

使用不同的天气尺度初值作强对流暴雨 预报的差别及其原因*

房春花¹⁾ **

崔春光²⁾

李武阶²⁾

胡伯威²⁾

1) (南京气象学院大气科学系, 南京 210044)

2) (武汉暴雨研究所, 武汉 430074)

摘 要 分别用暴雨开始前和暴雨刚开始两个探空时次的天气尺度初值场作 1982 年 6 月 19~20 日鄂东特大暴雨过程的中尺度模拟预报。前者相当成功, 后者完全失败。探究其原因说明中尺度数值预报可以用天气尺度初始场的一个重要条件是模式初始时刻在关注的区域及其附近不存在即将造成或已经造成强降水的强中尺度扰动。如若不然, 则可能由于模式起转 (Spinup) 的延误, 实际存在的中尺度扰动对天气尺度变化的强大反馈作用不能体现, 会使天气尺度的预报从一开始就显著歧离实际, 其带来的结果不是中尺度时、空细节的预报误差, 而是全区域性的预报失败。这个试验还进一步证实伴随暴雨的强非绝热反馈作用是暖切变型梅雨锋发展和准静止持续乃至周边区域形势维持的最重要的直接因子。

关键词: 暴雨; 数值模拟; 中尺度初值

1 引言

目前中尺度数值预报模式在许多方面日臻成熟。现在的计算机能力已使过去难以想象的各种各样精细的中、小尺度天气学数值模拟研究得以实现, 中尺度业务数值预报也在许多国家先后开展起来。现在面临的最大难题还是 20 世纪 70 年代提出的与高分辨模式相匹配的高密度初始场观测资料问题。这个问题何时能得到较完好的解决还难以预料。当时就有人评估中尺度数值预报对中尺度初值场的依赖程度究竟有多大; 用日常的天气尺度资料作中尺度数值预报有多大程度的可行性。对这个问题有过乐观和悲观的意见, 最悲观的意见甚至认为, 由于细致的初始信息会随着时间被模式“遗忘”, 所以即使有了中尺度初始资料, 中尺度现象的可预报性也是值得怀疑的。有人^[1]认为由于中尺度系统的发生发展不外乎两类: 一是地面不均匀 (包括物理状况的不均匀和地形起伏) 给予大气的中尺度外强迫带来中尺度系统的发生、发展; 另一种是天气尺度系统内部结构在一定情况下出现的中尺度扰动现象 (包括变形气流引起的锋生和各类中尺度不稳定发展), 因此用具有中尺度分辨率的模式在正确报出天气尺度变化的同时也就能够按时报出下边界条件强迫的和大气内部产生的中尺度系统。

2001-02-21 收到, 2001-05-14 收到修改稿

* 中国气象局“九五”青年气象科学基金第二批课题“梅雨锋上 α 中尺度暴雨云团发展的数值模拟和分析研究”和国家重点基础研究发展规划项目 G1998040910 共同资助

** 南京气象学院在读博士

现在人们通常认为中尺度初始场是中尺度数值预报的一个关键问题。近年来大量的工作致力于在没有稠密的探空站网的条件下，利用其他各种高分辨的探测信息，通过直接或间接地推导、反演或四维同化得到中尺度密度的模式变量初值场。其中除了传统的温度、湿度、风（尤其是散度风成分）^[2~5] 以外还有些工作中考虑了现代模式中包含的云水^[6]、可降水^[7]、云蔽情况和地面有效湿度^[8]等，要使它们在中尺度初值中就已存在。这些工作几乎都联系着一个中尺度强对流系统的起转（Spinup）问题。众多的文献已表明，关键时刻中尺度初值的形成和使用能明显地改进甚短期（例如 3 h、6 h^[7] 以至 12 h^[4]）的降水预报。

多年来我们用内域格距 50 ~ 100 km 的区域模式作长江中游降水预报表明，一般来说近时段（0 ~ 24 h）的报得比较好，远时段（12 ~ 36 h）的报得比较差；以强降水即将开始或已经开始时的初值场作的预报远比以强降水系统尚未形成和“到位”时的初值场作的预报好。但是本文在单纯以 NCAR/TOGA 的 2.5° × 2.5° 格距再分析资料直接给出初值场，用内域水平格距 20 km 的 MM5V2 模式作一次湖北省东部特大暴雨的模拟试验时却得到一个恰恰相反的结果。我们分析研究了各种有关的模式输出场，寻找原因。通过本文分析还说明在关键时刻的中尺度初值场不仅决定着甚短期内中尺度扰动变化的模拟，而且还强烈影响到天气尺度系统动向的预报。

2 1982 年 6 月 19 ~ 20 日鄂东特大暴雨过程概述

1982 年 6 月 19 ~ 20 日湖北省东部连降特大暴雨。汉口、汉阳、汉川总雨量超过 400 mm，其中降水最强的 24 h 是 19 日 14 时 ~ 20 日 14 时（本文一律用北京时），暴雨中心雨量近 300 mm。图 1 是 19 日 08 时 ~ 20 日 08 时长江流域雨量图，大致反映了上述时段的降水分布形势，只是因时间有 6 h 错动以及下游资料较稀，在具体强度分布上与

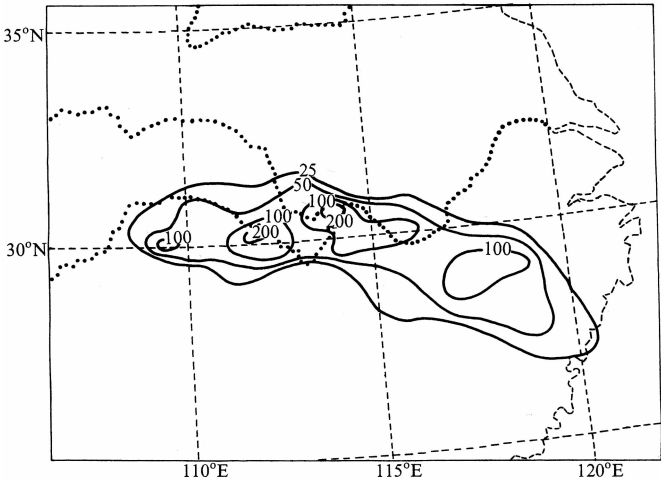


图 1 1982 年 6 月 19 日 08 时 ~ 20 日 08 时长江流域雨量图
(单位: mm)

19 日 14 时 ~ 20 日 14 时的实际情况有点出入。暴雨发生在典型的暖切变型梅雨锋^[9]上。西太平洋副高脊稳定在 18 ~ 19°N；6 月 19 日早晨在四川盆地已发展成活跃的西南涡；同时北方有一个小高压由河套移到山东半岛停滞加强。于是在西南涡东面、上述小高压与副高脊之间，沿长江中、下游发展成一条西南风与东南风间的低层切变线（图略），强降水首先出现在切变线东端江西省中北部，19 日白天从鄂东南山地到鄂东沿江谷地先后出现零散游移的局地雷雨，间或较强。

此外从西南涡前方释放出一个伴有强对流降雨云团的 α 中尺度正涡度扰动，经鄂西南山地东移，于傍晚移到江汉平原东部与原地降水区融合增强成带。这期间有强云雨团的生消替换。从 20 日凌晨 01 时以后雨带中出现一个特强的暴雨中心，停滞在武汉附近约 12 h。随着降水带的发生、发展，梅雨锋切变线停滞在原地并越来越强。

3 中尺度模式和试验方案简述

采用 NCAR 的 MM5 V2 非静力中尺度数值预报模式。以 (115°E, 31°N) 为中心 (武汉附近)；外域水平格距 60 km, 73 × 76 个格点，内域水平格距 20 km, 76 × 79 个格点；垂直方向有 23 个 σ 层；外域和内域地形分辨率分别为 10' 和 5'；地表物理参数分辨率为 10'。

模式物理过程配置为 Dudhia 显式降水、Grell 积云参数化方案、Blackadar 高分辨率边界层方案、显式云 - 气 - 地辐射方案。

两个模拟试验分别以 6 月 19 日 08 时和 20 时的 NCAR/TOGA 再分析 2.5° × 2.5° 格距资料简单插值直接给出本模式内外域格点分析场。因此实际上是天气尺度初值场。

4 模拟预报的两个不同结果及其原因分析

图 2 是以 6 月 19 日 08 时初始场预报 (以后简称“模拟 A”) 第 6 ~ 30 小时 (即实际降水最强的 24 h) 的降水量。与图 1 相比较可以看到湖北省东部的降水报得比较成功，暴雨中心强度虽然还未达到实况那么强，但已有 100 mm 以上。整个长江中下游降水区的分布也大体与实况相近。

预报的前期降水发展过程也与实际相近 (图略)，最早从鄂东南山区开始，上午逐渐移到江汉平原东部和鄂东长江谷区。另外由鄂西经江汉平原移来的一片雨区下午到达鄂东并与原地降水合并加强。只是 19 日 20 时以后预报雨带开始缓慢北移。20 日早晨移到大别山，于是过早地减弱和结束，跳过山区，在河南出现比实际偏早和偏强的新雨带。因此预报的上述 24 小时鄂东强降雨带比实况略偏东北 (偏离约 40 km)。

预报的 19 日 20 时环流特点 (图 3a, 如沿江梅雨切变线的维持、加强以及华东 NW—SE 向高压脊的维持) 与根据当时天气尺

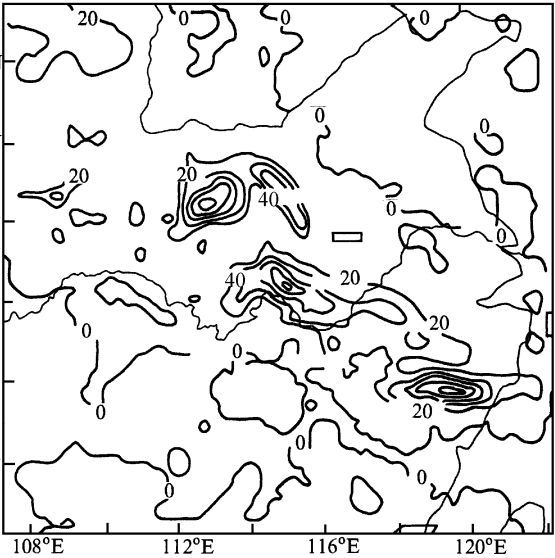


图 2 模拟 A 第 6 ~ 30 小时预报累积降水量图
(单位: mm, 等值线间隔 20)

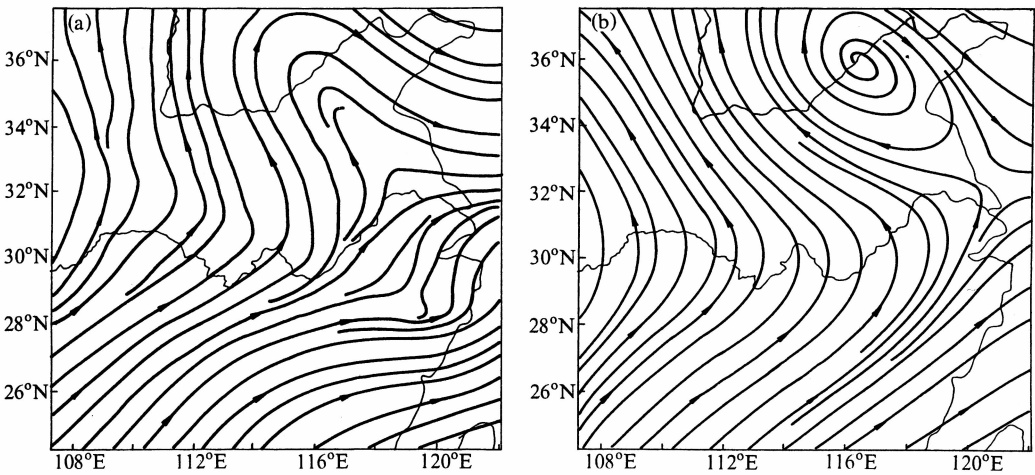


图3 1982年6月19日20时2000 m高度流线图,(a)模拟A的结果;(b)天气尺度实时资料客观分析

度资料客观分析(图3b)的基本相符。预报的切变线比分析的略偏北。

值得注意的是切变线附近流线显示出中尺度的锐折。在低层涡度场和中层垂直运动场上更明显地表现出一条很强的中尺度涡度带(图略)和上升运动带(图4),这是分析场中看不到的。实际上这种结构在模式积分更早的时候就已出现。模拟A表明从不含有中尺度信息的天气尺度初始场出发,中尺度模式数值积分中,在天气尺度环流的预报基本正确的同时,及时地产生出强的中尺度扰动结构,并且相当成功地报出了密切联系着中尺度系统的这次特强降水的演变过程。

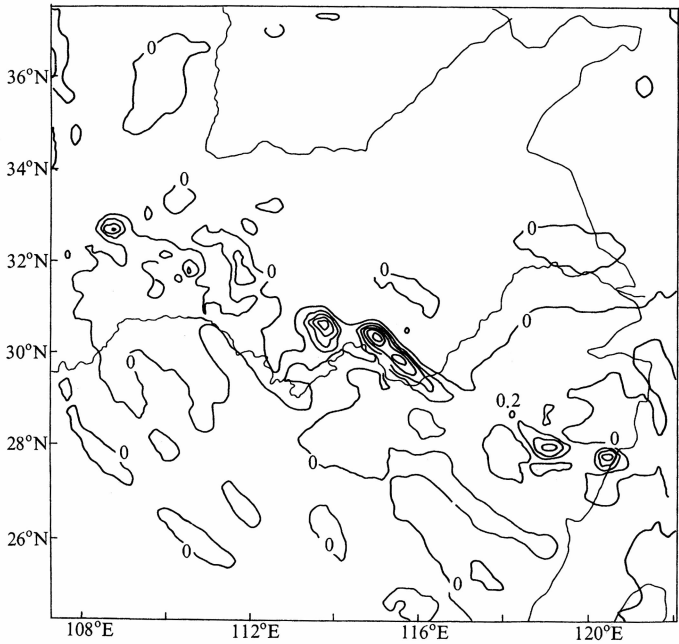


图4 模拟A预报6月19日20时5000 m高度垂直运动图
(单位: m s^{-1} , 等值线间隔0.2)

图5是由19日20时天气尺度初始场预报(以后简称“模拟B”)的第0~18 h累积雨量图。对照此时段湖北省东部的实际降水(图6)可以看到,模拟B预报完全失败。桐柏山一大别山以南的湖北省境内预报完全无雨,相反地在大别山以北河南—安徽境内报出一条较弱的雨带。由模式输出的以下各有关现象,我们来探究为什么在降水时段内为起始时刻作的预报完全失败,反而不如提前12 h作的预报好。

图 7 表明，模拟 B 预报的 6 h 之后（20 日 02 时）低层切变线已经快速北移了 200 km 到达河南、安徽，流线气旋性曲率大为减弱，同时华东的斜脊也顿然减弱。天气尺度形势短时间内发生了显著的变化。但这是不符合实际情况的。相反地，虽然模拟 A 预报的 19 日 20 时切变线已经比实际情况略为偏北，但报到 20 日 02 时，切变线仍在大别山以南（图略），6 小时只北移约 20 km，气旋性曲率仍很锐。华东斜脊基本维持在原地，强度未减，还保持着反气旋切断中心，基本符合实际情况（因为实际上直

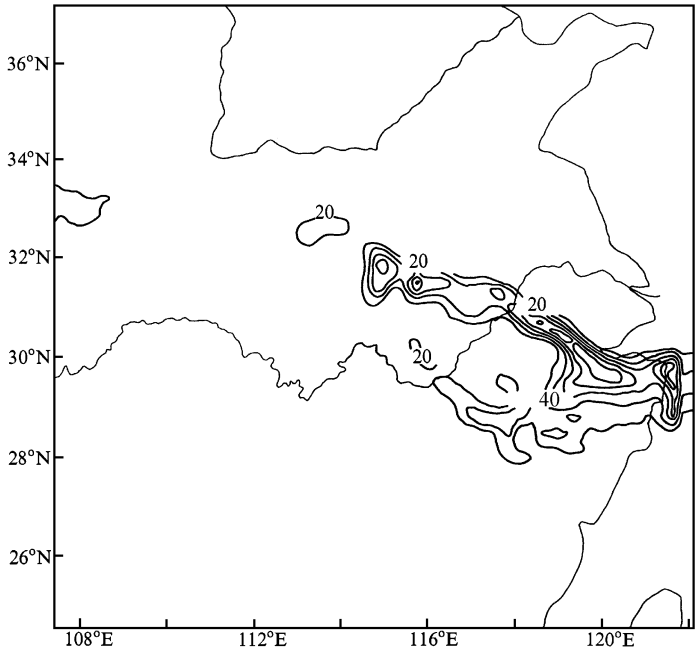


图 5 模拟 B 预报 1982 年 6 月 19 日 20 时~20 日 14 时雨量图
(单位: mm, 等值线间隔 20)

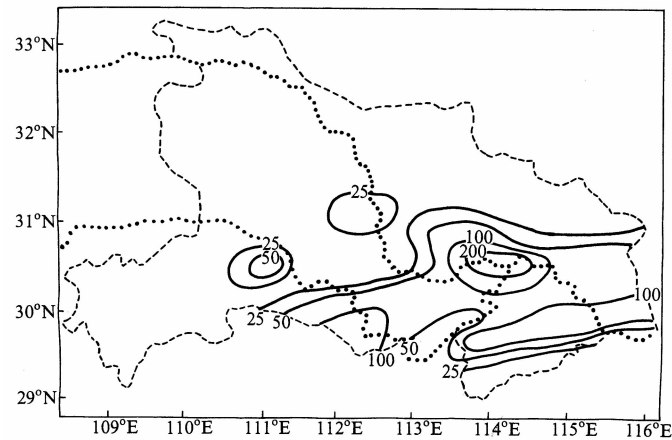


图 6 1982 年 6 月 19 日 20 时~20 日 14 时湖北省
实测雨量图 (说明同图 1)

到 20 日 08 时实况图上形势依旧)。

19 日 20 时鄂东已处于成带的大暴雨过程中。但根据此时天气尺度分析场（即模拟 B 的初值场）计算的中层垂直运动场，在切变线附近只有分布范围广但强度极弱的上升运动（图略）。这与当时实际发生的每小时 10~50 mm 的特强降水完全不相称。而模拟 A 预报出了此时与强降水相应（只是略偏北）的中尺度强上升运动

带（见图 4）。图 8 给出图 4 中位于武汉东北方一个强上升运动中心内点 19 日 20 时天气尺度初值场分析和模拟 A 预报的两条水汽混合比垂直廓线。可以看到，12 h 模式预报中尺度强上升带中的湿度在 850~400 hPa 之间大幅度高于天气尺度的背景湿度。在上述各种中尺度条件下，模式报出 19 日 20~22 时最大强度超过 45 mm (2h)^{-1} 的强降水带，这意味着强大的带状区域平均加热。而模拟 B 中，起始的这两小时此处全无降水而且此后也再未出现降水（图略）。

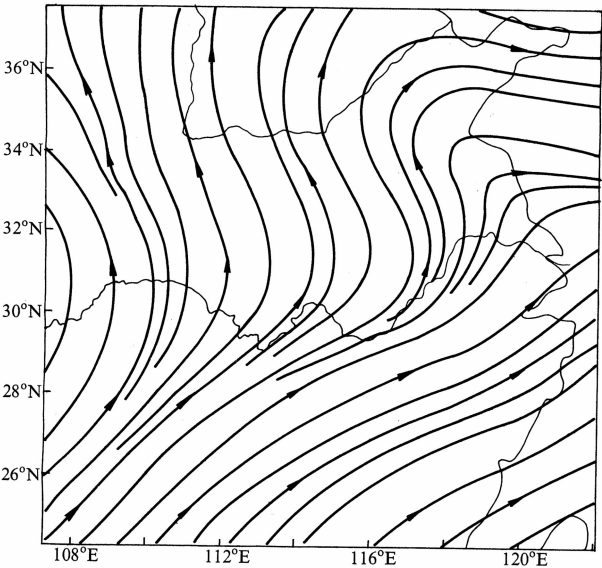


图7 模拟 B 预报 6 月 20 日 02 时 2000 m 高度流线图

根据上述各种现象的对比我们可以这样理解：模拟 B 中，由于初值中遗漏关键区域的中尺度扰动信息，特别是中尺度运动和湿度场，模式在数小时内还产生不出实际存在的强降水过程。因此绝大部分范围的模式大气是在“干”运行。可能是由于 19 日 20 时长江中、下游和淮河流域低层天气尺度偏南气流有明显加强（图略），以及环境形势的其他变化等原因，在没有强的非绝热过程参与时，由强的平流强迫和“干”调整，切变线就会快速北抬，华东斜脊就会减弱东移。即天气尺度系统的变化偏离实际，

甚至导致长江中、下游梅雨锋形势瓦解。模拟 A 中，由于积分到 19 日 20 时时已经存在中尺度运动场和中尺度湿度场（模式中包含相应的中尺度云水和雨水场等），因此当即就有强的凝结和降水。这种即时释放的强大潜热对天气尺度变化的反馈作用足够抵消其他平流动力因子的作用，使低层切变线（强的正涡度带）维持其强度，甚至在 6 小时内略有加强，其位置在原地停滞。于是切变线北侧强劲的东南气流和与此相联系的华东斜脊也持续稳定。胡伯威等^[9,10]曾指出伴随强对流降水的非绝热过程是暖切变型梅雨锋生成和准静止维持的主要直接因子。这一对比试验也有力地证明了这一点。正由于强降水和强的

非绝热过程是直接发生在强的中尺度扰动中的，因此，如果模拟的初始时刻正好处于所关注的区域内中尺度强对流系统活跃期，而主要基于常规探空站网分析的大尺度初始场中反映不出强中尺度扰动的存在，那么，即使当时的天气尺度环境场（或者它与中尺度地形等的配合）具有产生强中尺度系统的条件，但在中尺度模式中从无到有完

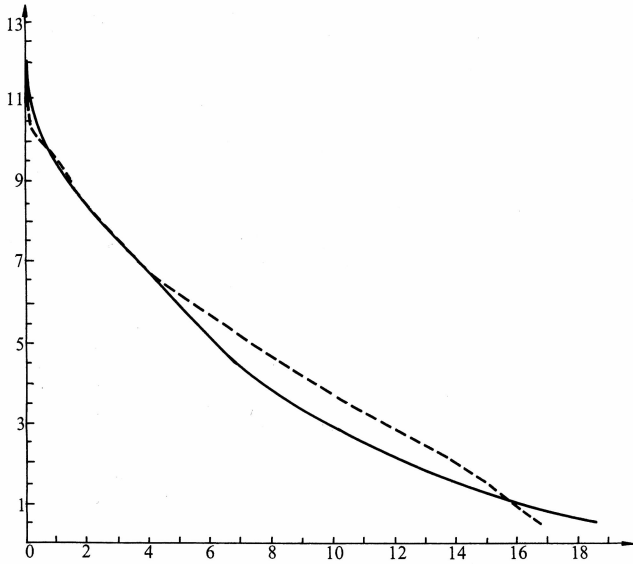


图8 1982 年 6 月 19 日 20 时武汉附近强上升运动中心(114.79°E, 30.91°N)的水汽混合比垂直廓线。虚线为模拟 A 的预报，实线为天气尺度实测资料的分析结果，横坐标为混合比，单位： $10^{-3} \text{ kg kg}^{-1}$ ；纵坐标为垂直高度，单位：km

成这一过程需要较长时间，非绝热迟迟不能进入角色，它对天气尺度系统的强大反馈作用不能及时实现。此时这个区域附近的天气尺度系统已经发生显著歧离实际的变化。由此带来的预报误差不是中尺度细节上的时间偏差（延缓）和落区偏差，而是完全失败。

5 结论

本文用物理过程比较完备的 MM5 中尺度模式对 1982 年 6 月 19 ~ 20 日发生在湖北省东部的特大暴雨过程进行了模拟试验。分别用暴雨开始前 10 多个小时和暴雨刚开始两个探空时刻的天气尺度分析场为初值，结果事件开端时刻作的预报反而远远不如早期预报。分析原因得到以下认识：

（1）进一步证实伴随暴雨的强非绝热反馈作用是暖切变型江淮梅雨锋生成和准静止持续乃至周边区域形势能稳定维持的最重要的直接因子^[9,10]。

（2）试验表明如果模式初始时刻在关注的区域及其附近实际上不存在即将造成或已经造成强降水的强中尺度扰动，中尺度模式预报中只用天气尺度初始场，则在能正确报好天气尺度系统变化过程的同时也可能接近实际地产生出中尺度扰动，并较好地作出与中尺度系统相联系的强降水预报。但是如果模式初始时刻在关注的区域及其附近存在即将造成或已经造成强降水的强中尺度扰动，模式从纯粹天气尺度的初值场出发，由于起转（Spinup）的延误，实际存在的中尺度扰动对天气尺度变化的强大反馈作用不能在模式中实现，可能使天气尺度变化过程的预报一开始就明显歧离实际。由此带来的结果不是中尺度时、空细节的预报误差，而是区域性预报的基本失败。因此在这种情况下，中尺度初值场对中尺度数值预报的成功极为重要。

参 考 文 献

- 1 Anthes, R. A., Predictability of mesoscale meteorological phenomena, In: *Predictability of Fluid Motions* (La Jolla Institute 1983), G. Holloway and B. J. West (Eds), American Institute of Physics, New York, 1984, 247 ~ 270.
- 2 Krishnamuriti, T. N., J. Xue, H. S. Bedi, K. Ingles, and D. Oosterhof., Physical initialization for numerical weather prediction over the tropics, *Tellus*, 1991, **43AB**, 53 ~ 81.
- 3 Akira Kasohara et al., Inversion methods of three cumulus parameterizations for adiabatic initializations of a tropical cyclone model, *Mon. Wea. Rev.*, 1996, **124**, 2304 ~ 2321.
- 4 Zou X. and Y - H. Kuo, Rainfall assimilation through an optimal control of initial and boundary conditions in a limited - area mesoscale model, *Mon. Wea. Rev.*, 1996, **124**, 2859 ~ 2882.
- 5 Karyampudi, V - M., and S - L. George, Impact of initial conditions, rainfall assimilation, and cumulus parameterization on simulations of hurricane Florence (1988), *Mon. Wea. Rev.*, 1998, **126**, 3077 ~ 3101.
- 6 Huang, X. Y., Initialization of cloud water content in a data assimilation system, *Mon. Wea. Rev.*, 1996, **124**, 478 ~ 486.
- 7 Kuo, Y. H., X. Zou and Y. R. Guo, A variational assimilation of precipitation water using a non-hydrostatic mesoscale adjoint model. Part I. Moisture retrieval and sensibility experiments, *Mon. Wea. Rev.*, 1996, **124**, 122 ~ 147.
- 8 Koch, S. E. et al., The influence of mesoscale humidity and evapotranspiration fields on a model forecast of a cold -

frontal squall line, *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**, 384 ~ 409.

9 胡伯威、彭广, 暖切变型江淮梅雨锋结构及其形成和维持机制, 大气科学, 1996, **20**, 463 ~ 472.

10 胡伯威、彭广, 长江流域梅雨锋产生和发展的个例研究, 气象学报, 1994, **53**, 613 ~ 621.

The Difference and Reason of the Numerical Predictions of Severe Convective Heavy Rain Using Synoptic Scale Initial Data in the Different Practical Initial Situations

Fang Chunhua¹⁾, Cui Chunguang²⁾, Li Wujie²⁾, and Hu Bowei²⁾

1) (*Department of Atmospheric Sciences, Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)
2) (*Wuhan Heavy Rain Research Institute, Wuhan 430074*)

Abstract An extremely heavy rain event in east Hubei Province during June 19 – 20, 1982 is simulated by using respectively the synoptic scale initial data of two sounding times in mesoscale model. The forecast is quite well with the initial data time early before the heavy rain and fail with that after the beginning of the heavy rain. The reason of this surprising result is probed. And then it is recognized that if we hope to succeed in using synoptic scale initial data in mesoscale numerical prediction, as Anthes had optimistically argued in 1984, an important prerequisite should be satisfied. This is that there is no strong mesoscale disturbance which will soon or already initiate up intense precipitation in the concerned region and its surrounding at the model initial time. Otherwise, the significant feedback effects of the practically existing mesoscale disturbance to the synoptic scale evolutions cannot be realized due to the delay of model spinup. Probably the synoptic scale prediction will thus go astray far away from the fact. The consequence will be not only the error of mesoscale details temporarily and spatially, but also the failure of the wholly regional forecast. The experiment also confirms that the feedback of strong cumulus heating is the most important direct factor in developing and stationarily maintaining the worm shear-line type Mei-yu front and even maintaining the environmental circulation situation.

Key words: heavy rain; numerical simulate; mesoscale initial data