

陈晓燕,孔祥伟,杨春芽,等. GRAPES_Meso 模式不同参数化方案在甘肃河东地区的模拟评估[J]. 陕西气象,2021(1): 8-14.

文章编号:1006-4354(2021)01-0008-07

GRAPES_Meso 模式不同参数化方案 在甘肃河东地区的模拟评估

陈晓燕¹,孔祥伟¹,杨春芽²,王基鑫¹

(1. 兰州中心气象台,兰州 730020;2. 玛曲县气象局,甘肃玛曲 747300)

摘要:利用我国新一代 GRAPES_Meso 区域中尺度数值预报模式,通过调整边界层方案、陆面过程方案、微物理过程方案和积云对流方案,形成 8 组不同的参数化组合方案,对甘肃河东地区 2015 年 7—8 月的高空要素、2 m 气温和降水开展了对比试验,结果表明:当微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 LSM 方案时,GRAPES_Meso 模式对甘肃东部地区 500 hPa 高空要素的预报效果最优;微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 SLAB 方案的组合方案对甘肃东部的 2 m 气温和降水预报效果最优。

关键词:GRAPES_Meso 模式;参数化方案;甘肃河东地区

中图分类号:P456.7

文献标识码:A

随着数值预报模式的持续发展,高分辨率模式的预报能力也稳步提高。中尺度数值预报模式的预报^[1-3]对象已从中 α 尺度(250~2 500 km)发展到中 β (25~250 km)与中 γ (2~25 km)尺度,相应的模式水平分辨率达到了 1~10 km,有的甚至在 1 km 以下。但是模式分辨率的提高是有限的,参数化方法就成为数值模式处理中、小尺度运动可行而有效的工具。中尺度模式的参数化方案主要包括对流参数化过程方案、云微物理方案、陆面过程方案以及边界层方案等,根据国外业务和研究试验^[4-5]表明,影响中尺度预报的各个因子的重要性依次为边界条件、湿物理过程、边界层参数化、初始条件和分辨率。针对中尺度数值模式物理过程各种参数化方案,已有许多气象工作者做了大量试验和研究^[6-13],中尺度数值模式物理过程研究的整体性及统一性已是近年来的一种趋

势,选择不同的参数化方案组合对模拟结果的准确度影响很大,因而开展不同参数化方案组合优选工作显得十分必要。2006 年段旭等^[14]利用 MM5V3 不同参数化方案对低纬高原地区进行降水模拟,得出 Grell 积云参数化、Goddard 显式水汽和云辐射过程组合的方案对降水预报效果较好;2011 年段旭等^[15]在对比试验的基础上,选取了适合云南的积云过程、微物理过程和辐射过程的方案组合。朱庆亮等^[16]对 WRF 模式中物理过程参数化方案进行组合对比试验,认为没有确定的某个物理过程参数化方案在所有试验方案中的模拟效果一致好,不同方案配合使用模拟效果更佳;伍红雨等^[17]利用 GRAPES 模式中微物理过程参数化和积云参数化方案,采用不同的方案组合选出适合贵州降水预报的组合方案;陈晓燕等^[18]对比讨论 WRF 模式不同微物理过程、积云

收稿日期:2020-04-30

作者简介:陈晓燕(1985—),女,河南许昌人,硕士,工程师,主要从事数值天气预报研究。

基金项目:中国气象局 GRAPES 数值预报发展专项(甘肃不同类型强降水的 GRAPES 预报产品检验);甘肃省气象局对流性暴雨预报预警关键技术创新团队(GSQXCXTD-2020-01)

对流和边界层参数化方案组合对青海省气温、降水及风速的模拟效果,得出各要素预报效果最好的组合方案。

甘肃河东地区位于青藏高原的东部边缘,地形复杂,强天气多发,中尺度模式对河东地区复杂地形组合参数化方案的影响研究相对较少。本文应用 GRAPES_Meso 模式,通过调整边界层方案、陆面过程方案、微物理过程方案和积云对流方案,形成 8 种不同的参数化组合方案,对甘肃河东地区 2015 年 7—8 月开展了对比试验,以比较不同组合对甘肃东部高空要素、2 m 气温和降水预报效果的影响,优选出适合甘肃东部地区的组合方案,以期对甘肃河东地区预报服务提供有效的模式参考产品,同时为改进 GRAPES_Meso 业务模式提供依据。

1 资料和方法

1.1 模式简介

GRAPES 模式系统作为中国自主知识产权的新一代气象数值预报系统自 2001 年开始研发^[19],2006 年 7 月 GRAPES 模式通过业务验收并投入业务运行^[20-21],主要物理过程包括:显示云微物理方案、积云对流参数化方案、辐射传输、边界层过程、陆面过程及次网格尺度地形重力拖曳等。本文采用 GRAPES_Meso 区域模式 4.1 版本,水平分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$,垂直方向为 50 层,模式同化了地面、高空和飞机报资料,计算范围为 $32^\circ\text{N} \sim 38^\circ\text{N}$, $100^\circ\text{E} \sim 109^\circ\text{E}$,预报时效为 48 h。

1.2 资料

采用美国国家海洋与大气管理局 NOAA (The National Oceanic and Atmospheric Administration) 每 6 h 发布的 GFS (the global forecast system) 全球 $1^\circ \times 1^\circ$ 预报产品作为初始场和边界场,垂直方向为 26 层,预报数据时间间隔为 3 h,预报时效为 0~240 h。实况数据采用兰州中心气象台提供的甘肃河东地区 62 个观测站点(图 1)2015 年 7—8 月逐日 24 h 累积降水和 08 时 2 m 温度。

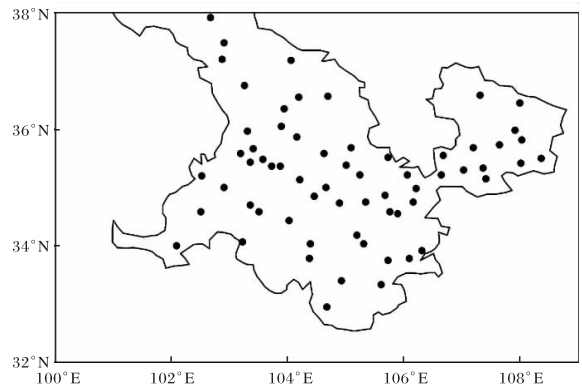


图 1 研究区域和站点分布

1.3 方法

根据模式的云微物理过程、边界层参数化、积云参数化、陆面过程等物理过程选项,固定微物理过程 WSM6 类方案和积云对流 KF 方案,组合边界层方案和陆面过程方案(表 1),综合考虑高空要素、2 m 温度和降水,选出评分相对较高的组合作为最优组合。其余物理参数化方案选取如下。

表 1 GRAPES_Meso 8 种组合方案

组合方案	微物理过程	积云对流	边界层	陆面过程
1	WSM6 类方案	KF 方案	YSU 方案	SLAB 方案
2	WSM6 类方案	KF 方案	YSU 方案	LSM 方案
3	WSM6 类方案	KF 方案	YSU 方案	Noah 方案
4*	WSM6 类方案	KF 方案	YSU 方案	RUC 方案
5	WSM6 类方案	KF 方案	MRF 方案	SLAB 方案
6	WSM6 类方案	KF 方案	MRF 方案	LSM 方案
7	WSM6 类方案	KF 方案	MRF 方案	Noah 方案
8*	WSM6 类方案	KF 方案	MRF 方案	RUC 方案

注: * 表示该种组合方案回算过程出现积分溢出。

长波和短波辐射过程参数化方案分别选择 RRTM 和 Duhbia 方案,近地层方案选用 Monin-Obukhov 方案。边界层有 YSU 方案和 MRF 方案两种,陆面过程有 SLAB 方案、LSM 方案、Noah 方案和 RUC 方案四种,排列组合后形成 8 组组合方案,由于组合方案 4 和组合方案 8(带*)在回算过程中出现积分溢出导致模式结果异常,故不做分析。

在进行模拟效果检验时,采用双线性插值的方法将模式产品的格点值插值到相应站点上,然后计算检验指标进行客观检验(表 2)。

表 2 降水预报检验分类表

预报	实况	
	有	无
有降水	A(正确)	B(空报)
无降水	C(漏报)	D

降水检验分小雨、中雨、大雨和暴雨 4 个级别进行风险 TS 评分、预报偏差和预报技巧。定义如下:

$$TS \text{ 评分} = \frac{A}{A+B+C}, \quad (1)$$

$$\text{预报偏差} = \frac{A+B}{A+C}, \quad (2)$$

$$\text{预报技巧} = \frac{A-E}{A+B+C-E}. \quad (3)$$

其中 $E = \frac{(A+B)(A+C)}{A+B+C+D}$ 。

高空要素采用均方根误差作为检验指标,2 m 气温检验采用绝对误差和均方根误差和预报误差 ≤ 2 °C 的预报准确率作为检验指标^[22-23],具

体的定义如下:

$$\text{均方根误差} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i - O_i\right)^2}, \quad (4)$$

$$\text{预报准确率} = \frac{N_r}{N_f}. \quad (5)$$

其中 F_i 为第 i 站(次)08 时(北京时间)预报温度, O_i 为第 i 站(次)08 时(北京时间)实况温度, $(F_i - O_i)$ 为第 i 站(次)预报误差。 N_r 为预报正确的站(次)数, N_f 为预报的总站(次)数。温度预报准确率的实际含义是温度预报误差 ≤ 2 °C 的准确率。

2 高空要素对比

表 3 为 500 hPa 高空要素 24 h 预报和 48 h 预报检验均方根误差。(1)500 hPa 高度场。24 h 预报组合方案 6 均方根误差最小,组合方案 2 次之;48 h 预报组合方案 2 均方根误差最小,组合方案 6 次之;两个预报时效中组合方案 1 的 500 hPa 高度场均方根误差最大。(2)500 hPa 温度场。组合方案 6 的均方根误差最小,组合方案 2 次之;24 h 预报组合方案 1 均方根均方根误差最大,48 h 预报组合方案 5 的均方根误差最大。(3)500 hPa 风场。组合方案 6 均方根误差最小,组合方案 2 次之,组合方案 1 均方根均方根误差最大。GRAPES_Meso 模式对 500 hPa 高空要素 24 h 预报均方根误差均小于 48 h 预报。对于 500 hPa 高空要素来说,组合方案 6 预报效果最好,组合方案 2 次之,组合方案 1 表现最差,即 MRF 方案为边界层方案、陆面过程为 LSM 方案时,GRAPES_Meso 模式对高空要素的预报效果最好。

表 3 不同组合方案 500 hPa 24 h、48 h 高空要素预报均方根误差

预报时段	要素	组合方案					
		1	2	3	5	6	7
24 h	等压面高度/dagpm	7.04	6.56	6.71	6.81	6.49	6.63
	气温/°C	1.59	1.11	1.16	1.58	1.09	1.15
	风速/(m/s)	4.09	3.61	3.75	3.98	3.54	3.66
48 h	等压面高度/dagpm	13.93	13.67	13.71	13.83	13.70	13.74
	气温/°C	2.49	2.28	2.35	2.50	2.27	2.33
	风速/(m/s)	6.41	6.14	6.22	6.34	6.11	6.20

3 2 m 气温对比

3.1 绝对误差和均方根误差

图2为2015年7—8月08时2 m气温逐日检验的绝对误差。不论24 h预报还是48 h预报,组合方案1和组合方案5的绝对误差集中在

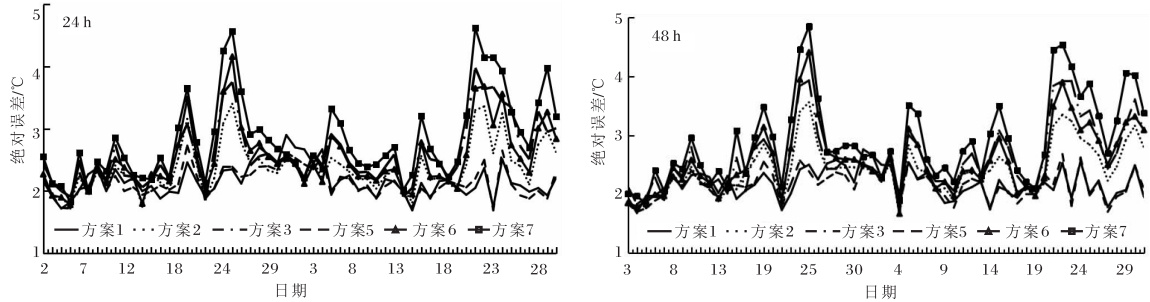


图2 不同组合方案2015年7—8月逐日2 m气温绝对误差

图3为2015年7—8月08时2 m气温检验逐日均方根误差。24 h预报和48 h预报,组合方案1和组合方案5逐日均方根误差在2~3.5℃之间,组合方案2、组合方案3和组合方案6的逐日均方根误差主要集中在2.5~4.5℃,组合方案7逐日均方根误差在2.5~5.5℃范围内。组合方案1和组合方案5的08时2 m气温逐日检验

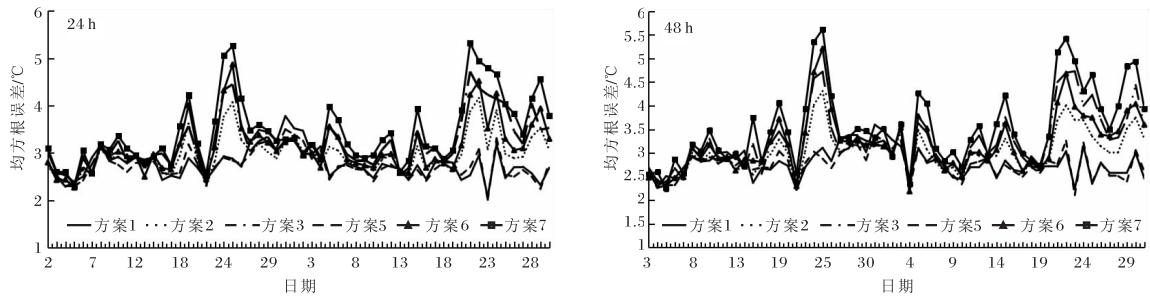


图3 不同组合方案2015年7—8月逐日2 m气温均方根误差

3.2 预报准确率

从2015年7—8月逐日08时2 m气温预报误差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率(图4)可以看出:24小时预报,组合方案1和组合方案5逐日08时2 m气温预报误差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率在55%以上,其余4种组合方案 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率主要集中在20%~60%之间;48 h预报,组合方案1和组合方案5逐日08时2 m气温预报误差 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率在40%~70%之间,其余4种组合方案 $\leq 2^\circ\text{C}$ 的预报准确率主要集中在

1.5~2.5℃之间,明显小于其它4种方案,且波动较小,尤其是在7月中下旬和8月中下旬时段。整体上来看2 m气温的绝对误差24 h预报略小于48 h预报,组合方案5的绝对误差相对最小,组合方案1次之,组合方案7绝对误差最大。

的均方根误差整体呈减小趋势,且起伏小;其余4种组合方案逐日均方根误差整体呈增加趋势,且波动较大,尤其是在7月中下旬和8月中下旬时段。整体上来看2 m气温的均方根误差24 h预报略低于48 h预报,组合方案5的均方根误差相对最小,组合方案1次之,组合方案7均方根误差最大。

20%~60%之间,组合方案7个别日期的预报准确率在20%以下;模式对08时2 m气温预报效果24 h预报明显优于48 h预报,组合方案5表现最好,组合方案1次之,组合方案7预报准确率最低。

2015年7—8月2 m气温的月平均绝对误差、均方根误差和预报准确率(表略)表明:24 h预报的08时2 m气温,组合方案5绝对误差最小(2.14℃),组合方案1次之(2.17℃),组合方案7最大(2.82℃);组合方案5的均方根误差也最

小(2.74 °C),组合方案 1 次之(2.78 °C),组合方案 7 最大(3.45 °C);08 时 2 m 气温预报误差 ≤ 2 °C 的预报准确率组合方案 5 最高(56.7%),组

合方案 1 次之(56.4%),组合方案 7 最低(42.0%);模式 48 h 对 08 时 2 m 气温的预报也是组合方案 5 表现最好。

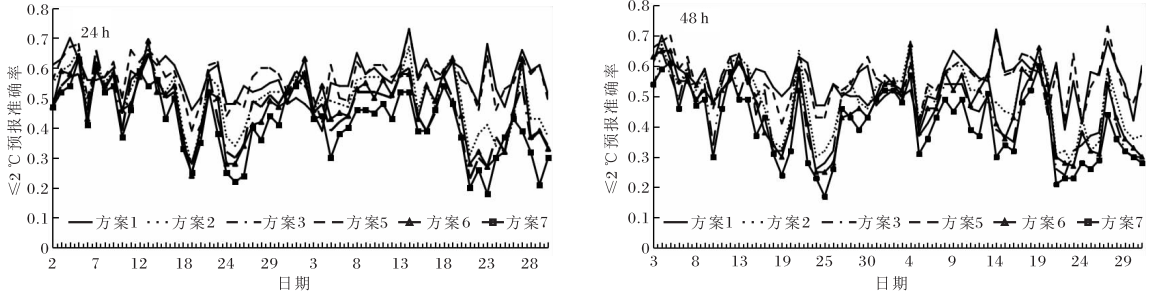


图 4 不同组合方案 2015 年 7—8 月逐日 2 m 气温 ≤ 2 °C 预报准确率

综上所述,对于 08 时 2 m 气温的预报,组合方案 5 预报效果最好,即微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 SLAB 方案时对 2 m 气温的预报能力最好,其次是组合方案 1,组合方案 7 预报效果最差。

4 降水对比

图 5 为 GRAPES_Meso 模式预报不同等级降水的 TS 评分和技巧评分。24 h 预报(图 5a),小雨预报组合方案 5 TS 评分最高(44.2%),组合方案 1 其次(43.9%),组合方案 6 最低(42%);中雨预报组合方案 5 和组合方案 1 预报效果最好,

TS 评分为 9.5%,组合方案 3 其次(9.4%),组合方案 6 最低(8.4%);大雨预报组合方案 5 评分最高(2.3%),组合方案 3 次之(1.8%)。技巧评分小雨、中雨和大雨各方案均为正值,说明均为正技巧,其中小雨技巧评分组合方案 6 最高,中雨和大雨技巧评分组合方案 5 相对较高;暴雨的技巧评分均为负值。

48 h 预报(图 5b),小雨预报组合方案 5 TS 评分最高(44.8%),组合方案 1 其次(44.3%),组合方案 6 最低(42.3%);中雨预报组合方案 1 预报模拟效果最好,TS 评分为 7.4%,组合方案 5 其次(7.3%),组合方案 6 和组合方案 7 最低(5.9%);

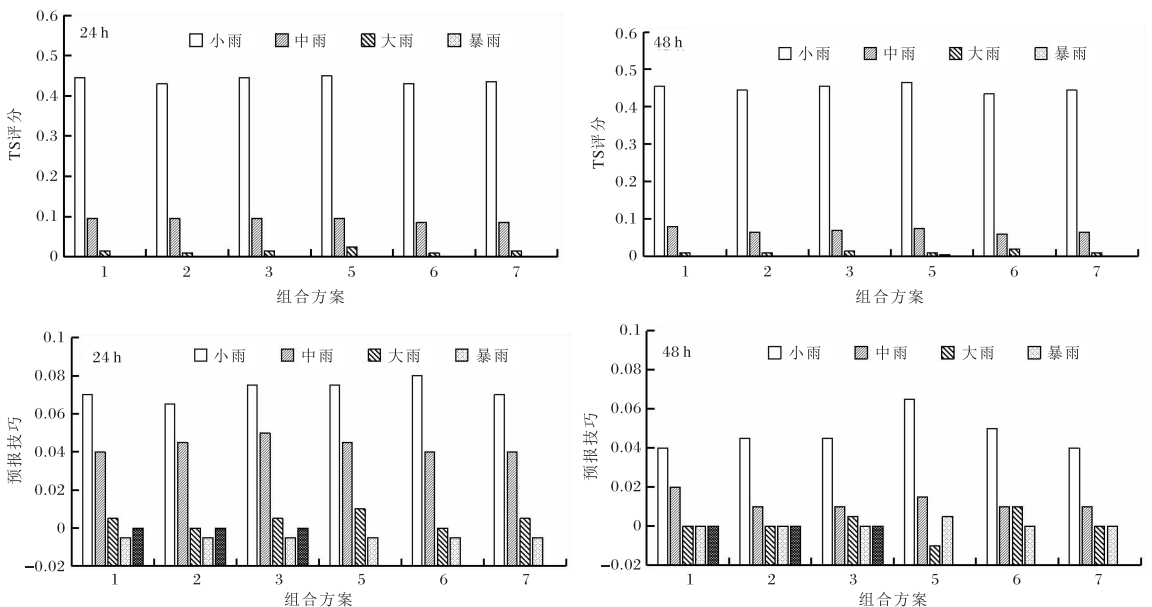
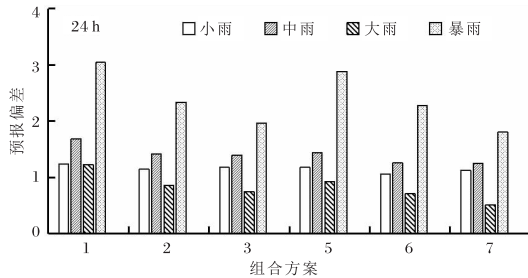


图 5 不同组合方案 2015 年 7—8 月不同等级降水 TS 评分和技巧评分

大雨预报组合方案 5 评分最高(2.0%),组合方案 3 次之(1.4%)。技巧评分小雨和中雨各方案均为正值,说明均为正技巧,其中小雨技巧评分组合方案 5 最高,中雨技巧评分组合方案 1 最高;组合方案 3 和组合方案 6 的大雨技巧评分为正值,其余四个方案为负值;组合方案 5 的暴雨技巧评分为正值,其余方案暴雨技巧评分均为负值。

图 6 为 2015 年 7—8 月不同等级降水的预报



偏差,其中预报偏差等于 1 代表预报最佳,大于 1 说明预报降水量偏多,小于 1 代表预报降水量比实况偏少。模式各组合方案 24 h 预报对小雨、中雨和暴雨预报偏多,其中中雨偏多明显,对大雨预报偏少;48 h 预报对小雨、中雨和大雨预报偏多,中雨和大雨偏多明显,暴雨预报最接近 1。组合方案 5 表现相对较好,组合方案 1 表现最差,其余 4 种方案差别不大。

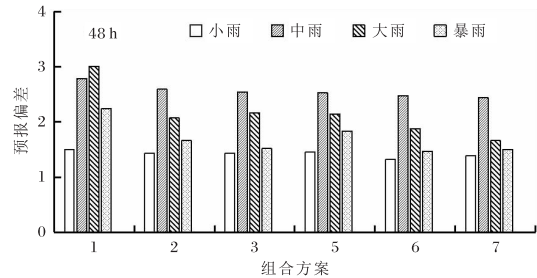


图 6 不同组合方案 2015 年 7—8 月不同等级降水预报偏差

综合 2015 年 7—8 月降水 TS 评分和技巧评分,不同等级降水的 TS 评分组合方案 5 相对较高,即微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 SLAB 方案时对不同等级降水模拟效果相对较好,组合方案 1 次之,组合方案 6 的降水 TS 评分相对较低;整体上组合方案 5 不同等级降水的技巧评分优于其余 5 种方案。

5 结论

以 GRAPES_Meso 区域中尺度模式作为试验模式,固定微物理过程 WSM6 类方案和积云对流 KF 方案,选择边界层方案和陆面过程方案产生 8 个组合方案,其中 6 个组合方案可行,对甘肃河东地区 2015 年 7—8 月的高空要素、2 m 气温和降水进行预报对比分析试验。

(1)固定微物理过程为 WSM6 类方案和积云对流为 KF 方案后,边界层方案为 MRF 方案、陆面过程为 LSM 方案时,数值模式对甘肃河东地区 500 hPa 高空要素的预报效果最好。

(2)分析 2 m 气温的绝对误差和预报准确率,当微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 SLAB 方案时,中尺度模式对 2 m 气温的预报能

力最好。

(3)综合降水 TS 评分和技巧评分,微物理过程为 WSM6 类方案、积云对流为 KF 方案、边界层为 MRF 方案、陆面过程为 SLAB 方案对不同等级降水模拟效果最优。

参考文献:

- [1] 李超,沈菲菲,许冬梅,等. 超强台风“Saomai”的数值模拟及诊断分析[J]. 陕西气象,2019(3):8-17.
- [2] 马晓华,梁生俊. 2011 年秦巴山区秋季区域性暴雨数值模拟及诊断分析[J]. 陕西气象,2014(5):14-20.
- [3] 李萍云,王楠,戴昌明,等. 一次秦岭南麓暴雨中秦巴山区地形作用模拟分析[J]. 陕西气象,2018(6):1-9.
- [4] 程麟生,丑纪范. 大气数值模拟[M]. 北京:气象出版社,1991:106-107.
- [5] 朱蓉,徐大海. 中尺度数值模拟中的边界层多尺度湍流参数化方案[J]. 应用气象学报,2004,15(5):543-555.
- [6] 郭云云,邓莲堂,范广洲,等. GRAPES 中尺度模式中不同积云参数化方案预报性能对比研究[J]. 气象,2015,41(8):932-941.
- [7] 聂皓浩,刘奇俊,马占山. 高分辨率 GRAPES 模式中云微物理方案对强降水的模拟和诊断研究[J].

- 气象,2016,42(12):1431-1444.
- [8] 李斐,邹捍,周立波,等. WRF 模式中边界层参数化方案在藏东南复杂下垫面适用性研究[J]. 高原气象,2017,36(2):340-357.
- [9] 马红云,郭品文,宋洁. 耦合不同陆面方案的 WRF 模式对 2007 年 7 月江淮强降水过程的模拟[J]. 大气科学,2009,33(3):557-567.
- [10] 薛文博,沈菲菲,王琛,等. 不同边界层方案对台风灿都路径和强度模拟的影响[J]. 陕西气象,2019(2):13-18.
- [11] 张小培,银燕. 复杂地形地区 WRF 模式四种边界层参数化方案的评估[J]. 大气科学学报,2013,36(1):68-76.
- [12] 李建刚,奥银焕,李照国. 夏季不同天气条件下沙漠辐射和能量平衡的对比分析[J]. 地理科学进展,2012,31(11):1443-1451.
- [13] 据陈相,李淑娟,于晓晶,等. GRAPES 模式中不同陆面方案对新疆一次强降水事件的模拟[J]. 沙漠与绿洲气象,2014,8(6):16-22.
- [14] 段旭,王曼,陈新梅,等. 中尺度 WRF 数值模式系统本地化业务试验[J]. 气象,2011,37(1):39-47.
- [15] 段旭,王曼,刘建宇,等. 低纬高原地区 MM5V3 不同参数化方案降水模拟试验[J]. 气象,2006,32(4):16-23.
- [16] 朱庆亮,江灏,王可丽,等. WRF 模式物理过程参数化方案对黑河流域降水模拟的影响[J]. 干旱区研究,2013,30(3):462-469.
- [17] 伍红雨,陈德辉,徐国强. 不同物理过程参数化方案对贵州降水预报的敏感性试验[J]. 气象,2007,33(4):23-28.
- [18] 沈晓燕,颜玉倩,肖宏斌,等. WRF 模式不同参数化方案组合对青海气温、降水及风速模拟的影响[J]. 干旱气象,2018,36(3):423-430.
- [19] 陈德辉,沈学顺. 新一代数值预报系统 GRAPES 研究进展[J]. 应用气象学报,2006,17(6):773-777.
- [20] 张人禾,沈学顺. 中国国家级新一代业务数值预报系统 GRAPES 的发展[J]. 科学通报,2008,53(20):2393-2395.
- [21] 陈德辉,薛纪善,杨学胜,等. 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,2008,53(20):2396-2407.
- [22] 张成军,纪晓玲,马金仁,等. 多种数值预报及其释用产品在宁夏天气预报业务中的检验评估[J]. 干旱气象,2017,35(1):148-156.
- [23] 袁有林,杨必华,周宏,等. WRF 模式不同集合预报方案对一次大范围暴雨过程的模拟研究[J]. 干旱气象,2016,34(6):1027-1036.