

李慧敏,安晶晶,邱学兴,等.2023.安徽暖季对流活动的雷达气候学特征及影响因素[J].暴雨灾害,42(5):554-562. LI Huimin, AN Jingjing, QIU Xuexing, et al. 2023. Characteristics of convective storm activity during the warm season over Anhui Province based on radar mosaic climatology and the possible causes [J]. *Torrential Rain and Disasters*,42(5):554-562 (in Chinese). doi:10.12406/byzh.2023-016

## 安徽暖季对流活动的雷达气候学特征及影响因素

李慧敏,安晶晶,邱学兴,郑淋淋,刘杰,李劲,吴瑞姣,周晓晔

(安徽省气象台,合肥 230031)

**摘要:**为了解安徽地区暖季对流活动的雷达气候学特征,利用多普勒天气雷达拼图资料和ERA5再分析资料,统计分析了2015—2020年安徽省暖季(5—9月)对流活动雷达回波的气候学特征及影响因素。结果表明:(1)安徽暖季对流活动存在显著月际变化和区域差异。对流在江淮梅雨期的6—7月活动最频繁,5、8月次之,9月最少。6、7月对流数量大值区分布呈西南—东北走向。(2)安徽夏季(6—8月)对流数量日变化呈午后主峰和清晨次峰的双峰特征。其中6月对流活动峰值出现于清晨,与夜间到清晨上游地区低空西南气流加强导致安徽地区水汽通量辐合增强有关。7月对流活动主峰出现于午后,清晨为次峰,其中主峰对流活动持续时间更长,这与7月安徽午后对流有效位能明显增强有关,清晨出现次峰的原因同6月类似,但强度弱于6月。8月对流活动特征为午后单一峰值,日变化幅度最显著,为典型的午后热对流型。

**关键词:**雷达拼图;对流活动;气候学特征;日变化;影响因素

中图分类号: P40

文献标志码: A

DOI: 10.12406/byzh.2023-016

## Characteristics of convective storm activity during the warm season over Anhui Province based on radar mosaic climatology and the possible causes

LI Huimin, AN Jingjing, QIU Xuexing, ZHENG Linlin, Liu Jie, LI Jing, WU Ruijiao, ZHOU Xiaoye

(Anhui Meteorological Observatory, Hefei 230031)

**Abstract:** In order to understand the radar climatology characteristics of convective activity over Anhui Province, the climatological distribution and influencing factors of convective activity during the warm season (May–September) were investigated using Doppler radar mosaic data from five Next Generation Weather Radars and ERA5 reanalysis data between 2015 and 2020. Results indicate that: (1) There are obvious inter-monthly variations and spatial differences of convective activity during the warm season. The convective activity peaks during the Meiyu period, with the highest frequency in June and July, followed by May and August, and the lowest in September. The region with the highest convective in July and July is mainly distributed in the southwest–northeast direction. (2) It is found that the diurnal variation of convective number is bimodally distributed in summer (June–August), with the main peak in the afternoon and a subpeak in the early morning. In June, the peak convective activity mainly occurs in the early morning, which is related to the strengthening of low-level southwest airflow from night to early morning, and thus enhancing the moisture flux convergence in Anhui. In July, the peak convective activity appears in the afternoon, with a subpeak in the early morning. Note that the main peak is stronger and the duration is longer, which is related to the enhancement of convective available potential energy in Anhui in July. The second peak in early morning is also caused by the strengthening of the low-level southwest airflow, which is similar to that in June, but the intensity is weaker. Convective activity in August exhibits a single peak in the afternoon with the most significant diurnal variation, which shows a typical afternoon thermal convection type.

**Key words:** radar mosaic; convective activity; climate characteristics; diurnal variation; influence factor

### 引言

对流是指大气中由浮力产生的垂直运动所导致

的热力输送,而强对流天气通常是指由深厚湿对流产生的,包括冰雹、大风、龙卷、强降水等各种灾害性天气,即强对流天气是对流发展达到一定强度后产生的

收稿日期: 2023-02-04; 定稿日期: 2023-05-04

资助项目: 安徽省气象局预报员专项(kY202002); 淮河流域气象开放研究基金项目(HRM201606); 中国气象局气象预报业务关键技术发展专项(YBGJXM(2020)2A); 安徽省自然科学基金江淮气象联合基金(2208085UQ11)

第一作者: 李慧敏,主要从事雷达气候学研究。E-mail: huiminli92@126.com

通信作者: 安晶晶,主要从事强对流预报工作及研究。E-mail: anjingjing\_hefei@sina.com

剧烈天气现象。我国早期研究使用常规气象观测资料给出了一些对流活动的气候分布特征(刘全根和汤懋苍,1966;张家诚和林之光,1985)。但强对流天气是小概率事件,具有突发性、生命史短、局地性强、易致灾等特点,难以利用常规探测手段对其进行有效监测(孙康远等,2017;潘赫拉等,2020)。研究指出闪电资料可以很好地指示对流活动(陈国春等,2011;孙康远等,2017),我国学者利用闪电定位和静止卫星红外亮温等资料对对流活动的日变化特征开展深入分析,发现江淮地区暖季的对流活动多呈双峰型,主峰出现在下午至傍晚,次峰位于午夜之后的清晨(陈炯等,2013;宇如聪等,2014)。针对安徽对流活动特征,前人研究指出安徽省南部山区闪电频次明显高于北部平原,且两地闪电频次日和月变化均为单峰分布,峰值出现在午后至傍晚,春夏季多于秋冬季(程向阳等,2018;鞠晓雨等,2022;王凯等,2022)。但闪电定位系统监测到的雷电在空间上是二维,难以对对流活动的演变进行探测,而多普勒天气雷达可探测到对流风暴的三维结构,对对流风暴的移动预报及合并消亡的识别具有优势(姚叶青等,2011)。

我国新一代多普勒雷达资料时空分辨率高、可三维立体探测雷暴信息,能有效为监测预警对流性天气提供科学的数据支撑,因此近年来在对流活动研究中得到了广泛应用,为对流性强降水和对流活动的临近预报预警提供科学气候背景和重点关注对象(Chen et al., 2009;管理等,2020)。陈明轩等(2012)利用雷达拼图资料研究了京津冀地区对流活动的日变化特征,指出暖季对流大多出现在午后,并受地形的影响存在山区向平原传播和发展的特征。Chen等(2015)、孙康远等(2017)和支树林等(2021)分别利用雷达资料揭示了我国珠江三角洲、南京和陕西汉中及周边地区暖季对流活动的时空分布特征。管理等(2020)利用雷达产品研究了上海地区暖季午后局地对流活动的空间分布和三维结构等气候特征,并指出主要成因为城市热岛和北支海风锋。Carbone等(2002)、Ahijevych等(2004)利用多年雷达探测资料揭示了美国大陆对流性降水回波存在明显的日循环和半日循环的周期性传播特征,并指出地形动力抬升和局地热力强迫对对流新生和传播具有重要影响。

安徽省地形复杂,从北向南大致可分为淮北平原、江淮丘陵、大别山区、沿江平原和皖南山区(胡雯等,2010),其中大别山区和皖南山区都是中小尺度地形。目前对安徽地区对流活动的气候分布特征研究较少,前期研究通常采用安徽80个国家站地面观测数据,覆盖范围及研究尺度不够精细(柳春等,2017)。而

安徽业务雷达拼图资料具有时空分辨率高及覆盖范围全的优势,故本文利用该资料对安徽省暖季对流活动气候学特征进行研究,分析暖季对流活动的时空分布及其可能影响因素,以期进一步提高气象业务人员对对流活动的认识,为灾害性对流天气的识别及预警提供科学依据。

## 1 资料和研究方法

### 1.1 资料说明

本文使用的资料包括:(1)安徽省气象台提供的2015—2020年安徽省多普勒天气雷达组合反射率因子拼图数据(Mosaic of Composite Reflectivity, MCR),时间分辨率为6 min,空间分辨率为 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ ,雷达拼图空间范围为 $113^{\circ}$ — $121^{\circ}$ E和 $27^{\circ}$ — $36^{\circ}$ N。(2)欧洲中期天气预报中心提供的2015—2020年ERA5高分辨率的再分析格点资料,水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ,时间分辨率为1 h,包括25层等压面上的位势高度场、风场和温度场等气象要素,选取空间范围为 $100^{\circ}$ — $140^{\circ}$ E和 $20^{\circ}$ — $45^{\circ}$ N。

### 1.2 研究方法

采用中国气象局开发的短时临近预报系统(Severe Weather Automatic Nowcast System, SWAN)中的雷达拼图模块对图1所示的安徽省五部(阜阳、蚌埠、合肥、安庆和铜陵站)新一代多普勒天气雷达基数据资料进行历史回放,输出MCR拼图产品。

由于雷达回波包含对流回波和稳定回波,进行对流活动研究时,需识别提取出对流回波。本文参考Chen等(2012)研究将MCR产品中大于40 dBz区域认为是对流活动区域,其中MCR大于40 dBz格点数称为

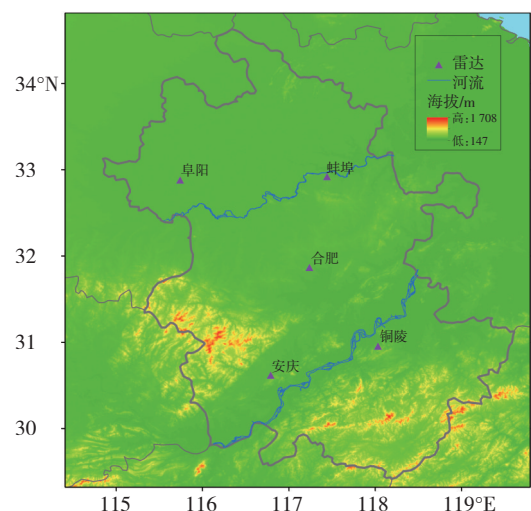


图1 安徽地形分布及阜阳、蚌埠、合肥、安庆和铜陵五部多普勒天气雷达站点位置

Fig.1 Topography of Anhui Province and the locations of five doppler weather radar stations of Fuyang, Bengbu, Hefei, Anqing and Tongling

对流活动数量,而每小时的对流数量与24 h总对流数量的比值称为对流活动频次。

### 2 暖季对流活动逐月空间分布特征

图2是安徽地区2015—2020年暖季(5—9月)逐月累计对流活动数量的时空分布,根据安徽省对流活动实况,将对流数量大于200个的区域划分为高值区,大于120个的区域为中值区。由图可见,暖季对流活动数量空间分布呈显著的月际变化和区域分布特征。5月对流活动数量偏少,主要分布在沿江和江淮之间的安庆、池州、宣城、铜陵、合肥和滁州等地,北部对流相对较少。6、7月对流活动最为频繁,这与此阶段安徽

处于梅雨期有关(于波等,2013),对流数量中值区大体都沿着大别山南麓到安徽中部并一直延伸到沿淮东部,呈西南—东北走向,其中安庆、池州、合肥、芜湖、铜陵以及蚌埠和滁州等地为对流数量高值区,预报部门应重点监测这些区域的暖季对流活动。相比6月、7月的对流数量中值区略有北抬,这与安徽省梅雨期雨带随时间自南向北移动有关。

受西北太平洋副热带高压(以下简称西太副高)北抬影响,8月梅雨结束。此时对流数量中值区出现在江北地区,高值区位于宿州、蚌埠和滁州等地,其他地区多为分散性对流活动。9月由于安徽日照减少,全省对流数量在暖季中为最少,中值区主要位于江淮之间中东部。

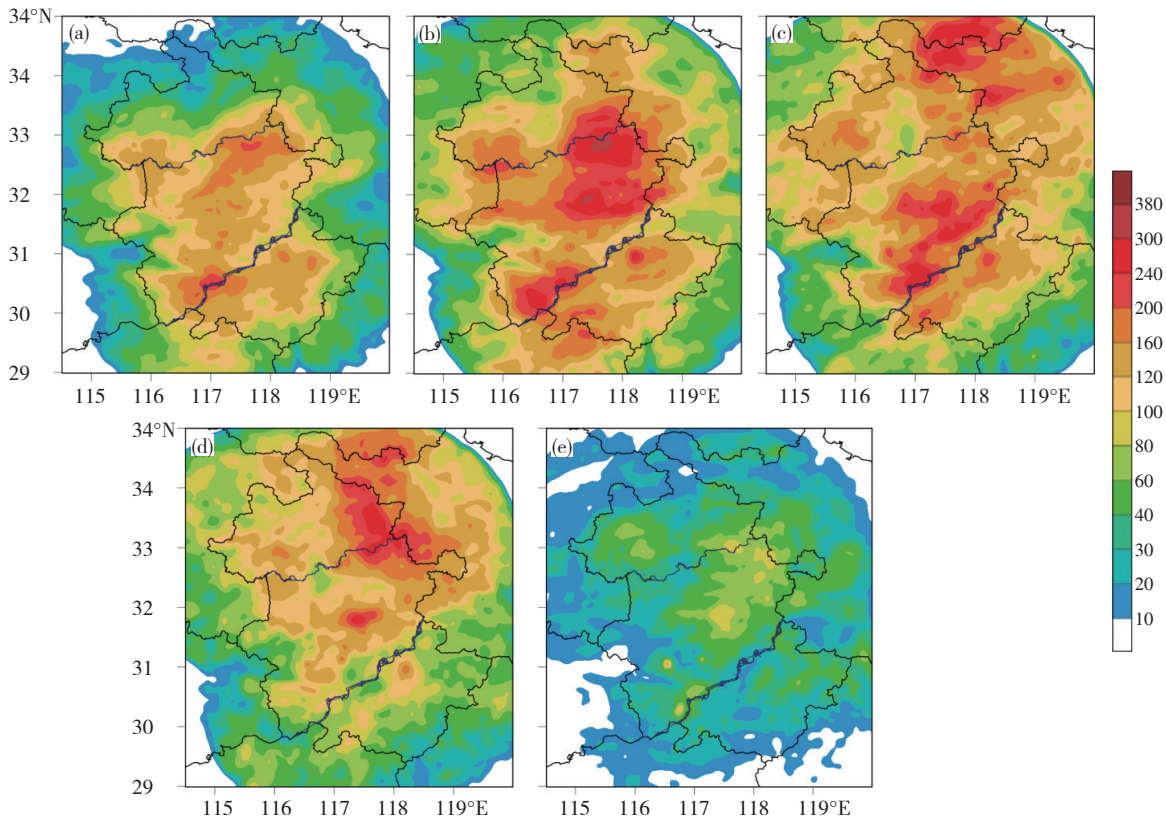


图2 2015—2020年5—9月(a—e)安徽省逐月累计对流活动数量(单位:个)时空分布

Fig.2 Spatial and temporal distributions of monthly cumulative activity (unit: number) between (a—e) May and September from 2015 to 2020

### 3 夏季对流活动日变化

#### 3.1 6—8月对流活动日变化特征

综上,安徽夏季(6—8月)为对流活动频发期,因此进一步围绕夏季对流活动数量开展研究。图3为2015—2020年夏季安徽地区逐时对流活动频次日变化曲线。总体来看,安徽地区夏季对流活动频次日变化分布呈双峰特征,主峰出现于午后14—20时(北京时间,下同),峰值出现在16—17时,次峰出现于清晨05—08时,这与前人研究指出我国中东部地区降水峰值分布存在午后和清晨两个峰值的特征相一致(陈炯

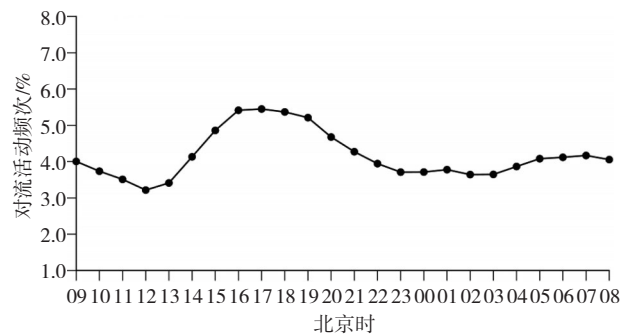


图3 2015—2020年夏季(6—8月)安徽地区对流活动频次日变化  
Fig.3 Diurnal cycles of convection activity frequency in summer (June—August) over Anhui area from 2015 to 2020

等,2013;宇如聪等,2014)。

图4为夏季08时一次日08时累计对流活动数量空间分布,可以看出午后大别山区南部对流迅速增多,对流数量较多区(50个以上)呈西南—东北走向,从安庆、池州经合肥、马鞍山一直扩展到滁州、蚌埠和宿州等地。20时以后对流数量逐渐减少,其中大别山附近对流数量迅速减少,反映了太阳辐射日变化对地形

热力作用的影响。夜间02时之后安徽省对流数量逐渐增多,对流活动先从安庆、池州、芜湖和铜陵等地开始增多,随后中部合肥等地也逐渐增多并与西南部对流连成一片,清晨08时江淮之间中东部合肥、芜湖、滁州对流活动数量开始增多,达到第二个峰值。相对午后峰值来说,清晨对流数量大值区的强度和范围均偏小,主要集中在江淮之间中东部。

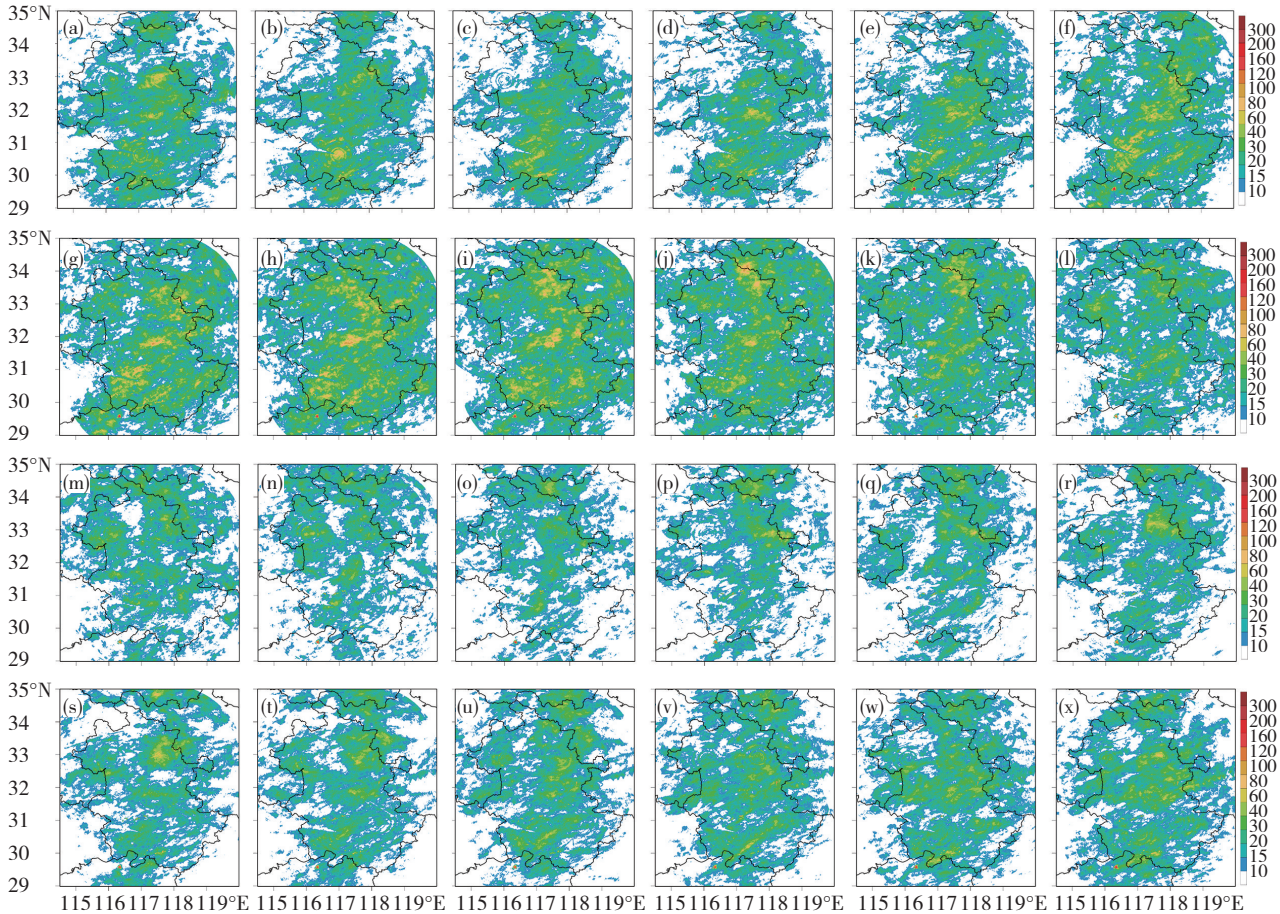


图4 2015—2020年安徽夏季累计对流活动数量(单位:个)从08时至次日08时(a—x)的空间分布

Fig.4 Spatial distributions of summer cumulative convection number (unit: number) in Anhui Province for (a—x)

each hour of the day (from 08:00 BT to 08:00 BT of the next day) from 2015 to 2020

### 3.2 逐月对流活动日变化特征

为更进一步了解夏季不同月份对流活动的日变化特征差异,图5为2015—2020年安徽地区6—8月逐月对流活动频次日变化分布,6月对流活动频次日变化分布呈单峰型,波峰出现在清晨05—08时,峰值在07时,午后呈较为平缓的波谷形态。7月对流活动频次日变化呈双峰型,主峰出现在午后14—20时,随后开始减少,在07—08时对流频次出现上升,于清晨出现次峰。8月对流活动频次日变化呈显著单峰型,对流活动主要活跃在午后14—21时,峰值远大于6—7月,日变化差异最为显著。

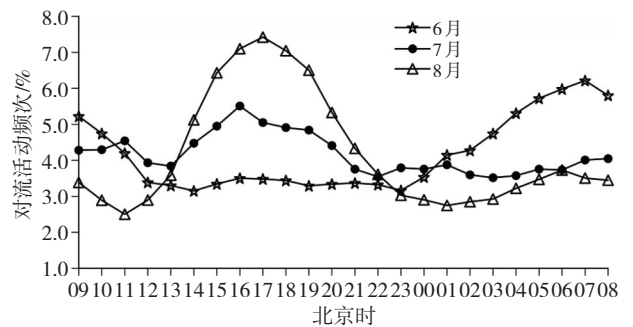


图5 2015—2020年6—8月安徽地区对流频次的日变化

Fig.5 Diurnal cycles of convection activity frequency over Anhui area

between June and August from 2015 to 2020

根据6—8月峰值出现的时间选取每日12时至次日08时逐4h共6个时次分析对流活动数量的空间分

布特征(图6),6月对流数量在午后明显减少,夜间23时左右安徽省沿淮东部开始对流活动增多并一直维

持,随后03时左右大别山区南麓的安庆等地逐渐增多,同时江淮之间的合肥对流数量也开始增多,在清晨07—08时江淮之间中东部的合肥、滁州和蚌埠等地对流数量达到最大。

7月对流活动主要出现在午后15—16时,对流活动分布较分散,主要位于大别山区南麓的安庆、池州,中部

的合肥、芜湖、蚌埠及滁州等地。16时之后对流数量逐渐减少,其中大别山区的对流数量减少较快。夜间对流数量逐渐减少,清晨时段江淮之间中部对流数量继续增多。

8月午后15—16时对流数量较大区覆盖范围更广,集中出现在安庆、合肥、蚌埠、滁州、宿州等地,20时之后对流活动迅速减少。

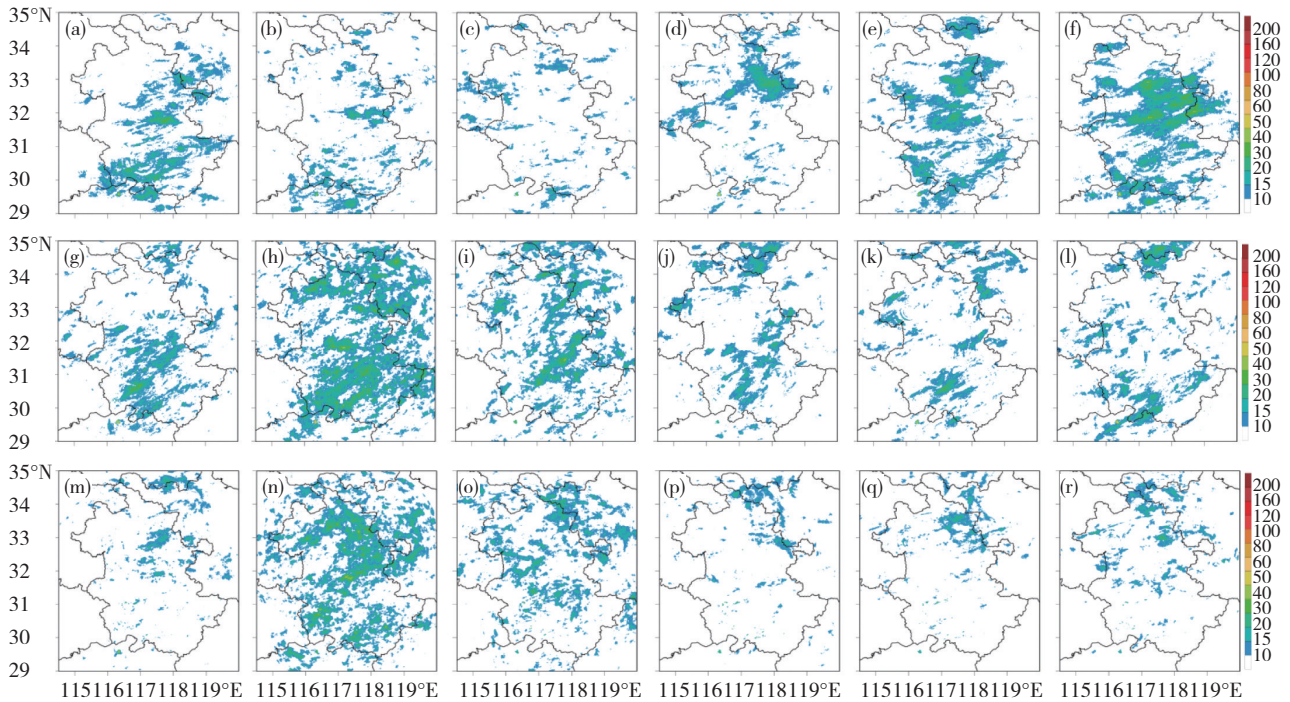


图6 2015—2020年安徽6月(a—f)、7月(g—l)、8月(m—r)逐月累计对流活动数量(单位:个)每日12时(a, g, m)、16时(b, h, n)、20时(c, i, o)、24时(d, j, p)、次日04(e, k, q)和08时(f, l, r)日变化分布

Fig.6 Spatial distributions of cumulative convection number (unit: number) for six hours of the day in (a—f) June, (g—l) July and (m—r) August from 2015 to 2020 in Anhui Province (select 6 times at (a, g, m) 12:00, (b, h, n) 16:00, (c, i, o) 20:00, (d, j, p) 24:00, (e, k, q) 04:00, (f, l, r) 08:00 BT)

## 4 影响因素分析

### 4.1 暖季对流活动月变化可能影响因素

图7是2015—2020年平均5—9月500 hPa位势高度场和风场、850 hPa相对湿度和风场、925 hPa假相当位温( $\theta_{se}$ )和风场以及对流有效位能(CAPE)分布。由图可见,5—9月伴随西太副高移动,对流层中层盛行风向随之改变。5月西太副高呈东西带状分布,脊线位于 $20^{\circ}\text{N}$ 以南,安徽上空500 hPa环流为偏西气流,850 hPa和925 hPa西南气流输送南部暖湿空气,并在安徽西南地区出现西南风风速辐合,且沿辐合方向存在明显的相对湿度梯度和 $\theta_{se}$ 梯度(图7b<sub>1</sub>和c<sub>1</sub>),有利于安徽地区暖湿平流建立和维持,为对流发展提供有利条件,但此时安徽地区大多受干冷空气控制,CAPE较弱,对流发展受限。

6月随着东亚夏季风爆发,西太副高东部相比5月略微北抬,脊线位于 $20^{\circ}\text{N}$ 附近,西风带槽后西北气流和西太副高西北侧西南气流在安徽省上空形成冷暖

交汇的有利形势,且安徽上游地区的低空西南风也有所增强,进一步加强了低纬度暖湿气流向安徽省输送。925 hPa安徽省 $\theta_{se}$ 有所增大,且长江中下游地区出现西南风转东南风的暖式切变,为对流的发展提供了动力条件。CAPE相对5月有所上升,为对流发展提供能量。

7月随着西太副高进一步北抬,500 hPa盛行风向由偏西风转为西南风,低层850 hPa西南风也进一步北推,中低层共同建立西南暖湿气流输送通道,同时925 hPa安徽省 $\theta_{se}$ 明显增大,西南部达到345 K,此时安徽多为暖湿气团控制,CAPE达到 $1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,为对流的发展提供高能高湿的环境条件。

8月西太副高主体偏东偏北,脊线到达 $30^{\circ}\text{N}$ 左右,此时安徽南部多受西太副高西南部偏南偏东气流控制,850 hPa和925 hPa风场也由原来的西南风转为东南风,这利于将东部海上暖湿气流向安徽输送,CAPE值也达到了 $900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,使得安徽中东部地区对流活动频发(图2d)。

9月西太副高南落,安徽地区中层风向恢复为平直西风,低层都转为东北风输送干冷气流,相对湿度

降低,对应的 $\theta_{se}$ 也迅速降低,安徽主要受干冷气团控制,CAPE值低,对流活动迅速减少。

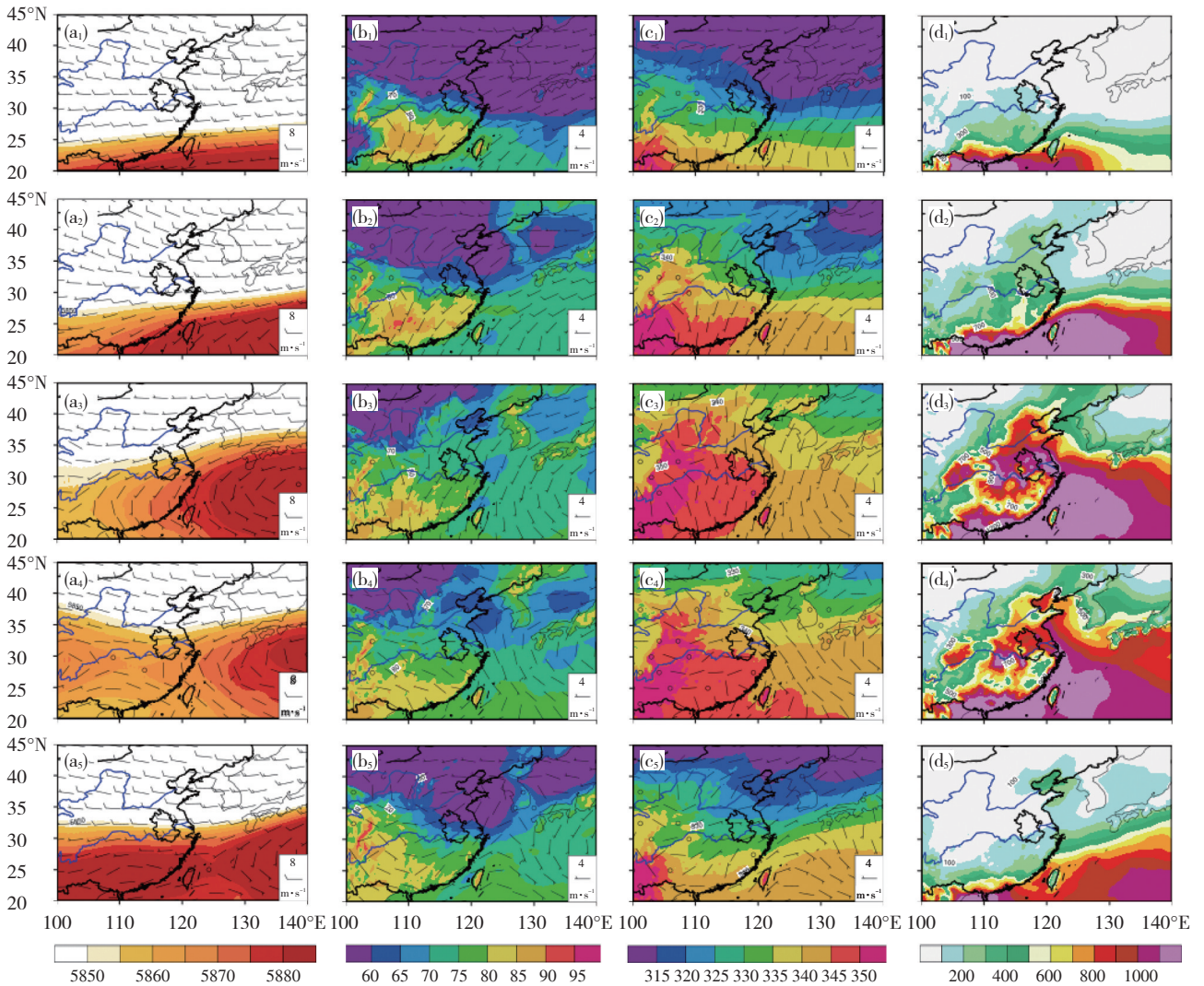


图7 2015—2020年5—9月500 hPa位势高度(填色,单位: gpm)与风场(风向杆,单位:  $m \cdot s^{-1}$ ) (a<sub>1</sub>—a<sub>5</sub>),850 hPa相对湿度(填色,单位: %)和风场(风向杆,单位:  $m \cdot s^{-1}$ ) (b<sub>1</sub>—b<sub>5</sub>),925 hPa假相当位温 $\theta_{se}$  (填色,单位: K)和风场(风向杆,单位:  $m \cdot s^{-1}$ ) (c<sub>1</sub>—c<sub>5</sub>)及对流有效位能(填色,单位:  $J \cdot kg^{-1}$ ) (d<sub>1</sub>—d<sub>5</sub>)的月平均分布(图中仅显示安徽省界线,下同)

Fig.7 (a<sub>1</sub>—a<sub>5</sub>) The mean pressure (shaded, unit: gpm) and wind (barb, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) fields at 500 hPa, (b<sub>1</sub>—b<sub>5</sub>) the relative humidity (shaded, unit: %) and wind (barb, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) fields at 850 hPa, (c<sub>1</sub>—c<sub>5</sub>) the pseudo equivalent potential temperature (shaded, unit: K) and wind (barb, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) fields at 925 hPa, and (d<sub>1</sub>—d<sub>5</sub>) the convective available potential energy (shaded, unit:  $J \cdot kg^{-1}$ ) between May and September from 2015 to 2020 (only the boundary of Anhui Province is shown on the map, the same below)

### 4.2 夏季对流活动日变化的可能影响因素

为进一步研究安徽省夏季不同月份对流活动日变化差异的可能影响因素,图8给出了6—8月逐月14时、20时、次日02和08时850 hPa水平风场和风速及6月上述四个时次的水汽通量散度日变化分布。由图可见,6月安徽上游地区低空平均风向为西南风,平均风速在02时最强,20时最弱,其中02—08时一直维持较强的西南气流,安徽正位于西南气流大风速的前方风速辐合区,水汽通量辐合较强(图8d<sub>3</sub>),有利于暖湿

气流源源不断的向该区域输送,且西南气流受到大别山区地形动力抬升作用使得山区对流活动频发,导致6月对流活动数量在清晨出现峰值。相比6月而言,7、8月受西太副高北抬影响,夜间到清晨上游地区低层西南风有所减弱,安徽地区水汽输送减弱,不利于清晨对流活动发展,但太阳辐射增温加强,且午后对流有效位能更高(图9),为午后对流发展提供有力的环境条件,导致盛夏均出现显著的午后峰值。值得注意的是,7月低空西南风存也存在夜间到清晨加强特征,但

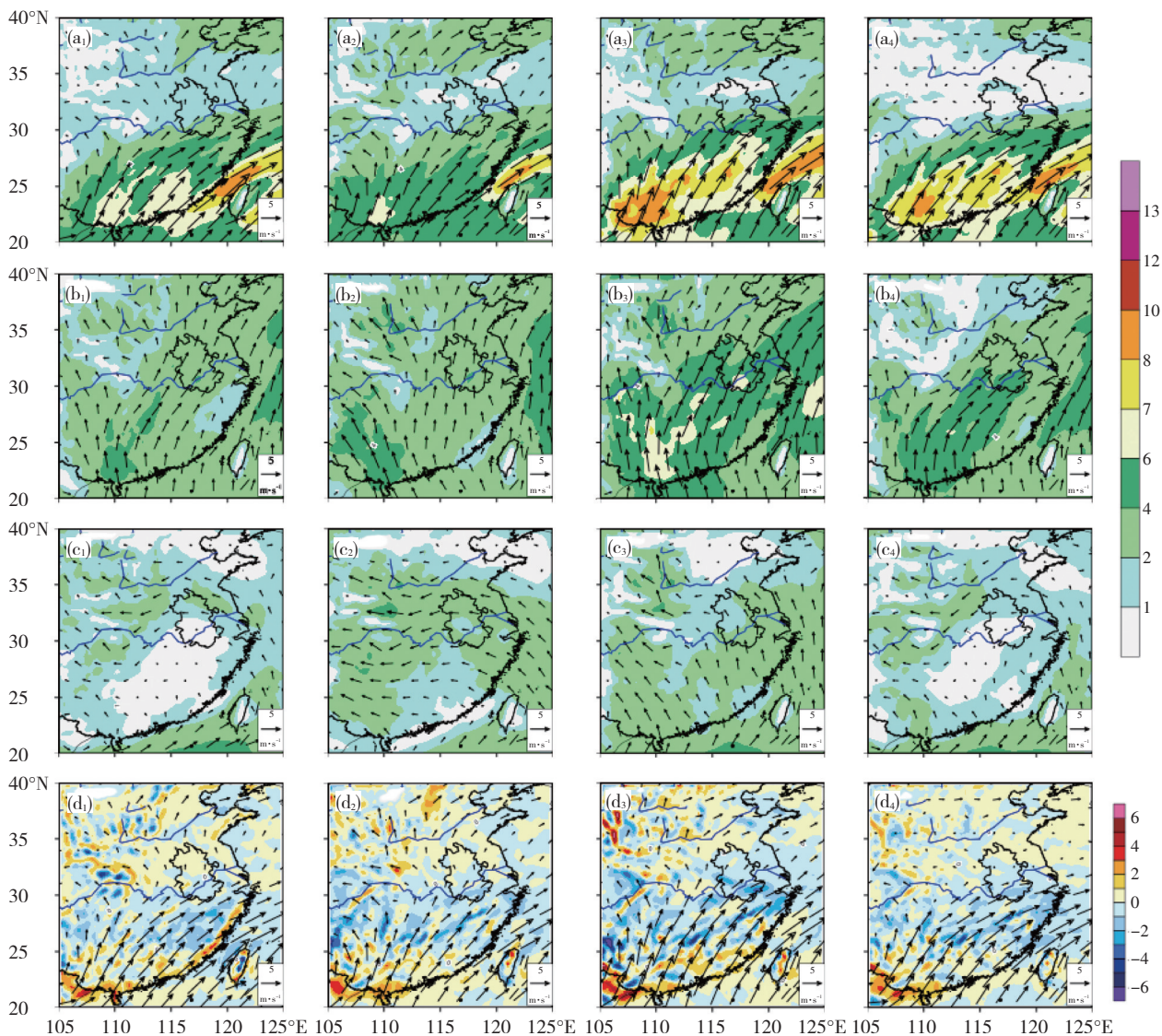


图8 2015—2020年6月(a<sub>1</sub>—a<sub>4</sub>)、7月(b<sub>1</sub>—b<sub>4</sub>)和8月(c<sub>1</sub>—c<sub>4</sub>)平均14时(a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, c<sub>1</sub>)、20时(a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>)、次日02时(a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>, c<sub>3</sub>)和08时(a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub>, c<sub>4</sub>) 850 hPa风场(矢量,单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、水平风速(填色,单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )及6月(d<sub>1</sub>—d<sub>4</sub>)平均14时(d<sub>1</sub>)、20时(d<sub>2</sub>)、次日02时(d<sub>3</sub>)和08时(d<sub>4</sub>)850 hPa风场(矢量,单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )和水汽通量散度(填色,单位:  $10\text{ g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})^{-1}$ )空间分布

Fig.8 The spatial distributions of 850 hPa average horizontal wind fields (vector, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and wind speed (shaded, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) in (a<sub>1</sub>—a<sub>4</sub>) June, (b<sub>1</sub>—b<sub>4</sub>) July and (c<sub>1</sub>—c<sub>4</sub>) August, and the average horizontal wind fields (vector, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and the moisture flux divergence (shaded, unit:  $10\text{ g}\cdot(\text{cm}\cdot\text{s}\cdot\text{hPa})^{-1}$ ) in (d<sub>1</sub>—d<sub>4</sub>) June at (a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, c<sub>1</sub>, d<sub>1</sub>) 14:00, (a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>, d<sub>2</sub>) 20:00, (a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>, c<sub>3</sub>, d<sub>3</sub>) 02:00, (a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub>, c<sub>4</sub>, d<sub>4</sub>) 08:00 BT from 2015 to 2020

强度较6月明显减弱。

## 5 结论和讨论

本文利用2015—2020年暖季(5—9月)安徽省多普勒天气雷达拼图资料,提取识别对流活动区域,分析了安徽地区对流活动的雷达气候特征及相关的环境场背景,得到了对流活动的时空分布及可能影响因素。得到主要结论如下:

(1) 安徽省暖季对流活动具有明显月际变化和区域分布特征,6、7月为对流活动高峰期,5、8月次之,9月最少。6、7月对流数量大值区呈西南—东北走向分布,其中安庆、池州、合肥、芜湖、铜陵、蚌埠和滁州等

地为主要对流活跃地区。8月对流活动主要活跃在安徽省沿淮东部和东北部的蚌埠、滁州和宿州等地。

(2) 夏季对流活动数量日变化呈双峰特征。主峰分布在午后14—20时,覆盖全省大部分地区,次峰出现在清晨05—08时,强度和范围均小于午后。

(3) 6—8月逐月对流活动数量日变化特征存在明显差异。6月对流活动为单峰型,主峰出现于清晨,与夜间到清晨上游地区低空西南气流增强导致安徽地区水汽通量辐合增强有关。7月对流活动的主峰、次峰分别出现在午后和清晨,午后的对流活动持续时间更长,这与7月安徽午后对流有效位能明显增强有关;清晨次峰形成原因同6月类似,但强度弱于6月。8月

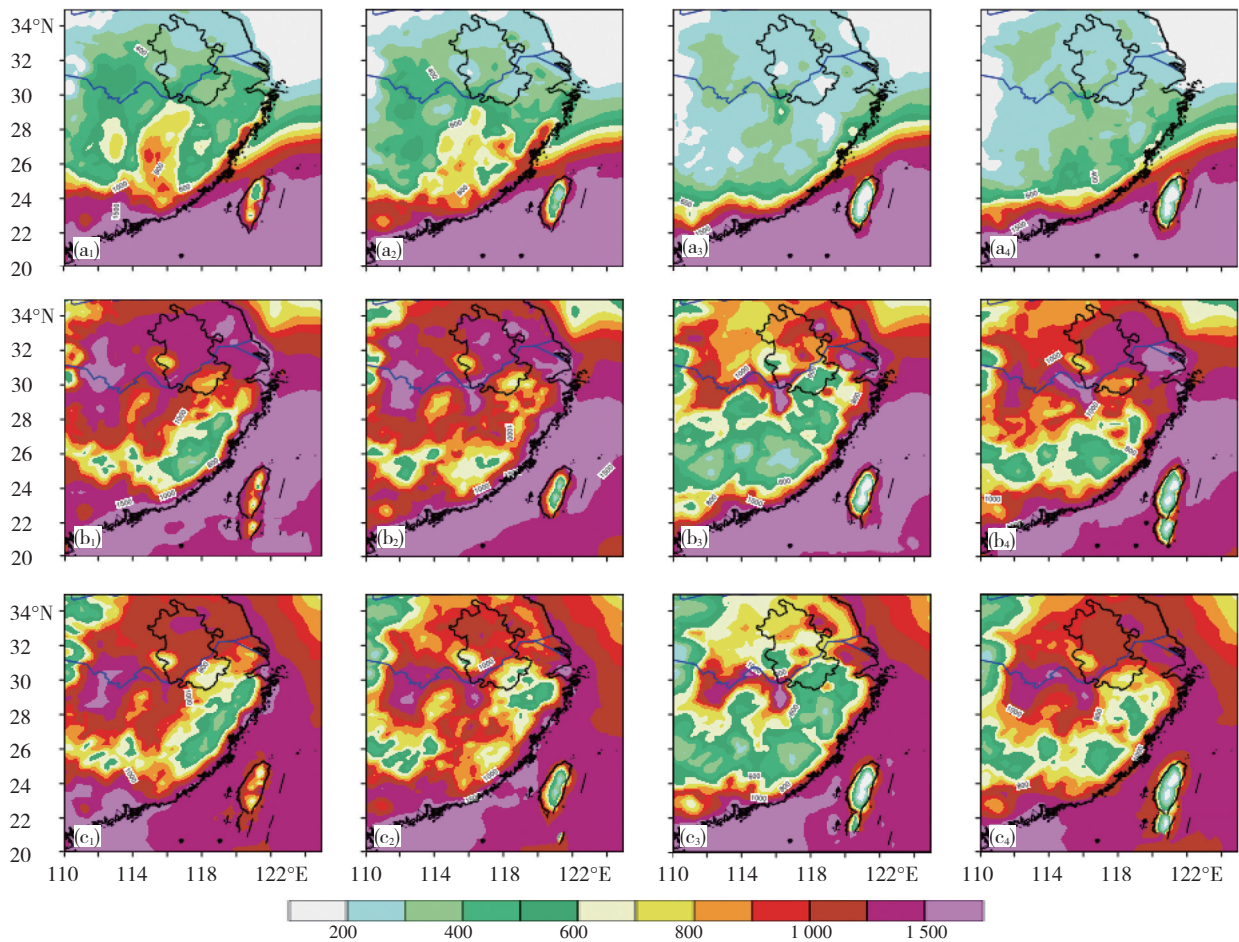


图9 2015—2020年6月(a<sub>1</sub>—a<sub>4</sub>)、7月(b<sub>1</sub>—b<sub>4</sub>)和8月(c<sub>1</sub>—c<sub>4</sub>)平均14时(a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, c<sub>1</sub>)、20时(a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>)、次日02时(a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>, c<sub>3</sub>)和08时(a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub>, c<sub>4</sub>)对流有效位能(填色,单位: J·kg<sup>-1</sup>)空间分布

Fig.9 The spatial distributions of convective available potential energy (shaded, unit: J·kg<sup>-1</sup>) in (a<sub>1</sub>—a<sub>4</sub>) June, (b<sub>1</sub>—b<sub>4</sub>) July, and (c<sub>1</sub>—c<sub>4</sub>) August at (a<sub>1</sub>, b<sub>1</sub>, c<sub>1</sub>) 14:00, (a<sub>2</sub>, b<sub>2</sub>, c<sub>2</sub>) 20:00, (a<sub>3</sub>, b<sub>3</sub>, c<sub>3</sub>) 02:00, (a<sub>4</sub>, b<sub>4</sub>, c<sub>4</sub>) 08:00 BT from 2015 to 2020

对流活动为午后单一峰值,日变化幅度最为显著,为典型的午后局地热对流型。

本文通过多年高时空分辨率的雷达资料对安徽省对流活动进行气候特征分析,得出了更加精细的暖季对流活动的时空分布特征,并进一步指出夏季各月之间对流日变化特征存在明显差异,并分析了其产生的可能原因,研究结果可为安徽省天气预报员高质量做好对流活动监测预警工作提供更加详细的气候背景和重点关注对象。如6月,预报员需要关注夜间到清晨时段大别山区一带和江淮之间中东部地区对流活动的发生发展,尤其需要加强监测清晨时段对流活动的发展。7月是值得预报员高度重视的月份,随着水汽和热力条件的进一步增强,除了关注大别山区和江淮之间等地夜间和清晨低空气流加强导致对流活动频发外,更需关注午后对流的发展情况。8月需要关注安徽省长江以北中东部午后局地热对流的发展情况。但本文仅基于雷达回波对对流活动的时空分布进行分析,关于安徽地形对对流的新生和传播机制

有待进一步深入研究。

参考文献(References):

陈国春,郑永光,肖天贵.2011.我国暖季深对流云分布与日变化特征分析[J].气象,37(1):75-84. Chen G C, Zheng Y G, Xiao T G. 2011. Distribution and spatio-temporal variations of deep convective clouds over China during the warm season [J]. Meteorological Monthly,37(1):75-84 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2011.1.009

陈炯,郑永光,张小玲,等.2013.中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J].气象学报,71(3):367-382. Chen J, Zheng Y G, Zhang X L, et al. 2013. Analysis of the climatological distribution and diurnal variations of the short-duration heavy rain and its relation with diurnal variations of the MCSs over China during the warm season [J]. Acta Meteorologica Sinica,71(3):367-382 (in Chinese). doi:10.11676/qxb2013.035

陈明轩,王迎春,高峰,等.2014.雷达气候研究进展及其在城市区域强天气临近预报中的应用[J].气象科技进展,4(5):30-41. Chen M X, Wang Y C, Gao F, et al. 2014. An overview of progresses in radar climatology and its prospective applications in nowcasting severe weather over urban regions [J]. Advances in Meteorological Science and Technology,4(5):30-41 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.2095-1973.2014.05.



- 003
- 陈明轩,王迎春,肖现,等.2012.基于雷达资料四维变分同化和三维云模式对一次超级单体风暴发展维持热动力机制的模拟分析[J].大气科学,36(5):929-944. Chen M X, Wang Y C, Xiao X, et al. 2012. A case simulation analysis on thermodynamical mechanism of supercell storm development using 3-D cloud model and 4-D variational assimilation on radar data [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,36(5): 929-944 (in Chinese). doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.11132
- 程向阳,朱浩,周昆,等.2018.安徽地区一次致灾雷暴过程的闪电特征分析[J].暴雨灾害,37(3):265-273. Chen X Y, Zhu H, Zhou K, et al. 2018. Analysis of lightning characteristics during a disaster-causing thunderstorm in Anhui Province [J]. Torrential Rain and Disaster,37(3): 265-273 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004-9045.2018.03.009
- 胡雯,黄勇,汪腊宝.2010.夏季江淮区域对流云合并的基本特征及影响[J].高原气象,29(1):206-213. Hu W, Huang Y, Wang L B. 2010. Characteristic and effect of convective cloud merger in Yangtze and Huaihe River Basins in Summer [J]. Plateau Meteorology,29(1): 206-213 (in Chinese). doi:CNKI:SUN:GYQX.0.2010-01-024
- 鞠晓雨,王凯,朱浩.2022.2011—2021年安徽省闪电时空分布特征分析[J].沙漠与绿洲气象,16(5):110-117. Ju X Y, Wang K, Zhu H. 2022. Spatial and temporal distribution characteristics of lightning in Anhui during 2011-2021 [J]. Desert and Oasis Meteorology,16(5): 110-117 (in Chinese). doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2022.05.015
- 潘赫拉,许东蓓,陈明轩,等.2020.天气雷达气候学研究新进展[J].干旱气象,38(6):887-894. Pan H L, Xu D B, Chen M X, et al. 2020. An overview of progresses on weather radar climatology [J]. Journal of Arid Meteorology,38(6):887-894 (in Chinese). doi:10.11755/j.issn.1006-7639 (2020)-06-0887
- 管理,戴建华,赵渊明,等.2020.上海地区暖季午后对流的雷达气候学特征分析[J].气象,46(12):1543-1554. Guan L, Dai J H, Zhao Y M, et al. 2020. Radar climatology analysis of warm season afternoon convective storm over Shanghai [J]. Meteorological Monthly,46(12):1543-1554 (in Chinese). doi:10.7519/j.issn.1000-0526.2020.12.002
- 刘全根,汤懋苍.1966.中国降雹的气候特征[J].地理学报,32(1): 48-65. Liu Q G, Tang M C. 1966. The Climatic characteristics of hail in China [J]. Acta Geographica Sinica,32(1):48-652 (in Chinese). doi:10.11821/xb196601004
- 柳春,王东勇,郑淋淋.2017.近30年安徽省汛期降水日变化特征分析[J].暴雨灾害,36(1):53-59. Liu C, Wang D Y, Zheng L L. Characteristics of the diurnal variations flood period precipitation in Anhui during the last 30 years [J]. Torrential Rain and Disaster,36(1):53-59 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004-9045.2017.01.007
- 姚叶青,袁松,张义军,等.2011.利用闪电定位和雷达资料进行雷电临近预报方法研究[J].热带气象学报,27(6):905-911. Yao Y Q, Yuan S, Zhang Y J, et al. 2011. A study of lightning nowcasting method using LD-II and Cinrad-SA radar data [J]. Journal of Tropical Meteorology,27 (6):905-911 (in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1004-4965.2011.06.014
- 于波,鲍文中,王东勇,等.2013.安徽天气预报业务基础与实务[M].北京:气象出版社:151-152. Yu B, Bao W Z, Wang D Y, et al. 2013. Basis and practice of weather forecasting business in Anhui Province [M]. Beijing: China Meteorological Press:151-152 (in Chinese).
- 宇如聪,李建,陈昊明,等.2014.中国大陆降水日变化研究进展[J].气象学报,00(5):948-968. Yu R C, Li J, Chen H M, et al. 2014. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China [J]. Acta Meteorologica Sinica,00(5):948-968 (in Chinese). doi:10.11676/qxxb2014.047
- 孙康远,郑媛媛,慕瑞琪,等.2017.南京及周边地区雷达气候学分析[J].气象学报,75(1):178-192. Sun K Y, Zheng Y Y, Mu R Q, et al. 2017. An analysis of radar climatology in Nanjing and its vicinity [J]. Acta Meteorologica Sinica,75(1):178-192 (in Chinese). doi:10.11676/qxxb2017.04
- 王凯,鞠晓雨,邱阳阳,等.2022.2011-2019年安徽南部山区与北部平原闪电分布特征[J].气象与环境学报,38(4):110-117. Wang K, Ju X Y, Qiu Y Y, et al. 2022. Distribution characteristics of lightning in southern mountain areas and northern plains of Anhui province [J]. Journal of Meteorology and Environment,38(4):110-117(in Chinese). doi:10.3969/j.issn.1673-503X.2022.04.013
- 支树林,许东蓓,潘赫拉,等.2021.陕西汉中及其周边地区对流活动的雷达气候特征分析[J].干旱气象,39(4):620-630. Zhi S L, Xu D B, Pan H L, et al. 2021. Analysis on Radar Climatic Characteristics of Convective Activities in and Around Hanzhong Areas in Shaanxi Province [J]. Journal of Arid Meteorology,39(4):620-630 (in Chinese). doi: 10.11755/j.issn.1006-7639(2021)-04-0620
- 张家诚,林之光.1985.中国气候[M].上海:上海科学技术出版社:411-436. Zhang J C. Lin Z G. 1985. Chinese Climate [M]. Shanghai:Shanghai Science and Technology:411-436 (in Chinese)
- Ahijevych D A, Davis C A, Carbone R E, et al. 2004. Initiation of precipitation episodes relative to elevated terrain [J]. Journal of the Atmospheric Sciences,61(22):2763-2769. doi: doi.org/10.1175/JAS3307.1
- Carbone R E, Tuttle J D, Ahijevich D A, et al. 2002. Inferences of predictability associated with warm season precipitation episodes [J]. Journal of the Atmospheric Sciences,59(13):2033-2056. doi:10.1175/1520-0469(2002)059<2033:IOPAWW>2.0.CO;2
- Chen G, Sha W, Iwasaki T. 2009. Diurnal variation of precipitation over southeastern China: Spatial distribution and its seasonality [J]. Journal of Geophysical Research,114,D13103. doi:10.1029/2008JD011103
- Chen M, Wang Y, Gao F, et al. 2012. Diurnal variations in convective storm activity over contiguous North China during the warm season based on radar mosaic climatology [J]. Journal of Geophysical Research,117: D20115. doi:10.1029/2012JD018158
- Chen X, Zhao K, Xue M. 2015. Spatial and temporal characteristics of warm season convection over Pearl River Delta region, China, based on 3 years of operational radar data [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres,119(22):12447-12465. doi:10.1002/2014JD01965

(责任编辑 唐国瑛)