

基于CCMP资料和现场观测资料的西北太平洋海面风场特征分析

詹思琦^{1,2}, 齐琳琳², 卢伟¹

(1. 解放军理工大学, 江苏 南京 211101; 2. 空军装备研究院航空气象防化研究所, 北京 100085)

摘要: 利用由美国宇航局物理海洋学数据分布存档中心发布的2007—2011年CCMP风场资料, 针对西北太平洋海面风场的季、月、日变化特征进行了分析。结果表明: 西北太平洋海面风场具有明显的季、月变化特征, 夏季盛行西南风, 风向多变, 风速最低; 冬季盛行东北风, 风速偏高。大风频发区域位于南海海域、台湾海峡和日本岛以东, 且冬季发生频率明显高于其他3个季节。此外, 还利用获取到的2014年8月海面自动观测站和9月海上探空资料对相应月份的风场特征进行细化分析, 表明8月洋区盛行西南风, 而9月西南风逐渐消退, 风速减小, 变化特征与相应月份CCMP的海面风分析相符。

关键词: 西北太平洋; 海面风场; 变化特征; 观测印证

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)02-0010-11

1 引言

西北太平洋西临亚洲, 北连浅而窄的白令海, 并通过白令海峡与北冰洋沟通^[1], 不仅生物资源繁多, 矿物资源丰富, 而且地理位置优越, 具有重要的政治、经济、军事地位^[2]。海面风是海洋上层运动的主要动力来源, 不仅可以驱动洋流或海浪, 而且调节着海洋大气之间的热量、水汽和物质交换, 维持区域与全球的气候平衡^[3]。同时, 海面风对人类的生活、经济和军事等活动有着重要影响^[4-5], 不稳定的海面风往往会造成巨大的经济损失和航运安全隐患^[4]。因此, 深入了解西北太平洋海面风分布特征, 不仅对保障航海安全、海洋防灾减灾、海上军事活动等具有重要意义, 同时对开发海洋风能资源、研究海气相互作用和全球气候变化等有着重要价值。

早期海面风的研究主要依据布设浮标或走航调查资料^[1,6], 但由于船舶、浮标以及在沿岸、岛屿等的风场资料数量很稀少且分布很不规则, 使得海面

风的时空连续特征分析存在很大不足。近年来, 以卫星资料为主, 观测资料为辅的多数据融合再分析资料逐渐发展和丰富, 为海面风细化分析提供了基础。沈春等^[7]和刘春霞等^[8]证明了QuikSCAT数据在南海海面风分析的可用性和可信性。Ward等^[9]利用COADS资料, Young等^[10]利用TOPEX卫星高度计数据产品得出了全球海面风速呈递增趋势的结论。张德天等^[11]、朱苗苗等^[12]基于QN(QuikSCAT/NCEP)混合风场资料分析出中国海海面风的季节变化特征和大风中心, 而王静等^[13]、潘静等^[14]则对西北太平洋的风速特征和长期变化趋势进行了研究。相比而言, 多卫星融合形成的CCMP(Cross-Calibrated Multi-Platform)风场资料以高时空分辨率、时间序列长等优势, 在海面风研究中得到广泛应用。毛科峰等^[15]对东中国海海域CCMP、ERA和QN混合风场的精度进行了评估和对比分析, 认为CCMP资料在深远海域精度更高。旷芳芳等^[16]在台湾海峡海域对CCMP、NCEP和ERA风场资料进行比较和评估,

收稿日期: 2016-06-03; 修回日期: 2016-07-17。

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA091801); 国家自然科学基金青年基金(41005030, 41205044)。

作者简介: 詹思琦(1991-), 硕士在读, 从事海洋气象研究。E-mail: zsyzy0603@163.com

通信作者: 齐琳琳(1973-), 高级工程师, 博士, 从事海洋气象研究。E-mail: niceqll@mail.iap.ac.cn

验证了CCMP资料在中国海海域应用的准确性。Atlas等^[17]证实CCMP较其他单个的卫星平台测量的风场数据在精度方面有很大的提高。郑崇伟^[18]在分析CCMP资料时发现,中国海的海面风存在明显的季节变化,存在东海和南海两个风速大值中心,且大部分海域海面风速呈逐年递增趋势。刘志宏等^[19]则基于CCMP资料分析了西北太平洋风速的逐年线性趋势和极值,得出海面风风速逐年递增的结论。由此可知,诸多学者针对不同资料的西北太平洋海面风特征分析认为,西太平洋冬季盛行东北风,夏季盛行西南风,且冬季风明显强于夏季风。同时大部分海域海面风风速呈现逐年缓慢增加趋势。

针对以往基于CCMP资料的西北太平洋海面风场逐月和各季日变化特征研究的不足,本文利用2007—2011年的CCMP风场资料,针对该海域进行了海面风的季、月、日逐步细化的系统性分布特征及频率变化研究,并结合获取到的2014年海上观测资料对相应月份的分析结果进行细化和验证,以期对西北太平洋海面风特征的客观定量化认识提供依据,从而提高海面风的预报保障能力奠定基础。

2 资料和方法

2.1 资料

CCMP海面风资料是由美国宇航局物理海洋学数据分布存档中心(Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, PO.DAAC)发布的一种高分辨率(时间、空间)的多卫星融合资料,目前在国内外得到广泛应用。它以欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的再分析和业务资料为背景场,通过变分同化分析法融合了QuikSCAT、ADEOS-II、AMSR-E、TRMM TMI和SSM/I等多种卫星探测海面风产品,以及部分船舶、浮标观测资料。将该资料与船舶、浮标和TAO浮标观测资料对比,风速均方根差异分别为1.62 m/s、1.29 m/s和0.57 m/s,风向均方根差异则分别为11.46°、10.07°、7.06°,远低于其他资料。显然,CCMP较其他风场数据在精度方面有很大的提高^[20]。

目前该资料提供的海面10 m风时间跨度为1987年7月—2011年12月,空间范围为-78.375°~78.375°、0.125°~359.875°,时间间隔6 h,水平分辨率为0.25°×0.25°,可较好的应用于大气、海洋研究,以及天气预报和短期气候预测等方面。由于2012年及以后的数据网站暂未提供,因此选取2007—2011年的CCMP资料,采用平均值统计法着重分析了西北太平洋(0°~40°N, 104°~150°E)海面风的各类特征。

2.2 方法

本文通过平均值统计法计算西北太平洋海面风季节平均和月平均,分析各个季节和月份海面风向风速的空间分布;再利用频率统计法统计不同风向、风力等级的出现频率,分析不同时间的盛行风向和风速;最后采用区域平均法计算某一区域的海面风平均,通过对其时间序列的分析,得到海面风的时间变化特征。其中,本文采用矢量平均法^[21]对海面风的风向风速进行平均值计算。

将风矢表示为 $\vec{U}=(u,v)$,其中 u 表示纬向风, v 表示经向风。先分别计算纬向风平均和经向风平均:

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n u_i, \bar{v} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n v_i \quad (1)$$

再对经向平均和纬向平均进行合成: $\overline{vel} = \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}$, $\bar{d} = \arctan(\bar{v}/\bar{u})$,其中 \overline{vel} 表示风速平均, \bar{d} 表示风向平均。矢量平均法可以避免风速为0时因舍弃样本造成的误差,也不会会出现风向过0°的问题^[21]。

3 海面风的季节特征分析

3.1 风速和风向的季平均分布

从多年平均的各季海面风向、风速水平分布可见(见图1),春季(3—5月)30°N以北(渤海和日本海海域)主要是偏西风,其他海域以东风和东北风为主,尤其在东南洋区(5°~25°N, 125°~150°E)基本表现为平直东风;各区风速都较小,一般在2.5 m/s以下,台湾海域和东南海区存在较高风速,在6.5 m/s左右。对于夏季(6—8月)而言,西北太平洋明显受

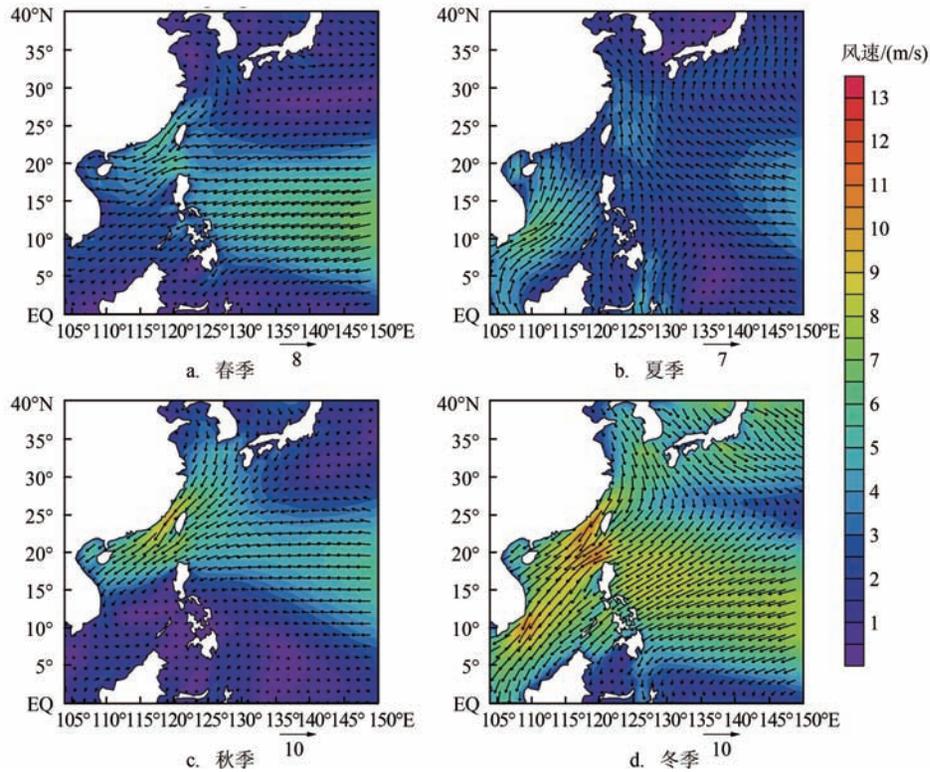


图1 西北太平洋海面风向、风速季平均分布

夏季风影响,并处于副热带高压控制下。受此影响,南海海域和菲律宾群岛附近以西南风为主,在台湾海峡附近转为南风,黄海和渤海海域以北风和东北风为主,130°E以东洋面,以东南风为主,东北海区风向呈现顺时针旋转;各海区平均风速偏小,但大部分地区可达2 m/s以上,在此期间,南海季风全面爆发并持续整个夏季,南海海域持续出现风速大值区,平均风速可达6.5 m/s以上,同时,南海季风造成南海上空云量增多,水汽充足,成为我国夏季降水的重要来源之一^[22]。同样,秋季(9—11月)也是一个过渡季节。35°以北主要表现为偏北风,渤海、黄海和东海都已转变为东北风,南海海域海面风呈逆时针旋转,由东北风转为偏西风,大洋东南部与春季相似,表现为平直东风;各海区风速分布与春季类似,台湾海峡大值达到8 m/s以上。至于冬季(12—2月),副热带高压被强盛的阿留申低压逼退至洋面东南角,大洋洋面基本位于低压控制之下,大陆上强大的西伯利亚冷高压致使西部洋区被冷空气影响,此外,洋区还饱受东北冬季风的影响。整片洋区都表现为偏北风,30°N以北(黄渤海和日本海峡周围)存在明显的西北风,30°~25°N之间的

东部洋区出现风向的顺时针旋转,由西北风转为东北风,25°N以南洋区基本呈现东北风,赤道附近风向逆时针旋转,转为北风;四季之中明显冬季风速最大,大部分洋区风速在5 m/s以上,台湾海峡和南海南部风速可达到9.5 m/s以上。

3.2 季节内风速和风向频率的季平均分布

在季节平均特征分析基础上,还对季节内的风向、风速频率和6级以上大风频率进行分析。风速和风向频率的季节分布能反映每个季节的盛行风向和风速,对季节平均特征进行验证,还能细化季节平均下表现出来的风向和风速特征。

如图2所示,春季和秋季,洋区主要以偏东风为主,尤其是东、东北和东北偏东风向,出现频率都在10%以上,偏西风和偏南风出现频率则偏低。风力等级频率分布接近于正态分布,主要集中在1级~5级(0.3~10.7 m/s),2、3、4级风(1.6~7.9 m/s)发生最为普遍,有时也会出现6级和7级风(10.8~17.1 m/s),但7级以上大风则几乎未发生。夏季西北太平洋区最常出现偏东风和西南风,偏北风发生频率极低,几乎不超过3%,其他方向海面风都有发

生。风力等级频率比较类似于春秋两季,更接近正态分布。与春秋两季相比,1~4级风(0.3~7.9 m/s)出现频率增加,尤其2、3级风频率明显偏高,5级及以上风(>8.0 m/s)则相对减小。由于夏季时,西北太平洋是台风高发区域,风向相对多变,因此风向频率分析结果与季节平均有所不同。冬季的海面风则集中表现为东北向风,尤以东北风和东北偏东风向

出现频率明显最高。风力等级频率形势明显与其他3个季节不同,主要风速集中在1~6级(0.3~13.8 m/s),1~5级风出现频率较其他季节低,6、7级风出现频率却明显高于其他季节。分析结果与季节平均分析结果接近,符合东北季风特点。

考虑到6级(10.8 m/s)以上大风具有较强的破坏力,经常造成不同程度的灾害^[1]。因此又重点针

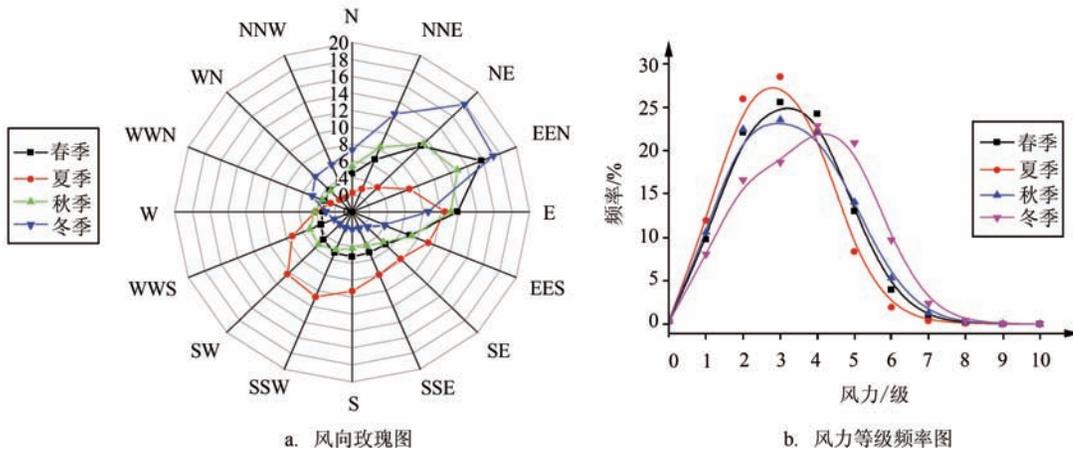


图2 西北太平洋季节风向和风力分布图

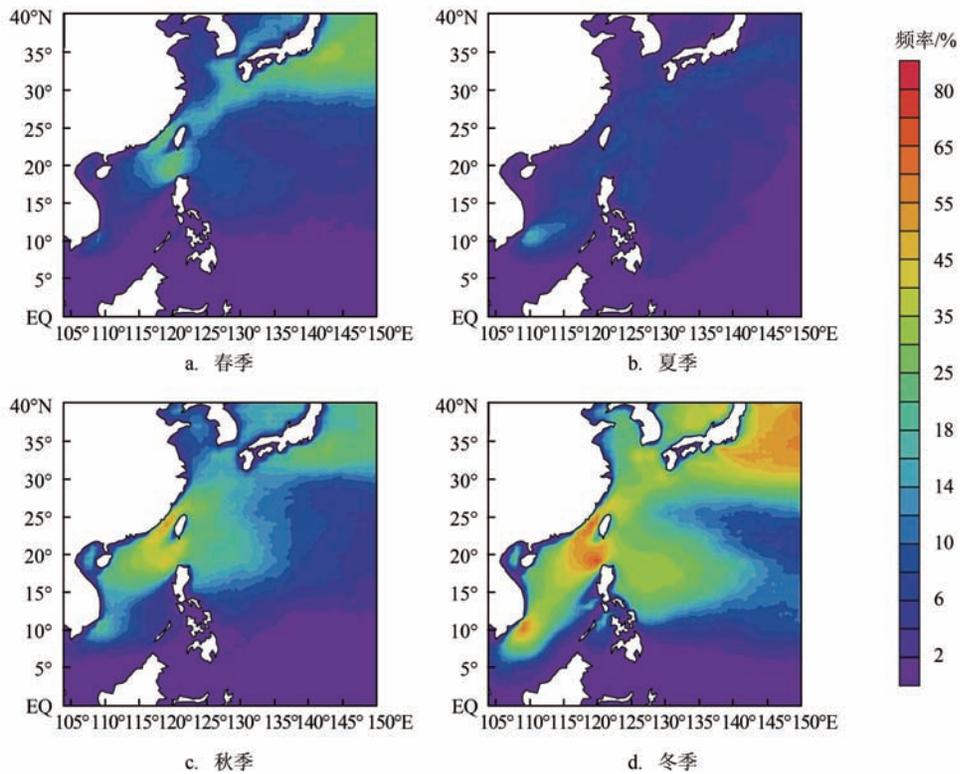


图3 西北太平洋6级以上大风频率季节分布图

对各个季节分析了6级以上大风频率的分布(见图3)。春季,10°N以南几乎不出现6级以上大风,大风区主要位于30°N以北和台湾海峡(15%~25%)。夏季时,大风发生区域略南扩,但频率不高,普遍维持在10%以下,南沙群岛附近有个小高值中心(15%左右)。秋季,大风出现频率逐渐增加,7°N以北都有发生,频率最大区依旧出现在台湾海峡附近,达到25%以上,日本岛以东洋面明显增加。冬季,5°N以北几乎是大风频发区域,其中日本岛以东、台湾海峡周围和南海南部可达到40%以上。显然,台湾海峡几乎全年都有大风事件,这主要是由于台湾海峡正位于黑潮通过路径,且地形呈现出南宽北窄的喇叭形而产生狭管效应,二者相叠加,导致大风事件频发。

4 海面风逐月变化特征分析

第三部分已经对海面风的季节变化特征进行了分析,得出季节变化规律。本节在季节变化基础上,对海面风逐月变化进行了分析。

4.1 风向和风速月平均分布

多年平均海面风月平均分布图显示(见图4),1月风场分布几乎与冬季风场相同:以25°N左右为分界线,以北表现为明显的西北风,25°N附近出现风向的顺时针转动,由西北风变化为东北风,以南则基本处于东北风控制下,只有赤道附近出现风向的逆时针旋转;洋区风速普遍偏高,基本达到5 m/s以上,台湾海峡和南海南部依旧是大值区,风速甚至可达10 m/s以上。2月海面风依旧表现为冬季风场特征,风向分布与1月基本相同,风速则有明显减小。3月与2月类似,但5 m/s以上风区逐渐减小至25°N以南。而4月,5°~25°N之间的东北风开始向东风转化,风速持续减小;日本岛以东洋面转为西风,黄渤海转为偏北风,几乎降至0 m/s。到了5月洋区风速偏低,只有菲律宾群岛-马里亚纳海沟区域可达5 m/s以上,洋区大部分区域仍处于偏东风控制,但南海季风逐渐发展,并在5月中下旬开始爆发,因此南海海域已经开始出现西南风^[23]。6月除了0°~20°N,130°~150°E洋区为偏东风,其他区域都表现为偏南风,且南海周围和台湾以东风速逐渐

增大。7月南海海域和日本岛以东盛行西南风,其他海域基本表现为偏南风,且南海南部存在相对大值中心,最大风速可达8 m/s。但到了8月风速相对大值区开始缩小。进入秋季,9月黄渤海海域已经出现东北风,夏季风开始崩溃。进入10月15°N以北偏南风完全消失,南海北部也出现东北风。10°以南几乎无风,台湾海峡却表现为风速大值区。11月东北风区持续南扩,黄渤海海域转为西北风;5°以北的大面积洋区风速继续增大,台湾海峡的大值区南延至南海海域。到了12月海面风分布状况已有明显的冬季风场特征。

4.2 逐月风向和风速频率的月平均分布

图5为逐月风向玫瑰图和风速频率分布图。由图可见,1月东北风频率明显最高,其次是东北偏东风和东北偏北风,偏南风频率在3%以下。2月开始,偏东北方向风频率逐渐降低,偏南方向风开始增多,但频率仍不超过6%。5月东北方向风明显减少,偏西南风迅速增多。6月开始盛行西南方向风,同时东风频率依旧很高。7月东风频率明显降低,偏西南风继续增加,西北方向风出现频率降至2%。8月开始,偏西南风逐渐减少,与之对应的偏东北风则陆续增加,并随时间推移重新占据主导地位。12月的风向频率分布状况几乎与2月重合,明显以东北方向风为主,但频率较1月偏低。在风力等级方面,1月风力明显偏高,5级风(8.0~10.7 m/s)为主,6级及以上大风(>10.8 m/s)频率也明显高于其他月份。2月开始,高频率风力等级逐渐降低,2、3、4月以4级风(5.5~7.9 m/s)为主,5月开始3级风(3.4~5.4 m/s)占据主要地位,频率分布曲线特征近似于正态分布。6、7、8月时3级风频率一直维持在25%以上,6级风频率则成为全年最低。8月之后,依旧以3级风为主,但是频率逐渐降低,9、10月几乎与2级风(1.6~3.3 m/s)频率持平。11月开始高频率风力等级逐渐增大,正态分布形态消失,且2、3级风频率持续减小,4级风成为主导风。

依旧考虑6级以上(>10.8 m/s)大风的破坏性,分析逐月6级以上大风频率分布图可知(图略),1月时大风频率分布与冬季分布十分相似,10°N以北整片洋区大风频率都不低于20%,台湾海峡、南海海域和日本岛以东洋面甚至超过40%。2月开始大风

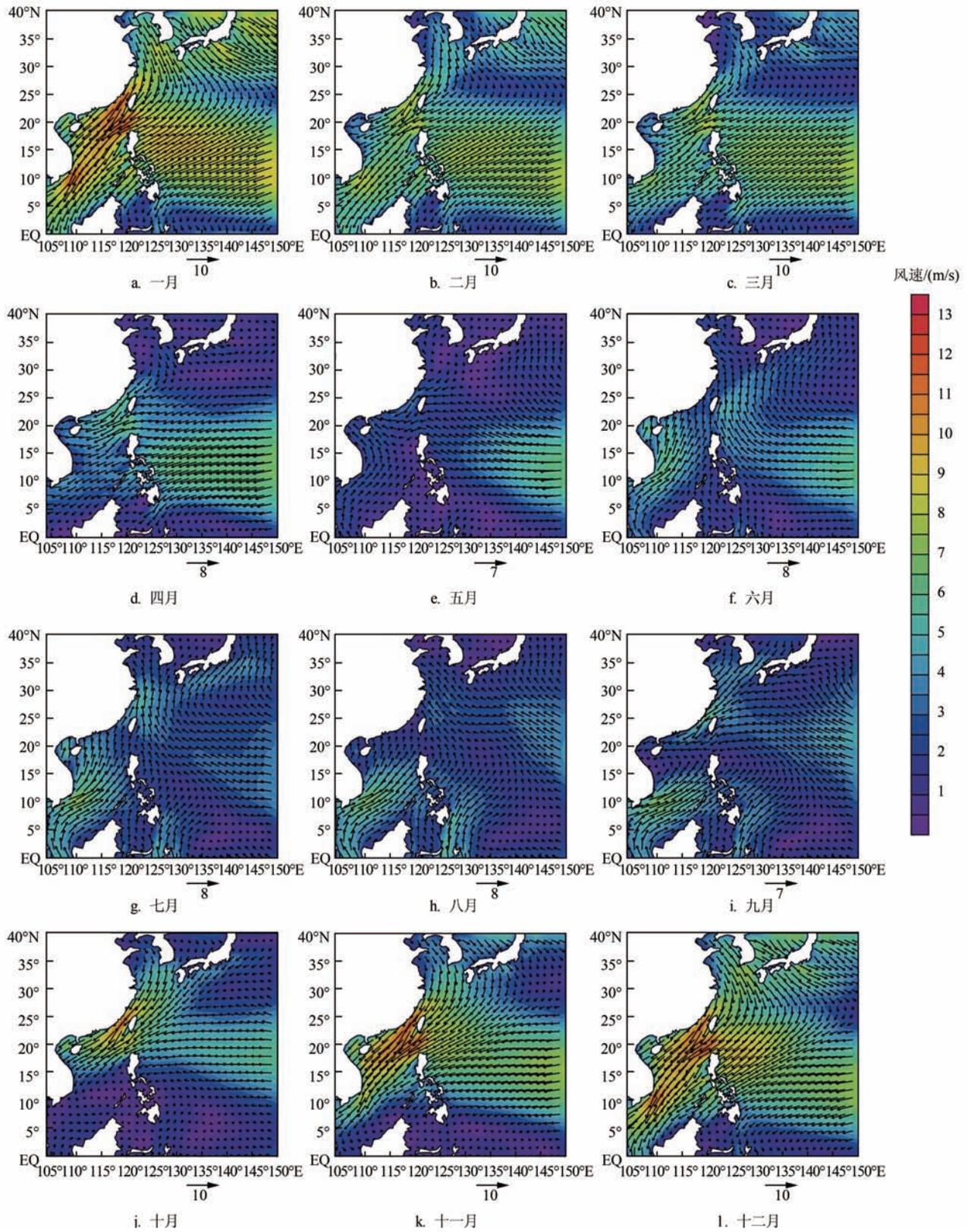


图4 西北太平洋海面风向、风速月平均分布

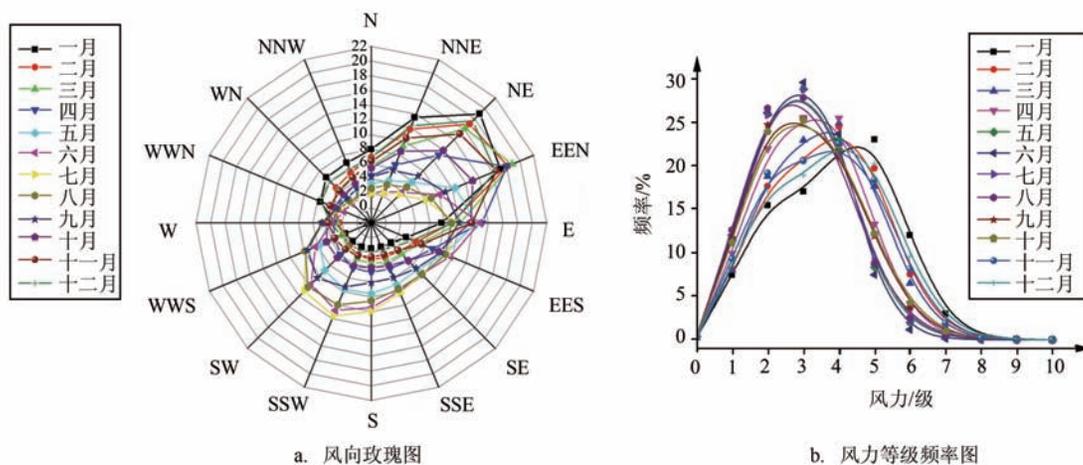


图5 西北太平洋各月风向和风力分布图

发生范围逐渐北缩,频率也逐渐降低,5月时只有日本岛以东洋面和台湾海峡周围有大风发生,且频率都不超过15%。6月西北太平洋6级以上大风发生频率为全年最低,只有日本岛以东洋面以及中国海域附近偶尔发生。7、8月大风发生区域逐渐南扩,并在洋区中部连成一片,但频率普遍不高,15%以上区域只存在与南海-台湾海峡一带。8月过后,大风发生范围扩展至整个 10°N 以北洋区,且发生频率逐渐增大,尤其在台湾海峡和日本岛以东洋面迅速增至30%以上。到12月时,大风频率空间分布状况已与1月类似,只是频率较1月时偏低, $10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间的东部洋面大风频率在5%以下。

5 海面风各季的日变化特征分析

考虑到分析海面风季节内日变化过程有助于海面风的短时临近预报和趋势预报,为此以4、7、10和1月作为春、夏、秋、冬四季代表月,对其风向风速进行区域平均(选取台湾海峡-南海海域, $10.5^{\circ}\sim 16.5^{\circ}\text{N}$, $113.5^{\circ}\sim 119.5^{\circ}\text{E}$)后进行季节日变化特征分析。

从西北太平洋多年各季风向日变化(见图6)可以看出,春、秋、冬季风向变化比较明显,春季由东北风逐渐向偏西南风变化,秋季则与春季相反,由西南风和偏西风向东北风变化,2009年和2010年在10月18—24日的异常分别与有记载的台风记录“卢碧(Lupit)”和“梅姬(Megi)”吻合。冬季,风向明显稳定在东北方向。夏季风向变化略复杂,虽以西南

风和偏南风为主,但是变化频繁,主要是因为夏季时台湾海峡-南海海域为台风频发地区,所以时序变化特征与季节、月平均变化特征有所出入。

而对于西北太平洋多年各季风速日变化(见图7)而言,春季风速整体呈递减趋势;夏季风速偏低,一般在 5 m/s 左右,7月中旬和月末出现风速的明显增加;秋季,前期受夏季影响下风速变化大,中后期呈现缓慢增加趋势;冬季风速最大,随时间呈震荡变化。

6 海上观测资料补充分析

考虑海上实际观测资料的应用对于上述基于CCMP风场的分析结果具有很好的细化和验证意义,为此,我们还利用2014年8月海面自动观测站资料和9月海调探空资料,对海面 10 m 风进行了时序变化分析,并与之前的基于CCMP资料分析结果进行了对比。

2014年8月2—20日的海面自动观测资料分布从黄海南延至台湾岛以东,向东南方向穿过菲律宾海盆,最终终止在新几内亚岛以北(见图8)。资料每分钟4个记录,分析采用的是逐小时一次。从图9的风随时间变化来看,2—20日期间,风向呈有规律地连续变化,不存在明显的风向突变。其中,5—6日、15—16日期间的风向呈明显的顺时针变化;风速在 $1\sim 8\text{ m/s}$ 间波动,而8月7日晚至8月9日晚间,则出现连续存在 10 m/s 以上大风。

结合观测时段观测点海面风全部记录的风向

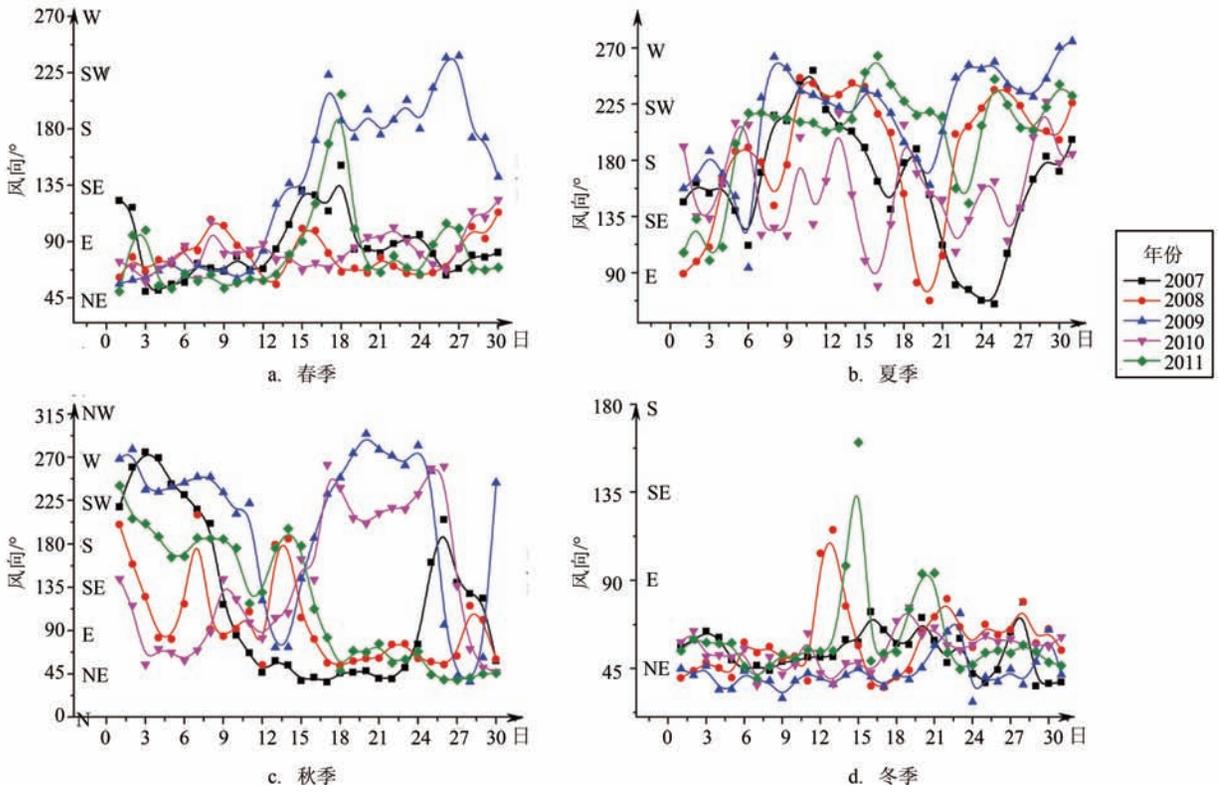


图6 西北太平洋多年各季风向日变化图

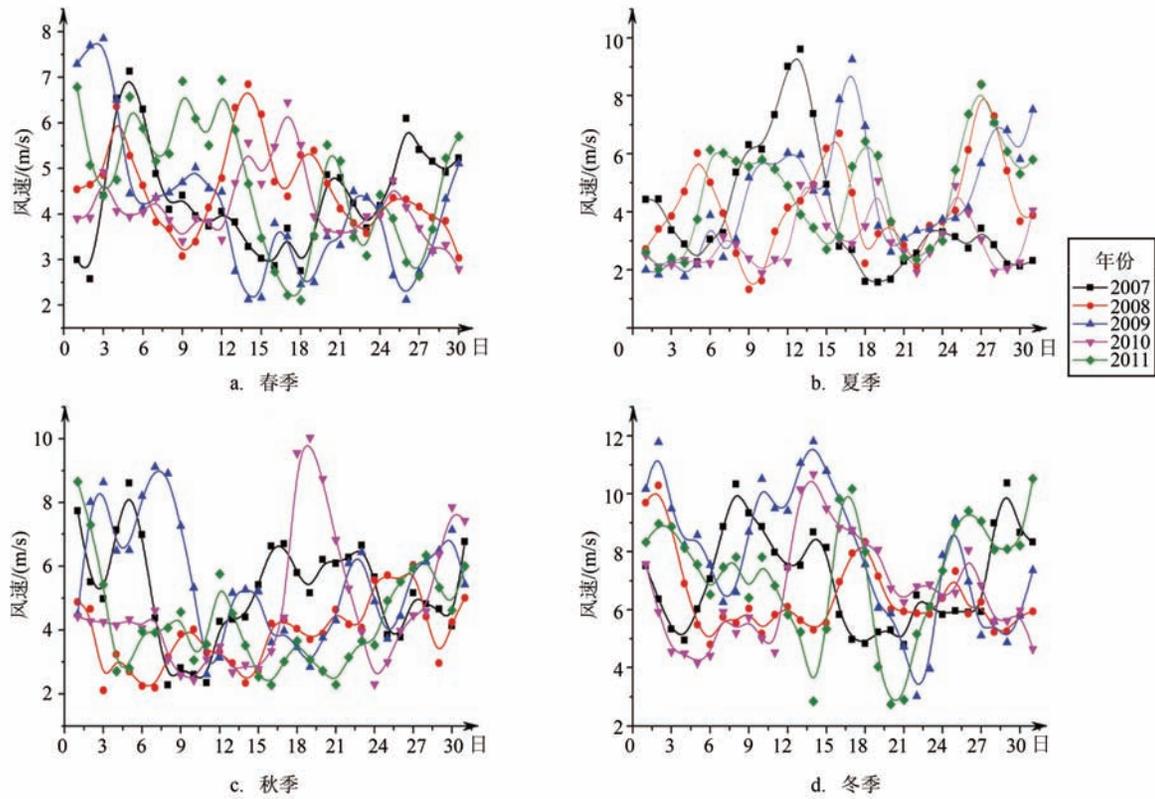


图7 西北太平洋多年各季风速日变化图

和风速频率(见图10)可知,8月,黄海-台湾-新几内亚岛一带,偏西南方向(S-SW-W)风占据主导地位出现频率相加超过50%,偏东南方向(NNE-NE)风出现频率次之,频率在10%左右。主要风力等级在1~5级(0.3~10.7 m/s),偶有6级及以上(>10.8 m/s)大风出现。这一特征与之前基于CCMP风场的8月分析结果总体相似,即东风出现频率减少,偏西南风频率增加。

相比而言,9月的海上探空观测均集中于南海

海域(见图11)。该资料时段为8月29日—9月21日,逐6h、逐10m一个记录。分析主要针对距海面10m处风向、风速随时间的变化进行。由图12可知,该时段该海域没有明显变化规律,以偏东方向风偏多,大多风向在东北偏东和东南偏东方向,中旬有少数西南风出现。由此推断,该时段西南季风已经崩溃,逐渐向东北季风转变。风速大多集中在5 m/s以下,少数时刻突破10 m/s。分析结果与之前基于CCMP风场的9月特征分析类似。

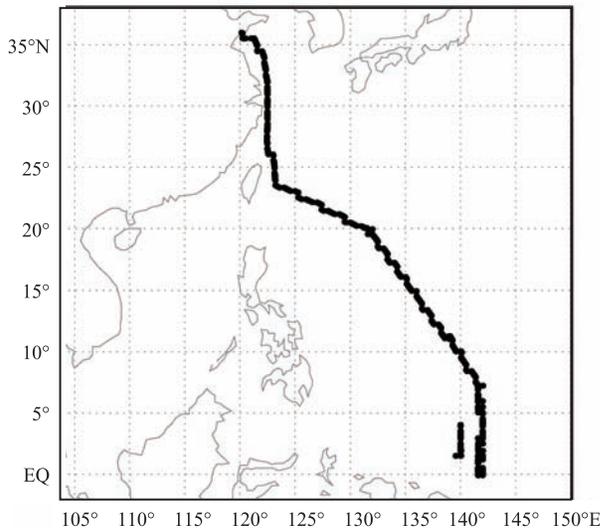


图8 海上自动观测站点分布图

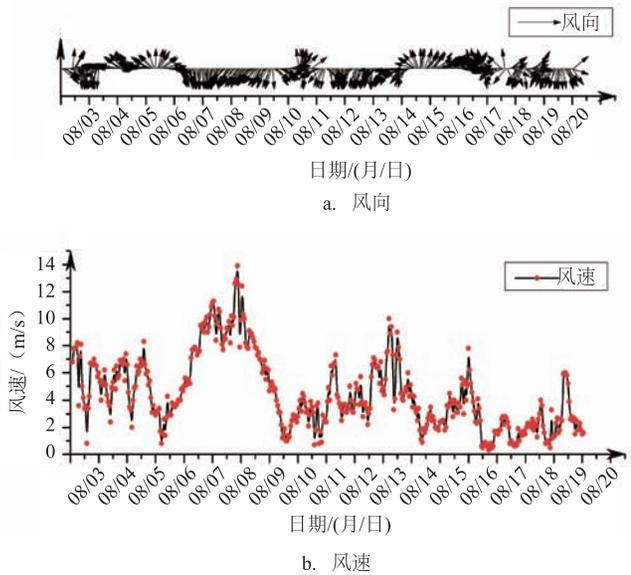
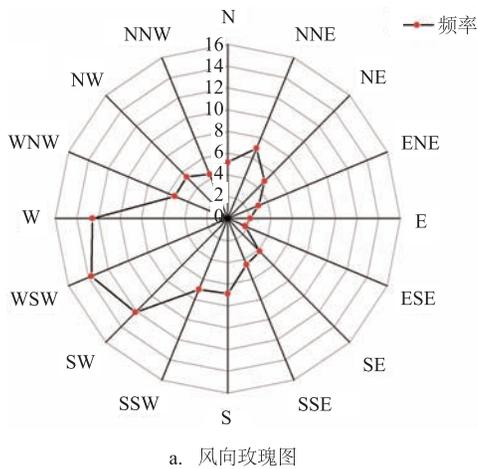
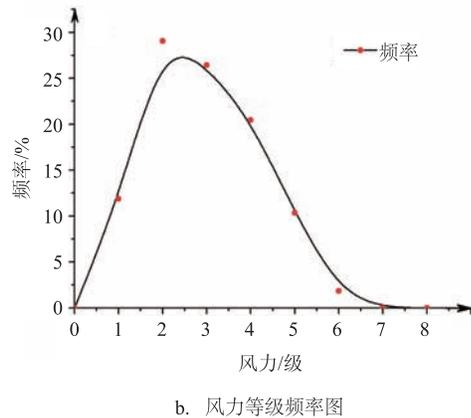


图9 2014年8月2—20日海面自动观测风向和风速随时间变化图



a. 风向玫瑰图



b. 风力等级频率图

图10 2014年8月2—20日海面自动观测风向和风力分布图

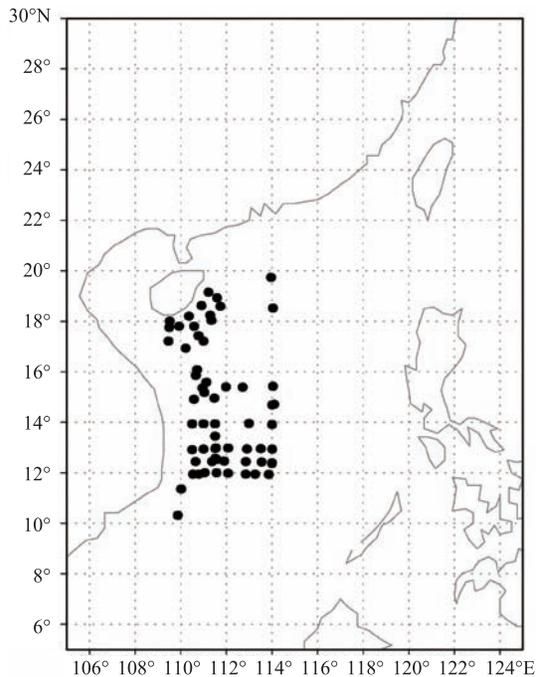


图11 海上探空站点分布图

7 结论

本文利用2007—2011年CCMP风场资料,对西北太平洋海面风场的季、月、日变化等特征进行了分析,并结合获取到的2014年海上观测资料对相应月份的分析结果进行细化和验证。研究表明:

(1)海面风存在明显的季节变化特征,且海面风的月特征与其季节变化特征存在较好的对应关系。夏季(6—8月)西北太平洋区盛行西南风,风速大值区位于南海海域,冬季(12月—次年2月)盛行东北风,整体风速偏高,达到一年最大值;全年中以7月时西南风特征最为明显,次年1月东北风最为强烈。春(3—5月)、秋(9—11月)两季属于风向风速的冬夏过渡时期,其中风向多变,不存在固定盛行风向;风速存在渐变过程,风速大值区在台湾海峡和菲律宾群岛以东海域;

(2)6级以上大风,夏季主要发生在南海海域,频率最低;冬季频率最高,范围最广,自南海至日本岛以东都有发生;春季和秋季频率偏低,发生区域较冬季时偏北;

(3)海面风日变化,4月海面风由东北风向南风

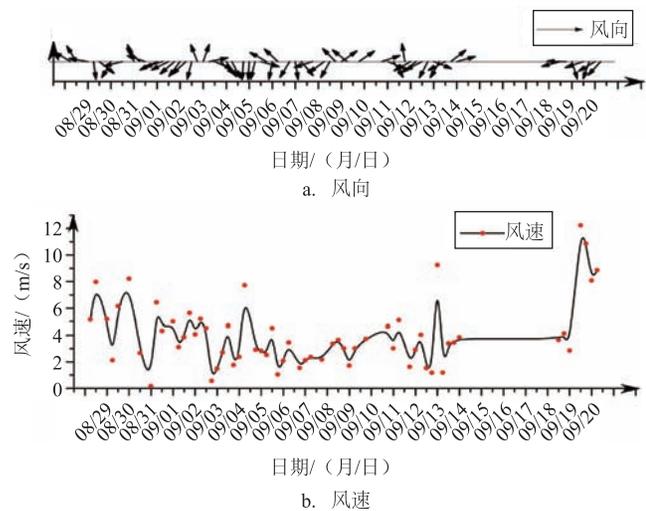


图12 2014年8月29—9月21日海面观测的10 m处风向和风速(随时间变化图)

转化,风速逐渐减小;7月时风向以西南风为主,有时会出现风向的剧烈变化,风速一般维持在6 m/s以下;10月风向有西南风向东北风,风速随时间递增;1月风向稳定,风速一般维持在4 m/s以上;

(4)2014年8月海上自动观测站资料和同年9月海上探空资料的分析显示,8月洋区盛行西南风,风速起伏较大;9月南海海域风向紊乱,西南风减少,风速逐渐降低。基于CCMP资料分析所得,8月西南风仍为西北太平洋区的主导风向,盛行风速偏低;9月西南季风崩溃,偏东风逐渐占据主导地位,风速较8月略有偏低。分析结果与CCMP资料所得结论相似。

致谢:中国科学院南海所王东晓研究员和陈举研究员,大气物理研究所朱江研究员为本文的海上观测资料的应用分析给予了热情指导帮助,在此一并感谢。

参考文献:

- [1] 刘金芳,孙立尹.西北太平洋风场和海浪场特点分析[J].海洋预报,2000,17(3): 54-62.
- [2] 刘铁军,郑崇伟,潘静,等.中国周边海域海表风场的季节特征、大风频率和极值风速特征分析[J].延边大学学报(自然科学版),2013,39(2): 148-152.
- [3] 陈心一,郝增周,潘德炉,等.中国近海海面风场的时空特征分析

- [J]. 海洋学研究, 2014, 32(1): 1-10.
- [4] 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]. *Science China Technological Sciences*, 2012, 55(1): 163-173.
- [5] 耿殿鹏, 郑崇伟, 刘寒. 浅析海表风场对军事活动的影响[J]. 中国科技博览, 2013, (3): 263.
- [6] 李培, 欧阳天宝, 俞慕耕. 北太平洋风场特点[J]. 海洋预报, 2002, 19(2): 41-46.
- [7] 沈春, 蒋国荣, 施伟来, 等. 南海 QuikSCAT 海面风场变化特征分析[J]. 海洋预报, 2012, 29(3): 1-8.
- [8] 刘春霞, 何溪澄. QuikSCAT 散射计矢量风统计特征及南海大风遥感分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(S1): 107-117.
- [9] Ward M N, Hoskins B J. Near-Surface Wind Over the Global Ocean 1949-1988[J]. *Journal of Climate*, 1996, 9(8): 1877-1895.
- [10] Young I R, Zieger S, Babanin A V. Global Trends in Wind Speed and Wave Height[J]. *Science*, 2011, 332(6028): 451-455.
- [11] 张德天, 郑崇伟, 石岭琳, 等. 基于 QuikSCAT/NCEP 风场的 1999-2009 年中国海表风场研究[J]. 海洋预报, 2011, 28(4): 58-64.
- [12] 朱苗苗, 贾本凯, 郑崇伟, 等. 西北太平洋海表风速特征分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2013, 30(4): 125-128.
- [13] 王静, 李靖, 李荣波, 等. 近 10 年南海海表风场季节特征统计[J]. 科技资讯, 2014, (3): 197-200.
- [14] 潘静, 郑崇伟. 西北太平洋海域海表风速长期变化趋势研究[J]. 海洋预报, 2012, 29(5): 48-52.
- [15] 毛科峰, 陈希, 李妍, 等. 东中国海域交叉定标多平台合成洋面风场资料的初步评估[J]. 气象, 2012, 38(12): 1456-1463.
- [16] 旷芳芳, 张友权, 张俊鹏, 等. 3 种海面风场资料在台湾海峡的比较和评估[J]. 海洋学报(中文版), 2015, 37(5): 44-53.
- [17] Atlas R, Ardizzone J, Hoffman R N. Application of Satellite Surface Wind Data to Ocean Wind Analysis[C]//Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering. San Diego, California, USA: SPIE, 2008: 92-103.
- [18] 郑崇伟. 基于 CCMP 风场的近 22 年中国海海表风场特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2011, 34(3): 41-46.
- [19] 刘志宏, 郑崇伟, 庄卉, 等. 近 22 年西北太平洋海表风速变化趋势及空间分布特征研究[J]. 海洋技术, 2011, 30(2): 127-130.
- [20] Atlas R, Hoffman R N, Ardizzone J, et al. A Cross-Calibrated, Multiplatform Ocean Surface Wind Velocity Product for Meteorological and Oceanographic Applications[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2011, 92(2): 157-174.
- [21] 沈彦燕, 袁峰, 张静, 等. 矢量平均法测量地面风[J]. 气象水文海洋仪器, 2008, (2): 80-83.
- [22] 阎俊岳. 南海西南季风爆发的气候特征[J]. 气象学报, 1997, 55(2): 174-186.
- [23] 李汀, 琚建华. 孟加拉湾西南季风与南海热带季风的气候特征比较[J]. 地球物理学报, 2013, 56(1): 27-37.

Analysis of sea surface wind in Northwest Pacific based on CCMP satellite data

ZHAN Si-yu^{1,2}, QI Lin-lin², LU Wei¹

(1. School of Meteorology of PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China;

2. Institute of Aeronautical Meteorology, Beijing 100085 China)

Abstract: The seasonal, monthly and daily characteristics of sea surface wind field in the northwestern Pacific are analyzed based on the high resolution CCMP satellite dataset. The results show that: the sea surface wind in the northwestern Pacific displays obvious seasonal and monthly variation characteristics. The southwester prevails in summertime with variable wind direction and the lowest velocity, while the northeaster does in winter with higher speed. The area of frequent gales mainly located in the South China Sea, Taiwan Strait and east of Japan Island. The frequency in winter is significantly higher than the other three seasons. The automatic observation data in August 2014 and GPS data in September are analyzed to validate the result of the above. The result proves that the southwest still prevailed in August, but decreased in September.

Key words: Northwest Pacific Ocean; sea surface wind; variable characteristics; observation verify