

GMS-5 反演湿度场的一维变分质量控制试验^{*}

王华荣 郁 凡 桂海林

(南京大学大气科学系, 南京, 210093)

摘 要

应用一维变分方法对 GMS-5 资料反演的相对湿度场进行了变分同化质量控制试验。首先具体分析了 1998 年 6 月 12~29 日的 MM5 模式 12-h 预报湿度场、卫星反演湿度场和同化分析湿度场的误差统计量(误差平均值、误差自协方差矩阵、均方根误差等)。在此基础上,又应用一维变分方法对 1998 年 7 月 20~30 日的资料进行了同化试验,并以 1998 年 7 月 21 日 00 时(世界时)的结果为例,详细分析比较了 3 种湿度场。

分析结果表明:MM5 模式背景湿度场总体上低层偏湿,中上层偏干,各层面上的干湿区域区分明显;但往往湿区过湿,干区又偏干,均方根误差(RMSE)相对较大,各层面多在 10 以上,最高达到 15.6。GMS-5 卫星反演湿度场总体与探空实测结果更接近,但整体平均看,各个层面基本上略偏湿,特别在中低层, RMSE 为 6.3~8.9。经过一维变分质量控制的湿度场基本接近卫星反演湿度场,但同化后的湿度场的 RMSE 在中低层要比卫星反演场的要小, RMSE 下降了 0.4~0.7, 下降比率达到 6%~9%;高层与卫星反演结果基本接近。对模式向前 12 h 预报场而言,同化了卫星反演湿度场后,均方根误差值下降了 1.4~9.0, 下降比率达到 17%~59%, 同化后的湿度场与实际大气大大接近。

关键词: 一维变分, 同化, 卫星反演, 湿度场。

1 引 言

早期关于大尺度 GCM 模式中初始湿度场重要性的研究^[1,2]认为水汽作用仅仅是被动的,然而,最近的研究表明,对高分辨率的短-中期 NWP 模式而言,正确估计湿度场对合理完成初始化非常必要。Mohanty 等^[3]认为,若在数值预报开始几个小时的积分中不能提供初始散度场、湿度场和热力场的适当配合,没有足够的潜热加热,往往就会产生旋转加强问题(spin up)。高空测站之间距离过大(平均是 300 km),用于客观分析的常规观测资料密度不够,使湿度场过于平滑,这是导致辐散场、非绝热加热和湿度场之间初始场不一致的重要原因。目前,数值预报中通常使用的常规探空资料,含有的信息主要代表了天气尺度和大尺度系统的特征,而产生暴雨的系统除了大尺度背景外,一个很重要的因素是造成暴雨的中小尺度系统,若仅仅使用常规探空资料,则会容易漏掉一些中小尺度的系统。

与常规资料相比,卫星观测资料的时空分辨率较高,可以连续监测各类云和天气系统发生、发展和演变的过程,并从中有效地提取高时空分辨率的各项气象信息。中国卫星资料的应用研究已在多方面取得了较大进展,但在应用卫星资料反演三维湿度场方面所进行的研究还不多^[4]。郁凡等^[5~9]在用 GMS-5 卫星资料进行了云分类分析、降水场分析的基础上,利用 GMS-5 的多光谱卫星信息在反演各标准等压面相对湿度方面和将反演湿度场应用于中尺度模式方面又进行了一系列的试验,取得了较好的结果。在研究过程中,他们也发现,由于卫星观测的局限,主要误差往往出现在大气中层、或者是云下中、低层的干区。

为得到与实际大气更为接近的更优初始湿度场,能充分利用模式预报场和卫星反演场湿度信息的变分同化方法是一条重要的途径。Godelieve Delblonde 等^[10]应用一维变分方法同化 SSM/I 和 GOES 反演的湿度场,得到了较好的结果,有效地降

^{*} 初稿时间:2003 年 11 月 10 日;修改稿时间:2004 年 3 月 26 日。

资助课题:国家自然科学基金项目(G40175007)和国家重点基础研究发展规划项目(G1998040910)。

作者简介:王华荣,男,四川达州人,1979 年生,汉族,硕士,主要从事卫星资料反演与同化方面的研究工作。

低了模式预报场的均方根误差。本文以他们的方法为基础,加以改进,应用一维变分同化方法对 GMS-5 反演的湿度场进行质量控制试验,争取得到一个更优的能更好反映实际大气的分析湿度场。

2 资料及其处理

本文使用的常规探空资料为 1998 年 6,7 月逐日资料,资料范围(19.5°~45°N, 100.0°~124.7°E)。MM5 模式(MM5V3.4 版)所使用的资料为 1998 年 6,7 月美国 NCAR/NCEP 逐 6 h 全球再分析资料。卫星资料反演湿度场资料来自于郁凡等^[8,9]所做的工作结果,这些结果主要是根据 GMS-5 四个波段(可见光、红外 1、红外 2、水汽波段)卫星图像资料反演的,其分辨率为 0.1°×0.1°。

3 一维变分同化分析原理

以变分学为基础的资料同化方法,通常就是寻找一个大气状态,使得所定义的代价函数(cost function)达到极小值。Loren^[11]的论述建立在贝叶斯原理基础上,假定观测场与背景场误差满足高斯误差分布。所考虑参量的两个测量值,分别为观测值 x_0 和背景值 x_b ,由这两个测量值来决定极大似然估计值(maximum likelihood estimate)。假设观测误差 $\epsilon_0 = x_0 - x$ 和背景误差 $\epsilon_b = x_b - x$ 都是无偏的,彼此间也不相关,则可得到代价函数^[12],再通过对待价函数的最小化,最终得到最小误差的分析场。

在本文中,选择相对湿度 q 作为一维变分分析的工作变量,这样就可以导出本文所用代价函数的定义

$$J(q) = \frac{1}{2}(q - q_b)^T P^{-1}(q - q_b) + \frac{1}{2}[H(q) - z]^T O^{-1}[H(q) - z] \quad (1)$$

其中, q_b 表示相对湿度背景场, $H(q)$ 是关于变量 z 的向前模式(forward model), z 为要被同化的卫星观测信息。 P 和 O 分别为背景场和观测场的误差自协方差矩阵。代价函数 $J(q)$ 的最小化通过将其对 q 求导为零得到,这由下式给出

$$J' = P^{-1}(q - q_b) + (H')^T O^{-1}[H(q) - z] \quad (2)$$

$H(q)$ 如果是非线性算子,要得到式(1)的最小化,即要求使式(2)等于零时的值,必须用迭代算法来计算^[13]。由于在我们的前期工作中,已经完成了卫星

观测值对各标准等压面相对湿度场的反演,这样,在 z 等于由多光谱卫星信息反演的湿度场时, $H(q)$ 就可取为线性算子: $H(q) = Hq$ (H 转化为单位矩阵),所以 $H' = H$, 因此令式(2)等于零,可以通过下面的式子来计算(详细参见文献^[10,14])

$$P^{-1}(q_a - q_b) + H^T O^{-1}[H(q_a - q_b) + H(q_b) - z] = 0 \quad (3)$$

这里 q_a 表示最小分析误差的湿度场,方程可以写为下式

$$q_a - q_b = (P^{-1} + H^T O^{-1} H)^{-1} H^T O^{-1}[z - H(q_b)]$$

或者

$$q_a = q_b + K[z - H(q_b)] \quad (4a)$$

$$q_a = q_b + K[z - q_b] \quad (4b)$$

其中 K 为增广矩阵:

$$K = (P^{-1} + H^T O^{-1} H)^{-1} H^T O^{-1} = PH^T(O + HPH^T)^{-1} \quad (5a)$$

或者 $K = (P^{-1} + O^{-1})^{-1} O^{-1}$

$$= P(O + P)^{-1} \quad (5b)$$

4 方法设计

本文采用 1998 年 6 月 12 日到 6 月 29 日 00 时(世界时)卫星资料反演的湿度场资料作为需要同化的原始资料,资料范围在 20°~45°N, 100°~124.8°E,同时由 MM5 模式预报得出 6 月 12 日到 6 月 29 日 00 时(世界时)的水汽初始猜测场(背景场),范围在 20°~45°N, 100°~125°E。模式在水平上采用 Arakawa-B 型(151×148)跳点网格,格距为 20 km,网格中心位于 32°N, 112°E;变量 p, T, q 设置在交叉点上,变量 u, v 设置在圆点上。模式垂直上采用 δ 坐标不等间距 23 层;除垂直速度定义在整层上,其他变量定义在半层上。模式考虑了较真实的地形和下垫面 USGS24 类分类资料,采用总体边界条件和海绵边界条件。同时考虑了长波、短波辐射、云的辐射冷却、地面感热、潜热通量和摩擦效应以及大尺度凝结等物理过程, Grell 积云对流参数化方案。

本文中所有的湿度变量均为相对湿度。作为真值的相对湿度值由各探空站点探空实测的各标准等压面上的温度和露点温度转换得到。

误差定义为

$$E = q_s - q_r$$

其中 q_r 表示探空实测相对湿度, q_s 表示背景场(或反演场、分析场)的相对湿度。

同时,定义均方根误差(RMSE)为

$$r_{\text{mse}}^2 = \langle (q_s - q_r)^2 \rangle$$

式中 $\langle \rangle$ 符号表示平均值。

由于常规探空资料的观测在时间上有一定的持续性,空间上也不一定在测站的这个位置的上空,为了减小卫星资料反演场和模式背景场的资料与探空资料的时空不一致引起的误差,在 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250 hPa 标准等压面,对卫星反演的湿度场,以地面测站为中心,取 7×7 格距的区域,构造统计分析样本数据。在 12-h(模式向前预报时间)的背景场里,也同样在各标准等压面层,以地面测站位置所在的格点为中心进行 3×3 矩阵的采样。

在分别求反演湿度场、背景湿度场和同化后湿度场的误差自协方差矩阵时,设 $q_{s,ik}$ ($q_{s,im}$) 表示在观测点 i , 第 $k(m)$ 层高度上卫星反演的湿度值或模式预报的湿度值或同化后的湿度值, $q_{r,ik}$ ($q_{r,im}$) 是在观测点 i , 第 $k(m)$ 层高度上探空相对湿度值,定义误差

$$E_{i,k} = q_{s,ik} - q_{r,ik}$$

$$E_{i,m} = q_{s,im} - q_{r,im}$$

其平均值和自协方差分别是

$$\bar{E}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_{ik}$$

$$\bar{E}_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_{im}$$

$$C_{km} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (E_{ik} - \bar{E}_k)(E_{im} - \bar{E}_m)$$

其中 $k(m) = 1, 2, \dots, 7$; N 为站点的大气状态数目。

卫星反演湿度场和模式背景湿度场的误差自协方差矩阵对同化结果是至关重要的,为此,本文应用

了 6 月 12~29 日共 18 d 的模式 12-h 预报资料和卫星反演的资料,在分析区域内,共选取了 1300 余个站点的大气状态,分别求取卫星反演湿度场和模式背景湿度场误差自协方差矩阵。又用此误差自协方差矩阵对 7 月 21 日 00 点(世界时)的卫星反演湿度场进行了一维变分同化的质量控制试验。

5 结果分析

5.1 误差分析

表 1 给出了 1998 年 6 月 12~29 日(00 时)的卫星反演湿度场的误差自协方差矩阵和误差平均值。各个层次上方差(主对角线上的值)都不太大,方差所反映的是误差的随机偏差,这说明卫星反演湿度场在各层上均有较好精度,总体上看,反演结果与实际观测结果比较接近。方差相对较大的值出现在 500 和 400 hPa 层次上,至 300 hPa 以上,方差又显著下降。从卫星资料反演湿度场的误差平均值来看,总体上卫星资料反演的湿度场除了在 300 hPa 层次上略偏干外,基本上是偏湿的,高层偏湿程度要小于低层。误差平均值反映的是误差的系统偏差,从以上结果可见,卫星反演湿度场较大系统正偏差主要出现在大气低层,特别是 850 和 700 hPa,这表明,卫星反演湿度场低层偏湿比较明显,这种明显偏湿的情况在 500 hPa 及以上各层就显著下降了。分析其原因,主要还是由于卫星是从上向下观测的,当中上层有云时,卫星观测对云层下的垂直结构信息难以准确获取,云下大气中低层的干区往往估计过湿,使得所反演的水汽信息与实际产生较大偏差。

表 1 卫星反演湿度场误差自协方差矩阵和误差平均值

Table 1 Mean error and error autocovariance matrix of satellite RH retrievals

层 次	平均值	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
925 hPa	1.78	54.57						
850 hPa	2.56	36.51	53.80					
700 hPa	2.27	16.97	31.39	55.51				
500 hPa	0.90	18.75	23.31	27.01	69.93			
400 hPa	0.03	16.49	17.88	15.55	49.27	78.86		
300 hPa	-0.33	7.22	8.43	6.07	25.36	42.63	50.78	
250 hPa	0.14	7.51	10.11	7.39	23.03	34.15	35.62	39.79

表 2 为 1998 年 6 月 12~29 日(00 时)的 MM5 模式预报的湿度场的误差自协方差矩阵和误差平均值,由表可以看出,无论是方差,还是误差平均值,基本上都明显大于卫星反演结果。从误差平均值看,

500 hPa 是一个转折,500 hPa 以上系统偏差为负,表明中高层总体偏干;500 hPa 以下系统偏差均为正,特别是 925 和 850 hPa,有较大正偏差,表明总体上模式预报低层过湿。从方差来看,500 hPa 以上

表 2 MM5 模式预报湿度场误差自协方差矩阵和误差平均值
Table 2 Mean error and error autocovariance matrix of RH forecasts from MM5

层 次	平均值	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
925 hPa	3.99	65.44						
850 hPa	4.70	48.37	119.98					
700 hPa	0.41	13.07	36.73	124.49				
500 hPa	−3.11	5.97	11.84	17.92	214.40			
400 hPa	−1.36	9.64	17.15	12.04	101.56	244.70		
300 hPa	−1.26	12.09	11.92	12.14	34.31	81.29	220.95	
250 hPa	−2.18	3.32	12.44	12.62	42.82	60.53	150.89	239.81

显著增大。这样,虽然从大环境上看,模式预报的结果基本正确,但在各层上都往往造成大片区域有干区过干、湿区过湿的情况。

表 3 为一维变分同化湿度场误差自协方差矩阵和误差平均值。应用一维变分方法把模式预报的湿度场和卫星资料反演的湿度场同化后,所得到的湿度场与前两者相比,均有改善。同化后的湿度场误

差的方差比预报的湿度场的要小得多;400 hPa 以下的中低层次也都比卫星反演的湿度场要好,在 300 和 250 hPa 层次上,同化分析湿度场与卫星反演湿度场接近。从平均值来看,所有层次上同化分析湿度场与卫星反演湿度场基本一致,也就是说总体上同化分析湿度场是趋近卫星反演湿度场的。

表 3 一维变分同化湿度场误差自协方差矩阵和误差平均值
Table 3 Mean error and error autocovariance matrix of the analyzed RH field by 1DVAR

层 次	平均值	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa
925 hPa	1.89	45.14						
850 hPa	2.75	27.90	47.66					
700 hPa	1.98	10.64	23.25	46.91				
500 hPa	0.42	12.25	15.30	19.54	59.98			
400 hPa	−0.15	14.14	13.98	11.28	37.52	69.64		
300 hPa	−0.38	7.07	7.50	5.58	20.40	38.29	52.97	
250 hPa	0.18	5.05	7.97	5.65	18.50	30.69	35.73	41.95

表 4 给出了模式背景场、卫星反演场和同化分析场的均方根误差、同化分析场相对于卫星反演场的均方根误差下降情况以及同化分析场相对于模式背景场的均方根误差下降情况。由表可以看出,12-h 模式预报场的 RMSE 在 925 hPa 的底层相对较小,为 8.1,以上层次都超过了 11.0,最高出现在 400 hPa 层次上达到 15.6。卫星反演场的 RMSE 各层均比模式的要小,最高也出现在 400 hPa 层次上达

到 8.9,其他都在 7 左右;高层偏小,说明高层卫星反演的效果更好些。同化后的均方根误差在所有层次都要比模式的好,最高也同样在 400 hPa 层次上,达到 8.3。相比卫星反演的均方根误差来说,中低层的要小,下降的幅度最高是在 925 hPa 层次上,为 0.7,也就是相当于下降了 9%左右;最低为 0.4,出现在 850 hPa 层次上,有效下降为 6%;其他的层次也在 6%以上。在 300 和 250 hPa 层次上,分析场的

表 4 模式背景场、卫星反演场、同化分析场的均方根误差统计
Table 4 Respectively RMSE of background RH field,satellite retrieved RH field and analyzed RH field

层次(hPa)	925	850	700	500	400	300	250
背景场	8.1	11.0	11.2	14.6	15.6	14.9	15.5
反演场	7.4	7.3	7.5	8.4	8.9	7.1	6.3
分析场	6.7	6.9	6.8	7.7	8.3	7.3	6.5
卫星降低	9%(0.7)	6%(0.4)	8%(0.7)	7%(0.7)	6%(0.6)	−2%(−0.2)	−3%(−0.2)
模式降低	17%(1.4)	37%(4.1)	38%(4.4)	47%(6.9)	47%(7.3)	51%(7.6)	59%(9.0)

RMSE 比卫星的稍大。同化后的均方根误差相对模式的均方根误差来看,下降幅度很大,最高下降了 9.0,即相当于 RMSE 有效下降 59%;下降幅度最小到 1.4,有效下降也达 17%;其他层次都在 37%以上。说明同化后的湿度场在所有层次上都大大好于模式预报湿度场,在中低层也要比卫星反演的湿度场好。但是在高层,由于卫星反演的效果很好,同化结果在总体上没有多少提高。

5.2 湿度场分析

应用上述的方法,我们给出了 1998 年 7 月 21 日 00 时(世界时)的同化个例,选用 850,700,500,300 hPa 等 4 个层次上相对湿度场作为分析比较。

在 850 hPa 层上,模式所得的初始水汽场(图 1a)干湿区分得很好,但是相对湿度稍大的地方大部分偏湿。长江中下游、四川重庆地区和东北华北局部地区的相对湿度大部分偏高,都在 90%以上,而且相对湿度 95%以上的区域也很大,明显大于实际的探空资料高湿区的分布范围,在中国东部海面也是如此。从卫星资料反演的 850 hPa 湿度场(图 1b)来看,虽然明显比模式预报的结果要好,但山东的北部、河北、山西的局部地区还是偏湿,辽宁的局部地区也略偏湿。同时,在湖北—重庆—四川一线的部分地区又有些偏干。通过一维变分同化后的湿度场(图 1c),除了山东部分地区湿度要比实际偏高外,其他地方基本上与实际探空资料相吻合。从这 3 张图来看,卫星反演稍偏干的地区(如湖北、重庆部分地区),模式场偏湿;在卫星反演偏湿的地区(如山西、河北部分地区),模式场偏干;同化后,正是在这些地区同化结果均得到了明显趋近实际观测结果的改善。

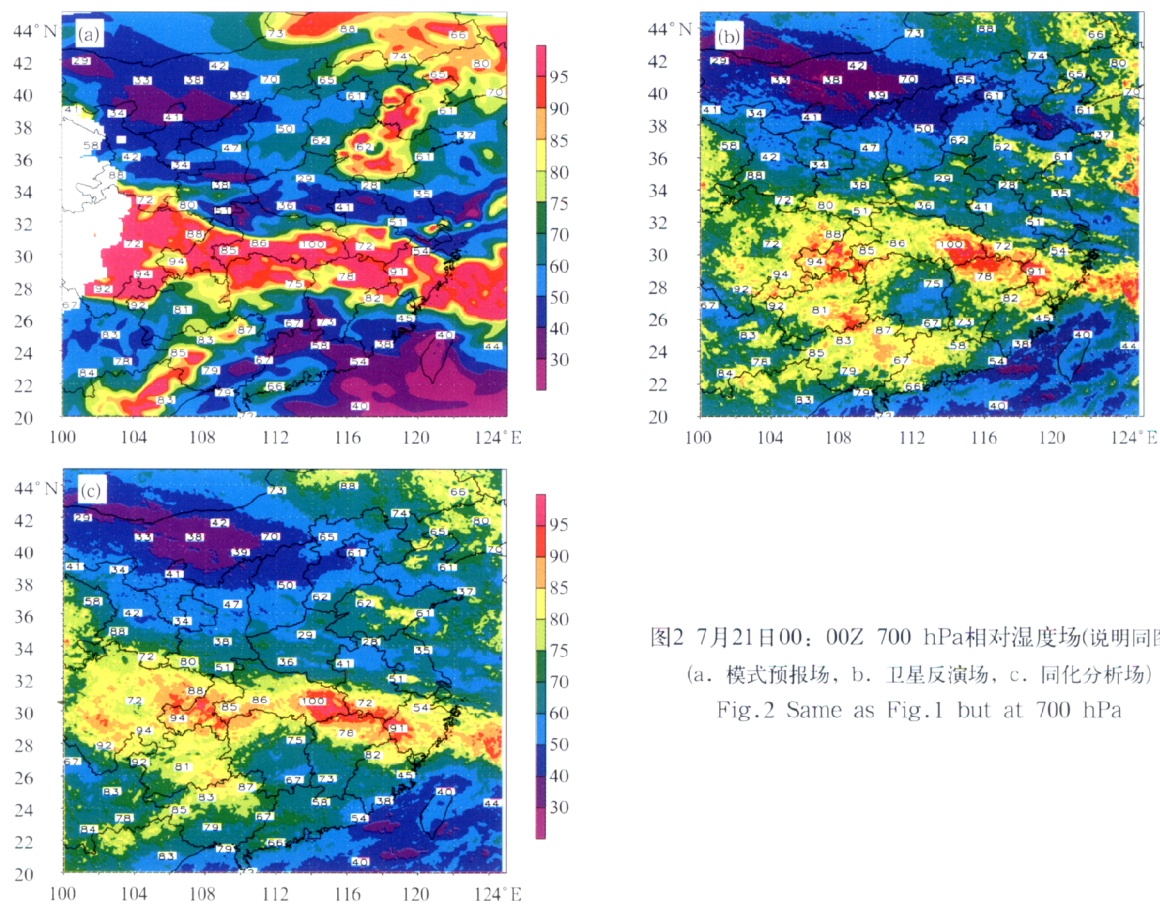
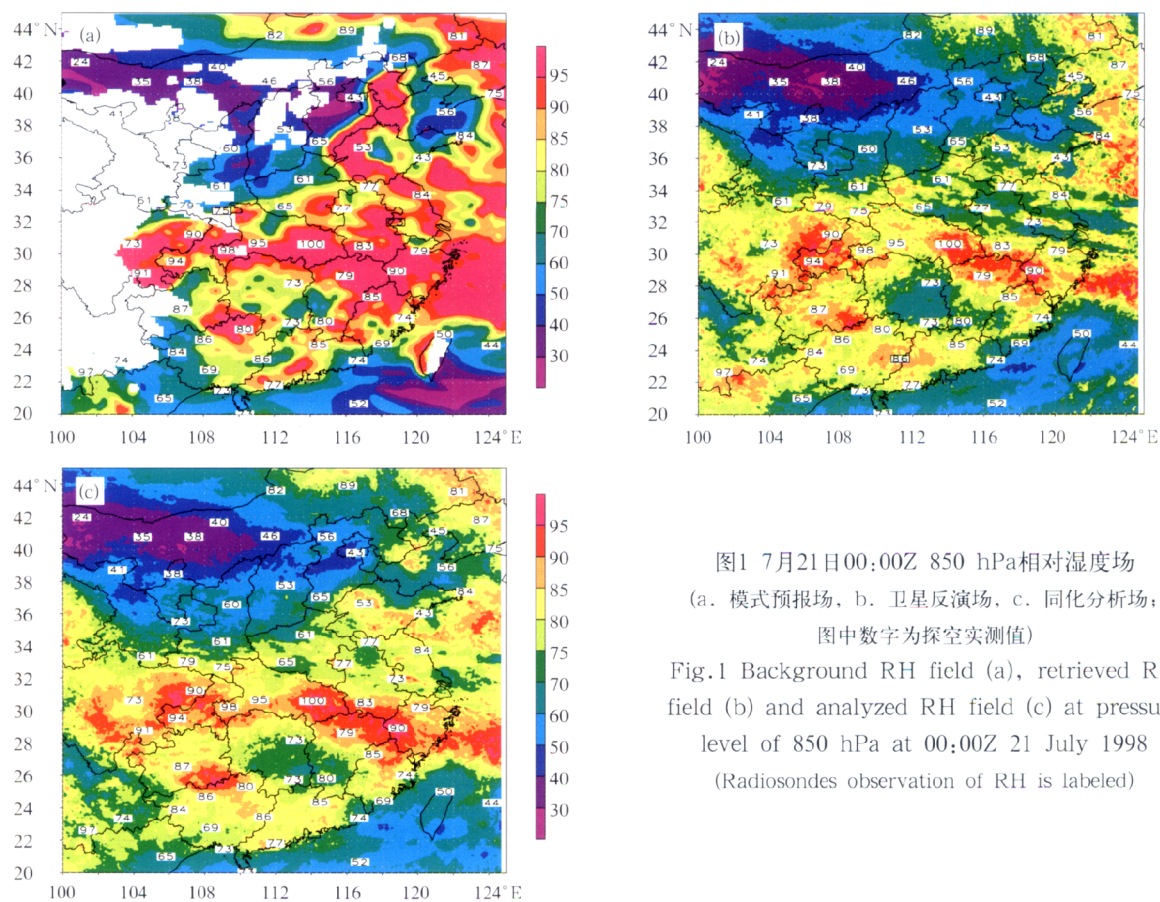
从 700 hPa 层上来看,模式所得的初始水汽场(图 2a)总体来看干湿区分布较清楚。不过在 32°N 附近的部分偏湿,东北部分地区,山东渤海湾部分地区偏湿,且其幅度比较大;同时在云南的部分地区又稍偏干。卫星资料反演的湿度场(图 2b),在广东的部分地区偏湿,陕西—河南—安徽—江苏一线的部分地区偏湿;这些地方模式背景场是干区,与实际接近。同时,渤海湾的部分地区明显偏干,湖北、重庆、四川的部分地区也偏干;而这些地方,模式场偏湿。从 700 hPa 层上通过一维变分同化所得的湿度场(图 2c)来看,卫星反演的陕西—河南—安徽—江苏一线的偏湿区有所改善,但还是略偏湿。其他地区都与探空场比较吻合。与模式预报场和卫星反演场

相比,都有所提高。

在 500 hPa 层上,模式预报的湿度场(图 3a)的干湿区基本上分开。然而在相对湿度稍大的地方偏湿,偏湿的程度比较大,相对湿度在 95%以上的区域过大,如 31°N 附近的部分地区偏湿,西北地区的部分地区偏湿,还有云南、渤海湾的部分地区偏湿,而实际的相对湿度探空值在这些地区均相对较小。同时,在模式背景场的干区,一些局部的湿区也被干区覆盖了,如安徽江苏北部到黄海的部分地区。从卫星资料反演的湿度场(图 3b)来看,陕西—河南—安徽一线的部分地区偏湿,广西—广东—江西一线的部分地区明显偏湿。同时四川重庆湖北的部分地区略有偏干。经过一维变分同化后的湿度场(图 3c),在卫星反演的和模式所得的湿度场的偏湿的地方都不同程度的得到了改善和提高。但是广西—广东—江西一线的部分地区偏湿区域与探空仍有一定偏差,这主要还是由于模式预报湿度场和卫星反演湿度场在这些地区都比较偏湿。在卫星反演偏干的区域,同化结果也有了一定程度的改善,在有探空值的地方,一维变分同化后的湿度场与实际的探空值比较接近,干湿区域分析得比较合理。

在 300 hPa 层上,模式预报所得的湿度场(图 4a)与其他层次一样,干湿区均基本分开。但在相对湿度较小的区域出现偏干,如河南江苏北部明显偏干,出现偏干的区域还有山东的部分区域。同时在相对湿度较大的地方过于偏湿,如西北的部分地区明显偏湿,四川重庆等部分地区相对湿度超过 90%,甚至达到 95%以上,这与实际探空资料是不相符的。卫星资料反演的湿度场(图 4b),除四川重庆部分地区和广西—广东—安徽一线地区偏湿以外,基本符合实际探空资料的观测。通过一维变分同化后的湿度场(图 4c),在卫星反演的广西—广东—安徽一线偏湿地区有所改善,但仍然略偏湿,其他地区,均与实际探空资料匹配的比较良好。

从 850,700,500,300 hPa 这几个层次上 3 种不同的湿度场来看,模式预报所得的初始水汽场虽然总体上干湿区基本上能区分开,但是在各个层次上都有湿区偏湿和干区偏干的情况,也有一些明显分析不合理的地方。卫星资料反演的湿度场虽然明显好于模式预报湿度场,更接近实际大气的湿度场,但往往有干区偏湿、湿区偏干的情况,特别是在云下,干区难以得到准确揭示,使卫星资料反演的湿度场有时出现较大偏差。通过一维变分方法对卫星资料



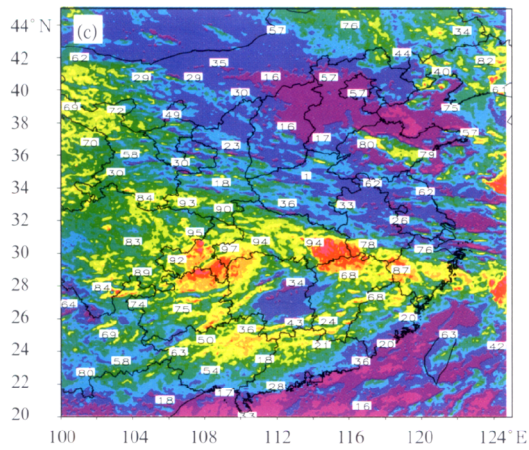
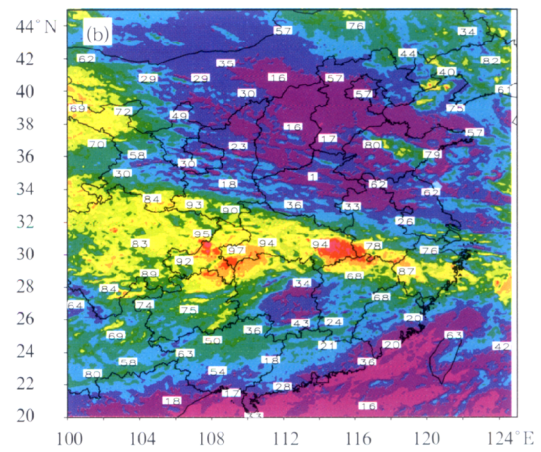
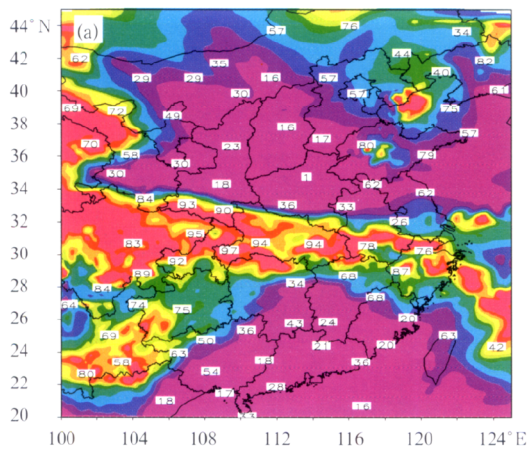


图3 7月21日00:00Z 500 hPa相对湿度场(说明同图1)

(a. 模式预报场, b. 卫星反演场, c. 同化分析场)

Fig.3 Same as Fig.1 but at 500 hPa

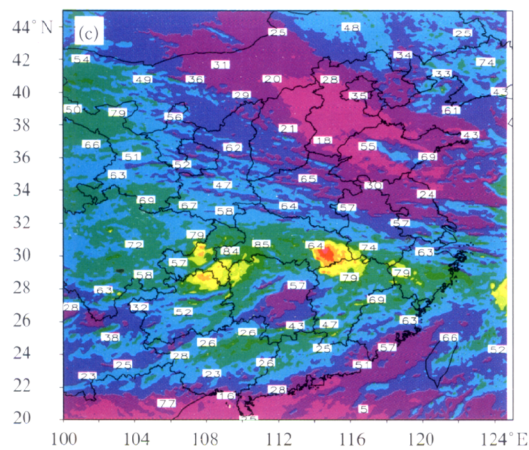
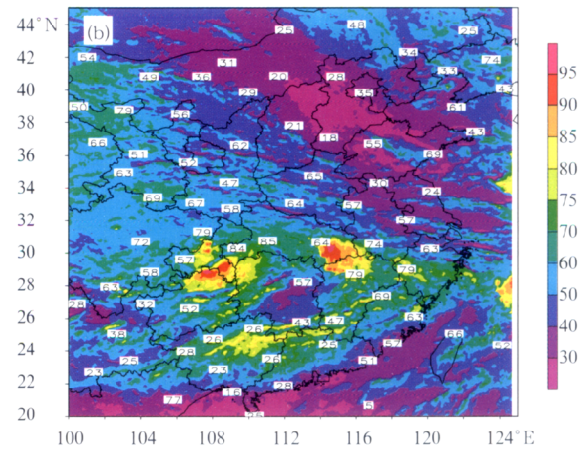
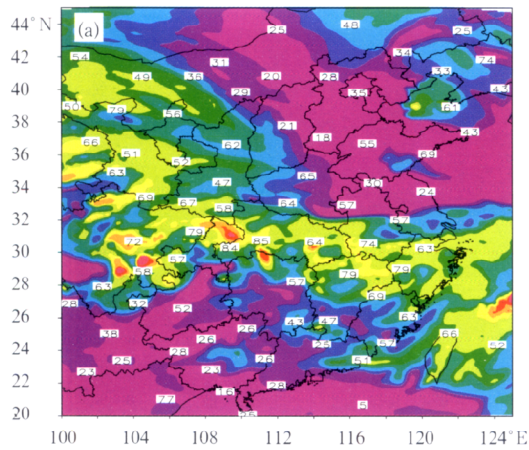


图4 7月21日00:00Z 300 hPa相对湿度场(说明同图1)

(a. 模式预报场, b. 卫星反演场, c. 同化分析场)

Fig.4 Same as Fig.1 but at 300 hPa

反演的湿度场和模式预报的湿度场进行同化,得到的分析湿度场,相比较而言,基本上在各层效果都有不同程度的提高。这是因为,同化分析场能够较好地融合卫星反演场和模式预报场的合理信息,修正单方面分析可能发生的错误。因此,无论从十余天总体统计结果看,还是从实际个例的对比分析看,一维变分同化后的湿度场均与实际探测结果更为接近,能够更合理地揭示实际大气的湿度场。

6 结 论

MM5 模式背景湿度场基本能够正确地揭示出大背景环境的干湿区分布,但总体上有低层偏湿、中上层偏干的倾向,而且往往湿区过于偏湿,干区过于偏干,不能把局部小区域内的干湿信息反应出来。均方根误差相对来说比较大,大部分层次在 10 以上,最高达到 15.6。

尽管 GMS-5 卫星反演湿度场与探空资料比较接近,均方根误差明显要比模式的小,仅为 6.3~8.9。但从总体上看,其各个层次基本上都还是有些偏湿,特别在中低层的干区表现更明显,另外在相对湿度很大的湿区有时又会出现偏干的情况。

应用一维变分方法同化卫星反演场和模式预报场后得到的分析湿度场总体上接近卫星反演湿度场,虽然只是在 500 hPa 层次上误差平均值要小于卫星反演场;但同化后的分析湿度场的均方根误差在中低层要比卫星反演场的要小,高层接近,均方根误差在 6.5~8.3。与卫星反演场比较,精度的确有所提高。

在各个层次上,同化分析场的均方根误差要比预报场的均方根误差小,下降的幅度为 1.4~9.0,相当于均方根误差下降了 17%~59%,这清楚表明,同化分析场要明显好于模式预报场。同时,在中低层(含 400 hPa 层次以下)同化分析场的均方根误差也同样小于卫星反演场的均方根误差,下降幅度 0.4~0.7,相当于均方根误差下降了 6%~9%。在高层(300 和 250 hPa),同化分析场的均方根误差与卫星反演场比较接近,这与卫星反演结果在高层较好有关。总体上讲,同化分析湿度场要好于模式预报湿度场和卫星反演湿度场,基本实现了模式预报场和卫星反演场正确信息的合理融合,这使得同化分析场与实际大气的相对湿度分布更为接近。

由于探空观测在时间上要持续一段时间,同时自下而上,在空间上也不会始终处于站点位置,文中

因此进行了区域采样,采样区域究竟取为多大才最合理,虽然我们进行了一定的试验,但还有待于进一步的探讨。同时,虽然同化分析场与模式预报场和卫星反演场相比,结果更接近实际大气,但在其应用于中尺度模式预报时,在模式的协调性上能否更优,还有待于下一步的试验和研究。

参考文献

- [1] Mintz Y. Very-long term global integration of the primitive equations of atmospheric motion. Tech World Meteorological Organization, 1964, 66:141-167
- [2] Smagorinsky J, Miyakoda K, Stricker R. The relative importance of variables in initial conditions for interpreting satellite sounding weather prediction. Tellus, 1970, 22:141-157
- [3] Mohanty U C, Kasahara A, Errico R. The impact of diabatic heating on the initialization of a global forecast model. J Meteor Soc Japan, 1986, 64: 805-817
- [4] 方宗义,许健民,赵凤生. 中国气象卫星和卫星气象研究的回顾和发展. 气象学报, 2004, 62(5): 550~560
Fang Zongyi, Xu Jianmin, Zhao Fengsheng. Progress and prospect of China meteorological satellite and satellite meteor. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2004, 62(5):550-560
- [5] Yu Fan(郁凡), Liu Changsheng(刘长盛). Improved man-computer interactive classification of clouds on bispectral satellite imagery. Acta Meteor Sinica, 1998, 12(3):361-375
- [6] 郁凡. 多光谱卫星图像降水强度场的分析. 气象学报, 2003, 61(3): 334~345
Yu Fan. Analysis of rainfall intensity field by using multi-spectral GMS imagery. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2003, 61(3):334-345
- [7] 朱民,郁凡,郑维忠等. 卫星反演湿度场及其在暴雨预报中的初步应用分析. 气象学报, 2000, 58(4):470~477
Zhu Min, Yu Fan, Zheng Weizhong, et al. The study of preliminary application of satellite-derived relative humidity in rainstorm forecast. Acta Meteor Sinica (in Chinese), 2000, 58(4):470-477
- [8] 郁凡,刘长盛,余志豪. 用多光谱卫星信息分析白昼云天条件下的湿度场. 气象学报, 2002, 60(6):748~756
Yu Fan, Liu Changsheng, Yu Zhihao. Humidity fields analysis in daytime cloudy sky with multi-spectral satellite information. Acta Meteor Sinica(in Chinese), 2002, 60(6):748-756
- [9] 郁凡. 多光谱卫星图像反演云空湿度场方法的改进. 国土资源遥感, 2003, (1):38~42
Yu Fan. The improved method for humidity field retrieval in cloud sky by means of multi-spectral satellite imagery. Remote Sensing For Land & Resources (in Chinese), 2003, (1): 38-42
- [10] Godelieve Deblonde, Louis Garand, Pierre Gauthier, et al.

- Assimilation of SSM/I and GOES humidity retrievals with a one-dimensional variational analysis scheme. *J Appl Meteor*, 1995, 34: 1536–1550
- [11] Lorenc A C. Analysis methods for numerical weather prediction. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1986, 112: 1177–1194
- [12] 曾忠一. 气象资料同化. 台北: 渤海堂文化公司, 1997
- Chung-yi Tseng. *Meteorological Data Assimilation*. 1997
- [13] Gilbert J C, LeMarechal C. Some numerical experiments with variable-storage quasi-Newton algorithms. *Math Program*, 1989, 45: 407–435
- [14] Lorenc A C. Optional nonlinear objective analysis. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1988, 114: 205–240

QUALITY CONTROL EXPERIMENT OF GMS-5 RETRIEVAL OF RH FIELD BY USING 1-DVAR TECHNIQUE

Wang Huarong Yu Fan Gui Hailing

(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093*)

Abstract

A quality control experiment was performed for relative humidity (RH) fields retrieved from multi-spectral GMS-5 imagery by using an one-dimensional variational (1-DVAR) analysis technique. First, the MM5 12-h forecast, satellite retrieval and assimilation analysis of RH fields were given respectively, from June 12 to June 29 in 1998, and then their error statistics (with respect to radiosondes) were analyzed in detail, including mean error, error covariance and RSME. Based on the result, the GMS-5 retrievals of RH field were assimilated from July 20 to July 30 1998, and an example of assimilation for 00:00Z 21 July 1998 was performed to compare the three types of moisture fields.

The result indicates, as a whole, that the MM5 12-h forecasts of RH are mainly wetter than the radiosondes observation in the lower troposphere (925–700 hPa) and drier in the upper/middle levels of the troposphere (above 500 hPa). At each level, the wet area and dry area are distinguished distinctly, but the dry area is mostly too dry and wet area too moist, so that the RMSE is more than 10 and the maximum 15.6. Though the retrievals of RH are generally rather close to the radiosondes, there is some wet in the dry area and some dry in the wet area. The satellite-retrieved fields are, on the whole, a little too wet, especially at the middle and low levels. The RMSE is between 6.3 and 8.9. The RMSE of the assimilation of humidity field that closes to the satellite retrievals is smaller than that of the GMS-5 retrievals of RH at the middle and low levels. The RMSE of the assimilation of moisture fields falls by 0.4 to 0.7, which is a reduction of 6% to 9% at the middle/low levels and is close to that of the GMS-5 retrievals at the upper levels. As for the 12-h forecasts of RH, the reduction of RMSE when assimilating GMS-5 RH is between 1.4 and 9.0, which is a reduction of 17% to 59%. It is shown that the analyzed fields approach further to the actual atmospheric moisture fields.

Key words: One-dimensional variational analysis technique, Quality control, Satellite retrieval of moisture field.