

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

曾瑾瑜¹, 韩 美¹, 吴幸毓¹, 林 青¹, 廖 廓²

(1. 福建省气象台, 福建 福州 350001; 2. 福建省宁德市气象局, 福建 宁德 352100)

摘要: 基于福建省冬半年沿海和港湾岛屿自动站的逐时极大风观测资料和 WRF(Weather Research and Forecast)、EC(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)细网格以及 T639(TL639L60)三种模式预报的 10 m 风场资料, 将模式预报的风向风速与观测资料进行对比检验, 结果表明: 福建省沿海冬半年大风的盛行风向以东北风为主, 大风的时空分布极为不均, 沿海风力的脉动性、跳跃性、局地性突出。从三种模式对风速风向的模拟效果来看, WRF 和 EC 细网格的预报效果较好, 有可参考性, T639 可参考性不高。对于风速, 模式预报结果相比实况极大风速偏小, 港湾岛屿代表站风速的平均绝对误差均小于沿海代表站, 预报平均误差由沿海向内陆逐渐减小, 由中部向南北逐渐减小。风向相比风速的预报效果要差, WRF 和 EC 细网格的风向预报误差在 45°~50°, 有一定的参考意义; 港湾岛屿代表站风向的平均绝对误差大于沿海代表站, 以浮标站的误差最大。当观测风速出现 7 级及以上风速时, 若对大风进行分级检验, 则较低风速的预报平均绝对误差小于较高风速; 风向预报的平均绝对误差也大大降低, 且误差都在 45°以内, 具有良好的参考性。

关键词: WRF(Weather Research and Forecast)、EC(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)细网格、T639(TL639L60)、大风检验、冬半年、福建沿海

中图分类号: P47 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2015)07-0075-11

doi: 10.11759/hyxx20140721001

目前, 我国海洋气象业务发展面临难得的机遇和挑战, 中国气象局对发展现代海洋气象业务、增强海洋气象保障服务能力越来越重视。福建沿海地区处于南下冷流与台湾暖流交汇处, 所经海域暗礁、孤岛星罗棋布, 水下地貌复杂多变、起伏交错, 时常出现大风、大浪等各种海上灾害性天气现象, 对海洋工程、安全生产、航运作业及海上船只安全构成极大威胁。提高沿海大风预警预报能力, 尤其是大风预报精确度, 对避免或减少大风等气象灾害有重要意义。

目前国内气象学者对西北部的陆地大气的研究较多, 对沿海大气的研究相对较少^[1-4]。而沿海大气的预报方法则以经验预报^[5]和统计预报^[6-8]居多, 数值产品释用^[9-15]偏少。福建本省学者开展的相关研究也较少, 如: 刘京雄等^[5]研究了浙闽沿海和台湾海峡冬季大风风速计算方法, 论证了运用陆地大风推算海区大风风速计算式的可靠性。陈春忠等^[16]通过统计分析表明莆田市沿海冬季大风的时空分布极为不均, 沿海风力的脉动性、跳跃性、局地性特征突出。叶宾宾等^[17]通过 T213(T213L31)模式的 1 000 hPa 风

场预报与崇武实况风向、风速的检验, 发现 T213 的预报风速偏小于实况的极大风速, T213 对冷空气过程带来的大风的预报结果优于对台风和强对流天气引起的大风; 风速预报中, 春季预报误差小, 但风向误差大。陈德花等^[18]利用 MM5(Meso-scale Model5)模式输出的福建沿海 6 个气象站的风速预报和实况资料, 按照风速大小分类建立人工神经网络模型, 并将该模型应用于预报并对效果进行检验, 经人工神经网络订正后, 沿海风速预报比 MM5 模式预报有很大改善。

为满足海洋建设需求, 福建省气象局于 2013 年 4 月正式开展海洋气象精细化气象要素预报业务, 选取 11 个沿海海区 and 26 个港湾岛屿质量评定站, 对近

收稿日期: 2014-07-21; 修回日期: 2014-09-25

基金项目: 福建省气象局自研项目(2015z02); 福建省气象局青年科技专项(2015q26); 中国气象局小型基建项目“海洋气象精细化业务系统建设”子项目

作者简介: 曾瑾瑜(1984-), 女, 福建莆田人, 工程师, 硕士, 从事数值模拟和资料同化, 电话: 13635290966, E-mail: zjy10218@126.com

海、沿岸、沿海海区,重要港湾海岛,渔业渔场进行精细化预报。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 EC (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) thin、T639(TL639L60)的全球谱模式产品,本省引进的有限区域 WRF(Weather Research and Forecast)模式预报产品。针对这些产品的数值释用研究目前基本没有,为了更好地预报沿海风,增强海洋气象保障服务能力,有必要对现有的数值预报产品的预报进行释用研究,使其更好地应用于预报。

1 资料与方法

通过整理统计 2011~2012 年冬半年福建沿海和港湾岛屿 32 个代表站(注:港湾岛屿与沿海代表站中有 5 个重复)风场资料,分析沿海地区风力的时空分布特征;将 EC-thin、T639 和 WRF 三个模式(预报时效 0~72 h)不同时效的地面 10 m 风场预报数据插值到 32 个代表站上,将代表站风场资料与插值好的模式风场资料进行对比与统计分析,比较不同数值模式产品误差,探讨全球模式和区域模式对风场预报能力的优劣性,提高数值预报产品的使用能力。

在沿海海区 11 个预报质量评定站中,有 3 个浮标站,分别位于北、中、南距海岸线 50 km 左右的海上,代表福建省的 3 个近海海区风力,其中平潭浮标和厦门浮标分别位于台湾海峡的北部和南部;而另外 8 个代表站或位于海岛的边缘,或位于沿海岸线上,一面靠海,地势平坦开阔,具有较好的代表性,将其归类为海岛站。而港湾岛屿 26 个代表站除了个别站点是海岛站外,位置相对而言较为靠近内陆,以紧靠近海岸线的近海站和位于海岸线 5 km 以内的偏内陆站为主。32 个代表站包含了不同地理位置的站点,能真实反映冬半年沿海大风的变化特征。

1.1 实况资料

定义沿海大风为沿海出现极大风 7 级(13.9 m/s)^[19]。在自动站大风资料的统计中,我们采用 2011~2012 年冬半年沿海和港湾岛屿代表区域自动站观测的极大风速的资料作为研究对象。使用的自动站资料为每小时一次的风速资料。

1.2 模式资料

选取三个模式包括全球模式(我国的 T639 模式、欧洲 EC 细网格模式)和福建引进开发的 WRF 中尺度数值模式,其中 T639 模式分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,数据格

式是 Micaps 2 类格式,输出间隔为 3 h; EC 细网格模式分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,数据格式是 Micaps 11 类格式,输出间隔为 3 h; WRF 模式分辨率为 $0.094 6^\circ \times 0.076 5^\circ$,数据格式是 netCDF 格式,输出间隔为 1 h。

1.3 检验方法

为统一预报时效,选取三个模式对 20:00 起报的 72 h 预报时效内的 10 m 风进行检验。为了考虑各模式结果检验的公平性,统一采用双线性插值方法将各模式格点资料插值到 32 个代表站上,对各模式和实况资料求 0~72 h 内的极大风。对模式而言,因模式输出的 10 m 风场是平均风,我们取平均风的最大值来进行研究对比,在 24、48、72 h 时效内分别取一最大风速值代表该时效内极大风预报,风向即取这个最大风速值对应的风向;对实况而言,将 24、48、72 h 时效内风速的极大值作为日极大风速,风向即取出现极大风速时的风向。

主要采用目前气象部门应用广泛的平均绝对误差(R_{MAE})对上述数值模式 10 m 风场预报产品进行检验分析,具体计算公式如下:

$$R_{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i|$$

其中 F_i 为第 i 站次预报风速(风向), O_i 为第 i 站次实况风速(风向), N 表示相应的样本量。

2 福建省冬半年沿海大风时空分布特征

2.1 空间分布特征

2.1.1 沿海海区空间分布特征

统计 2011~2012 年冬半年福建省沿海地区 11 个预报质量评定站(图 1)观测的大风资料,由图 2 可明显看出沿海地区风力时空分布有以下特征。

由于狭管效应的叠加影响,福建省中部沿海是福建省大风的重灾区。从分布情况来看,代表近海海区的 3 个浮标站,风力大小依次是平潭、厦门、宁德,台湾海峡风力明显大于福建北部海区,与预报经验相符。而从沿海海区其余 8 个站的对比中可以看出,中部沿海海区大风时数最多,其次是北部、南部沿海区域,呈纺锤型分布。位于中部沿海的莆田西高和三佛山极大风速 7 级以上的各级大风时数相近,出现 10 级以上大风的频数最多,是沿海海区中风速最大的代表站。位于北部沿海海区的福鼎灶澳与北部近海海区的宁德浮标大风时数相近,可见北部沿海和

外海的风相差不大。其余海区 2 个代表站的风力则出现较大差异,比如泉州和漳州的 2 个代表站点之间,泉州市北部的惠安崇武和漳州市南部的漳浦古

雷头极大风速 7 级以上的大风时数以百小时计,而泉州市南部的晋江围头和漳州市北部的龙海镇海角则以千小时计。表明沿海风力空间分布不均。

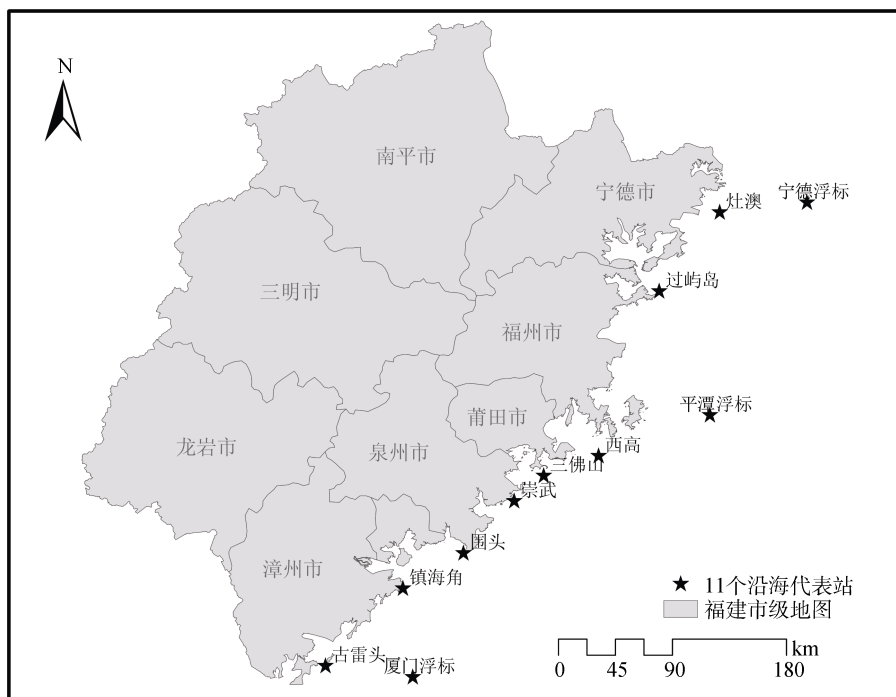


图 1 沿海预报质量评定站

Fig. 1 Coastal forecast quality assessment stations

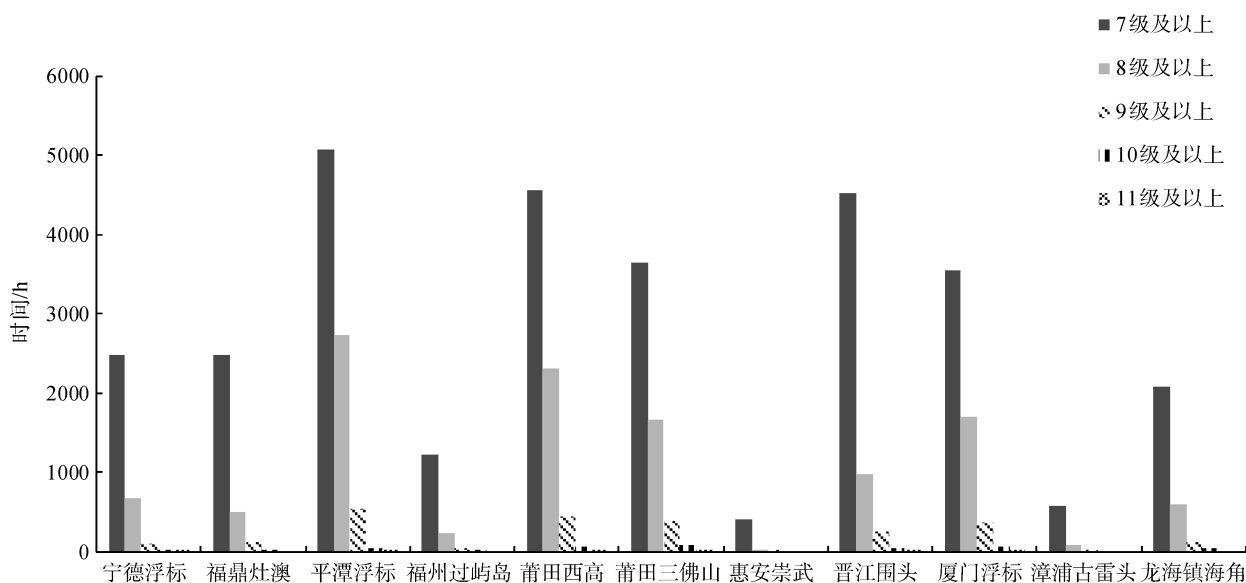


图 2 2011~2012 年冬半年福建省沿海地区 11 个预报质量评定代表站的极大风力分布图

Fig. 2 Maximum wind speed distribution of 11 coastal forecast quality assessment stations in the winter half year of 2011~2012

2.1.2 港湾岛屿空间分布特征

港湾岛屿中(图 3), 统计 26 个质量评定站观测的大风资料(图略), 中部港湾岛屿代表站大风时数和

站数也最多, 依次为莆田、福州、泉州; 其次是北部港湾岛屿的宁德; 最后是南部港湾岛屿的漳州和厦门。南部港湾岛屿风力都较小, 厦门以土屿最大, 极

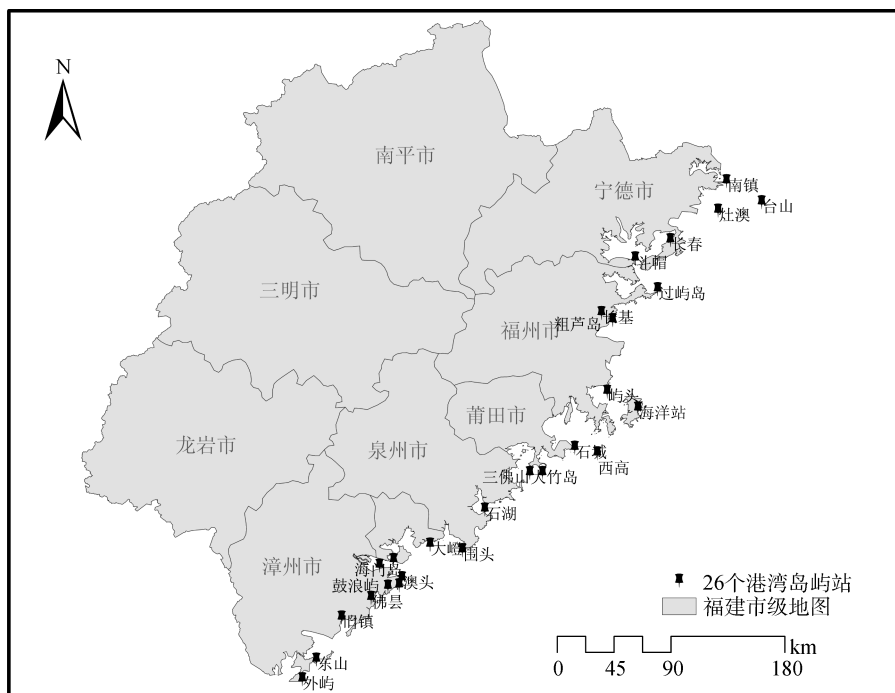


图3 港湾岛屿预报质量评定站

Fig. 3 Harbour Island forecast quality assessment stations

大风速 7 级以上的大风时数为 811 h; 漳州则以东山最大, 为 1 463 h。同一个地区的港湾岛屿出现七级以上大风时数差距悬殊的情况, 最多则上千小时, 最少才几十小时。

港湾岛屿的大风呈现出明显的局地性特征, 同一地区的港湾, 处于外海的岛屿风力明显较大, 特别是风力越强, 其局地性特征越为突出。与港湾和岛屿所处位置和自动站本身类型有密切关系, 值得各个地区于实地进行详细研究。

2.1.3 风向分布特征

福建省处东亚季风区, 是东、西风带交替影响的过渡区, 风的季节性特征明显。主导风向轴明显以东北偏北风—西南偏南风(NNE—SSW)为主, 且以东北偏北风(NNE)占优势地位。将 16 个风向简化为 4 个: 0~90°为东北风(NE)、91°~180°为东南风(SE)、181°~270°为西南风(SW)、271°~360°为西北风(NW)。沿海指标站统计结果如图 4 所示。

福建省沿海大风多为冷空气引起, 而本次研究

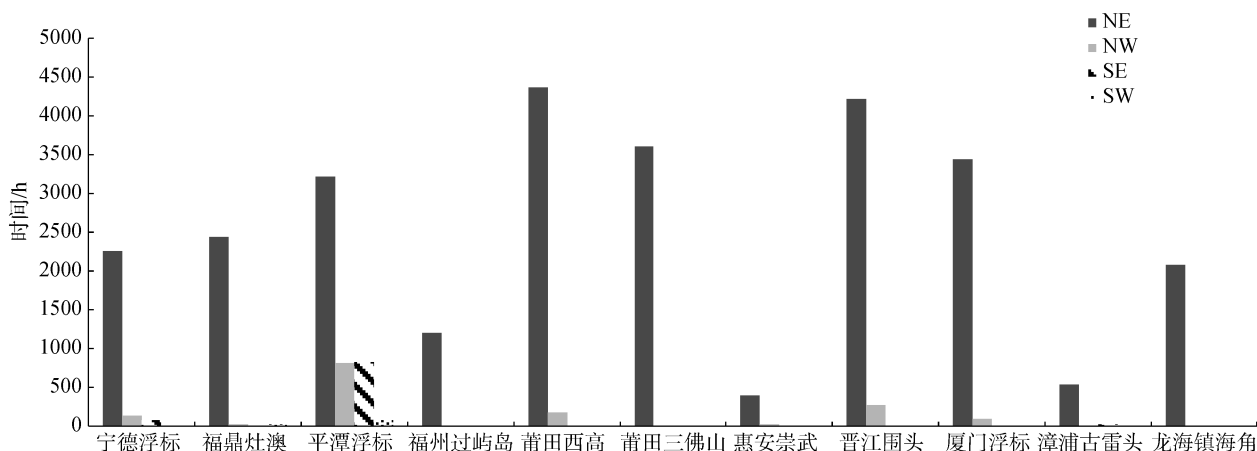


图4 2011~2012年冬半年福建省沿海地区 11 个预报质量评定代表站 7 级以上大风风向统计分布图

Fig. 4 The statistical distribution of direction of wind greater than class 7 of the 11 coastal forecast quality assessment stations in the winter half year of 2011~2012

的时间为冬半年,从图 4 可以看出,与经验结论相符,福建省冬半年的主导风向为东北风,频数最大,其次为西北风;而位于台湾海峡北部的平潭浮标站,其东南风与西北风频数相当,这与冷高压底部偏东气流,在台湾海峡诱生地形低压有关。

港湾岛屿方面,主导风向也以东北风为主,与经验结论一致。

2.2 时间分布特征

2011~2012 年冬半年逐日的天气形势普查分析结果表明:福建沿海的大风大部分是由北方冷空气南下引发的,也有冷空气和台风共同作用引发大风的例子,冷空气越强风力越大。表 1、表 2 分别是沿海和港湾岛屿代表站点的平均值。

不同风力级别活动频率各月份分布不同,对于沿海代表站来说,7 级以上大风活动频率是 12 月份次数最多,1 月份次之;8 级以上大风活动频率是 12 月份次数最多,2 月份次之;9 级以上大风活动频率是 10 月份最多,分布在 1119 号台风“尼格”和冷空气共同影响的日子,说明区域内风速极值由热带气旋造成。不同级别大风活动频率都是 3 月份最少。

对于港湾岛屿代表站来说,7 级以上大风和 8 级以上大风活动频率都是 12 月份次数最多,2 月份次之,9 级以上大风冷空气活动频率也是 10 月份最多,同样说明区域内风速极值由热带气旋造成。不同级别大风活动频率都是 3 月份最少。

因福建省沿海冬半年大风主要是由冷空气引发的,所以从时间分布可间接看出冬半年影响福建省沿海的冷空气活动频率和强度的规律如下:12 月份冷空气活动最为频繁,强度最强,7 级、8 级以上大风出现次数最多,9 级以上大风出现的次数则仅次于 10 月份;1 月份和 2 月份紧随其后,2 月份冷空气活动强度较强,8 级以上大风出现次数仅次于 12 月份。福建省沿海的冷空气活动时间分布特征与福建省气温季节变化规律相吻合,即福建的寒潮过程发生最多的月份是 12 月,对应冷空气活动频繁,强度最强,其次是 1 月^[20];而近海岸和海岛地方,常年 2 月份上旬的平均气温往往是一年中最低的时段^[21],所以对应冷空气强度也较为强烈。

3 模式误差对比分析

研究不同模式预报的风的误差,以不同地形条件下不同时距来划分类别较为合理。第 1 节资料与方法中已经将代表站按其地理位置分为海上浮标站、海

表 1 2011~2012 年冬半年沿海代表站观测的大风资料
Tab. 1 The observed data of wind of coastal stations in the winter half year of 2011~2012

风力级别 (m/s)	发生时间(h)					
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
13.9	388	377	624	478	417	274
17.2	150	135	281	182	188	94
20.8	52	20	50	28	40	16

表 2 2011~2012 年冬半年港湾岛屿代表站观测的大风资料
Tab. 2 The observed data of wind of harbor island stations in the winter half year of 2011~2012

风力级别 (m/s)	发生时间(h)					
	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
13.9	210	195	307	216	233	159
17.2	76	55	110	61	82	45
20.8	29	9	16	10	15	8

岛站、近海站、偏内陆站 4 种情况。11 个沿海海区代表站按照浮标站、海岛站进行分类;26 个港湾岛屿代表站则按照海岛站、近海站、偏内陆站进行分类。

本节以预报风速(向)和实际风速(向)之差的绝对值即平均绝对误差 R_{MAE} 作为主要研究对象。

3.1 WRF 误差分析

3.1.1 风速误差

总体来说,风速的平均绝对误差,24 h 的预报误差最大,甚至是各时次误差最大的。

如图 5a 所示,沿海 11 个代表站的平均绝对误差为 4.09 m/s,其中浮标站的风速误差均大于海岛站。图 5b 所示,港湾岛屿 26 个代表站的平均绝对误差为 2.96 m/s,风速误差依次是海岛站>近海站>偏内陆站。港湾岛屿代表站风速的平均绝对误差小于沿海代表站,离陆地越远,风速的误差越大。统计结果表明,预报风速与实况极大风速相比,大部分偏小。沿海 11 个代表站中,24~72 h 时次风速偏小的分别占 92.9%,89.4%,87.7%。港湾岛屿 26 个站中,24~72 h 风速偏小的分别占 76.4%,70.0%,67.8%。

因此在日常预报沿海和港湾岛屿站的极大风,可以根据不同情况在 WRF 预报风速的基础上加大 3~4 m/s。

我们以地形分类做更细致的讨论。沿海 11 个代表站中,对于海上浮标站而言,3 个浮标站的风速误差介于 4.31~5.60 m/s,空间分布为南北小于中部,这可能由于海面粗糙度不同引起的,中部海域由于风速较大,海面粗糙度大于南北两地。对于海岛站而

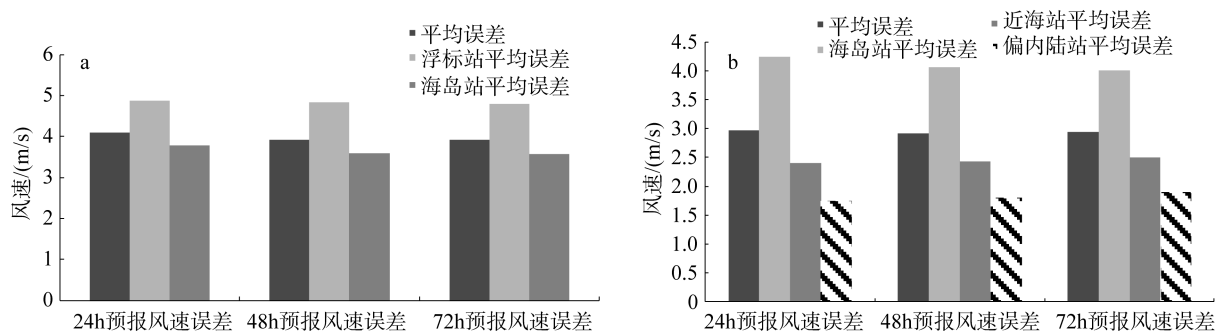


图 5 沿海代表站(a)与港湾岛屿代表站(b)风速绝对误差

Fig. 5 The absolute error of wind speed of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

言, 8 个海岛站的风速误差在 1.23~5.99 m/s, 低于浮标站, 大多数自动站(75%)在 3.22~5.99 m/s。超过 3.22 m/s 的有 6 个岛屿, 空间分布特征为中部的莆田、北部的宁德沿海以及福州沿海较大, 其他地区较小, 最小的是泉州的惠安崇武。

港湾岛屿 26 个代表站中, 对于海岛站而言, 10 个海岛站的风速误差在 2.10~6.23 m/s, 大多数自动站(80%)在 3.21~5.99 m/s。超过 3.21 的有 8 个岛屿, 空间分布特征仍以中部的莆田、北部的宁德沿海以及福州沿海较大, 其他地区较小。对于近海站而言, 10 个近海站的风速误差在 1.27~3.67 m/s, 小于海岛站, 空间分布特征为中部的莆田沿海较大, 其次为南部漳州沿海的东山和泉州沿海的石湖。偏内陆站的风速误差则最小, 集中在 1.50~1.96 m/s, 其中北部的福州沿海和宁德沿海最大, 大部分在 1.9 m/s 以上, 其次是南部的厦门沿海在 1.82 m/s 以上, 其他地区小于 1.7 m/s, 在实际应用时需根据局地地形情况考虑。

可以看出, 风速误差由沿海向内陆逐渐减小, 空间分布总的特点是中部、北部沿海的误差最大, 其他地区较小。

3.1.2 风向误差

预报误差随时效增加逐渐加大。如图 6a 所示,

沿海 11 个代表站的平均风向误差为 48°, 其中浮标站的风向误差均大于海岛站。如图 6b 所示, 港湾岛屿 26 个代表站的平均风向误差为 53°, 风向平均误差依次是海岛站<近海站<偏内陆站。港湾岛屿代表站风向的平均绝对误差大于沿海代表站。因港湾岛屿代表站的位置相对而言更靠近内陆, 受地形和下垫面影响较大, 风向的角度变化较大。其中又以浮标站的风向误差最大, 偏内陆站次之。浮标站位于海上无遮挡, 而内陆站受地形影响较大, 其风向的瞬时性和脉动性比较强。

另外, 统计结果表明, 沿海 11 个代表站中, 24~72 h 风向角度偏大的占 6 成左右, 偏小的占 4 成左右。港湾岛屿 26 个站中, 24~72 h 风向角度偏大的占 4 成左右, 偏小的占 6 成左右。

因此在日常预报沿海和港湾岛屿站的极大风, 可以根据不同情况在 WRF 预报风向的基础上考虑加大或减小 45°~50°。

在沿海 11 个代表站中, 对于海上浮标站而言, 3 个浮标站的风向误差介于 57.40°~112.12°, 空间分布为南北小于中部, 这是由于台湾海峡的狭管效应影响, 风向的瞬时性较大。对于海岛站而言, 8 个海岛站的风向误差在 17.67°~52.67°, 低于浮标站。除福州

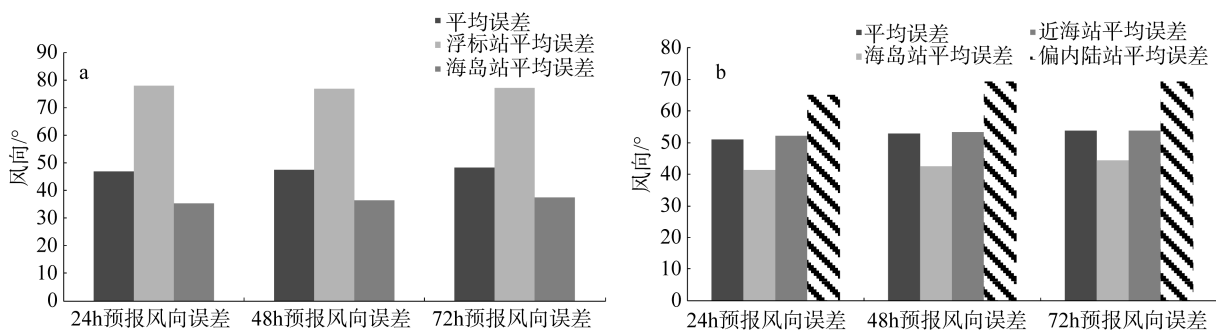


图 6 沿海代表站(a)与港湾岛屿代表站(b)风向绝对误差

Fig. 6 The absolute error of wind direction of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

过屿岛风向误差超过 45°，其余站误差都在 45°以内，可参考性比较强。

在港湾岛屿 26 个代表站中，对于海岛站而言，10 个海岛站的风向误差在 18.16°~97.65°，北部宁德沿海的沙埕南镇、福鼎台山以及福州沿海的过屿岛风向误差超过 45°，误差较大，其他地区误差较小。对于近海站和偏内陆站而言，风向误差各地差异较大，其中北部的福州沿海和宁德沿海最大，其次是南部的漳州沿海和厦门沿海，在实际应用时需考虑局地地形情况和所处的地理位置。可以看出，对风速这种连续的、有规律变化的气象要素，预报效果相对较好，而对于风向这种离散型、脉动明显的气象要素，它们的形成既与大型环流背景有关，又与中小尺度天气系统密切相联，并受地形、地貌、地理位置、观测环境等众多因素的影响，模式很难精细反映它们的变化，预报效果差。

3.1.3 大风预报误差

WRF 大风预报(指 7 级及以上大风)中，风速的预报误差随着预报时效的增大而减小。沿海代表站中，7、8、9、10 级风的平均误差分别达 3.67、5.10、6.82 和 8.88 m/s；港湾岛屿代表站中，7、8、9、10 级风的平均误差分别达 3.31、4.79、7.1 和 9.28 m/s。可以看出，随着级数的增加，平均误差增加。其中 7 级风的平均误差略小于总体样本误差，7 级风和 8 级风的平均误差约为 4 m/s，接近 1 级，可参考性较高。大风分级风向预报误差与总体样本误差相比，均较小，且平均绝对误差都在 45° 以内，具有良好的参考性；港湾岛屿代表站的风向误差明显小于沿海代表站的风向误差。说明在 WRF 的大风预报中，风向的可预报能力比较强。

综上所述，当 WRF 预报 10~12 m/s 的风速时，可以考虑沿海和港湾岛屿代表站出现 7 级阵风；预报 14 m/s 的风速时，可以考虑出现 8 级阵风；预报 16 m/s 的风速时，考虑出现 9 级阵风；预报 18 m/s 的风速

时，考虑出现 10 级阵风。风向可直接参考预报的风向。

3.2 EC 细网格误差分析

3.2.1 风速误差

总体来说，风速的平均绝对误差随时效增大，72 h 的预报误差最大。

如图 7a 所示，沿海 11 个代表站的平均绝对误差为 4.98 m/s，其中浮标站的风速误差均大于海岛站。图 7b 所示，港湾岛屿 26 个代表站的平均绝对误差为 3.95 m/s，风速平均误差依次是海岛站>近海站>偏内陆站。港湾岛屿代表站风速的平均绝对误差小于沿海代表站。离陆地越远，风速的误差越大。

统计结果表明，预报风速与实况极大风速相比，大部分偏小。沿海 11 个代表站中，其中 24~72 h 时次风速偏小的分别占 96.8%、96.1%、96.5%。港湾岛屿 26 个站中，其中 24~72 h 风速偏小的分别占 93.3%、92.7%、92.7%。

因此在日常预报沿海和港湾岛屿站的极大风，可以根据不同情况在 EC 细网格预报风速的基础上加大 4~5 m/s。

在沿海 11 个代表站中，对于海上浮标站而言，3 个浮标站的风速误差介于 4.55~6.37 m/s，空间分布为南北小于中部。对于海岛站而言，8 个海岛站的风速误差在 1.69~6.56 m/s，低于浮标站，大多数自动站(75%)在 4.14~6.56 m/s。超过 4.14 的有 6 个岛屿，空间分布特征为中部的莆田、北部的宁德沿海以及漳州沿海较大，其他地区较小，最小的是泉州的惠安崇武。

在港湾岛屿 26 个代表站中，对于海岛站而言，10 个海岛站的风速误差在 2.53~7.70 m/s，大多数自动站(80%)在 4.14~7.7 m/s。超过 4.14 m/s 的有 8 个岛屿，空间分布特征为中部的莆田、北部的宁德沿海以及福州沿海较大，其他地区较小。对于近海站而言，10 个近海站的风速误差在 1.09~5.67 m/s，小于海岛站。空间分布特征为中部的莆田沿海较大，其次为南部漳州沿海的东山和泉州沿海的石湖。偏内陆站的

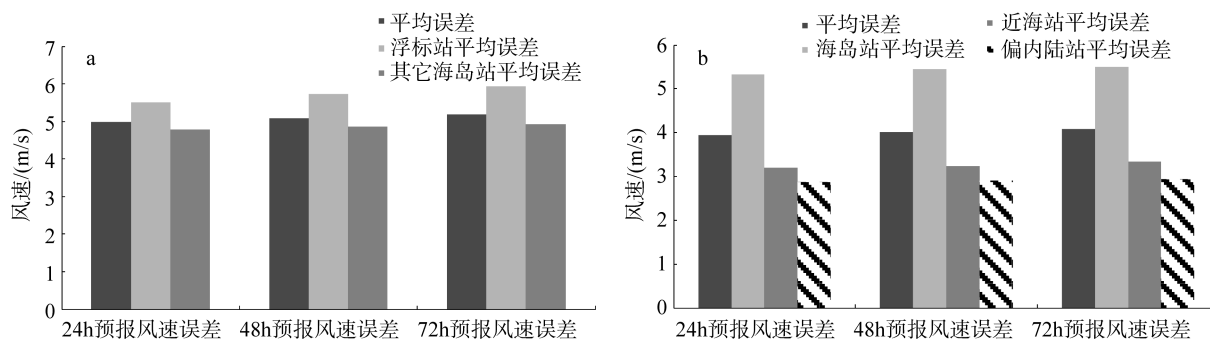


图 7 沿海代表站(a)和港湾岛屿代表站(b)风速绝对误差

Fig. 7 The absolute error of wind speed of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

风速误差为最小,集中在 1.80~3.85 m/s,其中北部的福州沿海和宁德沿海最大,大部分在 3.68 m/s 以上,其次是南部的厦门沿海,在 2.64 m/s 以上,在实际应用中需根据局地地形情况考虑。

可以看出,风速误差由沿海向内陆逐渐减小,空间分布总的特点是中部、北部沿海的误差最大,其他地区较小。EC 细网格模式风速误差的空间分布与 WRF 模式相同,误差略大于 WRF 模式。

3.2.2 风向误差

预报误差大致随时间逐渐加大。如图 8a 所示,沿海 11 个代表站的平均风向误差为 42°,其中浮标站的风向误差均大于海岛站。图 8b 所示,港湾岛屿 26 个代表站的平均风向误差为 51°,风向平均误差依次是海岛站<近海站<偏内陆站。港湾岛屿代表站风向的平均绝对误差大于沿海代表站。其中以偏内陆站的风向误差最大,浮标站次之。

另外,统计结果表明,沿海 11 个代表站中,24~72 h 风向角度偏大的占 6 成左右,偏小的占 4 成

左右。港湾岛屿 26 个站中,24~72 h 风向角度偏大的占 4 成左右,偏小的占 6 成左右。

因此在日常预报沿海和港湾岛屿站的极大风,可以根据不同情况在 EC 细网格预报风向的基础上考虑加大或减小 45°~50°。

沿海 11 个代表站中,对于海上浮标站而言,3 个浮标站的风向误差介于 33.1°~111.1°,空间分布为南北小于中部。对于海岛站而言,8 个海岛站的风向误差在 16.76°~57.17°,低于浮标站。除福州过屿岛和莆田西高风向误差超过 45°,其余站误差都在 45°以内,可参考性比较强。

港湾岛屿 26 个代表站中,对于海岛站而言,10 个海岛站的风向误差在 13.85°~95.95°,北部宁德沿海的沙埕南镇、福鼎台山、福州沿海的过屿岛以及莆田西高风向误差超过 45°,误差较大,其他地区误差较小。对于近海站和偏内陆站而言,风向误差各地差异较大,其中北部的福州沿海和宁德沿海最大,其次是南部的漳州沿海和厦门沿海,在实际应用时需考虑局地地形情况和所处的地理位置。

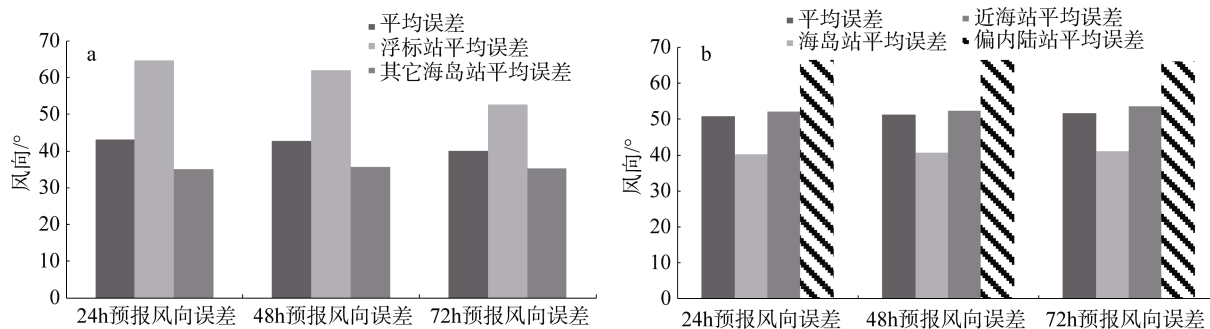


图 8 沿海代表站(a)与港湾岛屿代表站(b)风向绝对误差

Fig. 8 The absolute error of wind direction of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

3.2.3 大风预报误差

EC 细网格大风预报中,风速的预报误差随着预报时效的增大而减小。沿海代表站中,7、8、9、10 级风的平均误差分别达 4.89、6.56、8.48 和 10.79 m/s。港湾岛屿代表站中,7、8、9、10 级风的平均误差分别达 5.27、7.03、9.61 和 10.78 m/s。可以看出,随着级数的增加,平均误差增加。其中 7 级风的平均误差略小于总体样本误差,7 级风的平均误差约为 4 m/s,接近 1 级,可参考性较高。大风分级风向预报误差与总体样本误差相比,均较小,且平均绝对误差都在 45°以内,具有良好的参考性。港湾岛屿代表站的风向误差,明显小于沿海代表站的风向误差。说明 EC 细网格大风预报中,风向的可预报能力也比较强。

综上所述,沿海代表站方面,当 EC 细网格预报 10~12 m/s 的风速时,可以考虑出现 7 级阵风;预报 14 m/s 的风速时,可以考虑出现 8 级阵风;预报 16 m/s 的风速时,考虑出现 9~10 级阵风。港湾岛屿代表站方面,预报 10 m/s 的风速时,考虑出现 7 级阵风;预报 12 m/s 的风速时,可以考虑出现 8 级阵风;预报 14 m/s 的风速时,考虑出现 9 级阵风;预报 16 m/s 的风速时,考虑出现 10 级阵风。风向可直接参考预报的风向。

3.3 T639 误差分析

3.3.1 风速误差

总体来说,风速的平均绝对误差,48 h 的预报误差最大。

如图 9a 所示, 沿海 11 个代表站的平均绝对误差为 11 m/s, 其中浮标站的风速误差均大于海岛站。图 9b 所示, 港湾岛屿 26 个代表站的平均绝对误差为 8.25 m/s, 风速平均误差依次是海岛站>近海站>偏内陆站。港湾岛屿代表站风速的平均绝对误差小于沿海代表站。离陆地越远, 风速的误差越大。T639 的风速预报误

差远超过 WRF 和 EC 细网格模式, 可参考性较低。

统计结果表明, 预报风速与实况极大风速相比, 大部分偏小。沿海 11 个代表站中, 其中 24~72 h 时段风速偏小的分别占 98.7%, 98.5%, 98.6%。港湾岛屿 26 个站中, 其中 24~72 h 风速偏小的分别占 95.6%, 95.4%, 95.3%。

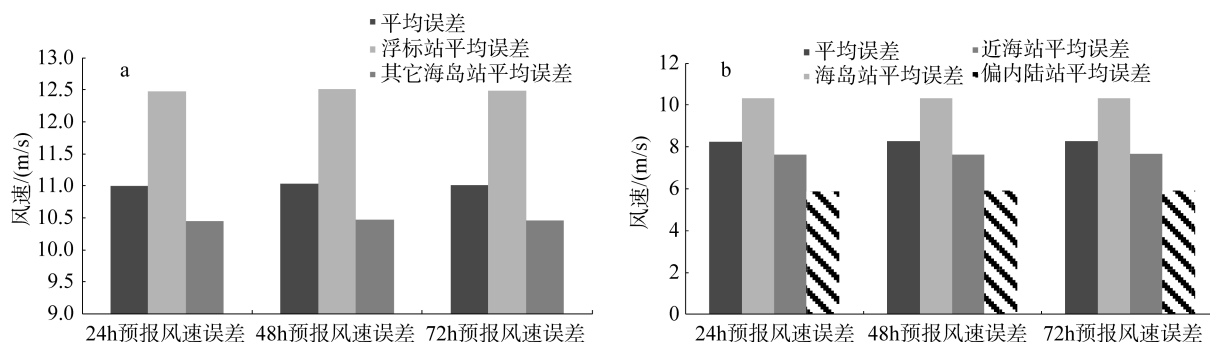


图 9 沿海代表站(a)与港湾岛屿代表站(b)风速绝对误差

Fig. 9 The absolute error of wind speed of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

在沿海 11 个代表站中, 对于海上浮标站而言, 3 个浮标站的风速误差介于 10.06~13.89 m/s, 空间分布为南北小于中部。对于海岛站而言, 8 个海岛站的风速误差在 6.81~12.67 m/s, 低于浮标站, 大多数自动站(75%)在 8.43~12.67 m/s。超过 8.43 m/s 的有 6 个岛屿, 空间分布特征为中部的莆田、北部的宁德沿海以及漳州沿海较大, 其他地区较小, 最小的是泉州的惠安崇武。

在港湾岛屿 26 个代表站中, 对于海岛站而言, 10 个海岛站的风速误差在 4.97~12.94 m/s, 大多数自动站(70%)在 10.39~12.94 m/s。超过 10.39 m/s 的有 7 个岛屿, 空间分布特征为中部的莆田、北部的福州沿海较大, 其他地区较小。对于近海站而言, 10 个近海站的风速误差在 1.86~12.32 m/s, 小于海岛站。空间分布特征为南部漳州沿海的东山最大, 其次中部的莆田沿海。偏内陆站的风速误差为最小, 集中在 4.23~6.96 m/s, 其中南部的厦门沿海最大, 其次是漳州沿海。

可以看出, 风速误差由沿海向内陆逐渐减小, 空间分布总的特点是中部和南部沿海的误差较大, 尤其是南部的误差偏大, 这一点与上述两个模式有所不同。

3.3.2 风向误差

预报误差大致随时间逐渐加大。如图 10a 所示, 沿海 11 个代表站的平均风向误差为 161°, 其中浮标站的风向误差均大于海岛站。图 10b 所示, 港湾岛屿 26 个代表站的平均风向误差为 141°, 风向平均误差依次是海岛站>近海站>偏内陆站。港湾岛屿代表站

风向的平均绝对误差小于沿海代表站。以浮标站的风向误差最大, 但偏内陆站却最小。另外, 统计结果表明, 沿海 11 个代表站中, 24~72 h 风向角度偏大的占 8 成左右, 偏小的占 2 成左右。港湾岛屿 26 个站中, 24~72 h 风向角度偏大的占 7 成左右, 偏小的占 3 成左右。

由此可见, T639 对于风向的预报, 十分不理想。最直接的原因, 应与其模式的分辨率有关。

3.3.3 大风预报误差

T639 大风预报中, 随着级数的增加, 风速的平均误差增加。沿海代表站中, 7、8、9、10 级风的平均误差分别达 11.31、14.54、18.28 和 22.16 m/s。港湾岛屿代表站中, 7、8、9、10 级风的平均误差分别达 10.97、14.15、18.28 和 20.12 m/s。大风分级风向预报误差总体较大, 参考不佳。

综上所述, 当 T639 预报 8 m/s 的风速时, 即可考虑出现 8 级阵风; 预报 10 m/s 的风速时, 可以考虑出现 9~10 级阵风。

4 总结

综合全文代表站的统计分析, 可以得出以下结论:

- 1) 福建沿海冬半年大风的盛行风向比较集中, 以东北风为主。大风由冷空气引发, 就频数而言: 12 月份最多, 强度最强, 其次是 1 月份和 2 月份。
- 2) 统计表明福建省沿海冬半年大风的空间分布极为不均, 中部海区大风时数最多, 其次是北部、南部

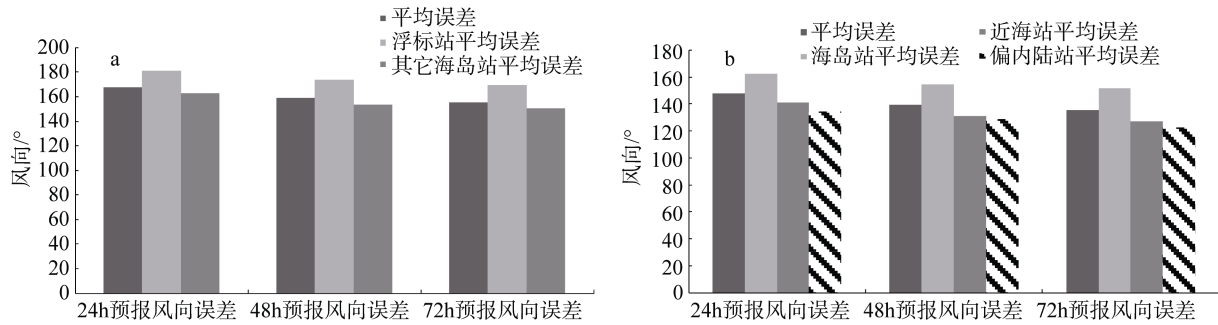


图 10 沿海代表站(a)与港湾岛屿代表站(b)风向绝对误差

Fig.10 The absolute error of wind direction of coastal stations (a) and harbor island stations (b)

海区,呈纺锤型分布。同一海区的港湾,处于外海的岛屿风力明显较大,特别是风力越强,其局地性特征越为突出。沿海风力的脉动性、跳跃性、局地性突出。

在分析模式模拟结果时我们注意到模拟风速与实测风速存在一定的误差,模拟风向与实测风向也不完全一致,这些误差的产生可能有 3 个原因:一是模式的系统性误差,数值模式由于网格距和积分时间步长等因素,模拟风速和实际风速不可能完全一致,只是在一定程度上代表实际风速,误差的存在不可避免;二是与模式调试过程中参数的选取有关,敏感性试验表明,下垫面参数(植被高度,土地利用等)的变化对模拟风速变化影响较为明显;三是观测场局地环境的变化对观测数据的准确性也有一定影响,用不准确的观测数据对模拟数据进行验证,也会带来虚假误差。

从模式的对比分析,我们可以看出:

1) 从风速的模拟效果来看,预报效果最好的模式是 WRF 模式,平均绝对误差为 3~4 m/s;其次是 EC 细网格模式,平均绝对误差为 4~5 m/s;T639 误差最大,可参考性最小。3 个模式的预报风速与实况极大风速相比,总体来说都偏小。港湾岛屿代表站风速的平均绝对误差均小于沿海代表站。风速误差由沿海向内陆逐渐减小,空间分布总的特点 EC 和 WRF 是中部、北部沿海的误差最大,而 T639 是中部、南部沿海的误差最大。

2) 从风向的模拟效果来看,预报效果最好的模式是 EC 细网格模式,其次是 WRF 模式,平均绝对误差是 45°~50°;T639 误差最大,无可参考性。WRF 和 EC 细网格的预报风向,沿海站预报的角度偏大的占的比例较多,而港湾岛屿站则预报角度偏小的占的比例较多;T639 的预报风向以偏大的为主。港湾岛屿代表站风向的平均绝对误差大于沿海代表站。风向误差以浮标站最大。

3) 当观测风速出现 7 级及以上风速时,对大风进行分级检验,统计特征分析显示较低风速条件下的检验结果一般优于高风速,即随着级数的增加,风速的平均绝对误差增加。大风分级风向预报误差与总体样本误差相比,均较小,且平均绝对误差都在 45°以内,具有良好的参考性。

参考文献:

- [1] 刘玉彻,王连仲,赵凡,等. 辽宁葫芦岛地区海陆风及热内边界层研究[J]. 海洋科学, 2012, 36(1): 87-93.
- [2] 盛春岩. 不同天气尺度系统风下的海风发生发展过程对比分析[J]. 海洋科学, 2011, 35(1): 88-96.
- [3] 赵永平,陈永利,杨连素,等. 沿海市区近地面大气层风、温、湿湍流特征的观测和分析[J]. 海洋科学, 1993, (2): 52-55.
- [4] 刘志亮,宋丽娜,王凡,等. 北黄海 QuikSCAT 卫星风速与浮标风速的对比分析[J]. 海洋科学, 2012, 36(3): 1-7.
- [5] 刘京雄,唐文伟,朱持则,等. 浙闽沿海和台湾海峡海域冬季大风风速计算方法探讨[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1): 8-13.
- [6] 毛绍荣,林镇国,梁健,等. 广东沿海强东北季风的概率预报方法[J]. 热带气象学报, 2003, 19(1): 94-100.
- [7] 周伟隆,陈往溪,肖巍. 粤东海面冷空气强风的统计分析预报[J]. 广东气象, 2005, 4: 20-22.
- [8] 颜梅,范宝东,满柯,等. 黄渤海大风的客观相似预报[J]. 气象科技, 2004, 32(6): 467-470.
- [9] 林良勋,程正泉,张兵,等. 完全预报(PP)方法在广东冬半年海面强风业务预报中的应用[J]. 应用气象学报, 2004, 15(4): 486-493.
- [10] 叶燕华,王平鲁,孙兰东. 用 MOS 法建立预报方程的试验流程[J]. 甘肃气象, 2002, 20(1): 13-15.

- [11] Facsimile Products . Max/Min temperature forecasts[Z]. National weather service forecasting handbook No.1 (July 1979) U.S. Department of commerce NOAA National Weather Service, 1979.
- [12] 刘还珠, 赵声蓉, 陆志善, 等. 国家气象中心气象要素的客观预报—MOS 系统[J]. 应用气象学报, 2004, 15(2): 181-191.
- [13] 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.
- [14] 陈贝, 张勇, 詹晓琴, 等. MOS 预报方法研究[J]. 四川气象, 2005, 92: 6-8.
- [15] 辜旭赞. 湖北分县 MOS 预报系统建立与评分[J]. 气象, 2008, 34(2): 43-51.
- [16] 陈春忠, 曾文慧, 吴婷婕, 等. 莆田市沿海冬季大风时空分布不均的成因探讨[C] //福建省气象学会. 福建省 2012 年气象学会年会论文集. 福建: 《福建气象》编辑部, 2012: 71-75.
- [17] 叶宾宾, 蓝秋萍, 饶灶鑫, 等. T213 的 1000HPa 风场预报检验与应用[C] //福建省气象学会. 福建省 2009 年气象学会年会论文集. 福建: 《福建气象》编辑部, 2009: 212-215.
- [18] 陈德花, 刘铭, 苏卫东, 等. BP 神经网络在 MM5 预报福建沿海大风中的释用[J]. 暴雨灾害, 2010, 29(3): 263-267.
- [19] 福建省气象局科技与预报处. 关于印发《福建省灾害性天气预报服务用语暂行规定》的通知(闽气科预函〔2012〕8 号文)[Z]. 福建: 福建省气象局, 2012.
- [20] 林新彬, 刘爱鸣, 林毅, 等. 福建省天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 145.
- [21] 福建省地方志编纂委员会. 福建省志. 气象志[M]. 北京: 方志出版社, 1996: 6.

Test and application of WRF, EC and T639 Models in strong wind forecasting in Fujian Coast in winter half year

ZENG Jin-yu¹, HAN Mei¹, WU Xing-yu¹, LIN Qing¹, LIAO Kuo²

(1. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China; 2. Ningde Meteorological Administration, Ningde 352100, China)

Received: Jul., 21, 2014

Key words: WRF (Weather Research and Forecast); EC (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) -thin; T639(TL639L60); the test of strong wind; winter; Fujian coast

Abstract: Wind speed and direction at 10 m height forecast by three models including WRF, EC-thin and T639 have been compared with hourly maximum wind got by automatic weather station in Fujian coast in winter half year. Results showed that the prevailing wind direction was north-easterly wind, the space-time distribution of strong wind was uneven and the main characters of strong wind were pulsatile, jumping and local. The simulation effects of strong wind forecast by three models have been discussed, and the results showed that EC-thin and WRF are relatively accurate and T639 is not reliable. For wind speed, the forecast results of three models were less than the maximum wind. The mean absolute deviation of forecasting speed results was greater than those in harbor and coast, which gradually reduced from coast to inland, and from middle coast to southern and northern coast. The forecasting results of wind direction were worse than wind speed. The forecasting direction results of WRF and EC-thin whose deviation was between 45 and 50 degree can be referenced. The mean absolute deviation of forecasting direction results was greater than those in harbor and coast, and those of buoys were greatest. When the wind speed was equal to or greater than seven, the wind was divided to different grades for testing. It turned out that the mean absolute deviation of lower speed was less than that of higher speed, and the deviation of forecasting direction results was greatly reduced, which can be referenced.

(本文编辑: 李晓燕)