

文章编号:2096 - 5389(2022)06 - 0056 - 07

## 2020 年 7 月 5—8 日长江中下游连续大暴雨特征分析

岳如画<sup>1</sup>, 汤剑松<sup>2</sup>, 王 坤<sup>3</sup>

(1. 安徽省黄山市气象局, 安徽 黄山 245000; 2. 河海大学, 江苏 南京 210019; 3. 江苏省南通市气象局, 江苏 南通 226006)

**摘 要:** 利用地面加密降水资料、NCEP fnl 再分析资料和风云 4A 卫星  $T_{BB}$  资料, 对 2020 年 7 月 5—8 日长江中下游地区的连续性大暴雨过程进行诊断分析。结果表明, 这次连续性大暴雨过程是在有利的大尺度环流背景下, 受切变线影响由列车型对流云团产生的。7 月 5—8 日, 亚洲中高纬度大气环流调整, 贝加尔湖的东阻高崩溃, 带动中高纬度的中高层冷空气持续南下, 在长江流域与北上的暖湿气流交汇, 使得锋区维持, 有利于暴雨产生和发展。暴雨期间, 低空西南急流的增强提供了有利的水汽输送条件, 高空急流增强并发生“倾斜”, 高低空急流的耦合在长江中下游上空形成了强烈的高空辐合与低空辐散, 使得旺盛的上升运动延伸至对流层高层。在有利的环境背景条件下, 中尺度对流系统的“列车效应”是导致本次大暴雨的直接原因。

**关键词:** 暴雨; 环流特征; 水汽; 急流

**中图分类号:** P458.1 + 21.1 **文献标识码:** A

### Characteristics Analysis of Continuous Heavy Rains in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River from July 5 to 8 in 2020

YUE Ruhua<sup>1</sup>, TANG Jiansong<sup>2</sup>, WANG Kun<sup>3</sup>

(1. Huangshan Meteorological Bureau of Anhui Province, Huangshan 245000, China; 2. Hohai University, Nanjing 210019, China; 3. Nantong Meteorological Bureau of Jiangsu Province, Nantong 226006, China)

**Abstract:** From July 5 to 8, 2020, continuous heavy rains occurred in the middle and lower reaches of the Yangtze River. This paper uses ground - encrypted precipitation data, NCEP fnl reanalysis data and Fengyun 4A satellite  $T_{BB}$  data to analyze the rainstorm process. The results show that this weather process occurred in a favorable large - scale circulation background, and was affected by the shear line, which was finally generated by the train - shaped convective cloud cluster. From July 5 to 8, due to the adjustment of atmospheric circulation in the middle and high latitudes of Asia and the collapse of the obstructive high pressure of Lake Baikal, the cold air in the middle and high latitudes continued to advance southward, and the warm and humid airflows from the northward in the Yangtze River converged. The occurrence and development of heavy rain, in addition, the low - altitude southwest jet stream provides sufficient water vapor to strengthen and tilt the upper - level jet stream. The high - level jet stream meets over the middle and lower reaches of the Yangtze River, forming a strong upper - air convergence and low - altitude divergence, which makes the already strong upward movement extend to the upper troposphere. Through the analysis of the above - mentioned various reasons, it can be concluded that under various favorable circulation background conditions, the "train effect" of the mesoscale convective system is the direct cause of this heavy rain.

**Key words:** heavy rain; circulation characteristic; water vapor; jet stream

收稿日期: 2021 - 09 - 22

第一作者简介: 岳如画 (1991—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事短期天气预报研究工作, E - mail: yueruhua91@163.com。

资助项目: 江苏省气象局预报员专项 (JSYBY202006); 201905 号台风“丹娜斯”远距离暴雨的数值模拟诊断研究; 黄山市气象局科研项目 (HS201902); 黄山市暴雨分型。

## 0 引言

连续性暴雨是持续时间长、影响范围广的灾害性天气,极易造成大范围严重洪涝灾害。20世纪90年代以来,我国南方持续性暴雨事件频繁,暴雨对洪涝的贡献明显增大<sup>[1-3]</sup>。陶诗言<sup>[4]</sup>研究指出,持续性大暴雨的发生需要有利的大尺度环流条件维持,在纬向环流下,从宽广的西伯利亚低槽中分裂东南下的冷空气与副热带高压西侧的暖湿气流不断交绥,形成持续性暴雨。暴雨过程是多尺度系统相互作用的结果<sup>[5-8]</sup>,在有利的大尺度环流背景和天气系统配置下的中小尺度系统频繁发生时,往往会产生长时间暴雨。2020年7月5—8日,长江中下游地区出现连续大暴雨,湖北东南部、安徽南部、江西北部等地累计雨量达300~500 mm;湖北浠水和黄梅、江西九江和新建、安徽黄山区、黟县和祁门等多个国家气象观测站单日降雨量突破历史极值。集中强降水导致沿江江南中小河流水位迅猛上涨,诱发多地山洪,高等学校招生全国统一考试安徽歙县考区语文学科考试被迫延期举行,洪水造成包括襄阳古城墙、婺源彩虹桥、黄山镇海桥等多处文物不同程度损毁,此次暴雨造成的巨大财产损失引起

了社会各界广泛关注。

本文利用地面加密降水资料、NCEP  $1^\circ \times 1^\circ$  的fml再分析资料和风云4A卫星 $T_{BB}$ 资料,对2020年7月5—8日长江中下游连续大暴雨过程进行分析,以期提高对暴雨天气的预报能力。

## 1 降水的时空特征

2020年7月5—8日(4日20时—8日20时,下同)累计降水量大值区位于长江中下游沿江和江南北部一带,最大雨量达到400~500 mm(图1a)。本文选取长江中下游包括岳阳、黄石、屯溪、景德镇等98个站点(图1a中圆圈标识)的平均降水量进行分析。5—8日长江中下游地区降水持续偏多(图1b),区域平均日降水量超过40 mm;其中6—7日降水量最多,降水量中心持续位于鄂东北、鄂东南、大别山区和皖南山区,区域平均日降水量超过60 mm。此次连续性暴雨降水强度分布不均匀,其中6日02—08时的强度最大,区域平均6 h降水量超过25 mm,其次为7日08—14时和8日02—08时,区域平均6 h降水量超过20 mm;8日14时之后伴随着雨带南压,长江中下游的降水强度也随之减弱。

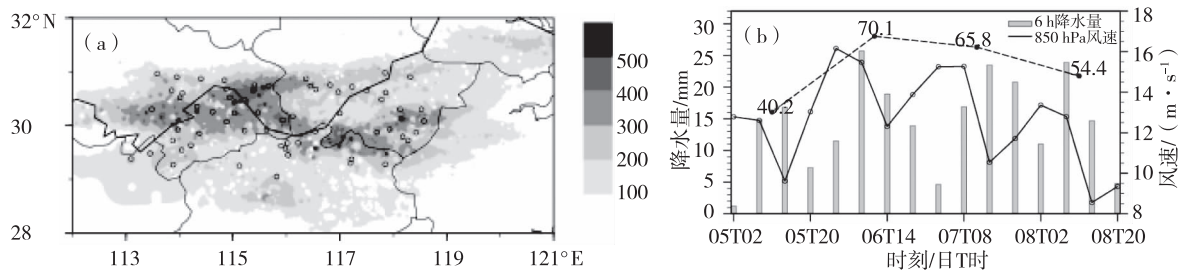


图1 2020年7月5—8日长江中下游总降水量分布(a)和区域平均逐6 h降水量的时间序列(b)

(虚线为逐日降水量,单位:mm;实线为108~114°E,24~28°E平均850 hPa风速,单位 $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 1 Distribution of total precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River from July 5 to 8, 2020(a) and time series of the regional average precipitation per 6 h(b) (The dotted lines indicate the daily precipitation, unit: mm, and the solid lines indicate a regional average of 850 hPa wind speed from 108°E to 114°E, 24°N to 28°N, unit:  $m \cdot s^{-1}$ )

## 2 大尺度环流形势

大尺度的环流形势是暴雨发生发展的背景,我国长江中下游梅雨期降水尤为显著。图2a为本次暴雨过程初始天气形势,7月5日08时500 hPa亚洲中高纬度为双阻型,西阻高位于里海附近,东阻高位于贝加尔湖西侧,两阻高之间巴湖附近为冷中心;季风槽已建立,西太副高西伸至我国华南,脊线位于22°N附近,其西侧西南气流与中高纬东部低涡西侧的偏北气流在长江中下游汇合,有利于锋生并带来充沛水汽;850 hPa东西向存在一切变线从四

川东部伸至安徽南部,有明显的风向和风速辐合,其南侧低空急流强盛,中心最大风速达到 $16 m \cdot s^{-1}$ 。图2b给出5日08时—8日08时500 hPa高度场、200 hPa风场和850 hPa全风速的平均图,由图可见5—8日南支槽前暖湿气流与北方冷空气在长江中下游地区长时间交汇,构成此次连续性暴雨的高空环流背景;长江中下游地区同时处于200 hPa风场的显著分流区和850 hPa西南急流的北侧,高层辐散和低层辐合为降水的发生和加强提供了动力抬升条件。

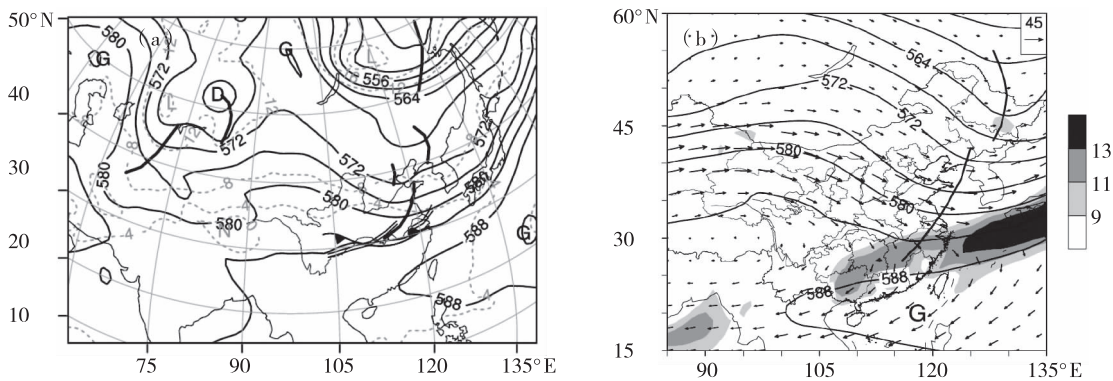


图 2 7 月 5 日 08 时 500 hPa 高度场(实线,单位:dagpm,粗实线代表槽线)、温度场(虚线,单位:℃)、850 hPa 风场切变线(双实线)和地面准静止锋(a);7 月 5 日 08 时—8 日 08 时 200 hPa 风场(箭头,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )、500 hPa 高度场(细实线,单位:dagpm,粗实线代表槽线)、850 hPa 风速场(虚线、阴影,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )平均图(b)

Fig.2 500 hPa potential height (solid lines, unit: dagpm, thick solid lines indicate the trough - line), temperature (dotted lines, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ), 850 hPa wind shear line (double solid lines), and ground quasi - stationary front at 08:00 on July 5(a); the time average of 200 hPa wind (arrows, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 500 hPa potential height(solid lines, unit: dagpm, thick solid lines indicate the trough - line), 850 hPa wind speed (shadings, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) from 08:00 on July 5 to 08:00 on July 8(b)

3 冷暖空气与梅雨锋区

分析沿 113 ~ 119°E 的 850 hPa 风场和温度场的纬度—时间剖面图(图 3a)可以发现,850 hPa 上 30°N 附近一直存在较明显的偏南风,随着 7 月 5 日开始中高纬较强北风携带冷空气南下,与偏南气流在这此处交汇,形成持续强降水;8 日起南北风的交

汇带略有南撤,对应主雨带南压,此时 850 hPa 的北风已较弱,但低层受到冷空气的不断渗透,925 hPa 风场 30°N 一带在 8 日仍有南北风的交汇(图略),而从经向风的高度—时间剖面图(图 3b)可以更清楚地看到,高层北风不断向低层发展,到 8 日晚已接近地面,对应这一带强降水暂歇。

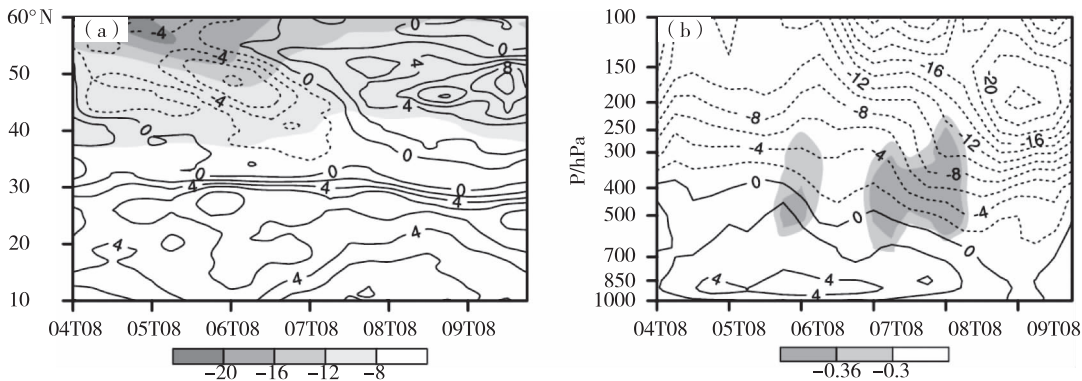


图 3 113 ~ 119°E 平均的 850 hPa 经向风(等值线,负值代表北风,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和温度场(阴影,单位:℃)的纬度—时间剖面图(a);113 ~ 119°E, 28 ~ 32°E 平均的经向风(等值线,负值为北风,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )和垂直速度(阴影,单位: $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ )的高度—时间剖面图(b)

Fig.3 Meridional - time evolution of a zonal average of 850 hPa meridional wind speed (contours, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , negative values represent north wind) and temperature (shadings, unit:  $^{\circ}\text{C}$ ) from 113°E to 119°E(a)and Height - time evolution of a regional average of meridional wind speed (contours, unit:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ , negative values represent north wind) and vertical speed (shadings, unit:  $\text{hPa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) from 113°E to 119°E, 28°N to 32°N(b)

从 113 ~ 119°E 范围平均的假相当位温的时间演变(图 4a)和假相当位温的垂直剖面(图 4b)可以发现,在暴雨持续期间,长江中下游地区上空从对流层低层至高层均维持着假相当位温的密集带,对应着梅雨锋区,强降水主要发生在锋区的南侧。在

30°N 附近的 344 K 等假相当位温线上下贯通,从高层有一假相当位温漏斗状插到低层,干冷空气强盛,其北侧 48°N 附近还有一冷锋锋区,在不同时次的剖面图同样表现出类似的结构,不断向南补充冷空气;在底层有一假相当位温“反漏斗状”上凸,有

暖湿气流输送。暖湿与干冷空气之间的对峙,使得锋区得以维持,梅雨锋区内及锋区两侧垂直环流的加强和高低空急流耦合,有利于降水的加强。

4日晚间(图略)和5日早晨(图略)的安庆站探空图显示,湿层十分深厚,暖湿气流为降水区提

供了充足的水汽;此外低层维持较大的风切变,有利于对流的组织化发展。5日早晨武汉站的探空(图略)显示,低空西南急流和高空西北急流十分强盛,为暴雨的发生提供了触发条件和能量供应。

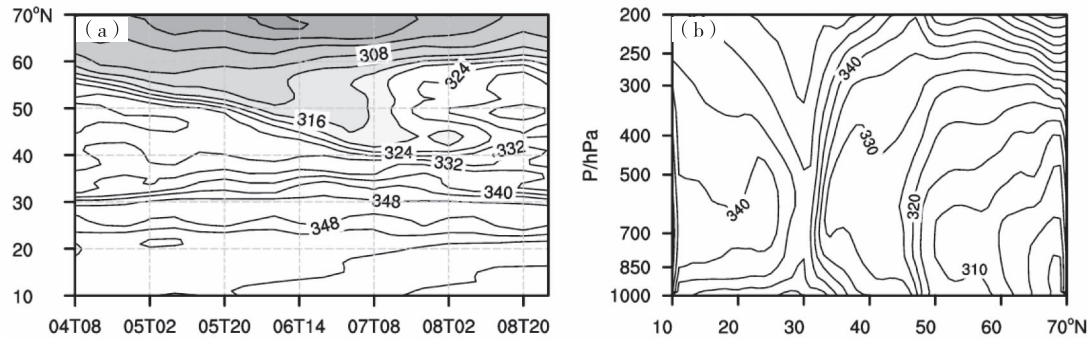


图4 113~119°E 平均的 850 hPa 假相当位温的纬度—时间剖面图(a)  
6 日 08 时沿 117°E 的假相当位温的高度—纬度剖面图(b,单位:K)

Fig. 4 Meridional – time evolution of a zonal average of 850 hPa potential pseudo – equivalent temperature from 113°E to 119°E(a); meridional – vertical distribution of 850 hPa potential pseudo – equivalent temperature along 117°E at 08:00 on July 6(b,unit: K)

4 高低空急流

高空西风急流、低空偏西风急流和边界层偏南风高低空急流对暴雨的形成和维持有重要作用<sup>[9-10]</sup>。许多研究指出降水的日变化与急流的日变化有关<sup>[11-12]</sup>。7月5—8日这次暴雨过程中,高低空始终有急流维持(图5)。用113~119°E,24~28°E(图5a中方框标识)的平均风速代表850 hPa

低空西南急流的强度,由风速和降水量的时间序列(图1b)可见,低空急流强度和长江中下游区域降水强度都存在明显的日变化,6日02时、7日08时和8日02时急流强度达到峰值,与之对应在随后6日08时、7日14时、8日08时的6 h内区域降水量均出现峰值,由此可见低空急流强度与降水强度具有较好的对应关系,且此次过程中,低空急流的增强早于强降水的出现。

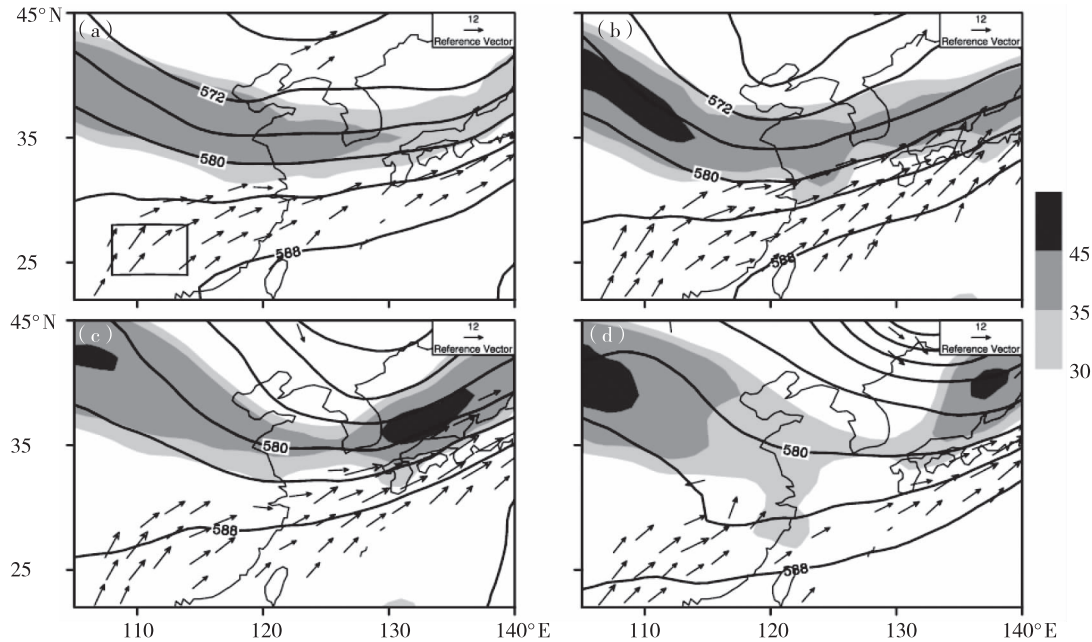


图5 5—8日850 hPa急流(箭头)、500 hPa高度场(实线,间隔4 dagpm)和200 hPa  
风速(阴影,单位:m · s<sup>-1</sup> a. 5日08时; b. 6日08时; c. 7日08时; d. 8日08时

Fig. 5 850 hPa jet stream (arrows), 500 hPa potential height (solid lines, unit: dagpm) and 200 hPa wind speed (shadings, unit: m · s<sup>-1</sup>) at 08:00 on July 5(a), July 6(b), July 7(c), and July 8(d)

4.1 高低空急流耦合与上升运动

进一步分析可见,8 日凌晨的区域平均降水强度仅次于 6 日凌晨,垂直速度的高度时间剖面也表明 8 日凌晨的上升运动最强且发展得最高(图 3b),而低空急流最强的时段为 6 日 02—08 时和 7 日 02—08 时,8 日 02—08 时低空急流虽也较强,但强度远不如前 2 个时段,图 3b 中可见低空急流的强度与暴雨两者之间并不完全对应。为寻找 8 日凌晨强降水的触发因子,需要对 5—8 日的高空急流进一步分析。在整个暴雨过程中,河套地区至黄河下游一带始终存在 1 条高空西风急流(图 5),其中心最大风速超过  $45\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,但急流的位置和强度存在变化。从位置来看,6—8 日  $110^{\circ}\text{E}$  附近 200 hPa 高空急流轴(简称西部急流)中心的位置从  $40^{\circ}\text{N}$  南部迁移至  $40^{\circ}\text{N}$  北部;而  $120^{\circ}\text{E}$  附近高空急流轴(简称东部急流)中心的位置则略有南落,致使整个高空急流轴线不断“倾斜”,呈西北—东南向,从而使得长

江中下游处于高空急流出口区的右侧。徐海明等<sup>[13]</sup>研究指出:“倾斜”高空急流轴出口区右侧由于水平风场的分布不均匀势必出现较强辐散场,诱使暴雨发生发展,因此高空急流轴走向的变化对与暴雨发生发展预报有重要意义。

从剖面图可以看出,高空急流右侧存在明显辐散(图 6),5—6 日  $113\sim119^{\circ}\text{E}$  上空平均的最大辐散强度维持在  $(3\sim5)\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ ,6 日后高层北风分量显著增加,而西风分量相比之下显著减少,高空最大辐散强度增至  $(5\sim7)\times10^{-5}\text{ s}^{-1}$ 。从平面图亦可以看出,高空急流倾斜的同时,急流西部风速增大而东部风速减小,从而使得长江中下游处于高空急流出口区的右侧(图 5)。这种低层辐合、高层强辐散的配置,十分有利于上升运动的发展<sup>[14]</sup>,8 日长江中下游地区高空辐散明显增强,相应的垂直运动十分旺盛,暴雨落区与强上升运动区有较好的对应关系。

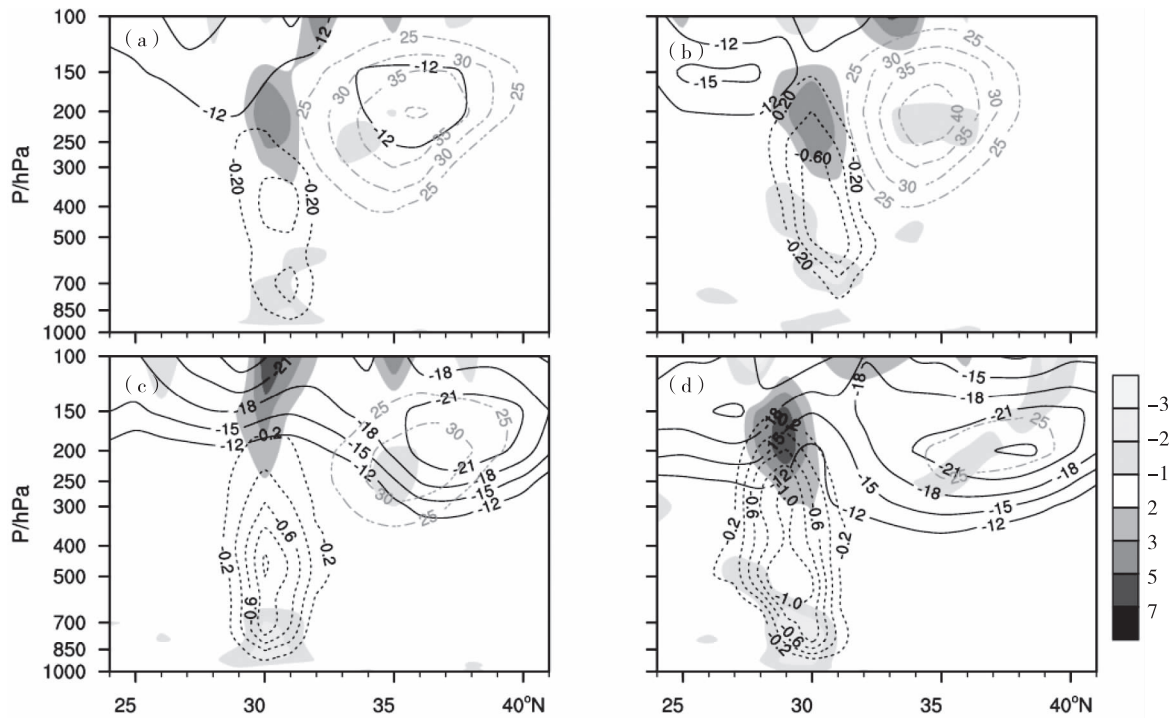


图 6  $113\sim119^{\circ}\text{E}$  平均的经向风(实线,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,负值代表北风)、纬向风(点划线,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )、垂直速度(虚线,单位: $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ )和散度(阴影,单位: $10^{-5}\text{ s}^{-1}$ )的纬度—高度垂直剖面图(a.5 日 08 时;b.6 日 08 时;c.7 日 08 时;d.8 日 08 时)

Fig.6 Meridional - vertical distribution of a zonal average of meridional wind speed (solid lines, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , negative values represent north wind), zonal wind speed (dash - dotted lines, unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), vertical speed (dotted lines, unit:  $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and divergence (shadings, unit:  $10^{-5}\text{ s}^{-1}$ ) from  $113^{\circ}\text{E}$  to  $119^{\circ}\text{E}$  at 08:00 on (a) July 5, (b) July 6, (c) July 7, and (d) July 8

4.2 水汽输送

中低层风场显示,西南急流为本次暴雨过程持续输送水汽。从比湿、水汽通量和水汽通量散度来看(图 7),5—8 日长江中下游地区的 850 hPa 比湿稳定在  $14\sim16\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,700 hPa 的比湿稳定在  $8\sim$

$10\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,且西南地区东部到长江中下游始终维持较大的水汽通量值,6 日 08 时的 850 hPa 水汽通量中心位于鄂东南、大别山区和皖南,其最大值超过  $20\text{ g}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{hPa}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。分析水汽通量散度场发现,与风场辐合区相对应,水汽通量辐合中心存

在于长江中下游地区,5日、7日和8日850 hPa水汽通量散度中心值达 $-50 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而降水最强的6日的850 hPa水汽通量辐合相对较弱。进一步分析发现,6—8日925 hPa强降水

区的水汽通量散度中心值达到 $-60 \times 10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (图略),由此可见,长江中下游始终存在充足的水汽输送和较强的水汽辐合,且超低空水汽辐合对本次暴雨维持起到重要作用。

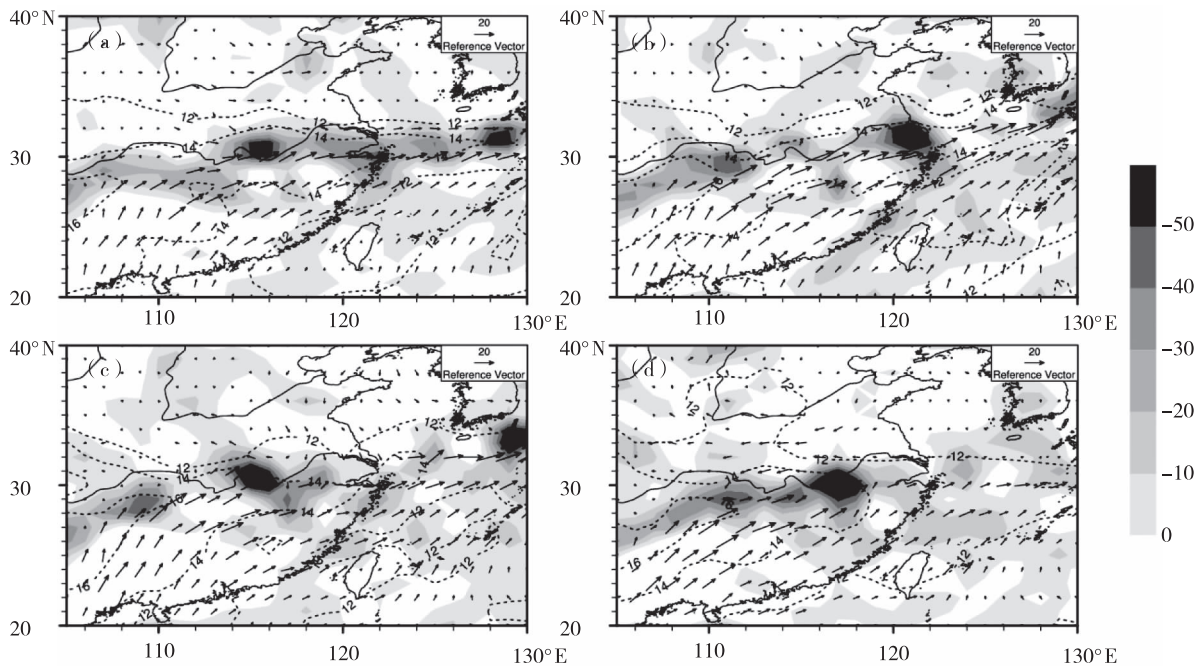


图7 5—8日850 hPa水汽通量(箭头,单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )、水汽通量散度(阴影,单位: $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )和比湿(虚线,单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )(a.5日08时;b.6日08时;c.7日08时;d.8日08时)

Fig. 7 850 hPa water vapor flux (arrows, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ), water vapor flux divergence (shadings, unit: $10^{-8} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and specific humidity (dotted lines, unit: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) at 08:00 on (a) July 5, (b) July 6, (c) July 7, and (d) July 8

## 5 中尺度对流系统的演变特征

中尺度天气系统的发生发展是造成本次强暴雨的最主要原因。以7月6日为例,强降水区位于湖北东部—江苏南部一带(图6虚线之间区域),从FY-4A卫星云图的 $T_{\text{BB}}$ 图像中可以看出,5日21时15分大别山区存在对流A,鄂东南—赣西北地区存在对流云团B,鄂西南、江汉有多个对流云生成(图8a),此后分散的对流云合并成云团C、D、E(图8b),B的北部并入A形成云团AB,D与E合并成云团DE,AB、C、DE的强度和范围明显增大, $T_{\text{BB}}$ 中心值降至低于 $-60^\circ\text{C}$ (图8c),6日03时长江中下游已形成西南—东北向的带状中尺度对流系统MCS,MCS中云团C、DE逐渐合并成云团CDE,其上游还有F、G等新的对流不断触发并逐渐合并(图8d)。这种新单体形成和移动过程被称为“后部建立”和“列车效应”<sup>[15-16]</sup>,新生单体重复地在其上游形成的MCS作为一个整体几乎保持静止,能引起大范围的持续性降水。7月6日长江中下游一带的MCS中,新对流总是从老对流的西侧发展,跟随老

对流沿西南—东北方向移动、合并和发展,MCS系统整体稳定少动,云顶最低TBB达到 $-60^\circ\text{C}$ ,长江中下游的大范围降水从凌晨开始加强,直至下午减弱,持续超过12 h。

## 6 结论

①2020年7月5—8日,长江中下游地区出现连续性大暴雨过程,降水量异常偏多,维持时间明显偏长,降水强度时间分布不均匀。

②本次连续性大暴雨过程是在大尺度调整的背景下产生的。阻高崩溃带动中高纬度的中高层冷空气持续南下,在长江流域与北上的暖湿气流交汇,使得锋区得以维持,有利于大范围持续性的暴雨产生和发展。

③高低空急流耦合对本次连续性暴雨有重要作用。低空急流强度与降水强度具有较好的对应关系。8日低空急流强度虽然减弱,但在低空急流和“倾斜”的高空急流的动力作用下,长江中下游地区上空存在高层辐散和低层辐合,形成旺盛的强上升运动,为连续性暴雨的发生和维持创造有利条

件,8日凌晨的区域平均降水强度仅次于6日凌晨,这也进一步说明高低空急流在本地连续性暴雨过

程中有重要作用。

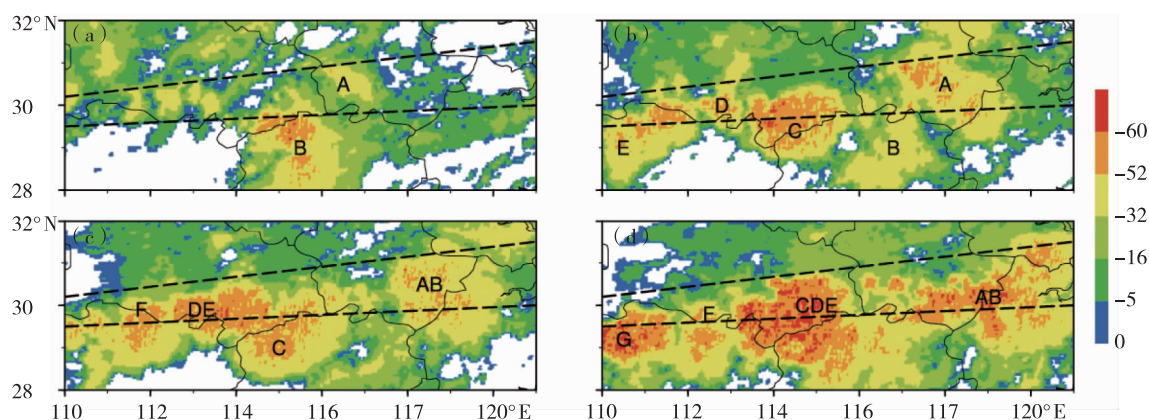


图 8 FY-4A 卫星云图  $T_{BB}$  图像(a.5 日 21 时 15 分;b.6 日 00 时 15 分;c.6 日 01 时 30 分;d.6 日 03 时

Fig. 8 FY-4A satellite-observed  $T_{BB}$  at (a) 21:15 on July 5, (b) 00:15 on July 6,

(c) 01:30 on July 6, and (d) 03:00 on July 6

④暴雨发生过程中长江中下游始终有西南气流输送的充足水汽,且超低空水汽辐合对本次暴雨的维持有重要作用。

⑤中尺度对流系统的“列车效应”发展是导致本次大暴雨的直接原因,强降水云团移动缓慢且具有后向传播的特征,从而引起大范围的持续性降水。

### 参考文献

- [1] 鲍名,黄荣辉.近 40 年我国暴雨的年代际变化特征[J].大气科学,2006,30(6):1057-1067.
- [2] ZHAI P,ZHANG X,HUI W,et al. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China[J]. Journal of Climate,2005,18(7):1096-1108.
- [3] 鲍名.近 50 年我国持续性暴雨的统计分析及其大尺度环流背景[J].大气科学,2007,31(5):779-792.
- [4] 陶诗言.中国之暴雨[M].北京:科学出版社,1980:225.
- [5] 黄明政,凌艺,梁卫芳,等.多尺度天气系统的共同作用与暴雨成因分析[J].气象,2005,31(6):67-70.
- [6] 刘国忠,赖珍权,钟祥平,等.“15.7”广西超长持续性暴雨过程多尺度特征分析[J].热带气象学报,2017,33(3):357-367.
- [7] 王思懿,赵桂香,赵瑜,等.2016 年 7 月山西一次大暴雨天气过程的多尺度系统相互作用分析[J].干旱气象,2017,35(5):857

-867.

- [8] 张玉峰,张潜玉.2013 年 8 月 6—7 日华北大暴雨过程的诊断分析[J].气象与环境科学,2015,38(3):114-119.
- [9] 顾清源,肖递祥,黄楚惠,等.低空急流在副高西北侧连续性暴雨中的触发作用[J].气象,2009,35(4):59-67.
- [10] 张凌云,刘蕾,苏小玲.桂北后汛期一次持续性暴雨天气过程分析[J].中低纬山地气象,2020,44(6):25-31.
- [11] 梁钰,王君,吴璐.淮河流域(河南段)连续性暴雨天气分型及环流背景[J].气象与环境科学,2019,42(2):48-54.
- [12] 汪玲瑶,谌芸,肖天贵,等.夏季江南地区暖区暴雨的统计分析[J].气象,2018,44(6):771-780.
- [13] 徐海明,何金海,周兵.“倾斜”高空急流轴在大暴雨过程中的作用[J].南京气象学院学报,2001,24(2):155-160.
- [14] 王强,王起唤,肖敏,等.怀化三次西南涡暴雨天气过程对比分析[J].中低纬山地气象,2018,42(4):16-24.
- [15] SCHUMACHER R S, JOHNSON R H. Organization and environmental properties of extreme-rain-producing mesoscale convective systems[J]. Monthly Weather Review,2004,133(4):961-976.
- [16] SCHUMACHER R S, JOHNSON R H. Characteristics of U. S. extreme rain events during 1999-2003[J]. Weather and Forecasting,2006,21(1):69-85.