

doi:10.11676/qxxb2020.043

## 江淮梅雨季节亚洲阻塞高压活动统计特征\*

孙晓晴<sup>1</sup> 金荣花<sup>2</sup> 肖天贵<sup>1</sup> 杨宁<sup>1</sup> 魏薇<sup>1</sup>

SUN Xiaoqing<sup>1</sup> JIN Ronghua<sup>2</sup> XIAO Tiangui<sup>1</sup> YANG Ning<sup>1</sup> WEI Wei<sup>1</sup>

1. 成都信息工程大学, 成都, 610225

2. 国家气象中心, 北京, 100081

1. *Chengdu University of Information Technology, Chengdu, 610225, China*

2. *National Meteorological Center, Beijing, 100081, China*

2019-06-14 收稿, 2020-03-26 改回.

**Abstract** In this paper, the NCEP/NCAR daily analysis data from June and July of 1960—2018 and the daily precipitation data of China's national stations in the same period are used to analyze the geographical distribution of blocking activities in Asia, the characteristics of blocking events in key areas, and the relationship between blockings and abnormal Meiyu during the Yangtze-Huaihe Meiyu season. The results show that: (1) in the Yangtze-Huaihe Meiyu season (June—July) of last 59 years, there are a total of 363 blocking events in Asia, and the centers are mainly distributed in the three key areas of Ural Mts (40—80°E), Baikal (80—120°E) and Okhotsk Sea (120—160°E). (2) The frequency and days of blocking events in the three key areas are from high to low: the Okhotsk Sea, Ural Mts and Baikal. The double-blocking situation is dominated by the Ural Mountains-Okhotsk Sea, which accounts for 60% of the double-blocking days in Asia. The average life cycle of the blocking event is about 7 days, and the longest holding time is 13 days. (3) There are obvious interdecadal changes in the blocking frequency and days in the three key blocking areas, and there is a increase trend, which is more obvious in the Okhotsk Sea. It is consistent with increase trend of the cumulative rainfall in the Yangtze-Huaihe Meiyu season of the past 59 years. (4) The amount of rainfall in the Yangtze-Huaihe Meiyu season is closely related to blocking activity, there are significantly more (less) blocking events in the Okhotsk Sea and Ural-Okhotsk in Meiyu positive (negative) abnormal years, while the blocking events in the Ural and Baikal regions are not significantly related to Meiyu. (5) In the Yangtze-Huaihe Meiyu season, the number of blocking days in the Okhotsk may be related to the early sea surface temperature anomaly signal ENSO.

**Key words** Blocking highs, Yangtze-Huaihe Meiyu season, Statistical features, Meiyu abnormal year

---

\*资助课题: 国家科技支撑计划课题 (2015BAC03B04); 国家自然科学基金项目 (41575066) 共同资助

作者简介: 孙晓晴, 在读研究生, 主要从事天气分析与大尺度动力学研究, E-mail:815151638@qq.com, 电话: 13305573721

通讯作者: 金荣花, 正研, 博士, 主要从事天气分析与大尺度动力学研究, E-mail:jinh@cmac.gov.cn

**摘要** [资料和方法]此文利用 1960—2018 年 6—7 月 NCEP/NCAR 逐日再分析资料和同期中国国家站日降水量资料, [目的]对江淮梅雨季节亚洲地区阻塞高压活动地理分布、关键区阻塞高压事件活动频次、生命周期以及年际和年代际变化, 及其与江淮梅雨异常之间关系进行了系统的分析。[结果][结论]结果表明: (1) 近 59 年江淮梅雨季节 (6—7 月), 亚洲阻塞高压事件共计 363 次, 其中心主要分布在乌拉尔山区域 (40—80°E)、贝加尔湖区域 (80—120°E) 和鄂霍茨克海区域 (120—160°E) 三个关键区。(2) 三个关键区阻塞高压事件的次数和累积日数由高到低依次为: 鄂霍茨克海、乌拉尔山区域和贝加尔湖区域。双阻形势以乌拉尔山—鄂霍茨克海双阻居多, 约占亚洲地区双阻日数的 60%。阻塞事件的平均生命周期 7 天左右, 最长维持时间为 13 天。(3) 三个关键区总的及分区的阻塞次数和日数都有明显的年际变化, 并呈增加的趋势, 其中线性增加趋势最为明显的是鄂霍茨克海区域, 与近 59 年江淮梅雨季节的累积雨量增加趋势一致。(4) 江淮梅雨季节降雨量多寡与阻塞高压活动密切相关, 梅雨正 (负) 异常年鄂霍茨克海区域、乌-鄂双阻日数和次数显著偏多 (偏少), 而乌拉尔山和贝加尔湖区域的阻塞高压事件与梅雨关系并不显著。(5) 江淮梅雨季节, 鄂霍茨克海阻高的日数多寡可能与前期海面温度异常信号 ENSO 有关。

**关键词:** 阻塞高压, 江淮梅雨季节, 统计特征, 梅雨异常年  
中图法分类号 P466

## 1 引言

[研究意义][前人研究进展]阻塞高压是中高纬地区大气环流异常的表现, 可以引起大尺度气团质量和热量的强烈经向交换, 导致大范围地区天气气候异常, 造成严重的气象灾害(李艳等, 2010)。因此, 自从 20 世纪 40 年代起, 阻塞高压 (以下或简称阻高) 就一直为气象学者所关注。最早, Elliot 等 (1949) 对北半球西风带阻塞活动作了系统的统计研究, 发现中太平洋阻塞事件出现的数目是东北大西洋的两倍, 而阻塞事件总天数是东北大西洋的四倍。此后, Sumner (1959) 研究了北半球大西洋—欧洲部分阻塞的地理分布和季节变化, 发现阻塞在 5 月最频繁, 11 月为次大值, 7 月最少。Treichl 等 (1981) 采用 1945—1977 年的资料对北半球发生的 664 个阻塞个例进行了统计分析, 研究结论进一步确认了 Sumner (1959) 的发现。另外, White 等 (1975) 分析了 1950—1970 年北半球海平面气压和 700 hPa 位势高度月平均图, 结果发现北太平洋阻塞活动的频数在秋冬季 (10-3 月) 最大, 春夏季最小。Lupo 等 (1995) 用阻塞强度作为研究阻塞的标准, 分析了北半球阻塞高压的气候变化, 发现北半球阻塞高压最常出现在冬季的太平洋和大西洋, 且一般出现在主要风暴路径的下游。在我国, 关于阻高的统计研究也可以追溯到上个世纪 50 年代。早期, 周晓平 (1957) 研究了亚洲地区 1953—1955 共 36 次阻塞形势, 认为亚洲阻塞在 1 月、5-7 月较多, 而在 3 月和 11 月较少。随后, 许多研究者也对北半球阻塞高压特征进行了统计分析, 其中, 仪清

菊(1988)研究了1958—1973年北半球冬季的阻高特征,赵汉光等(1990)利用1971—1988年资料对北半球60°N上阻高进行了统计分析。进入21世纪,很多研究者利用长时间序列资料进一步统计了阻塞高压的气候特征,黄菲等(2002)利用1976—1999年资料对欧亚大陆夏季阻高特征进行了统计研究,李峰等(2004)利用1970—2001年近30年资料对欧亚大陆夏季阻高的季节内变化进行了统计分析,发现欧亚夏季阻高活动具有明显的季节内变化特征,史湘军等(2007)统计分析了欧亚大陆1950—2004年的阻塞高压,指出不同地区的年际变化特征各有不同。Liu等(2017)分析了北半球500百帕持续性高值系统的统计特征,并与发生在北美及欧洲的危害性事件进行对比分析。

阻塞高压活动对我国天气气候的影响也备受关注。北半球冬半年寒潮爆发与阻塞形势建立、崩溃和不连续后退有紧密联系。王静(2002)和汪秀清等(2005)指出夏季低温受到阻塞高压影响。李海军等(2007)和马晓青等(2008)指出阻塞高压还是强寒潮爆发的主要影响系统。李崇银等(2010)讨论了2008年1月由于乌拉尔山阻塞高压异常以及多系统配合,造成中国南方出现大范围低温雨雪冰冻灾害成因。Wang等(2010)分析了1970年代气候突变前后乌拉尔山阻高对东亚冬季气候的影响。周宁(2016)利用阻塞高压指数分析了冬季乌拉尔山、贝加尔湖及鄂霍茨克海阻塞对中国温度的影响,指出,冷夏年500hPa盛行经向环流,高纬有阻塞高压或暖脊维持。夏季亚洲中高纬阻塞系统的维持与我国南方降水也密切相关,此方面的研究也深受气象学者的关注。王会军(2000)发现欧亚中高纬地区大气环流异常对东亚区夏季大气环流和降水异常起着非常重要的作用。杨义文(2001)提出7月份东亚阻塞形势是造成中国长江流域多雨洪涝的重要环流系统,历史上严重的长江大水年(如1954年和仅次于1954年的1998年)常伴随着7月份东亚阻塞形势的出现而发生。张庆云等(2001)指出,1980年7—8月由于阻塞高压位置偏南,江淮流域暴雨频繁,而中国东北华北发生干旱现象。金荣花等(2008)发现,乌拉尔山阻塞高压在2007年淮河流域致洪暴雨中占据重要地位。由此可见,阻塞形势建立和长时间维持造成的大气环流异常很可能导致重大气象灾害的发生。

**[本研究切入点]**江淮梅雨是每年6、7月份亚洲夏季风北上进程中,发生在中国东部经济发达地区江淮流域持续阴天有雨的气候现象,其降水量多寡引发的气象灾害会带来严重的社会经济损失并可能危及人民生命财产安全(丁一汇等,2007)。以往研究已表明,江淮梅雨与中高纬度地区的阻塞形势密切相关,但都是基于个例的定性分析,或者对自然季节的特征统计,针对江淮梅雨典型雨季阻塞高压的地理分布、阻塞高压持续时间、出现频次以及何种阻塞形势对江淮梅雨影响最为显著尚没有系统性的气候统计分析,对阻塞形势的年际和年代际变化及其影响也没有清楚的认识。**[拟解决的关键问题]**此文采用1960—2018年6—7月的NCEP/NCAR逐日再分析和中国国家站2472站日降水量资料,统计分析江淮梅雨季节整个亚洲区域阻塞高压地理分布、活动频次、生命周期以及年际和年代际变化,及其与江淮梅雨异常之间的联系,初步探讨有利于梅雨的阻塞形势出现的可能原因,可以更定量认识江淮

梅雨季节阻塞高压活动特征及其对江淮梅雨的影响,也为江淮梅雨的分析 and 预报提供有价值的参考。

## 2 资料和方法

此文利用了 1960 年—2018 年的 NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction-National Center for Atmospheric Research) 逐日再分析资料,要素为 500hPa 的位势高度场,分辨率  $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 。具体的资料描述详见 (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html>)。降水量资料为国家气象信息中心提供的中国国家站 2472 站日降水量资料 (20h—20h, 北京时)。

为了方便使用数据资料来分析中高纬度阻塞高压的统计特征, [lejenas 等 \(1983\)](#) 制定了一套计算阻塞高压指数的标准,后来, [Tibaldi 等 \(1990\)](#) 为了保证阻高向极地方向风速不小于平均西风气流  $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 改进了这个方法,称为 Tibaldi 和 Molteni 方法 (简称为 T&M 方法)。T&M 方法作为自动、客观、定量识别阻塞高压形势的方法,在美国国家环境预报中心气候预测中心、中国中央气象台等业务部门得到广泛的应用。具体实现步骤请参考文献 ([金荣花等, 2009](#))。此文利用 T&M 方法,对 NCEP/NCAR 提供的 1960—2018 年 500hPa 逐日位势高度资料,客观定量统计亚洲中高纬地区 ( $45^{\circ}\text{—}75^{\circ}\text{N}$ ,  $40^{\circ}\text{—}160^{\circ}\text{E}$ ) 的阻塞高压。为了保证统计结果的可靠性,对照逐日 500hPa 位势高度场进行人工校正,获得亚洲阻塞高压指数历史序列统计数据。

历年江淮梅雨期各不相同,最早于 5 月底开始,最晚于 8 月初结束,一般处于每年 6、7 月两个月 ([丁一汇等, 2007](#))。江淮梅雨季节是一个气候概念, [李勇等 \(2017\)](#) 对 1960—2015 年江淮梅雨季节强降雨过程的特征进行系统分析,将江淮梅雨降雨过程出现主要时段 6 月至 7 月作为江淮梅雨季节。因此,该文江淮梅雨季节时间段也取为 6—7 月。在降水量统计方面,参照国家气候中心制定的中国梅雨监测业务标准,选取均匀覆盖江淮及长江中下游地区 277 个指标站,作为此文统计江淮梅雨季节降水量的代表站。

## 3 阻塞高压活动地理分布

对天气气候带来严重影响的阻塞高压,往往是持续稳定并占据一定空间范围的异常环流形势,因此也称为阻塞高压事件。该文分析的对象是达到阻塞高压事件条件的阻塞形势。国际上对于阻高事件维持的时间尺度的研究很多 ([Crocì-Maspoli et al., 2007](#)),根据现有研究来看,比较通用的是阻高维持时间至少为 5 天 ([Treichl et al., 1981](#); [Lupo et al., 1995](#); [Chen et al., 2001](#); [Altenhoff et al., 2008](#))。因此,该文定义维持时间 5 天以上、空间大于  $15^{\circ}$  个经距范围的大尺度阻塞过程为阻塞事件。

据此统计分析 1960—2018 年 6—7 月亚洲区域 ( $40^{\circ}\text{—}160^{\circ}\text{E}$ ) 阻塞高压事件频次,共计 363 次,利用阻塞高压事件高压中心位置数据,绘制亚洲地区阻塞高压中心累积频次地理分

布（图 1），可以看出 6—7 月阻高活动频繁，阻塞形势复杂，几乎遍及整个亚洲中高纬地区。但是相比较而言，有两个阻高活动稀少的区域，分别在 80—90°E 附近和 120—130°E 附近，有三个阻高频繁活跃的区域（图 1 中红色方框区域），分别位于乌拉尔山附近、贝加尔湖附近和鄂霍茨克海附近，并且这三个区域的纬度位置也有一定差异。

早在 1962 年，叶笃正（1962）就提出与中国气候变化最为相关的阻塞为乌拉尔山阻塞、贝加尔湖阻塞以及鄂霍茨克海阻塞。国内很多研究也表明，影响我国降雨的阻塞高压主要分布在亚洲地区（杨义文，2001；陈丽娟等，2005；金荣花等，2008），在许多统计阻塞高压特征的文献中，也将亚洲地区的阻塞高压划分为乌拉尔山、贝加尔湖、鄂霍茨克海关键区域，例如史湘军等（2007）提出夏季欧亚大陆阻高频繁活动区域为 45—70°E 的乌拉尔山地区、90—130°E 的贝加尔湖地区和 130—150°E 的鄂霍茨克海地区，李艳等（2010）将影响中国天气较大的关键区也划为 40—80°E 的乌拉尔山、80—120°E 的贝加尔湖和 120—160°E 的鄂霍茨克海三个关键区，周宁（2016）根据各阻塞区域的地理位置进行区分：乌拉尔山阻塞为 50—80°E，贝加尔湖阻塞为 80—120°E，鄂霍茨克海阻塞为 120—160°E。

参考以往文献中阻高活动区域划分结果，结合此文统计分析的亚洲地区阻高活动频次地理分布，并考虑全覆盖亚洲区域阻塞高压事件，将亚洲阻塞高压事件地理区域划分为三个关键区域，分别为乌拉尔山区域（40—80°E）、贝加尔湖区域（80—120°E）和鄂霍茨克海区域（120—160°E），据此对三个阻高关键区（以下或简称关键区）的阻高活动特征及其与梅雨异常联系做进一步的统计分析和研究。

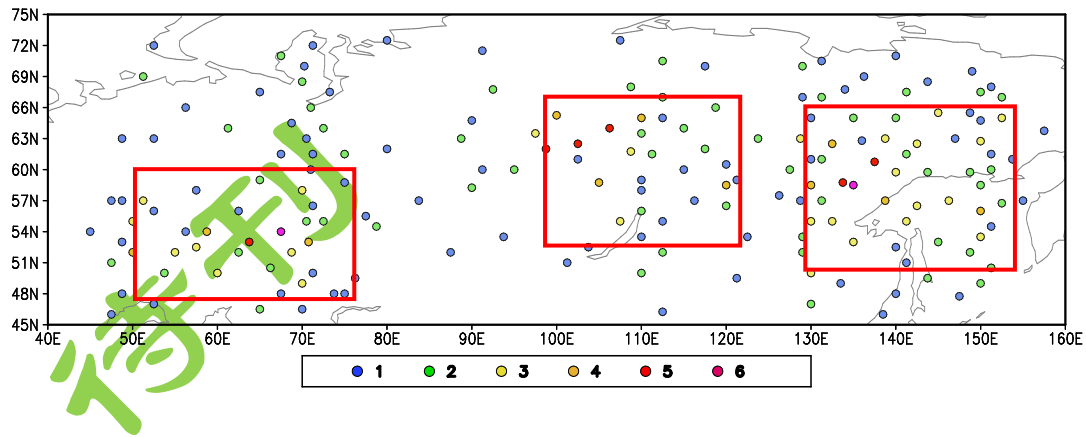


图 1 1960—2018 年 6—7 月亚洲地区阻塞高压中心累积频次分布（红色方框表示阻高频繁活跃区域）

Fig.1 Geographic distributions of the occurrence frequency of blocking high centers in Asia in June and July during 1960—2018 (Red frame areas represent high frequency active areas)

## 4 6—7 月亚洲关键区阻塞高压活动特征

### 4.1 阻塞高压事件气候特征



在江淮梅雨季节，亚洲的阻塞高压活动较为频繁，1960—2018年6—7月，亚洲关键区共有阻塞事件363次，平均每年6—7月约有6次阻高事件，这与周晓平（1957）在对1953—1955年亚洲中纬度区域阻塞形势的统计研究中得到的亚洲6、7月阻塞形势较多的结果相一致。

下面对三个关键区的阻塞高压事件分别进行分析讨论。表1是亚洲三个关键区多年平均数据的统计结果，在59年中，乌拉尔山区域发生阻塞事件128次，多年平均次数约2.2次，累积阻高日数876d，多年平均日数约为14.8d；贝加尔湖区域发生阻塞事件102次，多年平均次数约1.7次，累积阻高日数756d，多年平均日数约为12.8d；鄂霍茨克海区域发生阻塞事件133次，多年平均次数约2.3次，累积阻高日数903d，多年平均日数约为15.3d。比较三个关键区阻塞事件的次数和累积日数，鄂霍茨克海阻塞高压最多、乌拉尔山区域次之，而贝加尔湖区域相对较少，但总体来说，三个关键区阻塞活动都比较活跃。分别计算三个关键区区域阻高活动的生命周期，乌拉尔山区域阻塞事件生命周期在5—13d，平均生命周期约为6.8d，贝加尔湖区域生命周期在5—11d，平均生命周期约为7.4d，鄂霍茨克海区域生命周期在5—13d，平均生命周期约为6.8d，总体差异不大。

文中将同一时间，只有一个关键区存在阻塞高压的形势称为单阻形势，两个关键区同时存在阻塞高压称为双阻形势，三个关键区都存在的称为三阻形势。对三个关键区单阻、双阻、三阻形势进行统计，发现1960—2018年江淮梅雨季节（6—7月）存在双阻形势较多，累积双阻日数346d，平均每年江淮梅雨季节亚洲关键区中高纬上空约有5.9d存在双阻形势。其中，乌拉尔山与贝加尔湖区域存在双阻形势的日数为74d，年平均日数为1.3d，贝加尔湖与鄂霍茨克海区域的双阻日数为66d，年平均日数为1.1d，乌拉尔山与鄂霍茨克海区域的双阻日数最多，为206d，年平均日数为3.5d，约占亚洲地区双阻日数的60%。除此之外，单阻形势的日数为1798d，三个关键区同时存在阻塞高压的日数为15d。因此，在江淮梅雨季节6—7月，亚洲中高纬地区高压活跃，阻塞形势复杂，存在着较为频繁的双阻形势，尤其以乌拉尔山—鄂霍茨克海双阻形势居多。这与史湘军等（2007）在统计欧亚大陆1950—2004年夏季阻高活动特征中，得到的6、7月双阻形势较多的结果相一致。

表1 1960—2018年6-7月平均亚洲关键区阻塞高压活动特征

Table 1 Multi-year average characteristics of blocking activity in key areas of Asia from June to July in 1960-2018

	乌拉尔山	贝加尔湖	鄂霍茨克海	双阻	乌-贝	贝-鄂	乌-鄂
年平均次数	2.2次	1.7次	2.3次	—	—	—	—
年平均日数	14.8d	12.8d	15.3d	5.9d	1.3d	1.1d	3.5d
平均生命周期	6.8d	7.4d	6.8d	—	—	—	—

#### 4.2 阻塞高压的年际及年代际变化

#### 4.2.1 阻塞高压事件频次的年际及年代际变化

全球性气候变暖已经是一个确定的趋势,为了具体分析江淮梅雨季节亚洲三个关键区阻塞高压次数在气候变暖情况下的气候变化特征,此文对1960—2018年江淮梅雨季节(6—7月)亚洲三个关键区阻塞事件发生次数的年际和年代际变化特征进行分析(如图2)。

由图2可见,近59年,乌拉尔山、贝加尔湖和鄂霍茨克海三个关键区的阻塞次数年际变化幅度大于三个关键区总的变化幅度,表明这三个关键区江淮梅雨季节的阻塞次数在一定程度上存在此消彼长的相互调制关系。在近59年6—7月,乌拉尔山区域阻塞事件年平均次数约为2.2次,最大值发生在1974、1988、1996、2004、2011、2012和2016年,均为4次,而1979、1980、1984、1985、1986、1994和2014年为无阻塞事件年。贝加尔湖区域阻塞事件年平均次数约为1.7次,最大值发生在2012年,为5次,而1960、1965、1977、1980、1988、1995、1997、1999、2005和2010年为无阻塞事件年。鄂霍茨克海区域阻塞事件年平均次数约为2.3次,最大值发生在1998和1999年,均为6次,1963年为无阻塞事件年。三个关键区总的阻塞事件年平均次数为6.2次,最大值发生在2012年,为12次,最小值发生在1985年,仅为2次。此外,近59年的江淮梅雨季节,三个关键区总的阻塞次数线性趋势系数为0.0239,乌拉尔山区域阻塞次数线性趋势系数为0.0039,贝加尔湖区域为0.0063,鄂霍茨克海区域为0.0196,由此可见,1960—2018年的江淮梅雨季节,三个关键区的阻塞次数都有略微增加的趋势,其中线性增加趋势较为明显的是鄂霍茨克海区域。亚洲阻塞高压的增加,意味着天气气候异常事件增多的可能性加大,因此清楚认识在气候变暖背景下阻塞高压事件增多趋势,并研究其形成机理,十分必要和紧迫。

待刊

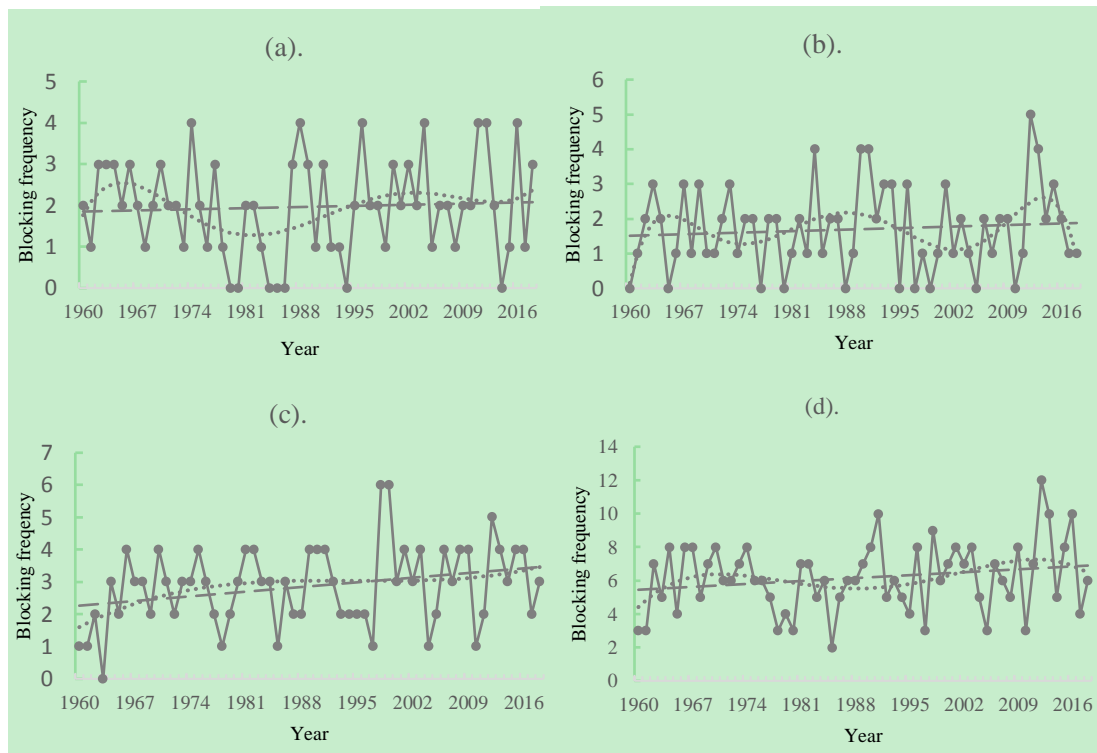


图2 1960—2018年江淮梅雨季节(6—7月)三个关键区阻高次数的年际变化(实线)、线性变化趋势(短划线)和多项式拟合变化趋势(虚线)

(a).乌拉尔山区域 (b).贝加尔湖区域 (c).鄂霍茨克海区域 (d).三个关键区总数

Fig.2 The interannual variation (real line), linear variation trend (dashed line) and multinomial fitting change trend (dotted line) of occurrence frequency of blockings that occurred in (a) the Ural Mts., (b) the Baikal, (c) the Okhotsk Sea and (d) three key areas of Yangtze-Huaihe Meiyu season (June—July) during 1960—2018

另外,从图2中的多项式拟合变化趋势线可以看出,在江淮梅雨季节,亚洲三个关键区总的阻高次数存在明显的年代际变化。近59年,总的阻高次数在60年代末到70年代相对偏多,从20世纪70年代开始就略有下降趋势,80—90年代阻高活动较少,阻高活动在90年代初开始增加,在2012年出现峰值后又略有下降,随着年份的增加,多项式拟合变化趋势线的峰值及谷值都比上一次高,反映在整体趋势增加的背景下存在明显的年代际变化。在乌拉尔山区域,60年代阻高活动偏多,70—80年代阻高活动偏少,从90年代开始,乌拉尔山区域阻高次数的变化就趋于平稳并略有增加。贝加尔湖区域阻高次数年代际变化也相对较为明显,60年代中期、90年代初期阻高活动相对频繁,2012—2016年阻高次数也较多,并在2012年出现了一个峰值,20世纪90年代末至21世纪初阻高次数较少。鄂霍茨克海区域阻高次数增加的气候变化趋势最显著,但年代际变化不明显。

#### 4.2.2 阻塞高压累积日数的年际及年代际变化



为了分析江淮梅雨季节对中国天气影响较大的三个关键区域的阻塞高压日数在气候变暖情况下的气候变化,此文对 1960—2018 年江淮梅雨季节(6—7 月)亚洲三个关键区阻塞事件累积日数的年际和年代际变化特征进行了分析(如图 3)。

同样,近 59 年,乌拉尔山、贝加尔湖和鄂霍茨克海三个关键区的累积阻高日数年际变化幅度大于三个阻高关键区总的变化幅度,表明这三个关键区江淮梅雨季节的阻高日数在一定程度上存在此消彼长的相互调制关系。对比图 3 中的三个关键区,近 59 年 6—7 月,乌拉尔山区域阻塞事件的累积日数是三个区域中最多的,年平均阻高日数约为 14.8d,最大值发生在 1996 年,为 27d,最小值发生在 1979、1980、1984、1985、1986、1994 和 2014 年,为 0d。贝加尔湖区域年平均阻高日数约为 12.8d,最大值发生在 2012 年,为 29d,最小值发生在 1960、1965、1977、1980、1988、1995、1997、1999、2005 和 2010 年,为 0d。鄂霍茨克海区域年平均阻高日数约为 15.3d,最大值发生在 1998 年,为 37d,最小值发生在 1963 年,为 0d。三个关键区总的年阻塞日数最大值发生在 2012 年,为 74d,最小值发生在 1985 年,为 10d。亚洲地区年平均多阻(双阻和三阻)日数为 6.1d,最大值发生在 2012 年,为 23d,最小值发生在 1960、1961、1965、1968、1976、1977、1978、1979、1980、1983、1984、1985、1992、2003、2004、2010 和 2014 年,为 0d,其中,双阻年平均日数约为 5.9d,最大年份和最小值年份与多阻年份一致,另外,三阻日数共 15d。此外,近 59 年 6—7 月,三个关键区总的阻高日数线性趋势系数为 0.1911,多阻日数线性趋势系数为 0.0618,乌拉尔山区域阻高日数线性趋势系数为 0.0397,贝加尔湖区域为 0.0604,鄂霍茨克海区域为 0.1298,由此可见,1960—2018 年的江淮梅雨季节,三个关键区的阻塞日数都有略微增加的趋势,其中线性增加趋势最为明显的是鄂霍茨克海区域。Lupo (1997) 研究指出,这种增加趋势可能是由于全球气候变暖,阻塞活动更加频繁的全球性特征导致的。

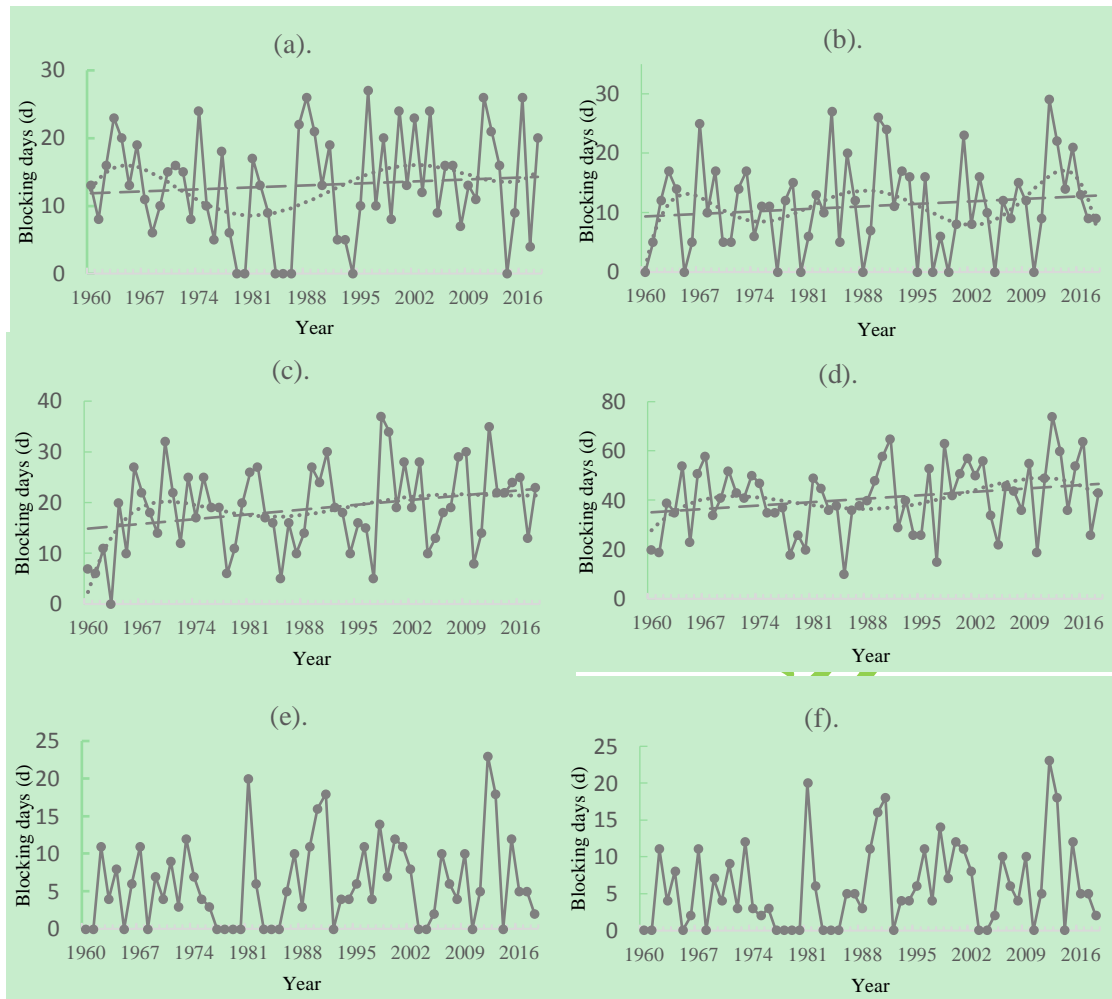


图3 1960—2018年江淮梅雨季节(6—7月)三个关键区阻高累积日数(单位:d)的际年变化(实线)、线性变化趋势(短划线)和多项式拟合变化趋势(虚线)

(a).乌拉尔山区域 (b).贝加尔湖区域 (c).鄂霍茨克海区域 (d).三个关键区总数 (e).多阻 (f).双阻

Fig.3 The interannual variation (real line), linear variation trend (dashed line) and multinomial fitting change trend (dotted line) of blocking days (unit: d) over the three key areas in Yangtze-Huaihe Meiyu season (June—July) during 1960—2018

(a) the Ural Mts., (b) the Baikal, (c) the Okhotsk Sea, (d) three key areas, (e) multiple blockings, (f) double blockings

从图3中的多项式拟合变化趋势线可以看出,近59年,亚洲三个关键区总的阻高日数也存在着明显的年代际变化。关键区总的阻高日数在60年代后期到70年代初相对偏多,从20世纪70年代开始就略有下降趋势,在70年代末到90年代阻高活动偏少,21世纪初阻高相对频繁,在2012年出现峰值后又略有下降,除此之外,随着年份的增加,多项式拟合变化趋势线的峰值及谷值都比上一次高,反映在整体增加的趋势背景下存在明显的年代际变化特征。在乌拉尔山区域,60年代中期和21世纪初江淮梅雨季节的阻高活动相对频繁,80年代初阻高日数较少,从90年代开始,乌拉尔山区域阻高日数的变化就趋于平稳并略有增加。贝加尔湖区域阻高日数存在明显的年代际变化,60年代中期、90年代初期阻高活动相

对频繁，2012—2016年阻高日数也较多，并在2012年出现了一个峰值，20世纪90年代末至21世纪初阻高日数较少。同样，鄂霍茨克海区域阻高日数增加的气候变化趋势最为显著，但年代际变化不明显。从上述亚洲三个关键区阻高频次、日数的年际和年代际变化来看，存在一定的区域差异。

## 5. 亚洲阻塞高压与江淮梅雨的关系

### 5.1 与江淮梅雨季节降雨量的关系

图4为1960—2018年6—7月江淮流域277个代表站点所处经纬度区域（ $28^{\circ}$ — $34^{\circ}$ N， $111^{\circ}$ — $123^{\circ}$ E）区域平均累积降雨量。由图4可见，1960—2018年6—7月年平均累积降雨量为370.83mm，最大值出现在1996年，为540.62mm，最小值出现在1961年，为169.96mm。此外，近59年，累积雨量的线性趋势系数为1.14，为增加的趋势，这与亚洲地区阻塞高压频次与日数的增加趋势一致。

另外，从图4中的多项式拟合变化趋势线可以看出，20世纪80年代至90年代江淮梅雨季节累积雨量偏多，从20世纪80年代开始，累积雨量就有明显增加的趋势，21世纪初以后，累积雨量的变化趋于平稳。比较累积雨量与亚洲各关键区阻塞高压的年代际变化趋势，可以发现从80年代到2018年，累积雨量与鄂霍茨克海区域的年代际变化较为一致。

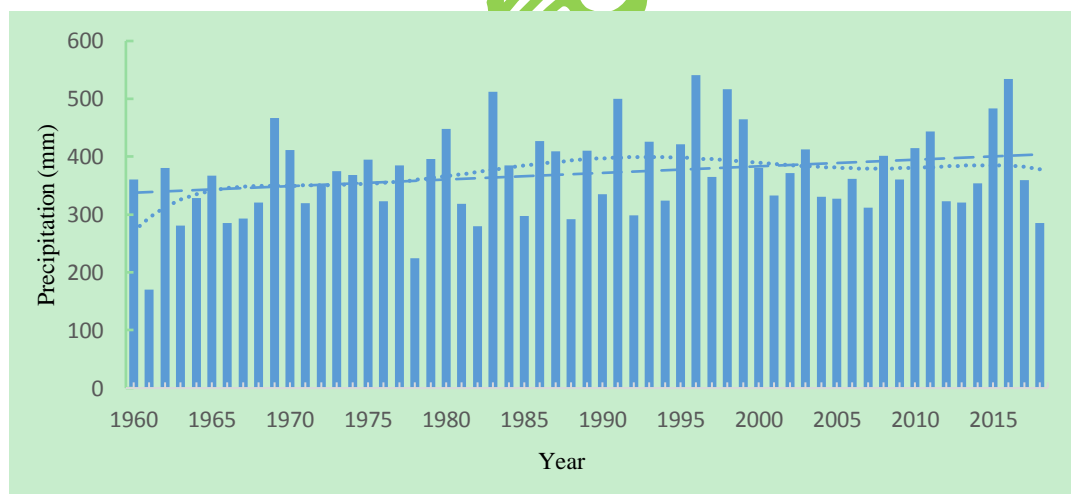


图4 1960—2018年江淮梅雨季节（6—7月）累积雨量（单位：mm）的年际变化（柱状图）、线性变化趋势（短划线）和多项式拟合变化趋势（虚线）

Fig.4 The interannual variation (histogram), linear variation trend (dashed line) and multinomial fitting change trend (dotted line) of accumulated rainfall (unit: mm) in Yangtze-Huaihe Meiyu season (June—July) during 1960—2018

为此进一步分析江淮梅雨与阻塞高压关系（图5），在1960—2018年的江淮梅雨季节，计算得到累积雨量与鄂霍茨克海区域年阻高日数的相关系数为0.293，与三个关键区总的年

阻高日数的相关系数为 0.281，与乌-鄂双阻日数的相关系数为 0.234，均通过了显著性水平  $\alpha=0.05$  的显著性检验（相关系数不在-0.203—0.203 之间的通过显著性水平  $\alpha=0.05$  的显著性检验），说明鄂霍茨克海区域、三个关键区总的阻高和乌-鄂双阻日数与江淮梅雨的相关性显著。计算得到累积雨量与乌拉尔山年阻高日数的相关系数为 0.113，与贝加尔湖年阻高日数的相关系数为 0.043，与关键区多阻日数的相关系数为 0.149，均未通过显著性水平  $\alpha=0.05$  的显著性检验。因此，在亚洲三个关键区中，年阻高日数与累积雨量相关系数最高的是鄂霍茨克海区域。

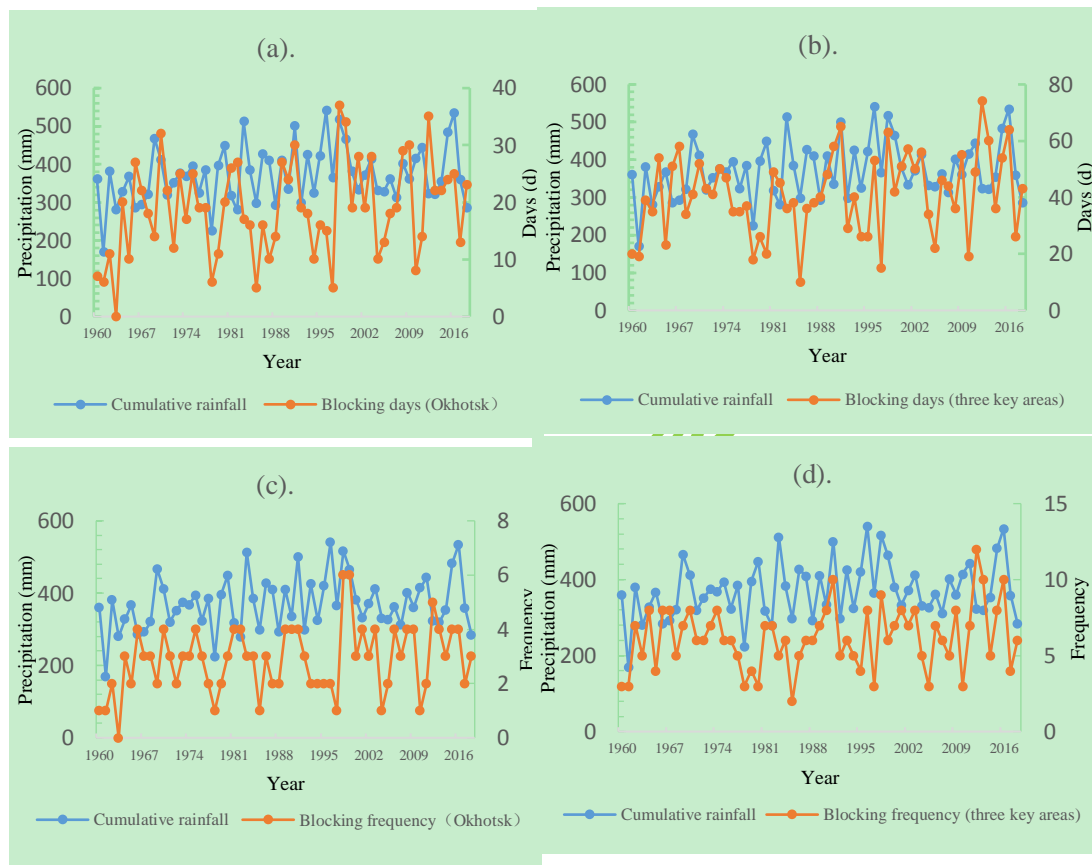


图5 1960—2018年江淮梅雨季节（6—7月）累积雨量（单位：mm）的年际变化与鄂霍茨克海（a）、三个关键区总体（b）的阻高日数（单位：d）年际变化；累积雨量（单位：mm）的年际变化与鄂霍茨克海（c）、三个关键区总体（d）的阻高次数年际变化

Fig.5 Interannual variation of cumulative rainfall (unit: mm) and blocking days (unit: d) of the Okhotsk Sea (a), three key areas (b); Interannual variation of cumulative rainfall (unit: mm) and blocking frequency of the Okhotsk Sea (c), three key areas (d) during the Yangtze-Huaihe Meiyu season (June-July) from 1960 to 2018

除此之外，还计算了累积雨量与亚洲关键区阻高事件频次的相关系数。累积雨量与鄂霍茨克海区域年阻高次数的相关系数为 0.307，与亚洲三个关键区总的年阻高次数的相关系数为 0.273，均通过显著性水平  $\alpha=0.05$  的显著性检验，说明鄂霍茨克海区域和亚洲三个关键区

总的阻高次数与江淮梅雨的相关性显著。累积雨量与乌拉尔山年阻高次数的相关系数为 0.107, 与贝加尔湖年阻高次数的相关系数为 0.027, 均未通过显著性水平  $\alpha=0.05$  的显著性检验。同样的, 在亚洲三个关键区中, 年阻高次数与累积雨量相关系数最高的也是鄂霍茨克海区域。

## 5.2 与江淮梅雨异常年的关系

研究江淮梅雨特点的文献很多。覃卫坚等(2014)对近 50 年广西大范围暴雨过程的大气环流异常特征进行了分析。张端禹等(2015)对华南前汛期持续暴雨过程按照环流进行了分型。而目前针对梅雨异常年阻塞高压活动的研究还较少。为了分析 6—7 月阻塞高压与梅雨正异常和负异常年关系, 根据金荣花等(2012)定义的梅雨异常年划分标准, 将大于 1.0 或小于 -1.0 的累积梅雨量的标准差, 作为梅雨异常年划分标准, 当累积梅雨量标准差大于 1.0 时, 该年份为梅年正异常, 当标准差小于 -1.0 时, 该年份为梅雨负异常年。统计得到 8 个梅雨正异常年, 分别为 1969、1980、1983、1991、1996、1998、1999 和 2016 年, 5 个梅雨负异常年分别为 1961、1963、1965、1978、1982 年。

从表 2 中可以看出, 对于梅雨正异常年, 三个关键区中, 鄂霍茨克海区域阻塞高压平均日数为 24d, 远超过多年平均的 15.3d, 乌拉尔山阻塞高压年平均日数为 14.9d, 接近多年平均的 14.8d, 而贝加尔湖区域阻高平均日数 10.8d, 低于多年平均的 12.8d。三个关键区的阻塞高压事件频次而言, 鄂霍茨克海阻塞高压年平均为 3.8 次, 远超过多年平均的 2.3 次, 乌拉尔山和贝加尔湖阻塞高压的年平均频次均接近多年平均。在双阻方面, 梅雨正异常年表现为乌拉尔山-鄂霍茨克海阻塞高压稳定形势, 年平均日数 6.4d, 远超过 3.5d 多年平均数; 而贝加尔湖-鄂霍茨克海阻塞高压为零事件。相反, 在梅雨负异常年, 乌拉尔山和鄂霍茨克海地区阻塞高压事件频次明显少于多年平均, 而贝加尔湖地区阻塞高压事件频次年平均为 1.6 次, 接近多年平均的 1.7 次, 三类双阻形势的日数也明显少于多年平均, 接近零事件。上述分析进一步验证了江淮梅雨多寡与阻塞活动密切相关, 在梅雨正异常年, 鄂霍茨克海区域阻高、乌-鄂双阻的形势相对活跃且稳定, 贝加尔湖阻塞日数、频次均偏少。在梅雨负异常年, 贝加尔湖阻塞活动接近常年, 而乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压日数、频次明显偏少, 且几乎不会出现双阻形势。张庆云等(1998)在探讨亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响时得出结论, 当亚洲中高纬从乌拉尔山到鄂霍茨克海区域出现“+-”波列形势时, 夏季梅雨期降水相对偏多, 特别是鄂霍茨克海高压稳定时, 往往造成东亚夏季梅雨期降水异常偏多; 反之, 当亚洲中高纬从乌拉尔山到鄂霍茨克海区域出现“-+”波列形势时, 梅雨期降水偏少。这一诊断分析支持了本文通过统计得到的鄂霍茨克海区域阻塞及乌-鄂双阻形势有利于梅雨期降水的结果。



表2 13个梅雨异常年对应的阻高次数和日数（红色数据表示大于59年平均值）

Table 2 The blocking frequency and days in 13 Meiyu abnormal years  
(red data are greater than the 59-year average)

	乌拉尔山	贝加尔湖	鄂霍茨克海	双阻	乌-鄂	乌-贝	贝-鄂	
1969	2次、10d	3次、17d	2次、14d	7d	5d	2d	0	
1980	0	0	3次、20d	0	0	0	0	
1983	1次、9d	1次、10d	3次、17d	0	0	0	0	
梅雨 正 异常 年	1991	3次、19d	4次、24d	4次、30d	18d	14d	4d	0
1996	4次、27d	3次、16d	2次、15d	11d	10d	4d	0	
1998	2次、20d	1次、6d	6次、37d	14d	10d	4d	0	
1999	1次、8d	0次、0d	6次、34d	7d	7d	0	0	
2016	4次、26d	2次、13d	4次、25d	5d	5d	0	0	
合计	17次、119d	14次、86d	30次、192d	62d	51d	14d	0	
平均	2.1次、14.9d	1.7次、10.8d	3.8次、24d	7.8d	6.4d	1.8d	0	
梅雨 负 异常 年	1961	1次、8d	1次、5d	1次、6d	0	0	0	0
1963	3次、23d	3次、17d	0	4d	0	4d	0	
1965	2次、13d	0	2次、10d	0	0	0	0	
1978	1次、6d	2次、12d	1次、6d	0	0	0	0	
1982	2次、13d	2次、13d	4次、27d	6d	1d	0	5d	
合计	9次、63d	8次、47d	8次、49d	10d	1d	4d	5d	
平均	1.8次、12.6d	1.6次、9.4d	1.6次、9.8d	2d	0.2d	0.8d	1d	

### 5.3 阻塞形势出现的可能成因

阻塞高压的形成实际上是一种典型的混沌现象，（Lorenz E N., 1963）。对于阻塞高压形成、发展机理的问题，许多学者已经有了相关研究（毕慕莹等，1992；王亚非等，1998；陆日宇，2001；徐辉，2011），他们的观点各不相同，王亚非等（2001）将这些观点整理出了五种流派，每种学说都有验证，但都不能概括阻塞现象的形成机理。这些“片面”的理论

存在也正好说明了阻塞现象的复杂多样性。每个阻高都有其具体的特殊性，即阻高生成机制不太一样甚至完全不同。在一个阻塞高压的形成过程中，可能是一种机制在起作用，也可能是几种不同的机制同时在起作用。

其中一种学说提到，海温异常对于阻高活动有一些影响（Wiedenmann, 2002）。李艳等（2017）分析指出，冬季欧亚地区的阻塞形势与冬季两类 ENSO 事件有关。ENSO（El Niño-Southern Oscillation）现象是赤道东南太平洋海面温度异常的强信号，它的发生、发展会使全球大气环流发生异常，从而影响全球的气候变化。本文确定 ENSO 位相的方法与 Quan 等（2004）提出的相同，即取 nino3 区冬季 SST 标准化值大于 1 的年份为 El Niño 年，标准化值小于-1 的为 La Niña 年。上文已得到梅雨正、负异常年与鄂霍茨克海区域阻塞日数多、寡相对应，但鄂霍茨克海区域阻塞活动异常是否与海温异常存在某种可能联系，接下来将分析鄂霍茨克海阻塞形势的出现与两类 ENSO 的关系。选取 1960~2018 年中的 El Niño 年和 La Niña 年，统计分析该期间 6-7 月鄂霍茨克海地区的阻塞活动（表 1）。

表 3 1960-2018 年中两类 ENSO 年 6-7 月下的鄂霍茨克海阻高活动特征

Table 3 Multi-year average characteristics of blocking activity in the Okhotsk from June to July of the years in two stages of ENSO cycle during 1960—2018

两类 ENSO 年	6-7 月鄂霍茨克海阻高年平均日数
El Niño 年	17d
La Niña 年	14.7d
1960-2018 年	15.3d

从表 3 可以看到，El Niño 年的 6-7 月鄂霍茨克海区域阻高多年平均日数高于近 59 年的年平均日数，而 La Niña 年则低于近 59 年的年平均日数。说明若前冬出现 El Niño 海温异常信号，则 6-7 月鄂霍茨克海区域的阻高活动比较活跃，若前冬出现 La Niña 事件，则 6-7 月鄂霍茨克海区域的阻高日数偏少。这种结果表明，6-7 月的鄂霍茨克海阻高日数多寡可能与前期海面温度异常信号 ENSO 有关。

此外，以往文献表明，ENSO 也与我国江淮梅雨期降水异常有正相关关系，佐证了上文得到的结果。如梁萍等（2018）研究长江梅雨的长期变率与海洋的关系及其可预报性时指出，梅雨异常与 ENSO 之间呈现正相关关系，尽管这种关系呈现减弱趋势，但 20 世纪 70 年代以后的梅雨异常年际变化分量的可预报性有所增大。高辉等（2007）也提到，20 世纪 70 年代中期之前，前期赤道东太平洋海温异常与我国夏季降雨有较好的对应关系，而在 80 年代之后，上述关系较难成立。因此，在今后的工作中，阻塞高压与梅雨降水的预测在参考 ENSO 的作用时，应该充分考虑二者关系的不同年代际变化。

处于赤道地区的 ENSO 活动和处于中高纬地区的阻高之间的联系，意味着中低纬度以及海气之间的相互作用。因此，海温对阻塞高压的影响是一个值得研究的科学问题，此文只做了初步工作，更加深入全面的研究以及可能的影响途径需要下一步更加深入的分析。

## 6. 结论和讨论

此文采用 1960—2018 年 6—7 月 NCEP/NCAR  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  逐日再分析资料和同期中国国家站日降水资料，统计分析了江淮梅雨季节整个亚洲区域阻塞高压活动地理分布，以及三个关键区阻塞高压气候变化特征，以及江淮梅雨异常之间的关系，得出以下结论：

(1) 在 1960—2018 年 59 年的江淮梅雨季节中，亚洲阻塞高压活动较为频繁，共计 363 次阻塞高压事件，其中心主要分布在乌拉尔山区域 ( $40^{\circ}\text{E}$ — $80^{\circ}\text{E}$ )、贝加尔湖区域 ( $80^{\circ}\text{E}$ — $120^{\circ}\text{E}$ ) 和鄂霍茨克海区域 ( $120^{\circ}\text{E}$ — $160^{\circ}\text{E}$ ) 三个关键区。

(2) 在近 59 年江淮梅雨季节中，亚洲三个关键区阻塞高压事件的次数和累积日数由高到低依次为：鄂霍茨克海、乌拉尔山区域和贝加尔湖区域。同时，亚洲中高纬地区双阻形势也比较频繁发生，累积双阻日数 346d，以乌拉尔山—鄂霍茨克海双阻形势居多，多达 206d，约占亚洲地区双阻日数的 60%。阻塞事件的平均生命周期 7 天左右，最长维持时间为 13 天。

(3) 近 59 年，乌拉尔山、贝加尔湖和鄂霍茨克海三个关键区的阻高次数和日数在一定程度上存在此消彼长的相互调制关系。三个关键区总的及分区的阻塞次数和日数都有明显的年际变化，并呈增加的趋势，其中线性增加趋势最为明显的是鄂霍茨克海区域。在年代际变化方面，亚洲地区和乌拉尔山、贝加尔湖区域阻高事件次数和日数也存在着明显的年代际变化，鄂霍茨克海区域表现不明显。

(4) 近 59 年江淮梅雨季节的累积雨量有随年份增加的趋势，这与亚洲三个关键区总的阻塞高压次数与日数的增加趋势一致。江淮梅雨季节降雨量多寡与阻塞高压活动密切相关，梅雨正（负）异常年鄂霍茨克海区域、乌-鄂双阻日数和次数显著偏多（偏少），而乌拉尔山和贝加尔湖区域的阻塞高压事件与梅雨的关系并不显著，梅雨正、负异常年贝加尔湖地区阻塞高压次数均接近常年，贝加尔湖-鄂霍茨克海双阻形势为零事件。

(5) 江淮梅雨季节，鄂霍茨克海阻高日数多寡可能与前期海面温度异常信号 ENSO 有关。若前冬出现 El Niño 海温异常信号，则 6-7 月鄂霍茨克海区域的阻高活动比较活跃，若前冬出现 La Niña 事件，则 6-7 月鄂霍茨克海区域的阻高日数偏少。

## 参考文献

- 毕慕莹, 丁一汇. 1992. 1980 年夏季华北干旱时期东亚阻塞形势的位涡分析. 应用气象学报, 3(2):145-156. Bi M Y, Ding Y H. 1992. A study of budget of potential vorticity of blocking high during the drought period in summer of 1980. J Appl Meteor Sci, 3(2):145-156 (in

Chinese)

- 陈丽娟, 许力, 江滢. 2005. 2004 年北半球大气环流及对中国气候异常的影响. 气象, 31(4):27-31. Chen L J, Xu L, Jiang Y. 2005. General circulation over the Northern Hemisphere in 2004 and its impact on the climate in China. Meteor Mon, 31(4):27-31 (in Chinese)
- 丁一汇, 柳俊杰, 孙颖等. 2007. 东亚梅雨系统的天气-气候学研究. 大气科学, 31(6): 1082-1101. Ding Y H, Liu J J, Sun Y, et al. 2007. A study of the Synoptic-Climatology of the Meiyu system in East Asia. Chinese J Atmos Sci, 31(6): 1082-1101 (in Chinese)
- 高辉, 王永光. 2007. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究. 气象学报, 65(1): 131-137. Gao H, Wang Y G. 2007. On the weakening relationship between summer precipitation in China and ENSO. Acta Meteor Sinica, 65(1): 131-137 (in Chinese)
- 黄菲, 姜浩娜. 2002. 欧亚大陆阻塞高压的统计特征及其与中国东部夏季降水的关系. 青岛海洋大学学报, 32(2): 186-192. Huang F, Jiang H N. 2002. Study on the statistical characteristics of atmospheric blocking in the Eurasia and its relationship with the summer rainfall over the East of China. Journal of Ocean University of Qingdao, 32(2): 186-192 (in Chinese)
- 金荣花, 陈涛, 鲍媛媛等. 2008. 2007 年梅汛期异常降水的大尺度环流成因分析. 气象, 34(4): 79-85. Jing R H, Chen T, Bao Y Y, et al. 2008. Causes analysis of abnormal rainfall and its large-scale circulation during 2007 Meiyu season. Meteor Mon, 34(4): 79-85 (in Chinese)
- 金荣花, 李艳, 王式功. 2009. 四种客观定量表征阻塞高压方法的对比分析. 高原气象, 28(5): 1121-1128. Jin R H, Li Y, Wang S G. 2009. Comparison and analysis among four objective and quantificational blocking indexes. Plateau Meteor, 28(5): 1121-1128 (in Chinese)
- 金荣花, 李维京, 张博等. 2012. 东亚副热带西风急流活动与长江中下游梅雨异常关系的研究. 大气科学, 36(4): 722-732. Jin R H, Li W J, Zhang B, et al. 2012. A study of the relationship between East Asia Subtropical Westerly Jet and abnormal Meiyu in the middle-lower reaches of the Yangtze River. Chinese J Atmos Sci, 36(4): 722-732 (in Chinese)
- 李峰, 丁一汇. 2004. 近 30 年夏季亚欧大陆中高纬度阻塞高压的统计特征. 气象学报, 62(3): 347-354. Li F, Ding Y H. 2004. Statistical characteristic of atmospheric blocking in the Eurasia high-mid latitudes based on recent 30-year summers. Acta Meteor Sinica, 62(3): 347-354 (in Chinese)
- 李海军, 李云泉. 2007. 2005 年 3 月 10-12 日嘉兴市寒潮大雪成因浅析. 科技通报, 23(5): 641-645. Li H J, Li Y Q. 2007. Analysis on the causes of the cold waves and heavy snow in Jiaxing City from March 10 to 12 of 2005. Bull Sci Technol, 23(5): 641-645 (in Chinese)
- 李艳, 金荣花, 王式功. 2010. 1950—2008 年影响中国天气的关键区阻塞高压统计特征. 兰州大学学报(自然科学版), 46(6): 47-55. Li Y, Jin R H, Wang S G. 2010. Statistical characteristics of blocking highs influencing the weather in China during 1950—2008. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 46(6): 47-55 (in Chinese)
- 李艳. 2010. 欧亚大陆关键区阻塞高压及其与我国冬季灾害性天气气候关系的研究. 兰州大

- 学. Li Y. 2010. Blocking highs in key regions of Eurasia and their relations with meteorological disaster in China in winter. Lanzhou University, 1-152 (in Chinese)
- 李崇银, 顾薇. 2010. 2008 年 1 月乌拉尔阻塞高压异常活动的分析研究. 大气科学, 34(5): 865-874. Li C Y, Gu W. 2010. An analyzing study of the anomalous activity of blocking high over the Ural Mountains in January 2008. Chinese J Atmos Sci, 34(5): 865-874 (in Chinese)
- 李勇, 金荣花, 周宁芳等. 2017. 江淮梅雨季节强降雨过程特征分析. 气象学报, 75(5): 717-727. Li Y, Jin R H, Zhou N F, et al. 2017. An analysis on characteristics of heavy rainfall processes during the Meiyu season in Jianghuai region. Acta Meteor Sinica, 75(5): 717-728 (in Chinese)
- 梁萍, 陈丽娟, 丁一汇等. 2018. 长江梅雨的长期变率与海洋的关系及其可预报性研究. 气象学报, 76(3): 379-393. Liang P, Chen L J, Ding Y H, et al. 2018. Relationship between long-term variability of Meiyu over the Yangtze River and ocean and Meiyu predictability study. Acta Meteor Sinica, 76(3): 379-393 (in Chinese)
- 陆日宇. 2001. 夏季东北亚阻塞形势维持时的天气尺度波. 大气科学, 25(3): 289-302. Lu R Y. 2001. Eddies during the blocking maintenance over the northeastern Asia in summer. Chinese J Atmos Sci, 25(3): 289-302 (in Chinese)
- 马晓青, 丁一汇, 徐海明等. 2008. 2004/2005 年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究. 大气科学, 32(2): 380-394. Ma X Q, Ding Y H, Xu H M, et al. 2008. The relation between strong cold waves and low-frequency waves during the winter of 2004/2005. Chinese J Atmos Sci, 32(2): 380-394 (in Chinese)
- 覃卫坚, 李栋梁, 王慧等. 2014. 近 50 年广西大范围暴雨的大气环流异常分析. 高原气象, 33(2): 515-521. Qin W J, Li D L, Wang Hui, et al. 2014. Analysis on general circulation anomalies of the extensive heavy rains in Guangxi in last 50 years. Plateau Meteor, 33(2): 515-521 (in Chinese)
- 史湘军, 智协飞. 2007. 1950-2004 年欧亚大陆阻塞高压活动的统计特征. 南京气象学院学报, 30(3): 338-344. Shi X J, Zhi X F. 2007. Statistical characteristics of blockings in Eurasia from 1950 to 2004. J. Nanjing Inst. Meteor, 30(3): 338-344 (in Chinese)
- 王亚非, 宋永加. 1998. 1991 年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析. 气象学报, 56(2): 212~223. Wang Y F, Song Y J. 1998. A diagnostic analysis on the growth mechanism of the east Asia blocking high in 1991. Acta Meteor Sinica, 56(2): 212~223 (in Chinese)
- 王亚非, 倪允琪. 2001. 阻塞高压形成、发展机理问题概述. 南京气象学院学报, 24(3): 437-445. Wang Y F, Ni Y Q. 2001. Review on the formation and development mechanism of blocking high. J. Nanjing Inst. Meteor, 24(3): 437-445 (in Chinese)
- 王会军. 2000. 关于我国几个大水年大气环流特征的几点思考. 应用气象学报, 11(Z1): 79-86. Wang H J. 2000. Characteristics of the atmospheric general circulation in three flood years in China. J Appl Meteor Sci, 11(Z1): 79-86 (in Chinese)
- 王静. 2002. 东北地区夏季冷暖年大气环流异常的空间特征及演变. 气象科学, 22(4): 394-401. Wang J. 2002. Global circulation anomalous spatial character of cold/warm years in summer



- in eastnorthern China and long-period variation. *Scientia Meteor. Sinica*, 22(4): 394-401 (in Chinese)
- 汪秀清, 马树庆, 裘祝香等. 2005. 东北区夏季低温冷害的长期预报方法研究. *灾害学*, 20(1): 36-39. Wang X Q, Ma S Q, Xi Z X, et al. 2005. Method study on long-term forecast of summer freezing damage in Northeast China. *Journal of Catastrophology*, 20(1): 36-39 (in Chinese)
- 徐辉, 金荣花. 2011. 2008 年初瞬变涡在中高纬阻高异常中的作用分析. *高原气象*, 30(3): 600-606. Xu H, Jin R H. 2011. Analysis on the effect of the transient eddy on Ural blocking high in 2008. *Plateau Meteor*, 30(3): 600-606 (in Chinese)
- 叶笃正. 1962. 北半球冬季阻塞形势的研究. 北京: 科学出版社, 1-10. Ye D Z. 1962. Study on the winter blocking situations in the Northern Hemisphere. Beijing: Science Press, 1-10 (in Chinese)
- 仪清菊. 1988. 北半球阻塞高压的某些统计特征. *气象*, 9(3): 11-13. Yi Q J. 1988. Some statistical characteristics of blocking in the Northern Hemisphere. *Meteor Mon*, 9(3): 11-13 (in Chinese)
- 杨义文. 2001. 7 月份两种东亚阻塞形势对中国主要雨带位置的不同影响. *气象学报*, 59(6): 759-767. Yang Y W. 2001. Different in fluence of two east asian blocking situations in July on rain belt location in China. *Acta Meteor Sinica*, 59(6): 759-767 (in Chinese)
- 周晓平. 1957. 亚洲中纬度区域阻塞形势的统计研究. *气象学报*, 28(1): 75-85. Zhou X P. 1957. Statistical investigation on the blocking situations over Asia. *Acta Meteor Sinica*, 28(1): 75-85 (in Chinese)
- 周宁. 2016. 冬季欧亚阻塞高压的空间特征及其对中国温度的影响. *成都信息工程大学学报*, 31(4): 419-424. Zhou N. 2016. The spatial characters of blocking over Eurasia and its impact on temperature of China. *J Chengdu Univ Inform Technol*, 31(4): 419-424 (in Chinese)
- 赵汉光, 陈雪珍. 1990. 北半球阻塞高压的统计特征. *气象*, 16(3): 3-7. Zhao H G, Chen X Z. 1990. The statistical analysis of atmospheric blocking in the Northern Hemisphere. *Meteor Mon*, 16(3): 3-7 (in Chinese)
- 张庆云, 陶诗言. 1998. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. *气象学报*, 56(2): 199-211. Zhang Q Y, Tao S Y. 1998. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall. *Acta Meteor Sinica*, 56(2): 199-211 (in Chinese)
- 张庆云, 陶诗言, 张顺利. 2001. 1998 年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件. *大气科学*, 25(4): 567-576. Zhang Q Y, Tao S Y, Zhang S L. 2001. A study of excessively heavy rainfall in the Songhuajiang-Nenjiang River Valley in 1998. *Chinese J Atmos Sci*, 25(4): 567-576 (in Chinese)
- 张端禹, 郑彬, 汪小康等. 2015. 华南前汛期持续暴雨环流分型初步研究. *大气科学学报*, 38(3): 310-320. Zhang D Y, Zheng B, Wang X K, et al. 2015. Preliminary research on circulation patterns in the persistent heavy rain processes during the first rainy season in South China. *Trans Atmos Sci*, 38(3): 310-320 (in Chinese)

- Altenhoff A M, Martius O, Croci-Maspoli M, et al. 2008. Linkage of atmospheric blocks and synoptic-scale Rossby waves: a climatological analysis. *Tellus Series A*, 60A: 1053-1063
- Chen T C, Yoon J H. 2001. Interdecadal variations of the North Pacific wintertime blocking. *Mon Wea Rev*, 130: 3136-3143
- Croci-Maspoli M, Schwierz C, Davies H C. 2007. A multifaceted climatology of atmospheric blocking and its recent linear trend. *J Climate*, 20: 633-649
- Elliott R D, Smith T B. 1949. A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the Northern-Hemisphere westerlies. *J Meteor*, 6: 67-85
- Lorenz E N. 1963. The mechanics of vacillation. *J Atmos Sci*, 20(5): 448~464
- Lejenas H, Okland H. 1983. Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long timeseries of observational data. *Tellus*, 35A: 350-362
- Lupo A R, Smith P J. 1995. Climatological Features of Blocking Anticyclones in the Northern Hemisphere. *Tellus*, 47A: 439-456
- Lupo A R. 1997. A diagnosis of two blocking events that occurred simultaneously over the mid-latitude Northern Hemisphere. *Mon Wea Rev*, 125: 1801-1823
- Liu P , Zhu Y , Zhang Q , et al. 2017. Climatology of tracked persistent maxima of 500-hPa geopotential height. *Climate Dynamics*.
- Quan X W, Diaz H F, Hoerling M P. 2004. Change in the tropical Hadley cell since 1950//*The Hadley Circulation: Past, Present, and Future*. Cambridge University Press.
- Sumner E J. 1959. Blocking anticyclones in the Atlantic-European sector of the northern hemisphere. *Met Mag*, 88: 300-310
- Treidl R A, Birch E C, Sajecki P. 1981. Blocking action in the Northern Hemisphere: A climatological study. *Atmos Ocean*, 19: 1-23
- Tibaldi S, Molteni F. 1990. On the operational predictability of blocking. *Tellus*, 42A: 343-365
- White E B, Clark N E. 1975. On the development of blocking ridge activity over the central north Pacific. *J Atmos Sci*, 32: 489-501
- Wiedenmann J M, Luop A R. 2002. The climatology of blocking anticyclones for the Northern and Southern Hemispheres: blocking intensity as a Diagnostic. *Journal of Climate*, 15: 3459-3473
- Wang L, Chen W, Zhou W, et al. 2010. Effect of the climate shift around mid 1970's on the relationship between wintertime Ural blocking circulation and East Asian climate. *Int J Climatol*, 30(1): 153-158