

ROAD 模式渤海 10 m 风场预报误差订正

王亚男¹ 苏杭¹ 胡田田¹ 郭玉娣¹ 林毅²

(1 天津海洋中心气象台, 天津 300074; 2 天津市气象科学研究所, 天津 300074)

摘要 使用“递减平均法”和渤海 28 个石油、平台、浮标站资料分析得到的渤海 10 m 风速逐时格点场,对 ROAD 模式(Regional Ocean and Atmosphere Model)渤海区域 10 m 风速预报进行误差订正,不同权重系数试验表明:对于渤海 10 m 风速预报场,权重系数取 0.18,订正效果最佳,12~72 h 预报时效内,月逐时均方根误差和平均偏差均有明显改善,分别减小 1.0~1.5 m/s 和 2.3~3.0 m/s;对比渤海北部、西部和中部代表格点 72 h 预报时效内,逐 12 h 最大风速评分结果发现:60 h 预报时效内,当风速预报在 5~6 级时,渤海北部、中部和西部订正后的预报评分大多有所提高;当风速预报在 7 级时,渤海北部和中部分别在 36~72 h 和 24~48 h,预报评分有提高;在实况出现最多的风力分布范围内评分提高最多。

关键词 递减平均法;10 m 风速误差订正;ROAD 模式(海气浪耦合模式)

中图分类号: P456 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20180560 **文献标识码:** A

引言

渤海港口众多,是京津冀和东北经济区连接“21 世纪海上丝绸之路”^[1]的重要通道,同时,渤海也有丰富的海洋资源,如渔业、海盐、石油和旅游。航运和海上安全生产受海洋和气象灾害的影响,包括海上大风、海雾、风暴潮、海浪等。根据海事局提供的数据,渤海由海上大风造成的事故包括:海上船只遇大风浪颠覆、作业船只因大风天气突变而造成事故、沿海养殖业因突发大风而造成损毁^[2]。由此可见海上风力的准确预报,对保障海上航运安全、渔业生产和海上作业等都有重要意义。

数值模式预报是海上大风预报的一种重要手段,但数值模式的预报值与实际值之间不可避免地存在误差,相关研究如万夫敬^[3]等。为了改进数值预报结果,有必要对其进行误差订正。相关学者对模式的预报误差订正方法进行研究,如马清^[4]、李莉^[5]利用类似卡尔曼滤波的自适应误差订正方法对超级集合预报和 T213 全球集合预报系统性误差进行订正研究,这种方法有效地减小了集合平均的系统性误差,在中期时段预报效果优于短期时段,但这

种方法不能改变集合预报的离散度;李莉^[6]、邱学兴^[7]、王丹^[8]分别使用“递减平均法”对 T213 模式降水预报、T639 模式 500 hPa 高度场预报、陕西 SCMOC 精细化温度预报等进行订正,该订正方法总体表现为正的订正技巧,但订正能力随着预报时效的增加而下降;任文斌^[9]使用动态相似统计法对 T639 模式的高度场和温度预报误差进行订正,文中的动态相似统计法在历史样本的选取和订正方程的建立上都是动态的,从而避免了相似个例选取的随意性,使得中期以上的时效订正效果明显;李华^[10]使用综合订正方法对 T639 的温度预报进行订正,综合考虑地形、季节和风向风速对最高最低温度预报的影响,提高预报精度。另外,还有一些学者使用线性回归方法^[11]、相似动力统计方法^[12-13]、演化建模^[14]、BP 神经网络模型等方法对数值模式的误差进行订正,均取得一定的成果。

从以上分析来看,“递减平均法”对模式误差有正的订正效果,且在短期时效内订正效果最好,并且不需要太长的历史资料。同时,以上误差订正多是使用模式分析场对系统误差来进行订正。而本文使用“递减平均法”和由渤海 28 个石油、平台、浮标站

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

环渤海区域科技协同创新基金项目(QYXM201712)“黄渤海区域风、浪智能网格预报协同技术研究”资助

作者简介:王亚男,女,1982 年生,工程师,主要从事海洋灾害天气预报技术和研究工作,Email: wang_ya_nan05@126.com

收稿日期:2018 年 10 月 12 日;定稿日期:2019 年 7 月 30 日

逐时资料得到渤海区域格点逐时风速场,对ROAD模式(Regional Ocean and Atmosphere Model)2017年秋季10 m风速72 h预报时效内误差进行订正,并对订正前后的10 m风速预报进行对比分析。

1 资料和方法

1.1 ROAD模式简介

2017年开始,海气浪耦合模式(ROAD模式)在天津市气象局业务运行,该模式是天津市气象局与解放军理工大学合作研发的中纬度海气浪耦合模式,在天河服务器运行,并实现预报产品的业务应用。黄渤海区域海气浪耦合模式ROAD(Regional Ocean and Atmosphere Model)由大气模式WRF(Weather Research and Forecasting)、海洋模式POM(Princeton Ocean Model)和海浪模式WW3(WAVEWATCH III)组成。通过基于MPI分布式并行环境的耦合器MCT(Model Couple Toolkit),实现大气-海流-海浪的全物理耦合,其中大气模式向海洋模式提供大气强迫,包括长波辐射和短波辐射,海洋模式反馈海表温度;大气模式向海浪模式提供10 m风场、海浪模式向大气模式反馈波龄;海洋模式向海浪模式提供海表流速、海浪模式向海洋模式反馈浪致混合系数。同时引入海洋飞沫参数化方案,大气、海洋、海浪模式分别向海洋飞沫参数化方案提供热力参数、海表温度和波龄等,海洋飞沫参数化方案向大气模式反馈飞沫通量。模式区域覆盖范围西北太平洋及环渤海地区,大气、海流和海浪模式水平分辨率都是 $1/6^\circ$,水平格点数 308×302 ,预报时效72 h,时间分辨率1 h。

其中,大气模式WRF主要通过优化初始场及边界条件,实现区域大气要素场的实时预报,为保障区域内的海浪和海流模式提供大气强迫,模式层顶为50 hPa,垂直分层为35层,物理过程参数化方案分别为:YSU边界层参数化方案,Monin-Obukhov近地层方案,NOAH LSM陆面过程,Thompson微物理方案,RRTMG辐射传输方案,Grell 3D积云参数化方案;海洋模式POM进行区域海流的数值预报,具有以下几个主要特征:①应用一个二阶湍流封闭模型来提供垂直混合系数;②垂向应用 σ 坐标以更好地拟合地形;③水平采用正交曲线网格和交错“C”网格,可以较好地匹配岸界;④水平和时间差分格式为显式,垂直差分格式为隐式;⑤内外模态分开

计算,外模态是二维的,时间步长较短,内模态是三维的,计算时间步长较长;⑥包含完整的热力学方程组;⑦包含了一套物质扩散输运和拉格朗日追踪子模块。模式的4个预报方程包括:动量方程、连续方程和温盐方程;海浪模式WW3主要采用区域大气数值预报模式提供的风场资料,运行区域海浪数值预报模式WAVEWATCH III,提供关键海域海浪要素预报结果。

1.2 资料和插值方法

从蔡彦枫^[15]对比分析多种插值方法在广东沿海风速插值中的引入误差来看,反应误差值上界的绝对误差的大小排序为:Cressman法<泛Kriging插值<普通Kriging插值<径向基函数插值<距离加权插值;反映误差离散程度的均方根误差的大小排序为:泛Kriging插值<Cressman法<普通Kriging插值<径向基函数插值<距离加权插值。这说明Cressman法插值后的引入误差最小。

本文使用渤海共28个海上石油平台、浮标站和海岛站逐时观测资料,具体位置如图1所示,在渤海范围内($37.8^\circ \sim 40.5^\circ \text{N}$, $117.8^\circ \sim 121.5^\circ \text{E}$),使用Cressman插值方法,将测站10 m风速插值到ROAD模式格点上,格点具体分布情况如图2所示,当数据缺测或无插值结果时,设为缺省值9999,得到渤海范围内10 m风速格点场。同时,在数据插值前,将测站风速订正到10 m高度处,订正公式如式(1)所示。

风速随高度变化采用指数定律公式:

$$\frac{u_z}{u_{10}} = (z/10)^\alpha \quad (1)$$

其中, u_z 为海平面上空 z 高度处风速, u_{10} 为海平面上空10 m高度处的风速, α 表示风速随高度变化的幂指数,其大小表示了风速垂直切变的强度,一般与下垫面性质和大气层结状态有关,根据《建筑结构荷载规范(GB5009—2012)》规定,海上梯度风变化的幂指数在0.12左右。

采用交叉验证方法对插值后的格点引入误差进行分析^[15-17],即首先假定每一个站点的气象要素值未知,都用周围站点的值来估算,计算所有站点的实际观测值与估算值的误差,采用平均误差、平均绝对误差和平均均方根误差作为评估插值方法的标准。交叉验证方法的结果显示,使用Cressman方法进行插值,平均误差为 -0.13 m/s ,平均绝对误差为

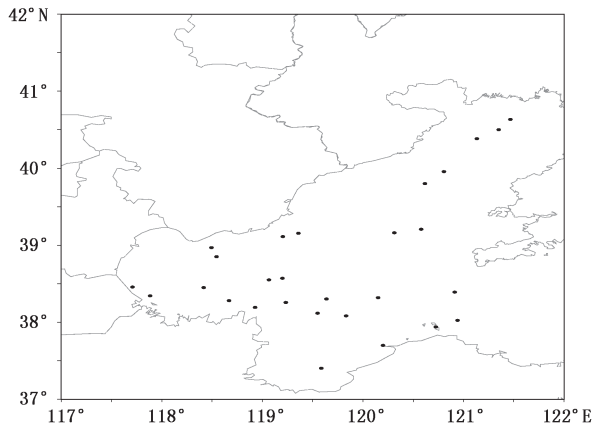


图1 渤海海岛、平台、浮标站分布

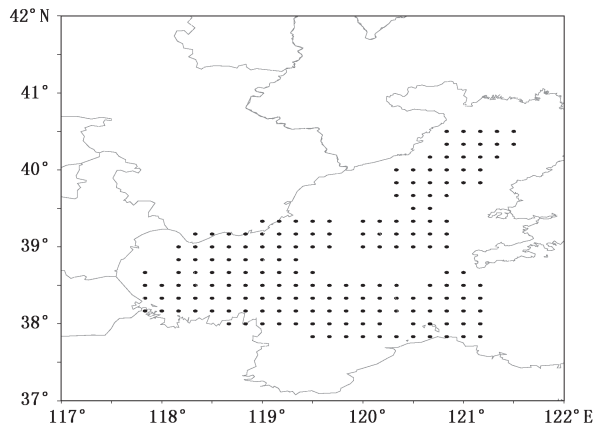


图2 站点插值格点位置分布

1.16 m/s, 平均均方根误差为 1.81 m/s, 比蔡彦枫^[15]用此方法计算的广东沿海风速插值误差要小, 其平均绝对误差和平均均方根误差分别为 2.28 m/s 和 3.86 m/s, 说明插值结果较可信。

1.3 订正方法简介

风速订正方法使用递减平均法^[6], 递减平均法的误差累计如式(2)所示, 即将最新的各个时次的误差累加到上一个时次的误差场, 得到更新后的误差场, 将新的各个时次预报场分别减去累加后的误差场得到最终的订正场。

$$B_{i,j}(t) = (1 - \omega)B_{i,j}(t-1) + \omega(f_{i,j}(t) - a_{i,j}(t)) \quad (2)$$

式中, ω 为权重, $B_{i,j}(t)$ 为累加后的误差场, $B_{i,j}(t-1)$ 为上一个时次的误差场, $f_{i,j}(t)$ 为预报场, $a_{i,j}(t)$ 为实况格点场。

使用 2017 年 9—10 月 ROAD 模式预报场和

10 m 风速格点分析资料, 选取不同 ω 值 ($0 < \omega < 1$) 进行试验, 比较订正之后的均方根误差和误差相对订正量的大小, 选取误差最小的权重系数。误差相对订正量^[5]定义为: 订正前与订正后的均方根误差之差与订正前均方根误差的比值。权重系数的大小反映了递减平均法中历史预报误差的权重大小, 直接影响最后的订正结果。

2 不同权重系数 w 的影响分析

图 3 为渤海 10 m 风速的误差相对订正量随权重系数变化图。从图中可以看出, 随着权重系数的增加, 订正效果先增加后减小, 当权重系数取 0.15~0.18 时, 36~72 h 预报时效误差订正效果最好, 且 12 h 和 24 h 预报时效, 随权重系数增加订正效果增加的趋势已明显减小。综合以上分析, 对于渤海 10 m 风速, 权重系数取 0.18, 可以得到较好的订正效果。

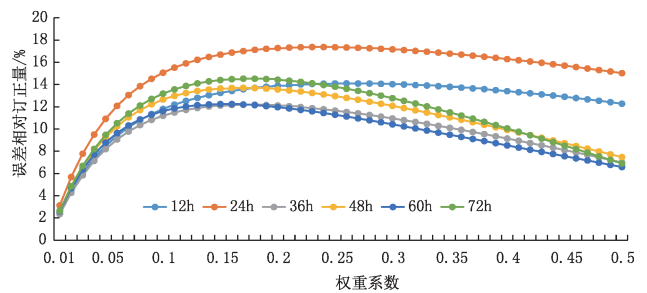


图3 渤海误差相对订正量随权重系数变化
(误差相对订正量: 订正前与订正后的均方根误差之差与订正前均方根误差的比值)

当权重系数为 0.18 时, 对订正前和订正后的均方根误差的差异进行显著性检验。表 1 为统计量 t 值的计算结果。从 t 分布的查算表可知, 对于大于 0.05 显著性水平检验时 t 值为 1.906。对比表 1 可知, 对于 10 m 风速的订正结果, 72 h 预报时效内的 t 值都大于 1.906, 说明对于 72 h 预报时效内的 10 m 风速, 订正后的均方根误差比订正前的均方根误差有明显改善。同时, 从 12~72 h 预报时效的格点误差相对订正量分布及所占比率也可以看出, 如图 4 所示, 其中, “+”代表误差相对订正量小于 0, 即代表该格点订正后的均方根误差大于订正前的均方根误差, 为负的订正效果, 其他符号均表示正的订正效果, 其中空心圆点代表该格点的误差订正量占原均方根误差的 0~10%, 其他依次类推。从图 4

可以看出,12~72 h 预报时效内,误差相对订正量大于 0 的格点占比都在 86% 以上,说明渤海大部分格点订正后的均方根误差较原始预报有改善,误差相对订正量小于 0 的格点,大部分在渤海北部,可能是由于渤海北部站点稀疏,使插值后的格点场误差更大造成;同时,误差相对订正量大于 10% 的格点占比在 12~72 h 预报时效内分别为 61.7%、76.6%、56.6%、65.2%、54.3% 和 62.3%,占比均

在 54% 以上,说明 72 h 预报时效内,至少有半数以上的格点订正后的均方根误差较原始预报有明显改善,说明该预报方法对 10 m 风速预报场有明显的订正能力。

表 1 不同预报时效统计量 t 值

预报时效/h	12	24	36	48	60	72
统计量 t 值	7	8.5	6.6	7.5	7.6	8.9

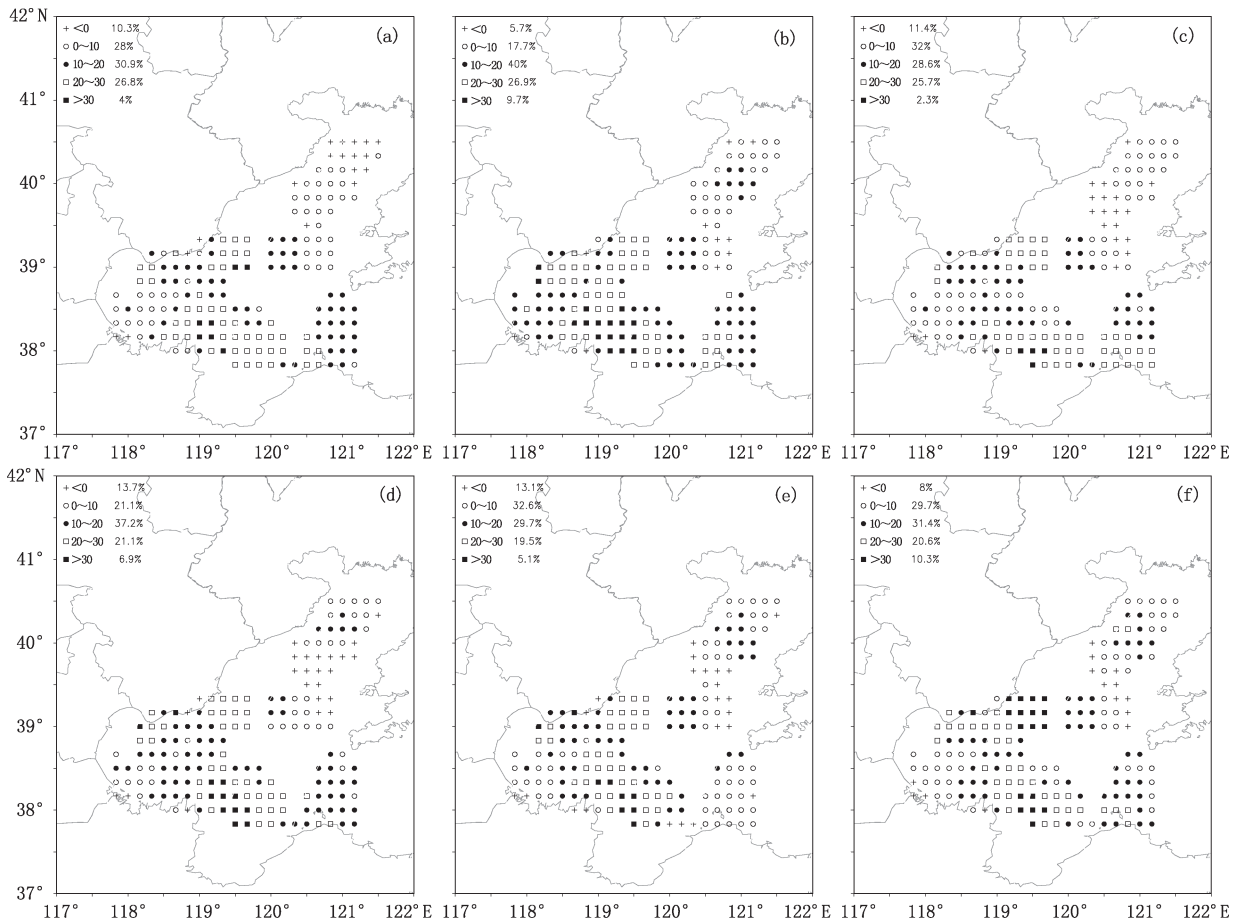


图 4 2017 年 9—10 月不同预报时效渤海 10 m 风速订正前后格点误差相对订正量(单位:%)和所占比率分布:
(a)12 h,(b)24 h,(c)36 h,(d)48 h,(e)60 h,(f)72 h

3 订正效果检验

以下为权重系数为 0.18 的 11 月订正结果与原始预报结果的对比分析。

3.1 误差对比

图 5 和图 6 分别表示 2017 年 11 月渤海 10 m 风速订正前后逐时均方根误差和平均偏差对比情况。

从图 5 可以看出,订正后的逐时均方根误差较

原始预报有明显改善,原始预报在 12~72 h 预报时效内,均方根误差在 3.5~4.9 m/s 之间,随着预报时效的增加,均方根误差呈增大趋势;而订正后的预报结果,在 12~72 h 预报时效内的均方根误差在 2.4~3.3 m/s 之间,相比原始均方根误差有明显改善,同时,可以看到,误差相对订正量随预报时效的增加呈减小趋势。同理,从图 6 中可以看出,订正后的逐时平均偏差较原始预报有明显改善,原始预报在 12~72 h 预报时效内,平均偏差在 2.5~3.8 m/s

之间,随着预报时效的增加,平均偏差呈增大趋势;而订正后的预报结果,在 12~72 h 预报时效内的平均偏差在 0~0.7 m/s 之间,较原始预报平均偏差有明显改善,订正效果较好。

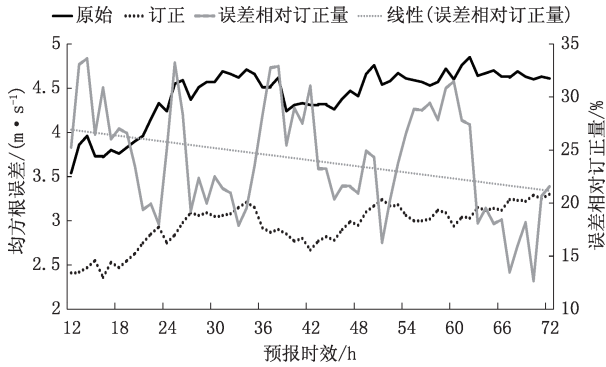


图 5 2017 年 11 月不同预报时效渤海 10 m 风速订正前后逐时均方根误差和相对订正量

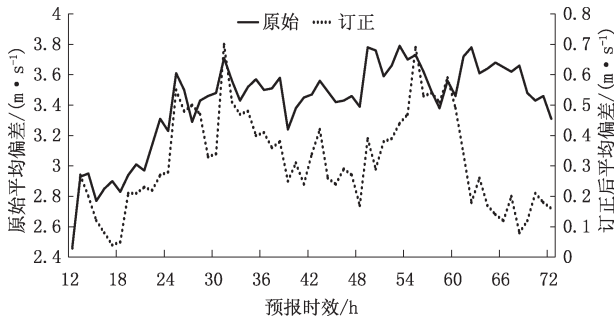


图 6 2017 年 11 月不同预报时效渤海 10 m 风速订正前后逐时平均偏差

3.2 评分对比

3.2.1 评分对象及评分办法

评分对象:分别选取渤海西部、中部和北部 4 个格点,如图 7 所示,每日以 08:00 和 20:00 为界,分别计算渤海西部、中部和北部四个格点过去 12 h 预报风速最大值作为评分对象。实况利用逐时 2 min 格点资料,计算相对应范围内,过去 12 h 2 min 风速最大值。

评分办法:当预报风力等级与实况等级相等时,记为 100 分;当预报风力等级与实况风力等级相差一个等级时,记为 80 分;当预报风力等级与实况风力等级相差两个等级时,记为 60 分;当预报风力等级与实况风力等级相差两个等级以上时,记为 0 分。如当预报风力等级为 7 级(13.9~17.1 m/s)时,实况风力为 7 级时为 100 分,实况风力为 6 级(10.8~

13.8 m/s)或 8 级(17.2~20.7 m/s)时为 80 分,实况风力为 5 级(8.0~10.7 m/s)和 9 级(20.8~24.4 m/s)时为 60 分,否则为 0 分。

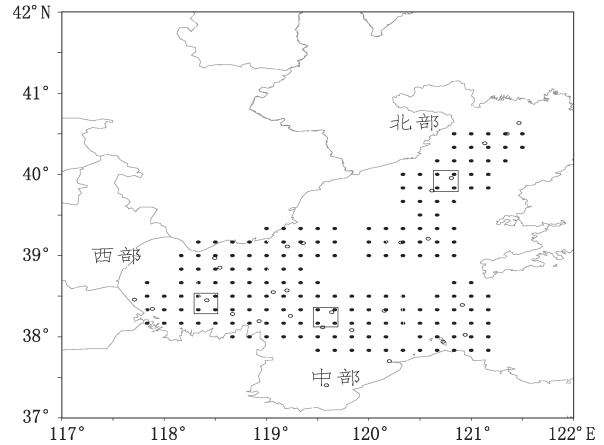


图 7 渤海分区域评分格点位置

(格点位置:实心圆圈,站点位置:空心圆圈,其中渤海西部包括石油 A 平台附近 4 个格点,渤海中部包括渤中 28 号和渤中 34 号附近 4 个格点,渤海北部包括绥中 36 号和旅大 10 号附近 4 个格点)

3.2.2 实况分析

图 8 表示渤海西部、北部和中部选取格点附近逐 12 h 最大风力实况分布图。从图 8 中可以看出,2017 年 11 月 1 日至 12 月 3 日期间,渤海西部、北部和中部,逐 12 h 最大风力主要为 5~6 级,其中,渤海北部逐 12 h 最大风力达 7 级的时段比渤海西部和渤海中部明显偏多,达 7 级的时段分别为 7 个、3 个和 2 个,另外,渤海北部有 1 个时段,逐 12 h 最大风力为 8 级。

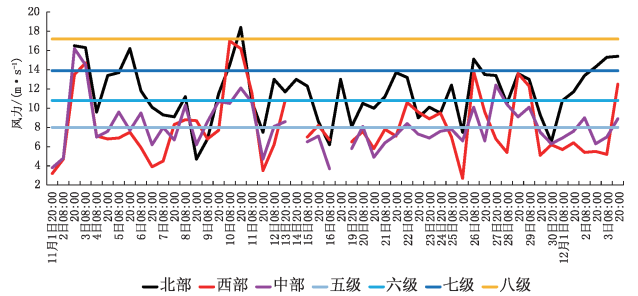


图 8 2017 年 11 月 1 日至 12 月 3 日渤海分区域逐 12 h 最大风力实况

3.2.3 评分结果分析

表 2 为渤海西部、渤海北部和渤海中部订正前后过去 12 h 最大风力预报评分对比情况,其中,订正结果中,黑体表示订正后评分比原始预报评分高。

从表2中可以看出,对于渤海西部,当预报风力为5~6级时,60 h预报时效内,订正效果都较明显,逐12 h最大风速预报评分大部分都有所提高;而当预报风力为7级时,除48 h过去12 h最大风速预报,订正预报比原始预报评分高外,其他预报时效订正后评分都比原始预报评分偏低,订正效果较差。

对于渤海北部,60 h预报时效内,订正效果都较明显,尤其是在预报风力为4~6级时,逐12 h最大风速预报评分大部分都有所提高,当预报风力为7级时,36~72 h过去12 h最大风速预报评分都有所提高,对于预报风力8级时,订正前后评分结果相当,没有明显改善作用。

同理分析渤海中部,当预报风力为4~6级时,60 h预报时效内,订正后的预报评分大部分都有所增大,当预报风力为7级时,在24~48 h过去12 h最大风速预报,订正后的预报评分有明显改善。

表2 2017年11月渤海分区域订正前后过去12 h最大风速预报评分对比结果

渤海西部										
	24 h		36 h		48 h		60 h		72 h	
	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正
4级	86	90	90	80	88	88	100	87	90	80
5级	77	86	80	81	80	88	78	81	80	74
6级	73	74	61	76	70	53	68	80	54	75
7级	86	80	65	53	60	100	80	0	86	0
渤海北部										
	24 h		36 h		48 h		60 h		72 h	
	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正
4级	80	90	0	93	80	40	0	80	0	65
5级	86	88	85	88	88	91	90	90	84	72
6级	88	91	95	95	84	83	80	82	90	88
7级	76	70	80	90	64	85	88	88	80	86
8级	0	0	0	0	80	80	0	0	0	0
渤海中部										
	24 h		36 h		48 h		60 h		72 h	
	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正	原始	订正
4级	90	88	93	93	95	90	86	94	95	88
5级	73	91	85	90	83	91	85	86	88	82
6级	70	80	73	77	69	80	71	74	68	76
7级	67	100	65	100	66	100	70	0	65	0

注:黑体突出显示订正后评分提高的数值

从以上分析来看,在实况出现最多的风力分布范围内评分提高最多,当实况出现很少时,订正后评分提高不明显或为负的订正效果。

4 结论和讨论

本文使用“递减平均法”和渤海28个石油、平台、浮标站资料分析得到的渤海10 m风速逐时格点场,对2017年9—11月ROAD模式10 m风速预报误差进行订正,结果如下:

(1)“递减平均法”不同权重系数试验表明:对于渤海区域10 m风速预报,权重系数取0.18时,订正效果最好。72 h预报时效内,86%以上的格点为正的订正效果,54%以上的格点订正后的均方根误差有明显的改善。

(2)当权重系数取0.18时,月逐时均方根误差和月逐时平均偏差均有明显改善,12~72 h预报时效内,订正前后的均方根误差分别为3.5~4.9 m/s以及2.4~3.3 m/s,误差相对订正量随预报时效的增加呈减小趋势;订正前后的平均偏差分别为2.5~3.8 m/s以及0~0.7 m/s,订正效果较好。

(3)对比渤海北部、西部和中部代表格点72 h预报时效内,逐12 h最大风速评分发现:60 h预报时效内,当风速预报在5~6级时,渤海北部、中部和西部订正后的预报评分大多有所提高;当预报风力为7级时,渤海北部36~72 h和渤海中部24~48 h预报时效内,订正后的评分有明显改善。在实况出现最多的风力分布范围内评分提高最多,当实况出现很少时,订正后评分提高不明显或为负的订正效果。

(4)此订正方法出现个别的负面订正值,且主要集中在渤海北部,可能由于渤海北部实况较少造成,同时,在海陆交界处也出现个别的负面订正值,可能与实况插值时没有考虑港口站有关,在下一步的工作中计划在实况插值中引入港口实况,同时对渤海不同区域选取不同的权重系数,以此提高订正效果。

参考文献

- [1] 郑崇伟,黎鑫,陈璇,等. 经略21世纪海上丝路:海洋资源、相关国家开发状况[J]. 海洋开发与管理,2016(3):3-8.
- [2] 李延江,陈小雷,卢宪梅. 渤海气象灾害与海洋灾害预报技术[M]. 北京:气象出版社,2014:7-9.
- [3] 万夫敬,赵传湖,马艳,等. ECMWF模式气温预报在青岛地区的检验与评估[J]. 气象科技,2018,46(1):112-120.

- [4] 马清, 龚建东, 李莉, 等. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象, 2008, 34(3): 42-48.
- [5] 李莉, 李应林, 田华, 等. T213 全球集合预报系统性误差订正研究[J]. 气象, 2011, 37(1): 31-38.
- [6] 李莉, 朱跃建. T213 降水预报订正系统的建立与研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17(增刊): 130-134.
- [7] 邱学兴, 王东勇, 陈宝峰. T639 模式预报系统误差统计和订正方法研究[J]. 气象, 2012, 38(5): 526-532.
- [8] 王丹, 黄少妮, 高红燕, 等. 递减平均法对陕西 SCMOC 精细化温度预报的订正效果[J]. 干旱气象, 2016, 34(3): 575-583.
- [9] 任文斌, 杨新, 孙潇棵, 等. T639 数值预报产品订正方案[J]. 气象科技, 2014, 42(1): 145-150.
- [10] 李华, 宫明晓, 刘春涛, 等. T639 预报气温产品误差分析与订正[J]. 气象科技, 2017, 45(6): 1065-1069.
- [11] 李佰平, 智协飞. ECMWF 模式地面气温预报的四种误差订正方法的比较研究[J]. 气象, 2012, 38(8): 897-902.
- [12] 于海鹏, 黄建平, 李维京, 等. 数值预报误差订正技术中相似-动力方法的发展[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 1012-1022.
- [13] 苏海晶, 封国林, 杨杰, 等. 基于动力统计方法对中国夏季温度模式误差订正的研究[J]. 高原气象, 2015, 34(5): 1345-1356.
- [14] 万仕全, 何文平, 封国林, 等. 数值模式误差订正方法初探[J]. 高原气象, 2014, 33(2): 460-466.
- [15] 蔡彦枫, 张灿亨, 黄勇. 广东沿海地区极值风速空间插值方法的对比研究[J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊 1): 187-192.
- [16] 林忠辉, 莫兴国, 李宏轩, 等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47-56.
- [17] 曾红伟, 李丽娟, 张永萱, 等. 大样本降水空间插值研究-以 2009 年中国年降水为例[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 811-818.

Error-Correction of 10 m Wind Forecast in ROAD Model over Bohai Sea

Wang Yanan¹ Su Hang¹ Hu Tiantian¹ Guo Yudi¹ Lin Yi²

(1 Tianjin Central Observatory for Oceanic Meteorology, Tianjin 300074; 2 Tianjin Institute of Meteorology, Tianjin 300074)

Abstract: The decreasing average method and the 10-m wind speed grid-point field analyzed from 28 oil platforms and buoy stations over the Bohai Sea are used to correct the error of the 10 m wind speed forecast in the Bohai area of ROAD model (Regional Ocean and Atmosphere Model). Tests of different weight coefficients indicate: for the forecast field of Bohai 10 m-wind speed, the correction is most effective when the weight coefficient is about 0.18. When the lead time is 12 to 72 hours, the monthly hour-to-hour root mean square error and mean deviation are improved significantly, decreased to 1.0 to 1.5 m/s and 2.3 to 3.0 m/s, respectively. Comparing the representative points of the northern, western and central parts of the Bohai Sea in the lead time of 72 hours, the maximum wind speed scores of every 12 hours turn out: in the lead time of 60 hours, when wind speed forecast is 5 to 6 m/s, most of the forecast scores in the northern, central and western parts of the Bohai Sea are improved. When wind speed forecast is 7 m/s, the maximum wind speed forecast score of the past 12 hours is improved, being 36 to 72 hours and 24 to 48 hour in northern and central parts of the Bohai Sea. The scores are improved most obviously in the range of the wind force distribution with the highest concurrency frequency.

Keywords: decaying average method; 10 m wind speed error correction; ROAD model(coupled atmosphere-wave-ocean model)