

文章编号:1673-8411(2018)04-0018-04

## 2017年7月广西大范围暴雨过程分析

黄巾旗<sup>1</sup>,黄子航<sup>2</sup>,黄干淇<sup>3</sup>

(1.贵港市气象局,广西 贵港 537100;2.广西气象培训中心,广西 南宁 530022;3.上思县气象局,广西 上思 535599)

**摘要:**利用自动站雨量、NCEP/NCAR $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 间隔6小时再分析数据、多普勒雷达等资料对2017年7月1~3日广西暴雨天气过程的发生机制进行了分析。结果表明:200hPa南亚高压、高空槽、切变线、地面辐合线、西南急流的共同作用,造成此次大范围暴雨的发生;水汽在低层输送、辐合,为暴雨的发生发展提供了有利的水汽条件;地面辐合线以及深厚强烈的上升运动,对此次暴雨有触发的作用;干冷空气从高层向低层入侵,释放大量凝结潜热,提供能量条件;雷达回波强度强,质心低,强回波集中在暖云层内,降水效率高;地形阻挡、抬升和喇叭口地形的收缩作用,进一步增强了局地极端强降水形成。

**关键词:**暴雨;暖云降雨;列车效应

**中图分类号:**P466

**文献标识码:**A

## Analysis of the heavy rain process in July 2017 Guangxi

Huang Jinqi<sup>1</sup>, Huang Zihang<sup>2</sup>, Huang Ganqi<sup>3</sup>

(1. Guigang Meteorological Service, Guigang Guangxi 537100; 2. Guangxi Meteorological Training Center, Nanning Guangxi 530022; 3. Shangsi County Meteorological Service, Shangsi Guangxi, 535599)

**Abstract:** The occurrence mechanism of rainstorm in Guangxi from July 1 to 3, 2017 was analyzed by using automatic weather stations rainfall, NCEP/NCAR reanalysis data at a 6-hour interval of  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ , and Doppler Radar data. The results investigated that the combined action of 200 hPa South Asia high, trough, shear line, surface convergence line and southwest jet resulted in the occurrence of the large-scale rainstorm. Water vapor transport and convergence at the lower level provided favorable water vapor conditions for the occurrence and development of rainstorms. In addition, the surface convergence line and the deep and strong upward motion triggered the rainstorm. Dry and cold air intruded from high to low levels, releasing a large amount of latent heat of condensation and providing energy conditions. Radar echoes had a strong intensity and a low centroid, strong echoes concentrated in warm clouds led to a high precipitation efficiency; terrain blocking and uplifting as well as the contraction of trumpet-shaped topography further enhanced the formation of local extreme heavy rainfall.

**Keywords:** rainstorm; warm cloud rainfall; train effect

## 1 引言

暴雨是中尺度天气过程,是几种不同尺度系统相互作用的结果。暴雨的分析和预报一直是气象工作关注的重点。针对广西的区域性暴雨天气,陈见、高安宁等进行了研究<sup>[1-10]</sup>,并得出了很多有意义的结论,何华<sup>[11]</sup>等分析了高低空急流在大范围暴雨中

的作用,高安宁<sup>[12]</sup>还分析了弱环境风场下华南西部大范围暴雨的产生原因,徐双柱<sup>[13]</sup>、李晓容<sup>[14]</sup>就中尺度系统、雷达特征和地形等方面分析暴雨的成因。本文利用自动站雨量、NCEP/NCAR  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 间隔6h再分析数据、多普勒雷达等资料对2017年7月1~3日广西大范围暴雨天气过程的发生机制进行诊断分析,为日常预报该类暴雨过程提供依据。

收稿日期:2018-4-29

基金项目:广西区气象局气象科研项目“数值预报模式在贵港地区定量降水、温度格点化预报中的检验及订正”(桂气科2017M16)。

作者简介:黄巾旗(1985-),女,工程师,大学本科,研究方向:天气预报预警服务。

## 2 降雨概况

根据广西气象局规定每日雨量图上(08~08时或20~20时)广西境内的89个市县气象观测站中有 $\geq 10$ 个站日雨量 $\geq 50\text{mm}$ 为区域性暴雨、有 $\geq 20$ 个站则为全区性暴雨。6月30日20时~7月3日20时,广西遭遇了一次大范围的区域性暴雨到大暴雨,局部特大暴雨的降雨过程。根据89个国家气象观测站每日20时~20时雨量统计:7月1日有11个站出现暴雨,为区域性暴雨;7月2日有38个站出现暴雨,其中13个站出现 $\geq 100\text{mm}$ 的大暴雨,为全区性暴雨,区域性大暴雨;7月3日有10个站出现暴雨,区域性暴雨。本次降雨过程具有降雨范围大,局地降雨强度强的特点。根据2879个广西气象观测站和区域气象站每日20时~20时雨量统计:7月1日有261个站出现暴雨,占有所有站的9.1%,最大日雨量为 $270.9\text{mm}$ ;7月2日有929个站出现暴雨,占有所有站的32.3%,最大日雨量为 $606.1\text{mm}$ ;7月3日有253个站出现暴雨,占有所有站的8.8%,最大日雨量为 $306.2\text{mm}$ 。从2017年6月30日20时~7月3日20时累计降雨量图(图1)可以看出,此次降雨过程大于 $100\text{mm}$ 以上的中心主要集中在 $110^\circ\text{E}$ 以东的广西东部地区,其中还有三个大于 $250\text{mm}$ 的特大暴雨中心,分别位于桂林永福、贺州-梧州-贵港北部、玉林博白北部。过程最大降雨出现在桂林永福罗锦镇金鸡河水库 $618.8\text{mm}$ 。从7月1日08时~3日20时最大小时降雨量和小时雨强大于 $20\text{mm}$ 的自动站总数叠加的时序图(图2)可以看出,最大小时雨强大部在 $40\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,有两个时次小时雨强超过 $100\text{mm}$ ,3日08时北海山口 $118.1\text{mm}$ 和2日10时柳州鹿寨 $106.4\text{mm}$ 。小时雨强大于 $20\text{mm}$ 的自动站在2日凌晨开始增多,到2日早上达到最多,为140站,随后开始递减。根据时间段分析,此次暴雨过程可以分为三个阶段,30日20时~1日20时,暴雨出现在桂西北,属于局地性强降雨;1日20时~2日20时,暴雨向南扩展,为此次暴雨过程的主要降雨时段,范围广,强度强;2日20时~3日20时,暴雨南压至广西东南部玉林和沿海地区。

## 3 天气背景

从此次暴雨发生环流分析可以看出,此次暴雨过程是在高空槽、切变线和低空西南急流共同影响下产生的,并且地面有辐合线的生成与维持。整个过

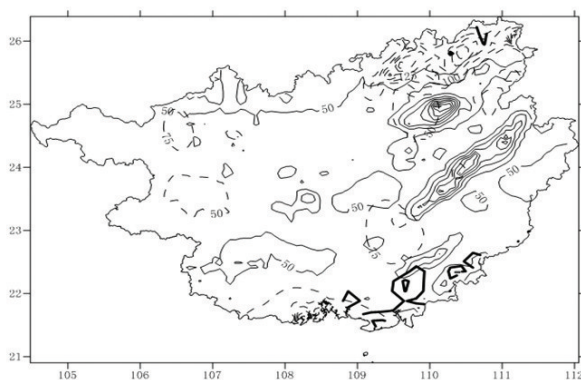


图1 2017年6月30日20时~7月3日20时降雨量图

(短虚线为6月30日20时~7月1日20时累计降雨量;细实线为7月1日20时~7月2日20时累计降雨量;粗实线为7月2日20时~7月3日20时累计降雨量)(单位:mm)

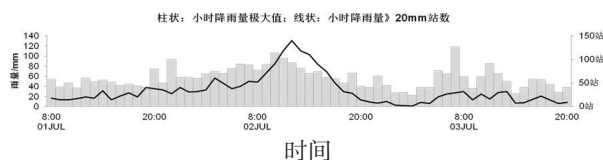


图2 7月1日08时~2日20时小时雨强极大值与雨强大于等于 $20\text{mm}$ 自动站站数时序图

程中广西都处于 $200\text{hPa}$ 辐散场中,为暴雨的发生提供了有利的高空辐散抽吸作用。6月30日20时(图略), $500\text{hPa}$ 高空槽位于青藏高原东部-云南-广西西北边缘一带, $850\text{hPa}$ 、 $925\text{hPa}$ 切变线从四川延伸到云桂交界,桂林处于 $850\text{hPa}$ 急流轴的左侧,降水开始从桂林西北部进入广西。1日20时(图略), $500\text{hPa}$ 高空槽逐渐东移,引导高原冷空气南下影响广西,低层( $850\text{hPa}$ 、 $925\text{hPa}$ )切变线进入广西,呈东北-西南向位于桂西北, $925\text{hPa}$ 到 $400\text{hPa}$ 出现深厚西南急流, $700\text{hPa}$ 西南急流达 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。 $200\text{hPa}$ 辐散场、高空槽、切变线、西南急流在广西西北部产生强烈的辐合上升运动,对应雨带从桂林西北部向东向南扩展,影响范围广,强度强。2日20时(图略),高空槽东移至广西中部,北海-玉林一带受槽前西南急流影响,中低层切变线南压至贺州-贵港-钦州一带,西南急流配合切变线为暴雨南压至桂东南一带提供了很好的动力抬升条件。

## 4 水汽诊断分析

对强降水附近 $110^\circ\text{E}$ 做水汽通量和水汽通量散度的径向垂直剖面图,强降水进入广西期间初期1

日 08 时(见图 3a),最强水汽输送集中在低层 800 hPa 以下,水汽通量大值区范围小,主要集中在 24~25N,水汽通量散度最大梯度位于水汽通量大值中心处,与桂林西北部的暴雨中心相吻合,结合水汽通量散度的垂直分布分析,水汽通量辐合中心与水汽通量大值区在 800~900 hPa 对应比较好,水汽的输送和辐合集中在中低层,说明暴雨区降水效率比较高。其他区域水汽输送和水汽辐合均比较弱,降水比较弱;2 日 20 时水汽通量和水汽通量辐合南移到 22~24N,此时暴雨中心位于水汽通量大值区与水汽通量散度梯度大值重叠区,水汽输入最强中心在 800hPa,水汽通量辐合在 900 hPa 以下(见图 3b),此时对应的强降水中心从桂林南压至玉林、沿海一带。

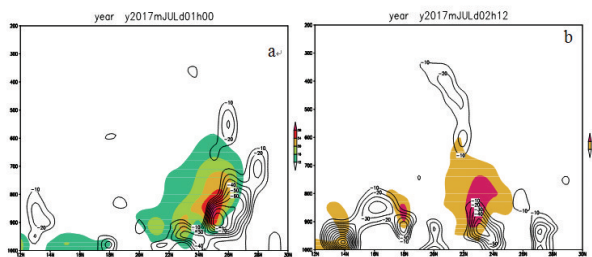


图3 水汽通量和水汽通量散度 110 E 径向剖面图

(a、1 日 08 时;b、2 日 20 时)

水汽通量(阴影区,单位: $\text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ );

水汽通量散度(等值线, $10^{-7} \text{g} \cdot (\text{cm}^2 \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ,只取负值)

对流层低层水汽在大气水汽中占有重要位置。水汽要通过边界层输送,向暴雨区大量集中,给暴雨提供充足的水汽。由以上分析水汽通量和辐合的高度层主要在 700hPa 以下,才能对强降雨发生时低层(1000~700hPa)水汽通量和水汽通量散度进行分析,从水汽输送通道看出,1 日 08 时(图 4a,见彩页)广西存在两支气流交汇,一支来自孟加拉湾的低空西南气流,另一支来自 105 E 的越赤道气流,提供源源不断的水汽,同时水汽通量辐合与水汽通量大值区在桂林重合,最大水汽通量中心为  $60 \text{g} \cdot (\text{cm} \cdot \text{hPa} \cdot \text{s})^{-1}$ ,与广西强降雨开始的时间、地点相吻合;随着高空槽的东移南压,槽后干冷空气入侵广西,水汽向西向北输送受到抑制,2 日 20 时(图 4b,见彩页),弱的水汽通量和水汽通量辐合在桂东南和沿海维持;此时强降雨中心南压到桂东南和沿海。水汽通量辐合与水汽通量大值区的变化趋势与强降雨中心从桂林向广西东南部和沿海移动的路径吻合。

## 5 大气稳定度分析

低空急流提供充足的水汽,而暴雨的产生还需要不稳定层结和强烈的上升运动。沿着特大暴雨中心点(110 E, 25 N)做垂直速度和散度作时间垂直剖面(图 5,见彩页),可以看出,1 日 08 时~2 日 20 时散度场一直维持底层辐合、高层辐散的配置,但是 1 日 08~20 时,底层的上升运动很弱,因此对应的降水比较小,1 日 20 时左右开始底层上升运动加强,强降雨期间,上升高度达到 200 hPa。沿特大暴雨点 110 E 作风场、假相当位温和相对湿度的纬向垂直剖面(图 6,见彩页),可以看出,在特大暴雨发生地区 25 N 附近非常暖湿,假相当位温大于等于 350 K,500 hPa 以下假相当位温随高度减少,说明此时大气层结是不稳定的,在 26 N 以北干冷空气从中层向低层入侵,暖湿空气在 26 N 附近交汇,桂林处于能量锋区内,且假相当位温线梯度大,说明该地区有明显的静力不稳定。以上分析可得,特大暴雨发生地区确实存在中层干入侵现象,受 500 hPa 高空槽槽后西北气流带动温度槽南下影响,干冷空气从中高层向低层入侵,特大暴雨主要出现在冷暖空气交汇、能量锋区梯度大值区内。

表 1 给出桂林、梧州、北海探空站 2017 年 7 月 1 日 08 时、20 时的稳定度参数。桂林站:1 日 08 时不稳定能量较低,低层有对流抑制能量,随着南风急流的加大,不稳定能量和水汽得到聚集,高空风向随高度顺转,为暖平流;1 日 20 时,高空风向随高度顺转,为暖平流,深层(0~6km)垂直风切变为  $4 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,较小的垂直风切变有利于强降水,K 指数加大到 36,对流有效位能(CAPE 值)加强为  $1343.8 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,说明大气对流不稳定加大,湿层厚度加大,LI/SI 较小,层结处于弱的不稳定状态,高层有一定的干冷空气入侵,且对流抑制能量为 0,有利于本地不稳定能量的释放,暴雨的产生。由抬升凝结高度到零度层高度之间的厚度可以作为暖云的厚度估计。故暖云的厚度都在 4000m 以上,暖云层越厚越有利于高效率降水的产生。以上分析表明桂林上空的大气拥有较高的降水效率。此时桂林的北面已开始出现强降水,为局地性的强降水。梧州站:梧州具有中等强度的对流有效位能,K 指数超过 38,大气存在对流不稳定,LI/SI 均小于 0,层结具有一定的不稳定性,比较有利于强降水的产生,湿层较厚,1 日 20 时对流抑制能量增加为 38.2



$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,说明能量进一步累积,所以梧州附近的降雨范围和强度还将进一步增加。北海站:由于沿海的强降水开始于2日,1日20时北海站整层风场随高度顺转,为暖平流,925~700hPa为西南急流,且对流抑制能量为 $42.2\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,有利于能量的积累,LI/SI较小,层结不稳定性比较大,K指数达到39,对流有效位能(CAPE值)达到 $3000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上,对流不稳定性很大,整层湿度很大,2日20时深层(0~6km)垂直风切变为 $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,较小的垂直风切变有利于强降水。

表1 桂林、河池、北海探空特征值

		CAPE	TT	LI	K	SI	CIN	TCL	ZH
桂林	1日08时	620.3	36	-0.8	29	4.39	4.2	969.7	5398.5
	1日20时	1343.8	38	-0.06	36	1.82	0	982	5830
梧州	1日08时	1464	43	-2.91	38	-0.25	9.8	976.6	5217.7
	1日20时	1335.3	47	-3.91	43	-3.12	38.2	976.6	5060
北海	1日20时	3076.2	43	-5.08	39	0.69	42.2	944.7	5272.8
	2日20时	3342.2	44	-5.46	39	-1.18	14	986.5	5262.9

6 降水回波分析

从桂林雷达的组合反射率因子分布图上看,1日晚上桂林永福附近开始出现强度大于45dBz的强回波单体,强回波带与地面辐合线相对应(图略)。由前文分析可知,中尺度回波带位于低槽内,在西南急流和地面辐合线扰动激发作用下,不断有中尺度回波单体在桂林南面产生,向东北方向移向永福,形成明显的“列车效应”。2日05时59分组合反射率因子(图7a,见彩页)在桂林南部有大范围的东北-西南向排列的强回波区,对应时次0.5仰角的速度图(图7d,见彩页)上从柳州鹿寨到桂林永福存在一条速度大于15 m/s的西南急流带,在永福东部有明显的风速辐合,有利于回波的加强;8时59分(图7b,见彩页)鹿寨到永福的强回波加强到55dBz,由于“列车效应”的作用,强回波不断的向东北方向移动,此时速度图(图7e,见彩页)上的西南急流和风速辐合依然存在。2日10时柳州鹿寨出现了一小时降雨量超过100 mm的强降雨,对2日9时05分(图7c、f,见彩页)组合反射率进行剖面分析,从上面桂林探空分析得到的抬升凝结高度和零度层高度,在剖面图中可以看出强回波的高度均在暖云高度1~6km以内,强回波质心较低,降水效率比较高,加上“列车效应”的作用,导致强降雨的发生。

7 地形及地面辐合线分析

暴雨的发生发展不仅需要水汽条件和层结的不稳定条件,还需要一定的触发机制。触发机制包括锋面抬升、地形

抬升、低空急流抬升等。广西地形复杂(图略),特殊的地形对暴雨有重要的作用,地形的阻塞可以导致对流和降水的增强。从1日20时(图略)自动站地面风场的变化发现,在暴雨中心区附近存在明显的东北风与东南风形成的近地层辐合线。此次特大暴雨中心正好位于桂林永福一带,大瑶山北侧与秦岭南侧的迎风坡地区。南侧低层的暖湿空气从西太平洋向广西东北地区运动,北侧冷空气沿着湘桂铁路沿线向桂林输送,在永福一带形成明显的辐合线,暴雨地区特殊的喇叭口地形,地形收缩,辐合气流加强。1日20时地面辐合线已经达到桂林永福一带,造成气流上升运动的主要原因可能是天气系统的强迫抬升和地形抬升共同作用的结果。此时在百色河池南部同样存在一条东北风与东南风的地面辐合线,从地形上看迎风坡的地形加剧了东南风的辐合抬升,有利于降水的发生发展。2日08时(图略),地面辐合线南压,此时暴雨出现在大瑶山南侧的迎风坡一带,以及玉林大容山南侧,地形抬升与辐合线抬升相配合。

8 结论

- (1)高空槽、切变线、地面辐合线的东移南压,西南急流的强盛维持共同作用,造成此次自北向南的大范围暴雨的发生。
  - (2)暴雨中心与水汽通量大值区、水汽通量散度大梯度区吻合,并随之向东南方向移动;水汽的输送和辐合均集中在800hPa以下,有利于高效率降水的发生。
  - (3)对特大暴雨中心进行层结分析,散度场维持低层辐合、高层辐散的配置,辐合层高度较低,在900hPa以下,上升运动高度达到250hPa,925hPa暖平流明显,热力输送。
  - (4)此次降雨过程桂林站高层有干冷空气入侵,湿层较厚,层结处于弱稳定状态,暖云层结较厚,降水效率较高,主要以强降雨为主,大风、雷暴天气并不明显;桂东地区梧州站层结和动力作用比桂林强,湿层也比较厚,但是高空没有干冷空气的入侵,所以降水没有桂林的强;北海站一直处于高能高湿的不稳定层结状态,整层湿度很
- (下转第33页)

的应用[J]. 黑龙江气象, 2012, 29(2): 31-32.

- [15] 汤沛, 饶生辉, 刘江顺, 等. 中山市气象信息精细化一体化服务平台介绍[J]. 广东气象, 2018, 40(3): 68-72.
- [16] 张伟强, 招伟文. 基于微信模板消息接口的气象预警信息发布[J]. 广东气象, 2018, 40(4): 48-51.
- [17] 高亭亭, 刘云桦, 曾宇萌, 等. 基于微信模板消息的天气预警智能推送系统建设[J]. 广东气象, 2017, 39(5): 65-68.
- [18] 张录青, 叶永恒, 刘艳群, 等. 基于GIS技术的韶关市地质灾害预报预警系统[J]. 广东气象, 2009, 31(4): 4-7.
- [19] 陈顺三, 饶永健, 谢青林, 等. 应急气象频道本地化信息采集与发布的技术[J]. 广东气象, 2014, 36(5): 70-73.
- [20] 陈峥蓉, 郑永泉, 邢维东, 等. 应用VB和预警模版快速

形成气象预警短信方法[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1): 96-98, 105.

- [21] 梁碧玲, 何宇华, 李新硕. 气象预警信息分发系统建设与应用[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(S2): 135-136.
- [22] 庞芳, 王丽玫, 卢伟萍. 基于WEB的突发气象灾害预警信号发布系统[J]. 气象研究与应用, 2008, 29(S1): 13.
- [23] 于东海, 翟玉泰, 陈巧淑. 应用3G与HFC技术建设农村突发事件预警信息发布系统[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(1): 80-82.
- [24] 丁灏. 现代传媒高效气象服务的新模式[J]. 气象研究与应用, 2014, 35(3): 21-23.

#### (上接第21页)

大, 垂直风切变很大, 但高层没有冷空气入侵, 这种层结构容易出现短时强降水。

(5) 由于桂林的“喇叭口”、贺州-贵港的大瑶山、玉林大容山的地形作用容易形成地面辐合线, 3个强降雨中心与地面辐合线的位置相对应。

#### 参考文献:

- [1] 陈见, 高安宁. 广西超大范围暴雨特征分析[J]. 第27届中国气象学会年会, 2012: 1-5.
- [2] 高安宁, 梁志和. 广西汛期大范围持续性暴雨天气过程中期预报研究[J]. 广西气象, 1999, 20(1): 2-7.
- [3] 苏兆达, 赖雨薇, 韦覃武, 等. 一次边界层急流触发的大范围暴雨过程诊断分析[J]. 气象研究与应用, 2015, 36(4): 53-58.
- [4] 覃卫坚, 李耀先, 覃志年. 广西暴雨的区域性和连续性研究[J]. 气象研究与应用, 2013, 33(4): 1-4.
- [5] 覃丽, 黄海洪, 温水荣. 广西冬季一次罕见大范围连续性暴雨过程成因分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(16): 9888-9891.
- [6] 黄翠银, 陈剑飞. 2011年10月一次广西区域性暴雨特征

分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 33(4): 22-26.

- [7] 陈绍河, 朱雯雯, 李祖敏, 等. 广西防城港市一次冬季连续性大到暴雨过程成因分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(26): 16102-16103.
- [8] 杨宇红. “94.6”广西连续大暴雨落区分析[J]. 广西气象, 1994, 15(3): 173-174.
- [9] 何草青, 陆炳记, 郭洪权, 等. 广西一次全区性暴雨过程成因分析[J]. 气象研究与应用, 2013, 34(S1): 48-49.
- [10] 黄香杏, 林开平, 赵江洁. 广西大范围致洪暴雨天气模型[J]. 广西气象, 2001, 22(1): 21-24.
- [11] 何华, 孙绩华. 高低空急流在云南大范围暴雨过程中的作用及共同特征[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 629-634.
- [12] 高安宁, 李生艳, 陈见, 等. 弱环境风场条件下华南西部大范围暴雨特征分析[J]. JOURNAL OF TROPICAL METEOROLOGY, 2009, 25(S1): 9-16.
- [13] 徐双柱, 吴翠红, 吴涛. “2011.6.18”湖北大暴雨成因分析[J]. 高原气象, 2013, 32(4): 1106-1114.
- [14] 李晓容, 濮梅娟, 王啸华, 等. 江苏一次大暴雨过程的诊断与中尺度分析[J]. 气象科学, 2012, 32(1): 53-61.