

# 98.7 湖北特大暴雨的天气分析与降水模拟<sup>①</sup>

齐艳军 程明虎 仪清菊

(中国气象科学研究院,北京 100081)

## 提 要

1998年7月20~23日,湖北省南部发生了一次持续性特大暴雨过程,采用双向嵌套的非静力中尺度数值模式(MM5)对这次强暴雨过程进行初步模拟试验。结果表明,粗、细网格均能较好地模拟出雨带的走向和变动以及武汉地区的暴雨中心,尤其是嵌套域(细网格)模拟的降水强度比粗网格有明显改进,和实际观测结果更接近;另外,对引发这次特大暴雨的对流层低层的中尺度系统也能够很好地模拟出来。

**关键词:** 特大暴雨 天气分析 非静力 MM5 数值模拟

## 引 言

1998年夏季(6~8月),长江全流域性的大洪水世人瞩目,给国家和人民群众的生命、财产构成严重威胁并造成巨大的经济损失。由于暴雨特别是持续性特大暴雨往往是在几种尺度系统相互作用的情况下发生发展起来的,是一种非常复杂的天气现象。中国气象工作者长期以来对暴雨的研究和预报十分重视,作了大量工作,使中国的暴雨研究和预报水平不断提高。

近年来,国内外不断发展的各种中尺度数值模式对不同的中尺度现象已能进行较好的模拟和解释<sup>[1~3]</sup>,其中MM5对中国地区的强烈天气事件具有好的模拟能力,它可以较好的模拟出一些中 $\alpha$ 、 $\beta$ 尺度天气系统,并能在一定程度上揭示其发生、发展的物理机制<sup>[3]</sup>。为此,本文采用双向嵌套的非静力中尺度MM5模式<sup>[4]</sup>对1998年夏季长江中下游地区7月下旬的一次强烈的持续性暴雨过程进行模拟试验。

## 1 雨情概况

1998年7月下旬长江中下游地区的暴雨天气过程,致使湖北、湖南、江西北部、安

徽南部、浙江和苏南、长江中上游的四川省及重庆等地分别出现了大暴雨,这一阶段的降水特点是:突发性强、雨势猛、强度大、暴雨集中。逐日的雨量分布表明,大暴雨主要出现在20~23日,集中出现在湖北南部、湖南西北部。这是当年主汛期长江中游沿江地区最强的一次大暴雨过程,过程雨量一般有150~400mm,也是历史上同期所罕见的大暴雨。

从湖北省77个站的日雨量图分析可知,20~21日08~08时(北京时,下同)的雨量图(图1a)上,雨带分布呈近东西走向,其上有3个大于50mm的强降水区,它们是武汉地区、长阳和来凤县。21~22日08~08时的雨量图(图1b)上亦有3个大于100mm的强降水区,它们是武汉及其东南地区、石首、来凤到贵州思南一带。由此可见,武汉地区的暴雨不仅十分强烈,而且非常稳定。

## 2 暴雨过程的大尺度背景场

暴雨的产生总是与一定的大尺度环流背景有密切关系。在7月下旬的特大暴雨过程中,东亚地区大尺度环流形势稳定,呈两槽一脊型分布。以1998年7月22日00UTC的

<sup>①</sup> 由国家重点基础研究项目——我国重大气候和天气灾害的形成机理和预测理论研究资助

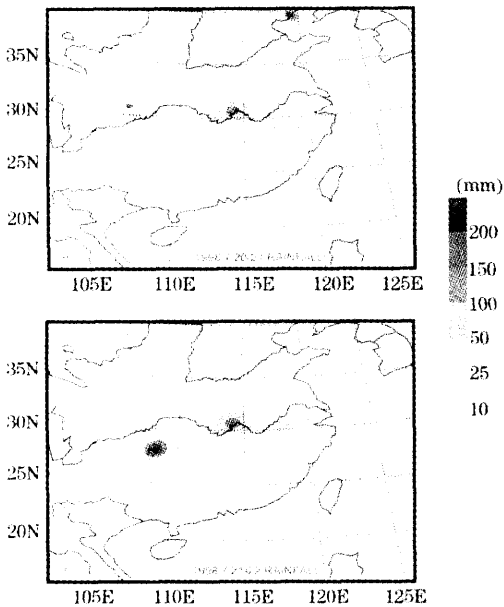


图1 1998年7月20~21日(a)和21~22日(b) 08~08时的雨量图(单位:mm)

500hPa 高度场分布(图略)为例,可以看出,乌拉尔山附近为阻塞高压,从巴尔喀什湖到我国新疆北部和我国北方沿海地区为长波槽,特别是在长江流域 108°E 附近亦呈现出明显的槽区,与其相对应的 700hPa(图 2)和 850hPa(图略)上表现为一闭合的环流圈和切变线,这在往年主汛期并不多见<sup>[5]</sup>,这种形势有利于长江流域持续降水的发生。另外,值得注意的是,1998 年夏季副高异常活动,若按常年规律,7 月上旬以后副高脊线应维持或北抬,而在 1998 年出现了反常的变化,进入 7 月中旬后,副高脊线南落,且南落幅度较大,由 7 月上旬的 29°N 南落至中下旬的 22~23°N,588 线北界也相应的偏南,一直在江南南部到华南沿海一带徘徊。这就有利于从巴尔喀什湖附近主槽中分裂的短波槽携带着弱冷空气经青藏高原不断南下与副高北侧的暖湿气流在长江中下游一带交绥,造成该地区大暴雨和特大暴雨发生的有利环流形势。

### 3 中尺度低涡的诊断分析

由前面形势场分析可知,长江流域的低

涡(图 2)是造成这次特大暴雨过程的重要系统,为此计算了有关的物理量。22 日 00 UTC 700hPa 的涡度场(图 3)表明,长江流域有一东北—西南向的带状正涡度区,正涡度中心与图 2 上的低涡相吻合,量级为  $6 \times 10^{-5} s^{-1}$ ;散度和垂直速度场的低层辐合,高层辐散以及强的上升运动都十分明显。

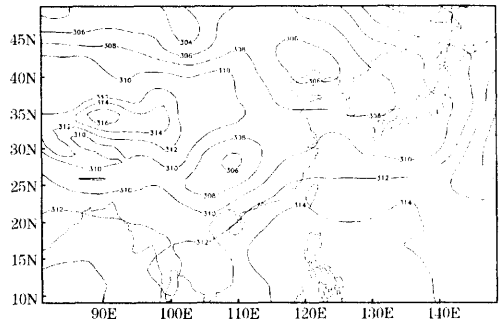


图2 1998年7月22日00UTC 700hPa 高度场分布

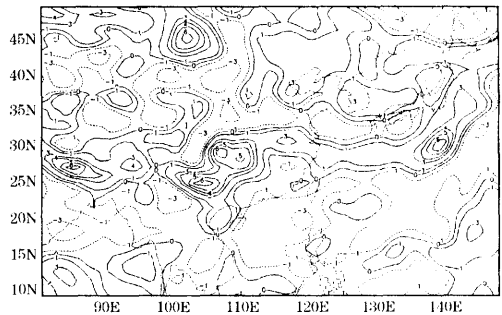


图3 1998年7月22日00UTC 700hPa 涡度场分布

过武汉的经、纬向的涡度剖面图(图略)上,武汉上空为一正涡度区,强中心区位于 900~800hPa。散度剖面图表明,低层辐合高层辐散,无辐散层在 400hPa,比较两天的散度剖面图可知,21 日高层辐散和低层辐合较 22 日明显强烈(图略)。

在 7 月 21 日和 22 日沿 114°E 的垂直速度剖面图(图略)上,武汉地区上空为明显上升运动区,21 日的最大上升运动区在 450~350hPa;22 日的最大上升运动区较 21 日有明显的下移,最大上升运动区在 600~400hPa 之间。

### 4 模拟试验设计

MM5 是美国 PSU/NCAR 在 MM4 基础

上研制发展的一个非静力中尺度模式<sup>[4]</sup>, MM5除了具有非流体静力平衡外,在描述降水和辐射等物理过程方面作得更加合理周密。非静力 MM5 模式模拟系统流程框图参考文献[6]。本文中 MM5 模式设计的主要技术要点如下:

①采用双向作用的嵌套网格域,模拟区域的中心位置定于武汉(31°N、114°E),母域和子域是同一中心。粗、细网格的水平分辨率分别为 60km 和 20km,网格点数均为 61 × 61,模式的地形和下垫面资料使用了 30' × 30' 地形资料和 13 类地表特征资料。垂直方向为  $\sigma$  坐标,共有 26 层。初始场资料的来源是全球模式 1.125° × 1.125° 的 T106 分析场资料,该资料包括 16 层标准大气压上的位势高度、温度、湿度、东西和南北向风、地面温度和海平面气压等要素场。常规资料使用了实时探空资料和地面观测资料,时间间隔为 12 小时,从 1998 年 7 月 20 日 08 时至 22 日 08 时,共 5 个时次。

②物理过程采用显式水汽(混合冰相)方案,该方案考虑了冰相过程,允许过冷水的存在。在该方案中包括了水汽、云水、雨水、云冰和雪的预报方程<sup>[7]</sup>。对次网格尺度降水方案采用 Grell 对流参数化方案。侧边界条件采用时变流入流出方案。行星边界层过程用高分辨率 BLACKADAR 参数化方案。地面温度考虑了辐射和热交换过程,从地面能量方程中计算得到。大气辐射采用简单辐射冷却方案。模拟的时间步长为 120s,模式的积分起始时间是 7 月 20 日 00 UTC。

## 5 模拟结果的分析

### 5.1 中尺度低压系统的模拟

图 4 是模拟的 7 月 22 日 00 UTC 的高度场和温度场分布。天气实况分析已表明,长江流域发生发展的中尺度低压系统是引发这次长江流域大暴雨的重要角色。从 24 小时的模拟结果(7 月 21 日 00 UTC,图略)可见,700hPa 上长江流域有一 3060gpm 的中尺度低压,12 小时后(图略),低涡有明显的

发展,不仅范围扩大,中心强度也明显加深,出现了 3040gpm 的值,但低涡东移缓慢;又 12 小时后(图 4),可清楚地看到,700hPa 上的这一低涡环流更加清楚,与实况相似(图 2)。

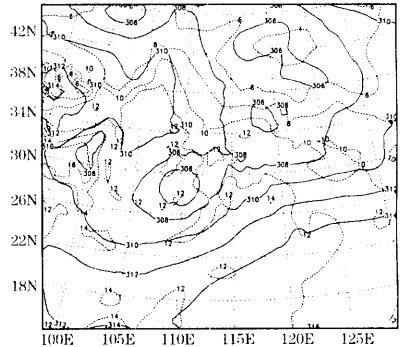


图 4 1998 年 7 月 22 日 00UTC 700hPa 模拟的高度场分布

图 5 是 700hPa 模拟的流场结果,由图可见,沿长江流域有一条东西走向的风场切变线,沿此切变线上有一中尺度的涡旋。在切变线南侧有一支很强的低空急流,在 850hPa 流场和风场图(图略)上,21 日急流核附近的最大风速达  $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,实际值在  $12\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ <sup>[8]</sup>,是一致的,22 日急流核附近的风速加强到  $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这非常有利于充沛的水汽源源不断的输送到暴雨区。来自孟加拉湾的水汽经过中南半岛汇同南海的水汽向偏北方向

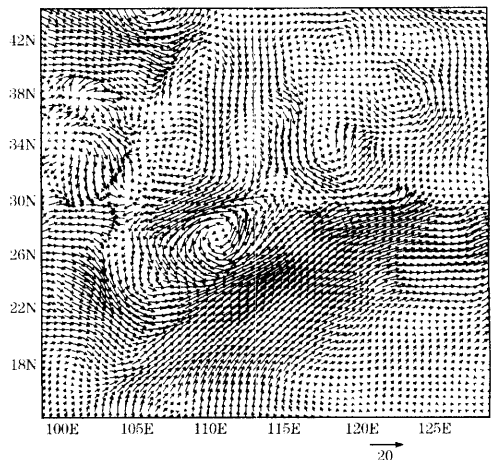


图 5 1998 年 7 月 22 日 00UTC 700hPa 流场分布图

输送,在 110°E 附近地区形成强盛的西南暖湿气流,水汽十分充沛。模拟的湖北地区水汽通量场表明,自 20 日 12 至 22 日 00UTC 水汽通量在对流层以下的各层有加强趋势,并且水汽输送通道深厚。如表 1 所示,700hPa 仍有  $24\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的极大值出现。从 850hPa 水汽通量散度分布图(图略)上看,暴雨区及其周围呈现一条东北—西南走向的水汽辐合带。

表 1 武汉及其周围的特大暴雨区最大水汽通量演变的模拟结果(单位: $\text{g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ )

时间	900hPa	850hPa	700hPa
20 日 12UTC	30	33	22
21 日 00UTC	33	33	20
21 日 12UTC	35	40	20
22 日 00UTC	33	35	24

## 5.2 降水模拟结果分析

为了能较好地模拟这次暴雨过程的降水情况,本文模拟采用双向作用的嵌套域,并将两种模拟结果与实况降水做一比较。

### (1) 24 小时降水预报和实况比较

图 6 是模式预报的 24 小时累积降水量分布,可以看出,粗网格模拟(图 6a)的 21 日的雨带形状、走向与实况(图 1a)相近,但降水中心的强度偏离较大。图 6b 是细网格模拟的降水情况,暴雨中心强度较粗网格明显提高,和实况图对比可看出:①模拟的武汉及其周围地区降水量大于 100mm 的范围与实况较一致,最大 24 小时降水预报值为 117mm,和武汉的观测值(161mm)相差 44mm(表 2),且这一最大降水中心比武汉的实际暴雨中心位置向东偏了 1 个经度;②在湖北长阳地区又有一个相对较弱的降雨中心(66mm),而模拟的雨强达 150mm,偏强太多,且偏东;③模拟的第三个强降雨中心分布在鄂西南和湖南西北部地区,最大降雨中心强度 148mm 比实际观测值 166mm(来凤站)少了 18mm。可以看出,细网格模拟的暴雨中心的强度较粗网格有明显的改进,与实况更接近。

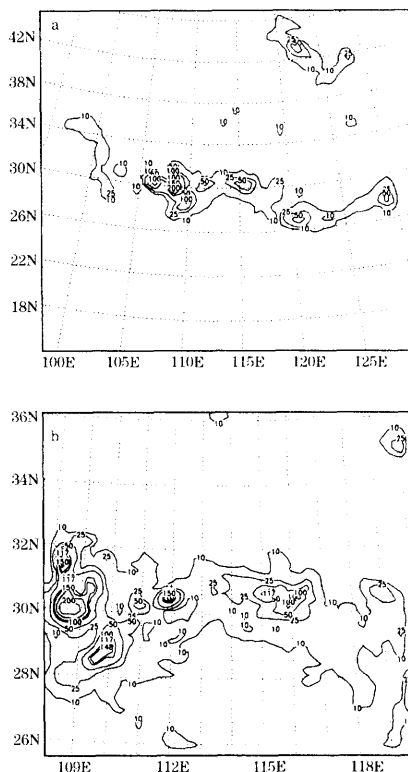


图 6 模拟的 24 小时降雨分布图  
(a. 粗网格 b. 细网格)

表 2 模拟的暴雨中心与实况的比较(单位:mm)

降雨时间	强降雨中心位置	模拟结果(细网格域)	实测降水
21 日	武汉	117	161
	长阳	150	66
	来凤	148	166
22 日	武汉地区	174	185
	黄石	239	276
	思南	275	245

### (2) 48 小时降水预报和实况比较

粗、细网格 48 小时模拟的降水分布图(图略)上,降水仍十分强烈,其中西部的强降雨区已南压并东移到贵州北部和湖南西北部,而东部则向江淮地区推进,整个雨带走向较 21 日发生明显变化,呈东北—西南向,粗、细网格模拟出的这一雨带的变化与实况一致(图 1b)。

48 小时模拟的降水强度,粗网格模拟结

果亦不如细网格。细网格模拟的暴雨中心的强度分析见表2。

## 6 结果与讨论

从以上分析,可得出以下结论:

(1) 乌拉尔山和鄂霍次克海地区附近稳定的阻塞高压与7月下旬副热带高压脊线急剧南落是这次持续大暴雨发生的大尺度环流条件,而对流层低层的中尺度切变线和低涡及低空西南急流是影响此次暴雨的主要系统。

(2) 物理量的诊断分析表明,强暴雨区低层辐合,高层辐散以及上升运动十分强烈,且较稳定,是造成强降水的重要动力条件。

(3) 形势场的模拟结果揭示出,对流层低层(700hPa上)有一条切变线,且沿此切变线有一低涡发展,它是引发长江中下游强降水的重要系统,与实况吻合。

(4) 降水模拟结果分析表明,粗、细网格均能较好地模拟出雨带分布和变化,在强度上,细网格的模拟结果较粗网格有明显的提高,但细网格模拟的强降水中心位置和强度与实况仍有明显偏差,有待进一步改进。

**致谢:** 中国气象科学研究院朱蓉提供的实况雨量图,特此致谢。

## 参考文献

- 1 王鹏云,刘春涛. 1996年第8号台风中尺度结构的数值研究. 气象学报, 1998, 56(3): 296~311.
- 2 程麟生, Ying-Hwa Kuo, 彭新东. 中国暴雨中尺度系统发生与发展的诊断分析和数值模拟(II)数值模拟. 应用气象学报, 1993, 4(3).
- 3 崔波, 王捷捷, 郭肖容. MM5在国家气象中心CRAY-C92的实时预报试验尝试. 应用气象学报, 1999, 10(2): 129~140.
- 4 Grell, G. A., Dudhia, J., and Stauffer, D. R., A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, 1994, NCAR/TN-398+STR, 138pp.
- 5 赵思雄, 孙建华等. 1998年7月长江流域特大洪水期间暴雨特征的分析研究, 1999, 海峡两岸灾害天气学术研讨会·论文摘要.
- 6 Sue, Chen, Jimmy Duhia, Dave Gill, et al, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class, Mesoscale and Microscale Meteorology Division/NCAR, 1994, p1.4.
- 7 程麟生. 中尺度大气数值模式和模拟. 北京: 气象出版社, 1994: 327~331.
- 8 杨克明. 每月天气——1998年7月暴雨频繁, 全国大部雨量偏多. 气象, 1998, 24(10).

# Numerical Simulation for the “98.7” anomalous Heavy Rainfall in Wuhan City

Qi Yanjun Cheng Minghu Yi Qingju

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

## Abstract

A sustained anomalous heavy rainfall event occurred over southern Hubei Province during 20—22 July 1998. A two-way nested nonhydrostatic mesoscale numerical model called MM5 was conducted to simulate the event. The simulative results show that the rain-band distribution with its center is basically consistent with that of the observation, especially for the results derived from the fine nested simulation that are very closely with the observations. In addition, the mesoscale system connecting with the heavy rainfall occurred in 20—22 July is simulated successfully.

**Key Words:** heavy rainfall synoptic analysis nonhydrostatic MM5 numerical simulation