

2005年“5.31”湖南暴雨过程 触发维持机制

李 峰 张芳华 熊敏詮 杨克明 毛冬艳

(国家气象中心,北京 100081)

提 要: 利用实时观测资料和 NCEP $1^\circ \times 1^\circ$ 的 6 小时再分析场,对 2005 年 5 月 31 日至 6 月 1 日湖南暴雨发生的大尺度背景、环境场条件以及触发、维持机制进行了分析和诊断。结果表明:高低空急流的优势配置,耦合形势的建立以及高空急流右侧的强辐散场的存在为暴雨的发生提供了有利的环境条件;从低层到中高层偏南暖湿气流的突然爆发对暴雨对流系统的启动十分重要,暖湿空气在中高层凝结释放潜热,加热高层大气,对上升气流起到正反馈作用;200hPa 大气的强“抽吸”效应对此次暴雨过程的维持和发展起着主导作用,并且和凝结加热相互作用。

关键词: 暴雨 环境条件 维持机制

Environment Field and Maintaining Mechanism Analysis of “5.31” Heavy Rainfall in Hunan in 2005

Li Feng Zhang Fanghua Xiong Minquan Yang Keming Mao Dongyan

(National Meteorological Center, Beijing 100081)

Abstract: Large-scale background, environment field and triggering, maintaining mechanism are diagnosed with the observation data and NCEP 6-hourly reanalysis data with resolution $1^\circ \times 1^\circ$. The results show that erectness of coupling pattern between upper-layer jet and low jet and a divergence area, which came forth in right of upper-layer jet provide favorable surrounding conditions. It's vital for triggering the rainfall that warm and moist southerly air flow erupt from low layer to the upper-mid of troposphere. Latent heat release from vapor

资助项目: 国家气象中心自筹资金资助

收稿日期: 2005 年 8 月 30 日; 修定稿日期: 2005 年 10 月 27 日

condensation plays positive feedback to the ascending air. It's a key for the heavy rainfall maintaining and development that a strong pump at 200hPa exists, which interacts with vapor condensation heating.

Key Words: heavy rainfall environment conditions maintaining mechanism

引言

前人的研究表明,在不同的环境条件和天气形势下,锋面系统^[1]、低层气流辐合线^[2,3]、高层辐散场的存在^[4]、地形抬升以及重力波的作用^[5~7]都可以触发并维持对流系统的爆发形成局地暴雨。最近几年,地理条件对暴雨的影响越来越受到大家的重视,并提出了一些特殊地形对局地暴雨的强化作用和触发机制理论,人们逐步对发生在青藏高原附近、陕南山区、太行山下游等地形暴雨的形成机制有了较深入地了解^[8~11]。然而,在湘西、云贵高原一带是我国著名的暴雨发生区,该地区地形条件复杂,但长期以来受到的关注却不多。2005年5月31日20时至6月1日20时(北京时,下同),贵州、湖南等地突降强暴雨,仅湖南省约有50多站24小时降雨量超过50mm,有1站日降水量超过200mm。以6小时雨量计,溆浦、娄底、沅陵等地都达到90多毫米。该次过程历时短,突发性强,并引发了局地山地滑坡、泥石流和洪涝灾害,造成巨大的经济损失和人员伤亡。“5.31”湖南暴雨,就是发生在云贵高原和湘西山区特殊地理条件下的局地暴雨,其启动机制和影响系统是否具有特异性,为什么降雨会在短时间内突然增强,对流系统又是如何发展和维持的?通过对这些问题的研究,可以很好地揭示云贵、湘西等地局地暴雨的特性,对认识该地

区暴雨系统的发生发展规律十分必要。

1 大尺度环流背景

2005年5月6日,亚洲中高纬度大气环流发生调整,由两脊一槽型转变为两槽一脊型。乌拉尔山和雅库茨克地区形成了两个切断低涡,中心强度分别达到5200gpm和5320gpm,贝加尔湖西部建立起一个阻塞形势,在阻高前部贝加尔湖西南地区形成了一个冷涡系统,该系统缓慢向东南方向移动至蒙古东部。在该形势下,北方冷空气从高原北部以西北路径南下至四川盆地,另一股从蒙古冷涡后部经河套地区回流至西南地区东部。同期,在500hPa上中纬度地区从高原上不断有短波槽分裂东移,造成西南地区东部至江南西部地区为大气位势不稳定区。

5月29日起,西太平洋地区副热带高压处于一种爆发性增强的态势。5月30日,副高突然加强西伸,5月31日,西脊点已经越过110°E,西部脊线位置约在14°N附近。这样,在副热带高压西侧南海地区的西南季风得到加强,与此同时,孟加拉湾西南季风的补充输送,使得沿中南半岛、南海西部、桂西到黔南、湘西一带建立了一支强大的水汽通道,将南海上空的水汽不断向贵州、湖南、四川等地输送。从5月30日20时起,湖南暴雨区上空的大气可降水量得到明显的补充,处于高饱湿的状态,为暴雨的发生提供丰沛的水汽条件(见图1)。

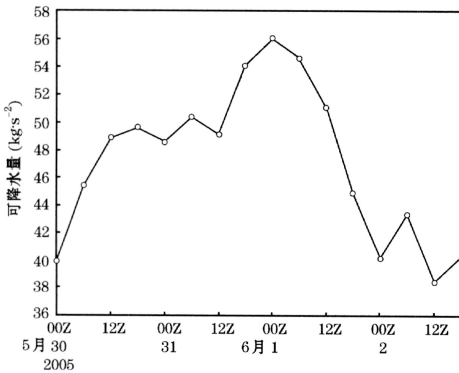


图1 湖南暴雨区(27~29°N、109~114°E)上空平均大气可降水量变化(单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$)

2 触发湖南暴雨发生的环境流场

2.1 高低空急流演变

在亚洲地区中层大气环流形势调整成两槽一脊的背景下,东亚地区高低层形势也有明显变化。5月31日00~08时,随着副热带高压的加强西伸,其西侧108°E附近的偏南气流明显加强,850hPa上副热带高压西北方的桂黔一带出现了 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的低空急流轴。此时,200hPa上,高空急流核还位于40°N以北,在30~35°N之间是一条弱的西风带,湖南北部一带形成了弱的辐散区。低层在湖南中部出现了弱的上升区,该时段在贵州北部、湖南中北部出现了小到中雨。随后,08~20时,850hPa上的低空急流迅速向东频散、减弱,200hPa上西风急流出现一次更替过程,原位于40°N以北的急流中心也快速向东移动,在其后部我国西北地区东部上空又形成了一个 $50\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的强大急流核。31日20时,该急流中心已经位于35°N、105°E附近,并继续加强向东南方向移动。此时,在低层(850hPa),桂黔一带低空急流再次建立,川南、黔西北出现降雨。6月1日02时,

高空急流核已经移动到35°N、112°E附近,850hPa低空急流加强到 $12\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,并向湖南方向移动。1日08时,高空急流中心移动到了34°N、117°E附近,低空急流的前锋($10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风的前沿)伸展到湖南中部,在200hPa高空急流入口区的右侧(湖南中北部上空)出现了非常强的辐散运动(散度 $10 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 以上),而在低空急流的左前方的湖南出现了较强的上升运动(图2)。在这种高低空急流配置达到最优形势下,这一时刻,该地区相应出现了强降雨,局部地区的6小时降水量超过了100mm。

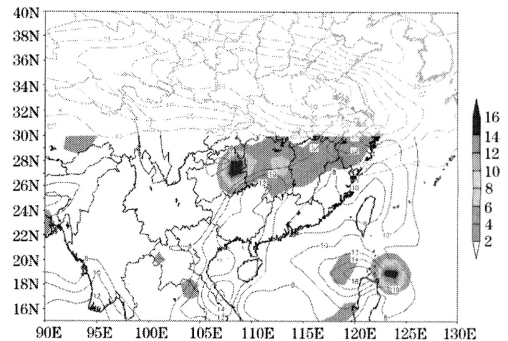


图2 2005年6月1日08时东亚地区高低空急流的形势分布

虚线为200hPa上大于 $30\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速;实线为850hPa上大于 $10\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速;阴影区为200hPa上大于 $2 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 辐散区

2.2 环境流场的作用

经湖南暴雨区作经向剖面(沿112°E),如图3a、b所示。在暴雨发生前12小时,湖南偏南暖湿气流较弱,主要位于700hPa以下,从北方中高层(500~200hPa)滑下的干冷空气非常强大,在湖南省上空中层大气形成了一个冷盖(340K),低层大气暖湿受到抑制,在冷空气下积聚、酝酿。31日20时,近地面层 θ_w 达到360K,使得湖南上

空中低层形成了强烈的对流不稳定。6月1日02时, 28°N以南的偏南风势力迅速增强, 从低层到400hPa附近都建立了偏南气流, 北方冷空气继续从中高层而下, 两者在29°N附近相遇, 触发了上升运动, 低层一部分溢出的偏东气流向西运动遇到云贵山地, 受地形抬升最终也汇入到上升气流通道中。此时, 上升气流可达到300hPa以上, 受偏北气流影响, 其向南倾斜, 并在25°N附近400hPa高度上形成了一个反环流, 反环流的下沉支进一步加强了中低层的偏南风。另外, 激发的上升气流也将低层的暖湿空气抬升, 当达到凝结高度, 潜热释放加热进一步促进对流发生, 这在后面的热力条件分析中还可以很好的看到。1日08时, 中层偏南气流进一步加强, 南北气流势力基本均衡, 湖南上空垂直上升气流一直可以达到100hPa附近。从图3上还可以看到, 上升气流在中层600hPa高度, 29°N附近形成了一个中尺度正环流圈, 250hPa高度上形成了一个南风核, 这一方面反映了偏南气流的增强, 另外也可能是中层凝结加热作用的结构, 这将在后面进一步分析。1日14时, 中层的偏南气流继续加强, 势力逐渐强于偏北气流, 在湖南上空开始形成了上升气流的向北倾斜, 湖南上空偏北地区500hPa和300hPa高度上都形成了一个中尺度次级环流, 这两个正环流对随后的偏北气流的加强起到进一步的推动作用。1日20时, 26°N以北900hPa以上几乎全部转为北风控制, 湖南地区上空对流活动基本消失, 降雨也随之结束。另外, 在南北气流作用的同时, 在东西方向上, 可以看到(图3c)低空西南风与高空急流建立了清楚地耦合关系, 低层气流被吸附到高空, 形成了强烈的抽吸作用, 这种形势在暴雨发生前6小时到暴雨发展时(6月1日02时到6月1日08时)最为显著。

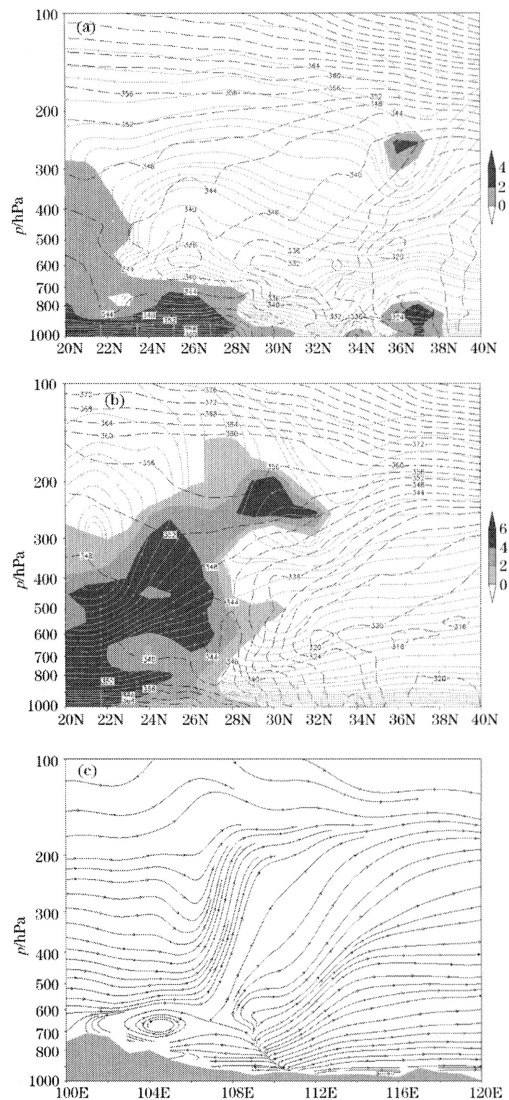


图3 2005年5月31日20时(a)、6月14时沿112°E的经向剖面及6月1日02时沿28°N纬向流场垂直剖面

图a、b: 阴影区表示 $v > 0$ 的南风; 虚线为 θ_e , 细线为流线; 图c: 阴影区为地形高度

2.3 动力场结构的变化

从上述分析看, 环境气流的碰撞对暴雨发生前上升运动的启动起到了决定性作用, 暴雨发展过程中, 受环境流场的改变, 对流

活动中衍生的中尺度系统也不断变化，对环境场也产生不同反馈结果，而这种环境场的变化又是如何产生的呢？

从前面高低空急流演变分析可知，31日20时到6月1日08时，高低空急流的位置非常有利于暴雨的发生，尤其在高空急流的南侧，湖南北部地区出现了明显的辐散风。6月1日02时，暴雨区上空出现了 $3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的正散度中心，此时，低层还没有成型的负散度分布。从北方高空下传的正涡度也表明，这一时刻，低层的正涡度不到 $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，而500hPa以上，尤其200hPa高度出现了一 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的涡度中心，正位于暴雨区上空，这不但表明此时已经形成较强的风压场的斜压结构，而且高空的反涡旋辐散作用超前并强于低层的涡旋辐合作用。1日08时，暴雨发展时，400hPa以下均演变为正涡度区，在对流层低层850hPa高度

正涡度中心值达到 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，而200hPa偏低的高度上负涡度值超过 $-10 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ ，表明反涡旋作用非常强大。同时，散度场正值中心位于200hPa层次上，达到 $6 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 以上的强度，在对流层的中低层，负散度场仅仅只有 -2×10^{-5} ，这表明高空的辐散的主导作用在暴雨发展时也达到最强，而高空散度与涡度的位置关系，也表明辐散对涡旋产生是起到先导作用的（图4）。随后可以看到，这种高低空的动力场配置发生了变化，高空散度区的位置随着急流的变化发生了漂移，强度也逐渐减弱，高空的动力作用减弱，低层的涡旋作用在维持暴雨的发生（图略），但雨强明显减弱。根据前面分析，这种动力场结构和环境流场相互作用，两者非常一致，结果表明，在此次湖南暴雨发生过程中，高空的辐散抽吸作用对于暴雨的发生发展的确起到了主要的作用。

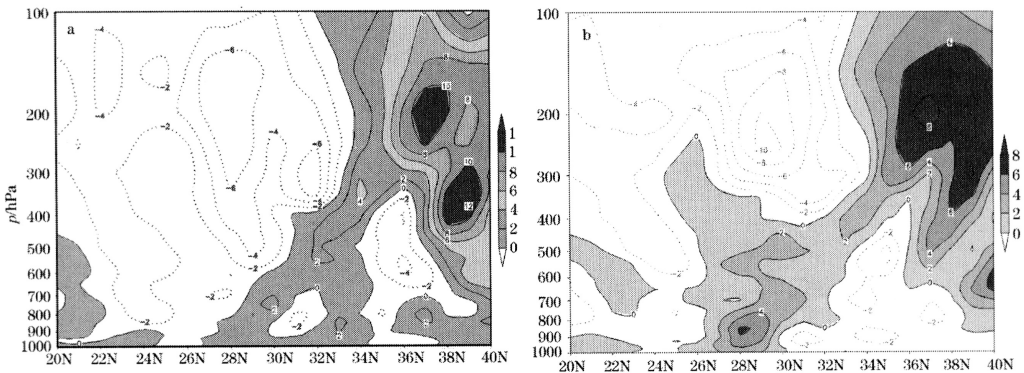


图4 2005年6月1日02时(a)、08时(b)沿112°E涡度经向垂直剖面(单位： $10^{-5} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 暴雨维持的局地热力场分析

本次湖南暴雨过程历时短，突发性强。主要强降雨出现在6月1日02~20时，一个显著特点就是在6月1日08时湖南局部地区降雨突然增强。从前面的分析看，环境

场提供了很好的动力和水汽条件。从热力场的变化来看（图略），5月31日18时前，在湖南暴雨区的视水汽汇（ Q_2 ）和视热源（ Q_1 ）普遍较弱，且集中分布在500hPa以下，这表明，该时段的降雨主要以大尺度平流性降雨为主，对流性不强。6月1日02时，在暴雨区上空视热源和视水汽汇突然增

大, 上午 08 时, 达到最强, 视水汽汇出现了双峰结构, 中心分别位于 700hPa 和 400hPa 附近, 视热源增大到了 $9\text{K} \cdot (6\text{h})^{-1}$, 中心位于 300hPa 下方, 要高于视水汽汇中心。同时, 可以看到, 大气垂直运动速度明显增加, 最大上升区位于 300hPa 附近。由此可见, 该时刻发生明显的对流运动, 水汽被输送到大气中高层凝结, 释放的凝结潜热被上升气流继续抬升到更高的高度, 加热大气, 进一步促进对流活动。这种热力效果可能就是造成图 3 中 600hPa 和 300hPa 高度上中尺度涡旋的原因, 进而造成中高层尤其高层环境流场的变化, 使得高

层辐散增强, 抽吸作用加剧。

将 Q_1 和 Q_2 分解成局地项、水平平流项和垂直输送项, 各项不同的作用就可以更清楚地揭示湖南暴雨发生时对流活动与环境流场的密切关系 (图 5)。暴雨发生前, 在暴雨点 (28°N 、 112°E) 上空, 视水汽汇主要集中在 800hPa 以下, 且局地变化项、水平平流项以及垂直输送项都较弱, 同时, 视热源也集中在对流层中下部, 局地变化和水平平流项呈反位相, 虽强度较弱, 但共同加热大气, 使下层大气温度逐渐升高, 此时, 对流加热项的作用还十分弱, 这就是前面所分析的暴雨酝酿阶段, 即 5 月 31 日 20 时,

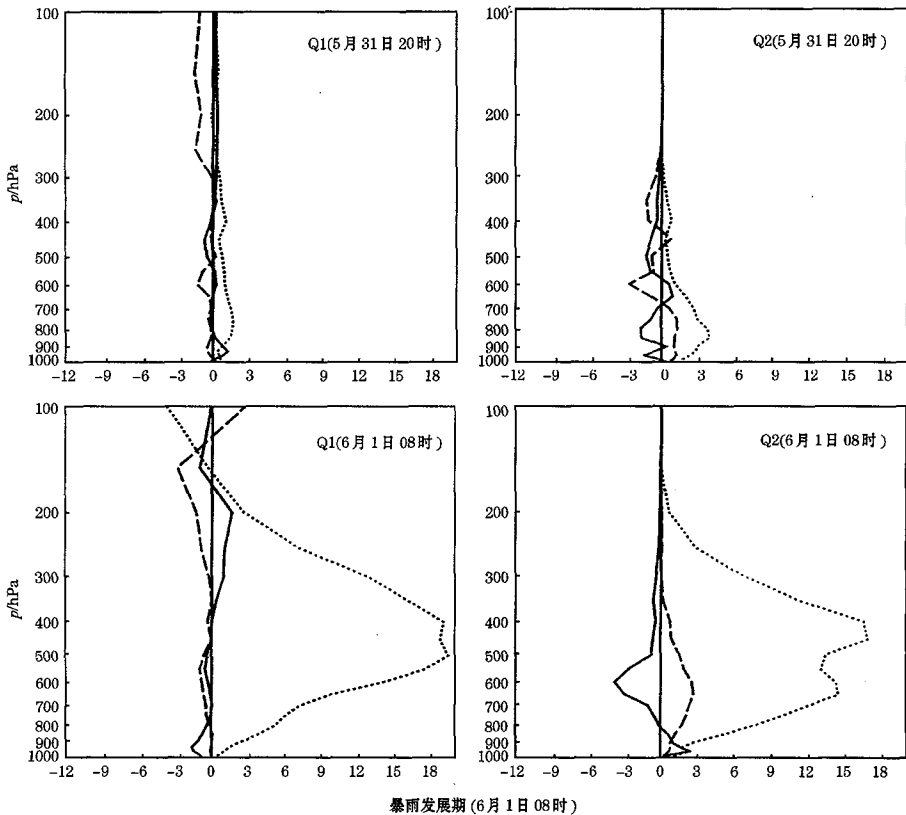


图 5 暴雨发生前 (5 月 31 日 20 时)、发展期 (6 月 1 日 08 时) 暴雨点 (28°N 、 112°E) 上空视热源 Q_1 、水汽汇 Q_2 各分量的垂直廓线

实线为局地变化项, 虚线为水平平流项, 点线为垂直输送项, 单位: $\text{K} \cdot (6\text{h})^{-1}$

湖南上空低层偏南暖湿气流发展, 北方中高层干冷空气滑下形成冷盖, 压制暖湿空气的扩散和爆发。而暴雨发生发展时, 可看到视热源和视水汽汇的平流项仍然较弱, 但垂直输送项明显增大, 大值中心强度分别可以超过 $18\text{K} \cdot (6\text{h})^{-1}$ 和 $15\text{K} \cdot (6\text{h})^{-1}$, 主要位于对流层中层。 Q_{200} 呈双峰结构, 中心分别位于 750hPa 和 450hPa 附近, Q_{100} 大值区位于 500~400hPa, 中心略高于 Q_{200} , 这种分布与前面的分析十分一致。表明该时刻低层暖湿空气已经突破上部干冷空气的压制, 对流活动爆发, 热源随垂直涡动运动被输送到对流层中层, 加热中层大气, 维持和促进暴雨发生时 (02~08 时) 的垂直上升运动, 并激发了中尺度环流。1 日 20 时, Q_1 和 Q_2 的各项作用都明显减弱, 尤其垂直输送项作用基本消失, 表明对流加热也基本结束, 此时湖南上空被偏北干冷空气控制, 暴雨结束。

4 小 结

(1) “5.31” 湖南暴雨发生前, 亚洲中高纬度地区已经完成环流调整, 由“两脊一槽”型转变为“两槽一脊”型。乌拉尔山地区的长波槽和蒙古低涡的稳定维持, 为冷空气从东西两路南下提供了有利的环流条件。副热带高压的加强西伸和南海季风的突然加强北上为湖南暴雨的发生提供了有利的水汽条件。

(2) 5 月 31 日, 200hPa 上高空急流加强南下, 同时, 对流层低层低空急流建立, 并向贵州、湖南地区推进, 高低空急流形成了优质配置, 高空急流入口区右侧的高层强辐散场形成, 正位于湖南暴雨区上空, 高低空急流耦合也十分有利于该地区大气形成强烈的上升运动。

(3) 低层到中层偏南气流的突然加强, 使得低层的暖湿气流突破北方南下的冷空气的压制, 向上爆发, 对暴雨的发生起到触发作用。上升的暖湿空气在对流中层凝结释放潜热, 加热中高层大气, 激发了中尺度涡旋, 加强了高层大气的上升运动, 高层大气辐散增强, 抽吸效应进一步维持了对流活动。因此, 凝结潜热的释放对于暴雨的加强和进一步发展起到很好的促进作用。

致谢: 感谢湖南省气象台周雨华高工提供了部分灾情雨情资料

参考文献

- 1 李红莉, 沈桐立, 谢有才. 一次梅雨锋暴雨的模拟与诊断分析. 气象, 2005, 31 (3): 22~27.
- 2 肖艳娇, 张家国, 万蓉等. 切变线暴雨中尺度系统的多普勒雷达资料分析. 气象, 2005, 31 (2): 35~38.
- 3 孙淑清, 翟国庆. 低空急流的不稳定性及其对暴雨的触发作用. 大气科学, 1980, 14 (4): 327~337.
- 4 官元红, 周伟灿, 张兴强. 一次强暴雨形成的动力机制. 南京气象学院学报, 2004, 27 (6): 728~734.
- 5 高守亭. 流场配置及地形对西南低涡形成的动力作用. 大气科学, 1987, 21 (11): 263~271.
- 6 高守亭, 赵思雄, 周晓平等. 次天气尺度及中尺度暴雨系统研究进展. 大气科学, 2003, 27 (4): 618~627.
- 7 Peng Jiayi, Wu Rongsheng, Wang Yuan. Initiation Mechanism of Meso- β Scale Convective Systems. Advances in Atmospheric Science, 2002, 19 (5): 870~884.
- 8 孙建华, 赵思雄. 华南“94·6”特大暴雨的中尺度对流系统及其环境场研究 II: 物理过程、环境场以及地形对中尺度对流系统的作用. 大气科学, 2002, 26 (5): 633~646.
- 9 毕宝贵, 刘月巍, 李泽椿. 2002 年 6 月 8~9 日陕南大暴雨系统的中尺度分析. 大气科学, 2004, 28 (5): 747~761.
- 10 矫梅燕, 毕宝贵. 夏季北京地区强地形雨中尺度结构分析. 气象, 2005, 31 (6): 9~14.
- 11 龚佃利, 吴增茂, 傅刚. 一次华北强对流风暴的中尺度特征分析. 大气科学, 2005, 29 (3): 453~464.