

徐枝芳, 郝民, 朱立娟, 等. 2013. GRAPES\_RAFS 系统研发. 气象, 39(4): 466-477.

# GRAPES\_RAFS 系统研发<sup>\*</sup>

徐枝芳<sup>1</sup> 郝民<sup>1</sup> 朱立娟<sup>1</sup> 龚建东<sup>1</sup> 万齐林<sup>2</sup>  
陶士伟<sup>1</sup> 薛纪善<sup>3</sup> 陈德辉<sup>1</sup>

1 国家气象中心, 北京 100081

2 中国气象局广州热带气象研究所, 广州 510080

3 中国气象科学研究院, 北京 100081

**提 要:** 基于 GRAPES (Global and Regional Assimilation and Prediction System) 模式的 GRAPES\_RAFS (Rapid Analysis and Forecast System) 系统是一个向前的间歇性同化分析的分析系统, 能将多种高时空分辨率的观测资料充分利用起来, 同时也是一个不断更新数值预报产品的中尺度数值预报系统。本文从该系统的结构、流程所涉及的各项技术环节进行阐述, 通过与业务 GRAPES\_MESO 的预报效果对比分析对该系统的短时临近预报能力以及影响该系统短临预报性能的关键技术进行研究。研究表明: 利用我国新一代数值预报系统 GRAPES 模式及 GRAPES\_3Dvar 建立的全国稠密资料快速更新同化分析预报系统 (GRAPES\_RAFS 系统) 具有一定短时临近预报能力。同化系统的背景误差协方差准确描述、模式系统动力框架及物理过程精确度的提高能有效提高该系统的预报能力, 而局地稠密资料的合理使用是该系统提供高质量预报的另一个关键技术, 在资料相对稀少的情况下, 该系统的短临预报性能面临严重挑战。

**关键词:** GRAPES\_RAFS, 快速更新同化, 短时临近预报

**中图分类号:** P456

**文献标识码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.04.009

## On the Research and Development of GRAPES\_RAFS

XU Zhifang<sup>1</sup> HAO Min<sup>1</sup> ZHU Lijuan<sup>1</sup> GONG Jiandong<sup>1</sup>  
WAN Qilin<sup>2</sup> TAO Shiwei<sup>1</sup> XUE Jishan<sup>3</sup> CHEN Dehui<sup>1</sup>

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080

3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

**Abstract:** The GRAPES\_RAFS (Rapid Analysis and Forecast System) is based on GRAPES (Global and Regional Assimilation and Prediction System) model and GRAPES\_3DVAR system, running on a high intermittent assimilation cycle to provide high resolution mesoscale analyses and short-time numerical weather predication guidance for weather forecasting. The GRAPES\_RAFS assimilates radiosonde observation and a lot of observations with high temporal and spatial resolution, such as aircraft, VAD wind profiles, surface station observation data, et al. Herein, the framework and flowchart of GRAPES\_RAFS are technically described, and compared with the forecasting products of GRAPES\_MESO, the short-time nowcasting capability of this system and the critical techniques influencing its forecasting performance are also discussed. The research results show that the GRAPES\_RAFS system is effective in providing more accurate short-time nowcasting forecasts initialized with recent data than GRAPES\_MESO system forecasts. The results also show that, high-resolution observations, the background error covariance of GRAPES\_3DVAR

\* 中国气象局基建项目“全国稠密资料融合同化系统建设”、气象关键技术集成与应用重点项目 (CMAGJ2011Z07) 和公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201006016、GYHY201006001 和 GYHY201106044) 共同资助

2012 年 1 月 27 日收稿; 2012 年 12 月 6 日收修定稿

第一作者: 徐枝芳, 主要从事资料质量控制、同化技术研发及资料快速更新同化与预报系统的研发. Email: zhifang@cma.gov.cn

system, the dynamical framework and physical processes of GRAPES model are keys to GRAPES\_RAFS. The short-time nowcasting performance of GRAPES\_RAFS is a challenging task in the case that the assimilated observation data for GRAPES\_RAFS are sparse.

**Key words:** GRAPES\_RAFS, high intermittent assimilation cycle, short-time nowcasting

## 引言

随着大气探测技术的发展,我国由卫星、雷达、飞机、自动站和风廓线仪等设备组成的气象综合探测系统正在形成。按照中国气象局发展规划,在未来几年内,卫星、雷达、GPS探空站和风廓线仪等遥感探测资料及地面加密观测资料无论在数量还是质量上都有较大的发展,迫切需要加强这些资料的应用。GRAPES\_RAFS系统是一个向前间歇性(即每隔1或3h就进行一次资料同化)的同化分析预报系统,能将多种高时空分辨率的观测资料充分利用起来,资源消耗相对较少、易于业务化,同时也是一个不断更新数值预报产品的中尺度数值预报系统。该系统的建立,不但能将多设备、多时空观测资料充分利用,还能提高我国中尺度数值模式短时临近能力。

近年来,随着数值天气预报技术的不断发展,数值天气预报已经在天气预报服务中占据了很重要的位置。数值预报产品逐步在短时临近预报中发挥非常重要的作用。基于数值模式的多设备、多时空观测资料快速同化更新系统建设在国外发展多年,并有多个国家在进行业务运行,为短时临近预报提供服务。美国NCEP从1994年始进行60 km分辨率3 h循环的Rapid Update Cycle(RUC)系统业务运行(Benjamin et al, 2004)。2006年,将RUC业务运行的分辨率从20 km提高到13 km,模式垂直层数由最初25层提高到50层,3 h同化分析频次提高到逐时同化分析,同化系统采用三维变分方法,同化分析的观测资料根据观测系统的不断完善逐步调整增加,该系统同化分析资料主要包括探空、风廓线仪、VAD风、飞机报、地面、船舶浮标、GOES降水、GOES云导风、GOES云顶气压、SSM/I降水和GPS/PW等观测资料,提供3 h间隔产品。2008年,NCEP将RUC系统升级为Rapid Refresh(RR)系统,采用WRF\_ARW模式和Gridpoint Statistical Interpolation(GSI)三维变分同化,并通过云分析增加了逐时雷达回波资料的应用,2010年取代RUC

业务运行系统(Benjamin et al, 2009)。RUC系统运行结果表明,快速循环同化能有效地提高模式初值的质量,且比较适用于短时临近预报。此外类似的系统还有英国的Nowcasting and Initialization for Modeling Using Regional Observation Data(NIMROD)系统(Golding, 1998; Werner et al, 2009a; 2009b),局地分析和预报系统Local Analysis and Prediction System(LAPS)(Albers et al, 1996),Mesoscale Analysis and Prediction System(MAPS)系统(Lazarus et al, 2002)以及瑞典气象和水文所业务运行的中尺度分析系统Mesan(Haggmark et al, 2000)等。这些系统在资料的融合同化以及短时临近预报中发挥了一定的作用。

近些年我国业务科研工作者也越来越意识到快速资料同化更新与短时预报系统能在强对流天气短时临近预报中发挥重要作用(郑永光等,2010),一些科研业务机构对中尺度模式的快速资料同化更新与短时预报开展了不少工作,如中国气象局广州热带气象研究所基于等压面GRAPES\_3DVAR及GRAPES模式系统而建立覆盖华南及周边地区的GRAPES\_CHAF系统(陈子通等,2010;黄燕燕等,2011)、北京城市气象研究所基于WRF\_3DVAR和WRF模式建立的BJ\_RUC系统(陈敏等,2011;范水勇等,2009;魏东等,2011)等。近些年随着我国自主研发的GRAPES模式(薛纪善等,2008)不断发展,GRAPES模式在国家气象预报中发挥着越来越重要的作用。在现有现状下,依托我国自主研发的GRAPES模式建立一个全国/区域两级使用的稠密资料快速更新同化预报系统涉及的关键环节有哪些呢?能否在短时临近预报中发挥积极的作用?提高该系统预报性能的首要工作是什么?我国国土辽阔,资料覆盖状况差异较大,该系统是否适合我国所有区域?能否直接发展逐时同化更新预报系统?2008年国家气象中心联合中国气象局广州热带气象研究所在该所原GRAPES\_CHAF系统流程基础上,采用新的GRAPES模式(王雨等,2010)和模式面同化系统(3DVAR)(马旭林等,2009)系统替代原有的GRAPES模式系统和等压面同化系统,并对模

式面同化系统中的背景误差协方差、地面同化算子进行优化,新增 GPS/PW、雷达 VAD 算子,采用基于雷达、卫星、地面等观测资料综合云分析替代原 CHAF 系统的云分析,用了两年多的时间在国家气象中心建立了全国/区域两级使用的 GRAPES\_RAFS 系统,该系统在 2010 年 5 月 20 日通过了准业务化运行专家评审会,5 月 31 日起准业务运行。本文将从该系统的结构及流程建设所涉及的各环节进行详细阐述,通过连续试验结果分析评估该系统的短临预报能力以及现有条件下影响该系统的短临预报性能所涉及的关键技术,为 GRAPES\_RAFS 系统及类似系统的业务化建设提供参考依据。

## 1 GRAPES\_RAFS 系统结构及流程

由 GRAPES\_RAFS 准业务系统结构和流程图(图 1)可见,该系统每天 00 和 12 时两次冷启动,由大尺度模式(如 T639/T213)提供模式冷启动背景场做 3 h 预报,每 3 h GRAPES 模式提供 3 h 预报场作为观测资料同化分析的背景场,不断向前做间歇性同化分析,同时每 3 h 做一次 24 h 预报,一天 8 次提供快速更新中尺度数值预报的预报产品。系统主要包括的模块有:观测资料预处理(包括资料收集与质量控制)、三维变分同化系统(GRAPES\_3DVAR)、云分析、数字滤波初始化、中尺度数值模式(GRAPES\_model)、后置产品处理等多个环节。

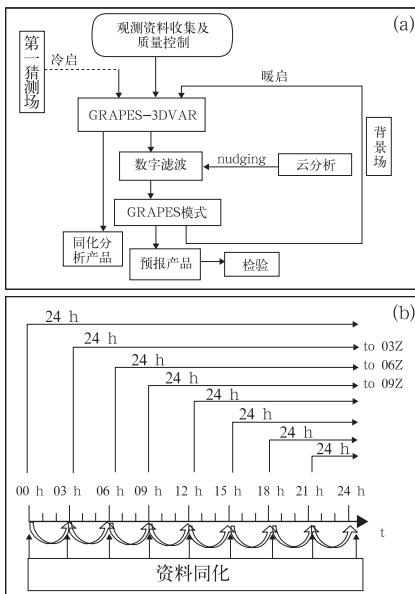


图 1 Grapes\_RAFS 系统结构流程图

Fig. 1 Framework and flowchart of GRAPES\_RAFS

下面就这些模块逐步进行介绍。

### 1.1 观测资料预处理

观测资料预处理模块主要是提供同化分析需要的各种观测数据。观测资料预处理模块的功能包括观测资料实时采集、资料质量控制以及多种资料综合处理(避免重报、超级观测或优选)。同化循环周期的缩短,高时空分辨率的资料(如地面、飞机报、GPS/PW、卫星云导风和雷达)是该系统重点。对实时观测资料进行分析发现,我国局地的观测资料主要包括:探空、地面、飞机报、雷达、FY 静止卫星、GPS/PW、风廓线和船舶等资料。除探空资料 12 h 一次观测外,其他观测均能达到 1 h 一次的高频次观测。其中地面站站点最多,包括 2000 多个国家级地面观测站及约 3 万个省级地面自动站,由于省级地面自动站型号、定标不统一,资料质量控制技术不够完善等原因致使这部分资料还未在该系统中使用。FY\_2C 卫星导风资料的资料量最大,但由于资料质量未达到数值预报同化的需求暂未投入数值预报业务使用。另外全国共有 400 多个的 GPS/PW 资料和 152 部左右的雷达观测资料投入使用。飞机报资料受飞行时间和航线限制,主要集中在华东一带,且存在很明显的时段性,白天数量较大,晚间数量少。

作为资料预处理部分,一方面要建立这些资料的实时获取流程,另一方面要做好针对性的资料质量控制,同时建立多种资料综合处理方法避免由于同化分析的观测资料过于密集带来病态矩阵。多种资料综合处理方法包括:同化分析观测资料的类型、范围、垂直一致性检查、重复报检查、水平和垂直稀疏化以及多余资料剔除等。

### 1.2 三维变分同化系统

由结构流程图 1 可知,三维变分同化系统(GRAPES\_m3DVAR)(马旭林等,2009)是该系统的局地资料融合同化分析的核心,其作用是有效地融合各种常规、非常规资料,产生三维气象要素分析场,保证所产生的格点分析场既充分反映最新的观测信息,又能考虑各种观测平台的特征,具有较好的协调性。该模块的输入资料包括经过质量控制的观测资料(如探空、地面、飞机报、雷达 VAD、云导风、GPS/PW 等资料)、观测误差协方差、背景误差协方差、背景场。GRAPES\_RAFS 系统冷启运行时采用

大尺度模式(如 T213 和 T639 模式)的预报作为背景场,而暖启动运行则采用该系统 GRAPES 中尺度模式的预报为背景场。同化模块运行输出的分析场则提供给模式作为初始场。

### 1.3 数字滤波初始化

数字滤波初始化方法在资料快速更新同化预报系统中非常重要,其作用是消除快速分析循环中由于资料种类多、输入频繁所带来的非气象噪音,确保快速分析循环产品的动力学协调性。滤波形式有多种(Lynch et al, 1992; 1997; Huang et al, 2002),主要有以下三种类型:

(1)绝热数字滤波初始化(ADFI):以分析时刻为起始点在时间上分别向前向后积分,模式积分中关闭非绝热过程,对积分产生的时间序列进行数字滤波,将分析时刻的滤波结果作为预报初始场。

(2)非绝热数字滤波初始化(DDFI):模式先绝热反向积分,后从反向积分的终点开始包含物理过程的正向积分,对正向积分的模式预报状态进行数字滤波,滤波结果作为预报初始场。

(3)二次数字滤波初始化(TDFI):对绝热反向积分过程也进行数字滤波,并从反向积分时间中点开始对包含物理过程的正向积分进行滤波,滤波结果作为预报初始场。

本系统目前采用的是 DDFI 方案。

### 1.4 云分析

云分析模块主要通过多种资料分析,实现中尺度数值模式初始场的云内信息应用。GRAPES\_RAFS 系统中的云分析(屈右铭等,2010)是基于美国 Oklahoma 大学 ARPS 模式中的云分析方案(Hu et al, 2006a; 2006b; Zhang, 1999)发展而来,包括了三维云量分析、云状判断、云内水成物分布与量化分析、以及云内热动力分析等主要功能。目前该系统输入观测资料包括风云二号静止卫星相当黑体亮度温度和云总量资料,经过质量控制的三维雷达反射率组网拼图资料、地面人工观测的云底高度和云量以及分钟级探空资料。云分析模块可提供的云分析产品包括云量、云状、云高和云内水凝物(云水、云冰、雨水、雪水和雹)的量化分布等。其中云内水凝物信息通过 nudging 技术在 GRAPES\_RAFS 系统中得到应用。

### 1.5 中尺度数值模式

GRAPES 模式是该系统的中尺度数值预报模式,提供不同预报时效的数值预报产品与暖启动的背景场。由 GRAPES\_RAFS 系统结构和流程图(图 1)可见,该系统中 GRAPES 模式每间隔 3 h 做一次 24 h 预报,一天提供 8 次中尺度数值预报的预报产品。每天 00 和 12 时由大尺度模式(如 T639/T213)提供模式冷启动背景场做 3 h 预报,其他均为由 GRAPES 模式预报提供暖启动背景场。GRAPES 模式框架是多尺度统一动力框架,包含不同物理过程方案的格点模式。模式采用全可压原始静力平衡与非静力平衡可选方案,半隐式半拉格朗日动力框架,水平方向采用 Arakawa-C 跳点网格设计,垂直方向采用 Charney-Philips 跳层设计的地形高度追随坐标(薛纪善等,2008)。

### 1.6 后置产品处理

后置产品处理部分主要完成产品生成以及发送和存档。GRAPES\_RAFS 系统为气象服务提供了丰富的数值产品,有与 GRAPES 中尺度业务数值模式一致的基本要素产品,还有二十多种针对短临预报的诊断产品,如 CAPE(对流有效位能)指数、K 指数、反射率等。数值预报产品实时用的产品格式主要为 MICAPS 和 GrADS 格式,存档用的是 Grib 码格式。

## 2 GRAPES\_RAFS 系统预报效果分析

### 2.1 检验方法简介

本文采用的检验方法是国家气象中心预报质量评分系统的降水预报累加检验方案,按累加降水检验方案,把 24 h 累计降水分为小雨( $\geq 0.1$  mm)、中雨( $\geq 10$  mm)、大雨( $\geq 25$  mm)、暴雨( $\geq 50$  mm)及特大暴雨( $\geq 100$  mm)五级,把 6 h 降水分为小雨( $\geq 0.1$  mm)、中雨( $\geq 4$  mm)、大雨( $\geq 13$  mm)、暴雨( $\geq 25$  mm)及特大暴雨( $\geq 60$  mm)五级,同时根据全国降水特点将全国划分不同区域(图略)进行统计检验。

### 2.2 系统参数设置与应用的资料种类

GRAPES\_RAFS 系统模式基本参数设置与业

务 GRAPES\_MESO 保持一致,水平分辨率为  $0.15^\circ \times 0.15^\circ$ ,预报范围覆盖了整个中国区域 ( $15^\circ \sim 65^\circ\text{N}$ 、 $70^\circ \sim 145^\circ\text{E}$ ),水平格点数为  $502 \times 330$ 。垂直方向为基于高度的地形追随坐标,取不等距 31 层。主要物理过程包括: Simplified Arakawa Schubert (SAS)积云参数化、NCEP 简化冰微物理过程、Mo-nin-Obukhov 近地面层方案、Rapid Radiative Transfer Model(RRTM)长波辐射、Dudhia 短波辐

射、Slab 的陆面过程和 MRF 边界层过程等。

试验采用 T213 实时场库资料作为全球大尺度模式背景场,观测资料采用的是实时检索 GTS 资料(探空、飞机报、日本导风、船舶和地面等观测资料)及国家气象中心实时处理的雷达 VAD 观测资料。由于做回算试验时,GPS/PW 以及雷达组网三维拼图的业务流程还未建立,因此在连续试验中并没有用到。图 2 为 2009 年 7 月 1 日某一个时刻(每类资

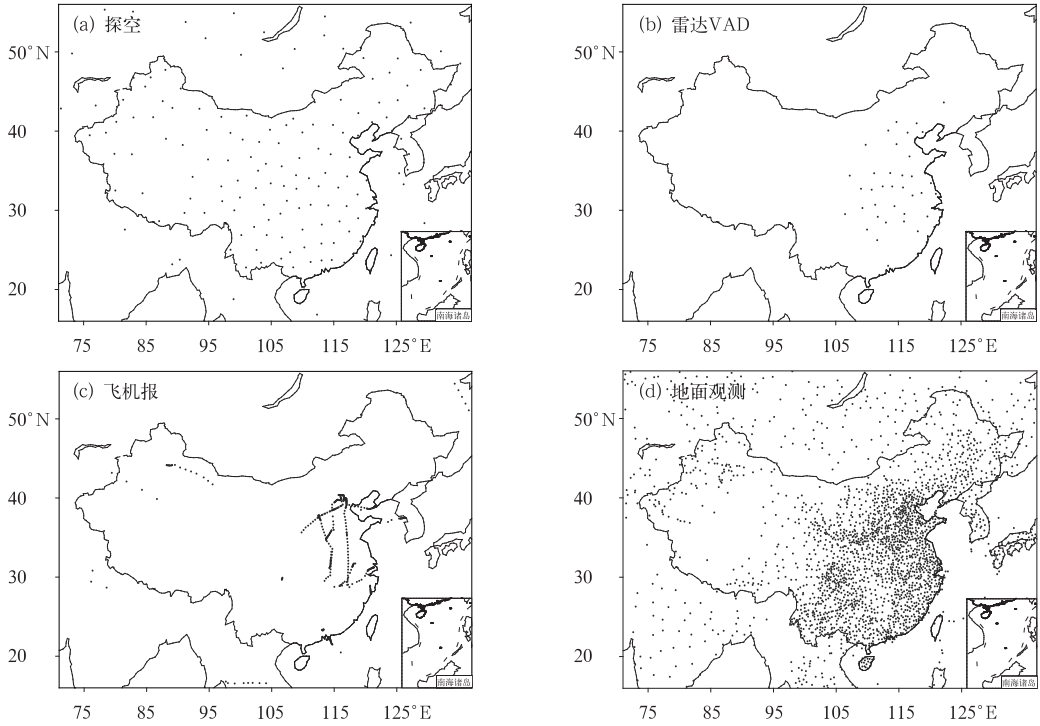


图 2 试验使用主要资料的分布图

Fig. 2 Distribution of experiment data sources

(a)radiosonde, (b)VAD wind profile, (c) aircraft, (d) surface observation

料最多的时刻)使用的主要稠密资料的分布图,由图 2 可见,我国局地稠密资料分布非常不均,主要集中在我国东部沿海地带。

### 2.3 2008 年 6—8 月连续试验结果

2008 年 6—8 月 GRAPES\_RAFS 系统(回算试验)与业务 GRAPES\_MESO 模式(业务预报)降水预报统计检验结果表明,GRAPES\_RAFS 系统 24 h 降水 TS 评分检验与业务基本相当(图 3),没有明显优势;但 GRAPES\_RAFS 系统 6 h 降水 TS 评分检验效果明显优于业务(图 4)。由此可见该系统具有一定的短时临近预报能力。

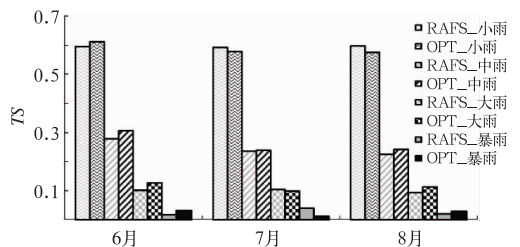


图 3 2008 年 6—8 月 24 h(00 时起报 24 h,下文同)降水累计检验 TS 评分

[RAFS 指 GRAPES\_RAFS 系统,OPT 指 GRAPES\_MESO 业务系统,下同]

Fig. 3 Accumulated 24 h simulated rainfall TS score for 0000 UTC June to 2400 UTC 31 August 2008 (RAFS represents results of GRAPES\_RAFS, OPT represents results of GRAPES\_MESO)

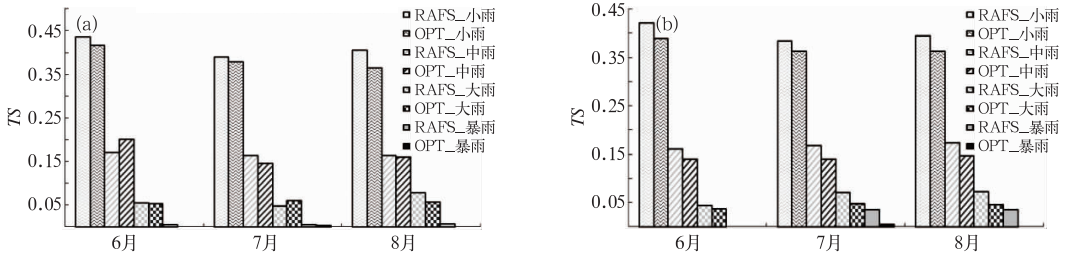


图 4 同图 3, 但为 6 h 降水累计检验

(a)00 时起报 6 h 结果, (b)12 时起报 6 h 结果

Fig. 4 As in Fig. 3, but for accumulated 6 h simulated rainfall verification

(a) initialized at 0000 UTC, (b) initialized at 1200 UTC

### 2.4 2009 年 6—8 月连续试验结果

#### 2.4.1 同化系统背景误差协方差优化结果分析

将通过 NMC 方法(Parrish et al, 1992; Rabier et al, 1998)重新计算的背景误差协方差替代原参考其他业务系统给定的背景误差协方差(薛纪善等, 2008)。对两种背景误差协方差分析发现(图略),原

背景误差协方差仅随高度变化,而新的误差协方差随高度和纬度两种因素变化。针对新旧背景误差协方差调整,对 2009 年 7—8 月的连续试验进行对比分析,即仅仅同化系统的背景误差协方差进行调整,其他如模式系统及资料等均不做改动。由 24 h 降水(图 5)和 6 h 降水(图 6)检验结果看来,采用 NMC 统计背景误差协方差同化系统的降水预报效

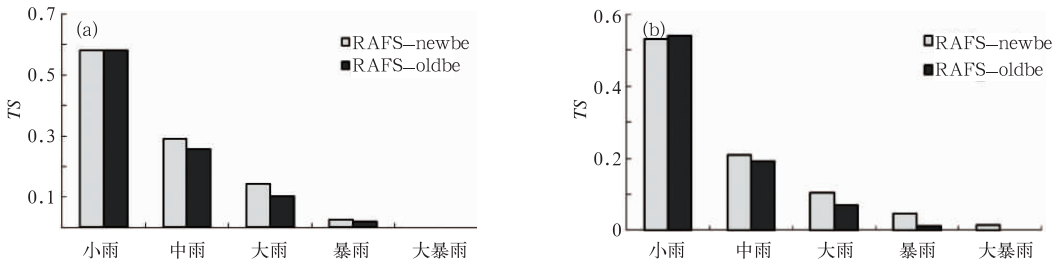


图 5 2009 年 7—8 月 24 h 降水累计检验

(a)7 月, (b)8 月

(RAFS\_oldbe 指采用旧背景误差协方差,RAFS\_newbe 指用新背景误差协方差)

Fig. 5 Accumulated 24 h simulated rainfall verification

(a) for 1—31 July 2009, initialized at 0000 UTC, (b) for 1—31 August 2009, initialized at 0000 UTC

(RAFS\_newbe represents results of GRAPES\_RAFS with new background error covariance,

RAFS\_oldbe represents results of GRAPES\_RAFS with old background error covariance)

果更好一些。

#### 2.4.2 模式系统升级结果分析

将修改了平流物质方案、地形处理、陆面过程等动力框架和物理过程的 V3.0 模式系统替代原来 V2.5 版模式系统[详细动力框架及物理过程变化见参考文献(王雨等,2010)],同时采用 NMC 统计的背景场误差协方差,用同样的资料和参数对 2009 年 7—8 月进行连续试验。试验结果见图 7 和图 8,其中 RAFS\_old 指采用 V2.5 模式系统,RAFS\_new 指采用 V3.0 模式系统,这两组试验除了模式版本不同外,同化系统与其他参数设置完全一致。试验

结果表明模式系统优化后 GRAPES\_RAFS 系统降水预报效果明显改善,不论是 24 h 降水还是 6 h 降水(图 7 和图 8)的各降水量级 TS 评分有明显提高,而且预报偏差 B 值也更接近 1,且新的 GRAPES\_RAFS 系统的降水预报明显优于 GRAPES\_MESO 业务系统(2.5 版模式系统)预报结果。

#### 2.4.3 不同检验区域连续试验结果

由图 2 可知我国观测资料分布很不均匀,资料的多少对短临预报效果影响有多大呢?依据全国 8 个划分区域范围,对每个区域同化分析的资料数量统计见表 1。

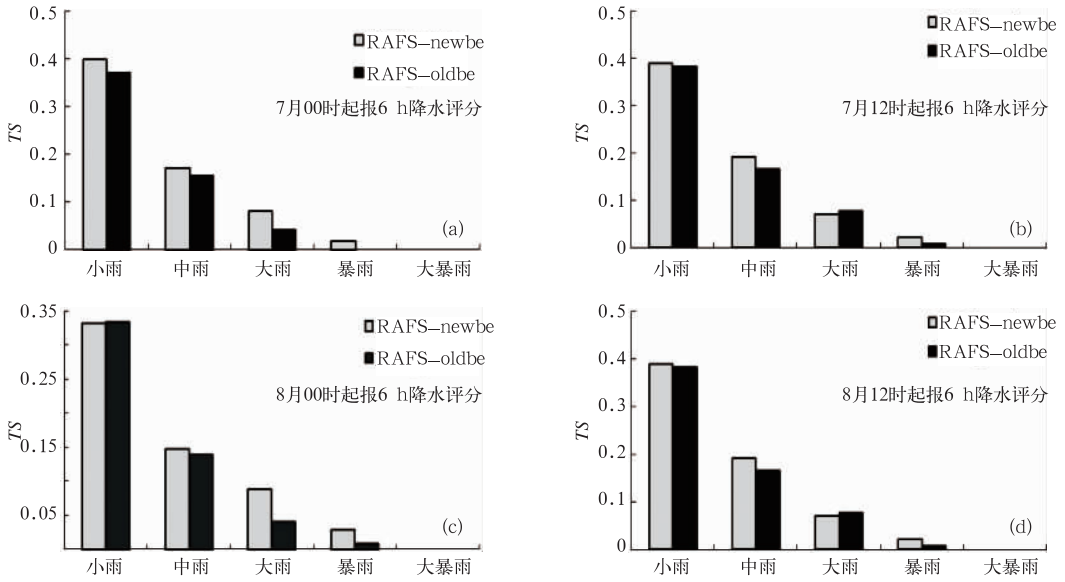


图 6 2009 年 7—8 月 6 h 降水累计检验

Fig. 6 As in Fig. 5, but for accumulated 6 h simulated rainfall verification (a) and (b) for 1—31 July 2009, (c) and (d) for 1—31 August 2009; (a) and (c) initialized at 0000 UTC, (b) and (d) initialized at 1200 UTC

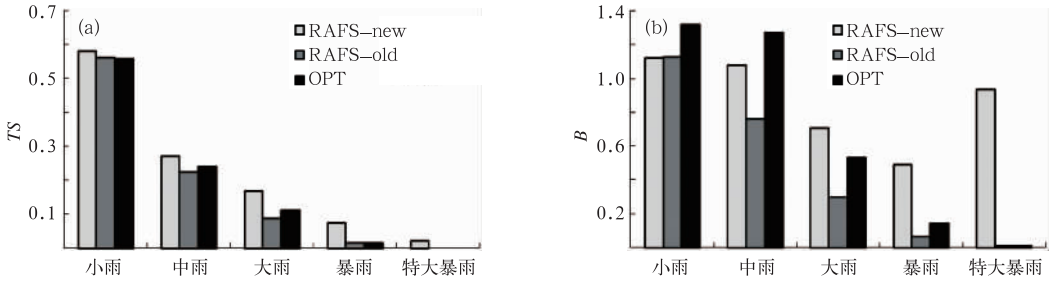


图 7 2009 年 7—8 月 24 h 降水检验

(a)降水评分,(b)降水预报偏差 B 值

(RAFS\_old 指采用 V2.5 模式系统,RAFS\_new 指采用 V3.0 模式系统,OPT 指业务模式系统,下同)

Fig. 7 Accumulated 24 h simulated rainfall verification of GRAPES\_RAFS for 1 July to 31 August 2009 over China

(a) TS score, (b) forecast bias B value

(RAFS\_new represents results of GRAPES\_RAFS using GRAPES model V3.0 and new background error covariance, RAFS\_old represents results of GRAPES\_RAFS using GRAPES model V2.5 and new background error covariance, OPT represents results of GRAPES\_MESO)

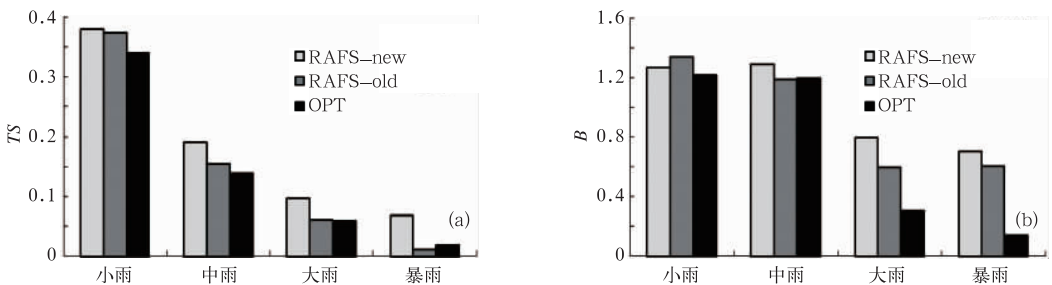


图 8 同图 7,为 6 h 降水检验

Fig. 8 Same as Fig. 7, except for accumulated 6 h simulated rainfall verification

表 1 不同区域主要同化分析资料类型统计

Table 1 Statistics of different observation types assimilated in GRAPES\_RAFS of eight verification regions

区域	观测资料类型	观测时间 频次/h	每小时近似的观测数量 (探空资料为 12 h 一次)
东北区	探空	12	21
	飞机报	1	0~30
	VAD 风	1	1~2
	地面观测	1	206~271
新疆区	探空	12	26
	飞机报	1	0~19
	VAD 风	1	0
	地面观测	1	90~185
西北东部区	探空	12	18
	飞机报	1	0~38
	VAD 风	1	1~2
	地面观测	1	131~170
华北区	探空	12	12
	飞机报	1	0~183
	VAD 风	1	8~12
	地面观测	1	382~404
青藏高原 中南部	探空	12	13
	飞机报	1	0
	VAD 风	1	0
	地面观测	1	50~65
西南东部	探空	12	19
	飞机报	1	0~96
	VAD 风	1	4~6
	地面观测	1	403~440
长江中下游	探空	12	21
	飞机报	1	0~184
	VAD 风	1	20~27
	地面观测	1	509~568
华南	探空	12	12
	飞机报	1	0~128
	VAD 风	1	4~7
	地面观测	1	158~186

由表 1 可见,各区域的资料分布与图 2 所示一致,分布非常不均匀,其中新疆区和青藏高原区域的资料分布密度最小。2009 年 6—8 月(升级后的同化系统与模式系统)连续试验结果(图 9)可见,新疆与青藏高原中南部相对资料分布密度小的地区 GRAPES\_RAFS 系统各量级降水 TS 评分较业务 GRAPES\_MESO 系统有所下降,且预报偏差  $B$  值也不如业务系统接近 1。相反,华南、长江中下游流域、华北和东北等地面、飞机报和雷达 VAD 等资料相对比较密集的区域 GRAPES\_RAFS 系统的 6 h 降水预报结果与 GRAPES\_MESO 业务系统相比较,不仅各量级降水 TS 评分比业务高,而且预报偏差  $B$  值也更接近 1。GRAPES\_RAFS 系统是一个不断同化分析资料的系统,每同化分析一次资料,模

式就需要进行一次动力调整,当资料较少没有足够的观测信息加入,多次同化分析的效果就会变差,因此出现这样的结果是很合理。由此可见,要提高 GRAPES\_RAFS 系统的预报技巧,必须加强局地稠密资料的使用能力、提高稠密资料的资料量的使用。

#### 2.4.4 不同同化周期预报效果分析

随机统计 2009 年 6 月 3 日 1 和 3 h 截断时间下获取主要参与同化试验的观测资料数目(见表 2)。1 h 时间截断是指前后半小时同化窗内获取的观测资料,3 h 截断是指前后 1.5 h 同化窗内获取的资料。由表 2 可见,1 和 3 h 截断的资料在同一分析时间上资料量有较大差别的主要是飞机报资料,而地面、船舶和雷达 VAD 资料数量上相差不多,探空资料主要是国外的探空资料收集差异。从同化使用资料的总量来看,逐小时同化循环系统所用资料量较逐 3 h 同化循环系统的资料量增加比例较大的有地面和雷达 VAD。但目前地面只同化了地面气压,而 VAD 风场资料本身就少,因此逐时同化循环系统较逐 3 h 同化循环系统在资料量的优势并不是很明显。

对逐小时与 3 h 同化循环系统 6 h 降水检验结果(图 10)进行分析发现,逐时同化循环预报系统全国区域大雨和暴雨 TS 评分略高于 3 h 同化循环系统,但  $B$  值略差,总体而言,两种系统短时预报效果差异不大。资料相对密集的东北、华北、长江中下游及华南区域表现也不尽相同,华北区域逐 3 h 同化循环系统预报效果优于逐时同化循环系统,而华南区域则相反。东北和长江中下游区域的两个系统整体预报效果基本相当。由 6 h 降水检验结果来看,逐时同化循环系统与逐 3 h 同化循环系统的预报效果基本相当,没有明显优势,这可能与逐小时同化循环系统所用资料量较逐 3 h 同化循环系统没有明显的优势有关,因为在资料量不够多的情况下,逐小时同化循环系统多次的模式动力调整可能会致使效果变差,这与上小节分析不同区域的同化效果结论基本一致。美国 NCEP 的 RUC 系统由 3 h 同化循环升级为 1 h 同化循环,与该系统使用的资料种类和量有着密不可分的关系,飞机报资料在其中发挥着非常重要的作用(Benjamin et al, 2010),我国飞机报资料相对少了许多,且时空分布不均匀,在该系统中发挥作用相对较小,而相对稠密的地面资料由于质量控制技术和同化技术不完善,没有充分发挥其作用,在同化资料的种类和量上没有明显提高时,从



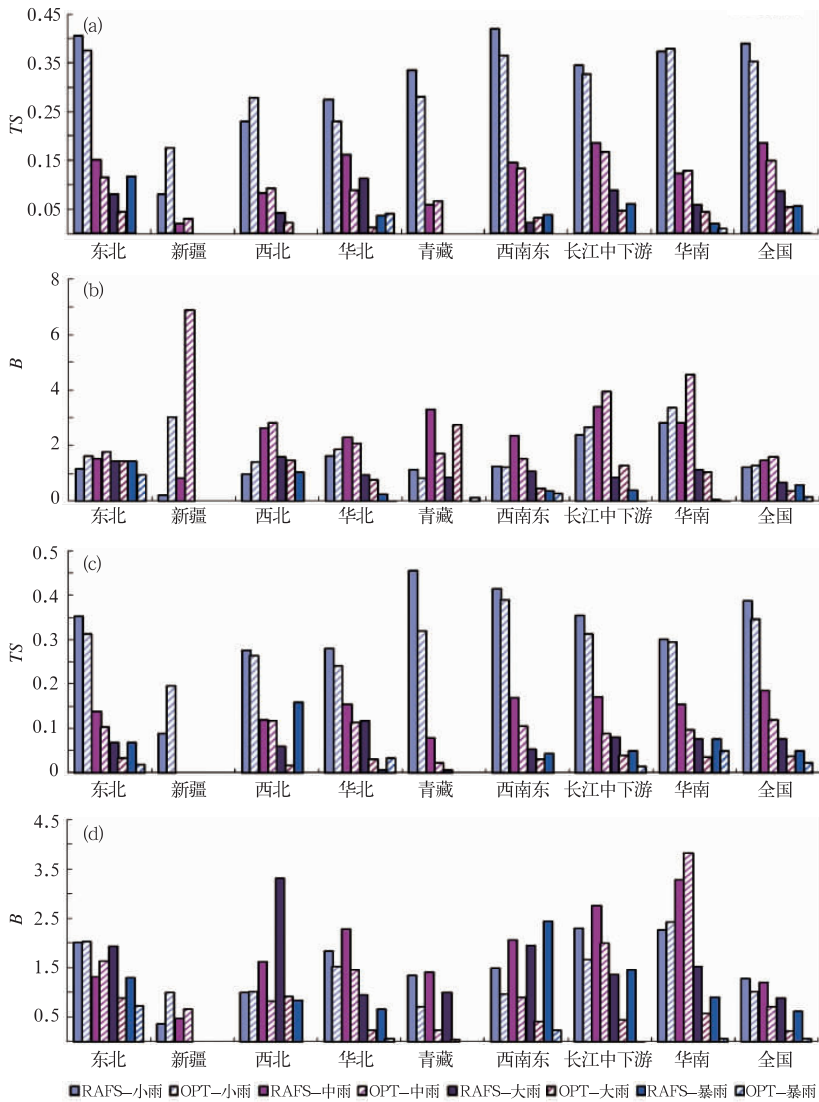


图 9 2009 年 6—8 月不同各区域 6 h 降水 TS 评分(a,c)和降水 B 值(b,d) (a,b) 00 时起报,(c,d) 12 时起报

Fig. 9 Accumulated 6 h simulated rainfall TS score (a,c) and B value of rainfall forecast bias (b,d) of GRAPES\_RAFS in different verification regions for 1 June to 31 August 2009

(a) and (b) initialized at 0000 UTC, (c) and (d) initialized at 1200 UTC (RAFS represents results of GRAPES\_RAFS, OPT represents results GRAPES\_MESO)

整体考虑,采用逐 3 h 同化循环系统更好(计算资源节省约一半)。

#### 2.4.5 不同预报时效效果分析

对 GRAPES\_RAFS 系统 2009 年 6—8 月 00 和 12 时起报的第一个 6 h(00—06 时预报时效)、第二个 6 h(06—12 时预报时效)、第三个 6 h(12—18 时预报时效)和第四个 6 h 预报(18—24 时预报时效)进行统计检验,由 3 个月 6 h 降水 TS 评分和预报偏

差图(图 11)可见,该系统各时段的预报水平相差不太多,各量级降水第一个 6 h 和第二个 6 h 的 TS 评分相对要好一些。小雨和中雨量级降水,6—12 时预报 TS 评分不仅高于 0—6 时预报,而且其 B 值也更接近 1。大雨和暴雨量级降水,0—6 时预报 TS 评分与 6—12 时预报基本相当,但 B 值更接近 1。由此可见,该系统最佳的预报时效为前 12 时。针对短时强降水预报而言,0—6 时预报时效的结果更好一些。

表 2 不同截断时间下获取的观测资料 (15°~65°N, 70°~145°E)

Table 2 Observation data obtained at different times

种类 时间	地面		飞机报		船舶		雷达 VAD		探空	
	1 h	3 h	1 h	3 h	1 h	3 h	1 h	3 h	1 h	3 h
0	2314	2295	366	1134	16	17	38	38	185	213
1	1953		863		4		49			
2	1948		884		3		40			
3	2494	2494	839	2017	5	6	42	42		
4	1952		825		3		43			
5	1952		745		3		43			
6	2537	2537	864	1968	18	20	40	40	21	21
7	1948		844		2		40			
8	1950		801		4		41			
9	2489	2489	924	2067	4	5	36	36		
10	1950		884		3		25			
11	1951		910		3		27			
12	2287	2275	762	1777	13	16	28	28	174	189
13	1949		555		1		27			
14	1948		422		1		25			
15	2451	2452	252	750	5	6	28	28		
16	1949		116		4		31			
17	1951		73		5		29			
18	2475	2475	84	210	16	18	29	29	41	41
19	1948		57		3		29			
20	1949		59		5		25			
21	2411	2429	141	361	4	4	27	27		
22	1944		178		4		26			
23	1937		362		3		29			

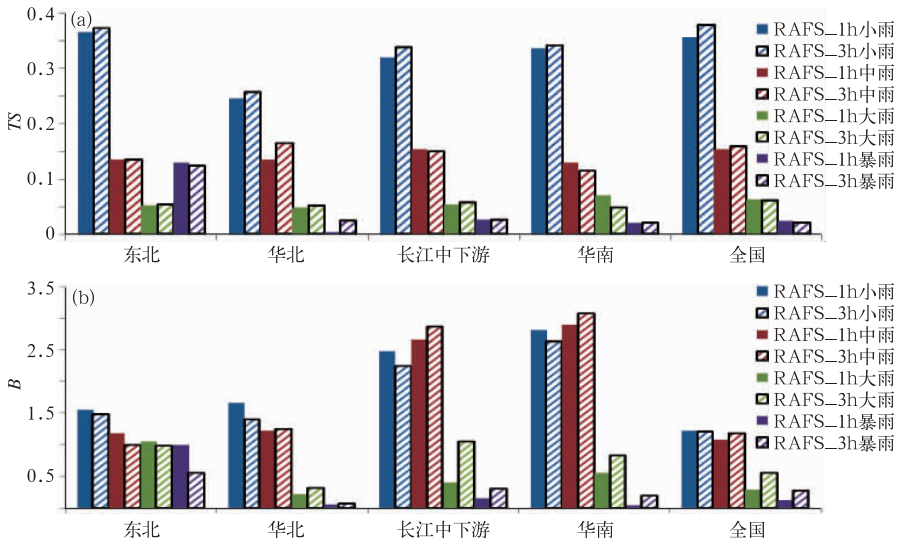


图 10 不同同化周期下 2009 年 6—8 月 00 和 12 时(世界时)起报 6 h 降水评分(a)和降水预报偏差 B 值(b)

Fig. 10 Accumulated 6 h simulated rainfall TS score (a) and B value of rainfall forecast bias (b) of GRAPES\_RAFS with different assimilation cycles in five verification regions for 1 June to 31 August 2009, initialized at 0000 UTC and 1200 UTC

(RAFS\_1h represents results of GRAPES\_RAFS with 1h assimilation cycle, RAFS\_3h represents results of GRAPES\_RAFS with 3 h assimilation cycle)

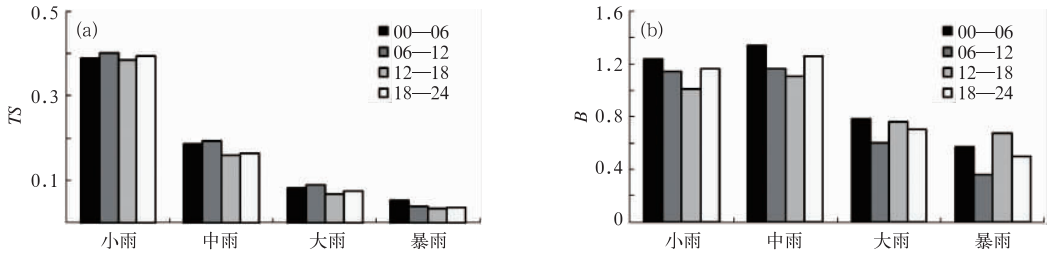


图 11 2009 年 6—8 月全国区域 GRAPES\_RAFS 系统 00 和 12 时起报每 6 h 预报时效各量级降水 TS 评分(a)和预报偏差 B 值(b)

Fig. 11 Accumulated 6 h simulated rainfall TS score (a) and forecast bias (b) regional GRAPES\_RAFS over China for June to 31 August 2009, initialized at 0000 UTC and 1200 UTC

### 3 结论与讨论

GRAPES\_RAFS 系统是针对短时临近预报而建立的中尺度资料快速更新同化分析与预报系统,其最大的特点就是能将多种高时空分辨率的观测资料充分有效利用起来,且不断更新数值预报产品。该系统由多个模块组成,涉及的技术环节较多。通过连续试验结果分析发现:

(1)该系统具有一定短时临近预报能力,同化系统背景误差协方差、模式系统的动力框架及物理过程的准确描述、参与同化分析资料种类和数量均能明显影响该系统的短临预报能力。

(2)稠密资料合理应用是提高该系统短时临近预报的关键,作为我国自主研发的短临数值预报支撑系统,需要着力提高该系统的资料应用种类、要素和数量。

(3)同化应用的稠密观测资料量较少时,采用逐 3 h 同化系统或逐时同化系统在预报性能不一定能超过单次同化系统的预报效果。在目前能获取的实时资料情况下,业务上采用逐 3 h 同化循环 GRAPES\_RAFS 系统优于逐时同化循环 GRAPES\_RAFS 系统。

为了提供更为准确精细数值预报产品支撑,需要不断改善 GRAPES\_RAFS 的预报技巧,因此在未来的工作中,需要集中精力加强局地稠密资料的同化应用、提高同化系统分析能力、改进模式动力框架及物理过程、提高模式分辨率等,从而 GRAPES\_RAFS 能更好地提供短临预报数值预报支撑服务。

**致谢:** 本文作者感谢国家气象中心王雨提供的客观检

验程序与指导,感谢国家气象中心朱国富、胡江凯、王晓聪、刘志丽、陆慧娟、王雨、李莉以及广州热带海洋气象研究所陈子通、黄燕燕、张诚忠等为 GRAPES\_RAFS 系统建设作出的贡献。

### 参考文献

- 陈敏,范水勇,郑祚芳,等. 2011. 基于 BJ-RUC 系统的临近探空及其对强对流发生潜势预报的指示性能初探. *气象学报*, 69(1): 181-194.
- 陈子通,黄燕燕,万齐林,等. 2010. 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*, 26(1): 49-54.
- 范水勇,陈敏,仲跻芹,等. 2009. 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*, 28(2): 119-125.
- 黄燕燕,万齐林,陈子通,等. 2011. 加密探空资料在华南暴雨数值预报的应用试验. *热带气象学报*, 27(2): 179-188.
- 马旭林,庄照荣,薛纪善,等. 2009. GRAPES 非静力数值预报模式的三维变分资料同化系统的发展. *气象学报*, 67(1): 50-60.
- 屈右铭,陆维松,蔡荣辉,等. 2010. GRAPES Meso 云分析系统的设计与试验. *气象*, 36(10): 37-45.
- 王雨,李莉. 2010. GRAPES\_Meso V3.0 模式预报效果检验. *应用气象学报*, 21(5): 524-534.
- 魏东,尤凤春,杨波,等. 2011. 北京快速更新循环预报系统(BJ-RUC)要素预报质量评估. *气象*, 37(12): 1489-1497.
- 薛纪善,陈德辉,等. 2008. 数值预报系统 GRAPES 的科学设计与应用. 北京: 科学出版社, 374.
- 郑永光,张小玲,周庆亮,等. 2010. 强对流天气短时临近预报业务技术进展与挑战. *气象*, 36(7): 33-42.
- Albers S C, McGinley J A, Birkenheuer D L, et al. 1996. The Local Analysis and Prediction System (LAPS): Analyses of clouds, precipitation, and temperature. *Wea Forecasting*, 11: 273-287.
- Benjamin S G, Devenyi D, Weygandt S S, et al. 2004. An hourly assimilation/forecast cycle: The RUC. *Mon Wea Rev*, 132: 495-518.
- Benjamin S G, Jamison B D, Moninger W R, et al. 2010. Relative short-range forecast impact from aircraft, profiler, radiosonde,

- VAD, GPS-PW, METAR, and mesonet observations via the RUC hourly assimilation cycle. *Mon Wea Rev*, 138:1319-1343.
- Benjamin S G, Moninger W R, Weygandt S S, et al. 2009. Technical Review of Rapid Refresh/RUC Project, NOAA/ESRL/GSD internal review.
- Golding B W. 1998. Nimrod: A system for generating automated very short range forecasts. *Meteor Appl*, 5:1-16
- Haggmark L, Ivarsson K -I, Gollvik S, et al. 2000. Mesan, an operational mesoscale analysis system. *Tellus*, 52A:2-20.
- Hu M, Xue M, Keith Brewster. 2006a. 3DVAR and cloud analysis with WSR-88D Level-II data for the prediction of the Fort Worth tornadic thunderstorms. Part I: Cloud analysis and its impact. *Mon Wea Rev*, 134:675-698.
- Hu M, Xue M, Gao J, et al. 2006b. 3DVAR and cloud analysis with WSR-88D Level-II data for the prediction of the Fort Worth tornadic thunderstorms. Part II: Impact of radial velocity analysis via 3DVAR. *Mon Wea Rev*, 134:699-721.
- Huang X -Y, Yang X. 2002. A new implementation of digital filtering initialization schemes for HIRLAM. Tech Rep 53, 36. [Available from HIRLAM-5, c/o Per Undén, SMHI, S-60176 Norrköping, Sweden.]
- Lazarus S M, Ciliberti C M, Horel J D. 2002. Near-real-time application of a mesoscale analysis system to complex terrain. *Wea Forecasting*, 17:971-1000.
- Lynch P, Giard D, Ivanovici V. 1997. Improving the efficiency of a digital filtering scheme for diabatic initialization. *Mon Wea Rev*, 125:1976-1982.
- Lynch P, Huang X -Y. 1992. Initialization of the HIRLAM model using a digital filter. *Mon Wea Rev*, 120:1019-1034.
- Parrish D F, Derber J C. 1992. The national meteorological center's spectral statistical- interpolation analysis system. *Mon Wea Rev*, 120:1747-1763.
- Rabier F, Thepaut J-N, Courtier P. 1998. Extended assimilation and forecast experiments with a four-dimensional variational assimilation system. *Quart J Roy Meteor Soc*, 124:1861-1887.
- Werner M, Cranston M. 2009a. Understanding the value of radar rainfall nowcasts in flood forecasting and warning in flood forecasting and warning in flashy catchments. *Meteor Appl*, 16:41-55.
- Werner M, Harrison T, Whitfield D, et al. 2009b. Recent developments in operational flood forecasting in England, Wales and Scotland. *Meteor Appl*, 16:13-22.
- Zhang J. 1999. Moisture and diabatic initialization based on radar and satellite observations, a dissertation. University of Oklahoma Graduate College, 203.