

NCEP和GRAPES作为WRF模式背景场的宁夏暴雨模拟效果对比分析

杨 曼^{1,2}, 张冬梅³

¹中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室/宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏 银川

²宁夏回族自治区永宁县气象局, 宁夏 银川

³泗洪县气象局, 江苏 宿迁

收稿日期: 2026年2月11日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月19日

摘 要

本文使用宁夏本地化的高分辨率中尺度WRF模式, 分别选取美国的NCEP和中国的GRAPES全球数值预报模式作为初始场和边界条件, 对2020年出现的暴雨过程进行数值模拟, 并结合实况进行对比检验, 分析暴雨发生时两种不同背景场下的WRF模拟效果。同时对2020年8月23日降水过程模拟结果进行对比。结果表明: 无论从降水逐月检验还是要素场逐月检验, 均为NCEP优于GRAPES。对于2020年8月23日过程, NCEP做初始场输出结果无论从高空高度场还是低空风场及相对湿度来看都与实况更接近, 位置也与降水中心更符合。

关键词

暴雨, WRF模式, 初始场

Comparative Analysis of Rainstorm Simulation Effects of NCEP and GRAPES as the Background Field of WRF Model in Ningxia

Man Yang^{1,2}, Dongmei Zhang³

¹Key Laboratory of Monitoring, Early Warning and Risk Management of Characteristic Agricultural Meteorological Disasters in Arid Areas of the China Meteorological Administration/Ningxia Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation, Yinchuan Ningxia

²Ningxia Hui Autonomous Region Yongning County Meteorological Bureau, Yinchuan Ningxia

³Sihong County Meteorological Bureau, Suqian Jiangsu

Received: February 11, 2026; accepted: March 9, 2026; published: March 19, 2026

文章引用: 杨曼, 张冬梅. NCEP 和 GRAPES 作为 WRF 模式背景场的宁夏暴雨模拟效果对比分析[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(2): 382-395. DOI: 10.12677/ccrl.2026.152043

Abstract

In this paper, the high-resolution mesoscale WRF model localized in Ningxia is used to simulate the rainstorm process in 2020 by selecting the NCEP in the United States and the GRAPES global numerical forecast model in China as the initial field and boundary conditions, and comparing the WRF simulation effect under two different background fields during the rainstorm. At the same time, the simulation results of the precipitation process on August 23, 2020 were compared. The results show that NCEP is better than GRAPES in both precipitation and factor field tests. For the process on August 23, 2020, the initial field output results of NCEP are closer to the actual situation in terms of high-altitude field, low-altitude wind field and relative humidity, and the location is more consistent with the precipitation center.

Keywords

Rainstorm, WRF Model, Initial Field

Copyright © 2026 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

暴雨是我国灾害性天气之一,暴雨的预报一直是国内外的研究热点与难点[1]。国家对暴雨科研和预报极为重视,组织了多方力量进行了暴雨的科研协作,研究重点由天气尺度转向了中尺度,还研制了全国性的区域降水数值预报模式。多年来我国诸多气象工作者一直致力于利用高分辨率中尺度 WRF (Weather Research and Forecasting Model)模式对宁夏暴雨的研究,以提高本地区的预报准确率[2]。WRF 是由美国环境预测中心 NCEP (National Centers for Environmental Prediction)、美国国家大气研究中心 NCAR (National Center for Atmospheric Research)等科研机构 and 大学合作开发的新一代中尺度天气预报模式。WRF 模式的准确性主要取决于模式物理过程的完善程度以及模式初始场的准确程度[3] [4]。目前宁夏 WRF 模式预报的物理过程发展已经逐渐完善,所以高分辨率初始场的选取是目前业务工作上所需要的。目前宁夏 WRF 模式进行数值模拟的天气预报所使用的背景场 NCEP/GFS (Global Forecasting System) 全球数值预报模式资料,取得了较理想的预报效果,得到当地预报员和专家的认可,成为宁夏暴雨等降水天气预报的重要参考之一。随着国内 GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction System, 现更名为 CMA)全球数值预报模式的快速发展,其预报性能逐步接近 NCEP 等国外数值预报模式[5]-[8],为驱动本地中尺度数值预报模式打下了良好的基础。随着国际环境的日趋严峻,美国 NCEP 等全球数值预报模式资料能够正常获取成为未知数,中国气象局预报与网络司专门就 NCEP 数据资料全部缺失对预报业务产生的影响进行评估分析,要求各省气象局提出可替代的应急措施。为此,宁夏专门开发了将 GRAPES 全球数值模式数据转化为 WRF 模式所需背景场数据的接口程序,驱动本地 WRF 模式的备份系统运行,一旦 NCEP 数据无法获取,将立即将 GRAPES 驱动的 WRF-RUC (Rapid Update Cycle)作为业务运行的主系统,替代原系统实时提供数值预报产品,确保宁夏预报预警业务不受影响。但用 GRAPES 替代 NCEP 驱动本地 WRF 模式的预报效果有何影响还未做评估。因此,本项目将针对宁夏地区的暴雨,开展 NCEP 和 GRAPES 作为 WRF 背景场的敏感性试验与检验评估对比分析[9] [10],为今后暴雨等降水过

程高分辨率数值预报中合理选择和使用背景场提供一些参考[6]。

2. 资料和方法

2.1. 模式及资料介绍

WRF 模式是由美国国家大气研究中心 NCAR、美国国家海洋和大气管理局 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)、美国空军、海军研究实验室、俄克拉荷马大学和联邦航空管理局 FAA (Federal Aviation Administration)共同合作开发的一种新一代中尺度数值天气预报系统, 专为大气研究和预报应用而设计。有两个动力内核, 一个数据同化系统, 和一个支持并行计算和系统扩展的软件结构。WRF 可用于模拟从数十米到数千公里不等的各种气象系统, 能够满足大部分的中尺度天气研究。模式可根据实际大气条件或理想化条件进行模拟。

本试验采用 WRF3.9 版本, 敏感性试验采用的初始场和边界条件来自于 NCEP 的 FNL 全球再分析资料以及中国气象局 GRAPES-GFS。实况资料来自于宁夏各站地面观测资料。

2.2. 试验设置

模式微物理过程参数化方案采用 WSM6 类简单冰方案; 辐射过程参数化方案分别选取了简单的 RRTM 长波辐射方案和 Dudhia 短波辐射方案; 陆面过程采用 Noah 方案; 边界层方案采用 YSU 方案; 浅对流 EtaKain-Fritsch 积云参数化方案。

2.3. 检验方法

降水检验评估办法采取宁夏中尺度 WRF 模式系统的检验评估办法, 对 2020 年五到八月 08 时及 20 时起报的 12 小时及 24 小时降水量进行检验评估。

根据《数值天气预报产品检验规范》中降水检验方法, 见表 1。

Table 1. Classification table for precipitation verification

表 1. 降水的检验分类表

实况	预报	
	有	无
有	A	C
无	B	D

$$\begin{aligned}
 & \text{预报检验评分 } D_{TS} = \frac{A}{A+B+C}, \text{ 降水发生的随机概率 } R(a) = \frac{(A+B) \cdot (A+C)}{A+B+C+D}, \text{ 公平 TS 评分} \\
 & D_{ETS} = \frac{A-R(a)}{A+B+C-R(a)}, \text{ 漏报率 } D_{PO} = \frac{C}{A+C}, \text{ 空报率 } D_{NH} = \frac{B}{A+B}, \text{ 预报偏差 } D_{BIAS} = \frac{A+B}{A+C}。
 \end{aligned}$$

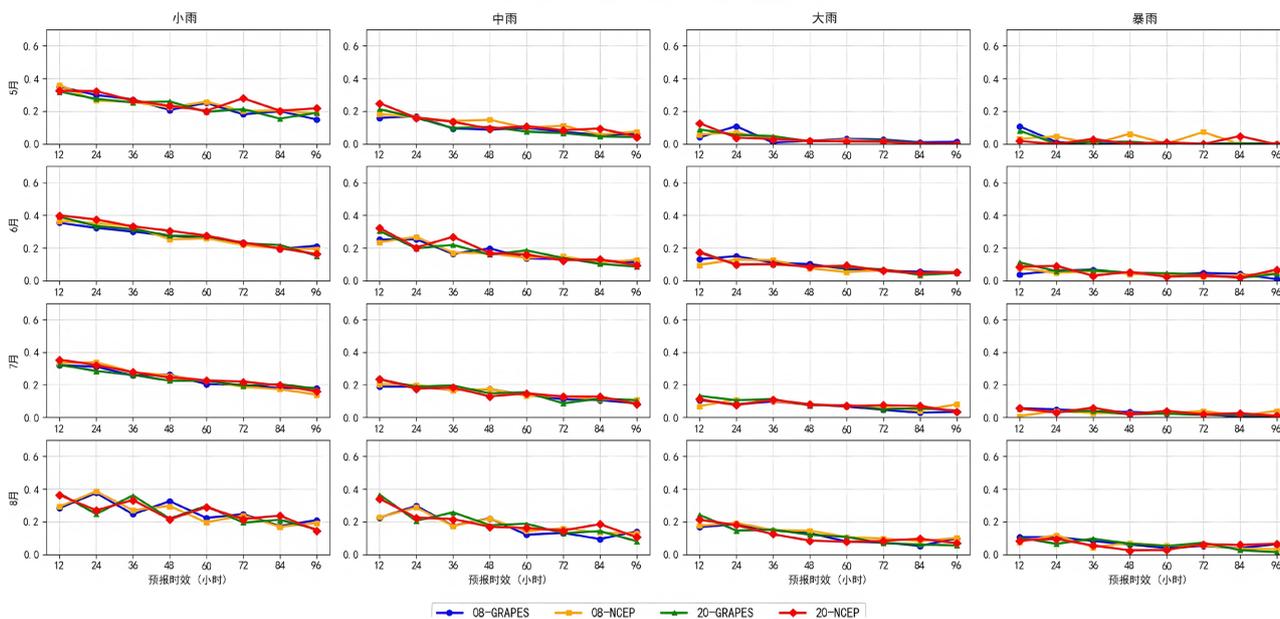
3. 降水检验评估结果

3.1. 不同起报时间检验

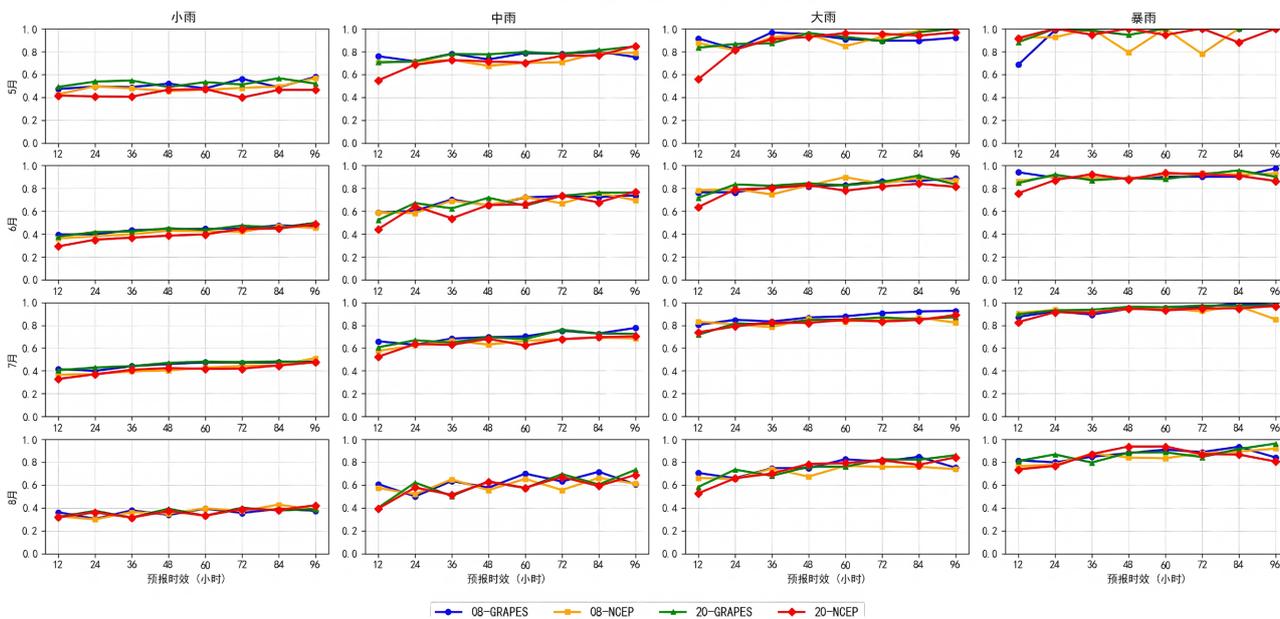
根据 ETS 评分、空报率、漏报率和预报偏差四个指标, 对不同降水等级(小雨、中雨、大雨、暴雨)下 NCEP 和 GRAPES 作为 WRF 模式背景场在宁夏地区的模拟效果进行了比较分析(图 1), 评估其在 5 月至 8 月的综合模拟性能, 结论如下:

ETS 评分: 在 08 时起报背景下, 从整体趋势来看, NCEP 在小雨和中雨量级上的 ETS 评分普遍高于 GRAPES, 这表明 NCEP 对弱降水的模拟效果更好, 能够为 WRF 提供更加平滑且稳定的初始场。然而随着降水量级的增大, GRAPES 的优势逐渐凸显。对于大雨等级, GRAPES 在 5~7 月份的 ETS 明显高于 NCEP, 尤其是 48~72 小时预报时效内, 其优势十分突出。20 时起报条件下结论与 08 时相似。在不同起报时次的对比中发现, 对于小雨和中雨量级, 20 时起报的 ETS 普遍高于 08 时, 即晚间起报更有利于弱降水的连续性模拟, NCEP 在此方面尤为突出。然而在大雨和暴雨量级上, 08 时起报的模拟能力明显优于 20 时, 尤其在 GRAPES 中表现更加显著。这可能源于 08 时起报更接近白天对流触发前的大气初始状态, 更容易捕捉下午和傍晚发生的短时强降水。

不同初始场不同量级12h降水量5-8月ETS评分对比



不同初始场不同量级12h降水量5-8月空报率对比



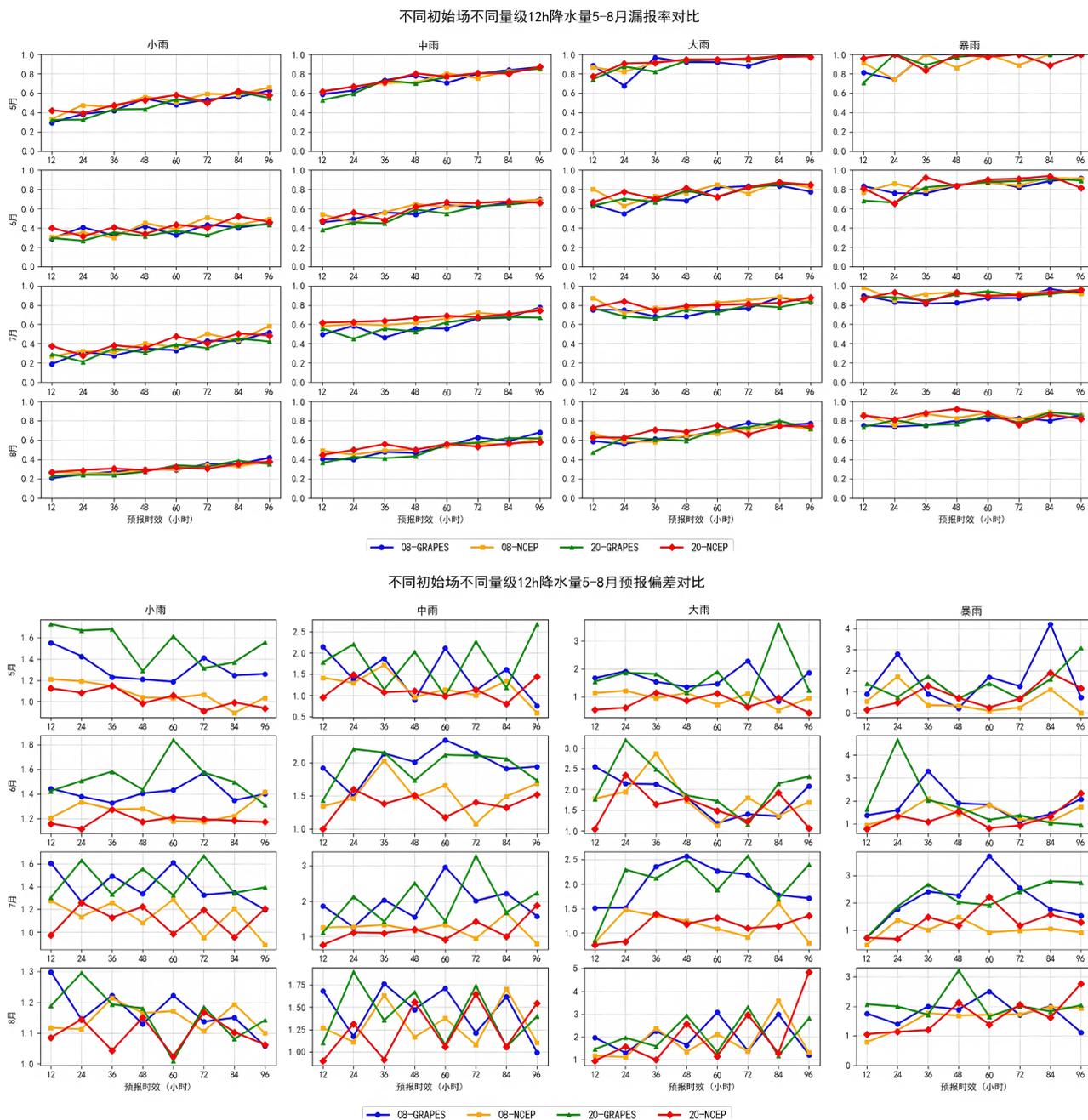


Figure 1. The two numerical forecast models are of different magnitudes, start reporting times, 12-hour precipitation, ETS scores, false reporting rates, missed reporting rates, and forecast deviations

图 1. 两模式不同量级不同起报时间 12 h 降水量 ETS 评分、空报率、漏报率、预报偏差

漏报率: 在 08 时起报背景下, GRAPES 模式在小雨和中雨量级的漏报率普遍低于 NCEP, 表现为对弱降水事件的捕捉能力更强, 尤其在 24~72 h 预报时效中优势更加明显。而对于大雨及以上量级, GRAPES 的漏报率在多数月份中仍保持较低水平。相比之下, NCEP 虽然在部分大雨量级上漏报率略低于 GRAPES, 但整体波动较大, 在时效延长后(如 72 h 与 96 h)漏报率显著上升。20 时起报结果显示, 两种模式在不同雨量级上的漏报差异依然显著, 但与 08 时起报相比均呈现不同程度的改善。然而, 与 GRAPES 相比, NCEP 在小雨与中雨等级仍表现出漏报偏高并随时效增长波动增大的特征。整体而言, 20 时起报条件下

GRAPES 的综合表现依旧优于 NCEP, 而 NCEP 对强降水的检出能力较 08 时起报略有提升但稳定性仍不足。

空报率: 08 时起报时, GRAPES 的空报率普遍高于 NCEP, 说明 GRAPES 更易出现空报。这一特征在小量级降水中尤为明显, 表明早晨起报的初值下 GRAPES 对微弱降水信号更为敏感但伴随较高的误报率。总体来看, NCEP 空报率普遍低于 GRAPES 但是随着降水量级增大表现更为不稳定, 二者在不同降水等级上存在权衡关系。20 时起报两种模式的空报率总体呈下降或稳定化趋势, 但差异性仍然明显, 尤其是 5 月。综合来看, 20 时起报下 NCEP 有一定改进, GRAPES 的空报问题有所缓解但未根本消除; NCEP 在小量级降水方面更保守, 但对强降水的错误判断仍需注意。

预报偏差: 在 08 时起报条件下, 两模式预报均存在明显的正偏差($Bias > 1$), 表明两种模式整体上存在过度预报倾向。GRAPES 模式在小雨、中雨、大雨与暴雨等级上的偏差普遍处于 1.1~2.5 的区间, 且随着降水等级增强偏差显著增大。在 20 时起报条件下, 两种模式的偏差整体较 08 时起报明显减弱, 但过预报仍是主要特征。GRAPES 在小雨、中雨等级的偏差多数分布于 1.15~1.8 区间, 相比 08 时起报略有改善。同时在大雨与暴雨中偏差虽仍处于 1.7~2.5 区间, 但波动小于 08 时起报, 表明晚间起报更契合宁夏地区夜间降水过程的演变节律。整体来看, NCEP 在不同起报时间下的偏差差异较小, 无论是小雨、中雨还是大雨及暴雨等级, 其偏差曲线形态保持相对稳定。相比之下, GRAPES 对起报时间更为敏感, 20 时起报情境下在多数降水等级上呈现更高偏差, 反映出其对夜间大气稳定性和湿度条件变化更为敏感, 易在晚间起报下产生偏强降水预报。

3.2. 不同降水量级检验

根据 TS 评分、ETS 评分、漏报率、空报率和预报偏差五个指标, 对不同降水等级(小雨、中雨、大雨、暴雨)下 NCEP 和 GRAPES 作为 WRF 模式背景场在宁夏地区的模拟效果进行了比较分析(图 2), 评估其在 5 月至 8 月的综合模拟性能, 结论如下:

在小雨量级的评估中, TS 和 ETS 评分显示 NCEP 模式整体表现优于 GRAPES, 尤其在 24 小时和 48 小时预报时效优势更为显著, 表明其对小雨过程具有更高的预报准确性。从漏报率看, GRAPES 表现优于 NCEP; 而在空报率方面则相反, NCEP 明显优于 GRAPES。预报偏差方面, 两模式均存在一定程度的过预报现象, 其中 GRAPES 偏差略高于 NCEP, 后者预报相对保守, 更接近实况。

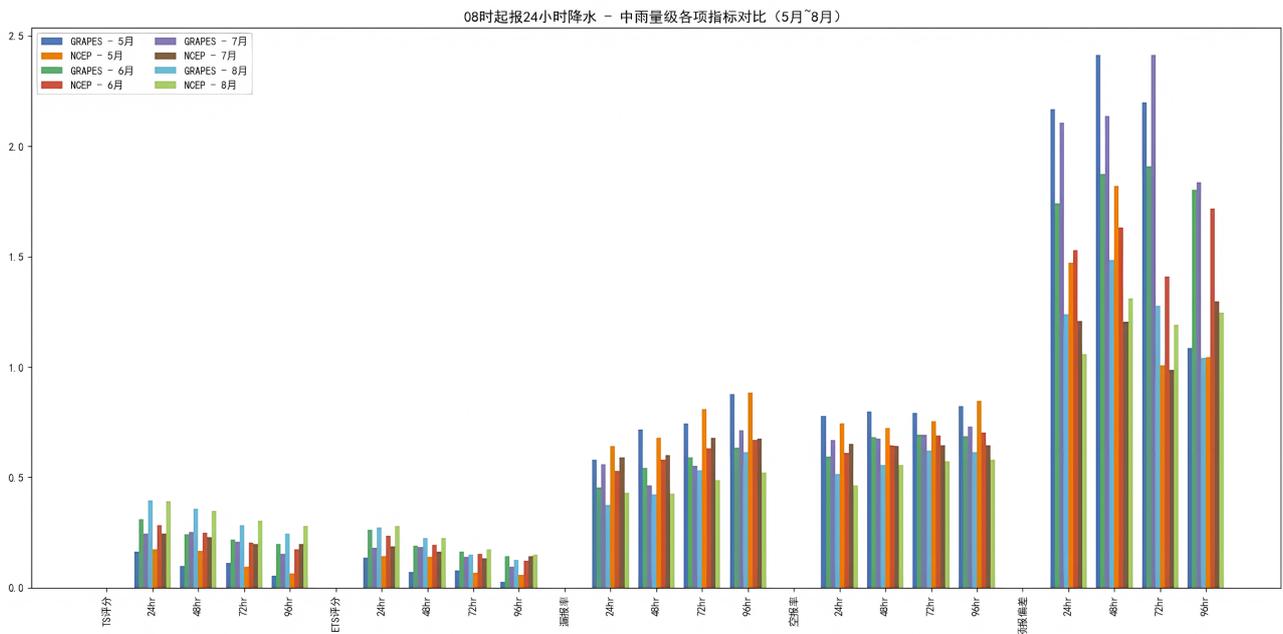
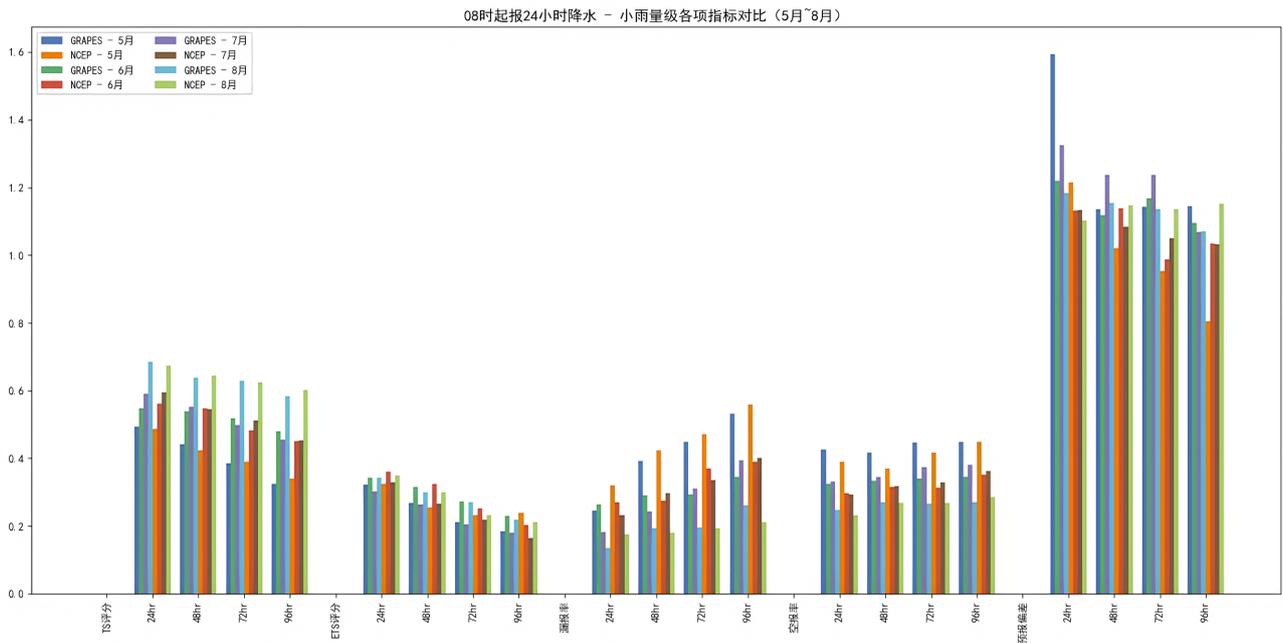
在中雨量级, NCEP 的 TS 和 ETS 评分显著高于 GRAPES, 尤其在 48 小时和 72 小时预报时段体现其更好的模拟能力。漏报率方面 NCEP 同样表现更优, 5 月和 6 月尤为突出。空报率对比中, GRAPES 在多数月份高于 NCEP, 且差异在 72 小时以后更为明显, 反映 GRAPES 存在一定“偏多报”倾向, 而 NCEP 预报则相对保守。预报偏差显示两模式均存在过预报, 但 NCEP 在偏差控制上更优, 结果更接近实况。

在大雨量级, GRAPES 在 TS 和 ETS 评分上普遍高于 NCEP, 7 月和 8 月优势尤为显著, 显示其在该量级上具备更强的预报能力。然而 GRAPES 漏报率较高, 尤其在 72 小时及更长时效, 易错过关键降水时段; 其空报率也较高, 7 月和 8 月过度预报倾向明显。相比之下, NCEP 在漏报率和空报率上表现更为谨慎, 漏报较少、空报较稳定, 预报风格相对保守。预报偏差方面二者差异明显: GRAPES 在长时效(如 72 小时及以上)多呈现正偏差, 即预报偏强; NCEP 则偏差较为稳定, 尤其在 5 月和 6 月表现更为保守、偏差较小。

在暴雨量级, 两模式的 TS 评分均较低, 反映出暴雨预报的普遍难度。其中 7 月、8 月评分略高于 5 月、6 月, 说明主汛期模拟效果相对更好。24 小时和 48 小时时效 GRAPES 的 TS 评分多高于 NCEP, 但随着时效延长, NCEP 表现更优。ETS 评分也整体很低, 且 NCEP 普遍高于 GRAPES。漏报率方面,

GRAPES 在几乎所有月份均低于 NCEP, 7~8 月差异最为明显。空报率上 NCEP 整体较低, 说明其对暴雨的模拟能力相对更好。预报偏差方面, 两模式均呈现不同程度的正偏差, 但 GRAPES 的偏差幅度明显大于 NCEP: 其在 24~96 小时时效的偏差均高于 2, 并于 72 小时达到峰值, 表现出明显的过度预报特征; 而 NCEP 的偏差多维持在 1.3~3 之间, 且随时效变化较为平缓, 说明其作为背景场能提供更稳定、偏差相对较小的暴雨量级预报, GRAPES 则存在显著系统性偏强的问题。

总体而言, NCEP 在模拟评分和降水精度方面表现更优, 适用于中到强降水过程的精细化模拟, GRAPES 则在误报控制方面具有一定优势。不同等级降水对模式背景场的敏感性不同, 因此在实际业务中应结合预报需求灵活选取背景资料。



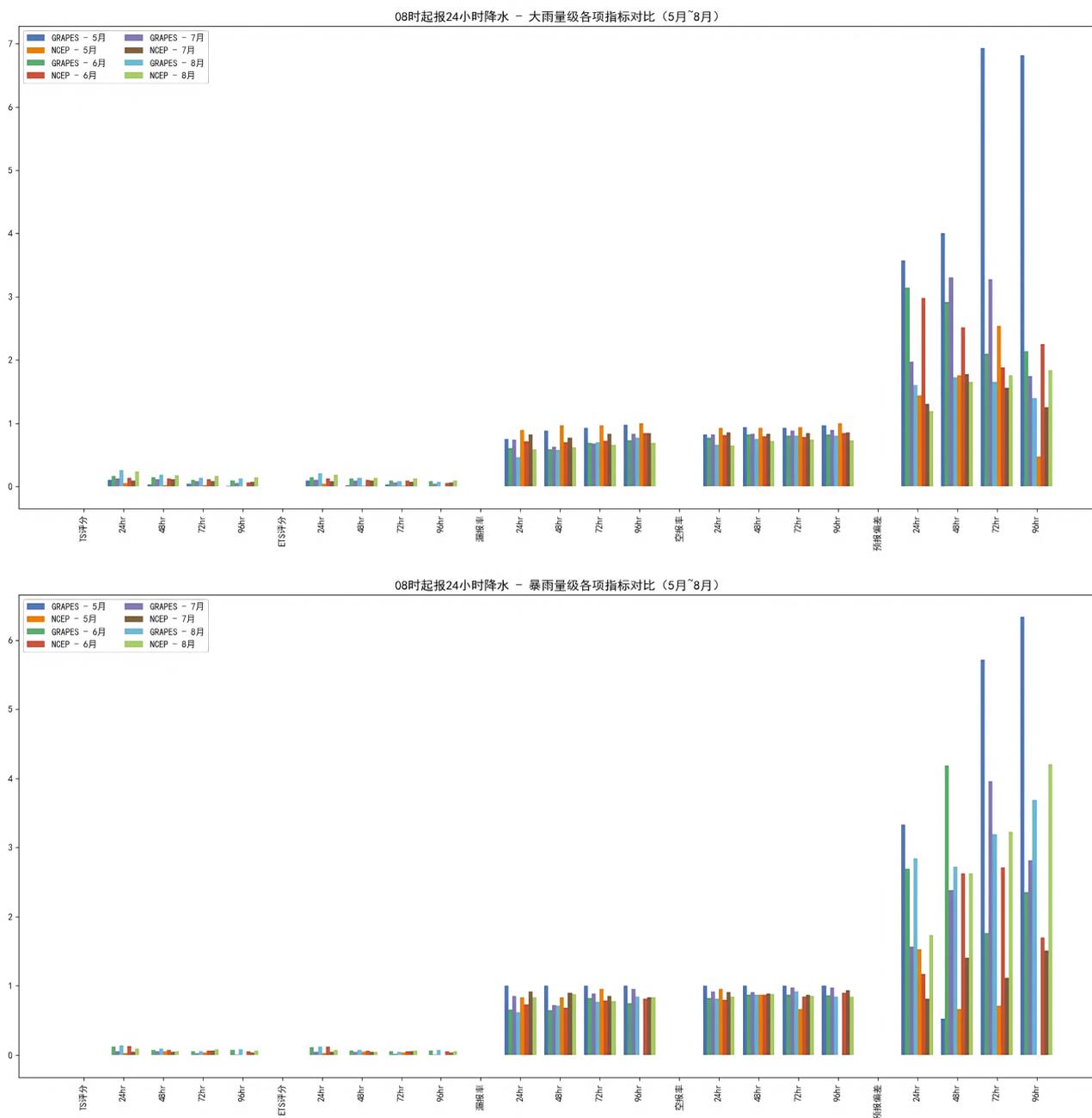


Figure 2. The 24-hour precipitation forecast from 08:00, light rain, moderate rain, heavy rain, and heavy rain test indicators
图 2. 08 时起报 24 h 降水, 小雨、中雨、大雨、暴雨各项检验指标

4. 要素场逐月检验评估结果

4.1. 温度

图 3 展示了两初始场在 08 时起报条件下不同预报时效的气温误差与绝对误差。从 5 月到 8 月, 绝对误差的波动幅度逐月增大, 而误差的波动幅度则呈减小趋势。在 5 月和 6 月, 随着预报时效增加, 误差与绝对误差均呈现周期性变化, 其中每日 14 时和 08 时的预报误差最大。当预报时效在 48 小时以内时, 两种初始场的误差及绝对误差曲线基本重合; 超过 48 小时后, 在白天时段(48~60 小时及 72~84 小

时), 误差为负值, 表明预报结果偏低, 且在该时段 NCEP 的误差与绝对误差均优于 GRAPES。而在夜间时段(60~72 小时及 84~96 小时), GRAPES 的误差小于 NCEP, 预报更为准确。

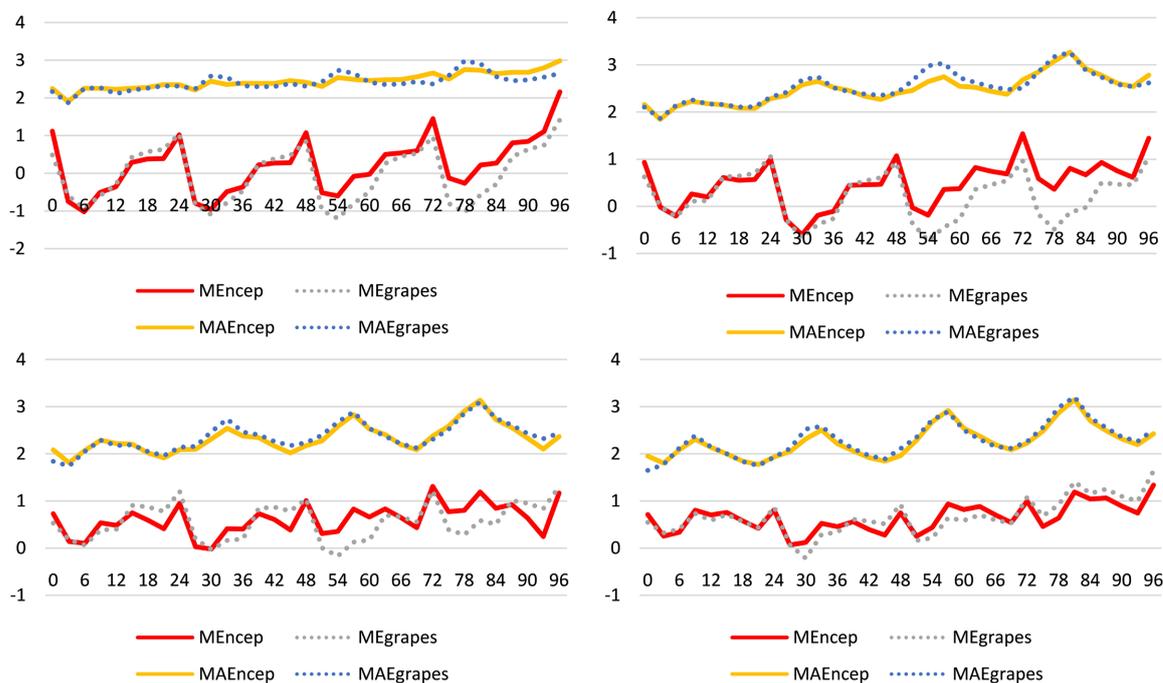


Figure 3. From May to August, the temperature error and absolute error are reported from 08 o'clock in the two initial fields
图 3. 5~8 月两种初始场不同时效 08 时起报气温误差与绝对误差

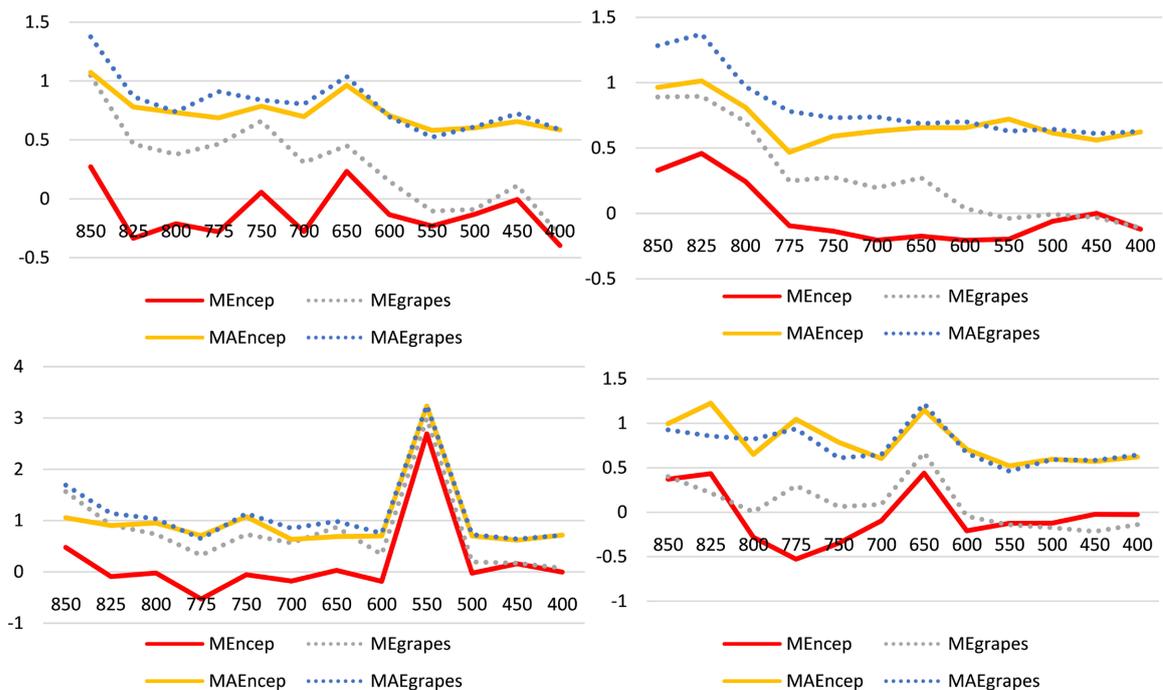


Figure 4. From May to August, the high-altitude temperature error and absolute error are reported from 08:00 in different initial fields
图 4. 5~8 月不同初始场 08 时起报高空温度误差与绝对误差

4.2. 高空温度

图 4 为 08 时起报的高空温度误差与绝对误差。从误差分析可以看出, 除 5 月和 8 月的低层外, 两种初始场的误差随高度变化趋势基本一致, 且 NCEP 作为初始场明显优于 GRAPES。6 月和 8 月, 随着高度升高, 误差逐渐减小、波动趋缓, 表明高层温度预报准确率高于低层。从绝对误差来看, 600 hPa 以下 NCEP 作为初始场表现相对更好; 600 hPa 以上的中空高, 两种初始场的绝对误差曲线基本重合, 这一特征在 7 月和 8 月尤为明显。

4.3. 高空相对湿度

通过分析两种初始场的高空相对湿度误差可知(图 5), 在低层(850~775 hPa)和高层(500 hPa 以上), 四个月中 NCEP 初始场的误差均更低; 而在中层, GRAPES 初始场的误差相对较低。从绝对误差来看, 除五月、七月和八月在低层及高层出现 GRAPES 优于 NCEP 的情况外, 其余均为 NCEP 更优, 其绝对误差更低。总体而言, 在相对湿度场的预报中, NCEP 作为初始场明显优于 GRAPES。

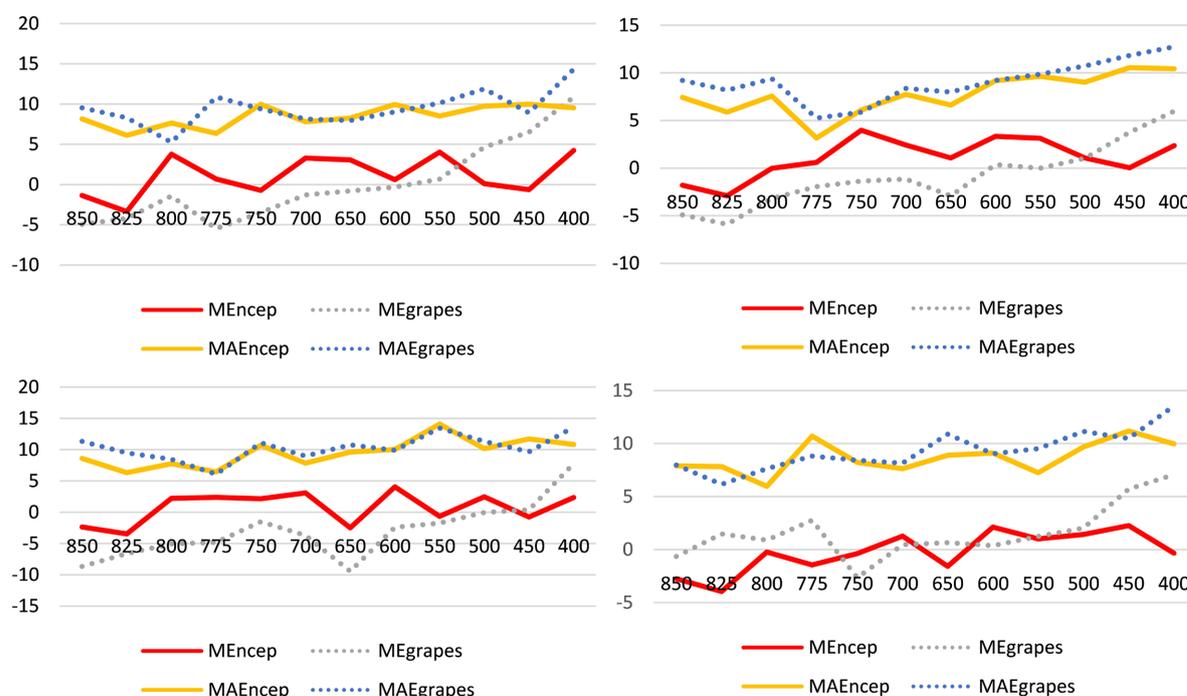


Figure 5. From May to August, the error and absolute error of high-altitude humidity are reported from 08:00 at different initial fields

图 5. 5~8 月不同初始场 08 时起报高空湿度误差与绝对误差

5. 降水个例检验

5.1. 环流背景

此次暴雨过程发生在夏季, 环流形势受西太平洋台风影响较为不稳定。200 hPa 上, 北半球 8 月极涡呈偶极型分布, 位于中西伯利亚以北的低涡强度较强, 致使南下的冷空气势力偏强。500 hPa 中高纬呈“两槽一脊”型, 8 月 22 日 20 时, 贝加尔湖以东的蒙新高原至我国内蒙古一带为一深厚低槽, 槽后西北气流推动冷空气南下; 同时河西走廊附近另有一低槽影响河套地区, 进一步增强了进入该区域的冷空气。此时银川处于槽前西南气流中。西太平洋副热带高压主体控制华南, 其 588 线北伸至 33°N, 宁夏位

于 584 线西侧。台湾岛东北部海面存在一个台风。700 hPa 上, 一条冷式切变线位于中卫 - 盐池一线(约 37.5°N), 蒙新高原的低槽位于贝加尔湖以东。华西地区受偏南风控制, 水汽从南海北部湾向银川输送, 为暴雨提供了充沛的水汽条件。至 23 日 08 时, 500 hPa 上河套地区的低槽东移加深, 12 小时内移动约 2 个经距; 584 线南退至宁夏以南, 副高东退至西太平洋洋面。700 hPa 上的切变线转为低槽, 银川转受槽后偏北气流影响。到 23 日 20 时, 500 hPa 上河套低槽与贝加尔湖低槽合并为一条贯穿我国西南地区的深厚大槽, 东移加深并移出宁夏, 12 小时内移动约 5 个经距, 移速较快, 强降水也主要集中在该时段。此时宁夏处于槽后西北气流控制下。700 hPa 上河套地区的低槽移出宁夏, 雨带随之向东南方向的陕西等地移动。至 24 日 08 时, 500 hPa 大槽已东移至华北地区, 副高进一步南退, 宁夏转为平直西风控制, 本次暴雨过程结束。

5.2. 降水实况及检验

图 6(a)为 2020 年 8 月 22 日 08 时至 23 日 20 时宁夏降水量实况, 可以看出本次暴雨过程范围广, 降水区域呈块状分布, 呈西北东南走向, 南部山区较川区降水更加充沛。川区主要有两个降水中心, 分别位于永宁县西部和灵武市西北部, 降水量可达 50 mm 以上。山区降水中心分别位于同心县西部及东部, 以及泾源县南部, 降水量可达 100 mm 以上。

图 6(b)为同时段 NCEP 初始场的输出结果, 可以看出 NCEP 模拟的降水呈东北西南走向的带状分布。模拟降水量与实况比较小, 尤其是山区。该产品并未模拟出川区两个降水中心; 但对于山区, 模式初步模拟出了两个降水中心, 分别位于泾源县南部以及同心县东部。但模拟降水量级跟实况相比量级较小, 未达到实况。可能是因为地形以及天气形势复杂, 给模式带来误差。

图 6(c)为同时段 GRAPES 初始场的输出结果, 此产品模拟的降水同样呈东北西南走向的带状分布, 降水量级比 NCEP 模拟结果大, 更接近于实况。主雨带位于盐池县南部到海原县一带, 与实况相比较偏北。中心降水量大于 100 mm, 达到实况量级。

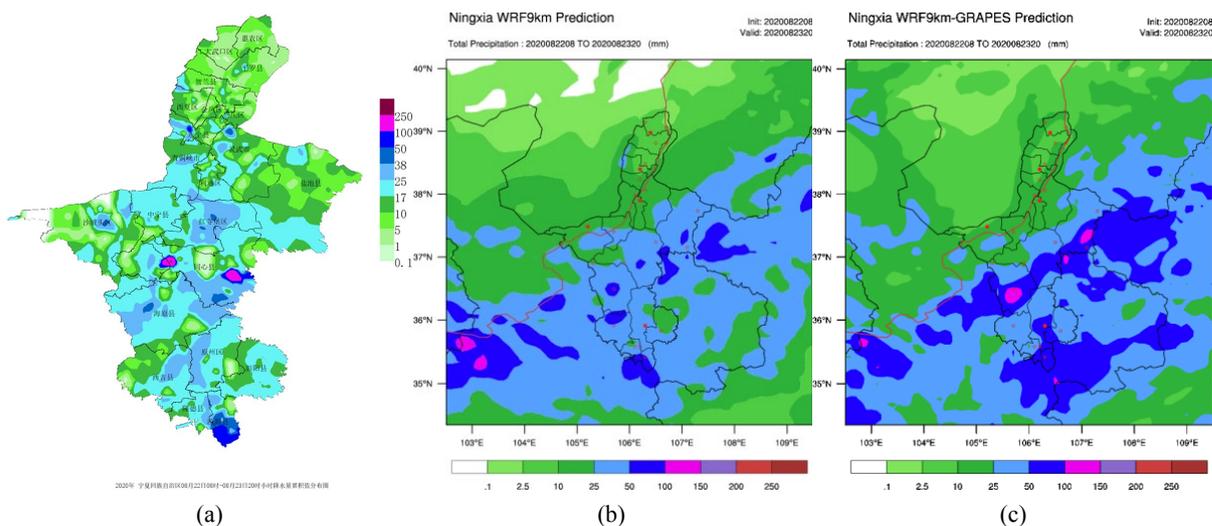


Figure 6. Precipitation from 08:00 on August 22, 2020 to 20:00 on August 23, 2020 (a) Actual precipitation situation (b) NCEP initial field output results (c) GRAPES initial field output results

图 6. 2020 年 8 月 22 日 08 时至 23 日 20 时降水量 (a) 实况 (b) NCEP 初始场输出结果 (c) GRAPES 初始场输出结果

5.3. 要素检验

图 7 为 2020 年 8 月 23 日 08 时地面温度, 可以明显看出有两个低值区分别位于贺兰山沿山以及海原

县, 温度由西向东逐渐升高。两种初始场的输出结果 NCEP 优于 GRAPES。其中, 贺兰山沿山的低温中心二者都能较好模拟, 范围及强度均与实况差别不大; 南部山区的低温中心范围较大, 从中部沙坡头延伸 到海原西吉一带, 对此 NCEP 能够较好模拟出山区低值中心。

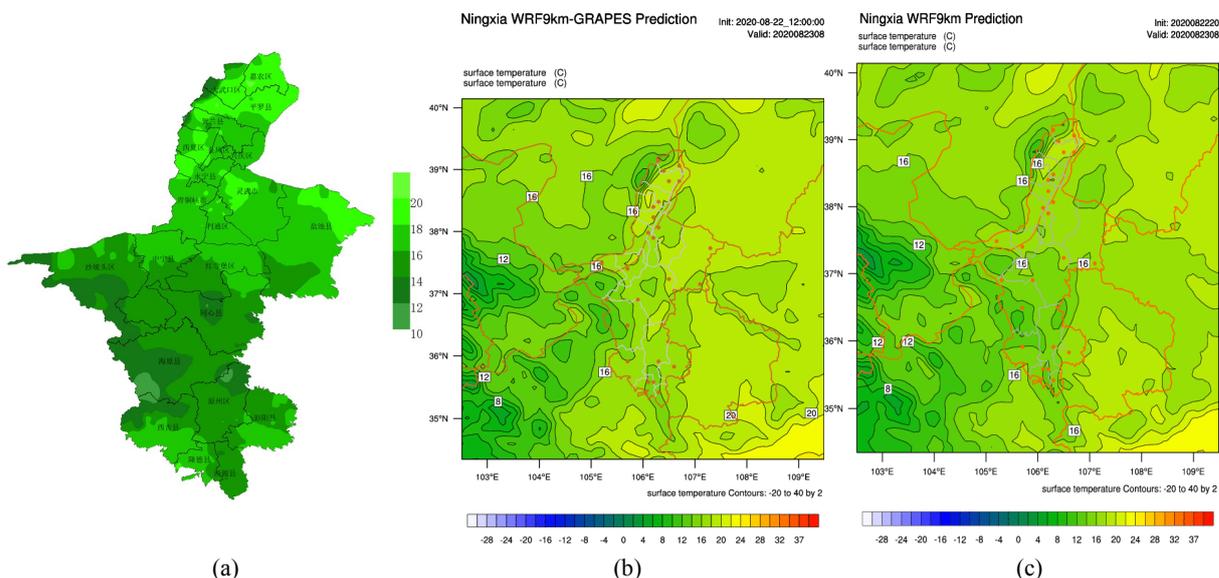


Figure 7. The ground temperature reported at 08:00 on the 23rd from 20:00 on August 22, 2020 Actual precipitation situation、GRAPES initial field output results、NCEP initial field output results

图 7. 2020 年 8 月 22 日 20 时起报的 23 日 08 时地面温度实况、GRAPES 初始场、NCEP 初始场

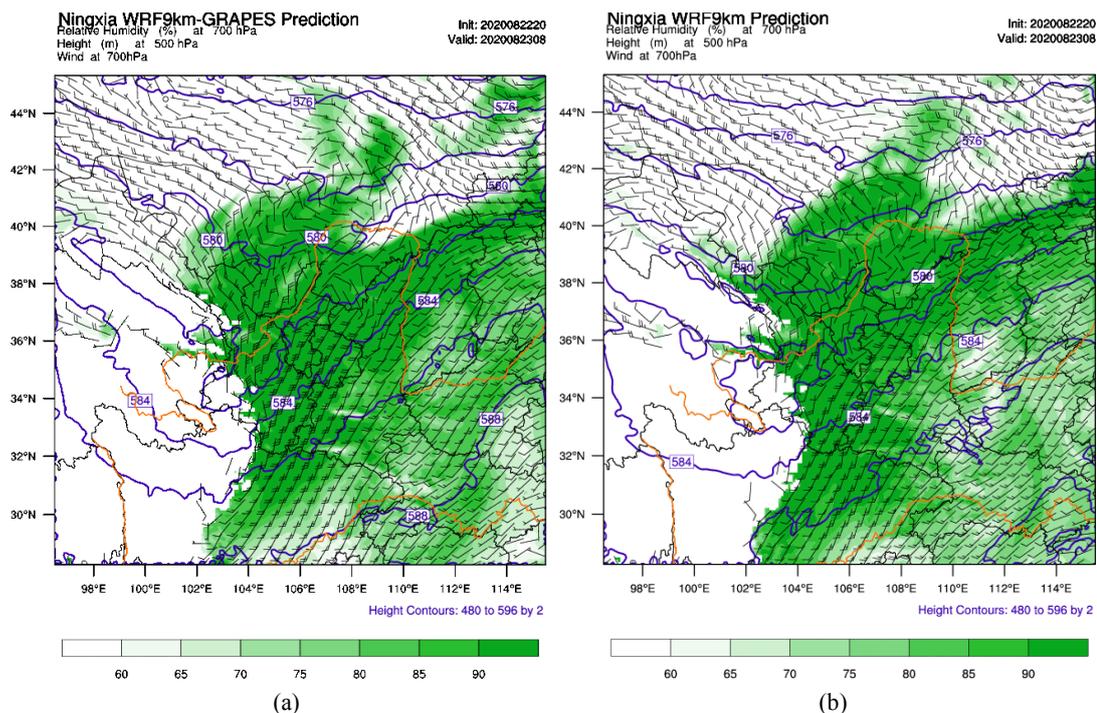


Figure 8. From 20:00 on August 22, 2020, 700 hPa relative humidity and wind field + 500 hPa altitude field reported at 08:00 on August 23 (a) GRAPES initial field output results (b) NCEP initial field output results

图 8. 2020 年 8 月 22 日 20 时起报的 23 日 08 时 700 hPa 相对湿度与风场 + 500 hPa 高度场 (a) GRAPES 做初始场 (b) NCEP 做初始场

图 8 为 2020 年 8 月 23 日 08 时 700 hPa 相对湿度与风场及 500 hPa 高度场的实况与模拟对比。实况显示, 500 hPa 上 584 线位于宁夏南侧, 580 线穿过银川上空; 700 hPa 上, 川区受偏北风控制, 山区为偏南风, 水汽输送明显, 相对湿度高于 90%, 与该区域实际降水情况相符。GRAPES 模拟的 500 hPa 高度场中 580 线位置偏北, 700 hPa 上南北风交汇区也相应北移。相比之下, NCEP 初始场输出的结果在高空高度场、低空风场及相对湿度分布上均与实况更为接近, 其关键系统位置也更符合实况降水中心的分布。

图 9 为 2020 年 8 月 23 日 08 时 K 指数, 可以看到宁夏东南部 K 指数较大, 最大超过 35, 往西北部逐渐减小, 灵武、盐池、同心、西吉、原州区、彭阳、隆德等地 K 指数均大于 35。而降水中心位于南部山区尤其是同心县及泾源县, K 指数较小, 与实况站点资料不符。NCEP 相较 GRAPES 模拟出大值区的范围较小, 位置偏东南, 与降水实况相比, GRAPES 模拟结果更优。

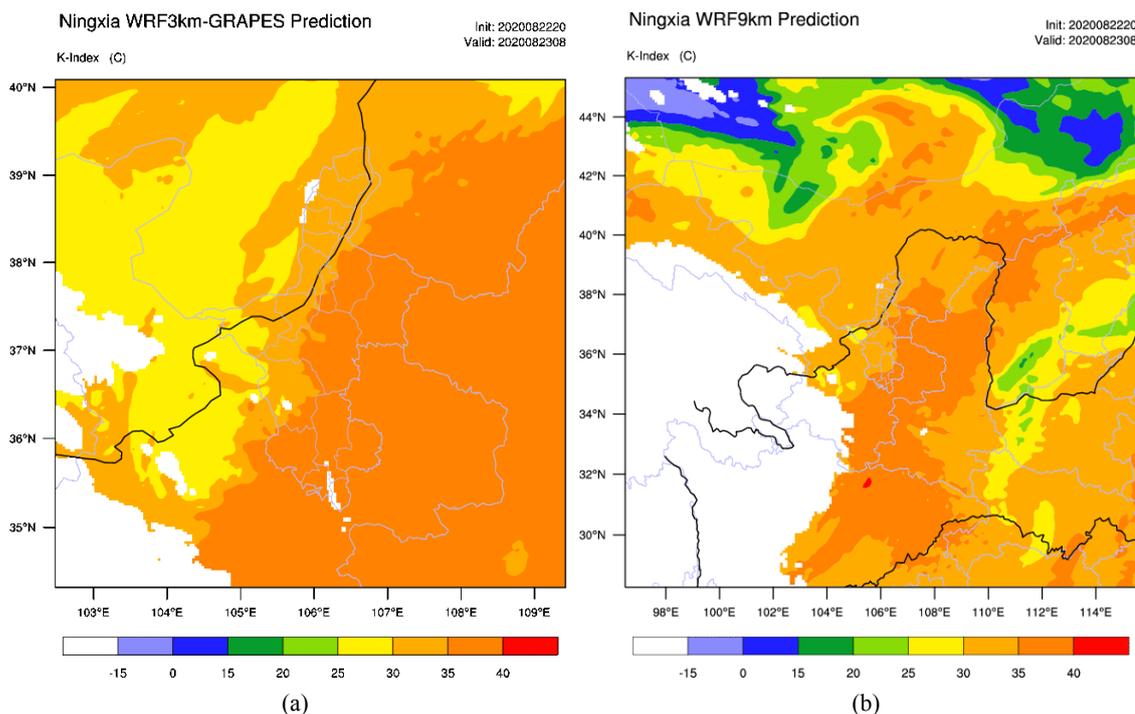


Figure 9. The K index reported at 20:00 on August 22, 2020 at 08:00 on the 23rd (a) GRAPES initial field output results (b) NCEP initial field output results

图 9. 2020 年 8 月 22 日 20 时起报的 23 日 08 时 K 指数 (a) GRAPES 做初始场 (b) NCEP 做初始场

6. 结论

(1) 在小雨和中雨量级中, NCEP 在 TS 和 ETS 评分上始终表现更佳, 漏报率更低、空报率更稳定, 整体预报偏差也明显小于 GRAPES, 体现出更高的弱降水和中等强度降水模拟可信度。与之相比, GRAPES 在这两个量级中虽具备一定的捕捉能力, 但更易产生过报和偏大的降水预估。

当降水量级提升至大雨和暴雨时, 两模式的优势发生转变。GRAPES 在短时效下对强降水的识别能力更强, TS 与 ETS 均优于 NCEP, 尤其在主汛期表现突出。然而, 其同时伴随更高的空报率和明显的正偏差, 在长时效预报中偏差尤为显著。NCEP 则在强降水中的预报更为保守, 虚警更少, 偏差更为平稳, 但对强降水的命中能力略弱。

总体来看, NCEP 在小量级降水的模拟中优势明显, 预报稳定性更好; GRAPES 在强降水尤其是短时效暴雨预报中具有更高命中率, 但偏差和虚警更为突出。上述结果表明, 两种背景场在不同降水量级

下互具优势, 其适用性与降水强度密切相关, 为区域业务预报背景场选择提供了重要参考。

(2) 从 08 时起报温度预报来看, 五~六月白天时, NCEP 优于 GRAPES, 夜间相反; 七~八月则为每天白天时 GRAPES 优于 NCEP, 夜间则为 NCEP 优于 GRAPES。

从 08 时起报高空温度来看, 600 hPa 以下 NCEP 做初始场相对较优, 600 hPa 以上中高空两初始场绝对误差几乎重合, 七~八月较为明显。

从 08 时起报高空相对湿度来看, 在低层(850 hPa~775 hPa)及高层(500 hPa 以上)时, NCEP 初始场更优, 而在中层则为 GRPAES 初始场的误差更低, 总的来说, NCEP 明显优于 GRPAES。

基金项目

中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室青年培养项目(CAMT-202007)。

参考文献

- [1] 黄玉霞, 王宝鉴, 黄武斌, 等. 我国西北暴雨的研究进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 515-525.
- [2] 肖云清, 杨苑媛, 朱海斌, 等. 2018 年 7 月 22-23 日宁夏暴雨天气过程物理机制诊断分析[J]. 宁夏工程技术, 2019, 18(3): 193-201.
- [3] 韩子霏, 隆霄, 王思懿, 等. 不同初始场对一次西北地区暴雨影响的数值模拟研究[J]. 高原气象, 2021, 40(2): 333-342.
- [4] 琚陈相, 李曼, 艾力亚尔·艾海提, 等. 不同初始场条件对新疆区域数值模式预报性能的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2023, 17(5): 38-46.
- [5] 吴晶, 李照荣, 颜鹏程, 等. 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.
- [6] 范宇恩, 陈静, 邓国, 等. GRAPES 区域集合预报两种侧边界扰动方法对比试验[J]. 气象, 2019, 45(12): 1629-1641.
- [7] 陈超君, 王东海, 李国平, 等. 冬季高海拔复杂地形下 GRAPES-Meso 要素预报的检验评估[J]. 气象, 2012, 38(6): 657-668.
- [8] 孙婵, 徐国强. GRAPES_{Meso} 中尺度模式在新疆沙漠地区的检验与评估[J]. 气象科技, 2017, 45(4): 658-668.
- [9] 郑广芬, 王素艳, 杨建玲, 等. 基于前期海温异常的宁夏 5-9 月候降水量客观预测方法及检验评估[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 43-50.
- [10] 王万筠, 殷海涛, 赵敬红, 等. 2014-2016 年数值降水预报在天津的检验评估[J]. 气象科技, 2018, 46(4): 718-723+767.