ECMWF 模式温度预报在山东半岛沿海地区的检验

李建华[1,2], 周 丹[2], 崔宜少[2]

（1. 山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南 250031；
2. 威海市气象局, 山东 威海 264200）

摘 要：利用 2017 年至 2019 年山东半岛 15 个沿海气象站观测资料和欧洲中期天气预报中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts，ECMWF）细网格模式预报数据，采用逐日预报准确率和逐月平均差值计算方法，对地面 2 m 温度进行了检验，针对威海地区冷空气、冷流降雪和海雾过程分别进行了预报性能检验。结果表明：24 h 时效内预报误差≤2 ℃ 时，低温预报准确率为 60%～95%，高温预报准确率为 50%～89%。低温预报中，北部沿海和南部沿海在 3 月至 9 月逐月平均预报误差小于 1 ℃。冷空气过程高温预报正负差值比率相当，低温预报正差值的占比较大，最高为 96%；冷流降雪过程中，高、低温预报整体以正差值为主；浓雾出现区域，模式的低温预报偏高。模式结果可为 3 月至 9 月低温预报提供较好的参考依据。

关键词：山东半岛；预报性能检验；海雾；冷流降雪

中图分类号：P456.7 **文献标志码：**A **文章编号：**1002-3682（2023）03-0218-13

doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20220430001

引用格式：李建华, 周丹, 崔宜少, 2023. ECMWF 模式温度预报在山东半岛沿海地区的检验[J]. 海岸工程, 42(3): 218-230. LI J H, ZHOU D, CUI Y S, 2023. Verification of ECMWF fine grid model for air temperature in Shandong Peninsula coast areas[J]. Coastal Engineering, 42(3): 218-230.

随着社会经济的发展，人们对天气预报的关注度越来越高，对预报的准确性和精细化程度要求也越来越高，这对气象工作者提出了更严峻的考验。代刊等（2016）研究表明天气预报的准确率与数值模式的发展密不可分，在暴雨预报中，预报员和模式的评分曲线变化波动基本一致，数值预报模式的发展为提高天气预报准确率提供了重要科技支撑。目前，数值预报模式已成为天气预报不可或缺的重要工具。

近年来数值预报模式迅猛发展，降水、风场和温度等气象要素的预报准确率有了明显提高，为保持中短期天气预报的精准度奠定了基础。但是，数值预报模式输出的气象要素预报仍然存在不同程度的系统性误差。为减小误差，须采用适当的算法进行订正，从而提高预报准确率（马清等，2008；赵声蓉等，2012）。目前，我国各级预报业务部门已经开展了一些预报检验和订正算法工作，国家气象中心建立了“国家级天气预报检验分析系统”，以实现对各级网格预报产品的常规检验评估（韦青等，2020）；吴启树等（2017）基于当地天气特点，设计了基于 TS 评分最优化订正算法（Optimal Threat Score method，OTS 算法）及基于公平技巧评分（Equitable Threat Score，ETS）最优化订正算法（Optimal Equitable Threat Score method，OETS 算法）。同时许多气象学者对不同模式的预报结果进行了检验，以了解模式的性能。牛嫣静等（2020）利用中国 2 100 个地面观测站数据，对比全球预报系

收稿日期：2022-04-30
资助项目：中国气象局创新发展专项（CXFZ2023J084）；山东省气象局科学技术研究项目（2022sdqxm04）；山东省气象局项目（2021SDYD36 和 SDYBY2018-12）
作者简介：李建华（1980—），女，正高级工程师，硕士研究生，主要从事短期预报方面研究.
E-mail: jianhua80@126.com

（王 燕 编辑）

统（Global Forecast System，GFS）、ECMWF 和中国气象局数值预报中心 T639 模式（T639）三种全球气象模式的气温预报结果表明，ECMWF 预报性能最佳，GFS 次之，T639 预报性能最差；张峰（2017）和任宏昌（2018）对 T639、ECMWF 和日本模式中期时效预报产品进行了检验，发现 3 个模式在 144 h 时效内的预报能准确反映出亚洲中高纬地区大尺度环流形势的演变和调整，ECMWF 模式预报性能最好，且 ECMWF 模式对南、北方温度变化的预报能力均优于 T639 和日本模式。ECMWF 模式作为高分辨率模式之一，数据获取方便，在预报业务使用过程中有着较大的优势。

数值模式的形势预报目前已经较为准确，但天气要素预报在特定地理区域、特殊天气过程中还存在较大误差。温度作为最基本的气象要素，公众对其准确性的要求也在不断提高。齐铎等（2020）对中国东北、中北部 2 m 温度进行了数值预报检验，发现气温预报准确率与海拔高度呈负相关关系，山区预报准确率偏低，同时气温预报偏差还有明显的日变化特征，夜间预报气温值较实际值显著偏高；万夫敬等（2018）分析了 ECMWF 模式对青岛地区逐日最高、最低气温的预报性能，认为 ECMWF 模式对暴雨、强对流、回暖天气、冷空气过程最高气温预报偏低，海雾影响时最高气温预报偏高；祁丽燕等（2015）得出 ECMWF 模式对华南西部地区的低温预报误差整体较小，冬春季冷空气和春季阴雨过程高温预报有一定的参考价值，夏季暴雨过程和副热带高压影响过程高温预报的参考价值较低；曲巧娜等（2015）和范苏丹等（2015）对山东省 2 m 温度的 ECMWF 模式结果进行检验，发现 ECMWF 模式对内陆地区最高气温的预报表现稳定，保持较高的准确率，对沿海地区的预报误差较大，最高气温的预报准确率最低。

沿海地区的气温预报一直是气象工作者的业务难点，山东半岛三面环海，海岸线长 3 000 多 km，沿海气象台站处于邻近海洋的环境，且周围多为丘陵性地形，受地理位置和各种气候影响，气温在时间和空间上变化较大，温度预报难度大。基于此，非常有必要对沿海地区的模式误差分析和订正。本文选取山东的烟台 5 个气象站、威海 6 个气象站和青岛 4 个气象站（共 15 个）的沿海气象站作为代表站，对 ECMWF 模式 2 m 温度产品进行检验，以期提高山东半岛沿海地区 2 m 温度的预报能力。

1　数据和检验方法

选取山东半岛 15 个沿海气象站作为代表站，分别为烟台地区的长岛站、蓬莱站、龙口站、牟平站和烟台站五个气象站，威海地区的成山头站、文登站、荣成站、乳山站、石岛站和威海站六个气象站，以及青岛地区的胶州站、崂山站、即墨站和青岛站四个气象站。按照海区相对气象站的地理位置不同，将所选气象站分为北部沿海气象站、南部沿海气象站和东部沿海气象站，其中烟台地区气象站归为北部沿海气象站，青岛地区气象站和威海地区乳山气象站归为南部沿海气象站，威海地区其他气象站归为东部沿海气象站。气象站对应位置如图 1 所示。

使用的检验资料为：2017 年至 2019 年逐日最高、最低 2 m 温度的实况数据和模式预报产品，共 1 095 个样本。实况数据为气象站实测的 20:00—20:00 逐日最高、最低气温；模式产品从山东省气象科学研究所获取，用距离权重线性插值方法将空间分辨率为 0.125º×0.125º的 ECMWF 模式格点数据转换为站点数据，便于与站点数据进行检验。时间分辨率为 3 h，预报时长为 96 h。采用 08:00（北京时间，下同）起报场，将 12～36 h 时间段的预报场定义为 24 h 预报，36～60 h 定义为 48 h 预报，60～84 h 定义为 72 h 预报。

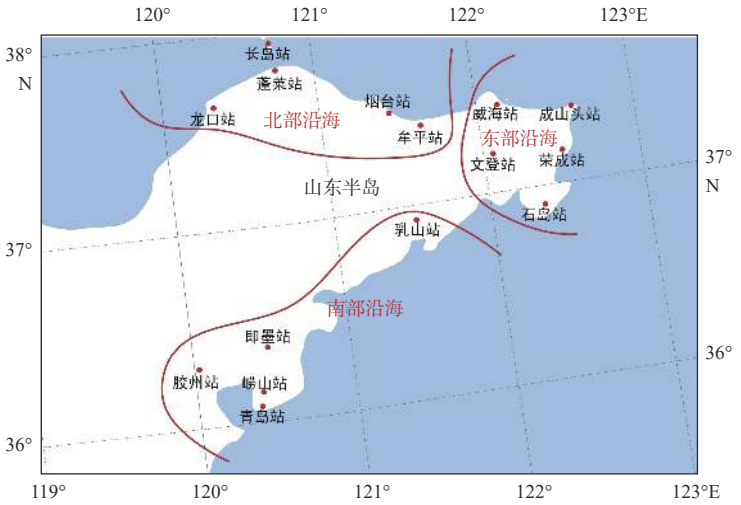


图 1 选取的山东半岛 15 个沿海气象站位置及所属沿海区域划分

Fig. 1 Locations of the selected 15 meteorological stations and the coastal area divisions in the Shandong Peninsula

采用逐日温度预报误差≤1 ℃、≤2 ℃ 的预报准确率直接检验和逐月预报平均差值检验，预报误差 T_Δ、平均预报差值 T_{ave} 和预报准确率 T_k 的公式分别为：

$$T_\Delta = |(F_i - O_i)|, \tag{1}$$

$$T_{\text{ave}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(F_i - O_i), \tag{2}$$

$$T_K = \frac{N_K}{N} \times 100\%, \tag{3}$$

式中：F_i为第 i 天预报温度；O_i为模式预报的第 i 天实况温度；N为总预报天数；K可取 1 和 2，分别代表$|F_i - O_i|$≤1 ℃ 和$|F_i - O_i|$≤2 ℃。

2 结果分析

2.1 逐日检验

计算分析 2017 年至 2019 年逐日最高、最低温度预报误差≤1 ℃、≤2 ℃ 的预报准确率，结果如下所述。

2.1.1 误差≤1 ℃

2017 年至 2019 年 ECMWF 模式误差≤1 ℃ 的各站预报准确率分布如图 2 所示。从图 2 可以看出，在 72 h 预报时效内，绝大多数气象站预报误差≤1 ℃ 的预报准确率随预报时效的延长而降低，本文对 24 h 温度预报准确率进行检验分析（由于 48～72 h 与 24 h 预报规律相似，不做具体分析）。2017 年至 2019 年，24 h 高温的预报准确率为 25%～66%，低温的预报准确率为 27%～65%；高温预报准确率≥50% 的站点为烟台站、文登站、乳山站、胶州站，这 4 个站点高温预报准确率在 2017 年达到最高，其中烟台站高温预报准确率最高，为 66%；低温准确率≥50% 的站点为蓬莱站、龙口站、牟平站、荣成站、乳山站、崂山站、即墨站和青岛站，这 8 个站点低温预报准确率在 2017 年达到最高，其中青岛站低温预报准确率最高，为 65%。2017 年至 2019 年任一年高温预报准确率≤30% 的站点为长岛站和石岛站；2017 年至 2019 年任一年低温预报准确率≤30% 的站点为成山头站。综合分析结果可知，ECMWF 模式对高温预报性能较好的气象站为烟台站、文登站、乳山站和胶州站，

预报性能较差的气象站为长岛站和石岛站；ECMWF 模式对低温预报性能较好的站点为蓬莱站、龙口站、牟平站、荣成站、乳山站、崂山站、即墨站和青岛站，预报性能较差的站点为成山头站。

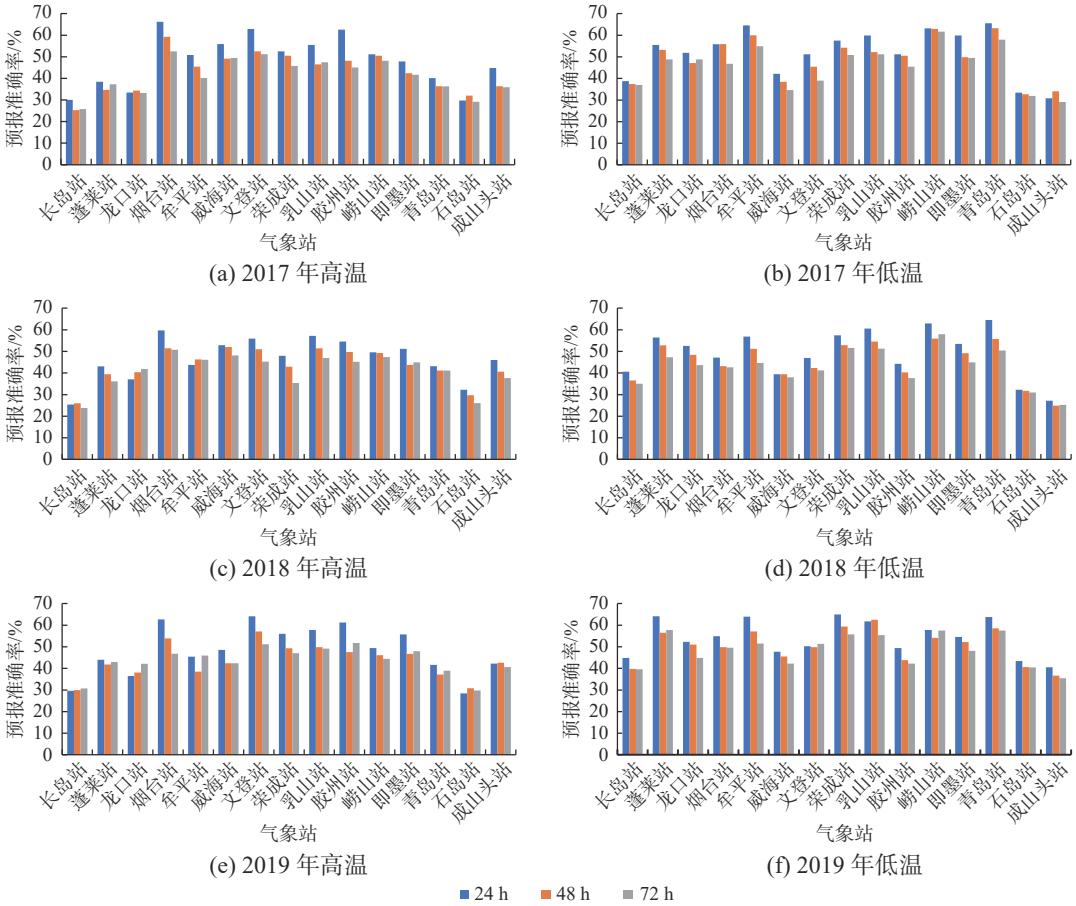


图 2　2017 年至 2019 年 ECMWF 模式误差≤1 ℃ 的预报准确率

Fig. 2　Forecast accuracy at the case of ECMWF model error ≤1 ℃ from 2017 to 2019

2.1.2　误差≤2 ℃

分析多数站点预报误差≤2 ℃ 的预报准确率(图 3)可知：其随预报时效增加而降低。24 h 高温预报准确率为 50%～89%，低温预报准确率为 60%～95%，且从上下阈值来看，低温的预报准确率比高温的高。2017 年至 2019 年高温准确率均≥80% 的站点为烟台站、文登站、乳山站、胶州站、崂山站和即墨站，这 6 个站高温预报准确率在 2019 年达到最高，其中乳山站高温预报准确率最高，为 89%；低温准确率均≥80% 的站点为蓬莱站、烟台站、牟平站、荣成站、乳山站、崂山站和青岛站，这 7 个站低温预报准确率在 2017 年达到最高，其中崂山低温预报准确率最高，为 95%。2017 年至 2019 年任一年高温预报准确率≤60% 的站点为长岛站和石岛站；任一年低温准确率≤60% 的站点为石岛站。低温预报准确率≥80% 的站点数量多于高温，低温预报准确率≤60% 的站点数量少于高温，这说明低温的预报准确率高于高温，预报性能更好。ECMWF 模式对高温预报性能较好的站点为烟台站、文登站、乳山站、胶州站、崂山站和即墨站，预报性能较差的站点为长岛站和石岛站；EC 模式对低温预报性能较好的站点为蓬莱站、烟台站、牟平站、荣成站、乳山站、崂山站和青岛站，预报性能较差的站点为石岛站。综合分析可知，ECMWF 模式对长岛站、石岛站和成山头站三个距离海洋最近的站点预报性能较差。

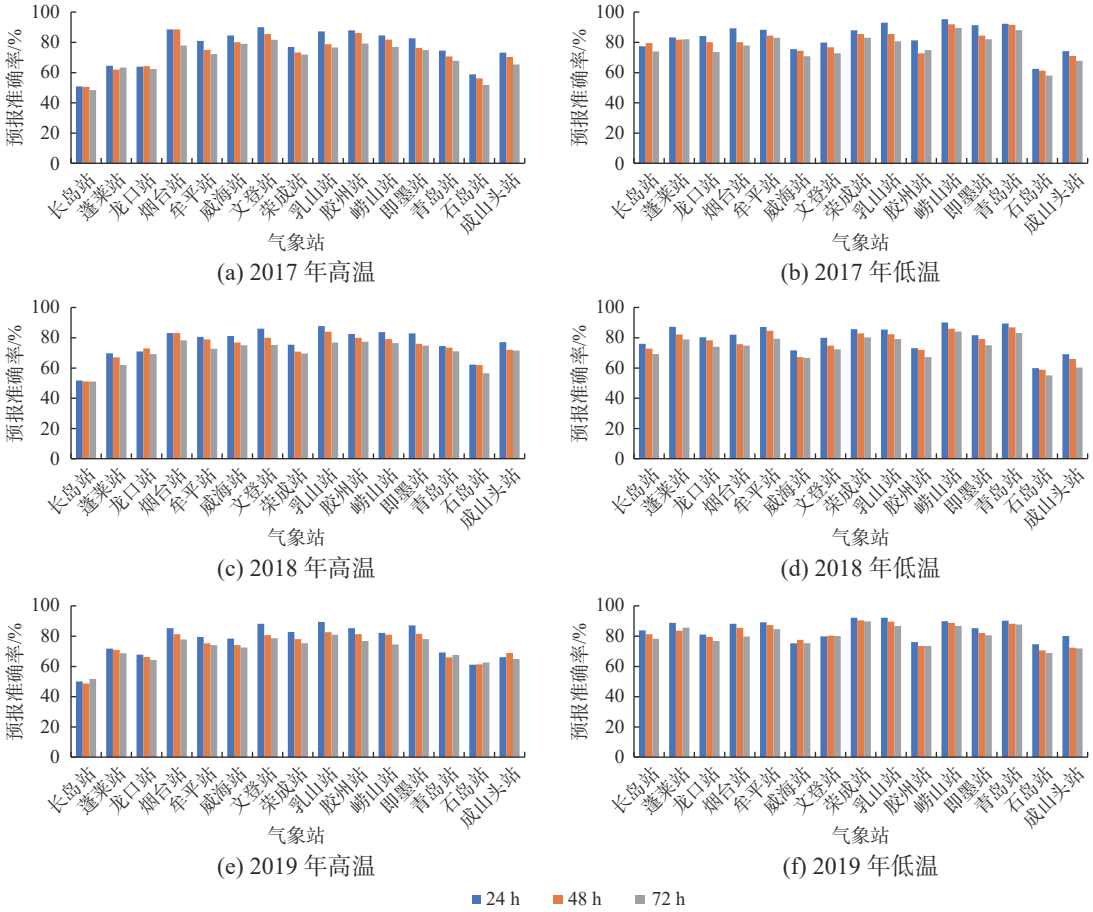


图 3 2017 年至 2019 年 ECMWF 模式误差≤2 ℃ 的预报准确率

Fig. 3 Forecast accuracy at the case of ECMWF model error ≤2 ℃ from 2017 to 2019

2.2 逐月检验

上文统计分析了各个站点逐日最高、最低 2 m 温度的预报准确率，那么在不同地理位置温度预报差值有什么特点呢？以月为单位，分别计算北部沿海、南部沿海和东部沿海各站点的温度预报差值的平均值，发现高温预报差值的平均值以负值为主，北部沿海站点预报差值平均值的绝对值最大，其次为东部沿海，南部沿海站点的误差值最小。北部沿海在 3 月、4 月和 5 月(春季)及 6 月和 7 月(夏季)高温预报值明显偏低，尤其长岛站的预报差值绝对值最大，5 月接近 5 ℃，这与本文中逐日统计结果一致。南部和东部沿海的高温预报差值特征与北部沿海相似，在春季和夏季误差大，距离海洋较近的青岛站、成山头站、石岛站差值绝对值相对较大，石岛站达到 4 ℃，而距离海边相对较远的文登站、胶州站、崂山站、即墨站、乳山站高温误差较小，预报误差均小于 1 ℃，这说明模式对距离海洋较近站点的高温预报在春季和夏季负差值大，可进行适当的人工订正，而距离海洋较远的站点，预报性能较好，可参考价值高。

逐月低温预报差值的绝对值整体较高温偏小，进一步说明低温的预报准确率比高温的高。与高温相反，在 3 月至 9 月，低温预报与实况最为接近，平均差值绝对值在 1 ℃ 以内，其他月份预报误差略有增大。整体而言，东部沿海误差最大，北部沿海次之，南部沿海最小。南部沿海的最高、最低气温预报相对北部沿海和东部沿海误差都较小，模式的预报准确率较高(图 4)。

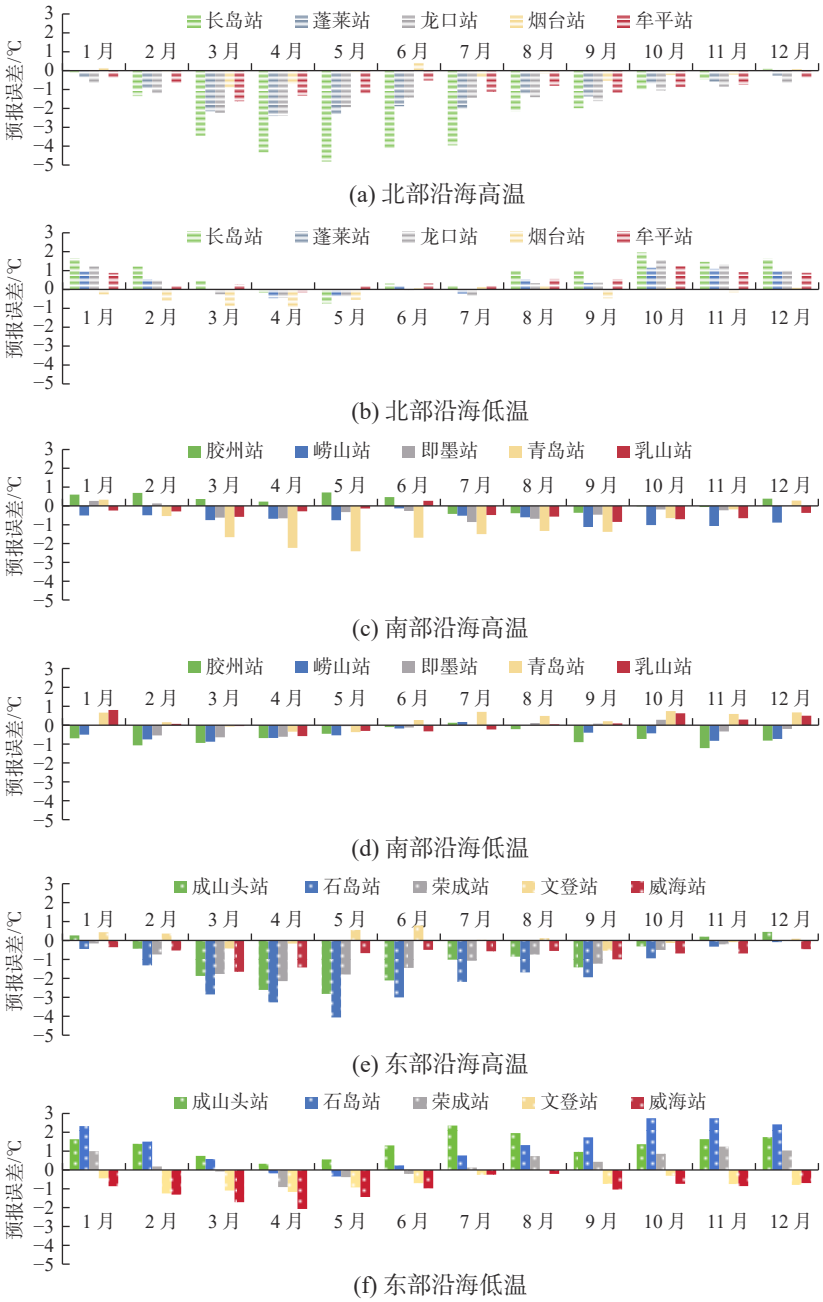


图 4　2017 年至 2019 年北部、南部和东部沿海各气象站基于 ECMWF 模式温度预报的逐月检验

Fig. 4　Monthly verifications based on the ECMWF model temperature forecast at the northern, southern and eastern coastal meteorological stations from 2017 to 2019

3　典型天气过程预报检验

针对东部沿海气象站最高、最低温度预报误差在 3 个海区中最明显的特点，对威海地区气象站进行细致检验。

万夫敬等(2018)研究发现，在温度预报中稳定性的天气预报效果一般较好，预报相对实况有较好的延续，而转折性天气，即存在温度大幅变化和剧烈天气现象时是预报的难点，在这种天气形

势下，模式的误差也是最大的。结合威海本地的天气气候特点，进一步检验冬季影响频率最高的冷空气、冷流降雪过程和其余 3 个季节影响时间最长的海雾过程(挑选标准见表 1)，试图找到一些模式预报误差的特点，用于日后的预报。在检验个例中分别选取了冷空气、冷流降雪和海雾过程各 1 个个例，分别对其形成机理有较大影响的气象因子进行预报检验，进而分析地面温度预报产生较大误差的可能原因。

表 1 冷空气、冷流降雪和海雾过程统计

Table 1 Statistical standards for cold-air, cold-air snow and sea-fog courses

天气过程	统计时间	统计标准	有效时间/d	天气过程数量/个
冷空气	10 月至翌年 3 月	威海市台发布寒潮预警或大风(北风)黄色预警信号，排除雷暴大风、气旋大风，且实况达到预警发布标准	26	15
冷流降雪	10 月至翌年 3 月	冷空气个例中日降雪量>0.5 mm	7	4
海雾	全年	威海市台发布大雾黄色预警信号，且实况出现大雾，排除秋冬季辐射雾，海雾时间超过 2 h	62	36

3.1 冷空气过程

3.1.1 逐日高低温检验

对 26 个有效冷空气日进行逐日最高、最低 2 m 温度预报检验(图 5)。高温预报差值统计结果为：威海地区 6 个站点的预报正差值占比为 37%，低于负差值；低温预报以正差值为主，占比为 85%，其中成山头站、石岛站和荣成站 3 个站正差值占比均达到 96% 以上，说明低温预报较实况具有普遍偏高的特点。

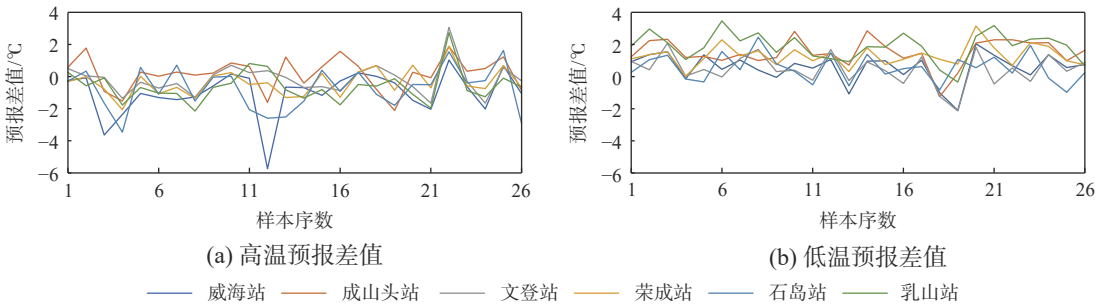


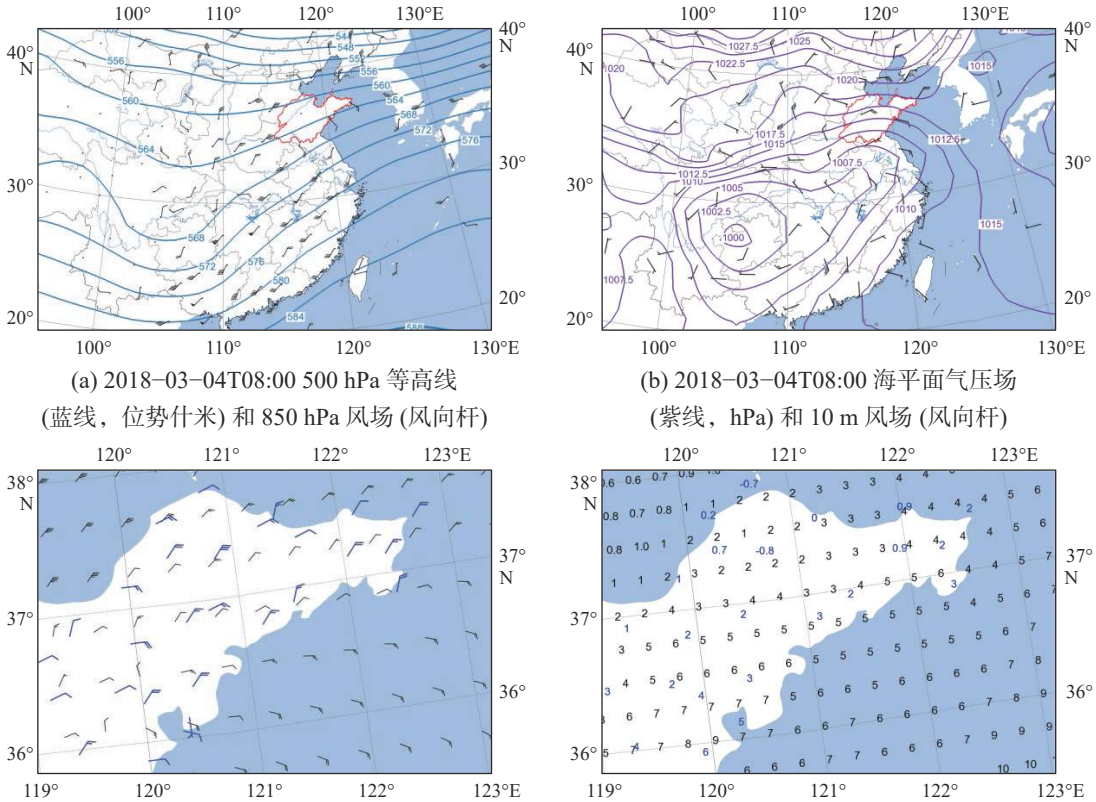
图 5 2017 年至 2019 年冷空气 26 个个例的逐日检验

Fig. 5 Daily verifications of 26 cold-air processes from 2017 to 2019

3.1.2 个例检验

对 2008 年春季一次冷空气过程进行了模式温度预报的分析(图 6)。2018 年 3 月 4 日 08:00，在中国东北和华北地区 500 hPa 上空分别存在 1 支高空槽，山东省位于高空槽前，低层冷空气从东北平原南下，回流至华北地区，给山东地区带来大风和降温天气。从 4 日 08:00 山东半岛地面 10 m 风场(图 6c)可以看出，预报的风向与实况一致，为东北风；预报的风速则较实况偏小，大多数站点风速的预报值较实况值偏小 3～4 m/s，栖霞站偏小最多，预报风速为6 m/s，实测风速为 12 m/s，预报偏小 6 m/s。温度平流的强度与风速大小成正比，故预报的温度冷平流强度较实况弱，地面温度

预报值偏高。从 4 日 14:00 的温度对比可以发现，预报的 2 m 温度较实况明显偏高，文登站偏高 3 ℃以上。



(a) 2018−03−04T08:00 500 hPa 等高线
(蓝线，位势什米) 和 850 hPa 风场 (风向杆)

(b) 2018−03−04T08:00 海平面气压场
(紫线，hPa) 和 10 m 风场 (风向杆)

(c) 预报 (蓝风向杆) 和实测 (黑风向杆)
2018−03−04T08:00 地面 10 m 风场

(d) 预报 (黑色数字) 和实测 (蓝色数字)
2018−03−04T14:00 地面 2 m 温度 (℃)

注：图 a 和图 b 的审图号为 GS(2019)3082 号。

图 6　2018 年 3 月 4 日高空和地面形势、预报和实测的地面 10 m 风场和地面 2 m 温度

Fig. 6　High altitude and ground situation, 10 m wind field and 2 m air temperature on the ground forecasted and measured on March 4, 2018

3.2　冷流降雪过程

3.2.1　逐日高低温检验

在山东半岛地区，冬季冷空气常常与冷流降雪结伴而行。冷流降雪是山东半岛尤其是威海地区冬季降雪的主要类型。从图 7 可以看出，冷流降雪对地面温度的预报存在较大影响，从日最高、最低温度的报差值来看，多数个例和台站模式预报的最高、最低气温均偏高，且低温的误差较高温大。经统计，高温预报正差值占比为 69%，高于冷空气的占比；低温预报以正差值为主，占比为 81%。乳山站为威海地区最南部的 1 个站点，发生冷流降雪的频率最低。乳山站(图 7 中黑线)相对其他台站，预报误差最小，也间接说明了冷流降雪发生区域温度预报产生的误差明显大于非冷流降雪区域。

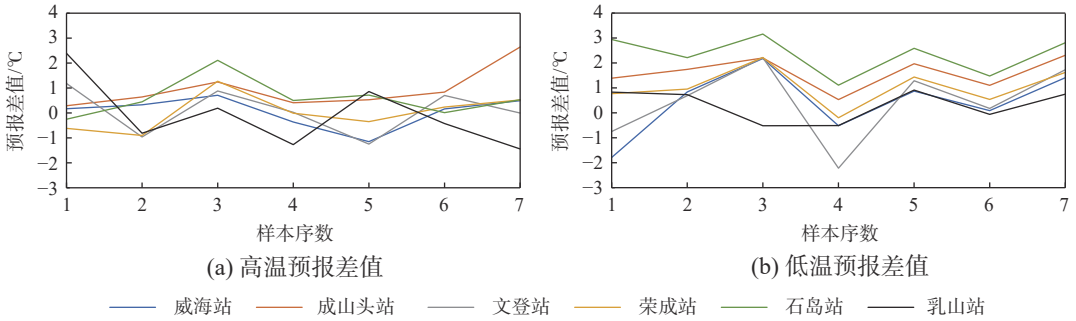
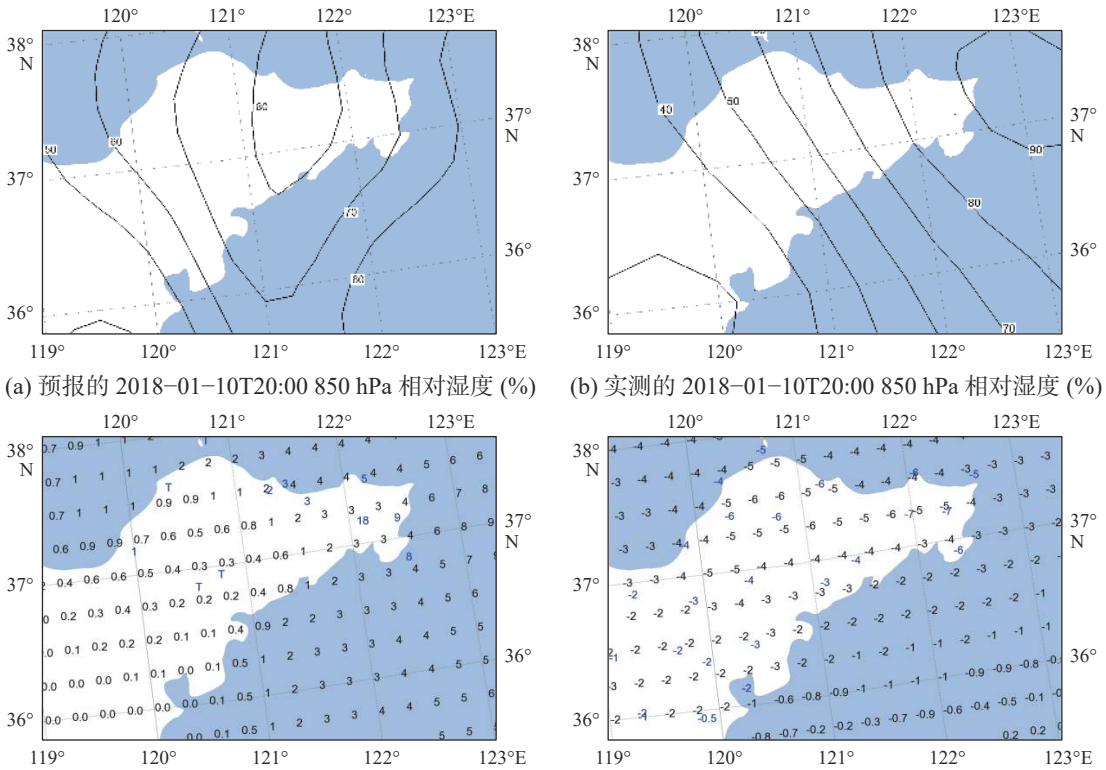


图 7 2017 年至 2019 年威海冷流降雪个例的逐日检验

Fig. 7 Daily verifications of cold-flow snow processes in Weihai region from 2017 to 2019

3.2.2 个例检验

2018 年 1 月 9 日 12:00，东亚大槽控制着中国北方大部分地区，槽的径向度大且深厚，10 日至 11 日槽后西北气流将来自泰梅尔半岛附近的强冷空气从贝加尔湖以东南下，经我国东北地区入侵山东半岛，低层的强冷气团与暖海面向上蒸发的水汽相互作用，导致山东半岛东部地区产生罕见强降雪，最强降雪出现在 9 日夜间至 10 日白天。冷流降雪的形成与低层相对湿度有密切关系，ECMWF 预报的 10 日 20:00 850 hPa 相对湿度在威海地区为 70%～80%，实际观测为 80%～90%，成山头以东海区为 90% 以上，预报的相对湿度偏低导致降雪量的预报偏小。由图 8c 可知，10 日



(a) 预报的 2018−01−10T20:00 850 hPa 相对湿度 (%)

(b) 实测的 2018−01−10T20:00 850 hPa 相对湿度 (%)

(c) 预报 (黑色数字) 和实测 (蓝色数字) 2018−01−10T08:00—01−11T08:00 降雪量 (mm)

(d) 预报 (黑色数字) 和实测 (蓝色数字) 2018−01−10T14:00 地面 2 m 温度 (℃)

图 8 预报和实测的 2018 年 1 月 10 日至 11 日的相对湿度、降雪量和 2 m 温度

Fig. 8 Relative humidity, snowfall and 2 m air temperature forecasted and measured on January 10 and 11, 2018

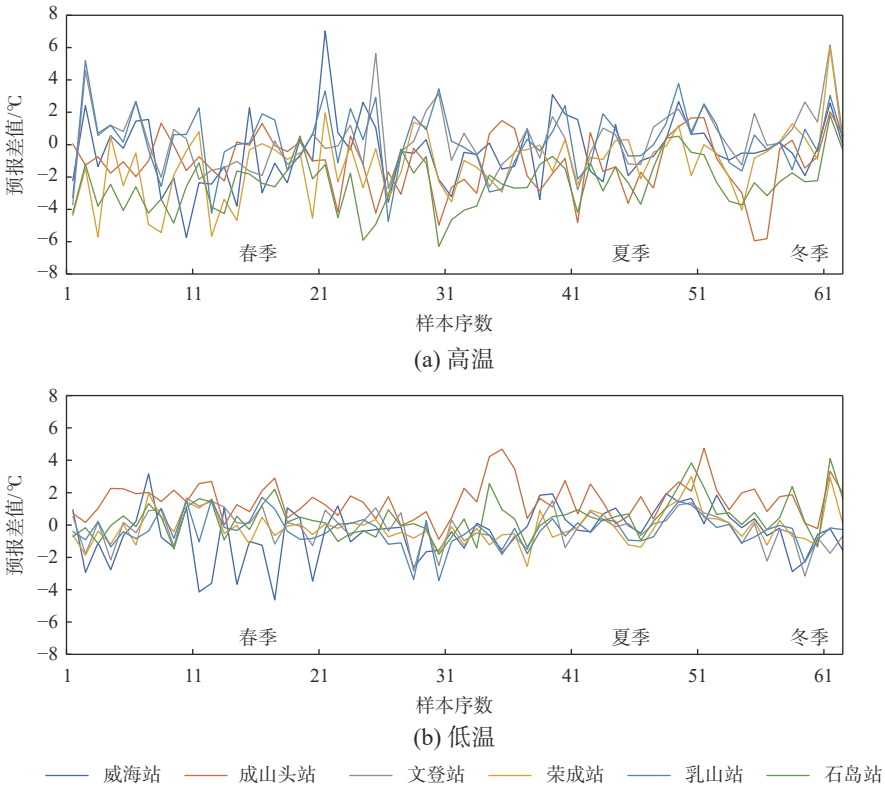
08:00 至 11 日 08:00 24 h 内烟台地区的累计降雪量预报与实况较为吻合，烟台站实测为 3 mm，预报为 4 mm；威海地区的预报整体偏小，文登站偏小最多，降雪量预报为 3 mm，实际观测为 18 mm。由于降雪强度预报的明显偏小，所以降雪过程中的温度预报也出现了普遍偏高现象，如文登站和荣成站均偏高 3 ℃。

3.3　海雾过程

3.3.1　逐日高低温检验

根据李建华等(2010)统计，出现海雾的季节主要为春季和夏季，其次为冬季；威海地区成山头站和石岛站出现大雾的次数最多，荣成站次之，威海、文登和乳山这 3 个站出现较少。

共选取了 62 个海雾个例(表 1)，其中春季海雾个例为 30 个，夏季海雾个例为 27 个，冬季海雾个例为 5 个。对比 6 个气象站的预报差值发现，出现海雾频率较高的成山头站和石岛站的高温、低温预报差值曲线(图 9 中红线和橙线)较为一致，出现海雾频率较低的威海站、文登站和乳山站的预报差值曲线(图 9 中深蓝线、绿线和浅蓝线)也较为一致，二者有明显不同，荣成站预报差值曲线介于两者之间。在高温预报差值中，成山头站和石岛站的高温预报差值基本较其余站点预报差值偏小，而这 2 个站的低温预报差值基本较其余站点预报差值偏大。模式对 6 个站点的高温预报正差值占比 35%，较负差值偏小(图 9a)，说明在大雾个例中，高温预报较实况以偏低为主。模式的低温预报正差值占比 53%，略高于负差值，其中成山头站、石岛站正差值占比分别达到 94%、65%，说明模式对海雾频发的地区还存在一定的预报误差，表现为低温预报偏高。



注：共选取了 62 个海雾个例，图中 1～30 为春季个例，31～57 为夏季个例，58～62 为冬季个例。

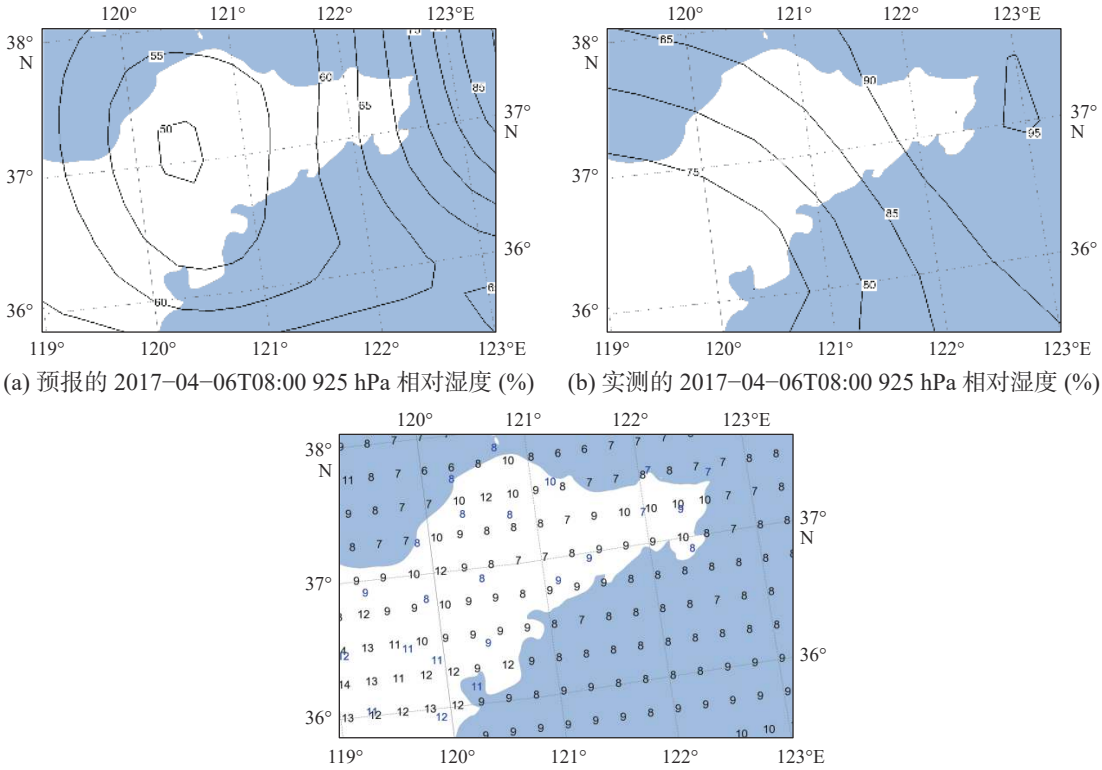
图 9　2017 年至 2019 年威海海雾个例的逐日检验

Fig. 9　Daily verifications of sea-fog processes in Weihai region from 2017 to 2019

从季节上对比，每个站点高温、低温预报正负差值占比的总体特征相似，但是夏季低温预报偏差较春季偏大，夏季成山头站最大差值为4.74 ℃，石岛站为3.84 ℃；春季成山头站最大差值为2.9 ℃，石岛站为2.1 ℃。

3.3.2 个例检验

2017年4月6日至8日为一次持续性春季大雾过程，其特点为大雾在早晨出现，中午前后减弱，持续时间长。6日早晨山东半岛东部和南部沿海均出现能见度低于1 km的大雾，饱和的水汽遇冷形成雾，故近地面层相对湿度的增加能较好地表征大雾的出现。将4月6日08:00的925 hPa预报场和实况进行对比，ECMWF模式预报的925 hPa相对湿度在山东半岛地区为50%～80%，自西向东逐渐增加，实际观测值为75%～95%。近地面相对湿度增大，对气温的上升有抑制作用，相应的地面2 m温度预报较实际有所偏高，文登站偏高3 ℃(图10)。



(a) 预报的 2017−04−06T08:00 925 hPa 相对湿度 (%)　(b) 实测的 2017−04−06T08:00 925 hPa 相对湿度 (%)

(c) 预报 (黑色数字) 和实测 (蓝色数字) 的
2017−04−06T08:00 地面 2 m 温度 (℃)

图 10　预报和实测的 2017 年 4 月 6 日相对湿度和地面 2 m 温度对比

Fig. 10　Comparison of relative humidity and 2 m temperature on the ground between forecasted and measured on April 6, 2017

4 结　论

选取山东半岛15个沿海气象站作为代表站，按区域归为北部沿海气象站(烟台地区长岛站、蓬莱站、龙口站、牟平站和烟台站五站)，南部沿海气象站(青岛地区胶州站、崂山站、即墨站、青岛站和威海地区乳山站五站)，以及东部沿海气象站(威海地区成山头站、文登站、荣成站、石岛

站和威海站五站)，利用逐日预报准确率和逐月平均差值计算方法，对 2017 至 2019 年 ECMWF 模式 2 m 温度预报产品进行检验，得出主要结论如下。

1)逐日统计发现预报误差随预报时效延长而增大，在 24 h 预报时效内，误差≤1 ℃ 的低温预报准确率为 27%～65%，高温为 25%～66%；误差≤2 ℃ 的低温预报准确率为 60%～95%，高温为 50%～89%。模式对长岛站、石岛站和成山头站的预报准确率最低。

2)逐月统计发现高温预报差值基本为负值，在春季和夏季高温预报明显偏低，北部沿海预报误差最大，长岛站 5 月预报差值接近−5 ℃；低温预报在 3 月至 9 月，预报平均差值小于 1 ℃，预报性能较好，在秋冬季节，东部沿海的预报误差最大。南部沿海的高、低温预报性能均最好。

3)对威海地区的冷空气、冷流降雪和海雾过程分别进行预报性能检验得出：冷空气过程低温预报以正差值为主，成山头站、石岛站和荣成站这 3 个站点正差值占比均达到 96% 以上；个例检验中 10 m 风速预报值偏小，冷平流偏弱，地面温度预报偏高。冷流降雪过程最高、最低气温预报差值均以正差值为主，低温的误差较高温大；个例检验中模式对 850 hPa 相对湿度和冷流降雪量预报均偏小，温度预报较实况偏高；海雾过程低温预报正差值多，成山头低温预报正差值占比达到 94%；个例检验中，925 hPa 相对湿度预报偏小，地面温度较实际持平或偏高，最多偏高 2 ℃。

参考文献 (References):

代刊, 曹勇, 钱奇峰, 等, 2016. 中短期数字化天气预报技术现状及趋势[J]. 气象, 42(12): 1445-1455. DAI K, CAO Y, QIAN Q F, et al, 2016. Situation and tendency of operational technologies in short- and medium-range weather forecast[J]. Meteorological Monthly, 42(12): 1445-1455.

范苏丹, 盛春燕, 车军辉, 等, 2015. 2014年6—8月数值模式产品对山东气温预报的检验分析[J]. 山东气象, 35(3): 13-22. FAN S D, SHENG C Y, CHE J H, et al, 2015. Inspection of model products from June to August in 2014 (September to November) in Shandong Province[J]. Shandong Meteorology, 35(3): 13-22.

李建华, 崔宜少, 李爱霞, 2010. 山东半岛及其近海大雾的统计与分析[J]. 海洋预报, 27(6): 51-56. LI J H, CUI Y S, LI A X, 2010. Statistics and analysis of heavy fog in Shandong Peninsula and its offshore area[J]. Marine Forecasts, 27(6): 51-56.

马清, 龚建东, 李莉, 等, 2008. 超级集合预报的误差订正与集成研究[J]. 气象, 34(3): 42-48. MA Q, GONG J D, LI L, et al, 2008. Study of bias-correction and consensus in regional multi-model super-ensemble forecast[J]. Meteorological Monthly, 34(3): 42-48.

牛嫣静, 徐向军, 郭欢, 等, 2020. 三种全球预报产品中国区近地面气温短期预报效果检验[J]. 气象与环境学报, 36(4): 18-27. NIU Y J, XU X J, GUO H, et al, 2020. Verification of the short-term forecast of near-surface temperature using different global forecast products in China[J]. Journal of Meteorology and Environment, 36(4): 18-27.

齐铎, 刘松涛, 张天华, 等, 2020. 基于格点的中国东北中北部2 m温度数值预报检验及偏差订正[J]. 干旱气象, 38(1): 81-88. QI D, LIU S T, ZHANG T H, et al, 2020. Grid temperature numerical forecast verification and correction over central and north region of Northeast China[J]. Journal of Arid Meteorology, 38(1): 81-88.

祁丽燕, 黄明策, 苏洵, 2015. 华南西部欧洲细网格2 m温度预报误差分析[J]. 气象研究与应用, 36(4): 1-7. QI L Y, HUANG M C, SU X, 2015. Analysis on error of 2-meter-high temperature prediction from the ECMWF fine grid of west in South of China[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 36(4): 1-7.

曲巧娜, 盛春岩, 2015. 山东省2015年秋季(9—11月)数值预报产品检验[J]. 山东气象, 35(4): 53-56. QU Q N, SHENG C Y, 2015. Inspection of model products for air temperature in autumn 2015 (September to November) in Shandong Province[J]. Shandong Meteorology, 35(4): 53-56.

任宏昌, 2018. 2018年3—5月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象, 44(8): 1104-1109. REN H C, 2018. Performance verification of medium-range forecast by T639, ECMWF and Japan models from March to May 2018 [J]. Meteorological Monthly, 44(8): 1104-1109.

万夫敬, 赵传湖, 马艳, 等, 2018. ECMWF模式气温预报在青岛地区的检验与评估[J]. 气象科技, 46(1): 112-120. WAN F J, ZHAO C H, MA Y, et al, 2018. Prediction effectiveness verification of ECMWF fine grid model for air temperature in Qingdao region[J]. Meteorological Science and Technology, 46(1): 112-120.

韦青, 代刊, 林建, 等, 2020. 2016—2018年全国智能网格降水及温度预报检验评估[J]. 气象, 46(10): 1272-1285. WEI Q, DAI K, LIN J, et al, 2020. Evaluation on the 2016—2018 fine gridded precipitation and temperature forecasting[J]. Meteorological Monthly, 46(10): 1272-1285.

吴启树, 韩美, 刘铭, 等, 2017. 基于评分最优化的模式降水预报订正算法对比[J]. 应用气象学报, 28(3): 306-317. WU Q S, HAN M, LIU M, et al, 2017. A comparison of optimal-score-based correction algorithms of model precipitation prediction[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 28(3): 306-317.

张峰, 2017. 2016年12月至2017年2月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象, 43(5): 628-633. ZHANG F, 2017. Performance verification of medium-range forecast by T639, ECMWF and Japan models from December 2016 to February 2017[J]. Meteorological Monthly, 43(5): 628-633.

赵声蓉, 赵翠光, 赵瑞霞, 等, 2012. 我国精细化客观气象要素预报进展[J]. 气象科技进展, 2(5): 12-21. ZHAO S R, ZHAO C G, ZHAO R X, et al, 2012. The development of objective meteorological element forecast in China[J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2(5): 12-21.

Verification of ECMWF Fine Grid Model for Air Temperature in Shandong Peninsula Coast Areas

LI Jianhua[1,2], ZHOU Dan[2], CUI Yishao[2]

（1. *Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong*, Jinan 250031, China；
2. *Weihai Meteorological Bureau*, Weihai 264200, China）

Abstract: Based on the observed data and the data forecasted by ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) fine grid model at 15 meteorological stations in the coastal areas of Shandong Peninsula from 2017 to 2019, 2-meter air temperature on the ground is verified by using daily forecast accuracy and monthly average error methods. The forecast effectiveness of ECMWF model is verified respectively for the processes of cold air, cold-flow snow and sea fog in Weihai region. The results show that when the error of forecast accuracy is less than 2 ℃ within 24 h time limit the forecast accuracy is 60%-95% for low temperature and 50%-89% for high temperature. In the low-temperture forecasts the monthly average forecast error is smaller than 1 ℃ in the northern and southern coastal areas from March to September. The ratio of positive to negative errors is comparable fot the high temperature forecast in the cold-air process. The positive error of the low temperature forecast has a larger proportion, being up to 96% in maximum. In the cold-flow snow process the forecasts of high and low air temperature are generally dominated with positive errors. In the coastal areas where heavy sea fog occurs often, the low air temperature forecasted by the ECMWF model is relatively higher than that observed actually. The results from the ECMWF model can provide a good reference for the low temperature forcast from March to September.

Key words: Shandong Peninsula；verification of forecast effectiveness；sea fog；cold-flow snow

Received: April 30, 2022