

据陈相,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.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.05.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



不同初始场条件对新疆区域数值模式 预报性能的影响

据陈相^{1,2,3},李曼^{1,2*},艾力亚尔·艾海提^{1,3},李火青^{1,3},刘建军^{1,3},张海亮^{1,3},马玉芬^{1,3}
(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,
北京 100081;3.中国气象局塔克拉玛干沙漠气象野外科学试验基地,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:基于 GRAPES_GFS 和 NCEP_GFS 两种初始场,详细比较了两者之间的差异,分别利用两种初始场驱动新疆区域数值模式(RMAPS-CA V1.0),对2021年4月的数值预报结果以及2021年4月21日一次暴雨过程模拟结果进行MET(Model Evaluation Tools)对比检验。结果表明:(1)两种资料的位势高度扰动场、温度扰动场、湿度扰动场存在明显差异,其相关系数分别为0.26~0.60、0.05~0.24和0.01~0.12,导致在次天气尺度上存在着较大差异,并由此造成了模拟结果之间的差异,反映了区域模式对初始场和边界条件的敏感性;(2)从高空位势高度、风速、温度的预报结果看,NCEP_GFS初始场在新疆区域模式中高空要素的预报效果均要优于GRAPES_GFS初始场,均方根误差分别降低35.5%~37.2%、7.6%~12.6%和6.0%~17.2%。从地面常规预报量的检验看,GRAPES_GFS初始场对2 m温度和10 m风速的预报效果优于NCEP_GFS初始场,均方根误差分别降低14.3%和6.8%;(3)从降水检验评分看,两种初始场的降水预报整体为漏报现象,NCEP_GFS初始场针对各降水阈值及不同时效的预报降水评分高于GRAPES_GFS,0.1、6.1和12.1 mm/6 h的TS评分分别提高22.5%、16.1%和150.8%;(4)从一次暴雨过程预报的检验结果看,GRAPES_GFS对于24 h为小量级降水预报效果优于NCEP_GFS,准确率分别为61.4%和40.0%;而NCEP_GFS对于大量级的降水预报则优于GRAPES_GFS,准确率分别为66.7%和33.3%。两种初始场对降水个例检验的偏差以空报现象为主,NCEP_GFS的TS评分整体高于GRAPES_GFS。

关键词:数值模式;GRAPES_GFS;NCEP_GFS;初始场;新疆

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2023)05-0038-09

数值天气预报是利用基于大气动力学方程及其相应的数值计算方法和物理参数化方案建立起来的

收稿日期:2023-02-06;修回日期:2023-04-24

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金(2022D01B231);灾害天气国家重点实验室开放课题(2023LASW-B03)数值预报—卫星先行计划项目(2023-23);新疆气象局引导性项目(YD202303);2020年自治区高层次人才经费(2021-49)

作者简介:据陈相(1988—),男,副研究员,主要从事数值天气预报与中尺度数值模拟工作。E-mail:jucx@idm.cn

通信作者:李曼(1986—),女,高级工程师,主要从事数值模式研究工作。E-mail:lim_idm@126.com

数值模式,在给定的初值和边界条件下,对描述大气运动的物理方程组进行数值求解,预报未来某个时刻的大气运动状态^[1]。因此,数值天气预报成为一种典型的初值问题,初始场能否正确地反映真实大气运动,能否与数值模式协调匹配,直接影响到模式的预报结果^[2-4],初始场的微小差别都可能导致截然不同的预报结果^[5-8]。

国内外已有许多专家就初始场问题做过研究,龚建东等^[9]研究指出,区域中尺度模式模拟误差除来源于初始场误差外,模式误差、侧边界条件的影响

也同样重要。Zhang 等^[10]比较全面地研究了中尺度暴雨的可预报性,表明模式和初始场误差对预报结果有显著影响。朱红芳等^[11]利用 T213 L31 及 NCEP FNL 6 h 间隔的资料作为初始和边界条件,对一次致洪暴雨进行数值模拟试验,表明模式的数值预报能力对不同的初始场和侧边界条件存在不同程度的依赖性,初始场的差异决定了模拟结果的差异。李秋阳等^[12]利用 GFS 和 JMA 提供的初始场和侧边界条件对台风内部结构和移动路径进行了数值预报,表明初始场和侧边界的差异对台风结构和路径预报存在不同差异。袁有林等^[13]利用 ERA-interim 和 FNL 资料分别驱动 WRF 模式,对华北一次大暴雨过程进行了数值模拟,指出不同初始场在次天气尺度上存在较大差异,导致对降水的模拟偏差,而湿度场的扰动对降水误差的贡献最大。韩子霏等^[14]利用 WRF 模式,评估 GRAPES_GFS、FNL 和 ERA-interim 三种不同资料提供的初始条件和边界条件对西北地区一次暴雨过程的数值模拟效果,表明不同初始场对系统环流、降水分布特征及降水 TS 评分均存在不同差异。这些研究都为提高区域中尺度模式的预报能力提供了有价值的参考依据。

本文比较了美国国家环境预报中心 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) GFS (The Global Forecast System) 资料和中国气象局 GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction System) GFS 之间的差异(选取范围为 D01 区域:53°~137°E,16°~55°N),并分别利用上述两种资料作为初始背景场和侧边界条件,驱动新疆区域数值模式业务系统(Rapid-refresh Multi-scale Analysis and Prediction System-Central Asia,简称 RMAPS-CA V1.0),进行整月预报和个例试验研究,以了解新疆区域模式对初始场的敏感程度,希望能为提高区域模式的预报能力提供参考。

1 模式设计与初值简介

1.1 模式简介

2017 年 11 月,中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所引进北京城市气象研究院运行的快速更新多尺度分析和预报系统睿图(Rapid-refresh Multi-scale Analysis and Prediction System,简称 RMAPS),搭建起 3 km 高分辨率的新疆区域数值模式业务系统(RMAPS-CA V1.0),2018 年 5 月底实现了试运行,并于 2020 年 6 月通过了新疆气象局组织的业务化评审^[15]。该系统以 WRF v4.1.3 和 WRFDA v4.1.3

为核心,采用双重嵌套,D01 的分辨率为 9 km,网格设置为 712×532,经纬度跨距范围为:53.82°~136.85°E,16.62°~54.52°N,覆盖了中亚及我国大部分地区,D02 的分辨率为 3 km,网格设置为 832×652,覆盖了全疆,垂直分为 50 层,模式层顶为 10 hPa。系统采用三维变分同化技术,以 U/V 为变量进行多元观测资料(常规观测资料、雷达径向风和反照率等)的同化技术,目前每日运行 4 次(00、06、12、18 时 UTC),最长预报时效 48 h,为新疆各地气象部门提供稳定的数值预报产品,并成为预报员在气象预报中的重要参考资料之一。模式物理过程设置为:WSM6 云微物理方案,K-F 对流参数化方案(D02 无积云对流方案),YSU 边界层参数化方案,RRTMG 长波/短波辐射方案和 NOAH 陆面过程参数化方案。

1.2 初值简介及试验设计

本文使用了两种初值来试验其对新疆区域数值模式 RMAPS-CA V1.0 预报能力的影响。第一种初始背景场资料是美国国家环境预报中心 NCEP_GFS 全球预报场,水平分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,时间间隔为 3 h,NCEP_GFS 资料提供 1 000~0.01 hPa 41 层的各层等压面上的高度场、温度场、湿度场、海平面气压和地表温度等要素。第二种背景场资料是国家气象中心业务的 GRAPES_GFS 东半球预报场,水平分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,时间间隔为 3 h,GRAPES_GFS 提供 1 000~0.1 hPa 40 层各层等压面上的气象要素资料。为了系统检验两种初始场资料对新疆区域数值预报模式预报的影响,用于检验的预报样本时间段为 2021 年 4 月 1 日—4 月 30 日(全文均用 UTC 时间),每天两次(00 UTC 和 12 UTC)更新循环预报,每次预报时效为 24 h,样本总数为 60 个。选取连续月时间段作 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 的预报性能比较,更能充分了解两种初始场资料在新疆区域的预报差异。

本文使用 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 两种初值来试验其对新疆区域模式的影响,首先对两种初值进行比较分析,以了解它们之间的差异。文中使用相关系数 r_{xy} 来检验两种初始场的相似程度^[16],相关系数公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: x_i, y_i 分别为 NCEP_GFS、GRAPES_GFS 资料初始场中各格点的值, $\bar{x}, \bar{y}$ 分别表示其场中所有格点的平均值。相关系数 r_{xy} 越大,表示两种初始场相似

程度越大。

其次利用气象学上通用的 MET(Model Evaluation Tools)检验平台,一是对 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 两种资料在 D02 区域的地面和高空的模式预报量(地面:2 m 温度、10 m 风速;高空:位势高度、风速、温度)进行站点检验评分^[16-18]。检验所使用的地面要素观测资料和降水观测资料均来自国家级地面气象观测站,3 km 分辨率区域中约有 105 个;使用的探空观测资料均来自参加考核探空站点,3 km 分辨率区域有 14 个。给出预报相对于常规探空和地面观测的均方根误差 $RMSE$ 和平均偏差 ME :

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i)^2}, \quad (2)$$

$$M_E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (F_i - O_i). \quad (3)$$

其中: F_i 为第 i 点上的预报值, O_i 为第 i 点上的观测值。根据检验时段内地面观测站降水观测实况,计算两种初始场资料逐 6 h,检验阈值分别为 0.1、3.1、6.1、12.1 和 24.1 mm,累计降水站点 T_s 评分和 $BIAS$ 预报偏差:

$$T_s = \frac{N_a}{N_a + N_b + N_c}, \quad (4)$$

$$BIAS = \frac{N_a + N_b}{N_a + N_c}. \quad (5)$$

其中: N_a 为预报正确站(次)数、 N_b 为空报站(次)数、 N_c 为漏报站(次)数)。

2 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 初始场之间的差异

本文使用 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 两种初值试验其对新疆区域数值模式业务系统的影响,首先对两种初值在新疆区域数值模式(RMAPS-CA V1.0)D01 的预报范围内进行比价和分析,采用公式(1)相关系数,描述 2 个资料间的相近程度,初值中各格点值分别用 x_i, y_i 表示,所有格点的平均值用 $\bar{x}, \bar{y}$ 表示,相关系数越大表示两种资料越相近,差异越小。图 1a 是 2 个资料中各气压层位势高度场、温度场和湿度场的相关系数,NECP_GFS 与 GRAPES_GFS 资料中位势高度场 700 hPa 以上的相关系数超过了 0.9,表明 2 个资料相似程度较高,700 hPa 以下相关系数较低。温度场的相关系数整体上超过了 0.9,表明 2 个资料温度场差异较小;湿度场的相关系数整体 < 0.9,且 700 hPa 以上呈减小趋势,在 250 hPa 的相关性最小,表明 2 个资料在中高层湿度场的差

异较大。

为进一步了解 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 初始场之间的差异,把 GRAPES_GFS 资料分辨率处理成 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。采用公式(6)9 点平滑滤波方法^[11,13,19]获得 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 的大尺度平均运动场,9 点平滑公式中的平滑系数 s 取 0.5,平滑次数取 3 次;然后用原始场减去大尺度平均运动场得到初始场的中小尺度扰动场。在此基础上,分别计算两种初始场之间的大尺度平均运动场和扰动场的相关系数。就不同气压上的位势高度相关性、温度相关性和湿度相关性而言,大尺度场好于原始资料(图 1a),位势高度大尺度场的相关性和原始场保持一致,在 700 hPa 以上的相关系数均 > 0.97,说明两种资料大的环流形势差异很小。两种资料间的扰动场相关系数较小(图 1b),尤其在 300 hPa 以上高度相关系数迅速变小。总体来看,位势高度扰动场的相关性好于温度扰动场,温度扰动场的相关性好于湿度扰动场。位势高度扰动场、温度扰动场、湿度扰动场的相关系数分别为 0.26~0.60、0.05~0.24 和 0.01~0.12,说明两种资料初始场的扰动场之间的差异明显,同时扰动场所反映的次天气尺度有着较大差异,这种差异也许是影响新疆区域数值模式预报能力的一个原因。利用 9 点平滑公式计算大尺度场:

$$\bar{f}_{i,j} = f_{i,j} + \frac{s(1-s)(f_{i+1,j} + f_{i-1,j} + f_{i,j+1} + f_{i,j-1} - 4f_{i,j})}{2} + \frac{s^2(f_{i+1,j+1} + f_{i-1,j+1} + f_{i+1,j-1} + f_{i-1,j-1} - 4f_{i,j})}{4}. \quad (6)$$

式中: $f_{i,j}$ 是实况要素场, $\bar{f}_{i,j}$ 是平滑滤波后得到的大尺度场, s 是平滑系数。

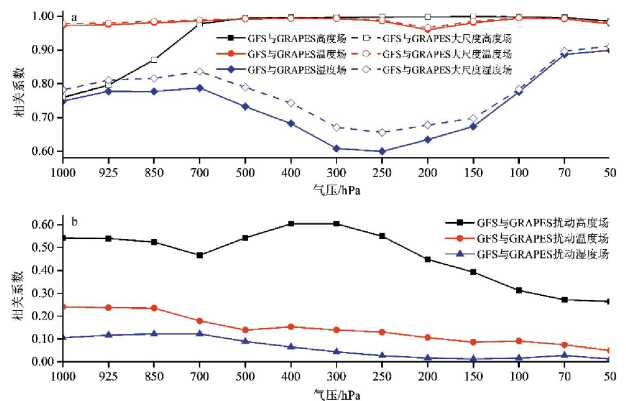


图 1 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层高度场之间、温度场之间和湿度场之间的初始场、大尺度场(a)和扰动场(b)的相关系数

3 不同初始场对新疆区域模式预报结果的影响

分别使用 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 作为初

始场驱动新疆区域数值模式预报系统(分别记为 exp_GFS 和 exp_GRAPES 试验),分析不同初始场对新疆区域数值模式模拟结果的影响。如不作特别说明,以下均是分析 D02 内的数据。

3.1 高空要素预报差异

3.1.1 位势高度

图 2 给出 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层位势高度的预报偏差(图 2a)和均方根误差(图 2b)。NCEP_GFS 的高空位势高度预报偏差 400 hPa 以下为负偏差,呈现先增大后减小的趋势,400 hPa 以上为正偏差;GRAPES_GFS 的预报偏差整体呈现随高度逐渐增大的正偏差,在 200 hPa 达到极大值。整体上看,NCEP_GFS 三个时刻的高空位势高度预报偏差分别维持在 $-6.62\sim 7.89$ 、 $-4.65\sim 9.34$ 和 $-7.85\sim 5.27$ gpm,GRAPES_GFS 三个时刻的高空温度预报偏差分别维持在 $4.44\sim 28.58$ 、 $2.17\sim 32.76$ 和 $-2.64\sim 30.30$ gpm,GRAPES_GFS 高空位势高度的预报偏差在 00 时分析时刻、12 和 24 时预报时刻均大于 NCEP_GFS。

NCEP_GFS 的高空位势高度均方根误差和 GRAPES_GFS 变化趋势基本保持一致,呈现随高度逐渐增大的趋势,NCEP_GFS 的均方根误差在 3 个时刻均小于 GRAPES_GFS,3 个时刻的平均均方根误差分别减少 37.2%、36.2%和 35.5%。NCEP_GFS 初始场在新疆区域模式中高空位势高度的预报效果优于 GRAPES_GFS 初始场,整体预报效果提升 35.5%~37.2%。

3.1.2 风场

图 3 给出 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层风场的预报偏差(图 3a)和均方根误差(图 3b)。NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 的高空风场预报偏差变化趋势基本一致,00 时的预报偏差整体呈随高度逐渐减小的负偏差;12 和 24 时的预报偏差在 700 hPa 以下为随高度逐渐减小的正偏差,700 hPa 及以

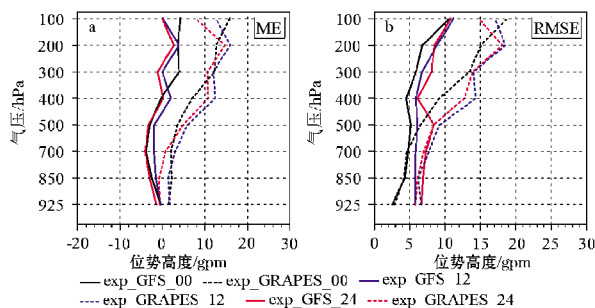


图 2 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层位势高度预报偏差(a)和均方根误差(b)

上随高度整体呈现先增大后减小的负偏差;整体上看,NCEP_GFS 三个时刻的高空风场预报偏差分别维持在 $-0.82\sim -0.42$ 、 $-0.78\sim 0.89$ 和 $-0.92\sim 1.33$ m/s,GRAPES_GFS 三个时刻的高空风场预报偏差分别维持在 $-1.16\sim 0.11$ 、 $-0.82\sim 0.72$ 和 $0.29\sim 0.44$ m/s,GRAPES_GFS 高空风速预报偏差在 700 hPa 及以下要小于 NCEP_GFS,700 hPa 以上则大于 NCEP_GFS。

NCEP_GFS 的高空风速均方根误差和 GRAPES_GFS 变化趋势基本保持一致,呈现随高度逐渐减小再增大再减小的趋势,在 300 hPa 高度上达到极大值,NCEP_GFS 的均方根误差在 3 个时刻均小于 GRAPES_GFS,3 个时刻的平均均方根误差分别减少 12.6%、9.0%和 7.6%。NCEP_GFS 初始场在新疆区域模式中高空风场的预报效果优于 GRAPES_GFS 初始场,整体预报效果提升 7.6%~12.6%。

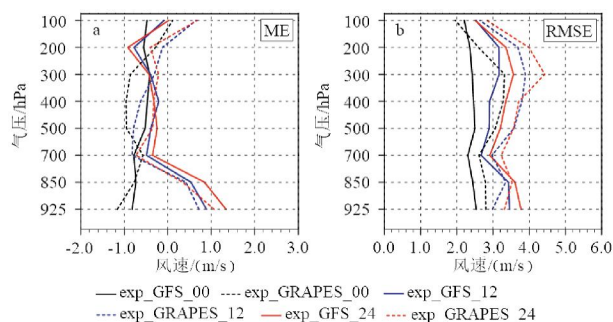


图 3 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层风速预报偏差(a)和均方根误差(b)

3.1.3 温度场

图 4 给出 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层温度场的预报偏差(图 4a)和均方根误差(图 4b)。NCEP_GFS 高空温度场的初始场预报偏差 300 hPa 以下呈随高度先增大后减小的负偏差,在 850 hPa 达到极大值,200 hPa 及以上呈先增大后减小的正偏差,在 200 hPa 达到极大值;GRAPES_GFS 的预报偏差 700 hPa 及以下呈随高度逐渐减小的负偏差,700 hPa 以上呈随高度先增大后减小再增大再减小的趋势,在 200 hPa 达到极大值。整体上看,NCEP_GFS 三个时刻的高空温度预报偏差分别维持在 $-0.92\sim 0.60$ 、 $-0.83\sim 0.64$ 和 $-1.09\sim 0.66$ °C,GRAPES_GFS 三个时刻的高空温度预报偏差分别维持在 $-2.03\sim 0.54$ 、 $-0.18\sim 0.46$ 和 $0.29\sim 0.44$ °C,GRAPES_GFS 的高空温度预报偏差要小于 NCEP_GFS。

NCEP_GFS 的高空温度均方根误差和

GRAPES_GFS 变化趋势基本保持一致,呈现随高度逐渐减小再增大再减小的趋势,在 300 hPa 高度上达到极小值,NCEP_GFS 的均方根误差在三个时刻均小于 GRAPES_GFS,三个时刻的平均均方根误差分别减少 17.2%、10.3%和 6.0%。NECP_GFS 初始场在新疆区域模式中高空温度的预报效果优于 GRAPES_GFS 初始场,整体预报效果提升 6.0%~17.2%。

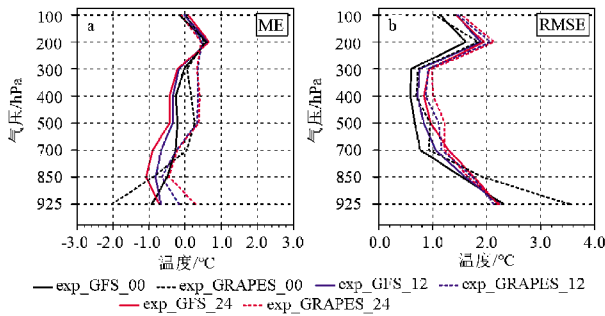


图4 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 各层温度预报偏差(a)和均方根误差(b)

3.2 地面要素预报差异

图5为NCEP_GFS和GRAPES_GFS地面气象要素的预报偏差和均方根误差(图5a为2 m温度;图5b为10 m风速)。从2 m温度的检验结果看,NCEP_GFS初始场和GRAPES_GFS初始场的预报偏差均为-2.11~-0.82 °C的负偏差,随着预报时效延长呈先增大后减小再增大再减小的波动状,NCEP_GFS和GRAPES_GFS的2 m温度平均预报偏差分别为-1.72和-1.32 °C,GRAPES_GFS的2 m温度各个时刻预报偏差平均降低16.9%。从2 m温度的均方根误差结果看,NCEP_GFS初始场和GRAPES_GFS初始场的均方根误差维持在3.1~4.4 °C,呈现先减小后增大再减小再增大的波动状,NCEP_GFS和GRAPES_GFS的2 m温度平均均方根误差分别为3.95和3.39 °C,GRAPES_GFS的2 m温度各个时刻均方根误差平均降低14.3%。GRAPES_GFS初始场对2 m温度的预报效果要优于NCEP_GFS初始场。

从10 m风速的检验结果看(图5b),NCEP_GFS初始场和GRAPES_GFS初始场的预报偏差均为0.02~1.34 m/s的正偏差,随着预报时效的延长预报偏差维持较稳定,NCEP_GFS和GRAPES_GFS的10 m风速平均预报偏差分别为1.06和0.79 m/s,GRAPES_GFS的10 m风速各个时刻预报偏差平均降低30.4%。从10 m风速的均方根误差结果看,

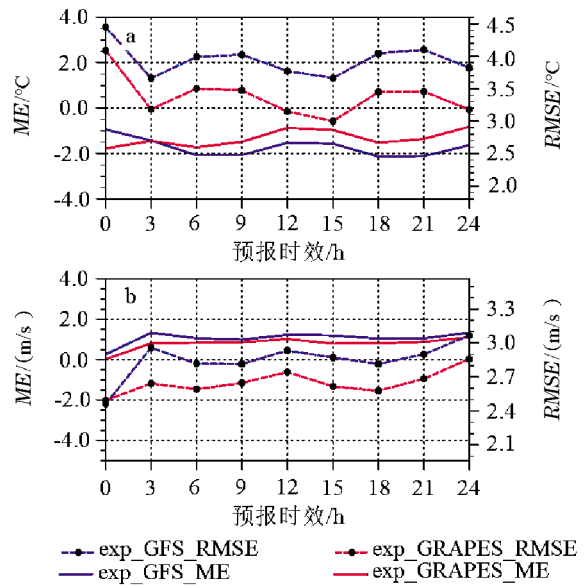


图5 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 地面要素预报偏差和均方根误差随时间演变
(a为2 m温度,b为10 m风速)

NCEP_GFS 初始场和 GRAPES_GFS 初始场的均方根误差维持在 2.46~3.07 m/s 之间,呈现先减小后增大再减小再增大的波动状,NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 的 10 m 风速平均均方根误差分别为 2.85 和 2.65 m/s,GRAPES_GFS 的 10 m 风速各个时刻均方根误差平均降低 6.8%。GRAPES_GFS 初始场对 10 m 风速的预报效果优于 NCEP_GFS 初始场。

3.3 降水评分检验

3.3.1 逐 6h 降水检验

图6是NCEP_GFS初始场和GRAPES_GFS初始场在2021年4月逐6 h累计降水预报的检验结果,采用的方法是国际上通用的TS评分和BIAS预报偏差,给出了两种初始场在D02检验区域下的00时UTC预报时效4个时段(00—06、06—12、12—18及18—24时)的平均降水检验结果。除6.1 mm/6 h降水阈值的00—06时,NCEP_GFS初始场针对各降水阈值及不同时效的预报降水TS评分要高于GRAPES_GFS,0.1、6.1 mm/6 h的TS评分分别提高22.5%、16.1%和150.8%。

降水预报的BIAS预报偏差反映的是针对某一阈值预报发生降水的测站数与实际发生降水的测站数之比和模拟对于降水范围大小的预报性能。从两种初始场的BIAS偏差看,除0.1和6.1 mm/6 h降水阈值的18—24时,NCEP_GFS初始场和GRAPES_GFS初始场的BIAS偏差<1,表明两种初始场的降

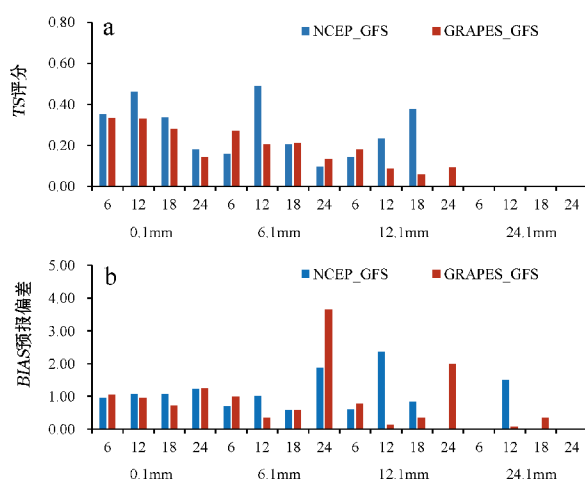


图6 NCEP_GFS和GRAPES_GFS降水预报的检验评分
(蓝色为NCEP_GFS;红色为GRAPES_GFS;a为TS评分;
b为BIAS偏差)

水整体为漏报现象,预报的降水范围小于实况。针对0.1、6.1和12.1 mm/6 h三个阈值降水的平均BIAS评分,NCEP_GFS和GRAPES_GFS分别为1.07、1.04、0.95和0.98、1.39、0.81,NCEP_GFS初始场降水阈值的BIAS偏差整体比GRAPES_GFS的偏差更接近1,表明NCEP_GFS预报降水的测站数比GRAPES_GFS更接近于实际测站数。

3.3.2 降水个例检验

过程前期,2021年4月20日00时500 hPa欧亚范围内呈两槽两脊的经向环流,欧洲北部为阻塞高压,西伯利亚为低槽活动区,巴尔喀什湖地区为高压脊区,受上游短波扰动影响,阻塞高压向东南衰退的过程中减弱成高压脊,北方冷空气沿脊前偏北气流东南下,促使下游西伯利亚低涡南下,由于下游高压脊阻挡,西西伯利亚低涡东移缓慢,影响北疆、东疆地区,造成4月20日12时—25日12时北疆大部、阿克苏地区北部、巴州大部、吐鲁番市、哈密市北部等地出现降水天气。其中,2021年4月21日00时—22日00时为本次降水过程的主要时段,降水主要集中在伊犁、博州、塔城、阿勒泰北部及北疆沿天山一带,强降水中心位于伊犁河谷一带,最大降水中心位于新源站(24 h累计降水为21.2 mm);NCEP_GFS和GRAPES_GFS二个初始场对降水预报的范围和强度上与实况较一致,强降水中心均位于伊犁河谷,对新源站24 h累计降水预报分别为18.4和17.0 mm,与实况较吻合。

从4月21日00时—22日00时全疆国家站点

降水预报检验(表1)可知,24 h累计降水量为小量(0.1~6.0 mm/24 h)的实况站点数为35个,NCEP_GFS在20日12时和21日00时预报站点数分别为8和20个,真实命中率分别为22.9%和57.1%,GRAPES_GFS在20日12时和21日00时预报站点数分为18和25个,真实命中率分别为51.4%和71.4%,GRAPES_GFS对于小量级的降水预报要优于NCEP_GFS;24 h累计降水量为中量(6.1~12.0 mm/24 h)的实况站点数为11个,NCEP_GFS在20日12时和21日00时预报站点数均为2个,真实命中率为18.1%,GRAPES_GFS在20日12时和21日00时预报站点数分别为5和2个,真实命中率分别为45.5%和18.1%,GRAPES_GFS对于中量级的降水预报与NCEP_GFS相当;24 h累计降水量为大量(12.1~24.0 mm/24 h)的实况站点数为3个,NCEP_GFS在20日12时和21日00时预报站点数分别为2和0个,真实命中分别为66.7%和0,GRAPES_GFS在20日12时和21日00时预报站点数分为0和1个,真实命中率分别为0和33.3%,NCEP_GFS对于大量级的降水预报优于GRAPES_GFS。

图7是NCEP_GFS和GRAPES_GFS初始场对2021年4月21日00时—22日00时逐6 h累计降水预报的检验结果,从4月20日12时预报的降水评分看(图7a、7b),两种初始场对晴雨预报(0.1 mm/6 h)主要为空报($BIAS > 1$),NCEP_GFS和GRAPES_GFS的TS评分平均分别为0.54和0.45;对于6.1 mm/6 h降水阈值,NCEP_GFS和GRAPES_GFS主要为空报,NCEP_GFS的逐6 h TS评分分别为0.08和0.16,GRAPES_GFS的TS评分为0.10。从4月21日00时预报的降水评分(图8c、8d)可知,NCEP_GFS初始场对晴雨预报(0.1 mm/6 h)主要为漏报,而GRAPES_GFS主要为空报,NCEP_GFS和GRAPES_GFS的TS评分平均分别为0.46和

表1 2021年4月21日00时—22日00时新疆国家站降水预报检验

24 h 降水量 /mm	实况 站点 /个	20日12时预报				21日00时预报			
		GFS预 报站 点/个	命中 率/%	GRAPES 预报站 点/个	命中 率/%	GFS预 报站 点/个	命中 率/%	GRAPES 预报站 点/个	命中 率/%
0.1~6.0	35	8	22.9	18	51.4	20	57.1	25	71.4
6.1~12.0	11	2	18.1	5	45.5	2	18.1	2	18.1
12.1~24.0	3	2	66.7	0	-	0	-	1	33.3

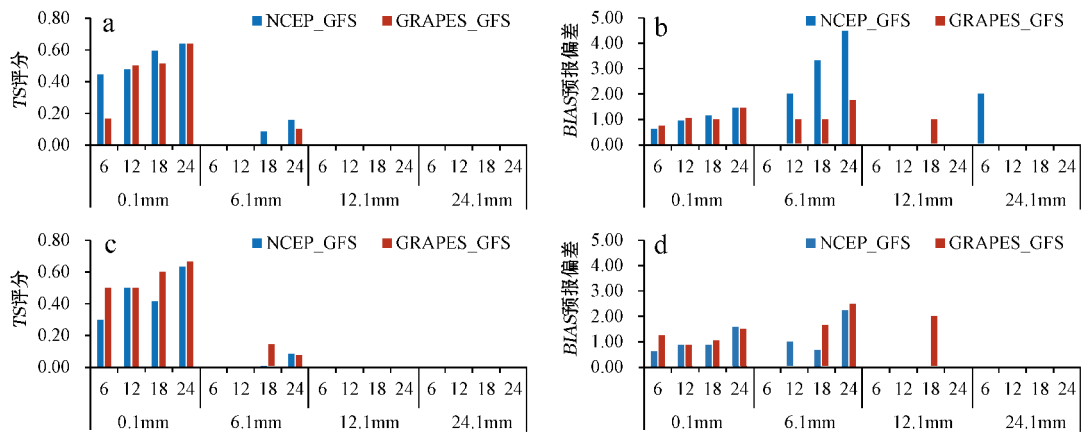


图7 不同初始场对2021年4月21日00时—22日00时不同阈值逐6 h降水
预报TS(a,c)和BIAS预报偏差(b,d)评分
(a,b为4月20日12时预报;c,d为4月21日00时预报;蓝色:NCEP_GFS;红色:GRAPES_GFS)

0.57; 对于 6.1 mm/6 h 降水阈值,NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 主要为空报现象,NCEP_GFS 的逐 6 h TS 为 0.08,GRAPES_GFS 的 TS 评分分别为 0.14 和 0.08。

4 结论

对 NCEP_GFS 和 GRAPES_GFS 初始场资料进行了详细比较,基于新疆区域数值模式业务系统(RMAPS-CA V1.0),分别利用两种初始场开展整月数值模拟试验和一次强降水个例的模拟试验,并对预报结果进行了系统的检验评估。得出如下结论:

(1)通过尺度滤波可知,NCEP_GFS 与 GRAPES_GFS 资料的大尺度场的相似性较高,主要的差异体现在次天气尺度,位势高度扰动场、温度扰动场、湿度扰动场相关系数分别为 0.26~0.60、0.05~0.24 和 0.01~0.12。因此,用这两种资料分别驱动新疆区域数值模式业务系统,模拟的各物理量场间存在着较大差异,且这两种差异 24 h 内不会随着积分时间增加而消失,反映了区域模式对初始场和边界条件的敏感性。

(2)从两种资料形成的初始场预报的高空位势高度、风速、温度结果看,NCEP_GFS 初始场在新疆区域模式中高空要素的预报效果均优于 GRAPES_GFS 初始场,均方根误差分别降低 35.5%~37.2%、7.6%~12.6%和 6.0%~17.2%。从地面常规预报量的检验看,GRAPES_GFS 初始场对地面气象要素(2 m 温度和 10 m 风速)的预报效果优于 NCEP_GFS 初始场,均方根误差分别降低 14.3%和 6.8%。

(3)从降水检验评分看,两种初始场的降水主要为空报,NCEP_GFS 初始场的空报现象小于

GRAPES_GFS 初始场。NCEP_GFS 初始场针对各降水阈值及不同时效的预报降水评分高于 GRAPES_GFS,0.1、6.1 和 12.1 mm/6 h 的 TS 评分分别提高 22.5%、16.1%和 150.8%。

(4)从一次强降水个例预报结果看,GRAPES_GFS 对于小量级的降水预报优于 NCEP_GFS,两种初始场对中量级的降水预报效果相当,NCEP_GFS 对于大量级的降水预报优于 GRAPES_GFS。从降水个例的检验评分看,两种初始场多以空报现象为主,NCEP_GFS 的 TS 评分要高于 GRAPES_GFS。

通过本文开展的检验工作发现,GRAPES_GFS 目前作为新疆区域数值模式业务系统的初始场,在地面气象要素和小、中量级的降水预报方面存在优势;但也存在一定的不足,主要体现为高空气象要素和大量级降水的预报方面。因此,GRAPES_GFS 初始场在新疆区域的预报效果提升主要从 2 个方面开展,一方面需要开展长期的检验工作和更多的典型天气个例作进一步效果评估;另一方面,加强雷达资料和卫星资料同化技术研究及其在业务系统中的应用,以提高降水短临预报效果;下垫面数据的更新应用,以提高地面气象要素的预报效果;开展基于机器学习和统计方法的偏差订正工作,减少模式预报的系统性误差。

参考文献:

- [1] 郜吉东,丑纪范.数值模式初值的敏感性程度对四维同化的影响—基于 Lorenz 系统的研究[J].气象学报,1995,53(4):471-479.
- [2] 王栋梁,梁旭东,端义宏.云迹风在热带气旋路径数值预报中的应用研究[J].气象学报,2005,63(3):351-358.
- [3] 袁招洪.GPS 可降水量资料应用于 MM5 模式的变分同化

- 试验[J].气象学报,2005,63(4):391-404.
- [4] 王叶红,赵玉春,崔春光.多普勒雷达估算降水和反演风在不同初值方案下对降水预报影响的数值研究[J].气象学报,2006,64(4):485-499.
- [5] 彭继达,程兴宏,孙治安,等.两种不同初始场对太阳辐射模拟效果的影响[J].高原气象,2014,33(5):1352-1362.
- [6] 汤浩,贾丽红.背景场和物理过程对 WRF 模式在新疆区域预报性能的影响[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(3):27-33.
- [7] 杨袁慧,师春香,王伟,等.一次强降水模拟中土壤湿度初值的影响研究[J].气象,2013,39(11):1481-1489.
- [8] 麻素红,瞿安祥.不同初始场及侧边界对台风路径数值预报的影响[J].热带气象学报,2004,20(6):737-742.
- [9] 龚建东,邱崇践,王强,等.区域四维变分资料同化的数值试验[J].气象学报,1999,57(2):131-142.
- [10] ZHANG F, ODINS A M, NIELSEN -GAMMON J W. Mesoscale predictability of an extreme warm -season precipitation event [J]. Weather and Forecasting, 2006, 21(2): 149-166.
- [11] 朱红芳,王东勇,管兆勇,等.不同初始场条件对GRAPES模式数值预报的影响[J].气象学报,2007,65(4):493-502.
- [12] 李秋阳,沈菲菲,许冬梅,等.不同初始场资料对台风“桑美”数值模拟的影响[J].气象科技,2019,47(3):460-468.
- [13] 袁有林,杨秀洪,杨必华,等.不同初始场及其扰动对WRF模拟暴雨的影响[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(1):67-75.
- [14] 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.
- [15] 据陈相,刘军建,杜娟,等.RMAPS-CA 在新疆区域预报效果对比检验与评估[J].沙漠与绿洲气象,2020,14(3):68-77.
- [16] 蓝俊,高华,张祖熠,等.新疆新一代区域数值预报业务系统客观检验分析 [J]. 沙漠与绿洲气象,2022,16(2):69-77.
- [17] JU C, LI H, LI M, et al. Comparison of the forecast performance of WRF using Noah and Noah -MP land surface schemes in Central Asia arid region [J]. Atmosphere, 2022, 13:927.
- [18] 宋海清,朱仲元,李云鹏.陆面同化及再分析降水资料在内蒙古地区的适用性[J].干旱区研究,2021,38(6):1624-1636.
- [19] 杨福全,杨大升.1991 年江淮流域暴雨中不同尺度系统的相互作用[J].应用气象学报,1996,7(1):9-18.
- [20] 李得勤,段云霞,周晓珊,等.两种背景场同化雷达资料对辽宁省一次暴雨预报的影响[J].高原气象,2015,34(4):1107-1118.
- [21] YANG T, LI Q, CHEN X, et al. Variation of snow mass in a regional climate model downscaling simulation covering the Tianshan Mountains, Central Asia [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2021, 126 (10): 1-21.
- [22] 姜琪,罗斯琼,李明.不同初始场及陆面方案对青藏高原中东部积雪消融过程的模拟研究[J].高原气象,2022,41(2):430-443.
- [23] LI H, LIU Z, MAMTIMIN A, et al. A new linear relation for estimating surface broadband emissivity in Arid Regions based on FTIR and MODIS products [J]. Remote Sensing, 2021, 13: 1686.
- [24] 何建军,余晔,刘娜,等.复杂地形区陆面资料对 WRF 模式模拟性能的影响[J].大气科学,2014,38(3):484-498.
- [25] HU H, ZHANG Q, XIE B, et al. Predictability of an advection for event over north China. Part I: Sensitivity to initial condition differences [J]. Monthly Weather Review, 2014, 142(5): 1803-1822.
- [26] 孟晓文,隆霄,周国兵,等.同化常规资料对重庆地区一次大暴雨过程的数值模拟研究[J].暴雨灾害,2017,36(4):309-318.
- [27] 张海亮,李火青,买买提艾力·买买提依明.新疆夏季行星边界层参数化方案模拟特征研究[J].干旱区研究,2021,38(1):154-162.

Effect of Different Initial Fields Conditions on the Prediction Performance of Regional Numerical Model in Xinjiang

JU Chenxiang^{1,2,3}, LI Man^{1,3}, Ailiyare Aihaiti^{1,3}, LI Huoqing^{1,3},
LIU Junjian^{1,3}, ZHANG Hailiang^{1,3}, MA Yufen^{1,3}

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences,
Beijing 100081, China;

3. Taklimakan Desert Meteorology Field Experiment Station, China Meteorological Administration,
Urumqi 830002, China)

Abstract The initial field conditions directly affect the predictive performance of the regional model. Based on the two initial fields of GRAPE_GFS and NCEP_GFS, the differences between them were compared in detail, and then the two initial fields were used to drive the Xinjiang regional numerical model (RMAPS-CA V1.0), the numerical simulation results of the full month of April 2021 and the simulation results of a rainfall process on April 21, 2021 were compared and tested by MET (model evaluation tools). The results showed that: firstly, there are obvious differences in the height disturbance field, temperature disturbance field and humidity disturbance field between the two kinds of data, with correlation coefficients of 0.26 ~ 0.60, 0.05 ~ 0.24, and 0.01 ~ 0.12, respectively, leading to great differences one sub-synoptic scales and thus causing the differences between simulation results, reflecting the sensitivity of the regional model to initial fields and boundary conditions. Secondly, the prediction effect of NCEP_GFS initial field is better than that of GRAPES_GFS initial field in the Xinjiang regional model, and the RMSE (root mean square error) decrease by 35.5%~37.2%, 7.6%~12.6% and 6.0%~17.2%, respectively. The results show that GRAPE_GFS initial field are better than NCEP_GFS initial field in predicting temperature at 2 m and wind speed at 10 m, the RMSE decrease by 14.3% and 6.8%, respectively. Thirdly, from the precipitation threat score (TS), it can be seen that the precipitation forecasts of the two initial fields are generally underreported, and the TS of the NCEP_GFS initial field is higher than that of GRAPES_GFS for different precipitation's thresholds and different timings, and the TS of 0.1 mm/6 h, 6.1 mm/6 h and 12.1 mm/6 h increase by 22.5%, 16.1% and 150.8%, respectively. Finally, according to the test results of a heavy rainfall process forecast, GRAPES_GFS is better than NCEP_GFS for 24-hours of small-scale precipitation, with accuracy rates of 61.4% and 40.0%, respectively. However, NCEP_GFS is better than GRAPES_GFS for large-scale precipitation forecasting, with accuracy rates of 66.7% and 33.3%, respectively. The BIAS of two initial fields on precipitation cases are mainly due to the phenomenon of empty reporting, and the TS score of NCEP_GFS is higher than that of GRAPES_GFS on the whole.

Key words numerical model; GRAPES_GFS; NCEP_GFS; initial field; Xinjiang