

# 湖南新邵太芝庙乡特大致洪暴雨分析

周雨华<sup>1</sup> 刘志雄<sup>2</sup> 谭一洲<sup>3</sup> 尹忠海<sup>1</sup> 黄小玉<sup>1</sup> 彭双姿<sup>4</sup>

(1. 湖南省气象台, 410007; 2. 湖南省娄底市气象台;  
3. 电子科技大学计算机学院; 4. 湖南省邵阳市气象台)

**提 要:** 利用地面和高空常规观测资料及水文雨量点资料、多普勒雷达回波资料、美国 WRF 中尺度数值模拟资料, 对 2005 年 5 月 31 日夜间发生在湖南新邵太芝庙乡的大暴雨过程进行了分析和数值模拟。结果表明: 大气层结的强烈不稳定, 超强的风垂直切变, 是形成对流性暴雨的重要条件; 在有利的大尺度环流背景下, 大暴雨同一条东北西南向的切变线上中  $\beta$  尺度气旋的演变和发展密切相关, 暴雨区上空的经向次级环流的形成和维持是大暴雨形成的另一个条件。分析还发现: 太芝庙乡复杂的地形对大暴雨的产生及特大山洪的爆发起着十分重要的作用。

**关键词:** 暴雨山洪 数值模拟 雷达回波

## Analysis of Taizhimiao Heavy Rainfall and Mountain Torrent in Hunan Province

Zhou Yuhua Liu Zhixiong Tan Yizhou  
Yin Zhonghai Huang Xiaoyu Peng Shuangzi

(1. Hunan Meteorological Observatory, Changsha 410007; 2. Loudi Meteorological Office, Hunan Province;  
3. University of Electronic Science and Technology of China; 4. Shaoyang Meteorological Office, Hunan Province)

**Abstract:** A heavy rainfall and mountain torrent occurred in May 31, 2005 at Taizhimiao Town, Shaoyang, Hunan Province. An analysis of the event is made based on the routine meteorological observations and hydrological rainfall, Doppler radar detection, and numerical simulation of WRF model. It shows that the important conditions causing the event are the strong instability of atmospheric stratification and severe vertical wind shear in the area. Un-

der the background of favorable large-scale circulation, the heavy rainfall is closely related with the evolution and development of a meso- $\beta$ -scale cyclone on a north-south shear line. Another condition causing the event is the formation and maintenance of a secondary meridional circulation over the heavy rainfall area. In addition, the complicated topography of Taizhimiao plays an important role in the appearance of the heavy rainfall and the outburst of the enormous mountain torrent.

**Key Words:** heavy rainfall mountain torrent atmospheric stratification vertical wind shear meso- $\beta$ -scale cyclone

## 引言

暴雨是不同尺度天气系统相互作用的结果,对于各类尺度天气系统对暴雨的作用,丁一汇院士<sup>[1]</sup>进行了深入细致的研究,但他的研究主要是针对大范围的暴雨过程。强度大、骤发性强、时空分布不均匀的局地突发性暴雨,其形成原因和物理机制极其复杂,因此,直到目前为止,局地突发性暴雨的预报仍然是天气动力学中有待解决的最为困难的问题之一。对2005年5月31日—6月1日发生在湖南的大暴雨过程,毛冬艳等<sup>[2]</sup>主要用逐时雨量资料进行中尺度雨团分析,并没有用大量高分辨率非常规资料对此次暴雨过程进行比较细致的中尺度数值模拟。王建捷等<sup>[3]</sup>、谢义明等<sup>[4]</sup>对引发大暴雨的中 $\beta$ 尺度对流系统进行了数值模拟研究,得到了一些有意义的结果,但主要是针对梅雨锋暴雨。

本文利用常规地面、高空观测资料和多普勒雷达回波资料及美国WRF中尺度数值模拟资料综合分析5月31日—6月1日凌晨暴雨中尺度对流系统发生发展的过程,以加强对对流性暴雨的认识,为局地突发性暴雨的预报以及进一步的数值模拟研究提供线索。

## 1 过程概况

2005年5月31日夜间到6月1日白

天,湖南省自北向南出现一次对流性强降雨过程,湘西和湘中及以南地区普降大到暴雨,而湖南省中部的新邵县太芝庙乡是此次暴雨过程中的最大雨量点,降雨主要发生在5月31日夜间,为锋前暖区局地对流降雨,虽然新邵气象站仅为小雨,而新邵水文雨量点观测5月31日20时—6月1日08时12h雨量拓溪水库134mm,坪下水库110mm,而距太芝庙乡最近的坛溪雨量站(在其北侧20km处)降雨197.7mm,其中21—23时10分,130分钟内降雨163.3mm,21—22时1h降雨90mm,而据当地百姓反映,龙山山脉一带为瓢泼大雨。由于降雨强度大,突发性强,来势凶猛,6月1日0时30分,太芝庙乡的龙山河两岸浊浪翻滚,一片汪洋。暴雨引发严重的山洪灾害,使太芝庙乡死亡82人,失踪5人,重伤480人,倒塌房屋上万间,造成直接经济损失10亿元,是湖南5.31暴雨过程中的重灾区。

## 2 环流形势特征及主要影响系统

2005年5月26日500hPa图上,亚欧中高纬度为两脊一槽形势,两脊分别位于乌拉尔山和鄂霍茨克海,两脊之间为低槽区,5月27—30日中高纬环流形势发生调整,30日08时亚欧中高纬已调整为两槽一脊形势,原位于挪威海的低槽已东移到乌拉尔山附近,东西伯利亚东部到鄂霍茨克海也为低

槽区，原来的低槽区已调整为高压脊区。30 日 08 时 700hPa 图上，成都、重庆到湘西北一线有暖湿切变线。受低槽、切变线影响，湖南在 30 日白天到夜间已出现 23 站大到暴雨。5 月 31 日 08 时 500hPa 图上，低槽位于兰州、成都、西昌一线，副热带高压则呈带状分布在云南、贵州的南部、广西、广东的北部及台湾岛的南部，湖南处在副高西北侧的偏西南气流中，700hPa 和 850hPa 图上，切变线位于重庆到岳阳一线与 5 月 31 日凌晨吉首、沅陵、溆浦的暴雨区相配合。31 日 14 时地面天气图上，西南倒槽从贵州伸向湖南，倒槽内有一条风切变位于芷江、娄底、长沙一线。500hPa 低槽，700hPa 和 850hPa 切变线及地面倒槽锋生这些大尺度天气系统为湘中地区中尺度天气系统的形成和维持提供了有利的条件和环境场。

### 3 暴雨形成条件分析

#### 3.1 水汽条件分析

要形成暴雨，必须有源源不断的水汽供应，使暴雨区中低层大气达到饱和，这已成为共识。这次对流性暴雨过程，暖湿气流的通道在 5 月 31 日 08 时已经建立，700hPa 和 850hPa 图上贵阳、芷江、长沙三站由前一日平均不到  $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的西南风迅速增大到  $10 \sim 12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的西南风。再分析 5 月 31 日 08 时 850hPa 的水汽通量图（图略）水汽通量大值区从云南、贵州、广西伸向湖南，最大中心位于贵阳、桂林一带，其值达到  $18\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ，同一时次 700hPa 水汽通量图上，从云贵到湖南也为大值区，芷江和长沙正处于  $13\text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1}$  的大值中心。

#### 3.2 不稳定层结分析

大量文献表明：K 指数是表征大气中

低层暖湿程度和大气稳定度的指数，它对强对流天气的预报具有一定的指导意义。计算 5 月 31 日 20 时 K 指数，一个大于  $38^\circ\text{C}$  的大值中心从贵阳伸向湘中的芷江、长沙一线，与几小时后出现的新邵一带强降雨区相吻合（图略）。又计算湖南 3 个高空站的 K 指数，详见表 1，结果表明：下暴雨前，湖南省内大气层结极不稳定，芷江、郴州在 30 日 20 时 K 指数分别达到  $40$ 、 $41^\circ\text{C}$ ，（湘中 31 日白天已出现 8 站暴雨）而长沙 31 日 08 时达到  $40^\circ\text{C}$ ，6 月 1 日 08 时长沙一带的强降雨云团已东移至江西，长沙 K 指数下降到  $34^\circ\text{C}$ ，而怀化、郴州一带暴雨继续维持，K 指数仍在  $35^\circ\text{C}$  以上，到 6 月 1 日 20 时，长沙、芷江、郴州三地区降雨明显减弱，K 指数都降至  $35^\circ\text{C}$  以下。并且，5 月 31 日 08、20 时，省内长沙、芷江、郴州 3 站温度层结曲线反映，低层都有逆温存在，积累了大量不稳定能量，见表 2。而 5 月 31 日 08 时，长沙、芷江、郴州 3 站低层垂直风切变分别达到  $8 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 、 $8 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ 、 $14 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ ，在这种热力不稳定层结下，风的垂直切变有助于雷暴组成持续性的强雷暴。

表 1 K 指数表（单位： $^\circ\text{C}$ ）

	长沙	芷江	郴州
30 日 08 时	-3	33	33
30 日 20 时	33	40	41
31 日 08 时	40	38	39
31 日 20 时	38	38	36
6 月 1 日 08 时	34	37	39
6 月 1 日 20 时	30	33	33

表 2 探空资料

	5 月 31 日 08 时			5 月 31 日 20 时		
	1000hPa 温度/ $^\circ\text{C}$	特征 层/hPa	温度 $^\circ\text{C}$	1000hPa 温度/ $^\circ\text{C}$	特征 层/hPa	温度 $^\circ\text{C}$
长沙	21.4	999	22.6	20.4	997	25.2
芷江	13.6	984	27.2	23.2	971	25.4
郴州	21.2	975	22.2	26.2	981	29.8

## 4 中尺度分析

近年的研究表明：暴雨和强对流是在几种不同尺度系统相互作用的情况下发生发展。锋面、高空槽并不是直接造成 5.31 暴雨的天气系统。但是，它为暴雨的产生提供了中尺度天气系统形成的条件或环境场，它造成暴雨区水汽的集中；在天气尺度系统中，上、下不同性质空气的平流造成位势不稳定层结；风速垂直切变有利于中小尺度系统的发生和维持。中小尺度天气系统是直接造成 5.31 大暴雨的天气系统，它对积云对流活动有明显的组织和增强作用。

### 4.1 湖南省区域小天气图分析

2005 年 5 月 31 日 14—23 时湖南省区域地面天气图上，可以分析出明显的中小尺度天气系统。14 时一条中尺度辐合线位于湘潭—双峰—邵阳—黔阳一线，20 时切变线开始增强，新邵站东侧的邵东站由 14 时的静风转为东风  $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，23 时切变线进一步增强，邵东的东风增大到  $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，而新邵站南侧的冷水滩站南风  $4\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ，辐合中心就在新邵一带，暴雨区位于这条辐合线北侧不超过 100km 的范围内，而新邵太芝庙乡的强降雨则正好与新邵一带的辐合中心相对应（图略）。再分析气压场的变化，如果按 1hPa 分析一条等压线，在省区域小天气图上，5 月 31 日 20 时开始，新邵处于 1001.0hPa 的低压区内（图略），并维持到 22 时，23 时气压略有回升，但 00 时又开始下降，03 时开始缓慢回升，06 时以后，受大范围冷空气南下影响，气压开始大幅度上升。比较新邵与其周边的邵阳、邵东两站的海平面气压变化也可看出这一点。强降雨时，新邵气压明显比其南侧的邵阳市和东侧的邵东县的气压低，而强降雨停止后，邵阳

市和邵东县的气压反而低于新邵的气压。这也间接说明，新邵县境内有小尺度的低压活动。

### 4.2 中尺度雨团活动分析

将 1 小时降雨量  $\geq 10\text{mm}$ 、生命史  $\geq 2$  小时的雨区定义为雨团。利用湖南全省 97 个测站及新邵县坛溪雨量站（距太芝庙乡 20km）的逐时降雨资料根据时间顺序编号，分析得出：本次大暴雨过程共有 10 个雨团活动，集中出现在 5 月 31 日至 6 月 2 日 01 时的 28 小时内，雨团的源地有 5 个集中分布在湘西的武陵山或雪峰山的西侧，其余 5 个分别生成在湘中的幕阜山、龙山山脉的西侧，均发生在迎风坡的地形或谷地，均处于中尺度切变线上或位于中小尺度的辐合点上。有 6 个雨团最大 1h 降雨量超过 30mm，其中以新邵坛溪附近的雨团最强，1h 降雨 90mm，雨团最长生命史 10h，最短 2h，平均 5h。有 3 个雨团生成后在原地消失，有 2 个雨团为锋前降雨，锋后雨团由于受高空槽后偏西北气流引导，加上地形的作用，主要向东南方向或偏东方向移动，个别雨团向南移动，当移至东部或南部山地时减弱消亡。

下面主要分析造成邵阳地区强降雨的两个雨团，先分析 2 号雨团，它是在 5 月 31 日 21 时开始在新邵县境内形成，由于处在中尺度辐合线上及中小尺度的辐合点上，加上其特定的地形条件，雨团生成后在原地迅速发展，21—22 时 1h 降雨高达 90mm，雨团维持 3 小时后，随着中尺度系统的减弱而消失，它仅仅影响新邵县的几个乡镇，特别是造成太芝庙乡特大暴雨山洪，它属于锋前的对流性雨团。再分析 7 号雨团，它是于 6 月 1 日 08 时在湘西山地形成，它属于锋后的雨团，其影响范围波及 5 个地区，先后影响 15 个测站，影响时间长达 7h，但降雨强度不及 2 号雨团，该雨团在地面中尺度辐合

带上生成并沿着辐合带自西向东移动，与其它雨团的移动路径有所区别。

### 4.3 多普勒雷达产品分析

重点分析湖南省新邵县境内超级单体的多普勒雷达产品。5月31日22时23分， $0.5^\circ$ 仰角的基本反射率图上，超过55dBz强反射率因子值宽度有20km左右，最强反射率因子值超过60dBz，其西北侧有4个小对流单体，在随后的演变过程中，依次发展并入超级单体中（图1a，见彩页），同时间与其相对应的径向速度图（图1b，见彩页），此区域有明显的风向辐合，两侧则有风切变存在（因为这里正负速度值均不大，均小于 $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，不符合速度模糊的模型），这里应是典型的逆风区，说明在该高度区间内存在着垂直风切变，辐合气流强。在雷达回波反演的3小时降水量产品图（图1c，见彩页），在新邵，涟源交界处（太芝庙位于其中）有一狭长的降雨带，雨量在100~150mm之间。实况新邵县站2小时降雨0.1mm，而太芝庙乡北侧的水文雨量点21—23时2小时降雨150mm，其它多普勒雷达产品，亦有较明显的特点，如垂直累积液态含水量有较大值，在超级单体的强盛期其最大值均超过 $40\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，在整个生命史中最大值达 $53\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ，往往会形成暴雨。

在 $1.5^\circ$ 仰角的反射率因子产品中，由于超级单体距离雷达较远，此时探测到的高度已达7.0km以上，虽然回波顶高达16km，与图1a相比并没有明显悬垂，且强回波的面积比图1a中要小得多，这可能是强降水超级单体的特征之一。回波顶产品中其最大值有21个体扫超过16km（见图1d），在组合反射率因子产品中，最大值超过60dBz有20个，可见超级单体强度之大，持续时间之长是比较罕见的。

### 4.4 数值模拟

下面用美国WRF中尺度数值模拟资料分析此次中小尺度暴雨的形成机理。

#### 4.4.1 模式及资料说明

本文用美国NOAA和NCEP建立的WRF2.0中尺度数值模式对此过程进行数值模拟，初始场资料选用 $1^\circ\times 1^\circ$  NCEP GFS每6小时一次的全球预报资料，中尺度数值模式采用一重网格，以 $27^\circ\text{N}$ 、 $112^\circ\text{E}$ 为中心，东西向网格数为200，南北向为180，网格间距精度为10km，模式输出资料为每3小时一次。

#### 4.4.2 沿切变线衍生出的中 $\beta$ 尺度气旋的演变和发展

分析美国WRF中尺度数值模式1.5km高度的流场可以得出如下结论：5月31日晚上新邵、娄底、涟源的大暴雨同一条东北西南向的切变线上的中 $\beta$ 尺度气旋的演变和发展密切相关。5月31日17时1.5km高度的流场图上，在湘北的切变线上，常德到益阳有一个中 $\beta$ 尺度气旋，切变线的两端也出现了中小尺度气旋，从同时间同高度涡度分析，主要的正涡度大值中心，分别出现在这两个区域，与切变线上的两个中尺度的气旋发生发展密切相关，另外在湘中地区，主要在邵阳的东北部，即太芝庙乡和娄底地区西南部上空开始出现了正涡度中心，其值 $10^{-4}\text{s}^{-1}$ ，达到中尺度的量级。5月31日20时，切变线整体南压，西面的怀化生成了一个中 $\beta$ 尺度气旋，原位于常德、益阳的中 $\beta$ 尺度气旋有所减弱，并南移到长沙、湘潭、株洲一带，从新邵到娄底西南部的正涡度中心维持，并且范围扩大、强度增强，31日23时，怀化附近的中 $\beta$ 尺度气旋及新邵到娄底西南部的正涡度中心一直维持（见图2a、图2b），到6月1日01时，尽管怀化上空的中 $\beta$ 尺度气旋已演变成一条辐合线，

但新邵到娄底西南部的正涡度中心仍维持。由以上分析得知,5月31日新邵太芝庙乡到娄底西南部的大暴雨是由切变线上的中尺度气旋或辐合线长时间维持造成的。

#### 4.4.3 暴雨区强对流运动和经向环流

为更好地分析暴雨区出现的对流运动特点和经向环流的演变和发展情况,沿 $111.5^{\circ}\text{E}$ 作一垂直 $v$ 、 $w$ 剖面(主要分析新邵暴雨区),从 $1.5\text{km}$ 的垂直运动的分析,5月31日17时上升运动主要位于新邵、娄底和邵东,另一个强上升运动中心位于湘西的怀化(怀化亦出现了大暴雨),20时位于新邵、娄底和邵东的强对流运动中心维持,23时以后,新邵、娄底一带的强对流中心强度减弱,23时10分太芝庙乡强降雨告一段落。但在6月1日04—08时,该地的对流运动又进一步加强,6月1日6时50分,受锋生和低槽、切变影响的大范围强降雨在新邵太芝庙乡重新开始。由以上分析得知,强对流运动的长时间维持是新邵太芝庙乡大暴雨产生的基本动力条件。

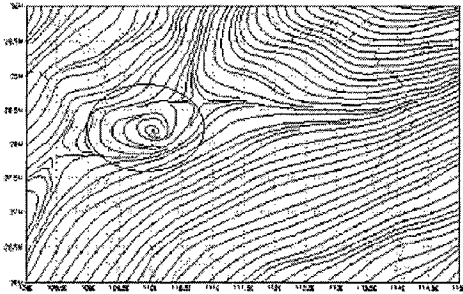


图2a 2005年5月31日23时1.5km流线图

从经向环流分析,5月31日17时,在 $28.5^{\circ}\text{N}$ 以南,对流层中低层为一致的西南暖湿气流,而 $28.5^{\circ}\text{N}$ 以北,对流层中低层为东北风,中层以上则为偏北风。5月31日20时,流场形势无大变化,但上升运动区域明显南压到 $27.8^{\circ}\text{N}$ 附近(见图2c),

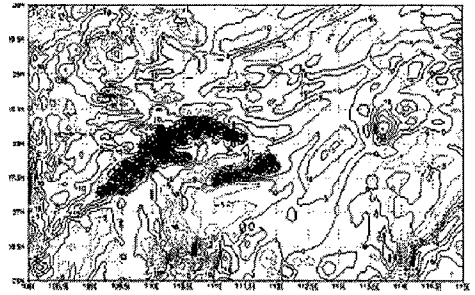


图2b 2005年5月31日23时1.5km涡度图

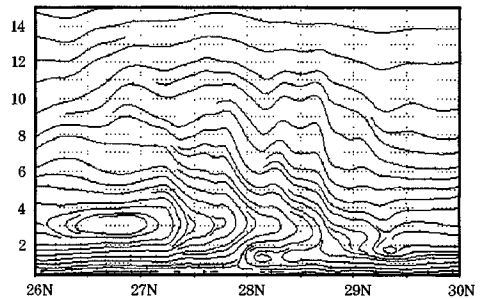


图2c 2005年5月31日20时1.5km经向剖面图

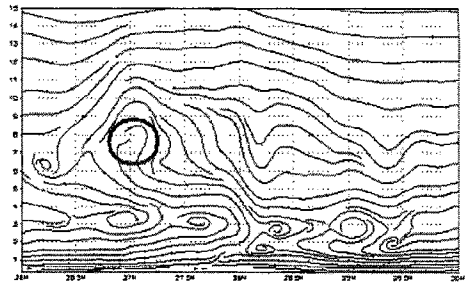


图2d 2005年5月31日23时1.5km经向剖面图

而到31日23时,流场形势发生了较大的变化,在 $27^{\circ}\text{N}$ , $8\text{km}$ 的高度上出现了一个经向次级环流,上升运动区域位于 $27\sim 28^{\circ}\text{N}$ ,范围进一步扩大(见图2d),而6月1日02—05时,在 $27.5^{\circ}\text{N}$ 和 $28.5^{\circ}\text{N}$ , $8\text{km}$ 高度上出现了两个经向次级环流,强上升运动区域仍位于 $27.5\sim 28^{\circ}\text{N}$ 。由此分析,经向次级环流的形成和维持是新邵太芝庙乡大暴

雨形成和维持的另一个条件。

## 5 地理地形条件分析

新邵县太芝庙乡的地形是三面环山，中间一条河流贯通南北，一旦有大的降雨，极易发生山洪泥石流。图 3（见彩页）是从龙山到太芝庙乡地形图，龙山位于新邵县的东北部，东西宽 50km，南北长 25km，整体山势东北高西南低，其北面落差为 1300m 左右，南面落差为 1250m 左右，东西两面落差约 1200m，山势十分险峻，太芝庙位于龙山山底的一个盆地，盆地东西宽 2km，南北长 5km，与山脉最大落差处高达 800m；土壤自表及里为山地草甸土、山地黄壤、山地红壤等土层，厚度在 100~600cm 之间，被雨水冲刷极易形成泥石流灾害。发源于龙山南侧的龙山河，从龙山向南流，它汇流竹山坑、腊树溪等小溪而下，流经新邵的太芝庙乡、潭府乡、陈家坊镇后，在 27°15'N、111°40'E 进入邵水河，然后再流进资江。根据水文局资料估算，在 5 月 31 日晚上至 6 月 1 日凌晨，龙山集雨面积汇聚有  $1200 \times 10^4 \sim 1600 \times 10^4 \text{ m}^3$  水，洪水行洪高达 2000 个流量以上，超过平时流量的 20 倍以上，太芝庙乡政府至马家岭这一段，河流落差高达 100m，山脉的坡度又在 50°以上，河道两旁大山耸立，十分险峻，洪水咆哮而来时，无法躲避，因而受灾最惨重。

## 6 结 论

(1) 大暴雨过程是在亚欧中高纬两槽一

脊形势下，副热带高压加强西伸与低槽、切变线地面倒槽锋生及中尺度切变线和气旋共同作用下产生的。省区域图上湘中一线的切变线及辐合点与暴雨落区和落点相对应。雨团在切变线或辐合点上生成并发展。

(2) 大气层结强烈不稳定是造成对流性强降雨的一个重要原因；低层强的风垂直切变很大，有利于强对流天气的加强和维持；经向次级环流的形成和维持是大暴雨形成的另一个条件。

(3) 由于太芝庙乡特定的地理地形条件，加上既有切变线又有正涡度配合的有利流场，强对流回波被“锁定”在太芝庙乡“静止”，因而酿成该地对流性大暴雨。

(5) 由于在 5 月 30 日太芝庙乡附近已有一场暴雨，该地地表涵水饱和，土质疏松，遇上 5 月 31 日夜间的短时超强降雨，山洪汇流迅速，洪水来势迅猛，河流落差大，地势险峻。故而酿成死亡 82 人，失踪 5 人的特大山洪灾害。

**致谢：**感谢湘潭、株洲湘西自治州、怀化、衡阳、益阳等单位提供部分单站资料。

## 参考文献

- [1] 丁一汇. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 320-323.
- [2] 毛冬艳, 周雨华, 张芳华, 等. 2005 年初夏湖南致洪大暴雨的中尺度分析 [J]. 气象, 2006, 32 (3): 63-70.
- [3] 王建捷, 李泽椿. 1998 年一次梅雨锋暴雨中尺度对流系统的模拟和诊断分析 [J]. 气象学报, 2002, 60 (2): 146-155.
- [4] 谢义明, 周国华, 徐双柱. 长江下游一次大暴雨的中尺度模拟分析 [J]. 气象, 2005, 31 (11): 55-60.

