

我国极地数值天气预报系统的初步建立与应用

孙启振, 丁卓铭, 沈辉, 杨清华, 张林

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要: 国家海洋环境预报中心的极地数值天气预报系统基于Polar WRF极地中尺度数值大气模式和3DVAR资料同化方法, 预报区域的最高水平分辨率设置为3.3 km。检验表明: 该数值预报系统较好地反映了极地地区的短期天气形势及要素的演变特点, 能够基本满足我国极地考察和航运气象保障需求。五年多以来, 该数值天气预报系统除了提供极地地区常规数值天气预报产品外, 还陆续在“雪龙”破冰船冰区脱困、我国商船北极航道开拓、固定翼飞机南极内陆飞行等气象保障工作中发挥了重要作用。未来, 极地数值天气预报系统将在数据源、模式方案、产品开发、服务体系等方面继续完善, 以期为我国极地考察事业和极地航运事业提供更加可靠的气象保障。

关键词: 极地天气; 数值天气预报系统; 极地考察

中图分类号: P456.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)03-0001-10

1 引言

与中低纬度地区相比, 极地地区的天气和气候有许多特殊之处, 因此其天气预报工作难度较大。国际上对于极地地区的短期天气预报主要依赖数值天气预报模式, 极地数值天气预报要素主要包括温度、湿度、气压、降水及风速等, 诊断量有云量、大气冰晶和急流等。数值预报模式对南极地区的预报能力远落后于北极地区, 但自20世纪90年代初以来, 南极地区的数值天气预报有了许多显著的改善, 其改进的速度比北半球数值天气预报模式的改进要快, 两者的差距越来越小^[1]。

应用于极地地区的数值天气预报模式包括业务化的全球预报模式和有限区域预报模式。然而, 全球预报模式在预报极地地区的天气时存在一定的局限性, 特别是在南极地区, 主要存在如下问题: (1) 水平分辨率普遍不够高, 很难模拟出中尺度系统的特性, 而这些中尺度过程对于短期预报(6~24 h)和飞行预报至关重要; (2) 不能很好地描述影响南极大气(行星边界层等)的关键物理过程; (3)

不能很好地刻画南极地形和表面特征^[2-5]。因此, 国际上对极地地区的数值预报业务和研究工作重点在于区域模式的研发和改进, 例如欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的中期数值天气预报^[6]、美国南极计划中的南极中尺度预报系统(Antarctic Mesoscale Prediction System, AMPS)^[7-9]、澳大利亚气象局研究中心开发的针对南极地区的有限区域预报系统(Limited Area Prediction System, LAPS)和全球同化预报模式(Global Assimilation Prediction mode, GASP), 目前均在稳定地业务化运行, 其中欧洲和澳大利亚的预报系统覆盖范围较广, 而美国的预报系统在重点区域有较高的水平分辨率。

国家海洋环境预报中心于2011年建立并业务化运行我国的极地数值天气预报系统, 该系统的目标是: (1) 为我国的极区科学考察活动和商业船舶在北极航道航行提供准实时数值天气预报产品; (2) 基于该系统积累的预报数据, 为极地天气和气候研究提供数据支持。

收稿日期: 2016-12-07; 修回日期: 2017-01-08。

基金项目: 国家自然科学基金(41206185); 国家海洋局“南北极环境综合考察与评估”专项(CHINARE-2017-02-04)。

作者简介: 孙启振(1984-), 男, 助理研究员, 硕士, 主要从事极地气象研究及预报。E-mail: sunqizhen@nmefc.gov.cn

2 极地数值天气预报系统的构建

2011年6月,国家海洋环境预报中心建立了极地数值天气预报系统,并开展了极地数值天气预报业务,每天定时提供极地地区数值天气预报产品。根据我国极地考察实际需求,极地数值天气预报系统以极地中尺度大气数值模式Polar WRF为基础,预报区域分为南极和北极两个区域(见图1),粗网格区域的纬度范围分别为 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{S}$ 和 $60^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$,分辨率均为30 km。在南极地区,将嵌套区域设置为两个重点关注地区:普里兹湾海域及沿岸地区和南极半岛及周边海域(水平分辨率为10 km),并且根据需要在中山站和长城站设置更高分辨率的嵌套区域(水平分辨率为3.3 km)。在北极地区,按船舶计划航线设置多个嵌套区域,分辨率为10 km。系统在南北极两个区域的垂直方向上均为51层,在边界层进行垂直加密,顶层气压设置为10 hPa。

根据极地地区天气气候特点和地形下垫面特点,我们通过对多种参数化方案的大量试验,最终采用的方案为:微物理过程选取WSM5方案;长波辐射选取RRMT方案;短波辐射方案选取Goddard方案;边界层方案选取MYJ方案;积云方案选取kain-Fritsh方案。初始场和边界条件采用分辨率为 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 的NCEP GFS资料,并利用国际共享资源,准实时获取包括我国南、北极科学考察站点在内的南、北极区域现场观测GTS气象数据,资料同化方案采用三维变分资料同化系统(3DVAR)。极地数值天气预报系统每天在南极和北极区域各运行一次,模式启动方式为冷启动,预报时效设置为72 h,图2为预报系统运行流程示意图。

极地数值天气预报系统可自动输出海平面气压场、地面降水量预报场、地面风、温度和湿度、高空多个层次气温、位势高度和风的预报场等数值预报产品。根据极地考察现场需要,对于指定站点,可输出气象要素趋势预报曲线、站点温度对数压力

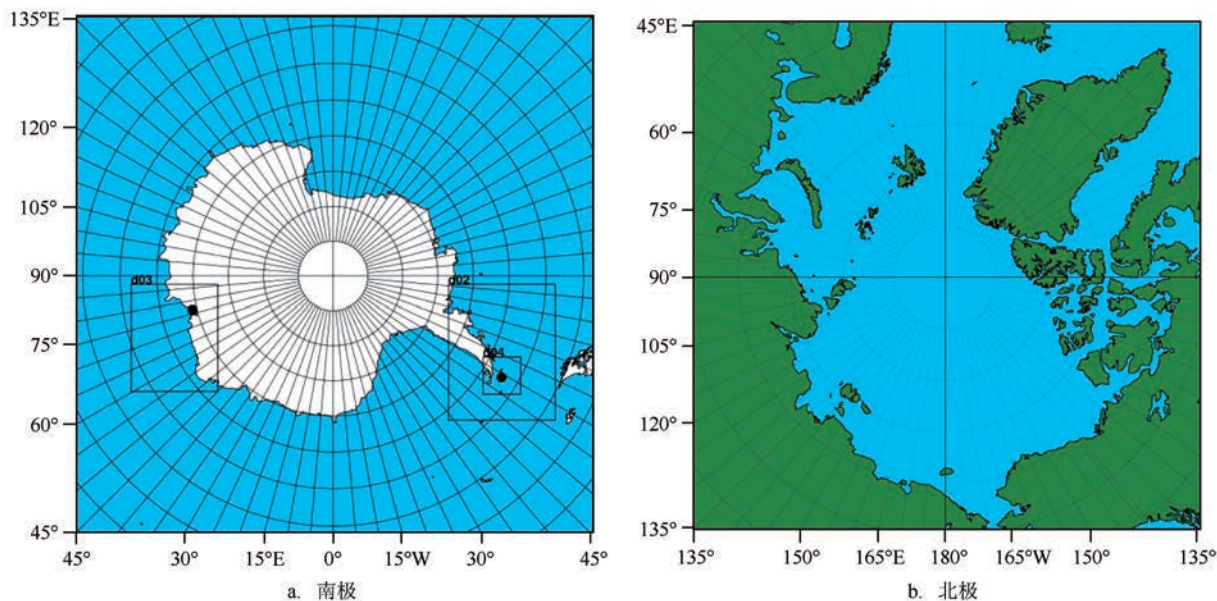


图1 极地数值天气预报系统的区域配置

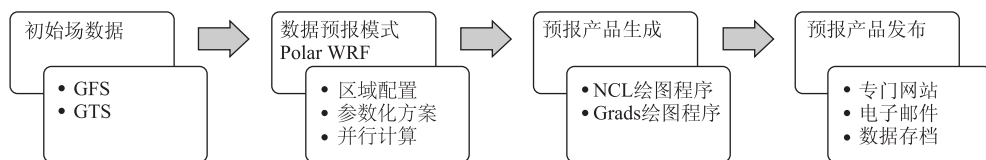


图2 极地数值天气预报系统运行流程

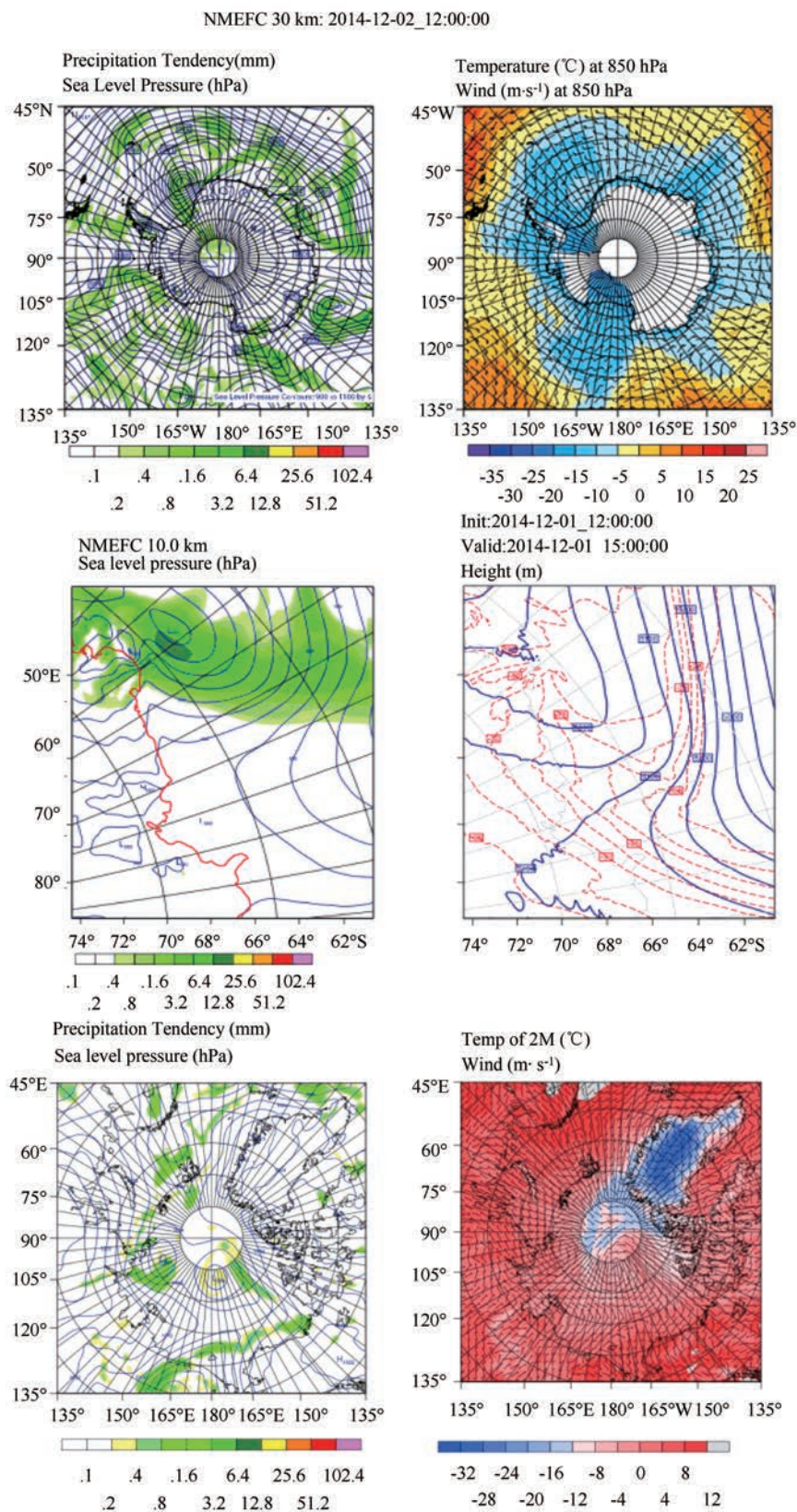


图3 极地数值天气预报系统产品示例

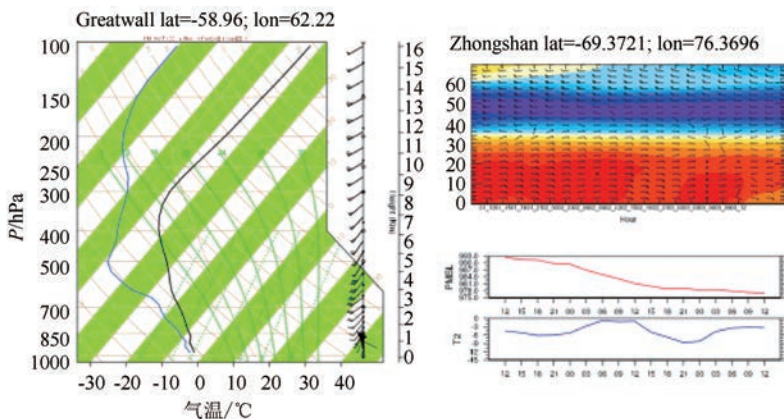


图3 (续)

图、站点气象要素量化预报数据等产品(见图3),其中南极站点的气象要素预报图和温度对数压力图,对于南极固定翼飞机的气象预报有重要作用。

3 极地数值天气预报系统产品检验和应用

根据我国极地考察气象保障的需求情况,结合南北极天气气候特点的差异性,本文对南极预报产品的检验侧重于站点预报的长时间序列检验,而对北极预报产品的检验则针对整个海区的天气过程。

3.1 南极预报产品检验

我们使用南极长城站气象观测站的实测数据,对极地数值天气预报系统在长城站的预报结果进行了检验,检验对象包括10 m风速、气温、气压等要素,检验时段为2012年1月1日—7月31日(见图4)。从图4a来看,在此时段内长城站数值预报的风速与实测值趋势一致,但总体偏大,尤其是48h预报结果与实测值的相关系数仅为0.42。数值预报的风速与实测值有偏差,主要原因是风速易受局地地形影响,如果模式下垫面数据的分辨率不够高,不足以模式运行提供足够精细的地形数据,则会产生较明显的风向风速预报偏差;另一个可能的原因是,各考察站在选址建站时,往往选择避风处,因此测站的风速可能低于周边环境的风速。但是数值预报结果与实测值存在较好的时间同步性,没有明显的超前或滞后现象,说明数值预报系统可以较好地把握当地天气的时间演变特征。对于同一预

报时刻,模式运行24 h的数值预报误差平均为2.16 m/s,运行48 h的误差平均为1.99 m/s(见表1),48 h预报效果好于24 h预报效果,是由于模式在运行前期需要对初始条件进行热力动力调整,使之达到平衡状态,因此前期的预报效果并不是一定会好于后期。但二者比较接近,表明该数值预报系统有较好的稳定性。

气温方面,无论是24 h还是48 h的数值预报结果都与实测值吻合较好,相关系数超过0.82,但夏季(1—3月)时的气温预报值总体上比实测值偏低1~2 °C(见图4b),可能原因是夏季长城站冰雪融化,深褐色地面吸收的热量对气象台的现场气温观测产生了影响,而预报系统没能较好地模拟出下垫面的变化产生的影响由于气压受地形和下垫面属性的影响较小,极地数值天气预报系统的24 h和48 h运行结果均准确地预报出了气压值和变化趋势(见图4c),相关系数分别为0.88和0.86。

3.2 北极预报产品检验

我们使用ECMWF的ERA-interim再分析资料,对极地数值天气预报系统的北极预报产品进行了检验,检验对象是2012年8月5日出现在北极地区的一个大尺度低压系统。由于极地数值天气预报系统使用的初始场是GFS数据,我们对比初始场数据和ECMWF再分析资料,可以发现两者较接近,尤其是气压和位势高度。700 hPa温度稍有差异,而地面风速的差别较大(见图5)。

随着极地数值天气预报系统的向前计算积分,预报的平均海平面气压与再分析资料之间的偏差

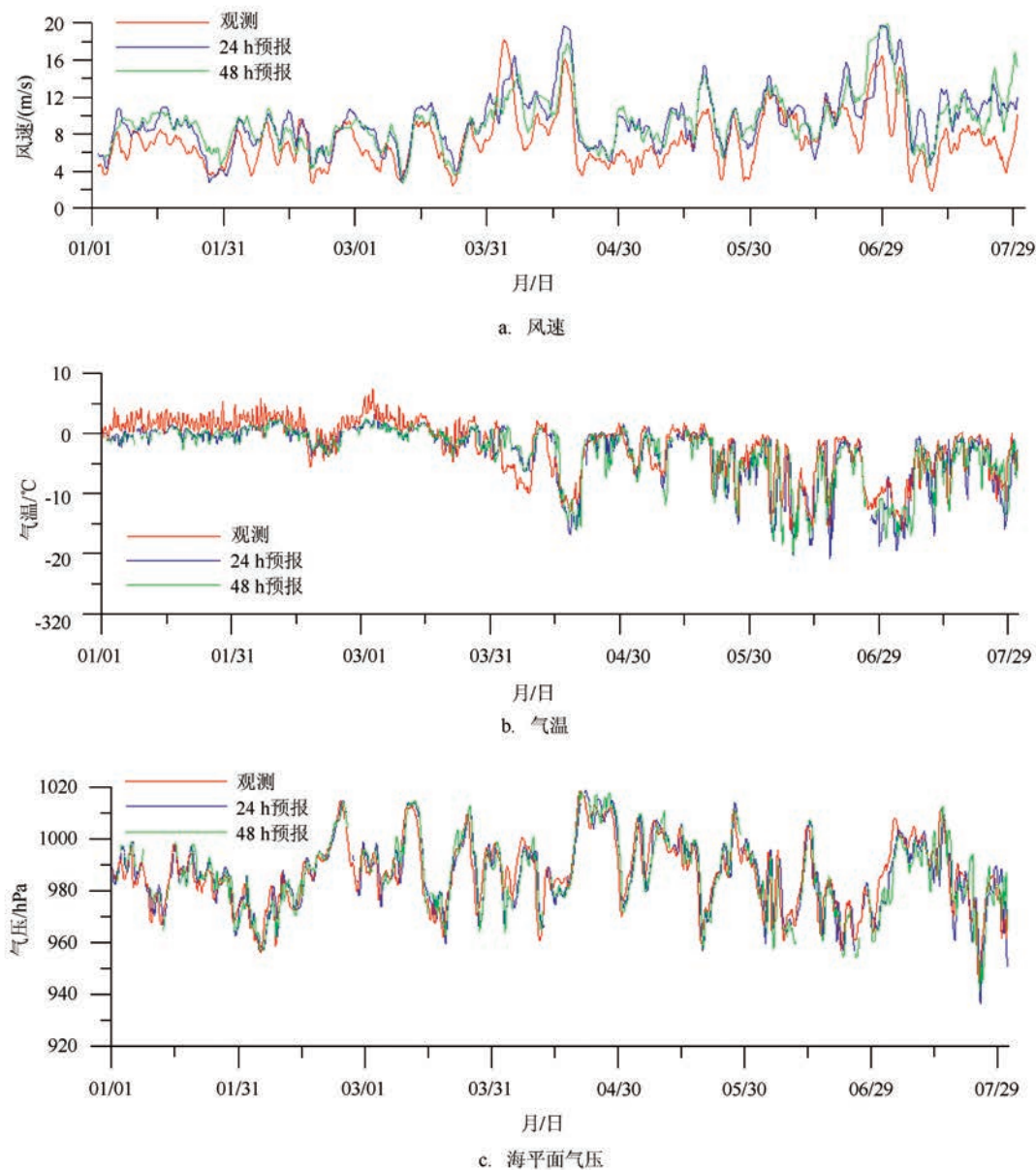


图4 南极长城站极地数值预报系统产品与实测数据对比曲线

表1 南极长城站极地数值预报系统产品与实测数据的相关系数、平均绝对误差和均方根误差

检验方法	预报 时效/h	检验要素		
		风速/(m/s)	气温/°C	气压/hPa
相关系数	24	0.50	0.83	0.88
	48	0.42	0.82	0.86
平均绝对误差	24	2.16	-0.91	-0.04
	48	1.99	-0.88	-0.19
均方根误差	24	5.04	2.96	6.52
	48	5.25	2.99	7.35

逐渐增大,尤其是60 h之后在楚科奇海以北出现一个明显的正异常中心。根据2012年8月7日12时和8日00时的再分析资料(见图6),该地区存在一个很强的低压,之后低压逐渐减弱、消亡,500 hPa位势高度对比结果(图略)也有类似状况,表明极地数值天气预报系统对该低压的预报在60 h之后偏弱,并超前于系统实际发展情况。

3.3 “永盛”轮首航北极预报检验

为保证我国北极航道首次商业航行的安全(航

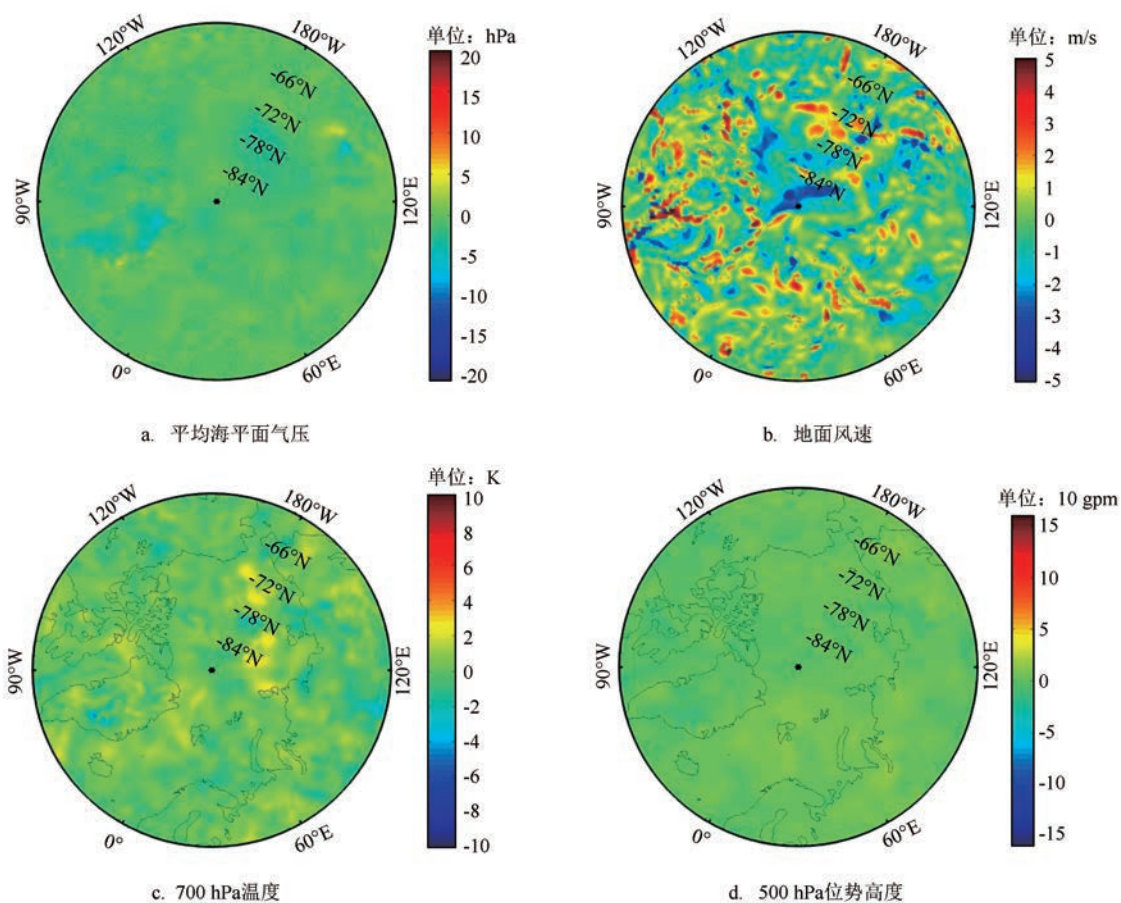


图5 北极地区2012年8月5日00时(世界时,下同)数值预报模式初始场与再分析资料差值

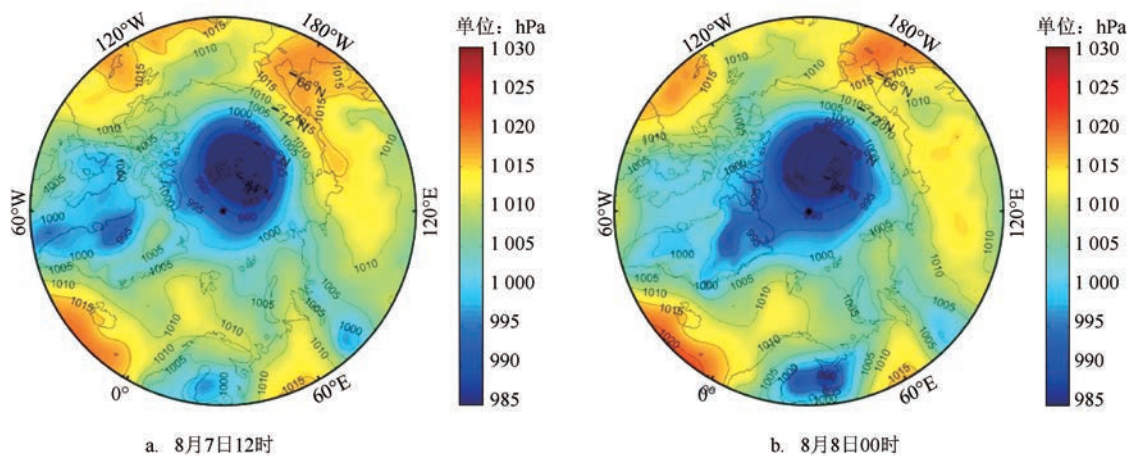


图6 ERA-interim再分析资料的平均海平面气压场

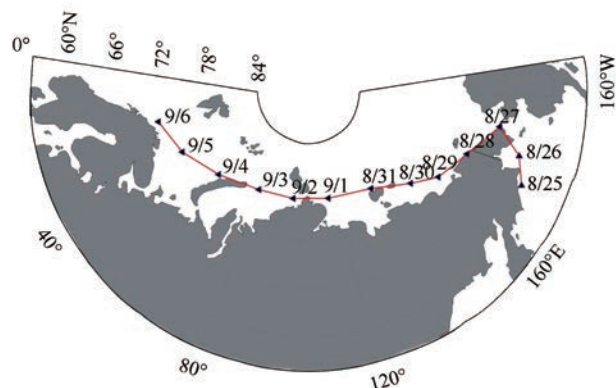


图7 2013年8月“永盛”轮首航北极航线

道见图7),我们利用极地数值天气预报系统提供了气象保障服务。

对比分析该商船航行期间代表性站点的极地数值天气预报系统预报结果和欧洲中心的再分析数据,我们对进行了时间序列对比。发现在地面、850 hPa、700 hPa以及500 hPa等不同高度,风速、气压和位势高度均吻合较好(见图8),对于船舶航行所着重关注的海平面风场,数值预报系统给出了较好的预报结果。

3.4 “雪龙”船南极冰区脱困期间预报系统的应用

2014年1月初“雪龙”船在南极冰区脱困和

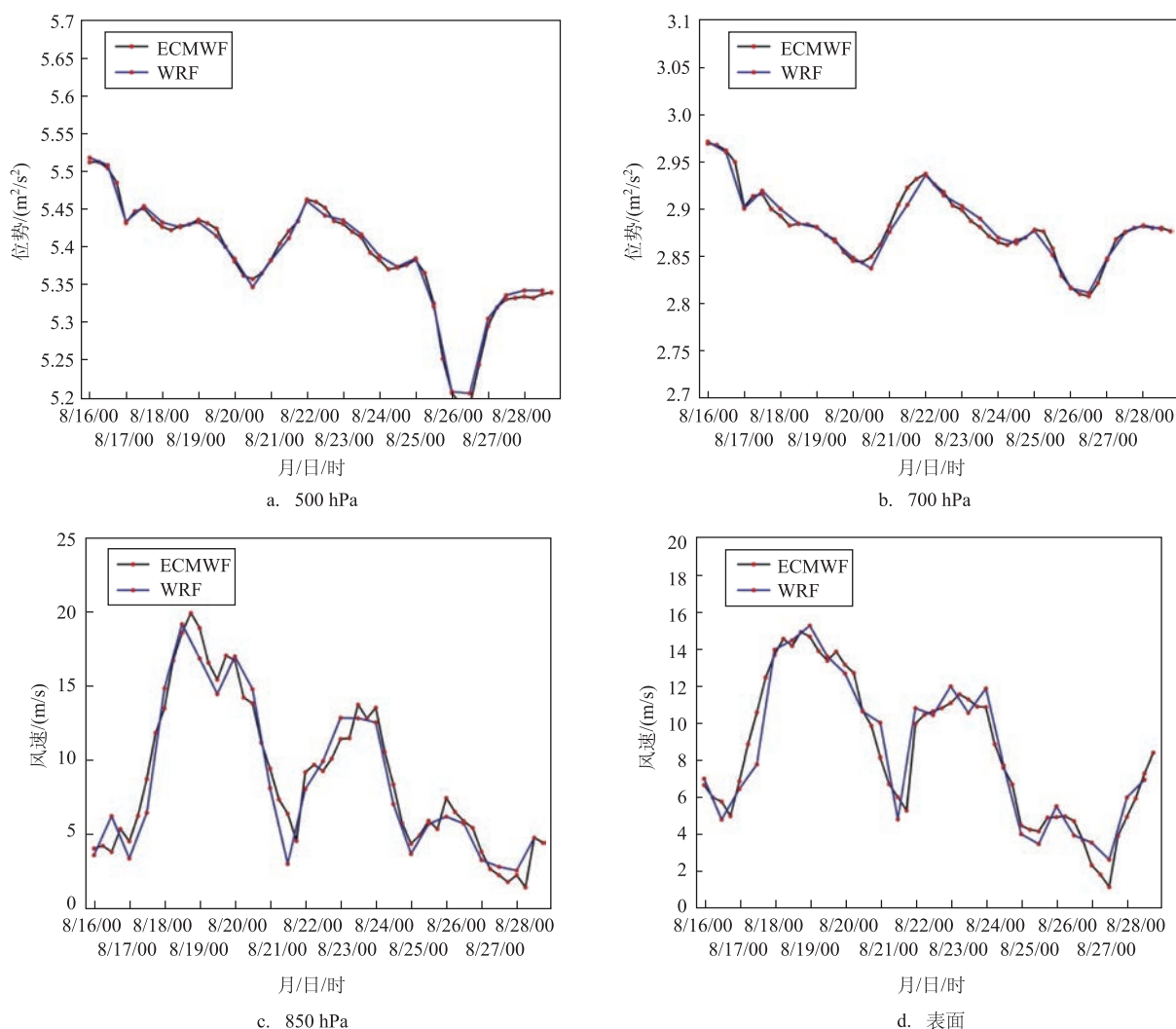


图8 2013年8月28—30日“永盛”轮航线上数值预报结果与ERA-interim再分析数据对比

(a—b: 8月28日, 船位178.11°E, 69.39°N; c—d: 8月29日, 船位165.46°W, 71.29°N;

e—f: 8月30日, 船位156.3°E, 73.58°N)

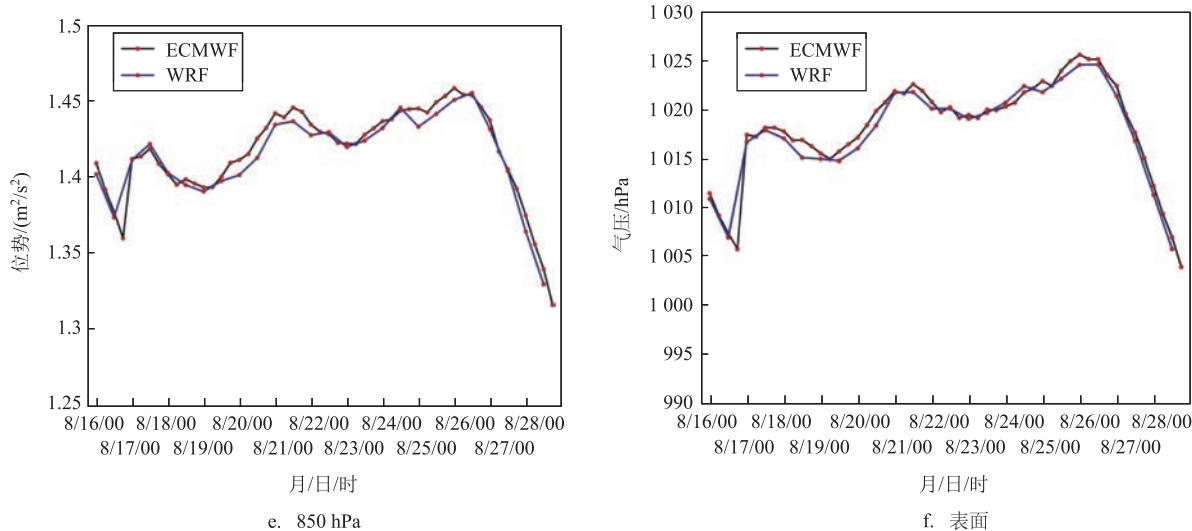


图8 (续)

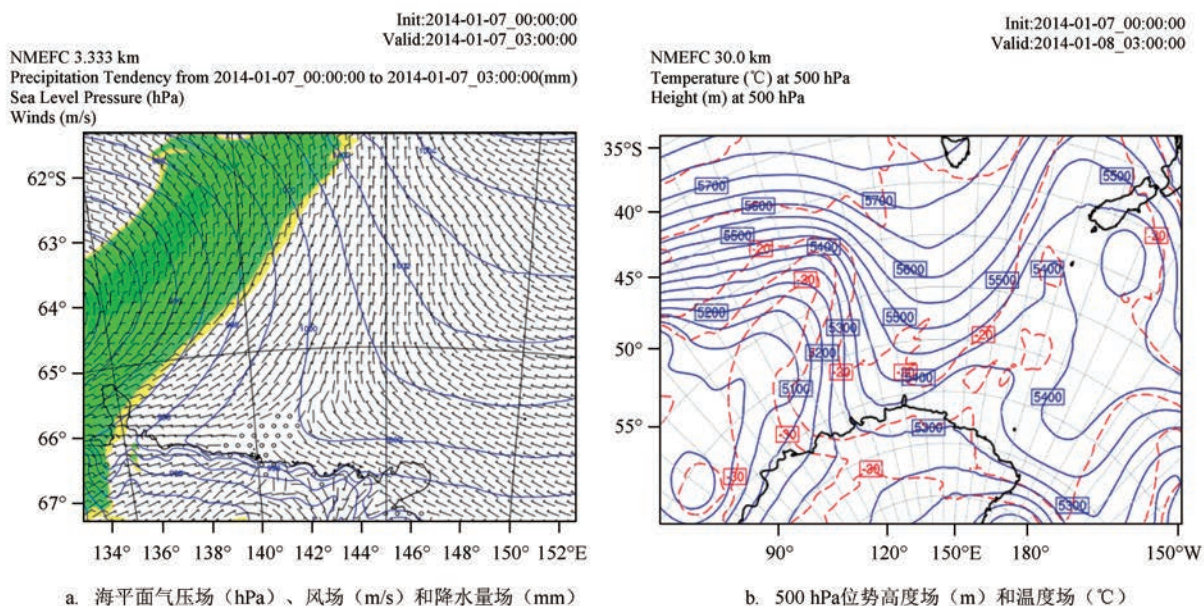


图9 极地数值天气预报系统关于“雪龙”船附近海域的预报图

2015年12月我国南极固定翼飞机首次在南极内陆飞行期间,极地数值天气预报系统为其提供了可靠的气象保障。

2014年1月初,“雪龙”船在南极被海冰围困时(<http://www.nmefc.gov.cn/nr/cont.aspx?itemid=2&id=3526>),我们使用极地数值天气预报系统对“雪龙”船及其附近海域的平均海平面气压场、风场、

降水量场、500 hPa 位势高度场进行了数值预报(见图9),根据预报结果,分析和预测了天气发展过程。

为了更加直观地预报“雪龙”船受困位置风的变化趋势,根据“雪龙”船受困位置信息,在系统输出数据中提取了量化的风向风速预报结果,绘制了风向转变的时间窗口示意图(见图10)。

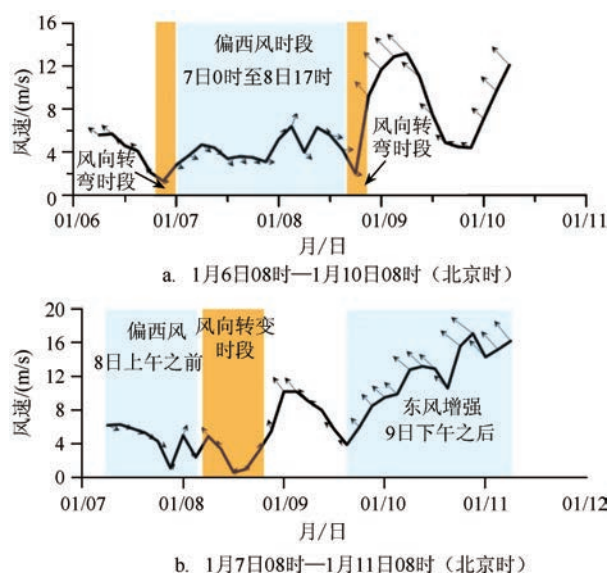


图10 极地数值天气预报系统对“雪龙”船所在位置风的预报

4 问题与讨论

当前国际上针对极地地区的数值天气预报模式面临的共性难题有:极地天气和气候的特殊性、极地地形的复杂性、极地气象观测资料的缺乏性。国外相关机构的极地数值天气预报系统在观测数据实时性方面具有相对优势,而在国内很难接收到可以实时同化到模式中的相关卫星观测数据;也很难实时接收到两极地区的船舶、浮标以及各国的自动气象站观测资料和探空资料这限制了极地数值天气预报精确度。如果能够实时获取更多实测资料和准实时卫星遥感数据,将对模式的资料同化部分提供帮助,从而将显著地改善模式初始场,提高预报产品的准确性。

虽然目前来看极地数值天气预报系统能够提供极地地区主要气象要素演变趋势的可靠预报信息,但在进行高分辨率区域预报计算时,预报系统所需计算资源过多,很难满足突发应急事件的保障需求。解决此问题的关键是配置更丰富的高性能计算机计算资源,以满足海洋气象数值模式计算的各项应急需求。

极地数值天气预报系统的发展方向是采用多重网格嵌套技术和资料同化技术,建成和完善能够

自动进行资料接收、资料同化、模式运行、产品发布的高分辨率数值天气预报系统。为增强极地预报的业务能力,需在以下方面改进该数值预报系统:

(1)使用极区现有的气象观测站资料和船舶及浮标观测资料,对模式预报产品进行检验,定期给出检验报告,分析模式的优势和缺点,为现场预报员提供参考;

(2)改善模式地形和冰雪等下垫面数据;准实时同化多种实测数据,使模式的初始场不断逼近实际观测值;增加预报系统运行频次,并使用循环同化方式,提高资料同化效果;

(3)除满足我国极地考察队的常规数值天气预报保障需求外,将继续完善航空天气预报和极端天气预警服务,如提升对雪暴、下降风、低能见度、风切变、灾害性气旋等灾害性天气及系统的预报水平。

参考文献:

- [1] Peter Bauer, Alan Thorpe, Gilbert Brunet. The quiet revolution of numerical weather prediction. *Nature*, 2015. 525:47-55.
- [2] Hines K M, Bromwich D H. Development and testing of polar weather research and forecasting (WRF) model. Part I: Greenland ice sheet meteorology[J]. *Monthly Weather Review*, 2008, 136(6): 1971-1989.
- [3] Bromwich D H, Hines K M, Bai L S. Development and testing of polar weather research and forecasting model: 2. arctic ocean[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2009, 114(D8): D08122.
- [4] Hines, K. M., D. H. Bromwich, L.-S. Bai, M. Barlage, and A. G. Slater, Development and testing of Polar WRF. Part III. Arctic land. *J. Climate*, 2011, 24: 26-48.
- [5] 孙启振, 杨清华, 张林. 南极数值天气预报应用与研究进展. 极地研究, 2011, 23(2): 128-137.
- [6] Zappa G, Shaffrey L, Hodges K. Can polar lows be objectively identified and tracked in the ECMWF operational analysis and the ERA-Interim reanalysis?[J]. *Monthly Weather Review*, 2014, 142 (8): 2596-2608.
- [7] D. H. Bromwich, A. J. Monaghan, K. W. Manning, and J. G. Powers, Real-Time Forecasting for the Antarctic: An Evaluation of the Antarctic Mesoscale Prediction System (AMPS). *Mon. Weather Rev.*, 2005. 133: 579-603
- [8] Powers J G, Manning K W, Bromwich D H, et al. A decade of Antarctic science support through AMPS[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2012, 93(11): 1699-1712.
- [9] Powers J G, Monaghan A J, Cayette A M, et al. Real-time mesoscale modeling over Antarctica: The Antarctic mesoscale

prediction system[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2003, 84(11): 1533-1545.

[10] 张林, 李春花, 柴先明, 等. 2014年初雪龙船在南极被海冰围困期间海洋气象环境分析[J]. 极地研究, 2014, 26(4): 487-495.

Polar numerical weather prediction system: preliminary establishment and application

SUN Qi-zhen, DING Zhuo-ming, SHEN Hui, YANG Qing-hua, ZHANG Lin

(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract: National Marine Environmental Forecasting Center has established an operational polar numerical weather forecasting system (PNWFS), which is based on mesoscale numerical model Polar WRF and 3DVAR data assimilation method with a spatial resolution as high as 3.3 km. Validation result shows that PNWFS can predict the evolution characteristics of short-term weather pattern over Polar Regions, and therefore meet the needs of Chinese Antarctic and Arctic expedition as well as commercial shipping. Within the past five years, in addition to regularly providing numerical weather prediction products for Polar Regions, PNWFS also performs well in the weather forecasting support of several important events, such as (1) the rescuing of XUELONG icebreaker which was trapped in Antarctica sea ice in 2014, (2) the first cruise of Chinese commercial vessel in Arctic passage in 2013, and (3) the operating of Chinese fixed-wing aircraft in Antarctica. In future, more efforts will be made to PNWFS in the aspects of data sources, development of model and product, and the product distribution, in order to provide a more accurate and reliable weather protection for Chinese polar scientific expedition and shipping industry.

Key words: polar weather; numerical weather forecasting system; polar expedition