

董颜,刘寿东,王东海,等. 2015. GFS 对我国南方两次持续性降水过程的预报技巧评估. 气象, 41(1):45-51.

GFS 对我国南方两次持续性降水过程的 预报技巧评估^{*1}

董 颜^{1,2} 刘寿东¹ 王东海³ 赵艳风³

1 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044

2 北京市气象服务中心, 北京 100089

3 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

提 要: 采用美国全球预报系统(Global Forecasting System, GFS)资料, 利用谐波滤波提取空间长波、超长波分量, 检验评估了 GFS 对 2012 年 7 月 11—31 日东亚地区大气环流场和降水的可预报能力。结果表明: GFS 模式对东亚地区的中低层高度场预报可靠时效维持 6 d 以上, 高层预报可靠时效可达 10 d; 长波、超长波的可预报效果显著, 其中高度场长波 5~8 波的预报效果好于 3~6 波, 风场则相反; GFS 对我国南方两次持续性降水过程的可预报天数维持在 8 d 左右, 并可提前 2 天预报出强降水带位置; 模式对持续性降水过程预报相对站点观测降水量整体偏强。

关键词: GFS, 滤波, 大气环流场, 持续性降水, 误差, 评分

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 01. 005

Assessment on Forecasting Skills of GFS Model for Two Persistent Rainfalls over Southern China

DONG Yan^{1,2} LIU Shoudong¹ WANG Donghai³ ZHAO Yanfeng³

1 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Beijing Meteorological Service Centre, Beijing 100089

3 State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract: This study aims at assessing the predictability capacity of the Global Forecasting System (GFS) for the atmospheric circulation features and precipitation over East Asia during 11—31 July 2012 by using the GFS data and the extracted components of long wave and ultra-long wave via the harmonic filtering. The results show that the GFS model can predict the mid and lower heights over East Asia with reliable lead time of 6 d, and up to 10 d for the higher heights. The predictability for long wave and ultra-long wave components is more significant, of which the 5—8 wave-band forecast is better than the 3—6 wave one in terms of the forecasting skill for height. However, the forecast result is reversed for the wind filed. In addition, the predictability of the model for the two persistent rainfalls maintains 8 d or so, and moreover it can tell the location of severe rainfall band ahead of 2 d. In general, the GFS model is stronger in forecasting the persistent precipitation process than the observed fields.

Key words: global forecasting system (GFS), filtering, atmospheric circulation features, persistent rainfall, error, score

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB417204)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006014 和 GYHY201206039)和国家自然科学基金项目(40875022 和 41175064)共同资助

2013 年 12 月 28 日收稿; 2014 年 6 月 11 日收修定稿

第一作者: 董颜, 主要从事数值预报及模式评估. Email: dongyancandice@163. com

通信作者: 王东海, 主要从事中尺度动力学与数值天气预报和模拟等. Email: wangdh@cma. gov. cn

引言

持续性降水是一种与天气、气候相关的极端天气灾害。很多气象学者从天气学角度分析降水的环流条件(牛若芸等,2012;杨善恭等,1999;黄忠等,2008)和从气候学角度统计持续性降水特征(陶诗言等,1980),以及对典型暴雨事件进行个例分析(陶诗言等,1962;丁一汇,1993;宗志平等,2005;陈永仁等,2013;王东海等,2011;江吉喜等,1998;王晓芳等,2011;张娇等,2011;张耀华等,2012),并对异常活动环流和物理机制开展动力延伸预报试验(孙颖等,2002;马学款等,2012;章基嘉等,1994)。这些研究对改进数值预报模式的预报准确率和提高异常信号的可预报能力,均有较强的指导意义。

开展现有业务模式对持续性降水预报能力的评估研究,确定各气象要素场的可预报时效,为模式改进提供科学依据。目前,气象业务已开展了大量对数值预报产品的检验工作,特别是对降水预报的检验。以往的研究主要是检验各数值模式在我国不同区域中短期定量降水预报效果(王雨等,2006;2007;公颖等,2011;蔡芎宁,2010;肖玉华等,2013;张涵斌等,2014),针对单个模式较长时间的持续性降水评估还很少涉及。大气是一个复杂的非线性系统,有时显现混沌特征,它的预报时效有一定的限度,尤其是对两周以上的预报,仍然缺少用于业务的预报技巧(Lorenz, 1963)。可预报性研究证实(丑纪范, 2002;丁瑞强等,2009;丑纪范等,2010),不同空间尺度大气运动的可预报时间长度是存在差异的,不同要素场的可预报期限大小以及时空分布规律也不一样。因此,检验不同空间尺度的可预报性掌握大尺度变化规律对提高预报显得尤为重要。

1 资料与方法

1.1 资料及预处理

本文使用美国全球预报系统资料(Global Forecasting System, GFS),检验资料为 NCEP/NCAR 再分析资料和全国 2425 个地面观测站降水实况资料。选取 2012 年 7 月 15—27 日起报 00 时的 GFS 资料,利用双线插值统一处理为分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬网格数据。

1.2 检验方法

本研究主要针对环流形势场和降水场预报进行评估,具体检验评估方法采用平均误差 ME、均方根误差 RMSE、距平相关系数 ACC(孔玉寿等,2000)及 Alpha Index(AI)(Koh et al, 2009),并利用谐波滤波(吴洪宝等,2005)提取空间长波、超长波分量与全场对比,以及对不同降水量级的 TS 评分、偏差(Bias)和 ETS 评分检验(王雨等,2006;2007;王雨,2006)。

2 环流形势预报检验分析

2012 年 7 月中下旬,我国南方地区降水过程频繁,主雨带位置变化大,降水范围广。为检验模式对持续性降水期间环流背景场的预报技巧,选取 2012 年 7 月 11—31 日期间 200、500、700 和 850 hPa 四个层次的高度场进行检验分析得到 7 月中下旬东亚地区($20^{\circ} \sim 50^{\circ} \text{N}$ 、 $80^{\circ} \sim 140^{\circ} \text{E}$)1~16 d 预报平均的评估值。

由图 1 可以看出,模式对对流层高层的预报技巧好于低层,高层(200 hPa)在提前 10~16 d 仍有可预报性,考虑大气对流层中上层以演变过程缓慢的长波、超长波为主,因此有较长的可预报时效。10 天前的预报技巧随预报时效延长迅速下降,随后降低趋势相对平缓。四个层次的高度场 AI 均没有超过 1,说明模式具有相对可靠的物理过程,但随着预报时效延长,预报随机误差加大,预报与观测之间吻合逐渐变差,预报值逐渐低于检验值。

3 长波及超长波的检验分析

一定的大尺度环流形势可以提供持续的中尺度天气系统形成的条件和环境场,本文通过谐波滤波提取长波、超长波进一步评估模式对波段分量的可预报性,见表 1 波段分类。

3.1 高度场分量检验

图 2 四个层次滤波前后的 ACC 对比看出, GFS 模式对长波、超长波有较好的预报能力。除 200 hPa 高度场外,其他三个高度场对超长波预报技巧均好于长波。对流层中低层(500、700 和 850 hPa)长波预报时效可达 7 d 以上,预报技巧相对全场提高了 1 d,超长波的预报时效可延长到 10 d 以上。总

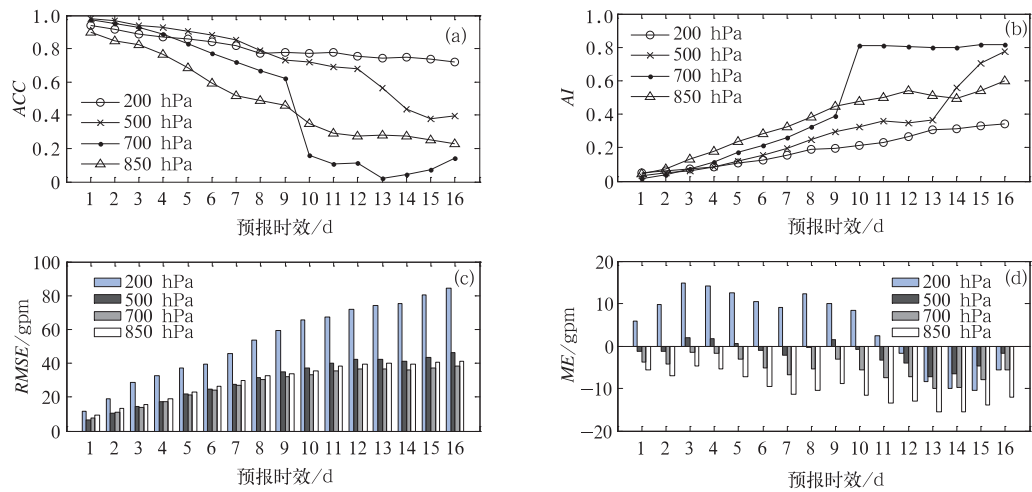


图 1 2012 年 7 月 11—31 日 00 时 GFS 模式对 200、500、700 和 850 hPa 位势高度场 1~16 d 预报在东亚地区区域平均的距平相关系数 ACC(a)、AI 指数(b)、均方根误差 RMSE(c)及平均误差 ME(d)

Fig. 1 Averaged anomaly correlation coefficient (ACC) (a), Alpha Index (AI) (b), root mean square error (RMSE) (c) and mean error (ME) (d) of the 1~16 d forecasts of the GFS model over 200, 500, 700 and 850 hPa heights in East Asia during 11~31 July 2012

表 1 长波、超长波波段分类

Table 1 Wave band classification of atmospheric long wave and ultra-long wave

分类	波段	波长/km
超长波	1~3 波	≥ 10000
长波 I	3~6 波	3000~10000
长波 II	5~8 波	5000~6000

体看,位势高度场的超长波预报好于长波,长波 5~8 波的预报比 3~6 波好。

图 3 为 500 hPa 位势高度场滤波前后不同时效(第 5、10、15 天)的预报 RMSE 空间对比。由图可见,随着预报时效的延长,全场及各波段分量的 RMSE 都有所增加,但长波、超长波的误差增长幅度

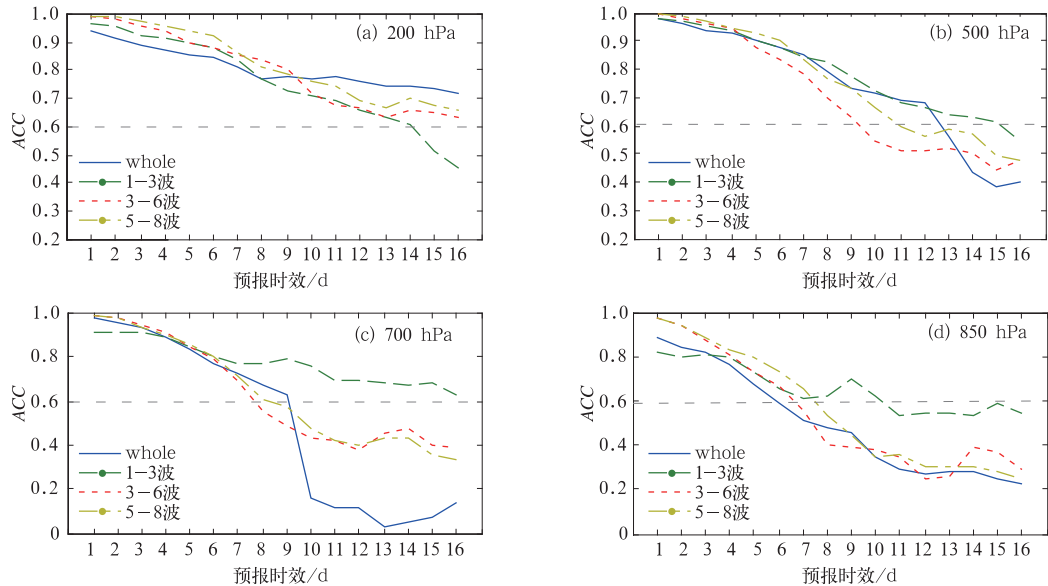


图 2 2012 年 7 月 11—31 日 00 时 GFS 模式(a)200、(b)500、(c)700 和(d)850 hPa 位势高度场预报在东亚地区 ACC 滤波前后对比

Fig. 2 Comparison of ACC of geopotential heights at (a) 200, (b) 500, (c) 700 and (d) 850 hPa in East Asia before and after filtering with the whole filed during 11~31 July 2012

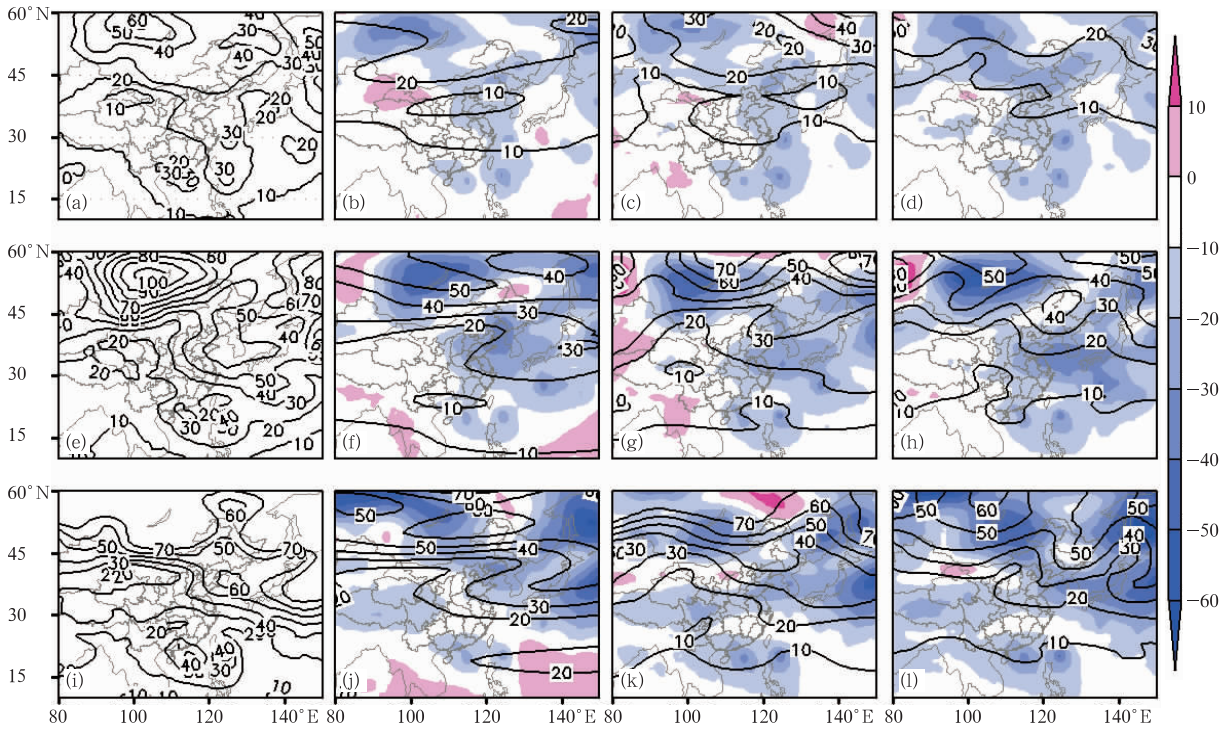


图 3 2012 年 7 月 11—31 日 500 hPa 位势高度场超长波(1~3 波: b, f, j)、长波(3~6 波: c, g, k 和 5~8 波: d, h, l)的不同时效(5 d: a~d, 10 d: e~h 和 15 d: i~l)预报与分析场(a, e, i)的 RMSE 空间偏差分布
(等值线:RMSE 空间分布; 阴影:不同波段与全场的差值,负偏差越大,波段预报效果越好)
Fig. 3 Spatial distribution of RMSE differences between the filtered (1~3 w: b, f, j; 3~6 w: c, g, k and 5~8 w: d, h, l) and the whole field (a, e, i) of 500 hPa during 11~31 July 2012
(contour line: spatial distribution of RMSE; shadow: difference between the filtering and the whole filed, the bigger difference of negative deviation signs the better of filtering forecast)

小,且负偏差覆盖面大;中高纬地区(30°~45°N)负偏差大于低纬地区(小于 30°N),表明 GFS 模式对海洋的整体预报及长波、超长波的预报分量好于大陆地区;第 10 天的滤波前后对比显示,负偏差基本覆盖中国东部及南部地区,且误差分布对比 15 天的 RMSE 趋于稳定。其余三个层次高度场 RMSE 滤波提取的长波、超长波的预报误差明显好于全场高度场预报,其中 5~8 波的 RMSE 与全场的差值最大(图略)。

3.2 风场分量检验

图 4 左右两边分别为 U 、 V 风场在不同层次的滤波前后的 ACC 对比。垂直方向上看,风场超长波的预报效果好于全场,以中低层预报效果明显。除 500 hPa 外其他三层的超长波在 10~16 d 期间都有可靠的预报技巧。长波与全场相比差别不大,其中长波 3~6 波的预报效果好于 5~8 波。随对流层高度的上升,风场误差加大。长波、超长波的预报误差

相比全场均明显减小,且滤波后的 V 分量误差减小偏差较大,尤其超长波偏差减小最大(图略)。

4 持续性强降水检验结果与分析

分析 2012 年 7 月 15—19 日(区域范围为 25°~30°N、105°~122°E)和 23—27 日(区域范围为 20°~28°N、104°~117°E)两次持续性降水过程特征,采用 TS 评分、BIAS 偏差及 ETS 评分三种方法对小雨、中雨、大雨及暴雨四个等级 24 h 累积降水进行检验比较(图 5)。

从图 5 看出,GFS 模式对小雨的评分最高,其他三个量级降水评分依次降低;7 月 15—19 日的小雨 TS 评分基本维持在 80%左右,比 7 月 23—27 日高出将近 20%,中雨的降水评分高出约 10%,大雨、暴雨预报评分略好。两个降水时段在 11 天以后有明显的偏差增大现象,尤其大雨、暴雨偏差明显。9 天以后的大雨、暴雨量级在 -0.1~0.1 浮动,中雨

在 0~0.1 之间浮动,表明 GFS 模式在 9 天以后对中雨以上量级降水预报不稳定。结合三种方法分析,随着预报时效延长,预报降水能力逐渐减弱,

GFS 模式在延伸期期间没有预报大雨、暴雨的能力,7 月 15—19 日的持续性降水预报好于 23—27 日。

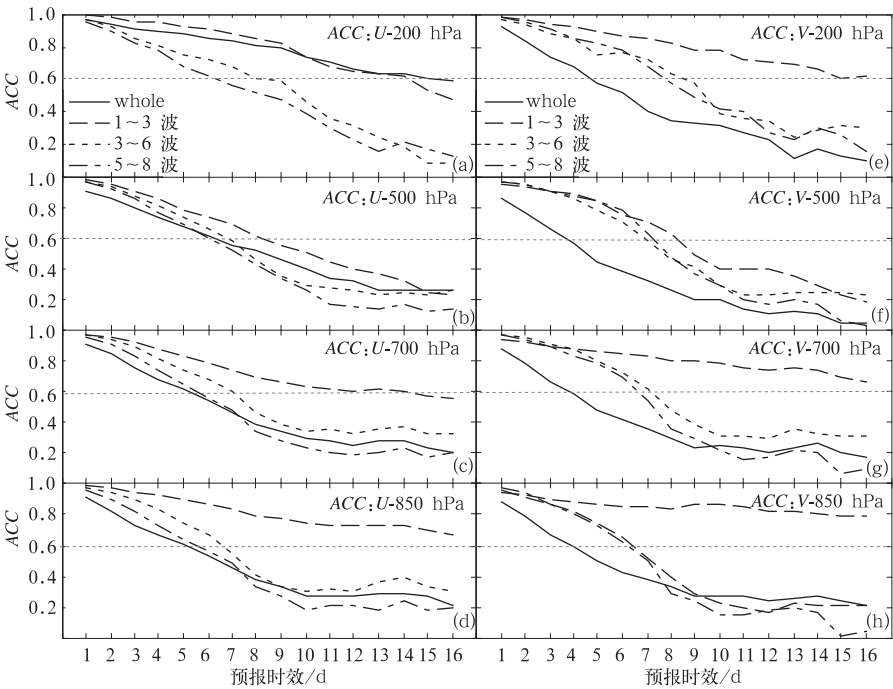


图 4 2012 年 7 月 11—31 日 00 时 GFS 模式(a,e)200、(b,f)500、(c,g)700 和(d,h)850 hPa 高度场上 U(a~d)、V(e~h) 风场预报在东亚地区 ACC 滤波前后对比

Fig. 4 Comparison of the averaged ACC of U (a~d) and V (e~h) over (a,e) 200, (b,f) 500, (c,g) 700 and (d,h) 850 hPa in East Asia between the filtered and the whole filed during 11—31 July 2012

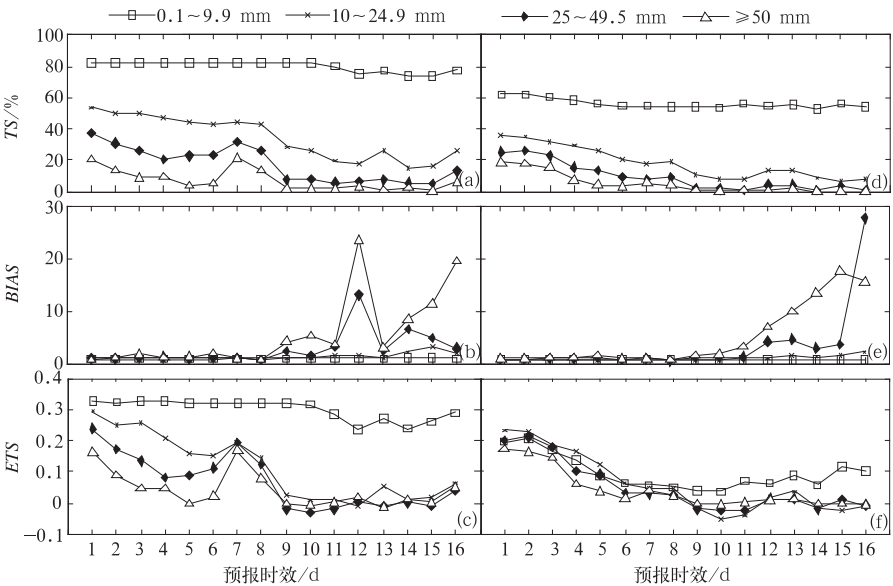


图 5 2012 年 7 月 15—19 日(a,b,c)和 23—27 日(d,e,f)两次持续性降水过程区域平均的 TS 评分(a,d)、BIAS 偏差(b,e)、ETS 评分(c,f)对比

Fig. 5 Comparison of the regionally averaged threat score (a, d), Bias score (b, e), and equitable threat score (c, f) for the two persistent rainfalls respectively in 15—19 and 23—27 July 2012

为进一步检验降水落区和强度的可预报性能力,选取 7 月 17 和 24 日当天降水进一步分析。其中选取 7 月 17 日主要考虑当日预报效果相对较好;

选取 7 月 24 日主要考虑台风登陆后影响当天的降水变化,并对照 7 月 17 日较好的 GFS 预报结果,分析两次过程的可预报性异同(图 6)。

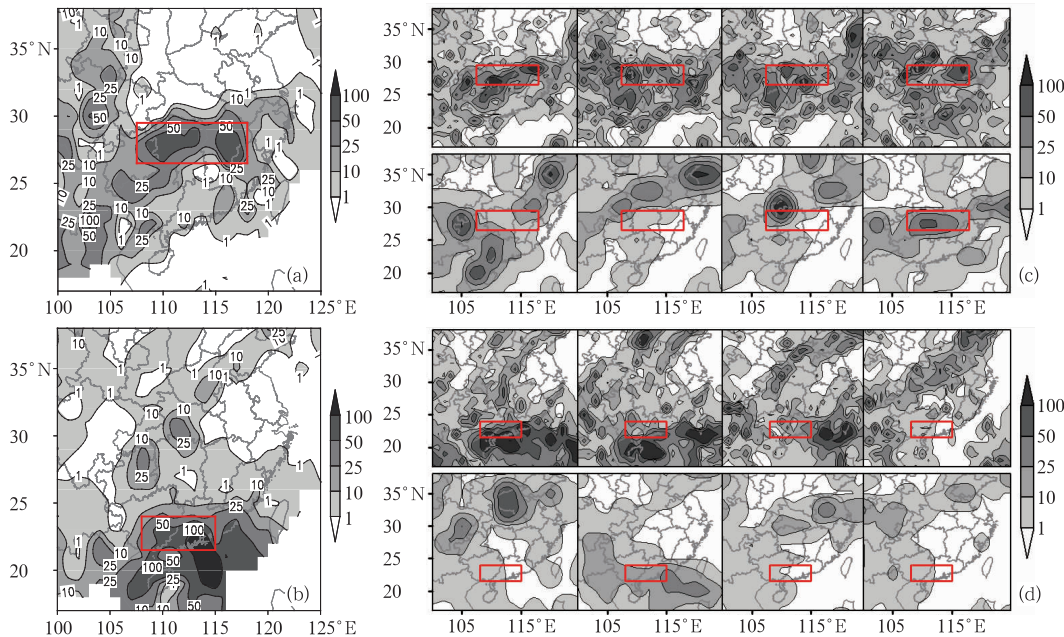


图 6 2012 年 7 月 17 和 24 日实况图(a, b)及降水场预报(c, d)对比

(a)7 月 17 日 12 时 24 h 累积降水实况及(c)对应当天的 GFS 模式提前 2、4、6、8、10、12、14、16 d 预报, (b)7 月 24 日 12 时 24 h 累积降水实况及 (d)对应当天的 GFS 模式提前 2、4、6、8、10、12、14、16 d 预报

Fig. 6 Comparison of 24 h accumulated precipitation between observations at 04:00 UTC 17 July (a) and 04:00 UTC 24 July (b), the corresponding forecasts made at 04:00 UTC 17 July (c) and 04:00 UTC 24 July (d) by GFS model with the lead times of 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 d respectively

图 6 可以看出 GFS 模式对主要降水区域范围内的小雨量级降水预报效果较好。7 月 17 日实况显示江西、湖南中部有局地大到暴雨,分析发现 GFS 模式可提前 2 天预报主降水带位置与强度,但是强度中心偏弱;随后到前 8 天左右仍可预报出主降水带位置,但强度维持在中雨量级,为进一步检验模式对持续性强降水的预报能力,将其余 4 天的实况图与模式预报图进行对比发现(图略),从 9 天以后,基本没有持续性强降水的可预报能力。对于台风引起的持续性降水,GFS 模式对 7 月 24 日预报可提前 2 d 预报出大致降水带及降水强度;提前 4 天的预报强降水中心偏南,前 6 天仍可以预报出强降水中心,但位置在广东南部海洋上,与实况降水带位置偏差过大;从 7 天以后,两广地区基本没有对强降水中心预报的能力。

总体看,GFS 模式对主体降水带的可预报维持在 8 d 左右;对强降水中心位置的暴雨量级可预报性维持在 2 d 左右,大雨量级的可预报性维持在 6 d 以内,模式可提前 6 天预报出持续性降水过程;并且对持续性降水过程预报整体偏强。

5 结论与讨论

利用 GFS 预报资料对 2012 年 7 月中下旬两次持续性降水期间的环流形势场和降水场进行检验评估,得到以下初步结论:

(1) GFS 模式对东亚地区的中低层高度场预报可靠时效维持在 6 d 以上,高层预报可靠时效可达 10 d;对风场的可预报时效维持在 4 d 左右。GFS 模式对持续性强降水的环流背景场有一定的可预报

性,可预报时效在5 d左右。

(2) 位势高度场超长波的预报效果好于长波,长波预报时效可达7 d以上,超长波预报时效可延长至10 d,长波5~8波的预报效果好于3~6波。风场滤波后的长波3~6波的预报效果较好,预报时效可延长到5 d左右。

(3) GFS模式针对我国南方两次持续性降水的可预报天数维持在8 d左右,且对大于25 mm以上量级的强降水预报时效维持在6 d以内,可提前2天预报出强降水带位置,对整个强降水过程预报整体偏强。

本文主要考虑持续性降水的环流形势下不同波段的预报时效,针对不同波段对比分析了GFS模式的预报技巧,发现延伸期的大尺度波段分量的预报技巧显著,并对两次持续性降水进行了评分检验,得出一些初步结论,为模式改进提供了依据。

参考文献

- 蔡宁宁. 2010. 2009年9—11月T639、ECMWF及日本模式中期预报性能检验. 气象, 36(2): 130-135.
- 陈永仁, 李跃清. 2013. “12.7.22”四川暴雨的MCS特征及对短时强降雨的影响. 气象, 39(7): 848-860.
- 丑纪范. 2002. 大气科学中的非线性与复杂性. 北京: 气象出版社, 131-135.
- 丑纪范, 郑志海, 孙树鹏. 2010. 10—30 d延伸期数值天气预报的策略思考——直面混沌. 气象科学, 30(5): 569-573.
- 丁瑞强, 李建平. 2009. 天气可预报性的时空分布. 气象学报, 67(3): 343-354.
- 丁一汇. 1993. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 255.
- 公颖, 李俊, 鞠晓慧. 2011. 2009年我国汛期降水形势总结与三个常用模式预报效果检验. 热带气象学报, 27(6): 823-833.
- 黄忠, 吴乃庚, 冯业荣, 等. 2008. 2007年6月粤东持续性暴雨的成因分析. 气象, 34(4): 53-60.
- 江吉喜, 范梅珠, 吴晓. 1998. 我国南方持续性暴雨成因的TBB场分析. 气象, 24(11): 26-31.
- 孔玉寿, 章东华. 2000. 现代天气预报技术. 北京: 气象出版社, 37-40.
- 马学款, 符娇兰, 曹殿斌. 2012. 海南2008年秋季持续性暴雨过程的物理机制分析. 气象, 38(7): 795-803.
- 牛若芸, 张志刚, 金荣花. 2012. 2010年我国南方两次持续性强降雨的环流特征. 应用气象学报, 23(4): 385-394.
- 孙颖, 丁一汇. 2002. 1997年东亚夏季风异常活动在汛期降水中的作用. 应用气象学报, 13(3): 277-287.
- 陶诗言, 等. 1980. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 225.
- 陶诗言, 徐淑英. 1962. 夏季江淮流域持久性旱涝现象的环流特征. 气象学报, 32(1): 1-10.
- 王东海, 夏茹娣, 刘英. 2011. 2008年华南前汛期致洪暴雨特征及其对比分析. 气象学报, 69(1): 137-148.
- 王晓芳, 黄华丽, 黄治勇. 2011. 2010年5—6月南方持续性暴雨的成因分析. 气象, 37(10): 1206-1215.
- 王雨. 2006. 2004年主汛期各数值预报模式定量降水预报评估. 应用气象学报, 17(3): 316-324.
- 王雨, 闫之辉. 2006. 2004年汛期(5—9月)主客观降水预报检验. 热带气象学报, 22(4): 331-339.
- 王雨, 闫之辉. 2007. 降水检验方案变化对降水检验评估效果的影响分析. 气象, 33(12): 53-61.
- 吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法. 北京: 气象出版社, 226-235.
- 肖玉华, 康岚, 徐琳娜, 等. 2013. 西南区域中尺度数值模式预报性能及其与天气过程关系初探. 气象, 39(10): 1257-1264.
- 杨善恭, 邱晓光, 赵水芝, 等. 1999. “98.6”闽北罕见持续性暴雨的环流特征和预报. 气象, 25(2): 40-44.
- 张涵斌, 陈静, 智协飞, 等. 2014. GRAPES区域集合预报系统应用研究. 气象, 40(9): 1076-1087.
- 张娇, 王东勇, 朱佳宁. 2011. 淮河流域持续性强降雨的重要前期信号. 气象, 37(11): 1329-1335.
- 张耀华, 周兵, 张耀存. 2012. 2010年南方持续暴雨期大气环流异常及其低频特征研究. 气象, 38(11): 1367-1377.
- 章基嘉, 李维京, 徐祥德, 等. 1994. 1991年江淮暴雨期间环流异常的动力延伸预报试验. 气象学报, 52(2): 180-186.
- 宗志平, 张小玲. 2005. 2004年9月2—6日川渝持续性暴雨过程初步分析. 气象, 31(5): 37-41.
- Koh T-Y, Ng J S. 2009. Improved diagnostics for NWP verification in the tropics. Geophys Res, 114(D): 12102.
- Lorenz E N. 1963. Deterministic non-period flow. J Atmos Sci, 20: 130-141.