

国家气象中心新一代业务中期预报模式 T213L31 的主要特点

陈起英 姚明明 王 雨

(国家气象中心,北京 100081)

提 要

T213 中期数值预报系统于 2002 年 9 月 1 日起在国家气象中心正式业务化。作为此系统核心的 T213L31 全球模式与原业务模式 T106L19 相比,采用了一些新的数值技术,包括半拉格朗日时间积分方案的引入,采用规约格点,分布内存与共享内存并行相结合,从而在目前有限的计算机资源条件下,能积分高分辨率的模式。更重要的是,模式采用了一些更新、具有更真实物理概念的物理过程参数化方案,对于辐射方案、次网格尺度地形参数化、积云对流方案、云方案、陆面过程方案都作了很大改进,从而克服了许多 T106L19 模式中存在的问题,明显提高了 T213L31 模式的预报技巧。

关键词: T213L31 模式 T106L19 模式 动力特点 物理过程

引 言

国家气象中心数值室在引进的欧洲中期天气预报中心 IFS(Integrated Forecasting System)模式框架的基础上,经过移植改造和

开发与之匹配的最优插值(OI)资料分析同化方案、模式后处理方案、大规模并行机环境下的自动化运行流程及作业监控方案等,解决了大量模式系统开发和业务化过程中的技

术问题,形成了我国新一代全球中期数值预报业务系统——T213L31。该系统在与原业务系统 T106L19 进行了 9 个月的平行试验以后,于 2002 年 3 月投入准业务运行,其预报作为指导产品向全国气象台站下发,替代了原业务系统 T106L19。2002 年 9 月 1 日起正式业务化,成为国家气象中心新一代的中期数值预报业务系统,标志着我国的中期数值预报又迈上了一个新的台阶。

在 T213 中期预报系统试运行和准业务运行期间,数值室对模式预报进行了跟踪检验和效果评估。这期间的统计学的检验表明,无论是北半球还是东亚地区的形势场检验,T213 各时效的 500hPa 距平相关系数基本上都高于相同时效的 T106 预报;在冬、春季,T213 的北半球预报有效时效比 T106 延长了 1 天多,即使是在夏季的 6 月份,预报有效时效也延长了近 1 天,对于东亚区来说,也有类似的特点(图略)。T213 对降水落区($\geq 0.1\text{mm}$)的预报比 T106 有了明显的改善,空报率比 T106 减少。对较大量级降水的预报,TS 评分也比 T106 高。天气学的检验表明, T213 对西风指数的逐日演变、副高脊点和北界的进退变化和 48 小时之内台风的移动变化预报都较 T106 有了明显的改善; T213 模式对降水落区或雨带位置的预报优于 T106 和 HLAFS, 3 天以内的预报有较高的可信度(图略)。

作为 T213 中期数值预报系统核心的全球谱模式 T213L31,不但水平分辨率和对流层的垂直分辨率比 T106L19 模式提高了一倍,在时间积分方案和辐射、云、陆面等物理过程方案方面也进行了许多改进。本文拟针对这些特点,对 T213L31 模式进行介绍。

1 T213L31 模式的动力特点

1.1 T213L31 是我国第一代大规模并行化的中期数值预报模式

T213L31 模式为三角截断的全球谱模式,截断波数为 213 个波,在格点空间其水平分辨率达到 60km,垂直方向为 31 个 η 面,模式顶为 10hPa,水平和对流层的垂直分辨率

都比原来的业务模式 T106L19 提高了一倍,因此其计算量、内存需求和结果存储量都大大增加,使多处理机的并行处理成为必然。T106L19 虽然也在 CRAY 机上采用了双处理机共享内存并行,但是这种并行的方式受到共享内存访存的限制,并行度一般不能太大。T213L31 模式采用了共享内存并行与分布内存并行相结合的并行编程模式,用 OpenMP 实现共享内存并行, MPI 实现分布内存并行,两者相结合真正实现了在 IBM 的大规模并行机上积分高分辨率的全球模式,并充分地利用了国家气象中心目前的业务机器环境。

1.2 T213L31 在格点空间采用规约化高斯格点

所谓规约化高斯格点是指减少赤道附近地区以外的纬圈的高斯格点数,使这些纬圈的格点长度不超过在赤道的格点长度,同时剩下的格点数还能被用来进行快速傅氏变换。当全球谱模式采用三角截断时,模式在球面上的分辨率是一致的,但标准高斯格点在球面上的分辨率远非一致。例如,对 T106 来说,在接近极区时纬圈格点长度只有 1841m,而在接近赤道地区为 125km;对 T213 来说,以上数字分别为 461m 和 63km。规约化高斯格点建立在这样的论点上:在三角截断的谱变换方法中,如果某一格点长度在赤道是充分的,那么由于三角截断的各项同性,同样的格点长度实际上在每一个地方都应该是充分的。虽然这时不能对积分项进行准确无混淆的计算,但极区纬度对高波数谱成分倾向的贡献小于机器的精度。试验结果表明,采用规约化高斯格点以后覆盖全球的格点数能节省三分之一,模式计算精度并没有显著降低。

1.3 T213 模式采用半拉格朗日方法处理平流

欧拉方法是在空间中固定位置看流体的运动变化,拉格朗日平流的观点是跟着流体质点看流体运动。T106 采用的是传统的欧拉平流方案,在这个方法中,模式的积分时间

步长受到平流风速的限制,在相同的计算稳定条件下,模式需要更多的积分步数。采用半拉格朗日方案后,积分时间步长不再受到平流风速的限制,积分时间步长可以增加5倍,T213L31的积分时间步长由欧拉方案的3分钟增加到15分钟。试验表明预报质量并没有显著的降低,而CPU时间减少了4倍。考虑到半拉格朗日方案的额外开销大约为20%,采用半拉格朗日方案产生了相对于欧拉方案的4倍的有效率。

2 T213模式的物理过程及与T106模式的不同点

2.1 辐射过程

T106模式的辐射过程是Geleyn and Hollingsworth, 1979^[1]的方案;长波通量采用双流公式,吸收对温度和压力的依赖采用单参数尺度近似,只考虑了水气的p型连续吸收。短波通量采用光子路径分布的方法。这个方案存在许多系统性的误差,对于晴天大气,它过高估计了短波加热,过低估计了长波冷却。对于有云大气,模式中用于导出云光学性质的参考云与真实大气中的平均云差别很大,造成模式中高层云的辐射性质不活跃。这些辐射参数化中的缺陷造成模式大气顶的向外长波辐射过于平滑(晴空和有云区,海陆之间的对比小);平流层偏暖;热带的晴天辐射冷却太小等问题。

T213模式的长波辐射是Morcrette, 1990^[2]的方案,短波辐射是Fouquart and Bonnel, 1980^[3]的方案;在这个新的方案中,晴天长波通量的计算用比辐射率方法,同时用了一个更好的参数化方案来描述长波吸收对温度和压力的依赖关系[Morcrette al. 1986]。既考虑了水气的p型连续吸收,又考虑了e型连续吸收。在长波部分,云被作为灰体引入,长波辐射率依赖于云液体水路径。短波通量用光子路径分布方法,分开辐射传输中散射和吸收过程的贡献。散射的处理用Delta-Eddington近似,透射函数用Pade近似。采用新的辐射方案后,T213模式在大气顶的辐射收支与观测更一致,海陆之间、晴天

和有云区之间的对比增加;平流层的偏暖大大减少;热带的辐合增加,而且不像在T106的辐射方案那样积分几天以后明显减弱,因此改善了Hadley环流^[2]。

2.2 湍流扩散过程

湍流扩散过程描述了陆地表面和模式最低层之间以及模式层之间的热量、动量和水汽的湍流输送。与T106相比,T213的湍流扩散方案变化不大,两者都采用的是Louis, 1979^[4]的方案;表面通量采用Monin-Obukhov相似理论,上层大气湍流通量的计算以K扩散率概念为基础。根据大气的稳定度,用不同的公式来计算K系数。对于不稳定的边界层用K廓线闭合,对于稳定的边界层用依赖于理查逊数的闭合。但T213对原来的方案做了一些改进,对于动量、热量和水汽采用的不同粗糙度长度进行了一致的处理;修改的稳定度函数减少了在稳定条件下的扩散,因此在稳定条件下模式有更多的浅稳定边界层。

2.3 地形

模式对地形作用的描述,分为对模式格点可分辨山脉的描述和对次网格地形波的参数化。对于模式格点可分辨山脉的描述有两种方法:平均地形和包络地形。平均地形是对高分辨率的地形资料在模式格点区域上平均而得到的,包络地形是为了补偿模式对总山脉拖曳的过低估计,人为提高的模式地形,因此它是一种虚假的地形。次网格尺度地形波的参数化描述的是地形与模式层相交时产生的对流层低层的阻塞作用和次网格尺度重力波的动量传输。

T106采用的是包络地形和Baines and Palmer, 1990^[5]的次网格尺度地形拖曳参数化方案;这个参数化方案的基本原理是,当稳定层结气流越过不规则地形,激发出次网格尺度的地形重力波,上传的重力波在层结不稳定或临界层崩溃而被周围大气吸收,造成大气能量的上传,从而产生对低层大气的拖曳作用。这个参数化方案对总的山脉拖曳有过低的估计,而且产生了虚假的水平尺度接

近模式截断的山脉波。Clark and Miller (1991)^[6]用一个嵌套的高分辨率模式证明,当模式的水平分辨率小于10km时,模式对总的山脉拖曳有明显的过低估计,采用包络地形并不能完全补偿。而且包络地形对同化过程有负面影响,使更多的低层数据被拒绝,同时提高的地形造成增加的加热,从而产生了过多的对流降水。

T213采用的是平均地形和一个新的次网格地形参数化方案(Lott and Miller, 1996)^[7]。这个新的参数化方案包括两个概念模式:当次网格地形的有效高度小的时候,气流越山,重力波被气流的垂直运动所强迫,产生重力波拖曳,原理与T106的参数化方案相同;而当次网格地形的有效高度足够高的时候,气流的垂直运动受限,部分低层流绕过山脉,产生了阻塞流拖曳,这是在T106的方案中没有参数化的非线性低层山脉拖曳影响(图1)。与观测的比较表明,新的参数化方案产生的山脉拖曳与实际更一致;而且它与真实的平均地形相结合,使模式具有更高的技巧评分,且模式不再有以上所述的包络地形的缺点^[7]。

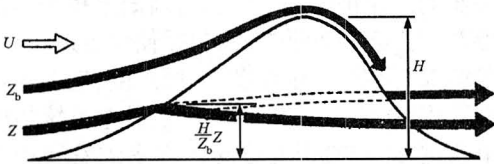


图1 新次网格尺度参数化方案的概念模型图

2.4 积云对流参数化

积云对流在决定大气温度和湿度场的垂直结构方面起着关键的作用,因此必须在模式中进行很好的描述。T106采用的方案,深对流是Kuo, 1974^[8]的方案,浅对流采用垂直扩散方案(Tiedtke, 1983)^[9]。这个方案存在的一个主要问题是造成T106模式在几天之内,在印度尼西亚地区的Hadley环流就崩溃了;同时在这个地区缺少穿透积云对流;在热带对流层上层纬向气流有大的误差发展^[10]。

T213采用的是Tiedtke, 1989^[10]的质量通量方案。这个方案用一维总体模式来描述

云集合,描述了各种类型的对流,包括与大尺度辐合流相联系的穿透对流,在抑制条件下的浅对流,例如季风积云,以及和边界层以上的位势不稳定大气和大尺度上升相联系的热带外有组织的中层对流。对于这三种对流,决定总体云质量通量的闭合假定分别是:穿透对流和浅对流由大尺度的湿度辐合所维持,浅对流由表面蒸发所提供的水汽所维持。质量通量方案引入了T106方案中没有的积云下沉支、积云动量传输和浅对流参数化,因此具有更真实的物理概念。采用这个方案以后,T213模式模拟的热带大尺度环流的非绝热加热更真实;与西太平洋和印度洋热源相联系的垂直环流更真实、更强,扩展到更大高度,而且没有像Kuo方案一样出现崩溃;此方案与同化的观测数据也更协调,初始流场的内部平衡更好,不像T106一样在预报的最初几天出现强烈调整,在预报初期没有出现明显的spin up;积云动量传输的引进大大减少了T106模式中对流层上部纬向风的大误差;中层对流的引入使模式在中纬度的对流加热更强了。

2.5 云方案

云的产生是湿对流湍流和大尺度环流、辐射和微物理过程复杂相互作用的产物。因此对于云的预报是很困难的,但又是重要的。T106的云方案是Slingo, 1987^[11]的诊断云方案。诊断方案的基本前提是小尺度的凝结是与天气尺度条件相联系的大尺度凝结体系的部分。它是利用在某种大气条件下云发生可能性的经验公式,从大尺度模式变量诊断云。例如,对流云的预报方程为 $C_c = a + b \ln P$,其中 P 为对流方案中时间平均的降水率, a 、 b 为经验常数。这个方案的主要缺点是云基本上与模式的其余部分分离,仅通过辐射诱导的温度场的变化与其它过程相互作用;云的辐射性质也必须用一些关于云水含量的假定来规定或分开计算。

T213采用的是Tiedtke, 1993^[12]的预报云方案;这个方案由云液体水/云冰和云量的预报方程所描写。它考虑了通过积云对流、

边界层湍流形成的云以及层云的形成(指非对流过程产生的云,例如湿空气的大尺度抬升、辐射冷却等),还考虑了几个重要的云过程(云顶的夹卷、降水和降水的蒸发)。与 T106 的方案相比,这个方案的优点是适当描写了次网格尺度凝结的动力影响;云与辐射、动力和水文过程有更直接的联系。

2.6 陆面过程

陆面过程的重要性在于表面的感热和潜热通量是大气热量和湿度方程的下边界条件;陆面方案的优劣在很大程度上决定了近表面天气参数(例如,低层的温度和露点温度、云)的质量;表面条件为其他物理过程提供了反馈机制(低云影响表面辐射平衡,感热和潜热通量影响边界层交换和湿对流过程的强度);另外,土壤湿度还是大气低频变率的强迫之一。

T106 的陆面过程方案把土壤分为三层,是 Blondin, 1987^[13] 的方案;这个方案基于两个活跃的土壤层的热量和水的收支方程,再加上一个土壤温度和湿度每月有个规定值的“气候层”,作为下边界条件。三层分别是 0~7.2cm, 7.2~50.4cm, 50.4~93.6cm, 各层厚度选择考虑了日变化因素及中期强迫作用。它是用一个简单的扩散方程描述陆面温度的演变过程,用一个考虑了重力作用的扩散方程描述土壤湿度的变化。模式结果与 FIFE 外场试验数据比较,存在以下问题:在湿条件下表面蒸发太大,在干条件下又太小;冬季白天表面气温偏高较明显;表面水文过程不准确,积分几天以后,很快“气候场”飘移。产生以上系统误差的主要原因是此方案没有准确描写所有时间尺度上的土壤水分传输过程。

T213 的陆表面参数化方案是 Vitesbo and Beljaar, 1995^[14] 的方案,土壤被分为四层,各层的厚度分别为 0~7cm, 7~28cm, 28~100cm, 100~255cm, 分别定性地反映了日变化,一日~一周,一周~一月和月以上时间尺度的强迫作用。四层的土壤温度和湿度都是预报量,热量和水分收支的下边界条件分

别是零热通量和自由渗漏。它与 T106 的主要差别在于,考虑了周~季节时间尺度的土壤水文过程,并且对土壤水文过程进行了更物理化的描述。水文扩散和传导率强烈地依赖于土壤湿度,降水以后水能迅速的下传;土壤的持水力足够大,可以维持干季的蒸发;考虑了降水的拦截,对于裸露土壤、干植被和湿植被蒸发率是不同的;热量和湿度的粗糙度长度不同于动量。另外,这个方案增加了一个 T106 方案中没有的表面温度,来描述顶部一个很薄的表面层对强迫的即时平衡。与 FIFE(草原草地-两个长期干季的情况)、Cabauw(草原-全年有中等强度降水的情况)和 ARME(热带森林)三个数据集的比较表明 T213 模式的结果与观测更加接近了^[15]。

3 结束语

与 T106L19 模式相比, T213L31 模式虽然取得了明显进步,但与欧洲中心在用的中期预报相比,还存在着较明显的差距。天气学的检验也表明模式预报还存在一些系统性的误差,例如降水量级预报系统性偏大,北支槽的移动系统性偏快,副高偏强、偏西。因此,模式还需要进行进一步的改进和完善,下一步的工作将需要集中在对陆面过程等物理参数化方案的改进方面,包括使用更好、更新的植被、积雪、土壤温度、土壤湿度、地形等资料。当然,除了模式本身以外,整个系统的明显改进,还有赖于变分同化方案的发展和卫星资料的应用。

参考文献

- 1 Geleyn, J.-F. and A. Hollingsworth. An economical analytical method for the computation of the interaction between scattering and line absorption of radiation. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 1979, 52: 1—16.
- 2 Morcrette, J.-J.. Impact of Changes to the Radiation Transfer Parameterizations Plus Cloud Optical Properties in the ECMWF Model. *Monthly Weather Review*, 1990, 118: 847—873.
- 3 Fouquart and B. Bonnel. Computations of solar heating of the Earth's atmosphere: A new parameterization. *Beitr. Phys. Atmosph.*, 1980, 53: 35—62.
- 4 Jean-francois Louis. A Parametric Model of Vertical Eddy

- Fluxes in the Atmosphere. *Boundary Layer Meteorology*, 1979, 17: 187—202.
- 5 Baines, P. G. and Palmer, T. N. . Rationale for a new physically based parametrization of subgrid-scale orographic effects. Technical Memorandum 1699. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 1990.
 - 6 Clark, T. L. and Miller, M. J. . Pressure drag and momentum fluxes due to the Alps. II : Representation in large-scale atmospheric models. *Q. J. R. Meteorol. Soc. ,* 1991, 117: 527—552.
 - 7 Lott, F. and Miller, M. J. . A new subgrid-scale orographic drag parametrization: Its formulation and testing. *Q. J. R. Meteorol. Soc. ,* 1996, 123: 101—127.
 - 8 Kuo, H. L. . Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci. ,* 1974, 31: 1232—1240.
 - 9 Tiedtke, M. . The sensitivity of the time-mean large-scale flow to cumulus convection in the ECMWF model. Proceedings, ECMWF workshop on convection in large-scale models. Reading, 28 Nov. -1 Dec. 1983, 297—316.
 - 10 Tiedtke, M. . A Comprehensive Mass Flux Scheme for Cumulus. Parameterization in Large-Scale Models. American Meteorological Society, 1989, 117: 1779—1800.
 - 11 Slingo, J. M. . The Development and Verification of a Cloud Prediction Scheme for the ECMWF Model. *Q. J. R. Meteorol. Soc. ,* 1987, 113: 899—927.
 - 12 Tiedtke, M. . Representation of clouds in large-scale models. *Mon. Weather Rev. ,* 1993, 121: 3040—3061.
 - 13 Blondin, C. , and H. Bottger. . The surface and sub-surface parametrization scheme in the ECMWF forecasting system. Revision and operational assessment of weather elements. ECMWF Tech. Memo. , 1987, 135: 48.
 - 14 Viterbo, P. And Beljaars, A. C. M. . An Improved Land Surface Parametrization Scheme in the ECMWF Model and its validation. Technical Report 75, Research Department, ECMWF, 1995.

A New Generation of Operational Medium-range Weather Forecast Model T213L31 in National Meteorological Center

Chen Qiying Yao Mingming Wang Yu

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract

The medium-range numerical weather forecast system T213 became an operational one on 1 September 2002 in the National Meteorological Center. As the core of the new system, the global model T213L31 uses some new numerical techniques and time integration scheme, which include the introduction of the semi-Lagrangian treatment of advection, the use of a reduced Gaussian grid, improvements to the model's basic architecture, the application of distributed memory and shared memory parallelization, realizing the running of high resolution model on the computers now available in National Meteorological Center. It is even more important that, T213L31 uses some new physical parametrization schemes with more realistic physical concept, for example, the schemes for radiation, subgrid-scale orographic drag, convection, clouds and land surface parametrization, therefore overcomes a lot of problems that T106L19 suffers and enhances the forecast skill obviously.

Key Words: T213L31 model T106L19 model dynamic features physical processes