

李红莉,彭菊香,张艳霞.多源观测资料在LAPS中尺度分析场中的作用分析[J].暴雨灾害,2014,33(3):273-280

LI Hongli,PENG Juxiang,ZHANG Yanxia. Analysis on the role of various observation data in LAPS mesoscale analysis fields[J].Torrential Rain and Disasters,2014,33(3): 273-280

## 多源观测资料在LAPS中尺度分析场中的作用分析

李红莉<sup>1</sup>,彭菊香<sup>1</sup>,张艳霞<sup>2</sup>

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所,暴雨监测预警湖北省重点实验室,武汉 430074;

2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所,广州 510080)

**摘要:**利用LAPS系统,分别针对华中、华南两个区域,将2008—2010年5—7月采集的观测资料进行融合同化分析,设计几种敏感性试验方案,以探空资料为客观标准,对比分析各种观测资料对LAPS分析场各要素误差的作用。将LAPS分析资料和FNL再分析资料做比较,给出融合多种观测资料后LAPS分析场的误差精度。结果表明,LAPS融合同化雷达资料、探空资料、地面观测资料后所得到的分析场误差最小;雷达资料和探空资料的融合对于改善风场及温度场的分析具有正效果,并可减小低层相对湿度误差;融合地面资料后能改善低层的温度场和湿度场分析,但对中高层无影响。对比试验期间各要素总均方根误差可发现,LAPS分析的温度、风向和风速较FNL再分析资料有明显改善,各要素误差在观测误差范围内;高度误差在中低层小于10 m,高层小于20 m;温度误差在1℃左右;相对湿度误差在中低层小于20%,高层误差较大;850 hPa以上风向误差较小,不超过20°,风速误差小于2 m·s<sup>-1</sup>。

**关键词:**LAPS;资料同化;误差分析;定量评估

中图分类号:P416;P435 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1004-9045.2014.03.010

## Analysis on the role of various observation data in LAPS mesoscale analysis fields

LI Hongli<sup>1</sup>, PENG Juxiang<sup>1</sup>, ZHANG Yanxia<sup>2</sup>

(1. Hubei Key Laboratory for Heavy Rain Monitoring and Warning Research, Institute of Heavy Rain, Wuhan 430074;

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

**Abstract:** In this study LAPS is used to assimilate data observed during flood seasons from 2008 to 2010 to establish mesoscale analysis fields, respectively for the following regions: south China and Central China. Several test schemes are designed to evaluate the role of various observation data in LAPS. Using radiosonde observations as objective criterion, LAPS analysis data are compared with FNL reanalysis data, and root mean square errors (RMSE) are calculated to quantitatively assess the quality of LAPS mesoscale analysis fields when assimilating all the observations. The results are shown as follows. The RMSEs with assimilating radar, radiosonde and surface observations in LAPS are the smallest. By assimilating radar and radiosonde observations in LAPS, it has a positive impact on improving wind and temperature analysis, and the RMSEs of relative humidity at 500 hPa decrease. Temperature and relative humidity in the low levels are also improved by assimilating surface observations in LAPS, although it has no impact in the middle and high levels. By comparing the RMSEs of each element over the study period, the analyses of LAPS temperature, wind direction and wind speed are better improved than that of FNL. Height RMSE is less than 10 m in the middle and low levels, and 20 m in the high levels. Temperature RMSE is about 1°C. Relative humidity RMSE is less than 20% in the middle and low levels. Wind direction RMSE is less than 20° above 850 hPa. Wind speed RMSE is less than 2 m·s<sup>-1</sup>.

**Key words:** LAPS; data assimilation; RMSE; quantitative evaluation

## 引言

自20世纪90年代以来,利用资料同化技术来综

合分析和处理过去的气象观测数据、重建长期连续的格点再分析资料取得了长足发展。再分析资料的问世为人们深入了解大气运动的方式、认识不同时空尺

收稿日期:2013-08-28;定稿日期:2014-04-26

资助项目:国家自然科学基金项目(41105072,41375041,41375057);国家863计划项目(2012AA120902);科技部公益行业专项(GYHY201206076)

第一作者:李红莉,主要从事资料同化及数值预报研究。E-mail:lihongli@whihhr.com.cn

度内气候变化和变率提供了强有力的研究工具<sup>[1-3]</sup>。然而,作为一种利用资料同化方法把数值预报产品和观测资料融合起来的“再生产物”,再分析产品在不同时空尺度内都包含有数值模式、同化方案和观测系统变更所引入的误差<sup>[4-5]</sup>。许多学者对NCEP/NCAR再分析数据进行了研究,发现这些资料早期的夏季海平面气压和高度场产品在欧亚大陆东部一些地区存在一定的质量问题<sup>[6-7]</sup>。已经有不少研究探讨再分析资料在东亚和中国区域气候变化研究中存在的适用性问题<sup>[8-9]</sup>。这些工作大多是从气候变化角度进行可信度分析和验证。从中尺度角度,大多数研究是针对中尺度数值模式产品进行相关检验及误差分析<sup>[10-11]</sup>,还有研究不同的资料在同化系统中的应用对预报的改进作用<sup>[12]</sup>。

国内外直接利用中尺度分析场研究中尺度系统还很少,究其主要原因是缺少质量可靠的中尺度分析场。美国NOAA下属的ESRL实验室(Earth System Research Laboratory)开发的LAPS系统(Local Analysis and Prediction System)解决了这一问题。它能快速有效地将新型探测资料(卫星、雷达、GPS等)用于中尺度分析及数值天气预报系统,提供尽可能准确的客观分析场。LAPS的基础算法是通过Barnes权重函数进行逐次订正客观分析,水汽分析采用变分法<sup>[13-15]</sup>。LAPS通过调整权重等参数,可使分析场与观测实况非常接近。早在1996年LAPS系统已为夏季亚特兰大奥运会举行提供服务<sup>[16]</sup>。GOES卫星辐射资料、GPS水汽等资料同化进入LAPS系统后提高了LAPS系统的水汽分析能力<sup>[17]</sup>。Hiemstra C A, et al<sup>[18]</sup>用2年的资料对LAPS地面分析场质量进行了检验评估,结果表明LAPS能准确地分析地面温度、相对湿度,对风场的分析准确度略有下降,对地面降水的分析无规律。

武汉暴雨研究所于2006年引进了LAPS系统<sup>[19]</sup>,结合暴雨过程对雷达资料、GPS水汽资料的应用开展了相关研究<sup>[20-21]</sup>。崔春光等<sup>[22]</sup>对2008和2009年3 h一次的分析数据进行统计分析,表明该资料对中尺度强对流系统具有很强的再现能力。刘志雄等<sup>[23]</sup>利用该系统产品较好地分析了一次局地强冰雹过程。以上研究大多是针对单一资料在LAPS系统中应用的个例分析或是分析场质量初步检验,尚未全面研究多源观测资料在LAPS系统中的作用。借助2008—2010年5—7月3年野外试验期间华中、华南区域观测资料和LAPS系统,设计敏感性试验,对比分析多源观测资料在LAPS中尺度分析场中所起的作用,并给出融合同化多源观测资料后的逐小时LAPS分析场各要素误差精度,以期为我国LAPS系统业务和科研用户提供更

加客观的使用依据。

## 2 资料及方法

目前LAPS系统分为传统LAPS系统和变分LAPS系统,本研究使用传统LAPS系统,以美国NCEP的3小时一次GFS实时全球预报场为背景场,融合分析本地观测数据,包括地面观测资料(常规、加密)、高空观测资料(常规、加密)、S型多普勒雷达基数据(径向风和反射率)等。表1为华中和华南两个区域LAPS系统使用的雷达及探空数目,各个区域的地面观测站数均达到1 000以上。根据LAPS系统融合观测资料种类,设计5种试验方案,分别得到各方案在两个分析区域水平分辨率5 km逐小时的LAPS中尺度分析场。方案I未融合观测资料,方案II融合地面观测资料,方案III融合探空资料及地面观测资料,方案IV融合雷达资料及地面观测资料,方案V融合雷达资料、探空资料及地面观测资料。通过计算观测试验时段内各方案LAPS分析场与实况观测之间的均方根误差来定量评估雷达资料、探空资料、地面资料在LAPS系统中所起的作用。

表1 两个区域LAPS系统所融合同化各类观测资料测站数

Table 1 Numbers of observation stations used in the two regions			
区域	地面	探空	雷达
华中	1 690	11	8
华南	1 700	24	14

均方根误差公式定义为式(1),反映了该区域内误差幅度的平均状况,表示随机误差。

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (x_i - x_0)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式(1)中 $x_i$ 为分析气象要素场, $x_0$ 为观测真值, $N$ 为样本数。首先将一天2次或4次的探空资料视为观测真值 $x_0$ ,再分别将各方案LAPS中尺度分析场插值到各探空观测站11个垂直层次等压面上的值视为 $x_i$ ,利用上述公式计算均方根误差。分析的要素为高度、温度、相对湿度、风向和风速,分析时间段为2008—2010年5月1日00时—8月1日00时(世界时,下同),其中2008和2009年试验时间段一天4次探空观测,2010年一天2次探空观测。

## 3 各方案各要素误差对比分析

### 3.1 各方案分析值与实测值差值相对变化量的均方根误差分析

采用上述方法计算华中、华南两个区域试验时间段内各方案各要素均方根误差,进行对比分析。还计算了各方案各要素分析值和实测值的差值相对变化

量(即差值除以实测值)的均方根误差,来分析各观测资料在LAPS系统融合后对误差的相对贡献,但由于探空气球的飘移,实际探空观测资料在垂直分布上较各方案分析值不太连续,计算的分析值与实测值差值相对变化量各区域各年差异较大,因此仅筛选华中、华南两个区域试验时间段内连续性相对较好的暴雨个例,给出各种资料在LAPS系统中融合后对误差相对贡献的参考量级,在此以华南一次暴雨个例进行说明。

表2为2008年5月17—19日华南一次暴雨个例时间和区域平均的各方案各要素分析值与实测值差值相对变化量的均方根误差。从表中看出,对高度场,各方案分析值与实测值差值相对变化量的均方根误差完全一致,说明这些观测资料的融合对改进高度场的分析相对贡献较小,这可能与中高层高度场观测值基数较大,分析值和观测值的差异与观测值相比量级可忽略不计。对该个例,温度差值相对变化量的均方根误差较小,量级在10%以下,相对湿度量级在70%左右,风场量级在30%以下。对比各方案与方案I,整体趋势与表4各要素均方根误差相当,垂直分布(图略)也类似,因此此后章节将对各方案各要素均方根误差进行分析,以提供不同观测资料融合后的LAPS各要素分析场与实况观测的偏差情况。

表2 2008年5月17—19日华南一次暴雨个例各方案各要素分析值与实测值的差值相对变化量的均方根误差(单位:%)  
Table 2 Root mean square errors of the difference of relative variables in the between with various test schemes and observation for the heavy rainfall event in South China from 17 to 19 May 2008(unit:%)

方案	高度	温度	相对湿度	风向	风速
I	0.7	9.0	72	26	30
II	0.7	8.9	72	26	30
III	0.7	8.5	71	20	28
IV	0.7	8.7	73	21	27
V	0.7	8.6	72	20	27

### 3.2 各方案各要素均方根误差分析

统计3年2个区域各方案各要素均方根误差,在此列举华中区域2008年5—7月批量试验各要素均方根误差(表3)。从表3可知,各方案高度误差量级在十几米左右,温度误差在1℃左右,相对湿度误差在30%附近,风向误差在40°以下,风速误差在4 m·s<sup>-1</sup>以下。其他方案较方案I,温度与风的均方根误差偏小,相对湿度误差偏大,说明通过LAPS融合其他观测资料能改善对温度场以及风场的分析,但对湿度场改善不明显。从各方案各要素误差随高度分布图上看(图

1),从低层到高层,各方案高度误差随高度没有明显变化,但均在250 hPa出现一个极大值;温度误差在高层和底层较大,中层误差相对较小;相对湿度误差各方案比较接近,随高度增加而增加;风向的误差与温度分布趋势较为接近,在底层误差较大,在中层误差较小;风速误差随高度增加递增。

表3 华中区域2008年5—7月各要素区域和时间总平均均方根误差

Table 3 Root mean square errors of each element in Central China from May to July 2008

方案	均方根误差				
	高度/m	温度/℃	相对湿度/%	风向/°	风速/(m·s <sup>-1</sup> )
I	18.87	1.39	28.05	40.89	3.66
II	18.87	1.28	27.98	39.97	3.58
III	18.06	0.95	34.19	25.34	1.52
IV	18.13	0.96	34.91	29.80	3.50
V	19.91	0.81	35.23	21.20	1.36

对比表3中方案II与方案I可知,融合地面资料后,除高度场外,LAPS分析高度误差各要素误差较融合前均减小。方案II与方案I高度场误差相比无变化,说明地面观测资料对高度场无影响。各要素误差高度分布图上(图1),融合地面资料后能明显改善低层(850 hPa以下)的温度场,而对低层相对湿度和风场的影响小于温度场,对中高层(850 hPa以上)各要素无影响;随着高度增加,两条误差曲线越来越接近,说明地面资料在LAPS系统分析中作用随高度递减,影响范围从底层至850 hPa。

将表3中方案IV与方案II,方案V与方案III分别对比可见,对温度和风,方案III误差小于方案II,方案V误差小于方案IV;而对相对湿度,结论相反;对高度,方案III小于方案II,方案V大于方案IV。对温度和风向风速误差垂直分布(图1b,d,e),从低层到高层,方案IV和方案V的误差均分别小于方案II与方案III,与总平均均方根误差对比结果一致。但对相对湿度(图1c),500 hPa以下,前两种方案误差小于后两种,500 hPa以上,结果相反。以上分析表明雷达径向风在LAPS系统中的融合可减小风场误差,改进LAPS风分析场;雷达反射率的融合可减小温度场误差,改进温度场分析,但对高度场无明显作用,其虽然并未减小华中区域2008年汛期时间和区域平均的相对湿度场误差,但从误差垂直分布上来看,雷达反射率的应用可减小LAPS中低层湿度场误差,改进对LAPS中低层湿度场分析。

将表3中方案III与方案II,方案V与方案IV对比可以看出,对温度和风,方案III误差小于方案II,方案

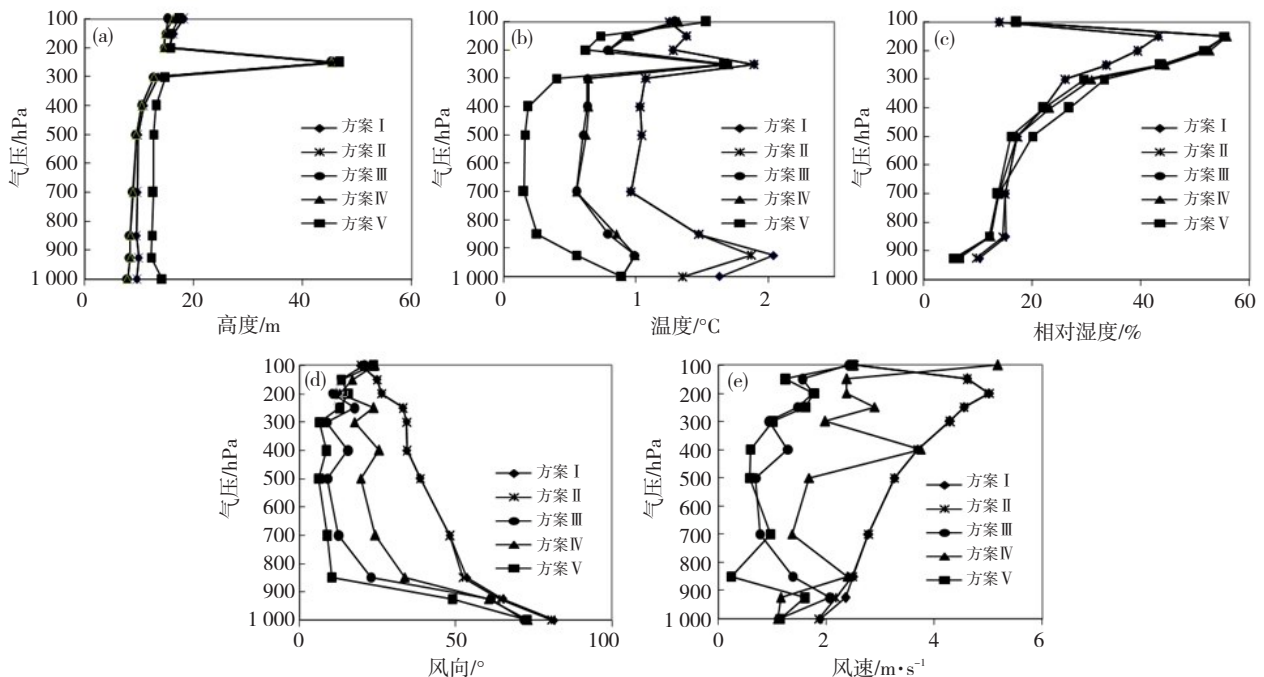


图1 2008年5—7月华中区域5种方案各要素均方根误差随高度分布图

(a) 高度场; (b) 温度; (c) 相对湿度; (d) 风向; (e) 风速

Fig. 1 Vertical distribution of root mean square errors of (a) height, (b) temperature, (c) relative humidity, (d) wind direction and (e) wind speed with height in the LAPS fields of five schemes in Central China from May to July 2008

V误差小于方案IV。垂直分布图上(图1),从低层到高层,温度和风场误差分布也对应着这一分布形势,说明探空资料在LAPS系统中的融合可减小温度和风的误差。与前面雷达资料的融合对误差的贡献分析结果对比,探空资料对温度和风场误差减小的幅度高于雷达资料的贡献,在垂直分布图上表现为方案III与方案II垂直廓线的距离大于方案IV与方案II,说明探空资料在LAPS系统中对要素场分析起重要作用,一方面说明LAPS同化探空资料后能明显改善各要素场的分析能力,另一方面也表明这可能与计算均方根误差时把探空资料作为观测真值有关系。

从表3和图1中还可看出,方案V中温度场、风场的均方根误差小于其他方案,相对湿度场和高度场的均方根误差量级与其他三种方案相当,但相对湿度在中低层的误差小于其他方案,说明LAPS同化观测资料后能明显改善温度场及风场的分析,但对高度场和相对湿度场作用较小,略改善中低层相对湿度场的分析。

总体来看,雷达资料及探空资料对于改善风场及温度场的分析具有正效果,融合多种观测资料后的LAPS高度场无明显改善,相对湿度场不论是单独融合雷达、探空资料,还是同时融合两种资料,其效果相对于背景场都是使总平均均方根误差增大,但可降低

中低层湿度场误差。地面资料的融合可改善对低层要素场的分析。融合雷达资料、探空资料、地面观测资料后的分析场较其他方案误差最小,说明多种观测资料的有效融合对LAPS各要素中尺度分析场质量有重要贡献。

#### 4 融合多种观测资料后LAPS中尺度分析场误差分析

为了深入分析融合多种观测资料后LAPS中尺度分析场质量,将方案V的LAPS分析场与NCEP再分析场(FNL)这两种资料分别与实况观测之间的误差进行了对比。FNL资料是目前气象工作中使用较为广泛,获取较为稳定,可信度较高的一类再分析资料,许多预报员或科研工作者在日常天气预报服务中用其进行天气尺度和中尺度分析。试验中LAPS系统采用NCEP预报场作为背景场,将LAPS分析资料与FNL对比,更能反映观测资料对背景场的修正作用,对LAPS分析场各要素误差评估结果也有一定的指示作用。

##### 4.1 总均方根误差分析

从3年试验期间两个区域总平均均方根误差(表4)可看出,LAPS系统分析的高度、风向、风速、温度总误差均小于FNL资料,其中风向和风速误差最小,温

度次之,高度场相当,而相对湿度大于FNL资料。从表5分布来看,LAPS的温度、风向、风速分析场较FNL有明显的改善,说明LAPS分析的风场、温度场较FNL再分析场更加接近实际探空观测,这与LAPS系统融合同化多部雷达径向风资料密切相关;对高度,两个区域除2008年LAPS高度场均方根误差略高于FNL高度场外,其余两年均小于FNL高度场,但两者误差相当,LAPS高度分析场改善不大;对总的相对湿度误差,LAPS大于FNL。以上只是对比总均方根误差结果,一般随着高度增加,观测资料种类越来越少及精

度越来越差,各分析场误差也将随之发生变化,因此有必要分析误差随高度的分布状况来进一步揭示LAPS分析场误差精度。

表4 FNL和LAPS分析场各要素2008—2010年两个区域总平均均方根误差

Table 4 Total root mean square errors of each element of the two regions by FNL and LAPS in the study period from 2008 to 2010

分析场	高度/m	温度/℃	相对湿度/%	风向/°	风速/(m·s <sup>-1</sup> )
FNL	14.61	1.19	28.83	28.27	2.79
LAPS	14.28	0.86	34.73	18.95	1.68

表5 2008—2010年试验期间FNL资料及LAPS资料对华中、华南区域各要素均方根误差

Table 5 Root mean square errors of each element of Central China and South China by FNL and LAPS in the study period from 2008 to 2010

区域	年份	分析场	高度/m	温度/℃	相对湿度/%	风向/°	风速/(m·s <sup>-1</sup> )
华南	2008	FNL	20.37	1.16	30.28	30.91	2.95
		LAPS	21.68	0.82	30.60	19.19	1.85
	2009	FNL	13.76	0.98	28.36	29.10	2.29
		LAPS	11.84	0.67	35.51	18.33	1.15
	2010	FNL	12.36	1.26	31.07	20.60	2.58
		LAPS	10.15	0.92	32.60	18.08	1.83
华中	2008	FNL	18.87	1.39	28.05	40.89	3.66
		LAPS	19.91	0.81	35.23	21.20	1.36
	2009	FNL	11.15	1.18	26.70	28.22	2.15
		LAPS	11.11	0.94	35.93	23.26	1.42
	2010	FNL	11.16	1.22	29.14	18.57	2.69
		LAPS	10.98	0.96	30.86	14.85	1.64

#### 4.2 均方根误差随高度的分布

比较2008—2010年两个区域各要素均方根误差随高度的分布情况,总体趋势一致,在此给出2009年误差随高度分布图(图2)来分析LAPS分析场各要素的误差。

从图2a、b可见,两区域的LAPS和FNL资料的均方根误差均随高度增加,华中区域500 hPa以下及400 hPa到300 hPa高度LAPS资料误差小于FNL,华南区域在中低层(500 hPa以下)LAPS误差较大,而高层较小,说明与FNL再分析资料相比,LAPS资料的高度误差随不同区域有高有低,不存在一致规律,这可能与本试验中LAPS系统同化的探空观测资料有关。LAPS系统在分析高度时,主要依靠探空资料来修订背景场,但在LAPS分析区域,探空资料较少,且分辨率较低,极大地影响了LAPS分析场。从图2还可以看出,在中低层(500 hPa以下),LAPS分析的高度误差在10 m以内,高层的误差不超过20 m。

对温度(图2c、d)而言,各区域LAPS资料误差在700—300 hPa上随高度几乎不变,且误差小于1℃,在底层和高层略有变化,误差不超过1.5℃,各区域均在925 hPa出现明显的拐点,但均小于FNL资料的温度误差,与表6中温度总平均均方根误差结果相一致。

各区域的LAPS资料相对湿度误差(图2e、f)与高度类似,随高度增加而增大,在中低层(500 hPa以下),误差较小(小于20%),但在200 hPa出现极大值,达到60%左右,在顶层又减小到20%附近。华南和华中区域500 hPa以下各层次的平均均方根误差分别为12.4%、15.9%,500 hPa以上为45.3%、40.3%,可见在中低层相对湿度误差在误差观测范围内,高层误差较大。从图中还可看出,850 hPa以下高度两个区域LAPS资料相对湿度误差小于FNL资料,说明观测资料的融合对低层湿度场分析有改进作用。LAPS资料相对湿度误差与FNL再分析资料误差分布一致,但与FNL资料相比,随区域和高度出现随机变化。本试验

中LAPS系统在进行湿度分析时,采用变分方法,利用探空观测资料和LAPS云分析结果对湿度场进行调

整,而高层探空观测资料的湿度精度较差,虽然雷达资料分辨率较高,但雷达反射率在LAPS系统中主要

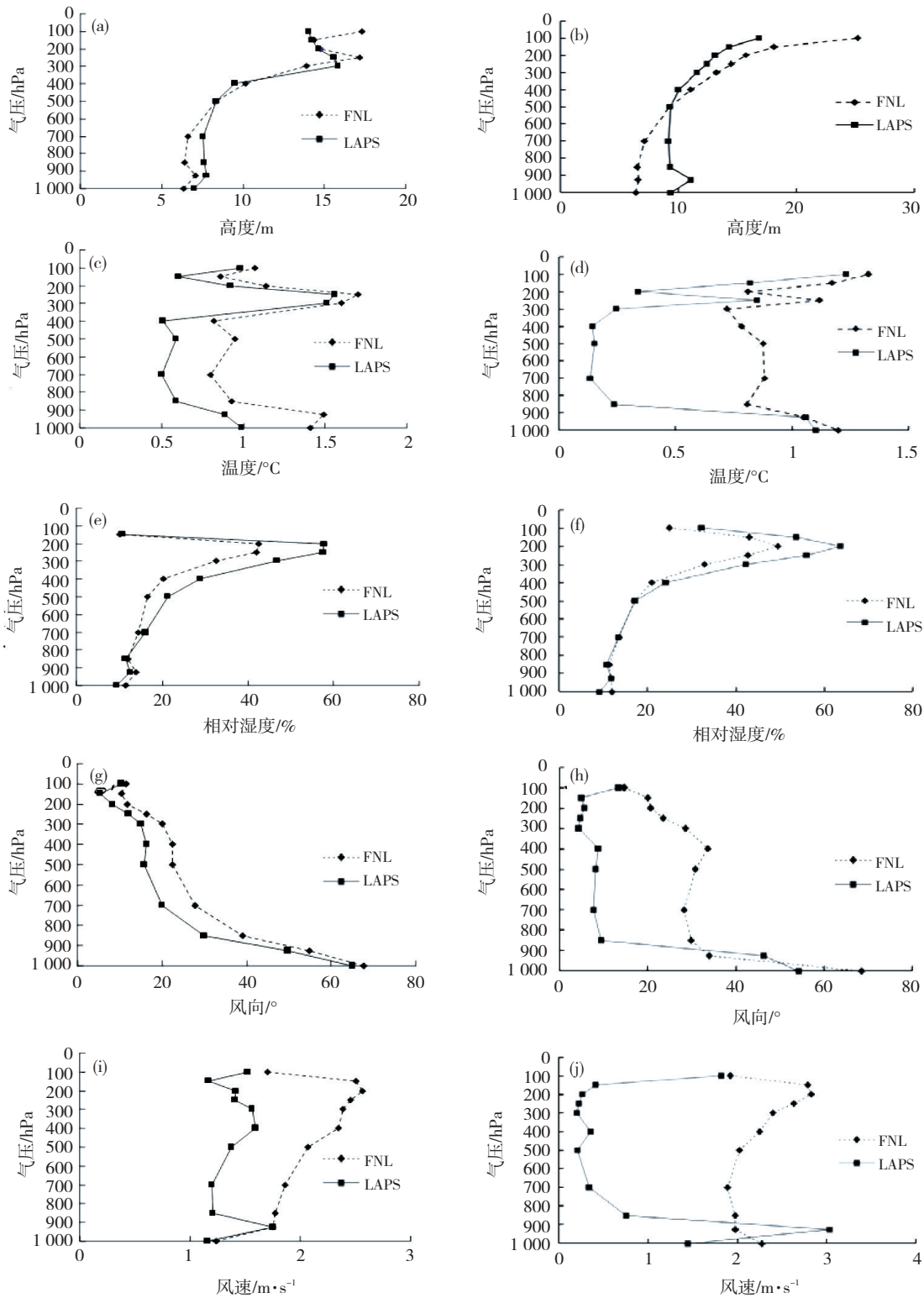


图2 2009年5—7月LAPS资料与FNL资料各要素均方根误差随高度的分布图

(a)华中高度;(b)华南高度;(c)华中温度;(d)华南温度;(e)华中相对湿度;(f)华南相对湿度;  
(g)华中风向;(h)华南风向;(i)华中风速;(j)华南风速

Fig.2 Vertical distribution of root mean square errors (a, Central China; b, South China), temperature (c, Central China; d, South China), relative humidity (e, Central China; f, South China), wind direction (g, Central China; h, South China) and wind speed (i, Central China; j, South China) by LAPS and FNL from May to July 2009

用于调整中低层云分析,在湿度分析中起间接作用,随着卫星资料、GPS水汽资料用于LAPS湿度分析,将改善LAPS对高层湿度场的分析。

从风场误差(图2g、h、i、j)随高度分布可看出,在各个高度上LAPS资料的风场误差均小于FNL再分析资料,说明LAPS分析场更接近实际探空观测,尤其是在850—200 hPa高度上,LAPS分析对风场的改善较大。两种资料的风场误差随高度变化一致,风向误差随高度的增加而减小。LAPS风向误差在850 hPa出现分界点,在该层以下高度,误差较大,但在850 hPa以上高度,误差较小,且随高度缓慢变化,保持在 $20^\circ$ 以内,远小于FNL风场误差。在850—150 hPa,LAPS风速误差小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,几乎随高度保持不变,远小于FNL风速误差,2009年试验期间华南区域风速误差更是小于 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。然而,各个区域风速误差在925 hPa高度出现拐点,存在一个极大值,可能与试验中LAPS垂直层次设定有关。本试验中,将LAPS系统垂直分辨率设为50 hPa,但为了便于直接与探空测站标准层资料进行对比,增加了925 hPa这一层,对LAPS系统分析该层次的量产生了影响。但总体来看,由于LAPS系统同化了大量高分辨率的雷达风资料,明显改善了对风场的分析,各个区域的LAPS风场误差分布情况均一致地呈现出小于FNL再分析场误差的形势,与相对湿度和高度误差分析中出现有高有低的情况完全不同,进一步说明了雷达风资料在LAPS系统中对改善风场的分析起重要作用。

从两个区域3年误差随高度分布图(图2)上还可看出,各个要素的误差随高度的分布与表6中总的平均均方根误差分布趋势相一致,各要素误差在观测误差范围内。LAPS分析的风向、风速较FNL更接近实况,对风场的改善作用最大,风向误差小于 $20^\circ$ ,风速误差在 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,风场误差均小于FNL,这与多普勒雷达径向风在LAPS系统中的同化密切相关。对温度的改善作用也比较明显,温度误差在 $1^\circ\text{C}$ 左右。高度误差在10 m左右,对其改善作用随不同区域及不同年份随机而变,并无规律性,这与目前试验中LAPS分析中仅依靠探空资料来调整高度场有关,该资料时空分辨率较低,影响了LAPS对高度的分析质量。虽然湿度是天气分析中相当重要的量,但也是几个常规要素中误差最大、最难分析准确的量,探空资料直接影响LAPS湿度分析,而雷达回波是间接调整LAPS分析的湿度场,对LAPS湿度分析作用不明显。另外,从各要素误差随高度分布图上还可看出,均方根误差随高度升高,在对流层中高层明显大于对流层中低层,且几乎所有误差曲线都在925 hPa和高层(200 hPa或

150 hPa)出现拐点,可能的原因是底层受地形影响较大,而高层与分析层顶太低(100 hPa)有关,重力波频散影响了高层的分析结果。由于中尺度系统的主要结构特征一般出现在对流层中低层,因此上述误差随高度的分布特征对利用LAPS分析场进行中尺度诊断与分析不会产生明显的影响。

## 5 结论

利用LAPS系统将华南、华中2008—2010年汛期观测资料融合同化,并根据融合资料种类,设计敏感性试验方案,对比分析各类观测资料对LAPS中尺度分析场的贡献,并利用融合多种观测资料的LAPS分析场和FNL再分析场做比较,以探空资料为客观标准,计算均方根误差来定量分析LAPS分析场各要素误差,得出如下结论。

(1) 根据LAPS系统融合资料种类设计几种方案,对比各方案中各要素的均方根误差发现,同时同化雷达资料、探空资料、地面观测资料后得到的分析场误差最小。雷达资料及探空资料的同化对于改善风场以及温度场的分析具有正效果,对比二者对各要素误差贡献,探空资料对温度和风场改进作用优于雷达资料。同化多种资料后的LAPS高度场对两个观测区域均有改善,但LAPS系统对于湿度场的改善与FNL资料相比优势不明显。融合地面资料后能明显改善低层的温度场和湿度场,但对中高层无影响。

(2) 由于LAPS系统在风分析中充分考虑了多部多普勒雷达径向风的作用,因此LAPS系统对雷达风资料的融合对风场改善作用明显;而对于雷达回波资料的应用目前仅在云分析中直接应用,湿度分析是间接利用雷达回波资料,因此目前雷达反射率资料对LAPS系统湿度场改善作用不明显,但可减小低层分析场相对湿度误差,改进LAPS低层湿度场分析。

(3) 通过以探空资料为标准,分析野外试验期间LAPS分析场及FNL再分析场各要素总平均均方根误差以及均方根误差随高度的分布结果表明,LAPS分析的温度与风场的误差均比FNL小,在观测误差范围内;高度误差在中低层小于10 m,高层小于20 m;温度误差在 $1^\circ\text{C}$ 左右;相对湿度误差在中低层不到20%,高层误差较大;底层风向误差较大,而850 hPa以上误差较小,不超过 $20^\circ$ ;风速误差小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

## 参考文献:

- [1] Bengtsson L, J Shukla. Integration of space and in situ observations to study global climate change [J]. Bull Amer Meteorol Soc, 1988, 69 (10): 1130—1143
- [2] Bengtsson L, Hodges K I, Hagemann S. Sensitivity of the ERA40 reanalysis

- to the observing system; determination of the global atmospheric circulation from reduced observations[J]. *Tellus*, 2004, 56A(5): 456–471
- [3] Trenberth K E. Atmospheric circulation climate changes[J]. *Climatic Change*, 1995, 31(2): 427–453
- [4] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77(3): 437–471
- [5] Uppala S M, Kallberg P W, Simmons A J, et al. The ERA-40 reanalysis [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 2005, 131(612): 2961–3012
- [6] Wu Renguang, Kinter J L, Kirtman B P. Discrepancy of interdecadal changes in the Asian region among the NCEP–NCAR reanalysis, objective analyses, and observations [J]. *J Climate*, 2005, 18(15): 3048–3067
- [7] 黄刚. NCEP/NCAR和ERA-40再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化[J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(3): 310–320
- [8] 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. NCEP/NCAR再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析[J]. *气象学报*, 2006, 64(6): 709–721
- [9] 赵天保, 符淙斌. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性[J]. *大气科学*, 2009, 33(3): 634–648
- [10] 许美玲, 孙绩华. MM5中尺度非静力模式对云南省降水预报检验[J]. *气象*, 2002, 28(12): 24–26
- [11] 吴曼丽, 沈玉敏, 梁寒. 辽宁中尺度数值模式产品和T213产品对比检验分析[J]. *气象科技*, 2009, 37(3): 276–280
- [12] 顾莹, 日下博幸, 束炯, 等. 实时GPS可降水量资料的变分同化个例研究[J]. *气象科学*, 2010, 30(2): 172–178
- [13] Albers S. The LAPS wind analysis [J]. *Wea Forecasting*, 1995, 10(2): 342–352
- [14] Albers S, J McGinley, D Birkenheuer, et al. The local analysis and prediction system(LAPS): analyses of clouds, precipitation, and temperature [J]. *Wea Forecasting*, 1996, 11(3): 273–287
- [15] Birkenheuer D. The effect of using digital satellite imagery in the LAPS moisture analysis [J]. *Wea Forecasting*, 1999, 14(5): 782–788
- [16] Snook J S. Local domain forecasting support to the 1996 Atlanta Olympic Games [C]//12th Int. Conf. on Interactive and Processing Systems for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, Atlanta, GA, Amer Meteor Soc, 1996: 32–35
- [17] Birkenheuer D. Progress in applying GOES-derived data in local data assimilation [C]//10th Conf. on Satellite Meteorology and Oceanography, Amer Meteor Soc, Long Beach, CA, 2000: 70–73
- [18] Hiemstra C A, Glen E L, Roger A p, et al. Comparing Local Analysis and Prediction System (LAPS) assimilations with independent observations [J]. *Wea Forecasting*, 2006, 21(6): 1024–1040
- [19] 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
- [20] 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): 1443–1452
- [21] 李红莉, 万蓉, 谢有才. 利用LAPS系统同化地基GPS水汽资料的应用研究[J]. *热带气象学报*, 2010, 26(6): 702–709
- [22] 崔春光, 倪允琪, 李红莉, 等. 中国南方暴雨野外试验(SChEX)中尺度气象分析场的建立及其质量评估[J]. *气象学报*, 2011, 69(1): 27–41
- [23] 刘志雄, 戴泽军, 彭菊香, 等. 基于LAPS的一次局地强冰雹过程分析[J]. *暴雨灾害*, 2009, 28(4): 27–34