

文章编号: 1006-4354 (2006) 01-0022-05

WRF 模式 2005 年汛期在陕西应用与分析

侯建忠¹, 宁志谦¹, 陈高峰¹, 邓爱军²

(1. 陕西省气象台, 陕西西安 710014; 2. 美国宾州大学, PA 16802)

摘 要: 对 WRF 模式在陕西 2005 年汛期试运行情况进行分析, 发现模式对暴雨落区及降水强度和不同类型的降水预报结果比较理想, 5 km 模拟的降水落区和强度更接近实况, 但预报时效相对较短; 15 km 模拟结果具有较长的预报时效, 对强降水过程预报结果较好, 一般可达 36~48 h。利用每 6 h 模拟降水输出结果, 可判断出强降水发生时段。模式可作为未来客观预报陕西转折性天气和暴雨天气的一种新技术工具。

关键词: WRF 模式; 陕西; 降水预报; 模拟评价

中图分类号: P456.7 **文献标识码:** A

中尺度数值预报模拟的研究开发在近年来得到了迅速发展和普及, 更加显现出数值天气预报在气象要素预报方面不可替代的作用。MM5 模式就是我国天气预报业务和科研实验中应用最为广泛的一种中尺度数值模式^[1-2], 此类不同模式的广泛应用极大提高了中小尺度灾害性天气预报能力和准确率, 为预报、监测、研究局地强对流、强降水天气提供了新的技术手段, 而 WRF (The Weather Research and Forecast) 模式是目前世界较先进的中尺度数值天气预报模式。本文分析的 WRF 模式采用最新的 WRF-V2.0.3 模式版本, 通过对 WRF 模式 2005 年在陕西试运行中的降水模拟结果重点分析, 试图将更合理的物理参数化方案引入到 WRF 模式中。

1 WRF 模式简介

WRF 模式是由 NCAR, NOAA 联合美国多家大学等研究机构开发的新一代中尺度模式, 该模式能够为理想化的动力学研究、全物理过程的天气预报以及区域气候模拟提供公用的模式框架, 它最终将代替那些复杂而又使用了多年的区域模式。到目前为止 WRF 模式在国内的科研和气象预报业务中应用还不多。孙健、赵平 2003 年用 WRF 与 MM5 分别模拟 1998 年 3 次暴雨过程

的实验表明, 对于模拟预报国内不同地区、不同性质的强降水过程, WRF 的较早版本在模拟天气系统和降水落区上已明显优于 MM5 模式, 不足的是在模拟降水量方面 WRF 比实况要小^[2]。

本文采用的 WRF 模式为陕西省气象台与美国宾州大学气象系合作研发、调试, 2005 年 7 月末投入业务试运行。目前采用三重嵌套 (DOMAIN1、DOMAIN2 和 DOMAIN3)、垂直 30 层的 WRF-V2.0.3 版本模式模拟, 水平方向采用 Arakawa-C 坐标, 垂直方向选用质量坐标 (Eulerian mass coordinate), 它是在 σ 坐标的基础上建立的, 即地面为 1, 模式顶为 0。在时间积分方案上, WRF 使用 Rung-Kutta 的 3 阶方案, 初始场和边界场, 均利用 GFS 资料 (global forecasting system), 资料的水平分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$, 时间间隔为 6 h。模拟区域的中心经纬度为 102.5°E , 36°N ; 三重区域的水平网格点数分别为: 131×91 , 94×100 和 106×178 。相应的水平网格距: 45 km, 15 km, 5 km; 与水平网格距相对应的模式积分步长: 180 s, 60 s, 20 s; 模式每天起报时间为北京时 08 时 (模式积分是 08 时起至 48 h 后结束), 模式运行完的时间约在当日 12—17 时 (45 km 约在 12:30, 15 km 约在 13:30, 5 km 约在

17: 00)。输出预报产品有 300 hPa、500 hPa、600 hPa、700 hPa、850 hPa 和 1 000 hPa 的风场、高度、温度、湿度和降水场等要素, 各要素场每间隔 6 h 可输出一个模拟结果。预报的降水量也每间隔 6 h 输出一个结果, 5 km 水平网格距预报时效为 36 h, 15 km、45 km 水平网格距预报时效为 48 h, 同时还有 12、18、24 至 48 h 不同降水总量的输出结果。三重嵌套区域见图 1。

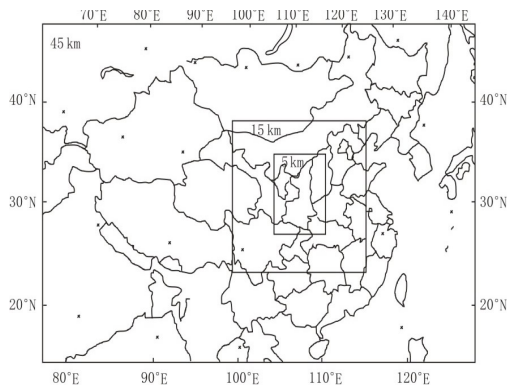


图 1 WRF 模式的三重嵌套区域图

2 2005 年 WRF 模式预报结果分析

2.1 不同的降水过程分析

由于陕西 WRF 模式实时预报系统的最终目的是投入日常预报业务, 需对不同类型降水进行

检验分析。为使降水检验分析具有代表性, 降水过程仅选择陕北、关中和陕南三片其中之一, 有半数以上的站降水量大于 5 mm 时进行分析。(1) 当实况与模拟结果在落区和面雨量量级一致, 且最大雨强落区和模拟结果相同, 认为该过程正确; (2) 当实况与模拟结果在落区和面雨量量级基本一致, 且最大雨强落区和量级模拟结果基本正确, 认为该过程基本正确; (3) 当实况与模拟在落区上出现错位(即模拟结果在陕北, 实况出在关中; 模拟结果在关中西, 实况出在关中东等)时, 不论面雨量和最大雨强的正确与否均评定不正确。对晴(阴)转雨、连续降水和一些强对流降水(如冰雹)等分别纳入不同的分析对象归类分析。

通过对 WRF 模式 2005 年 8 月 1 日至 10 月 7 日试运行的 5 km 水平网格距降水预报结果统计分析发现, 对不同类型的降水过程, 模拟结果较理想, 未出现漏报、空报和错报降水过程。冰雹天气过程仅出现一次, 但其降水落区模拟十分好, 模拟落区和实况几乎重叠(见图 2), 图中位于 110°E 附近 S 处(即商州市)东侧的雨区就是冰雹降水区域, 雨强也非常接近。不足的是 5 km 模拟运行结束的时间大约在当日下午 5 时(17 时), 使预报时效相对缩短。对比结果见表 1。

表 1 不同类型的实况降水量与 WRF 模式 5 km 水平网格距模拟结果对比分析

降水类型	时间	实况落区	站次	降水量/mm	模拟落区	降水量/mm	模拟落区评定	模拟强度评定
连续降水	8 月 2 日	陕南	17	38	陕南	50	正确	基本正确
晴天转雨	8 月 6 日	陕北 关中	35	39	陕北 关中	50	基本正确	正确
连续降水	8 月 7 日	陕北 关中	35	44	陕北 关中	45	正确	正确
晴天转雨	8 月 11 日	陕北	14	38	陕北	45	正确	正确
晴天转雨	9 月 15 日	陕北 关中	57	24	陕北 关中	25	正确	正确
晴天转雨	9 月 19 日	陕北 关中西	32	84	陕北 关中西	120	正确	正确
冰雹降水	8 月 3 日	陕南 丹凤	1	19	陕南 丹凤	15	正确	正确

注: 连续降水、晴天转雨分别是统计分析当日的前一日已出现降水和无降水两种情况

2.2 暴雨过程的降水分析

暴雨, 特别是局地强降水天气常常给当地的社会经济及人民生命财产带来严重影响。暴雨预报是政府决策部门十分关注的, 分析 WRF 中尺度数值天气预报模式对强降水的预报结果, 可为

决策部门提供更科学、更准确的预报结论。

对模拟结果(08—08 时)从暴雨落区和降水量两方面分别评定。(1) 当预报暴雨落区与实况落区在相同区域内(以陕北、关中和陕南三个区域划分), 且落区方位基本准确, 认定模拟结果正

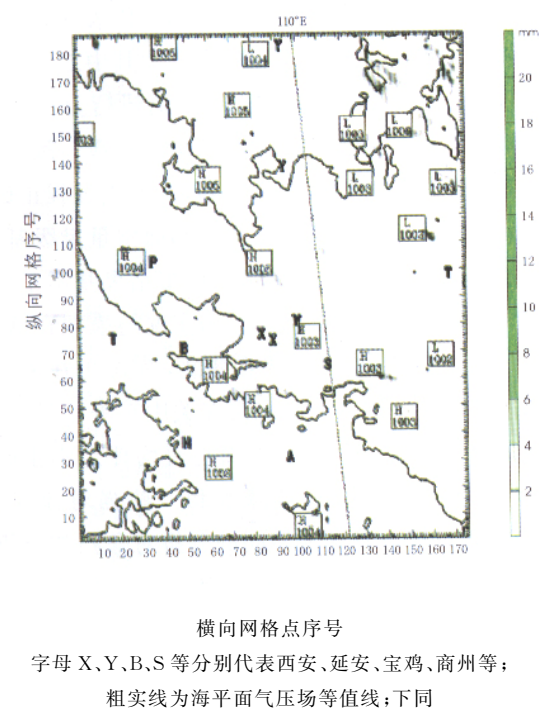


图 2 2005-08-03-08 模拟的未来 24 h 降水总量

确；当预报暴雨落区与实况落区在同一区内，落区方位不准确，评定模拟结果基本正确；当预报暴雨落区与实况落区不在同一区内时，评判模拟结果为不正确。(2) 当预报降水量大于 50 mm，且与实况相差小于 20 mm 时为正确；与实况相差大

于 20 mm 小于 50 mm 时为基本正确；与实况相差大于 50 mm 时和出现空报（实况降水小于 30 mm）、漏报均按不正确计。2005 年 8 月 1 日至 10 月 6 日期间陕西境内共出现 11 次暴雨过程（08—08 时），与 WRF 模式 5 km 水平网格距暴雨模拟结果对比分析（表 2）可见，在 11 次暴雨过程模拟结果中，无论是模拟落区还是强度都与实况吻合较好，评判模拟结果均在正确和基本正确两种状态。以 2005 年 8 月 15 日暴雨过程为例，当日实况：黄龙、白水、淳化、商南、白河和镇坪出现 6 站暴雨，商南最大为 102 mm。模拟结果是：黄龙、白水、淳化均为三个独立的暴雨点，陕南的商南、白河和镇坪同样处在两个暴雨模拟区域内，模拟的两个暴雨区位于商州东南部和安康东南部（见图 3），最大降水中心（约为 100 mm）和落区的模拟也比较理想。实况与模拟对比评定结果属正确或基本正确。不足的是在临潼和蓝田出现两个虚假的暴雨中心（实况不足 30 mm）。对 11 次暴雨的强度模拟，所有暴雨过程几乎都是模拟值大于实况值，仅有一次（9 月 30 日）比实际降水小，这与文献 [2] 中 WRF 模拟降水量比实况小的情况不同，也说明 WRF-V2.0.3 模式在模拟降水量方面已有明显改进，其参数化方案和物

表 2 实际暴雨与 WRF 模式 5 km 水平网格距暴雨模拟结果对比分析

暴雨时间	暴雨落区	站次	降水量/mm	模拟落区	降水量/mm	模拟落区评定	模拟强度评定
8 月 1 日	西安南	3	84	西安南	110	正确	正确
	汉中南	2	70	汉中西	100	正确	基本正确
14 日	宝鸡东	1	68	宝鸡东	80	正确	正确
	安康东	1	51	安康东	75	基本正确	正确
15 日	渭南	3	89	渭南	75	基本正确	正确
	安康东	3	110	安康东	110	正确	正确
18 日	宝鸡东	3	64	宝鸡东	65	正确	正确
19 日	安康东南	2	54	安康东	105	正确	不正确
9 月 16 日	汉中南	2	54	安康东南	75	正确	正确
19 日	陕北南	1	56	陕北南	120	正确	不正确
20 日	陕北南	2	76	陕北南	120	基本正确	正确
	宝鸡	5	84	宝鸡	100	基本正确	正确
30 日	汉中南	4	62	汉中南	45	正确	正确
10 月 1 日	关中南	3	66	关中南	85	正确	正确
	陕南中东	15	112	陕南中东	80	基本正确	基本正确
2 日	汉中南	1	55	汉中南	65	正确	正确

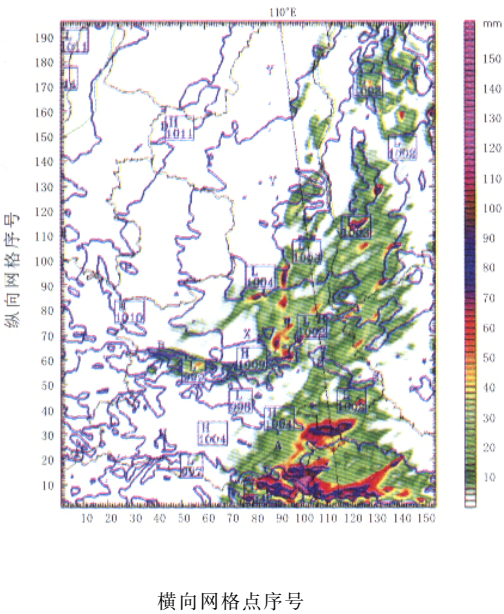


图 3 2005-08-15-08 模拟的未来 24 h 降水总量(5 km)

理化方案比较理想。但因模式运行需要一定的时间，对出现在当日上午的暴雨过程有时存在滞后性，在指导实际预报时，需借助前一日 15 km 水平网格距暴雨模拟结果作订正。

将 WRF 模式 15 km 水平网格距暴雨模拟结果与实况对比分析发现，对于较大范围区域性暴雨，15 km 水平网格距暴雨模拟结果具有较长的预报时效。例如 2005 年 9 月 18 日 08 时 15 km 模拟结果显示，在未来 36~48 h，陕北北部和关中西部

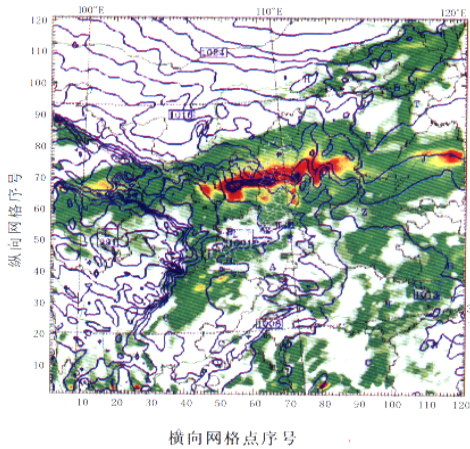


图 4 2005-09-18-08 模拟的未来 42 h 降水总量

有区域性暴雨，降水强度最大为 95 mm (见图 4)；9 月 19 日 08 时 15 km 模拟继续维持该预报结论 (见图 5)；6 h 模拟降水输出显示，强降水在 20 日凌晨开始，最大雨强出现在 20 日上午 (见图 6)。实况是 19 日 23 时，陕北南和关中西部开始降水，20 日凌晨大范围强降水出现，与模拟结果一致。19 日 20 时至 20 日 20 时，陕北吴堡、子长、延川和甘泉等 10 县 (市) 出现暴雨，关中西部陇县、凤翔和宝鸡等 7 县 (市) 暴雨，这是一次久旱转雨的过程，也是陕西 2005 年暴雨站次第一次超过 10 站的降水过程，共出现 17 站暴雨，最大降雨中心在陇县为 115 mm。在 10 月连阴雨中 10 月 1 日出现的 20 站区域性暴雨过程，模式同样有较长的预报时效 (见图 7)，9 月 30 日 08 时模式成功预报出了关中南部和秦岭北麓的强降水区域、陕南的强降水区域中心位置以及 10 月 1 日的强降水时段，但陕南的强降水区域与实况相比偏小。

3 2005 年 WRF 模式运行结果评价

无论是对不同类型降水还是对暴雨或强降水的预报，WRF 模式在陕西的试运行中，预报结果都较理想，可作为未来客观预报陕西转折性天气及暴雨天气的一种新技术工具。5 km 模拟的 24 h 降水落区和强度更接近实况，预报时效相对较短；15 km 模拟结果具有较长的预报时效，一般可达 36~48 h，利用 6 h 模拟降水输出结果，可判断出

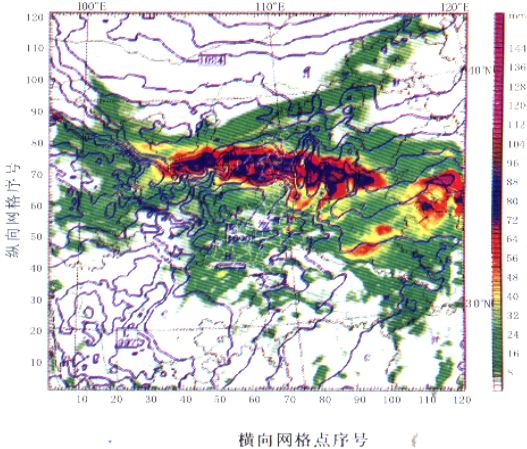


图 5 2005-09-19-08 模拟的未来 30 h 降水总量

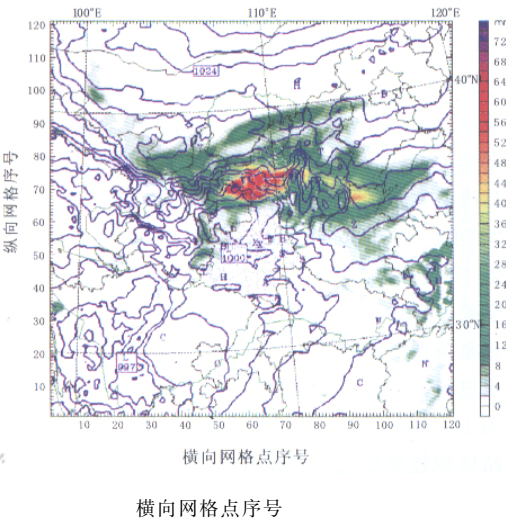


图 6 2005-09-19-08 模拟的 20 日 6 h(08—14 时)降雨量

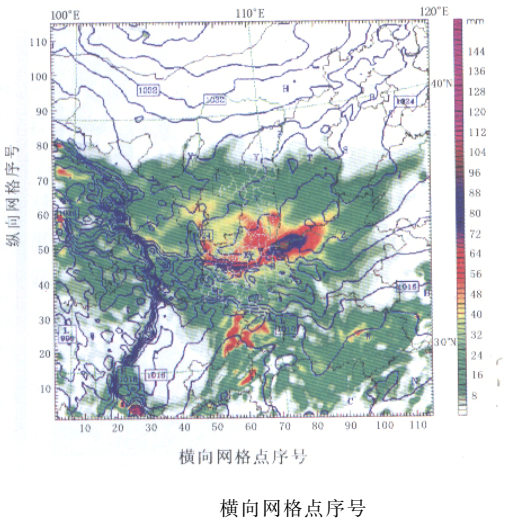


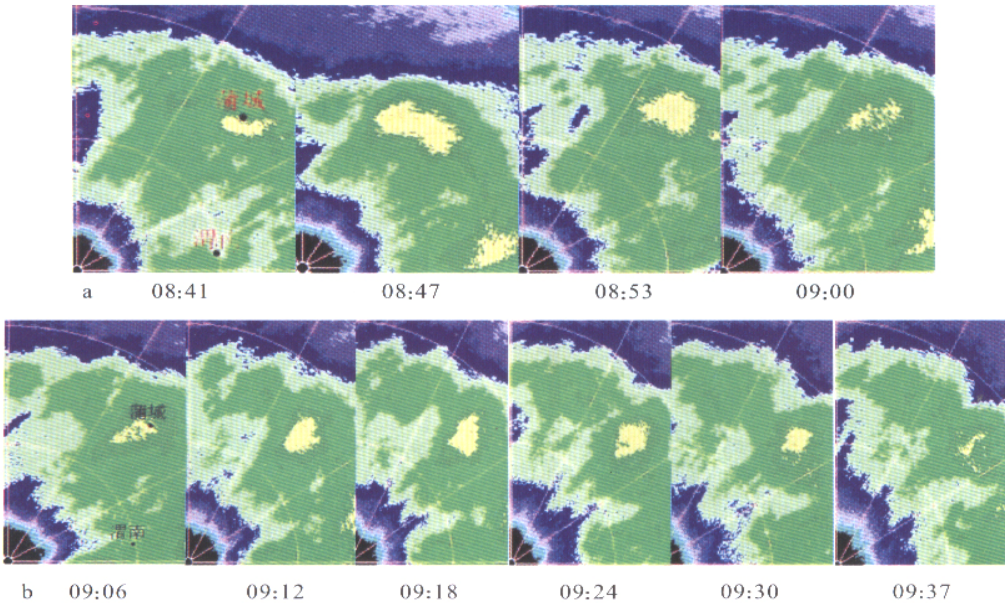
图 7 2005-09-30-08 模拟的未来 36 h 降水总量

强降水时段。模拟结果还显示，WRF-V2.0.3 模式模拟降水量方面没有出现模拟结果比实况要小的情况，说明模式已有明显改进，其参数化方案和物理化方案比较理想。但若投入日常预报业务，还须提高模式运行速度、预报时效，解决模式资料国内化接口等问题。

参考文献：

[1] 沈桐立，田永祥，葛孝贞．数值天气预报[M]．北京：气象出版社，2003：383-412．

[2] 孙健，赵平．用 WRF 与 MM5 模拟 1998 年三次暴雨过程的对比分析[J]．气象学报，2003，6（61）：692-701．



a 为作业前回波变化图；b 为作业后回波变化图；火箭作业时间 9：00—9：02

图 4 增雨作业前后西安多普勒雷达回波图上目标云块基本反射率变化对比图（仰角 2.4°，文见 20 页）