

李博渊,赵江伟,李健丽. ECMWF 细网格模式在  
(1);8-13.

文章编号:1006-4354(2020)01-0008-06

# ECMWF 细网格模式在阿勒泰地区短时强降水 环境场预报中的统计检验

李博渊<sup>1,2</sup>,赵江伟<sup>2</sup>,李健丽<sup>2</sup>

(1. 中亚大气科学研究中心,乌鲁木齐 830002;2. 阿勒泰地区气象局,新疆阿勒泰 836500)

**摘要:**利用 ECMWF 细网格模式产品对阿勒泰地区 2013—2018 年 5—9 月 36 场短时强降水过程的环境场预报性能进行统计学检验。结果表明:48 h 预报时效内模式对海平面气压场、2 m 温度场和露点温度场、10 m 风场,500 hPa 高度场、850 hPa 温度场和比湿场及对流层风场预报误差较小,精度较高,在预报业务中为首选物理量;对 700 hPa 相对湿度场和垂直速度场预报误差较大,且以随机误差为主,在预报业务中注意订正运用。

**关键词:**EC 细网格模式;短时强降水;环境场预报;统计检验

**中图分类号:**P456.7

**文献标识码:**A

随着科技和社会经济的发展及人民群众物质文化需求的不断丰富和提高,对天气预报精细化程度及准确率也提出了越来越高的要求。ECMWF 细网格模式具有高时空分辨率特征,从而为天气预报业务提供了丰富的客观预报产品,引起了预报员高度关注,已成为日常预报不可或缺的主要参考依据。但由于诸多原因数值模式的运行还不稳定,数值预报与初始场还不吻合,存在一定的误差。因此,了解模式性能,开展数值预报产品检验非常必要。

近年来,许多气象工作者对 ECMWF 细网格模式的形势场、要素场等方面进行了检验。如薛湛彬等<sup>[1]</sup>、王丹等<sup>[2]</sup>、万夫敬等<sup>[3]</sup>对 ECMWF 细网格 2 m 温度在江西省、陕西省、青岛地区的预报性能进行了检验;廖春花等<sup>[4]</sup>对 ECMWF 细网格降水产品在湖南水库流域面雨量的预报能力进行了检验。新疆气象工作者也对 ECMWF 细网格模式的释用进行了检验,如井立红等<sup>[5]</sup>对 EC-

MWF 细网格等 4 种模式降水预报资料,在塔城地区降水的预报效果进行检验和对比,揭示了 4 种模式在塔城降水预报中的性能;刘春风等<sup>[6]</sup>、张超等<sup>[7]</sup>对 ECMWF 细网格模式 2 m 温度在新疆及周边温度的预报能力进行了检验,表明模式预报为系统性偏高,预报效果随预报时效延长而逐渐变差,3 d 内温度预报的绝对误差小、预报准确率高,对实际温度预报有很好指导作用;张俊兰等<sup>[8]</sup>、李博渊等<sup>[9]</sup>、李健丽等<sup>[10]</sup>基于 ECMWF 细网格模式在北疆降雪预报性能进行了检验;贾丽红等<sup>[11]</sup>对多模式在新疆最高(低)气温预报中的检验表明,ECMWF 细网格模式整体最好,DOGRAFS 模式最差,且最低气温的预报准确率提高程度高于最高气温;万瑜等<sup>[12]</sup>研究指出,ECMWF 细网格资料在乌鲁木齐东南大风发生和维持的物理机制和预报性能等方面均有提高,对东南大风预报具有指示意义;贾健等<sup>[13]</sup>检验表明,ECMWF 细网格 2 m 温度场对米东区最高、

收稿日期:2019-08-04

作者简介:李博渊(1988—),男,新疆阿勒泰人,理学学士,工程师,从事预报服务及其相关研究。

基金项目:中亚大气科学研究基金(CAAS201921);中亚大气科学研究基金(CAAS201921);新疆气象局青年基金(Q201713)

最低气温有较好的预报能力,对晴雨预报较高,对 850 hPa 风速与实况风速也有较好的相关性。侯柯然等<sup>[14]</sup>、高萌等<sup>[15]</sup>对数值预报产品在陕西榆林和关中强降水预报中的应用也进行了检验。由此可见,对 ECMWF 细网格释用主要集中在 2 m 温度和降水等要素上,而对造成这些要素变化的环境场预报性能检验较少。近年来,随着观测站网的增多,观测手段日益丰富,从而对灾害性天气的监测能力也不断提高,对其预警也提出了更高的要求,尤其是短时强降水天气。因此,对 ECMWF 细网格在阿勒泰地区短时强降水环境场预报中的性能进行统计检验,为预报员提供更多有用信息,进而为预报员做出更加准确的预报及防灾减灾提供参考依据。

## 1 资料和方法

### 1.1 短时强降水标准

目前,中央气象台和中国中东部地区气象部门均将 1 h 降水量  $\geq 20$  mm 的记为短时强降水。根据多年的预报服务实践、暴雨洪水成灾事实和干旱半干旱地区暴雨特点,新疆气象部门将该标准调整为 1 h 降水量  $\geq 10$  mm。为了与实际业务保持一致,将短时强降水过程定义为:(1)1 h 内相邻(200 km 以内)2 个以上测站雨强均  $\geq 10$  mm/h;(2)同一测站连续 2 h 以上雨强  $\geq 10$  mm/h;(3)满足上述条件之一,定义为一次短时强降水过程。

选取经过新疆气象信息中心筛选、整理、检测,并剔除不完整及错误的资料,采用 2013—2018 年 5—9 月(简称暖季)阿勒泰地区 8 个国家基本气象站和 104 个区域自动站共 112 个站点(图 1)逐时降水资料,按上述标准筛选出短时强降水过程共 36 个。

检验范围选取 78 范围~92 范围、42 范围~50 范围,ECMWF 细网格模式(下简称“EC 细模式”)产品起报时间主要为 20:00 和 08:00;检验预报时效为 12 h、24 h、36 h、48 h、60 h、72 h。由于阿勒泰地区大部分测站海拔高度低于 1 500 m,因此,主要选取 850~200 hPa 等压面上相关物理量进行检验。

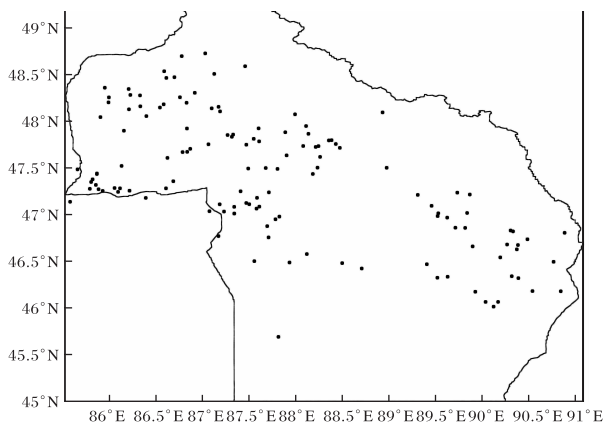


图 1 阿勒泰地区 112 个国家站和区域自动站点分布图

### 1.2 检验方法

采用世界气象组织推荐的数值预报检验标准化方案——定量检验(统计检验)<sup>[16]</sup>,即预报对客观分析的检验,用客观分析资料为实况,针对 08:00 和 20:00 起报的模式产品,分别对上述预报时效要素场进行检验。参考庄晓翠等<sup>[17]</sup>的统计检验方法,选用平均误差 ME、均方根误差 RMSE、平均绝对误差 MAE、相关系数 R<sup>[18-19]</sup> 4 种统计量对 EC 细网格模式产品在阿勒泰地区短时强降水中的预报性能进行统计检验。根据有关文献<sup>[19]</sup>可知,平均误差在  $\pm 1.5$  个单位内、平均绝对误差  $< 3$  个单位、均方根误差  $< 4.5$  个单位为较小,反之较大。相关系数为  $> 0.60$  时,模式具有一定的参考价值。反之,相关性较小,基本无参考价值。

## 2 检验结果分析

### 2.1 地面物理量场

地面图上,2 m 露点温度和温度,10 m  $u$ 、 $v$  风场均反应地面物理量特征,温度锋和露点锋对短时强降水(强对流)预报具有非常重要的作用,而 10 m 流场上气流辐合、切变及气旋性辐合对强对流天气具有一定触发作用。EC 细模式对这些地面要素的预报准确与否,在短时强降水环境场预报中具有重要的意义,因此对其统计误差进行检验。由图 2a 可知 4 个物理量的平均误差均较小,其中:10 m 风场(包括  $u$ 、 $v$  风场,下同)误差最小,在 0 m/s 附近,其 72 h 预报时效内随着预报时效的延长变化不大;2 m 温度误差最大,但误差值  $< 0.5$  °C,72 h 预报时效内随时效的延长误差

增大,其误差值一直为正值,说明预报值比  
高,存在系统性正误差;2 m 露点温度的平均误差  
为负值,说明预报值较实况值一直偏低,存在系统  
性负误差,其绝对值在 72 h 预报时效内,随时效  
延长而误差增大。4 个物理量的平均绝对误差和  
均方根误差均 $<2$  个单位,72 h 预报时效内随时  
效延长而增大;48 h 预报时效内 $<1.7$  个单位(图  
2b、图 2c)。另外,分析 72 h 预报时效内预报与实  
况的相关系数(图 2d)可知,2 m 温度的相关系数

的相关系数 $>0.71$ 、 $v$  风场的相关系数 $>0.73$ ,随  
着时效的延长相关系数减小,48 h 预报时效内 4  
个物理量相关系数均 $>0.77$ 。由此可见,EC 细  
模式预报对 2 m 温度的预报精准度相对最高,  
2 m 露点温度的精准度次之,10 m 风场相对较差。  
总之,EC 细模式预报产品在地面物理量场中,48  
h 内的预报产品精准度和参考的价值较高,在强  
对流环境场预报中具有较高的参考价值。

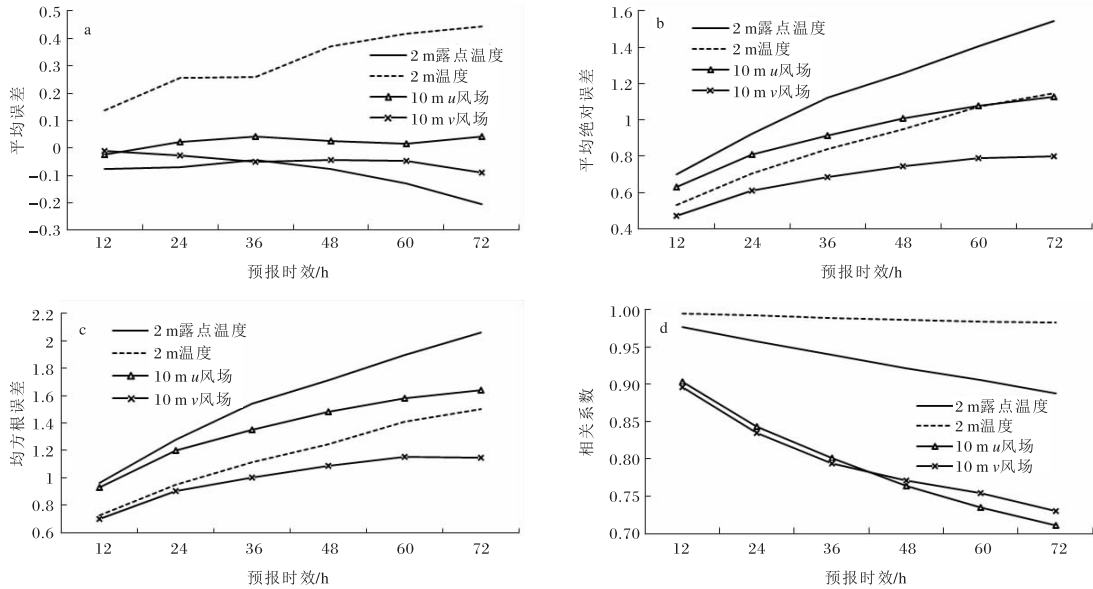


图 2 EC 细模式对短时强降水 2 m 温度及露点温度场(单位为 $^{\circ}\text{C}$ )和 10 m  $u$  风场、 $v$  风场(单位为  $\text{m/s}$ )  
预报的平均误差(a)、平均绝对误差(b)、均方根误差(c)、相关系数(d)随预报时效演变

## 2.2 形势场

环流形势、影响系统和天气现象是造成天气  
过程的主要因素,对短时强降水过程也不例外。  
模式对环流形势预报是否准确至关重要,因此对  
500 hPa 高度场、850 hPa 温度场及海平面气压场  
(下简称“形势场”)的统计误差进行检验。由图 3  
可知,EC 细模式对短时强降水形势场预报的平  
均误差、平均绝对误差及均方根误差均较小。就  
平均误差而言(图 3a),500 hPa 高度场绝对值在  
60 h 预报时效内随时效延长而减小,72 h 略有增  
大,但在 72 h 预报时效内平均误差的绝对值  
 $<0.3$  dagpm。850 hPa 温度场平均误差为正值,  
说明模式预报高于实况,存在系统性正误差,且  
72 h 预报时效内随时效的延长而增大,但 $<0.4$   $^{\circ}\text{C}$ 。

海平面气压场平均误差为负值,说明模式预报低  
于实况,存在系统性负误差,但其绝对值 $<1.0$  hPa。  
平均绝对误差和均方根误差(图 3b、图 3c)72 h 预  
报时效内均小于 1.5 个单位,但随时效的延长误  
差增大。可见,EC 细模式对形势场的预报 72 h  
预报时效内随预报时效延长误差增大,尤其是  
48 h 以后误差较明显。48 h 预报时效内 500 hPa  
高度场误差相对最小,海平面气压误差相对最大。  
另外,3 个要素预报与实况的相关系数 72 h 预  
报时效内均大于 0.92,随时效的延长而减小(图  
3d)。由图 3d 可知,海平面气压场的相关系数最  
大,72 h 预报时效内 $>0.97$ ,850 hPa 温度场的  
相关系数最小,72 h 预报时效内 $>0.92$ 。说明 EC  
细模式产品对形势场的预报精准度相对较高。

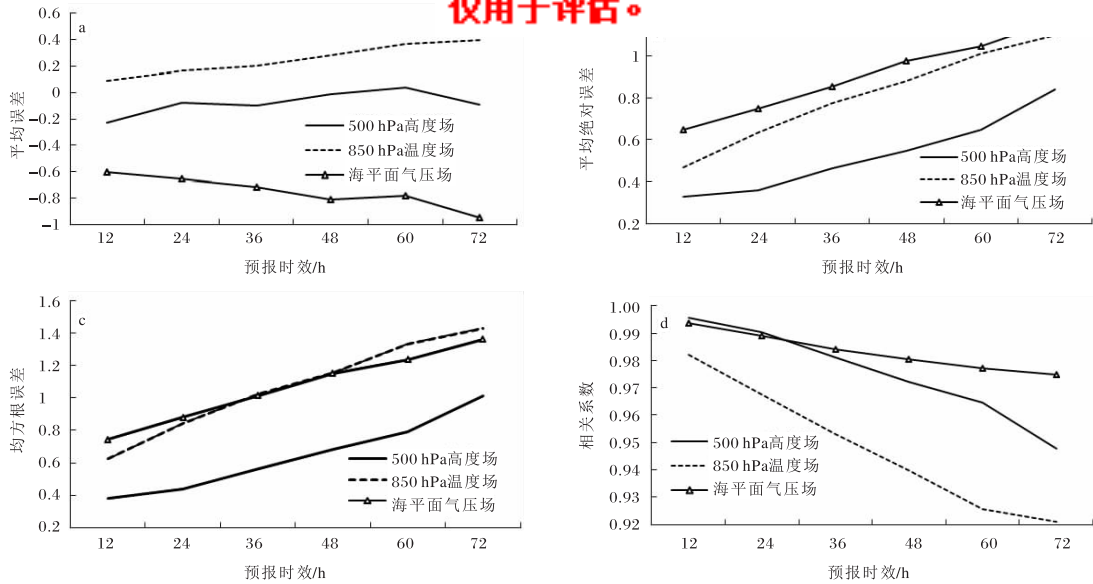


图3 EC细模式对短时强降水500 hPa形势场(单位为dagpm)、海平面气压场(单位为hPa)、850 hPa温度场(单位为 $^{\circ}\text{C}$ )预报的平均误差、平均绝对误差、均方根误差、相关系数随预报时效的演变

### 2.3 水汽和动力条件

水汽条件和动力条件在短时强降水预报中同样起着决定性作用,下面对700 hPa相对湿度、850 hPa比湿,700 hPa垂直速度的预报值与实况做了统计检验。由图4a可知:平均误差850 hPa比湿、700 hPa垂直速度72 h预报时效内均在0附近,且时效延长变化不大;700 hPa相对湿度的平均误差36 h预报时效内在0%附近,之后至72 h误差明显增大,但均小于1.5%。因此,平均误差相对较小,说明系统性误差较小。850 hPa比湿平均绝对误差和均方根误差相对最小,72 h预报时效内均小于1.0 g/kg,48 h内小于0.8 g/kg,随时效的延长变化也较小。700 hPa相对湿度和垂直速度的平均绝对误差和均方根误差较大,分别为 $>4\%$ 和6 Pa/s(图4b、c),700 hPa垂直速度的平均绝对误差和均方根误差在72 h预报时效内变化不大,700 hPa相对湿度的误差随时效的延长而增大。因此,EC细模式对850 hPa比湿预报误差较小,对700 hPa相对湿度和垂直速度预报系统误差较小,随机误差较大。预报与实况的相关系数72 h预报时效内,700 hPa相对湿度、850 hPa比湿分别 $>0.66$ 、 $0.76$ ,700 hPa垂直速度 $<0.6$ 。72 h预报时效内相关系数均随时效的延长而减少,48 h预报时效内850 hPa比

湿 $\geq 0.83$ (图4d)。由此可见,850 hPa比湿72 h预报时效内误差最小,相关系数在0.76以上,700 hPa相对湿度和700 hPa垂直速度误差较大。说明EC细模式预报产品除了850 hPa比湿参考意义较大,700 hPa相对湿度和垂直速度在预报中应注意订正运用。

### 2.4 $u$ 、 $v$ 风场

对200 hPa  $u$  风场和  $v$  风场、700 hPa  $u$  风场和  $v$  风场、850 hPa  $u$  风场和  $v$  风场的误差做统计检验。72 h预报时效内200 hPa  $u$  风场和  $v$  风场平均误差最大,但风场误差 $<0.7$  m/s,随时效的延长而增大,误差基本为正值,说明预报比实况值偏大,存在系统性正误差。对流低层风场平均误差在0 m/s附近,其中:700 hPa和850 hPa  $v$  风场误差为负值,说明预报比实况值偏小,存在系统性负误差;850 hPa  $u$  风场误差值为正值,说明预报比实况值偏大,存在系统性正误差;700 hPa  $u$  风场误差在0 m/s附近(图5a)。72 h预报时效内平均绝对误差均小于2.9 m/s(图5b),均方根误差均小于3.5 m/s(图5c);48 h预报时效内平均绝对误差均小于2.0 m/s(图5b),均方根误差均小于2.7 m/s(图5c),其误差也随着预报时效的延长而增加。另外预报与实况的相关系数(图5d)显示,除了700 hPa  $v$  风场相关系数大于

0.65,其他高空风场相关系数均大于 0.7  
200 hPa  $u$  风场大于 0.92,48 h 预报时效内相关  
系数均大于 0.73;相关系数总体随预报时效的增

的预报误差相对较小,尤其是 48 h 预报时效内,  
在预报中有一定的参考价值。

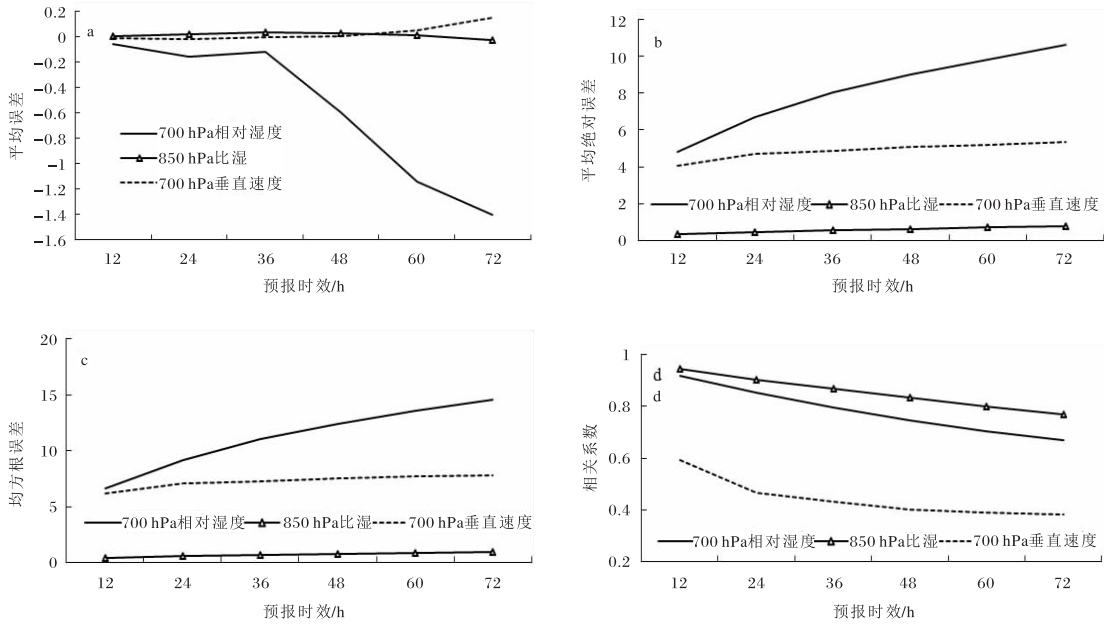


图 4 EC 细模式对短时强降水 700 hPa 相对湿度/%和垂直速度(单位:10 Pa/s)、850 hPa 比湿场(单位:g/kg)预报的平均误差、平均绝对误差、均方根误差、相关系数随时效的演变

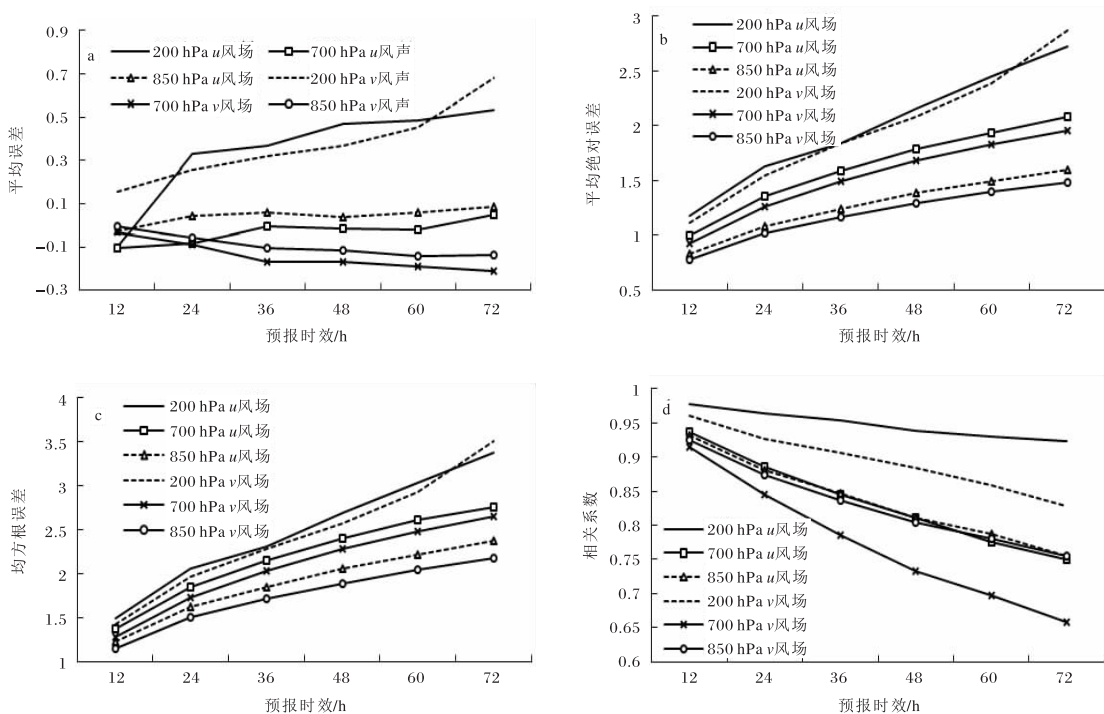


图 5 EC 细模式对暖季短时强降水  $u$ 、 $v$  风场(单位:m/s)预报的平均误差、平均绝对误差、均方根误差、相关系数随时效的演变

### 3 结论

(1)EC 细网格模式在 72 h 预报时效内,尤其是 48 h 预报时效内,对地面 2 m 露点温度和温度场及 10 m  $u$ 、 $v$  风场及海平面气压场,850 hPa 温度场和比湿场,500 hPa 高度场,对流层  $u$ 、 $v$  风场预报等要素的 3 种误差均较小,相关系数较高,在阿勒泰地区强对流环境场预报中具有较高的参考价值。

(2)EC 细网格模式 72 h 预报时效内对 700 hPa 相对湿度和垂直速度系统误差较小,随机误差较大,相关性较小,在预报中注意订正运用。

#### 参考文献:

- [1] 薛谌彬,陈娴,张瑛,等. ECMWF 高分辨率模式 2 m 温度预报误差订正方法研究[J]. 气象,2019,45(6):831-842.
- [2] 王丹,王建鹏,潘留杰,等. ECMWF 模式对陕西 2016 年春季气温预报性能评估[J]. 气象科技,2018,46(1):92-101.
- [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] 廖春花,刘红武,张永锋,等. 多种细网格模式对湖南水库流域面雨量的预报检验[J]. 气象科技,2018,46(4):724-728.
- [5] 井立红,高婧,赵忠,等. 数值预报模式在新疆塔城地区降水预报中的检验[J]. 干旱气象,2017,35(1):134-141.
- [6] 刘春风,徐欢,宋雪明,等. ECMWF 细网格 2 米温度在新疆及周边地区的预报效果检验[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(6):10-15.
- [7] 张超,李娜,贾健. ECMWF 细网格模式 2 m 温度产品在乌鲁木齐市温度预报中的检验[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(5):62-68. doi: 10.3969/j.issn.1002-0799.2015.05.010.
- [8] 张俊兰,李圆圆,张超. ECMWF 细网格模式降水产
- [9] 李博渊,赵江伟,王小号. ECMWF 细网格 TP 产品在北疆降雪天气中的预报性能检验[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(6):41-48. doi: 10.3969/j.issn.1002-0799.2016.06.006.
- [10] 李健丽,李博渊,庄晓翠,等. ECMWF 细网格模式在北疆降雪预报中的统计检验[J]. 沙漠与绿洲气象,2019,13(3):48-56. doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2019.03.007.
- [11] 贾丽红,张云惠,何耀龙,等. 基于多模式的新疆最高(低)气温预报误差订正及集成方法研究[J]. 干旱气象,2018,36(2):310-318.
- [12] 万瑜,曹兴,窦新英,等. ECMWF 细网格数值预报产品在乌鲁木齐东南大风预报中的释用[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(1):32-38. doi: 10.3969/j.issn.1002-0799.2014.01.007.
- [13] 贾健,蒋慧敏,王健. ECMWF 细网格要素预报场在乌鲁木齐米东区的预报性能检验[J]. 陕西气象,2018(5):23-27.
- [14] 侯柯然,侯庆国,艾锐,等. 榆林 2017 年 7 月 26 日区域性大暴雨数值预报降水检验及误差分析[J]. 陕西气象,2018(6):17-22.
- [15] 高萌,刘帆,王瑾婷,等. 关中一次大暴雨天气过程成因分析及陕西智能网格预报检验[J]. 陕西气象,2019(5):28-34.
- [16] 吴曼丽,沈玉敏,梁寒. 辽宁中尺度数值模式产品和 T213 产品对比检验分析[J]. 气象科技,2009,37(3):276-280.
- [17] 庄晓翠,周鸿奎,李博渊. T639 模式在新疆北部暖区强降雪中的预报检验[J]. 干旱气象,2015,33(6):1031-1037.
- [18] 孔玉寿,张东华. 现代天气预报技术[M]. 北京:气象出版社,2000:37-40.
- [19] 毛冬艳,朱文剑,樊利强,等. GRAPES\_MESO3.3 模式强天气预报性能的初步检验[J]. 气象,2014,40(12):1429-1438.