

文章编号:1673-8411 (2016) 01-0001-05

江淮气旋影响下广西强弱降雨天气过程的对比分析

古文保<sup>1</sup>, 屈梅芳<sup>2</sup>

(1.广西气象学会, 广西 南宁 530022; 2.广西区气象台, 广西 南宁 530022)

**摘要:**利用实况观测资料和雷达、自动站加密观测资料,对江淮气旋影响下广西两次(2010 年 6 月 9 日和 20 日)降雨过程的环流形势和物理量进行深入对比分析,结果表明:两次降雨天气过程前地面和对流层中低层在江淮到江南地区均有气旋生成,广西受气旋西部切变线的影响;暴雨发生时江淮和广西各有正涡度中心配合,但强度有差异,其主要原因是 200hPa 南亚高压、500hPa 高空槽和副热带高压北界差异所导致。广西区域是否有较强降雨过程,取决于在广西区域是否有正涡度中心活动,并与江淮气旋形成“双涡效应”,使该区域的水汽得以持续汇集。

**关键词:**江淮气旋;广西降雨过程;对比分析

**中图分类号:**P458.1\*21      **文献标识码:**A

Comparative analysis of precipitation intensity in Guangxi under the influence of Jianghuai cyclone

Gu Wen-bao, Qu Mei-fang

(1.Guangxi Meteorological Society, Nanning Guangxi 530022; 2. Guangxi Meteorological Observatory, Nanning Guangxi 530022)

**Abstract:** Based on the observation data, radar and automatic station encryption observation data, the circulation situation and physical quantity of two raining weather processes in Guangxi (June 9th and 20th, 2010) under the influence of Jianghuai cyclone were compared and analyzed. The results show that the cyclone was generated on the ground and in the lower troposphere of the area between Jianghuai area and Jiangnan area before the two raining weather processes and Guangxi was influenced by western cyclonic shear line; during the occurring of torrential rain, both of Jianghuai area and Guangxi appeared the positive vorticity center cooperation, but the intensity of these two cooperation are different, which was caused by differences of the south Asia high of 200 hpa, upper trough of 500 hpa and the northern limit of subtropical high pressure. The positive vorticity center activities appeared in Guangxi decides the intensity of rain in Guangxi, while the " double effect" formed by the Jianghuai cyclone makes the water vapor in this region continue to collecting.

**Key Words:** Jianghuai cyclone; raining process; comparative analysis

引 言

广西前汛期较强降雨过程的主要影响系统是高空槽、切变线和地面冷锋,这几类天气系统往往呈东北—西南走向,从我国东部延伸至西南地区,在这延

绵数千里的天气尺度上活跃着一系列的低涡系统,这些系统相互影响,对降雨落区和强度产生重要影响。

薛纪善等(1999)对 1994 年华南特大持续性暴雨的研究认为华南前汛期暴雨是西风带系统与低纬

收稿日期:2015-11-25

基金项目:国家自然科学基金(41365002);广西自然科学基金(2014GXNSFAA118290;2013GXNSFAA019288;2011GXNSFE018006)共同资助

作者简介:古文保(1963-),男,高级工程师,硕士研究生,从事气象业务工作

度气流共同作用的结果,除了受冷空气的影响外,低空的西南或南风急流是华南暴雨产生的又一决定性因素,而西南急流的增强和减弱往往与低纬度环流变化有关。1998 年华南暴雨科学试验进一步研究得出,华南暴雨是多尺度天气系统相互作用的产物,在有利的大尺度环流背景下,由中尺度降水系统引起,尤其是一些持续性大暴雨常常是若干个中小尺度降水系统的不断产生、合成、加强和连续影响所致(周秀骥等,2002,2003;王立琨等,2001;王建捷等,1997;陈红等,2004;文莉娟等,2005;王鹏云等,2002;孙健等,2002;郑永光等,2002;柳艳菊等,2005)。这些成果不仅对提高科学认识本身有价值,同时对指导预报实践、凝炼更具物理基础的预报思路亦产生了积极作用。

业务实践中常常发现,伴随着江淮气旋的生成、移动,在一定天气系统配合下也会给华南西部带来较大范围的降雨过程。2010 年 6 月 9 日和 20 日先后有两次江淮气旋伴随下的低涡切变影响广西,造成的降水范围差异较大,为了揭示这两次过程降水的差异,文中使用常规观测资料和地面观测资料,分析诊断大尺度环流背景及物理条件,以揭示不同降雨过程的大尺度环境特征以及可能成因;利用多普勒雷达产品和地面加密观测资料,分析暴雨的中  $\beta$  对流演变特征,为预报服务提供有益的参考。

文中江淮气旋是指:26~35°N、113~120°E 区域内地面或 850hPa 闭合低压。

## 1 两次降雨天气过程概述

2010 年 6 月 8 日 20 时—9 日 20 时(以下简称“过程 1”),受低涡切变影响,广西出现一次降雨天气过程,全区出现大雨以上降水 27 站,其中暴雨以上 10 站。本次强降水主要集中在桂中、桂南,强降雨中心位于西南部的天等县,日降雨量达到 113.3mm。过程降水主要集中在 8 日 23 时—9 日 4 时,9 日 02—03 时天等县降雨量达到 80.5mm<sup>-1</sup>h。6 月 19—20 日广西再次受低涡切变影响,影响范围比“过程 1”广,强度强。19 日 20 时—20 日 20 时(以下简称“过程 2”),广西北部、中部出现大雨到暴雨,大雨以上降水 64 站,其中暴雨以上 36 站,大暴雨 9 站,4 个大暴雨中心均位于桂北,其中忻城日雨量为 146.4mm。过程主要降水主要集中在 19 日 20 时—20 日 9 时,本次过程造成广西直接经济损失 12.9 亿元。

## 2 两次降雨天气过程的环流特征和影响系统对比分析

2010 年 6 月 8 日 12 时,500hPa 蒙古低槽位于河套—河南—安徽南部,为西北—东南向切变式低槽,此切变非常深厚,一直延伸到 200hPa,槽后高压脊在高原东部—西南地区东部,为西北气流控制;华南西部有小槽位于广西中部,急流轴在广西北部—湖南南部—安徽南部,588gpm 位于华南沿海,副高脊线偏南在 17°N。700hPa 的低涡位于河南南部,西北东南向的切变几乎与 500hPa 的相重合,850hPa 的江淮气旋中心在河南南部,气旋西部的切变位于河南南部、湖南中部到广西北部之间;气旋的南部、东北部分别有西南急流和东南急流建立,为主要的辐合区;广西东部为急流的入口区,同时在云南东部也有 144gpm 闭合低压存在。

在过程 2 发生前的 15 日开始,200hPa 印度东北部开始转为偏东气流控制,南亚高压中心位于高原南部到印度东北部之间,广西受其东部的偏北气流控制,500hPa 中高纬度地区冷涡活动频繁,16—19 日有冷涡从蒙古国东南移到我国东北地区南部,19 日 20 时,东亚大槽位于朝鲜北部到贵州南部,广西处于槽前的西南气流控制中,副高脊线位置偏北,588gpm 在云南北部、华南北部一线;700hPa 在江

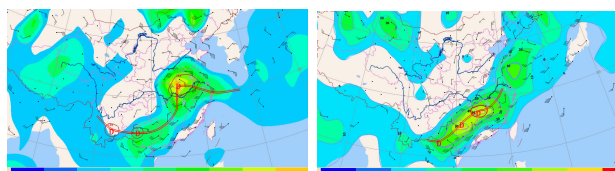


图 1 850hPa 风场与涡度场(阴影区)合成

(a)2010 年 6 月 9 日 08 时(b)2010 年 06 月 20 日 08 时  
南北部切变加强,东西向的横切变位于贵州北部到安徽南部之间;850hPa 在江西北部有气旋生成,比“过程 1”位置要偏南 2 个纬度,偏东 2 个经度,气旋后部的切变在江西北部到贵州南部,从广西到福建北部有低空急流建立,切变后最大东北风 10m<sup>-1</sup>s,而切变前的西南风比较大,达到 18m<sup>-1</sup>s。主要的辐合区在江西和湖南,比“过程 1”要偏南。另一个辐合区在滇黔桂交界处。

## 3 两次降雨天气过程的物理量分析

### 3.1 动力条件对比分析

图 1 为“过程 1”对应的 2010 年 6 月 9 日 08 时

850hPa 风场和涡度场合成,此时沿着切变线两侧有正涡度带,两个正涡度中心,一个位于河南南部到安徽中部,中心值为  $60 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,与江淮气旋中心对应;另一个位于广西西部,中心值为  $20 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,比江淮气旋的涡度要小,呈现一大一小的两个正涡度中心。风场上看,也有两个涡旋相对应,但是江淮的风速辐合要大,而桂西的辐合要小。与“过程 2”的 20 日 08 时的 850hPa 风场和涡度场,也有类似的结构,切变两侧有 NE-SW 走向的正涡度带,切变线上有 3 个正涡度中心,一个在江西中部,中心为  $50 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,一个在广西东北部地区,大小为  $50 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,第三个在广西西南不与越南北部交界出,大小为  $50 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ,风场可以分析出三个中尺度涡旋中心向对应,其涡度值呈小大小的分布,其中桂东北出的涡度值最大,与“过程 1”的涡度分布正好相反。

2010 年 6 月 9 日 08 时,散度场沿  $108^\circ \text{E}$  经向剖面图,低层的负散度层仅 850hPa 以下,而且只有  $57 \times 10^{-5} (\text{s}^{-1})$ ;700hPa 为无辐散层,在它之上的 500hPa 又转为辐合层,最大的辐合中心比较高,位于  $22.5 \sim 25.0^\circ \text{N}$  上空的 500hPa 处,中心值为  $21 \times 10^{-5} (\text{s}^{-1})$ ;  $22.5^\circ \text{N}$  以北地区在 400hPa 高度以上无辐散区配合,几乎整层均为辐散层结。 $22.5^\circ \text{N}$  以南在 300hPa 高度上有弱的正散度,低层辐合高层辐散的结构没有建立起来。2010 年 6 月 20 日 08 时,散度场沿  $108^\circ \text{E}$  经向剖面图,低层辐合的负散度区自北向南向上倾斜,其中在  $22.5 \sim 27.5^\circ \text{N}$  为较大负散度区,中心位于  $25.0^\circ \text{N}$  上空的 500hPa 处,中心值为

$21 \times 10^{-5} (\text{s}^{-1})$ ,而在 450hPa 高度转为辐散区,正散度中心位于 150hPa 高度,中心值为  $57 \times 10^{-5} (\text{s}^{-1})$ ,正散度大于负散度,高层辐散大于低层辐合,高空的抽吸作用非常明显。

2010 年 6 月 9 日 08 时,垂直速度场沿  $108^\circ \text{E}$  经向剖面图,强上升运动中心南移到了  $22.5^\circ \text{N}$  以南地区,广西上空在 500hPa 有弱的上升运动。2010 年 6 月 20 日 08 时,垂直速度场沿  $108^\circ \text{E}$  经向剖面图,从  $20.0 \sim 30.0^\circ \text{N}$  上空均为上升运动区域,强上升运动中心位于  $22.5^\circ \text{N}$  上方的 400hPa 处,中心值为  $-50 \times 10^{-5} (\text{s}^{-1})$ ,上升运动非常明显。

### 3.3 不稳定能量对比分析

从暴雨发生前的 8 日 20 时日 850hPa 总温度场上我们可以看到(图略),广西大部的总温度在  $68^\circ \text{C}$  以上,只有在桂西南有  $76^\circ \text{C}$  的等温度线;华南已建立“西南高,东北低”的能量场形势,高能舌由中南半岛向华南北部伸展,而低能舌则由湖北北部、湖南南部向桂东北伸展,柳州南部到河池一带为低能区与高能区之间的过渡带,等能线较密集,也即高能轴与低能轴出现汇合趋势的地区,集中了大量的湿有效位能,利于强对流发生发展。“过程 2”暴雨发生前的 19 日 20 时日 850hPa 总温度场(图略),广西大部均为  $80^\circ \text{C}$ ,比“过程 1”能量积累要大,低能区在湖南中部、江西中部,等温度密集区在桂东北地区,暴雨发生前华南聚集了高温高湿的不稳定能量,非常有利于强对流发生发展。

8 日 20 时,中南半岛到广西为大片的 K 指数大于  $36^\circ \text{C}$  的 K 指数大值区,其中桂西南 K 指数甚至大于  $40^\circ \text{C}$ ;SI 指数场(图略),中南半岛到广西西南部为负 SI $^\circ \text{C}$  指数区,桂西到来宾 SI 指数  $< -2^\circ \text{C}$ 。大于  $35^\circ \text{C}$  的 K 指数和小于  $-2^\circ \text{C}$  的 SI 指数条件十分有利于其后期强对流天气的出现。19 日 20 时,K 指数大值区与“过程 1”相比要偏北,在贵州南部到广西北部之间,最大 K 指数达到  $42^\circ \text{C}$ ,比“过程 1”大,广西处于等 K 指数梯度大值区中;SI 指数场(图略),中南半岛到广西西南部为负 SI $^\circ \text{C}$  指数区,桂北 SI 指数  $< -4^\circ \text{C}$ ,整个广西为不稳定能量聚集区域,大于  $35^\circ \text{C}$  的 K 指数和小于  $-2^\circ \text{C}$  的 SI 指数条件十分有利于其后期强对流天气的出现。

## 4 中尺度系统对比分析

### 4.1 TBB 与 $\beta$ 中尺度系统

6 月 8 日 20 时,午后对流云系位于广西东部,

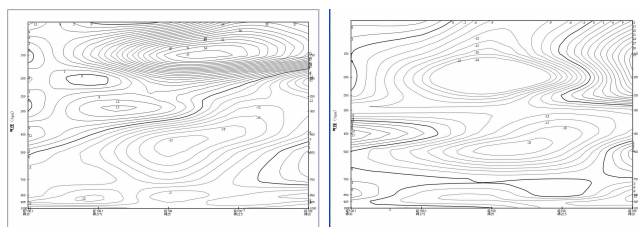


图 2 散度场沿  $108^\circ \text{E}$  经向垂直剖面图

(a)2010 年 6 月 9 日 08 时 (b)2010 年 06 月 20 日 08 时

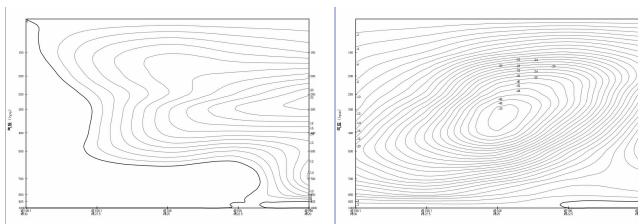


图 3 垂直速度沿  $108^\circ \text{E}$  经向垂直剖面图

(a)2010 年 6 月 9 日 08 时 (b)2010 年 06 月 20 日 08 时



有 3 个对流云团位于河池南部、柳州东部和桂林南部,21 时 TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  连成带状,河池东部、桂林南部的强对流中心减弱,柳州东部的强中心(A)向西南方向移动,强度增强,1 小时雨量  $\geq 30\text{mm}$  强降水在 TBB 强中心北部密集区;23 时(图略),桂西北有两个  $\beta$  中尺度对流发展,A 单体发展并继续向西南方向移动,强降雨仍位于 TBB 北部梯度大值区,最大的 TBB 为  $-76^{\circ}\text{C}$ ,面积  $0.344\text{km}^2$ ;9 日 00 时, TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  面积扩大,此时 1 小时雨强范围最大,雨带在百色南部到南宁北部,东西带状;01 时 TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  最大,呈西北—东南向,主要位于桂西南,最小 TBB  $\leq -82^{\circ}\text{C}$ ,但雨强跟前 1 个小时相比有所减弱,但位置少变。01 时到 04 时,云团仍在桂西南上空维持,强中心也向西南方向移动,范围减小;05 时到 07 时,对流云团继续向西南方向收缩,雨强减弱,08 时强降水基本基本结束。

6 月 18 日晚上到 19 日白天,在贵州中部有 MCC 发展东移,19 日上午开始有卷云羽进入桂北,午后贵州东南部、湖南南部对流发展旺盛,18 时,湖南东北部、湖南南部到贵州南部有 3 个对流单体发展,20 时,连成带状并在广西北部发展成东西带状的对流云带,23 时,TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  扩展到广西中部上空,但最强对流云顶偏北,位于贵州与广西交界处,1 小时雨量  $\geq 30\text{mm}$  落区在 TBB 最小处的前沿;20 日 02 时,TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  扩展到整个广西上空,TBB  $\leq -90^{\circ}\text{C}$  的面积最大,达  $7.52\text{km}^2$  此时 1 小时雨量  $\geq 30\text{mm}$  落区移动比较缓慢,移到河池中部、柳州南部,  $\geq 50\text{mm}$  的站点最多有 7 站,最大 1 小时雨量  $80\text{mm}\cdot\text{h}$ ,为最大雨强,强降雨带仍在 TBB 最小处的前沿。20 日 04 时,TBB  $\leq -90^{\circ}\text{C}$  南界向南移动速度加快,但面积仍有  $7.52\text{km}^2$ ,强玉带南压到百色、河池南部,范围仍在维持;TBB  $\leq -90^{\circ}\text{C}$  面积,06 时开始减小,07 时(图 4f),迅速减小到  $0.14\text{km}^2$ ,强降雨带范围和强度也迅速减小,07 时自动站雨量均小于  $50\text{mm}/\text{h}$ ,08 时仅有分散的 1 小时雨量在南宁南部,强降雨基本结束。

以上两次过程的 TBB 与 1 小时雨量对比分析发现,两次过程强对流云团均有在午后到上半夜开始发展加强,凌晨达到最强,白天迅速减弱;且向南移动速度较快的特点;“过程 1”TBB  $\leq -52^{\circ}\text{C}$  范围比“过程 2”要小,最小 TBB 也比“过程 2”要大;“过程 1”强降水落区主要位于 TBB 中心附近,北侧梯度最大区域,但范围小,云体结构从低层到高层向南倾

斜;“过程 2”强降水与“过程 1”差别较大,强降水落区在 TBB 中心附近,南侧梯度最大区域,范围大,云体结构从低层到高层几乎是垂直,稍向南倾斜。

## 4.2 逆风区与 $\beta$ 中尺度系统

19 日 22 时,地面辐合线在柳州市融水到河池市罗城北部一线,22 时 46 分,在柳州雷达  $1.5^{\circ}$  基本反射率(图略)上对应东—西向的混合强降水回波,最大。整个回波呈带状(东西走向),其东西向长约  $240\text{km}$ ,南北向宽在  $30\sim 90\text{km}$  之间。从回波的特征来看,是一种典型的积层混合型降水回波,回波强度一般  $20\sim 35\text{dBz}$ ,从回波中可看到在层状云中嵌有明显积状云,其中发展最旺盛的对流回波块位于测站的西北面  $60\sim 70\text{km}$  处,中心强度值达  $63\text{dBz}$ ,对应的回波顶高达  $10\text{km}$ 。在同时刻的基本速度图上,0 速度线在测站西北面呈“V”型辐合线,基本反射率中块状强对流回波与辐合线重合,速度场在罗城以西为单纯的  $\beta$  中尺度辐合线;而罗城到融水之间,0 速度线后有向测站的风速大值中心,最大风速达  $24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而在 0 速度线前也有  $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  离开测站的正速度中心,旋转速度为  $22\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而且 0 速度线与扫描线之间有  $30^{\circ}$  交角,因此可以判断在罗城、柳城到融水之间有一个  $\beta$  中尺度气旋活动。

## 4.3 地面辐合线与 $\beta$ 中尺度系统

“过程 1”(图 4),在 8 日白天,地面冷锋已经开始影响桂北,20 时地面辐合线从桂北南部开始南移,呈东北—西南走向,从 8 日 20 时—9 日 04 时,西段辐合线移动较东段快,平均速度为  $19\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,之后滞留在崇左南部、南宁南部一线,而东段从 8 日 20 时到 9 日 08 时,但从桂林南部南移到贵港、玉林北部,与 1 小时雨量对比,强降雨均发生在辐合线的后部。与“过程 1”不同的是,“过程 2”(图 4)地面辐合线移动速度还要快些,平均速度为  $35\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ,1 小时强降雨区与辐合线对应,呈东—西向,且移动速度较快。“过程 2”在动力条件、能量积累方面要比“过程 1”要大,由于地面冷空气影响广西时移动速度

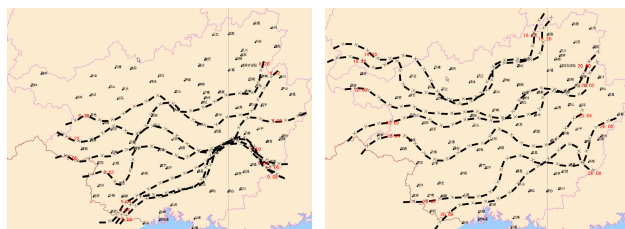


图 4 地面辐合线移动示意图

(a)8 日 20 时—9 日 08 时,(b)19 日 20 时—20 日 08 时

快,属于急行冷锋类,导致降雨系统在广西上空滞留时间短,因此这次过程没有特大暴雨出现,24 小时最大雨量小于 200mm.

## 5 原因分析

### 5.1 500hPa 高空槽的差异

“过程 1”广西高空受江淮低涡的影响,其槽线的走向为西北-东南向,槽后为明显西北气流,580gpm 在 90—100°E 的振幅达到 7 个纬距,预示着高空槽东移速度快;低纬度的小槽在暴雨发生前已经移到广西中部,广西的西北部已经处于槽后,而且广西槽前西南风小,导致槽前为负涡度,对对流云的发展不利。而“过程 2”广西处于东亚大槽的底部,槽后也为西北气流控制,584gpm 在 90—100°E 的振幅达到 3 个纬距,北风不明显,导致槽东移速度相对要慢,槽前有明显的西南气流,正涡度区,对激发对流发展要有利得多。

### 5.2 副高北界位置的差异

“过程 1”暴雨前 588gpm 位于北部湾、南海北部海面到台湾岛南部,与历年同期相比北界偏南,等高线较平直,东高西低的形势不明显。“过程 2”暴雨发生前,588gpm 在广西北部、江西南部到福建中部,与“过程 1”相比副高北界北跳了 3 个纬距,广西受 588gpm 控制,因此在暴雨发生前,聚集了大量的不稳定能量,同时,由于副高较强大,也阻止了暴雨低值系统东移。

### 5.3 850hPa 双涡度中心差异

两次暴雨过程中都有双涡形成,位于江淮地区的中心(简称“北中心”)和广西上空的正涡度中心(简称“南中心”),两个中心形成跷跷板效应,“过程 1”的“北中心”正涡度比“南中心”要大,而“过程 2”的“南中心”的涡度比“北中心”大,其原因主要是“过程 1”850hPa 全风速大值在江淮气旋的北部和南部,而“过程 2”的全风速中心在华南。

## 6 结论与讨论

(1) 两次影响系统在低层都表现为有江淮气旋伴随下的低涡切变影响广西,低涡切变的强度和移动速度对降雨量和降雨强度影响较大,深厚的低涡切变系统有利于强降水的维持。反之,如果低涡切变系统浅薄,移动速度快,强降雨维持时间短。

(2) 两次过程中低涡切变线上中尺度系统是产生强降水的主要作用者,中尺度系统的强弱和维持

时间的长短,对降雨量和降雨强度影响较大,在低涡切变影响时,对中尺度系统分析和预报,对降水强度和落区至关重要。

(3) 两次降水强度上出现的差异主要是由于两次过程中对流发展强弱不同引起,假相当位温、K 指数等热力不稳定指数能很好地反映出对流发展过程中强弱变化的差异。

### 参考文献

- [1] 薛纪善.1994 年华南夏季特大暴雨研究 [M].北京:气象出版社,1999.
- [2] 周秀骥,薛纪善,陶祖钰.华南科学试验研究 [M].北京:气象出版社,2003.
- [3] 文莉娟,程麟生,隆,霄.“98.5”华南前汛期暴雨的非静力数值模拟和中尺度系统分析 [J].高原气象,2005,24 (2): 223-231.
- [4] 孙健,赵平,周秀骥.一次华南暴雨的中尺度结构及复杂地形的影响 [J].气象学报,2002,60 (3): 333-342.
- [5] 王建捷,郭肖容.1996 年初次华南暴雨过程的数值模拟及其分析 [J].应用气象学报,1997,8(3): 257-268.
- [6] 王立琨,郑永光,王洪庆,等.华南暴雨试验过程的环境场和云团特征的初步分析 [J].气象学报,2001,59 (1): 115-119.
- [7] 王鹏云,阮,征,康红文.华南暴雨中云物理过程的数值研究 [J].应用气象学报,2002,13 (1): 78-87.
- [8] 陈,红,赵思雄.海峡两岸及邻近地区暴雨试验 (HUAMEX) 期间暴雨过程及环流特征研究 [J].大气科学,2004,28 (1): 32-47.
- [9] 柳艳菊,丁一汇,赵南.1998 年南海季风爆发时期中尺度对流系统的研究: I 中尺度对流系统发生发展的大尺度条件 [J].气象学报,2005,63 (4): 431-442.
- [10] 郑永光,陶祖钰,王洪庆.黄海及周边地区中尺度对流系统发生的环境条件 [J].气象学报,2002,60 (5): 613-619.
- [11] 陈伟斌,高安宁,陈见,等.不同环境风场下两次暴雨过程对比分析 [J].气象研究与应用,2012,33 (3): 14-20.
- [12] 曾小团,农孟松,赵金彪.广西几次不同类型天气系统造成暴雨过程的物理量分析 [J].气象研究与应用,2007/28 (4): 1-7.
- [13] 何草青,郭洪权,陆鸿生,等.一次低涡影响造成的暴雨分析 [J].气象研究与应用,2011,32 (3): 16-18.
- [14] 叶朗明,陈明惠,夏冠聪.华南一次特大暴雨诊断及数值模拟 [J].气象研究与应用,2014,35 (3): 20-26.