

丁莉,丁元武,李蔚,等.湖南夏秋季不同天气类型人影天气模式预报检验[J].气象研究与应用,2020,41(2):50-54.

Ding Li, Ding Yuanwu, Li Wei, et al. Forecast verification of different weather types in summer and autumn for weather modification model in Hunan Province[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(2): 50-54.

湖南夏秋季不同天气类型人影天气模式预报检验

丁莉¹, 丁元武^{2*}, 李蔚³, 唐林¹, 李琼¹, 汪玲¹

(1.湖南省人工影响天气领导小组办公室,长沙 410018; 2.河南省南阳市气象局,河南 南阳 473000;

3.湖南省气象台,长沙 410118)

摘要:通过分析湖南 2013–2018 年夏秋季天气过程,将影响湖南的天气分为 5 个类型:热带低压型、副高边缘型、东风带系统型、高空低槽型和中低层切变型,针对不同天气类型开展人工影响天气模式预报对比检验。结果表明,GRAPES_CAMS 模式预报效果较好,MM5_CAMS 模式预报效果稍差;暴雨以上降水量级预报偏差明显;高空低槽型、中低层切变型天气过程预报较好,热带低压型、副高边缘型的中小尺度天气过程预报存在偏差。

关键词:天气分型;人工影响天气;模式预报;模拟检验;对比分析

中图分类号: P481

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.2.10

OSID:



引言

人工影响天气模式将云降水模式与中尺度模式动力框架进行耦合,提高了模式对热动力过程和云降水过程的模拟能力,包含了云宏观场、云微观场、云垂直剖面,这是传统数值模式所不具备的。人工影响天气模式提供了人影作业关注的云顶高度、云顶温度、0℃层高度、过冷层厚度、云中各种水成物粒子含量等,在人工影响天气业务决策、效果评估等方面发挥了重要作用。

我国学者不断研究完善人工影响天气模式,胡志晋等^[1]发展了混合相双参数体积水云模式,即 CAMS 云方案,孙晶等^[2]在 GRAPES 模式中耦合一套 CAMS 复杂云微物理方案,高文华等^[3]在 CAMS 双参数云微物理方案的基础上,增加气溶胶粒子的活化过程,张正国等^[4]在双参数云降水方案于 GRAPES 中尺度数值模式耦合建立的人影模式基础上,进行本地化改进建立广西人工影响天气模式预报系统。

随着人影数值模式的不断完善,人影数值模式

在人影作业服务中应用广泛,孙晶等^[5]利用人影数值模式为南方高温旱区开展云结构预报和人工增雨作业条件分析服务工作;高茜等^[6]利用耦合了 CAMS 详尽云方案和非静力中尺度数值模式 MM5V3 的 CAMS 中尺度云分辨模式,对北京一次层状云系降水进行模拟和人工催化数值试验;郑凯等^[7]、韦增岸等^[8]利用人影模式产品及卫星数据反演产品等资料,对本地一次飞机增雨作业过程进行了分析。也有一些学者开展了模式预报效果检验,刘丽君等^[9]对广西人工影响天气云系模式预报中的柱云水量、柱过冷云水量和云顶温度 3 种产品进行了预报效果检验,张小娟等^[10]将 GRAPES_CAMS 模式预报产品与实况资料进行对比分析,发现该模式对贵州天气过程具有一定的预报能力。

为研究模式在湖南省的适用性,提高云降水预报产品的业务释用水平,通过检验不断改进和完善模式预报,以更好的适应本地复杂的天气和云系特征,提高对人工影响天气作业条件的预报能力。

收稿日期: 2019-12-12

基金项目: 人工影响天气作业条件研判技术研究及业务平台推广与应用 (湖南省气象局 NLJS12)、湖南省气象局短平快课题 (XQKJ18B077)

作者简介: 丁莉(1988-),女,硕士,工程师,主要从事人工影响天气业务研究。E-mail: 370040907@qq.com

* 通讯作者: 丁元武(1962-),男,本科,工程师,主要从事大气探测方面研究。E-mail: 1146722717@qq.com

1 资料与方法

目前湖南省应用的云模式产品为中国气象局人工影响天气中心研发的 GRAPES_CAMS (以下简称 GRAPES) 和 MM5-CAMS (以下简称 MM5) 模式产品: 分别以中尺度天气数值模式 GRAPES 和 MM5 为动力框架, 耦合了中国气象局人工影响天气中心研发的云降水显式方案(CAMS 云分辨方案)。

通过将人工影响天气模式模拟的降水、云带、云顶高度等要素与实况对比, 分析其时空特征的模拟情况, 包括云系的发展演变特征、云系的宏观特征、云垂直结构和性质、降水场及其演变等检验。

为定量评估模式模拟结果, 采用 TS 评分标准, 进行小雨($\geq 0.1\text{mm}$)、中雨($\geq 10\text{mm}$)、大雨($\geq 25\text{mm}$)、暴雨($\geq 50\text{mm}$)检验分析, 将模式模拟结果差值到湖南地区区域自动站, 然后做统计检验。TS 评分公式为^[11]:

$$TS = \frac{N_A}{N_A + N_B + N_C} \tag{1}$$

式中: N_A 为预报正确的站点数量; N_B 为空报的站点数量; N_C 为漏报的站点数。TS 评分值反映了预报降水位于某一等级的准确率, 介于 0~1 之间, 越接近 1 代表预报越好, 小雨量级降水 TS 评分是对雨带位置及范围预报的衡量指标^[12]。

2 天气分型及其特征

通过统计湖南省 2013–2018 年夏秋季开展飞机增雨 82 次天气过程, 发现影响湖南省的降水天气型主要有以下五类: 热带低压型、副高边缘型、东风带系统型、高空低槽型和中低层切变型。其中热带低压型过程 25 次, 占比 30.5%; 副高边缘型 4 次, 占比 4.9%; 东风带系统型 2 次, 占比 2.4%; 高空低槽型 38 次, 占比 46.3%; 中低层切变型 13 次, 占比 15.9%。

热带低压型: 受台风外围云系影响, 当台风登陆减弱成低压时, 湖南省南部常处于低压倒槽内或湖南省东部处于台风西侧的外围云系, 出现降水。降水一般从湘东南开始, 降水区随着台风路径移动, 作业区应避开热带低压倒槽附近或低压内。

副高边缘型: 当西太平洋副热带高压减弱东撤或南落时, 湖南省受副高边缘暖湿西南气流影响, 出现阵性降水。一般降水自湘东南开始, 如副高脊线北抬, 降水区北抬, 自东向西影响湖南省。当副高西北侧有冷槽或切变线发展时, 作业区应注意避开切变

线和副高之间的强锋区。
东风带系统型: 在副热带高压南侧对流层中、下层的东风气流里, 存在一个槽或气旋性曲率最大区, 产生降水天气, 当湘南地区处于东风带系统中, 结合地形影响, 易产生降水。

高空低槽型: 500hPa 有低槽东移影响湖南, 700hPa 或 850hPa 有槽、切变线或低涡发展, 地面有锋面或辐合线。此类降水的范围较广, 一般降水自湘西北开始, 随着副高东撤, 降水自北向南影响湖南省, 作业区应避开槽、切变线或低涡附近。

中低层切变型: 500hPa 副高脊线在 20°N 左右, 西南季风加强, 带动中低层切变北抬。一般降水自湘南开始, 自南向北影响湖南省。作业区应避开切变线附近。

3 不同天气型的模式模拟情况

通过将 2016–2017 年共计 28 次开展飞机增雨的降水天气过程的人影模式预报结果与实况进行对比分析发现, 云模式产品预报较好的是 GRAPES 模式, MM5 模式预报效果稍差, 雨量预报方面, 对 28 次过程进行 TS 评分检验, 发现 GRAPES 模式的晴雨预报及小雨、大雨量级的降水预报优于 MM5 模式, 暴雨以上量级预报两种模式均偏差明显(表 1)。由于湖南省目前租用的飞机为军用运七飞机, 不能装载机载云物理探测设备, 只能通过卫星反演资料对部分云宏观物理量进行检验, 云模式产品中云带的预报较好, 云顶高度、云顶温度的预报稍差。对 28 次降水天气过程进行分型, 其中高空低槽型 16 次, 热带低压型 8 次, 中低层切变型 3 次, 副高边缘型 1 次。对于不同天气型的预报, 发现高空低槽型、中低层切变型的天气过程预报较好, 而热带低压型、副高边缘型类的中小尺度过程预报存在偏差, 对于此类过程要注意修订临近时段的监测预警指导产品。

以高空低槽型为例对比分析不同模式的模拟情况: 2017 年 8 月 8–9 日, 受高空槽和中低层低涡共同影响, 湘北地区出现层积混合云降雨天气。24h 降水量最大达 79.5mm, 雨强中心位于湘西北。湘西北处于 500hPa 槽前部, 850hPa 湘西北有一低涡,

表 1 2016–2017 年 28 次降水天气过程 TS 评分平均值

	小雨	中雨	大雨	暴雨	晴雨预报
GRAPES	0.476	0.154	0.061	0.003	0.663
MM5	0.456	0.172	0.047	0.011	0.614

850hPa 相对湿度条件好,超过 90%。9 日 02 时系统东移减弱。

3.1 云系的发展演变特征检验

针对湖南地区云系移动情况,选取三个时刻的预报产品与实况进行对比:系统移入(8 日 17 时)、系统发展(8 日 23 时)、系统减弱(9 日 02 时)。针对云系的位置、覆盖范围、移动方向及移动速度、云系性质等,对比三个时刻的 GRAPES 和 MM5 预报云带产品和黑体亮温,图 1 为系统发展时。

实况显示 8 日 17 时,云系自西向东移至湖南省西北,移速约 $60\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$;05 时,随着云系东移北抬,云系主体移至湖南省西北部时,云层变厚,黑体亮温最低达 -70°C 以上,云系发展旺盛;9 日 02 时,云系减弱移至湘北中部。GRAPES 模式预报的云带位置与实况黑体亮温低值区较为一致,而 MM5 模式的预报的云带位置与实况有偏差;23 时,云带继续东移北抬,GRAPES 模式预报云带覆盖范围及移向与实况较为一致,但范围略偏小,MM5 模式预报云带

覆盖范围整体偏北;02 时,云带南移,成片块状的云体消散减弱为多个小的云体,GRAPES 模式预报云带覆盖位置略偏北,未能很好地刻画出云体的消散减弱过程,MM5 模式预报云带覆盖范围位置偏北偏弱。

GRAPES 模式预报湖南范围内层积云系的位置、移向与实况比较一致,云系均自西向东移动,但预报层积云系范围在湘西北偏小,预报的云带强度较实况略偏弱,对于消散减弱过程模拟不足;MM5 模式模拟的云带位置较实况偏北,位置偏差较大,GRAPES 模式对于云带的模拟优于 MM5 模式。

3.2 云系宏观特征检验

针对湖南地区云系移动情况,通过对比典型时刻的 GRAPES 和 MM5 预报云顶温度/高度产品和反演的云顶温度/高度,检验云系宏观特征。8 日 17 时卫星反演云顶温度/高度显示,湖南湘西、湘北地区层积云系的云顶温度范围为 $-70^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$,云顶高度范围为 $3\sim 12\text{km}$;8 日 23 时,云体的范围扩大,云

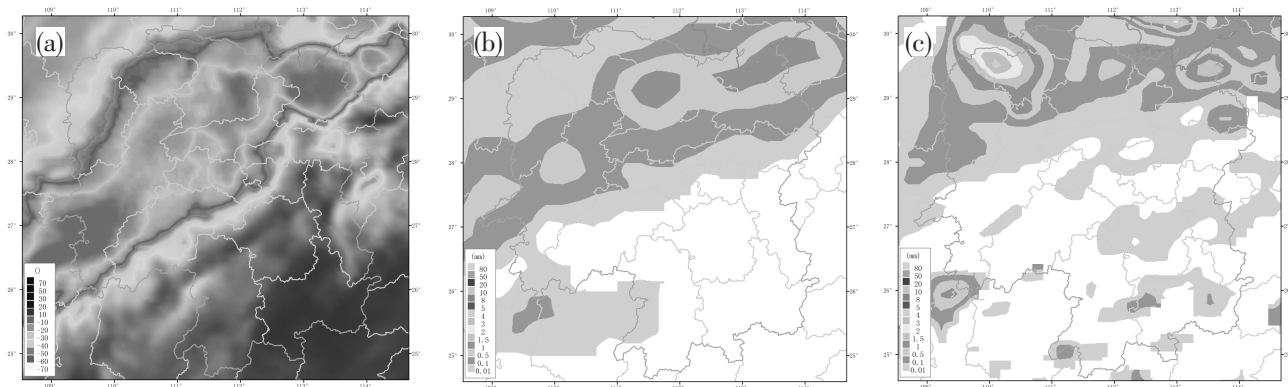


图 1 2017 年 8 月 8 日 23 时卫星反演的黑体亮温
(a)GRAPES;(b)MM5;(c)预报的云带

顶温度低值区和云顶高度大值区范围明显变大;9 日 02 时,云体东移南压,成片的云顶温度低值区和云顶高度大值区分解成单体,较 8 日 23 时减弱。模式预报云顶温度/高度显示湖南地区层积云系的云顶温度、云顶高度特征与实况相比,8 日 17 时 GRAPES 模式预报云顶温度 $-70^{\circ}\text{C}\sim-15^{\circ}\text{C}$,云顶高度 $2\sim 14\text{km}$,预报的层积云云顶高度与云顶温度基本与实况相符,但三个时次云顶温度低值区和云顶高度大值区位置较实况偏南,9 日 02 时预报的云顶温度低值区和云顶高度大值区范围明显较实况偏大。MM5 模式预报三个时次的层积云云顶高度和云顶温度与实况偏差较大,未能很好地预报出此次过程。

3.3 云垂直结构和性质检验

通过对比雷达组合反射率回波范围与模式预报的云带、垂直累积过冷水范围以及雷达回波垂直剖面 and 对应位置的云垂直结构剖面。发现实况雷达回波垂直发展旺盛,回波顶高为 12km 左右,强度大于 30dBz 的回波位于 $2\sim 8\text{km}$ 之间。GRAPES 模式预报层积云系深厚,具有冷暖混合云结构,云顶高度约为 10km ,水凝物含量大值区在 $2\sim 8\text{km}$ 之间;可以看出预报过冷水较大的地区雷达回波也较大,预报过冷水水平范围和垂直范围与雷达回波对比,预报范围偏小,西部的强回波出现空报。MM5 模式预报较差,仅预报出了东部云系,且偏弱。

MM5 模式未能很好地预报出此次过程, GRAPES 模式预报的层积云垂直分布特征、云顶高度、水凝物含量大值区的预报与实况回波垂直分布特征、回波顶高、较强雷达回波强度出现的垂直高度均在 2~8km, 高度位置基本一致, 但东部的预报偏弱。

3.4 降水场及演变检验

2017 年 8 月 8 日 20 时至 8 月 9 日 08 时地面 12h 降水的实况显示(图 2), 湘中以北有明显降水, 雨强中心位于怀化北部、常德、益阳北部、岳阳一带。与实况降水相比, GRAPES 模式预报降水雨强中心位于

湘北, 小雨、中雨、大雨位置与实况基本一致, 暴雨量级位置与实况有偏差。MM5 模式预报的降水落区较实况明显偏小。GRAPES 模式预报此次湖南降水过程的降水落区分布与实况基本一致, 但强降水区位置略有偏差, MM5 模式预报的此次降水较差, 未能很好地预报出降水位置。

对两种模式不同量级降水预报进行 TS 评分检验, 发现 GRAPES 模式对小雨以上量级降水的预报明显优于 MM5 模式, 说明 GRAPES 模式对雨带位置及范围预报更加准确, 中雨量级 MM5 优于

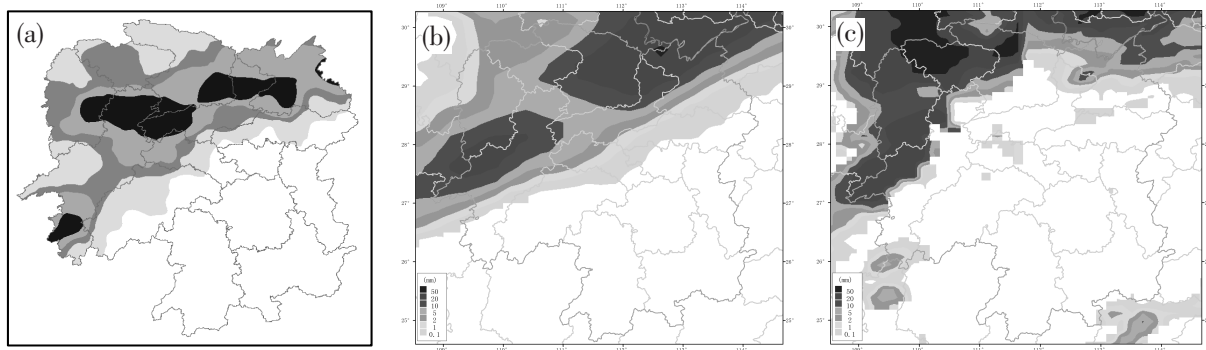


图 2 2017 年 8 月 8 日 20 时至 8 月 9 日 08 时地面 12h 降水量
(a) 实况; (b) GRAPES 模式; (c) MM5 模式

GRAPES, 大雨量级 GRAPES 模式优于 MM5。

4 结论

通过研究湖南省夏秋季天气过程及其天气类型特征, 进一步针对不同天气型开展天气模式预报对比检验, 得到以下结论:

(1) 影响湖南省的天气型主要有五类: 热带低压型、副高边缘型、东风带系统型、高空低槽型和中低层切变型。

(2) GRAPES 模式的预报要优于 MM5 模式, 对于高空低槽型、中低层切变型的天气过程预报较好, 而热带低压型、副高边缘型类的中小尺度过程预报存在偏差。

(3) 以一次高空低槽型天气为例, GRAPES 模式能够较好地模拟出云系的发展演变特征、云系的宏观特征、云垂直结构和性质、降水场及其演变等, 而 MM5 模式模拟较差。

参考文献:

[1] 胡志晋, 严采蓁. 层状云微物理过程的数值模拟 (一)

——微物理模式 [J]. 气象科学研究院院刊, 1986(1): 37-52.

[2] 孙晶, 楼小凤, 胡志晋, 等. CAMS 复杂云微物理方案与 GRAPES 模式耦合的数值试验 [J]. 应用气象学报, 2008(3): 315-325.

[3] 高文华, 赵凤生, 胡志晋, 等. CAMS 云微物理方案的改进及与 WRF 模式耦合的个例研究 [J]. 地球物理学报, 2012, 55(2): 396-405.

[4] 张正国, 邹光源, 马占山, 等. 广西人工影响天气模式预报系统 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30(S1): 3+44.

[5] 孙晶, 史月琴, 蔡森, 等. 南方三类云系云结构预报和增雨作业条件分析 [J]. 气象, 2015, 41(11): 1356-1366.

[6] 高茜, 王广河, 史月琴. 华北层状云系人工增雨个例数值研究 [J]. 气象, 2011, 37(10): 1241-1251.

[7] 郑凯, 安英玉, 韩书新, 等. 高纬地区一次飞机人工增雨作业综合分析 [J]. 气象与环境学报, 2017, 33(6): 105-111.

[8] 韦增岸, 张正国, 程鹏, 等. 广西一次飞机增雨过程个例分析 [J]. 气象研究与应用, 2019, 40(3): 90-93+116.

[9] 刘丽君, 张瑞波, 张正国. 广西人工影响天气云系模式预报效果检验 [J]. 气象研究与应用, 2009, 30(4): 49-51.

[10] 张小娟, 彭宇翔, 刘国强, 等. GRAPES_CAMS 模式产品

- 在贵州一次夏季暴雨过程中的检验[J].贵州气象,2017,41(5):14-19.
- [11] 丁明月,王俐俐,辛渝,等.WRF云微物理参数化方案对新疆暴雨模拟能力的TS评分分析[J].干旱区研究,2019,36(6):1411-1418.
- [12] 公颖.2007年汛期AREM模式降水预报效果检验分析[J].暴雨灾害,2007,26(4):372-380.

Forecast verification of different weather types in summer and autumn for weather modification model in Hunan Province

Ding Li¹, Ding Yuanwu², Li Wei³, Tang Lin¹, Li Qiong¹, Wang Ling¹

(1. Leading Group Office of Hunan Weather Modification, Changsha 410018;

2. Nanyang Meteorological Bureau, Nanyang Henan 473000;

3. Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410118)

Abstract: By analyzing the weather process of the summer and autumn from 2013 to 2018 in Hunan, the weather affecting Hunan is divided into 5 types: “tropical depression” type, “subtropical high margin” type, “east wind system” type, “low trough at high altitude” type and “mid-low layer shear” type. The contrast tests of weather modification model were carried out according to the different weather types. The results showed that the prediction effect of GRAPES_CAMS model was better, while that of MM5_CAMS model was worse. The forecast deviation of precipitation magnitude above rainstorm was obvious; the weather process forecasts of the “low trough at high altitude” type and “mid-low layer shear” type were good, while the mesoscale and small scale weather process forecast of “tropical depression” type and “subtropical high margin” type had deviations.

Key words: weather classification; weather modification; model forecast; simulation test; comparative analysis