

散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中应用方向探讨

钟剑, 马卫民, 姜旻, 孙一妹

(中国卫星海上测控部, 江苏 江阴 214431)

摘 要: 结合目前远洋航天气象保障中关注重点及存在的弱点, 创新尝试引入高精度散射计海面风场资料, 探讨散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中应用的可行方向, 主要包括应用于诊断海面风场气候统计特征、应用于诊断热带气旋生成预报预警、应用于诊断热带气旋内部结构特征、结合数学非线性时间序列预报方法应用于站点海面风和海面风场预报, 总结相关方向关键技术的国内外研究进展, 为下一步散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中的深入应用及国内海洋二号卫星散射计资料的应用提供理论基础和方向支撑。

关键词: 海面风场; 散射计资料; 远洋航天气象保障

中图分类号: P732.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)06-0008-08

1 引言

随着我国对海洋资源和海洋权益的日益关注和重视, 我国远洋活动不断增加, 尤其是随着我国进入航天发射的高峰阶段, 远洋航天活动越来越频繁^[1]。远洋航天活动一个重要关注点在于确保船舶航行安全的气象保障。远洋航天气象保障主要关注密切影响船舶安全和任务实施的气象要素和天气系统, 其中, 气象要素主要包括海面风场和海浪, 天气系统主要包括热带气旋、冷空气、温带气旋和热带云团强对流等。

目前, 我国在远洋航天气象保障主要依赖于数值预报产品及卫星云图产品^[2]。卫星云图仅仅能提供当前大气状况的云图特征, 并不能提供天气要素具体预报数值。数值预报产品虽然能提供包括海面风场、海浪等天气要素的预报场, 但目前远洋航天气象保障中并未开发自主的数值预报产品, 而可用的数值预报产品仍然存在以下问题: 一是依赖于国内外各大数值预报中心发布, 在某些情况下, 并不能准确按时接收各种数值预报产品, 影响气象保障的效率和准确性; 二是国外产品缺点在于分辨率

相对较粗, 而国内产品虽然分辨率相对较高, 但预报精度相比国外产品仍然存在一定差距。同时, 对于远洋航天气象保障重点关注的热带气旋天气系统生成预报预警、热带气旋结构诊断等, 其保障产品仍然有待进一步丰富。寻找更多的高精度海面要素和热带气旋预报产品是远洋航天气象保障的一个重要研究发展方向。

卫星散射计, 能够高精度提供海面风场信息, 为更好开展远洋航天气象保障提供了一种可能。星载散射计为一种主动式微波遥感器, 其通过测量海表后向散射回波信号强度可间接反演得到海面风场信息。由于其具备全天候、大面积、近实时观测的特点, 卫星散射计被认为是目前获取海面风场的最理想遥感器^[3]。同时, 卫星散射计特有的全天候观测能力和受云雨影响较小的特性, 使得其在极端天气如热带气旋和大风浪情况下的应用有着其它传感器不可比拟的优越性。随着散射计资料海面风场反演方法的改进, 其在无雨条件下的海面风场反演风速误差达到0~2 m/s或风速的10%, 风向误差达到0°~20°。同时, 通过合理构建降雨对微波信号的影响, 降雨条件下的海面风场反演精度也不

收稿日期: 2016-12-06; 修回日期: 2016-12-23。

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(41605075)。

作者简介: 钟剑(1984-), 男, 工程师, 博士, 从事海洋气象水文要素预报和资料同化数值预报研究。E-mail: zhj_zhongjian@163.com

断提高^[3]。

虽然卫星散射计目前主要用于反演海面风场要素,但是远洋航天气象保障中关注的众多天气系统和气象要素等均与海面风场的变化息息相关。如,灾害性天气系统热带气旋一个重要特征就在于海面风场的变化,海浪的变化也主要受海面风场的影响等^[4]。散射计提供的海面风场要素,不但能够为气象预报保障提供近实时海面风场参考,同时,还可用于诊断其他一些远洋航天气象保障中关注的要素和产品。目前,远洋航天气象保障中尚缺少散射计海面风场产品及其拓展应用产品。

本文结合远洋航天气象保障中存在的弱点,尝试将散射计海面风场资料引入到远洋航天气象保障中,探讨其在远洋航天气象保障中应用的可行方向,总结相关研究方向的目前国内外研究进展,以便为下一步散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中的应用提供理论基础和方向支撑。

2 散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中应用可行方向

远洋航天气象保障中重点关注气象要素为海面风场和海浪,天气系统为热带气旋、冷空气、温带气旋和热带云团等;同时,目前远洋航天气象保障中缺乏自主的数值天气预报产品,在短时间内也无法实现自主的数值天气预报,并且包括热带气旋生成和结构诊断等相关保障产品仍有待进一步丰富。

针对目前远洋航天气象保障现状,散射计海面风场资料除了可以用于近实时分析包括台风、副高等在内的天气系统外^[5],在远洋航天气象保障中应用可行方向总结主要可包括:应用于诊断海面风场气候统计特征、应用于诊断热带气旋生成预报预警、应用于诊断热带气旋内部结构特征、结合数学非线性时间序列预报方法应用于站点海面风和海面风场预报。下面将结合远洋航天气象保障的关注重点和弱点对各个可行方向进行阐述和探讨。

2.1 海面风场气候特征统计

远洋航天气象保障中,在每次远洋航行执行任务前,对于特定时间段特定任务海域均要进行气象要素气候特征统计,以便为更好开展气象保障提供

气候特征参考和指导。目前,远洋航天气象保障中进行气象要素气候统计,主要依赖于历史的数值预报产品资料。由于散射计海面风场资料具有高精度的特性,将其应用于诊断海面风场气候统计特征具有明显的优越性,也是散射计海面风场资料服务于气象保障的一个重要应用方面。

国外方面,Fang等^[6]针对中国南海区域,利用 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的散射计海面风场格点资料,开展了海面风场线性趋势特征研究和基于经验正交函数分解(EOF)分解的风场年代际变化特征研究。He^[7]利用3a的QuikSCAT散射计海面风场资料,研究了西南太平洋区域的风速概率分布特征。Chronis等^[8]利用2000—2008年的12.5 km分辨率QuikSCAT散射计海面风场资料,开展地中海和黑海海域的风场季节平均统计特征研究和大风极端事件统计特征研究,并分析两者之间的联系。Sathiyamoorthy等^[9]利用印度的OSCAT散射计海面风场资料,研究了2010年夏季季风期间的季风季节变率和主要模态特征。Collins等^[10]利用QuikSCAT散射计资料诊断了西印度洋海域海面风场局地尺度空间特征和年代际变化特征。

国内方面,郭小钢等^[11]利用ERS卫星散射计风场资料,插值到 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 网格格点,研究了包括东北季风和西南季风随纬度变化及风应力特征在内的南沙群岛海域的风场特征。刘春霞等^[12]利用QuikSCAT散射计资料,研究了南海的大风频数特征和海面风场空间统计特征。杨亮^[13]利用卫星遥感散射计海面风场资料,对西北太平洋海面风场时空特征进行了相关分析。沈春等^[14]利用QuikSCAT散射计资料进行经验正交函数分析和随机动态分析,研究了中国南海海面风场的变化特征。马艳辉^[15]利用QuikSCAT和ASCAT网格化时间序列数据,对南极周边海域的海面风场基本统计特征和经验正交函数分解统计特征进行了分析。

以上分析显示,散射计海面风场资料已经被广大气象学者应用于开展海面风场的基本统计特征和其它统计特征研究,但不同海域海面风场统计特征并不相同,针对远洋航天气象保障重点关注海域,开展基于散射计海面风场资料的海面风场气候统计特征研究,其可为远洋航天气象保障提供一种新的海面风场气候统计特征产品。

2.2 热带气旋生成预报预警

由于远洋航天任务实施海域和时间可变性较小的特殊性,热带气旋生成预报预警对远洋航天气象保障显得更加尤为重要,也一直是关注重点和气象保障难点。在以往任务中,就曾多次遭遇热带气旋生成可能影响任务实施和船舶安全航行的情形。尤其是对于在热带辐合带或者西南季风带等热带云团活跃条件下的情形,此时,由于热带云团发展和消亡不确定性较大,数值预报产品对热带云团是否会发展生成热带气旋有时会存在很大误差,某些情况下对于热带气旋生成诊断的时间有时很短,此时,如果热带气旋生成位置和时间在任务实施海域和时间附近,为了更有利于领导进行指挥决策,希望能尽早给出热带气旋生成的预报信息。目前,航天远洋气象保障中关于热带气旋生成预报预警的产品有待进一步丰富。

由于热带气旋生成一个重要方面表现在海面风场变化上,散射计海面风场逐渐应用于诊断热带气旋生成预报预警。目前利用散射计海面风场资料诊断热带气旋生成主要包括两种思想,分别为基于相对涡度思想和基于大尺度矢量场匹配思想。

Liu^[16]和Katsaros等^[17]最早通过分析QuikSCAT散射计海面风场数据指出,在热带扰动被美国国家台风中心(National Hurricane Center, NHC)判定为热带气旋前24 h,散射计海面风场资料具备明显的环流特征。Sharp等^[18]首次提出利用散射计海面风场数据计算相对涡度,用于诊断热带气旋生成。利

用1999年和2000年多个台风个例进行了初步诊断数值试验,表明基于相对涡度思想诊断热带气旋生成预报预警的可行性。基于Katsaros等思想,Hite等^[19]和Gierach等^[20]利用卫星散射计海面风场资料和静止气象环境卫星资料,结合低层相对涡度和风速诊断热带气旋的生成。针对利用散射计资料计算相对涡度诊断热带气旋生成,Ford^[21]和Bourassa等^[22]提出一种改进的相对涡度计算方法,同时分析了相对涡度计算的主要误差源。

同时,Jaiswal等^[23]基于大尺度海面风矢量场的匹配思想,提出一种可以克服基于相对涡度思想局限性的热带气旋生成预报预警方法。其基本思想是,利用发展热带气旋的海面风矢量场具有相似特征,利用矢量块匹配算法,匹配海面风场与历史数据库中发展的热带扰动海面风场信息,进而诊断热带扰动是否发展成为热带气旋。利用2007—2009年台风季的连续海面风场资料开展试验,结果表明,所有发展成为热带风暴的14个热带扰动均被该方法有效诊断出来,同时,也存在两个错误诊断个例,热带气旋生成诊断时间基本在25~114 h之间。之后,Jaiswal等^[24]利用该方法,基于印度海洋二号OSCAT散射计海面风场资料,诊断了北印度洋海域的热带气旋生成,2009年的11个热带气旋数值试验结果表明,其对应的热带扰动全部被诊断出来,提前诊断出来的时间也基本在24~144 h之间(见图1),平均为63 h,但也存在2%的错误诊断率^[24]。

以上分析显示,散射计海面风场资料应用于诊断远洋海域热带气旋生成预报预警具有一定的优

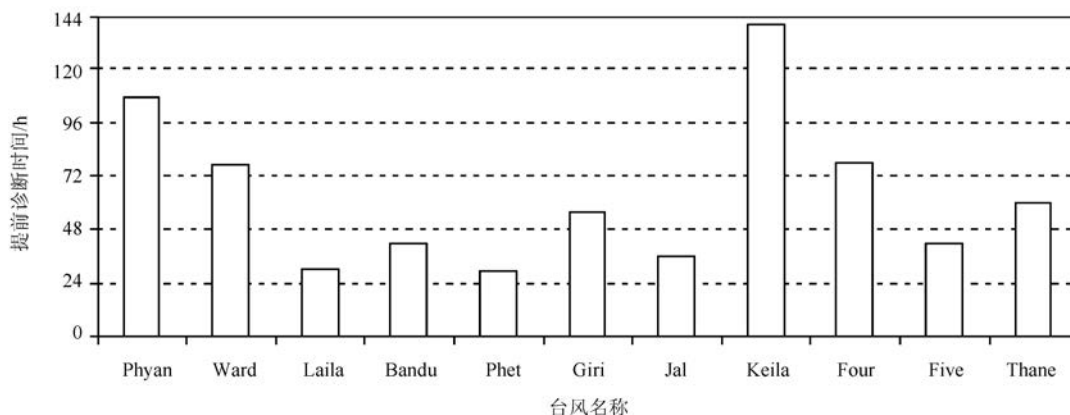


图1 北印度洋2009—2011年历史数据库样本热带气旋个例的跟踪时间(该时间为热带低压系统被JTWC确定为热带风暴时间与被算法诊断可发展成为热带风暴时间之差,摘自参考文献[24])

越性,但是针对不同海域,需要构建相应的热带气旋生成预报预警模型,优化诊断模型中若干关键参数。针对远洋航天气象保障重点关注海域特点,开发基于散射计海面风场资料的热带气旋生成预报预警产品,并应用于远洋航天气象保障中,在提供一种新的预报保障产品的同时为更好开展热带气旋生成预报预警保障提供一种可能。

同时,对于散射计海面风场资料诊断热带气旋生成,目前算法中仍然存在一定的错误诊断率,且对于某些热带气旋个例,其预报预警时效仍然相对较短(见图1),而对于这些个例,往往是远洋航天气象保障中气象保障的难点。

2.3 热带气旋内部结构特征诊断

热带气旋特定风速半径、台风中心位置在某些特殊情况下也是远洋航天气象保障的重点。如,2016年遭遇的一次在发展的热带气旋附近实施任务的情形,在这种情况下,目前主要通过密切关注卫星云图的变化、雷达观测资料及常规观测资料的变化来诊断热带气旋的发展变化,在定量确定热带气旋某一风速影响范围等方面仍然存在欠缺,不利于更好准确判断热带气旋对船舶的影响程度。随着散射计增强高分辨资料的出现以及反演海面风场精度的不断提高,散射计海面风场资料逐渐应用于诊断热带气旋内部结构特征。

国外方面,Magnan^[25]利用NSCAT 25 km分辨率散射计海面风场资料,针对西北太平洋9个热带气

旋个例,开展计算热带气旋关键风半径和热带气旋尺度大小研究,表明散射计资料可用以估计热带气旋中心,且估计的关键风半径与美国联合预报预警中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)产品具有很好的一致性。之后,QuikSCAT增强2.5 km分辨率资料出现,能够呈现出更加细致的热带气旋内部结构信息(见图2)。Halterman等^[26-27]利用该高分辨率海面风场资料,通过与25 km分辨率资料对比分析表明,2.5 km分辨率资料能够有效监测热带气旋的内核大小和结构以及是否存在中心眼墙等特征,而这些在25 km分辨率资料中往往无法体现。同时,2.5 km分辨率资料在热带气旋环流中心定位方面比25 km分辨率资料精度也更高。Said等^[28]利用QuikSCAT 2.5 km高分辨率散射计海面风场产品,开展估计热带气旋中心和风半径的研究。结果表明,与热带气旋最佳路径相比,估计的热带气旋中心平均误差只有19 km,标准偏差为10 km。同时,文中提出了一种利用散射计海面风场资料自动估计风速半径的方法。

同时,国内方面,还局限于利用粗分辨率的散射计资料估计热带气旋中心的研究。Zou等^[29]研究了采用搜索QuikSCAT反演风向的涡旋中心,风速或后向散射系数的台风中心区域在局部最小值点的方法定位获得台风中心位置信息。Zhong等^[3]利用QuikSCAT散射计海面风场资料,构建了自动搜索确定台风中心的相关流程,并利用一次热带气旋多个观测时次散射计资料进行了数值试验,验证了

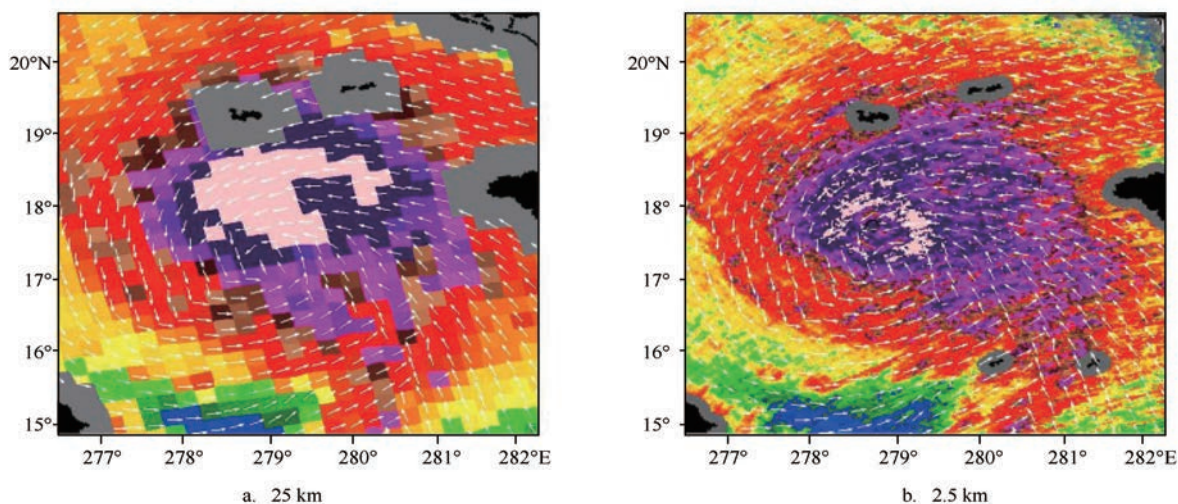


图2 25 km分辨率和2.5 km增强分辨率下2007年8月台风“Dean”的风速和风向图(摘自参考文献[29])

该方法的有效性。

以上分析显示,散射计海面风场资料可用于诊断热带气旋路径信息,同时,高分辨率的散射计海面风场还可用于诊断热带气旋内部结构信息,在获取高精度散射计海面风场资料后,将其应用于诊断航天远洋海域热带气旋结构特征,可更加客观准确评估热带气旋的影响范围和影响大小,进而更好服务于航天远洋气象保障。

增强 2.5 km 高分辨率的散射计资料是通过一定的算法对正常 25 km 分辨率观测资料提高分辨率生成^[28],因此,其不可避免存在一定程度的误差,而这些误差也会在一定程度上导致热带气旋内部结构诊断存在误差。同时,须注意到,受散射计卫星观测的影响,散射计海面风场资料一般对于某个海域一天只有 1—2 次的观测资料,时间密度仍然相对有限。

2.4 站点海面风和海面风场预报技术

目前,远洋航天气象保障中仍然缺少自主的预报保障产品,主要依赖于国内外发布的数值预报产品和卫星云图等。在以往气象保障中,仍然存在不能按时准确接收数值预报产品影响预报保障效能的情形。发展计算量较小、精度可靠的预报保障产品是远洋航天气象保障的一个重要研究方向。同时,当气象保障人员关注站点或者日平均海面风场预报时,此时,数值天气预报计算量太大,利用高精度站点或日平均海面风场资料时间序列,结合数学非线性时间序列预报方法开展海面风场预报研究具有重要的研究价值,也是目前发展起来的散射计海面风场资料的一个重要应用方向。

More 等^[30]和 Malmberg 等^[31]分别利用人工神经网络和卡尔曼滤波方法开展站点海面风预报研究。之后,由于遗传算法相对传统神经网络等非线性时间序列预报算法,具有可提供显式预报方程的优越性,逐渐广泛用于海面风预报。Basu 等^[32]最早利用北印度洋的 in situ 常规观测和卫星散射计观测海面风场时间序列资料,基于遗传算法开展单站海面风速预报研究。结果表明:该方法相对持续模型和自回归模型具有明显优越性。Zhong 等^[33]结合奇异谱分析滤除时间序列噪音方法,验证了遗传算法在中国南海站点海面风预报中的有效性,结果显

示,3 个站点对于纬向风和径向风的 1~4 d 预报误差分别在 1.24~1.95 m/s、1.4~2.11 m/s、1.68~2.80 m/s 及 2.15~3.51 m/s 之间,不同站点由于海面风包含的噪音不同而可预报性和预报误差并不相同。

通过结合经验正交函数分解方法,Sharma 等^[34-35]分别针对阿拉伯海海域和孟加拉湾海域,利用散射计海面风场资料,将遗传算法应用于区域海域海面风场预报研究。研究表明:对于 5 d 内预报,其相对于持续模型具有优越性。同时,Basu 等^[36]针对整个北印度洋海域(包括阿拉伯海和孟加拉湾),开展基于遗传算法和经验正交函数分解的散射计海面风场 1~4 d 预报研究,通过与浮标观测资料对比,显示出令人振奋的结果。结果显示,对于北印度洋大部分海域,1 d 预报误差在 1.5 m/s 左右,3 d 预报误差也基本维持在 1.5~2.0 m/s 量级,4 d 预报误差在 3 m/s 量级,且均在 4 m/s 以下(见图 3)。同时,孟加拉湾海域的预报误差相对阿拉伯海海域要更大。需说明的是,遗传算法开展站点海面风和海面风场预报,相对于神经网络等非线性时间预报算法另一重要特征在于计算量小,且一次构建预报模型后可长时间应用。

以上分析显示,将散射计海面风场资料应用于站点海面风或海面风场预报具有潜在应用价值,但是对于不同站点或不同海域、及不同的观测资料,所构建的海面风或海面风场预报模型是不相同的。针对远洋航天气象保障重点关注站点或海域特点,利用高精度散射计海面风资料,构建其相应的站点海面风或海面风场预报模型,可为其远洋航天气象保障提供一种自主开发的新的海面风预报产品,在丰富海面风预报产品的同时可为进一步提高海面风预报精度提供一种可能。

须注意到,利用散射计海面风场资料,基于遗传算法的站点海面风或海面风场预报中,海面风场资料时间序列的噪音是影响算法有效性的一个重要因素,这也是前人研究中不同站点和不同海域的预报误差不相同,有时差异还较大的原因。对于某些海面风场资料时间序列噪音较大的海域,该算法的预报误差可能会相对较大。同时,该算法对于冷空气或者热带气旋等恶劣天气引起的海面风突然增大的情况下的预报精度都还有待进一步考究。

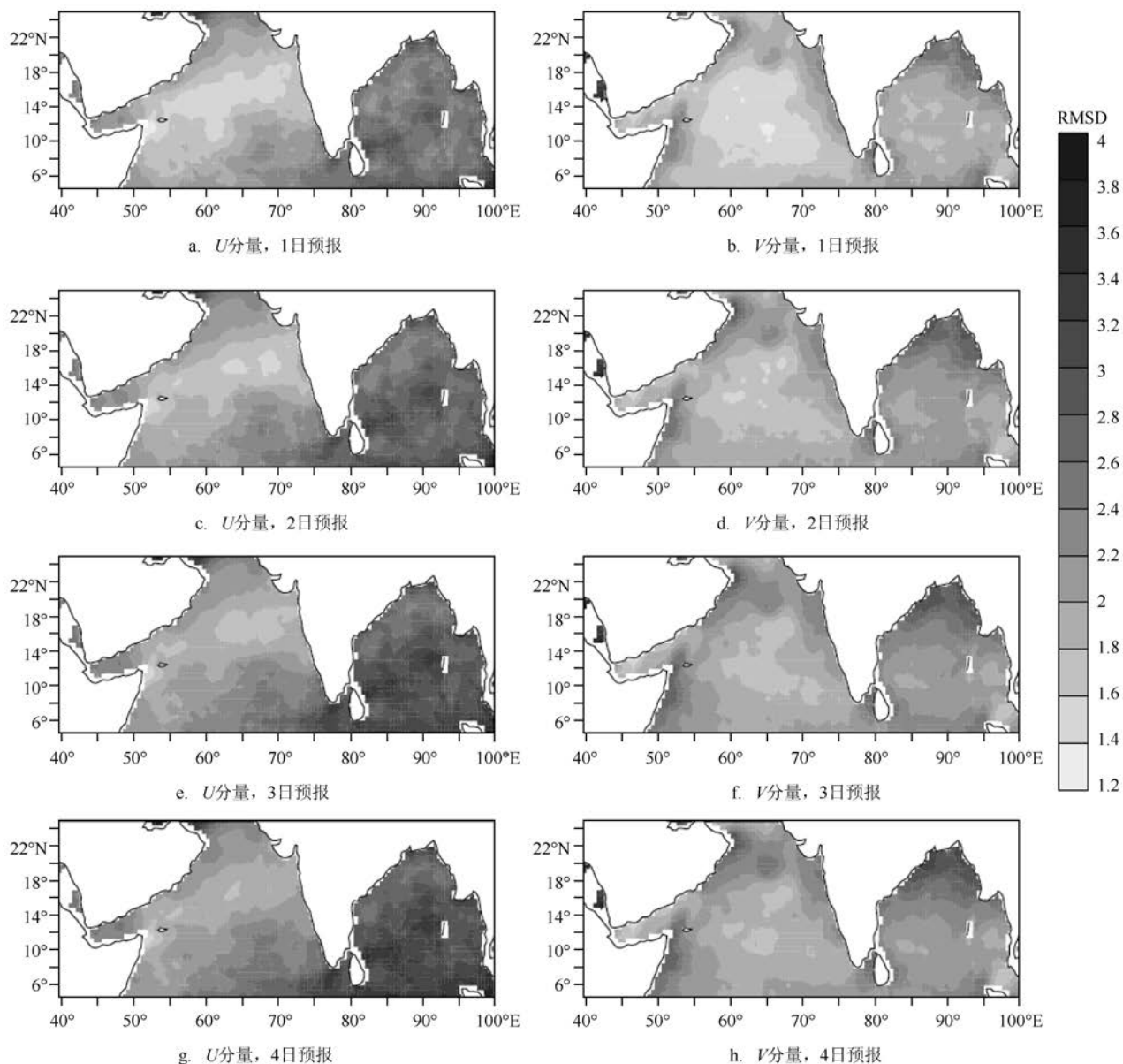


图3 北印度洋海面风场预报均方根误差分布(单位:m/s,摘自参考文献[37])

3 总结和展望

本文针对散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中的应用,总结归纳了4个可行应用方向,包括应用于诊断海面风场气候统计特征、应用于诊断热带气旋生成预报预警、应用于热带气旋内部结构特征诊断、结合数学非线性时间序列预报方法应用于预报站点海面风或海面风场。对其相关可行应用方向的国内外研究进展进行归纳总结,结合远洋

航天气象保障关注重难点,探讨了在远洋航天气象保障中应用的可行性,可为下一步散射计海面风场资料在远洋航天气象保障中的深入应用提供理论基础和方向支撑。

这些方向的研究均与远洋航天气象保障息息相关,如每次开展远洋航天气象保障前,均需要关注海域海面风场等气象要素特征进行统计,以便预报员了解相关海域气候特征,高精度海面风场资料为气候特征估计提供更好资料来源;热带气旋一直以来都是远洋航天气象保障重点关注天气系统,对

热带气旋生成预报预警更是目前远洋航天气象保障中的薄弱环节,基于散射计海面风场资料开展热带气旋预报预警,可为诊断热带气旋生成进而更好开展热带气旋预报保障提供一种可能;热带气旋内部结构特征是有效评估热带气旋影响范围和影响强度的重要方面,高精度散射计海面风场资料可诊断热带气旋结构特征,进而更好服务于航天远洋气象保障;海面风场一直以来都是影响远洋航天气象保障的重要气象要素,基于散射计海面风场资料开展站点海面风或海面风场预报,可为远洋航天气象保障提供一种新的预报产品。

同时,目前我国海洋二号卫星散射计资料应用大多还局限于应用于数值天气预报和海面风场气候统计,在其它方面的应用还较少,本文中提出的4个可行应用方向还可为海洋二号卫星散射计资料在气象保障中的深入应用提供理论和方向支撑。

参考文献:

- [1] 马卫民, 褚晓春, 王力群. 神舟七号飞船发射海上测控气象保障分析[J]. 气象, 2010, 36(12): 35-40.
- [2] 赵学洋, 周云山. 数值预报产品在西南太平洋船舶导航中的应用[J]. 海洋预报, 2013, 30(5): 69-74.
- [3] Zhong J, Fei J F, Huang S X, et al. An improved QuikSCAT wind retrieval algorithm and eye locating for typhoon[J]. Acta Oceanologica Sin, 2012, 31(1): 41-50.
- [4] 周凯, 陈希, 李妍, 等. 两种海面风场的对比及对海浪模拟的影响[J]. 海洋预报, 2012, 29(3): 9-14.
- [5] 苗春生, 高雅, 王坚红. HY-2 卫星近海面风场资料融合及在海上天气系统分析中的应用[J]. 海洋预报, 2015, 32(4): 12-22.
- [6] Fang G H, Chen H Y, Wei Z X, et al. Trends and interannual variability of the South China Sea surface winds, surface height, and surface temperature in the recent decade[J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111(C11): C11S16.
- [7] He Y P. Surface wind speed probability distribution in the Southeast Pacific of Marine Stratus and Stratocumulus regions[J]. Central European Journal of Geosciences, 2009, 1(4): 443-455.
- [8] Chronis T, Papadopoulos V, Nikolopoulos E I. QuikSCAT observations of extreme wind events over the Mediterranean and Black Seas during 2000-2008[J]. International Journal of Climatology, 2010, 31(4): 2068-2077.
- [9] Sathiyamoorthy V, Sihakolli R, Gohil B S, et al. Intra-seasonal variability in Oceansat-2 scatterometer sea-surface winds over the Indian summer monsoon region[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2012, 117(3-4): 145-152.
- [10] Collins C, Reason C J C, Hermes J C. Scatterometer and reanalysis wind products over the western tropical Indian Ocean [J]. Journal of Geophysical Research, 2012, 117(C3): C03045.
- [11] 郭小钢, 靖春生, 李立. 南沙群岛海域风场特征——卫星散射计观测资料分析[J]. 热带海洋学报, 2003, 22(4): 18-25.
- [12] 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(增刊): 107-117.
- [13] 杨亮. 基于遥感数据的西北太平洋海面风场时空特征分析[D]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2007.
- [14] 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.
- [15] 马艳辉. 基于散射计数据的南极周边海域海面风场特征研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [16] Liu W T. Wind over troubled water[J]. Backscatter, 2001, 12: 10-14.
- [17] Katsaros K B, Forde E B, Chang P, et al. Quik SCAT's SeaWinds facilitates early identification of tropical depressions in 1999 hurricane season[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(6): 1043-1046.
- [18] Sharp R J, Bourassa M A, O'Brien J J. Early detection of tropical cyclones using SeaWinds-derived vorticity[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83(6): 879-889.
- [19] Hite M M, Bourassa M A, O'Brien J J. Vorticity-based detection of tropical cyclogenesis[C]//14th Conference on Interaction of the Sea and Atmosphere. Atlanta, GA: American Meteorological Society, 2016.
- [20] Gierach M M, Bourassa A, Cunningham P, et al. Vorticity-based detection of tropical cyclogenesis[J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2007, 46(8): 1214-1229.
- [21] Ford K M. Uncertainty of scatterometer-derived vorticity[D]. Florida: The Florida State University, 2008.
- [22] Bourassa A M, Ford K M. Uncertainty in scatterometer-derived vorticity[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010, 27(3): 594-602.
- [23] Jaiswal N, Kishtawal C M. Prediction of Tropical Cyclogenesis Using Scatterometer Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(12): 4904-4909.
- [24] Jaiswal N, Kishtawal C M, Pal P K. Prediction of tropical cyclogenesis in North Indian Ocean using Oceansat-2 scatterometer (OSCAT) winds[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2013, 119(3-4): 137-149.
- [25] Magnan S G. Calculating tropical cyclone critical wind radii and storm size using NSCAT winds[D]. New York: State University of New York, 1998.
- [26] Halterman R R. Observation and tracking of tropical cyclones using resolution enhanced scatterometry[D]. Brigham: Brigham Young University, 2006.
- [27] Halterman R, David L. A comparison of hurricane eye determination using standard and ultra-high resolution QuikSCAT winds[C]//IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium. Denver, CO, USA: IEEE, 2006:

- 4117-4120.
- [28] Said F, Long D G. Determining selected tropical cyclone characteristics using QuikSCAT's ultra- high resolution images[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2011, 4(4): 857-869.
- [29] Zou J H, Lin M S, Pan D L, et al. Applications of QuikSCAT in typhoon observation and tracking[J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(5): 840-846.
- [30] More A, Deo M C. Forecasting wind with neural networks[J]. Marine Structures, 2003, 16(1): 35-49.
- [31] Malmberg A, Holst U, Holst J. Forecasting near- surface ocean winds with Kalman filter techniques[J]. Ocean Engineering, 2005, 32(3-4): 273- 291.
- [32] Basu S, Satheesan K, Sarkar A, et al. Ocean surface wind prediction in the north Indian Ocean from in situ and satellite observations using genetic algorithm[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(24): L24601.
- [33] Zhong J, Dong G, Sun Y M, et al. Application of the nonlinear time series prediction method of genetic algorithm for forecasting surface wind of point station in the South China Sea with scatterometer observations[J]. Chinese Physics B, 2016, 25(11): 110502.
- [34] Sharma, R, Sarkar A, Agarwal N, et al. A new technique for forecasting surface wind field from scatterometer observations: A case study for the Arabian Sea[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45(3): 613-620.
- [35] Sharma R, Sarkar A, Agarwal N, et al. Predicting wind field in the Bay of Bengal from scatterometer observations using genetic algorithm[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(3): L03 603.
- [36] Basu S, Sharma R, Agarwal N, et al. Forecasting of scatterometer-derived wind fields in the north Indian Ocean with a data-adaptive approach[J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114(C9): C09004.

Application of the wind field from scatterometer observations in ocean-going meteorology support

ZHONG Jian, MA Wei-Min, JIANG Min, SUN Yi-Mei

(China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Jiangyin 214431 China)

Abstract: A new observation of wind field from scatterometer is introduced for ocean-going meteorology support to overcome the drawbacks in practice. Several research aspects are proposed, such as the diagnosing climate statistical characteristic of wind field, the tropical cyclogenesis, the inner structure of tropical cyclone, and wind point or wind field prediction with nonlinear prediction method. A detailed review on research advances of these directions is summarized. The research can provide the theoretical foundation and direction support for using the wind field from scatterometer especially for the HY-2 in oceangoing meteorology support.

Key words: wind field; scatterometer observation; oceangoing meteorology support