

快速更新同化预报的关键技术综述

陈葆德 王晓峰 李泓 张蕾

(中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)

摘要: 快速更新同化预报技术(简称RUC或RR)是近来针对短时临近预报应用发展的数值预报技术。回顾了国内外的发展历程及现状,介绍了关键的相关技术,主要包括:(1)绝热与非绝热数字初始化;(2)冷、暖和热启动技术与循环同化;(3)云分析技术;(4)近地面资料同化等,并阐述了快速更新同化预报技术未来的发展。

关键词: 快速更新同化预报, 短时临近预报, 数值天气预报, 资料同化

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.02.003

An Overview of the Key Techniques in Rapid Refresh Assimilation and Forecast

Chen Baode, Wang Xiaofeng, Li Hong, Zhang Lei

(Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, Shanghai 200030)

Abstract: High-frequency assimilation and forecast (Rapid Update Cycle, RUC or Rapid Refresh, RR) have been developed for numerical weather prediction of short-range forecasting in recent years. In this paper, the history and status of RUC (or RR) are reviewed. Several relevant key issues are addressed, including: 1) adiabatic digital filter initialization (DFI) and diabatic digital filter initialization (DDFI); 2) cold start, warm start and hot start initialization techniques; 3) cloud analysis technique; 4) issues for assimilating near-surface observations. Finally, the challenges, opportunities and future directions for rapid refresh systems are discussed.

Keywords: rapid refresh assimilation and forecast, nowcasting, numerical weather prediction, data assimilation

1 引言

自1994年业务化以来,美国NCEP(National Centers of Environmental Prediction)的快速更新同化预报系统(Rapid Update Cycle, 简称RUC)^[1, 2]所提供的0~12h预报已成为航空气象、强对流灾害天气等主要的中尺度预报指导产品。RUC由同化和预报两个部分构成,通过高频次的资料同化吸收最新的观测信息,不断更新模式背景场,形成更准确的初始场并进行短期预报。自业务运行以来,RUC系统进行了多次改进与升级^[3-5],新一代的快速更新同化预报系统(Repaid Refresh, 简称RR)于2012年正式业务化并取代原来的RUC系统(<http://repaidrefresh.noaa.gov>)。

随着我国数值预报、计算机能力和探测技术的发展进步,近些年也开展了快速更新同化预报系统的研制和业务化应用^[6-8],然而与先进国家水平相比,无论是多种高频观测资料的应用还是同化系统与模式的发展,都有较大差距。在我国经济高速发展的背景下,

社会对高影响天气越来越敏感,公众及高敏感行业对灾害天气的精细化滚动预报的要求也越来越高。为提高对天气系统的短时临近数值预报能力,本文回顾了国内外快速更新同化预报系统的发展历程及现状,总结其中的关键技术和难点,分析未来的发展方向,以期对我国发展和完善基于快速更新同化的短时临近数值预报系统有所帮助。

2 为什么要发展快速更新同化预报系统

针对强对流天气系统的0~6h预报,各大气气象研究和业务中心主要基于雷达回波与卫星图像的简单外推以及实践经验,发展了各种类型的短时临近预报(NOWCASTING)系统,业务应用表明它们在0~1h的预报中相当有效。然而由于缺乏对强对流系统的发生、发展和消亡的物理机制描述,其预报能力随预报时效增加迅速降低^[9]。如图1中的蓝线所示,一般而言时效超过1h以上的预报可信度大大降低,尤其是对强对流系统发展、演变的预报。采用数值模式预报强对流系统,虽然对动力与物理过程的描述存在着各种各样的不足,但对强对流系统活动的预报在原理上应该远优于简单的外推方法。鉴于强对流系统水平尺度较小、生命史较短的特点,模式初始时刻对当前对流

收稿日期: 2012年4月6日; 修回日期: 2012年4月22日

第一作者: 陈葆德(1964—), Email: baode@mail.typhoon.gov.cn

资助信息: 国家自然科学基金项目(41175094); 上海科委科研项目(10231203700)

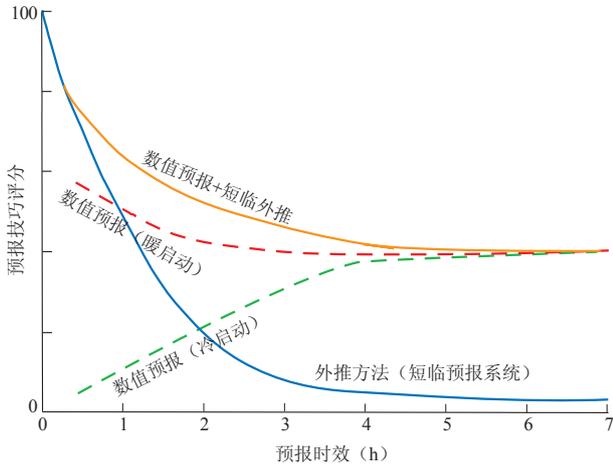


图1 数值预报技术、短时临近预报技术预报技巧比较示意图

系统的准确把握是关键。传统的每6h或更长时间更新一次模式初值的数值预报系统显然不适合于短临时间尺度的预报，因此进行较短时间间隔的高频资料同化以便初始场尽可能包含对流系统的信息就显得十分必要。美国在1991年开始研究快速更新同化技术，并于1994年开始业务化运行。但是高频资料同化存在着模式初始变量不协调而引发的较长时间 (>1h) 的初始平衡问题与误差积累等问题，它们可以大大削弱模式1~2h的预报能力，为此所谓的热启动技术就应运而生（见下节）。需要指出的是，对于强对流天气系统的短时临近预报，基于快速更新同化的数值预报系统与基于外推和经验的短临系统相结合（blending）是提高短时临近预报准确率的重要方向（图1）。

3 快速更新同化预报系统的关键技术

3.1 绝热与非绝热数字初始化

由于模式本身和初始场均不是完全准确的，模式预报不可避免地存在误差，且预报误差随预报时效非线性增长，资料同化的目的即是利用观测资料修正模式预报。一般天气尺度模式系统同化的频率是每6h一次，而对流系统因其发展迅猛、生命史短、预报误差增长快等特点，需要高频次观测资料对模式初值不断同化更新，以得到更精准的模式初值，继而提高预报准确率，因此高频资料同化对强对流系统预报的好处是显而易见的。

然而，高频资料同化也会带来一些问题。由于观测类型的不完整性及资料本身的误差，同化后的变量之间不可避免地存在物理不平衡性，由此激发的重力波将会导致预报误差的异常增长，这些虚假重力波的影响在模式积分一段时间后会通过平衡调整逐渐消失，一般将此过程称为平衡调整过程（spin-up），所需时间称为spin-up时间。模式的预报只有在调整

期后才是可信的。然而，高频同化会不断累加、放大这种重力波的噪音效应，使预报结果甚至差于一般同化频率的模式预报。为控制重力波噪音，在高频同化系统中需要使用数字滤波初始化技术（digital filter initialization, DFI）来过滤掉初始场中的高频噪音（重力波）。早期的系统使用绝热的DFI即在模式预报之前对初值场进行向前和向后一段时间的绝热积分^[1]。近年来快速更新同化预报系统开始使用基于雷达反射率的非绝热DFI技术（diabatic digital filter initialization, DDFI）^[10]。DDFI与DFI的差别在于DDFI在向后一段时间积分时，引入了由雷达反射率通过云分析（见3.3节）所确定的潜热加热率。它的主要作用在于其可以修正初始风场，以使得风场与初始对流活动大体上相匹配。

3.2 冷启动、暖启动和热启动技术与循环同化设计

尽量缩短spin-up时间是提高快速更新同化预报系统性能和效率的关键之一，模式的冷启动（Cold Start）、暖启动（Warm Start）和热启动（Hot Start）技术与循环同化方案中对各种启动技术的合理配置，都是针对如何尽量缩短spin-up时间的。

模式冷启动指区域模式背景场由其他低分辨率模式（如全球模式）提供，以此为背景场做同化或直接当作初始分析场进行预报，它的好处是可以保证模式预报不偏离大尺度背景或环境场，但由于初始场中缺乏中尺度信息，特别是云和水物质的特征量一般而言为零，模式需要较长的spin-up时间。模式暖启动与热启动时，同化背景场来自系统模式自身上一时刻的预报，这时的背景场已包括云和水物质的特征量，如果在同化时不进行云和水物质的调整（通常初始垂直速度也取为零），直接进入模式的下次预报，称为暖启动；如果在同化时通过雷达资料直接同化或使用复杂云分析对与对流系统相关的云和水物质也进行调整，并且也调整相应的垂直速度，使用这种初始场启动模式，称为热启动。

将各种启动方式按时间合理组合，进行连续各时段预报就构成了循环同化预报。这里需要指出循环同化预报技术对中尺度天气的短时临近预报十分必要，因其：1）允许高分辨模式保留模式上一循环中所发展的小尺度特征，特别是当前观测中没有的相关垂直运动；2）维持初始场与模式物理参数化的平衡，例如，如果初始相对湿度与云参数化方案需要的初始云场不匹配，模式前几小时的积分会生成过多的云和降水或者使云和降水消失。但是循环同化预报时，高分辨预报模式会产生虚假的小尺度特征，由于观测网通

常无法解析这些小尺度特征,也就无法在同化中使用观测来订正。这些误差有时将会被一直代入下一循环的预报,最终使得预报大幅度偏离大尺度环境场而导致预报完全失败。为保证模式预报不偏离大尺度背景或环境场,一段时间后模式必须进行冷启动,而预报系统何时或多长时间进行冷启动,依赖于实际应用经验和对大气系统的理解,为体现完整的日变化特征,一个冷启动到下个冷启动通常取为24h。以上海区域中心的SMB-WARR(见第4节)为例,考虑到通常夜间对流活动不活跃,边界层相对稳定,其选择当地的凌晨2时为冷启动时间,每24h系统冷启动一次。

3.3 云分析技术

在快速更新同化预报系统中,每次模式启动时,需要对模式初始变量(包括云、水物质含量和地表变量等)进行更新,使模式不断吸收反映天气系统时间演变的观测信息从而达到使模式初始场更加接近实际天气状况的目的。要快速获得有关对流的信息(如云和降水),并同化进入模式初始场中,云分析方法(cloud analysis)是个不错的选择。国外目前在业务中使用的云分析系统包括美国空军的CDF5-II(Cloud Depiction and Forecast System),英国气象局的Nimrod(Nowcasting and Initialization for Modeling Using Regional Observation Data Scheme),美国俄克拉荷马大学CAPS(Center for Analysis and Prediction of Storms)的ARPS,NOAA的LAPS(Local Analysis and Prediction System)和RUC/RR(Rapid Update Cycling/Rapid Refresh)。云分析方法的基本原理大体上一致,即首先根据地面、雷达和卫星等观测资料所提供的有关云与降水信息,结合数值预报模式结果得到云的几何特征(如云顶和云底高度,云类型等),然后通过对云内的温度和水汽场进行调整(如基于绝热上升的热力调整)得到云水物质参数的混合率和分布^[10-15]。以ARPS中ADAS云分析为例,它首先通过地面、雷达和卫星等观测资料得到模式格点上的云量和云顶高度;然后根据三维雷达反射率资料通过Smith-Feddes模型,并考虑干空气夹卷过程及凝结过程对云水量的损耗,得到云水、云冰混合比;而雨水、雪、冰雹等降水粒子场则是由模式格点上的温度场和雷达反射率通过雷达反射率方程诊断分析获得;最后根据与云水、云冰对应的潜热释放,基于湿绝热假定对云内温度场进行调整。云分析通过综合使用卫星、雷达和地面观测资料逐步完善和实现了对模式初始场的三维云特征量场的构造和修正,同时现在的云分析方案在对云的云水、云冰特征量的分析时还分别考虑了层

云与积云的不同特征,在物理机制上的设计也更为合理。研究表明使用该方法可以缩短模式spin-up时间和提高模式中小尺度对流降水的预报效果^[12]。但是需要指出的是,通过云分析方法得到的云水物质的混合比与模式的初始预报量(温度、湿度或者垂直速度)不平衡,有时会造成模式的积分不稳定等问题,这些可以通过非绝热DFI技术来解决。

3.4 近地面资料同化技术

近地面资料由于有较高的时空分辨率(如每小时的地面自动站2m温度和10m风观测),它自然成为快速更新同化预报系统中,对背景场进行快速更新同化时重要的观测资料来源。尽管各种近地面观测可以较容易得到,但是实际上将其同化入系统并不容易,主要原因如下:1)缺乏好的或合理的方法将近地面观测与大气的三维结构相关联,因此近地面观测的作用在模式积分过程中很快就会消失;2)如果不进行严格的质量控制和大量的试验,近地面观测的引入可能会破坏模式预报的边界层结构;3)模式地形与观测站的地形高度不一致,可能对近地面变量特别是气温和风产生严重影响;4)近地面观测在某些地区分布太密集以至于观测资料的水平分辨率大于模式的分辨率,这时可能产生模式和观测的代表性差异,且过密的资料分布有时可能使分析太接近于观测,如果观测质量不高且又低估了观测误差时会使得分析精度下降;5)同化系统中对近地面资料的观测误差取值有待改进;6)同化方案中的观测算子(如基于相似理论)尚存在较大误差。

有许多研究工作致力于解决上述问题,如美国的RUC系统利用模式背景场提供的局地温度递减率将近地面观测资料外插到模式地表高度,其中外插精度很大程度上取决于背景场对近地层热力稳定度的把握程度^[16]。

3.5 同化频率与资料空间分辨率

快速更新同化预报系统初值的准确性还取决于资料的空间密度、资料质量及同化方法。时间上过高的同化频率会导致资料在空间分布上的不足,继而可能对那些时空分辨率不足的观测资料同化造成负面影响。以飞机报资料为例,其时空分辨率取决于非常不规则的飞行线路。如果同化间隔为6h,则正负3h同化窗口内的资料空间分辨率较高,但存在的问题是窗口内很多资料的观测时间与实际的同化时间并不一致,对快速移动的风暴系统而言这种时间代表性误差会导致同化的失败;而当同化间隔缩小至1h,正负半小时同化窗口内的资料时间差问题减弱,但资料的空间分

分辨率也大大降低。Benjamin等^[1]指出，在相同的资料量条件下，连续高频次的低密度资料同化效果可能劣于低频次的高密度资料同化。这种时、空分辨率上的两难取舍取决于风暴的移速，当风暴准静止时，同化频率可取的非常低以获得空间上高密度的资料；当风暴移速较快时，要适当增加同化频率以降低时间代表性误差，但太高的频率又会造成资料空间代表性上的不足，影响同化效果^[1]。

4 快速更新同化预报系统发展的历史沿革

4.1 美国快速更新同化预报系统发展的历史沿革

美国首先在1991年开始了快速更新同化预报技术的研究开发，并于1994年开始在NCEP业务运行（RUC1）。RUC1采用静力平衡原始方程模式，水平分辨率60km，垂直方向25层，使用最优插值（Optimal Interpolation, OI）技术每3h进行一次资料同化更新^[1]；之后经过几次更新和升级^[1-5]（表1），2005年系统水平分辨率已提升至13km，垂直方向50层，采用3维变分（3DVAR）技术，进行1h同化更新。为得到更准确的云和水物质初始场，从2002年（RUC20）起，系统开始使用云分析技术利用卫星观测云顶资料对云和水物质进行调整^[13]，之后通过逐步补充更多的观测资料（包括雷达反射率），对云的描述更加完善^[14, 15]。云分析技术在RUC系统初始化过程中起着至关重要的作用。

虽然RUC系统经历了多次升级，但其模式动力框架还是静力模式。随着非静力模式的发展，NOAA/NCEP（RUC系统业务应用部门）和NOAA/ESRL/GSD（RUC系统研发机构）于2002年决定发展以非静力模式WRF为基础的新一代快速更新同化预报系统，除模式替换外，同化系统也将换成GSI（Gridpoint Statistical Interpolation）以增加系统对卫星辐射率的直接同化功能。自2003年以来，在经过了WRF-RUC测试（以RUC初始场驱动WRF，Weather Research and Forecasting）、WRF动力框架比较测试^[17]（在WRF-ARW和WRF-NMM两种动力框架中选择了WRF-ARW）、GSI系统功能拓展^[3, 4]（移植RUC已有的云分析、雷达反射率资料同化、非绝热DFI、地表资料

同化等技术）、云分析模块升级^[12]（增加深对流云分析方案）等一系列研发之后，基于WRF-ARW模式（水平分辨率仍为13km）和GSI同化系统的RR系统于2007年底开始快速同化循环试验^[18]，经过几年的测试运行，计划于2012年正式取代RUC业务系统。与此同时，更高分辨率（3km）的RR系统（High-Resolution Rapid Refresh，简称HRRR）于2011年4月开始在NOAA/ESRL/GSD测试。与13km RR相比，HRRR不使用对流参数化方案，模式直接解析对流系统，初始场和侧边界由同步运行的RR提供。

4.2 国内快速更新同化预报系统发展现状

近几年，我国加大了针对中小尺度天气系统观测的布网力度，观测手段及自动化水平逐步接近国际先进水平，具备了发展快速同化系统的观测基础。在我国东部地区已建成包括自动气象站、单双频地基GPS（Global Position System）站、风廓线仪、多普勒雷达和微波辐射计在内的局地中小尺度观测网，观测资料在时间和空间分辨率上都得到了极大的提高。通常一个时次的常规地面观测超过1000个，自动站资料可达2万个以上，雷达等非常规探测在硬件建设和布网上发展非常迅速。目前，长三角地区已有13部多普勒天气雷达（徐州、连云港、盐城、南京、南通、上海南汇及青浦、杭州、金华、宁波、舟山、温州、衢州），在建4部（江苏常州、浙江湖州、杭州及丽水）。计划建设25部风廓线仪，其中江苏新建6部，浙江新建5部（已建成湖州、义乌、嘉兴），上海新建11部（已建成10部），并完成长三角风廓线组网。长三角区域将有79个GPS站可参与加密观测，其中参与中国气象局业务考核的有江苏62个、上海9个、浙江1个。这些观测在日常业务预报与科学研究中起着举足轻重的作用。如何有效利用各种常规和非常规气象资料，充分发挥先进探测手段的作用，提高突发性天气的预报能力，提供时间上更密集、空间和量级上更准确的精细数值预报服务，已成为日益突出的问题。在国内，虽然对快速更新同化和预报技术的研究和应用起步较晚，但近年来发展迅速。以上海、北京及广州为代表，基于本地特色，分别建立了不同技术路线的快速更新同化预报系统。

2009年1月，上海建立了基于ADAS资料同化系统和区域中尺度数值模式WRF的快速更新同化预报系统（SMB-WARR，Shanghai Meteorological Bureau-WRF ADAS Rapid Refresh System），同年7月准业务运行，2009年底实现业务运行至今。该系统的水平分辨率为3km，垂直分辨率为51层，预报区域覆盖华东

表1 RUC业务系统模式分辨率、动力框架、同化频率、同化方法发展历史沿革

RUC系统	NCEP业务化时间	水平分辨率	垂直层数	同化频率	同化方法	模式动力框架
RUC1	1994年9月	60km	25	3h	OI	静力平衡原始方程 isentropic-sigma 混合坐标
RUC2	1998年4月	40km	40	1h	OI	
RUC20	2002年4月	20km	50	1h	OI	
	2003年5月	20km	50	1h	3DVAR	
RUC13	2005年6月	13km	50	1h	3DVAR	

及其周边地区,系统采用逐小时循环同化的方式对观测资料进行同化,每日02时冷启动,冷启动的背景场和侧边界条件由NCEP GFS 6h的全球预报场提供,其他时刻同化的背景场则由SMB-WARR系统上一时次的1h预报场提供。系统每小时启动一次预报,预报时效为12h,并提供逐小时高分辨率中尺度分析场。实时业务的同化观测资料包括常规天气观测、机场地面报、船舶、浮标、自动站、飞机报、探空、雷达反射率和FY-2E红外和可见光辐射率资料,如图2所示。其中,雷达反射率和FY-2E红外和可见光辐射率资料主要采用云分析技术进行同化,雷达反射率资料主要用于改进和修正云和降水的垂直结构特征,而FY-2E红外和可见光辐射率观测则主要用于修正初始场中有关云顶高度和云量的特征,关于云分析技术的具体叙述见3.3节。其他观测资料则是通过ADAS的逐步订正方法实现同化。通过3年来的测试及优化,该系统在短时临近天气预报中发挥了越来越重要的作用;上海地区2011年汛期强对流预报检验表明,其对午后强对流天气的预报明显优于同时次起报的华东区域中尺度预报模式(SMB-WARMS)和欧洲中心的高分辨模式的预报结果^①。

北京同化预报系统(BJ-RUC)亦采用WRF模式,与SMB-WARR不同之处在于其同化系统采用三维变分技术。区域配置采用三重嵌套 $27 \times 9 \times 3 \text{ km}$, 3 km 分辨率的预报区域主要覆盖北京及其周边地区,垂直

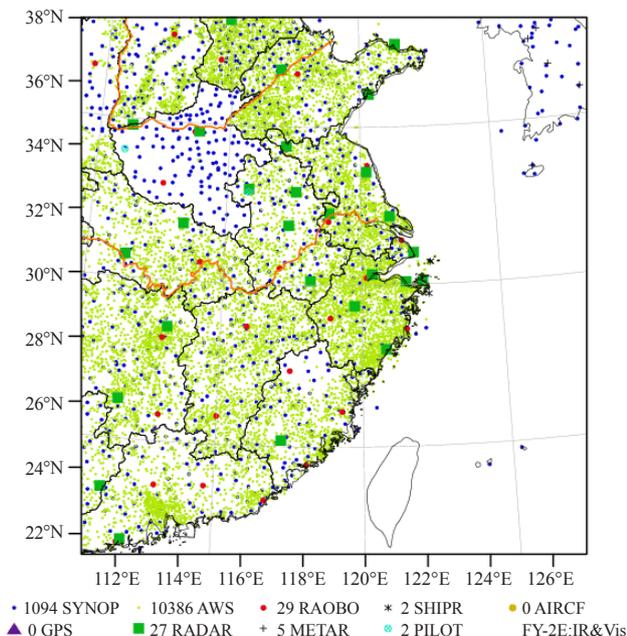


图2 2012年3月22日20时SMB-WARR同化的观测资料种类及分布

① 上海台风所汛期会商材料重要天气过程数值预报应用分析第5和第6期。

分辨率均为37层。每日20时冷启动,冷启动的背景场和侧边界条件由NCEP GFS 6h的全球预报场提供,每隔3h同化一次探空、地面、船舶观测资料以及北京地区的自动站和地基GPS PW可降水量观测资料,预报时效为18h。其业务运行结果表明, 3 km 分辨率无论是降水时段、落区和雨量均较 9 km 分辨率有更好的预报效果,尤其是大量级降水的预报,但系统对局地对流降水的预报能力仍然有限^⑥。

广州在GRAPES_meso及三维变分同化基础上发展了快速更新同化预报系统(GRAPES-CHAF)。模式分辨率为 0.12° ,预报区域主要覆盖华南地区。采用三维变分同化方法对卫星反演的云迹风、雷达径向风、VAD风、飞机报、地面、船舶和探空观测资料进行同化,通过云分析技术和nudging方法对雷达回波进行同化。该系统采用逐小时循环同化和每3h间隔的滚动预报,预报时效为24h。多种测试和汛期连续试验表明,系统运行稳定可靠。通过1个月的滚动预报综合分析和个例预报分析均表明,预报稳定有效,与观测分布基本一致,初步具备开展短时临近预报的能力^⑦。在原广州热带海洋气象研究所GRAPES-CHAF基础上,国家气象中心采用新版的GRAPES-Meso模式与区域GRAPES-3DVAR,建立了优化后的RUC同化预报系统。其模式分辨率为 0.15° ,预报区域覆盖全国,其同化的观测资料类型与GRAPES-CHAF类似。每3h启动一次预报,预报时效为24h^⑧。

对比国内各家快速更新同化预报系统,北京和广州均采用3DVAR而上海使用ADAS方案;从同化资料的种类看,广州的系统资料种类相对较多(如云导风、雷达径向风等)。然而和美国的RUC/RR系统相比,国内系统可同化的高空资料种类和数量严重不足,尤其是飞机报资料。飞机报是美国RUC/RR系统高频资料的重要来源,每小时的资料量为数千个(参见文献1中表2),而国内使用的飞机报不到上述资料量的十分之一。此外,国内卫星、雷达及其反演资料的质量也一定程度上影响了快速更新同化预报系统的发展。

5 快速更新同化预报系统的未来发展与挑战

快速更新同化系统的研发已进行了20多年,其在美国已逐步成为强对流短临预报的重要工具且在许多领域得到了应用。近年来世界上不少国家(如英国、澳大利亚等)也开始研发或已建立了自己的快速更新同化系统。但是从整体来看,它还处于研究、试验和业务应用不断改进的阶段,其预报的准确性、时效性

还不能完全满足要求^①。

基于外推的短时临近预报系统可以很好地描述系统的“线性”发展，如日变化和平流为主的过程等，但当遇到“非线性”为主的系统与影响时，如对流的发生发展、下垫面过程（海陆风、地形）、云的覆盖及其变化等，它们就无能为力。而高分辨数值模式对短临预报的价值正是在于预报系统“非线性”发展变化的“潜在”能力。随着资料来源的多源化，站网布局的科学化和观测获取的自动化以及超级计算机的突破性进展，目前短时临近天气预报正处于一场重大的转变之中。这对快速更新同化预报系统既是一个机遇也是一个挑战，它的未来发展仍将主要依赖于高分辨数值预报模式和同化技术的发展。

模式中许多物理过程影响着短临预报，其中主要涉及到微物理过程（对流与强降水）、下垫面与复杂地形过程（弱强迫条件下的对流发生发展、边界层变化）、湿度的初始化以及云与辐射的相互作用（大尺度云与降水）。目前高分辨数值预报模式特别是对物理过程的描述还无法完全满足短时临近预报的要求，特别是与对流与强降水密切相关的微物理过程。一般说来，云解析（cloud-resolving, 1~3km水平分辨率）模式可以成功地模拟超级单体的实际结构和运动，但是云模式的成功并不意味着其能够正确地预报对流系统的发生发展，主要由于：1）如何在同化把握天气系统大尺度特征（如CAPE, shear）的同时，得到正确的初始对流系统结构（同化中远没有解决的问题）；2）目前的云微物理参数化方案，由于受计算能力限制，需假定云雾粒子的尺寸分布服从某种特定函数。在这种“总体（bulk）”的云雾微物理参数化框架下，即使有“完美”的初始条件，也无法或不能够精确描述对流系统的演变。可以预见在未来的20年，即便有计算能力的飞速发展，业务高分辨数值预报模式中使用“总体”云微物理参数化架构也无法改变，因此对微物理参数化中所产生的“非确定性”将主要依靠针对具体的应用/季节/地区的“调节（tuning）”来减少。

未来同化技术的发展要使系统能够进行各种精细的初始化，包括对流（风暴）的初始化，陆面初始化，地形（气）流初始化与云的初始化。在快速更新同化中对流（风暴）的初始化比其他过程的初始化更为重要。而对于风暴初始化，雷达资料的作用至关重要。未来雷达同化技术的发展面临着几个方面的挑战。对于反射率资料同化包括：1）改进简单技术

（如Z-R）中潜热和相对湿度的精度，2）保证与动力过程的平衡，3）精确的误差统计等。对于雷达径向风资料同化包括：1）合理有效的切向风反演，2）晴空杂波（clear air returns）的处理，3）保证与热力和微物理过程的平衡，4）速度退模糊。此外，随着计算能力的飞速发展，未来20年内风暴尺度模式的水平分辨率可能达到250m，现有的同化技术（变分方法、集合卡尔曼滤波、二者的混合同化方法等）哪个更合适高分辨率模式需要深入研究；对各种资料处理和质量控制的技术需要提高，对其误差的统计特征需要明确。

鉴于高分辨数值模式和资料同化的“不完美性”，许多中尺度天气系统本质上是不可进行“确定性”预报的，因此发展基于集合预报的短时临近概率预报是未来一个重要方向。美国已开始着手研发和试验以HRRR为基础的时间滞后集合预报系统（High-Resolution Rapid Refresh Ensemble, 简称HRRRE），我国上海也开始了相关的业务试验。

如何评价快速更新同化系统对短临系统的预报能力亦是一个当前需要面对的难题。传统的模式评价方法难以对高分辨、高频次的快速同化系统做出客观评价，发展科学的、标准的检验技术对正确认识快速更新同化系统的能力具有重要意义。开发针对快速更新同化的标准检验技术并进行统一检验，这对我国未来发展和完善快速更新同化系统是十分有益的。

我国地域辽阔，地形复杂，决定了气候复杂多变，天气气候灾害频发，发展短时临近数值预报的能力十分必要。然而目前我国观测网资料的时空分布十分不均、关键观测仪器的类型不一致（西部C波段雷达、中东部S波段雷达）和观测资料误差的系统统计缺乏等，再加上地形、下垫面、海岸线等分布极为复杂等，都极大地增加了快速更新同化预报系统的发展难度。因此在我国短临预报业务发展规划中，应综合考虑发展覆盖全国的快速更新同化预报系统的必要性与可行性，在业务研究发展上要向相关领域倾斜；要考虑如何根据观测网资料条件和业务需要选择同化方法、模式分辨率和同化更新策略的问题。我国已明确了“科学调整站网布局、提升观测自动化水平、增强观测能力、确保观测系统稳定运行、发挥观测系统效益”的观测网发展方针，在未来观测网建设中，要进一步发挥数值预报技术的指导作用，如开展O S S E（Observing System Simulation Experiments）等，要充分考虑观测在数值预报尤其是快速更新同化系统中的

^① 2011年，WMO/WWRP Workshop on Use of NWP for Nowcasting, <http://wmo-workshop-on-the-use-of-nwp-for-nowcasting.wikispaces.com>。

应用和需要,以便最大程度地发挥观测网的社会及经济效益。

致谢:本文是在许小峰研究员和汤绪研究员的启发与鼓励下完成的,特此感谢。

参考文献

- [1] Benjamin S G, Devenyi D, Weygandt S, et al. An hourly assimilation-forecast cycle: The RUC. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 495-518.
- [2] Benjamin S G, Grell G, Brown J M, et al. Mesoscale weather prediction with the RUC hybrid isentropic-terrain-following coordinate model. *Mon Wea Rev*, 2004, 132: 473-494.
- [3] Benjamin S G, Brown J M, Brundage K J, et al. From the 13-km RUC to the Rapid Refresh, AMS 12th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology (ARAM). Atlanta, GA, 2006.
- [4] Benjamin S G, Brown J M, Brundage K J, et al. From the radar-enhanced RUC to the WRF-based Rapid Refresh, AMS 22nd Conference on Weather Analysis and Forecasting. Park City, Utah, 2007.
- [5] Benjamin S G, Weygandt S S, Alexander C R, et al. NOAA's hourly-updated 3km HRRR and RUC/Rapid Refresh-recent (2010) and upcoming changes toward improving weather guidance for air-traffic management. 2011.
- [6] 范水勇, 陈敏, 仲跻芹, 等. 北京地区高分辨率快速循环同化预报系统性能检验和评估. *暴雨灾害*, 2009, 28(2): 119-125.
- [7] 陈子通, 黄燕燕, 万齐林, 等. 快速更新循环同化预报系统的汛期试验与分析. *热带气象学报*, 2010, 26(1): 49-54.
- [8] 郝民, 徐枝芳, 陶士伟, 等. GRAPES RUC系统模拟研究及应用试验. *高原气象*, 2011, 30(6): 1573-1583.
- [9] Wilson J W. Precipitation Nowcasting: Past, Present and Future. 6th International Symposium on Hydrological Applications of Weather Radar, 2011.
- [10] Weygandt S, Benjamin S G. Radar reflectivity-based initialization of precipitation systems using a diabatic digital filter within the rapid update cycle. 18th Conf Num Wea Pred, Park City, UT, 2007.
- [11] Hu M, Xue M, Brewster K. 3DVAR and cloud analysis with WSR-88D level-II data for the prediction of the Fort Worth, Texas, Tornadoic Thunderstorms. Part I: Cloud analysis and its impact. *Mon Wea Rev*, 2006, 134: 675-698.
- [12] Hu M, Weygandt S, Benjamin S G, et al. Ongoing development and testing of generalized cloud analysis package within GSI for initializing Rapid Refresh, Preprints, 13th Conf on Aviation, Range and Aerospace Meteorology. New Orleans, LA, 2008.
- [13] Benjamin S G, Weygandt S S, Brown J M, et al. Assimilation of METAR cloud and visibility observations in the RUC. 11th Conference on Aviation, Range, Aerospace and 22nd Conference on Severe Local Storms. Hyannis, MA, 2004.
- [14] Weygandt S, Benjamin S G, Dévényi D, et al. Cloud and hydrometeor analysis using metar, radar, and satellite data within the RUC/Rapid-Refresh model. 12th Conference on Aviation Range and Aerospace Meteorology. Atlanta, GA, 2006.
- [15] Weygandt S S, Benjamin S G, Brown J M, et al. Assimilation of lightning data into RUC model forecasting. 2nd Intl Lightning Meteorology Conf. Tucson, AZ, 2006.
- [16] Devenyi D, Benjamin S G. A variational assimilation technique in a hybrid isentropic-sigma coordinate. *Meteor Atmos Phys*, 2003, 82: 245-257.
- [17] Brown J M, Benjamin S G, Smirnova T, et al. Rapid-Refresh Core Test: Aspects of WRF-NMM and WRF-ARW forecast performance relevant to the Rapid-Refresh application. 18th Conf Num Wea Pred. Park City, UT, 2007.
- [18] Brown J M, Smirnova T G, Benjamin S G, et al. Rapid-Refresh testing: Example of forecast performance. 13th Conference on Aviation Range and Aerospace Meteorology. New Orleans, LA, 2008.

《气象科技进展》在宁编委、读者座谈会

本刊编辑部

2013年3月15日,由南京大学大气科学学院和《气象科技进展》编辑部联合举办的“《气象科技进展》在宁编委、读者座谈会”在南京大学东南楼会议室召开,伍荣生院士,主编许小峰,副主编肖子牛,在宁副主编谈哲敏、管兆勇、费建芳,常务编委杨修群,编委王元、吴立广、翟武全以及在宁读者代表等近30人与会。

会上,许小峰主编向来自南京大学、南京信息工程大学、解放军理工大学、江苏省气象局的编委颁发聘书,肖子牛副主编代表本刊主办单位向各机构



本刊主办单位气象干部培训学院向在宁的气象教学和科研业务机构赠送《进展》合订本(摄影王欢)

代表赠送了2011和2012年合订本。许小峰主编首先向与会者介绍了《气象科技进展》创刊以来逐渐形成的办刊理念和风格,对南京的专家学者给予的关心表示感谢,并希望得到更多支持。

编委和读者对《气象科技进展》的特色栏目给予了充分肯定,并希望《进展》将办刊宗旨一直坚持下去,使其成为

一本可读性高、具有资料性、可供读者反复查阅的刊物。与会代表还对《进展》未来的选题方向及约稿途径提出了很多宝贵的意见和建议。