以东、以南洋面海面风场的季节变化和年际变化特征。研究发现: (1) 季节变化是东中国海海面风速变化的最主要特征, 其变化占总变化方差的 70.9%, 黑潮的季节变化, 通过海气交换影响其流经海域局地风场; (2) 东中国海及毗邻海域海面风速变化与太平洋年际变化以及热带风暴爆发有关, 东中国海海面风速年际变化显著的周期为 1.5 年和 3.1 年; (3) 东中国海海域近年来整体上海表风速处于增大的趋势中, 风速增大最大的区域出现在台湾东侧海域黑潮流经区域, 最大增速在 0.025 m/s/a 以上。

关键词: 渤海海面风场; EOF; 东中国海

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2010)02-0030-08

1 引言

东中国海纵跨温带和副热带, 海面风场季节变化明显, 冬季受亚洲高压影响, 以偏北风为主, 平均风速为 $6 \sim 10 \text{ m/s}$, 东海南部海区以东北风为主, 特别是台湾海峡, 风向较稳定, 风速也较大, 伴随强偏北大风, 冬季常有寒潮南下; 夏季东中国海以偏南风为主, 平均风速 $5 \sim 6 \text{ m/s}$ ^[1], 这期间热带气旋常常取道东海而北上, 据统计近年来西北太平洋热带风暴生成频数呈增加的趋势。随着全球变暖, 南北极冰盖融化加快, 全球海面风场必定随之发生一定的变化, 与此同时, 东中国海及毗邻海域的海面风场如何变化, 年际变化有何特征, 受制于哪些因素控制, 这些问题的研究对于海洋研究、海洋预报具有重要意义。

近十年来, 随着卫星海洋学的迅速发展, 尤其是微波散射计的发展, 全球海表风速可以得到

较高分辨率和较高精度的反演。自从 1999 年 6 月安装在 QuickBird 卫星上的 SeaWind 微波散射计开始工作, 到目前为止已经可以获得 10 年全球海表风速的资料, 该资料对于研究海面风速的季节变化以及年际变化具有重要意义。

本文充分利用卫星反演海表风速资料覆盖范围大、时间连续的特点, 将关注点集中在整个东中国海及毗邻海域海表风速的季节变化和年际变化以及空间分布特征上, 力图找出其影响因素和变化机理。

2 资料来源及处理

2.1 资料来源

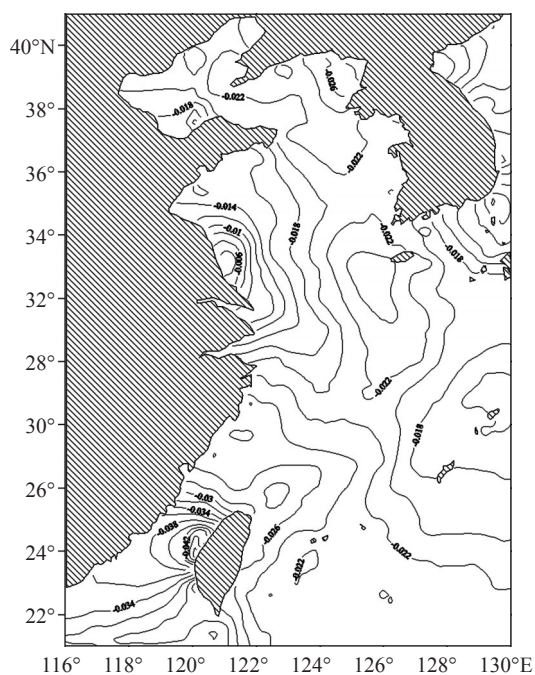
海表风速的基础数据来源于美国遥感系统研究公司(Remote Sensing Systems)提供的 QuickScat 月平均资料, 下载网址为: <http://www.ssmi.com/>

收稿日期: 2009-02-16

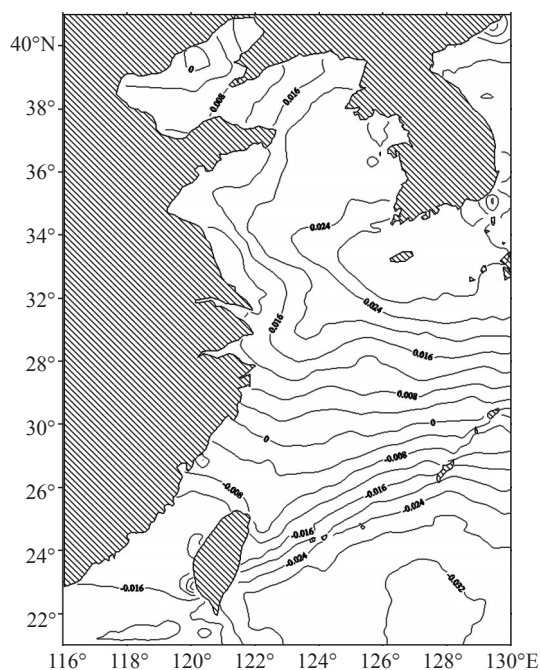
基金项目: 我国海洋区域新能源开发利用调研

作者简介: 孙龙 (1982-), 男, 助理工程师, 主要从事海洋预报和物理海洋研究工作。E-mail: sheng125117@sohu.com

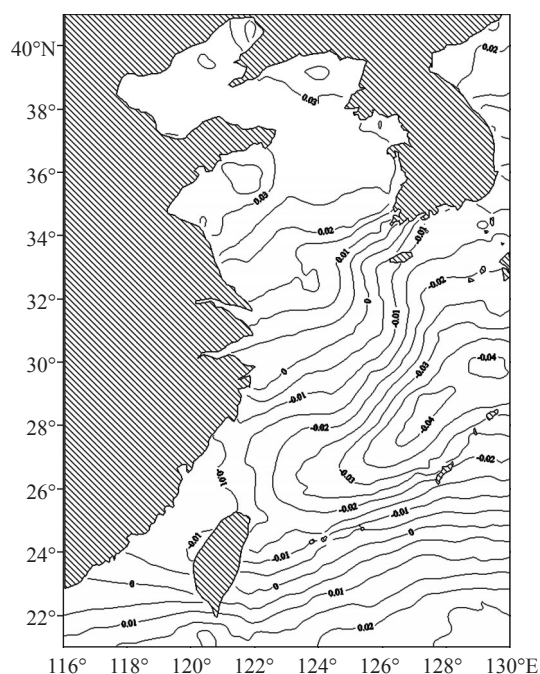
qscat/qscat_description.html, 其空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 。这一资料将微波散射计数据和辐射计数据结合起来, 使用4个卫星微波辐射计(F13 SSMI, F14 SSMI, F15 SSMI, and TMI)对海面风速反演进行质量控制, 另外, 海冰探测技术也用于对该资料集进行质量控制。本文所用资料时间



a 季节 EOF 第一模态



b 季节 EOF 第二模态



c 季节 EOF 第三模态

图1 东中国海季节 EOFs 分解前3个模态的空间分布等值线(m/s)

跨度为1999年7月~2008年7月, 共计9年, 研究范围为东中国海及毗邻海域 ($18.04^\circ \sim 41.024^\circ \text{N}$, $116^\circ \sim 130.02^\circ \text{E}$), 见图1。

2.2 资料处理

EOF 方法即经验正交函数分解, 可以把数量众多的变量分解成不随时间变化的空间函数和不随空间变化的时间函数两部分, 从而达到降维分析的目的^[2]。本文正是利用这一方法对东中国海及其毗邻海域海面风速场进行时空特征分析。

本文从1.1中得到的海表风速月平均场中找到2150个测点共108个月的数据进行分析研究。为进行海表风速的季节变化特征分析, 对原始资料直接进行 EOF 分析^[3], 得到其时空分布特征, 之后对各模态时间函数进行谱分析, 得到其主要变化周期; 另外, 为消除季节变化影响, 对每个测点1999~2008年月平均海表风速序列进行12个月低通滤波^[4], 再对得到的年际分量进行 EOF 分析, 用以探讨此区域的海表风速年际变化特征及其对应的空间分布结构。为了方便下文表述, 第一种分

析方法下文称之为季节 EOFs 分析, 第二种分析方法下文称之为年际 EOFs 分析。

3 海表风速季节变化和年际变化特征分析

3.1 海表风速季节变化特征分析(季节 EOFs 分析)

表 1 是季节 EOFs 分析的前 3 个模态的特征值及其百分比。根据显著性检验条件, 当相邻特征值满足:

$$\lambda_j - \lambda_{j+1} \geq e_j, e_j = \lambda_j \left(\frac{2}{n} \right)^{1/2} \quad (n \text{ 是样本个数})$$

则认为这两个特征值所对应的经验正交函数是有价值的信号^[5]。据此认为分解得到的前 3 个特征向量都是可信的, 有价值的。百分比是各模态对应的特征值与所有特征值之和的比值, 表示该模态对总方差的贡献, 前 3 个模态的累计方差贡献率达到 84.9 %, 可以代表原始场的主要特征, 在此主要分析季节 EOFs 分析结果的前三个模态。

表 1 季节 EOFs 的前三个特征向量对应的特征值及其百分比

模态	1	2	3	总和
特征值	333530	43240	22775	399545
百分比 (%)	70.9	9.2	4.8	84.9

季节 EOFs 的第一模态解释了总方差的 70.9 %, 是东中国海海表风速变化的最主要形态。图 1a 为东中国海海表风速季节 EOFs 分析结果的第一模态的空间分布函数, 图 2a 为其时间变化函数, 这一模态主要反映出与东中国海及毗邻海域海表面风速季节变化有关的相关信息, 季节 EOFs 第一模态的时间函数表现出明显的季节变化, 对其进行功率分析可以看出(见图 3a), 第一模态时间函数的最主要周期为年周期。从图 1a 中可以看

出季节 EOFs 第一模态的量值在整个海区均为负值, 说明整个海区海表风速的增大、减小是同步的。从空间分布看, 台湾海峡海域振幅最大, 振幅最大值出现在台湾西部海域, 达到 0.04 m/s 以上, 这可能与该海域处于副热带区域, 夏季热带风暴频发有关; 振幅最小值出现在长江口以北的江苏省沿岸, 振幅最小值在 0.01 m/s 以下, 说明该区域风速大小的年变化相对不大。另外, 第一模态空间函数在黑潮区域的分布呈明显的舌状分布, 与黑潮路径具有很好的一致性, 这与黑潮流经该海域, 黑潮的季节变化, 通过海气交换影响局地风场的作用有关, 说明此处风场受黑潮作用显著, 具有较强的局地特征。渤海中的莱州湾、对马海峡等海域的振幅相对较小。通过对第一模态的时间函数与南方涛动指数 (Southern Oscillation Index, SOI) 做相关分析(见表 2), 发现其相关系数可达 -0.2977, 具有一定的相关性, 说明第一模态除了包含最主要的季节变化信号之外, 还具有与厄尔尼诺相关的某些信号, 即东中国海海表面风场受厄尔尼诺全球变化效应的影响。

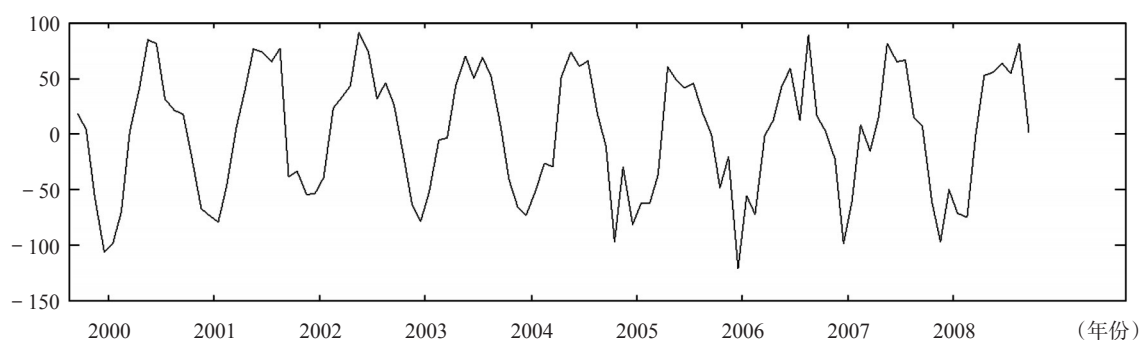
季节 EOFs 的第二模态和第三模态分别解释了总方差的 9.2 % 和 4.8 %, 相比第一模态比重较小, 但是其研究意义重大。图 1b 和图 1c 为东中国海海表风速季节 EOFs 分析结果的第二模态和第三模态的空间分布函数, 图 2b 和图 2c 为其对应的时间变化函数, 这两个模态主要反映出与东中国海及毗邻海域海表面风速年代际尺度变化特征以及热带风暴爆发有关的变化。从图 1b 和图 1c 中可以看出这两个模态的空间分布函数呈西北高、东南低的特点, 以各自零线为界, 南北呈“跷跷板”分布, 与第一模态空间函数分布不同, 第二和第三模态空间函数在南北海区增大和减小不同步, 而是反位相。其中第二模态空间分布函数等值线在 32°N

表 2 季节 EOFs 各模态结果时间函数与台风频数以及 PDO 指数和 SOI 指数相关性分析

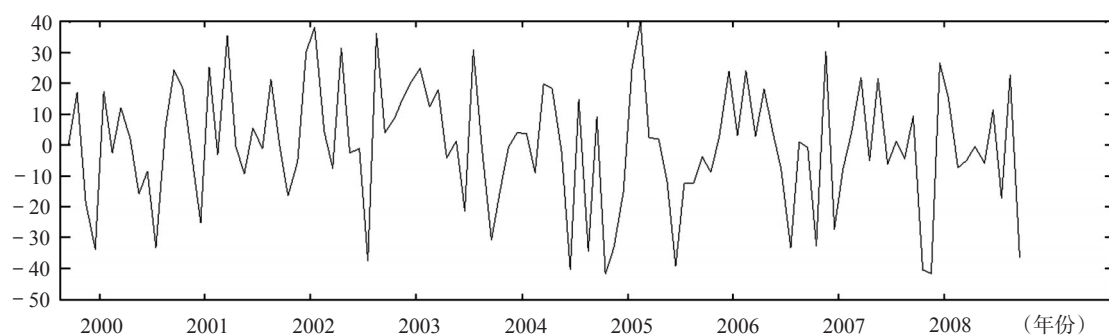
时间函数	指标	登陆中国的热带风暴频数	西北太平洋台风及南海生成的热带风暴频数	PDO 指数	SOI 指数
	系数				
季节 EOFs 第一模态		-0.1028	-0.4141	0.0347	-0.2977
季节 EOFs 第二模态		0.2099	-0.4868	0.1326	-0.0114
季节 EOFs 第三模态		0.3970	-0.6164	-0.2083	-0.0430

以南基本上呈东西条带状分布,而在 32°N 以北等值线基本上呈南北条带分布,第二模态空间函数以 28°N 为界,以北呈现正位相,以南呈现负位相。第三模态空间函数以杭州湾南部与朝鲜半岛南部连线为界,西北部为正位相,东南部为负位相,等值线大体呈西南-东北走向。与第一模态相比,第二和第三模态的时间函数不仅仅只有1年的显著周期,还有多年周期和半年以及几个月的周期(见图2b、2c和图3b、3c)。将第二、第三模态的时间函数与“登陆中国的热带风暴频数”,尤其是与“西北太平洋台风及南海生成的热带风暴频

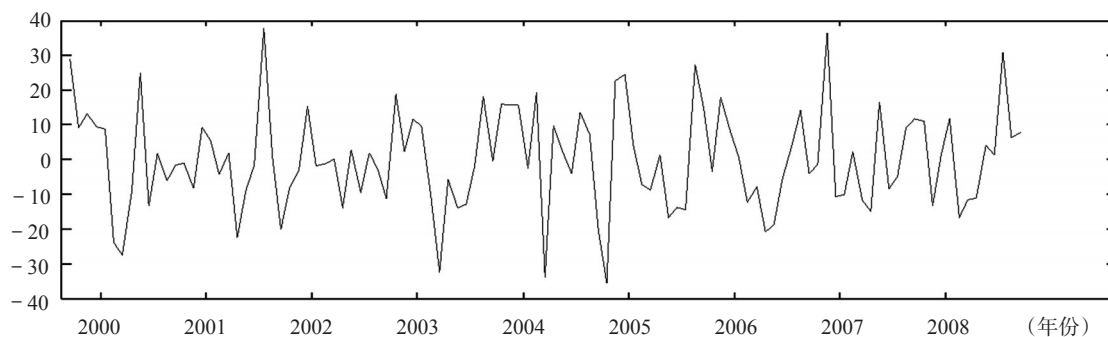
数”的相关系数相比第一模态更高(见表3),第三模态时间函数与“西北太平洋台风及南海生成的热带风暴频数”的相关系数可以达到-0.6164,这说明第三模态主要反映了西北太平洋生成热带风暴的有关信息,热带风暴的多少对于东中国海的风场具有一定的影响。另外,第二和第三模态时间函数与太平洋年代际涛动指数(Pacific Decadal Oscillation, PDO)的相关系数相比第一模态更高,说明太平洋年代际涛动的信号体现在第二,第三模态中,太平洋年代际变化对于东中国海的风速具有一定的影响。



a 季节 EOFs 第一模态时间函数

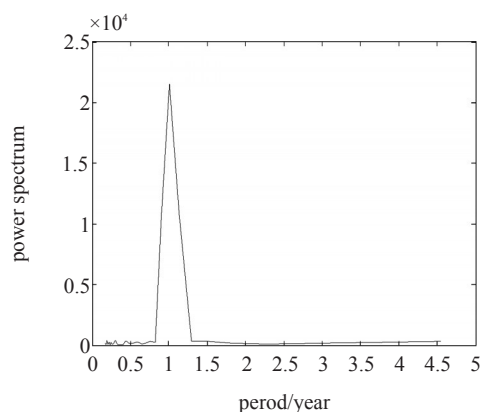


b 季节 EOFs 第三模态时间函数

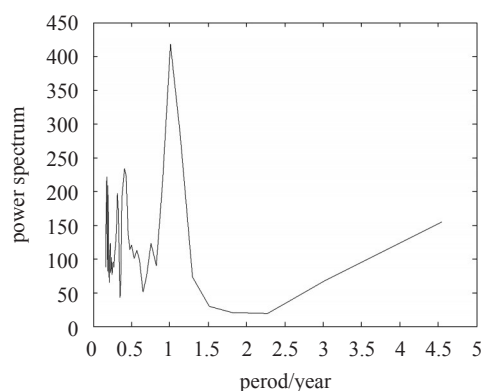


c 季节 EOFs 第三模态时间函数

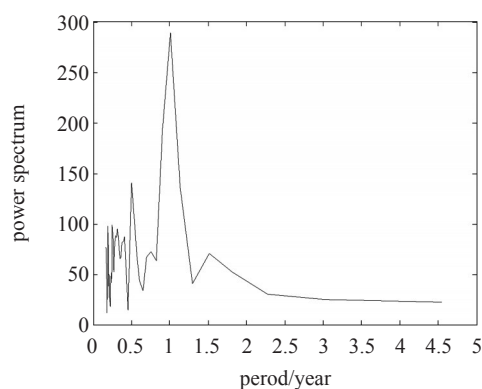
图2 季节 EOFs 分析时间函数分布图



a 季节 EOFs 分析第一模态时间函数功率谱



b 季节 EOFs 分析第二模态时间函数功率谱



c 季节 EOFs 分析第三模态时间函数功率谱

图3 季节 EOFs 分析时间函数功率谱分析结果

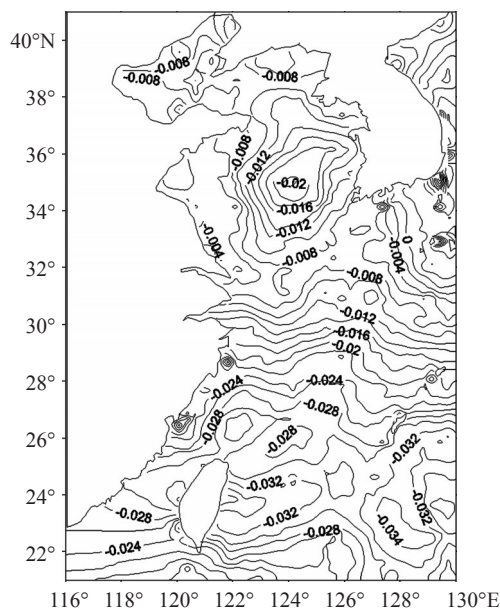
表3 滤波后 EOFs 的前三个特征向量对应的
特征值及其百分比

模 态	1	2	3	总和
特征值	12959	4309	2312	19580
百分比(%)	49.9	16.6	8.9	75.4

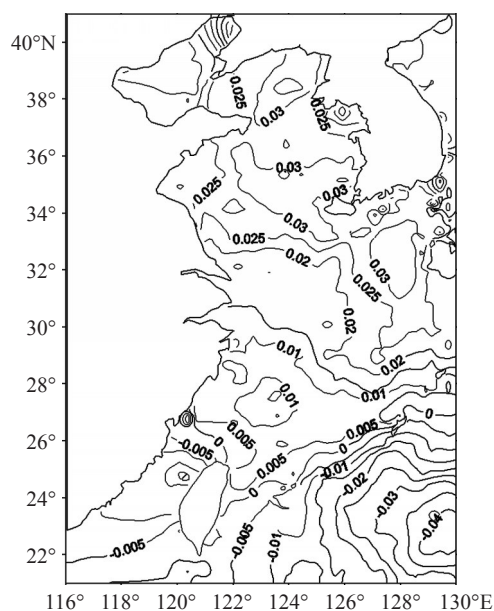
3.2 海表风速年际变化特征分析(年际 EOFs 分析)

表3是年际 EOFs 分析的前3个模态的特征值及其百分比。根据2.1中的显著性检验条件,认为分解得到的前3个特征向量都是可信的,有价值的。前3个模态的累计方差贡献率达到75.4%,可以代表原始场的主要特征,在此主要分析年际 EOFs 分析结果的前三个模态。

年际 EOFs 的第一模态解释了总方差的49.9%,



a 年际 EOF 第一模态



b 年际 EOF 第二模态

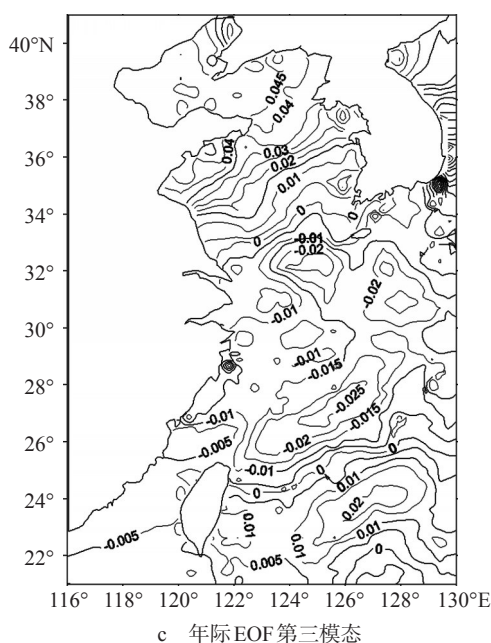


图4 东中国海年际EOFs分解前3个模态的空间分布等值线(m/s)

在东中国海海面风速年际变化中具有重要作用。图4a为东中国海海表风速年际EOFs分析结果的第一模态的空间分布函数,图5a为其对应的时间函数,这一模态主要反映出与东中国海及毗邻海域海表面风速年际变化有关的相关信息。从图4a中可以看出季节EOFs第一模态的量值在整个海区均为负值,说明整个海区海表风速的增大、减小是同步的,这说明整个东中国海海面风速的年际变化具有一致性。但是,第一模态的空间函数分布上具有东海相对较大、黄海相对较小、渤海最小、有东海经黄海向渤海逐渐减小的特点。这说明东海,尤其是台湾东部海域的海表风场的年际变化相对于陆架浅海更加显著。通过第一模态的时间函数可以看出,2002年东中国海海面风速整体上具有负异常值,而在2005年和2008年东中国海海面风速整体上具有正异常。通过对第一模态时间函数进行谱分析可以看出(见图6),东中国海

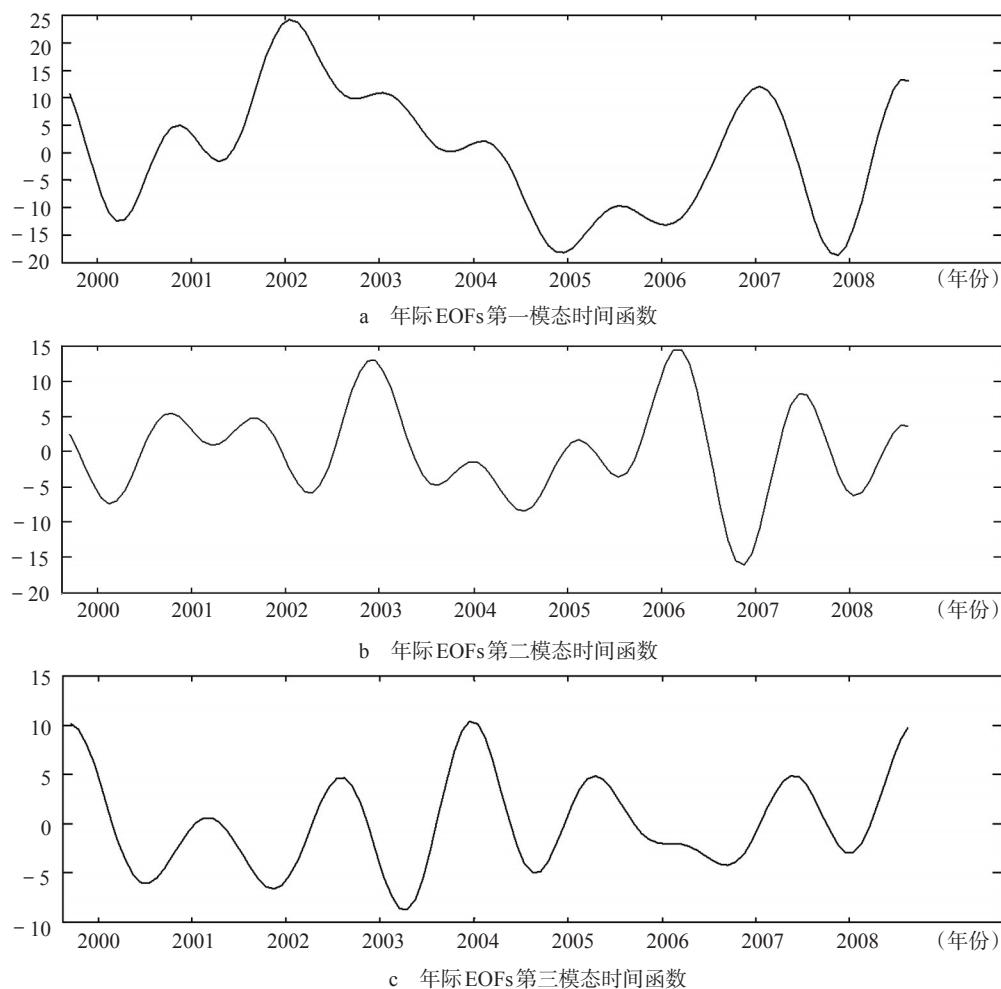


图5 年际EOFs分析时间函数分布图

表4 年际EOFs各模态结果时间函数与台风频数以及PDO指数和SOI指数相关性分析

时间函数	指标	登陆中国的热带风暴频数	西北太平洋台风及南海生成的热带风暴频数	PDO 指数	SOI 指数
	系数				
年际EOFs第一模态		0.0508	-0.3987	-0.1282	-0.1764
年际EOFs第二模态		0.1949	-0.3278	0.1702	0.0134
年际EOFs第三模态		0.0459	-0.7016	-0.1179	0.0216

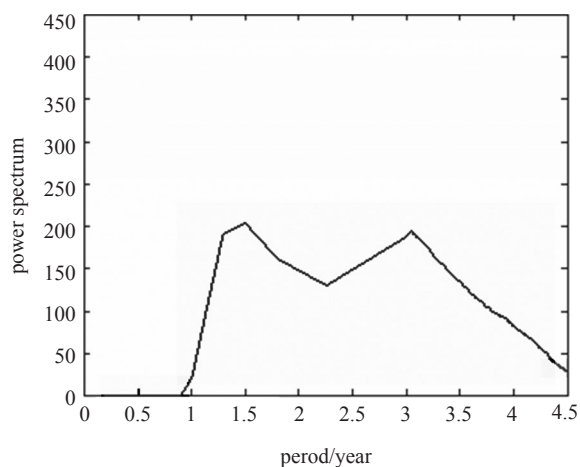


图6 年际EOFs分析时间函数功率谱分析结果

海表面风速年际变化最显著的周期为1.5年和3.1年。通过对年际EOFs第三模态的时间函数与“西北太平洋台风及南海生成的热带风暴频数”进行相关分析,发现其相关系数达到-0.7016,进一步说明全球气候变化对东中国海风场的变化具有一定的影响。

3.3 海面风速变化趋势分析

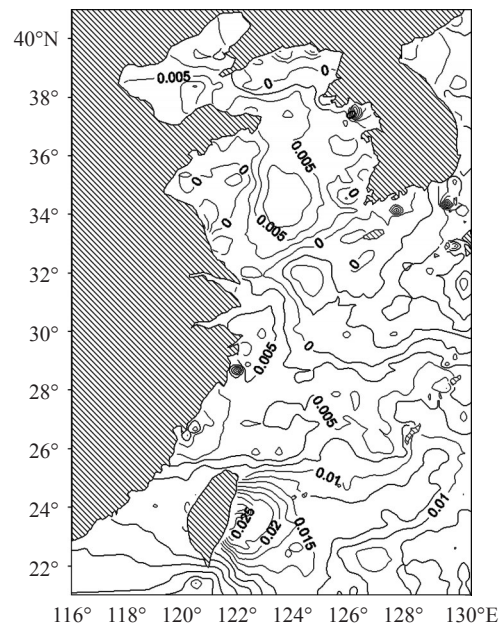
将研究区域的数据进行逐点线性回归,得到回归系数的空间分布场(见图7),几乎所有的海域都处于风速增大的趋势中,风速增大最大的区域出现在台湾东侧海域黑潮流经区域,最大增速在0.025 m/s/a以上,西北太平洋部分海域近年来风速也有增加的趋势,这可能与全球变暖以及黑潮的长期变化有关。另外一部分区域风速年际变化较为稳定,在所研究的时间段内总体上基本没有变化,尤其是在朝鲜半岛沿岸以及山东半岛南部到长江口沿岸海域海表风速近9年来长期变化不明显。

4 结论

本文通过对多年卫星反演海表面风速资料进行分析,发现近十年来东中国海及毗邻海域海表面风速具有以下变化特征:

(1) 季节变化是东中国海海表面风速变化的最主要特征,其变化占总变化方差的70.9%,黑潮的季节变化,通过海气交换影响其流经海域局地风场,使流经区海表面风场具有较强的局地变化特征;

(2) 东中国海及毗邻海域海表面风速变化与太平洋年代际变化以及热带风暴爆发有关,东中国海海表面风速年际变化显著的周期为1.5年和3.1年;

图7 东中国海SST线性变化趋势的空间分布 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$)

(3) 东中国海海域近年来整体上海表风速处于增大的趋势中, 风速增大最大的区域出现在台湾东侧海域黑潮流经区域, 最大增速在0.025 m/s/a以上, 但在朝鲜半岛沿岸以及山东半岛南部到长江口沿岸海域海表风速近9年来长期变化不明显。

参考文献:

- [1] 冯士筴, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.6.
- [2] 于非, 许一. 东海海面温度长期变化趋势研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(4): 477-481.
- [3] Paden C A, Abbott M R, Winant C D. Tidal and atmospheric forcing of the upper ocean in the Gulf of California. 1. Sea surface temperature variability [J]. J Geophys Res, 1991, 96 (C10): 18, 337-359.
- [4] Xu D, Li X, Zhang L, et al. On the distributions of wave periods, wavelengths, and amplitudes in a random wave field [J]. J Geophys Res, 2004, 109 (C05016): 1-16.
- [5] 吴德星, 李强, 林霄沛等. 1990-1999渤海 SSTa 年际变化的特征[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2005, 35 (2): 173-176.

Analysis of the seasonal and interannual variability of sea surface wind in the East China Seas and its adjacent ocean

SUN Long¹, YU Hua-Ming², WANG Peng³, CHANG Xiao-Jun², WANG Shu-Le⁴

(1. PLA General Staff MET-HYD Department Beijing 100081 China; 2. Ocean University of China Qingdao 266100 China; 3. Naval Oceanographic Hydrometeorological Center of the North China Sea Fleet Qingdao 266003 China; 4. 91439 troops, PLA Dalian 116041 China)

Abstract: Based on QuickScat sea surface wind which is provided from Remote Sensing Systems of the United States, with a spatial resolution of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ on the monthly average, two kinds of EOFs (EOF) analysis were conducted in order to analyze the main characteristics of the seasonal and interannual variability of sea surface wind in the East China Seas (the Bohai Sea, Yellow Sea and East China Sea) and the east of Taiwan. The results show that (1) seasonal changes of the East China Sea surface wind speed is the most important feature, which takes 70.9 percent in the total variance of variability; the seasonal variability in the Kuroshio impact the local sea surface wind by air-sea exchange; (2) the sea surface wind speed changes of East China Sea and its adjacent waters have relationship with the Pacific decadal change, as well as the outbreak of the tropical storm, the East China Sea surface wind speed inter-annual change is in a significant period of 1.5 years and 3.1 years; (3) the trend of sea surface wind speed in the East China Sea area is increasing as a whole in recent years, maximum wind speed increasing area happens in the Kuroshio area where is eastern to Taiwan Island, and the largest increasing is about 0.025m/s/a and even more.

Key words: sea surface wind, EOF, East China Sea