

T639L60 全球中期预报系统 预报试验和性能评估

管成功¹ 陈起英¹ 佟 华¹ 王 辉²

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 湖南省湘阴县气象局)

提 要: 在目前国家气象中心全球业务中期谱模式 T213L31 中成功引入 ECMWF 的稳定外插半拉格朗日方案, 将归约高斯格点转换为线性高斯格点, 解决了模式分辨率提高的关键技术。将模式谱分辨率从 213 波提高到 639 波, 垂直层次从 31 层提升到 60 层, 模式层顶从 10hPa 升至 0.1hPa。建立 T639L60 中期同化预报系统, 进行连续一年多连续滚动试验, 对预报员关心的降水预报和 500hPa 形势场预报进行了统计学检验, 与现行全球中期业务模式进行对比分析。分析结果表明, T639L60 中期系统对 500hPa 位势高度场预报性能比业务有明显改进, 东亚地区达 1 天。从降水客观评分上看, 中国地区降水各量级降水的 Ts 评分均明显提高, 在预报偏差(B 值)方面, 小到大雨预报偏差明显降低, 暴雨的预报偏差有所增加。

关键词: T639 分辨率 距平相关 均方根误差 TS 评分 B 值

Experiments and Evaluations of Global Medium Range Forecast System of T639L60

Guan Chenggong¹ Chen Qiyong¹ Tong Hua¹ Wang Hui²

(1. National Meteorological Center, Beijing 100081;

2. Xiangyin County Meteorological Station, Hunan Province)

Abstract: A new treatment of two-time-level semi-Lagrangian scheme: Stable Extrapolation Two-Time-Level Scheme (SETTLS) has been successfully applied in the dynamic frame of T213L31 and the reduced Gaussian grid is transferred to linear Gaussian grid, which made the number of spectral truncation increase from 213 to 639 and formed so-called T639L60 system. More than one year continuous forecast experiments have been done, and the results of objective verification on the performance of 5-day precipitation forecasting and 10-day geo-potential height forecasting at 500hPa level are compared with the counterparts of operational system—T213L31.

It shows that T639L60 system makes obvious improvement on 500hPa geo-potential height forecasting over East Asia with improving one day valuable forecast time. And it also improves the precipitation forecasting at light to heavy rain levels over all efficient times according to threat score and bias. Although the threat score of T639 at storm rain level is higher than that of T213, the bias of T639 is worse than T213.

Key Words: T639 resolution correlation root mean square error threat score bias value

引 言

目前,世界上主要数值天气预报中心和发达国家都拥有各自的全球中期预报模式,而且始终是发展的主要方向,因为所有的区域模式、中尺度模式和环境模式的初始条件和侧边界都需要由全球模式来提供。数值天气预报水平高低主要取决于 3 个方面,(1)资料同化方案的先进与否;(2)模式动力过程优越与否;(3)物理过程参数化水平高低。目前一直代表世界数值预报最高水平的 ECMWF 已将全球中期谱模式的谱分辨率从 511 波提高到了 799 波,垂直层次达 91 层,已扩展到平流层顶,最高层达 0.01hPa^[1]。平均 500hPa 位势高度场预报的可用性已达到了 7 天,在冬季甚至达到了 9 天。美国 NCEP 也已将分辨率提高到 382 波来改善其预报性能。日本则已将谱模式分辨率提高到 959 波。当然模式性能的提高不可能仅仅依靠提高分辨率就可实现的,但不可否认的是在目前情况下,国家气象中心全球中期模式分辨率还存在提升空间。因此国家气象中心自 2002 年至今,经过 5 年的努力,成功实现全球模式从 T213L31(以下简称 T213)升级到 T639L60(以下简称 T639)的升级,并于 2007 年 12 月 14 日通过准业务运行评审,将于 2008 年初试提供相关产品。

1 全球谱模式的升级

目前国家气象中心的全球中期模式为 T213,其谱分辨率为 213 波,垂直层次为 31

层。该模式于 2002 年 9 月正式投入业务运行,该模式在动力过程和物理参数化方案上都明显优于 T106L19。各种预报量检验结果表明模式性能明显优于 T106L19^[2-3]。为能够与国际先进数值预报水平保持甚至缩短差距,国家气象中心与 ECMWF 合作,共同推进中期模式的进步。2004 年初,从 ECMWF 引入稳定外插半拉格朗日方案(SET-TLS),该方案保证了时间积分的稳定性,实现归约高斯格点向线性高斯格点的转换,在保证不引入噪音的情况下,加大时间步长,为提高谱分辨率提供优越的动力基础。具体的原理性介绍参见相关文献^[4-5],这里不再赘述。在双方专家的共同工作下,成功地在 T213L31 动力过程模块中引入 SET-TLS 方案,短期试验结果分析表明,引入该方案后模式运行性能稳定,将积分步长从原来的 15 分钟加大到 30 分钟,仍然有很好的精度。

在这种情况下,经过过渡阶段将 T213L31 升级到 T319L31 后,经过长期试验证明性能稳定可靠后,在解决了模式分辨率进一步升级的关键技术问题后,又将模式的谱分辨率从 213 波提高到 639 波,格点空间水平分辨率从 T213 的 $0.5625^{\circ} \times 0.5625^{\circ}$ 提高到 $0.28125^{\circ} \times 0.28125^{\circ}$,将模式垂直分辨率从 31 层提高到 60 层,使模式层顶从原先的 10hPa 升至 0.1hPa,并采用 Rayleigh 摩擦增加平流层的稳定性。在模式成功升级后,实现同三维变分同化系统 GSI 的成功联接,进行连续滚动同化预报试验,时间段为 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 11 月 30 日,下面对 T639 系统的模式稳定性、模式形势场和

降水预报结果进行分析,对 T639 系统的预报性能作简要评估。

2 T639 运行性能分析

T639 试验系统采用的时间步长为 600s,每天 4 次连续同化,每天 12UTC 进行 10 天预报。由于系统对磁盘空间和机器时间需求相当大,为保证在有限时间内完成 1 年的回算任务的同时又不影响所有业务,建立了两套试验系统,一套放在业务分区,进行实时试验,系统启动时间为 2007 年 7 月 21 日,另外一套系统建立在科研分区下,负责回算试验,系统启动时间为 2006 年 6 月 26 日。下面通过对模式预报计算机时间分析和全球平均动能和温度的逐日变化分析模式运行的稳定性情况。

2.1 模式 10 天预报运行时间

在 T639 连续运行过程中无一次出现异常终止或挂起的情况。从业务分区进行回算试验在每天 12UTC 进行 10 天预报耗时的逐日变化来看(图略),模式 10 天预报墙钟耗时在业务分区变化幅度较小,在 72~76 分钟范围内,幅度在 4 分钟以内。

2.2 模式稳定性分析

图 1 是 T639 全球平均动能 12 时逐日变化曲线。动能的变化状况也可以反映出模式的守恒与否和动能季节变化情况。从图 1 可以看到,T639 全球平均动能在试验期间变化非常平稳,在 2006 年 7 月 7 日 12 时动能达到最大值 $492.39\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 和在 2006 年 10 月 28 日 12 时达到最低值 $261.55\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 外,动能基本上在 $290\sim 450\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$ 之间变化。除去动能本身具有的季节变化特征,逐日动能变化可以较为清楚地说明 T639 模式的动力过程是非常稳定合理的。从图 2 可见,全球平均温度最大值为 248.06K,最小值

为 247.18K,逐日变化非常稳定,这也进一步证实 T639 模式系统性能的稳定可靠。

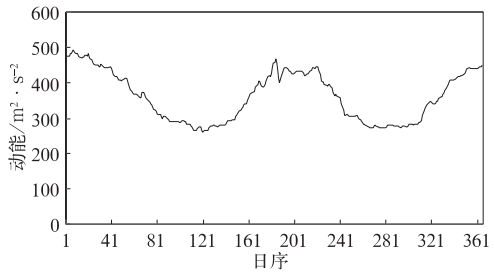


图 1 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 逐日 12 时 00 时效全球动能平均值全年逐日变化曲线
2006 年 7 月 1 日 日序为 1,7 月 2 日为 2,……

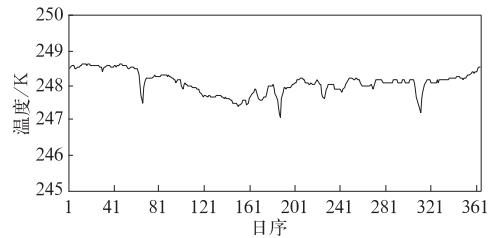


图 2 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 逐日 12 时 00 时效全球温度平均值全年逐日变化曲线
日序同图 1

3 与业务模式预报性能对比分析

3.1 形势场检验结果分析

检验全球中期模式性能的好坏要点之一是看它对形势场预报的性能如何,尤其是对 500hPa 位势高度场的预报。对于中国的预报员而言,最重要的区域自然是东亚区域,而北半球的形势场也是一个参考依据之一。依照国家气象中心的业务检验系统定义东亚地区范围:15~65°N、70~145°E,北半球范围:20~90°N、0~360°,检验时效为 10 天。检验方法为目前较为典型的距平相关系数和均方根误差检验。

图 3 是 T639 和 T213 在东亚和北半球

地区 500hPa 位势高度 10 天预报的距平相关系数年平均分布情况。从图 3 可以看到,年平均情况下,T639 在所有时效上的预报均略有优势,东亚地区在第 5~8 天提高最为明显,预报可用时效提高 1 天。在北半球,表现为在第 5~9 天预报效果提高最为显著,预报可用时效提高将近 1 天。

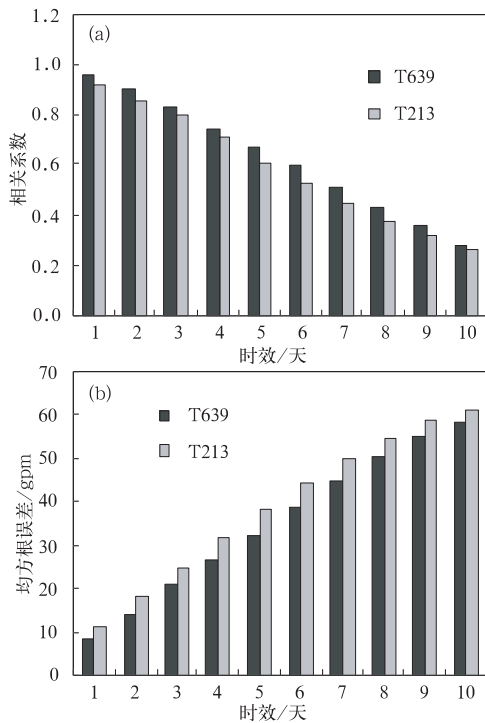


图 3 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 和 T213 东亚年平均 500hPa 位势高度 10 天预报的距平相关系数(a)和均方根误差(b)

从季节分析来看 T639 和 T213 的预报性能,可以对模式预报能力的季节特征有较清晰的认识。从各个季节 500hPa 相关系数分析(图略)可见,在春季 T639 的距平相关系数在 72 小时略低于 T213,在其它时效均高于 T213,预报可用时效提高 1 天;在北半球地区,T639 在所有时效一致好于 T213,预报可用时效提高 1 天以上。在夏季,T639 在所有时效一致好于 T213,但在东亚地区可用

预报时效提高不明显;在北半球地区,预报可用时效也提高 1 天,达到 6 天。秋季,东亚地区 T639 在所有时效一致好于 T213,预报可用时效提高 0.5 天左右,在北半球 T639 可用预报时效提高 1 天左右。冬季,东亚地区可用预报时效提高 1 天以上,北半球地区可用预报时效提高近 1 天。

从一年的平行试验结果中可见,T639 在东亚区域和北半球 500hPa 形势预报上要明显优于 T213,预报可用时效在各个季节均有明显提高,在冬、春季表现最为明显。

3.2 降水预报结果检验分析

主要降水检验采用方法包括 24 小时累积降水的 T_s 评分,预报偏差,空报率和漏报率。降水的量级划分为 5 个量级,降水预报时效目前仅考虑至 132 小时。由于目前模式预报的起报时间为世界时 12 时,而目前得到的 24 小时累积降水量的观测值的开始时间为当日世界时 00 时至次日世界时 00 时,预报起报时间与观测开始时间相差 12 小时。所以为保证时段的对应,下文图中标识的 36 小时实际为预报时效 12~36 小时之间的 24 小时累积降水(简称第一天),60 小时则表示从 36~60 小时之间 24 小时累积降水(简称第二天),84 小时代表 60~84 小时内 24 小时累积降水(简称第三天),108 小时表示 84~108 小时内 24 小时累积降水(简称第四天),132 小时表示 108~132 小时时间 24 小时累积降水(简称第五天),所以降水检验共对模式预报的未来 5 天的 24 小时累积降水进行了客观检验。所有检验方法和标准均为目前国家气象中心业务方法^[6-7]。

3.2.1 年平均状况

本文将同期全球业务模式 T213 的检验结果与 T639 进行对比分析。图 4 为 24 小时累积降水全国平均年平均 T_s 评分情况。

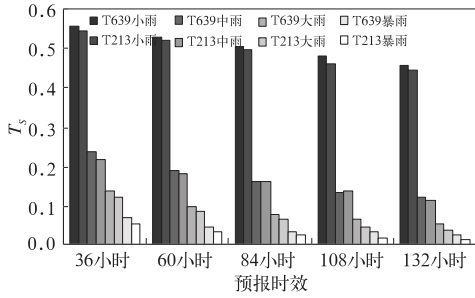


图 4 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 和 T213 年平均全国 24 小时累积降水 5 天预报的 T_s 评分

T_s 量级分析上看, T639 在小雨预报量级上 5 天预报均好于 T213; 在中雨量级上, 除第 4 天预报评分低于 T213 外, 其它时效均要好。在大雨量和暴雨量级上, 5 天预报均好于 T213。

预报时效上看, 在第 1、2、4 和 5 天预报上, T639 所有量级的 T_s 评分均比 T213 好, 以第 1 天大暴雨量级差别最明显; 在第 3 天预报上, 除大暴雨评分低于 T213 外, 其它 T_s 评分均高于 T213。

通过对 24 小时累积降水年平均的分析, 可以看到, T639 在 T_s 评分方面评价要明显优于 T213。但是如果单从 T_s 评分来看模式降水预报性能是片面的, 图 5 是 5 天 24 小时累积降水预报年平均预报偏差对比图。这里给出了 5 天预报的小、中和大雨和暴雨 4

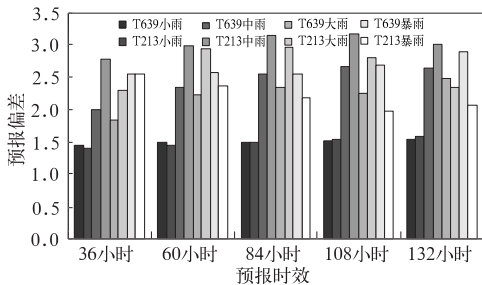


图 5 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 和 T213 年平均全国 24 小时累积降水 5 天预报的预报偏差

个量级的偏差值, 偏差值以 1 为标准, 小于 1 表示预报出现降水台站数小于实际出现降水台站数, 反之亦然。从图上可以看到, 无论是试验模式还是业务模式, 二者的降水偏差都是偏大的, 中雨和大雨这两个量级空报降水的现象明显偏多。

在小雨量级上, T639 与 T213 相当, 中雨上, T639 明显好于 T213, 大雨上, 在第 1~4 天 T639 好于 T213, 第 5 天比 T213 略差。在暴雨量级上, T639 预报偏差要比 T213 差。

从预报时效上看, 第 1~4 天, T639 小雨偏差与 T213 相当, 暴雨比 T213 差, 其它量级均好于 T213; 第 5 天, T639 在小、中雨上优于 T213, 在大雨和暴雨量级上比 T213 差。

上面对全国 24 小时累积降水预报的年平均 T_s 评分和预报偏差进行了简要分析, 总体而言 T639 年平均状况下降水预报性能要好于 T213。中国大部分地区降水集中出现在夏季, 即 6—8 月, 夏季降水预报性能的优劣是预报人员关注的重点。

3.2.2 夏季降水预报性能检验

图 6 是 2007 年夏季全国平均 24 小时累积降水 T_s 评分, 不难看出, T639 小雨量级的 T_s 评分在 5 天预报中均要高于 T213。中雨上, T639 前 2 天的优势较后 3 天更为明显。大雨方面, T639 的 T_s 评分在 5 天均高于 T213。暴雨上, T639 同样一致好于 T213, 在第 1 天更为明显。

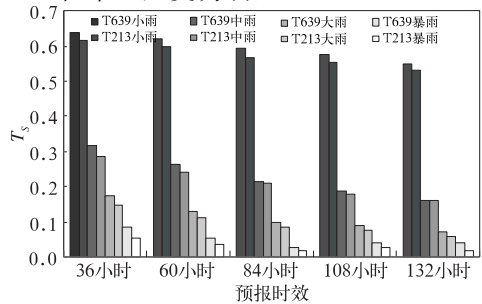


图 6 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 和 T213 全国夏季 24 小时累积降水 5 天预报的 T_s 评分

从预报时效上来看, T639 所有量级降水 T_s 值在第 1、2 天均高于 T213, 第 3~5 天中, 除第 3 天和第 5 天的中雨与 T213 相当外, 其它量级 T_s 值均高于 T213。

从上面分析可见, T639 在 2007 年夏季的 24 小时累积降水的 T_s 评分, 除中雨第 3 和第 5 天与 T213 相当外, 一致性高于 T213。

图 7 为 2007 年夏季 24 小时累积降水预报偏差, 从图中可以看到, 在小雨和中雨量级上, T639 预报偏差一致优于 T213, 在大雨上, T639 在第 1~2 天优于 T213, 在第 3~5 天, 略差于 T213, 暴雨上, T639 在第 1~2 天和 T213 相当, 第 3~5 天则比 T213 差。

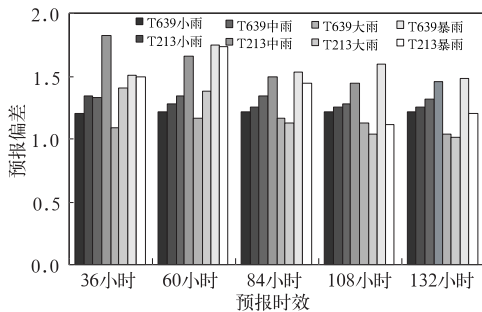


图 7 2006 年 7 月 1 日至 2007 年 6 月 30 日 T639 和 T213 全国夏季 24 小时累积降水 5 天预报的预报偏差

从时效来看, 在第 1~2 天, 除暴雨和 T213 相当外, T639 整体降水预报偏差优于 T213, 在第 3~5 天, T639 的小雨和中雨预报偏差优于 T213, 但大雨和暴雨则要略差于 T213。

4 结 论

通过全球中期预报系统成功地从 T213 升级到 T639, 对降水和形势场的描绘更加精细。通过对一年多预报试验结果进行分析, 得到主要结论如下。

(1) T639 系统运行稳定, 各项指标均符合准业务运行条件。

(2) 年平均来看, T639 系统在东亚和北半球地区 500hPa 形势预报比 T213 提高 1 天, 分季节来看, 各个季节表现不同, 在冬春季优势最为明显。

(3) 年平均降水预报性能方面, T639 在小、中和大雨方面, 无论从 T_s 还是预报偏差方面均明显好于 T213, 在暴雨上的 T_s 高于 T213, 但预报偏差也随之比 T213 差。

(4) 在夏季降水预报性能方面, T639 在 T_s 和预报偏差上, 小到中雨, T639 要明显好于 T213, 在大雨和暴雨上, T639 第 1~2 天要好于 T213, 在第 3~5 天, 虽然 T639 的 T_s 值高于 T213, 但预报偏差比 T213 差。

本文从统计检验的角度分析了 T639 中期数值预报系统的预报性能, T639 无论从形势场预报和降水预报上均比现有业务模式 T213 有明显改进, 并计划于 2008 年汛期向各级气象部门提供预报产品。T639 在今后的实际业务服务中能力如何, 将有待各级气象部门的科技人员在今后对 T639 产品使用中提供更加确切的评估。

参考文献

- [1] M. Hortal. The development and testing of a new two-time-level semi-Lagrangian Scheme (SETTSL) in the ECMWF forecast model[J]. Q. J. R. Meteorol. Soc. 2002, 128: 1671-1687.
- [2] 陈起英, 姚明明, 王雨. 国家气象中心新一代业务中期预报模式 T213L31 的主要特点[J]. 气象, 2004, 30(10): 16-21.
- [3] 陈起英, 金之雁, 伍湘君, 等. 中期数值预报系统 T213L31 在 IBM/SP 高性能计算机上的建立[J]. 应用气象学报, 2004, 15(5): 523-533.
- [4] 陈起英, 庄世宇, 金之雁. 半拉格朗日方法在全球原始方程模式中的实现[J]. 气象, 1998, 24(10): 20-24.
- [5] 陈起英, 管成功, 姚明明, 等. 全球中期模式升级关键技术研究和预报试验[J]. 气象学报, 2007, 65(4): 478-492.
- [6] 刘还珠, 黄卓. NMC 与 HLAFS 降水预报的比较[J]. 气象, 1998, 24(1): 47-52.
- [7] 王雨. 2002 年主汛期国家气象中心主客观降水预报对比检验[J]. 气象, 2003, 29(5): 21-25.