

# 2005年一次持续性梅雨锋暴雨的分析

尹 洁<sup>1</sup> 叶成志<sup>2</sup> 吴贤云<sup>2</sup> 郭文华<sup>3</sup>

(1. 江西省气象台, 南昌 330046; 2. 湖南省气象台; 3. 国家气象中心)

**提 要:** 利用NCEP $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 的6小时分析资料、自动站加密雨量和常规观测等资料,对2005年6月17~21日江西省梅汛期发生的持续性暴雨过程进行天气动力学诊断分析。结果表明:这次暴雨过程是由9个中 $\beta$ 尺度云团和12个中尺度雨团东移发展造成的。中低层辐合、高层辐散及上升运动的加强对中尺度对流云团和雨团加强发展有重要作用,与暴雨强度有很好的对应关系。在850hPa的西南急流中不断有急流核生成并发展东移,中尺度暴雨云团和雨团出现在急流核北侧约200km处。

**关键词:** 梅雨锋暴雨  $\beta$ 中尺度对流云团 诊断分析 低空急流

## Analysis of a Continuous Heavy Rainfall Event in 2005

Yin Jie<sup>1</sup> Ye Chengzhi<sup>2</sup> Wu Xianyun<sup>2</sup> Guo Wenhua<sup>3</sup>

(1. Jiangxi Provincial Meteorological Observatory, Nanchang 330046;  
2. Hunan Provincial Meteorological Observatory; 3. National Meteorological Center)

**Abstract:** Based on the reanalysis data ( $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ , 4-times-a-day) of NCEP, the high-density automatic gauge's rainfall data and the conventional meteorological data, a synoptic and dynamic diagnosis of the continuous rainfall event from June 17 to 21, 2005 in Jiangxi Province is made. The results show the event was caused by 9 local meso- $\beta$  scale cloud clusters and 12 eastward-moving and growing strong convective rain clusters. Low level convergence, upper level divergence and up-ward flows are very important to the intensification and maintain of the meso- $\beta$  scale convective cloud clusters and rain clusters, therefore they are related well to the intensity of the heavy rain. The jet-cores appear, develop and move eastward continuously in the 850hPa southwest jet stream with the meso-scale cloud cluster and convec-

tive rain cluster in the 200km north of the jet-cores.

**Key Words:** heavy rainfall meso- $\beta$  scale convective cloud cluster diagnostic analysis lower level jet stream

## 引 言

2005年6月17~21日江西中南部发生了一次持续性强暴雨天气过程,过程总雨量 $>100\text{mm}$ 有50个县市, $>200\text{mm}$ 有13个县市, $>300\text{mm}$ 为6个县市, $>500\text{mm}$ 和 $400\text{mm}$ 各有1个县市,广昌最大 $515\text{mm}$ 。强暴雨主要集中在17日20时至19日20时(北京时,下同),其中63个站点出现暴雨、17个站点大暴雨,宜黄最大达 $146\text{mm}$ ,致使抚河流域和赣江上中游45个县市发生洪涝和滑坡、泥石流等地质灾害,大片房屋倒塌,交通中断(鹰厦铁路中断10小时),农作物被淹。据不完全统计,受灾人口达359万人,死亡9人,直接经济损失19亿元。

江西6月暴雨属于长江中下游梅雨锋暴雨,国内对梅雨已有不少研究。“我国重大天气灾害形成机理与预测理论研究”项目对长江中下游梅雨锋暴雨的形成机理和多尺度物理模型的研究已取得最新成果<sup>[1]</sup>,认为暴雨是在有利大尺度环流背景下产生的中尺度现象,中 $\beta$ 尺度强对流系统是造成暴雨的直接影响系统。近年来有些研究也得出以上结果<sup>[2~5]</sup>,但多以单日暴雨进行分析。本文利用NCEP $1^\circ\times 1^\circ$ 的6小时分析资料、逐小时加密雨量资料、常规观测资料及FY-2C卫星的TBB资料,对2005年6月17~25日暴雨过程进行了天气动力学诊断分析,探讨触发中尺度系统发生发展的动力学条件,以提高对梅雨锋暴雨形成机理及预报理论的认识。

## 1 环流形势特征

本次持续性暴雨过程500hPa环流形势特征是欧亚中高纬为两槽一脊形势(图略),两槽分别位于欧洲到西西伯利亚平原和贝加尔湖东部到东西伯利亚,长波脊在中西伯利亚到贝加尔湖,该脊相对较弱,则使本次暴雨过程成为江西省梅汛期持续性暴雨仅10%在无阻塞高压下产生的个例。

暴雨期间,在中低纬度南海到菲律宾以东洋面上空,西太平洋副高呈带状分布, $120^\circ\text{E}$ 副高脊线稳定在 $17^\circ\text{N}$ 附近,其西侧和北侧盛行一支强西南气流,将低纬海洋上的水汽、动量和热量源源输向暴雨区。同时东部长波槽中不断分裂冷空气东移南下与副高西北侧的西南暖湿气流交绥于江南一带,为本次暴雨过程提供了有利的环流形势。

冷暖空气的交绥是通过位于江南一条近于东西走向中低层切变线来实现,850hPa切变线南侧维持一支风速达 $14\sim 20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的西南低空急流。北侧是一支风速为 $6\sim 8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的偏东气流。中低层切变线是本次暴雨过程天气尺度的影响天气系统。

## 2 暴雨的天气动力学诊断分析

### 2.1 持续性暴雨的中尺度特征分析

暴雨是一种复杂的天气现象,涉及到各种尺度的相互作用。暴雨的发生必须具备一定的尺度背景条件,而暴雨的强度、落区又直接与中尺度扰动的活动密切相关。有研究指出<sup>[2~5]</sup>,梅雨锋上常有中尺度系统活

动,并伴随一个个中尺度暴雨雨团直接造成暴雨,它们在各种系统相互作用中起关键性的作用。

### 2.1.1 降水的中尺度特征

将 1 小时降雨量  $\geq 10\text{mm}$ 、生命史  $\geq 2$  小时、空间尺度在 100km 以内的雨区定义为中尺度雨团,其中每小时降雨量  $\geq 25\text{mm}$  雨区定义为强中尺度雨团。据此对本次暴雨过程中的降雨中尺度特征进行分析得到,该过程共出现 12 个中尺度雨团(表 1),其中 7 个强降雨团,生命史最长 8 个小时,最短 3 个小时。它们均产生在 850hPa 上切变线南侧和地面静止锋附近,并沿静止锋方向缓慢东移,水平尺度一般在 100~200km。分析发现,17 日 20 时至 19 日 20 时共有 8 个中尺度雨团生成并发展,其中 5 个强降雨团,是中尺度雨团发展最旺盛阶段,随后 48 小时是雨团发展相对弱的阶段,仅生成 4 个雨团。

表 1 6 月 17~21 日江西暴雨期间雨团概况

编号	生消时间 /日.时	生命史 /h	最大雨量 /mm·h <sup>-1</sup>
1	17.20~18.02	7	峡江 37.4
2	18.03~18.05	3	宜黄 39.9
3	18.06~18.13	8	资溪 25.3
4	18.14~18.20	7	资溪 23.9
5	19.00~19.02	3	东乡 23.1
6	19.03~19.08	6	南城 43.7
7	19.09~19.13	5	永新 27.8
8	19.18~19.20	3	吉安 16.7
9	19.21~20.01	5	兴国 43.0
10	20.16~20.21	6	石城 28.0
11	21.07~21.09	3	石城 19.2
12	21.16~21.20	5	南丰 15.1

### 2.1.2 中尺度对流云团活动特征

定义云顶亮温  $\leq -52^\circ\text{C}$ 、面积在 400~45000km<sup>2</sup> 以内并且生命史  $\geq 3$  小时的对流云团为中  $\beta$  尺度云团,统计结果见表 2。

表 2 6 月 17~21 日江西暴雨期间中  $\beta$  尺度对流云团活动特征

编号	时间 /日.时	移动 方向	TBB 强 度/ $^\circ\text{C}$	生命史 /h	1 小时最大 雨量/mm
1	17.20~18.05	E	-70	9	宜黄 39.9
2	18.06~18.16	ENE	-65	10	资溪 25.3
3	18.16~18.21	ENE	-70	5	资溪 23.9
4	19.02~19.10	E	-70	8	南城 43.7
5	19.10~19.17	E	-80	7	永新 27.8
6	19.21~20.02	E	-70	5	兴国 43.0
7	20.15~20.21	E	-70	6	石城 28.0
8	21.05~21.11	E	-60	6	石城 19.2
9	21.16~21.20	E	-60	4	南丰 15.1

在表 2 中,本次暴雨过程共有 9 个中  $\beta$  尺度对流云团活动,对流云团的云顶亮温均  $\leq -60^\circ\text{C}$ ,生命史通常为 4~9 小时。它们生成于中低层切变线南侧、西南低空急流左侧和位于地面静止锋附近,并沿 500hPa 低槽前部主气流方向向东移动。

从表 1 和表 2 中可知,中尺度雨团的发生与中尺度对流云团的活动密切关联。中尺度对流云团发展期也是中尺度雨团活跃期。此时段均在 19 日 20 时之前,与江西暴雨强度强和范围大相对应(图 1),表明强降雨主要是中  $\beta$  尺度对流云团所造成的。

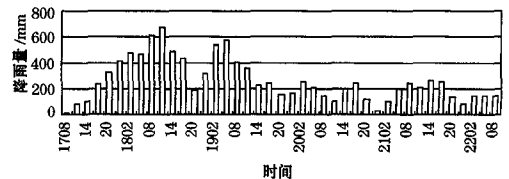


图 1 2005 年 6 月 17 日 08 时~22 日 08 时江西省逐 3 小时雨量

### 2.2 动力学诊断分析

利用 NCEP1°×1°的 6 小时再分析资料计算的物理量场,用以诊断分析触发中尺度对流系统发生发展的动力学条件。

表1显示17日20时至18日17时是中尺度雨团活跃期、并出现暴雨峰值。该时段的动力学诊断结果如图2所示,18日02~08时,江西中部有一正涡度区从西向东发展加强,08时正涡度中心移至赣中,强度增至大于 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ (图2b),相伴出现第一次暴雨峰值,14时以后正涡度中心东

移到闽北,江西降水减弱。

由散度场显示出(图3),18日02~08时,江西东南部有一辐合区向东偏北移动并加强,08时辐合中心移至赣东到闽西一带,强度小于 $-7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,与第一次暴雨峰值相对应,强降水位于辐合中心北侧。18日14时辐合区移出江西,暴雨减弱。

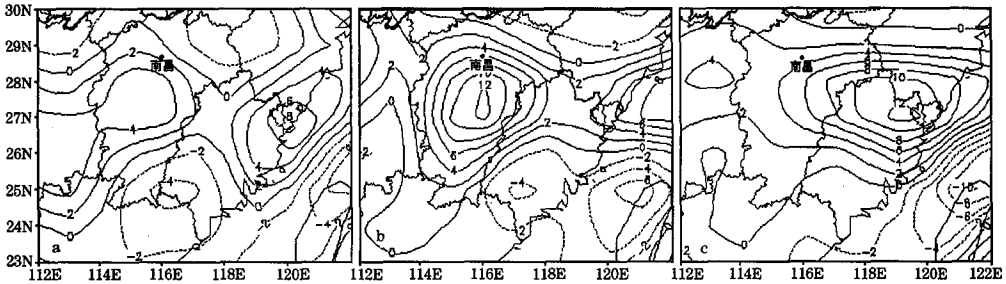


图2 2005年6月18日02时(a)、08时(b)、14时(c)850hPa涡度(单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )

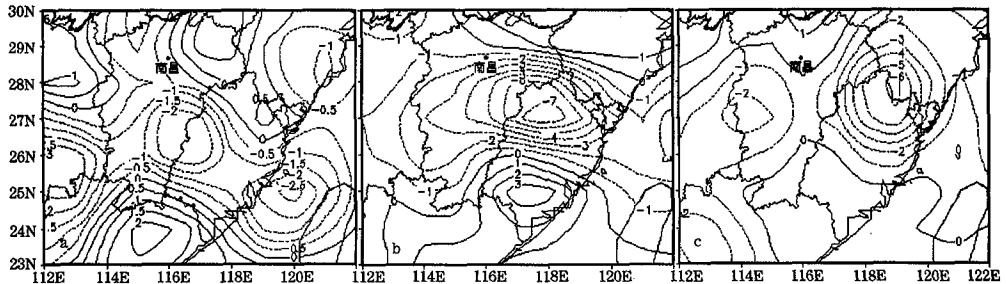


图3 2005年6月18日02时(a)、08时(b)、14时(c)850hPa散度(单位:  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )

从水汽通量散度分布图上可见(图略),18日02~08时,江西中南部有一水汽通量辐合区向西北方向移动并加强,08时辐合中心加强(小于 $-10 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ),强降水出现在辐合中心附近。

图4是6月18日08时沿 $116^\circ \text{ E}$ 暴雨区垂直速度经向高度剖面图,由图可见,18日08时在暴雨区上空有一强上升运动区,上升运动中心小于 $-140 \times 10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ,位于400hPa上,强降水分布在上升区北侧。14时其强度减弱(小于 $-50 \times 10^{-2} \text{ hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ),并下移到600hPa层(图略),20时暴雨区上空被下沉气流所控制,降水明显减

小。

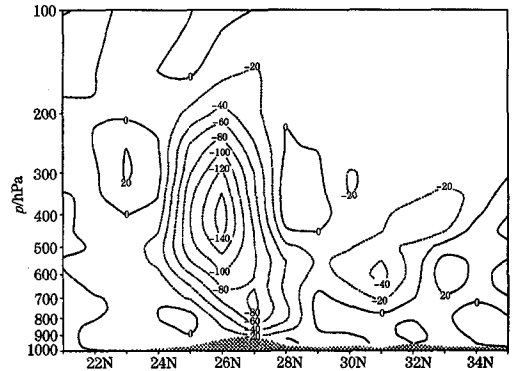


图4 2005年6月18日08时沿 $116^\circ \text{ E}$ 暴雨区垂直速度经向-高度剖面图

阴影部分为地形廓线,垂直速度单位:  $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$

从图5a中可看到,17日08时至21日20时,在700hPa层以下是辐合区,以上层以辐散为主,但有时也出现辐合区,反映了大气运动的复杂性。中低层辐合区中辐合并非总是均匀的,呈现时强时弱的波动状况。18日08时和19日08时前后发生了两次辐合显著加强过程,辐合中心极值依次小于 $-6.8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 和 $-6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,与图1中前2次暴雨高峰期相吻合。揭示了暴雨区中低层辐合强度大小与中尺度雨团强弱有很好的关系。暴雨区高层辐散强度与中尺度暴

雨雨团强度也相应类似的,这可能对暴雨强度预报有一定指示意义。

17日08时至21日20时,925~650hPa为正涡度区,以上是负涡度区。正涡度呈现波状变化。18日08时涡度最强,中心值大于 $12 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,正涡度柱顶端最高,对应首次最强暴雨峰值区,19日08时为次强涡度区,中心值大于 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,对应第二次次强暴雨峰值区。此后又有3次涡度加强,但强度较弱,分别对应3次弱暴雨峰值。由此可见,中低层涡度大小与中尺度雨团强弱也有很好的关系。

暴雨期间,18日08时和19日08时各出现一次强上升运动区,上升运动中心分别小于 $-1 \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ 和 $-0.9 \text{ Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$ ,对应前2次暴雨峰值区。此后又出现2次弱上升区,暴雨强度也相应减弱。可见上升运动强度与中尺度雨团强弱也存在很好对应关系。

综上所述,19日20时之前低层辐合、高层辐散及上升运动明显强于后期,此间是中尺度雨团和云团发展最盛期间,暴雨亦最明显。19日20时以后低层辐合、高层辐散及上升运动均减弱,暴雨也明显变弱。由此可见,中低层辐合、高层辐散及上升运动的加强对中尺度云团和雨团加强发展有重要作用。

### 2.3 低空急流脉动

低空急流是一种动量、热量和水汽的高度集中带,是中纬度产生暴雨的重要系统。有研究表明低空急流与暴雨的相关系数达0.8<sup>[6]</sup>。据统计,江西省汛期暴雨期间850hPa上有89%的天数出现西南低空急流<sup>[7]</sup>。

分析逐6小时850hPa全风速场发现,本次暴雨过程期间,在850hPa切变线南侧到华南地区一直维持强西南低空急流,在急流中存在长约200~250km的急流核并沿急

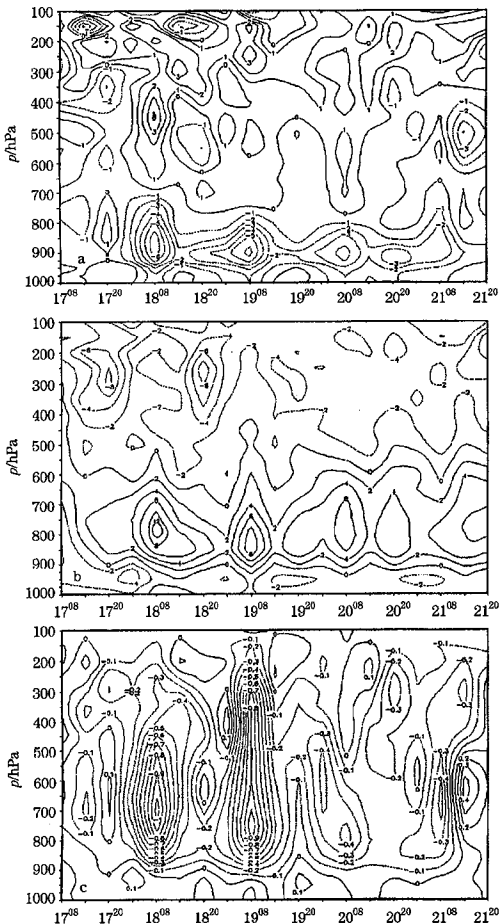


图5 暴雨区(27°N, 117°E)散度(a)、涡度(b)和垂直速度(c)时间垂直剖面  
单位:散度、涡度为 $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ,垂直速度为 $\text{Pa} \cdot \text{ s}^{-1}$

流轴向下游传播，即急流核不是固定在某个区域，而是随时间不断形成并东移加强，出现低空急流脉动现象。17~21 日共有 5 次急流核东移发展过程，并且每次急流核发展都与急流核北侧的强辐合区在时空上配合得很好。以第 1 次急流核东移发展为例（图 6），17 日 20 时，在赣南有  $-12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  的急流核，18 日 02 时加强（大于  $16\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）并略北移，18 日 08 时急流核移至赣东南到

闽西，并增强（大于  $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ），18 日 14 时，继续东移至闽东到台湾海峡。从图 3 中可看出，17 日 20 时 850hPa 辐合区位于急流核的前部，随着急流核的东移发展，18 日 02~08 时辐合区强度也随之加强，且辐合区位于急流核的左前方。由此进而证实，在低层急流的前方或左前方易出现强辐合区。

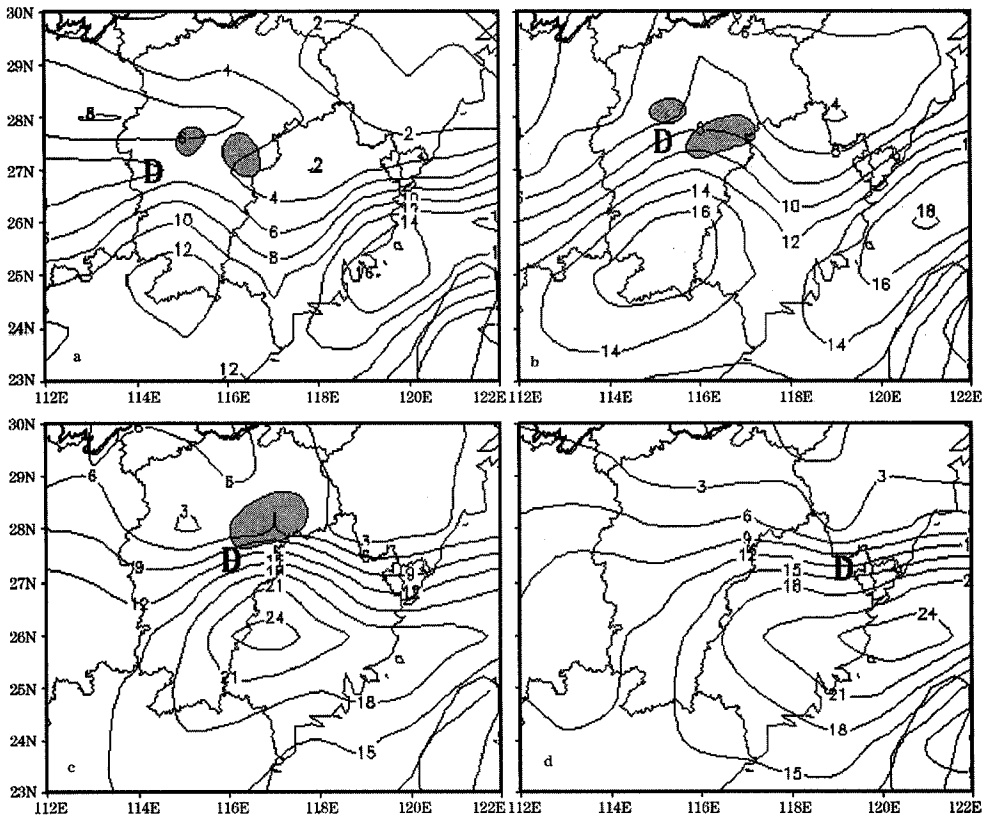


图 6 2005 年 6 月 17 日 20 时 (a)、18 日 02 时 (b)、08 时 (c)、18 时 (d) 850hPa 全风速 D 为 850hPa 正涡度中心，阴影区为 6 小时暴雨区

从图 6 还可见，中尺度雨团与急流核配置很有规律，即在急流核东移发展过程中，中尺度雨团始终位于急流核中心北部约 200km 处，并与急流核同时加强，当急流

核移到闽东到台湾海峡时（图 6d），江西处于急流核后部，这时仅出现中到大雨，进一步表明暴雨与急流核关系密切。18 日 20 时之后 4 次急流核过程中也同样存在上述配置

规律(图略)。可见低空急流对梅雨锋暴雨的重要作用,它是为暴雨区提供水汽和动量的重要机制。丁一汇<sup>[6]</sup>研究指出:低空急流主要以中尺度扰动的形式向暴雨区输送动量、热量和水汽,因此沿低空急流轴传播的中尺度风速脉动或风速最大值甚至比低空急流本身更为重要。

### 3 结 论

(1) 本次持续性暴雨是在欧亚中高纬为两槽一脊、中西伯利亚未形成阻高的环流形势下产生的,中低层切变线、西南低空急流是暴雨天气尺度的主要影响系统,中 $\beta$ 尺度对流云团是暴雨的直接影响天气系统。

(2) 该暴雨过程是 12 个中尺度雨团和 9 个中尺度云团沿切变线东移发展造成的。中低层辐合、高层辐散及上升运动的强度与中尺度对流云团、中尺度雨团强弱有很好对应关系,对暴雨强度预报有一定预报指示意义。

(3) 在中低层西南气流中共出现 5 次急流核东移发展过程,在急流核的前方或左前方出现强辐合区。中尺度暴雨雨团始终位于急流核中心北部约 200km 处,并与急流核同时加强。

### 参考文献

- 1 倪允琪,周秀骥.我国长江中下游梅雨锋暴雨研究的进展.气象,2005,31(1):9~12.
- 2 杨克明,张守锋,张建忠.“0185”上海特大暴雨成因分析.气象,2004,30(3):25~30.
- 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与诊断分析.气象学报,2002,60(2):146~155.
- 4 赵玉春,王叶红.“7.22”长江中游暴雨中尺度系统的数值模拟与分析.气象,2005,31(1):13~18.
- 5 徐双柱,沈玉伟,王仁乔.长江中游一次大暴雨的中尺度分析.气象,2005,31(9):24~29.
- 6 丁一汇.高等天气学.北京:气象出版社,2005:443~444.
- 7 尹洁,陈双溪,刘献耀.江西汛期连续暴雨形势特征与中期预报模型.气象,2004,30(5):16~20.