

海面风精细化集成预报系统在 青岛奥帆赛期间的应用

杨育强 高荣珍 马 艳 孙桂平 李 斌

(山东省青岛市气象局, 266003)

提 要: 2008年第29届奥运会帆船赛(奥帆赛)在青岛市浮山湾至石老人湾附近的
海域举行。8月份正是青岛的汛期,天气复杂多变,而且赛区周边地形复杂。奥帆赛
需要提供 50km^2 海域内4个浮标站逐时风向、风速的定量预报。为此,开发、引进了
以MM5、WRF等多种模式建立了海面风精细化预报系统(图2),并在多种模式的基
础上形成一套适应奥帆赛赛区复杂天气、复杂地形特征的集成预报产品。实践表明,
集成预报产品为预报员提供了良好的技术支撑,在奥帆赛期间风速预报平均绝对误
差仅为 $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、风向预报平均绝对误差仅为 36° 。

关键词: 青岛奥帆赛 海面风 精细化集成预报

引 言

2008年第29届奥运会帆船赛(奥帆赛)于2008年8月9—23日在青岛举行,其中8月9—21日有赛事安排,62个国家和地区的400名运动员参加了9个级别11个项目的比赛,完成率达93%。青岛市气象局为这次奥帆赛提供了气象服务。

风是帆船(帆板)的动力,帆船(帆板)比赛对风速的要求为 $3\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,每一轮比赛的风向摆动不能超过 50° 。因此,比赛需要各个赛区的逐时风速、风向预报,预报准确与否对组委会合理安排赛事、保障比赛的顺利进行至关重要。2008年青岛奥帆赛比赛场地位于青岛市浮山湾至石老人湾以南约 50km^2 的海域上,设A、B、C、D、E共5个赛区,并相应设置了5个浮标站,在赛区周边沿岸地区及海岛、山地上建立了自动气象站和梯度风观测塔(图1)。赛区周边地形比较复杂,南侧海域有岛屿,北侧陆地依次分布着太

平山、浮山、午山和崂山,其中崂山海拔最高为1133m,对赛场区域的风向风力都有非常大的影响^[1]。另外,由于副高的影响,青岛8月份是全年风力最小的月份^[2]。2006年8月和2007年8月在青岛举行的国际帆船赛期间分别出现了2~3个弱风日(各时次风速均小于 $3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),导致比赛取消。在弱风条件下准确预报出符合比赛要求的有风时段,是青岛奥帆赛气象服务的重点,也是精细化风场预报的难点。而且,8月份正是青岛的汛期,天气系统十分复杂,台风、暴雨以及强对流天气时常出现^[2],增加了对风的精细化预报难度。

高分辨率数值模式产品是实现精细化预报的基础。1996年亚特兰大奥运会使用的中尺度数值预报模式水平分辨率为 2km ^[3],2000年悉尼奥运会提供了 1km 水平分辨率的精细化预报产品^[4]。为实现“有特色、高水平”的奥帆赛气象服务的承诺,自2001年开始筹备以来,针对青岛奥帆赛赛区海面风的复杂性,我们在风场精细化预报方面进行

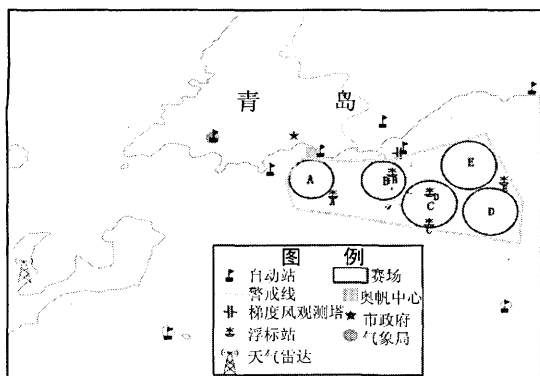


图1 青岛奥帆赛赛区及浮标站分布

了研发,建立了高分辨率多模式数值预报系统,实现了本地资料同化和赛场风精细化预报,在数值预报的基础上,开发了行之有效的解释应用方法以及集成预报方法,在奥帆赛期间发挥了重要作用。

1 海面风精细化集成预报系统

由于受复杂地形和汛期复杂天气的影响,青岛近海海面风精细化预报难度是相当大的。我们建立了以动力模式产品为基础,以统计释用产品为扩展的多模式精细化预报系统(图2),并对多模式预报产品进行集成,实现了赛区海面风的定点、定时、定量预报。

1.1 多模式精细化预报系统

动力模式 MM5 在青岛市气象局已经稳定运行近4年,采用4重嵌套方案,最高分辨率为1.67km,以AVN资料作为背景场,对常规地面、高空资料进行分析同化,每天20时起报。在MM5模式系统业务运行基础上,以MM5 5km预报输出结果作为背景场,采用两重嵌套方案(5km,1.67km),分析同化了青岛自动站、浮标站、风廓线、新一代多谱勒天气雷达VAD产品、梯度风资料,而且采用资料快速更新循环(RUC)预报技术^[5],建立了一个适应于青岛地区精细化风场预报的系统MM5RUC^[6]。另外,基于WRF模式,利用青岛市500m分辨率土地覆盖数据,建立了赛

区500m高分辨率数值预报系统^[7],初始场采用1.67km MM5RUC 02时更新预报结果。该系统比较真实的刻画了青岛地区的下垫面变化对近海海面风场的影响。国家气象中心和北京市气象局分别运行了WRF模式,并向青岛市气象局提供预报产品作为备份。其中,国家气象中心每天提供20时起报产品,水平分辨率为5km,初始场为T213资料。北京市气象局每天提供02时起报产品,水平分辨率为3km,初始场为AVN资料,并对青岛地区多种观测资料进行了同化。特别是,我们在MM5模式预报产品基础上,开发了针对风的MOS预报方法(MOS(MM5))^[8]和动态集成MOS预报方法(Dynamic Assembled MOS, DAMOS(MM5))^[9],提供各个浮标站逐小时风速、风向预报。

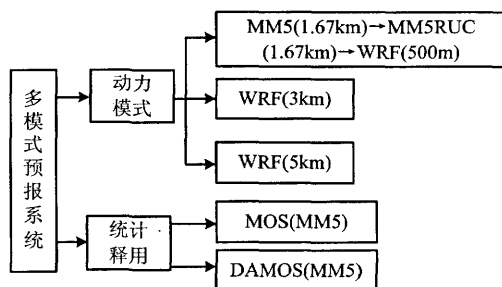


图2 多模式精细化预报系统

1.2 综合利用多模式形成集成预报产品

在集成研究中,算术平均集成法因计算简便、效果稳定而被广泛使用^[10]。据此,我们对多模式预报产品优中择优,进行集成,形成一套适应奥帆赛赛区复杂天气、复杂地形特征的集成预报产品。

利用奥帆赛前期30天数据作为统计样本,4个浮标站平均的风速、风向预报绝对误差由小到大依次为MOS(MM5)、WRF(500m)、MM5RUC(1.67km)、DAMOS(MM5)、WRF(5km)、WRF(3km)。为了确定集成最佳权重,我们构造了一个矩阵A,其元素 A_{ij} 表示权重,

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1m} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nm} \end{bmatrix}$$

其中 $i=1, \dots, n$, 表示上述 n 种预报产品, $j=1, \dots, m$, 为 m 种权重组合方式。权重矩阵遵循的原则是逐行预报产品排序同预报误差顺序, 权重组合方式由等权重 $1/6$ 开始, MOS(MM5) 所占比重越来越大, WRF(3km) 所占比重越来越小, 权重以 $1/12$ 递增或递减, 权重矩阵取值为

$$A = \begin{bmatrix} 1/6 & 1/4 & 1/3 & 5/12 & 1/2 & 7/12 & 2/3 & 3/4 & 5/6 & 11/12 & 1 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/16 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/12 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/6 & 1/6 & 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/6 & 1/12 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

这样, 统计样本每天有 11 种集成预报产品, 分别对每种集成预报产品进行绝对误差检验, 并选取这段时间内平均绝对预报误差最小的权重组合作为集成预报的权重。计算结果表明, 各浮标站风速、风向集成预报选取的权重是有区别的(表 1)。奥帆赛期间, 即用以上权重制作了各浮标站逐小时风速、风向集成预报。

表 1 各浮标站风速、风向集成预报权重组合

	风速	风向
浮标 A	$m=8$	$m=2$
浮标 B	$m=2$	$m=10$
浮标 C	$m=2$	$m=7$
浮标 D	$m=1$	$m=6$

1.3 多模式产品及集成预报产品的应用及预报检验

奥帆赛期间, 每天 8 时前将上述多模式产品及集成预报产品以图形形式显示(图 3), 预报员在综合分析各种客观预报产品的基础上, 结合对青岛近海海陆风的理解及对当前天气形势的分析以及对模式误差情况的

了解, 对客观预报产品进行订正。

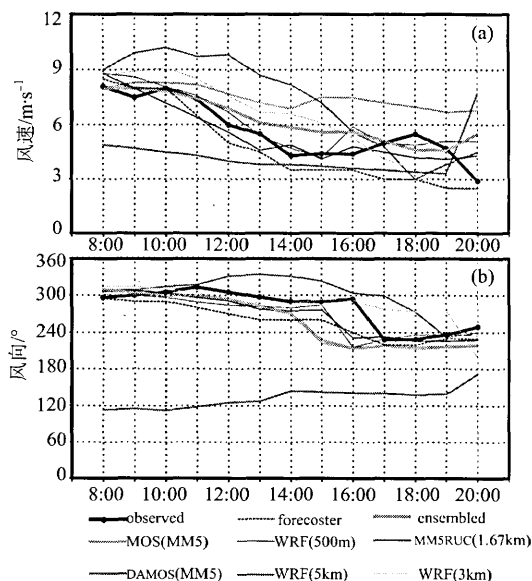


图 3 2008 年 8 月 18 日浮标 B 风速(a)、风向(b)逐时预报

为了了解各产品的预报质量, 针对比赛期间(2008 年 8 月 9—21 日)4 个浮标站每天 08—20 时逐时风速、风向预报进行了检验。检验量为平均绝对误差和均方根误差。其中:

$$\text{平均绝对误差: } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

均方根误差:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$$

F_i 为预报值, O_i 为观测值, $i=1, 2, \dots, N$ 小时。

奥帆赛期间, 每天发布的由预报员订正的预报产品预报准确率最高, A、B、C、D 4 个浮标站逐小时风速预报总平均均方根误差为 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向预报均方根误差为 42° (表 2)。2000 年悉尼奥帆赛期间, 各产品风速均方根误差为 $1.7 \sim 3.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向均方根误差为 $55 \sim 98^\circ$ [4]。相比之下, 准确率有了明显提高。同多模式产品相比, 集成预报产品

显示出一定的优势,为预报员作精细化预报提供了最为重要的技术支持,其风速均方根误差为 $1.4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向预报均方根误差为 45° 。另外,经过统计释用后的风的风速 MOS 预报产品同释用前的数值预报相比,浮标 A、B、C、D 风速预报误差均有不同程度的减小。就浮标 A 而言,经统计释用后,风速预报准确率平均提高了 32%,在 8 月 9—21 日期间,只有 20 日释用后风速预报误差略增大(图 4)。这表明基于实况分析和风速日变化的释用方法是非常有效的。引进局地观测资料同化后的 MM5RUC(1.67km)更新预报产品与以此作为初始场的 WRF(500m)预报结果相当。DAMOS(MM5)预报方法在很大程度上取决于观测资料,由于个别浮标站观测资料样本较少,导致奥帆赛期间预报效果不够理想,但该方法在天气形势比较稳定时预报能力较强^[9]。WRF(3km)、WRF(5km)风速、风向预报误差相对较大。

表 2 各产品 2008 年 8 月 9—21 日 4 个浮标站
风速、风向预报总平均误差统计结果

	风速 MAE ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风向 MAE ($^\circ$)	风速 RMSE ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	风向 RMSE ($^\circ$)
预报员订正	1.1	34	1.4	42
集成预报	1.2	36	1.4	45
MOS(MM5)	1.3	37	1.6	45
WRF(500m)	1.5	41	1.8	52
MM5RUC	1.6	38	1.9	49
DAMOS(MM5)	1.7	46	1.9	54
WRF(5km)	1.9	49	2.2	57
WRF(3km)	2.0	50	2.4	63

从集成预报产品逐日平均预报误差情况来看(图 5),就风向而言,8 月 14 日、16 日风向预报误差较大,其中 8 月 14 日这一天为弱风日,上午风向摆动较大,而且各浮标站之间风向差异很大。8 月 16 日为典型的海陆风日,上午吹西北风,13 时开始转为东南风(图略)。这表明数值模式对于弱风情况下风向预报以及海陆风预报还存在不足。就风速而言,日平均风速预报误差 8 月 15 日最大,为 $1.95\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,这天在比赛场地出现了中小尺度

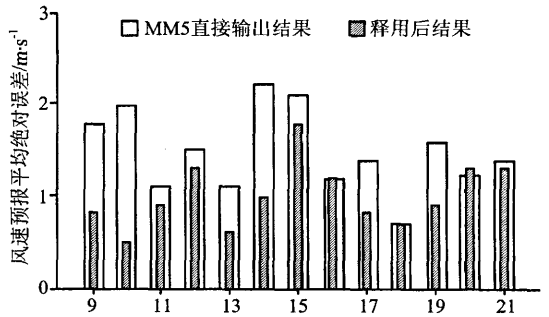


图 4 2008 年 8 月 9—21 日浮标 A 风速预报释用
前后逐日平均绝对误差对比

天气系统,风速变化幅度较大,目前的中小尺度数值模式尚难以捕捉这一系统。

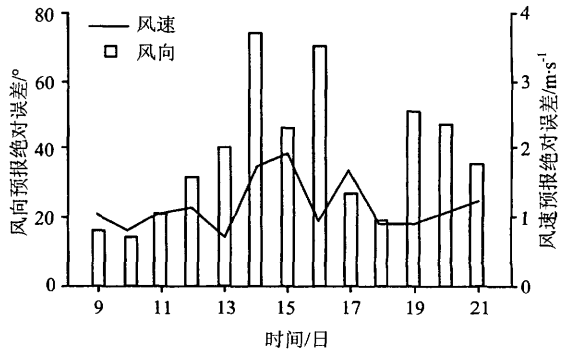


图 5 2008 年 8 月 9—21 日逐日 4 个浮标站
平均的风速、风向绝对预报误差

2 结语

奥帆赛期间,海面风精细化预报技术得以充分应用。高分辨率数值预报模式是实现海面风精细化预报的基础,而基于数值预报产品进行统计释用同等重要,统计释用后的预报结果较模式直接输出结果有明显改进。利用多模式产品形成的集成预报产品为预报员制作赛区风精细化预报提供了最为重要的技术支持,风速预报平均绝对误差为 $1.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,风向预报平均绝对误差为 36° 。这表明集成预报产品是适应奥帆赛赛区复杂天气、复杂地形特征的。

尽管高分辨率的数值模式,有一定的精

细化预报能力,但由于近海风力的局地性和复杂性,对个别中小尺度天气系统以及海陆风的预报能力还存在不足,中尺度数值预报模式在局地环流系统、海陆风系统预报方面还有待于进一步改进和提高。

另外,这次奥帆赛气象服务过程中使用了风廓线雷达等多种精细化的探测手段,在复杂天气预测中发挥了重要作用。部分探测资料进入了模式同化系统,但由于资料更新间隔较长,海上探测资料分布不均匀,导致更新预报结果还不够理想,这有待于进一步开展相关方面的研究,提高短时临近预报能力。

参考文献

- [1] 李庆宝,苗世光,等. 奥帆赛海域风场的地形作用研究(待发表).
- [2] 洪光,徐晓亮. 青岛奥帆赛期间天气气候背景分析[J]. 应用气象学报,2006,17(增刊):54-59.
- [3] Snook J S, Stamus P A et al. Local-Domain Mesoscale Analysis and Forecast Model Support for the 1996 Centennial Olympic Games. *Weather and Forecasting*, 1998, 13:138-150.
- [4] Spark E, Connor G J. Wind Forecasting for the Sailing Events at the Sydney 2000 Olympic and Paralympic Games. *Weather and Forecasting*, 2004, 19:181-199.
- [5] Benjamin S G, Ve'Nyi D D et al. An Hourly Assimilation-Forecast Cycle: The RUC. *Monthly Weather Review*, 2004, 132: 495-518.
- [6] 马艳,杨育强,高荣珍,等. 局地资料同化在 2008 青岛奥帆赛风场预报中的应用[J]. 气象,2008,34(专刊):212-218.
- [7] 苗世光,孙桂平,等. 青岛奥帆赛高分辨率数值模式系统的建立(待发表).
- [8] 高荣珍,杨育强,孙桂平. 基于 MM5 的青岛近海风速精细化预报[J]. 海洋湖沼通报,2007,4:30-36.
- [9] 林行,马艳,杨育强,等. 动态统计预报模型在 2008 奥帆赛风场预报中的应用[J]. 气象,2008,34(专刊):199-205.
- [10] 马清,龚建东,等. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象,2008,34:42-48.