

天文学、地球科学

LAPS 同化 MTSAT-2 水汽资料在一次中尺度大暴雨模拟中的应用

王涛^{1,2,4} 银燕^{1,2,*} 楚志刚^{1,2} 周毓荃³

(中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室¹;

南京信息工程大学², 南京 210044; 中国气象科学研究院³, 北京 100081; 中国民用航空华东地区空中交通管理局⁴, 上海 200335)

摘要 中尺度分析系统 LAPS(local analysis and prediction system) 在国内已业务化多年,可以融合多种国内观测资料;但是针对卫星资料的融合应用研究还不够充分。为此,实现了 LAPS 融合 MTSAT-2 卫星资料的接口;并结合 WRF 模式,选取 2014 年 7 月 24~25 日发生在江苏及附近地区的一次强降水过程进行模拟。通过对比 LAPS 系统融合 MTSAT-2 卫星资料前后的物理量场的差异,以及经 WRF 模式预报的降水量差异,分析基于 LAPS 系统同化 MTSAT-2 资料对暴雨预报的作用。结果表明,LAPS 融合 MTSAT-2 卫星资料后对地面相对湿度场和降水区域分布均有明显改善作用。利用多种评分方法对 24 h 累计降水进行检验,发现同化 MTSAT-2 资料对大雨及以上量级降水的预报改善作用明显,特别是对大暴雨级别的降水预报效果改善最为显著。

关键词 LAPS 系统 MTSAT-2 卫星资料 WRF 模式 暴雨数值模拟
中图分类号 P458.3; **文献标志码** A

夏季暴雨是我国主要气象灾害之一,尤其是大范围 and 集中的大暴雨,不仅会造成严重的经济损失,而且可能危害人民的生命安全。所以,如何提高数值预报准确率是一个值得不断探究的问题。由于用作数值模式初始积分的初始条件好坏是影响数值预报结果准确性的关键因素^[1],因此,通过同化气象资料,尤其是卫星资料,为数值预报模式提供一个动力和热力上协调的最优初始场无论是在理论还是实际应用方面都具有重要的意义。

随着现代大气探测技术的发展,气象卫星等非非常规探测手段可以不间断地提供全球范围的气象资料,克服了常规探测资料分布不全面的局限性。1992 年,欧洲中心(ECMWF)开创了将非常规气象资料应用到数值预报模式中的研究;并早在 1996 年就已经实现将三维变分资料同化系统投入到业务运行中,其中 90% 以上的同化资料是卫星资料^[2]。在国外,卫星资料在数值天气预报中的同化应用已较

为成熟,相比而言,国内在卫星资料同化方面的研究还不够充分^[3]。20 世纪 90 年代初期,我国国家气象中心(NMC)将 TOVS 的反演资料应用到业务中,但是受资料质量和分辨率的局限,产品不能满足实际的要求。之后,NMC 联合国家卫星中心开展了建立我国数据同化/卫星反演/数值天气预报相互作用循环系统的开发工作,改善了卫星探测资料的反演质量及其在业务数值预报模式中的应用^[4]。王子厚等^[5]将不经反演的极轨卫星 HIRS/2 探测仪的高分辨率亮温资料与其他观测资料直接通过最优内插(OI)方法分析应用于数值预报。此外,国内对多种不同类别的卫星资料进行了相关同化试验,例如通过变分法将卫星云图反演的温、湿资料和卫星辐射率等资料直接应用于数值预报中,取得了较好的效果^[6-8]。同化卫星资料并非都能对降水预报产生优化作用,如潘宁等^[9]采用 3D-VAR 变分方法同化 AMSU-A 辐射亮温资料结合 MM5 模式模拟预报进行对比试验研究发现,卫星亮温资料对中层温度分析场有显著影响,而对降水预报的改善作用并不明显。除同化不同的卫星资料对降水预报的影响有差异外,使用的同化系统不同,产生的改善效果也不尽相同。

LAPS(local analysis and prediction system) 是 NOAA(national oceanic and atmospheric administration) 下属的 ESRL(earth system research laboratory)

2015 年 12 月 16 日收到 公益性行业(气象)科研专项
(GYHY201206025)、
国家重点基础研究发展计划(2013CB430101)、
国家自然科学基金项目(41375025)资助
第一作者简介:王涛(1992—),男,硕士研究生。研究方向:资料同化与数值模拟。E-mail: wangtao201606@163.com。

* 通信作者简介:银燕(1962—),男,教授,博士生导师。研究方向:大气气溶胶与云降水相互作用。E-mail: yinyan@nuist.edu.cn。

发展的中尺度数据分析融合工具,可以将多源观测数据进行分析融合,得到高分辨率的三维数据场。2006年,武汉暴雨研究所针对LAPS系统进行了本地化移植及二次开发,目前已实现了NCEP再分析资料、卫星云导风、常规探空资料和加密自动气象站资料等多种观测资料的有效融合^[10]。LAPS能根据各种观测资料的特点,采用多种质控和融合方法,将各种资料综合,获得三维大气结构信息,为数值预报模式提供接近观测的初始场,以提高中尺度模式预报的准确度,改善预报效果^[11]。李红莉对LAPS系统做了详细的介绍^[12],并利用LAPS系统融合多种观测资料,对湖北一次暴雨过程的温度、风场、湿度场进行了分析,认为LAPS分析场较NCEP分析场有明显改善^[13]。北京市气象局已经应用LAPS系统对雷达资料、地面观测资料以及常规探空资料进行同化和分析;中国气象局气象科学研究所也针对LAPS系统开展了相关研究^[14,15]。尽管LAPS在国内已经业务运行,但对于卫星资料的LAPS同化工作还没有全面应用。

日本的MTSAT-2是一颗在覆盖东亚的静止卫星,其观测数据对我国的预报应用也有很重要的应用价值。本文以2014年7月24~25日发生在江苏及安徽地区的一次特大暴雨为例,利用LAPS同化MTSAT-2数据以提高初始场精度,通过WRF模式进行数值模拟,并结合实况对不同方案的预报结果进行分析和优化效果对比。

1 天气背景及资料

1.1 天气背景

2014年第10号台风“麦德姆”登陆浙闽沿海,受方头副高西侧引导流在苏皖地区北上,越过副高脊线后转为东行路径出海,7月24日08时~7月25日08时台风给苏皖地区带来一次强降水过程(北京时,以下时间如无特殊说明,均采用北京时)。强降水雨带位于安徽中南部到江苏西北部,呈西南-东北走向。此次降水过程具有降水强度高、影响范围广及空间分布不均匀等特点。其中,泗洪站和泗阳站24日08时~25日08时24h雨量高达236.7 mm和190.4 mm,创站点日降水量历史记录。图1为模拟区域内24h累计降水量站点图,从图中可以看出,泗洪、泗阳、盱眙、淮阴、六合、滁州等13个站点日降水量达到大暴雨级别。

1.2 试验资料介绍

多功能传输卫星(MTSAT-2)是日本于2006年2月18日发射的一颗静止卫星。MTSAT-2定位于145°E,搭载有扫描辐射器。辐射器有一个可见光

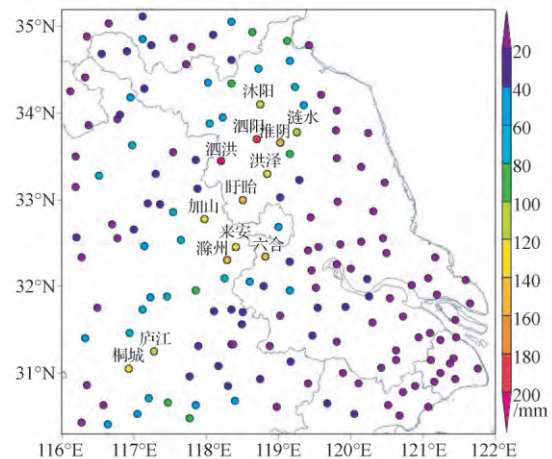


图1 2014年7月24日08时~25日08时站点累计降水量分布(单位:mm)

Fig. 1 Distribution of 24 h accumulative precipitation from 08:00 BT 24 to 08:00 BT 25 July 2014(unit: mm)

通道和四个红外通道,其观测数据的时间间隔为1h,观测范围覆盖我国全境。详细的波段信息参考表1。在2010年7月正式替代MTSAT-1R执行观测任务。目前国家卫星气象中心(NSMC)可实现MTSAT-2数据的实时接收任务。本次同化试验用到MTSAT-2中扫描辐射器在7月24日08时~7月25日08时的五个通道观测数据^[16]。除MTSAT-2卫星数据外,文中还用到NOAA的全球预报系统GFS(global forecast system)分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ 的数值预报产品,时间分辨率为6h的NCEP再分析资料以及Micaps(meteorological information comprehensive analysis and processing system)高空地面站点数据。

表1 MTSAT-2 波段信息
Table 1 Channels of MTSAT-2

通道	波长/ μm	分辨率/km	量化等级/bit
可见光 VIS	0.55~0.90	1	10
红外 IR1	10.3~11.3	4	10
红外 IR2	11.5~12.5	4	10
红外 IR3	6.5~7.0	4	10
红外 IR4	3.5~4.0	4	10

2 试验方案和设置

2.1 卫星资料同化方案

LAPS包括风分析、地面分析、温度分析、云分析、水汽分析等模块^[17]。本文将MTSAT2卫星资料接入水汽分析模块中,利用卫星资料改善背景水汽场,从而作用于降水预报。水汽模块中使用的数据包括:背景水汽场、GPS、地面观测、高空探测、卫星、LAPS云场(云分析模块输出)等。采用一维变分的方法,输出三维比湿场、三维相对湿度场和二维大气

可降水场。水汽分析基本流程见图 2。

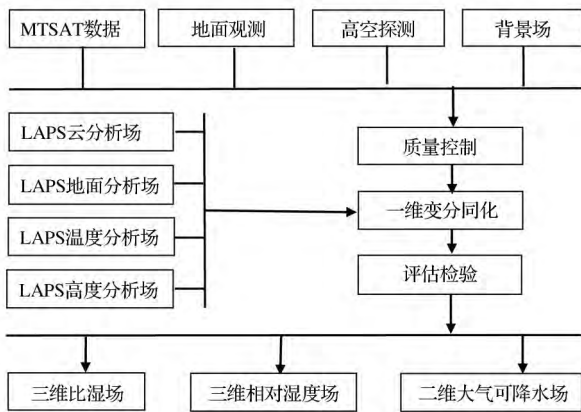


图 2 水汽分析流程图

Fig. 2 Flow chart of moisture analysis

水汽分析的核心是一维变分方程。LAPS 原有的一维变分方程是^[18]:

$$\begin{aligned}
 J = & S_{GOES} \sum_{k=1}^7 \frac{GT(g) [R(p, t, c_i, mr, tskin, psfc) - R_i^0]^2}{E_{GOES}^2} + \\
 & \sum_{i=1}^N \frac{(1 - c_i)^2}{E_{BACK}^2} + S_{GPS} \frac{(\sum_{i=1}^N c_i q_i - Q^{GPS})^2}{E_{GPS}^2 L_{GPS}} + \\
 & S_{GVAP} \sum_{j=1}^3 \frac{G(g) [\sum_{i=1}^N P_{ji}(c_i q_i) - Q_j^{GVAP}]^2}{E_{GVAP_j}^2 L_{GVAP}} + \\
 & S_{CLD} \sum_{i=1}^N \frac{GC(g_i) (c_i q_i - q_c)^2}{E_{CLD}^2} + S_{SND} \sum_{i=1}^N \frac{(1 - \frac{mr_i^{SND}}{c_i mr_i})^2}{E_{SND}^2 L_{SND}}
 \end{aligned} \tag{1}$$

式(1)中,GOES下标表示GOES卫星;BACK下标表示背景场;GPS下标表示GPS大气可降水;GVAP下标表示反演的GOES水汽廓线;CLD下标表示LAPS云分析场;SND下标表示高空探测。变量*S*为开关变量,取值0或1;变量*q*为调整前比湿;变量*c*为比湿缩放系数,表示调整后的比湿;变量*i*为LAPS垂直指数;变量*j*为GVAP层指数;变量*k*表示卫星探测仪或成像通道;变量*E*为误差协方差;变量*L*为水平影响半径;变量*mr*为水汽混合比;变量*R⁰*是卫星辐射观测项;变量*Q^{GPS}*为GPS观测的总可降水量;*Q^{GVAP}*为GOES水汽总的可降水层数据。函数*P*为将压力转换为sigma坐标的函数;函数*GT*、*GC*和*G*为云量控制函数;函数*R*为Optran前向辐射计算模式。

LAPS水汽场一维变分方程不能支持MTSAT系列卫星,因此本文在原方程基础上增加了MTSAT-2变分项。同时去除了观测区域不覆盖我国的GOES卫星变分项,修改后的变分方程为:

$$\begin{aligned}
 J = & S_{MTSAT-2} \sum_{k=1}^3 \frac{GT(g) [CF(p, t, c_i, mr, \rho_3, i, \dots) - R_i^0]^2}{E_{MTSAT-2}^2} + \\
 & \sum_{i=1}^N \frac{(1 - c_i)^2}{E_{BACK}^2} + S_{GPS} \frac{(\sum_{i=1}^N c_i q_i - Q^{GPS})^2}{E_{GPS}^2 L_{GPS}} + \\
 & S_{GVAP} \sum_{j=1}^3 \frac{G(g) [\sum_{i=1}^N P_{ji}(c_i q_i) - Q_j^{GVAP}]^2}{E_{GVAP_j}^2 L_{GVAP}} + \\
 & S_{CLD} \sum_{i=1}^N \frac{GC(g_i) (c_i q_i - q_c)^2}{E_{CLD}^2} + S_{SND} \sum_{i=1}^N \frac{(1 - \frac{mr_i^{SND}}{c_i mr_i})^2}{E_{SND}^2 L_{SND}}
 \end{aligned} \tag{2}$$

LAPS水汽分析中用到的变分方法需要引入一个卫星向前辐射模式^[19]。本文引入的是美国卫星资料同化联合中心(JCSDA)近年来开发建立的一个快速辐射传输模式CRTM^[20],即式(2)中的函数*CF*。CRTM用回归方程计算光学厚度系数的模式,主要由四个模块组成,即Forward Model(前向模块),Tangent-linear Model(切线性模块),Adjoint Model(伴随模块)和*K*-Matrix Model(*K*矩阵模块)。本技术方案中使用Forward Model,卫星系数来自于JCSDA。

2.2 试验设置

2.2.1 试验方案设计

试验方案设计如表2,共设计了三个方案,采用LAPS资料融合分析系统,融合GFS预报场和MTSAT-2卫星资料以及Micaps资料,将经过LAPS风分析、地面分析、云分析、湿度分析以及平衡分析等,最终输出的LAPS分析场作为WRF模式初始场进行降水模拟。对于试验结果的分析,主要是将不同试验方案下输出的LAPS分析场与实况资料进行对比,分析MTSAT-2数据对相对湿度场和比湿场的改进程度。再结合WRF降水预报场与实际降水情况,通过计算多种预报评估指数分析MTSAT-2数据对降水预报场的优化程度。MTSAT-2数据和Micaps高空地面资料共有五个同化时刻,从7月24日08时开始第一次同化,之后间隔6h一次。WRF模式模拟的时段为2014年7月24日08时~2014年7月25日08时,每6h输出一次累计降水场。

表 2 试验方案设计

Table 2 Design of experiment scheme

序号	试验名称	试验方案
Exp1	CTRL	不同化任何资料, WRF 初始场由 GFS 6 h 预报场插值得到
Exp2	Micaps	同化 Micaps 高空地面资料, 并通过 WRF 模式进行降水预报
Exp3	Micaps + MTSAT	同化 MTSAT 卫星数据和 Micaps 高空地面资料, 并通过 WRF 模式进行降水预报

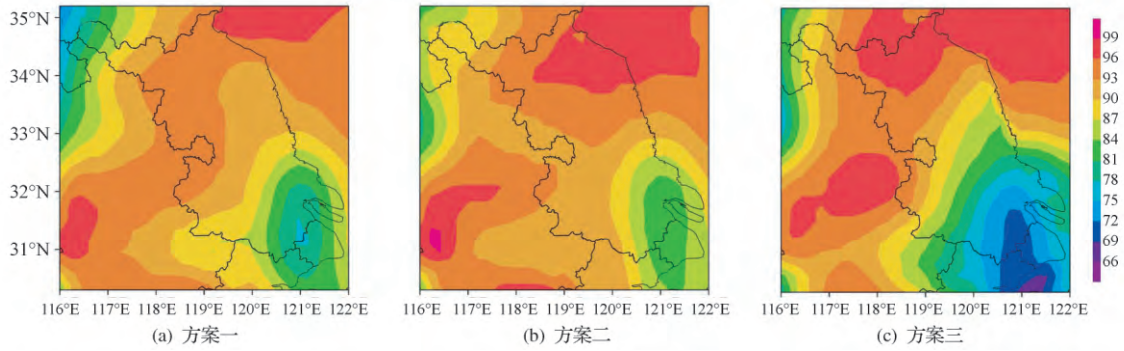


图3 2014年7月24日20时地面相对湿度场(单位:%)

Fig.3 Surface relative humidity field (unit: %) at 20:00 BT 24 July 2014

2.2.2 模式参数设置

LAPS系统本地化参数设置:模拟区域中心经纬度为31.784°N,116.948°E;东西向格点数为144,南北向格点数为144;模式的水平网格距为20.6 km,垂直分辨率为21层,大气顶气压为100 hPa。

WRF模式参数设置:水平垂直格点数,模拟区域中心经纬度,格距等参数与LAPS系统一致。物理方案参数设置:长波辐射选用RRTM方案,短波辐射选用Dudhia方案,云微物理过程选用ferrier微物理方案,积云对流选用浅对流Kain-Fritsch方案,陆面过程选用热量扩散方案,近地面层选用Monin-Obukhov方案,边界层选用YSU方案。

3 试验结果分析

3.1 MTSAT-2 卫星数据对初始场改进效果分析

图3为2014年7月24日20时三种方案分别输出的地面相对湿度场。降水实况显示在24日20~21时在模拟区域西南部的六合,滁州,来安,仪征,庐江以及北部的泗阳,滁州站降雨强度高达84.4 mm/h。从图中各个方案的相对湿度场可以看出,方案二的地面相对湿度场较方案一普遍增强,范围也有明显扩大,而且在方案一的相对湿度低值区也有略微增强。相对于方案二和方案一中的地面相对湿度高值区域,方案三中对应的相对湿度有进一步增强;在方案二和方案一的相对湿度低值区域,方案三相应的相对湿度呈明显的下降趋势。

由图4的增量场可以看出,同化MTSAT2卫星资料后,滁州,仪征,来安附近暴雨区的地面相对湿度出现明显的增强,方案三相对于其他试验的相对湿度增量场在降水区域基本上呈正值,非降水区呈负值。结合图5的7月24日20时的前6h累计降水来看,方案三相对湿度高值区域更接近于实际降水区域。可见,同化MTSAT2卫星资料使得相对湿度场分布更加合理,能较好的指示降水发生的条

件和区域,符合降水预报的要求。

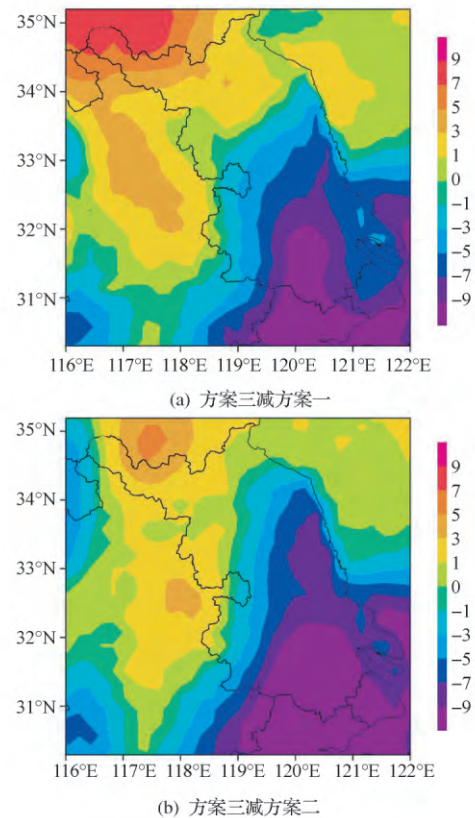


图4 2014年7月24日20时地面相对湿度增量场(单位:%)

Fig.4 Difference distribution of surface relative humidity field (unit: %) at 20:00 BT 24 July 2014

3.2 MTSAT-2 卫星数据对降水预报场改进效果分析

将三种不同方案下的LAPS输出场作为WRF模式的初始场进行24h降水预报。图6为24日08时~25日08时24h累计降水实况图及三种方案的预报图。实况图显示降水集中在江苏西北部以及安徽东部和南部,暴雨中心位于泗洪(33.45°N,118.2°E)。预报图中三种方案模拟的暴雨走向为

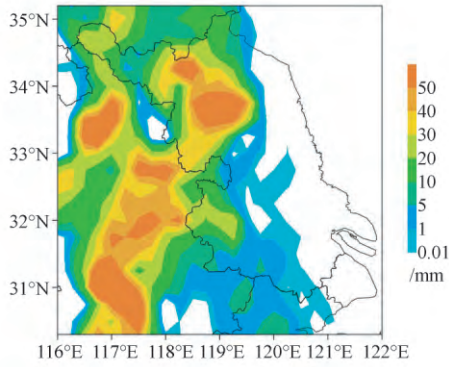


图 5 2014 年 7 月 24 日 14~20 时 6 h 累计降水分布(单位: mm)

Fig. 5 Distribution of 6 h accumulative precipitation from 14:00 BT to 20:00 BT on 24 July 2014 (unit: mm)

西南-东北走向,与实况基本一致。方案一模拟的降水量级整体偏小,并且对于发生暴雨和大暴雨的区域都未能准确预报;方案二的模拟结果相对实况而言,漏报了安徽东部的大暴雨区域以及在江苏西北

部有部分虚假强降水,相对于方案一而言,对降水量级和发生区域的预报准确率都有进一步的提高;而方案三的模拟结果没有出现明显的降水空报现象,对强降水区的预报也最接近实况,特别是对超过 100 mm 的大暴雨的预报效果明显优于前两个方案。综上可知,将 LAPS 同化 MTSAT-2 卫星资料后的输出场作为 WRF 模式初始场针对大暴雨过程进行数值模拟,其结果与实况最接近,效果最理想。

图 7 为方案三和方案一,方案三和方案二以及方案二和方案一的 24 h 累计降水差值分布,直观地体现了 Micaps 资料和 MTSAT2 卫星资料对于降水预报的作用。由图 7(c) 可以看出,同化 Micaps 高空和地面资料后使得安徽南部和江苏北部部分暴雨区降水量级更接近实况,但对其他大部分强降水区的预报未有改善效果,甚至在暴雨中心泗洪站附近呈现了负值,另外在安徽东北部和江苏西北部还出现达暴雨级别的虚假降水区,可以看出同化 Micaps 数据对降水预报改进效果整体不理想。而在图 7(a) 和图 7(b) 中,对应实际强降水区域的降水量差

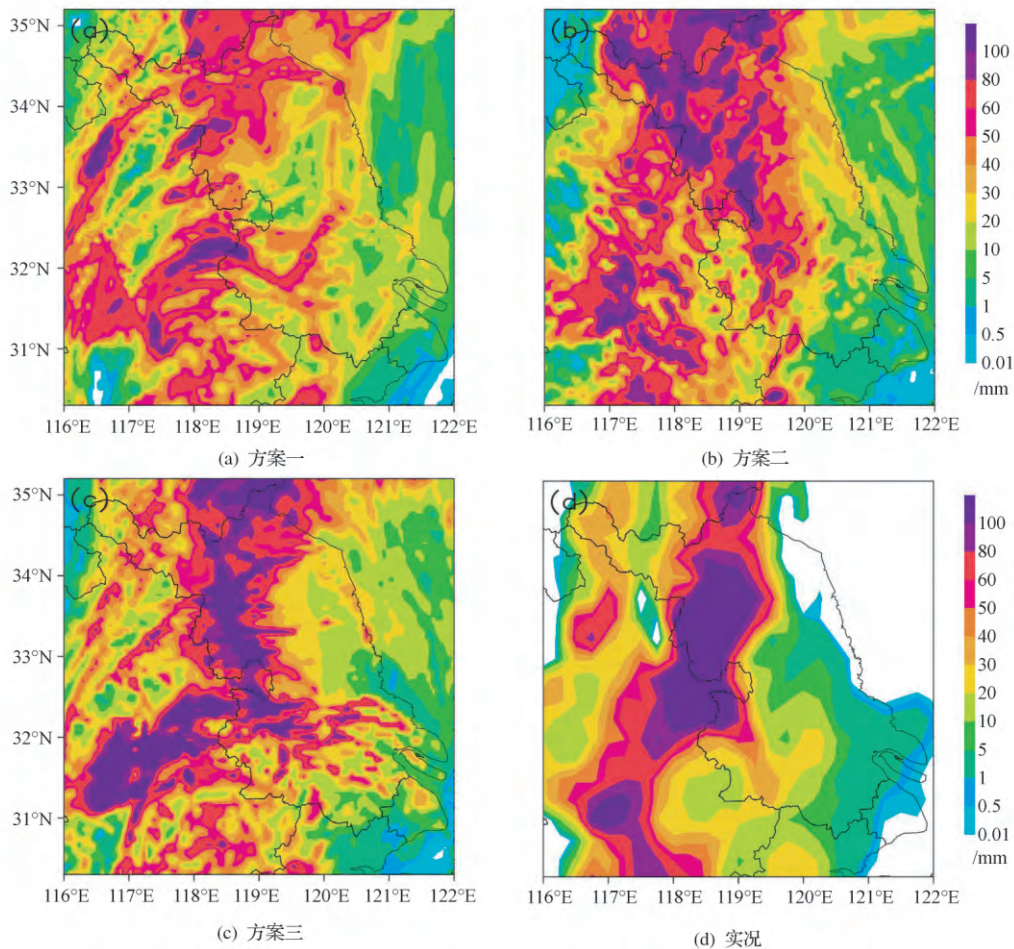


图 6 2014 年 7 月 24 日 08 时~25 日 08 时 24 h 降水分布(单位: mm)

Fig. 6 Distribution of 24h accumulative precipitation from 08:00 BT 24 to 08:00 BT 25 July 2014 (unit: mm)

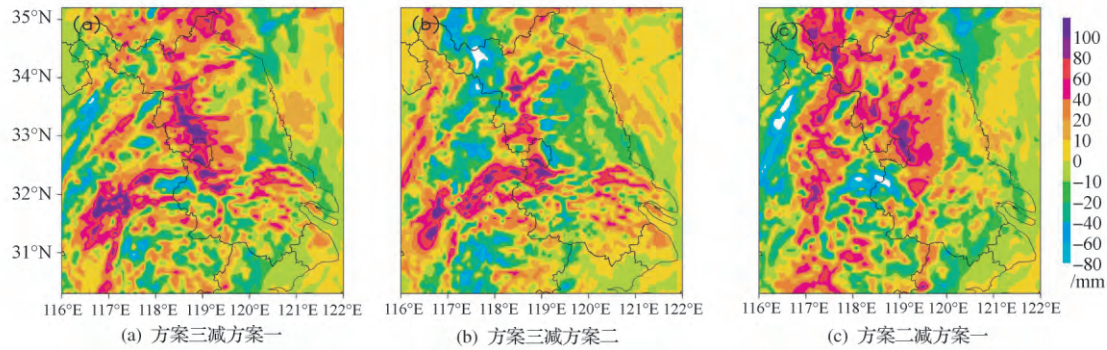


图7 2014年7月24日08时~25日08时24h降水分布差量场(单位:mm)

Fig. 7 Difference distribution of 24-h simulated precipitation (unit: mm) from 08:00 BT 24 to 08:00 BT 25 July 2014

值呈正值,且在对应虚假降水区域的差值为负值,说明同化 MTSAT2 卫星数据后对降水预报改进效果显著。

以上定性分析了三种方案对此次降水个例预报的影响,为了对降水预报效果进行定量的检验,本文按照小至中雨等级(0.1~24.9 mm)、大雨等级(25~49.9 mm)、暴雨等级(50~99.9 mm)和大暴雨等级(≥ 100 mm)对模拟的2014年7月24日08时~25日08时24h累计降水量进行统计分析,计算 T_s 评分。 T_s 评分是气象业务预报中常用的降水量级预报的一个统计检验量, T_s 评分公式如下:

$$T_s = \frac{Na}{Na + Nc + Nd} \quad (3)$$

式(3)中 Na 为报对的有降水的站点数, Nc 为漏报站点数, Nd 为空报站点数^[21-22]。具体方法是将WRF模式输出的24h累积降水量插值到地面降水观测站点,再将模拟降水与实况站点降水进行比较,按式(3)进行统计计算。

表3列出了同化MTSAT卫星数据前后WRF模式预报的24h累计降水量在各个降水等级的 T_s 评分结果以及差量值。从表3中可以看出同化前后的降水预报 T_s 评分大体都是随着降水等级增加而减少的趋势,但在暴雨等级上有一个增加。表中的差量值在小至中雨这个降水等级上呈负值,但在大雨,暴雨和大暴雨等级上都呈正值,而且相比其他降水等级而言,大暴雨等级的差量最大。图8的 T_s 评分柱状图可以更直观地表明,经LAPS系统同化MTSAT数据后的输出场作为WRF模式预报降水的初始场能明显改善对大雨及以上量级降水的预报效果,特别是对大暴雨量级的降水预报效果的改善最为显著。

由于 T_s 评分只能反映出对有雨天气的预报情况,为了更全面地分析预报效果,本文还计算了空报率 FAR ,漏报率 PO 以及 V_s 评分这些相关统计量。相关公式如下:

$$V_s = \frac{Na + Nb}{Na + Nb + Nc + Nd} \times 100\% \quad (4)$$

$$PO = \frac{Nc}{Na + Nc} \times 100\% \quad (5)$$

$$FAR = \frac{Nd}{Na + Nd} \times 100\% \quad (6)$$

式中 Nb 为报对的没有降水的站点数, Na 、 Nc 、 Nd 与式(1)中相同^[23]。表4、表5和表6分别列出了同化MTSAT2卫星数据前后的24h累计降水预报在各个降水量级的 V_s 评分、空报率和漏报率。从表4可以看出,同化MTSAT2卫星资料后对暴雨与大暴雨的 V_s 评分都有较明显的提高,与 T_s 评分结果不同的是,对暴雨的改进比大暴雨要更明显,说明在暴雨量级降水的预报中,对无雨地区的预报正确率比大暴雨要高,但总体上,对暴雨及以上量级的降水都是呈现改进的正作用。从表5和表6可以看出,同化MTSAT2卫星数据后的降水预报结果的空报率和漏报率相对于未同化MTSAT卫星数据的结果大体都呈现减小的变化,可见同化MTSAT卫星数据后可以较好地改善初始场,从而改善降水预报场。

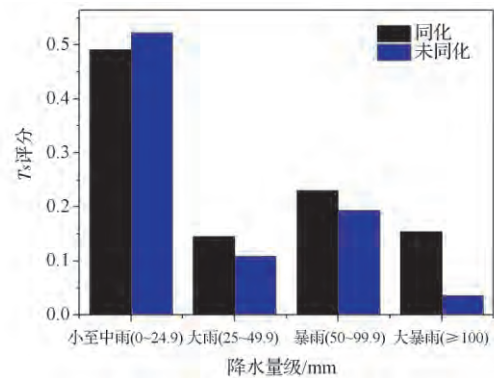


图8 同化MTSAT-2数据前后各降水等级的 T_s 评分

Fig. 8 T_s scores of precipitation forecast before and after MTSAT-2 data assimilation

表 3 同化 MTSAT-2 数据前后的 24 h 累计降水 T_s 评分
Table 3 T_s scores of precipitation forecast
before and after MTSAT-2 data assimilation

降水量级/ mm	小至中雨 (0~24.9)	大雨 (25~49.9)	暴雨 (50~99.9)	大暴雨 (≥100)
同化 MTSAT2	0.491	0.145	0.23	0.154
未同化 MTSAT2	0.523	0.108	0.194	0.036
差量	-0.032	0.037	0.036	0.118

表 4 同化 MTSAT-2 数据前后的 24 h 累计降水 V_s 评分
Table 4 V_s scores of precipitation forecast
before and after MTSAT-2 data assimilation

降水量级/ mm	小至中雨 (0~24.9)	大雨 (25~49.9)	暴雨 (50~99.9)	大暴雨 (≥100)
同化 MTSAT2	0.7	0.606	0.739	0.878
未同化 MTSAT2	0.717	0.633	0.678	0.85
差量	-0.017	-0.027	0.061	0.028

表 5 同化 MTSAT-2 数据前后的 24 h 累计降水
预报的空报率 $FAR/100\%$

Table 5 FAR of precipitation forecast before
and after MTSAT-2 data assimilation

降水量级/ mm	小至中雨 (0~24.9)	大雨 (25~49.9)	暴雨 (50~99.9)	大暴雨 (≥100)
同化 MTSAT2	0.103	0.789	0.702	0.75
未同化 MTSAT2	0.111	0.818	0.759	0.933
差量	-0.008	-0.029	-0.057	-0.233

表 6 同化 MTSAT-2 数据前后的 24 h 累计降水
预报的漏报率 $PO/100\%$

Table 6 PO of precipitation forecast before
and after MTSAT-2 data assimilation

降水量级/ mm	小至中雨 (0~24.9)	大雨 (25~49.9)	暴雨 (50~99.9)	大暴雨 (≥100)
同化 MTSAT2	0.48	0.684	0.5	0.714
未同化 MTSAT2	0.44	0.789	0.5	0.929
差量	0.04	-0.105	0	-0.215

4 结论与讨论

本文利用 LAPS 同化日本 MTSAT-2 卫星数据对 2014 年 7 月 24~25 日江苏及安徽区域性大暴雨过程进行了模拟试验,通过对比分析同化 MTSAT 卫星资料前后的试验效果,针对本次降雨过程,得出如下初步结论:

(1) 利用 LAPS 系统同化 MTSAT2 卫星数据,对比分析同化前后的地面相对湿度场可以发现,同化 MTSAT2 卫星数据在实际地面相对湿度场的高值区有普遍的增强作用,优化效果明显。

(2) 针对此次暴雨过程,将 LAPS 同化 MTSAT2 卫星资料后输出的分析场作为 WRF 模式初始场进行模拟。与另外两个方案进行比较,同化 MTSAT2

卫星资料后模拟的降水分布形势与实况最接近。

(3) 通过计算和分析同化 MTSAT2 卫星资料前后的 24 h 累积降水量场的 T_s 评分和 V_s 评分等多种统计量可发现,同化 MTSAT2 卫星资料可以提高大雨及以上量级降水的预报准确率,对于大暴雨量级降水的预报优化效果最为显著。

本文初步探讨了 LAPS 同化 MTSAT-2 卫星数据对夏季暴雨个例数值模拟的优化作用,但还很难具体和全面评估 LAPS 同化 MTSAT-2 卫星数据对数值模拟的普遍影响和其影响机制。因此,还需要增加不同类型的暴雨个例进行研究试验来论证,这部分工作将在今后进一步展开。

参 考 文 献

- 1 陈东升,沈桐立,马革兰,等. 气象资料同化的研究进展. 南京气象学院学报, 2004; 27(4): 550—564
Chen D S, Shen T L, Ma G L, et al. Advances in the meteorological data assimilation. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004; 27(4): 550—564
- 2 黄兵,刘健文,钟中,等. 卫星资料变分同化在一次中尺度强暴雨模拟中的应用. 应用气象学报, 2006; 17(3): 363—369
Huang B, Liu J W, Zhong Z, et al. Variational data assimilation of satellite radiance to a mesoscale rainstorm simulation. Journal of Applied Meteorological Science, 2006; 17(3): 363—369
- 3 董佩明,薛纪善,黄兵,等. 数值天气预报中卫星资料同化应用现状和发展. 气象科技, 2008; 36(1): 2—7
Dong P M, Xue J S, Huang B, et al. Application status and development of satellite data assimilation in numerical weather forecast. Meteorological Science and Technology, 2008; 36(1): 2—7
- 4 王超,万丰,张凤英,等. 数值预报/卫星反演/数据同化循环试验. 气象学报, 1997; 55(6): 740—749
Wang C, Wan F, Zhang F Y, et al. An experiment on NWP/Satellite retrieval/data assimilation. Acta Meteorologica Sinica, 1997; 55(6): 740—749
- 5 王子厚,王宗皓,张凤英. HIRS/2 亮温直接应用于数值预报的实验研究. 应用气象学报, 1995; 6(3): 273—280
Wang Z H, Wang Z H, Zhang F Y. A study of application of HIRS/2 brightness temperature to NWP without retrieval. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1995; 6(3): 273—280
- 6 沈桐立,闵锦忠,吴诚鸥,等. 有限区域卫星云图资料变分分析的试验研究. 高原气象, 1996; 15(1): 58—67
Shen T L, Min J Z, Wu C O, et al. Experiment and design of the variational analysis system for the satellite cloud picture data in the limited area. Plateau Meteorology, 1996; 15(1): 58—67
- 7 王宗皓. 卫星探测辐射率在数值天气预报中的直接应用. 应用气象学报, 1995; 6(1): 101—108
Wang Z H. Direct use of satellite sounding radiances in numerical weather prediction. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 1995; 6(1): 101—108
- 8 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. 高原气象, 2007; 26(5): 1004—1012
Zhang L H, Shen T L, Wang H L. Variational assimilation of AMSU data and its application to numerical simulation of heavy rainfall. Plateau Meteorology, 2007; 26(5): 1004—1012

- 9 潘宁,董超华,张文建. ATOVS 辐射率资料的直接变分同化试验研究. 气象学报, 2003; 61(2): 226—236
Pan N, Dong C H, Zhang W J. The experiments on direct assimilating ATOVS radiance. Acta Meteorologica Sinica, 2003; 61(2): 226—236
- 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. 暴雨灾害, 2008; 12, 27(4): 307—312
Cui C G, Li H L, Peng J X, et al. The application of LAPS data to research a heavy rain in east Hubei Province in the early summer of 2008. Torrential Rain and Disasters, 2008; 12, 27(4): 307—312
- 11 Albers S C, McGinley J A, Birkenheuer D L, et al. The local analysis and prediction system (LAPS): analyses of clouds, precipitation, and temperature. Wea Forecasting, 1996; 11: 273—287
- 12 李红莉,张兵,陈波. 局地分析和预报系统(LAPS)及其应用. 气象科技, 2008; 36(1): 20—24
Li H L, Zhang B, Chen B. Local analysis and prediction system (LAPS) and its localization. Meteorological Science and Technology, 2008; 36(1): 20—24
- 13 李红莉,王晓芳. 利用 LAPS 系统对一次暴雨过程的分析//中国气象学会 2006 年年会“中尺度天气动力学、数值模拟和预测”分会场论文集. 成都, 2006
Li H L, Wang X F. Analysis of a rainstorm process based on LAPS. Chinese Meteorological Society Annual Meeting—Mesoscale Weather Dynamics, Numerical Modeling and Prediction, Chengdu, 2006
- 14 刘瑞霞,陈洪滨,师春香,等. 多源观测数据在 LAPS 三维云量场分析中的应用. 应用气象学报, 2011; 22(1): 123—128
Liu R X, Chen H B, Shi C X, et al. The application of multi-source data to three-dimensional cloud amount analysis in LAPS. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2011; 22(1): 123—128
- 15 程兴宏,刘瑞霞,申彦波,等. 基于卫星资料同化和 LAPS-WRF 模式系统的云天太阳辐射数值模拟改进方法. 大气科学, 2014; 38(3): 577—589
Cheng X H, Liu R X, Shen Y B, et al. Improved method of solar radiation simulation on cloudy days with LAPS-WRF model system based on satellite data assimilation. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2014; 38(3): 577—589
- 16 杨俊涛,蒋玲梅,吴凤敏,等. MTSAT-2 静止气象卫星中国区域雪盖检测. 遥感学报, 2013; 17(5): 1264—1280
Yang J T, Jiang L M, Wu F M, et al. Monitoring snow cover over China with MTSAT-2 geostationary satellite. Journal of Remote Sensing, 2013; 17(5): 1264—1280
- 17 Albers S C. The LAPS wind analysis. Wea Forecasting, 1995; (10): 342—352
- 18 Birkenheuer D L. Expanding the variational methods in the LAPS moisture analysis. 18th conf on Weather Analysis and Forecasting, Fort Lauderdale, FL, 2001
- 19 李红莉,崔春光,王志斌. LAPS 的设计原理、模块功能与产品应用. 暴雨灾害, 2009; 28(1): 64—70
Li H L, Cui C G, Wang Z B. Scientific designs, functions and applications of LAPS. Torrential Rain and Disasters, 2009; 28(1): 64—70
- 20 Weng F Z, Han Y, Van D P, et al. JCSDA community radiative transfer model (CRTM). Proceedings of 14th International TOVS Study Conference, Beijing, 2005
- 21 黄海洪,郑凤琴,孙崇智. 一种新型降水预报评分方法. 气象, 2004; 30(9): 35—38
Huang H H, Zheng F Q, Sun C Z. Application study of new evaluation method of rainfall forecast. Meteorological Monthly, 2004; 30(9): 35—38
- 22 丁金才. 天气预报评分方法评述. 南京气象学院学报, 1995; 18(1): 143—150
Ding J C. Review of weather prediction verifying techniques. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1995; 18(1): 143—150
- 23 张晶,顾松山,楚志刚,等. LAPS 同化 GPS/PWV 资料在暴雨预报中的应用研究. 气象, 2014; 40(1): 76—85
Zhang J, Gu S S, Chu Z G, et al. Assimilation of GPS/PWV data in LAPS and its application in precipitation forecasts. Meteorological Monthly, 2014; 40(1): 76—85

Assimilation of MTSAT-2 Water Vapor Data in LAPS and Its Application in Mesoscale Rainstorm Simulation

WANG Tao^{1,2}, YIN Yan^{1,2,*}, CHU Zhi-gang^{1,2}, ZHOU Yu-quan³

(Key Laboratory for Atmospheric Physics and Environment, CMA¹;

Nanjing University of Information Science and Technology², Nanjing 210044, P. R. China; Chinese Academy of Meteorological Sciences³, Beijing 100081, P. R. China; CAAC East China Regional Administration⁴, Shanghai 200335, P. R. China)

[Abstract] LAPS (analysis and prediction system local) has been used in China for many years, and it can integrate many kinds of domestic observations, but it is not enough for the integration of satellite data. For this purpose, the interface of LAPS and the MTSAT-2 was realized, and selected a strong precipitation process from July 24, 2014 to 25 in Jiangsu and the nearby region to simulate the process of the WRF model. By comparing the difference of the physical quantity field of LAPS system before and after the fusion of MTSAT-2, and the difference of the precipitation in the WRF model, the effect of the LAPS data on the rainstorm forecast is analyzed. The results show that the distribution of the relative humidity field and the precipitation area is obviously improved after LAPS fusion with MTSAT-2 satellite data. Using various scoring methods to test the accumulated precipitation of 24 h, it is found that the precipitation of the MTSAT-2 data is significantly improved, especially for the heavy rainfall.

[Key words] LAPS MTSAT-2 data WRF model numerical simulation of heavy rain