卫星反演湿度场及其在暴雨预报中的初步应用分析*

朱 民 郁 凡 郑维忠 余志豪 陆汉城 刘长盛

(南京大学大气科学系, 南京, 210093)

摘 要

文中分别用两套相对湿度初始场方案, 对 5 个暴雨个例进行了预报对比试验, 探讨了利用 GMS－5 卫星图象反演的高分辨率湿度场资料改进初始场, 以提高暴雨中尺度数值预报水平的可能性。结果表明: (1) 引入卫星反演湿度场能较好地反映出实际湿度场的水平中尺度结构, 尤其是有效地增强了对降水有重要影响的高湿区的分析, 且与实际探空资料更为接近; (2) 引入卫星反演湿度场资料改进初始场一般会使 24 h 的降水预报评分有所提高, 特别是具有使预报前期(0～6 h) 的降水场向观测场逼近的作用, 但对预报后期(6～24 h) 降水场的影响具有不确定性。

关键词: 卫星反演, 暴雨预报, 数值模拟。

1 引 言

近年来, 中尺度数值天气预报已取得了较大进展。但对暖季定量降水预报尤其是对暴雨强度的降水预报仍是个难点。其中的一个重要问题是, 数值预报模式初始的几小时积分难以作出适当的降水量预报, 这即为凝结降水的旋转加强(Spin－up) 问题。Mohanty 等[1] 认为旋转加强问题的产生是由于在头几小时的积分中没有足够的潜热加热, 其原因可以归结为没有适当的初始散度场、湿度场和热力场相配合。由于用于客观分析的常规观测资料密度不够, 使湿度场分析往往过于平滑, 从而导致了辐散场、非绝热加热和湿度场之间的初始场缺少一致性。克服此问题的一种方法是调节初始湿度值, 以使模式积分初始阶段的降水(或潜热释放) 与非绝热正交模初始化得到的加热率尽可能一致。而且实际湿度场较之温度场和风场具有更明显丰富的中尺度特征, 可是这些中尺度特征在客观分析中往往丧失掉了, 为恢复其原有的中尺度特征, 运用卫星资料实现更加细致的湿度场反演是一条有效的途径。

许多研究工作是利用 TOVS 资料来进行卫星湿度场的反演的, 取得了一定的效果。然而 TOVS 资料的反演还存在着不足: 1) TOVS 反演是基于晴空资料, 有云或降水时的湿度场无法反演, 但在中尺度降水分析中更需要的是后者; 2) TOVS 资料是由极轨卫星获得, 一天仅有 2～4 次; 3) TOVS 资料的水平和垂直空间分辨率较低。Smith[2] 指出, 用 TOVS 资料反演湿度场廓线的方法, 目前已难以提高其反演精度, 从而在多数情况下很难进一步改进预报。因此, 用高时空分辨率的地球同步静止卫星图象资料来反演湿度场, 以改善模式的预报, 日益受到人们的重视。这种资料一般可取每小时一次, 并且有 4 个波段的图象资料, 蕴涵着丰富的云和水汽信息。Turpeinen[3] 就直接应用静止卫星图象资料

* 初稿时间: 1998 年 10 月 12 日; 修改稿时间: 2000 年 3 月 24 日。
资助课题: 国家重点基础研究专项经费资助项目和国家自然科学基金资助项目(49875009)。

确定降水率, 对降水概率超过 40% 的模式格点, 从模式底层至卫星确定的云顶高度将相对湿度增加到95%, 以此加强高湿区的分析。Garand[4] 和 Koch[5] 等分别用最小二乘方误差或动态聚类方法实现云的分类, 再建立各类云中提取的云量等拟合特征量与相对湿度的关系。目前, 国内也对卫星图象资料的处理及其应用进行了有关的研究。李俊等[6]、王立志等[7]就采用自动分类方法在 2 波段或 4 波段静止卫星云图上实现了云的分类, 并将其用于降水监测, 但尚未论及湿度场的反演。本文将在这些研究的基础上, 采用 GMS-5 可见光、红外 1、红外 2 以及水汽 4 波段数字云图资料反演中尺度水汽场, 来替代大尺度光滑水汽场作初值进行预报对比试验, 以进一步探讨使用卫星资料对于提高暴雨数值预报水平的可能性。

2　卫星反演

用来反演相对湿度场的卫星资料是 GMS-5 气象卫星的红外 1(IR1)、红外 2(IR2)、可见光(VIS) 和水汽(WV)4 波段卫星图象。反演采用逐步回归方法, 共用了 6 个基本因子: 红外 1、可见光和水汽图象卫星测值, 红外 1 与红外 2 波段亮温差(IR1- IR2), 从卫星图象中提取的降水概率和降水强度。用红外亮温反演的云顶高度和可见光反照率反演的云体厚度, 可以较好地实现云的分类[8, 9], 据此揭示出分析区域的云场分布, 蕴涵着水汽趋于饱和区域的大气湿度场水平和垂直分布的丰富信息; 水汽波段辐射值和红外 1 与红外 2 波段亮温差, 其大小对对流层中、上层水汽含量很敏感[10- 12], 直接揭示了对流层中、上层水汽的分布情况; 对卫星图象进行的降水概率和降水强度的分析, 进一步勾画了大气中高湿区的分布范围。卫星图象上的这些丰富的水汽分布信息, 为湿度场反演奠定了基础。

从 4 波段卫星图象反演各标准等压面相对湿度场分以下 3 个步骤:

(1) 卫星图象的预处理。为从多波段卫星图象上可靠读取卫星测值, 避免单点卫星测值对测站及相邻区域缺乏代表性, 在进行反演前, 均先对各波段卫星图象进行了 3×3 或 5×5 中值滤波处理。

(2) 降水概率和降水强度分析。在前期工作中, 应用人机对话方式分析多波段卫星测值与地面小时降水率的关系, 建立降水概率判识矩阵和降水强度类属矩阵, 依此输出的降水概率分布图象和降水强度分布图象, 对准确揭示高湿度区的水平和垂直结构是重要的。

(3) 卫星测值与各层相对湿度的回归分析。采用逐步回归方法(逐步剔除方案), 对 4 波段卫星测值及降水概率、降水强度与地面、925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200 hPa 等标准等压面相对湿度进行了逐步回归分析, 在去除了部分不可靠的样本后, 共有 277 个样本参与分析。复相关系数 R 在地面最小, 约为 0.63, 随高度增加, 复相关系数 R 逐层增大, 700 hPa 以上大于 0.7, 250 hPa 以上大于 0.8。相应显著性检验的结果 F 值从地面的 59.7, 也逐层增大, 至 200 hPa 时达 360.9。虽然复相关系数在低层看上去不太大, 但由于最小的 F 值: F(地面) = 59.7, 也远大于 $F_{0.01}(6, 300) = 2.86$, 故在 $\alpha = 0.01$ 水平上, 各层的回归方程是相当显著的。逐步回归的估计标准误差在 850 hPa 以下的低层和在 250 hPa 以上的高层小于 0.1, 在 700～300 hPa 内, 虽大于 0.1, 但小于 0.15。经逐步回归, 剔除了不显著的因子, 各层回归自变量减少到 2～4 个。

在(1)～(3)分析的基础上建立的多元线性回归方程被直接应用于 4 波段卫星测值与各标准等压面相对湿度的反演。

由于回归方法会对湿度场的反演产生一定的平滑作用, 因此低湿区(无云区) 的相对湿度反演值会出现偏高的现象, 但考虑到降水主要是对处于对流层低层的高湿区比较敏感[13], 因而为了进一步验证采用本文的卫星反演方法进行大气相对湿度场尤其是高湿区的反演是可行的, 通过分别求取由以上方法得到的各标准等压面上的卫星反演湿度场、大尺度预报同化资料如 T63L16 的湿度场与实际探空资料的场相关系数(表略, 计算仅在实际相对湿度≥70% 的测站上进行) 可知, 卫星反演得到的湿度场基本上合理地反映出了实际探空资料的高湿区, 两者的相关系数可达 0.5 以上, 而大尺度水汽场与实际探空资料的相关系数则相对较低。

3 模式、暴雨个例及初始场方案设计

本文采用美国 PSU / NCAR 三维流体静力平衡中尺度模式的第四改进型(即 MM4) 作为预报模式[14]。模式中水平差分方案采用 “Arakawa B ”格式, 水平网格为 60×71, 水平格距为 60 km, 网格中心位于(32°N, 115°E) (见图 1 中的域 A) ; 垂直方向采用仿地形 σ 坐标系不等距地分为 15 层, 其中大气底部分得细一点; 时间积分方案采用 Brown-Campara(1978) 方案, 积分步长为 90s, 积分时间为 24 h; 模式地形和地表分类分别由 NCAR 全球 30′× 30′地形和地表分类网格资料插值生成; 侧边界条件采用松弛边界条件, 模式中主要考虑的物理过程有: 水平扩散, Blackadar 高分辨行星边界层参数化方案, 大尺度凝结降水与 Kuo-Anthes 积云对流参数化方案。同时为了实现的方便, 未考虑采用中尺度网格嵌套与四维同化技术。

选取 1996 年 6 月下旬至 7 月上旬江淮流域梅雨暴雨为试验对象, 该年梅雨天气过程可详见文献[15, 16], 所用资料有:

(1) 上述时段内国家气象中心中期预报谱模式 T63L16 的每日 00, 06, 12, 18GMT 4 个时次的全球预报同化资料, 物理量为 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 100 hPa 共 8 个标准等压面上的位势高度、温度、相对湿度, 经、纬向风以及海平面气压, 水平分辨率为 1.875°×1.875°。

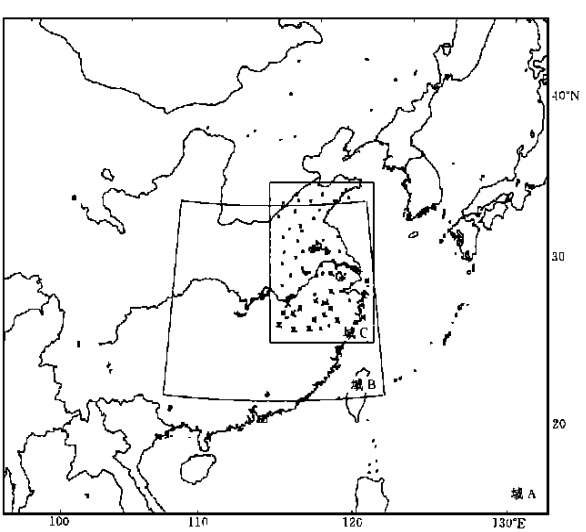


图 1 模式预报区域

(域 A 为预报区, 域 B 为卫星资料反演区, 域 C 为降水预报评分区, 域 C 中的 x 表示实际测站的位置)

(2) 上述时段内, 国家卫星气象中心逐日 00GMT 的 GMS-5 可见光、红外 1、红外 2、水汽 4 波段数字云图资料, 水平范围为(23.47～35.95 N, 106.96～122.91 E); 水平分辨率为 0.0633 经度×0.052 纬度;

(3) 上述时段内的常规探空资料及中国华东地区(图 1 域 C) 内共 66 个地面发报站的逐 6 h 及 24 h(00～24 h) 的降水资料。

具体选取的暴雨个例为:

(I) 1996 年 6 月 28～29 日皖北-鲁南-苏北大暴雨过程(24 h 最大降水量为 169 mm)。

(II) 1996 年 6 月 29～30 日皖南-浙北大暴雨过程(24 h 最大降水量为 141 mm)。

(III) 1996 年 6 月 30 日～7 月 1 日赣北-皖南-浙北大暴雨过程(24 h 的最大降水量为 177 mm)。

(IV) 1996 年 7 月 1～2 日鄂东-赣北-皖南-浙北特大暴雨过程(24 h 最大降水量为 204 mm)。

(V) 1996 年 7 月 3～4 日苏-皖北大暴雨过程(24 h 最大降水量为 137 mm)。

为了能够清楚地说明采用高分辨率卫星反演资料对于暴雨预报的影响问题, 设计了两套初始场方案: (1) 将 00GMT 国家气象中心 T63L16 谱模式的预报同化资料经 Cressman 型客观分析内插到中尺度预报模式的网格点上; (2) 在方案 1 的基础上, 在部分预报区域内(见图 1 域 B) 引入相应时刻的卫星反演湿度场资料, 即把 0.0633 经度×0.052 纬度的卫星反演湿度场资料以距离权重平均插值到中尺度网格点上, 代替原来的大尺度场的内插值。尽管在该方案中采用了两种不同来源的湿度场资料, 但试验表明并未发生任何的计算不稳定现象。

4　暴雨预报试验结果分析

分别采用上述两套相对湿度初始场方案对 5 个个例暴雨过程逐个进行了 24 h 的降水预报试验, 并对其结果进行了检验比较。检验区域为图 1 中的域 C, 即预报区域 A 中 X 方向格点 35～48, Y 方向格点 21～40 构成的长方形区域, 检验站点取域 C 内的 66 个国家地面发报站。检验方法分别采用 TS 评分(Threat Score)、暴雨模糊评分及降水场相关系数(方法详见文献[17])。

表 1　5 例暴雨过程对比试验的检验结果

个例		I		II		III		IV		V	
		方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2
24 h TS 评分	小雨	0.667	0.667	0.438	0.429	0.267	0.333	0.111	0.200	0.333	0.182
	中雨	0.250	0.182	0.111	0.222	0.400	0.357	0.118	0.176	0.125	0.000
	大雨	0.000	0.182	0.000	0.000	0.200	0.000	0.000	0.100	0.231	0.400
	暴雨	0.153	0.200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.400
	大暴雨	0.222	0.416	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.333
	特大暴雨	–	–	–	–	–	–	0.000	0.000	–	–
24 h 暴雨模糊评分		0.847	0.854	0.818	0.818	0.772	0.766	0.667	0.733	0.814	0.828
24 h 降水场相关系数		0.597	0.786	0.248	0.306	0.626	0.624	0.030	0.230	0.484	0.639

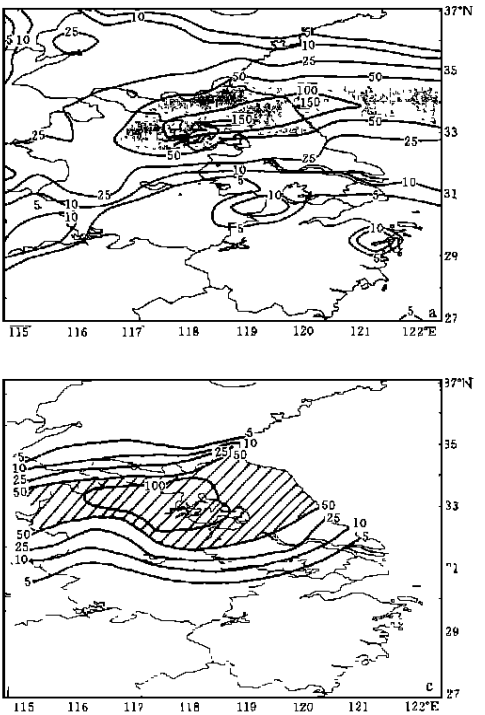


图 2 1996 年 7 月 3 日 00GMT－7 月 4 日 GMT 时图 1 域 C 中的 24 h 降水分布
(a. 初值方案 1 的预报结果；
b. 初值方案 2 的预报结果；
c. 实况)

由表 1 可以看到, 除了个例 III 使用两种相对湿度的初始场方案对 24 h 降水预报结果影响不大外, 其余 4 个个例的检验结果经比较不难看出使用初始场方案 2 预报的中雨或大雨以上的 TS 评分、暴雨模糊评分以及降水场相关系数一般要比使用初始场方案 1 即不引入卫星反演的湿度场资料的预报有所提高。其中, 个例 I, V 的试验比较成功。以个例 V 为例, 使用初始场方案 2 预报的锋面气旋雨带位置, 降水中心以及降水强度均与实况比较符合, 而使用初始场方案 1 的预报结果则存在明显的不足, 即预报的 50 mm 以上降水区整体偏东, 基本上位于苏北地区且出现 150 mm 以上的过强降水中心(见图 2)。但同时在对 5 例暴雨过程的预报当中, 有 3 例即 II, III, IV 例无论使用哪种相对湿度的初值方案, 预报的降水强度均比实际明显偏低, 或预报的降水中心与实际位置偏差较大。经初步分析其原因可能是, 个例 I 和 V 的大面积雨带主要是由梅雨锋 α 中尺度气旋东移发展造成的, 而个例 II～IV 的强降水则基本上为局地生成的 β 中尺度强对流系统所产生[根据降水量图和卫星云图的显示(图略), 在个例 II～IV 这 3 d 中, 暴雨中心均位于安徽黄山附近, 因而暴雨的局地性特征非常显著, 如 7 月 1 日 00GMT 在安徽黄山附近仅有一个水平尺度约在几十公里的孤立积雨云团]。而要在初始场分辨率不够高的情况下, 使用格距为 60 km 的静力平衡模式和相应的物理过程对后者进行合理的预报显然非常困难。

既然采用初值方案 2 即卫星反演的相对湿度场作初值替代初值方案 1 一般会产生较好的 24 h 的降水预报效果, 那么卫星资料究竟是如何影响降水预报的呢? 下面将进一步探讨卫星资料对逐 6 h 降水预报以及水汽场适应的影响问题。

表 2 是分别求取的采用两种相对湿度初值方案预报的逐 6 h 降水与实际逐 6 h 降水场之间的相关系数。由表 2 可见, 尽管引入卫星资料一般会对 24 h 降水预报结果产生好的影响, 但从比较求得的逐 6 h 预报降水场与实际降水场的相关系数来看, 对于 5 个暴雨个例, 比较一致的仅是使用初值方案 2 预报的前 6 h 降水与实际的场相关系数较使用初值方案 1 的预报有普遍提高[最多的情况(个例 I)提高了 0.35, 最低的(个例 III)提高了近 0.03], 但在预报的中、后期(6～24 h), 卫星资料对于降水预报好的影响作用似乎并不明显, 甚至使用初值方案 2 的预报反而不如初值方案 1 的结果。究其原因可能是, 一方面, 在卫星反演相对湿度的过程中考虑到了降水强度和降水概率因子, 因而可以比较合理地反映出各种云区特别是对降水有重要影响的积雨云区的水平湿度结构, 同时增强了对流层低层高湿区的湿度(图略)。从而可以使得对处于对流层低层湿度非常敏感的降水相应地得到增强。以暴雨个例 V 为例, 以 850 hPa 代表对流层低层的情况(图略), 反演湿度场确实增强了 T63L16 预报同化资料高湿区的相对湿度, 最多可增湿 20% 以上。由此得到在卫星反演的 90% 以上的高湿区内, 使用初值方案 2 预报的 0～6 h 降水量较方案 1 的预报明显偏多, 最多可达 70 mm · (6 h)$^{-1}$, 位于江苏江阴附近。尽管这与实际 6 h 的降水情况并不十分吻合* (实际降水中心位于南京附近, 雨量为 40 mm · (6 h)$^{-1}$), 但就与实际降水场的相关系数, 仍比使用初值方案 1 的好(由 0.414 提高至 0.491)。但另一方面, 由于直接引起暴雨的中尺度对流系统的初始发展要常常决定性地依赖于温度、湿度和风场的中尺度结构[18, 19], 而在数值预报的初始场中仅引入中尺度湿度场信息, 便会因资料信息单一, 缺乏与之相协调的其它物理量场如温度和风等而仍可能导致对中尺度对流系统预报的失败[20]。同时, Browning[21] 也很早就指出, 一般说来, 当预报周期超过 6 h 以后, 有没有好的中尺度初值的意义就减少了, 而数值预报模式的作用就重要起来。但模式自身的缺陷如物理过程参数化方案的不合理等也是直接导致目前对暖季降水预报水平低下的重要原因之一[22]。因此, 综上所述, 采用由实际云图资料反演得到的相对湿度场替代 T63L16 的大尺度光滑湿度场作初始场具有使预报的前 6 h 降水场向实际观测场逼近的作用。但对中、后期(6～24 h)降水预报的影响则具有不确定性。

表 2　采用两种相对湿度初值方案预报的逐 6 h 降水与实际逐 6 h 降水场之间的相关系数

个例	I		II		III		IV		V	
	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2
0–6 h	0.075	0.425	0.206	0.321	0.375	0.406	0.577	0.727	0.414	0.491
6–12 h	0.586	0.126	0.145	0.384	0.395	0.467	0.185	< 0.00	0.559	0.763
12–18 h	0.409	0.386	0.253	0.333	0.638	0.275	0.111	< 0.00	0.772	0.73
18–24 h	0.667	0.681	0.681	0.406	0.517	0.370	< 0.00	0.181	0.721	0.267

为了探讨预报的降水量随时间的分配是否接近实际(即 Spin-up 问题), 针对预报试验结果较好的个例 I 和 V, 分别计算使用两种初值方案预报的逐 6 h 降水占相应的 24 h 预报总降水, 以及实际的逐 6 h 降水占实际 24 h 总降水的百分比(计算区域仍为图 1 中的域 C, 计算在该区域内的测站上进行)。结果如表 3 所示。

* 进一步的分析表明这可能是由于在预报初期, 大尺度同化与卫星反演两种资料之间不协调而引起的。

表 3 对个例Ⅰ、Ⅴ分别计算使用两种初值方案预报的逐 6 h 降水占相应的 24 h 预报总降水以及实际的逐 6 h 降水占实际 24 h 总降水的百分比(%)。

		0～6 h	6～12 h	12～18 h	18～24 h
个例Ⅰ	方案 1	2.7	11.9	32.9	52.5
	方案 2	19.8	15.8	23.8	40.6
	实况	11.3	25.8	42.7	20.2
个例Ⅴ	方案 1	29.2	24.6	19.6	26.7
	方案 2	41.2	26.4	19.7	12.7
	实况	21.6	25.1	34.6	18.7

如前所述, 在这两个个例中, 图 1 域C 内的降水均是由锋面气旋的移入造成的。对于个例Ⅰ, 实际降水主要发生在 24 h 预报期内的 6～18 h, 其中 12～18 h 降水量达到高峰, 而使用初值方案 1 预报的主要降水有明显的滞后性, 比实际滞后了约 6 h 且在开始 12 h 内只降了 24 h 总降水量的 14.6%, 比实际的 37.1% 明显偏少。这在一定程度上反映出使用大尺度光滑水汽场作预报通常表现出来的水汽场适应的滞后性问题。但使用初值方案 2 的预报也未能改变降水滞后的现象, 不过在开始的 0～12 h 内却产生了约 35.6% 的降水, 与实际较为接近。对于个例Ⅴ, 实际主要降水也发生在 24 h 预报期内 6～18 h, 并于 12～18 h 降水量达到峰值。使用初值方案 1 的预报在前 0～12 h 产生了占 24 h 总降水量 53.8% 的降水, 只是在预报后期(12～24 h)较实际表现出降水滞后的现象。而使用初值方案 2 的预报使强降水发生时间较实际提前了 6～12 h, 其中在 0～12 h 内的降水量达 67.6%, 比实际的 46.7% 和使用初值方案 1 的预报均偏高。因此结合两个个例的试验结果来看, 使用卫星资料虽可以在一定程度上改善因使用大尺度观测资料而导致的预报前期降水偏少的现象。并有可能使强降水发生时间提前, 但其降水量随时间的分配与实际情况似乎仍欠吻合且没有明显的规律性。

5 结 论

以 PSU/NCAR 的中尺度数值模式 MM4 作为预报模式, 分别采用两套相对湿度初始场方案对 5 例大暴雨过程进行了预报对比试验, 探讨了卫星资料对于暴雨预报的影响问题, 得出如下值得参考的结论:

(1) 将卫星反演湿度场资料引入初始场, 较之仅使用大尺度资料能够更好地反映出湿度场的水平中尺度结构特征, 尤其是合理地增强了对降水有重要影响的高湿区的湿度;

(2) 使用卫星反演湿度场资料一般会对 24 h 降水预报产生好的影响, 这反映在中雨或大雨以上的 TS 评分、暴雨模糊评分以及与实际降水场的相关性更好, 具体反映在个例中, 则是降水带、降水中心及降水强度的预报更接近实际;

(3) 使用卫星反演湿度场资料作初始场具有使预报的前期降水场向实际观测场逼近的作用, 但对中后期的降水预报影响则具有不确定性。

参考文献

1 Mohanty U C, Kasahara A, Errico R. The impact of diabatic heating on the initialization of a global forecast model. J Meteo Soc Japan, 1986, 64, 805—817

2 Smith W L. Atmospheric soundings from satellite false expection or the key to improved weather prediction. Quart J Roy. Meteor Soc, 1991, 117, 267—297

3 Turpeinen O M. Diabatic initialization of the Canadian regional finite-element (RFE) model using satellite data. Part 2: Sensitivity to humidity enhancement, latent-heating profile and rain rates. Mon Wea Rev, 1990, 118, 1396—1407

4 Garand L. A pattern recognition technique for retrieving humidity profiles from METEOSAT or GOES imagery. J Appl Meteor, 1993, 32, 1592—1607

5 Koch S, Aksakal A, Mcqueen J T. The influence of mesoscale humidity and evapotranspiration fields on a model forecast of a cold-squall line. Mon Wea Rev, 1997, 125, 384—409

6 Li J, Zhou F X, Wang L Y. Automatic classification and compression of GMS cloud imagery in heavy rainfall monitoring application. Advances in Atmospheric Sciences, 1992, 9

7 王立志, 李俊, 周凤仙. GMS-5 四通道云图的自动分类及其在定量降水估算中的应用. 大气科学, 1998, 22, 371～378

8 Yu Fan, Liu Changsheng, Chen Weimin. Man-computer interactive method on cloud classification based on bispectral satellite imagery. Advances in Atmospheric Sciences, 1997, 14, 389—398

9 Yu Fan, Liu Changsheng. Improved man-computer interactive classification of clouds on bispectral satellite imagery. ACTA METEOROLOGICA SINICA, 1998, 12, 361—375

10 Roger B Weldon, Susan J Holmes. 水汽图象在天气分析和天气预报中的解译与应用. 美国国家海洋和大气管理局环境卫星资料和信息服务局技术报告第 57 期, 1989

11 Chesters D, Uccellini L W, Robinson W D. Low-level water vapor fields from the VISSR atmospheric sounder (VAS) "split window" channels. J Climate Appl Meteor, 1983, 22, 725—743

12 Eck T F, Holben B N. AVHRR split window temperature differences and total precipitable water over land surfaces. Int. J. Remote Sensing, 1984, 15, 567—582

13 Zhu Yanqiu, Navon I M. FSU-GSM forecast error sensitivity to initial conditions: Application to Indian summer monsoon. Asian Meteorology Online Newsletter, 1998, 2, 1—14

14 郑维忠, 苏炳凯, 潘益农. 中尺度数值模式 MM4 模拟系统介绍. 南京: 南京大学出版社, 1992

15 赵鲁强. 北方多雷阵雨天气, 淮河流域出现较大降雨-1996 年 6 月. 气象, 1996, 22(9): 58—61

16 杨克明. 暴雨频繁降水偏多, 登陆台风多影响大-1996 年 7 月. 气象, 1996, 22(10): 58—61

17 丁一汇主编。1991 年江淮流域持续性特大暴雨研究. 北京: 气象出版社, 1993

18 Zhang D L, Fritsch J M. A case study of the sensitivity of numerical simulation of mesoscale convective systems to varying initial conditions. Mon Wea Rev, 1986, 114, 2418—2431

19 Chang C B, Perkey D, J, Kreitzberg C W. Impact of missing wind observations on the simulation of a severe storm environment. Mon Wea Rev, 1986, 114, 1278—1287

20 朱民, 魏鸣, 葛文忠. HUBEX_IOP 暴雨降水的中尺度数值模拟试验. 淮河流域能量与水分循环试验论文集. 1999

21 Browning K A. Nowcasting, ACADEMIC PRESS, 1982

22 朱民. 江淮梅雨暴雨的若干问题与 '98.6 '梅雨锋大暴雨的研究: [学位论文]. 南京: 南京大学大气科学系, 1999

THE STUDY OF PRELIMINARY APPLICATION OF SATELLITE-DERIVED RELATIVE HUMIDITY IN RAINSTORM FORECAST

Zhu Min Yu Fan Zheng Weizhong
Yu Zhihao Lu Hancheng Liu Changsheng
(*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing*, 210093)

Abstract

The feasibility of improving rainstorm precipitation forecast by making an attempt to augment high resolution satellite-derived relative humidity to initial conditions is studied. In forecast contrast experiments, total five rainstorm cases were tested with two relative humidity initial condition sources respectively. (1) CNMC T63L16 model-generated global large-scale assimilated forecast data with resolution 1.875 latitude × 1.875 longitude; (2) GMS-5 four-spectrum-derived data with high resolution 0.052 latitude × 0.0633 longitude. The result indicates: (1) satellite-derived relative humidity could better depict real relative humidity horizontal mesoscale structures, significantly it could enhance the analysis of high humidity regions where precipitation is sensible to and it agrees better with radiosonde observations; (2) the introduction of satellite-derived relative humidity to initial conditions usually could improve 24h precipitation forecast scores, specifically, in earlier forecast stage(0-6h), it could nudge model-generated precipitation field to observational field, nevertheless, in later forecast stage(6-24h) its effect on precipitation is not clear.

Key words: Satellite-derived, Rainstorm forecast, Numerical simulation.