

黄文彦,孙燕,卢楚翰,等,2019.近 40 年夏季江苏引发暴雨的江淮气旋统计分析[J].气象,45(6):843-853. Huang W Y, Sun Y, Lu C H, et al, 2019. Statistical analysis of Jianghuai cyclone causing Jiangsu regional heavy rain in summer nearly 40 years [J]. Meteor Mon, 45(6):843-853(in Chinese).

## 近 40 年夏季江苏引发暴雨的江淮气旋统计分析\*

黄文彦<sup>1</sup> 孙 燕<sup>2</sup> 卢楚翰<sup>3</sup> 姚丽娜<sup>1</sup> 董 芹<sup>1</sup>

1 江苏省常州市气象局,常州 213022

2 江苏省气象科学研究所,南京 210009

3 南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室/气候与环境变化国际合作联合实验室/  
气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京 210044

**提 要:** 使用 Lu(2017)改进的温带气旋识别和追踪方法得出的江淮气旋资料,统计分析了近 40 年夏季江苏引发暴雨的江淮气旋概况、路径、形势特征和对应暴雨的主要落区。结果表明,夏季江淮气旋造成江苏暴雨的频次空间上在江淮之间最多,并向北和向南依次递减;时间上在 6 月最多,约占该月暴雨总次数的 1/3。致暴江淮气旋暴雨落区与江淮气旋的路径有一定的对应关系,在淮北和江淮地区,暴雨在致暴江淮气旋过境地区均匀分布,但在苏南地区,暴雨主要集中在苏南的中西部。致暴江淮气旋天气形势可分为偏西气流型和低槽型两类,其中低槽型出现的次数约为偏西气流型的 2 倍。偏西气流型暴雨区位于 500 hPa 南侧暖湿的西南气流与北侧西北气流的过渡带中,低槽型暴雨区位于槽前西南气流中。850 hPa 两种类型基本相似,都为闭合的低涡,且低涡位置相比于 700 hPa 明显南移。江淮和苏南地区的暴雨落区大都位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。偏西气流型和低槽型造成的暴雨范围基本相当,但低槽型产生的暴雨量要大于偏西气流型。

**关键词:** 江淮气旋,夏季,暴雨,路径,西南急流

**中图分类号:** P458

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.06.010

## Statistical Analysis of Jianghuai Cyclone Causing Jiangsu Regional Heavy Rain in Summer Nearly 40 Years

HUANG Wenyan<sup>1</sup> SUN Yan<sup>2</sup> LU Chuhan<sup>3</sup> YAO Lina<sup>1</sup> DONG Qin<sup>1</sup>

1 Changzhou Meteorological Office of Jiangsu Province, Changzhou 213022

2 Jiangsu Institute of Meteorological Sciences, Nanjing 210009

3 Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME)/Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC)/Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters (CIC-FEMD), Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

**Abstract:** Using Jianghuai cyclone data obtained from Lu (2017) improved method of identifying and tracking of extratropical cyclone, this paper statistically analyzed the overview, path, circulation characteristics and corresponding rainstorm distribution of Jianghuai cyclone which brought the regional heavy rain of Jiangsu in summer in recent 40 years. The results show that most heavy rains in Jiangsu Province located between Yangtze River and Huaihe River are caused by Jianghuai cyclone in summer. The heavy rain caused by the summer Jianghuai cyclone is the most in June, accounting for about 1/3 of total number of

\* 江苏省自然科学基金项目(BK20161603)、国家自然科学基金项目(41575081)、中国气象局预报员专项(CMAYBY2019-043)和江苏省气象局预报员专项(JSYBY201809)共同资助

2018 年 1 月 24 日收稿; 2019 年 3 月 29 日收修定稿

第一作者:黄文彦,主要从事天气预报技术研究. Email: wenyan1989810@163.com

heavy rains in this month. The rainstorm areas caused by Jianghuai cyclone are related to the path of cyclone, especially in the areas of north of Yangtze River where the heavy rains are evenly distributed on both sides of the cyclone path. However, heavy rain is mainly concentrated in the western and central sections of the cyclone path in south of Yangtze River. The circulation conditions causing heavy rain by Jianghuai cyclone can be divided into two types, which are the westward flow and the low trough patterns. The number of low trough pattern appears to be about twice of westward flow pattern. The heavy rain area is located in the transitional zone between warm and humid southwest airflow and northwest airflow at 500 hPa in the westward flow pattern and the heavy rain area of low trough pattern is located in southwest flow ahead of the trough. The two types of 850 hPa circulation conditions are similar basically, both of which are closed vortices, and the vortex position is obviously southward compared with 700 hPa. Most of heavy rain areas are located in the south side of 700 hPa and 850 hPa vortex centers and the north of 700 hPa and 850 hPa jet in south of Huaihe River. The areas of heavy rain caused by westward flow and low trough pattern are same, but the rain caused by low trough pattern is heavier than that of westward flow pattern.

**Key words:** Jianghuai cyclone, summer, heavy rain, path, southwest jet

## 引 言

江淮气旋是春夏季影响江苏的重要天气系统,江淮气旋的过境常能带来暴雨雪和大风天气,因此一直是天气预报业务研究中的热点(Qin et al, 2017;涂小萍等,2013;钱维宏等,2016;郭达烽等,2017;沈阳等,2019;杨成芳和刘畅,2019;卢楚翰等,2019)。目前关于江淮气旋与暴雨之间的研究主要包括两类,即个例分析和统计分析。张晓红等(2016)利用 NCEP 再分析资料,诊断了一次春季江淮气旋引起的暴雨,发现暴雨落区位于气旋移动路径的左前方。崔恒立等(2016)使用位涡理论分析了 2013 年一次春季低涡暴雨过程,结果表明江淮气旋的形成增强了低层辐合,从而加强了降水强度。陈筱秋和王咏青(2016)对引发春季暴雨的江淮气旋结构进行分析,得出了一些有意义的结论。Qin et al (2017)统计了春季气旋活动与降水关系,发现江淮流域的降水强度与气旋深度和强度指数呈正相关。周越和夏兰(2017)利用 ERA-Interim 再分析资料统计了江淮气旋的气候特征,得出江淮气旋发生频数随时间变化的长期趋势不是很明显。王坚红等(2017)分时段讨论了江淮气旋气候特征,认为气温变冷能减弱气旋的结构强度,导致气旋发生频数减少。魏建苏等(2013)同样统计了江淮气旋的气候特征,结果表明江淮气旋主要有三条移动路径,西北东移、偏南东移和偏北东移。

目前关于江淮气旋造成暴雨的统计分析大都基于观测的探空资料或者使用简单的气旋识别方法,得到的江淮气旋信息可能存在较大的不确定性,且对于江淮气旋与暴雨的关系分析也不多。夏季江苏暴雨频发,而江淮气旋是引起暴雨的重要系统之一,进一步理清致暴江淮气旋的一系列特征有助于提高夏季暴雨的预报准确率。春季江淮气旋同样可以引起江苏区域性暴雨,关于春季江淮气旋与暴雨的一些关系将在另文研究,因此本文使用 Lu(2017)改进的温带气旋识别和追踪方法得出的江淮气旋资料,重点统计分析了近 40 年来给江苏夏季(6—8 月)带来区域性暴雨的江淮气旋概况、路径、形势特征和对应暴雨的主要落区。

## 1 资料与方法

对致暴江淮气旋进行统计,第一步就是江淮气旋的识别,而气旋的自动识别是目前研究的热点和难点(Wang et al, 2009; Neu et al, 2013),本文使用的气旋识别方法是 Lu(2017)改进的温带气旋识别和追踪方法,该方法首先使用了九点最低气压法确定气旋中心,再通过寻找闭合等值线来确定气旋范围并对同一个气旋进行追踪。该方法相比于其他方法(Zhang et al, 2012; 孙泓川等, 2015)具有明显优势,主要包括当相邻气旋发生合并或一个气旋分裂成多个时,该方法追踪出的气旋信息更为准确,对于快速移动的气旋,仅使用最低气压法很可能把同

个气旋识别成不同的两个气旋,但该方法可以避免这种情况的出现(Lu, 2017)。气旋识别使用了 ERA-Interim 再分析资料中的海平面气压场,该资料水平分辨率为  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ ,时间分辨率为 6 h。气旋识别出后,再通过江淮气旋的定义(江苏省气象局,2017),进一步筛选得出江淮气旋的一些信息。

夏季降水资料使用了 1979—2015 年江苏省 73 个国家气象站观测的日降水量(20—20 时,北京时间),当某个观测点日降水量达到 50 mm 且同时段有江淮气旋过境,可判断为一次江淮气旋引起的暴雨过程。按江苏气象预报业务中的分区方法(江苏省气象局,2017),把江苏省分为 3 个区域,淮河以北地区(淮北)、淮河和长江之间(江淮)和长江以南地区(苏南),下文的分析分别讨论了这 3 个区域的情况,同时当同一区域相邻的 3 个站都出现暴雨,即认定为一次区域性暴雨过程(江苏省气象局,2017)。形势特征分析中使用了 1979—2015 年识别出的 100 多个江淮气旋所对应时段内的 ERA-Interim 再分析资料中的高度场和风场,水平分辨率同样为  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ ,按不同区域首先分型,然后对相同型求平均场的特征。

## 2 夏季江苏致暴江淮气旋和对应暴雨概况

图1给出了夏季江淮气旋源地的空间分布,由

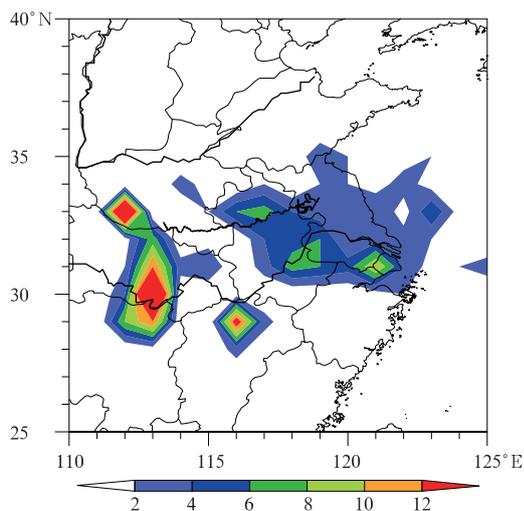


图 1 1979—2015 年夏季江淮气旋源地(填色,单位:次)空间分布

Fig. 1 Source (colors, unit: number) of Jianghuai cyclone in summer from 1979 to 2015

图可知夏季江淮气旋源地主要分布在长江中游地区的江汉平原附近,其总计超过 12 次的区域面积最大,河南西南部和江西鄱阳湖平原也有小部分地区在 12 次以上,为江淮气旋源地的次中心。除了上述 3 个地区外,安徽中东部和江苏南部也有较大区域江淮气旋发生次数在 4 次以上。本文得出的夏季江淮气旋多个源地中心的具体分布与魏建苏等(2013)及周越和夏兰(2017)给出的研究结果基本相似。江淮气旋源地分布较为分散,在其定义的源地范围内大部分地区都有可能发生,但主要集中在平原地带,这主要因为气旋在平原地区产生后受地形摩擦影响较小,有利于其进一步加强,从而形成江淮气旋。

图 2a 给出了近 40 年来江淮气旋导致江苏区域性暴雨次数的逐年变化,不同年份致暴江淮气旋次数有显著差异,如 1990 和 1994 年没有出现致暴江淮气旋,而 1991、1996、1999 和 2007 年致暴江淮气旋多达 7 个,正常年份引起江苏区域性暴雨的江淮气旋次数为 3 次左右,可见夏季江淮气旋是产生江苏暴雨的重要天气系统。图 2a 中致暴江淮气旋频

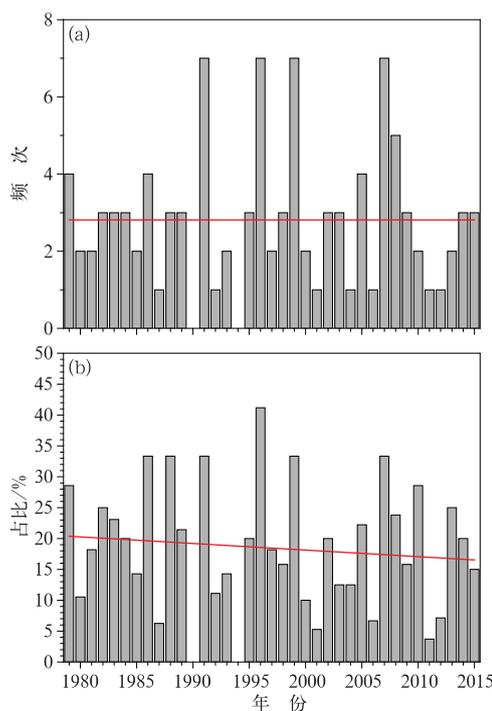


图 2 1979—2015 年夏季致暴江淮气旋每年发生频次(a)和占总江淮气旋的百分比(b)(红线为线性趋势)

Fig. 2 (a) Annual frequency and (b) percentage of Jianghuai cyclone causing rainstorm total cyclone in summer from 1979 to 2015 (Red line is a linear trend)

次的年际变化线性趋势线基本为一条直线,即近 40 年来夏季由江淮气旋引起的江苏暴雨次数没有明显的增多或减少趋势。王艳玲等(2015)及周越和夏兰(2017)都曾指出近几十年来江淮气旋出现频次没有明显的线性变化趋势,但并未进一步给出由江淮气旋产生的暴雨年际变化趋势。

图 2b 为夏季造成江苏区域性暴雨的江淮气旋个数占总江淮气旋数的百分比逐年变化图,与图 2a 类似,1990 和 1994 年因没有出现致暴江淮气旋,致暴江淮气旋占总江淮气旋的百分比也为 0,而 1996 年占比最大,接近 45%,平均而言约有 1/5 的江淮气旋能引起江苏夏季区域性暴雨,这一数值略小于江苏省气象局(2017)给出的全年致暴江淮气旋占总江淮气旋的比例,而没引起江苏暴雨的江淮气旋大都未移动到江苏境内,可见过境的江淮气旋造成的暴雨概率很高。由图可见,致暴江淮气旋占总江淮气旋的百分比的年际变化线性趋势线,总体趋势为缓慢递减。

图 3a 为近 40 年来夏季江淮气旋引起区域性暴雨次数空间分布,由图可知其发生次数在江淮之间最多(基本在 21 次以上,最多的地区超过 24 次),并向北和向南依次递减(淮北和苏南地区约为 15 次左右)。造成这种空间分布的主要原因是江淮气旋过境江淮地区的次数要明显多于淮北和苏南地区,此外江淮地区恰好位于江苏中部,从淮北或苏南过境的江淮气旋均可能给该地区带来暴雨(详见第 3 节)。

除区域性暴雨外,江淮气旋也会引起一些局地性暴雨发生。图 3b 给出了夏季江淮气旋产生局地性暴雨次数空间分布,由图可见其发生次数在江苏西部略多于东部,全省基本都在 1~2 次,远小于区域性暴雨发生的次数,并可计算得到一次致暴江淮气旋的过境,江苏省平均约有 13 个国家气象站将出现暴雨,因此致暴江淮气旋通常都能造成大面积的暴雨区域。

图 3c 为江淮气旋对应暴雨的平均雨量分布,由图可见全省基本都在 75 mm 以上,空间差异性较小。淮河以南地区平均暴雨量要大于淮北地区,部分地区雨量可达 85 mm 以上,这种空间分布差异的一个可能原因就是南部的平均水汽条件要好于北部。

图 4 为近 40 年来江苏夏季不同月份区域性暴雨和由江淮气旋引起区域性暴雨次数,7 月出现次数最多,接近 250 次,其余两个月为 150 次左右。江淮气旋引起的暴雨在 6 月最多,接近 50 次,占该月

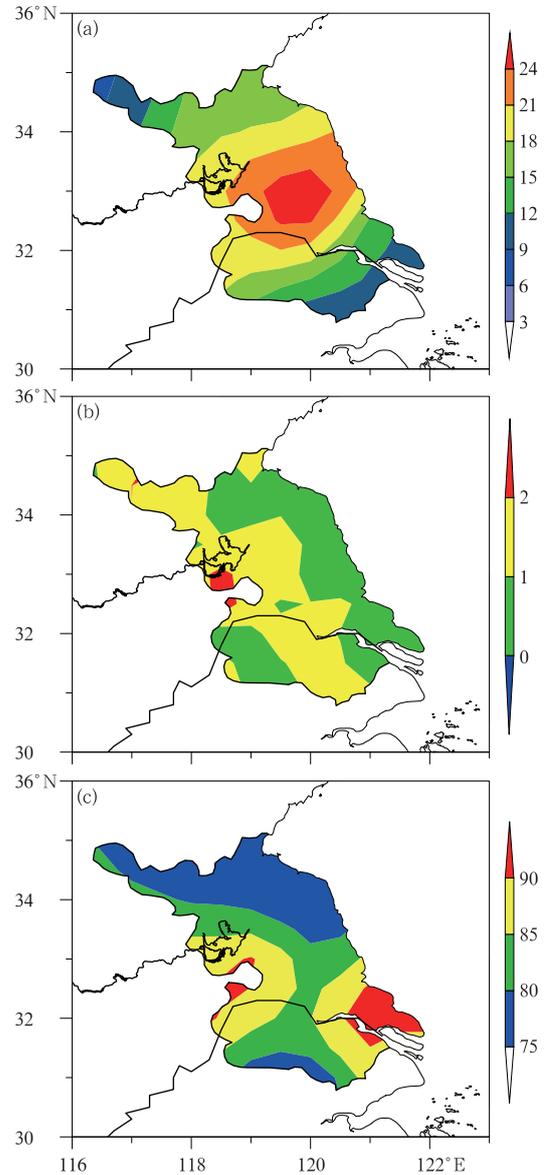


图 3 1979—2015 年夏季江淮气旋引起区域性(a)、局地性(b)暴雨次数(单位:次)和平均暴雨量(c,单位:mm)空间分布  
Fig. 3 Number of regional (a) and local (b) heavy rains (unit: number) and average rainfall (c, unit: mm) due to Jianghuai cyclone in summer from 1979 to 2015

暴雨总次数的 1/3,因此江淮气旋是引起 6 月江苏暴雨的一个重要系统。江淮气旋引起的暴雨在 7 月约有 40 次,而 8 月最少,不足 20 次,这两个月江淮气旋引起的暴雨占总暴雨的比例都很小,这可能是盛夏随着副热带高压(以下简称副高)不断北抬,副高北侧的锋区也跟着北抬,到达江淮地区的冷空气势力明

显减弱,从而导致过境江苏的江淮气旋也显著减少。

图 5 给出了江苏夏季区域性暴雨总次数和江淮

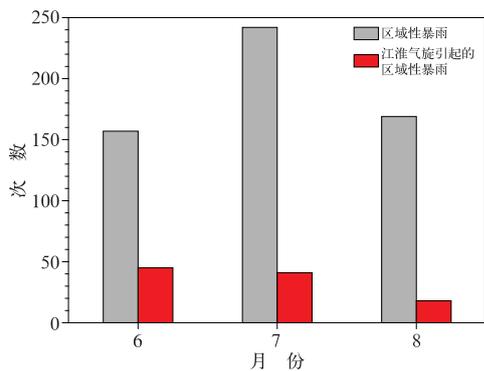


图 4 1979—2015 年夏季不同月份区域性暴雨和由江淮气旋引起区域性暴雨次数

Fig. 4 Number of regional heavy rain and regional heavy rain due to Jianghuai cyclone in different months in summer from 1979 to 2015

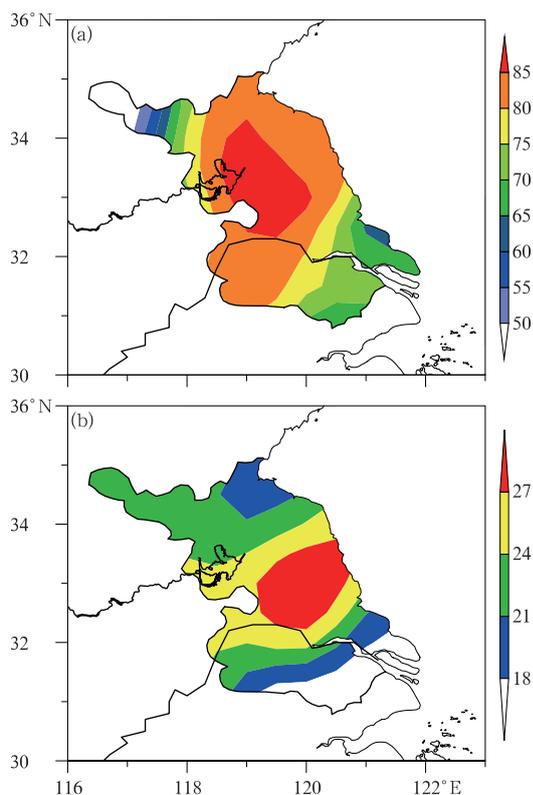


图 5 1979—2015 年夏季区域性暴雨总次数(a, 单位:次)和江淮气旋引起区域性暴雨占区域性暴雨总次数百分比(b,单位:%)空间分布  
Fig. 5 Total number of regional heavy rains (a, unit: number) and percentage of regional heavy rains (b, unit: %) of Jianghuai cyclone causing heavy rains in summer from 1979 to 2015

气旋引起区域性暴雨占区域性暴雨总次数的百分比的空间分布。由图可知除西北部和东南部部分地区外,江苏夏季暴雨次数空间分布具有很好的一致性(图 5a),从淮北到苏南暴雨总次数都在 80 次以上,江淮之间局部地区最多,可达 85 次以上,这其中部分原因就是江淮气旋在江淮地区引起的暴雨次数最多。江苏东南部和西北部夏季暴雨次数较少,分别约为 70 和 50 次。类似地,在江淮之间江淮气旋引起暴雨占暴雨总次数的百分比最大,并向北和向南依次递减,其中在江淮地区占比都在 24% 以上,部分地区接近 1/3,而淮北和苏南地区基本在 1/5 左右(图 5b)。

### 3 夏季江苏致暴江淮气旋源地和路径

当江淮气旋强度较强、且南侧有急流配合时,一般都会有暴雨产生,暴雨落区大都位于气旋移动路径附近(江苏省气象局,2017)。图 6 至图 8 分别为近 40 年来夏季过境淮北、江淮、苏南的致暴江淮气旋源地和路径及其造成区域性暴雨的次数,由图可知:过境淮北致暴江淮气旋源地主要位于江汉平原、淮河中上游地区以及江苏东北部,一条主要的移动路径为从江汉平原或者淮河中上游地区生成,然后向东北方向移动过境安徽和江苏的北部,还有少部分能过境山东东南部,最后向东北移动入黄海,生命期长的气旋还能继续过境朝鲜半岛进入日本海(图 6a)。暴雨主要出现在淮北地区并向南递减,其中淮北东北部最多,达到 10 次以上。除此之外,由于江淮之间北部离一些过境淮北的气旋较近,也有 5 次左右的暴雨产生,而苏南地区离气旋路径较远,基本没有区域性暴雨产生(图 6b)。

过境江淮的致暴江淮气旋源地主要位于江汉平原、安徽中东部和江苏中部地区,气旋生成以后大都沿着长江和淮河之间向东北方向移动,过境安徽和江苏的中部,然后进入黄海,生命期长的气旋依旧能继续过境朝鲜半岛进入日本海,甚至最后过境日本(图 7a)。与过境淮北致暴江淮气旋相类似,过境江淮地区的气旋造成的暴雨主要集中在江淮地区,然后分别向南和向北递减,整个江淮地区出现的暴雨次数都在 10 次左右。过境江淮地区的部分气旋路径与淮北或苏南地区离的较近,因此这两个地区也有 4 次左右的暴雨出现(图 7b)。

过境苏南的则主要源于江汉平原、安徽中部和

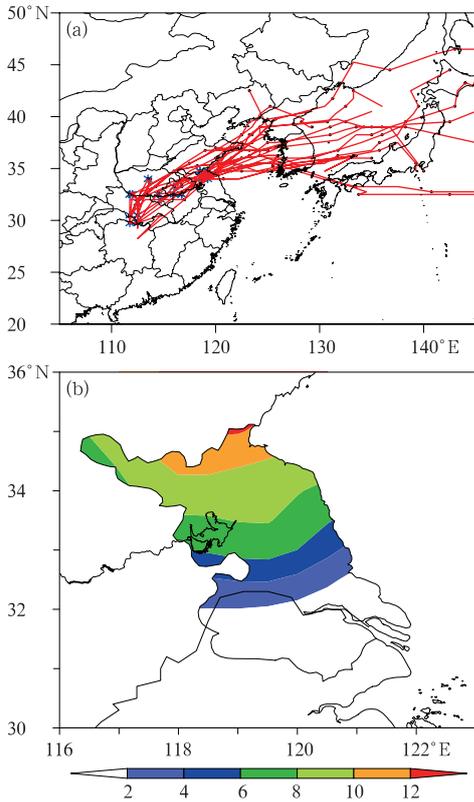


图 6 1979—2015 年夏季过境淮北致暴江淮气旋路径(a, 红色线, 图中蓝色标记为气旋源地)和造成区域性暴雨次数(b, 单位: 次)

Fig. 6 Path of Jianghuai cyclone with heavy rain in the north of Huaihe River (a, red line, blue marks: the sources of cyclone) and number of regional heavy rains due to Jianghuai cyclone (b, unit: number) in summer from 1979 to 2015

江苏南部地区, 源于不同地区的江淮气旋都有一个相似的路径, 即先沿着江淮之间向东北方向移动, 到达安徽的中部以后突然南折移向江苏长江以南地区, 入海以后又往东北方向移动, 这与过境淮北和江淮的致暴江淮气旋一直往东北方向移动有一定的差异(图 8a)。暴雨主要位于苏南的中西部, 平均次数可达 8 次以上, 然后依次往东和往北递减(图 8b)。苏南的东部地区虽然离气旋路径很近, 甚至有部分气旋过境, 但其暴雨次数明显少于苏南的西部地区, 平均次数仅为 6 次左右, 造成这一现象的主要原因是过境苏南致暴江淮气旋的中心平均位置偏西, 而且 850 hPa 平均急流位置也偏西(图 11 和图 12)。此外, 过境苏南致暴江淮气旋在江淮之间北部的以地区几乎没有暴雨产生。

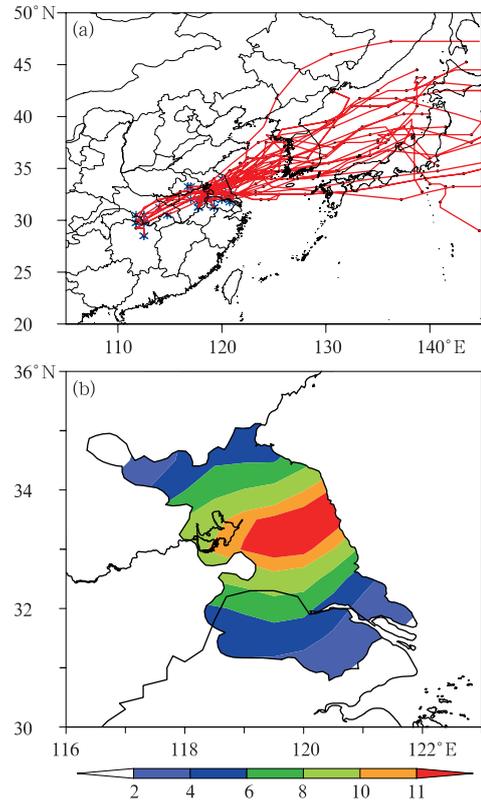


图 7 同图 6, 但为过境江淮致暴江淮气旋  
Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the cyclone between Huaihe River and Yangtze River

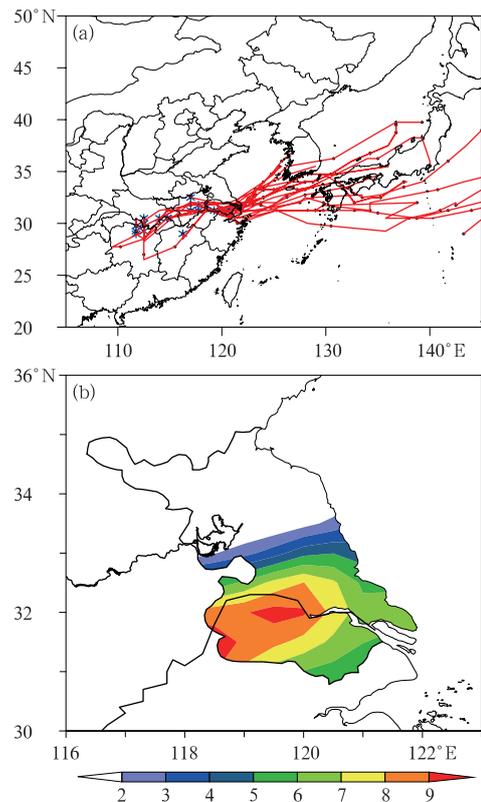


图 8 同图 6, 但为过境苏南致暴江淮气旋  
Fig. 8 Same as Fig. 6, but for the cyclone in the south of Yangtze River

总的来说,致暴江淮气旋源地分布较为宽广,但源于本地地区的江淮气旋经常会带来本地的区域性暴雨。过境淮北和江淮的致暴江淮气旋路径主要是从源地往东北方向移动,而过境苏南的致暴江淮气旋路径在安徽中部有明显的南折。致暴江淮气旋暴雨落区与江淮气旋的路径比较吻合,特别是在淮北和江淮地区,暴雨在致暴江淮气旋过境地区均匀分布,但在苏南地区,暴雨主要集中在苏南的中西部。

#### 4 夏季江苏致暴江淮气旋形势特征

这一节主要给出夏季过境江苏不同地区江淮气旋所带来的主要天气形势,由上节可知过境江苏同一区域的江淮气旋路径基本相似,因此本节主要使用合成分析给出了过境同一区域所有个例的平均天气形势。根据 500 hPa 的形势特征,主要分为两种天气形势,即偏西气流型和低槽型。表 1 给出了不同区域不同天气类型的总次数,由表可知低槽型出现的次数约为偏西气流型的 2 倍。上文指出过境淮北、江淮和苏南的致暴江淮气旋带来的区域性暴雨分别主要位于淮北地区、江淮地区和苏南地区,因此这一节也能反映出由江淮气旋引起江苏不同区域暴雨的天气形势差异。

表 1 不同区域不同天气类型的总次数

Table 1 Total number of different circulation conditions in different regions

区域	偏西气流型/次数	低槽型/次数
淮北	9	16
江淮	13	24
苏南	8	15

图 9 为过境淮北致暴江淮气旋偏西气流型的主要天气形势,这种形势下 500 hPa 在整个中纬度地区无明显槽脊,以偏西气流为主,我国东北地区有东北低涡活动,副高位于我国东南部,副高脊线位于 25°N 附近,副高西北侧的暖湿西南气流与黄淮浅槽槽后的西北气流交汇于江苏淮北地区,并给这个地区带来了明显的降水。700 hPa 东北低涡依然存在,黄淮地区的低槽明显加强,槽底位于淮北地区,淮北以南区域为一致的西南气流,其中在江淮之间达到  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的急流强度,且急流北界已向北越过淮河,暴雨区(图 6b)主要集中在槽底和急流之间。850 hPa 与 700 hPa 形势相似,东北地区为东北低涡,35°N 附近出现江淮气旋,气旋的南侧为强的

西南气流,风速超过  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的急流范围比 700 hPa 稍小,但位置基本相同,暴雨区(图 6b)主要集中在气旋中心和南侧急流之间。

图 10 为过境淮北地区致暴江淮气旋低槽型的天气形势,与偏西气流型的最大差异为 500 hPa 上在 110°E 有明显的低槽,从我国华北地区一直向西南延伸到云贵地区,而 50°N 以北地区为高压脊,副高受低槽东移南压影响,主体位于海洋上,在这种形势下淮北地区主要处在低槽槽前西南气流中。700 hPa 与偏西气流型最显著的差异就是淮北地区

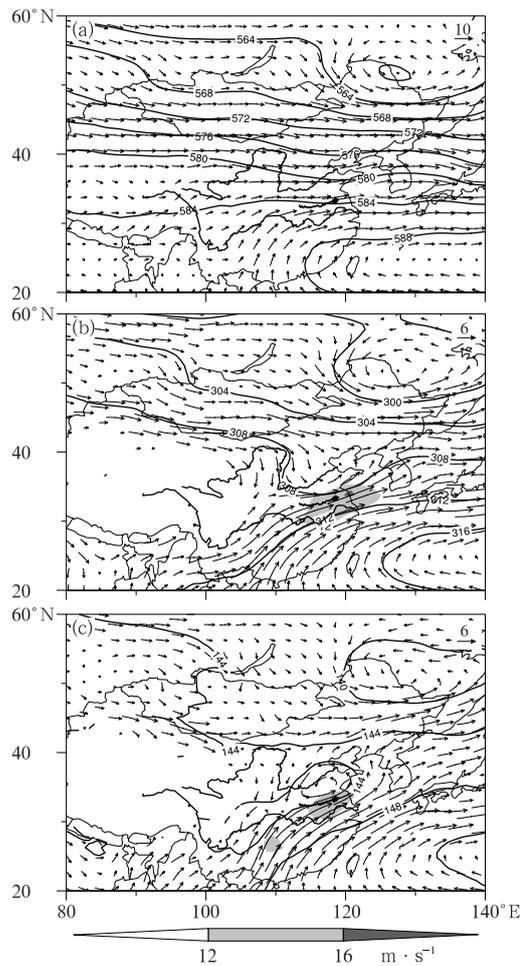


图 9 过境淮北致暴江淮气旋偏西气流型 500 hPa(a)、700 hPa(b)和 850 hPa(c)位势高度(实线,单位:dgpm)和风场(箭头)(阴影:全风速大小)

Fig. 9 Geopotential height (solid line, unit: dgpm) and wind field (arrow) at 500 hPa (a), 700 hPa (b) and 850 hPa (c) of the westward flow pattern of Jianghuai cyclone with heavy rain in the north of Huaihe River (shadow: the whole wind speed)

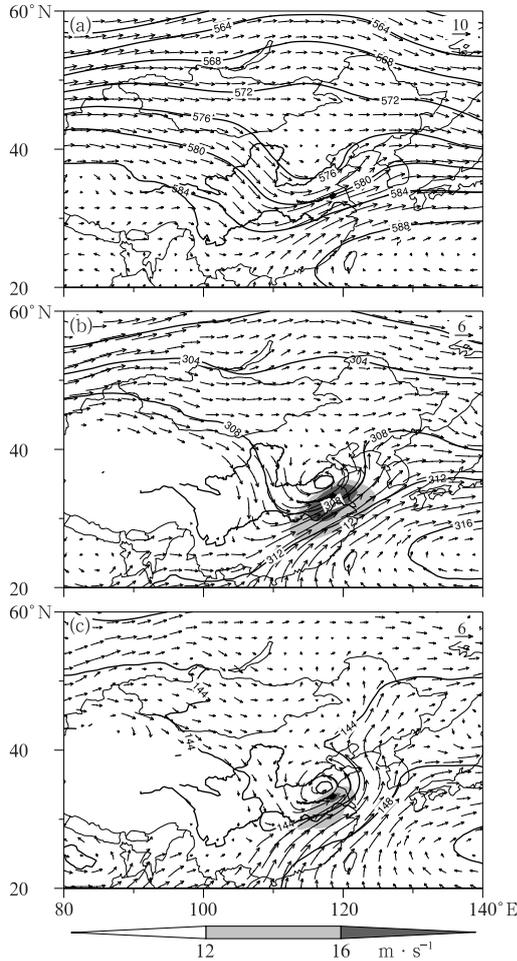


图 10 同图 9, 但为低槽型  
 Fig. 10 Same as Fig. 9, but for the low trough pattern

出现闭合的低涡, 低涡中心位于江苏和山东交界处, 低涡南部为西南气流, 达到  $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的急流区域与偏西气流型的区域基本相似, 急流的北界依旧越过了淮河, 暴雨区主要位于低涡中心南侧, 西南急流的北侧。850 hPa 形势与 700 hPa 相似, 在淮北地区有闭合的低涡, 即江淮气旋, 低涡的南侧为一致的西南气流, 达到急流强度的区域与 700 hPa 也基本相同, 暴雨区(图 6b)依旧位于气旋中心和南侧急流之间。

过境江淮致暴江淮气旋的两种天气形势与过境淮北的形势基本相同(图略), 其中偏西气流型的主要差异是 700 hPa 低槽南侧的西南急流位置有所南移, 北界基本在沿淮地区, 850 hPa 上的江淮气旋中心位于沿淮略偏北地区, 急流的北界也南压至江苏的沿江地区, 暴雨落区主要位于低槽和低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。

低槽型的主要差异则是 700 hPa 在沿淮略偏北地区出现闭合的低涡中心, 其位置相比于过境淮北类要明显偏南, 低涡的北部为低槽, 从而构成了北槽南涡的形势, 江淮地区主要位于低涡中心的南侧, 西南急流区的范围与偏西气流型大致相同, 且北界也位于沿淮地区。850 hPa 低涡的中心相比于 700 hPa 显著南压, 主要位于江淮之间, 低涡南侧的急流北界也与偏西气流相似, 南移至沿江地区。暴雨的落区主要位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。

图 11 为过境苏南致暴江淮气旋偏西气流型天气形势, 由图可知 500 hPa 苏南地区以偏西气流为主, 位于南侧暖湿的西南气流与北侧西北气流的过渡带中, 冷暖气流交汇有利于强降水发生。副高相比于其他两个地区偏西气流型明显南移, 脊线位置大约在  $22^\circ \text{N}$ 。700 hPa 在沿淮略偏北地区出现闭合

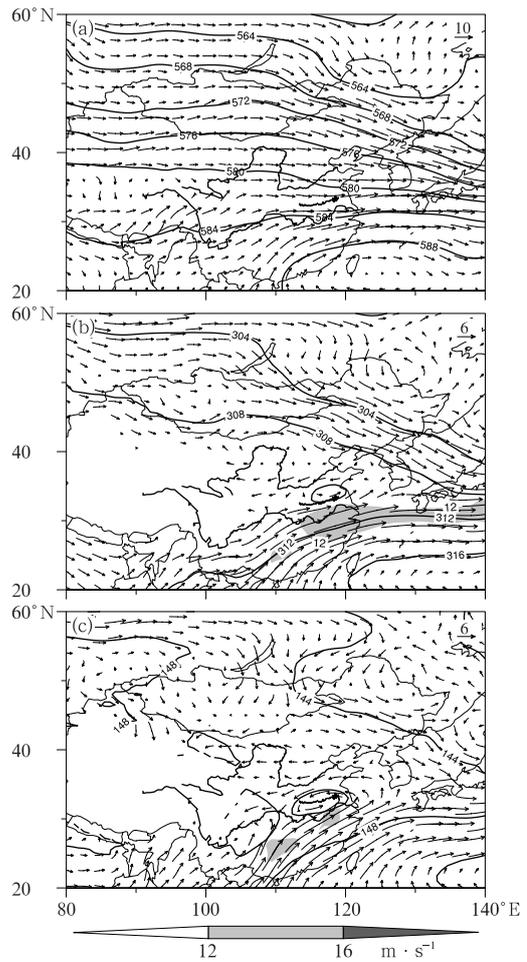


图 11 同图 9, 但为过境苏南致暴江淮气旋  
 Fig. 11 Same as Fig. 9, but for the cyclone in the south of Yangtze River

的低涡中心,低涡环流相比于其他两类偏西气流型更为明显,低涡南侧对应强的西南气流,急流的北界相比于过境江淮致暴江淮气旋产生的急流位置又有所南移,基本移动到沿江地区。850 hPa 与 700 hPa 整体形势相似,但低涡中心位置要南移至江淮地区,且相比于 700 hPa 更偏西些,大致位于 117°E 附近,低涡位置偏西导致了致暴江淮气旋引起的暴雨落区明显偏西(图 8b)。低涡中心南侧西南急流区域范围明显缩小,且略有南移。暴雨的落区(图 8b)主要位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的东北侧。

图 12 为过境苏南致暴江淮气旋低槽型的天气形势,500 hPa 主要受低槽影响,低槽呈东北西南走向,位于 115°E 附近,从华北一直向西南延伸到我国西南地区,苏南地区位于低槽槽前西南气流中,副高受低槽影响东退至太平洋上。700 hPa 在沿海地区出现闭合的低涡中心,低涡南侧急流北界同样位于

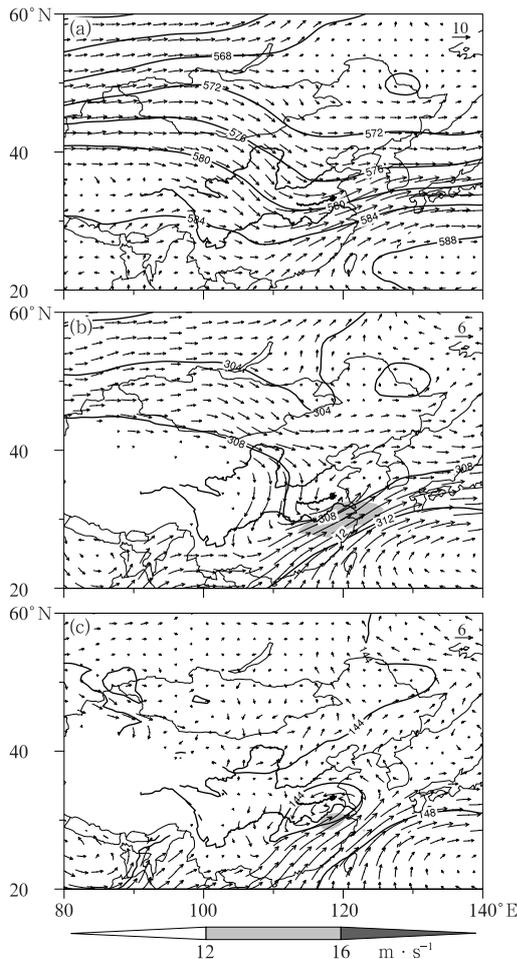


图 12 同图 11,但为低槽型  
Fig. 12 Same as Fig. 11, but for the low trough pattern

沿江地区。850 hPa 形势与偏西气流型相似,低涡中心也南移至江淮之间,且位置明显偏西,低涡南侧西南急流相比于 700 hPa 范围缩小,位置南移至 30°N 附近。暴雨的落区(图 8b)主要位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。

以上分析可知过境江苏 3 个不同地区的致暴江淮气旋都可以分为两类,即偏西气流型和低槽型。两者的主要区别在于 500 hPa,偏西气流型以偏西气流为主,无明显的槽脊,暴雨区位于南侧暖湿的西南气流与北侧西北气流的过渡带中;低槽型在我国东部都存在明显的东北西南走向的低槽,暴雨区位于槽前西南气流中。700 hPa 两种类型的差异显著减小,主要表现在偏西气流型有时为未闭合的低涡,而低槽型则都出现了闭合的低涡。850 hPa 两种类型基本相似,都为闭合的低涡,也即出现了江淮气旋,且低涡的位置相比于 700 hPa 明显南移。暴雨的落区都位于低涡和南侧急流之间,且江淮和苏南地区的暴雨落区大都位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。偏西气流形势下的一次致暴江淮气旋过境,江苏平均约有 12 个国家气象站出现暴雨,低槽型则能出现约 14 个暴雨站,两种形势造成的暴雨范围基本相当,低槽型的范围略大于偏西气流型。两种形势造成的平均暴雨量有明显差异,图 13 为低槽型与偏西气流型产生的平均暴雨量的差值,由图可知除江苏的东南部外,都为正值,即低槽型产生的暴雨量要大于偏西气流型,其中在沿江及其以北的部分地区

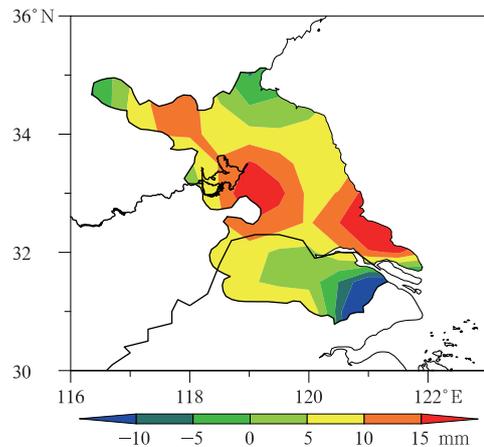


图 13 低槽型与偏西气流型产生的平均暴雨量差值空间分布  
Fig. 13 Difference of average torrential rains by low trough and westward flow pattern

两者的差异达到 15 mm,造成这种差异的可能原因是 500 hPa 上低槽型的槽前正涡度平流更强,产生的垂直上升运动也更强,此外低槽型的 700 和 850 hPa 西南急流也要强于偏西气流型。

夏季过境江苏的大部分江淮气旋都能产生本省的区域性暴雨,图 14 为少数几个过境江苏未产生区域性暴雨的江淮气旋 700 和 850 hPa 形势场的合成图,由图可知过境江苏未产生区域性暴雨的主要原因是江淮气旋强度较弱,850 hPa 未出现闭合的等压线,气旋的环流场也较弱,其次气旋的垂直伸展也较浅薄,700 hPa 就转为低槽系统。另一个重要原因是气旋南侧的低空西南急流并未出现,且从孟加拉湾向江苏输送水汽的西南气流也未完全建立。

## 5 结 论

本文使用 Lu(2017)改进的温带气旋识别和追踪方法得出的江淮气旋资料,统计分析了近 40 年夏季江苏引发暴雨的江淮气旋概况、路径、形势特征和对应暴雨的落区,主要得到以下结论:

(1) 近 40 年来夏季由江淮气旋引起的江苏区

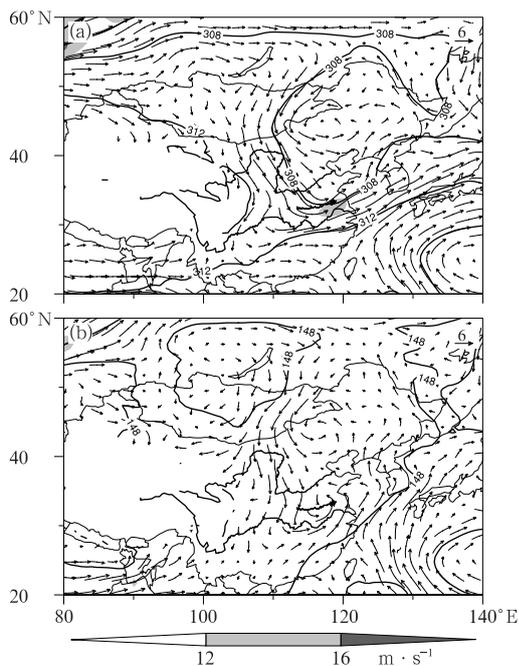


图 14 同图 9,但为过境江苏未致暴江淮气旋  
(a) 700 hPa, (b) 850 hPa

Fig. 14 Same as Fig. 9, but for the Jianghuai cyclone moving to Jiangsu Province without heavy rain

(a) 700 hPa, (b) 850 hPa

域性暴雨次数没有明显的增多或减少趋势,但致暴江淮气旋占比呈现趋势性递减的变化。夏季江淮气旋引起江苏暴雨在江淮之间最多,并向北和向南依次递减,淮河以南地区平均暴雨量要大于淮北地区。夏季江淮气旋引起的暴雨在 6 月最多,约占该月暴雨总次数的 1/3。江淮气旋在江淮之间引起的暴雨占暴雨总次数的百分比最大,并向北和向南依次递减。

(2) 致暴江淮气旋源地分布较为宽广,但源于本地区的江淮气旋经常会带来本地的区域性暴雨。过境淮北和江淮的致暴江淮气旋路径主要是从源地往东北方向移动,而过境苏南的致暴江淮气旋路径在安徽中部有明显的南折。致暴江淮气旋暴雨落区与江淮气旋的路径比较吻合,特别是在淮北和江淮地区,暴雨在致暴江淮气旋过境地区均匀分布,但在苏南地区,暴雨主要集中在苏南的中西部。

(3) 致暴江淮气旋天气形势可分为两类,即偏西气流型和低槽型,其中低槽型出现的次数约为偏西气流型的 2 倍。偏西气流型暴雨区位于 500 hPa 南侧暖湿的西南气流与北侧西北气流的过渡带中,低槽型暴雨区位于槽前西南气流中。850 hPa 两种类型基本相似,都为闭合的低涡,且低涡的位置相比于 700 hPa 明显南移。江淮和苏南地区的暴雨落区大都位于 700 和 850 hPa 低涡中心的南侧、700 hPa 急流的北部和 850 hPa 急流的北侧。偏西气流型和低槽型造成的暴雨范围基本相当,但低槽型产生的暴雨量要大于偏西气流型。

## 参考文献

- 陈筱秋,王咏青,2016. 基于 NCEP 资料的一次东移引发暴雨的江淮气旋结构特征分析[J]. 暴雨灾害,35(1):53-60. Chen X Q, Wang Y Q, 2016. Structure and mechanism analysis of a Jianghuai cyclone with an eastern path and heavy rain based on NCEP data[J]. Torr Rain Dis,35(1):53-60(in Chinese).
- 崔恒立,赵宇,王东仙,等,2016. 引发暴雨的低涡发生发展机制分析[J]. 灾害学,31(2):30-36. Cui H L, Zhao Y, Wang D X, et al, 2016. Mechanism of the low vortex's generation and development which produces heavy rainfall[J]. J Catastroph,31(2):30-36(in Chinese).
- 郭达烽,熊秋芬,张昕,2017. 一次北上江南气旋的结构特征与演变机理分析[J]. 气象,43(4):413-424. Guo D F, Xiong Q F, Zhang X, 2017. Structure and mechanism analysis of one Jiangnan cyclone with northern track[J]. Meteor Mon,43(4):413-424(in Chinese).
- 江苏省气象局,2017. 江苏省天气预报技术手册[M]. 北京:气象出版

- 社:22-33. Jiangsu Provincial Weather Bureau, 2017. Jiangsu Province Weather Forecast Technical Manual[M]. Beijing: China Meteorological Press;22-33(in Chinese).
- 卢楚翰,周洁雯,胡叶,等,2019. 春季影响江淮地区的天气尺度气旋活动与同期降水的联系[J]. 大气科学,43(2):311-324. Lu C H, Zhou J W, Hu Y, et al, 2019. Simultaneous relationship between precipitation and activities of springtime synoptic scale affecting cyclone over the Yangtzi-Huaihe River valleys[J]. Chin J Atmos Sci, 43(2):311-324(in Chinese).
- 钱维宏,蒋宁,杜钧,2016. 中国东部7类暴雨异常环流型[J]. 气象,42(6):674-685. Qian W H, Jiang N, Du J, 2016. Seven anomalous synoptic patterns of regional heavy rain in eastern China [J]. Meteor Mon, 42(6):674-685(in Chinese).
- 沈阳,孙燕,蔡凝昊,等,2019. 一次引发极端降水事件的江淮气旋发生发展分析[J]. 气象,45(2):166-179. Shen Y, Sun Y, Cai N H, et al, 2019. Analysis on the generation and evolution of a Jianghuai cyclone responsible for extreme precipitation event[J]. Meteor Mon, 45(2):166-179(in Chinese).
- 孙泓川,魏建苏,李超,2015. 气旋客观判别方法在两次江淮气旋过程中的应用[J]. 大气科学学报,38(1):46-54. Sun H C, Wei J S, Li C, 2015. Application of an objective discriminating method in the processes of two Jiang-Huai cyclones[J]. Trans Atmos Sci, 38(1):46-54(in Chinese).
- 涂小萍,姚日升,杨豪,等,2013. 一次入海温带气旋边界层气象要素观测分析[J]. 自然灾害学报,22(5):160-170. Tu X P, Yao R S, Yang H, et al, 2013. Observation and analysis of boundary layer meteorological elements of an extratropical cyclone blowing into the sea[J]. J Nat Dis, 22(5):160-170(in Chinese).
- 王坚红,丁晓敏,薛峰,等,2017. 气温增暖与趋冷变化阶段江淮汛期气旋气候特征对比研究[J]. 地球科学进展,32(2):160-173. Wang J H, Ding X M, Xue F, et al, 2017. A comparative research on climatic characteristics of Jianghuai cyclones in rainfall season between warming and cooling stages[J]. Adv Earth Sci, 32(2):160-173(in Chinese).
- 王艳玲,管兆勇,金大超,等,2015. 1980—2012年春末夏初江淮气旋活动的气候特征及其年际、年代际变化[J]. 大气科学学报,38(3):354-361. Wang Y L, Guan Z Y, Jin D C, et al, 2015. Climatic characteristics and interannual (interdecadal) variations of cyclones over Changjiang-Huaihe River Basin during late spring and early summer from 1980 to 2012[J]. Trans Atmos Sci, 38(3):354-361(in Chinese).
- 魏建苏,刘佳颖,孙燕,等,2013. 江淮气旋的气候特征分析[J]. 气象科学,33(2):196-201. Wei J S, Liu J Y, Sun Y, et al, 2013. Climate characteristics of Jiang-huai cyclone[J]. Sci Meteor Sin, 33(2):196-201(in Chinese).
- 杨成芳,刘畅,2019. 一次江淮气旋暴雪的积雪特征及气象影响因子分析[J]. 气象,45(2):191-202. Yang C F, Liu C, 2019. Study on snow cover and its meteorological influence factors of Jianghuai cyclone snowstorm[J]. Meteor Mon, 45(2):191-202(in Chinese).
- 张晓红,罗静,陈兴,等,2016. 一次春季江淮气旋形成发展特征及暴雨诊断分析[J]. 气象,42(6):716-723. Zhang X H, Luo J, Chen X, et al, 2016. Formation and development mechanism of one cyclone over Changjiang-Huaihe River Basin and diagnostic analysis rainstorm[J]. Meteor Mon, 42(6):716-723(in Chinese).
- 周越,夏兰,2017. 江淮气旋气候学特征的统计研究[J]. 气象与环境科学,40(3):79-85. Zhou Y, Xia L, 2017. Statistical research on climatic characteristics of Jianghuai cyclones[J]. Meteor Environ Sci, 40(3):79-85(in Chinese).
- Lu C H, 2017. A modified algorithm for identifying and tracking extratropical cyclones[J]. Adv Atmos Sci, 34(7):909-924.
- Neu U, Akperov M G, Bellenbaum N, et al, 2013. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms[J]. Bull Amer Meteor Soc, 94(4):529-547.
- Qin Y J, Lu C H, Li L P, 2017. Multi-scale cyclone activity in the Changjiang River-Huaihe River valleys during spring and its relationship with rainfall anomalies[J]. Adv Atmos Sci, 34(2):246-257.
- Wang X M, Zhai P M, Wang C C, 2009. Variations in extratropical cyclone activity in northern East Asia[J]. Adv Atmos Sci, 26(3):471-479.
- Zhang Y X, Ding Y H, Li Q P, 2012. A climatology of extratropical cyclones over East Asia during 1958—2001[J]. Acta Meteor Sin, 26(3):261-277.