

彭菊香,李红莉,崔春光. 华中区域 LAPS 中尺度分析场的检验与评估[J]. 气象,2011,37(2):170-176.

华中区域 LAPS 中尺度分析场的检验与评估^{*}

彭菊香 李红莉 崔春光

武汉暴雨研究所, 武汉 430074

提 要: 本文利用 LAPS 融合地面观测资料、探空资料、雷达资料形成中尺度分析场,将该分析场与实况降水、雷达回波、TBB 图进行对比,发现 LAPS 分析场具有中尺度系统的描述能力。设计了融合不同观测资料的试验方案并计算了各种试验方案的均方根误差,定量对比分析了各种资料在 LAPS 系统中的作用,结果表明 LAPS 融合所有观测资料后得到的分析场是最优的。分别以两种预报场作 AREM 模式的初始场进行预报,计算了两种不同初始场预报降水的 TS 评分,评分结果显示 LAPS 能有效地改善模式的初始场,提高模式对降水的预报能力。

关键词: LAPS, 中尺度分析场, 评估

Verification and Evaluation of LAPS Analysis Field in Central China

PENG Juxiang LI Hongli CUI Chunguang

Wuhan Institute of Heavy Rain of CMA, Wuhan 430074

Abstract: This paper describes a kind of mesoscale analysis field by use of LAPS (Local Analysis and Prediction System) ingesting surface observation, radiosonde observation, radar reflectivity, and analyzes the LAPS field compared with observed precipitation, radar echo, and TBB. The results indicate that LAPS analysis field has more detailed description of mesoscale system. Various kinds of experiments are designed to ingest various observed data and investigate the effect of these data in LAPS, then the RMS errors of these experiments are calculated. It is shown that the LAPS analysis field which ingested all of the observed data is the best. The model AREM is used to forecast precipitation respectively by two kinds of initial fields, and the TS scores of two forecast fields show that LAPS has good ability to improve the initial field, and then improve the forecast ability of model.

Key words: LAPS (local analysis and prediction system), mesoscale analysis field, evaluation

引 言

中小尺度系统是造成局地灾害性天气的关键,暴雨、冰雹、飏线、龙卷、雷暴高压、中尺度低压等中小尺度强对流天气能形成严重自然灾害,给国民经济建设和军事活动带来重大损失,因此有关中小尺度系统的研究成果对预报上述灾害性天气具有重要

的意义。由于中小尺度天气系统尺度小、生命期短、气象要素水平变化大的特点,在进行中小尺度天气系统的天气分析时,要求有时空分布更为稠密和更加准确的探测资料^[1-3]。从 20 世纪 60 年代以来,随着气象测站的增密和气象雷达、气象卫星等新技术的应用,中小尺度天气系统的分析研究有了很快的进展,但由于我国缺少专门针对中尺度天气系统的分析工具,对中小尺度天气系统的了解,还很不全

* 国家 973 计划项目“我国南方致洪暴雨监测与预测的理论和研究方法研究”(2004CB418307);科技部公益行业专项(GYHY200706012,CY-HY200906010,GYHY201006003);国家自然科学基金(40930951);中国气象局气象新技术推广项目(CMATG2008Z08);武汉暴雨所科研业务专项(1011)共同资助

2009 年 12 月 28 日收稿; 2010 年 8 月 3 日收修定稿

第一作者:彭菊香,主要从事数值预报研究. Email:hexiang414@163.com

面,有待于进一步研究解决。

我国气象工作者努力研发适用于中尺度的分析预报系统^[4],该系统统计分析和诊断的资料来自于探空报,而未联合使用地面资料^[5-6]、雷达资料^[7-8]、卫星资料等,但恰恰这些高时空分辨率观测资料在对流性天气过程的分析与预报中起非常重要的作用。

20 世纪 90 年代美国 NOAA 开发了 LAPS 系统专门用于中尺度系统的分析。武汉暴雨研究所于 2005 年引进 LAPS 系统,2007 年完成本地化正式业务运行。自 LAPS 业务运行以来受到过多次良好的反馈意见,但目前为止还未曾对这套业务运行的 LAPS 系统作过系统的检验与评估。因此,本文对华中区域的 LAPS 分析场进行初步的定性和定量的检验与评估,以期对华中区域的 LAPS 分析场的特征得到较全面的认识。

1 原理

1.1 系统简介

LAPS 系统 (Local Analysis and Prediction System) 是美国 NOAA 下属的地球系统研究实验室 ESRL (Earth System Research Laboratory) 研究开发的,它的诞生是为了解决预报员不能在同一数值平台上看到所有资料信息的难题,该系统是综合处理和融合分析多种资料的中尺度分析系统。LAPS 系统能够解决全国或区域模式未充分应用诸如多普勒雷达资料以及中尺度加密观测资料在内的局地探测资料的问题。该系统将各个气象观测系统中获取的资料融合分析到针对某个区域的高分辨率网格上,即通过 LAPS 系统将来自局地中尺度加密网的资料(包括地面观测系统资料、多普勒雷达数据、卫星资料、风和温度(RASS)廓线资料、微波辐射仪资料、飞机报等),融合成覆盖任一区域三维高时空分辨率的网格分析场。其用到的分析资料除了上述局地中尺度加密网观测资料之外,还包括数值预报模式产品(初猜场)、ACARS、METAR(机场发布的常规天气报文)、探空及 GPS 水汽资料等。

1.2 LAPS 运行流程

LAPS 主要包括资料融合模块、资料分析模块、接入预报模式模块三个部分,其运行流程如图 1 所示。LAPS 资料融合模块的功能,主要是通过对各

种类型的观测资料做相应处理,生成 LAPS 网格上的中间数据,提供给 LAPS 分析模块。LAPS 资料分析模块包括风分析、温度-高度分析、云分析、湿度分析,并根据输出场反演其他物理量的导出分析,雪降/液态等价物降水分析,土壤湿度分析以及高度、风及云的准地转平衡处理等几个部分。LAPS 输出量除常规的温度、高度、湿度及风场外,还提供许多有指导意义的指数,如火灾天气指数、热指数、风暴指数、三维结冰指数等;另外,还包括多种物理量,如地面位温、地面风场、海平面气压、地面能见度、地面相当位温、边界层层顶高度、土壤湿度等。李红莉等^[9-11]详细介绍了 LAPS 系统的模块功能以及各种资料在该系统中的应用方法。

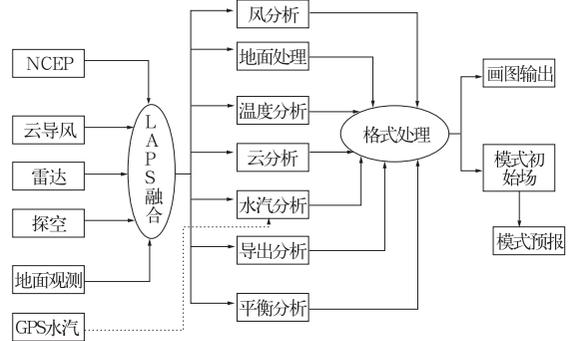


图 1 LAPS 资料处理流程图

Fig. 1 The flowchart of LAPS ingesting data

1.3 LAPS 融合数据说明

本文运用 LAPS 系统每天分析 8 次,每 3 小时一次,分别在 00、03、06、09、12、15、18、21 时(世界时,下同)进行分析,水平分辨率为 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$,水平范围($27^{\circ} \sim 35^{\circ} \text{N}$ 、 $106^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$),垂直分层为 22 层,包含 1100、1050、1000、950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、500、450、400、350、300、250、200、150、100 hPa。融合分析的数据是 973 项目外场试验期间采集的,背景场使用的是 NCEP 下发的预报场资料(gfs 资料),观测资料包括常规地面观测资料、高空观测资料、加密高空观测资料、SA、SB 波段多普勒雷达基数据。本区域 LAPS 系统融合了包含武汉、宜昌、恩施、十堰、常德、长沙、南昌、九江 8 部雷达的基数据资料,汉中、安康、南阳、达县、恩施、宜昌、马坡岭、南昌、沙坪坝、怀化、武汉 11 个探空站的加密观测资料。参与本文检验评估的数据集为 2008—2009 年 5—7 月之间的 LAPS 分析场。

2 分析能力的体现

2.1 LAPS 分析场对暴雨系统的统计

为了揭示 LAPS 分析场对中尺度系统的再现能力,本文统计华中区域内 2008—2009 年 5—7 月之间的暴雨日。暴雨日的标准为区域内单站 24 小时内常规观测站观测的降水量超过 50 mm。对这些个例的 LAPS 分析场进行逐个分析,普查 925 hPa、850 hPa 及 700 hPa 上的中尺度系统,分析结果如下:

湖北省暴雨日共有 50 个,其中 2008 年 27 个、2009 年 23 个。在这 50 个暴雨中,700 hPa 上,LAPS 能分析出 49 个影响系统(98%),分别为辐合线 8 次,低涡 13 次,切变线 15 次,低槽 6 次,中气旋 3 次、中低压 4 次;850 hPa 上,LAPS 能分析出 47 个暴雨日的影响系统(94%),分别为辐合线 12 次,低涡 14 次,切变线 10 次,低槽 6 次,中气旋 4 次,中低压 1 次;925 hPa 上,LAPS 能分析出 46 个暴雨日

的影响系统(92%),分别为辐合线 20 次,低涡 10 次,切变线 9 次,低槽 1 次,中气旋 5 次,中低压 1 次。

从这个统计结果来看,LAPS 对大多数的暴雨日有较好的中尺度再现能力,对暴雨影响系统的分析在中低层达到 90% 以上,特别是对于那些暴雨范围较大、大雨或暴雨都是成片出现的个例具有很好的再现能力。

2.2 LAPS 分析场与雷达回波、实况降水、TBB 的对比

2008 年 7 月 21 日到 23 日在华中区域发生了一次由西南涡东移造成的强降水过程。通过将 LAPS 分析场与雷达回波和实况降水进行对比来分析其对中尺度系统的再现能力。

从图 2 看出,850 hPa 的 LAPS 分析场上,西南急流位于湖南上空,实况雨带分布在该急流轴的左前方,在湖北、陕西、重庆三省交界处和四川东部分别存在一明显的风场辐合中心,湖北北部上空是一

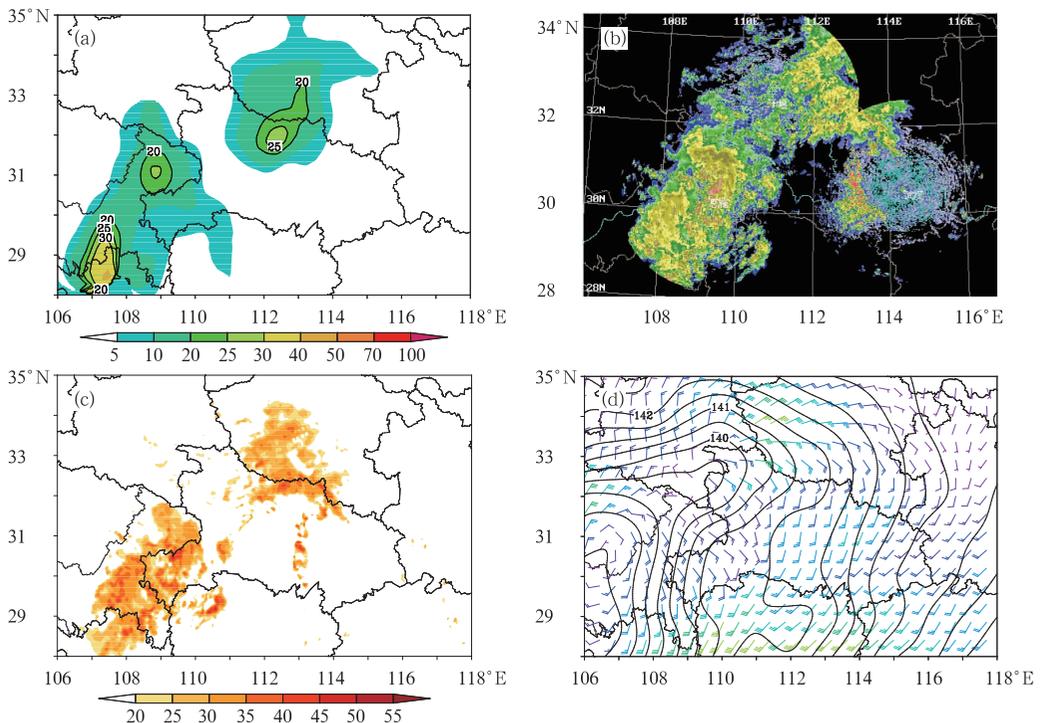


图 2 2008 年 7 月 21 日 21 时(0021 UTC)实况及分析图

(a) 3 小时降水实况分布图; (b) 雷达回波拼图;

(c) 700 hPa 上的 LAPS 雷达反射率图; (d) 850 hPa 上的 LAPS 风场与位势高度

Fig. 2 Observations and analysis at 0021 UTC 21 July 2008

(a) spatial distribution of 3-h observed rainfall, (b) radar echos mosaic, (c) radar reflectivity of LAPS at 700 hPa, (d) wind field and geopotential heights of LAPS at 850 hPa

条明显的暖切变,这三个辐合区域与实况降水的三个中心有较好的对应关系,其对应关系为 850 hPa 上的辐合区域向南 1~2 个纬度的地方即是地面降水中心。LAPS 分析的雷达反射率图 2c 与实况雷达回波拼图 2b 也对应的较好,图中两块反射率高值区的范围与实况降水的两片雨区的范围几乎是重合。

从图 3 看出 700 hPa 西南涡的中心位于重庆、湖北交界处,雷达回波的高值区均匀分布在西南涡

的东南方向,回波带的走向与西南涡的轴线一样呈西南—东北走向。在 TBB 的图上也可看到云带主要呈西南—东北向,并且在河南南部、安徽北部、江苏中部有一条 TBB 低于 -55 °C 的低值区,该低值区在 LAPS 分析的回波反射率上没有表现是因为华中区域 LAPS 分析的雷达资料不包括河南、安徽、江苏的雷达数据。就湖北省来看,LAPS 分析的雷达反射率和流场与 TBB 的对应还是不错的。

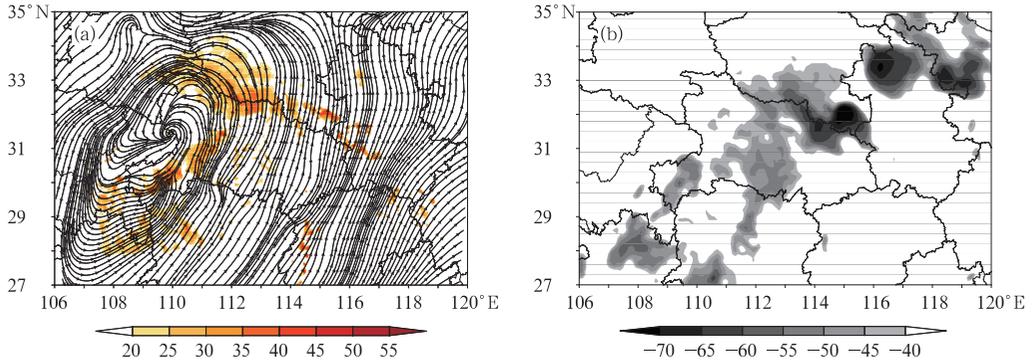


图 3 2008 年 7 月 22 日 06 时 (a) LAPS 700 hPa 流线和雷达反射率和 (b) TBB
 Fig. 3 Charts at 0006 UTC 22 July 2008 (a) stream field and radar reflectivity of LAPS at 700 hPa and (b) TBB

2.3 LAPS 分析场刻画细致的中尺度特征

为了揭示 LAPS 系统的中尺度再现能力,对比分析华中区域的几个暴雨个例发现,925 hPa、850 hPa 和 700 hPa 上,LAPS 分析场均能再现中尺度系统的特征。如图 4 所示,图 4b 中鄂西北处有一较平直的辐合线,而在图 4a 中相同位置处能够看到一个完整的涡旋,并且在涡旋的东面有 35 dBz 的回波与之对应;如图 5 所示,图 5b 中江汉平原至湖北北部一带处于弱的辐散气流中,而在图 5a 中可以看到

该区域是在两股气旋性气流的控制下,特别是江汉平原南部,位于这两支气流对垒的地方,有 45 dBz 的回波反射率与之对应。

通过大量暴雨个例的对比分析发现,LAPS 能分析出较大尺度分析场更为精细的中尺度系统,LAPS 分析出的中尺度涡旋或者辐合线其水平尺度较小,大致在 200 km 以下,并且这些中尺度系统均有雷达回波和降水与之配合,说明分析出的中尺度系统是合理可信的。

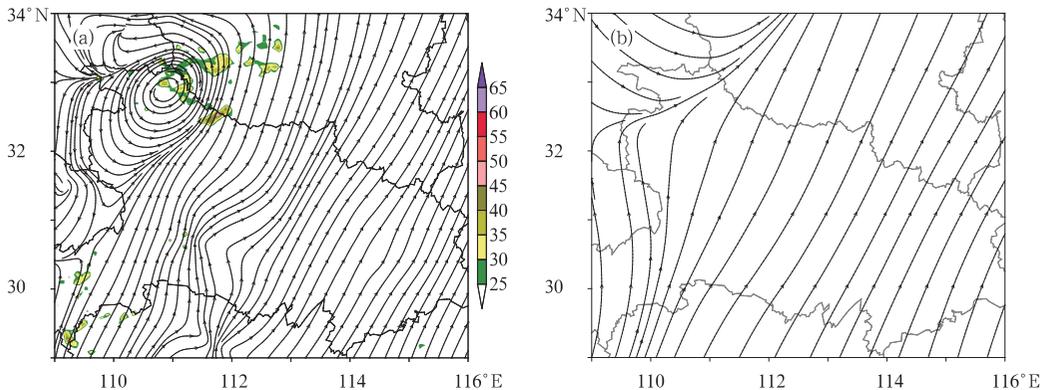


图 4 2008 年 7 月 4 日 06 时 850 hPa 上华中区域分析图
 (a) LAPS 流场及雷达反射率图; (b) 背景场分析流场

Fig. 4 The 850 hPa analysis charts in Central China at 0006 UTC 4 July 2008
 (a) stream field and radar reflectivity of LAPS and (b) background stream field

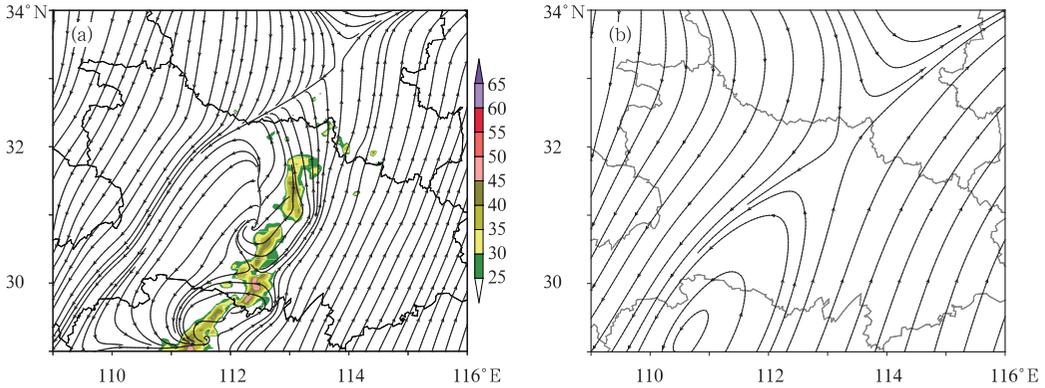


图 5 2008 年 7 月 6 日 00 时 700 hPa 上华中区域分析图

(a) LAPS 风场及雷达反射率图; (b) 背景场分析流场

Fig. 5 The 700 hPa analysis charts in Central China at 0000 UTC 6 July 2008

(a) stream field and radar reflectivity of LAPS and (b) background stream field

3 分析场的检验与评估

3.1 LAPS 分析场的方差检验

本文利用均方根误差对 LAPS 中尺度分析场的质量进行定量检验评估。

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - x_o)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

均方根误差反映了该区域内误差幅度的平均状况,表示随机误差。公式中 x_i 为分析气象要素场, x_o 为观测真值。 N 为样本数。

利用上述方法将 1 天 4 次的加密探空资料视为观测真值 x_o ,把 LAPS 分析场插值到各探空站上的值视为 x_i 。分别将 LAPS 融合观测资料前后的分析资料插值到各个探空观测站的 11 个等压面上,对比要素包括位势高度、温度、相对湿度、风向和风速,垂直方向 11 个层次分别为:1000 hPa、925 hPa、850 hPa、700 hPa、500 hPa、400 hPa、300 hPa、250 hPa、200 hPa、150 hPa、100 hPa。通过对比以期证实融合观测资料的重要作用。

从表 1 各要素均方根误差可见,LAPS 中尺度分析场的温度、风向、风速较背景场有明显的改善。LAPS 融合观测资料后温度、风向、风速的均方根误差至少能降低 50%;高度场和相对湿度场误差略有增加;分析相对湿度场均方根误差随高度的分布(图 6)发现,背景场和 LAPS 分析场的均方根误差均随高度递增,且均方根误差主要是在高层增加,而在 800 hPa 以下,融合观测资料后的方差比未融合的方差是减小的,天气系统中中尺度对流系统多发

生在中低层,并且中低层的水汽条件对降水的发生起重要作用;因此,融合观测资料后的 LAPS 分析场是适用于分析中尺度系统演变特征的。

表 1 LAPS 融合观测资料前后各要素的均方根误差

Table 1 Root mean square (RMS) errors of each element before and after LAPS ingesting

	高度	温度	相对湿度	风向	风速
背景场	18.874	1.390	28.053	40.890	3.668
LAPS	19.917	0.814	35.238	21.206	1.360

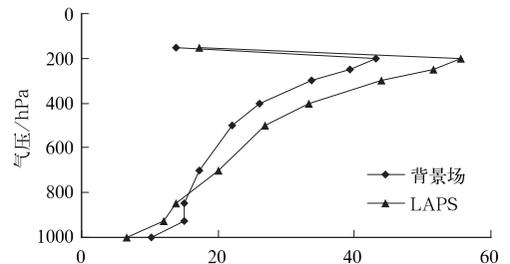


图 6 相对湿度均方根误差随高度的分布

Fig. 6 The RMS errors of relative humidity versus pressure

3.2 雷达资料、探空资料、地面资料在 LAPS 分析中的作用

为了检验雷达资料、探空资料、地面资料分别在 LAPS 分析中的作用。本文设计 4 种试验方案,分别计算各方案中各要素的均方根误差。4 种方案设计如下(表 4):方案一,仅有背景场;方案二,背景场中融合雷达资料、地面观测资料;方案三,背景场中融合探空资料、地面观测资料;方案四,背景场中融合雷达资料、探空资料、地面观测资料。

从表 2 看出,融合了雷达资料、探空资料以及地面观测资料后的方案四中温度场、风场的均方根误差小于其他 3 种方案,说明 LAPS 同化观测资料后能改善温度场及风场的分析。方案二、方案四中温度场、风场的均方根误差小于方案一,说明雷达资料和探空资料在 LAPS 系统中能改善温度场以及风场的分析。高度场和相对湿度的误差略为增加的原因已用图 6 说明。

表 2 华中区域批量检验各要素的均方根误差

Table 2 The RMS errors of each element in Central China

均方根误差	高度场	温度场	相对湿度	风向	风速
方案一	18.874	1.390	28.053	40.890	3.668
方案二	18.066	0.951	34.199	25.340	1.520
方案三	18.130	0.9667	34.917	29.809	3.501
方案四	19.917	0.814	35.2383	21.206	1.360

综合上述分析可知,同时融合雷达资料、探空资料、地面观测资料时的分析场是最优的,这也体现了综合处理和融合观测资料的优越性。雷达资料及探空资料对于改善风场以及温度场的分析具有正效果。相对湿度场上不论是单独融合雷达、探空资料,还是综合融合两种资料,其效果相对于仅融合背景场都是使误差增大,这可能与 LAPS 系统水汽分析模块所使用的方法密切相关,需要进一步修正该水汽分析模块算法。

3.3 LAPS 的应用评估:TS 评分

许多局地的强降水过程是由中小尺度系统引起,当大尺度的天气系统与中小尺度系统相互作用时产生的混合性(系统性、局地性)降水常常引发连续性的强降水过程。LAPS 作为一种中尺度分析场,携带着大量中尺度系统特征的信息,如果能将这中尺度的信息恰当地反馈给数值预报模式,将能提高数值模式对强降水预报的准确率。为了求证 LAPS 在业务数值预报模式中的应用价值,从 2009 年汛期开始,开展了 AREM 模式分别以两种初始场进行每日降水预报的平行试验,方案一采用的初始场为 NCEP 预报场经三维变分同化探空资料和地面资料形成的分析场、侧边界为 NCEP 的预报场,以下简称该方案为 AREM-SY^[12];方案二采用的初始场是 NCEP 预报场经 LAPS 融合探空资料、地面资料、雷达资料形成的分析场、侧边界仍为 NCEP 预报场,以下简称 AREM-RUC。对 2009 年下半年两种初始场每天 08 时和 20 时预报的降水进行了全

国范围内的 TS 评分,下面给出 2009 年下半年 AREM-SY 和 AREM-RUC 降水预报 0~24 小时和 12~36 小时的 TS 评分。

图 7a 是两种方案 0~24 小时降水预报的评分结果,可以看到从小雨到大暴雨的各个量级,AREM-RUC 的 TS 评分均高于 AREM-SY,特别是降水量越大,AREM-RUC 较 AREM-SY 的提高越多,在大暴雨的量级上 AREM-RUC 能在 AREM-SY 的评分上增加 50%;随着时效的增加,在 12~36 小时的评分中在小雨量级上 AREM-RUC 略低于 AREM-SY,但中雨、大雨、暴雨、大暴雨上 AREM-RUC 的评分均明显高于 AREM-SY。从 TS 评分的结果看,经 LAPS 融合观测资料后能明显改善 AREM 模式的初始场,提高 AREM 模式降水预报的准确率,在实际业务工作中具有较强的应用价值。

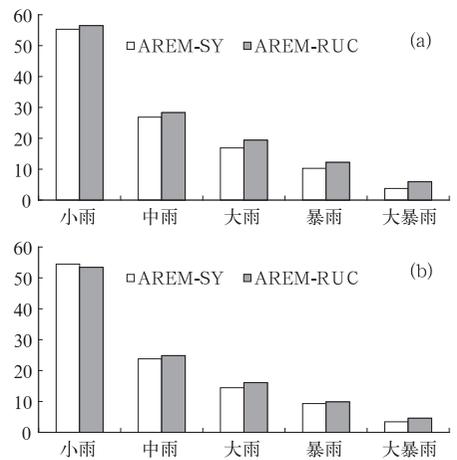


图 7 降水预报 TS 评分

(a) 0~24 h; (b) 12~36 h

Fig. 7 The TS scores of precipitation forecast for (a) 0—24 h and (b) 12—36 h

4 结 论

本文简要介绍了 LAPS 系统及其运行流程、初步分析了 LAPS 分析场对中尺度系统特征的刻画能力,对 LAPS 分析场进行了定量的误差分析、应用 AREM 模式分别使用两种初始场进行降水预报,鉴于本文初步的分析可得如下结论:

- (1) 利用 LAPS 融合地面观测资料、探空资料、雷达回波反射率所形成的中尺度分析场对中尺度系统有更细致的再现能力。
- (2) 设计了融合不同观测资料的试验方案并计算了各种试验方案的均方根误差,定量对比分析了

各种观测资料在 LAPS 系统中的作用, 试验发现 LAPS 融合所有观测资料后得到的分析场是最优的, 这体现了 LAPS 综合处理分析观测资料的能力以及综合使用观测资料的重要性。

(3) AREM 模式分别使用三维变分同化和 LAPS 融合形成的初始场进行降水预报的 TS 评分表明: LAPS 融合各种观测资料后能有效地改善模式的初始场, 提高模式降水的预报准确率。

参考文献

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [2] 高守亭. 大气中尺度运动的动力学基础及预报方法[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [3] 陆汉城. 中尺度天气原理和预报[M]. 北京: 气象出版社, 2000.
- [4] 倪允琪, 周秀骥, 张人禾. 我国南方暴雨的试验与研究[J]. 应用气象学报, 2006, 17(6): 690-704.
- [5] 赵培娟, 吴蓁, 郑世林. 河南省强对流天气诊断分析预报系统[J]. 气象, 2010, 36(2): 33-38.
- [6] 马文彦, 冯新, 杨芙蓉. 地面资料在侦测暴雨天气过程中的应用[J]. 气象, 2010, 36(1): 41-48.
- [7] 张利红, 杜钦, 陈静. 地面观测资料在西南地区数值预报中的敏感性试验[J]. 气象, 2009, 35(6): 26-35.
- [8] 漆梁波, 陈雷. 上海局地强对流天气及临近预报要点[J]. 气象, 2009, 35(9): 11-17.
- [9] 王会山, 张云峰, 王承伟. 冷涡内部中尺度变形场的多普勒雷达观测和分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 33-38.
- [10] 崔春光, 李红莉, 彭菊香, 等. LAPS 资料在一次鄂东初夏暴雨分析中的应用[J]. 暴雨灾害, 2009, 27(4): 307-312.
- [11] 李红莉, 崔春光, 王志斌, 等. LAPS 的设计原理、模块功能与产品应用[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(1): 64-70.
- [12] 李红莉, 崔春光, 王志斌, 等. 中尺度分析系统 LAPS 应用雷达资料的个例研究[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 235-244.
- [13] 李红莉, 张兵, 陈波. 局地分析和预报系统(LAPS)及其应用[J]. 气象科技, 2008, 36(1): 20-24.
- [14] 王叶红, 赵玉春, 张兵. 改进的 AREMS 对 2003 年汛期降水预报及对比检验[J]. 热带气象学报, 2005, 21(6): 597-604.