

# 经略 21 世纪海上丝路之海洋环境特征： 风候统计分析<sup>\*</sup>

郑崇伟<sup>1,2,3</sup>, 李训强<sup>1</sup>, 高占胜<sup>3</sup>, 付敏<sup>4</sup>, 罗霞<sup>1</sup>

(1. 海军大连舰艇学院 大连 116018; 2. 中国科学院大气物理研究所 LASG 实验室 北京 100029;  
3. 解放军理工大学 气象海洋学院 南京 211101; 4. 国家海洋环境预报中心 北京 100081)

**摘要:**21 世纪海上丝绸之路,以我国泉州为起点,主要涉及海域为南海—北印度洋,惠及沿线多国。深入研究该海域的海洋环境特征,有利于为海上丝绸之路建设提供科学依据、辅助决策。文章利用来自欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)、1979—2014 年、逐 6 h 的海表风场资料、阵风资料,系统性、精细化地统计,分析了该海域的风候(风场气候态)特征,主要包括海表风场的季节特征、(强)风向频率、大风和阵风频率、阵风系数、海表风速的长期变化趋势等。期望可以为航海、海洋工程、防灾减灾等提供科学依据,为海上丝绸之路建设尽绵薄之力。

**关键词:**21 世纪海上丝绸之路;欧洲中期天气预报中心;强风向频率;大风频率;阵风系数

中图分类号:P731

文献标志码:A

文章编号:1005—9857(2015)08—0004—08

## 1 引言

21 世纪海上丝绸之路,以我国泉州为起点,主要涉及海域为南海—北印度洋,惠及沿线多国。该海域是全球重要的海上通道之一,也是我亚丁湾护航的必经之地,印度洋更是处于世界海权体系的中心地位,其“贸易通道”和“石油航线”是许多国家所依赖的“战略生命线”,战略地位不言而喻<sup>[1-3]</sup>。深入研究该海域的海洋环境特征,方可海上丝路建设提供科学依据。例如,航海、港口建设、海上施工和防灾减灾等对大风频率、强风向等都极为关注<sup>[4]</sup>。深入研究该海域的海洋环境特征,有利于为 21 世纪海上丝绸之路建设提供科学依据、辅助决策。前人对我国的海洋环境特征做了较多工作,但对北印度洋的海洋环境特征的关注较少,系统性的分析工作更是凤毛麟角。

郑崇伟等<sup>[5]</sup>曾分析了南海—北印度洋的海表风场特征,发现该海域的风速风向受季风影响显著;北印度洋大部分海域的海表风速以 1~2 cm/s 的速度显著性逐年线性递增,南海线性递

增的区域则较少;南海海表风速具有明显的 2.0~2.4 a、5.2 a 的主周期变化,北印度洋海表风速;具有明显的 2.4~5.2 a 的主周期变化及 26.0 a 的长周期震荡。

此外,郑崇伟等<sup>[2]</sup>还利用该资料,分析了南海—北印度洋的波浪能资源整体状况,发现大部分海域的年平均波浪能流密度在 2 kW/m 以上,2 kW/m 和大于 4 kW/m 以上能流密度出现的频率都较高,这有利于在一些重要港口、岛礁展开海浪发电、海水淡化等波浪能开发工作。

张磊等<sup>[6]</sup>曾利用 CCMP (cross-calibrated, Multi-platform) 风场资料,分析了北印度洋海表风速的长期变化趋势,发现该海域的海表风速在近 22 a (1988—2009 年)期间整体上以 0.028 6 m/s 的速度显著性逐年线性递增。郑友华等<sup>[7]</sup>曾分析了北印度洋海表风速、有效波高的突变形势,发现年平均海表风速、有效波高的突变形势与冬季相似,突变期都在 20 世纪 80 年代初。

李培等<sup>[8]</sup>曾利用 1950—1995 年共 46 a 的北

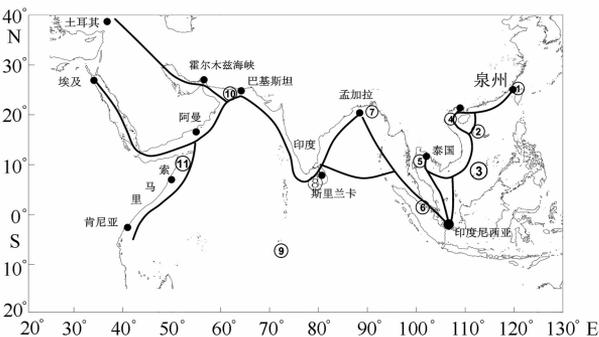
\* 基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2015CB453200, 2013CB956200);国家自然科学基金项目(41490642)。

印度洋气象船舶资料,按  $5^{\circ} \times 5^{\circ}$  网格统计单元,对北印度洋的气候特征进行过分析,绘制了历年各月风向频率、平均风速、6 级和 8 级大风、能见度、雾和雷暴等气象要素分布图。

前人对南海、北印度洋的风候特征做过很大贡献,但是由于受到资料、分析技术等诸多因素的限制,早期的研究在空间分辨率、系统性方面还有很大的改进潜力。空间分辨率偏低会将一些重要的海域遗漏,极值风速、阵风系数没有计算等,这些缺陷意味着不能很好地为海洋开发提供参考。本文利用来自欧洲中期天气预报中心 (ECMWF)、近 36 a (1979—2014 年)、高空间分辨率的海表风场资料 (ERA-interim 风场资料)、阵风资料,综合考虑风速风向的季节特征、(强) 风向频率、6 级以上大风和阵风频率、阵风系数、海表风速的长期变化趋势等,对南海—北印度洋的风候特征展开精细化、系统性研究,期望可以为航海、海洋工程、海洋能开发和防灾减灾等提供科学依据,为 21 世纪海上丝绸之路建设尽绵薄之力。

## 2 数据及方法

利用来自 ECMWF 的风场资料,包括平均风和阵风资料,系统性、精细化地统计分析了 21 世纪海上丝绸之路涉及海域的风候特征。此外,还重点分析了台湾海峡、北部湾、西沙海域、西卫滩、马六甲海峡、吉大港、科摩林角、迪戈加西亚、瓜达尔港、霍尔木兹海峡、哈丰角、达累斯萨拉姆一些重要节点的(强)风向频率,重要节点分布图见图 1。



①台湾海峡;②中国西沙海域;③中国南沙海域;④北部湾;  
⑤泰国湾;⑥马六甲海峡;⑦吉大港;⑧科摩林角;  
⑨迪戈加西亚;⑩瓜达尔港;⑪哈丰角

图 1 21 世纪海上丝绸之路示意图以及一些重要节点

平均风和阵风资料的时间分辨率都为 6 h,空间分辨率为  $0.125^{\circ} \times 0.125^{\circ}$ ,空间范围为:  $90^{\circ}\text{S}—90^{\circ}\text{N}, 180^{\circ}\text{W}—180^{\circ}\text{E}$ ,时间范围从 1979 年 1 月 1 日 00:00 时至今。该数据具有较高的可信度,在国内外被广泛运用与风、浪特征分析<sup>[9]</sup>。

## 3 风候统计分析

利用来自 ECMWF 的 ERA-interim 风场资料、阵风资料,统计分析了近 36 a 期间海上丝绸之路涉及海域的风候特征,主要包括:不同季节的风速风向特征、(强)风向频率、6 级以上大风和阵风频率、阵风系数、海表风速的长期变化趋势等。

### 3.1 海表风场的季节特征

利用近 36 a 的 ECMWF 的 ERA-interim 风场资料,分别以 2 月、5 月、8 月和 11 月作为冬季、春季、夏季和秋季的代表月,统计海上丝绸之路涉及海域在各个季节的风速、风向特征(图 2)。

2 月,冬季风盛行,南海—北印度洋大部分海域以偏东北风为主。值得注意的是,孟加拉湾北部近海的风向为偏西北向、阿拉伯海北部近海为偏西。从风速大小来看,南海的冬季风强度明显高于北印度洋,存在两个显著的大风中心:吕宋海峡、中南半岛东南海域(即传统的南海大风区);北印度洋大部分海域的风速在  $5 \text{ m/s}$  之内,相对大值区分布于索马里附近海域,在  $7 \text{ m/s}$  左右,等值线呈 NE—SW 向。

5 月:北印度洋的西南季风已经逐渐盛行,大部分海域的风向都是 SW 向;风速存在两个相对大值区:索马里海域、斯里兰卡东南部海域;这个季节孟加拉湾的平均风速大于阿拉伯海。在南海,季风过渡现象比较明显,  $17^{\circ}\text{N}$  以南海域已经转换为西南季风,  $17^{\circ}\text{N}$  以北则属于 E—EN 风。

8 月,强劲的西南季风已经盛行,整个南海—北印度洋的风向以西南向为主导。孟加拉湾大部分海域的平均风速在  $7 \text{ m/s}$  以上,阿拉伯海整体在  $8 \text{ m/s}$  以上,尤其是索马里附近大范围海域的平均风速可达 6 级以上。南海的西南季风强度明显低于北印度洋,相对大值中心分布于传统的南海大风区,平均风速在  $7 \text{ m/s}$  以上。

11 月,传统的观点认为该月处于季风过渡季节,对比图 2b 和图 2d 可以明显看出,11 月的季

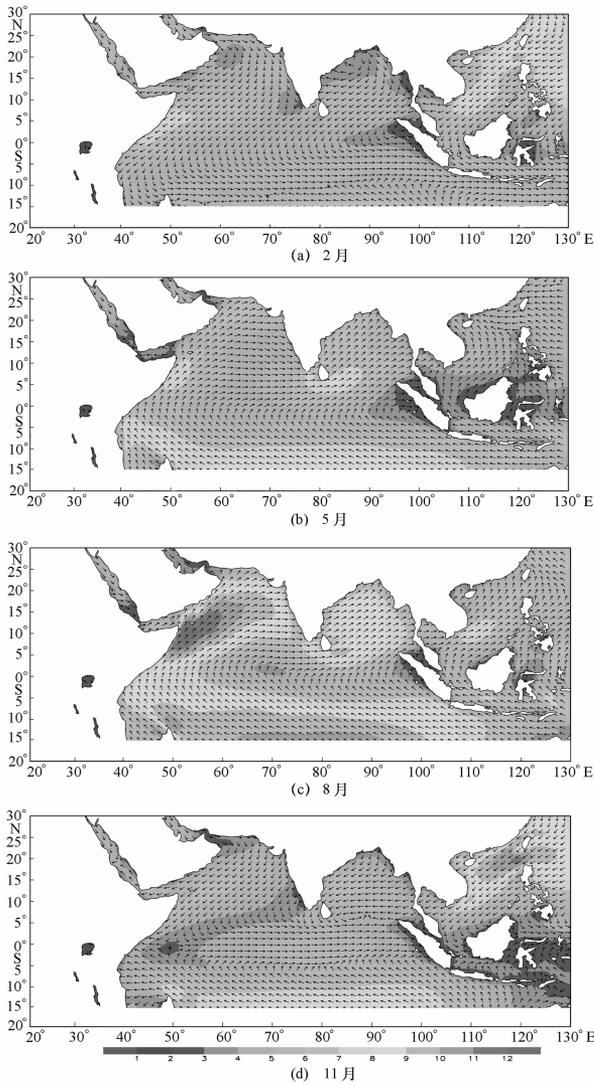


图2 海上丝绸之路涉及海域

海表风场的季节特征, 风速单位: m/s

风过渡现象并没有5月明显, 甚至可以认为, 西南季风向东北季风转换已经完成, 整个南海—北印度洋都以东北风为主导, 尤其以南海的东北风较为强劲,  $10^{\circ}\text{N}$  以北的平均风速在  $8\text{ m/s}$  以上。北印度洋的平均风速相对低于南海, 大部分海域在  $6\text{ m/s}$  以内。

### 3.2 (强) 风向频率

风向频率尤其是强风向的频率, 是航海、桥梁设计、风能开发等都极为关注的要素。本文在此利用近 36 a、逐 6 h 的 ERA-interim 风场资料, 统计分析了海上丝绸之路涉及的一些海域的(强)风向频率, 制作了风玫瑰图(各个风向、不同等级风速出现的频率)(图 3 和图 4)。关注站点主要包括: 台湾海峡、北部湾、西沙海域、西卫滩

(位于中国南沙)、马六甲海峡、吉大港、科摩林角、迪戈加西亚、瓜达尔港、霍尔木兹海峡、哈丰角和达累斯萨拉姆。

2月, 在东北季风的影响下, 大部分海域的风向频率、强风向频率都以偏 NE 向为主, 有差异的是: 吉大港(N—NW 向)、瓜达尔港(W—SW 向)、霍尔木兹海峡(W—WSW 向)、迪戈加西亚(W—WNW 向), 结果与图 2(a)吻合。需要引起重视的有: 台湾海峡 NE 向的强风频率( $10\sim 12\text{ m/s}$  出现频率约 15%,  $12\sim 14\text{ m/s}$  出现频率约 12%)、北部湾 NNE 向的强风频率( $10\sim 12\text{ m/s}$  出现频率约 13%)、西沙海域 NE 向的强风频率( $10\sim 12\text{ m/s}$  出现频率约 11%), 其余站点则谨慎乐观。

8月, 台湾海峡、北部湾、西沙海域、瓜达尔港、哈丰角以 SSW 向为主导; 马六甲海峡、吉大港以 S 向为主; 迪戈加西亚、达累斯萨拉姆以 SE—SSE 向为主; 科摩林角以 WNW—W 向为主; 西卫滩以 WSW 为主; 霍尔木兹海峡则是从 WSW—SE 均匀分布。需要引起重视的是: 哈丰角的强风非常明显,  $12\sim 13\text{ m/s}$  的 SSW 风出现频率高达 25%,  $13\sim 14\text{ m/s}$  的 SSW 风出现频率更是高达 30%,  $14\sim 15\text{ m/s}$  的 SSW 风出现频率高达 13%, 这是由于索马里海域强劲的西南季风造成的, 与图 2(c)吻合。

### 3.3 大风、阵风频率

大风频率密切关系到航海安全、海上施工等<sup>[10-12]</sup>。本文利用近 36 a、逐 6 h 的 ERA-interim 风场资料, 统计了该海域在各个季节 6 级以上大风频率(图 5); 利用同期、同时空分辨率的 ECMWF 阵风资料, 统计了该海域各个季节 6 级以上阵风出现的频率(图 6)。

6级以上大风频率: 由图 5 可见, 秋冬两季的北印度洋、春季的南海大风频率都在 5% 以内。2月, 南海冬季风较为强劲, 存在两个显著的大值区: 台湾岛周边海域、传统的南海大风区, 在 20% 以上。5月, 南海—北印度洋的大风频率整体偏低, 在西南季风的影响下, 索马里海域、斯里兰卡东南部海域为相对大值区。8月, 在强劲西南季风的影响下, 阿拉伯海大部分海域的大风频率在 40% 以上, 索马里附近大范围海域更是高达 90% 以上; 虽然西南季风对孟加拉湾和南海的影响也

比较明显, 但带来的 6 级以上大风频率并不高。 北部海域, 大值区可达 40% 以上。

11 月, 6 级以上大风的高频海域主要分布于南海

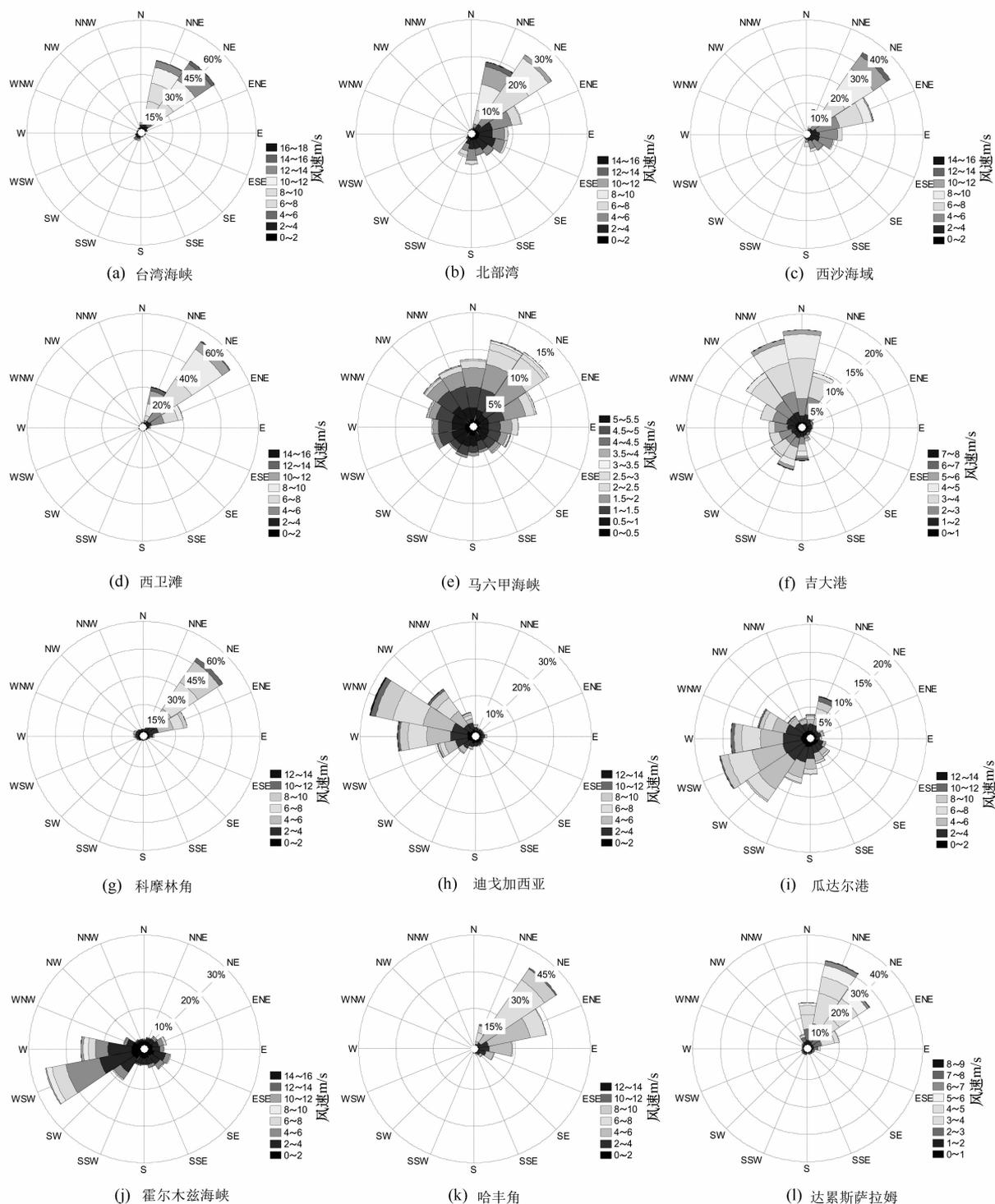


图 3 海上丝绸之路重要站点 2 月的风向玫瑰图

6 级以上阵风频率见图 6: 2 月, 整个南海基本在 25% 以上, 大值区更是高达 55% 以上, 此外, 波斯湾、红海、索马里附近海域 6 级以上阵风出现频率也较为明显。5 月, 南海 6 级以上阵风出

现频率很低; 孟加拉湾大部分海域、阿拉伯海西部海域则出现频率较高, 在 20% 以上。8 月, 阿拉伯海、孟加拉湾 6 级以上阵风出现频率非常高, 阿拉伯海大部分海域在 90% 以上, 孟加拉湾

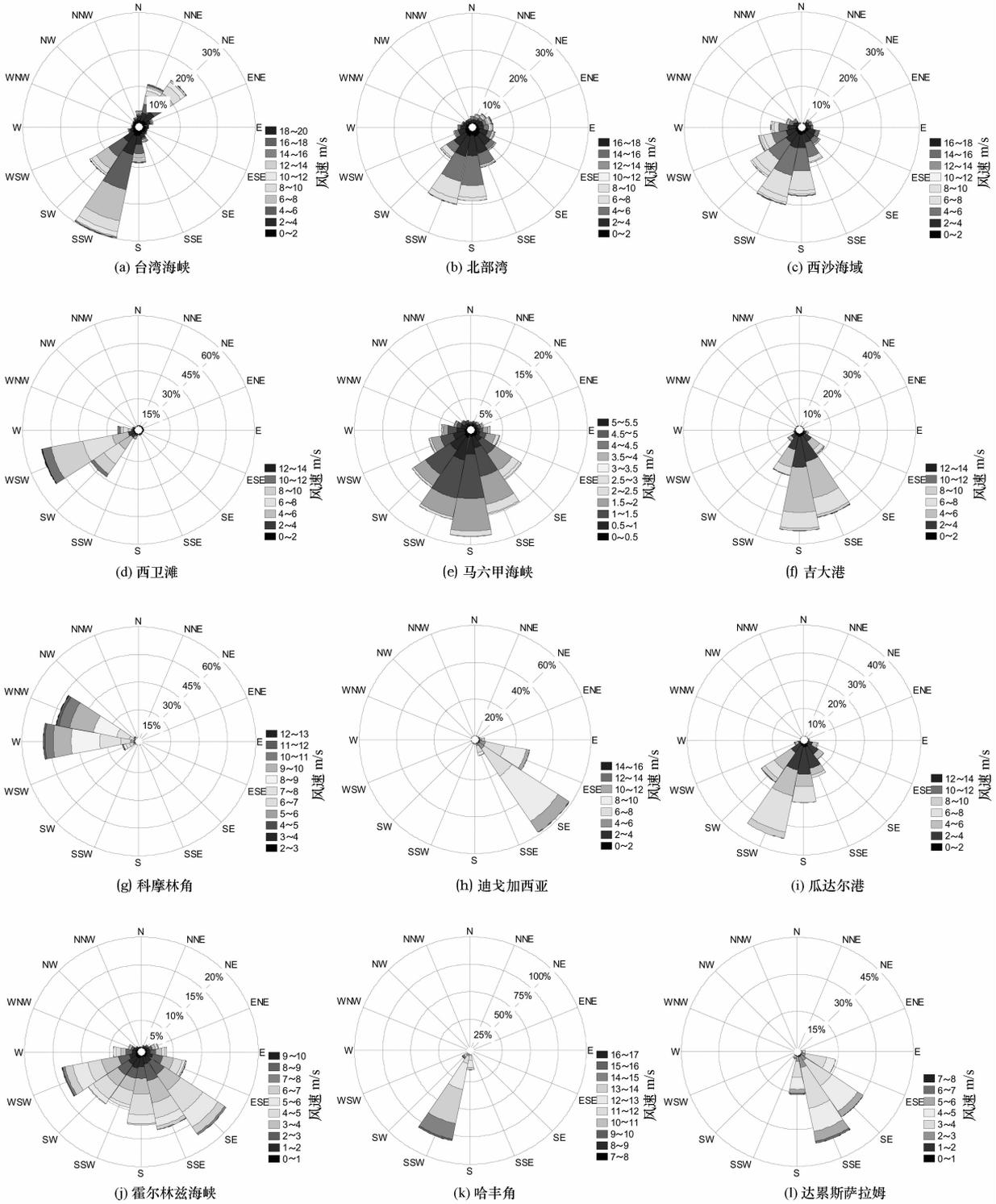


图4 海上丝绸之路重要站点8月的风向玫瑰图

大部分海域在60%以上;南海相对偏低,在40%左右。11月,北印度洋6级以上阵风出现频率整体较低,基本在10%以内;南海中北部出现频率则较高,在40%以上,大值中心(吕宋海峡西部海域)可达80%以上。

本文在此只是讨论了6级以上大风频率和阵风频率的季节特征,在未来的工作中,还需要对大风频率和阵风频率的长期变化趋势展开研究,为防灾减灾、海洋工程的中长期规划提供依据。

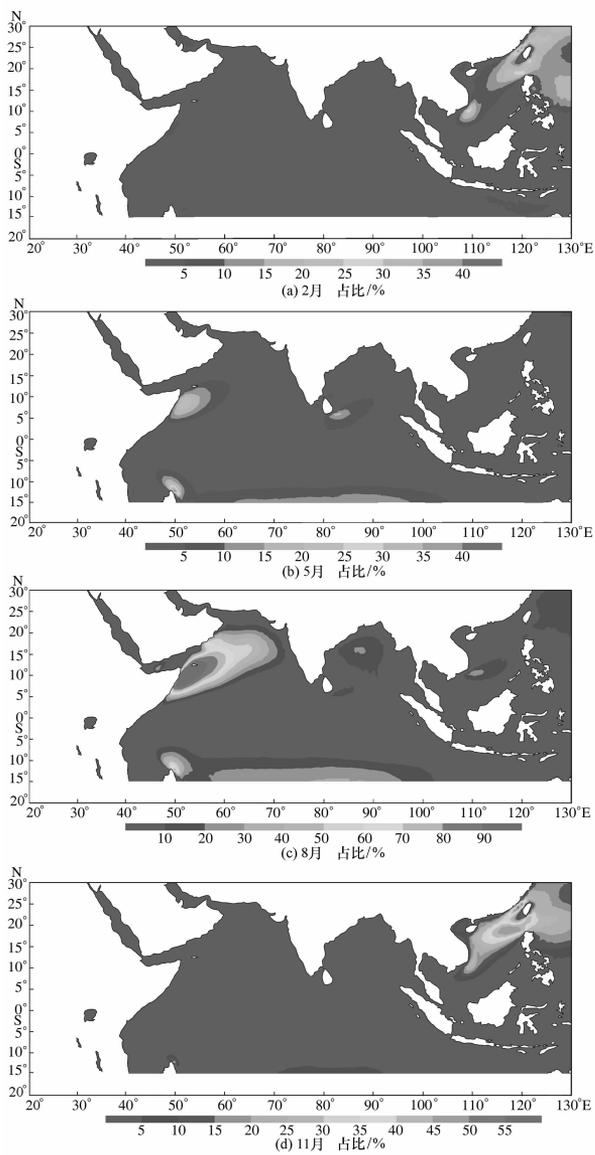


图 5 海上丝绸之路涉及海域的 6 级以上大风频率

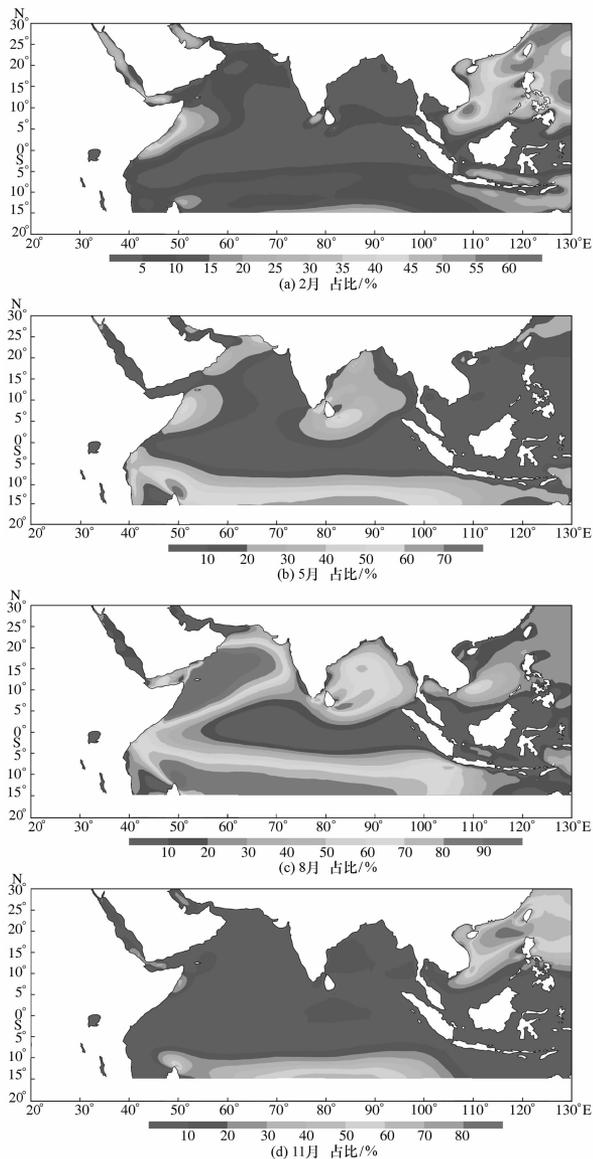


图 6 6 级以上阵风频率

### 3.4 阵风系数

在通常的数值预报产品中, 预报风速往往只是显示平均风, 而在实际的航海、海洋工程中, 阵风的影响是比较大的, 同时也是兵器研究、靶场试验很关注的问题<sup>[13-14]</sup>。统计阵风系数, 有利于根据预报的平均风来防范阵风。阵风系数定义为: 在某一时刻, 观测到的最大阵风风速与相应 10 min 平均风速之比<sup>[15]</sup>。本文计算了南海—北印度洋在 JJA (June, July, August) 和 DJF (December, January, February) 期间, 平均风速大于 5 级 (8.0 m/s) 时的阵风系数, 由于运算量偏大, 本文只列出了 2014 年 JJA 和 DJF 期间的阵风系数 (图 7)。

对比图 7(a) 和图 7(b) 不难发现, 在北印度洋, JJA 期间的阵风系数明显大于 DJF 期间, 大值区的范围也更广, 南海则相反。DJF 期间, 南海中北部大部分海域 (除北部湾、泰国湾) 的阵风系数在 1.3 以上; 在北印度洋, 仅孟加拉湾西部一小范围海域、索马里近海小范围海域的阵风系数相对偏大, 分别为 1.2~1.3、1.2~1.4, 其余大部分海域的阵风系数在 1.2 以内。JJA 期间, 北印度洋海表风速的阵性特征非常明显, 阿拉伯海和孟加拉湾大部分海域的阵风系数在 1.3 以上, 索马里附近海域更是高达 1.8 以上; 整个南海的阵风系数基本都在 1.2 以内。

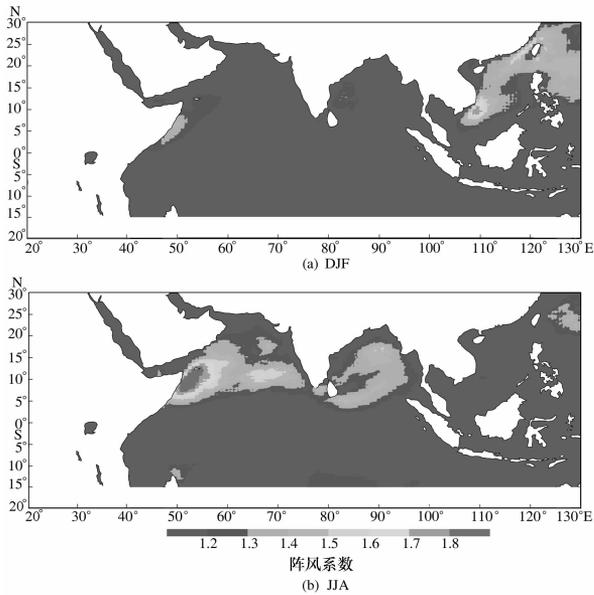


图7 2014年DJF、JJA期间海上丝绸之路涉及海域的阵风系数

### 3.5 海表风速的长期变化趋势

海表风速的长期变化趋势与海上风能资源开发、研究全球气候变化密切相关,将近36 a、逐6 h的海表风速处理称为逐月平均的数据,即1979年1月至2014年12月432个月的海表风速数据,采用郑崇伟等<sup>[16-17]</sup>的方法,计算了南海—北印度洋的海表风速在近36 a的逐年变化趋势见图8(a);还将逐月的风速数据进行5点滑动平均,得到滑动平均后的逐年变化趋势见图8(b)。南海—北印度洋大部分海域的海表风速在近36 a期间没有表现出显著的变化趋势。呈显著性递增的区域主要分布于 $10^{\circ}\text{S}$ — $0^{\circ}\text{S}$ ,趋势为 $1\sim 4\text{ cm/s}$ ;此外,阿拉伯海西南部区域的递增趋势也较为明显,趋势为 $1\sim 2\text{ cm/s}$ 。呈显著性递减的区域主要分布于:印度半岛东西两侧近海、苏拉威西海等小范围海域。5点滑动平均之后的变化趋势并没有大的变化,只是具有显著变化趋势的范围稍广。

## 4 结论

本文利用来自ECMWF、近36 a、逐6 h、高空间分辨率的ERA-interim海表10 m风场资料、阵风资料,综合考虑风速风向的季节特征、(强)风向频率、6级以上大风和阵风频率、阵风系数、海表风速的长期变化趋势等,系统性、精细化地统计分析了21世纪海上丝绸之路涉及海域的

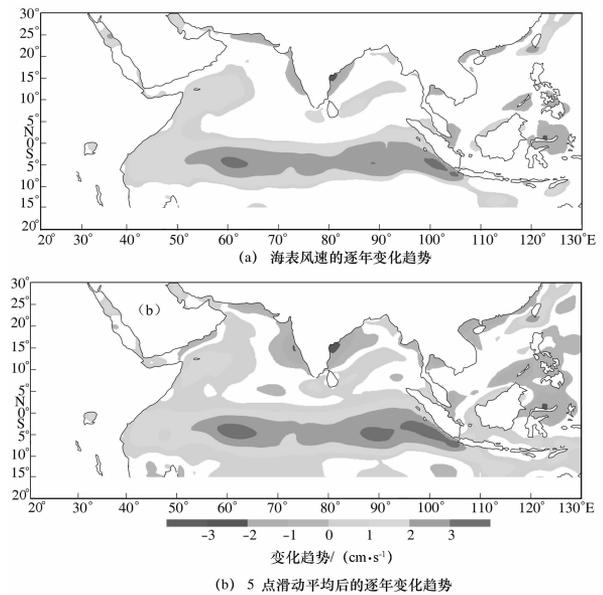


图8 1979—2014年海上丝绸之路涉及海域海表风速的逐年变化趋势及5点滑动平均后的逐年变化趋势

风候特征,得到如下主要结论。

(1)2月,南海盛行东北风,北印度洋盛行N—NE风;冬季风对南海的影响明显强于对北印度洋的影响。5月,南海 $17^{\circ}\text{N}$ 以南、北印度洋已经完成由东北风向西南风的转变;南海 $17^{\circ}\text{N}$ 以北处于季风过渡期。8月,阿拉伯海的西南季风最为强劲,索马里海域的平均风速可达6级以上;孟加拉湾、南海的强度次之。11月,传统的观点认为该月处于季风过渡期,本文发现该月西南季风向东北季风的转换已经完成,整个南海—北印度洋都以东北风为主导,南海的东北风较为强劲。

(2)2月,大部分海域的(强)风向频率以偏东北向为主;有差异的是吉大港(N—NW向)、瓜达尔港(W—SW向)、霍尔木兹海峡(W—WSW向)、迪戈加西亚(W—WNW向)。需要引起重视的有:台湾海峡NE向的强风( $10\sim 12\text{ m/s}$ 出现频率约15%, $12\sim 14\text{ m/s}$ 出现频率约12%)、北部湾NNE向的强风( $10\sim 12\text{ m/s}$ 出现频率约13%)、西沙海域NE向的强风( $10\sim 12\text{ m/s}$ 出现频率约11%)。8月,大部分海域以偏SW、偏S向风为主,科摩林角以WNW—W向为主。需要引起重视的是:哈丰角的强风, $12\sim 13\text{ m/s}$ 的SSW风出现频率高达25%, $13\sim 14\text{ m/s}$ 的SSW

风出现频率更是高达30%,14~15 m/s的SSW风出现频率高达13%。

(3)6级以上大风频率:秋冬两季的北印度洋、春季的南海—北印度洋的大风频率都很低,在5%以内。2月和11月,大值区分布于南海。8月,阿拉伯海的大风频率在40%以上,索马里附近海域更是高达90%以上。6级以上阵风频率:2月,整个南海基本在25%以上,大值区高达55%以上。5月,南海出现频率很低;孟加拉湾、阿拉伯海西部海域在20%以上。8月,阿拉伯海在90%以上,孟加拉湾在60%以上;南海在40%左右。11月,北印度洋在10%以内;南海中北部在40%以上。

(4)在北印度洋,JJA期间的阵风系数明显大于DJF期间,大值区的范围也更广,南海则相反。

DJF期间,南海中北部大部分海域的阵风系数在1.3以上;北印度洋大部分海域的阵风系数在1.2以内。JJA期间,北印度洋海表风速的阵性特征非常明显,阿拉伯海和孟加拉湾大部分海域的阵风系数在1.3以上,索马里附近海域高达1.8以上;整个南海的阵风指数基本都在1.2以内。

(5)近36 a期间,南海—北印度洋大部分海域的海表风速没有显著的变化趋势。呈显著性递增的区域主要分布于 $10^{\circ}\text{S}$ — $0^{\circ}\text{S}$ ,趋势为 $1\sim 4\text{ cm/s}$ ;阿拉伯海西南部区域的递增趋势为 $1\sim 2\text{ cm/s}$ 。呈显著性递减的区域主要分布于:印度半岛东西两侧近海、苏拉威西海等零星小范围海域。

## 参考文献

- [1] 郑崇伟,潘静,孙威,等.经略21世纪海上丝路之海洋环境特征系列研究[J].海洋开发与管理,2015,32(7):4—9.
- [2] 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.
- [3] 郑崇伟,林刚,邵龙潭,等.近半个世纪以来南海—北印度洋SST变化趋势及周期分析[J].江西农业大学学报,2013,35(增刊):122—127.
- [4] 郑崇伟.海浪综合应用与集约化建设[J].海洋开发与管理,2014,31(9):44—53.
- [5] 郑崇伟,李训强,潘静.1957—2002年南海—北印度洋海浪场波候特征分析[J].台湾海峡,2012,31(3):317—323.
- [6] 张磊,郑崇伟,李庆红.1988—2009年北印度洋海域气候统计分析[J].海洋通报,2012,35(1):575—580.
- [7] 郑友华,郑崇伟,李训强,等.近45年北印度洋海表风、海浪特征研究[J].海洋科学,2012,36(8):53—58.
- [8] 李培,张弦,俞慕耕.北印度洋气候特点分析[J].海洋预报,2003,20(3):25—30.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 郑崇伟,周林,宋帅,等.1307号台风“苏力”台风浪数值预报[J].厦门大学学报:自然科学版,2014,53(2):257—262.
- [12] 郑崇伟.全球海域大风频率精细化统计分析[J].广东海洋大学学报:自然科学版,2013,33(6):77—81.
- [13] 郑崇伟,潘静,黄刚.利用WW3模式实现中国海击水概率数值预报[J].北京航空航天大学学报,2014,40(3):314—320.
- [14] 郑崇伟,邵龙潭,林刚,等.台风浪对中国海击水概率的影响[J].哈尔滨工程大学学报,2014,35(3):301—306.
- [15] 中国气象局政策法规司.气象行业标准汇编[M].北京:气象出版社,2007.
- [16] 郑崇伟,周林,宋帅,等.1870—2011年全球海域SST变化趋势[J].海洋与湖沼,2013,44(5):1123—1129.
- [17] 郑崇伟,庄卉,李训强,等.基于两种数据集的全球SST变化趋势的对比研究[J].海洋科学进展,2012,30(2):171—176.