

# '96·8'特大暴雨和中尺度系统发展 结构的非静力数值模拟\*

冯伍虎 程麟生

(兰州大学大气科学系,兰州,730000)

程明虎

(中国气象科学研究院灾害中心,北京,100081)

## 摘 要

1996 年 8 月 3~5 日('96·8'),中国河南、山西、河北等省发生了一次特大暴雨过程,造成了严重洪涝灾害。文中的天气分析指出,稳定的大型鞍形场和北移台风(登陆后减弱为低压)与其东侧副热带高压的相互作用是'96·8'特大暴雨发生的大、中尺度环流条件;而中尺度低压及其特有的动力热力结构与该暴雨过程直接相关。对该过程采用非静力中尺度数值模式(MM5)进行了数值模拟研究。模拟结果分析发现,非静力(MM5)的全物理过程模拟基本上可再现大尺度和中- $\alpha$ 尺度天气系统的发生、发展和演变。采用二重网格双向嵌套技术的细网格模拟结果揭示,低压的动力场和热力场之间具有一种强耦合机制,即发展的低压具有气旋性涡柱的暖心高湿结构,在涡柱低空是湿对流不稳定和负湿位涡结构;强垂直上升运动与高空强辐散和低空强辐合以及对流云团的发展互耦;与低压相伴的强南风急流不仅是低压和对流云团发展与维持的互伴互耦条件,而且也是'96·8'特大暴雨的水汽源和热能输送带。降水模拟结果分析表明,尽管某些降水中心对粗网格偏小,对细网格偏大,但雨带和雨强分布与观测结果基本一致。

关键词:特大暴雨,非静力 MM5,双向嵌套,数值模拟,中尺度结构。

## 1 引 言

1996 年 8 月 3~5 日(简称'96·8'),中国的河北、山西和河南等省发生了一次特大暴雨天气过程,造成了严重的洪涝灾害<sup>[1]</sup>。这次暴雨过程主要出现在 8 月 3 日夜间至 5 日,而降水主要发生在北京时 3 日 20 时至 5 日 08 时的 36 h 期间。暴雨过程总雨量的统计分析指出<sup>[1~2]</sup>,河北省有 100 多个县(市)雨量大于 100 mm,覆盖面积达 8 万 km<sup>2</sup>,其中,石家庄市、井陘、平山、元氏 4 县(市)雨量大于 450 mm,邢台县野沟山水库和井陘县吴家窟分别高达 616 mm 和 670 mm。这是 1963 年以来发生的最大暴雨,其显著特点是:面积广、强度大、历时短。因而,造成了严重洪涝灾害,河北省 11 座大型水库和 338 座中、小

\* 初稿时间:1999 年 1 月 4 日;修改稿时间:1999 年 6 月 18 日。

资助课题:国家重点基础研究项目(G1998040907)和国家自然科学基金项目。

型水库溢洪; 39 个县(市)泄洪, 3393 个村庄一片汪洋; 石太、邯长铁路一度全部中断; 河北省直接经济损失高达 456.3 亿元<sup>[1]</sup>。据山西省统计, 该省中南大部分地区的过程雨量均在 50 mm 以上, 东部地区 100 mm 以上的县、市有 18 个, 其中, 两个最大的降水中心分别达 460 mm 和 314 mm。对该省造成的经济损失达 142 亿元。对晋、冀地区来说, 如此严重的洪涝灾害为建国以来所罕见。因此, 对这次特大暴雨进行深入研究很有必要。

目前, 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>[3-5]</sup>。本文采用开发的双向嵌套的非静力中尺度 MM5 模式模拟系统, 对 '96·8'特大暴雨与中尺度系统发生发展和结构演变以及与暴雨的关系进行了研究。希望通过该数值试验研究, 能揭示这类暴雨中尺度系统的发展结构及其演变的某些特征, 进而为暴雨中尺度数值天气预报提供物理依据。

## 2 '96·8'暴雨的大、中尺度环流系统特征

'96·8'特大暴雨是在大、中尺度天气系统和高、中、低纬环流系统相互作用而形成的有利环流形势下产生的。

### 2.1 大尺度环流系统特征和高、中、低纬的相互作用

'96·8'暴雨期大型环流的明显特征是: 高纬西西伯利亚大槽和东西伯利亚高脊与东欧高脊稳定维持; 中纬西风带短波槽不断发展东移; 低纬发展的印度季风与稳定的西西伯利亚大槽在蒙古西部贯通, 形成一宽阔的印度季风槽, 该槽的东界由于 9608 号登陆台风的并入而与西太平洋副热带高压的西界在 700 hPa 上合并(图 1); 与此同时, 西亚副热带

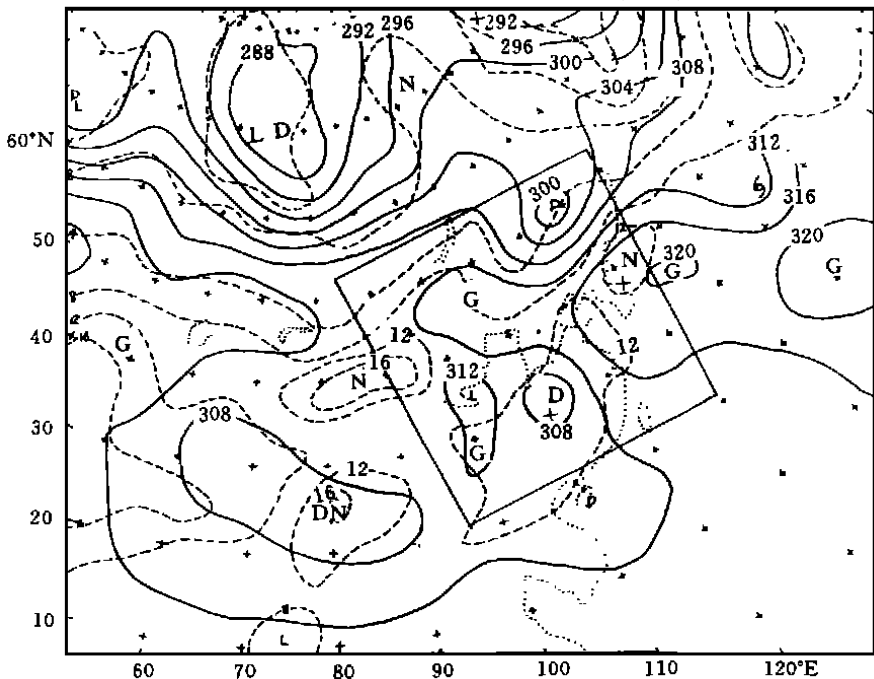


图 1 1996 年 8 月 3 日 08 时(BST) 700 hPa 环流形势

(内方框为模拟域(粗网格域): 实线: 等高线(dagpm), 虚线: 等温线( ))

高压在发展东伸;这样,在亚欧大陆由西西伯利亚低槽、印度季风、西太平洋副热带高压、西亚副热带高压构成了一种稳定的大型鞍形场。在这一形势下特别值得注意的是北移台风与其东侧北绕西伸副热带高压之间的相互作用。

## 2.2 台风和中尺度对流云团与暴雨

9608 号台风 8 月 1 日 10 时(BST, 下同)在福建省福清市登陆后向西偏北方向移动, 2 日 02 时进入江西境内, 14 时减弱为低压; 3 日凌晨移经湖南、湖北, 3 日夜间接达河南, 呈现为暖性低涡(见图 1 模拟域); 之后, 该暖涡沿河南西部山区北移至河北、山西; 与此同时, 西伸的副热带高压稳定; 在低涡和副热带高压之间产生的强大气压梯度力形成了一支强劲的偏南低空急流<sup>[6]</sup>, 其急流中心于 4 日 08 时到郑州和邢台地区, 该地上空 700 hPa 的风速达 20 m/s, 该急流在北上过程中, 受北绕低涡副热带高压的阻挡, 致使向北输送的充沛水汽和不稳定能量在低涡东北侧汇集, 而中纬短波槽的发展东移以及槽后冷空气对低涡及相伴高温、高湿、高能区的不断入侵, 是触发暖涡斜压发展和中尺度对流云团生成、发展、进而导致暴雨持续的直接原因。正如卫星云图分析所指出<sup>[2,6]</sup>, '96·8'特大暴雨与两个中- $\alpha$ 尺度对流云团的生成和发展密切相关, 其中, 第一个云团于 3 日 09 时在低涡云系北端郑州附近形成一个约 100 km 的初生中- $\beta$ 尺度对流云团, 云顶亮度(TBB) 低达 -61.3, 并于 20 时发展为一个准圆形的中- $\alpha$ 尺度对流云团(图 2); 之后, 该云团继续发展, 在低空急流极强的 4 日 08 时, 随低涡北移和低空急流加强而强烈发展的该云团(图 2), 使暴雨雨量急剧增大, 此时, 河南安阳和河北石家庄 24 h 降水量分别达 131 mm 和

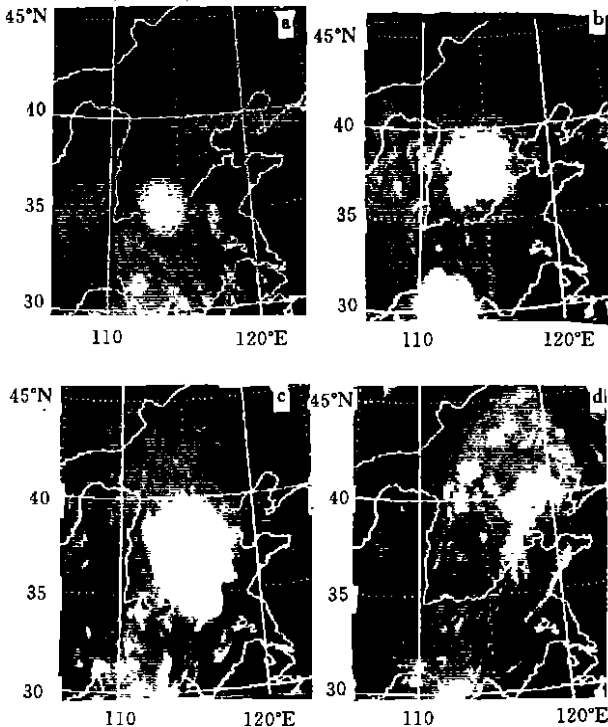


图 2 1996 年 8 月 3 日 20 时至 5 日 08 时间隔 12 h 的 GMS IR 序列云图  
(a. 3 日 02 时, b. 4 日 08 时, c. 4 日 20 时, d. 5 日 08 时)

109 mm(图 3a); 该云团持续发展到 4 日 14 时; 其后减弱消散。与此同时, 在 4 日 08 时, 第一个云团(图 2)南部中云区又有几个小对流单体出现, 6 h 后已迅速发展为一个弧状中- $\beta$  尺度对流系统, 17 时急剧发展成一个中- $\alpha$  尺度对流云团, 20 时形成一个密实白亮的云区(图 2), 云顶亮温低达  $-62.3$ ; 该强大的对流云团在持续发展过程中缓慢向北偏东移动, 致使河北中、南部和山西中东部再次出现大暴雨; 至 5 日 08 时, 石家庄的 48 h 降雨量多达 412 mm(图 3b); 而 3 日 08 时至 5 日 08 时的过程总降雨量在石家庄西侧井陘县吴家窟更达 670 mm<sup>[2]</sup>。

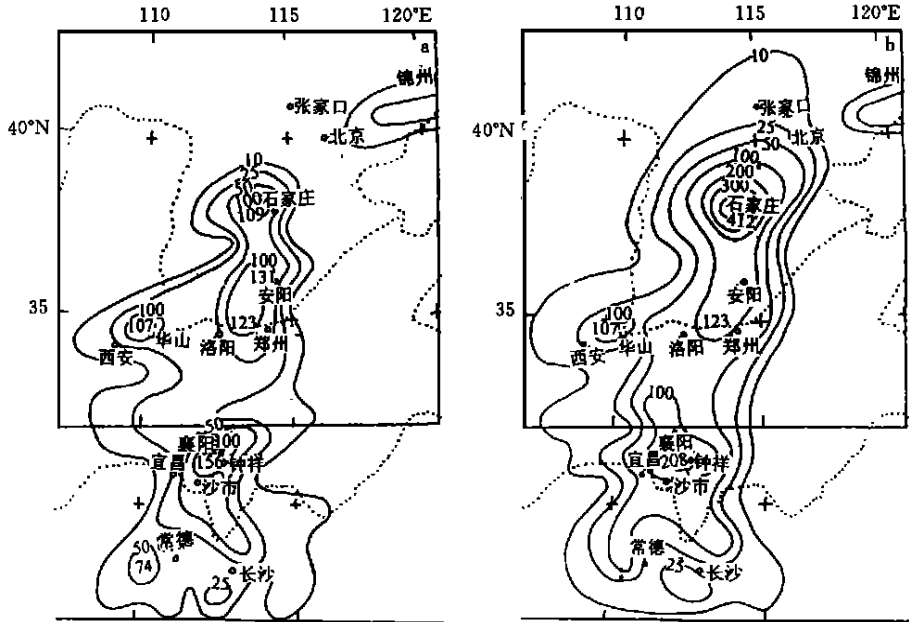


图 3 1996 年 8 月 4 日 08 时 24 h(a)和 5 日 08 时 48 h(b)降雨量(mm)分布  
(上方框相应图 4 嵌套域(细网格域))

那么, 直接造成 '96·8'特大暴雨的中- $\alpha$  尺度低涡和强对流系统能否用非静力中尺度模式模拟出来? 该中- $\alpha$  尺度系统发生、发展的结构和演变特征是什么? 能否模拟出这些中尺度对流系统相伴的暴雨落区和雨强? 这些问题正是本文工作希望了解和回答的。为此, 先简述开发的 MM5 模式及数值模拟设计。

### 3 MM5 模式和数值模拟设计

#### 3.1 MM5 模式和模拟系统

非流体静力中尺度模式 MM5<sup>[7]</sup> 是 PSU/NCAR 在原有流体静力中尺度模式 MM4<sup>[8]</sup> 基础上首先由 Dudhia<sup>[9]</sup> 发展的。模式方程是非流体静力的可压缩原始方程组。数值计算采用时间分裂方案。在降水物理过程处理中, 对隐式对流云参数化和可分辨尺度降水发展了多种方案。已发展的行星边界层过程参数化和大气辐射方案仍在继续发展中。模拟系统包括: 在全球可任意设置; 灵活的多重可移动嵌套能力; 可输入实时资料; 通过连续的张弛逼近方法, 实现四维资料同化(FDDA); 可在不同的计算机平台上运行。

### 3.2 数值模拟设计

该设计是全物理过程模拟方案。

(1) 双向作用套网格系统: 母域和子域同一中心, 定位于(38°N, 114°E); 粗、细网格距分别为 60 km 和 20 km, 格点数均为  $61 \times 61$  (图 4)。

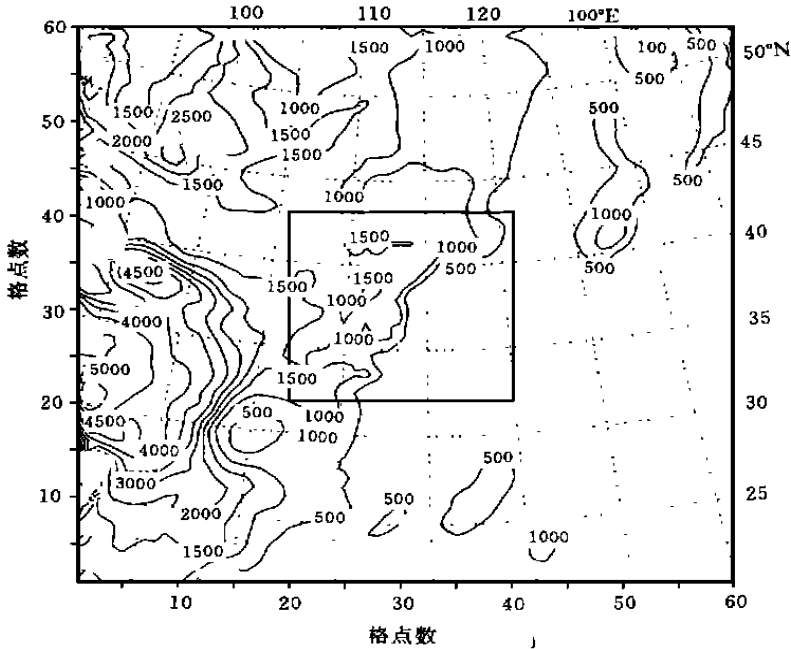


图 4 模拟母域(粗网格域)和子域(嵌套细网格域)及地形等高线(m)

(2) 模式顶  $p_t$  和垂直分层  $K\sigma$ :  $p_t = 10$  hPa,  $\sigma$  位面垂直分层  $K\sigma = 26(0.00, 0.02, 0.04, 0.09, 0.14, 0.19, 0.24, 0.29, 0.34, 0.39, 0.44, 0.49, 0.54, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90, 0.92, 0.95, 0.97, 0.99, 1.00)$ 。

(3) 地形和下垫面特征分类: 对 NCAR 的 10 地形资料和 13 类地表特征资料, 用复合双抛物线插值方案获得格点地形和下垫面特征资料。

(4) 初始条件: 使用资料包括目前国家气象中心业务运行的全球谱模式 T63 的分析场, 国家气象中心资料要素库中的实时探空资料和地面观测资料。T63 分析场和实时探空资料的时间间隔是 12 h; 以 T63 的分析场作为第一初估值, 通过 Cressman 客观分析方法进行再分析, 最后的客观分析场产生初值。

(5) 侧边界条件: 采用张弛逼近方案, 将模式预报场向 12 h 间隔的客观分析场逼近。

(6) 行星边界层物理过程: 采用 Blackadar 高分辨 PBL 参数化。

(7) 地面物理过程: 包括有非均一地表的热通量和动量通量。

(8) 地面温度: 由浅层模式和有云效应的能量收支预报获得。

(9) 云和降水物理过程: 可分辨尺度降水采用显式方案; 次网格尺度对流采用 Anthes-Kuo 方案。

(10) 模拟时间: 48 h (1996 年 8 月 3 日 08 时至 5 日 08 时)。

#### 4 模拟场和观测分析场的比较: 模式检验

全物理过程的非静力数值模拟提供了大量可供分析的输出结果。为了检验模式及其输出结果的可靠性, 我们对模拟域(粗网格域)模拟的位势场、流场和相当位温场与相应的观测分析场进行比较验证。为了节省篇幅, 这里仅给出位势场的比较图。

##### 4.1 位势场模拟: 大尺度和中- $\alpha$ 尺度天气系统的再现分析

一般用流体静力区域模式是难以获得正确诊断的位势场。但用非静力中尺度模式模拟出了比较令人满意的位势场演变。这里仅以 700 hPa 为例(图 5)。

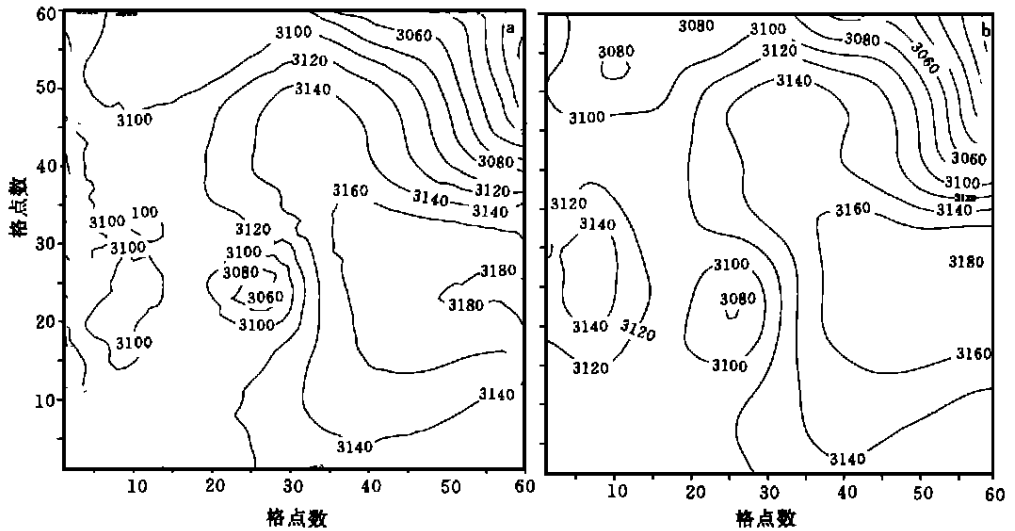


图 5 1996 年 8 月 4 日 08 时模拟域 24 h 700 hPa 位势(gpm)场模拟(a)和相应客观分析场(b)的比较

由模拟域 24 h 700 hPa 位势场模拟(图 5a)与相应客观分析场(图 5b)的比较可以发现, 不仅大、中尺度天气系统的形状和位置的模拟基本再现了观测分析的结果, 而且模拟系统的中心强度与相应分析系统也相当一致, 尽管在模拟域西边界附近青藏高原复杂大地形区(图 5)的模拟与观测有些差异, 但这一区域的地形高度已超过 4 km, 即已超过 700 hPa 的高度, 因此, 这种差异缺乏观测依据。对低压和副热带高压的模拟是令人满意的。

##### 4.2 流场模拟: 大尺度和中- $\alpha$ 尺度环流系统流型的再现分析

从图 5 的 24 h 700 hPa 流场模拟(图略)与其相应客观分析场(图略)的比较可见, 流场与位势场的主要天气系统相对应; 同样, 在模拟域西边界附近青藏高原复杂大地形区(图 5)的模拟与观测有些差异; 正如上述, 这种差异缺乏观测依据。对低压和副热带高压流型的模拟同样再现了观测分析结果。这一结果也表明, 流场和位势场的演变在模拟期间是相互适应的。

##### 4.3 相当位温场模拟: 温湿场的再现分析

相当位温  $\theta_e$  场是温度场和湿度场的热力综合场。所以,  $\theta_e$  的模拟场和观测分析场可代表温度场和湿度场的模拟和观测分析结果。实际上, 模拟的温度场和湿度场以及相当位

温  $\theta$  场与观测分析也相当一致(图略)。特别值得注意的是相应低压和暴雨区的深厚湿舌有一个暖湿中心, 其中心值也完全相同, 该中心与高度场和流场低压中心近乎重合。 $\theta$  场这种热力结构的重要意义在下面将进一步讨论。

以上是对模拟的位势场、流场和相当位温场与相应的观测分析场的比较。对其它可与观测分析场比较的模拟场也有类似结果。由此可见, 非静力中尺度模式 MM5 的全物理过程模拟基本上可再现大尺度和中- $\alpha$  尺度天气系统的演变。因此, 该模式模拟的大量输出结果可用于分析这类中- $\alpha$  尺度及部分中- $\beta$  尺度暴雨系统的结构和发展演变。

## 5 台风发展结构的细网格模拟分析

为了进一步了解与“96·8”暴雨直接相关的台风的发展结构及演变, 采用相互作用嵌套细网格区域内(图4内域)的模拟结果。低压在整个48 h模拟期间都位于该细网格区域。因而, 除非说明, 以下图片均为嵌套细网格区域。

### 5.1 低压的气旋性涡柱和暖心高湿结构

9608号台风于8月1日在福建省福清市登陆后向西偏北方向移动减弱而形成低压。但该低压至5日08时仍具有台风的某些属性, 即气旋性涡旋的暖心结构, 但这种暖心结构是高湿的, 与一般暴雨低涡的冷性斜压结构有着本质的差异, 尽管其涡度柱结构<sup>[10, 11]</sup>彼此相似。图6是这种结构的图解说明。由24 h模拟的700 hPa位势场(图6a)和相当位温 $\theta$ 场(图6b)的比较可以发现, 低压的一个明显特征是具有一个348 K的暖心。过低压中心( $y=14$ )的纬向垂直剖面涡度(图6c)和相对湿度(图6d)还揭示, 低压与涡度中心 $\zeta=30 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的气旋性涡柱及深厚的湿舌相伴, 该湿舌的相对湿度在400 hPa以下都大于90%。低压气旋性涡柱的这种暖心高湿结构在 $\theta$ 垂直剖面(图7a)的低层还表现为一种明显的热力湿对流不稳定。

### 5.2 涡柱低空的湿对流不稳定和负湿位涡结构

在整个暴雨期间, 与低压相伴的涡柱(图6c)下部为一高温高湿的相当位温 $\theta$ 的高中心, 这是一湿对流不稳定气层, 即 $(\partial\theta/\partial p) > 0$ ; 其上气层在850~600 hPa之间呈现为湿中性, 即 $(\partial\theta/\partial p) = 0$ ; 600 hPa以上的高空, 气层是对流稳定的, 即 $(\partial\theta/\partial p) < 0$ , 但由湿位涡守恒分析<sup>[12]</sup>知, 此时, 由于水平风垂直切变增大和 $\theta$ 面的倾斜, 都将导致气旋性涡柱的发展和垂直运动的加强。过低压中心相应涡度剖面(图6c)的 $\theta$ 剖面典型结构(图7a), 与黑风暴的 $\theta$ 剖面结构<sup>[13]</sup>很相似。与图7a相当位温 $\theta$ 相应的湿位涡MPV垂直结构在图7b中给出。由该图可见, 在低压涡柱(图6c)的800 hPa以下为负的湿位涡, 在800~650 hPa湿位涡近似为零, 在650 hPa以上湿位涡为正。在垂直剖面上 $\theta$ 的这种非对称鞍形场结构和湿位涡的下负上正结构是气旋性涡柱和对流运动发展的一种典型结构。

### 5.3 散度场与强垂直运动及云团的耦合发展

对低压结构和暴雨云团的分析发现, 最强上升运动出现在低压中心附近东北侧的强对流云团处(图2)。图8给出了过中心附近东北侧强对流云团处( $y=18$ )的纬向垂直剖面上垂直速度 $w$ (图8a)和散度(图8b)的垂直分布。由图8可见, 一个在500 hPa具有高值中心为0.6 m/s的强垂直上升运动气柱(图8a)和一个高空强辐散而低空强辐合的气柱互耦; 该气柱同时还与一宽而深厚的湿舌(图6d)互伴。这种互伴互耦结构是强对流

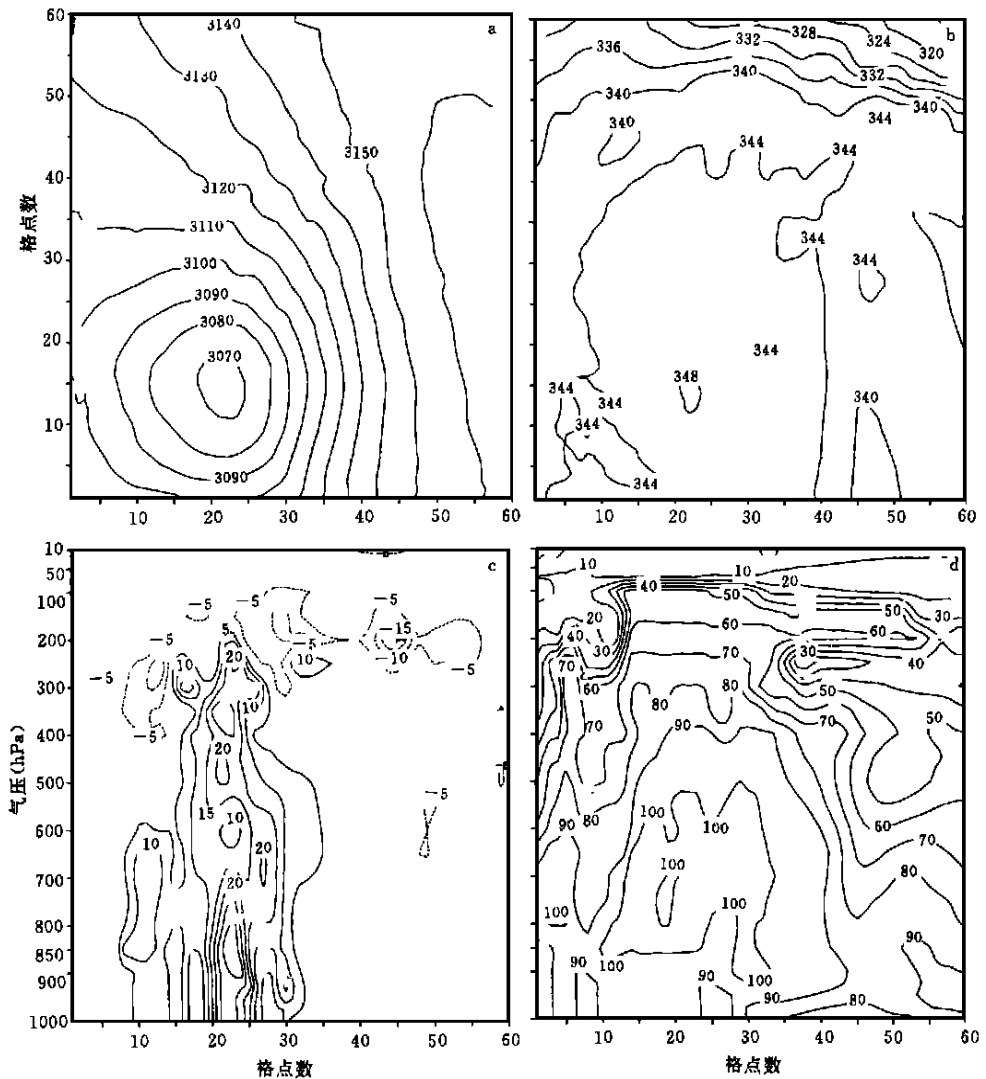


图 6 模拟 24 h (4 日 08 时) 的 700 hPa 位势 (gpm) 场 (a) 和相当位温  $\theta$  (K) 场 (b)

及其过中心 ( $y = 14$ ) 的湿度  $q \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  (c) 和相对湿度 (%) (d) 的垂直 W-E 剖面

云团发展并产生暴雨的强耦合条件。

#### 5.4 低压环流与强低空急流的互伴结构

由中、低空流场图可见,在低压环流和副热带高压环流之间由于极强的气压梯度力而持续维持一支很强的偏南低空急流。这支自 850 hPa 至 500 hPa 的深厚低空急流自始至终与低压相伴,急流中心强度均达 18 m/s,最强达 20 m/s,这与观测风速<sup>[6]</sup>相同,也与观测客观分析风场(图略)一致。图 9 是这种互伴结构的示例。由图 9a 和图 9b 比较可以发现,低压风速由中心向外围不断增大,位于其右侧的深厚南风急流带强而宽阔,急流中心强度高达 20 m/s。急流轴北端因受副热带高压流场影响而折向西北。这一水汽和热量的聚集区,在强上升运动(图 8a)驱动下,进而形成对流云团(图 3)。这在后面的垂直运动场、



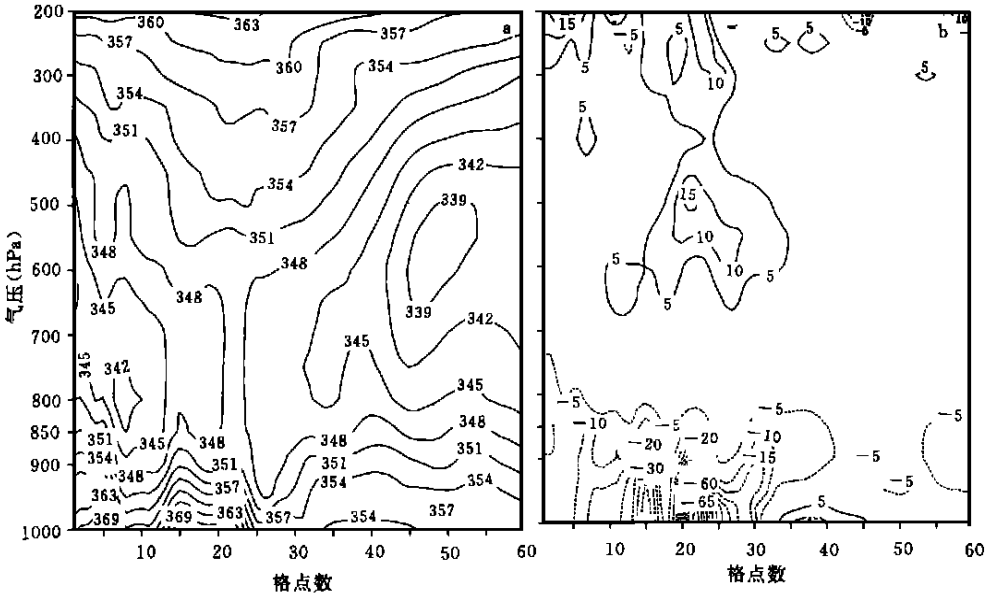


图7 与图6c相同,但(a)为 $\Theta(K)$ , (b)为湿位涡 $MPV(\times 10^{-6} km^2 / (kg \cdot s))$

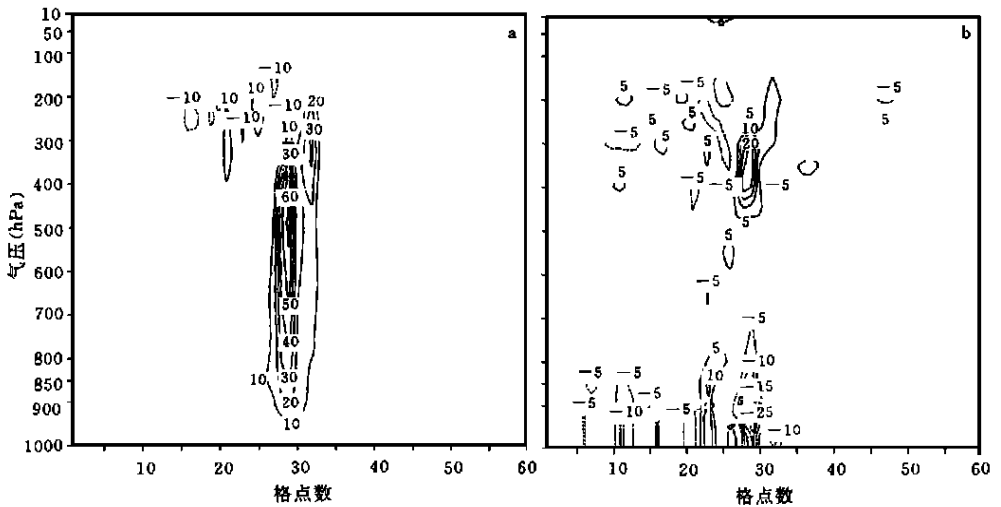


图8 过中心附近对流云团处( $y = 18$ )的垂直剖面

(a. 垂直速度 $\times 10^{-2} (m/s)$ , b. 散度 $(\times 10^{-5} s^{-1})$ )

云场和雨场的模拟分析中将会看到。值得指出的是,这支强南风急流不仅是暴雨的水汽源和热量输送带,而且也是低压发展和维持的气旋性切变涡度源区。

由上述讨论可知,该低压具有气旋性涡柱的暖心高湿结构,在涡柱低空是湿对流不稳定和负湿位涡结构;强垂直上升运动与高空强辐散和低空强辐合以及对流云团的发展互耦;与低压相伴的强南风急流不仅是低压和对流云团发展与维持的互伴互耦条件,而且也是暴雨产生与维持的必备条件。

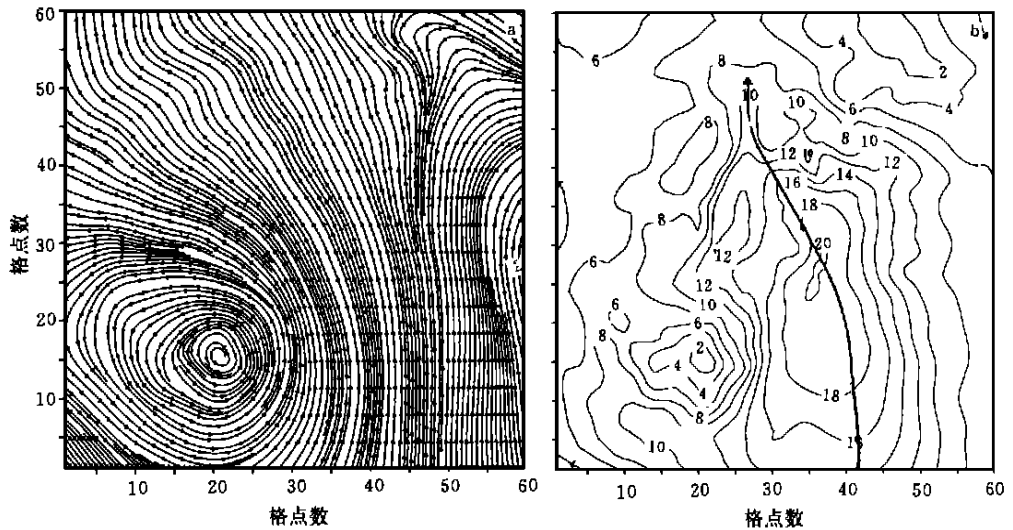


图9 模拟 24 h (相应 4 日 08 时)的 700 hPa 低压环流(a)和低空急流(b)的互伴结构

## 6 降水模拟结果分析和讨论

前面,我们对产生暴雨的大、中尺度天气系统的演变和低压发展结构的模拟结果作了比较详细的分析。下面再对人们关心的暴雨降水模拟结果进行分析和讨论。

### 6.1 降水模拟结果分析

比较观测(图 3)和模拟的降水量图可以发现,模拟的雨带和雨强与观测的雨带和雨强基本一致或相近。总体看,粗网格的偏小,细网格的偏大。从 24 h 的降水模拟(图 10a)和观测分析(图 3a)比较可见,在石家庄(109 mm)、郑州(123 mm)和襄阳(156 mm)附近的 3 个降水强中心都近似模拟出来,分别为 80 mm, 140 mm 和 90 mm(图 10a);而 48 h 降水模拟(图 10b)和观测(图 3b)比较发现,雨带两者相当一致,与石家庄的强降水(412 mm)相应的模拟降水 550 mm,看来似乎偏大,但实际在石家庄附近邢台县野沟山水库的 48 h 降水量高达 616 mm<sup>[2]</sup>。这样看来,模拟的最强降水中心的雨强和落区与观测的已相当接近。这对暴雨预报来说已很令人满意。但在郑州、洛阳一线的降水模拟强中心(500 mm)是明显偏强。

由图 10 分析可见,对一定的模拟域(粗网格域),在降水物理方案选定的条件下(如采用积云参数化方案中的某方案,或采用可分辨尺度微物理方案中的某方案,或采用隐式和显式的混合方案),对同一测站,在加细网格域的降水量要比在粗网格域的降水量大。这似乎表明,提高模式的水平分辨率有助于增加模拟降水量。我们还进一步作了提高和降低模式水平分辨率的试验,得到与上述模拟类似的结果;这也与 Colle 等<sup>[14]</sup>用四重嵌套对降水模拟的中尺度试验结果一致;他们的试验还指出,当多重嵌套域的水平网格距小于 4 km 时,降水量的增加不再明显。至于降水模拟究竟采用怎样的水平分辨率为最佳,这对不同实例须依模拟域、降水物理方案、嵌套重数等通过模拟试验来定,很难一概而论。

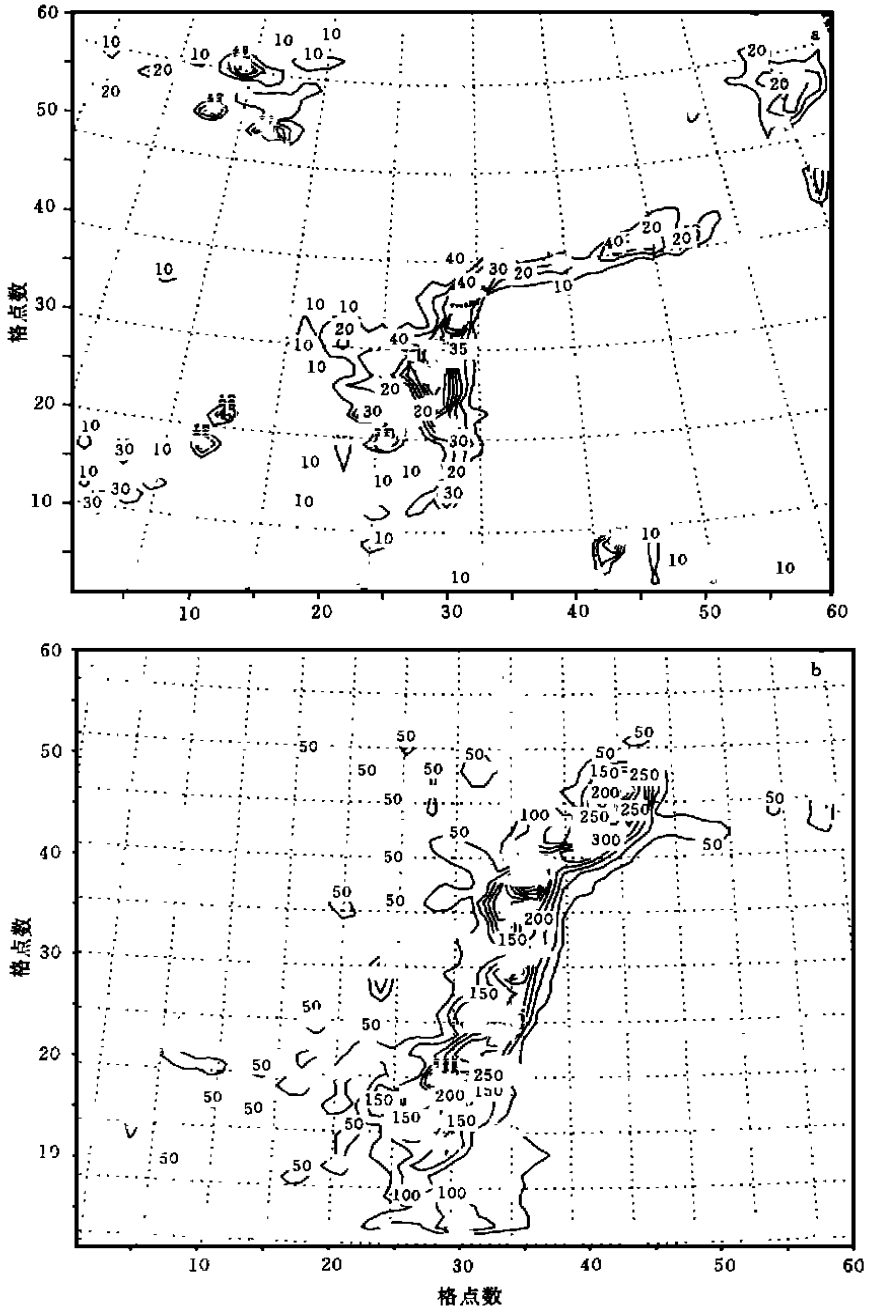


图 10 模拟域(粗网格) 24 h(a) 和嵌套域(细网格) 48 h(b) 的模拟降水量 (mm)  
(a. 4 日 08 时, b. 5 日 08 时)

## 6.2 地形对垂直运动、对流云团及暴雨雨带的影响

对垂直运动、对流云团活动、暴雨带和地形进行比较时发现, 地形对垂直上升运动的强迫作用, 对偏南急流的阻挡抬升作用以及对对流云团的生成和发展, 进而对暴雨雨带的形成有着明显的影响和因果关系。这从模拟 36 h 的 500 hPa 垂直运动场(图 11a)、暴雨量

雨带(图 11b)与图 4 中细网格地形、低空急流(图 9)、对流云团(图 2)的比较可以明显看出,强垂直上升速度带发生在东南急流的迎风坡,并与暴雨雨带一致,而暴雨雨带的强降水中心又与对流云团的发生发展区一致。

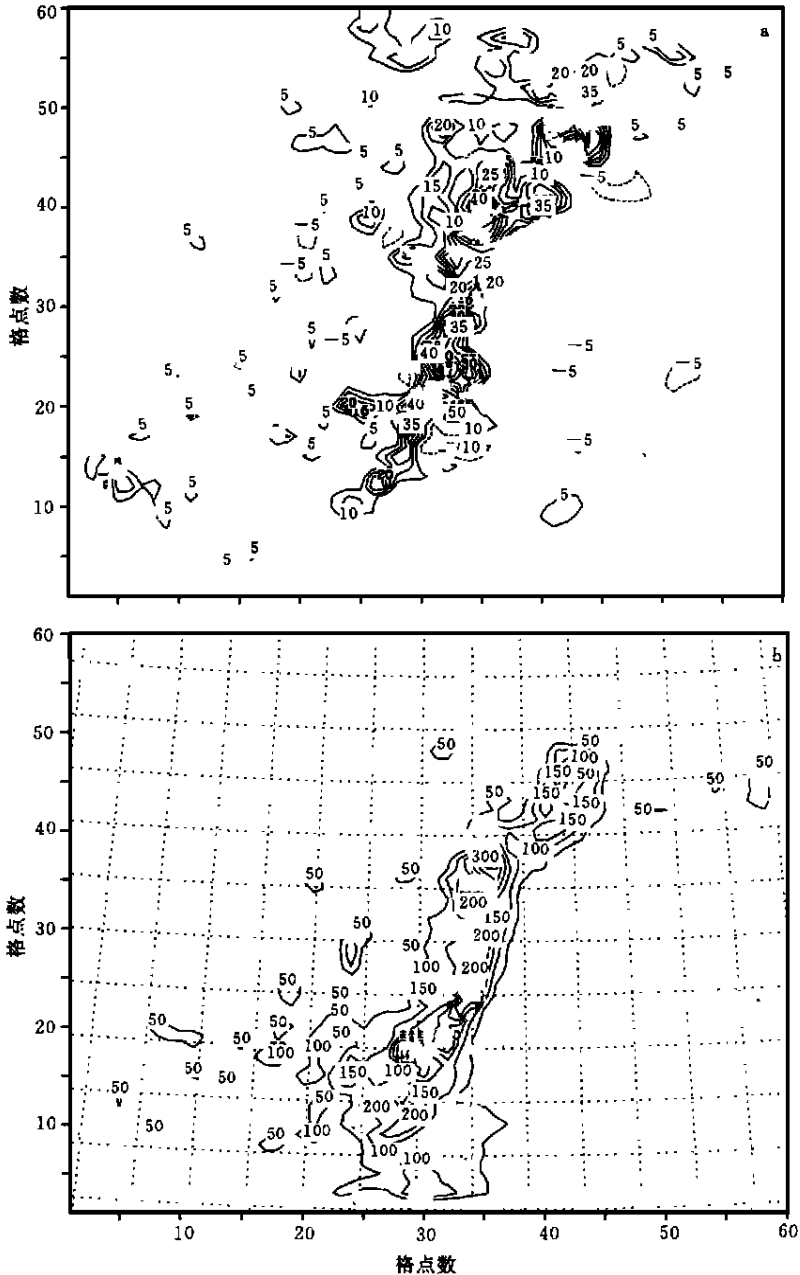


图 11 模拟 36 h 的 500 hPa 垂直运动场(a)及相应降水量(mm)分布(b)

由此可见,在有利的大尺度环流背景条件下,与中尺度系统发展密切相关的暴雨及其雨带和特殊的山地强迫有明显关系。

## 7 结 论

综上所述,可得到以下结论:

(1) 稳定的大型鞍形场和北移低压与其东侧副热带高压的相互作用是“96·8”特大暴雨发生的大、中尺度环流条件;而中尺度低压及其特有的动力热力结构与该暴雨过程直接相关。

(2) 模拟位势场、流场和相当位温场与相应观测分析场的全域比较分析发现,MM5的全物理过程模拟基本上可再现大尺度和中- $\alpha$ 尺度天气系统的发生、发展和演变。

(3) 双向嵌套细网格模拟结果分析揭示,由9608号台风减弱而成的低压具有气旋性涡柱的暖心高湿结构,在涡柱低空是湿对流不稳定和负湿位涡结构;强垂直上升运动与高空强辐散和低空强辐合以及对流云团的发展互耦;与低压相伴的强南风急流不仅是低压和对流云团发展与维持的互伴互耦条件,而且也是“96·8”特大暴雨的水汽源和热能输送带。

(4) 降水模拟结果分析表明,雨带和雨强分布与观测的基本一致,尽管某些降水中心雨量对粗网格偏小,对细网格偏大。此外,暴雨雨带与强上升运动及地形强迫有密切关系。

## 参考文献

- 1 张国华. “96·8”河北大暴雨的时空分布特征. 河北气象, 1997, 16(2): 9~11
- 2 杜青文, 张迎新. “96·8”特大暴雨的中尺度对流云团特征分析. 河北气象, 1997, 16(3): 11~15
- 3 崔波, 李泽春, 郭肖容等. 对北京地区一次局地灾害性暴雨的数值模拟. 暴雨·灾害, 1997, 1(1): 79~88
- 4 王鹏云, 刘春涛. 1996年第8号低压中尺度结构的数值研究. 气象学报, 1998, 56(3): 296~311
- 5 Chen S- J, Kuo Y- H, Wang W, et al. A modeling case study of heavy rainstorms along the MeiYu front. Mon Wea Rev, 1998, 126: 2330~2351
- 6 江吉喜, 项续康. “96·8”河北特大暴雨成因初探. 气象, 1997, 23(7): 19~23
- 7 Grell G A, Dudhia J, Stauffer D R. A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Technical Note, 1994, NCAR/TN- 398+ STR, 138pp
- 8 Anthes R A, Hsieh E- Y, Kuo Y- H. Description of the Penn State/NCAR mesoscale model version 4(MM4). NCAR Technical Note, NCAR/TN- 282+ STR, 1987, 66pp
- 9 Dudhia J. A nonhydrostatic version of the Penn State/NCAR mesoscale model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. Mon Wea Rev, 1993, 121: 1493~1513
- 10 Cheng L, Kuo Y- H. Diagnosis of vorticity sources for the origin and development of the sw vortex during Sichuan heavy rainfall July 11- 15, 1981. C J Atmos Sci, 1988, 12(1): 25~37
- 11 程麟生, Kuo Y- H, 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): 269~277
- 12 吴国雄, 蔡雅萍, 唐晓菁. 湿位涡和倾斜涡度发展. 气象学报, 1995, 53(4): 387~405
- 13 Cheng L, Ma Y, Liu C. Influence of mesoscale model resolution on the evolutive simulation of the “93·5” black storm. WMO/TD, 1995, 699: 323~328
- 14 Colle B A, Mass C F, Westrick K J. Mesoscale modeling of precipitation in orography along the west coast of North America. 8TH CONF. ON MOUNTAIN MET. AMS, 1998, 5~8

# NONHYDROSTATIC NUMERICAL SIMULATION FOR THE '96·8' EXTRAORDINARY HEAVY RAINFALL AND THE DEVELOPING STRUCTURE OF MESOSCALE SYSTEM

Feng Wuhu Cheng Linsheng

(*Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000*)

Cheng Minghu

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

## Abstract

During the period 3–5 August 1996 ('96·8'), an extraordinary heavy rainfall event occurred in Henan, Hebei and Shanxi Provinces in China, resulting in severe flood catastrophe. Synoptic analyses indicate that the stable gross col field and the interaction between a northward moving typhoon (down into low pressure) and its east lateral Pacific subtropical high were the large-scale and mesoscale circulation conditions of the occurred '96·8' extraordinary heavy rainfall; The mesoscale typhoon-low pressure and its specific dynamical and thermodynamical structures were directly related to this heavy rainfall event. Using the nonhydrostatic version of mesoscale numerical model MM5 to conduct investigation of numerical simulation for this case, the simulation of the full physics processes of nonhydrostatic version MM5 was basically possessed of a capability to reproduce the genesis, development and evolution of the large-scale and meso- $\alpha$  scale weather systems. The simulative results using a two-way interactive nesting procedure revealed that the typhoon-low pressure possessed an intensive coupled mechanism between the dynamical and thermodynamical fields, namely, the developing typhoon-low was possessed of a structure of the column of cyclonic vorticity with warm center and high humidity, within the lower levels of the vorticity column were associated with the moist convective instability and negative moist potential vorticity structure; the intensive ascending motion and the intense convergence (divergence) on the lower (upper) levels as well as the development of the convective cloud cluster were intercoupling; the intense south wind jet stream below 500 hPa accompanied by the typhoon-low was not only the intercompany and intercoupling condition of the development and maintenance of the typhoon-low and convective cloud cluster, but also was the moisture source and heat energy transport belt of the '96·8' extraordinary heavy rainfall. The simulative results of precipitation show that the rain-band and rainfall distribution of precipitation with that of the observation were basically consistent in spite of some rainfall centers less or larger than those of observations for coarse or fine mesh, respectively.

**Key words:** Extraordinary heavy rainfall, Nonhydrostatic MM5, Two-way interactive nesting, Numerical simulation, Mesoscale structure.