

中尺度和云模式嵌套试验

万 蓉¹ 李 劲² 王志斌¹

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074; 2. 中南财经政法大学图书馆)

提 要: 利用嵌套 Mesoscale Analysis and Process System (MAPS) 模式提供离作业时间最近的湖北省 77 个县站大气层结状况, 以弥补积云模式对于探空层结信息的需求; 根据天气类型分析, 获取湖北全省县站级一维积云模式初始扰动参数。20 次嵌套试验统计表明: 中尺度 MAPS 模式和积云模式的嵌套实现了多站点积云群的模拟, 县站级降水预报和实际雨量偏差小于 20% 的站点数占到总数的 58.2%; 以 2003 年 7 月 9 日湖北省降水为例, 利用嵌套模式对全省 77 个县站进行嵌套试验, 结果表明: 模式嵌套尤其有利于午后积云降水模拟, 通过自然模拟计算和多站点积云群催化对比分析, 能够较好地提供县站级增雨潜势量化预测。

关键词: MAPS 模式 积云模式 嵌套 增雨潜势

Trial and Analysis of Meso- and Micro-scale Cloud Nesting Simulated Model

Wan Rong¹ Li Jin² Wang Zhibin¹

(1. Wuhan Institute of Heavy Rain, CMA, Wuhan, 430074;

2. Zhongnan Finance and Economics University)

Abstract: In the nesting model, the initial field is from the forecast field by the Mesoscale Analysis and Process System (MAPS) Model, which indicated the status of stratified atmosphere over 77 counties in Hubei Province. In the one- dimension cumulus model, the disturbance parameters are determined by the analysis of synoptic pattern. The non-catalyzed/catalyzed precipitation can be simulated with the nesting model, and the catalyzing potential of

资助项目: 科技部公益性研究专项“南方积云人工催化模型的研究”(2001DIB20105)及湖北省科技攻关计划项目“湖北省暴雨洪涝增雨潜势预测系统的研究”资助

收稿日期: 2005 年 11 月 29 日; 修定稿日期: 2006 年 3 月 5 日

cumulus of the 77sites is obtained respectively.

Key Words: MAPS model cumulus model nesting catalyze potential

引 言

积云模式的研究已发展到进行云场、云群以至中尺度云群的模拟，云群模拟的能否实现，面临许多问题。其中包括如何获取详细的大气层结状况，如何确定云模式的初始扰动参量。一般情况下，运用小尺度积云模式计算主要依靠每天两次的探空资料提供计算初始场。比如在湖北省境内，只能利用现

有的 3 个探空站提供 08 时和 20 时两个时次的资料，要获取夏季指导飞机增雨作业的模拟增雨潜势，探空资料时间和空间的分布过于稀疏，尤其对于午后的降水模拟，在缺乏加密探空的情况下很难进行。图 1a 是仅利用积云模式和 08 时武汉探空资料资料进行的降水模拟，显然和当天下午的实际降水量比较，相去甚远。因此需要寻找一种资料，来弥补探空资料时间和空间分布不足的缺陷。

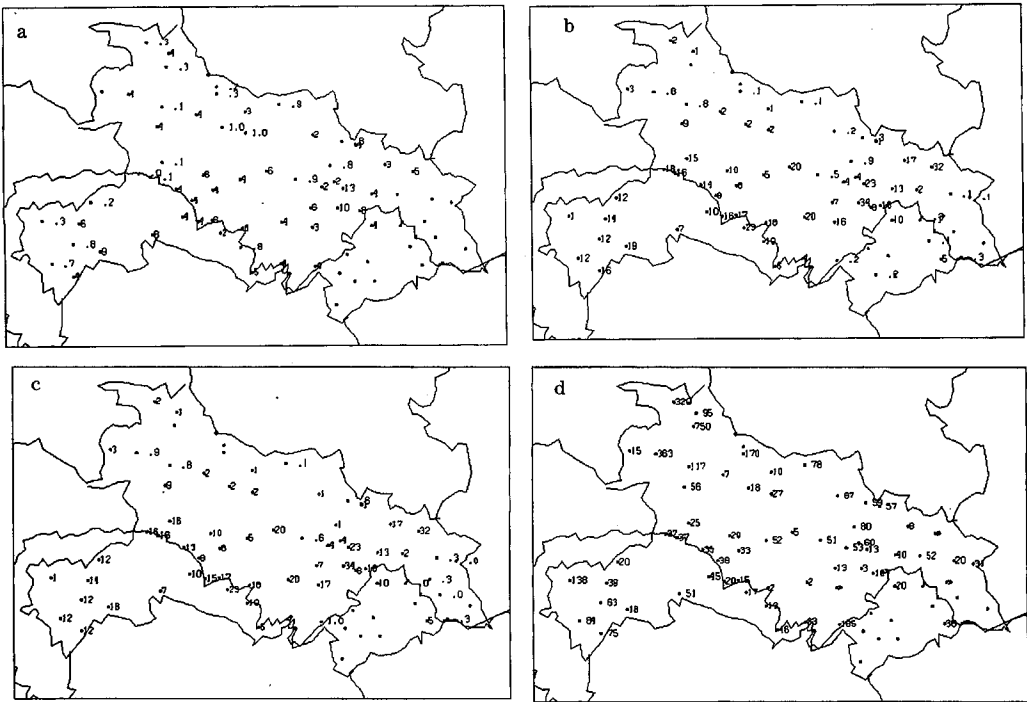


图 1 2003 年 7 月 9 日 17 时雨量图

a, 积云模式模拟降水; b, 实际降水量; c. 嵌套模式模拟的自然降水; d, 催化增雨率

试验利用 MAPS 模式和积云模式嵌套，通过天气类型来确定模式初始场参数，通过自然模拟和催化试验获取湖北全省县站的增雨潜势。具体做法是：首先利用武汉区域气

象中心业务数值预报模式 MAPS 提供 6 小时降水预报以及气象要素预报场，为积云模式输出背景性条件，即将 MAPS 模式的预报场格点插值到县站站点，得到离作业最近

时刻的全省 77 个县站的大气层结状况；其次，积云模式选择一维积云时变模式^[1]，在人工增雨中，该模式往往因其简便性和适用性，被用来推测小尺度云系降水的潜能；模式参数选取则借鉴福建省的做法，即结合夏秋旱季可能出现的天气类型进行分类，来获取积云模式初始扰动参数^[2]。

1 MAPS 模式

MAPS 模式是武汉区域中心的暴雨预报业务模式。模式中除包括求解动量守恒、质量守恒、水汽守恒方程、静力诊断式、大尺度凝结降水和改进的 Kuo 1974 积云对流参数化方案^[3]。MAPS 模式水平分辨率为 0.5 个经纬度，垂直从 980hPa 到 250hPa 左右分 20 层，时间步长 20 秒。MAPS 模式计算流程由资料预处理、Cressman 插值客观分析、模式积分和后处理几部分组成。输出 6 小时、12 小时和 24 小时降水预报和常规气象要素。

中尺度 MAPS 模式进行积分得出 0~6 小时、6~12 小时降水量预报场，由各点插到全省各县站，得到全省 77 个县站的距作业最接近时刻的大气层结，并将此作为积云模式的初始场。考虑到积云对流发展大多出现在午后，这里采用中尺度模式的预报场，可以弥补探空时间密度上的以及空间密度上的不足。

2 嵌套模式多点自然降水模拟

积云模式的初始参数是启动降水的因素，它直接影响到云的宏、微观过程变化，若降水启动过程受到歪曲，往往会引发动力过程的变化，经连续方程、热力方程、水汽

方程的进一步演算，从而导致整个降水微物理过程变化的误差。因此，首先应确定合理的初始扰动参数。

确定单站初始扰动温度、云体初始半径、夹卷系数这三个参量，需要相互结合考虑，交错复杂。宏观上而言，不同的天气类型其相应层结的能量分布是引发降水的动力过程，并导致下垫面的受热、水汽输送的差异，这些因素将会不同程度地引起云的微结构演变、云体发展以及降水。初始场设置存在不少假设，这些假设与外界影响因素有密切的联系。从微观上看，模拟云高度与初始扰动温度、云体初始半径大小和积云的动力学夹卷系数有较密切的关系^[4]；其中云体初始半径的大小又与降水的时间长短及降水量有关，而夹卷系数又与云发展的高度和降水强度也有一定关系。因此，对于多点的初始扰动参数，主要依靠客观条件进行选择，然后通过固定其它参数而仅改变其中一种参数的方法进行参数调整。

借鉴福建方法^[2]，按上述季节天气类型进行分类，并采用了以确定敏感参数为主，综合考虑其他影响参数为辅的方法分类调试，得出不同天气类型对应的积云模式初始扰动参数（如表 1）。

总体而言，初始云体半径的变化参考范围为 1800~5000m，初始扰动温度的变化范围为 0.1~5.4℃，夹卷系数在 0.2~1.9。根据气候特征和飞机增雨路线，将湖北省划分为 6 个区域。根据天气类型，初步设定区域站点积云模式的初始扰动参量，经调试建立站点初始场动态列表。需要说明的是，在嵌套模式模拟自然降水过程中，不同个例对应不同天气类型，由此选定的积云模式的初始扰动参量也不尽相同。表 2 为 2003 年 7 月 9 日过程模拟所定参数。

表 1 不同天气类型所对应的一维积云模式初始扰动参数

天气类型	扰动温度/°C	初始云体半径/m	夹卷系数
副高控制型	1.5	5000	0.5
旱区位于副热带高压南侧，在偏东气流控制下的副高南侧型	3.0	4000	0.8
旱区位于副热带高压北侧的副高北侧型	0.2	3500	0.3
旱区位于副热带高压西北侧的西南气流控制下的副高西北侧型	2.5	4000	0.3
旱区位于副热带高压西南侧，受东南气流影响的副高西南侧型	5.0	4500	0.1
旱区位于大陆高压控制下的大陆高压型	1.8	4000	0.5
旱区位于低涡槽前或低涡东南侧的低涡型	2.5	4500	0.6
旱区位于副热带辐合带区内的副热带辐合带影响型	2.0	3500	0.2
西风槽南伸时旱区位于西风槽前的动力抬升区的西风槽前型	1.5	4500	0.3
旱区位于西风槽后影响的西风槽后型	1.5	5000	0.8
旱区位于环流形势发生调整过渡时期的弱环流型	0.5~1.5	4000~5000	0.3~0.5

表 2 2003 年 7 月 9 日站点初始扰动参量动态列表

增雨划分区号	站号	扰动温度 /°C	云半径 /m	夹卷系数
1	57249	0.3	3000	1
1	57381	2	2800	1.3
...
2	57368	4.2	3800	0.3
2	57545	2.4	3255	1.4
...
3	57388	1.6	3000	1
3	57378	3.2	4000	1.2
...
4	57573	2.5	3000	0.1
4	57581	1.8	4000	1.5
...
5	57395	2.5	3000	1.5
5	57492	0.8	3000	1
...
6	57595	0.3	3000	0.5
6	57496	0.4	2500	1
...

结合动态列表提供的初始扰动参数，同时利用 MAPS 模式的 14 时预报场，将格点上的气压、温度、露点插值到站点，并对输出场作垂直 20 层平均插值处理。基于上述条件，进行一维积云模式模拟和调试，直到降水结束，得到自然模拟降水雨量分布（如图 1c），与 3 小时实际雨量站资料（如图 1b）基本一致。

收集 2000—2004 年湖北省的夏、秋旱

期午后对流云降水日 ($R > 0.1\text{mm}$) 的 20 份 08 时探空资料，分别利用一维积云模式模拟计算和嵌套模式计算全省站点自然降水，并与地面实际降水量比较。

与地面实际降水量比较表明，对于午后的局地降水，嵌套模式模拟显然比一维积云模式模拟计算更为合理和准确。20 次个例试验中，MAPS 与积云模式嵌套模式模拟和实际降水偏差 $\Delta\delta$ 因站而异（见图 2），统计表明，降水预报和实际偏差小于 20% 的站点数占总数的 58.2%，偏差大于 50% 的站点数占总数的 13%。

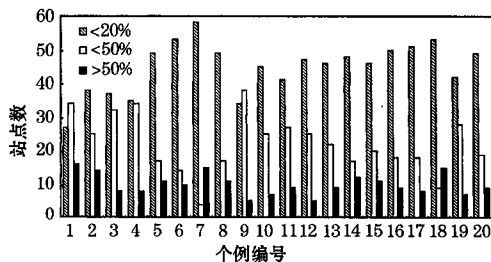


图 2 20 次个例试验中县站模拟结果和实际降水偏差统计分布图

模拟的结果与模式参数选择有很大关系，根据天气类型确定模式初始扰动参数，主要适应于干旱季节积云单体降水。确定地面扰动参数，尚需考虑因子较多，如地形、下垫面性质、云体相互作用等的影响。如何

通过统计方法来考虑更多的影响因子，需要做更深入的探讨。

3 增雨潜势和微物理量分析

通过对比自然降水模拟和催化模拟，得到全省各站的催化增雨率。2003 年 7 月 9 日，湖北省江汉平原以及鄂西南出现降雨过程。嵌套模拟试验表明，催化后有 85.8% 站点出现增雨，其中 8% 站点先前无降水而

出现降水，增雨潜势平均在 21% 左右。6.2% 站点出现负效果 (图 1d)。

以秭归站为例，进行催化前后微物理量变化分析，设置在模拟开始后 27 分钟开始进行催化，催化区间 5~6km，催化用量为水粒子含量 $0.1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、冰晶浓度 $105\text{个} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。自然降水、催化降水量分别 16mm、22mm，增雨率为 37.5%。催化前后的冰晶浓度 N_i 、云水含量 Q_c 、雨水含量 Q_r 等微物理量，其时空剖面如图 3 所示。

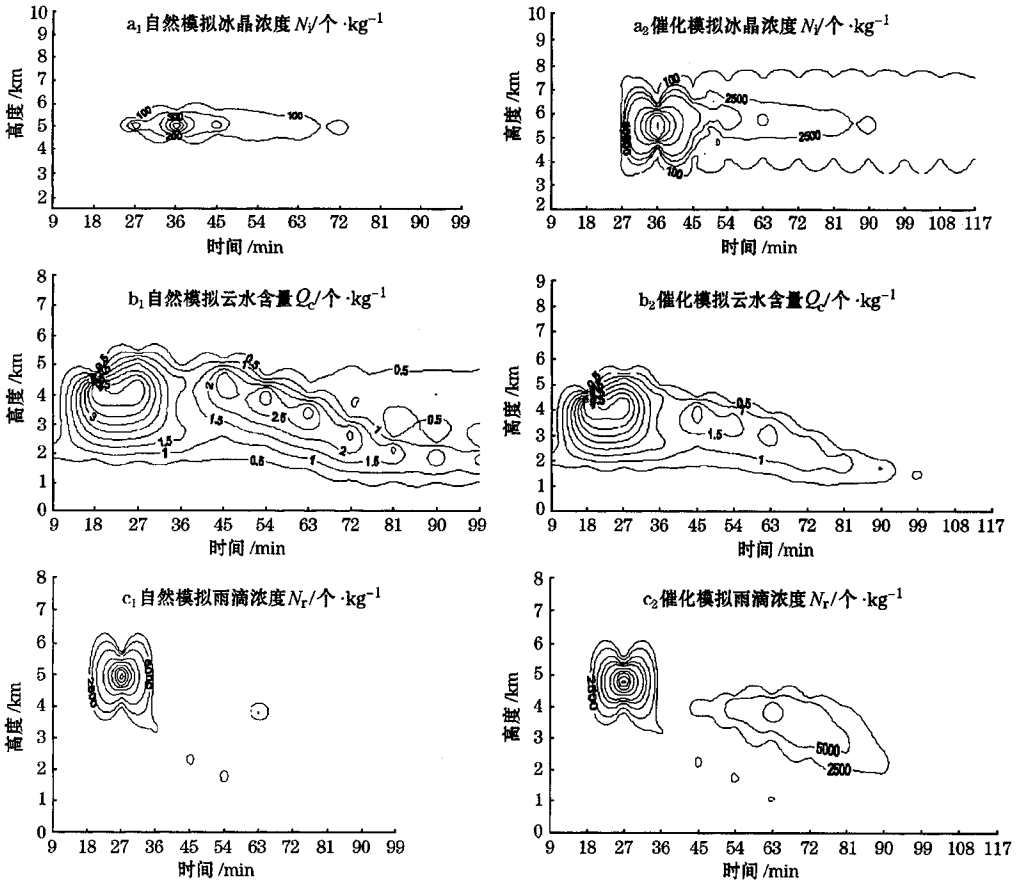


图 3 2003 年 7 月 9 日个例自然模拟和催化模拟微物理量变化
a. 冰晶浓度 N_i ; b. 云水含量 Q_c ; c. 雨滴浓度 N_r

此次模拟降水，在 5km 以上是过冷水区域，存在丰富的过冷云水，如果在这一区

域引入冰晶催化，将会使云中冷水区冰晶浓度增高。在模拟开始后 27 分钟增加冰晶浓

度,与未催化情况(图 3a₁)比较,冰晶浓度 N_i 明显增加(图 3a₂)。在 35~40min 时段内,经过催化后云水含量 Q_c 、雨水含量 Q_r 等也出现明显变化。与自然模拟情况相比,36min 以后云水含量减少(图 3b₂),同时雨滴浓度增加(如图 3c₂)。整个过程中,冰晶繁生过程的加强,使得冰晶浓度增加,促进云中水汽的向液态和固态的转换,适量冰晶对水汽的“争食”,有利于云体增雨潜势的发挥^[5]。

由于各站自然降水情况不同,降水云性质(暖云降水,还是冷云降水),过冷水区域高度等都存在差异,催化时机、部位和用量的不当,会导致增量负效应。对于多站点的催化降水,采用同样的催化窗口和计量来进行模拟,不能同时达到增雨潜势分析的目的,甚至出现负效果。因此,有必要根据大气层结状况,参考自然降水模拟结果,建立各站动态的催化窗口列表。

4 结果和讨论

结合天气类型初步确定了积云模式的初始扰动参数;MAPS 模式的应用为小尺度积云模式的模拟提供了站点层结分布信息,弥补探空资料的不足。上述两个条件,对于积云群的降水模拟,尤其是午后降水模拟提

供了重要保证。

20 次试验统计表明,嵌套使用 MAPS 模式一维积云时变模式,降水预报和实际偏差小于 20% 的站点数达到总数的 58.2%,偏差大于 50% 的站点数仅占总数的 13%。

嵌套模式催化模拟和自然降水模拟进行对比分析,得出多个站点上空积云增雨潜势预报,为湖北全省范围人工影响作业提供参考依据。

对于多站点的催化降水,由于各站自然降水情况不同,降水云性质(暖云降水,还是冷云降水),过冷水区域高度等都存在差异,催化时机、部位和用量的设置需要考虑因素颇多,将有待进一步研究。

参考文献

- 1 胡志晋,何观芳. 积雨云微物理过程的数值模拟(一) 微物理模式 [J]. 气象学报, 1987, 45 (4): 467-488.
- 2 郑淑贞,曾光平,张长安等. 积云模式在人工增雨中的应用 [J]. 气象, 1999, 25 (2): 22-27.
- 3 Kuo. B. L. J [J]. Atmospheric Science, 1974, 31: 1232-1240.
- 4 Mdtijcn Cune and Dejan P. Predictive capabilities of a one dimensional convective cloud model with forced lifting and a new entrainment formulation [J]. J. of appli. Meteor, 1993, 32 (11): 1733-1740.
- 5 万蓉,李盾. 南方层积混合云催化作业与数值模拟 [J]. 气象, 1999, 23 (9): 21-26.