

王叶红,赖安伟,赵玉春.地基微波辐射计资料同化对一次特大暴雨过程影响的数值试验研究[J].暴雨灾害,2010,29(3):201-207

地基微波辐射计资料同化对一次特大暴雨过程影响的数值试验研究

王叶红,赖安伟,赵玉春

(中国气象局武汉暴雨研究所,武汉 430074)

摘要: 基于暴雨中尺度数值预报模式 AREMv2.3 和三维变分同化系统 GRAPES-3DVAR, 以 2008 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时发生在我国东部地区的一次特大暴雨过程为例,研究了荆州、咸宁、常德 3 部地基微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化对降水预报的影响。结果表明: 1) 同化荆州、咸宁、常德 3 部微波辐射计反演的相对湿度廓线资料后,模式对降水落区预报改进不明显,但对降水强度预报改进明显,24 h 降水最大增幅为 45 mm; 2) 分别同化荆州、咸宁、常德微波辐射计湿度廓线资料,降水强度模拟均有所改进,24 h 降水最大增幅分别达到 42、10、24 mm; 3) 单站及两站微波辐射计资料同化均对降水强度预报有所改善,但不及对 3 部微波辐射计资料同时同化的结果,这表明同化的中尺度水汽场信息越多,初始场的质量越高,降水模拟效果越好; 4) 对上述暴雨过程而言,荆州微波辐射计湿度廓线资料同化对降水强度预报改进贡献最大,常德站次之,咸宁站作用最不明显。

关键词: 资料同化;暴雨;微波辐射计;相对湿度廓线

中图分类号:P413 文献标识码:A 文章编号:1004-9045(2010)03-0201-07

1 引言

地基微波辐射计具有受云雨雾影响小,无人值守,全天候和全天时工作,有一定穿透能力,可获得连续、客观、定量监测的优势,使其越来越多地受到世界各国的重视,并被广泛应用于各个领域;同时,地基微波辐射计还具有测量大气水汽和云液态水垂直积分量及分布的能力;此外,利用多频率微波辐射计测量温度廓线、通过微波辐射计的扫描观测来获得边界层的温度廓线、辐射计的角扫描观测来研究云的结构等,也是地基微波辐射计所具有的强大功能^[1-3]。近年来,随着微波辐射计通道个数越来越多,波谱分辨率、产品精度越来越高,地基微波辐射计资料越来越多地被用于云研究^[4]、水汽特征研究^[5-6],并在人工增雨外场作业中发挥着积极作用^[7]。然而,地基微波辐射计资料的应用,特别是在数值模式中的应用还不够充分有效。目前,空基、星基微波辐射计已被广泛应用于数值模式中,美国、欧洲等国家和地区已将 SSM/I、AMSU 等卫星微波资料同化到业务模式中,我国自主开发的 GRAPES-3DVAR 同化系统和 3DVM 方案也具有同化 AMSU 卫星资料的能力^[8-10]。因此,有必要进一步开展地基微波辐射计资料的同化研究。

2008 年中国气象局武汉暴雨研究所在湖北的咸宁、荆州和湖南的常德布设了三部 MP-3000A 地基微波辐射计,这种 35 通道的超光谱辐射计可每隔 2~3 min 提供从地表到 10 km 大气层共 58 个反演层的大气温度、相对湿度、液态水含量、水汽密度垂直廓线及云底高度、地面气象要素等,具有高时空分辨率特点,这些资料是对稀疏的探空网观测的有益补充。有研究表明^[11],湿度观测资料的及时性、准确性及其分布形式是理解和预报中尺度暴雨天气的重要因子之一,特别是对定量降水预报,因此高时空分辨率水汽资料的同化应用就显得格外重要。本文以 2008 年 7 月 22 日发生在我国东部地区的一次特大暴雨过程为例,对比研究微波辐射计资料同化对此次特大暴雨过程的影响,以期为进一步提高微波辐射计资料在数值模式中的应用水平提供有益依据。

2 暴雨过程概况

2008 年 7 月 22 日 08 时(北京时间,下同),西太平洋副热带高压加强西伸致使 500 hPa 低槽东移缓慢,低空急流引导副高外围的西南暖湿气流源源不断地向北输送,副高西侧暖湿气流与槽后冷空气充分交汇;同时,河西冷锋南下进入倒槽后部,产生倒槽锋生

收稿日期:2010-07-19;定稿日期:2010-08-19

资助项目:公益性行业科研专项(GYHY200906010)、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项武汉暴雨研究所 1009 课题、武汉区域气象中心基金重点项目《基于新一代中尺度数值预报模式的暴雨诊断分析预报系统》、中国气象局武汉暴雨研究开放基金(IHR2008G09)

作者简介:王叶红,女,1974 年生,副研究员,主要从事资料同化与中尺度数值模拟研究。E-mail: yehongw0120@yahoo.com.cn

气旋,地面锋生明显(图略)。7月22日08时至23日08时,山东、江苏、河南、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州、广西、云南等省(市)出现降水过程(图1a),降水范围绵延近3000 km;上述各省市均降了暴雨,其中大范围暴雨或大暴雨主要集中在山东、豫皖交界地带以及湖

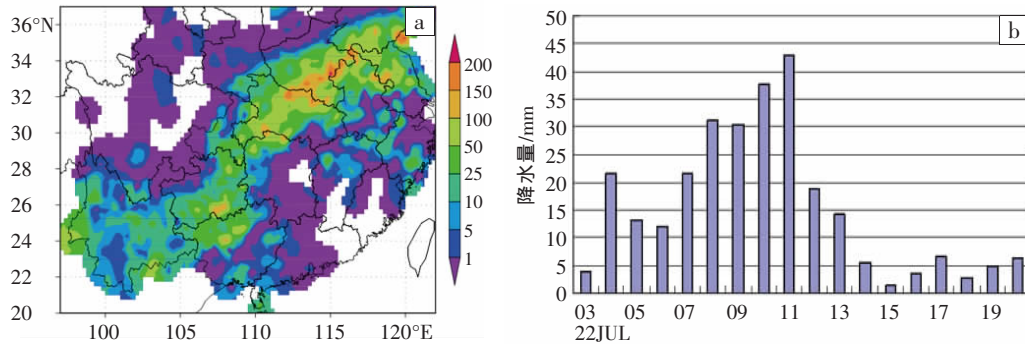


图1 2008年7月22日08时至23日08时24 h降水量分布图(a,单位:mm)及22日02时至23日20时襄樊逐时降水量图(b,单位:mm)

此次襄樊市降水从22日02:00开始至23日20:00趋于结束,历时18 h,过程累积降水量达285 mm(图1b),因其强降水范围广、强度大、持续时间长,成为襄樊市有气象记录以来最强一次大暴雨过程,属襄樊市近50年所罕见。此次大暴雨过程给该市交通、水利、农业和群众生活造成重大影响。

3 中尺度数值模式和三维变分同化系统

3.1 中尺度数值模式

文中采用中国气象局武汉暴雨研究所中尺度暴雨预报模式AREMv2.3版^[12-15],模式垂直坐标为 η 坐标,变量的水平分布采用E网格,水平分辨率平均约37 km,垂直方向不等距分为35层,模式顶为50 hPa。模式的主要物理过程包括非局地边界层、水平扩散、暖云微物理过程、Betts对流参数化调整方案、基于Benjamin理论的地表辐射参数化,地表通量采用多层结通量-廓线法,水汽平流计算采用正定保形平流方案。采用时变边界条件,由NCEP每6 h预报场为模式提供侧边界条件。模式积分范围为85°—135°E、15°—55°N,经纬度格距为0.5°E×0.25°N,时间积分步长设为225 s。模式积分初始时刻为2008年7月22日08时,积分24 h。

3.2 三维变分同化系统

三维变分同化分析系统采用中国气象科学研究院数值预报研究中心研究开发的GRAPES-3DVAR同化系统^[16],它是一个水平面上为A格点、垂直方向上为P面的分析系统。其主要特点为^[16]:目标函数采用增量形式;模式变量和分析变量分离,采用相互独立的流函数、非平衡速度势函数、非平衡位势和水汽作为分

析变量,考虑了质量场和风场之间的平衡约束关系;通过变量变换对目标函数进行预调节处理,既避免了直接计算背景误差协方差逆矩阵的困难,也明显降低了目标函数Hessian矩阵的条件数,提高了收敛性;应用物理量之间关系、平衡关系和垂直方向特征值分解、水平方向递归滤波等方法进行一系列变换来实现三维变分同化;用有限牛顿记忆方法(LBFGS)解决控制变量的极小化问题;多变量之间相互作用关系合理,收敛迅速。

4 资料及试验设计

4.1 资料及预处理

同化研究中使用的观测资料包括2008年7月22日08时地面资料、无线电探空资料,荆州、咸宁、常德微波辐射计反演的相对湿度廓线资料。鉴于GRAPES-3DVAR同化系统同化的是等压面上经纬度坐标下的相对湿度,故在三维变分同化前,首先对微波辐射计反演的0~10 km高度的相对湿度廓线资料进行质量控制;然后根据探空观测的高度、气压以及反演湿度的高度,采用双线性插值将0~10 km高度的相对湿度廓线资料插值到模式所需的标准等压面上。图2给出了荆州、咸宁、常德三站微波辐射计反演的0~10 km高度的相对湿度廓线及其采用双线性插值方法获得的925、850、700、500、400、300 hPa等压面上的相对湿度。从中可见,微波辐射计反演的0~10 km高度58个反演层的相对湿度廓线具有较高的垂直分辨率,而采用双线性插值方法获得的6个标准等压面上的相对湿度廓线尽管分辨率很低,但能反映出相对湿度廓线的主要特征。

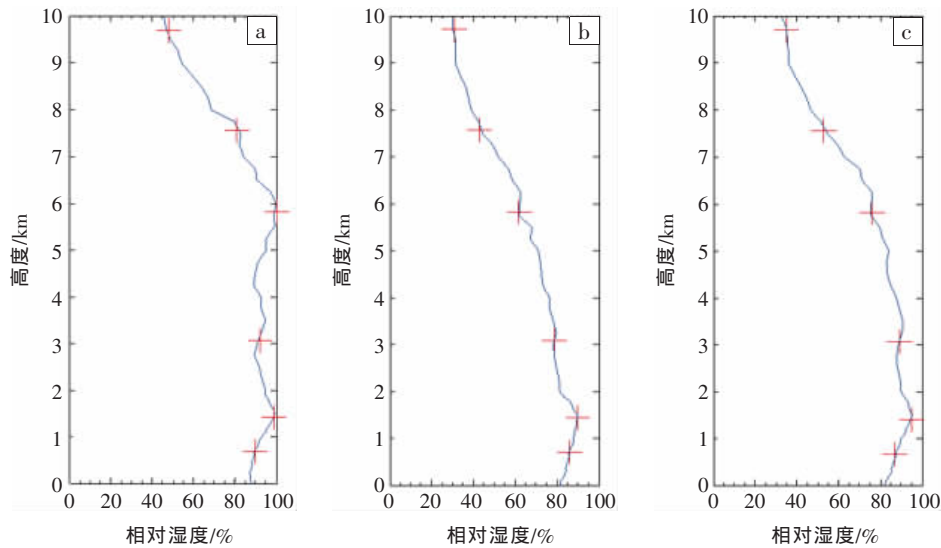


图 2 2008 年 7 月 22 日 08 时荆州(a)、咸宁(b)、常德(c)微波辐射计反演的相对湿度(单位: %)廓线图
“+”所示为经双线性插值到等压面的相对湿度,其等压面从底层到高层依次为 925、850、700、500、400、300 hPa

对微波辐射计反演的温度和相对湿度与其邻近探空站(武汉、宜昌、长沙)的温度和相对湿度廓线进行对比(图 3),作资料的一致性检查。从中可见,温度廓线变化不明显,而相对湿度廓线值在不同地点具有较明显的差别:荆州上空水汽最为丰富,从地面到 7.5 km 附近相对湿度值均在 80%以上,并在 1.5 km 和 6 km 处相对湿度值达到 100%;常德次之;咸宁上空水汽相对偏少,从 2 km 到大气上层相对湿度均低于 80%。考察 2008 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时每 6 h 地面累积降水量的分布可见(图略),在该时段内,荆州和常德始终位于雨区或雨区边缘,而咸宁站则没有降水发生,这也从侧面反映出荆州、常德、咸宁 3 站微波辐射计反演的相对湿度廓线是合理的。进一步采用邻近探空站的相对湿度廓线与之比较也表明,微波辐射计反

演的湿度廓线资料基本合理。

4.2 试验设计

利用 GRAPES-3DVAR 同化系统对 2008 年 7 月 22 日 08 时荆州、咸宁、常德微波辐射计站反演的相对湿度廓线资料进行同化,以考察微波辐射计资料的同化应用对降水预报的影响。根据同化的不同观测资料类别,设计了 5 种同化试验方案(表 1)。5 种试验选用的背景场均为美国国家环境预报中心全球中期模式 NCEP 水平分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的 2008 年 7 月 21 日 20 时 12 h 预报场。

表 1 根据同化的观测资料类别所设计的 5 种试验方案

试验名称	试验类型	同化资料类型
CNL	控制试验	地面观测+探空观测
ASS_JZCDXN	同化试验	地面观测+探空观测+荆州+常德+咸宁
ASS_JZ	同化试验	地面观测+探空观测+荆州
ASS_CD	同化试验	地面观测+探空观测+常德
ASS_XN	同化试验	地面观测+探空观测+咸宁

注:荆州、常德、咸宁分别特指其对应站的微波辐射计观测资料

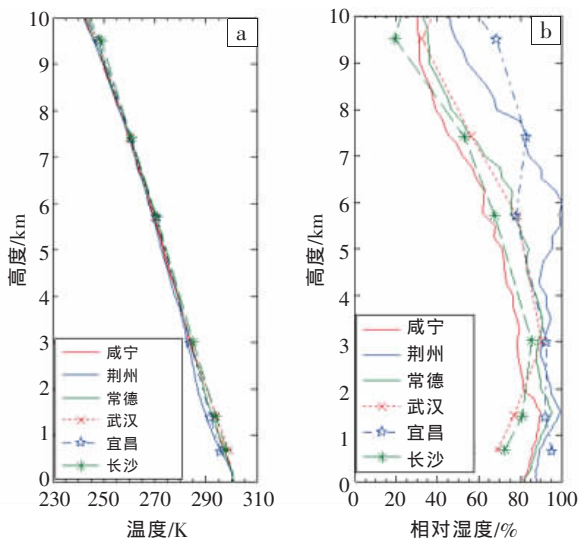


图 3 2008 年 7 月 22 日 08 时荆州、咸宁、常德微波辐射计反演的温度廓线(a)、相对湿度廓线(b)及其与邻近探空廓线(武汉、宜昌、长沙)的比较

5 微波辐射计资料同化数值试验

5.1 微波辐射计资料同化对初始场的改进

图 4 给出荆州、咸宁、常德 3 站相对湿度廓线在变分前后的分布情况。从中可见,变分后相对湿度廓线得到明显调整。对比 ASS_JZCDXN 及 CNL 试验的初值场可知(图略),初始时刻,由于 ASS_JZCDXN 试验在 CNL 试验的基础上增加了对荆州、咸宁、常德 3 站微波辐射计反演的相对湿度廓线资料的同化,ASS_JZCDXN 试验的温度、气压、湿度、风要素场均发生变化,特别是湖北、湖南上空变暖变湿,更利于降水发生。

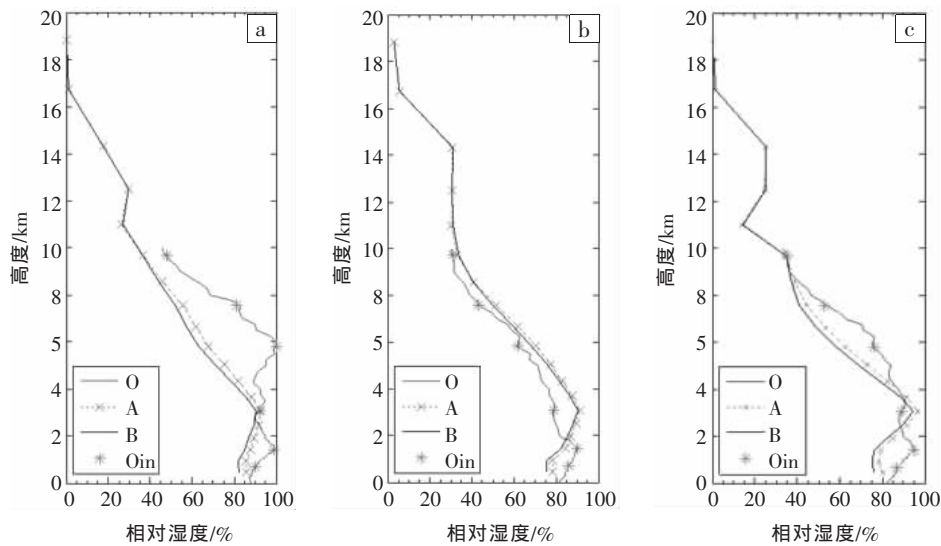


图 4 2008 年 7 月 22 日 08 时荆州(a)、咸宁(b)、常德(c)相对湿度(单位: %)廓线分布图
O 为微波辐射计反演湿度廓线;A 为变分同化后的相对湿度廓线;B 为背景场;Oin 为经双线性插值到等压面的相对湿度,其等压面从底层到高层依次为 925、850、700、500、400、300 hPa

5.2 24 h 降水预报结果分析

图 5 是仅对地面观测和探空资料进行三维变分同化的控制试验 CNL 模拟的 24 h 降水量分布图。从中可见,控制试验预报出了位于山东、江苏、河南、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州等省(市)的一条与实况相对应的绵延数千公里的锋面雨带,模拟强降水主要集中在山东、河南、湘西北与鄂西南交界地带。

与实况相比,控制试验预报的 24 h 降水结果的不足之处主要表现在雨带预报偏北、范围偏小、强度偏弱。对湖北襄樊单站(32.03°N、112.17°E)降水落区预报较好,位于 32.25°N、111.75°E,但强度明显偏弱,仅 82 mm。对比 ASS_JZCDXN 试验(图 6a)与 CNL 试验(图 5)模拟的 24 h 降水量表明,在控制试验基础上增加地基微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化后,雨带走向、范围、落区无明显变化,雨带仍略偏北,但雨强改进明显,其 24 h 降水量差值在-15~45 mm 之间,且主要为正的降水差值(图 6b)。对襄樊大暴雨中心的模拟也从控制试验模拟的 82 mm 改进到 98 mm。

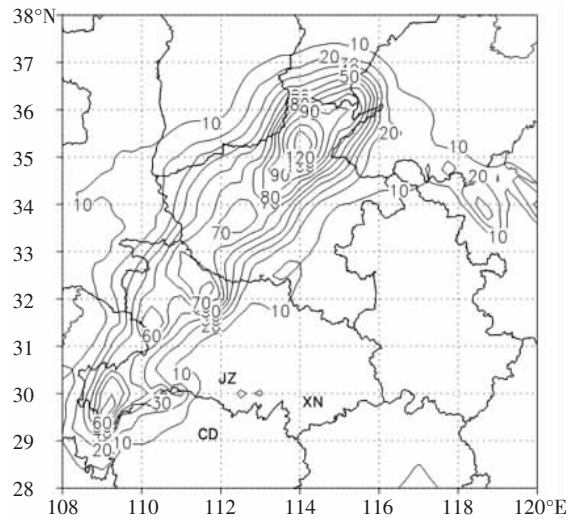


图 5 控制试验模拟的 2008 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时 24 h 降水量(单位: mm)分布图
JZ、CD、XN 所示分别为荆州、常德、咸宁微波辐射计站位置

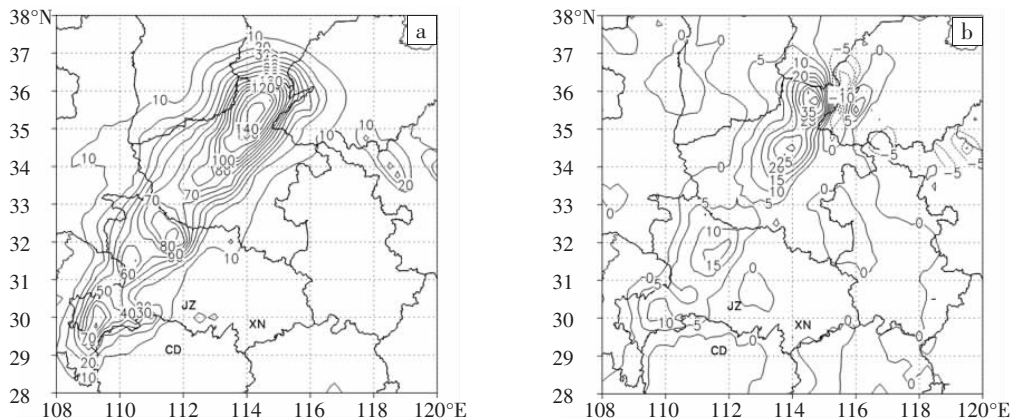


图 6 荆州、常德、咸宁微波辐射计资料同化试验模拟的 2008 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时 24 h 降水量(a)及其与控制试验模拟的 24 h 降水量的差值场(b),单位: mm

5.3 6 h 降水预报差值结果分析

图7给出模式积分每6h降水预报差值场。从中可见,微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化试验在模式积分的不同时段均产生了比较明显的降水差异,且主要为正差值。在模式积分的0—6h内(图7a),正的降水差值主要位于鄂西南、鄂西北和豫中一带,最大降水差值为9mm,出现在鄂西北襄樊附近;6—12h降水差值场上(图7b),正的降水差值仍主要位于鄂西南、鄂西北和豫中一带,最大降水正差值中心增

至16mm,并逐渐向东北方向移动。模式积分的0—12h时段,降水差值中心与实况强降水中心有较好的对应,实况降水主要出现在鄂西南、鄂西北和豫中一带。因此,微波辐射计资料的同化沿着实况雨带的方向较好地改善了降水强度预报。在模式积分的12—18h(图7c),实况雨带向东北方向移动,强度有所减弱;在模式积分的18—24h(图7d),实况强降水中心不断向东北方向移动,相应时段内的降水差值中心也向东北移动。

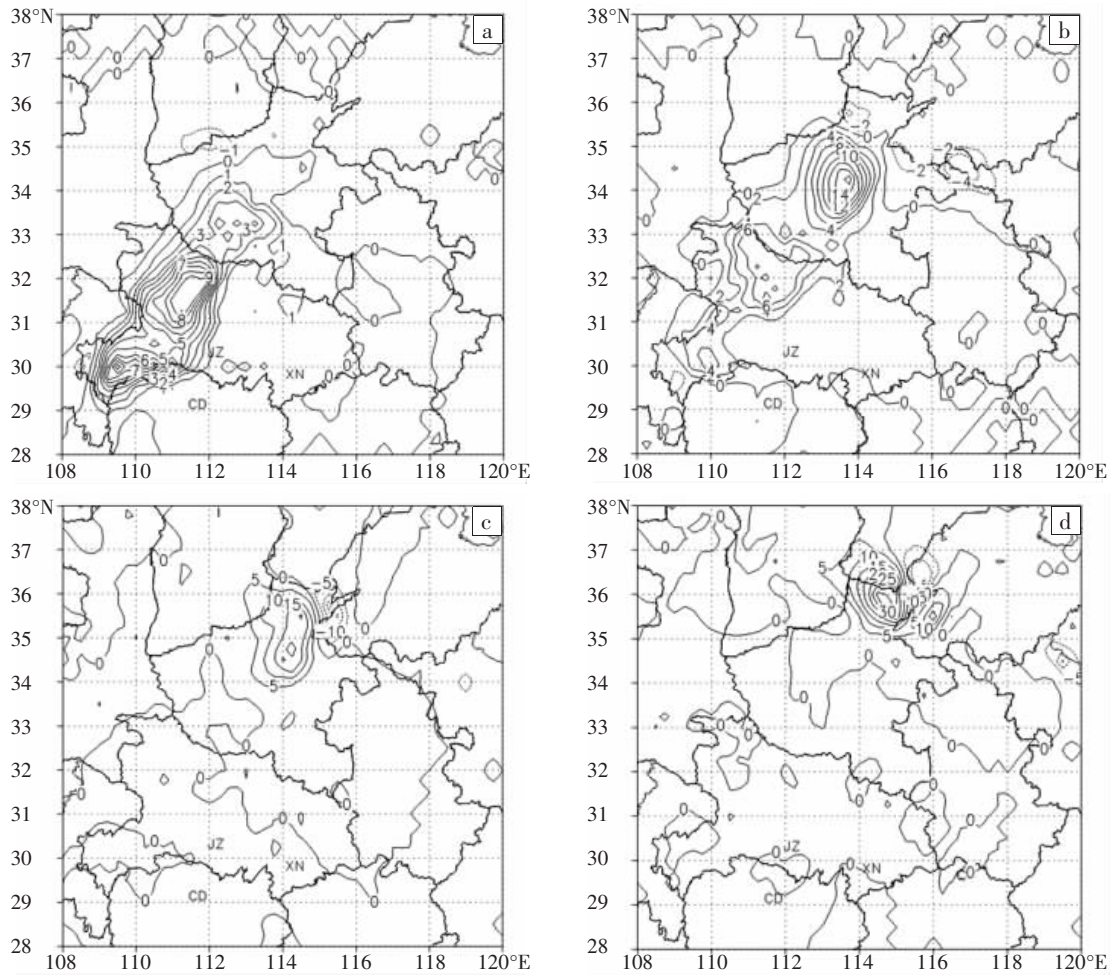


图7 模式积分每6h的ASS_JZCDXN试验降水与控制试验降水预报差值场(单位: mm)

(a) 0—6 h; (b) 6—12 h; (c) 12—18 h; (d) 18—24 h

由襄樊站逐小时实况雨量演变可知(图1b),在模式积分0—6h,即2008年7月22日08—14时,襄樊站正处于第2个雨峰,且是最强的一次雨峰;在模式积分的6—12h,即22日14—20时,襄樊站处于第3个雨峰,且强度大幅减弱;随后降水趋于停止。从每6h降水差值分布图上可见(图7),位于鄂西北襄樊附近的降水正差值中心在模式积分的0—6h最大,达到9mm;6—12h有所减弱,为8mm;12—18h及18—24h降水差值中心继续减小,直至0mm左右。可见,每6h降水差值演变与实况降水演变有很好的对应关系。

对比ASS_JZCDXN及CNL试验的初值场及其要素场随时间演变表明(图略),初始时刻,湖北境内为一个正的比湿差值场,模式在积分过程中,随低空急流引导暖湿气流不断向北输送,正的比湿差值场也随暖湿气流向北输送,从而引起正降水差值中心不断北移。

值得一提的是,对比控制试验预报要素场与实况要素场发现(图略),控制试验对低涡的预报偏西、偏北导致雨带预报偏北,增加了微波辐射计资料同化后,并未改变大的环流形势场分布,因而同化对整条雨带分布及其走向影响不大;但微波辐射计资料同化在较

大程度上改善了降水强度的预报效果,即微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化有助于改善大气水汽分布,从而改进降水强度预报。目前大多数中尺度模式对于强降水,特别是大暴雨或特大暴雨的模拟总是偏弱,微波辐射计水汽资料的应用无疑对此将起到积极作用。

6 单站微波辐射计资料同化试验

为了进一步考察在数值模式中分别同化荆州、常德和咸宁微波辐射计反演的相对湿度廓线资料后对此次特大暴雨过程的影响,本文设计了三个试验,即荆州(ASS_JZ)、常德(ASS_CD)和咸宁(ASS_XN)微波辐射计资料同化试验。

从上述三个试验模拟的 24 h 降水量结果表明(图略),在控制试验的基础上仅增加单站微波辐射计资料同化的数值试验结果,仍表现出对控制试验模拟的雨带落区和范围改进不明显但对降水强度有较明显改进的特点,分别单独增加荆州、常德、咸宁微波辐射计反演的湿度资料的三维变分同化,其降水强度模拟均有较明显改进,24 h 降水最大增幅分别达到 42、24、10 mm。进一步开展数值试验,其结果表明(图略),单独增加荆州、常德、咸宁微波辐射计资料同化的数值试验及增加任意两站微波辐射计资料同化的数值试验结果均优于控制试验,但要比对 3 部微波辐射计资料同时进行变分同化的结果差,这表明同化的中尺度水汽场信息越多,初始场的质量越高,降水模拟效果越好。

进一步考察 ASS_JZ、ASS_CD、ASS_XN 试验与 CNL 试验每 6 h 降水差值场发现,单独同化荆州、常德微波辐射计资料的每 6 h 降水差值场均与同时同化 3 站微波辐射计资料的试验结果在雨型分布上非常类似,但强度有所不同;对此次降水过程而言,荆州微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化对降水强度预报改进贡献最大,常德站次之,咸宁站作用最不明显。这可能与荆州站、常德站在初始时刻位于降水区水汽充足、与背景场相对湿度廓线相比差别较大,而咸宁站不在雨区水汽不充足、与背景场相对湿度廓线差别较小有关。

6 结论和讨论

本文基于暴雨中尺度数值预报模式 AREMv2.3 和三维变分同化系统 GRAPES-3DVAR,以 2008 年 7 月 22 日 08 时至 23 日 08 时发生在我国东部地区的一次特大暴雨过程为例,开展了常德、荆州、咸宁 3 部微波辐射计反演的相对湿度廓线资料同化对 AREM 模式

降水预报影响的数值试验,得到如下结论。

(1)采用 GRAPES-3DVAR 三维变分同化系统对地面观测和探空资料进行同化后得到的分析场作为 AREM 模式的初始场积分 24 h,模式基本模拟出与实况相对应的绵延数千公里的锋面雨带,但预报雨带偏北、范围偏小、强度偏弱。

(2)与控制试验相比,增加了荆州、咸宁、常德 3 部微波辐射计反演的相对湿度廓线资料的三维变分同化后,模式对降水落区预报改进不明显,但对降水强度改进明显,24 h 降水最大增幅为 45 mm。微波辐射计反演的湿度廓线资料在模式中的同化应用有助于改善大气水汽分布,在模式积分过程中,正的比湿差值场随低空急流引导暖湿气流不断向北输送,引起正降水差值中心不断向北移动,与实况降水的演变非常接近。

(3)分别单独增加荆州、咸宁、常德微波辐射计反演的湿度资料的三维变分同化,降水模拟均有较明显改进,24 h 降水最大增幅分别达到 42、10、24 mm。

(4)荆州、咸宁、常德单站及两站微波辐射计资料同化均对降水强度预报有所改善,但不及对 3 部微波辐射计资料同时进行变分同化的结果,表明同化的中尺度水汽场信息越多,初始场的质量越高,降水模拟效果越好。

(5)对此次降水过程而言,荆州微波辐射计反演的湿度廓线资料同化对降水强度预报改进贡献最大,常德站次之,咸宁站作用最不明显。这可能与荆州站、常德站在初始时刻位于降水区水汽充足、与背景场相对湿度廓线相比差别较大,而咸宁站不在雨区水汽不充足、与背景场相对湿度廓线差别较小有关。

微波辐射计资料同化对改善此次特大暴雨过程降水模拟起到了正贡献,体现了微波辐射计资料在数值模式中的应用前景。然而,本文所得到的结论只是基于一次暴雨过程的试验结果,致使微波辐射计资料同化对改善类似暴雨过程降水模拟所起到的贡献存在某种不确定性。因此,今后还有待于对更多个例开展微波辐射计资料的同化应用研究,以期获得地基微波辐射计资料同化对暴雨过程影响的更全面认识。

参考文献:

- [1] 周秀骥.大气微波辐射及遥感原理[M].北京:科学出版社,1982.
- [2] 廖国男.大气辐射导论[M].北京:气象出版社,2004.
- [3] 陈洪滨.利用高频微波被动遥感探测大气[J].遥感技术与应用,1999,14(2):49-54.
- [4] 黄建平,何敏,阎虹如,等.利用地基微波辐射计反演兰州地区液态云水路径和可降水量的初步研究[J].大气科学,2010,34(3):548-558.
- [5] 刘红燕,王迎春,王京丽,等.由地基微波辐射计测量得到的北京地区

- 水汽特性的初步分析[J].大气科学,2009,33(2):388-396.
- [6] 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):313-320.
- [7] 王黎俊,孙安平,刘彩红,等.地基微波辐射计探测在黄河上游人工增雨中的应用[J].气象,2007,33(11):28-33.
- [8] 顾松强,王振会,翁富忠,等.利用 NOAA/AMSU 资料和 GRAPES 同化系统对陆面比辐射率计算的改进研究[J].高原气象,2006,25(6):1101-1106.
- [9] 张利红,沈桐立,王洪利.AMSU 资料变分同化及在暴雨数值模拟中的应用研究[J].高原气象,2007,26(5):1004-1012.
- [10] ZHAO Ying, WANG Bin. Numerical Experiments for Typhoon Dan Incorporating AMSU-A Retrieved Data with 3DVM [J]. ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES (IN CHINA), 2008, 25 (4): 692-703.
- [11] 崔春光.强降水过程模式中尺度水汽初值的敏感性研究[J].气象,2000,26(11):3-6.
- [12] Yu Rucong. The Design of the Limited Area Numerical Weather Prediction Model with Steep Mountains [J]. Chinese J Atmos Sci, 1989, 13(2): 145-158.
- [13] Yu Rucong. Two-step shape-preserving advection scheme [J]. Adv Atmos Sci, 1994, A11(4): 479-490.
- [14] Yu Rucong. Application of a shape-preserving advection scheme to the moisture equation in an E-grid regional forecast model [J]. Adv Atmos Sci, 1995, 12(1): 13-19.
- [15] 宇如聪,薛纪善,徐幼平,等. AREMS 中尺度暴雨数值预报模式系统[M].北京:气象出版社,2004:45-49.
- [16] 张华,薛纪善,庄世宇,等. GRAPES 三维变分同化系统的理想试验[J].气象学报,2004,62(1):31-41.

Numerical Study of an Excessive Heavy Rain Event by Assimilating Humidity Profiles Retrieved From Ground-based Microwave Radiometers

WANG Ye-hong, LAI An-wei, ZHAO Yu-chun

(Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan 430074)

Abstract: Based on the mesoscale numerical model AREMv2.3 and GRAPES-3DVAR data assimilation system, an experiment was carried out to study the impact on the precipitation forecast for a heavy rain event occurred in the East of China during 22—23 July 2008 with an assimilation of relative humidity (RH) profiles retrieved from the ground-based microwave radiometers situated in Jingzhou, Xianning and Changde stations respectively. The results are the following: 1) the assimilated RH profiles retrieved from the three microwave radiometers does not help the model to obviously improve the forecast of 24 hours accumulated precipitation location, but clearly improve the forecast of the rainfall intensity with the maximum rainfall increment of 45mm. 2) The 24h accumulated precipitation intensity is improved when Changde, Xianning and Jingzhou microwave radiometers RH retrievals are assimilated respectively, and the maximum rainfall increases to 42, 10 and 24mm respectively. 3) The precipitation intensity forecast is improved adopting assimilated RH retrievals from one or two of the three microwave radiometers, however, this forecast is not as better as the forecast adopting the assimilated RH retrievals from all the three microwave radiometers, It indicates that the more mesoscale moisture information is assimilated, the better the initial field is, and the better the rainfall simulation is improved. 4) As for this heavy rainfall process, the assimilated RH retrievals from Jingzhou makes the maximum contribution to precipitation forecast improvement, the one from Changde takes the second place, and the one from Xianning is the third place respectively.

Key words: Data assimilation; Heavy rain; Microwave radiometer; Relative humidity profile