

# 海河流域暴雨的气候特征与环流分型

杨德江<sup>1</sup>, 马 宁<sup>1</sup>, 尉英华<sup>2</sup>

(1.天津市气候中心,天津 300074; 2.天津市气象台,天津 300074)

**摘要:**选用海河流域 1961~2012 年 132 站逐日降水资料,通过趋势分析、M-K 检验、EOF 和 REOF 等方法分析了 50 余年海河流域暴雨的气候统计特征。利用 NCEP/NCAR 再分析资料和历史天气图资料,研究了海河流域 14 个典型强致灾暴雨过程的大气环流特征。结果表明:(1)海河流域夏季暴雨日站数和暴雨量的时空分布相近,暴雨日站数下降趋势较为显著;(2)海河流域夏季暴雨的空间分布可划分为 3 个分布型态:西南型、东北型和东南型;(3)海河流域暴雨在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初存在一次突变现象;(4)海河流域强致灾暴雨过程可归纳为 5 类主要环流型,即高空低槽型、高空冷涡型、副高外围切变线型、低空低涡型和台风北上型。

**关键词:**海河流域;暴雨;EOF;REOF

中图分类号:P458

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)01-0083-09

海河流域位于华北中部,东临渤海,西倚太行,南界黄河,北接蒙古高原。覆盖京津冀全部和内蒙古、山西、河南、山东的部分地区。海河流域虽然素有“十年九旱”之说,但由于流域内太行山脉和燕山山脉形成地势为北、西、南三面高,向东部滨海倾斜,山区和平原几乎直接交接,且各水系呈扇形分布,汇于海河干流后由天津塘沽入海,造成河道源短流急和洪水突发性强。因此暴雨造成的洪涝是海河流域最重要的气象灾害之一,对京津冀政治经济中心危害较大,一直以来受到各防汛决策部门的重视和关注。

气象学界对我国暴雨的形成原因,环流背景等早有论著,陶诗言<sup>[1]</sup>、丁一汇<sup>[2]</sup>等专家在系统论述中国暴雨的气象学理论的同时,也就部分流域范围的暴雨天气个例进行了详细分析。近年来,不仅在以天气学为主的区域暴雨研究方面取得了很多有意义的成果<sup>[3-6]</sup>,对于区域和流域范围的暴雨气候特征和环流背景等,国内也有很多气候专家运用多种统计方法进行了较为详细的分析研究<sup>[7-16]</sup>。

在海河流域的暴雨研究方面,近年来大多侧重于天气学领域,对暴雨形成的大气环流特征、不同尺度天气系统的影响机制及水气源地与输送等进行了详细研究分析<sup>[17-21]</sup>。虽然刘学锋等<sup>[22]</sup>对海河流域极端强降水的

时空变化趋势进行了研究分析,但以气候学为基础对海河流域暴雨的背景及环流特征的研究相对较少。本文研究了 1961 年以来 50 余年海河流域暴雨的气候特征,归纳分析了海河流域发生较重洪涝灾害的历次暴雨过程的大气环流特征。

## 1 资料和方法

本文所用地面降水资料为海河流域内 169 个气象站 1951~2012 年逐日降水整编资料。由于各站资料长度不同,大部分站点 1961 年以来资料基本完整,所以选取 1961~2012 年资料完整的 134 站降水资料进行均一化分析,结果显示五台山和昔阳两站的高于 TS (显著性 0.05)值的点较多,所以剔除这两个站点,最终保留降水资料完整且分布较均匀的 132 站进行统计分析。在分析典型暴雨过程的大气环流特征时使用了 NCEP/NCAR 再分析资料(分辨率  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ),及天津市气象局的历史天气图资料。

根据气象学对暴雨的定义,单站日降水量(20 时~20 时)大于等于 50 mm 为 1 个站次暴雨日。文中流域内某时间段出现暴雨日的站次数总和为该时段流域暴雨日站数;某时间段某站点的暴雨降水量总和为该时段该站的暴雨量,所有站点暴雨量的平均值为该时

收稿日期:2016-03-20

基金项目:中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015M04);天津市气象局科研项目(201507);天津市气象局博士基金项目(201628bsjj01)

作者简介:杨德江(1968-),男,天津人,高工,主要从事短期气候预测业务工作。E-mail: ydjzcc@hotmail.com

段流域暴雨量(暴雨日站数为0时无暴雨量)。文中分析海河流域暴雨的气候特征时,研究对象是年和夏季(6~8月)暴雨日站数和暴雨量,运用趋势分析、EOF和REOF等方法研究海河流域暴雨时空特征,运用Mann-Kendall方法对海河流域暴雨的时间序列进行突变检验。

## 2 海河流域暴雨的气候特征

统计显示,海河流域常年(1981~2010年)夏季暴雨日站数和暴雨量分别占流域年暴雨日站数和年暴雨量的85%以上和89%,可见海河流域暴雨主要发生在夏季,研究海河流域夏季暴雨的特征具有重要意义。

### 2.1 夏季暴雨的趋势分析

海河流域1961~2012年夏季暴雨的年际变化如图1所示,流域夏季暴雨日站数及暴雨量变化趋势相似,均呈总体下降的趋势。暴雨日站数及暴雨量最大的

年份均出现在1963年,分别为304d和262.4mm,暴雨日站数较多的年份还有1964、1973、1977、1994~1996年,均超过250d,而1968年和2002年分别仅有55d和54d,是50余年中最少的;暴雨量较大的年份还有1977、1994和1996年,均大于170mm,1968年的暴雨量最少,仅62mm。

对上述变化趋势做显著性检验, $R^2$ 分别为0.076和0.06,即夏季暴雨日站数的下降趋势通过了0.05的显著性检验,而暴雨量则未通过,说明海河流域夏季暴雨日站数下降趋势较显著。

### 2.2 夏季暴雨的空间分布

图2是海河流域各站夏季常年(1981~2010年)暴雨日站数和暴雨量的空间分布。由图2可见,暴雨日站数和暴雨量的分布基本一致,均为西北少东南多,等值线呈东北西南走向,等值线密集区位置与燕山和太行山脉相近。暴雨日站数在流域东北部的滦河、北

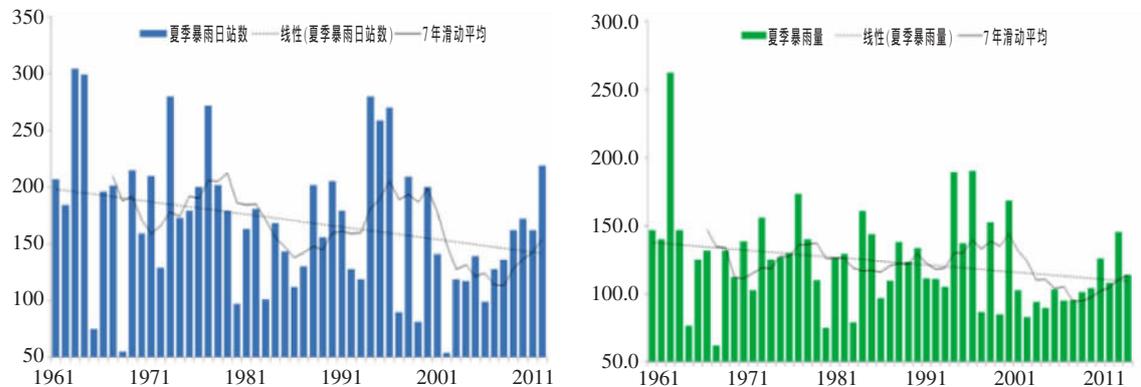


图1 1961~2012年海河流域夏季暴雨日站数(左)和夏季暴雨量(右)变化图

Fig.1 The annual variation of number of the stations of the summer rainstorms (left) and the summer precipitation (right) in the Haihe River basin from 1961 to 2012

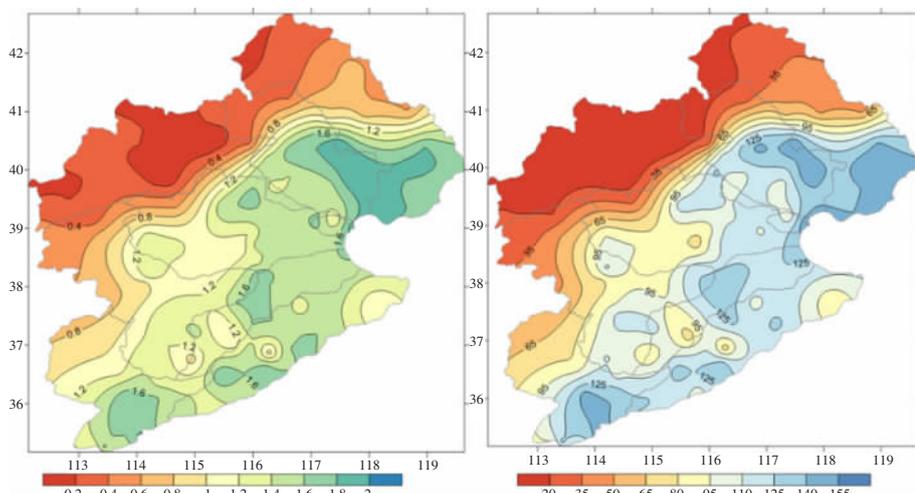


图2 海河流域夏季常年暴雨日站数(左)和暴雨量(右)分布

Fig.2 The spatial variation of number of the stations of summer rainstorms (left) and the summer precipitation (right) in the Haihe River basin

三河水系下游有近两天的高值中心;在滦河、北三河水系下游及漳卫河南部存在 150mm 左右的暴雨量大值中心。

### 2.3 夏季暴雨的 EOF 分析

对海河流域夏季暴雨日站数和暴雨量的标准化距平场进行 EOF 分析,通过对特征值进行检验,前 3 个模态显著。图 3 为各模态空间分布,可见夏季暴雨日站数和暴雨量的 3 个主模态空间分布基本一致,第一模态的方差贡献分别为 16.5%和 17.2%,除北部滦河上游局部地区外,流域大部一致为正,大值区位于流域中部和南部,表明海河流域暴雨分布一致多或少;第二模态的方差贡献分别为 10%和 11.6%,零线大致横向从中间将海河流域分为西南部和中北部两部分,中北部为负,西南部为正,数值相当,基本为纬向空间分布,表明流域西南部与其余大部分地区暴雨呈现相反的分布型式;第三模态的方差贡献分别为 6.3%和 7.1%,零线沿东北-西南向将流域大致分为中西部和东南部两部分,偏经向分布,位相相反,表明海河流域暴雨还有东南部少(多)中西部多(少)的分布特征。

图 4 分别是暴雨日站数和暴雨量前 3 个模态的时

间系数,由图 4 可见,第一模态的时间系数有弱的下降趋势但不显著,第二、三模态的时间系数序列无明显变化趋势,但第二模态时间系数在 1990 年代中后期开始至 2010 年间基本为正,表明该时间段流域暴雨主要为南多北少的分布特征。

### 2.4 夏季暴雨的 REOF 分析

为了进一步分析海河流域夏季暴雨日站数和暴雨量的区域特征,对 EOF 分析的前 3 个模态进行旋转,REOF 的 3 个模态方差贡献率分别为第一模态:12%和 14.8%;第二模态:均为 12%;第三模态:8.8%和 9.2,载荷向量如图 5 所示。

按照 REOF 的三个模态的载荷大值区位置可将海河流域暴雨分为西南型,东北型和东南型,其中心值均大于 0.6。其中西南型对应区域为太行山东部迎风坡,地形的强力抬升作用可能是该型暴雨的主要动力因素;东北型对应区域为燕山的南部,有着类似的动力因素;而东南型所在区域为流域的东部平原区,夏季副高边缘的水汽输送可能为这型暴雨提供较充足的水汽条件。

图 6 为各模态的时间系数,其变化趋势的年代际

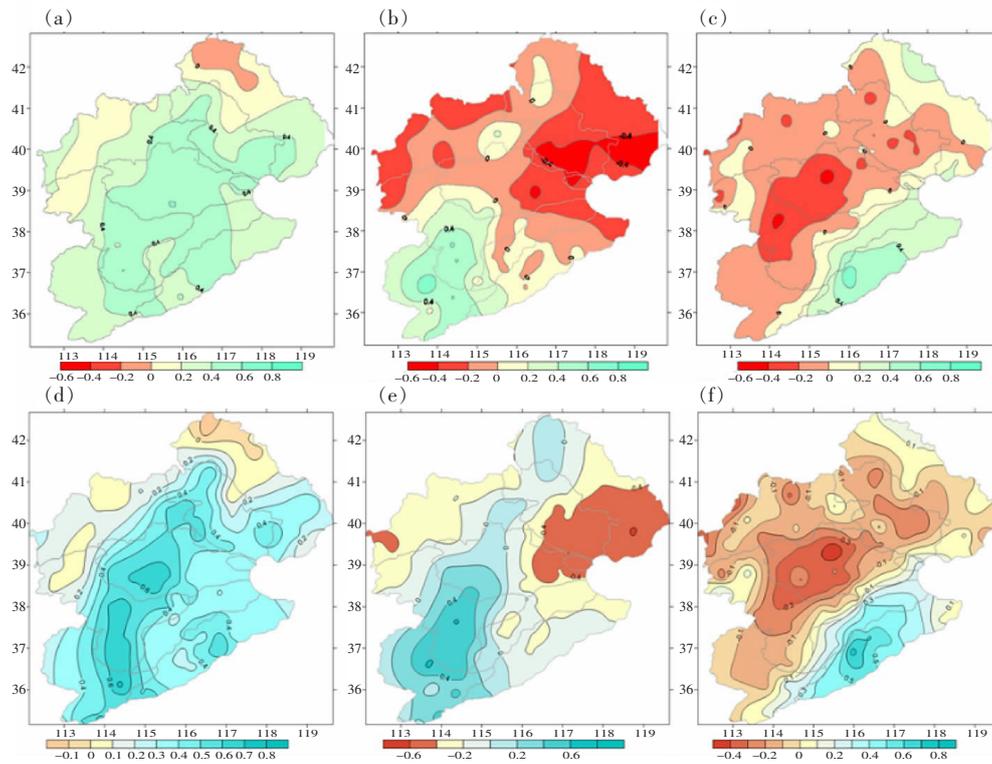


图3 海河流域夏季暴雨(1961~2012 年)EOF 前三个模态的空间分布图  
(a~c 为暴雨日站数空间分布、d~f 为暴雨量空间分布)

Fig.3 The spatial distribution of the first three components of EOF analysis of number of the stations of summer rainstorms and the summer precipitation in the Haihe River basin during 1961-2012: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3; (d) EOF1; (e) EOF2; (f) EOF3

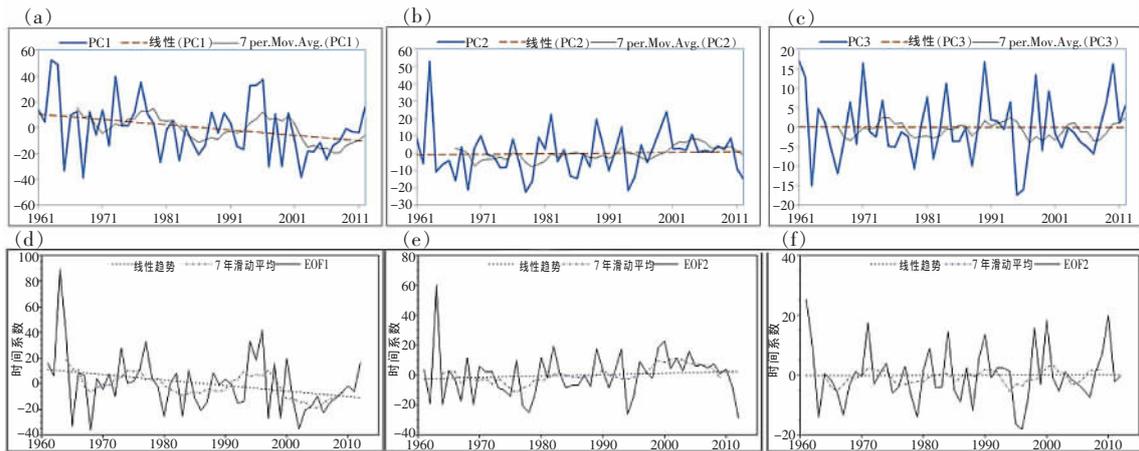


图4 海河流域夏季暴雨 EOF 前三个模态的时间系数图

(a~c 为暴雨日站数时间系数、d~f 为暴雨量时间系数)

Fig.4 The corresponding time coefficient series of the first three components of EOF analysis of number of the stations of summer rainstorms and the summer precipitation in the Haihe River basin during 1961–2012: (a) EOF1; (b) EOF2; (c) EOF3; (d) EOF1; (e) EOF2; (f) EOF3

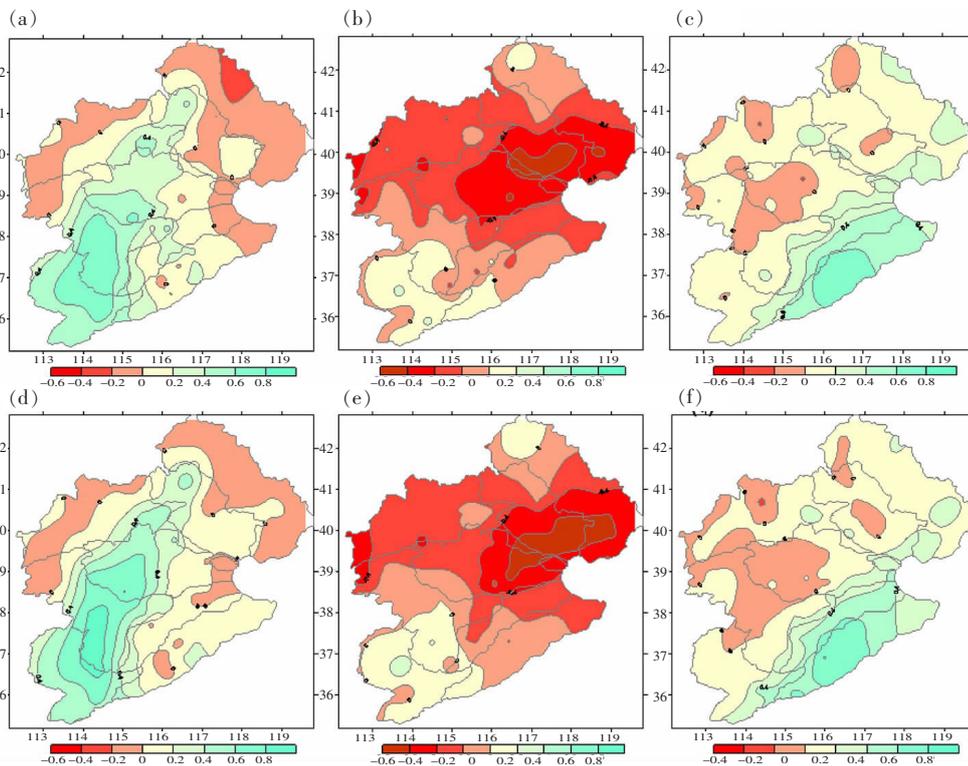


图5 海河流域夏季暴雨 REOF 第 1-3 模态载荷向量的空间分布图

(a~c 为暴雨日站数 1-3 模态、d~f 为暴雨量 1-3 模态)

Fig.5 The first three loaded vectors of REOF analysis of number of the stations of summer rainstorms and the summer precipitation in the Haihe River basin during 1961–2012: (a) REOF1; (b) REOF2; (c) REOF3; (d) REOF1; (e) REOF2; (f) REOF3.

特征均不明显；第二时间系数在 1990 年代中后期至 2010 年主要为正值，说明期间流域东北部暴雨明显偏少。

## 2.5 夏季暴雨的突变分析

Mann-Kendall 法(简称 M-K 法)是一种非参数统

计检验方法,常用于突变检验<sup>[23]</sup>。图 7 为海河流域暴雨日站数和暴雨量的 M-K 突变检验,由 UF 曲线可见,海河流域夏季暴雨日站数和暴雨量均从 20 世纪 80 年代开始呈现总体下降趋势,在 2004 年以后这种趋势超过了显著性水平 0.05 临界线,最大值甚至超过或

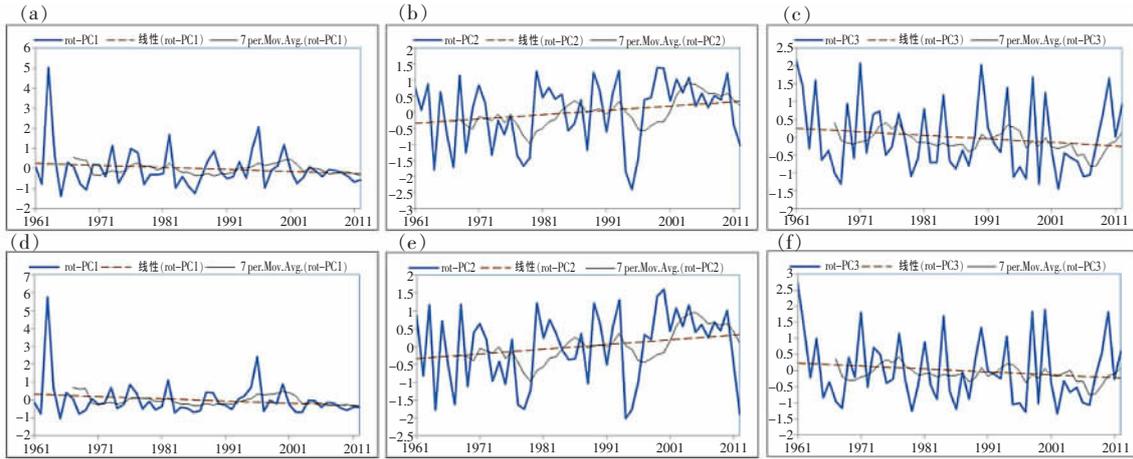


图6 海河流域夏季暴雨 REOF 第1-3 模态的时间系数图

(a~c 为暴雨日站数 1~3 模态、d~f 为暴雨量 1~3 模态)

Fig.6 The corresponding time coefficient series of the first three components for REOF analysis of number of the stations of summer rainstorms and summer precipitation in the Haihe River basin during 1961-2012: (a) REOF1; (b) REOF2; (c) REOF3; (d) REOF1; (e) REOF2; (f) REOF3

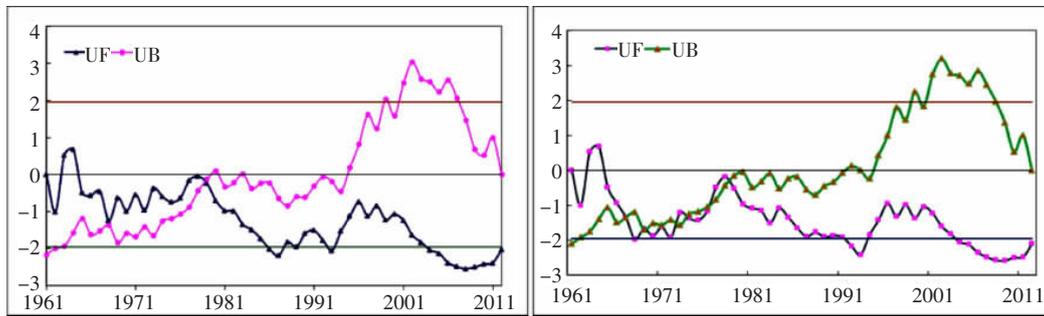


图7 海河流域暴雨日站数(左)和暴雨量(右)M-K 统计量曲线图

(直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值)

Fig.7 The abrupt change of number of the stations of summer rainstorms (left) and summer precipitation (right) in the Haihe River basin using Mann-Kendall test (The level lines indicate the 0.05 significance level of the Mann-Kendall test)

接近 0.001 显著性水平, 说明近年来流域暴雨的减少趋势较为显著。据 UF 及 UB 曲线交叉点的位置判断, 海河流域暴雨在 20 世纪 70 年代末至 80 年代初存在一次突变现象, 具体是从 1979 年开始的。

### 3 海河流域典型暴雨过程的环流分型

通过对海河流域历史上暴雨所致的洪涝灾害进行统计, 结合吴振玲等<sup>[24]</sup>对流域致灾暴雨的评估结果, 我们选取了 14 次较强致灾暴雨过程进行分析归纳, 根据大尺度环流背景和造成暴雨过程的不同天气系统将其分为 5 类主要环流型, 即高空低槽型、高空冷涡型、副高外围切变线型、低空低涡型和台风北上型(见表 1), 其中发生次数最多的是高空低槽型, 共 5 次。下文是对每类暴雨不同环流特征的具体分析, 限于篇幅, 每类仅给出 1 个典型个例图片。

表1 1960~2012年海河流域典型强致灾暴雨过程统计  
Table1 Statistic analysis of the typical disaster rainstorms in the Haihe River basin from 1960 to 2012

环流型	发生时间	致灾等级
高空低槽型	1975 年 7 月 29~30 日	2
	1975 年 8 月 12~13 日	3
	1982 年 7 月 31 日~8 月 5 日	2
	1994 年 7 月 12~13 日	1
	2012 年 7 月 21~22 日	2
高空冷涡型	1960 年 7 月 28 日	1
	1962 年 7 月 24~26 日	2
	1988 年 7 月 21 日	2
副高外围切变线型	1977 年 7 月 26~27 日	2
	1978 年 7 月 25 日	2
	1984 年 8 月 9~10 日	1
低空低涡型	1963 年 8 月 3~8 日	1
	2000 年 7 月 4~6 日	2
台风北上型	1996 年 8 月 3~5 日	1

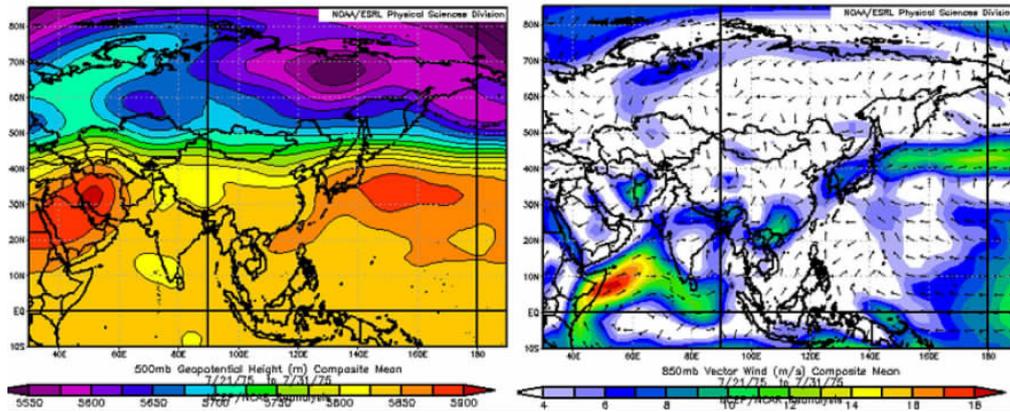


图8 1975年7月下旬亚洲区500hPa高度场(左)和850hPa风场(右)

Fig.8 Distribution of the geopotential height (dagpm) field 500hPa (left) and wind (m/s) field at 850hPa (right) during 21st–31st July 1975

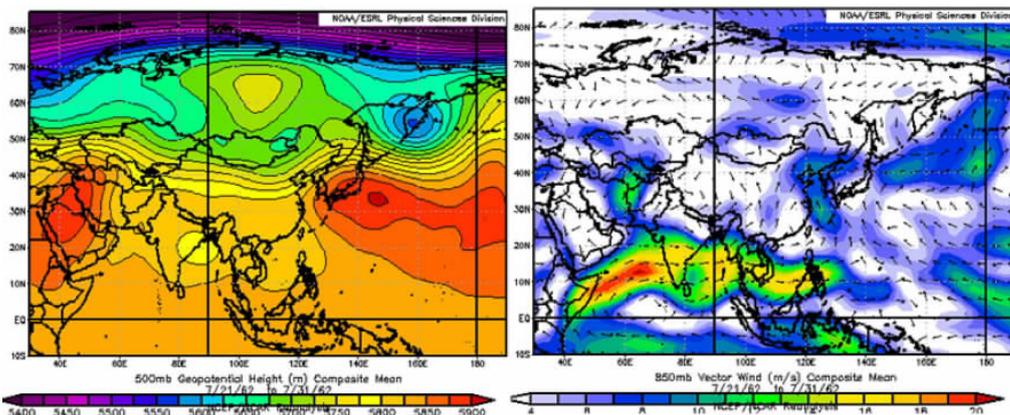


图9 1962年7月下旬亚洲区500hPa高度场(左)和850hPa风场(右)

Fig.9 Distribution of the geopotential height (dagpm) field at 500hPa (left) and wind (m/s) field at 850hPa (right) during 21st–31st July 1962

### 3.1 高空低槽型暴雨

图8以1975年7月29~30日的暴雨过程为例分析此类暴雨天气大尺度环流背景,主要特征为中高纬高空500hPa环流形势为东高西低或两高对峙,浅槽位于110°E附近,850hPa在流域上空有明显的风切变,形成明显的底层辐合上升运动区,副热带高压稳定位于120°E以东,使得降水持续时间较长。

此外,2012年7月21日北京特大暴雨及7月上旬流域的大范围暴雨过程也属此类暴雨,孙建华等<sup>[25]</sup>对此次过程的多尺度大气特征进行了详细分析,在此就不赘述了。

### 3.2 高空冷涡型暴雨

此类暴雨天气大尺度环流背景为:中高纬高空500hPa环流形势为明显的高空冷涡,且冷涡深厚,从低层到高层都有,冷涡降水一般为不稳定的阵性降水,因此多雷阵雨天气,且午后到前半夜比较多发。造成海河流域暴雨的冷涡一般多为东北冷涡、蒙古冷涡

等。冷涡降水过程较多,但一般为局地性暴雨,所造成的洪涝灾害以流域东北部最为明显。1962年7月24~26日的暴雨过程就属这一类型中的蒙古冷涡暴雨(见图9)。

### 3.3 副高外围切变线型暴雨

此类暴雨天气大尺度环流背景为:中高纬高空500hPa环流比较平直,无明显高空槽,但副高北抬至海河流域南部,且副高外围584线附近低空850hPa及700hPa存在明显的低空切变线,因副高外围高温高湿,能量条件充沛,切变线辐合触发不稳定能量释放,往往在584线附近产生暴雨天气,1984年8月9~10日的暴雨过程即是在这种背景下发生的(见图10)。此类暴雨天气多发生于流域的中南部。一般暴雨过程多为西来槽与副高相互作用产生的暴雨,单纯切变线的暴雨过程相对较少。

### 3.4 低空低涡型暴雨

此类暴雨天气大尺度环流背景为:影响海河流域

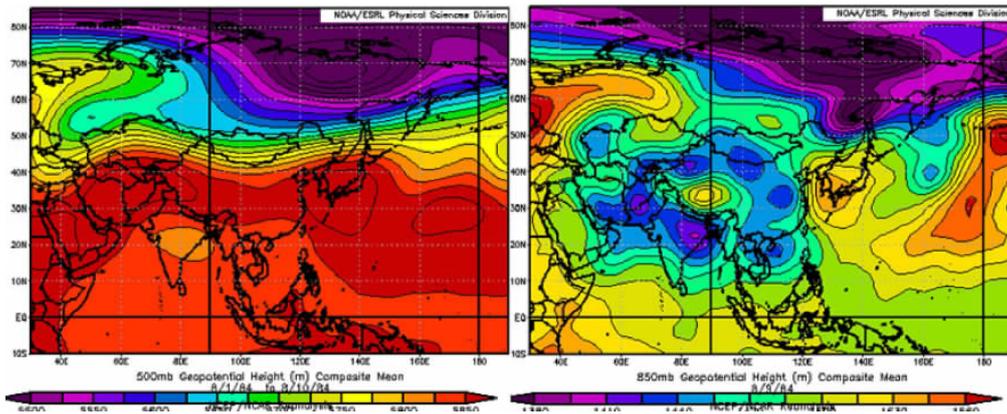


图 10 1984 年 8 月上旬亚洲区 500hPa 高度场(左)和 8 月 9 日 850hPa 高度场(右)

Fig.10 Distribution of the geopotential height (dagpm) field at 500 hPa (left) and 850 hPa (right) during 1st-10th August 1984

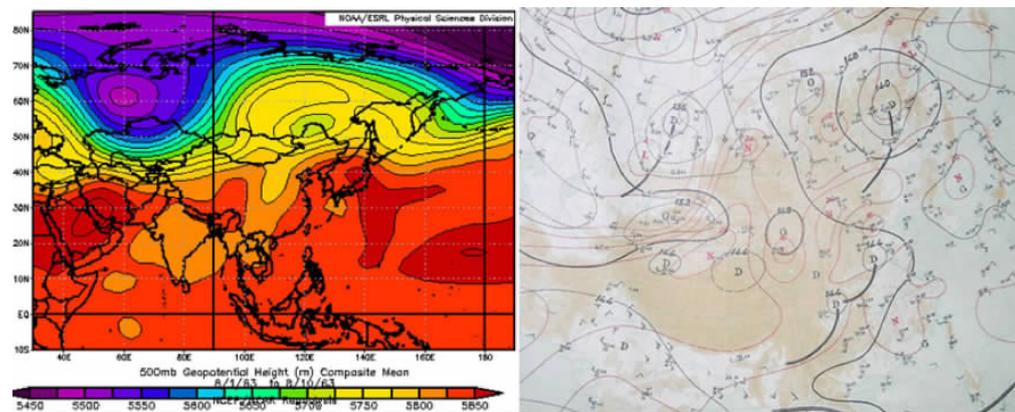


图 11 1963 年 8 月上旬亚洲区 500hPa 高度场(左)和 8 月 5 日 850hPa 高度场(右)

Fig.11 Distribution of the geopotential height (dagpm) field at 500 hPa during 1st-10th August 1963 (left) and 850 hPa on 5th August 1963 (right)

暴雨的低涡多为西南涡，即西南地区（四川盆地及周边）低空 850hPa 及 700 hPa 存在明显的气旋式涡旋，该涡旋受副高外围西南气流引导向东北方向移动，进入长波槽中，并在华北地区停滞，造成海河流域尤其是南部的暴雨洪涝。其最典型的个例当属 1963 年 8 月上旬的暴雨过程(见图 11)。此次过程除了具有典型的大尺度环流背景外，华北平原西部的太行山脉对低层偏东气流的抬升作用在一定程度上加强和稳定了这次暴雨，同时日本上空的台风活动为流域降水提供了水汽补充。

此次暴雨使海河流域的旬降水量比常年同期偏多 2~6 倍，最大的暴雨中心邢台獐么 200mm 以上的日数达 4d,7d 雨量为 2 050mm,为我国大陆的最高记录,是流域历史上灾情最重,影响范围最广的一次暴雨过程。

### 3.5 台风北上型暴雨

此类暴雨天气大尺度环流背景为：北上台风与西风槽相互作用,或者台风深入内陆受阻停滞,造成海河

流域暴雨天气。此类暴雨过程的出现区域主要受台风登陆后减弱低压的位置影响。

典型个例为 9608 号台风,8 月 1 日在福建登陆后北上,8 月 4 日 850hPa 高度场上,台风减弱成的低压转向北移至山西至河南南部,并受高压阻挡停滞,在流域中南部形成特大暴雨(见图 12)。

## 4 结论

通过以上研究分析,得出以下结论:

(1)海河流域 1961~2012 年夏季暴雨日站数及暴雨量的时空分布相似,年际变化均呈总体下降的趋势,常年的空间分布均为由西北向东南逐渐增多。

(2)EOF 分析显示暴雨的变化存在大部一致性、南北反相的纬向性和东西反相的经向性;REOF 的进一步分析结果可以将海河流域夏季暴雨的空间分布归纳为西南型、东北型和东南型,各分布型的时间系数的年代际变化趋势均不显著;1990 年代中后期至

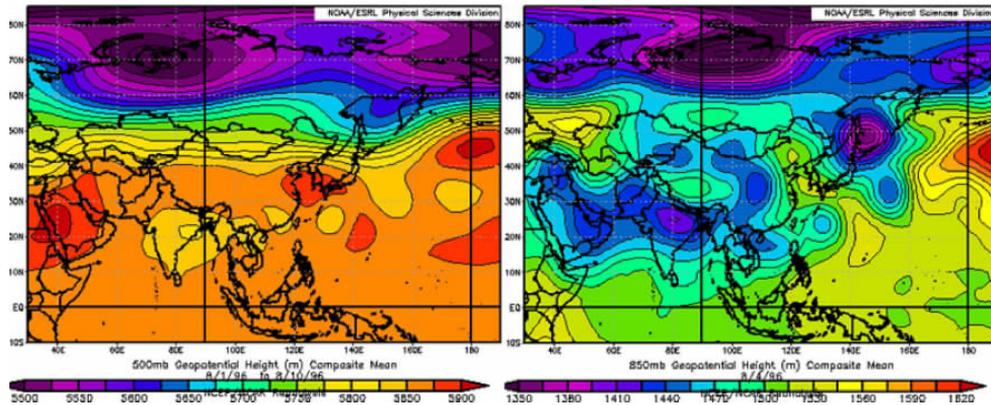


图12 1996年8月上旬亚洲区500hPa高度场(左)和8月4日850hPa高度场(右)

Fig.12 Distribution of the geopotential height (dagpm) field at 500 hPa during 1st–10th August 1996 (left) and 850 hPa on 4th August 1996 (right)

2010年流域东北部暴雨明显偏少。

(3)海河流域夏季暴雨日站数和暴雨量均从20世纪80年代开始呈现总体下降趋势,且近年来减少趋势较为显著;在20世纪70年代末至80年代初存在一次突变现象,具体是从1979年开始的。

(4)海河流域强致灾暴雨可分为5类主要环流型:高空低槽型、高空冷涡型、副高外围切变线型、低空低涡型和台风北上型。高空低槽型是发生次数最多;致灾最强,影响范围最大的暴雨过程出现在1963年8月上旬,属低空低涡型;而副高外围切变线型的暴雨过程则多发生于流域的中南部。

#### 参考文献:

- [1] 陶诗言. 中国之暴雨 [M]. 北京: 科学出版社, 1980. (TAO Shiyang. Rainstorm in China [M]. Beijing: Science Press, 1980. (in Chinese))
- [2] 丁一汇. 1991年江淮流域持续性特大暴雨研究[M]. 北京: 气象出版社, 1993. (DING Yihui. The Study about Heavy Rainfalls in Yangtze River and Huaihe River in 1991 [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1993. (in Chinese))
- [3] 辜旭赞, 叶金桃, 陈郁琴. 2007年7月淮河流域暴雨过程天气学诊断计算与分析[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(2): 131–136. (GU Xuzan, YE Jintao, CHEN Yuqin. Synoptic diagnostic calculation and analysis of heavy rain in the Huaihe River basin during July 2007 [J]. Torrential Rain and Disasters, 2009, 28(2): 131–136. (in Chinese))
- [4] 齐丹, 赵鲁强. 2009年7月珠江流域暴雨致洪成因分析[J]. 气象科技进展, 2012, 2(2): 25–31. (QI Dan, ZHAO Luqiang. The analysis of precipitation and flooding cause of formation in the Zhujiang Basin at the beginning of July in 2009 [J]. Advances in Meteorological Science and Technology, 2012, 2(2): 25–31. (in Chinese))
- [5] 段昌辉, 武麦凤. 渭河流域一次致洪暴雨过程的中尺度滤波分析[J]. 气象科学, 2012, 32(1): 110–117. (DUAN Changhui, WU Maifeng. Mesoscale filter analysis on one Flash flood of Weihe River valley [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2012, 32(1): 110–117. (in Chinese))
- [6] 张一平, 王新敏, 梁俊平, 等. 黄淮地区两次低涡暴雨的中尺度特征分析[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(4): 303–313. (ZHANG Yiping, WANG Xinmin, LIANG Junping, et al. Analysis on mesoscale characteristics of two vortex rainstorms in the Huanghe–Huaihe regions [J]. Torrential Rain and Disasters, 2013, 32(4): 303–313. (in Chinese))
- [7] 刘小宁. 我国暴雨极端事件的气候变化特征 [J]. 灾害学, 1999, 14(1): 54–59. (LIU Xiaoning. Climatic characteristics of extremereainstorm events in China [J]. Journal of Catastrophology, 1999, 14(1): 54–59. (in Chinese))
- [8] 王雅强, 吴正方. 吉林省西部半干旱区夏季降水与暴雨时空规律研究[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(5): 14–17. (WANG Yaqiang, WU Zhengfang. Study on summer precipitation and the temporal and spatial characteristics of rainstorm in the west of Jilin province [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2007, 21(5): 14–17. (in Chinese))
- [9] 林纾, 陆登荣, 王毅荣, 等. 1960年代以来西北地区暴雨气候变化特征[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(3): 16–21. (LIN Shu, LU Dengrong, WANG Yirong, et al. Climate change characteristics of rainstorms in northwest China since 1960s [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(3): 16–21. (in Chinese))
- [10] 甘晶晶, 汤燕冰. 江淮流域持续性暴雨过程的中期信号初析[J]. 浙江大学学报(理学版), 2009, 36(4): 477–486. (GAN Jingjing, TANG Yanbing. Preliminary study on medium-range signals of persistent heavy rainfall events over Yangtze River–Huaihe River valley [J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2009, 36(4): 477–486. (in Chinese))
- [11] 谢五三, 王胜. 近40a淮河流域暴雨特征分析 [J]. 暴雨灾害, 2010, 29(4): 377–380. (XIE Wusan, WANG Sheng. Analysis of the characteristic of rainstorm in the Huaihe River basin for the last 40 years [J]. Torrential Rain and Disasters, 2010, 29(4): 377–380. (in Chinese))
- [12] 赵思雄. 近年来江淮流域致洪暴雨特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2011, 34(1): 1–5. (ZHAO Sixiong. Characteristics analysis of flood-causing rainstorms over Changjiang–Huaihe River basin in recent

- years [J]. *Meteorology and Disaster Reduction Research*, 2011,34(1):1-5. (in Chinese))
- [13] 张维,林少冰,杜尧东,等. 华南地区 1961-2008 年暴雨事件的气候变化特征[J]. *气象与环境科学*, 2011,34(2):20-24. (ZHANG Wei, LIN Shaobing, DU Yaodong, et al. Climate change characteristic of rainstorm event over south China in 1961-2008 [J]. *Meteorological and Environmental Science*, 2011,34(2):20-24. (in Chinese))
- [14] 常煜,韩经纬,常立群,等. 近 40 a 呼伦贝尔市暴雨时空变化特征分析[J]. *暴雨灾害*, 2012,31(4):379-383. (CHANG Yu, HAN Jingwei, CHANG Liqun, et al. Spatial and temporal change characteristics of rainstorm over Hulun Buir in the recent 40 years [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2012,31(4):379-383. (in Chinese))
- [15] 卞洁,何金海,李双林. 近 50 年来长江中下游汛期暴雨变化特征[J]. *气候与环境研究*, 2012,17(1):68-80. (BIAN Jie, HE Jinhai, LI Sshuanglin. Heavy rain variation characteristics in flood seasons in the middle and lower reaches of Yangtze River in the last 50 years [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2012,17(1):68-80. (in Chinese))
- [16] 于文金,阎永刚,邹欣庆. 太湖流域暴雨时空特征研究[J]. *自然资源学报*, 2012,27(5):766-777. (YU Wenjin, YAN Yonggang, ZOU Xinqing. Study on spatial and temporal characteristics of rainstorm in Taihu Lake basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2012,27(5):766-777. (in Chinese))
- [17] 吕江津,王庆元,杨晓君. 海河流域一次大到暴雨天气过程的预报分析[J]. *气象*, 2007,33(10):52-60. (LV Jiangjin, WANG Qingyuan, YANG Xiaojun. Analysis of a heavy rainstorm process forecasting in Haihe River basin [J]. *Meteorological Monthly*, 2007,33(10):52-60. (in Chinese))
- [18] 陈鸣,吴永祥,王高旭,等. 不同天气系统下海河流域汛期暴雨落区及时程分布规律[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2011,39(3):237-241. (CHEN Ming, WU Yongxiang, WANG Gaoxu, et al. Distribution of rainstorm centers and processes under different weather systems in Haihe River basin [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2011,39(3):237-241. (in Chinese))
- [18] 尉英华,赵敬红,杨晓君. 2010 年 7 月海河流域一次暴雨过程成因分析[J]. *气象与环境科学*, 2011,34(Suppl):6-9. (WEI Yinghua, ZHAO Jinghong, YANG Xiaojun. Cause analysis of heavy rainfall process in Haihe River valley in July 2010 [J]. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2011,34(Suppl):6-9. (in Chinese))
- [20] 关铁生,姚惠明,吴永祥,等. 海河流域极端暴雨特征及其天气成因[J]. *水文*, 2012,32(1):80-83. (GUAN Tiesheng, YAO Huiming, WU Yongxiang, et al. Characteristics and weather cause of extreme rainstorms in Haihe River basin [J]. *Journal of China Hydrology*, 2012,32(1):80-83. (in Chinese))
- [21] 卢焕珍,刘一玮,张楠. 海河流域切变线类暴雨成因分析[J]. *气象与环境学报*, 2014,30(1):15-22. (LU Huanzhen, LIU Yiwei, ZHANG Nan. Cause of heavy rain by shear line in the Haihe River basin [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2014,30(1):15-22. (in Chinese))
- [22] 刘学锋,任国玉,范增禄,等. 海河流域近 47 年极端强降水时空变化趋势分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2010,24(8):85-90. (LIU Xuefeng, REN Guoyu, FAN Zenglu, et al. Trends of precipitation extremes in the Haihe River basin during 1961-2007 [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2010,24(8):85-90. (in Chinese))
- [23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2007. (WEI Fengying. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction Technology* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [24] 吴振玲,史得道,吕江津,等. 利用欧氏距离函数评估海河流域暴雨灾害[J]. *灾害学*, 2012,27(3):48-53. (WU Zhenling, SHI Dedao, LV Jiangjin, et al. Evaluation of heavy rain disaster in Haihe River basin by Euclidean distance method[J]. *Journal of Catastrophology*, 2012,27(3):48-53. (in Chinese))
- [25] 孙建华,赵思雄,傅慎明,等. 2012 年 7 月 21 日北京特大暴雨的多尺度特征[J]. *大气科学*, 2013,37(3):705-718. (SUN Jianhua, ZHAO Sixiong, FU Shenming, et al. Multi-scale characteristics of record heavy rainfall over Beijing area on July 21, 2012 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 2013,37(3):705-718. (in Chinese))

## Climatic Characteristics of Rainstorms and Circulation Types in Haihe River Basin

YANG Dejiang<sup>1</sup>, MA Ning<sup>1</sup>, WEI Yinghua<sup>2</sup>

(1. *Tianjin Climate Center, Tianjin 300074, China*; 2. *Tianjin Meteorology Observatory, Tianjin 300074, China*)

**Abstract:** Using the historical daily precipitation data from the 132 stations in the Haihe River Basin over the period of 1961-2012, the statistical characteristics of the rainstorms in the Haihe River Basin in 52 years were analyzed. The NCEP/NCAR reanalysis data and historical weather charts were also applied to investigate the circulation features of the 14 typical disaster-causing rainstorm events in the basin. Frequency of the summer rainstorms in the basin has the same spatial distribution with the precipitation, while the frequency shows more significant descending trend. Three types of spatial distribution of summer rainstorms in the basin were defined, namely south-west type, north-east type and south-east type. An abrupt change of the rainstorms in the basin happened during the period from late 1970s to early 1980s. Sever rainstorms in the basin are usually caused by 5 types of circulations, namely upper level trough, lower level trough, upper level cold vortex, shear line around the fringe of subtropical high and north moving typhoon.

**Key words:** Haihe River Basin; rainstorm; EOF; REOF