

2018年夏季高空数值预报产品在中国的适用性评价

庄凌峰, 赵泽栖, 张少波

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: 979162804@qq.com

收稿日期: 2020年11月6日; 录用日期: 2020年11月19日; 发布日期: 2020年11月26日

摘要

为研究高空数值预报产品在中国的适用性, 本文收集了目前我国气象服务中采用的主要数值预报产品 (GRAPES、ECMWF)、气象台站大气探空数据, 利用数理统计方法, 分析了高空数值预报产品与实况场在2018年夏季的差异, 进行不同数值预报产品在不同时效的预测能力综合评估, 得出了以下结论: 在温度预报上, 模式对于北部的预报效果优于南部地区, 其中ECMWF的平均偏差、均方根误差和相关系数在不同层次的12 h和24 h预报时效的对比中均小于GRAPES的结果, 且在对流层低层的700 hPa和850 hPa, ECMWF结果的优势明显。在位势高度预报上, 模式对于北部的预报效果优于南部地区, 12 h预报时效的结果优于24 h预报时效的结果, 在对流层低层的700 hPa和850 hPa, ECMWF结果的优势明显, 且这种优势主要表现在我国西部地区。在风速预报上, GRAPES在平均误差、相关系数和均方根误差上明显优于ECMWF的结果, 反映了GRAPES在风速预报中的优势。

关键词

数值预报产品, 高空检验, 温度, 位势高度, 风速

Applicability Evaluation of Upper-Altitude Numerical Forecast Products in China in the Summer of 2018

Lingfeng Zhuang, Zexi Zhao, Shaobo Zhang

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Email: 979162804@qq.com

Received: Nov. 6th, 2020; accepted: Nov. 19th, 2020; published: Nov. 26th, 2020

文章引用: 庄凌峰, 赵泽栖, 张少波. 2018 年夏季高空数值预报产品在中国的适用性评价[J]. 自然科学, 2020, 8(6): 623-632. DOI: 10.12677/ojns.2020.86072

Abstract

In order to study the applicability of high-altitude numerical forecast products in China, this paper collects the main numerical forecast products (GRAPES, ECMWF) and atmospheric sounding data of meteorological stations currently used in China's meteorological services, and analyzes the numerical forecast products using mathematical statistics. Compared with the actual field in the summer of 2018, a comprehensive evaluation of the predictive capabilities of different numerical forecast products at different timelines was carried out, and the following conclusions were drawn: In terms of temperature forecasting, the model's forecasting effect for the northern region was better than that of the southern region. The deviation, root mean square error, and correlation coefficient were all smaller than the results of GRAPES in the comparison of 12 h and 24 h forecast timeliness at different levels, and the ECMWF results had obvious advantages at 700 hPa and 850 hPa in the lower troposphere. In terms of geopotential height forecasting, the model's forecasting effect for the north was better than that of the southern region. The results of 12 h forecast time were better than that of 24 h forecast time. At 700 hPa and 850 hPa in the lower troposphere, ECMWF results had obvious advantages, and this advantage was mainly shown in the western region. In wind speed forecasting, GRAPES was significantly better than ECMWF's results in average error, correlation coefficient and root mean square error, reflecting the advantages of GRAPES in wind speed forecasting.

Keywords

Numerical Prediction Products, Altitude Inspection, Temperature, Geopotential Height, Wind Speed

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

数值天气预报是根据大气实际情况, 在一定的初值和边值条件下, 通过大型计算机作数值计算, 求解描写天气演变过程的流体力学和热力学的方程组, 预测未来一定时段的大气运动状态和天气现象的方法, 其数据产品在天气预报、环境监测、生态功能评价和交通安全运行等领域有广泛的应用。随着预报技术的不断发展, 数值预报已经成为预报员制作天气预报不可或缺的工具[1]。

目前全球已有许多国家或地区的气象研究中心或管理部门发布数值天气预报产品并得到广泛应用, 如欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)、美国环境预报中心(the National Centers for Environmental Prediction/Global Forecast System, GFS)、日本气象厅(Global Spectral Model, GSM)和德国马普气象研究所(ICOsahedral Nonhydrostatic Model, ICON)等发布的数值预报产品在气象服务中发挥了重大的作用。但由于数值模式的预报结果受到了边界条件、地形、物理过程及初始场等诸多条件的影响, 所以数值模式预报结果的精度在量级和时空分布上都与观测结果存在不同程度的差异[2] [3] [4]。因此了解数值预报产品的预报性能、掌握模式存在的问题和不足, 可以有效提高数值预报产品的应用水平, 从而取得更好的预报效果[5]。

关于 GRAPES 和 ECMWF 两款数值预报产品的检验已经开展了很多[5]-[10], 但过去的研究多是就一

个模式的地面预报结果进行检验,而综合多个数值预报产品进行高空数值预报产品对比的研究相对较少。基于此种考虑,本文利用数理统计方法,分析 GRAPES 和 ECMWF 两款数值预报产品与实际观测值在高空要素预报中的差异,评价其精度和相关特征等统计关键参量,给出不同数值预报产品在不同时效的预测能力的综合评估,从而为更好的使用数值预报产品提供技术支撑。

2. 资料与方法

2.1. 资料概况

2.1.1. 观测数据

观测资料来自气象台站的高空观测数据,台站分布如图 1 所示,共 191 个站点,具体包括各等压层的风场、温度场、位势高度场等资料。对比时段为 2018 年 6 月 1 日至 2018 年 8 月 31 日的 08 时、20 时共 184 个时次,对比层次为 200 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 共四个层次。

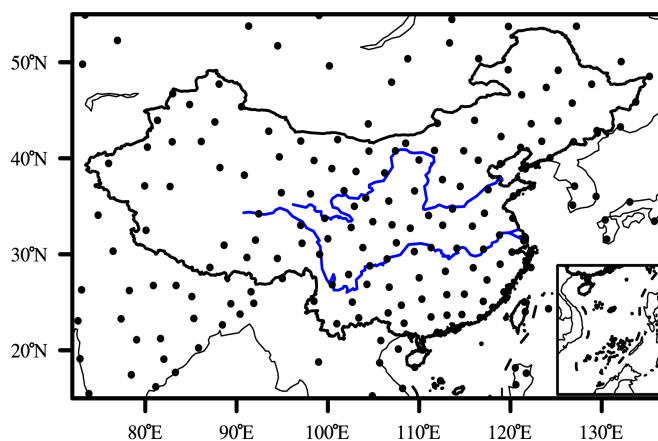


Figure 1. Distribution of observing stations (in the figure, the black solid points are the positions of the stations)

图 1. 观测台站分布图(图中,黑色实心点为站点位置)

2.1.2. 采用的数值预报产品介绍

GRAPES 模式是我国自主研发的数值天气预报系统,而其中尺度区域集合预报业务系统 GRAPES_MESO 在 2015 年升级到 4.0 版本[11]。本文采用 GRAPES_MESO 区域集合预报业务系统产生的东亚区域模式预报产品(下文简称 GRAPES),模式产品空间分辨率 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,时间分辨率 3 h。预报时效为 72 小时。

本文采用欧洲中期天气预报中心的高分辨率数值预报产品 ECMWF_HR(下文简称 ECMWF)。模式产品空间分辨率 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$,时间分辨率 3 h。预报时效为 240 小时。

2.2. 研究方法简介

2.2.1. 数据预处理方法

由于预报产品数据与观测数据在时空上的不对应,所以在进行研究前,需要对数据进行预处理,在空间上,采用双线性插值法将预报场的格点数据插值到了如图 1 所示的站点位置。而在时间上,由于探空资料只有 08 时和 20 时有观测数据,所以数值预报产品也选择 08 时和 20 时起报的预报产品,并对比 12 h 和 24 h 的预报产品与观测数据的精度。

2.2.2. 数值模式预报性能的定量检验分析方法

- 平均误差：平均误差计算时正负误差抵消，它反映的是统计区域内的某种系统性误差。

$$ME = \sum (A_{fi} - A_{ai}) / N \tag{1}$$

- 均方根误差：反映了预报值与实况值的平均偏离程度，因而能反映总误差情况，它是衡量预报误差最常用的一个统计参数。

$$RMSE = \left[\sum (A_{fi} - A_{ai})^2 / N \right]^{1/2} \tag{2}$$

- 相关系数：相关系数能反映预报与实况值距平之间的相关程度。

$$COR = \left[\sum (A_{fi} - A_{fmi})(A_{ai} - A_{ami}) \right] / \left[\sum (A_{fi} - A_{fmi})^2 (A_{ai} - A_{ami})^2 \right]^{1/2} \tag{3}$$

其中 A_{fi} ， A_{ai} 分别为检验区域预报、实况值， A_{fmi} ， A_{ami} 分别为检验区域预报、实况平均值， N 为总站点数。

3. 数值预报产品预报能力对比

3.1. 不同时效温度场的预报能力对比

将 2018 年 6 月 1 日~8 月 31 日气温的观测和预报场进行时间平均后，分析 2018 年夏季平均值在不同站点上的差异，得到表 1。从表中可以看到，在平均误差上，两个模式预报场与观测值的误差均小于 1℃，其中，ECMWF 的平均变差在不同层次(200 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa)的 12 h 和 24 h 预报时效的对比中均小于 GRAPES 的结果。类似的结果也可以在相关系数 COR 和均方根误差 RMSE 的对比中发现，反映了 ECMWF 在气温预报中的优势。

Table 1. Test statistics of GRAPES and ECMWF temperature forecasts in the summer of 2018
表 1. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 温度预报检验统计表

层次	模式	12 h			24 h		
		ME	COR	RMSE	ME	COR	RMSE
200 hPa	ECMWF	0.03	0.95	0.54	0.05	0.94	0.58
	GRAPES	-0.26	0.94	0.75	-0.41	0.93	0.86
500 hPa	ECMWF	-0.04	0.99	0.38	-0.02	0.99	0.39
	GRAPES	0.52	0.99	0.66	0.84	0.99	0.94
700 hPa	ECMWF	-0.11	0.99	0.46	-0.05	0.99	0.47
	GRAPES	0.35	0.99	0.55	0.6	0.99	0.76
850 hPa	ECMWF	0.01	0.96	0.91	0.03	0.95	0.91
	GRAPES	0.15	0.94	1.13	0.09	0.93	1.21

在每一个站点上，分析 2018 年夏季逐时次预报序列与观测序列的相关性，得到图 2。从图中可以看到，整体而言，模式对于北部的预报效果优于南部地区，北部的相关系数普遍在 0.9 以上，而我国华南地区的相关系数则多在 0.8 以下。分时效来看，两个模式都是 12 h 预报时效的结果优于 24 h 预报时效的结果。分层次来看，在对流层中高层的 200 hPa 和 500 hPa，ECMWF 的结果与 GRAPES 的结果类似，二者差异较小。但在对流层低层的 700 hPa 和 850 hPa，ECMWF 结果的优势明显。

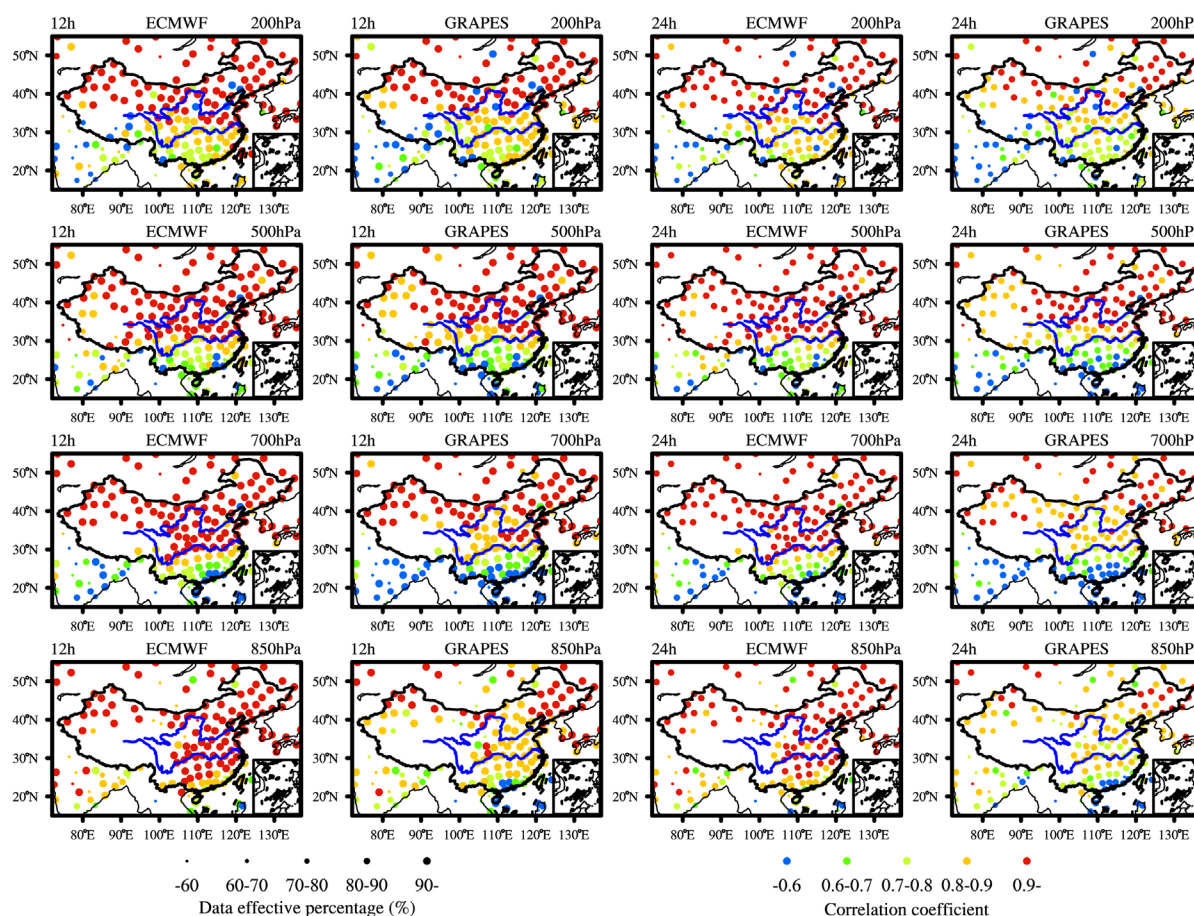


Figure 2. Spatial distribution of the correlation coefficient between GRAPES and ECMWF temperature forecasts in the summer of 2018. Rows 1 - 4 are the results of 200 hPa, 500 hPa, 700 hPa and 850 hPa, respectively. The first and third columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of ECMWF, respectively, and the second and fourth columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of GRAPES, respectively

图 2. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 温度预报相关系数空间分布图。1~4 行分别为 200 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 的结果。第一列和第三列分别为 ECMWF 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果，第二列和第四列分别为 GRAPES 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果

为了更为直观的对比 ECMWF 和 GRAPES 的结果，绘制了图 3 的散点图。从图中可以看到，ECMWF 的相关系数在不同层次均高于 GRAPES 的结果，而均方根误差则小于 GRAPES 的结果，这与前面表 1 和图 2 的结果是一致的。

3.2. 不同时效位势高度场的预报能力对比

将 2018 年 6 月 1 日~8 月 31 日位势高度的观测和预报场进行时间平均后，分析 2018 年夏季平均值在不同站点上的差异，得到表 2。从表中可以看到，在平均误差上，对流层高层的 200 hPa 误差相对较大，ECMWF 和 GRAPES 的 12 h 预报时效误差分别为-1.25 和-1.3 gpm，而在 24 h 预报时效的误差略小，分别为-1.11 和-0.93 gpm。在对流层中低层的 500 hPa、700 hPa 和 850 hPa，位势高度的误差相对较小，且除 24 h 时效 500 hPa 的结果外，ECMWF 的结果均略优于 GRAPES 的结果。而在均方根误差 RMSE 的分析上也可以看到，500 hPa 的 GRAPES 的 RMSE 在 12 h 和 24 h 预报时效的结果均小于 ECMWF 的结果，反映了 GRAPES 在 500 hPa 环流场预报中的优势，但在其他层次则仍然为 ECMWF 的结果更好，类似的结果也存在于空间相关系数 COR 中，反映了 ECMWF 在环流场预报中的优势。

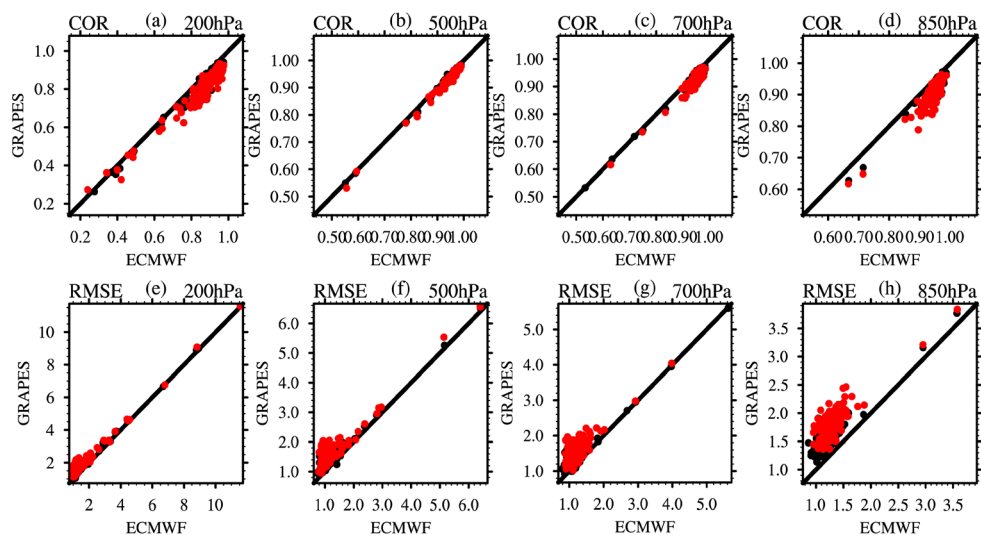


Figure 3. Scattered distribution of correlation coefficients between GRAPES and ECMWF temperature forecasts in the summer of 2018. In the figures, the abscissa is the result of ECMWF, the ordinate is the result of GRAPES, the first row is the correlation coefficient, and the second row is the root mean square error. The black dot is the result of the 12-hour forecast, and the red dot is the result of the 24-hour forecast

图 3. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 温度预报相关系数散点分布图。图中，横坐标为 ECMWF 的结果，纵坐标为 GRAPES 的结果，第一行为相关系数 COR，第二行为均方根误差 RMSE，黑点为 12 小时预报的结果，红点为 24 小时预报的结果

Table 2. Test statistics of GRAPES and ECMWF geopotential height forecasts in the summer of 2018
表 2. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 位势高度预报检验统计表

层次	模式	12 h			24 h		
		ME	COR	RMSE	ME	COR	RMSE
200 hPa	ECMWF	-1.25	0.99	2.62	-1.11	0.99	2.57
	GRAPES	-1.3	0.99	2.62	-0.93	0.99	2.6
500 hPa	ECMWF	-0.45	0.99	1.05	-0.36	0.98	1.05
	GRAPES	-0.2	0.99	0.87	-0.06	0.99	0.91
700 hPa	ECMWF	-0.25	0.96	0.71	-0.18	0.96	0.73
	GRAPES	-0.55	0.97	0.88	-0.7	0.96	1.02
850 hPa	ECMWF	-0.37	0.84	1.13	-0.31	0.83	1.15
	GRAPES	-0.8	0.8	1.41	-0.99	0.77	1.6

在每一个站点上，分析 2018 年夏季位势高度逐时次预报序列与观测序列的相关性，得到图 4。从图中可以看到，整体而言，和温度场的分析类似，模式对于北部的预报效果优于南部地区，北部的相关系数普遍在 0.9 以上，而我国华南地区的相关系数则多在 0.8 以下，但从相关系数上来看，模式对于位势高度的预报效果优于温度场的预报效果。分时效来看，两个模式都是 12 h 预报时效的结果优于 24 h 预报时效的结果，且在我国西部地区的差异更为明显。分层次来看，在对流层中高层的 200 hPa 和 500 hPa，ECMWF 的结果与 GRAPES 的结果类似，二者差异较小。但在对流层低层的 700 hPa 和 850 hPa，ECMWF 结果的优势明显，且这种优势主要表现在我国西部地区。

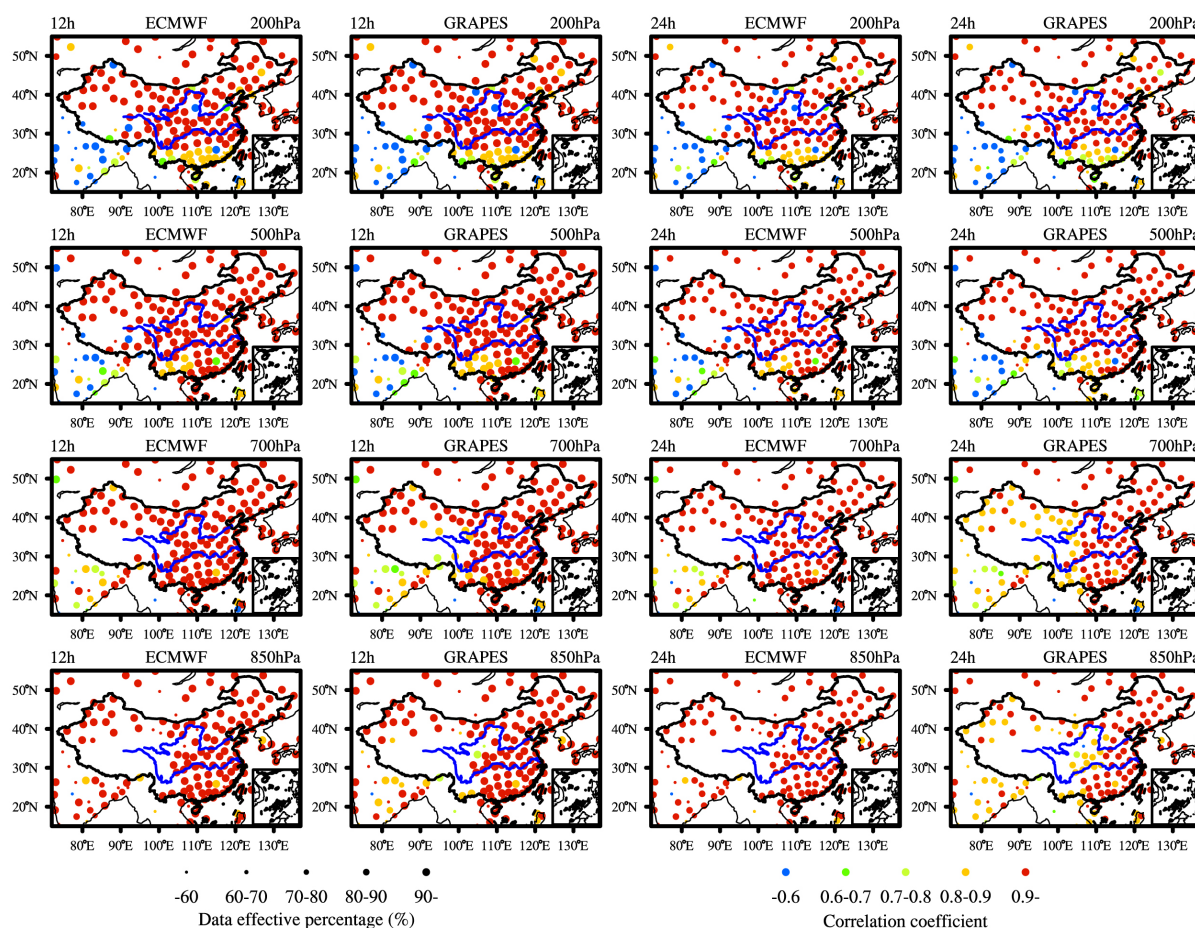


Figure 4. Spatial distribution of the correlation coefficient between GRAPES and ECMWF geopotential height forecasts in the summer of 2018. Rows 1 - 4 are the results of 200 hPa, 500 hPa, 700 hPa and 850 hPa, respectively. The first and third columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of ECMWF, respectively, and the second and fourth columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of GRAPES, respectively

图 4. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 位势高度相关系数空间分布图。1~4 行分别为 200 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 的结果。第一列和第三列分别为 ECMWF 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果，第二列和第四列分别为 GRAPES 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果

为了更为直观的对比 ECMWF 和 GRAPES 的结果，绘制了图 5 的散点图。从图中可以看到，在对流层中高层的 200 hPa 和 500 hPa，二者的差异相对较小，但在 700 hPa 和 850 hPa，则 ECMWF 的相关系数大于 GRAPES 的结果，而 ECMWF 的 RMSE 则小于 GRAPES 的结果，反映 ECMWF 对于对流层低层位势高度的预报效果优于 GRAPES 的结果。

3.3. 不同时效风场的预报能力对比

将 2018 年 6 月 1 日~8 月 31 日观测和预报的风速场进行时间平均后，分析 2018 年夏季平均值在不同站点上的差异，得到表 3。从表中可以看到，在平均误差上，ECMWF 在 200 hPa 的偏低 10 m/s 以上，而在其他层次上则偏低 5 m/s 以上。GRAPES 的误差在各层均小于 1 m/s，明显优于 ECMWF 的结果。类似的结果也可以在相关系数 COR 和均方根误差 RMSE 的对比中发现，反映了 ECMWF 在气温预报中的优势。

在每一个站点上，分析 2018 年夏季风速场逐时次预报序列与观测序列的相关性，得到图 6。从图中

可以看到, 整体而言, 模式对于高层的预报效果优于低层的结果, 而在对流层高层的 200 hPa, 北方的预报效果也优于南方的效果。分模式来看, GRAPES 的预报结果显著优于 ECMWF 的结果, 反映了其在风速预报上的优势。

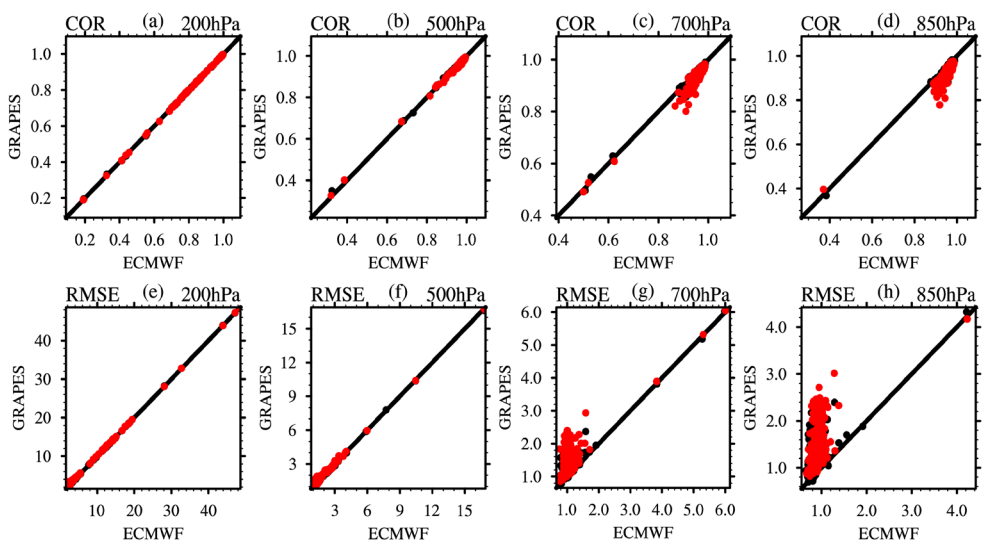


Figure 5. Scattered distribution of correlation coefficients between GRAPES and ECMWF geopotential height forecasts in the summer of 2018. In the figure, the abscissa is the result of ECMWF, the ordinate is the result of GRAPES, the first row is the correlation coefficient COR, and the second row is the root mean square error RMSE. The black dot is the result of the 12-hour forecast, and the red dot is the result of the 24-hour forecast

图 5. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 位势高度预报相关系数散点分布图。图中, 横坐标为 ECMWF 的结果, 纵坐标为 GRAPES 的结果, 第一行为相关系数 COR, 第二行为均方根误差 RMSE, 黑点为 12 小时预报的结果, 红点为 24 小时预报的结果

Table 3. Test statistics of GRAPES and ECMWF wind speed forecasts in the summer of 2018

表 3. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 风速预报检验统计表

层次	模式	12 h			24 h		
		ME	COR	RMSE	ME	COR	RMSE
200 hPa	ECMWF	-10.64	0.87	13.35	-10.59	0.87	13.29
	GRAPES	-0.38	0.99	0.86	-0.3	0.99	1.02
500 hPa	ECMWF	-5.19	0.8	5.63	-5.13	0.81	5.55
	GRAPES	-0.35	0.98	0.59	-0.25	0.98	0.59
700 hPa	ECMWF	-5.24	0.61	5.65	-5.24	0.61	5.65
	GRAPES	-0.14	0.94	0.58	-0.02	0.93	0.59
850 hPa	ECMWF	-5.42	0.59	6.02	-5.5	0.58	6.11
	GRAPES	0.5	0.89	1.02	0.75	0.88	1.2

为了更为直观的对比 ECMWF 和 GRAPES 的结果, 绘制了图 7 的散点图。从图中可以看到, GRAPES 的相关系数在不同层次均高于 ECMWF 的结果, 而均方根误差则小于 ECMWF 的结果, 这与前面表 3 和图 6 的结果是一致的。

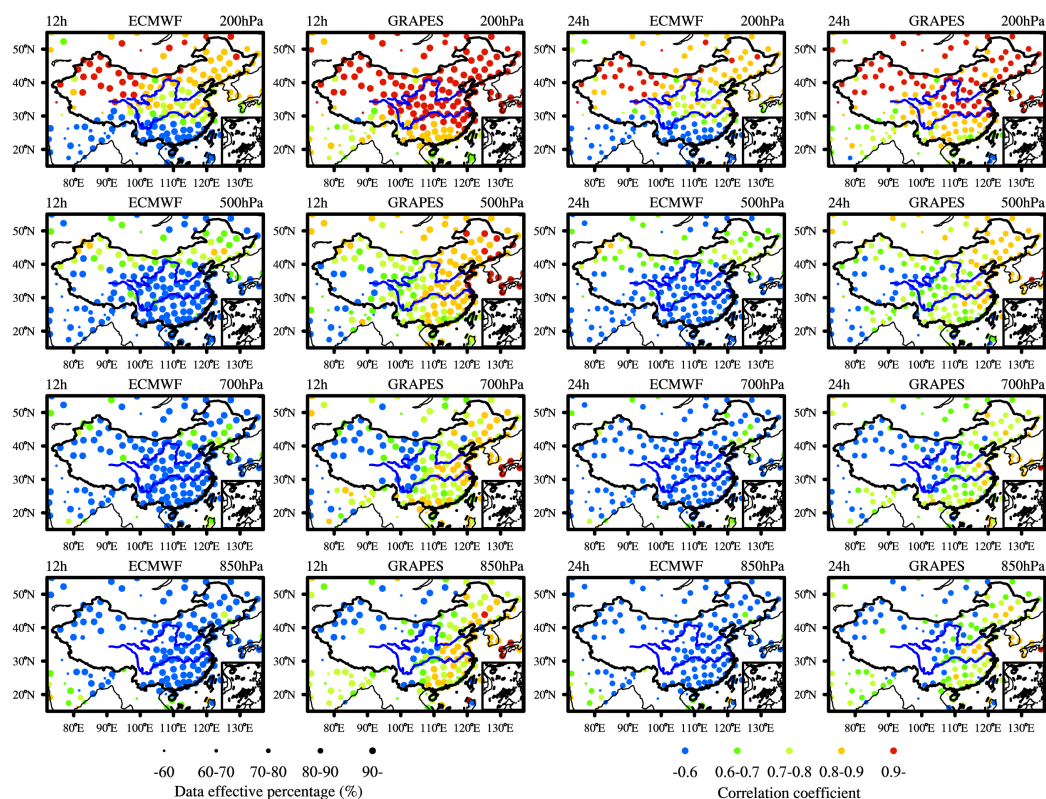


Figure 6. Spatial distribution of the correlation coefficient between GRAPES and ECMWF wind speed forecasts in the summer of 2018. Rows 1 - 4 are the results of 200 hPa, 500 hPa, 700 hPa and 850 hPa, respectively. The first and third columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of ECMWF, respectively, and the second and fourth columns are the 12 h and 24 h forecast aging results of GRAPES, respectively

图 6. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 风速预报相关系数空间分布图。1~4 行分别为 200 hPa、500 hPa、700 hPa 和 850 hPa 的结果。第一列和第三列分别为 ECMWF 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果，第二列和第四列分别为 GRAPES 的 12 h 和 24 h 预报时效的结果

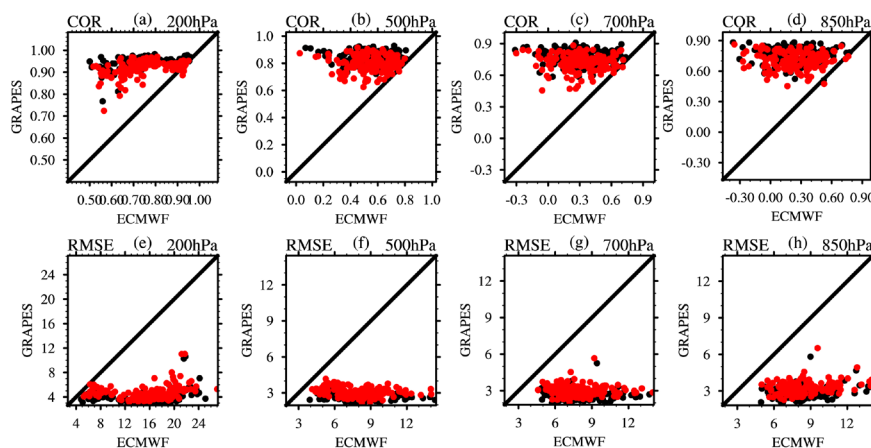


Figure 7. Scattered distribution of correlation coefficients between GRAPES and ECMWF wind speed forecasts in the summer of 2018. In the figures, the abscissa is the result of ECMWF, the ordinate is the result of GRAPES, the first row is the correlation coefficient, and the second row is the root mean square error. The black dot is the result of the 12-hour forecast, and the red dot is the result of the 24-hour forecast

图 7. 2018 年夏季 GRAPES 和 ECMWF 风速预报相关系数散点分布图。图中，横坐标为 ECMWF 的结果，纵坐标为 GRAPES 的结果，第一行为相关系数 COR，第二行为均方根误差 RMSE，黑点为 12 小时预报的结果，红点为 24 小时预报的结果

4. 结论

本文利用 GRAPES 中尺度模式和 ECMWF 高分辨率模式资料与实际探空资料对比分析,使用平均偏差、均方根误差、相关系数等数理统计方法,分析了数值预报产品与实况场在 2018 年夏季的差异,检验了两种模式在我国高空预报中的预报能力,主要结论如下:

在温度预报上,ECMWF 的平均偏差、均方根误差和相关系数在不同层次的 12 h 和 24 h 预报时效的对比中均小于 GRAPES 的结果,且在对流层低层的 700 hPa 和 850 hPa,ECMWF 结果的优势明显。

在位势高度预报上,模式对于北部的预报效果优于南部地区,且模式对于位势高度的预报效果优于温度场的预报效果。两个模式都是 12 h 预报时效的结果优于 24 h 预报时效的结果,且在我国西部地区的差异更为明显。分层次来看,在对流层低层的 700 hPa 和 850 hPa,ECMWF 结果的优势明显,且这种优势主要表现在我国西部地区。

在风速预报上,GRAPES 在平均误差、相关系数和均方根误差上明显优于 ECMWF 的结果。模式对于高层的预报效果优于低层的结果,而在对流层高层的 200 hPa,北方的预报效果也优于南方的效果。

参考文献

- [1] 丁凡,安婷婷,陈小苏,程月,潘玲. ECMWF 细网格数值预报产品在山东汛期强对流天气预报中的检验[J]. 陕西气象, 2020(4): 21-25.
- [2] 吴晶,李照荣,颜鹏程,杨艳芬,白磊,杨建才,彭筱. 西北四省(区) GRAPES 模式降水预报的定量评估[J]. 气象, 2020, 46(3): 346-356.
- [3] 彭筱,陈晓燕,黄武斌. 2016 年夏季不同分辨率 GRAPES_MESO 模式的西北地区预报效果检验[J]. 气象研究与应用, 2019, 40(4): 6-11.
- [4] 吕林宜,王新敏,栗晗. 华东区域模式对河南“7·19”特大暴雨的数值检验与分析[J]. 气象与环境科学, 2019, 42(1): 101-109.
- [5] 宫宇,代刊,徐珺,杨舒楠,唐健,张芳,胡宁,张夕迪,沈晓琳. GRAPES-GFS 模式暴雨预报天气学检验特征[J]. 气象, 2018, 44(9): 1148-1159.
- [6] 邹阳,王将. 2 个数值模式在昆明地区气温预报中的准确率比较[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(10): 140-144.
- [7] 次仁德吉,杨丽敏,李慧敏. 数值预报产品在西藏中期天气预报应用检验的初步分析[J]. 西藏科技, 2018(2): 60-62.
- [8] 王焕毅,谭政华,杨萌,张翹,蒋林杉. 三种数值模式气温预报产品的检验及误差订正方法研究[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(1): 22-29.
- [9] 翟振芳,魏春璇,邓斌,纪元. 安徽省 ECMWF 数值模式降水预报性能的检验[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(5): 1-9.
- [10] 潘留杰,张宏芳,朱伟军,王楠,王建鹏. ECMWF 模式对东北半球气象要素场预报能力的检验[J]. 气候与环境研究, 2013, 18(1): 111-123.
- [11] 陈德辉,薛纪善,杨学胜,张红亮,沈学顺,胡江林,王雨,纪立人,陈嘉滨. GRAPES 新一代全球/区域多尺度统一数值预报模式总体设计研究[J]. 科学通报, 2008(20): 2396-2407.