

# 2018年春季两次强天气过程对比分析

邢丽田 吴栋桥 王能根 黄珊 周小涵  
(湖北省咸宁市气象局, 咸宁 437100)

**摘要:** 利用常规气象观测、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐6小时再分析和咸宁地基微波辐射计资料, 对咸宁2018年4月22—23日(“1804”过程)和5月6日(“1805”过程)两次强天气过程进行分析。两次过程影响系统有相似性, 但系统发展、强度、位置、高低层配置有明显差异, 主要体现在“1804”过程有很强的动力抬升条件, 配合较好的水汽、能量条件, 产生强降水; 而“1805”过程动力条件较差, 低层能量聚集, 层结更不稳定, 利于发生雷暴大风天气。从微波辐射计资料分析发现, 前一次过程在临近降水时有整层水汽含量明显减少, 整层液态水含量明显增加, 云底迅速降低的特征, 而后一次过程则没有, 这种明显差异对预报暴雨和强对流天气具有一定的参考意义。

**关键词:** 暴雨, 强对流, 微波辐射计,  $\theta_{sc}$ 垂直递减率, 整层液态水含量

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.05.008

## Comparative Analysis of Two Strong Weather Processes in Spring

Xing Litian, Wu Dongqiao, Wang Nenggen, Huang Shan, Zhou Xiaohan  
(Xianning Meteorological Bureau, Xianning 437100)

**Abstract:** This paper mainly uses conventional meteorological observation data, the reanalysis data of NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  by 6 hours and ground-based microwave radiometer data of Xianning, to make a comparative analysis on the two severe weather process in spring. The results show that the influence systems of the two processes are similar to some extent, but there are obvious differences in the development, intensity, location and configuration of divergence fields between high and low layers, which are mainly reflected in the “1804” process, which has strong dynamic lifting conditions and is prone to heavy precipitation with good water vapor and energy conditions. However, the “1805” process has poor dynamic conditions, but the energy in the lower layer is concentrated and the stratification is unstable, which is more conducive to the occurrence of thunderstorm and gale weather. According to the analysis of microwave radiometer data, it was found that the process of “1804” had the characteristics of obvious decrease of Vint, obvious increase of Lint and rapid decrease of Cloud Base when it was near the precipitation, while the process of “1805” did not. This phenomenon has certain indicative significance for the prediction of heavy precipitation. This obvious difference has certain reference significance for forecasting rainstorm and severe convection weather.

**Keywords:** heavy rain, strong convection, microwave radiometer, vertical decline rate of  $\theta_{sc}$ , the atmospheric liquid water content

### 0 引言

湖北省咸宁市是暴雨灾害多发地区, 对暴雨研究也多集中在夏季或汛期, 对春季暴雨研究较少。近年来咸宁春季暴雨频发且致灾严重。如2016年出现5场暴雨, 4月份提前进入汛期, 其中4月20—21日全市出现暴雨到大暴雨, 局部特大暴雨, 造成直接经济损失1197万元。2017年5月21—24日通城县出现大暴雨, 造成全县直接经济损失1116万元。施望芝等<sup>[1]</sup>对湖北省1998—2001年春季暴雨天气过程进行了诊断分析, 发现产生春季暴雨的一些物理量及其值的结构特征; 胡燕平等<sup>[2]</sup>对河南两次春季区域性暴雨进行对比

分析, 发现两次过程均表现为对流稳定, 与夏季暴雨有明显的区别; 杨晓霞等<sup>[3]</sup>对山东省春季大暴雨的形成机制进行了个例分析, 认为春季暴雨和夏季暴雨不同的是副热带系统较弱, 西风带系统起主要作用, 春季暴雨主要是受850 hPa低涡和地面气旋及冷空气的共同作用产生的; 毛冬艳等<sup>[4]</sup>认为, 对流层中低层大量的水汽输送为大暴雨的形成提供了有利的环境条件; 廖胜石等<sup>[5]</sup>对一次华南暴雨过程中的水汽输送和热量进行了研究, 得出暴雨区的水汽主要发生在低层; 王能根等<sup>[6]</sup>对咸宁2002年一次区域性春季暴雨进行分析, 发现降水发生前出现回暖过程, 使大气层结形成对流性不稳定, 而地面冷空气南侵是造成这种不稳定能量释放的外因。

2018年4月22—23日, 咸宁出现2018年首场全市

收稿日期: 2019年6月30日; 修回日期: 2019年12月4日  
第一作者: 邢丽田, Email: xiliti2006@163.com

性暴雨到大暴雨，过程降雨强度大、影响范围广、持续时间长，导致直接经济损失2205万元。5月6日，咸宁出现中到大雨，个别站点有暴雨，伴有雷电、大风天气，未造成明显灾害。本文主要利用常规气象观测资料、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  逐6小时再分析资料和咸宁地基微波辐射计资料，从天气概况、天气背景、影响系统、动力、水汽、热力等条件着手，重点对两次降水过程产生和发展的物理量进行分析，探究其差异和成因，以期对咸宁地区的灾害性天气预报和服务提供一定参考。

## 1 天气概况

为便于分析，将4月22—23日和5月6日两次过程分别简称为“1804”过程和“1805”过程。“1804”过程降水强度大，范围广，22日00时—24日00时（世界时，下同），全市181个气象观测站，有163个站降水量 $\geq 50$  mm（最大出现在嘉鱼的九龙站为255.1 mm），其中4月22日00—23日00时嘉鱼、赤壁24 h降水量分别为155 mm、162.9 mm，突破有记录以来4月日降水量极值；图1为4个观测站点逐小时降水量，可以看出此过程降水持续时间长、雨强大，最大小时雨强出现在铜山村为63.8 mm/h（22日08时）。“1805”过程降水强度较小，6日00时—7日00时，全市181个气象观测站，降水量 $\geq 50$  mm仅有1站（通城的天岳关站为55 mm），伴有明显的大风天气，全市181个站点，有89个站出现6级以上大风，25站出现8级以上大风；从4个观测站点逐小时降水量，可以看出此过程降水强度小，持续时间短；因此“1804”过程是强降水过程。“1805”过程是强对流过程。

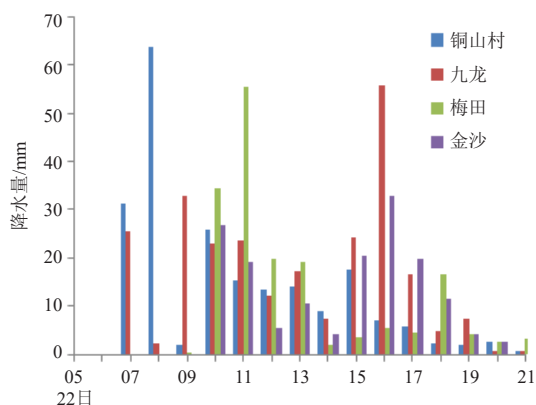


图1 “1804”过程4站点逐小时降水降水量(世界时)  
Fig. 1 Hourly precipitation at 4 stations in “1804” process (UTC)

## 2 天气背景分析

两次过程的分析，分别基于接近降水集中时段

的再分析资料：即4月22日06时和5月6日00时。从500 hPa形势场分析（图2a和2b），在中高纬地区“1804”过程为宽广高压脊，形势较稳定；“1805”过程为“两槽一脊”，东部有东北冷涡形成，易诱发强对流天气<sup>[7]</sup>，系统移动速度较快。中低纬地区在咸宁上游均有南支槽东移，但前一过程略偏南偏东；槽脊的发展主要是散合项所决定的<sup>[8]</sup>，“1804”过程南支槽是对称性槽，东移过程中没有明显的变化，“1805”过程南支槽为汇合槽，东移过程中是逐渐减弱填塞的。从850 hPa风场分析，如图2c和2d，两次过程均存在低涡、切变线，“1804”过程略偏南。低空急流强度、位置是暴雨预报最主要的参考指标之一<sup>[9]</sup>，两次过程均存在 $\geq 12$  m/s的低空西南急流，但急流强度、位置有明显差异：前者急流带较窄，最大风速达到16 m/s，且存在风速脉动，咸宁位于急流轴出口区前端风速辐合区和切变线右侧，具有很好的辐合上升运动条件<sup>[9]</sup>，有利于触发中尺度系统形成从而导致暴雨发生；后者急流带宽广，最大风速达22 m/s，咸宁处于低空急流核中，急流位置不利于产生强的上升运动。从200 hPa和850 hPa的散度场分析（图2e和2f），850 hPa上两次过程咸宁均处于辐合区。

从高低层散度场配置分析，“1804”过程高层辐散强于低层辐合，高层“抽吸”作用更强，使暴雨区上空维持旺盛的上升运动<sup>[10]</sup>，“1805”过程低层辐合强于高层辐散，低层气流堆积作用更明显，利于水汽、不稳定能量在低层积累。从地面气压场分析，两次过程都有冷空气南下影响，前者冷空气强，持续时间长，后者冷空气较弱，南下速度快，说明两次过程均有冷空气触发不稳定能量释放，但前一过程冷暖空气交汇时间长，更利于降水持续（表1）。

## 3 物理量分析

### 3.1 水汽、热力、动力因子水平结构

#### 3.1.1 低层假相当位温和湿度分析

中低层大气高温、高湿是暴雨产生的关键因素，假相当位温（ $\theta_{se}$ ，下同）不仅考虑了气压对温度的影响，也考虑了水汽凝结和蒸发对温度的影响，是对大气热力、水汽条件的综合反映。涡度是表征气团旋转运动强度的物理量，中低层乃至高层正涡度大小是决定暴雨产生、维持的动力因子<sup>[9]</sup>。两次过程咸宁地区均处于 $\theta_{se}$ 大于335 K范围内，“1805”过程略强于“1804”过程且均存在 $\theta_{se}$ 锋区，但由于冷空气渗入的路径存在差异<sup>[10]</sup>，导致两次过程 $\theta_{se}$ 锋区位置不同，“1804”过程咸宁位于锋区内，利于产生上升运动，

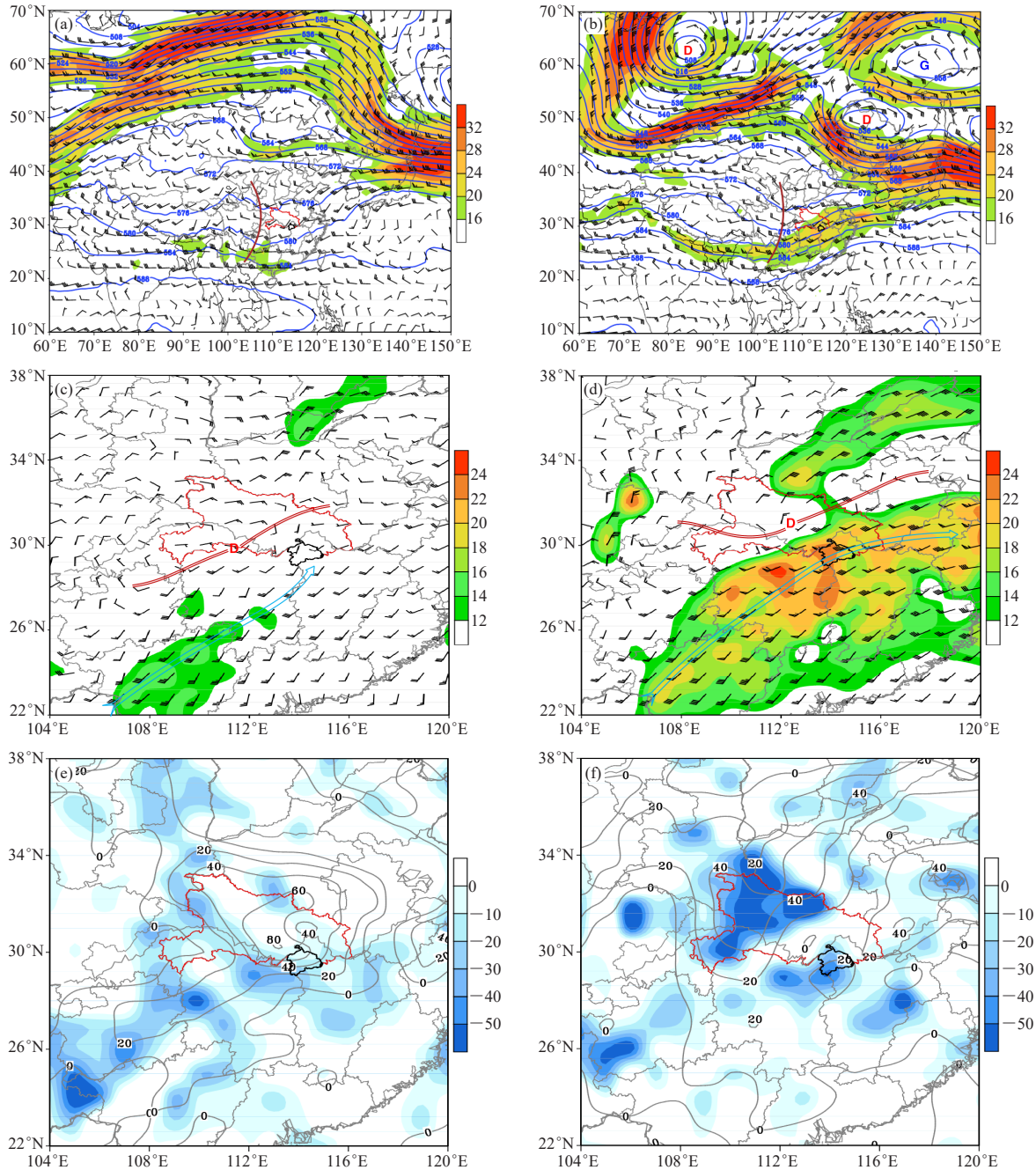


图2 (a, b) “1804” (a, c, e) 和 “1805” (b, d, f) 两次过程500 hPa等高线 (蓝色实线), 风场 (黑色风向杆),  $\geq 16$  m/s急流区 (阴影区); (c, d) 两次过程850 hPa风场 (黑色风向杆),  $\geq 12$  m/s急流区 (阴影区); (e, f) 两次过程850 hPa散度场 (阴影区), 200 hPa散度场 (黑色实线)

Fig 2 (a, b) 500 hPa contour line (blue solid line), wind field (black wind rod),  $\geq 16$  m/s jet stream area (shaded area); (c, d) 850 hPa wind field (black wind pole),  $\geq 12$  m/s jet stream area (shadow area); (e, f) 850 hPa divergence field (shaded area), 200 hPa divergence field (solid black line), which are in the process “1804” process (a, c, e) and “1805” process (b, d, f) respectively

“1805”过程咸宁位于锋区前暖区内, 有利于不稳定能量的积累。从涡度场分析前次过程咸宁位于 $40 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 正涡度区域内, 后次过程咸宁地区涡度小于0。

### 3.1.2 不稳定条件

“上冷下暖”和“上干下湿”的配置不仅有

利于引起异常上升运动, 也易形成不稳定层结<sup>[11]</sup>。较强的热力不稳定、上干冷下暖湿的垂直结构配合强的垂直风切变非常有利于伴有雷暴大风天气的强风暴组织化发展<sup>[12]</sup>。假如定义850 hPa与500 hPa两层温度差为:  $T_{850-500} = T_{850} - T_{500}$ , 可以表示上

表1 “1804”和“1805”过程天气形势及影响系统情况对比  
Table 1 Comparison of synoptic situation and influence systems in the processes of “04.22” and “05.06”

序号	影响系统	“1804”过程	“1805”过程	比较
1	500 hPa系统	阻塞形势强, 南支槽	阻塞形势弱, 南支槽	强度、发展不同
2	850 hPa低涡、切变线	湖北中南部	湖北中部	位置接近
3	850 hPa急流	急流带窄, 较弱, 位置适合	急流带宽广, 较强, 偏西偏北	宽度、强度、位置不同
4	200 hPa散度	辐散较强	辐散较弱	辐散程度不同
5	850 hPa散度	辐合较弱	辐合较强	辐合程度不同
6	地面冷空气	东路冷空气, 较强, 持续时间长	西路冷空气, 较弱, 持续时间短	路径、强度、持续时间不同

下层的温度层结; 两层的温度露点差的差值为:  $(T-T_d)_{850-500} = (T-T_d)_{850} - (T-T_d)_{500}$ , 可以表示上下层的湿度层结。两次过程 $T_{850-500}$ 在22~26 °C, 说明存在明显的“上冷下暖”的不稳定层结; “1804”过程 $(T-T_d)_{850-500}$ 接近于0 °C, 湿度垂直层结变化不明显, “1805”过程>15 °C, 有明显的“上干下湿”不稳定层结。因此后一过程有明显的“上冷下暖”和“上干下湿”的不稳定层结, 更有利于强对流天气的发生。K指数对暴雨有较强的指示意义, 一般当 $K \geq 35$  °C时易出现暴雨<sup>[13]</sup>, 章国材等<sup>[14]</sup>认为 $\theta_{sc}$ 随高度的递减率 $(\Delta\theta_{sc(850-500)}) > 6$  K时, 大气层结不稳定, 更有利于发生强对流天气。两次过程的K值在36~38 °C, 差别不明显; “1804”过程 $\Delta\theta_{sc(850-500)}$ 咸宁大部在9~12 K, “1805”过程在16~19 K, 说明两次过程 $\theta_{sc}$ 都随高度递减, 但后一过程递减率更大, 更有利于发生强对流天气。

### 3.2 水汽、热力、动力因子垂直结构

首先分析降水中心相对湿度和 $\theta_{sc}$ 垂直剖面(图3a和3b), 可以看出, “1804”过程湿层深厚, 22日03时至23日00时, 从地面至200 hPa相对湿度达到90%以上, 说明有发生强降水的湿度条件; “1805”过程低层湿度大, 中层湿度小, 说明中层有干冷空气入侵<sup>[15]</sup>, 利于发生强对流天气。 $\theta_{sc}$ 高值区代表高温高湿区, 低值区代表低温低湿区<sup>[16]</sup>, 从 $\theta_{sc}$ 垂直剖面分析, 可以看出“1804”过程在强降水开始之前(21日18时至22日09时), 900~650 hPa  $\theta_{sc}$ 垂直梯度小于0, 说明不稳定层结延伸至中层, 在上升气流和充足的水汽条件下, 利于产生短时强降水, 逐小时降水实况也反映出这一特点; “1805”过程在6日00时前后, 在500 hPa附近为 $\theta_{sc}$ 小于330 K的低值中心, 而500 hPa以下为大值区, 近地面达到345 K以上, 因此高层低温低湿, 低层高温高湿, 有明显的对流层结不稳定, 有利于强对流天气发生。降水中心散度场和垂

直速度(图3c和3d), “1804”过程从22日06时开始在近地层存在明显的辐合中心, 随着降水的开始, 垂直速度不断增大, 23日18时前后, 在950 hPa附近和500 hPa附近出现很强的辐合和辐散中心, 对应垂直速度( $\omega$ , 下同)中心达到-2.7 m/s, 说明有很强的上升气流。“1805”过程则在6日06时前后, 近地层有大于 $40 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 的辐散中心, 说明有很强的下沉气流, 可能有地面大风, 实际观测证明, 此时出现了极大风速为21.6 m/s大风, 900~800 hPa以下存在辐合中心, 700~600 hPa为辐散中心, 上升气流在中间层, 垂直速度中心仅为-0.8 m/s, 动力条件差, 但在强的不稳定层结中易触发产生雷暴大风天气。

### 3.3 地基微波辐射计特征分析

云水、温度和湿度变化对于暴雨天气分析和业务预报都有重要的指示意义, 微波辐射计是同时探测温度、湿度和云中液态水的较为理想的设备<sup>[17]</sup>。黄治勇<sup>[18]</sup>指出在短时暴雨发生前, 微波辐射计观测的大气液态水含量和大气水汽总量急增对短时暴雨的潜势分析有一定指示意义。从咸宁微波辐射计雨线来看, “1804”过程降水开始于22日04:26, 其整层水汽含量(Vint)在降水发生前近3小时内, 有两次明显波动, 其峰值均>90 mm, 降水开始前近半小时(04:00), Vint呈波动递减趋势; 整层液态水含量(Lint)在04:00之前, 其波动特征与Vint相似, 也有两次>20mm的明显峰值, 不同的是在04:00之后Lint开始波动性增加, 至降水开始时再次达到20 mm, 而此时段Vint呈波动性减少, 因此在降水发生前近半小时内, Vint减少、Lint增大, 两者变化趋势正好相反; 另外从云底高度(简称“Cbase”, 下同)来看, 在降水前近3小时内, 云底高度呈降低趋势, 04:00之后Cbase降低幅度增大, 至降水开始时, 云底接近地面, 与Vint的减少和Lint的持续增加有很好的对应, 说明这三个要素能反映暴雨发生潜势, 降水临近时有明显水汽凝结成液态水、云层加厚的特征, 对强降水预报具有一定的指示意义。

## 4 结论与讨论

以上主要从天气背景、物理量特征、微波辐射计一些要素特征等方面对两次过程进行了详细对比分析, 主要有以下具体结论:

1) 两次过程的影响系统有一定的相似性, 但系统的发展、强度、位置、高低层散度场的配置有明显差异: “1804”过程低空急流较弱, 但在咸宁地区有明显的风速辐合, 利于水汽、不稳定能量向上输送, 200 hPa“抽吸”作用很强, 利于产生强烈的上升运

动;“1805”过程西南急流强盛,带来充足的水汽和能量,但上升运动较弱,不稳定能量在低层集聚,利于产生强对流天气。

2) 两次过程在物理量特征上存在明显的差异。在水平结构上,“1804”过程主要体现在低层正涡度大,具有更强的动力条件;“1805”过程则体现出低层能量集聚,有很强的不稳定性。

(3) Vint、Lint、Cbase变化特征在两次过程中有明显差异。从预报角度分析,一是低空急流强盛,并不一定带来强的降水,需要配合系统垂直结构进一步分析;二是200 hPa强的辐散中心,具有很强的“抽吸”作用,与低层辐合区相对应,可产生强的上升运动,在好的水汽、能量条件配合下,易产生强降水;三是微波辐射计的Vint、Lin和Cbase在临近降水时的相应变化,即Vint明显减少,Lint明显增加,云底迅速降低的特征,可以在暴雨预报中提供一定参考作用。

### 参考文献

[1] 施望芝,金琪,刘静,等.湖北省春季暴雨落区数值预报模型和指标.气象科技,2005,33(4):301-304.  
 [2] 胡燕平,单铁良,殷广亚,等.2008年河南黄淮地区暴雨过程个例分析.气象科技,2009,29(6):815-820.  
 [3] 杨晓霞,赵宇,高留喜.山东省春季大暴雨天气的形成机制个例分析.气象科技,2005,33(1):45-49.  
 [4] 毛冬艳,钱传海,齐林,等.贵州南部一次突发性大暴雨的中尺度分析.南京气象学院学报,2007,30(5):601-609.  
 [5] 廖胜石,罗建英,寿绍文,等.一次华南暴雨过程中水汽输送和热量的研究.南京气象学院学报,2007,30(1):107-113.  
 [6] 王能根,彭习灿.2002年4月22-23日咸宁市区域性暴雨过程分析.湖北气象,2003,(3):31-33.  
 [7] 陈力强,张立祥,杨森.东北冷涡诱发的一次连续强风暴环境条件

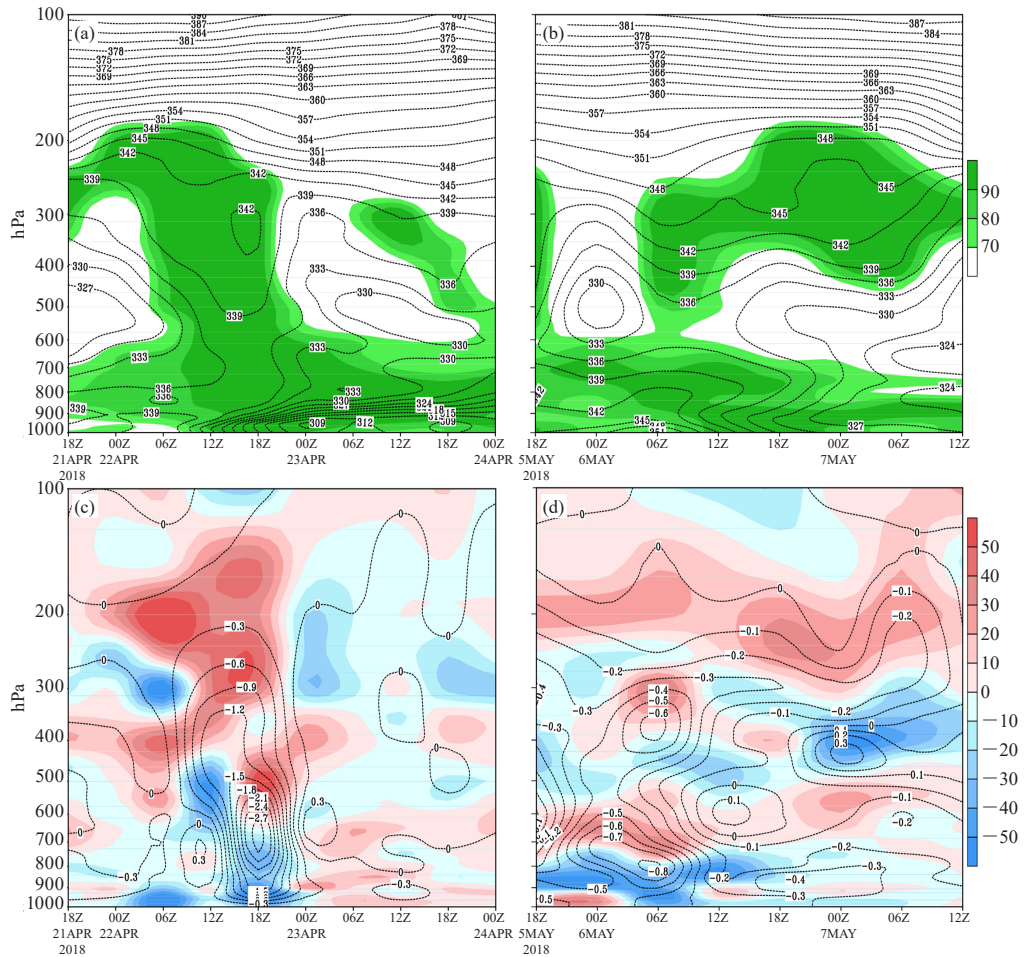


图3 (a, b) “1804” (a, c) 和 “1805” (b, d) 过程降雨中心相对湿度 (阴影区) 和 $\theta_{se}$  (黑色虚线) 垂直剖面; (c, d) 两次过程降雨中心散度 (阴影区) 和垂直速度 (黑色虚线) 垂直剖面  
 Fig. 3 (a, b) vertical profile of relative humidity (shadow area),  $\theta_{se}$  (black dotted line) at rainfall center; (c, d) are profile of divergence (shadow area), vertical velocity (black dotted line) at rainfall center, which are in “1804” (a, c) and “1805” (b, d) process separately

分析.气象与环境学报,2006,22(6):1-5.  
 [8] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法.北京:气象出版社,2007:214-221.  
 [9] 刘希文,徐双柱,王艳,等.湖北梅雨期3次大暴雨过程诊断分析.气象与环境学报,2013,29(6):1-7.  
 [10] 刘蕾,张凌云,陈茂钦,等.南海夏季风爆发后柳州地区前汛期南风顺区暴雨特征.气象与环境学报,2018,34(1):38-44.  
 [11] 蒋兴文,李跃清.长江流域地区水汽输送及其对旱涝影响研究综述.气象科学,2009,29(1):138-142.  
 [12] 方翀,俞小鼎,朱文剑,等.2013年3月20日湖南和广东雷暴大风过程的特征分析.气象,2015,41(11):1305-1314.  
 [13] 高留喜,王彦,万明波,等.山东特大暴雨雷达回波及地形作用分析.大气科学学报,2011,34(2):239-245.  
 [14] 章国材.强对流天气与预报.北京:气象出版社,2011:94-105.  
 [15] 催粉娥,李颀,畅巨峰,等.两次副热带高压外围沿海暴雨过程对比分析.气象科技进展,2015,5(6):42-47.  
 [16] 孟英杰,李丽平,王珊珊,等.中尺度暴雨过程中地形抬升作用分析.安徽农业科学,2010,38(12):6333-3666.  
 [17] 万蓉.我国暴雨研究中新型探测资料反演技术及其应用.气象科技进展,2014,4(2):24-35.  
 [18] 黄治勇,徐桂荣,王晓芳,等.地基微波辐射资料在短时暴雨潜势预报中的应用.应用气象学报,2013,24(5):576-584.