

近43年北大西洋海浪场与AO的相关性研究

郑崇伟¹, 李荣波¹, 周林², 李靖²

(1. 92538部队气象台, 辽宁 大连 116041; 2. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 利用来自ECMWF的ERA-40 wave reanalysis海浪资料, 分析了近43年北大西洋海浪场与AO(北极涛动——Arctic Oscillation)的关系。研究发现如下主要特征: 1、北大西洋海域的海表风场和(风浪、涌浪、混合浪)海浪场与AO有着密切的关系, 且存在3.71年左右的共同周期和26年的长周期震荡; 2、通过交叉谱分析发现, 在波数 $k=7$ (周期 $T=3.71$ 年)这一频率上, AO、海表风速、波高振动的凝聚是显著的。

关键词: ERA-40 wave reanalysis; 北大西洋; AO; 周期; 交叉谱

中图分类号: P731 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-0239(2012)03-0036-07

1 引言

前人的研究发现北极极地涡旋的强度对全球的气候会产生重要的影响, Thompson等^[1-2]研究发现AO对北半球中高纬的温度和位势高度有显著的影响, 王冀等^[3]研究发现我国东北春季气温与春季AO指数在年际时间尺度上具有很强的正相关。Wu^[4]的研究发现冬季北极涛动对西伯利亚高压、东亚冬季风以及海冰范围都有一定的影响。本文通过研究AO与北大西洋的海表风场、海浪场(分为风浪场、涌浪场、混合浪场)有较为紧密的关系。

2 ERA-40 wave reanalysis资料简介

ERA-40 wave reanalysis(含海表10 m风速)来自ECMWF(欧洲中期天气预报中心—European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), 该海浪资料将风浪和涌浪进行了分离。其范围覆盖全球海域, 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, 空间分辨率为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$ 。ERA-40海浪资料被国外广泛运用, 精度较高^[1,5-11]。

3 AO与北大西洋海表风场、海浪场的关系

AO指数: 定义将1000hPa位势高度场月平均资料投影到 20°N 以北的EOF分解第一模态的时间系数序列, 月平均的AO指数来自NOAA预报中心Climate Prediction Center(CPC)。

将AO指数取逐年平均, 得到1958—2000年的年平均AO指数, 将北大西洋1958—2000年的海表风速、风浪波高、涌浪波高、混合浪波高进行逐年平均, 分别得到各个网格点上各个要素43个时次的年平均值, 求AO指数与每个格点上每个要素之间的相关系数。

AO与海表风场、风浪场: 由于AO指数与海表风场、风浪场的相关性相似, 在图1中只给出了AO与风浪场的相关系数。1月份, AO与风浪场的相关性为全年最好, 在 10° — 20°N 海域、爱尔兰西部海域呈显著的正相关, 在 30°N 附近海域呈显著的负相关; 4月、7月、10月, AO与风浪场通过了显著性检验的区域不多, 且基本都分布于中高纬海域。

AO与涌浪场: 1月份, AO与涌浪场的相关性为全年最好, 在冰岛附近海域、加勒比海呈显著

收稿日期: 2011-08-16

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2012CB957803, 2010CB950400); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-Q11-03)

作者简介: 郑崇伟(1983-), 男, 硕士, 主要从事物理海洋及海洋能源研究。E-mail: zhengzhang.xia@163.com

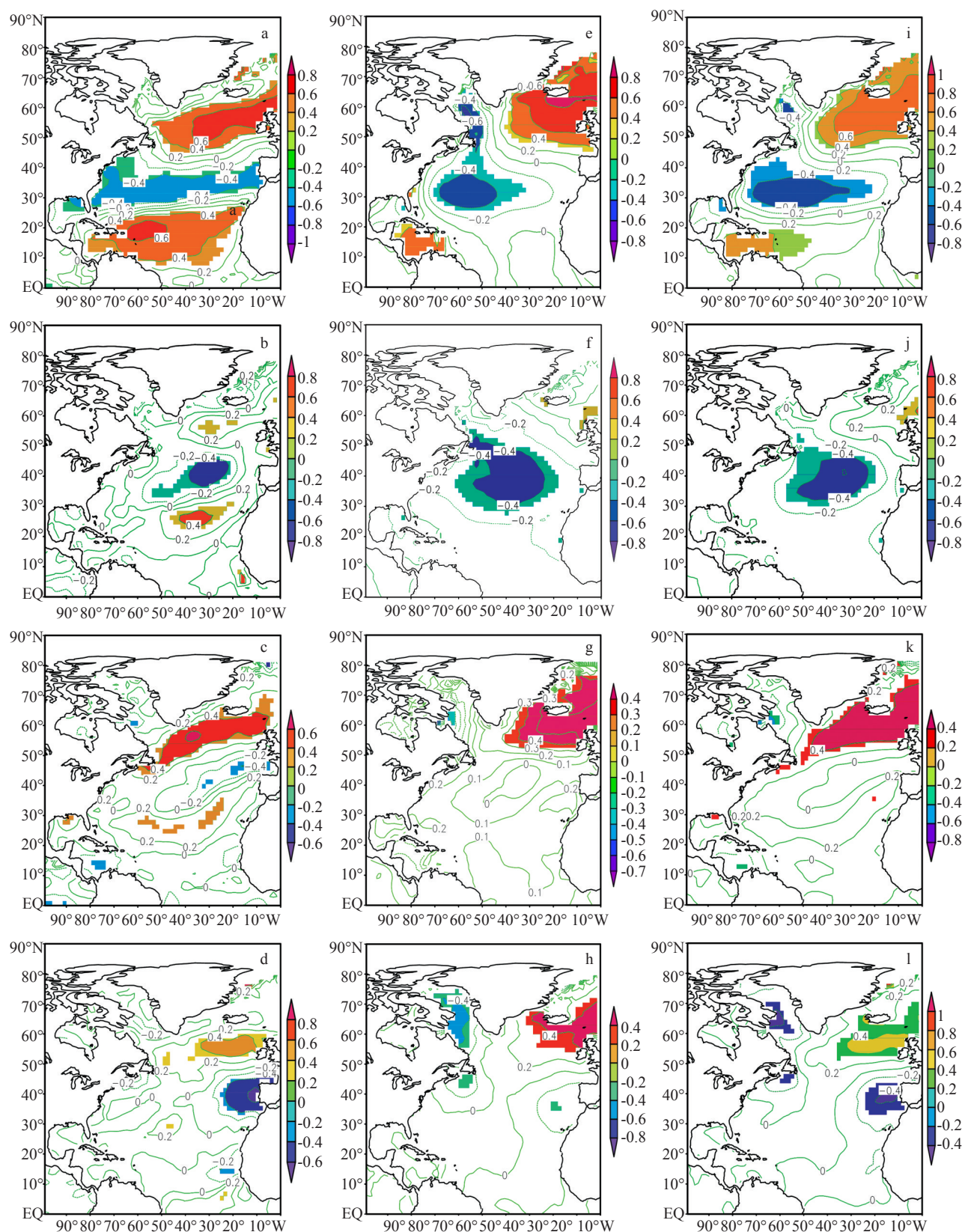


图1 1月,4月,7月,10月北极涛动与北大西洋风浪场(a—d)、涌浪场(e—h)、混合浪场(i—l)的相关性(阴影区代表通过了95%的显著性检验)

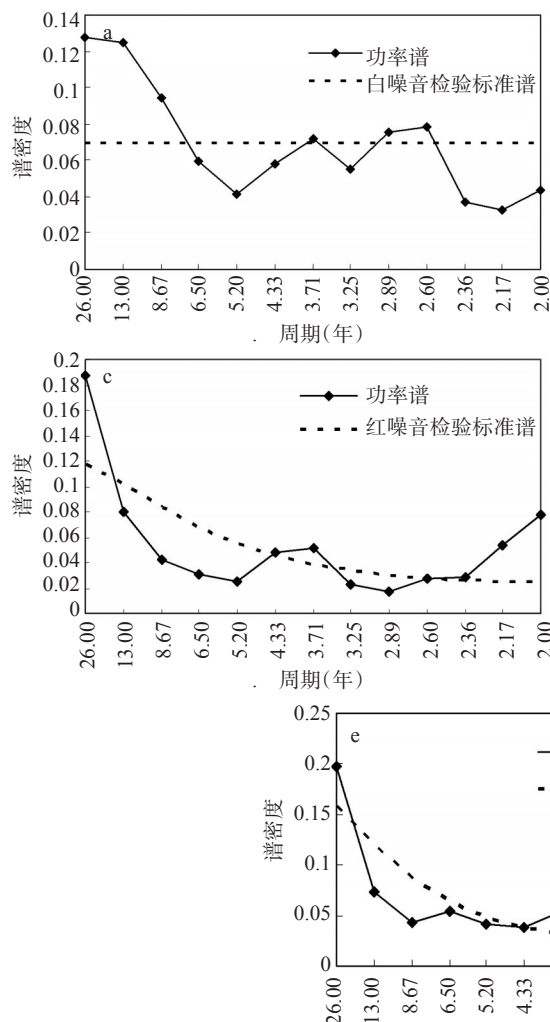
的正相关,在戴维斯海峡、纽芬兰岛南部海域呈显著的负相关;4月份,在北大西洋中部海域(纽芬兰岛东南部海域)呈显著的负相关;7月份,仅冰岛附近海域呈显著的正相关;10月份,在冰岛南部、东部海域呈显著的正相关,在戴维斯海峡、西班牙南部小部分海域呈显著的负相关。

AO与北大西洋的海表风场、海浪场有着密切的关系,其内部物理机制有待利用海气相互作用和大气循环理论加以解释。

混合浪场(i=1)的相关性,阴影区代表通过了95%的显著性检验。

4 AO、海表风速、(风浪、涌浪、混合浪)波高的时间变化特征

将北大西洋1958—2000年的海表风速、风



浪、涌浪、混合浪波高进行逐年区域平均,分别得到各个要素43个时次的年平均值,用功率谱分析各个要素的周期,另外还将AO指数取逐年平均,也用功率谱求周期,发现这几个要素存在多尺度的周期变化,见图2。

AO: 具有明显的2.6—2.89年、3.71年的主周期变化及8.67—26年的长周期震荡。

海表风速: 具有明显的2—2.36年、3.71年的主周期变化及26年的长周期震荡。

风浪波高: 具有明显的2—2.36年、3.71—4.33年的主周期变化及26年的长周期震荡。

涌浪波高: 具有明显的2—5.2年的主周期变化及26年的长周期震荡。

混合浪波高: 具有明显的2—3.71年的主周期变化及26年的长周期震荡。

在上述要素的这些周期上,功率谱估计值都

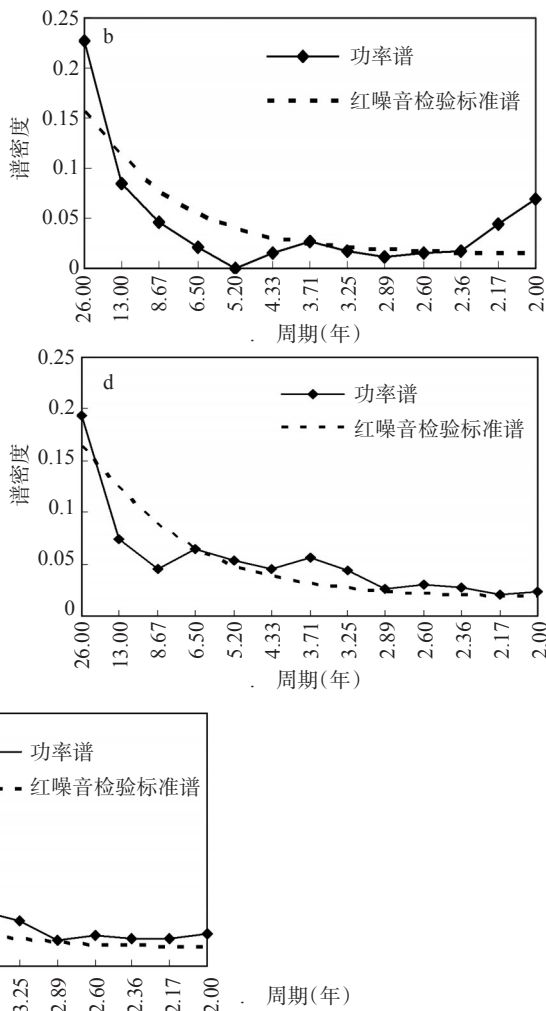


图2 a—e分别为:AO功率谱,北大西洋海表风速、风浪、涌浪、混合浪波高的功率谱

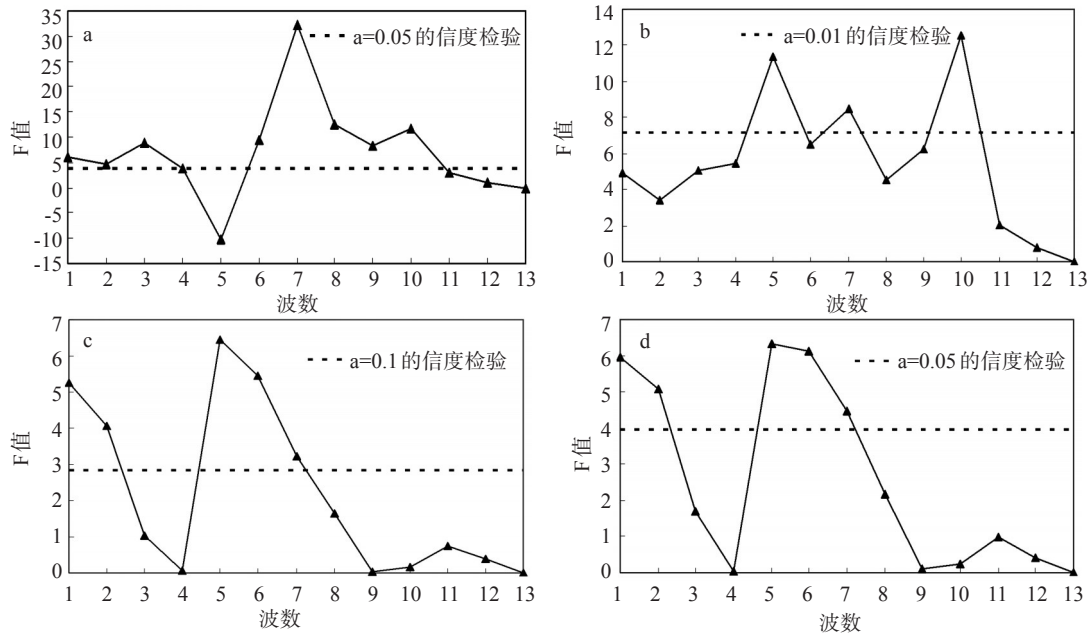


图3 AO与北大西洋海表风场(a)、风浪场(b)、涌浪场(c)、混合浪场(d)交叉谱的F统计的检验结果

超过了 $a=0.05$ (95%) 的红噪音(或白噪音)检验标准谱(见图2)。发现上述几个要素存在3.71年的共同周期及26年的长周期震荡。

5 AO、海表风速、(风浪、涌浪、混合浪)波高的滞后(或超前)关系

将北大西洋1958—2000年的海表风速、风浪、涌浪、混合浪波高进行逐年区域平均,分别得到各个要素43个时次的年平均值,将AO指数取逐年平均。利用交叉谱求取不同时间序列之间的关系,提取出不同要素在不同频率段上的公共相关关系及相应的滞后(或超前)时间关系。

$$\text{自由度: } v = (2n - (m - 1)/2) / (m - 1) \quad (1)$$

$$\text{统计量: } F = (v - 1)R_{12}^2 / (1 - R_{12}^2) \quad (2)$$

$$\text{滞后时间: } L(k) = \theta_{12}(k) * T / 2\pi \quad (3)$$

$$\text{位相: } \theta_{12}(k) = \arctan(Q_{12}(k) / P_{12}(k)) \quad (4)$$

由于 $n=43$, $m=13$, 因此自由度 $v = (2n - \frac{m-1}{2}) /$

$(m-1) = 6.67$, 使用统计量: $F = \frac{(v-1)R_{12}^2}{1-R_{12}^2}$ 检验,

根据显著性水平 a , 查分子自由度为2, 分母自由度为2 ($v-1$)=11.3的F检验表, 如果 $F > F_a$, 则认为在某一频率(周期)上两振动的凝聚是显著的。滞后时间的计算方法为: $L(k) = \theta_{12}(k) * T / 2\pi$ 。

图3给出了F检验结果, 由于在波数 $k=7$ ($T=3.71$ 年)时, 图3a—h的F值均通过了信度检验, 在计算滞后的时候着重关注波数 $k=7$ 时的滞后时间。本文对图10中所有交谱进行了计算, 由于篇幅, 文中仅象征性给出表1。

表1 AO与北大西洋海表风速的交叉谱计算结果

波数	T(年)	P_{11}	P_{22}	P_{12}	Q_{12}	R_{21}^2
1	26	0.15028	0.33778	0.15389	0.04942	0.51466
2	13	0.12501	0.09053	0.04992	0.05033	0.44399
3	8.667	0.09365	0.04318	0.04545	0.01966	0.60654
4	6.5	0.06041	0.02263	0.02331	0.00246	0.40203
5	5.2	0.04202	0.00043	0.00628	-0.00093	2.21074
6	4.333	0.05795	0.01452	0.01124	-0.02003	0.62706
7	3.714	0.07153	0.02625	0.01653	-0.03636	0.84981
8	3.25	0.05536	0.01687	0.01715	-0.01862	0.68622
9	2.889	0.07517	0.01174	0.01981	-0.01139	0.59187
10	2.6	0.07866	0.01567	0.02054	-0.0202	0.67335
11	2.364	0.03656	0.01793	0.01062	-0.01053	0.34103
12	2.167	0.04143	0.07289	0.01997	0.00723	0.14935
13	2	0.03079	0.06270	0.01743	—	—

AO与海表风速：在波数 $k=1-k=3$ ， $k=6-k=10$ 的阶段里，F值均大于 $F_{0.05}$ ，通过了95% ($\alpha=0.05$) 的信度检验，AO与海表风场在上述周期上振动的凝聚是显著的。 $k=7$ 时，对应的落后长度 $L(7)=-0.68$ ，表明在3.71年左右周期，AO比海表风场超前0.68年左右。

AO与风浪波高：在波数 $k=5$ 、 $k=7$ 、 $k=10$ 时，F值均大于 $F_{0.01}$ ，通过了99%的信度检验，AO与海表风场在上述几个周期上振动的凝聚是显著的。 $k=7$ 时，对应的落后长度 $L(7)=-0.38$ ，表明在3.71年左右周期，AO比风浪场超前0.38年左右。

AO与涌浪波高：在波数 $k=1$ 、 $k=2$ 、 $k=5$ 、 $k=6$ 、 $k=7$ 时，F值均大于 $F_{0.1}$ ，通过了90%的信度检验，AO与涌浪场在上述几个周期上振动的凝聚是比较显著的。 $k=7$ 时，对应的落后长度 $L(7)=-0.85$ ，表明在3.71年左右周期，AO比涌浪场超前0.85年左右。

AO与混合浪波高：在波数 $k=1$ 、 $k=2$ 、 $k=5$ 、 $k=6$ 、 $k=7$ 时，F值均大于 $F_{0.05}$ ，通过了95%的信度检验，AO与混合浪场在上述几个周期上振动的凝聚是比较显著的。 $k=7$ 时，对应的落后长度 $L(7)=-0.77$ ，表明在3.71年左右周期，AO比混合浪场超前0.77年左右。

6 结论

(1) 北大西洋的海表风场和浪场(分为风浪场、涌浪场、混合浪场)与AO(北极涛动)有着密切的关系，其中1月份相关性最好，且存在3.71年和26年左右的共同周期；

(2) 通过交叉谱分析发现，在波数 $k=7$ (周期 $T=3.71$ 年)这一频率上，AO、海表风速、波高振动的凝聚是显著的，AO比海表风速超前0.68年左右，比风浪波高超前0.38年左右，比涌浪波高超

前0.85年左右，比混合浪波高超前0.77年左右。

参考文献：

- [1] Thompson D W, Wallace J M. The Arctic Oscillation Signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25(9):1297-1300.
- [2] Thompson D W, Wallace J M. Annular modes in the extra tropical circulation, part 1: Month-to-month variability[J]. *Journal of climate*, 2000, 13(5):1000-1016.
- [3] 王冀, 江志红, 张海东, 等. 1957-2000年东北地区春季极端气温变化及其与北极涛动的关系[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(1): 41-45.
- [4] Wu B Y, Wang J. Possible Impacts of Winter Arctic Oscillation on Siberian High the East Asian Winter Monsoon and Sea-Ice Extent[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19(2):297-320.
- [5] Alvaro S, Kay S A. A Global View on the Wind Sea and Swell Climate and Variability from ERA-40[J]. *Journal of Climate*, 2010. doi:10.1175/2010JCLI3718.1
- [6] Alvaro S, Kay S, Anna R. Variability of Wind Sea and Swell Waves in the North Atlantic Based on ERA-40 Re-analysis[C]. *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference*, Uppsala, Sweden, 2009:119-129.
- [7] 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.
- [5] 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]. 海洋出版社, 2012.
- [6] 郑崇伟, 周林, 周立佳. 西沙、南沙海域波浪及波浪能季节变化特征[J]. *海洋科学进展*, 2011, 29(4):419-426.
- [7] Zheng C W, Zhuang H, Li X, et al. Wind Energy and Wave Energy Resources Assessment in the East China Sea and South China Sea[J]. *Sci China Tech Sci*, 2012, 55(1):163-173.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 张德天, 郑崇伟, 石岭琳等. 基于QN风场的1999-2009年中国海表风场研究[J]. *海洋预报*, 2011, 28(4):58-64.
- [11] 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.

The relationship between AO index and ocean wave in the North Atlantic Ocean during the past 43 years

ZHENG Chong-wei¹, LI Rong-bo¹, ZHOU Lin², LI Jing²

(1. 12 Unit, NO. 92538 Army of PLA, Dalian 116041 China; 2. Institute of Meteorology, PLA University of Science & Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract: Based on the ERA-40 wave reanalysis from ECMWF, the relationship between Arctic Oscillation (AO) index and ocean wave in the North Atlantic Ocean in the past 43 years were analyzed. The result shows that there is a close relationship between AO index and wave field, and they have the same period of 3.71 years and 26 years long periodic oscillation. It is found that the elements mentioned above is significantly in the wave number of $k=7$ (the period of 3.71 years) by cross spectrum analysis, and there are some certain lead-lag relations among the different elements.

Key words: ERA-40 wave reanalysis; the North Atlantic Ocean; AO; period; cross spectrum