沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology
第16卷 第3期
2022年6月

琚陈相,刘军建,李曼,等.乌鲁木齐区域高分辨率数值预报系统V2.0预报性能客观检验[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(3):38-46.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.03.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

乌鲁木齐区域高分辨率数值预报系统V2.0预报性能客观检验

琚陈相[1,2,3],刘军建[1,2,3],李 曼[1,2,3*],李火青[1,2,3],张海亮[1,2,3],马玉芬[1,2,3],
买买提艾力·买买提依明[1,2,3]

(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;3.新疆沙漠气象与沙尘暴重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要:数值预报系统检验结果对预报产品的释用和系统的改进有着重要的作用。基于MET(Model Evaluation Tools)检验工具对乌鲁木齐区域高分辨率数值预报系统V2.0(Rapid-refresh Multi-scale Analysis and Prediction System-Central Asia V2.0,简称"RMAPS-CA V2.0")在2021年各季节中的预报性能进行客观检验评估,主要检验了2 m温度、10 m风速、高空位势高度等要素,并与RMAPS-CA V1.0同期预报性能进行对比分析。结果表明:2 m温度预报偏差在冬季和春季整体为负偏差,在夏季和秋季整体为正偏差;各个季节的平均预报偏差均在2 ℃以内,预报性能秋季最优,冬季最差。10 m风速预报在各个季节整体为正偏差且差异不大,平均误差在0.5~1.0 m/s,预报性能秋季最优,春季最差。高空位势高度预报偏差在冬季整体为负偏差,其余季节整体为正偏差,预报性能冬季最优,春季最差。高空风场预报偏差在冬季和春季400 hPa以下为正偏差,400 hPa以上为负偏差;夏季和秋季整体为负偏差,预报性能春季最优、夏季最差。高空温度场预报偏差在冬季整体为负偏差,其余季节整体为正偏差,预报性能春季最优、夏季最差。降水晴雨预报效果较好,除夏季外以空报为主;随降水阈值增大、*TS*评分减小,多以漏报为主,降水评分在冬季最高、夏季最低。从降水个例检验看,24 h累计降水为大量和中量的国家站点预报性能有所提升,逐6 h累计降水*TS*评分略有提升。RMAPS-CA V2.0系统各要素预报偏差的变化特征与RMAPS-CA V1.0相似,预报能力整体上要优于RMAPS-CA V1.0。

关键词:RMAPS-CA V2.0;预报性能;客观检验;乌鲁木齐

中图分类号:P456.7 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0799(2022)03-0038-09

数值模式提供的模式预报产品已成为天气预报的主要参考资料,模式预报准确率也直接关系着天气预报的准确率,从而影响气象服务质量。随着探测技术的发展和新型探测仪器的布设,高分辨率的探测资料应用于数值预报业务中,成为提高区域数值预报精度的重要途径之一[1-3]。目前,国际上使用较为广泛的快速循环更新同化(Rapid Update Cgcle,简称RUC)和预报系统,可有效利用各种常规和非常规气象资料进行同化,为数值预报模式提供高质量的初始场,同时在高分辨率数值模式的基础上进行精细化预报[4-5]。然而,受初始场、模式边界条件、物理过程、复杂下垫面以及模式框架自身设计不足

收稿日期:2021-11-13;**修回日期**:2022-01-22

基金项目:2018年国家重点研发计划(2018YFC1507105);中国气象局创新发展专项(CXFZ2022P074);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金项目(IDM2021003);2020年自治区高层次人才经费(2021-49)

作者简介:琚陈相(1988—),男,助理研究员,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,主要从事中尺度天气动力学和数值模式研究。E-mail:liman@idm.cn

等诸多方面的影响，数值模式预报产品与实况必定会存在一定的差异[6-7]。因此,对这种误差进行时空上定量的检验和评估显得尤为重要，不仅有助于研发人员诊断和修正模式中可能存在的缺陷，也为预报员订正预报结果提供客观依据。

乌鲁木齐高分辨率数值预报模式系统睿图中亚 V1.0 （Rapid -refresh Multi -scale Analysis and Prediction System-Central Asia，简称“RMAPS-CA V1.0”），是由中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所 2017 年 11 月引进北京城市气象研究所运行的快速更新多尺度分析和预报系统睿图（简称“RMAPS”）搭建[8-9],2018 年 6 月完成 RMAPS-CA V1.0 试运行,并于 2020 年 6 月通过业务化评审,为全疆各地气象部门提供精细化数值预报产品。2020 年 8 月,中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所初步完成 RMAPS-CA V2.0 的系统研发和建设,并实现试运行。本文对 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各个季节的预报性能进行了客观评估，并与 RMAPS-CA V1.0 进行同期的对比分析，以充分了解 RMAPS-CA V2.0 系统在新疆区域的预报能力,进一步为该系统的改进、完善及业务化提供支撑。

1 RMAPS-CA V2.0 系统和检验方法

1.1 RMAPS-CA V2.0 系统

目前已搭建的睿图中亚 V2.0 系统(RMAPS-CA V2.0）采用 WRF V4.1.2 数值预报模式和 WRFDA V4.1.2 资料同化系统。模式采用两重嵌套,D01 区域分辨率为 9 km,网格设置 712×532,覆盖中亚区域,D02 区域分辨率为 3 km,网格设置 832×652,覆盖新疆、甘肃和青海西部等地区;系统采用三维变分同化技术,以 U/V 为控制变量进行多元观测资料的同化分析;模式初始和边界条件采用 NECP_GFS 0.5°的全球分析和预报场，自 2021 年 4 月改用 GRAPS_GFS 0.25°作为初始场（RMAPS-CA V1.0 于同期改用 GRAPS_GFS 0.25°作为初始场）。预报系统每日运行 8 次,其中 18 时(世界时,下同)为冷启动,预报时效为 96 h,随后逐 3 h(00、03、06、09、12、15 时)循环同化预报,预报时效为 24 h(图 1)。模式物理过程设置为:Thompson 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 长波辐射方案,RRTMG 短波辐射方案和 NOAH 陆面方案。表 1 为 RMAPS-CA V2.0 和 V1.0 的系统配置差异对比,RMAPS-CA V2.0 系统主要升级了模式版本，优化了运行框架，增加了预报频次及更新了系统启动方式。

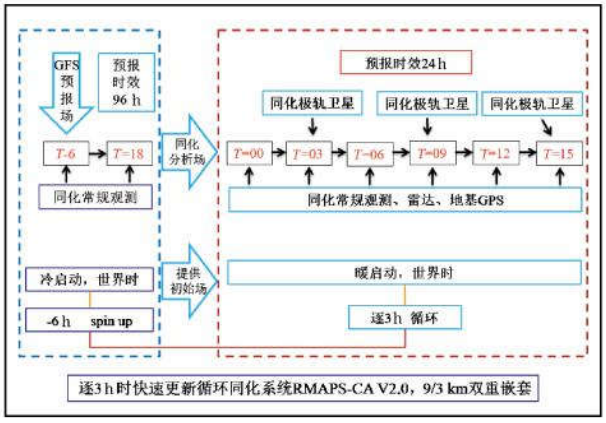

图 1 RMAPS-CA V2.0 系统流程

表 1 RMAPS-CA V1.0 系统和 V2.0 系统配置差异对比

	RMAPS-CA V1.0	RMAPS-CA V2.0
模式版本	WRF V4.0+WRF DA V4.0	WRF V4.1.2+WRF DA V4.1.2
运行框架	首先进行 D01 资料同化，采用单项嵌套方式进行模式预报；随后采用 Ndown 程序计算 Wrfinput_d02 和 Wrfbdy_d02，再进行 D02 资料同化，最后进行 D02 区域的预报	D01 和 D02 同时进行资料同化，再同时积分预报
预报时次（世界时）	每日 00、12 时冷启动,48 h 预报；每日 06、18 时暖启动,36 h 预报	每日 18 时冷启动,96 h 预报;每日 00、03、06、09、12、15 时暖启动,24 h 预报

1.2 检验方法

为了系统检验 RMAPS-CA V2.0 系统的预报效果,用于检验的预报样本时间段为 2021 年各季节代表月(1、4、7、10 月)每日 2 次(00 和 12 时,世界时)更新循环起报,每次预报时效为 24 h,样本总数为 244 个。选取季节代表月作 RMAPS-CA V2.0 的预报性能检验，能更充分地评估 RMAPS-CA V2.0 系统在新疆区域的预报效果。

利用气象学上通用的 MET（Model Evaluation Tools)V7.0 检验平台，一是对 RMAPS-CA V2.0 和 RMAPS-CA V1.0 两系统 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。检验所使用的地面要素观测资料和降水观测资料均来自我国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我国参加考核探空站

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*(见公式(1)、(2),其中,F_i 为第 i 点上的预报值,O_i 为第 i 点上的观测值);二是根据检验时段内地面观测站降水观测实况,计算两个系统逐 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 *TS* 评分和 *BIAS* 预报偏差(见公式(3)~(4),其中 N_a 为预报正确站(次)数、N_b 为空报站(次)数、Nc 为漏报站(次)数)。

$$均方根误差:R_{MSE}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(F_i-O_i)}\ , \tag{1}$$

$$平均误差:M_E=\frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{n}(F_i-O_i)\right]\ , \tag{2}$$

$$TS\ 评分:T_S=\frac{N_a}{N_a+N_b+N_c}\ , \tag{3}$$

$$BIAS\ 预报偏差:B_{IAS}=\frac{N_a+N_b}{N_a+N_c}\ . \tag{4}$$

2 地面要素预报检验

2.1 2 m 温度

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各个季节 2 m 温度预报偏差结果(图 2)可知,RMAPS-CA V2.0 系统 2 m 温度预报偏差在冬季和春季整体为负偏差,在夏季和秋季整体为正偏差;各个季节预报偏差随时间变化趋势基本相似,下午至夜间(预报时效 9~15 h)的预报偏差最大,平均预报偏差均在 2 ℃以内。从 2 m 温度均方根误差结果可知,2021 年冬季维持在 3.7~4.9 ℃,春季维持在 3.1~3.6 ℃,夏季维持在 3.7~4.2 ℃,秋季维持在 3.3~3.6 ℃,各个预报时效变化不大。整体上,RMAPS-CA V2.0 系统对 2 m 温度预报性能在秋季最优、冬季最差。

由图 2 可知,两系统平均误差和均方根误差在各季节各起报时次上的变化趋势和整体特征较为相似,表明温度预报存在一定的系统偏差。RMAPS-CA V2.0 在 2021 年冬季和春季的预报偏差整体小于 RMAPS-CA V1.0,春季的预报偏差改善较为明显;在夏季和秋季的预报偏差整体大于 RMAPS-CA V1.0,二者误差在 0.5 ℃以内。从 2021 年各季节的均方根误差对比结果看,RMAPS-CA V2.0 在冬季和春季的均方根误差小于 RMAPS-CA V1.0,在夏季和秋季的均方根误差大于 RMAPS-CA V1.0。综上分析,2021 年 RMAPS-CA V2.0 系统对 2 m 温度的预报性能在冬季和春季优于 RMAPS-CA V1.0,在夏季和秋季略差于 RMAPS-CA V1.0。

2.2 10 m 风速

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各季节 10 m 风速预报偏差结果(图 3)可知,RMAPS-CA V2.0 系统 10 m 风速预报的性能整体差异不大,平均误差维持在 0.5~1.0 m/s,冬季误差最大,为 1.1 m/s,秋季误差最小,除春季外各季节各预报时效平均误差变化不大,风速预报的午后时段(预报时效 6~12 h)误差最小。从均方根误差结果看,除秋季外各季节的均方根误差呈先增大后减小再增大再减小的趋势,均方根误差维持在 2.2~2.8 m/s。整体来看,RMAPS-CA V2.0 系统对 10 m 风速预报性能在秋季最优、春季最差。

对比 RMAPS-CA V2.0 与 RMAPS-CA V1.0 在 2021 年同期 10 m 风速预报检验结果(图 3)可以看

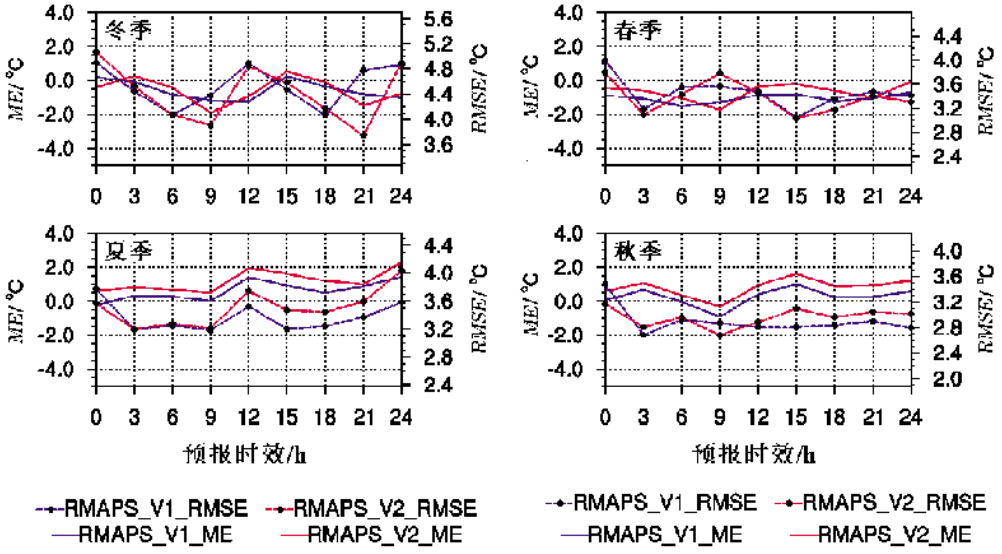

图 2 RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节 2 m 温度检验结果

出,RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各季节预报偏差整体与 RMAPS-CA V1.0 差别不大;均方根误差在冬季和夏季整体大于 RMAPS-CA V1.0 系统,夏季 10 m 风速均方根误差最大为 0.3 m/s,在春季和秋季的均方根误差差异不明显。

3 高空要素预报检验

3.1 位势高度

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各个季节高空位势高度预报偏差结果(图 4)可以看出,RMAPS-CA V2.0 对高位势高度的预报偏差在冬季整体为负偏差,呈现随高度先增大再减小的趋势,24 h 预报偏差在 400 hPa 达到极大值,为-19.8 gpm;其余季节的预报偏差整体为正偏差,呈现随高度先增大再减小的趋势,均在 300 hPa 左右达到极大值,夏季 24 h 预报偏差极大值为 45.2 gpm。整体上看,RMAPS-CA V2.0 系统高空位势高度预报性能在冬季最优、春季最差。

对比 RMAPS-CA V2.0 与 RMAPS-CA V1.0 在 2021 年同期高空位势高度预报检验结果(图 4)可知,RMAPS-CA V2.0 在 2021 年冬季的预报偏差与 RMAPS-CA V1.0 差异明显,400 hPa 以上呈反位相;2 个系统在其余季节的预报偏差随高度变化的趋势较为一致,均呈随高度先增大再减小,在300 hPa 左右达到极大值,RMAPS-CA V2.0 高空位势高度预报偏差在春季和秋季整体小于 RMAPS-CA V1.0,夏季则大于 RMAPS-CA V1.0。RMAPS-CA V2.0 位势高度的均方根误差在冬季和夏季整体大

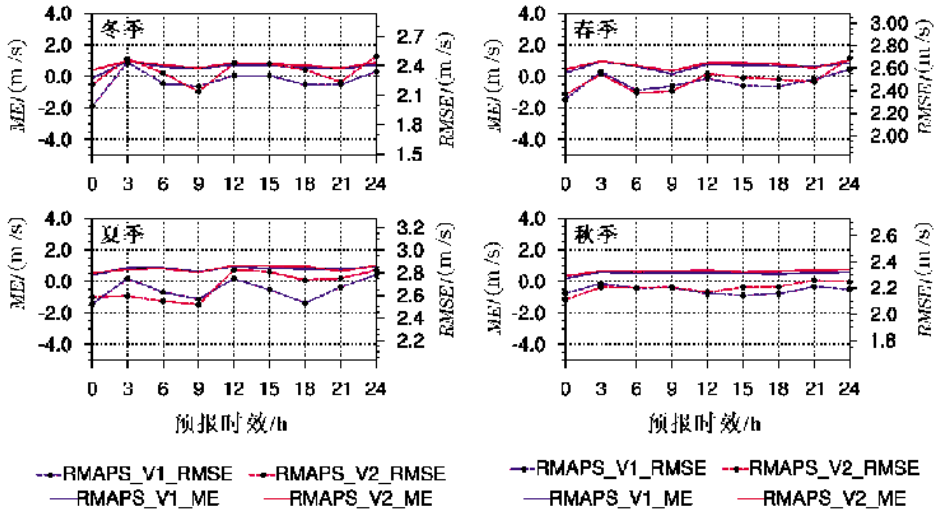

图 3 RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节 10 m 风速检验结果

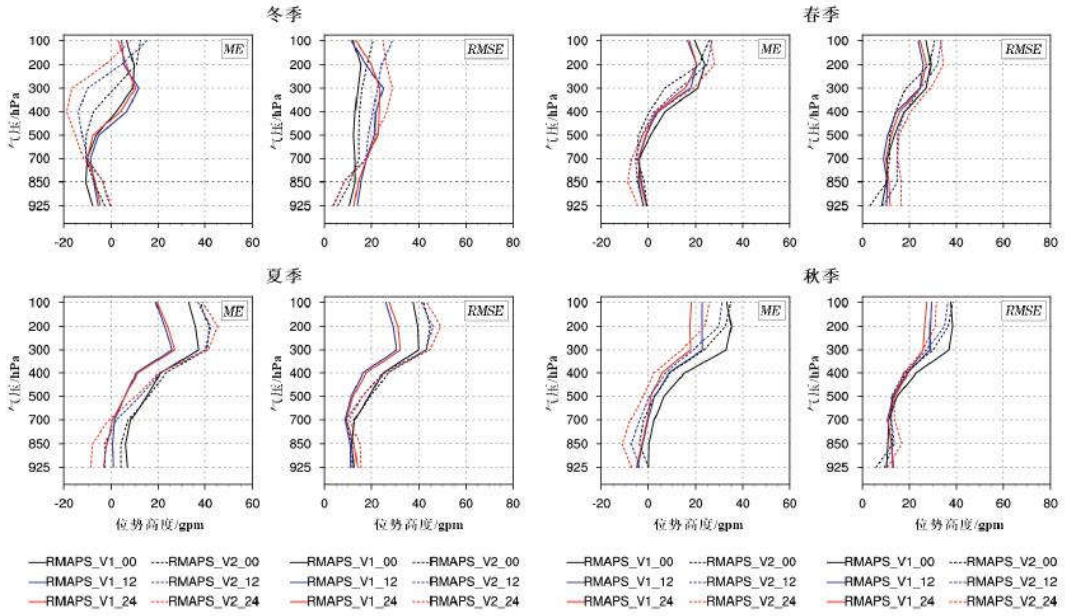

图 4 RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节高空位势高度检验结果

于 RMAPS-CA V1.0，在春季和秋季则小于 RMAPS-CA V1.0。对比两系统在 2021 年高空位势高度各季节的预报偏差和均方根误差可知，RMAPS-CA V2.0 系统高空位势高度的预报性能在春季和秋季有所提升。

3.2 风场

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各个季节高空风场预报偏差结果(图 5)可知，RMAPS-CA V2.0 高空风场的预报偏差在冬季和春季 400 hPa 以下为正偏差，400 hPa 以上为负偏差，呈现随高度逐渐减小再增大的趋势，误差范围在-1.0~1.0 m/s；夏季和秋季的预报偏差 850 hPa 以下为正偏差，850 hPa 以上为负偏差，呈现随高度先减小再增大的趋势，夏季和秋季的 12 h 预报偏差在 300 和 400 hPa 分别达到极大值，为-2.0 和-1.8 m/s。整体上看，RMAPS-CA V2.0 系统高空风场预报性能在春季最优、夏季最差。

由 RMAPS-CA V2.0 与 RMAPS-CA V1.0 在 2021 年同期高空风场预报检验结果（图 5）可知，RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各季节高空风场的预报偏差整体小于 RMAPS-CA V1.0，两个系统随高度变化较为一致，呈现随高度先减小再增大的趋势。除春季外，2 个系统高空风场预报偏差均在 200 hPa 达到极大值，24 h 预报偏差之差在秋季的 200 hPa 达到最大值，约为 2.0 m/s。从位势高度的均方根误差检验看，2 个系统在 2021 年各季节高空风场的均方根误差均呈现随高度增大再减小的趋势，在 300 hPa 达到极大值；RMAPS-CA V2.0 高空风场的均方根误差在冬季和春季整体大于 RMAPS-CA V1.0 系统，在夏季和秋季则小于 RMAPS-CA V1.0。对比两系统在 2021 年高空风场各季节的预报偏差和均方根误差可以看出，RMAPS-CA V2.0 系统高空风场的预报性能在夏季和秋季有所提升。

3.3 温度场

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各个季节高空温度场预报偏差结果(图 6)可以看出，RMAPS-CA V2.0 高空温度场的预报偏差范围在-1.0~2.0 ℃，冬季的预报偏差整体为负偏差，呈现随高度逐渐增大再减小的趋势，24 h 预报偏差在 700 hPa 达到极大值，为-1.0 ℃；其余季节的预报偏差整体为正偏差，呈现随高度逐渐减小的趋势，夏季的 24 h 预报偏差在 925 hPa 达到极大值，为 2.2 ℃。整体上看，RMAPS-CA V2.0 系统高空温度场预报性能在春季最优、夏季最差。

对比 RMAPS-CA V2.0 与 RMAPS-CA V1.0 在 2021 年同期高空温度场预报检验结果(图 6)可以看出，RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各季节高空风场的预报偏差在冬季和夏季大于 RMAPS-CA V1.0，在春季和秋季则小于 RMAPS-CA V1.0，除夏季外，2 个系统随高度变化较为一致，冬季呈现随高度先减小再增大再减小再增大的趋势，春季和秋季呈现随高度逐渐减小的趋势。从位势高度的均方根误差检验看，2 个系统在 2021 年各季节高空风场的均方根误差均呈现随高度先减小再增大的趋势，各季节均在 200 hPa 达到极大值；RMAPS-CA V2.0 高空风场的均方根误差除秋季外，整体略大于 RMAPS-CA

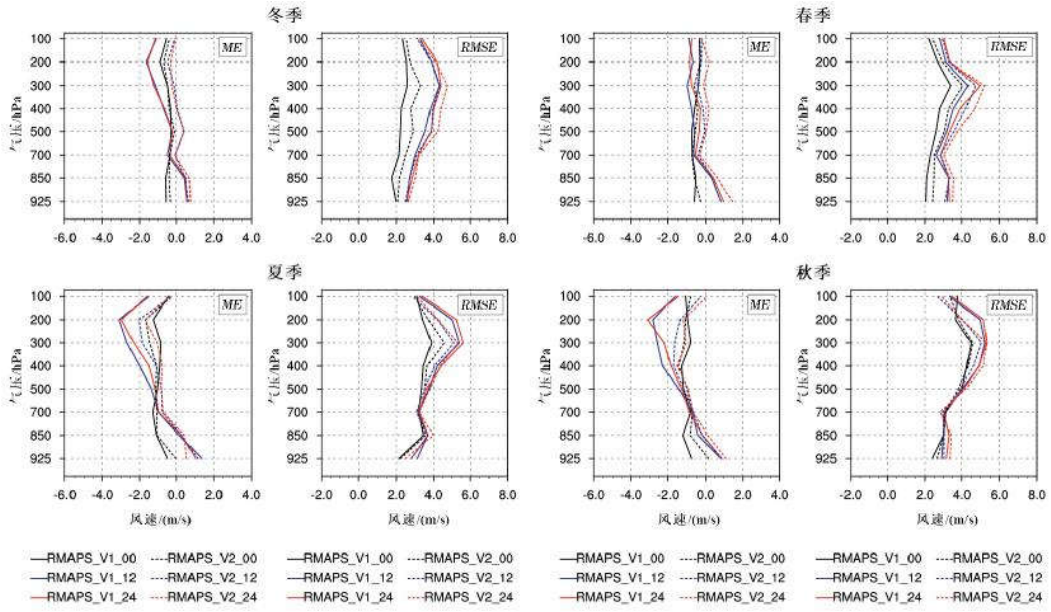

图 5 RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节高空风场检验结果

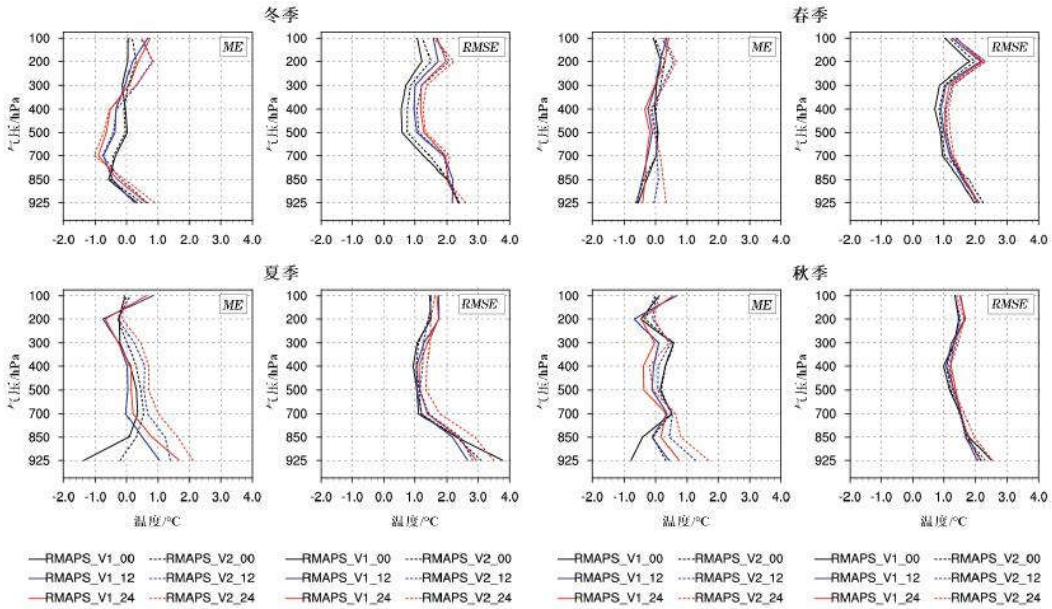

图 6　RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节高空温度场检验结果

V1.0。对比两系统在 2021 年高空温度场各季节的预报偏差和均方根误差可知,RMAPS-CA V2.0 系统高空温度场的预报性能在秋季有所提升。

4　降水预报检验

4.1　逐 6 h 降水评分季节对比

从 RMAPS-CA V2.0 在 2021 年各季节、不同量级降水阈值的逐 6 h *TS* 评分(图 7)可以看出,*TS* 评分随着降水阈值的增大而减小。由于新疆属于干旱半干旱气候,6 h 累计降水除夏季外很少大于 12.0 mm。对比 RMAPS-CA V1.0 系统,RMAPS-CA V2.0 在 0.1 mm/6 h 以上阈值降水 *TS* 评分,冬季在 0.3~0.4，其余季节在 0.2~0.3，整体要优于 RMAPS-CA V1.0,表明 RMAPS-CA V2.0 系统对未来 6 h 的晴雨预报效果和稳定性均高于 RMAPS-CA V1.0;3.1 mm/6 h 以上阈值降水，除冬季外，RMAPS-CA V2.0 在其余季节的 *TS* 评分在 0.1~0.2，均略高于 RMAPS-CA V1.0 系统;6.1 mm/6 h 和 12.1 mm/6 h 以上阈值降水,除春季外,RMAPS-CA V2.0 在其余季节的 *TS* 评分在 0~0.15，整体上也略高于 RMAPS-CA V1.0 系统。

降水预报的 *BIAS* 评分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式对于降水范围大小的预报性能。从降水的 *BIAS* 评分(图 7)看,在 0.1 mm/6 h 以上阈值降水,RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 的 *BIAS* 偏差除夏季外,其余季节均大于 1.0,表明 2 个系统的降水均存在空报现象，预报的降水范围偏大,而 RMAPS-CA V2.0 系统的 *BIAS* 评分比 RMAPS-CA V1.0 更接近于 1.0，表明 RMAPS-CA V2.0 系统预报降水测站数比 RMAPS-CA V1.0 更接近于实际测站数。对于 3.1、6.1 和 12.1 mm/6 h 以上阈值降水,除冬季和春季的个别时次外,RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 的 *BIAS* 偏差整体上小于 1.0,RMAPS-CA V2.0 系统的 *BIAS* 偏差较 RMAPS-CA V1.0 更接近于 1.0,表明 RMAPS-CA V2.0 系统预报降水的测站数更接近实际测站数。综上分析,RMAPS-CA V2.0 系统在 2021 年的降水预报性能整体有所提高。

4.2　降水个例检验

过程前期 500 hPa 欧亚范围内呈“两槽两脊”的经向环流,西伯利亚为低槽活动区,巴尔喀什湖地区为高压脊区，随后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,造成 2021 年 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、哈密市北部出现雨转雨夹雪或雪，选取本次过程的主要降水时段 21 日 00 时—22 日 00 时做降水检验。

从国家站降水量预报对比(表 2)可知,新源、奇台及塔城 24 h 累计降水量为大量，其中 RMAPS-CA V2.0 预报的新源站降水量(16.7 mm) 与实况(21.2 mm)更接近,2 个系统对奇台和塔城站的降水量预报均偏弱;对于 24 h 累计降水量为中量的国家站,RMAPS-CA V2.0 预报的额敏、小渠子和沙湾站降水量与实况更为接近,2 个系统对北塔山站的降水均为漏报。从逐 6 h 累计降水检验评分(图 8)可

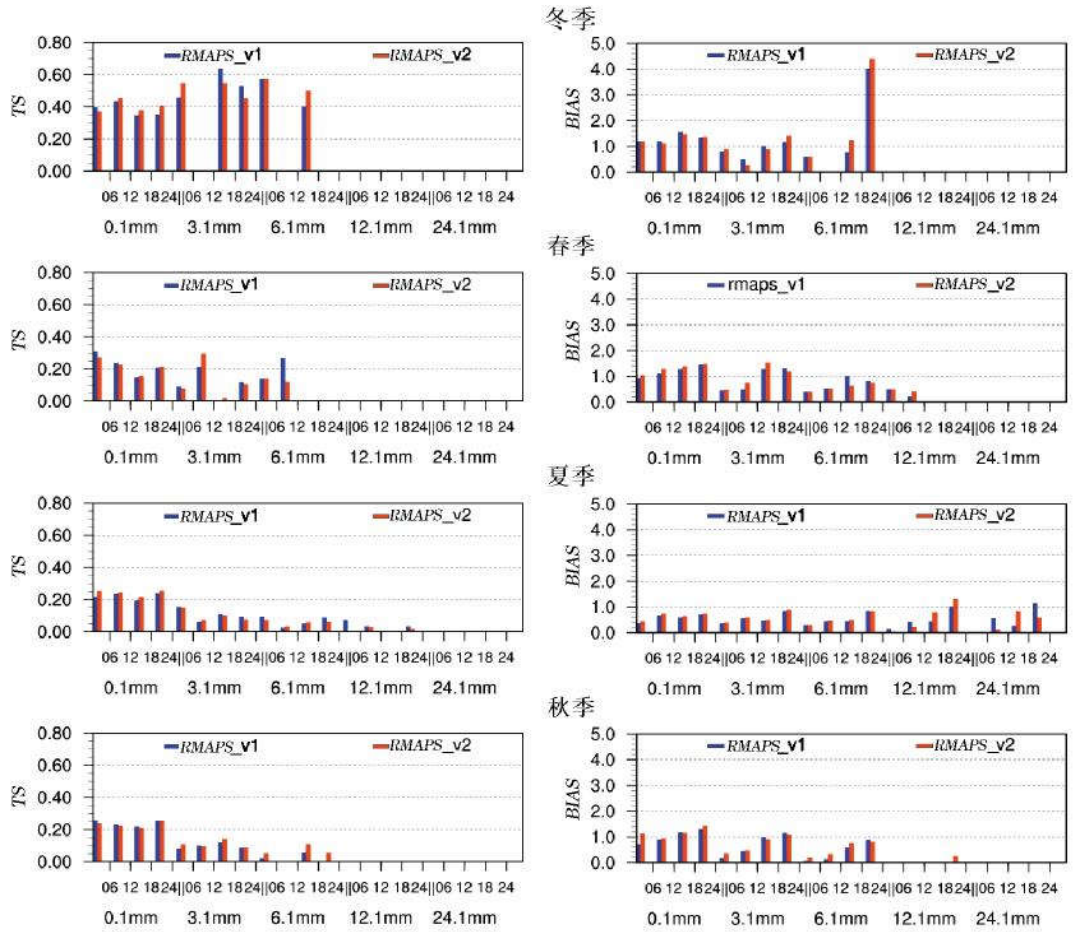

图 7 RMAPS-CA V2.0 系统和 RMAPS-CA V1.0 系统 2021 年各季节降水检验评分

表 2 4 月 21 日 00 时—22 日 00 时国家站 24 h 累计降水量(≥6.0 mm)预报对比 mm

站点	实况降水	4 月 21 日 00 时起报	
		RMAPS-CA V1.0	RMAPS-CA V2.0
新源	21.2	15.4	16.7
奇台	19.2	2.7	0.4
塔城	18.7	5.0	2.8
木垒	11.7	0.4	4.8
额敏	11.3	3.8	10.9
小渠子	9.5	3.2	7.0
天池	9.4	4.0	3.6
北塔山	9.2	0.5	0.1
沙湾	8.3	7.4	8.4
温泉	8.1	4.7	2.9
特克斯	7	21.5	14.9
昌吉	6.5	3.0	3.3
阜康	6.5	1.3	1.7

知,对于晴雨预报(0.1 mm/6 h),2 个系统整体属于漏报现象,RMAPS-CA V2.0 的 *TS* 评分要略高于 RMAPS-CA V1.0; 对于 3.1 mm/6 h 和 6.1 mm/6 h, RMAPS-CA V2.0 的 *TS* 评分略高于 RMAPS-CA V1.0,降水预报接近与实况。整体上看,RMAPS-CA V2.0 系统对本次降水预报相比较更准确。

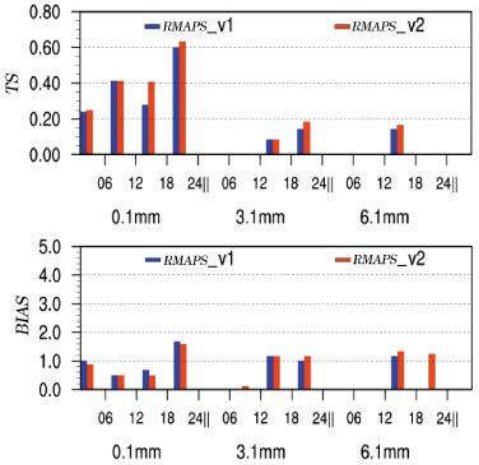

图 8 不同系统对 2021 年 4 月 21 日 00 时—22 日 00 时不同阈值逐 6 h 累计降水检验评分

5 结论与讨论

利用 MET 检验工具,对乌鲁木齐区域高分辨率数值预报系统 RMAPS-CA V2.0 在新疆区域 2021 年各个季节的预报效果进行检验评估,并与 RMAPS-CA V1.0 系统进行同期对比分析,得到以下主要结论:

(1)RMAPS-CA V2.0 系统 2 m 温度预报偏差在冬季和春季整体为负偏差,在夏季和秋季整体为正偏差;各个季节的平均预报偏差均在 2 ℃以内,对2 m 温度预报性能在秋季最优、冬季最差;对 2 m 温度的预报性能在冬季和春季优于 RMAPS-CA V1.0,在夏季和秋季则略差于 RMAPS-CA V1.0。RMAPS-CA V2.0 系统对各个季节 10 m 风速预报整体为正偏差且差异不大,平均误差基本维持在 0.5~1.0 m/s,均方根误差维持在 2.2~2.8 m/s;对 10 m 风速预报性能在秋季最优、春季最差;对 10 m 风速的预报性能在冬季和夏季略差于RMAPS-CA V1.0,在春季和秋季预报性能差异不大。

(2)RMAPS-CA V2.0 对高空位势高度预报偏差在冬季整体为负偏差,在其余季节整体为正偏差,高空位势高度的预报性能在冬季最优、春季最差;对春季和秋季的位势高度预报性能优于 RMAPS-CA V1.0。RMAPS-CA V2.0 系统对高空风场预报偏差在冬季和春季在 400 hPa 以下为正偏差,400 hPa 以上为负偏差;夏季和秋季的预报偏差整体为负偏差,对高空风场预报性能在春季最优、夏季最差;对高空风场预报性能在夏季和秋季优于 RMAPS-CA V1.0。RMAPS-CA V2.0 系统对高空温度场预报偏差在冬季整体为负偏差,其余季节的预报偏差整体为正偏差,高空温度场预报性能在春季最优、夏季最差;对高空温度场预报性在秋季优于 RMAPS-CA V1.0。

(3)RMAPS-CA V2.0 系统晴雨预报效果较好,*TS* 评分随降水阈值增大而减小,冬季的降水评分最高、夏季最低。从降水的 *BIAS* 评分看,RMAPS-CA V2.0 系统对 0.1 mm/6 h 以上阈值降水除夏季外,多为空报;对于 3.1、6.1、12.1 mm/6 h 以上阈值降水,除冬季和春季的个别时次外,多为漏报。从降水个例的站点预报看,RMAPS-CA V2.0 对 24 h 累计降水为大量和中量的国家站点预报性能有所提升,逐 6 h 累计降水 *TS* 评分略高于 RMAPS-CA V1.0,预报偏差更接近与实况。整体上看,RMAPS-CA V2.0 系统的降水预报性能整体有所提高。

通过 2021 年各个季节预报效果检验及一次强降水过程的对比分析,RMAPS-CA V2.0 系统的预报能力整体上要优于 RMAPS-CA V1.0,预报性能的提升可能受两个方面的影响:(1)RMAPS-CA V2.0 系统实现以雷达资料为核心的逐 3 h 循环同化预报,00 和 12 时均为暖启动,增加了本地气象资料同化在模式中的贡献,进一步优化了系统的初始场。(2)RMAPS-CA V2.0 系统采用 D01 和 D02 区域同时积分,增加了模式对 D02 区域边界条件的动态约束,一定程度上减小了侧边界条件更新不及时的问题。虽然本文给出了 RMAPS-CA V2.0 系统比较满意的评估结果,但模式的短临降水预报和地面要素预报仍需长期开展优化工作。下一步工作将从以下几个方面开展:新疆区域地基 GPS 水汽资料同化技术研究及在 RMAPS-CA V2.0 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;对系统的物理过程参数化方案进行进一步的调整试验,尽可能减少模式预报的系统性误差。

参考文献:

[1] BENJAMIN S G,DEVENYI D,WEYANDT S S,et al.An hourly assimilation-forecast cycle:The RUC[J].Mon Wea Rev,2004,132(2):495-518.

[2] THOMPSON R L,ROGER E,HART J A.Close proximity soundings within supercell environments obtaind from the rapid update cycle[J].Wea Forecasting,2003,18(16):1243-1261.

[3] DAVIS C A,AHIJEVYCH D A,TRIER S B.Detection and prediction of warm season idtropospheric vortices by the rapid update cycle [J].Mon Wea Rev,2000,130(1):24-42.

[4] 姚爽,陈敏,王建捷.L 波段分钟数据在 WRF 模式中的变分同化应用试验[J].气象,2015,41(6):695-706.

[5] 郝民,徐枝芳,陶士伟,等.GRAPES RUC 系统模拟研究及应用试验[J].高原气象,2011,30(6):1573-1583.

[6] 闵晶晶.BJ-RUC 系统模式地面气象要素预报效果评估[J].应用气象学报,2014,25(3):265-273.

[7] 范水勇,陈敏,仲祚芹.北京地区高分辨率快速循环同化预报系统性能检验和评估 [J]. 暴雨灾害,2009,28(2):119-125.

[8] 琚陈相,李曼,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.

[9] 琚陈相,刘建军,杜娟,等.新疆 DOGRAFS_3km 夏季预报试验与分析[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(6):9-16.

[10] 杜娟,李曼,辛渝,等.2017 年乌鲁木齐区域数值预报业务系统预报性能检验和评估 [J]. 沙漠与绿洲气象,2018,12(6):49-57.

[11] 李曼,辛渝,杜娟,等.2016年乌鲁木齐区域数值预报业务系统预报性能客观检验[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(5):46-52.

[12] 杨显玉,文军,牛广山,等.西北地区的快速更新循环同化预报系统性能检验和评估[J].高原气象,2020,39(1):90-101.

[13] 唐冶,李如琦,马玉芬,等.DOGRAFS逐小时气温和降水预报的释用[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(4):100-106.

[14] 辛渝,李曼,杜娟,等.新疆气象业务同化系统研发进展[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(1):133-143.

[15] 张守峰,郭文华,张金艳,等.T213模式对强冷空气短期预报能力的分析检验[J].气象,2003,29(1):43-47.

[16] 王宝鉴,孔祥伟,傅朝,等.甘肃陇东南一次大暴雨的中尺度特征分析[J].高原气象,2016,35(6):1551-1564.

[17] 陈子通,黄燕燕,万齐林,等.快速更新循环同化预报系统的汛期试验与分析 [J]. 热带气象学报,2010,26(1):49-54.

[18] 郑祚芳.RUC产品在一次强降水预报中的应用分析[J].气象,2008(增):85-88.

Objective Verification on RMAPS-CA V2.0 System in Urumqi

JU Chenxiang[1,2,3],LIU Junjian[1,2,3],LI Man[1,2,3],LI Huoqing[1,2,3],ZHANG Hailiang[1,2,3],MA Yufen[1,2,3]

(1.Institute of Desert Meteorology,China Meteorological Administration,Urumqi 830002,China;
2.Taklimakan Desert Meteorology Field Experiment Station,China Meteorological Administration,Urumqi 830002,China;
3.Xinjiang Key Laboratory of Desert Meteorology and Sandstorm,Urumqi 83002,China)

Abstract The forecast performance of Rapid-refresh Multi-scale Analysis and Prediction System-Central Asia V2.0 (RMAPS-CA V2.0) in 2021 is objectively verified seasonally by using Model Evaluation Tools (MET) and further compared with RMAPS-CA V1.0 for the same period.The results show that,the system's forecast deviation of 2 m temperature is mainly negative in winter and spring,mainly positive in summer and autumn,and the forecast performance is the best in autumn and the worst in winter.The average error of 10 m wind speed is between 0.5-1.0 m/s,and the forecast performance is the best in autumn and the worst in spring.The system's forecast deviation of high-altitude geopotential height is mainly negative in winter,and mainly positive in other seasons,the forecast performance is the best in winter and the worst in spring.The forecast deviation of high-altitude wind field is positive deviation below 400 hPa in winter and spring,and negative deviation above 400 hPa; negative deviation is dominant in summer and autumn,and the forecast performance is the best in spring and the worst in summer.The forecast deviation of the high-altitude temperature field is mainly negative in winter and positive in other seasons,and the forecast performance is the best in spring and the worst in summer.The sunny and rainy forecast effect of the system is good,and the precipitation score is the highest in winter and the lowest in summer.Judging from a precipitation case test,the system has improved the forecasting performance of national stations with heavy and moderate accumulated precipitation in 24 h,and the Threat Score (*TS*) of accumulated precipitation each 6 h has been slightly improved too.In 2021,the variation characteristics of the forecast deviations of various elements of the RMAPS-CA V2.0 system are similar to those of RMAPS-CA V1.0,and the overall forecasting capability is better than that of RMAPS-CA V1.0.

Key words RMAPS-CA V2.0; forecast performance; objective verification; Urumqi