

肖丹,邓莲堂,陈静,等.T213 与 T639 资料驱动 WRF 的预报初步检验比较[J].暴雨灾害,2010,29(1):20-29

T213 与 T639 资料驱动 WRF 的预报初步检验比较

肖 丹¹,邓莲堂²,陈 静²,胡江凯²

(1.成都信息工程学院,成都 610225;2.国家气象中心,北京 100081)

摘 要:使用 2009 年春季和夏季两个时段全国 08 时 24 h 雨量观测资料,采取累积降水检验、平均误差和均方根误差分析方法,对用 T213 资料驱动 WRF(WRF-T213)和用 T639 资料驱动 WRF(WRF-T639)的预报进行评估检验和比较,并选择一次降水过程作对比分析。主要结果如下:WRF-T639 部分雨量级的 T_s 评分有时略低于 WRF-T213,但其空报率和系统偏差比 WRF-T213 小,从而使其预报效率和 E_{TS} 评分均高于 WRF-T213;分析 24、48 h 的 500 hPa 高度场、850 hPa 风场和海平面气压预报的平均误差及均方根误差发现,WRF-T639 的形势场预报总体上优于 WRF-T213;降水个例分析表明,WRF-T213 预报的高压脊偏强,西南急流区以及有利的涡度场、散度场和垂直速度位置偏北,这导致其雨区偏北,WRF-T639 对高度场、风场等的预报均优于 WRF-T213,降水落区的预报和实况接近,其预报的地面低压偏强是造成雨量偏大的原因之一。

关键词:T639 资料;WRF;降水检验; E_{TS} 评分;均方根误差

中图分类号:P456.7 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9045(2010)01-0020-10

1 引言

T639 模式是我国引进提高的全球中期数值天气预报模式。目前,T213 模式和 T639 模式同时在国家气象中心运行。T213 模式是三角截断波数为 213 的谱模式,垂直方向 31 层,模式层顶为 10 hPa,水平网格距 $0.5625^\circ \times 0.5625^\circ$,于 1997 年引进欧洲中期天气预报中心(ECMWF)中期数值预报谱模式源代码。T639 模式是通过 T213 模式进行性能升级发展而成,具有较高模式分辨率,其全球水平分辨率 30 km,垂直分辨率 60 层,模式顶到达 0.1 hPa,边界层垂直分辨率较高,其中在 850 hPa 以下有 12 层。WRF (Weather Research and Forecasting Model) 是由美国环境预测中心(NCEP)、美国国家大气研究中心(NCAR)等科研机构 and 大学合作开发的新一代中尺度天气预报模式,分别有 ARW(Advanced Research WRF)和 NMM(Nonhydrostatic Mesoscale Model)两种动力核,是完全可压缩的非静力模式,水平方向采用 Arakawa C 网格点,垂直方向则采用地形跟随质量坐标,时间积分采用二阶或三阶 Runge-Kutta 算法。WRF 模式的基本结构和框架、物理参数化方案等可参考闫之辉^[1]、邓莲堂^[2]、章国材等^[3]的介绍。

用 T213 或 T639 全球模式资料作为背景场,为

WRF 模式提供初值和边界资料,本文称之为 T213 驱动 WRF(以下简称 WRF-T213)或 T639 驱动 WRF(以下简称 WRF-T639)。目前,WRF-T213 已在国家数值预报中心实现业务化,试图改用 T639 资料驱动 WRF,在付诸实施之前,需要对 WRF-T639 预报结果进行检验。管成功等^[4]曾对 T639 全球中期预报系统的性能进行评估,结果发现 T639 的年平均降水预报在小雨、中雨、大雨上,无论 T_s 评分还是预报偏差均明显好于 T213, T639 系统在东亚和北半球地区年平均的 500 hPa 形势预报比 T213 提高 1 天。这些评估主要针对 T639 模式本身且是对一年预报的统计检验,而用 T639 资料驱动 WRF 模式其性能究竟如何?其短期预报效果到底怎样?也需要作相应的检验。本文使用 2009 年 4 月上中旬和 7 月底至 8 月上旬 T639 资料驱动 WRF,对这两个时段的降水、500 hPa 高度场、850 hPa 风场和海平面气压预报进行检验,并与 WRF-T213 的预报结果进行对比。WRF-T213 模拟区域的中心点为 33.0°N 、 102.0°E ,纬向和经向格距均为 15 km,格点数为 513×401 ,模式垂直层次 31 层。物理过程积云对流参数化选用 Betts-Miller-Janjic 方案,长波辐射采用 rrtm 方案,短波辐射采用 Dudhia 方案,边界层使用 MYJ 方案。WRF-T639 的模拟区域和物理过程与 WRF-T213 的一致。

收稿日期:2009-11-23;定稿日期:2010-02-21

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“面向 TIGGE 的集合预报关键应用技术研究”(GYHY200706001)和国家自然科学基金“中尺度暴雨集合预报初值扰动方法研究”(40675061)共同资助

作者简介:肖丹,女,1982 年生,硕士研究生,研究方向为数值预报。E-mail: xiaodan0532@163.com

2 资料选取与研究方法

2.1 降水预报评估检验方法

对全国雨量观测站点进行累积降水检验,预报的网格资料通过双线性插值方法插值到观测站点进行点对点评分。雨量站选取,4 月为全国 400 个基本站,随 5 月全国加密雨量观测站启动,7—8 月的检验雨量站增加为 2 513 个。根据 24 h 降水量(R),将降水分为小雨 ($R < 10$ mm)、中雨 ($10 \text{ mm} \leq R < 25$ mm)、大雨 ($25 \text{ mm} \leq R < 50$ mm)、暴雨 ($R \geq 50$ mm)和大暴雨 ($R \geq 100$ mm)量级,对降水的 T_s 评分、系统偏差 B 、漏报率 P_o 、空报率 N_b 、预报效率 E_h 、 E_{TS} 评分进行检验,其计算式为^[5-7]:

$$T_s = N_a / (N_a + N_b + N_c) \quad (1)$$

$$B = (N_a + N_b) / (N_a + N_c) \quad (2)$$

$$P_o = N_c / (N_a + N_c) \quad (3)$$

$$N_b = N_b / (N_a + N_b) \quad (4)$$

$$E_h = (N_a + N_d) / (N_a + N_b + N_c + N_d) \quad (5)$$

$$E_{TS} = (N_a - e) / (N_a + N_b + N_c - e) \quad (6)$$

其中 $e = [(N_a + N_c) \times (N_a + N_b)] / (N_a + N_b + N_c + N_d)$ (7)

式(1)—(7)中, N_a 表示预报时段内预报和实况降雨量都出现在某一降水等级内的站点数,即预报命中的站数; N_b 表示预报出现而实况未出现的站点数,即空报站数; N_c 表示未预报而实况出现的站点数,即漏报站数; N_d 表示观测和预报都未出现降水的站点数。

2.2 形势场预报评估检验方法

分别用 T213 和 T639 资料驱动 WRF 模式,然后

用 24、48 h 的预报场和对应时刻的预报初值场对东亚地区 500 hPa 位势高度场、850 hPa 纬向风和经向风的平均误差(M_E)和均方根误差(R_{MSE})进行检验,其检验公式为^[8]

$$M_E = \frac{1}{n} \sum (F - A_0) \quad (8)$$

$$R_{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (F - A_0)^2} \quad (9)$$

其中, \sum 为对区域内所有网格点求和, F 为预报值, A_0 为分析场。平均误差计算时正负误差抵消,它反映的是统计区域内的某种系统性误差。均方根误差反映预报值与实况值的平均偏离程度,因而能反映总误差情况^[9],其误差越小,说明预报值和分析场越接近,预报效果越好;反之,则预报越差。

3 降水预报检验结果与分析

对 2009 年 4 月 2—17 日和 7 月 28 日至 8 月 11 日的全国降水预报结果进行累计降水检验。模式的起报时间是北京时间 20 时(本文所有模拟的起报时间均为北京时间 20 时),检验 12~36 h 的 24 h 累积降水预报(由于 4 月 9 日降水实况资料缺失,未对其进行检验)。4 月上中旬是我国华南前汛期的开始阶段,此时雨量还不是很大,在 4 月 2—17 日只有极少天数且只有几站出现暴雨,暴雨评分不具代表性,所以暂不对暴雨检验结果作分析。7 月底到 8 月上中旬,由于副热带高压北跳等大气环流形势的改变,我国雨带移至华北地区,北方降水明显增多,这一时期我国降水范围大、降

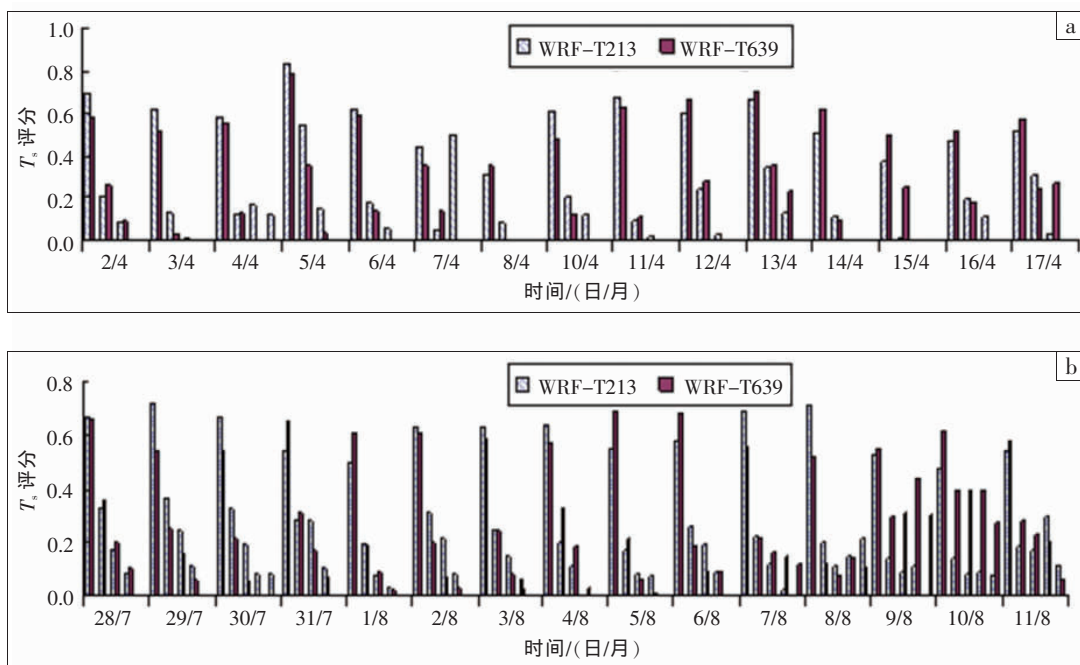


图 1 2009 年 4 月 2—17 日(a)和 7 月 28 日至 8 月 11 日(b)WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之 T_s 评分
(a)中每日直方柱从左至右依次对应小雨、中雨、大雨和暴雨;(b)中依次对应小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨

水强度也较大,故增加对该时段特大暴雨的检验。图 1 给出的是 2009 年 4 月 2—17 日和 7 月 28 日至 8 月 11 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之 T_s 评分。

从图 1 中可见,WRF-T213 和 WRF-T639 的 T_s 评分均随降水量级增大而降低。4 月 2—11 日 WRF-T213 的小雨 T_s 评分高于 WRF-T639 的,而 12—17 日 WRF-T639 的 T_s 评分高于 WRF-T213 的,WRF-T213 和 WRF-T639 中雨的 T_s 评分大致相当,从其平均值看

(表 1),WRF-T213 小雨和中雨的 T_s 评分平均值比 WRF-T639 的略高;WRF-T213 的大雨 T_s 评分不论整体上还是平均值均明显比 WRF-T639 的略高。7 月 28 日至 8 月 11 日,WRF-T213 的小雨、大雨和暴雨 T_s 评分高于 WRF-T639 的天数比低于 WRF-T639 的天数略多,而中雨和大暴雨的 T_s 评分则相反;从平均值看(表 1),除小雨 T_s 评分 WRF-T639 低于 WRF-T213 外,其余都是 WRF-T639 高于 WRF-T213,这与 8 月上旬末 WRF-T639 T_s 评分较高有关。

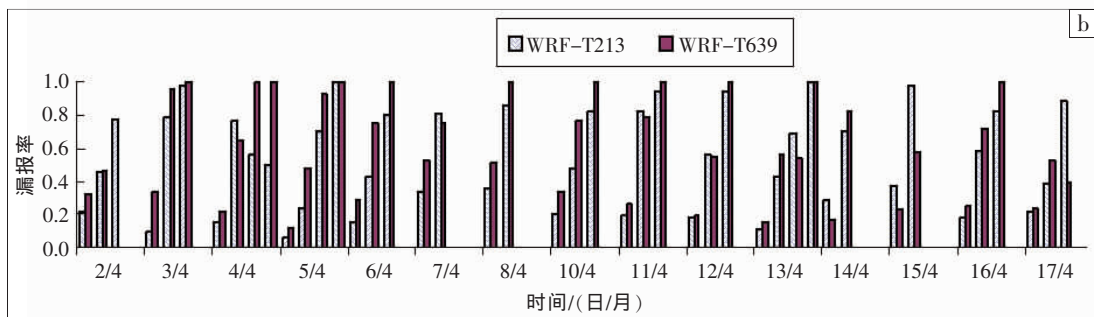
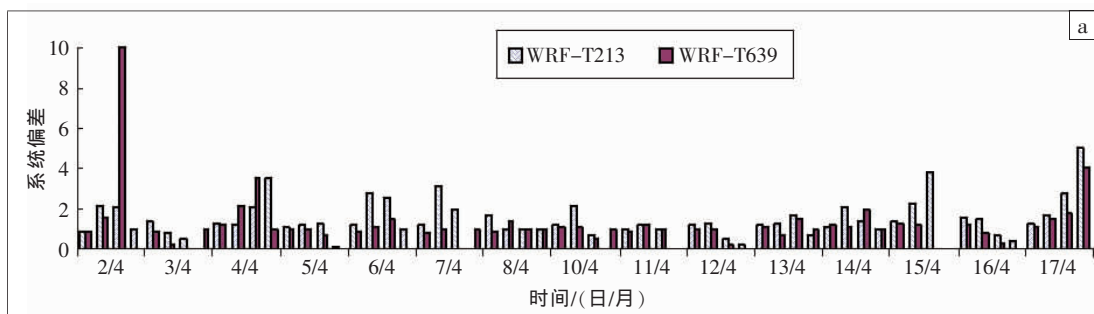
表 1 2009 年 4 月 2—17 日()和 7 月 28 日至 8 月 11 日()两个时段 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国小到大雨累积降水平均值检验表

时段	雨量等级	T_s 评分		系统偏差		漏报率		空报率		预报效率		E_{TS} 评分	
		WRF-T213	WRF-T639	WRF-T213	WRF-T639	WRF-T213	WRF-T639	WRF-T213	WRF-T639	WRF-T213	WRF-T639	WRF-T213	WRF-T639
	小雨	0.568	0.562	1.241	1.023	0.207	0.278	0.343	0.291	0.767	0.795	0.347	0.382
	中雨	0.187	0.178	1.696	1.125	0.621	0.691	0.748	0.711	0.911	0.929	0.162	0.164
	大雨	0.094	0.042	1.606	1.597	0.813	0.806	0.854	0.935	0.972	0.977	0.101	0.121
	小雨	0.605	0.598	1.359	1.196	0.117	0.181	0.338	0.310	0.686	0.703	0.212	0.241
	中雨	0.236	0.252	2.065	0.960	0.444	0.613	0.711	0.585	0.755	0.856	0.141	0.191
	大雨	0.151	0.155	2.083	0.757	0.613	0.765	0.804	0.701	0.879	0.935	0.112	0.134
	暴雨	0.091	0.117	1.984	0.765	0.741	0.821	0.871	0.779	0.957	0.976	0.080	0.109
	大暴雨	0.031	0.057	1.593	0.650	0.873	0.898	0.789	0.771	0.994	0.993	0.031	0.057

图 2a 给出 2009 年 4 月 2—17 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之系统偏差。从中可见,大部分时间 WRF-T213 的小雨和中雨系统偏差都比 WRF-T639 的大,其平均值也是 WRF-T213 的大于 WRF-T639 的;WRF-T213 的大雨系统偏差多数时间比 WRF-T639 的略高,但在 2 日 WRF-T639 的系统偏差达到 10,远高于其它时间,从平均值看,WRF-T213 的大雨系统偏差仍略高于 WRF-T639 的。7 月 28 日至

8 月 11 日,各雨量级的系统偏差几乎所有时间都是 WRF-T213 大于 WRF-T639(图略),平均值 WRF-T213 也明显大于 WRF-T639。

图 2b 给出 2009 年 4 月 2—17 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之漏报率。从中可见,绝大部分时间 WRF-T213 的小雨漏报率比 WRF-T639 的低,大部分时间 WRF-T213 的中雨漏报率比 WRF-T639 的低,WRF-T213 的小雨和中雨漏报率平均值也



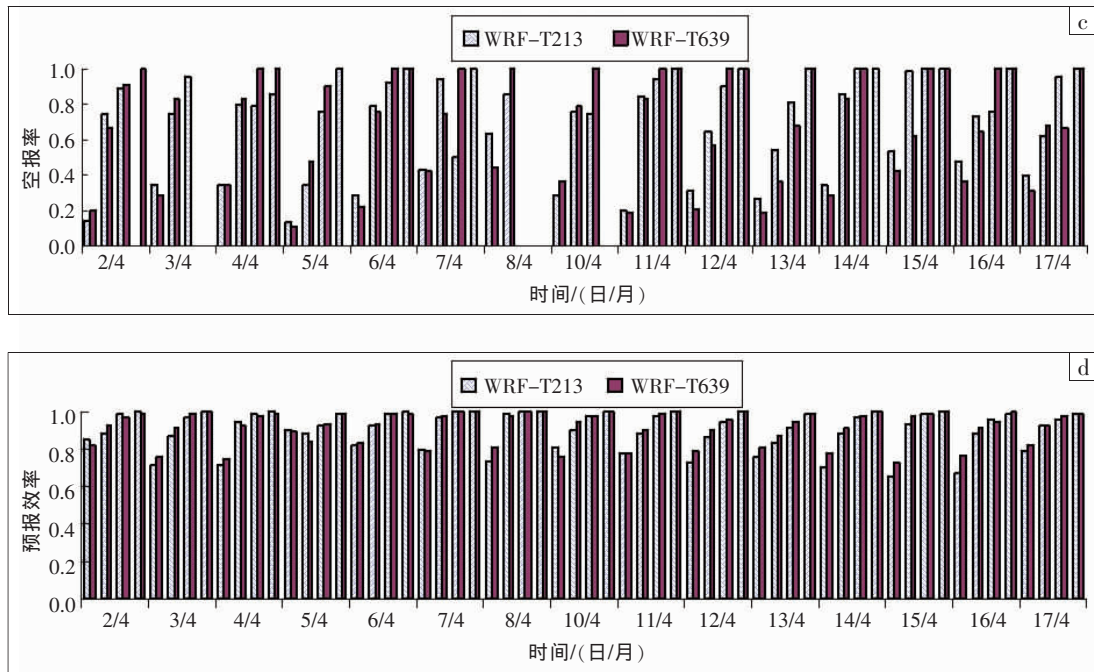


图 2 2009 年 4 月 2—17 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报的系统偏差(a)、漏报率(b)、空报率(c)和预报效率(d) 各分图中每日直方柱从左至右依次对应小雨、中雨、大雨和暴雨

均比 WRF-T639 的低;大部分时间 WRF-T213 的大雨漏报率比 WRF-T639 的低,但其平均值略高,这与个别时间(如 2 日)WRF-T213 大雨漏报率偏高有关。7 月 28 日至 8 月 11 日绝大多数时间,各雨量级的漏报率 WRF-T639 大于 WRF-T213(图略),其平均值也如此。

图 2c 给出 2009 年 4 月 2—17 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之空报率。从中可见,大部

分时间 WRF-T213 的小雨和中雨空报率都比 WRF-T639 的高,这可解释 WRF-T213 的小雨和中雨 T_s 评分比 WRF-T639 的高而系统偏差比 WRF-T639 的大;WRF-T213 的大雨空报率多数时间比 WRF-T639 的低,其平均值也如此。7 月 28 日至 8 月 11 日绝大多数时间,各雨量级的空报率 WRF-T213 大于 WRF-T639 (图略),其平均值也如此。

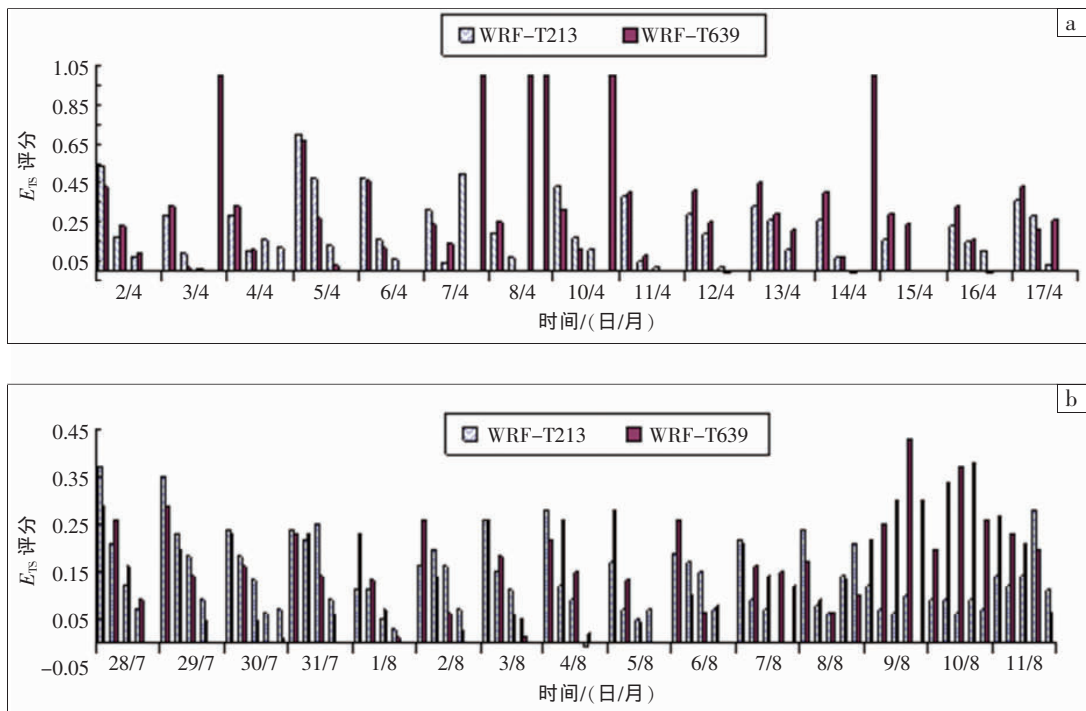


图 3 2009 年 4 月 2—17 日(a)和 7 月 28 日至 8 月 11 日(b) WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之 E_{TS} 评分 (a)中每日直方柱从左至右依次对应小雨、中雨、大雨和暴雨;(b)中依次对应小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨

WRF-T213 与 WRF-T639 空报率和漏报率的大小可解释 4 月 2—17 日小雨 T_s 评分结果。4 月 2—11 日 08 时的 24 h 累积降水实况小雨分布范围广, WRF-T213 漏报率比 WRF-T639 低, 因此 WRF-T213 预报命中站数(N_a)比 WRF-T639 大, WRF-T213 比 WRF-T639 的 T_s 评分高; 12—17 日 08 时的小雨分布范围小, 由于 WRF-T213 空报率比 WRF-T639 高(N_b 大), 因此 WRF-T639 比 WRF-T213 的 T_s 评分高。

从 2009 年 4 月 2—17 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之预报效率图(图 2d)可见, WRF-T213 和 WRF-T639 的预报效率在各雨量级比较接近; 在 7 月 28 日至 8 月 11 日除小雨和大暴雨外, 其余雨量级在大部分时间 WRF-T639 的预报效率比 WRF-T213 的略高(图略), 其平均值也如此。

图 3 给出 2009 年 4 月 2—17 日和 7 月 28 日至 8 月 11 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的全国降水预报之 E_{TS} 评分。从中可见, 4 月 2—17 日大部分时间 WRF-T213 的小雨 E_{TS} 评分比 WRF-T639 的低, 其平均值亦如此; 中雨评分 WRF-T213 和 WRF-T639 都不稳定, 两者平均值差别很小; 多数时间 WRF-T213 的大雨 E_{TS} 评分比 WRF-T639 的略高, 个别时间 WRF-T639 的评分较高, 这使 WRF-T639 E_{TS} 评分平均值比 WRF-T213 的高。7 月 28 日至 8 月 11 日, 除小雨大部分时间 WRF-T213 的 E_{TS} 评分比 WRF-T639 的低外, 其余雨量级 WRF-T213 比 WRF-T639 高或低的天数相当, 只是 8 月 9—11 日 WRF-T639 E_{TS} 评分明显比 WRF-T213 高; 从平均值看, 各雨量级 E_{TS} 评分都是 WRF-T639 比 WRF-T213 高。

4 形势场预报检验结果与分析

4.1 500 hPa 高度场

平均误差反映的是系统性误差, 对高度场预报来说, 当平均误差为正值时, 说明在预报中低压槽偏弱, 高压脊偏强; 相反, 当平均误差为负值时, 说明在预报中低压槽偏强, 高压脊偏弱^[10]。图 4a 给出 2009 年 4 月 1—13 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 高度场预报平均误差。从中可见, 24 h 预报, WRF-T213 的高度场平均误差主要为正值, WRF-T639 的主要为负值; 48 h 预报, 高度场平均误差波动较大, 时而为正, 时而为负, 总体上, WRF-T639 多为负值, WRF-T213 为正值的时间略多于为负值的时间, 说明 WRF-T213 的 24、48 h 预报低压槽偏弱、高压脊偏强, WRF-T639 则是低压槽偏强、高压脊偏弱。7 月 26 日至 8 月 9 日的 24、48 h 小时高度场预报, WRF-T213 和 WRF-T639 的平均误差主要都是负值, 即预报的低压槽偏

弱、高压脊偏强(图略)。

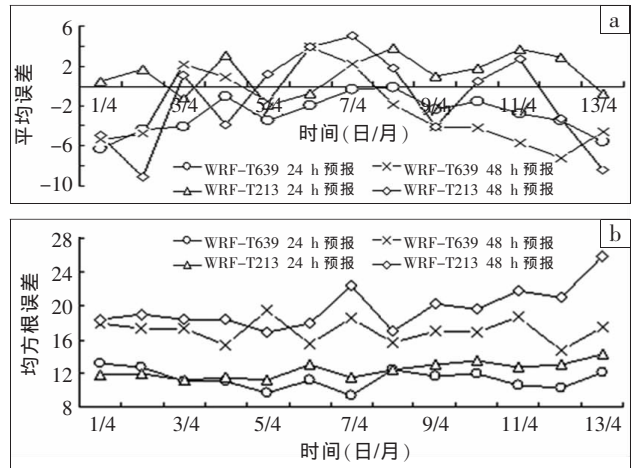


图 4 2009 年 4 月 1—13 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 高度场预报平均误差(a)与均方根误差(b) (单位: gpm)

从 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 高度场预报均方根误差图可见(4 月 1—13 日见图 4b, 7 月 26 日至 8 月 9 日图略), WRF-T213 和 WRF-T639 均是 48 h 高度场预报的均方根误差大于 24 h 的, 这说明随时间延长, 高度场预报准确率下降。绝大多数时间 WRF-T213 的 24、48 h 高度场预报的均方根误差分别比 WRF-T639 24、48 h 预报的大, 说明 WRF-T639 高度场预报优于 WRF-T213。

4.2 850 hPa 水平风场

从 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 纬向风(u)预报平均误差可见(4 月 1—13 日见图 5a, 7 月 26 日至 8 月 9 日图略), 不论 24 h 还是 48 h 预报, WRF-T639 和 WRF-T213 纬向风(u)的平均误差主要为正值, 说明预报的西风偏强、东风偏弱; 平均误差的绝对值不超过 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 说明西风只是稍微偏强; 大多数时

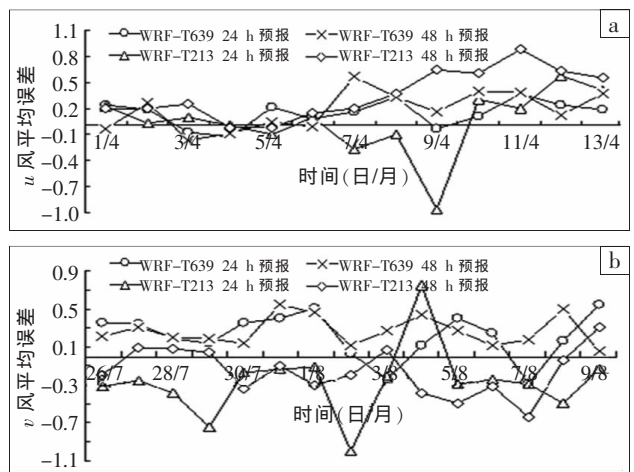


图 5 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 水平风预报平均误差(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a) 2009 年 4 月 1—13 日纬向风(u);

(b) 2009 年 7 月 26 日至 8 月 9 日经向风(v)

间 WRF-T213 的平均误差波动幅度比 T639 的大,说明 WRF-T639 的纬向风预报比 WRF-T213 的稳定。

从 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 经向风(v)预报平均误差图可见(4月 1—13 日图略,7月 26 日至 8 月 9 日见图 5b), 平均误差的绝对值也不超过 $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;4 月 1—13 日和 7 月 26 日至 8 月 9 日 WRF-T213 24、48 h 预报主要为负值, 说明 WRF-T213 预报的北风略偏强, 南风略偏弱;4 月 1—13 日 WRF-T639 的 48 h 预报也以负为主, 而 24 h 预报和 7 月 26 日至 8 月 9 日的 24、48 h 预报都以正为主, 说明 WRF-T639 的经向风预报主要是南风略偏强、北风略偏弱。

从 2009 年 4 月 1—13 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 纬向风(u)预报均方根误差(图 6a)和经向风(v)预报均方根误差(图略)可见,WRF-T639 和 WRF-T213 的 u 、 v 分量 24 h 预报均小于 48 h 预报, 表明水平风场的准确率随预报时间延长而下降; u 、 v 分量,WRF-T639 的 24、48 h 预报均分别小于 WRF-T213 的 24、48 h 预报的均方根误差, 说明 WRF-T639 的水平风场预报优于 T213 的预报。7 月 26 日至 8 月 9 日,WRF-T639 的 u 分量 24、48 h 预报均方根误差分别大于相应的 WRF-T213 24、48 h 预报(图略); v 分量 24 h 预报 WRF-T639 和 WRF-T213 较为接近(图 6b), 多数时间 48 h 预报 WRF-T639 比 WRF-T213 均方根误差小。综合两个时段来看, 纬向风预报 WRF-T639 相对 WRF-T213 没有优势, 而经向风预报整体上 WRF-T639 比 WRF-T213 好。

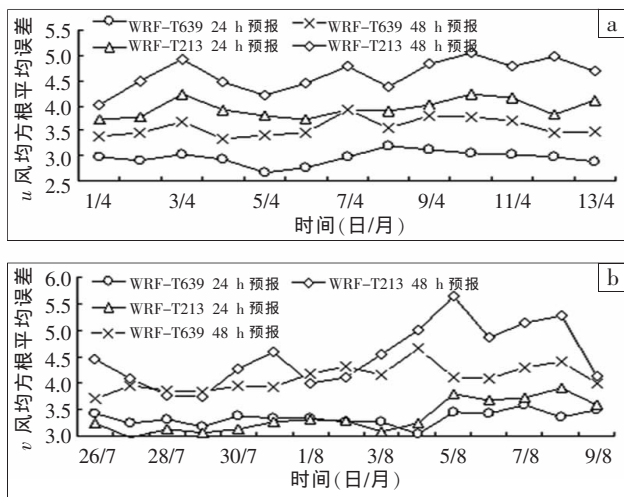


图 6 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 水平风预报均方根误差(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
(a) 2009 年 4 月 1—13 日纬向风(u);
(b) 2009 年 7 月 26 日至 8 月 9 日经向风(v)

4.3 海平面气压

图 7a 给出 2009 年 4 月 1—13 日 WRF-T213 与

WRF-T639 的 24、48 h 海平面气压预报平均误差。从中可见,WRF-T213 的海平面气压 24、48 h 预报平均误差均为正,即预报的海平面气压高于实际的海平面气压,说明 WRF-T213 预报的海平面气压的低压比实况偏弱、高压比实况偏强;WRF-T639 24、48 h 预报平均误差均为负,其预报的低压比实况偏强、高压比实况偏弱。7 月 26 日至 8 月 9 日,WRF-T213 和 WRF-T639 平均误差基本都为负(图略),即该时段 WRF-T213 和 WRF-T639 预报的低压偏强、高压偏弱。

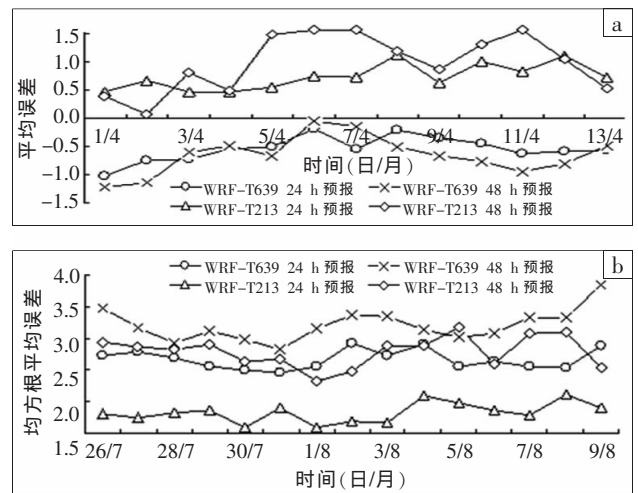


图 7 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 海平面气压预报误差(单位: hPa)
(a) 2009 年 4 月 1—13 日平均误差;
(b) 2009 年 7 月 26 日至 8 月 9 日均方根误差

图 7b 给出 2009 年 7 月 26 日至 8 月 9 日 WRF-T213 与 WRF-T639 的 24、48 h 海平面气压预报均方根误差。2009 年 4 月 1—13 日(图略)和 7 月 26 日至 8 月 9 日,WRF-T213 和 WRF-T639 的均方根误差均随时间延长而增大,即海平面气压的预报准确率也随时间延长而降低。4 月 1—13 日大部分时间 WRF-T639 的 24、48 h 均方根误差分别小于 WRF-T213 的 24、48 h 均方根误差(图略),7 月 26 日至 8 月 9 日情况相反, 故 WRF-T639 的海平面气压预报并不明显好于 WRF-T213 的预报。

5 降水个例分析

5.1 降水预报分析

T213 资料应用已很普遍^[11-12],而 T639 资料相对较新。为了对 T639 资料的性能或其相对于 T213 资料的改进有更多认识, 本文选取 2009 年 4 月 12 日 08 时至 13 日 08 时降水预报个例进行分析。由于此次强降水主要由中尺度系统引起,T639 模式分辨率的提高使其比 T213 资料对中小系统有更好的模拟能力, 这恰好能体现 T639 资料的优势。WRF 模式的起报时间为

11 日 20 时, 降水实况使用对应时段内 13 日 08 时全国加密站点雨量资料。

这次降水主要分布在长江以南地区(图 8a), 强降雨区域主要呈东北—西南走向, 出现多个不连续分布暴雨点, 在江西东北部、湖南南部、广西北部、广西西南部、福建西南部各形成一个最大雨量在 50 mm 以上的强降雨中心。从 WRF-T213 预报图上可见(图 8b), 其降水落区比实况偏北, 50 mm 暴雨区主要位于 31°N 附近, 与实况差别较大; 虽预报出江西东北部和广西

北部的暴雨中心, 但其余强降雨中心完全偏离实况, 误差较大。从 WRF-T639 预报图上可见(图 8c), 其降水分布与实况比较接近, 雨区也呈东北—西南向, 基本报出沿江西—湖南—广西的强降雨, 这使 13 日各项降水评分 WRF-T639 基本都好于 WRF-T213, 但其对福建暴雨落区的预报比实况偏北, 同 WRF-T213 一样也未报出广西西南部暴雨; 另外它对强降雨中心和广东、海南境内的雨量预报比实况偏大。总体上, WRF-T639 对降水落区的预报比 WRF-T213 好, 但雨量比实况偏大。

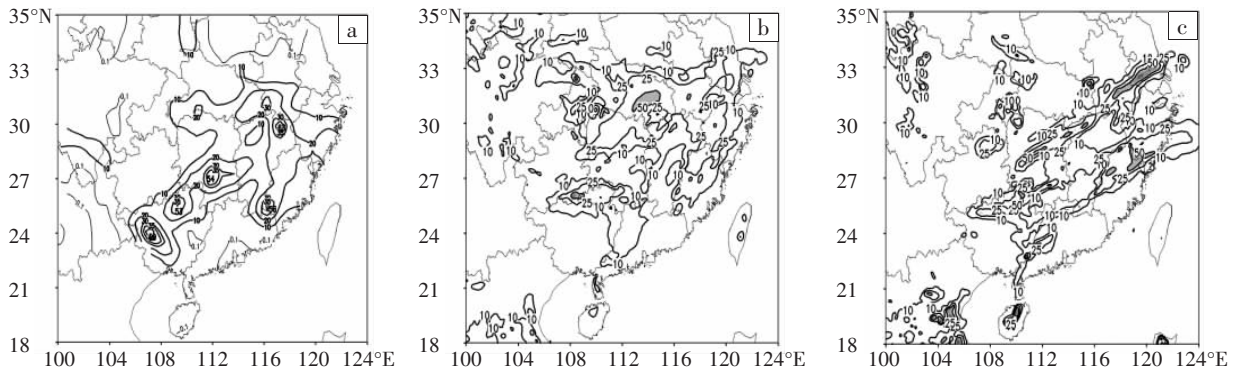


图 8 2009 年 4 月 12 日 08 时至 13 日 08 时降水分布图(单位: mm)

(a) 实况; (b) WRF-T213 预报(阴影为暴雨区); (c) WRF-T639 预报(阴影为暴雨区)

5.2 形势场预报分析

5.2.1 高度场、风场和地面气压

这次降水在 4 月 12 日下午到夜间雨量较大, 从 500 hPa 高度场与 850 hPa 风场实况图上可见, 500 hPa 高度场呈西高东低形势: 从乌拉尔山往南到青藏高原都受高压系统控制, 东亚大槽位于亚洲沿岸, 原位于西南地区的南支槽随四川盆地低涡不断东移, 至

12 日 20 时(图 9a), 低涡范围扩大到安徽、江西等地, 南支槽也影响到华南地区。850 hPa 风场, 与东亚大槽对应亚洲沿岸形成切变线 C, 华南沿海的西南气流和南下冷空气交汇形成切变线 A。西南气流较强, 12 日 08 时广西境内风速普遍达 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 12 日 20 时, 急流进入江西境内, 其后部最大风速达 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。西南气流为长江以南强降雨提供了充足水汽。

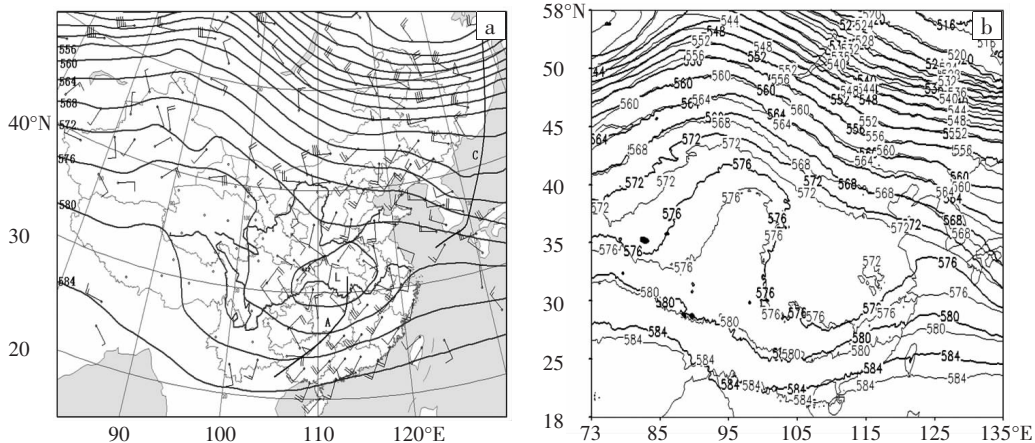


图 9 2009 年 4 月 12 日 20 时 500 hPa 高度场

(a) 为与 850 hPa 风场实况叠加图(线条 A 为槽线, C 为切变线)

(b) 为 WRF-T213(加粗线)、WRF-T639(细实线)预报图

从 12 日 20 时 WRF-T213、WRF-T639 的 500 hPa 高度场预报图上可见(图 9b), 500 hPa 高度场形势均是西高东低, 只是低涡范围比实况偏小; WRF-T639 预报的等高线位置和实况更接近, WRF-T213 的等高线

比 WRF-T639 和实况都偏北, 尤其是 576 dagpm 线, 实况和 WRF-T639 预报在青藏高原地区约位于 40°N , 而 WRF-T213 到达 43°N 。在海上, 实况的 576 线约位于 32°N , 而 WRF-T213 预报到达 34°N , WRF-T639 预

报的则位于 30°N。WRF-T639 预报出 572 dagpm 线闭合低涡,而 WRF-T213 没预报出该低涡。

针对这次降水,仅对一有限区域(18°—35°N、100°—124°E) 风场预报进行分析。850 hPa 上 (图 10), WRF-T213、WRF-T639 预报的低涡中心分别位于 112°E 和 115°E, 而实况约位于 114°E,WRF-T639 预

报和实况更接近。WRF-T213 和 WRF-T639 预报的最大风速为 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,与实况接近,但位置偏西。WRF-T213 预报的西南急流区西北角约位于 30°N、112°E,比实况偏北偏西,WRF-T639 的预报和实况更接近。低涡偏西、急流区偏北偏西可能是导致 WRF-T213 在 31°N 附近虚报多个暴雨区的原因之一。

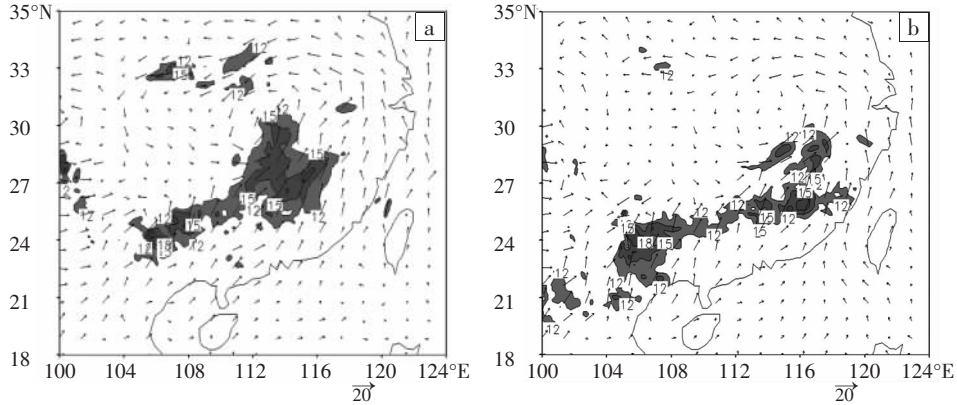


图 10 2009 年 4 月 12 日 20 时 WRF-T213 (a)、WRF-T639 (b)的 850 hPa 风场和急流区(阴影,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)预报图

这次降水过程,由于地面偏南气流和偏北气流的辐合抬升作用,地面气压不断下降,在强降水区形成地面低压中心,地面低压是造成降水的地面系统。WRF-T213 和 WRF-T639 都预报出地面气压随时间不断下降的过程,且其下降自西向东传播,这与 500 hPa 低涡和南支槽东移有关。比较预报和实况(图略)发现,

WRF-T213 预报的地面气压比实况偏高,12 日 20 时,沿 26°N 从 100°E—112°E 实况气压都降至 1 008 hPa 及以下,WRF-T213 预报 1 008 hPa 气压范围很小,大部分都在 1 010 hPa 以上,比实况偏高(图 11a)。WRF-T639 预报的地面气压和实况接近,在 12 日 20 时 114°—118°E 气压也降至 1 008 hPa,比实况略偏低(图 11b)。

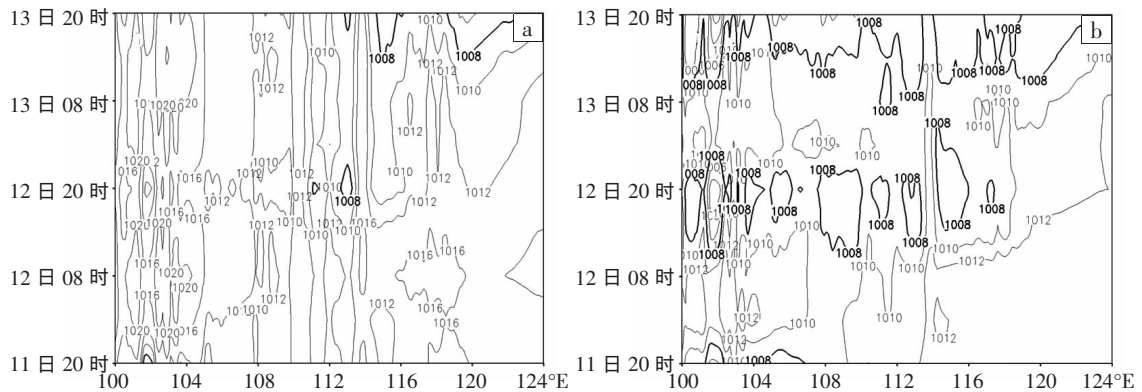


图 11 2009 年 4 月 11 日 20 时至 13 日 20 时 WRF-T213 (a)、WRF-T639 (b)预报的海平面气压沿 26°N 时间演变图(单位: hPa)

5.2.2 涡度、散度和垂直速度分析

比较 WRF-T213、WRF-T639 的涡度、散度、垂直速度预报场(图 12、13)和实况场(图略)发现,WRF-T213 预报的涡度较小,其绝对值一般在 $10\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 以下,绝对值达 $20\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 的涡度区范围很小;105°E 以东的暴雨区和正涡度大值区有较好的对应关系,尤其在 114°E 有一片较大正涡度区,这与 WRF-T213 预报的最大一片暴雨区对应较好。Fiorino 等^[13]发现 β 效应可使热带气旋东、西侧生成互为反环流的 β 偶极涡。杨洪波等^[14]认为 β 偶极涡出现的原因是地转涡度平流的作用。这里,WRF-T639 的预报也出现 β 中尺度偶

极涡,涡度绝对值达 $20\times 10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 以上,强度很强,在 23°—27°N 这些偶极涡连成两串并呈东北—西南向;在 31°N、119°E, β 偶极涡也很明显。 β 偶极涡出现在涡旋的两侧,所以 β 偶极涡可看成是若干局地 β 中尺度涡旋的反映。可见, β 中尺度涡旋分布与雨带分布具有较好的对应关系,WRF-T639 预报的涡度比 WRF-T213 的预报对暴雨分布具有更好的指示作用。

从 4 月 12 日 20 时 WRF-T213、WRF-T639 沿 114°E 的散度、垂直速度经向剖面图上可见(图 13),WRF-T213 在 925 hPa 22°—24°N 的辐合与对流层中层辐散耦合,但强度不大,高层还有弱辐合,上升速度

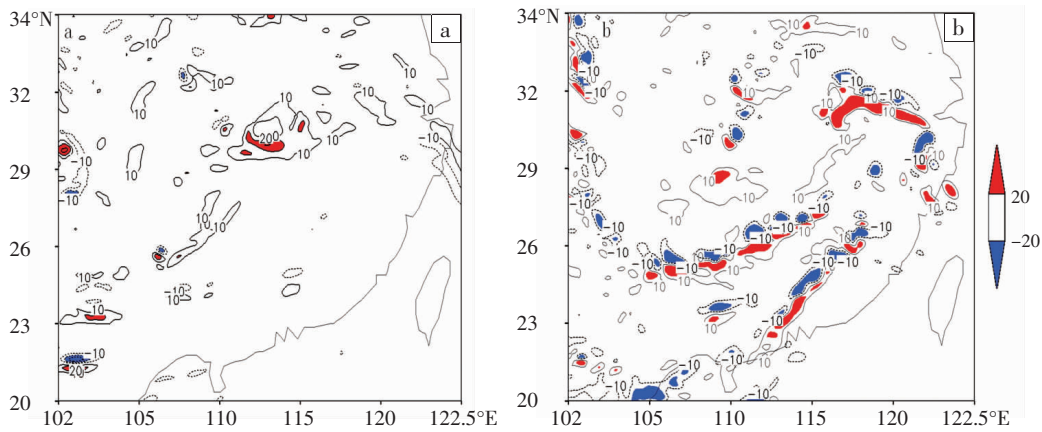


图 12 2009 年 4 月 12 日 20 时 T213 (a)、T639 (b) 500 hPa 涡度场(单位: $10^{-5} s^{-1}$)

不明显,虽有降水产生,但强度不大;WRF-T639 在 24°N 上升速度虽较强,500 hPa 以下以辐合为主,850 hPa 有弱辐散,也不利于强降水产生。WRF-T213 在 850 hPa 27°—30°N 的辐合与中高层辐散配合较好,最大辐合强度达 $-15 \times 10^{-5} s^{-1}$,且低层上升速度达 $10 cm \cdot s^{-1}$ 以上,有

利于对流发展和降水产生。WRF-T639 在 26°N 中低层为辐合,上升速度为 $10 cm \cdot s^{-1}$,但高层辐散很弱,不利于强降水产生;其余地方高低层辐散辐合配合不好,不利于降水发生。另外,从散度场分布可见,WRF-T213 有利于在偏北位置产生降水。

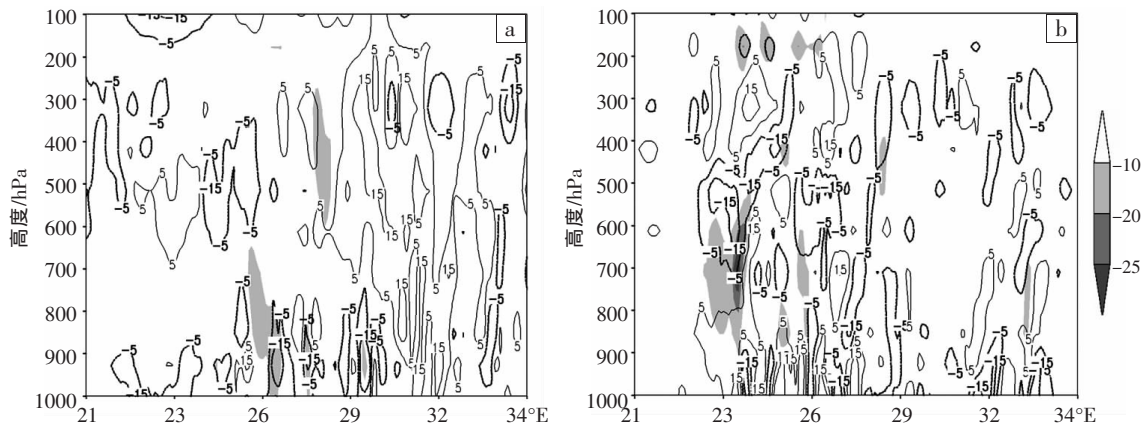


图 13 2009 年 4 月 12 日 20 时 T213 (a)、T639 (b)沿 114°E 的散度(加粗线为负值,单位: $10^{-5} s^{-1}$)、垂直速度(阴影区,单位: $cm \cdot s^{-1}$)经向剖面图

6 结论和讨论

通过对 2009 年春、夏季两个时段 WRF-T213 和 WRF-T639 的降水、形势场预报的检验评估,以及对降水个例预报的分析,初步得出以下结论:

(1)全国累积降水检验,由于 WRF-T639 漏报率比 WRF-T213 高,导致 4 月 2—17 日的小到大雨和 7 月 28 日至 8 月 11 日的小雨 T_s 评分 WRF-T639 略微低于 WRF-T213;但 WRF-T639 的空报率和预报偏差比 WRF-T213 低,使其预报效率、 E_{TS} 评分均高于 WRF-T213。

(2)500 hPa 高度场,WRF-T639 预报的低压槽偏强,高压脊偏弱;4 月 1—13 日,WRF-T213 预报的低压槽偏弱、高压脊偏强,7 月 26 日至 8 月 9 日则相反。WRF-T639 的 24、48 h 高度场预报的均方根误差均小于 WRF-T213 的,说明其高度场预报优于 WRF-T213 的。

(3)850 hPa 风场,WRF-T639 和 WRF-T213 预报的

西风偏强、东风偏弱;WRF-T213 预报的北风略偏强、南风略偏弱,WRF-T639 则是南风略偏强、北风略偏弱;均方根误差表明,虽 u 分量预报 WRF-T639 与 WRF-T213 相当,但 v 分量预报 WRF-T639 比 WRF-T213 好。因此,整体上 850 hPa 水平风场的预报 WRF-T639 略好于 WRF-T213。

(4)4 月 1—13 日 WRF-T213 24、48 h 海平面气压预报的低压比实况偏弱、高压偏强,7 月 26 日至 8 月 9 日则是低压偏强、高压偏弱;WRF-T639 在两个时段都是预报的低压比实况偏强、高压偏弱。4 月 1—13 日 WRF-T639 的 24、48 h 海平面气压预报的均方根误差都小于 WRF-T213 的,7 月 26 日至 8 月 9 日却相反。在不同时段,WRF-T639 的海平面气压预报表现不一,还有待对更长时间的预报作进一步检验。

(5)分析降水个例发现,WRF-T213 对强降水落区预报偏差较大,WRF-T639 预报的强降水落区和实况

比较接近,但预报的暴雨范围和雨量偏大。WRF-T213 预报的高压脊偏强、西南急流区位置偏北,有利于产生降水的涡度、散度和垂直速度位置偏北,这可能是导致 WRF-T213 预报的雨区偏北的原因。WRF-T639 预报的 500 hPa 高度场、850 hPa 风场与实况更为接近,其涡度、散度和垂直速度的分布位置较为合理,对降水落区预报较为准确。WRF-T213 预报的地面气压比实况偏弱,而 WRF-T639 预报的地面气压比实况偏强,这可能是导致 WRF-T639 预报的雨量偏大的原因之一。

本文对短期降水预报只检验了 36 h 的预报,而对于时间稍长的(如 60 h)降水预报还需作进一步检验。对形势场的预报只检验了高度场和风场,其它一些要素(如 850 hPa 温度场等)也值得进一步检验。另外,本文虽对 2009 年 4 月上中旬和 7 月底至 8 月上旬的降水预报作了检验,但检验时段仍很短,检验时间长度可能会对全国累计降水检验的各项评分有一定影响,选取更大时间长度(如 1 年)作检验,其结果应更全面、更具代表性,这方面工作无疑对完善本文结论有益。

降水检验中的站点雨量资料由国家气象中心王雨提供,谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 闫之辉,邓莲堂.WRF 模式中的微物理过程及其预报对比试验[J].沙漠与绿洲气象,2007,1(6):1-6.
- [2] 邓莲堂,王建捷.新一代中尺度天气预报模式——WRF 模式简介[C]//中国气象学会.2003 年年会“城市气象与科技奥运”分会论文集.北京:气象出版社,2003.
- [3] 章国材.美国 WRF 模式的进展和应用前景[J].气象,2004,30(12):27-31.
- [4] 管成功,陈起英,佟华,等. T639L60 全球中期预报系统预报试验和性能评估[J].气象,2008,34(6):11-16.
- [5] 公颖.2007 年主汛期 AREM 模式降水预报效果检验分析[J].暴雨灾害,2007,26(4):372-380.
- [6] 陈静,薛纪善,颜宏.华南中尺度暴雨数值预报的不确定性 with 集合预报试验[J].气象学报,2003,61(4):432-446.
- [7] 孟英杰,吴洪宝,王丽,等.2007 年主汛期武汉区域四种数值模式定量降水预报评估[J].暴雨灾害,2008,27(3):273-277.
- [8] 孔玉寿,张东华.现代天气预报技术[M].北京:气象出版社,2000:37-40.
- [9] 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(8):43-47.
- [10] 梁红,王元,钱昊,等.欧洲 ECWMF 模式与我国 T213 模式夏季预报能力的对比分析检验[J].气象科学,2007,27(3):253-258.
- [11] 尹东屏,曾明剑,吴海英,等.2003 年和 2006 年江淮流域梅雨期暴雨大尺度特征对比分析[J].气象,2008,34(8):70-76.
- [12] 汪丽,青泉,谢娜,等.2006 年川渝两次久旱转雨过程对比分析[J].气象,2007,33(4):53-57.
- [13] Fiorino M, Elsberry R L. Some aspects of vortex structures related to tropical cyclone motion [J]. J Atmos Sci, 1989, 46:975-990.
- [14] 杨洪波,张铭.热带气旋中 β 偶极涡的数值模拟[J].热带气象学报,2002,18(3):211-218.

Tentative Verification and Comparison of WRF Forecasts Driven by Data from T213 and T639 Models

XIAO Dan¹, DENG Lian-tang², CHEN Jing², HU Jiang-kai²

(1.Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225; 2.National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: Using national 24 hour precipitation observation data at 8am in two time periods in spring and summer of 2009, the WRF forecasts driven by T213 and T639 data separately were verified and compared with methods of accumulated precipitation verification, mean error and root-mean-square error analysis, and a precipitation case was analyzed. The main results are as follows: though T_s score of WRF-T213 forecast at some rainfall grade was slightly higher than that of WRF-T639 sometimes, false alarm rate and system bias of WRF-T639 were less than that of WRF-T213, so that forecast efficiency and E_{TS} score of WRF-T639 were higher than that of WRF-T213. The verification of 500hPa potential height field, 850hPa wind field and sea level pressure draws a conclusion that general circulation patterns prediction of WRF-T639 is better than that of WRF-T213. The rainfall case study shows that a stronger ridge, southwest jet stream, preferable vorticity field and divergence field and northerly position of vertical velocity forecasted by WRF-T213 result in the more northern position of the precipitation distribution. In conclusion, WRF-T639 has a better performance than WRF-T213 for 500hPa height field and 850hPa horizontal wind forecast, and its precipitation distribution forecast gets closer to observation. Stronger surface low pressure forecasted by WRF-T639 is one of the reasons for greater rainfall than observation.

Key words: T639 model; WRF model; Precipitation verification; ETS score; Root-mean-square error