DOI:10.11737/j.issn.1003-0239.2018.04.003

基于MOS方法的宁德海区风的预报检验分析

高聪晖，曾瑾瑜

（福建省气象台，福建 福州 350001）

摘 要： 基于WRF模式的预报产品，利用MOS方法预报宁德沿海24个站点的风向、风速，并给出2014年1—12月的预报评估结果。结果表明：MOS对宁德海区风向风速的预报效果优于WRF，其对夏季风速和冬季风向的预报效果最好，预报误差随预报时效的延长而不断增大，白天的预报误差比夜间的大。MOS预报的风速平均绝对误差由海上向内陆逐渐减小，由北而南逐渐增大；而对于风向的平均绝对误差则是由海上向内陆逐渐增大。除了1级以下风，风力越小，MOS预报的风速准确率越高。MOS对东北风的预报准确率最高，北风和西北风次之，对西南风也有30%以上的预报准确率，而对东南风的预报效果最差。

关键词： MOS方法；平均绝对误差；风向；风速

中图分类号： P732.4 **文献标识码：** A **文章编号：** 1003-0239（2018）04-0017-08

1 引言

宁德市位于福建省东北沿海，海港优势突出，集水产养殖、旅游观光和航运运输为一体。海上大风是影响宁德海上航行及渔业生产的最主要的灾害性天气。因此，加强宁德海区风预报技术的研究，提高对此类天气现象的认识及预报准确率，是气象服务于海洋经济和海上安全生产的迫切需求。要提高风的精细化预报，不仅需要依赖于数值模式产品的风场预报，还要大力发展数值模式产品的解释应用技术。目前，Glahn等[1]提出的模式输出统计法（Model Output Statistics，MOS）是被广泛应用的一种较为成熟的释用方法，其选用具有相同或相似变化背景的历史资料，利用统计方法建立预报模型进行预报，优点是能考虑到模式本身的误差[2]。近年来，以局地大风为对象进行的MOS预报研究已取得不少成果。陈豫英等[3]基于第五代中尺度数值模式（Mesoscale Model 5，MM5）产品采用MOS方法预报宁夏地区48 h的逐时风速风向；林行等[4]建立了优化集合动态MOS预报方法，在奥帆赛期间取得较好的预报效果；巩崇水等[5]采用MOS方法制作环渤海地区大风的中期预报；曾晓青等[6]改变了传统对风的标量预测方案，采用风的矢量预测模型对风向进行MOS预报；荣艳敏等[7]基于中尺度数值模式WRF-RUC[8]（WRF快速循环同化系统）的预报产品采用MOS方法预报山东海区的风速。由于风的复杂多变以及局域性强等特点，风的预报依然是个难点，因此对不同地区的风进行针对性的MOS预报，才能更大程度地提高风的预报准确率。

目前在福建省业务运行中，用于提供风预报产品的数值模式主要有中央气象台下发的欧洲中期天气预报（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts）模式细网格、T639（TL639L60）全球中期数值预报模式，以及福建省引进的有限区域中尺度天气预报（Weather Research and Forecast，WRF）模式。曾瑾瑜等[9]将上述3种模式预报的风向风速与观测资料进行对比检验，发现WRF模式对福建沿海的风向风速都有较好的预报效果。为此本文基于宁德海区的实况观测资料，采用MOS释用方法订正WRF模式预报结果，研究宁德海区风的客

收稿日期： 2017-10-24；**修回日期：** 2017-12-25。
基金项目： 福建省科技自然科学基金（2014J01147）；福建省气象局青年科技专项（2015q26）；福建省气象台自立课题（2016K01）。
作者简介： 高聪晖（1990-），男，工程师，硕士，主要从事海洋气象研究。E-mail:gauconghui@126.com

观预报产品，并给出了2014年1—12月的预报评估结果。

2 资料与方法

2.1 模式资料

福建省引进开发的WRF模式，其分辨率为0.094 6°×0.076 5°，数据格式是netCDF格式，输出间隔为1 h。主要的物理过程：微物理过程采用Lin方案，积云对流参数化方案采用新Kain-Fritsch方案，长波辐射采用快速辐射传输模式（RRTM）长波方案，短波辐射采用Dudhia方案，表层采用Monin-Obukhov方案，陆面采用5层热扩散方案，行星边界层采用YSU方案。

选取2011—2014年WRF模式逐日20时起报的72 h预报时效的10 m风场数据，采用双线性插值方法将模式输出的格点资料插值到宁德海区24个代表站点（见图1，包括21个海岛站和3个基本站），得到24个站点的10 m风场数据，最后合成出模式风速和风向的站点预报值。对模式而言，因模式输出的10 m风场是平均风，而本文取平均风的最大值来进行研究分析，因此在0～12 h、12～24 h、24～36 h、36～48 h、48～60 h、60～72 h时效内分别取一平均风的最大值代表该时效内最大平均风速预报，风向即取这个最大平均风速值所对应的风向。

2.2 实况资料

在自动站观测资料的统计中，本文选取2011～2014年宁德海区24个站点观测的逐小时内最大10 min平均风速作为研究对象，同样在0～12 h、12～24 h、24～36 h、36～48 h、48～60 h、60～72 h时效内分别筛选出一风速最大值代表该时效内最大平均风速观测值，风向即取这个最大平均风速值所对应的风向。

2.3 MOS方法

考虑到模式与实况的偏差存在季节性变化[10]，风向风速的变化也存在季节性差异，因此先将2011—2013年实况和模式风场资料按照自然季节划分为春（3—5月）、夏（6—8月）、秋（9—11月）、冬（12—2月）4个季节。在4个季节分别建立各站点各个预报时效内最大平均风速的一元线性回归方程：

$$S_i = a + b \times F_i \tag{1}$$

式中：S_i为第i时效风速观测值，F_i为该时效模式风速预报值，a为常数项，b为回归系数（采用最

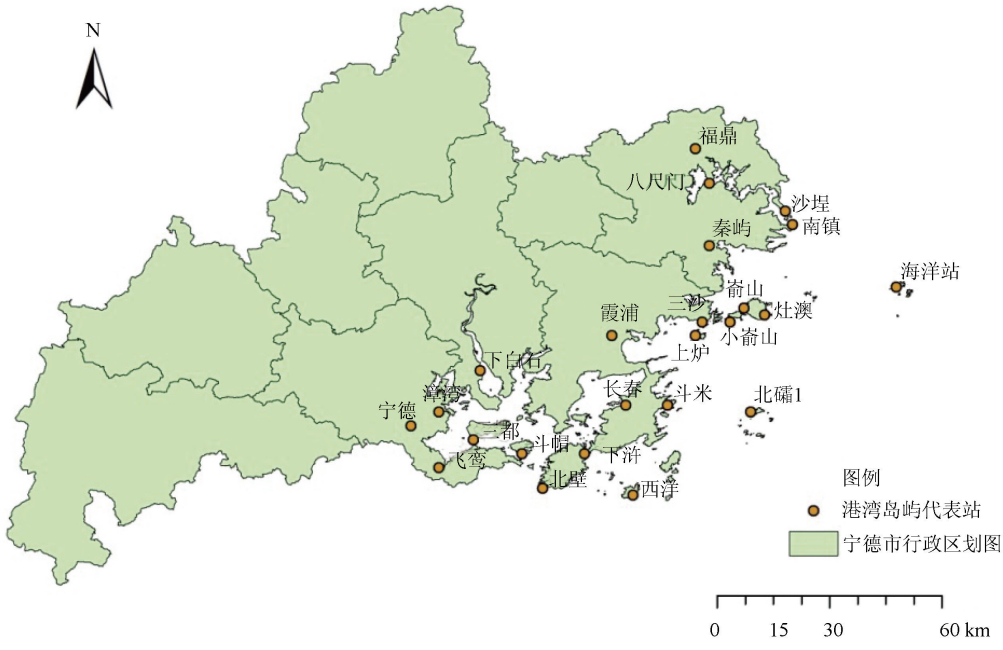


图1 宁德海区站点分布

小二乘法求解)。最后,将2014年的WRF模式风速预报值导入风速线性回归方程,将得到该年的风速回归订正值。

考虑到风的矢量性,采用曾晓青等[6]的风向矢量预报方案(见图2),首先将2011—2013年观测的风向和风速历史数据相联合,分解成纬向风(u风)和经向风(v风),分解公式见式(2)。

$$\begin{cases} u = spd \times \cos\left(\dfrac{270 - dir}{180}\pi\right) \\ v = spd \times \sin\left(\dfrac{270 - dir}{180}\pi\right) \end{cases} \tag{2}$$

式中:dir为风向(°),spd为风速(m/s),u为纬向风风速(m/s),v为经向风风速(m/s)。

然后结合2011—2013年WRF模式10 m风场的历史数据,分别建立u风和v风的一元线性回归方程,再结合2014年WRF模式插值到站点后的10 m风场数据,得到u风和v风的风速回归订正值,最后将u风和v风的回归订正值合并得到风向的回归订正值。

2.4 检验方法

根据目前气象部门广泛使用的城镇气象要素预报的风预报质量检验办法[11],分别对风向、风速预报进行检验。

2.4.1 风向预报

风向预报按8个方位的划分进行检验,其中337.5°～22.5°为北风,22.5°～67.5°为东北风,67.5°～112.5°为东风,112.5°～157.5°为东南风,157.5°～202.5°为南风,202.5°～247.5°为西南风,247.5°～292.5°为西风,292.5°～337.5°为西北风。当预报风向与实况风向角度差在±22.5°内,则为预报正确,否则为预报错误。

风向预报准确率为:

$$AC = \frac{NR_i}{NF_i} \times 100\% \tag{3}$$

式中:NR_i为对第i个方位预报正确的站(次)数,NF_i为预报第i个方位的总站(次)数。

2.4.2 风速预报

风速预报按蒲氏风力等级进行检验。

风速预报准确率为:

$$AC_i = \frac{NR_i}{NR_i + NS_i + NW_i} \times 100\% \tag{4}$$

式中:NR_i为预报正确的站(次)数,表示预报风力和实况风力同为i级;NS_i为预报偏强的站(次)数,表示预报风力等级i大于实况风力等级;NW_i为预报偏弱的站(次)数,表示预报风力等级i小于实况风力等级。

2.3.3 平均绝对误差

平均绝对误差(MAE)是为了说明预报值与观测值的平均偏离程度,风向的平均绝对误差单位为°,而风速的平均绝对误差单位为m/s,其具体计算公式如下:

$$R_{MAE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|F_i - Q_i\right| \tag{5}$$

式中:F_i为第i站预报风速(风向),Q_i为第i站实况风速(风向),N为总样本数。

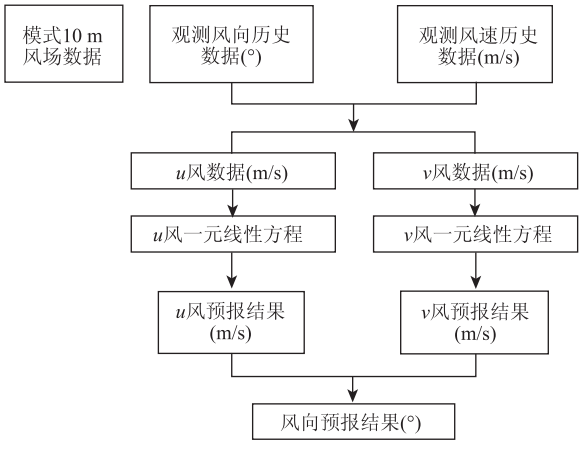


图2　基于MOS方法的风向矢量预报流程

3　结果分析

为检验所建MOS方程质量的好坏,选取未参加回归计算的2014年1—12月的预报结果,利用宁德海区24个站的逐12 h最大平均风速及其风向资料,对WRF模式每日20时起报的和MOS预报的12 h最大平均风速、风向进行对比检验。

3.1 分季节检验

如图3所示,分季节来看,WRF对12 h最大平均风速的预报效果,是夏季最好,春秋季次之,冬季最差;其对风向的预报效果,是冬季最好,夏秋季次

之，春季最差。经过MOS方法订正后，风向风速的准确率都有明显的提升，风速准确率由74.3%～79.9%提高到87.6%～91.4%，风向准确率由25%～31.9%提高到34.8%～45.2%。MOS对12 h最大平均风速的预报效果，是夏季最好，冬季次之，春秋季略差；而对风向的预报效果是冬季最好，春季次之，夏秋季略差。这是因为沿海夏季受副热带高压控制，平均风速最小，除台风、雷雨过境而有短时大风，很少出现区域性或持续时间较长的大风，预报效果相对较好；冬季控制福建的天气系统主要是冷高压，盛行风向稳定，主要是偏北风，沿海岛屿尤其显著，风向的预报效果相应也是最好的。通过对比分析WRF和MOS的预报效果，还可以发现MOS对WRF预报最差的冬季风速和春季风向还有较好的订正能力，使之准确率提高，成为次好。

3.2 分预报时效检验

通过分析12～72 h不同时效风速风向的平均绝对误差（见图4），可以发现随着预报时效的延长，WRF和MOS对风速风向的预报误差也不断增大，这与数值预报本身的精度随预报时效的增长而逐渐降低有关。WRF和MOS对风速预报表现出一致的日变化差异，12 h、36 h、60 h的预报误差都较小，而24 h、48 h、72 h的预报误差较大，即白天风速的预报误差大于夜间。这是因为午后日照强，下垫面温度高，边界层湍流发展，引起高层动量下传，白天的风速有波动起伏，而夜间的风速相对较平稳，预报误差较小。对于风向，WRF和MOS预报的日变化差异完全相反，WRF预报夜间的风向误差大于白天，说明WRF对夜间海陆风向角度的转换把握能力不够；而MOS预报白天的风向误差大于夜间，这是由于MOS对风向的预报依托于u风和v风的合成，使得风向预报的日变化差异与风速的相一致。

3.3 分站点检验

为了更直观地说明地理位置对风向风速预报的影响，将宁德沿海24个站的风向、风速平均绝对误差插值到格点场，可以看出，MOS对沿岸区域的

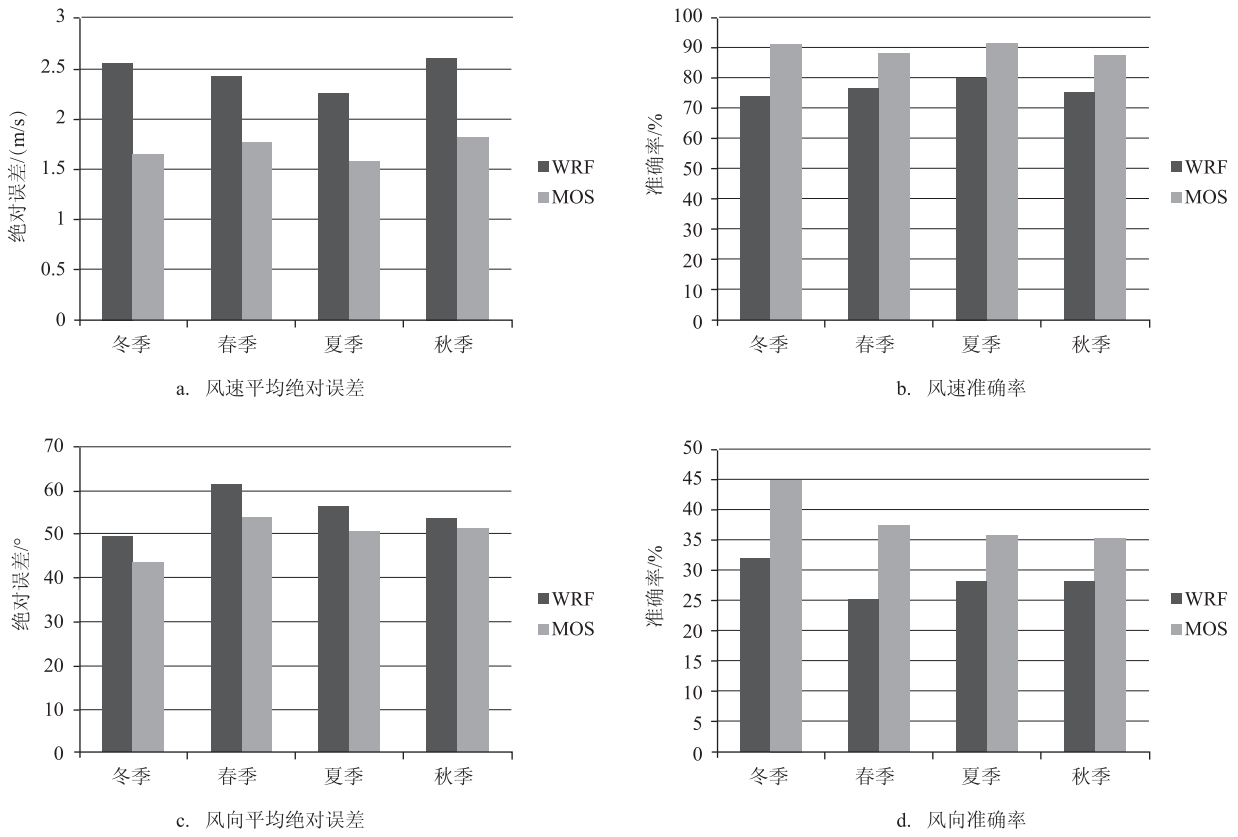
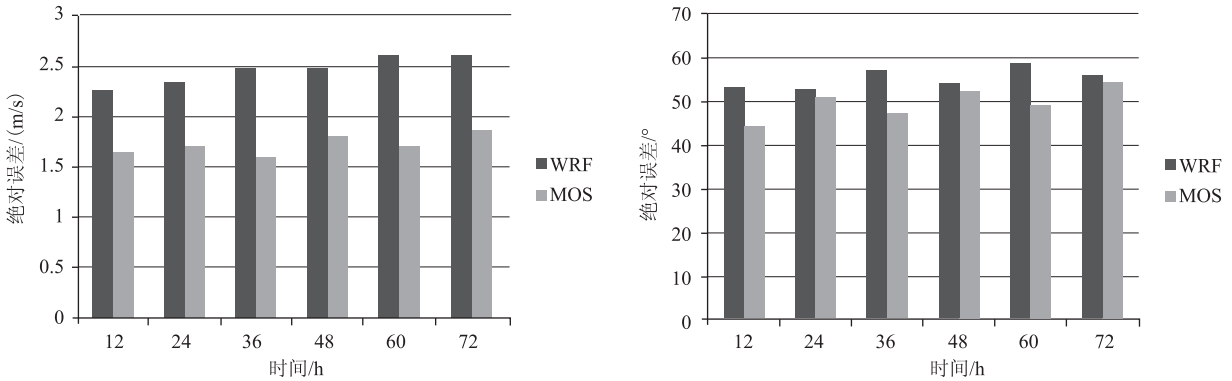


图3 WRF和MOS对各季节风速风向的预报效果



a. 风速平均绝对误差　　b. 风向平均绝对误差

图4　WRF和MOS对72 h内逐12 h风速

风速预报效果较好,而对近海风速的预报效果不如WRF好,风速平均绝对误差由海上向内陆逐渐减小,由北而南逐渐增大(见图5)。这是海面摩擦小,风速普遍较大,台湾海峡的狭管效应还会加大风的强度,而越往内陆受地形和下垫面摩擦的影响就越大,风速较小,模式的预报效果也就相对较好。对于风向来说,越往内陆,受地形和下垫面的影响,风向的角度变化越大,模式预报的误差也就越大。如图6所示,MOS和WRF对海上风向的预报误差都较小,而越向内陆平均绝对误差越大,在霞浦和飞鸾附近存在风向误差的大值区。相较而言,MOS的预报误差比WRF的更小,特别是在海上,风向的平均绝对误差大部分在40°以内。

3.4　分风力等级检验

通过对风力进行分级检验(见图7),发现12 h、24 h时效内MOS对2～3级的风预报准确率最高,可达98%,对4～5级、6～7级的风也有80 %以上的准确率,要优于WRF对上述风力等级的预报。夜间MOS对于1级风的预报效果略差于WRF,而对8～9级风的预报准确率要好于WRF。白天由于风速的日变化,MOS和WRF对于1级风的预报效果相较于夜间都大大降低,但MOS仍优于WRF;而对8～9级风的预报效果要比WRF差。MOS对10级以上风几乎没有预报能力,而WRF在48 h、72 h对10级以上风的预报准确率可达50 %(图略)。

3.5　分风向检验

将风向划分为8个方位进行检验。结果表明(见图8),白天对东南风和南风的预报,MOS对8个风向的预报效果普遍优于WRF。其中MOS对东北风的预报准确率最高,近乎60%,北风和西北风次之,对西南风也有30%以上的预报准确率,而对东南风的预报效果最差。白天MOS和WRF对东北风、东风、东南风和南风的预报准确率有所提高,而夜晚对西南风、西风、西北风和北风的预报准确率有所提高,这种日变化差异跟海陆风有一定的联系,白天风从海洋吹向陆地,夜晚风从陆地吹向海洋,由此可见MOS和WRF对海陆风盛行风向的预报能力较好。

4　结论

基于中尺度数值模式WRF的预报产品,利用MOS方法订正数值模式20时起报的预报结果,制作宁德沿海24个站点的风向风速客观预报产品,并给出2014年1—12月的预报评估结果:

(1)MOS对夏季的风速、冬季的风向都有很好的预报能力,此外MOS对WRF预报最差的冬季风速和春季风向还有较好的订正能力,使之准确率提高;

(2)随着预报时效的延长,MOS对风向风速的预报误差也不断增大,对白天风向风速的预报误差比夜间的大;

(3)MOS预报的风速平均绝对误差由海上向内陆逐渐减小,由北而南逐渐增大。而对于风向的平均绝对误差是由海上向内陆逐渐增大;

(4)除了1级以下风,风力越小,MOS的预报准

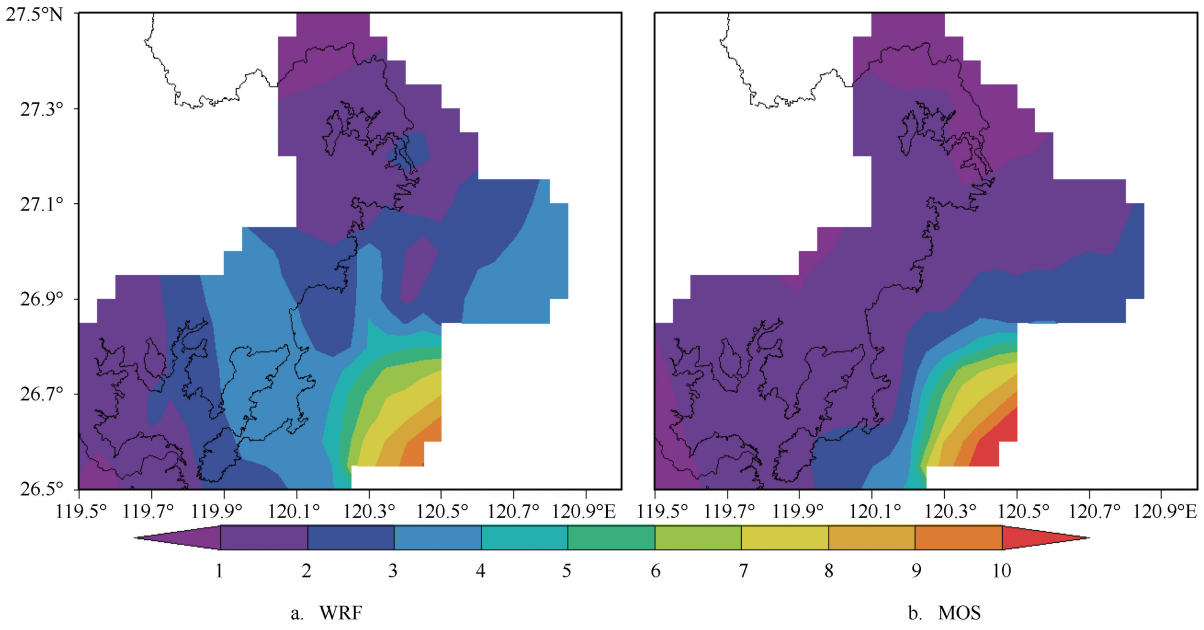


图5 风速平均绝对误差的空间分布(单位:m/s)

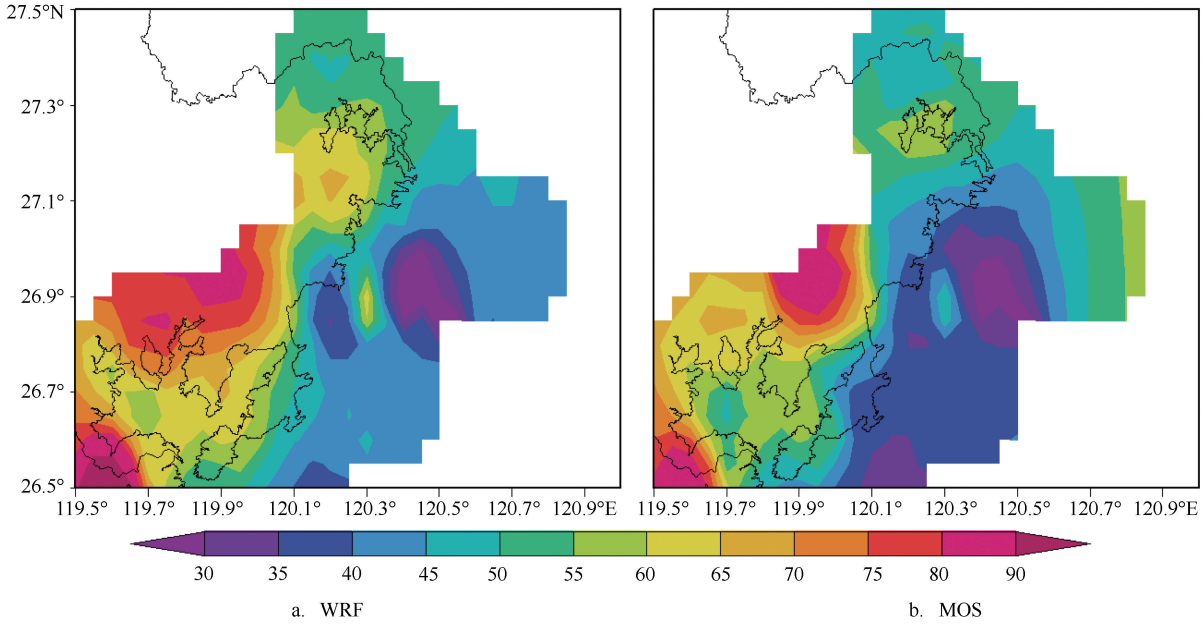
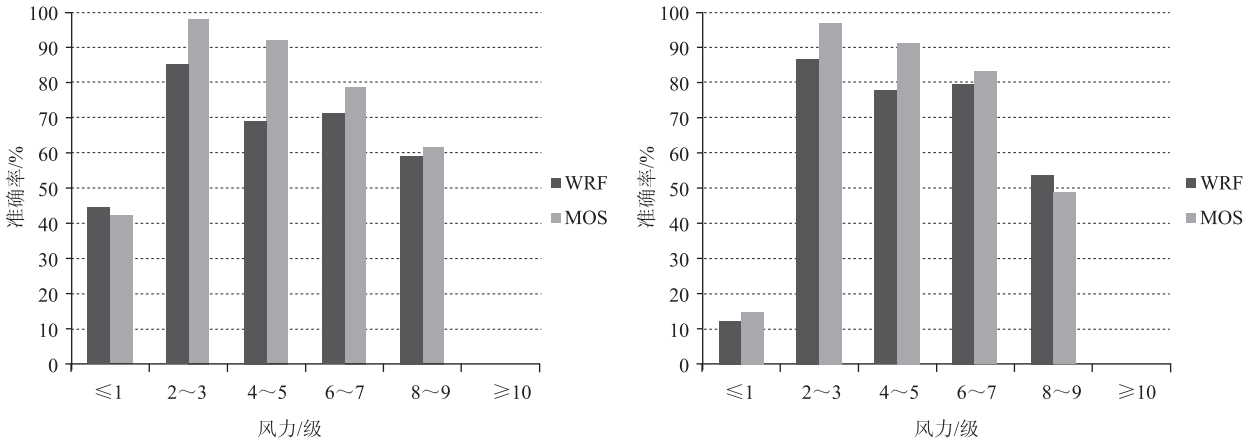


图6 风向平均绝对误差的空间分布(单位:°)

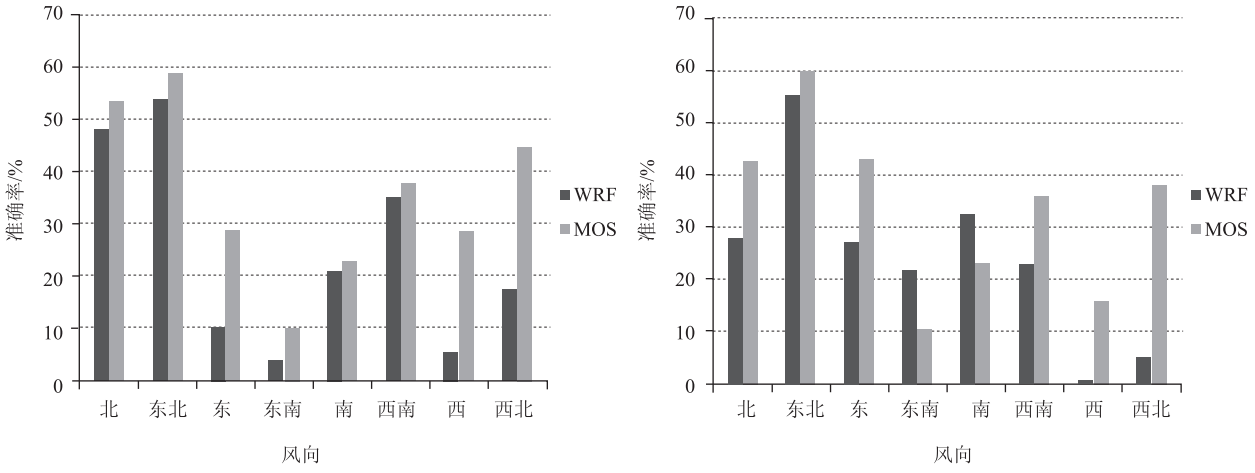
确率越高,2~3级风的准确率可达98%,对10级以上风几乎没有预报能力。MOS对夜间1级以下风和白天8~9级大风的预报效果要略差于WRF;

(5)MOS对东北风的预报准确率最高,北风和西北风次之,对西南风也有30%以上的预报准确率,而对东南风的预报效果最差。



a. 12 h　　b. 24 h

图7　WRF和MOS对风力的分级检验



a. 12 h　　b. 24 h

图8　WRF和MOS对风向预报的对比检验

参考文献:

[1] Glahn H R, Lowry D A. The use of Model Output Statistics (MOS) in objective weather forecasting[J]. Journal of Applied Meteorology, 1972, 11(8): 1203-1211.

[2] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文. 天气学原理和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2000.

[3] 陈豫英, 陈晓光, 马金仁, 等. 风的精细化MOS预报方法研究[J]. 气象科学, 2006, 26(2): 210-216.

[4] 林行, 马艳, 杨育强, 等. 动态统计预报模型及其在2008奥帆赛风场预报中的应用[J]. 气象, 2008, 34(S1): 199-205.

[5] 巩崇水, 曾淑玲, 尚可政, 等. 基于MOS方法的环渤海地区大风中期预报[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(4): 33-37.

[6] 曾晓青, 赵声蓉, 段云霞. 基于MOS方法的风向预测方案对比研究[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(6): 140-144.

[7] 荣艳敏, 阎丽凤, 盛春岩, 等. 山东精细化海区风的MOS预报方法研究[J]. 海洋预报, 2015, 32(3): 59-67.

[8] 盛春岩, 刘诗军, 肖明静. 十一运会WRF-RUC系统应用及典型个例评估[J]. 气象科技, 2010, 38(S1): 6-12, 23.

[9] 曾瑾瑜, 韩美, 吴幸毓, 等. WRF、EC和T639模式在福建沿海冬半年大风预报中的检验与应用[J]. 海洋科学, 2015, 39(7): 75-85.

[10] 车钦, 赵声蓉, 范广洲. 华北地区极端温度MOS预报的季节划分[J]. 应用气象学报, 2011, 22(4): 429-436.

[11] 中国气象局. 城镇气象要素预报的风预报质量检验办法(试行)[R]. 气预函〔2014〕91号, 2014.

Validation of wind forecast based on MOS method at the Ningde coastal region

GAO Cong-hui, ZENG Jin-yu
（*Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001 China*）

Abstract: Based on forecast products from Weather Research Forecasting (WRF) Model, the wind direction and wind speed at 24 oceanic stations along Ningde coastline in 2014 were predicted by MOS method. The results show the MOS has a better prediction at this region than WRF, especially for the prediction of wind speed at summer and wind direction at winter.. The forecast error increases with time and the forecast error at daytime is larger than that at night-time. The mean absolute error of the forecast wind field by MOS performs a spatial distribution characteristic, for wind speed gradually decreasing from the sea to the inland and increasing gradually from north to south, while for the wind direction gradually increasing from the sea to the inland. The lower of wind power, the higher prediction accurate for wind speed (wind power ≥2 level). The MOS method has the highest forecast accuracy for northeast wind, the north wind and northwest wind, and with a prediction accuracy rate over 30% for southwest wind, and the worst effect on southeast wind.

Key words: MOS method; average absolute error; wind direction; wind speed