

# 博格达山北麓河区洪水特征与变化趋势分析

谢玉琴

乌鲁木齐水文勘测局, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2022年6月24日; 录用日期: 2022年10月21日; 发布日期: 2022年10月28日

## 摘要

依据博格达山北麓河区3处水文站实测洪水资料, 采用统计分析法、Mann-Kendall趋势检验、Spearman秩相关法, 分析了该区洪水特征变化规律及趋势。结果表明: 以7月为中心的前后60d, 是该区出现大洪水的主汛期, 其中阜康白杨河、奇台白杨河和开垦河最大洪峰流量出现频次分别占统计年数的90%、88%、68%。运用线性趋势法和5年滑动平均法进行初步分析, 3站系列均呈上升趋势; 采用Mann-Kendall趋势检验法, 白杨河站、开垦河站的年最大流量序列变化趋势显著; 采用Spearman秩相关法, 白杨河站年最大流量序列通过了Spearman秩相关法95%的显著性检验, 表明该序列变化趋势显著。

## 关键词

洪水特征, 趋势分析, 博格达山河流

# Analysis of Flood Characteristics and Trend in the Northern Mountain Bogda River Basin

Yuqin Xie

Xinjiang Urumqi Hydrologic Survey Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 21<sup>st</sup>, 2022; published: Oct. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Based on the measured flood data of three hydrologic stations in the northern Bogda Mountain River basin, the variation law and trend of flood characteristics were analyzed using the Mann-Kendall trend test and Spearman rank correlation method. The results show that the main flood season is the 60-day around July, in which the frequency of the maximum flood peak flow of Fukang Baiyang, Qitai Baiyang and Kaiken River stations account for 90%, 88% and 68% of the statistical years, respectively. Using the linear trend method and the 5-year moving-average model, the series of three stations show an upward trend. The annual maximum flow of Baiyang and Kaiken River stations has a significant change trend.

作者简介: 谢玉琴(1981-), 女, 新疆奇台人, 硕士, 高级工程师, 主要从事水情工作。Email: xjxyq001@163.com

The Baiyang River station passes the significance test of 95% using the Spearman rank correlation method. The results show that the variation trend of the sequence is significant.

## Keywords

Flood Characteristics, Trend Analysis, Bogda Mountain Rivers

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 引言

洪峰为一次洪水过程中测流断面上的最大流量。洪峰流量是洪水的重要特征之一，它不仅反映洪水的强度，也预示防洪的级别。洪峰流量也往往对应最高洪水位，是筑堤防洪参照量之一，洪峰流量的分析和预测对防洪建设至关重要[1]。洪水灾害是影响经济发展最严重的自然灾害之一。博格达山北麓水系主要以冰川融雪和降雨补给为主，该区域水系肩负着阜康、吉木萨尔、奇台、木垒和巴里坤等县的工农业用水及人畜饮水的重任。且该区域常有春旱夏洪之灾，洪水灾害严重影响、制约着该区域农牧业及工业生产。因此，对博格达山北麓河区洪水变化趋势进行分析，对于预防洪水、减少旱灾有着十分重要的意义。

## 2. 研究区概况及数据

### 2.1. 研究区域

博格达山北麓河区是指发源于天山支脉博格达山北麓的诸多河流及湖泊，流经昌吉回族自治区的阜康市、吉木萨尔县、奇台县、木垒县及哈密地区的巴里坤县，其地理位置为  $87^{\circ}55' \sim 91^{\circ}43'E$ ， $43^{\circ}30' \sim 44^{\circ}35'N$  [2]。

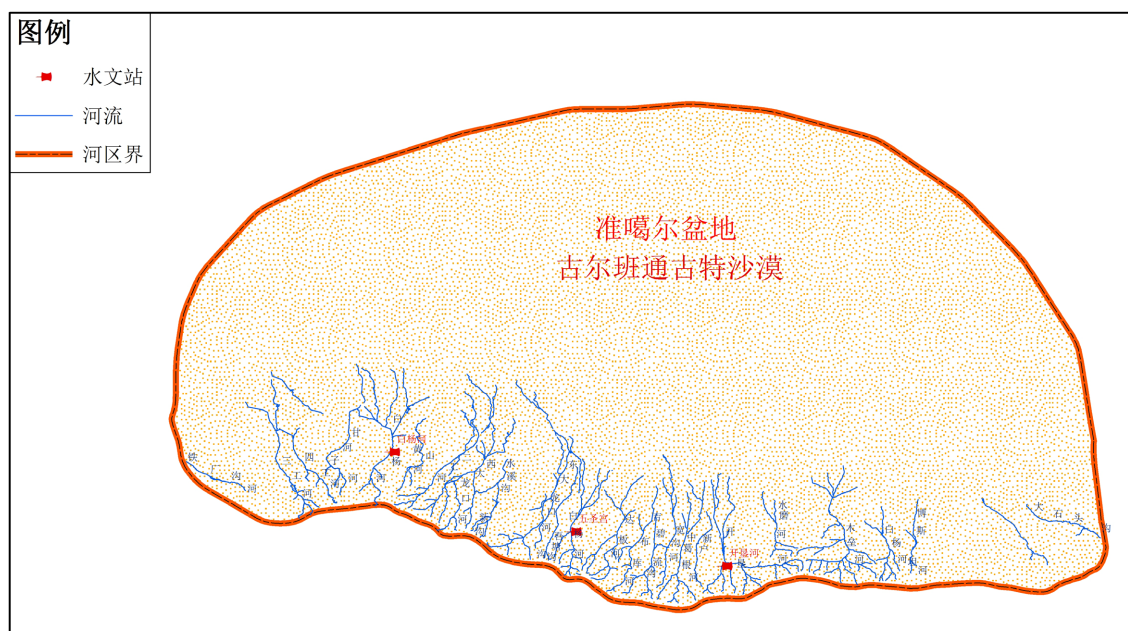


Figure 1. Distribution diagram of rivers and lakes in the north of Bogda Mountain

图 1. 博格达山北麓河区河湖分布示意图

整个流域地势南高北低，最高点为海拔 5445 m 的博格达峰，峰顶常年积雪，冰川总数 213 条，冰川面积 91.5 km<sup>2</sup>。流域内自西向东依次有水磨沟河、三工河、天山天池、四工河、干河子、白杨河、黄山河、二工河、西大龙口河、东大龙口河、开垦河等诸多河流，且绝大多数河流水量，流程短，消失在北部的古尔班通古特沙漠南缘，博格达山北麓河区河湖分布示意图见图 1。

## 2.2. 数据来源

本文选取博格达山北麓河区 3 处历史洪水资料较长的水文站进行分析。

## 3. 研究方法

### 3.1. Man-Kendall 趋势检验

在 Man-Kendall 检验中[1] [3] [4] [5]，原假设  $H_0$  为时间序列数据  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，是  $n$  个独立的，随机变量同分布的样本；备择假设  $H_1$  是双边检验。对于所有的  $i, j \leq n$ ，且  $i \neq j$ ， $x_i = x_j$  的分布是不相同的。定义检验统计量  $S$ ：

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

其中： $\text{sign}()$ 为符号函数。当  $x_i - x_j$  小于、等于或大于零时， $\text{sign}(x_i - x_j)$  分别为 -1、0 或 1。 $S$  为正态分布，其均值为 0，方差  $\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18$ 。Mann-Kendal 统计了公式  $S$  大于、等于、小于零时分别为：

$$\begin{cases} Z = (S - 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S \geq 0 \\ Z = 0 & S = 0 \\ Z = (S + 1) / \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} & S \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

在双边趋势检验中，对于给定的置信水平  $\alpha$ ，若  $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$ ，则原假设  $H_0$  是不可接受的，即在置信水平  $\alpha$ ，时间序列数据存在明显的上升或下降的趋势。 $Z$  为正值表示增加趋势，负值表示减少趋势。 $Z$  的绝对值在大于等于 1.28、1.64、2.32 时表示分别通过了信度 90%、95%、99% 显著性检验。

### 3.2. Spearman 秩相关法

许景璇，吴树诚等采用 Spearman 秩相关检验法对年最大流量序列的趋势性特征进行分析[6]。宋毅，施瑜等也采用该方法对年最大流量的趋势进行检验[7]。该方法是一种非参数检验法，该方法计算简单，精确性较高。根据计算出的统计量  $T$ ，选择显著性水平  $\alpha$ ，当  $|T| > t(\alpha/2)$ ，表明序列趋势显著，反之  $|T| < t(\alpha/2)$ ，则序列趋势不显著。

## 4. 研究结果与分析

### 4.1. 研究区洪峰流量量级及出现时段频次分析

经统计该区域 3 个水文站建站至今的实测洪峰流量：白杨河站 59a 系列中，超过警戒流量(70 m<sup>3</sup>/s)的洪峰流量出现 8 次，其中大于保证流量(160 m<sup>3</sup>/s)的 1 次；五圣宫站 42a 系列，超过警戒流量(70 m<sup>3</sup>/s)的洪峰流量出现 2 次，其中大于保证流量(100 m<sup>3</sup>/s)的 2 次；开垦河站 65a 系列中，超过警戒流量(130 m<sup>3</sup>/s)的洪峰流量出现 7 次，其中大于保证流量(250 m<sup>3</sup>/s)的 3 次。

年最大洪峰流量主要出现在 6~7 月(见表 1)。从年最大洪峰流量出现的月份来看，阜康白杨河、奇台白杨河出现在 7 月的频次最高，开垦河出现在 6 月的频次最高。从年最大洪峰流量出现的时段来看，年最大洪峰流量

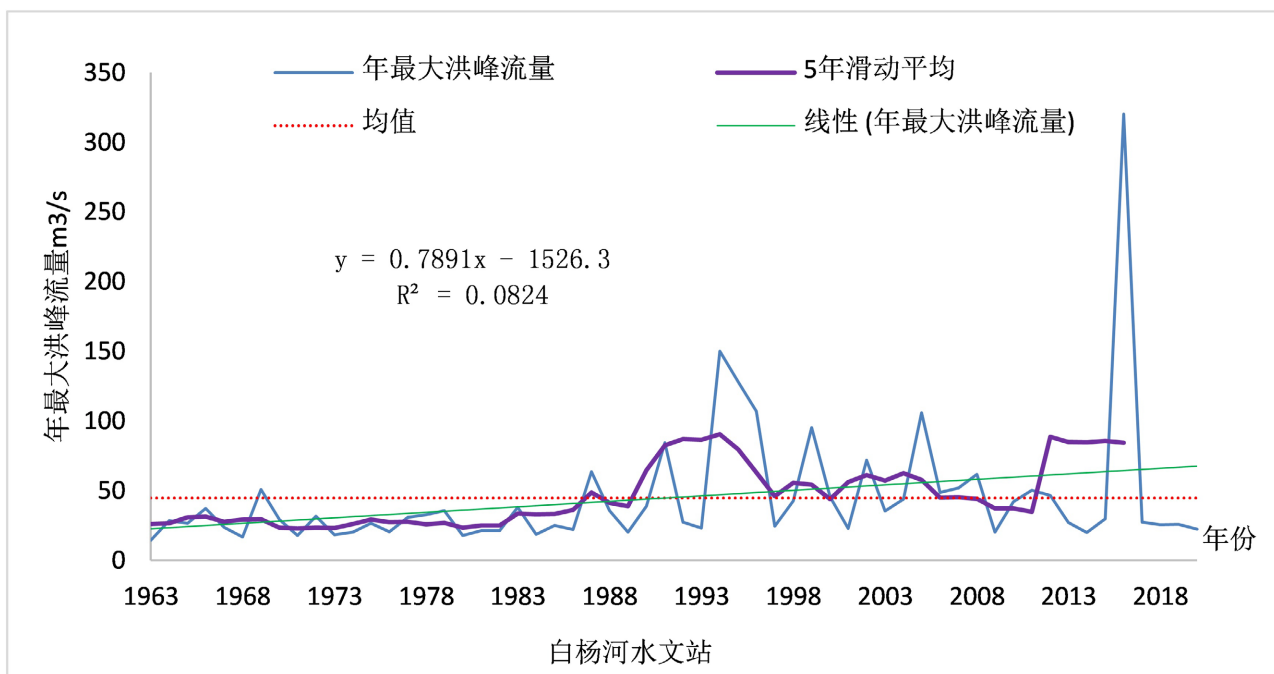
主要出现在主汛期(6~7月)的60d时间内,阜康白杨河、奇台白杨河和开垦河最大洪峰流量出现频次分别占统计年数的90%、88%、68%。由此可见,以7月份为中心的前后60d,是该区出现大洪水的主汛期。

**Table 1.** The statistical characteristics of the annual maximum peak flow series in the northern Mountain Bogda Rivers  
**表 1.** 博格达山北麓河区各河流年最大洪峰流量序列统计特征值

月份站名频次	白杨河(白杨河站)		白杨河(五圣宫站)		开垦河(开垦河站)	
	频次	百分比%	频次	百分比%	频次	百分比%
4月					2	3%
5月			3	7%	15	23%
6月	15	25%	12	29%	24	37%
7月	38	64%	25	60%	20	31%
8月	6	10%	2	5%	4	6%
主汛期(6~7月)	53	90%	37	88%	44	68%
系列长度	59	100%	42	100%	65	100%

#### 4.2. 趋势分析

运用线性趋势法和5年滑动平均法对白杨河站、五圣宫站和开垦站建站以来年最大流量序列的趋势性进行初步分析,结果见图2。经过计算分析可知,1963~2021年,白杨河站年最大洪峰流量序列的均值为44.7 m<sup>3</sup>/s,最大值出现在2016年(320 m<sup>3</sup>/s),最小值出现在1963年(14.5 m<sup>3</sup>/s);1980~2021年,五圣宫站年最大洪峰流量序列的均值为41 m<sup>3</sup>/s,最大值出现在2007年(136 m<sup>3</sup>/s),最小值出现在2021年(16.2 m<sup>3</sup>/s);1957~2021年,开垦站年最大洪峰流量序列的均值为86.8 m<sup>3</sup>/s,最大值出现在1987年(357 m<sup>3</sup>/s),最小值出现在1968年(24.5 m<sup>3</sup>/s)。3站的年最大洪峰流量序列的线性系数分别为0.7891、0.1076、0.5596,均大于0,表明系列均呈上升趋势。



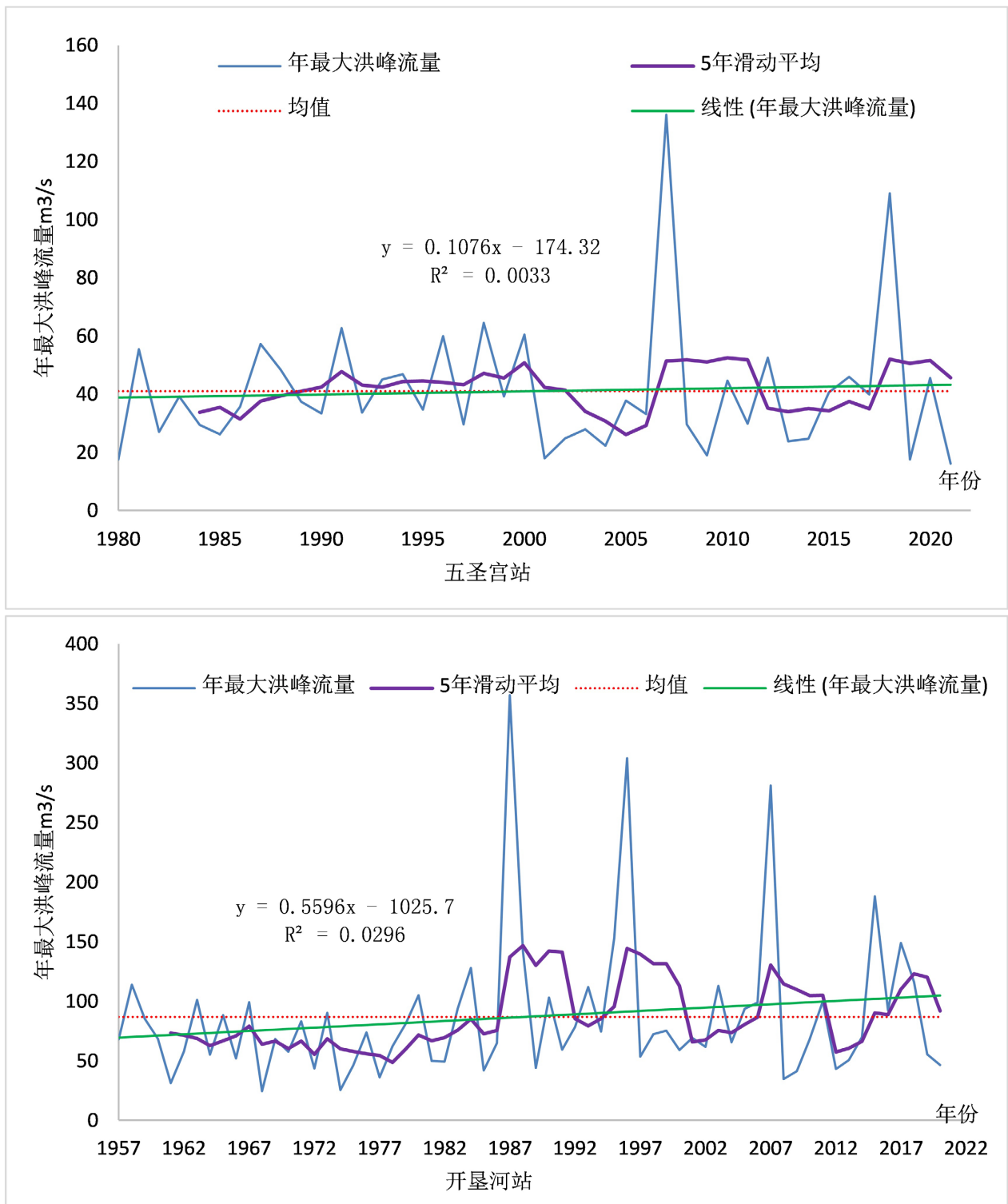


Figure 2. Trend line of maximum annual flow about the hydrological stations in the northern Mountain Bogda Rivers

图 2. 博格达山北麓河区各水文站年最大洪峰流量趋势过程线

采用 Mann-Kendall 趋势检验法、Spearman 秩相关法对博格达北麓河区白杨河站、五圣宫站和开垦河站年最大洪峰流量序列的趋势性进行趋势检验，取显著水平  $\alpha = 0.05$ ，计算结果见表 2。白杨河站年最大流量序列



Mann-Kendall 趋势检验法统计量  $Z$  的绝对值为 2.55, 大于  $\alpha = 0.01$  显著性水平临界值 2.32; 开垦河站年最大流量序列 Mann-Kendall 趋势检验法统计量  $Z$  的绝对值为 2.12, 大于  $\alpha = 0.05$  显著性水平临界值 1.64; 从而表明 2 站的年最大洪峰流量序列变化趋势显著; 白杨河站年最大流量序列通过了 Spearman 秩相关法 95% 的显著性检验, 其余 2 站均未通过 90% 的显著性检验, 说明开垦河站、五圣宫站的年最大洪峰流量序列变化趋势不显著。

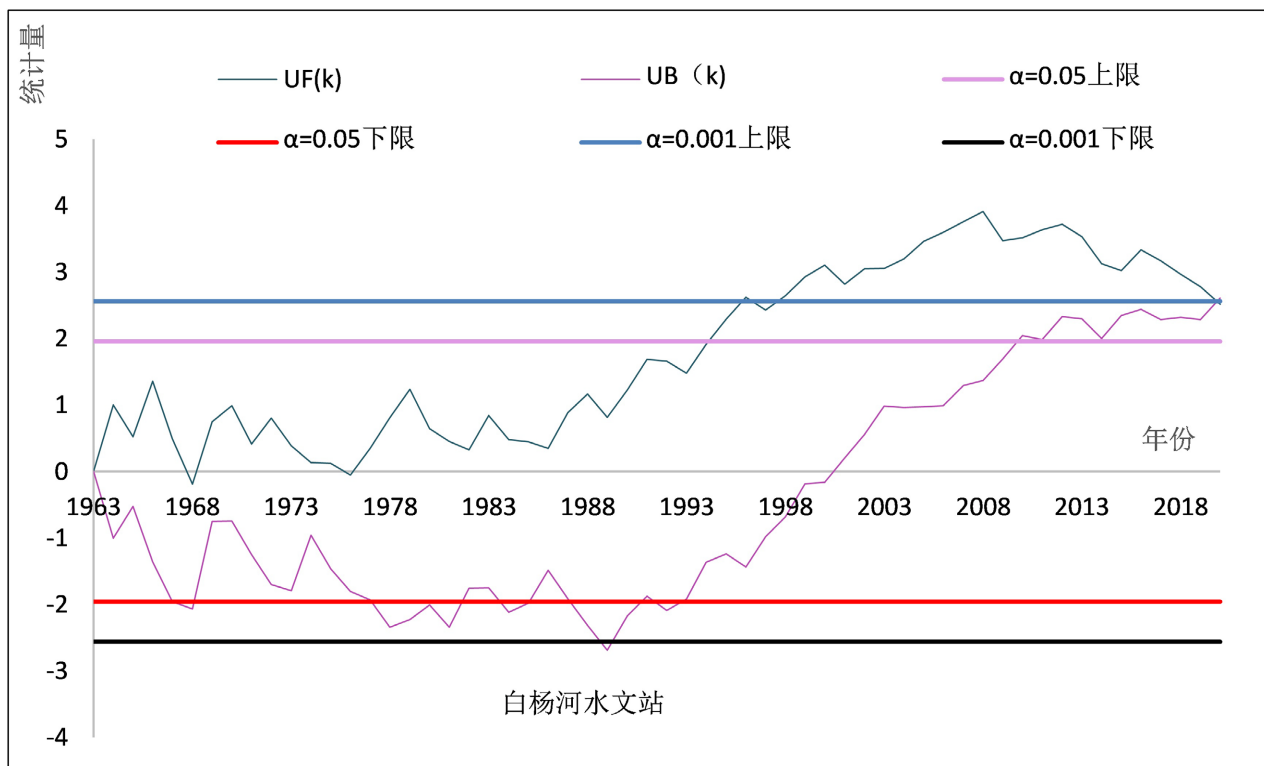
**Table 2.** Trend test results of annual maximum flow series about the hydrological stations in the district of northern Mountain Bogda Rivers  
**表 2.** 博格达山北麓河区各水文站年最大洪峰流量序列趋势检验结果

站名	检验方法	检验结果	显著性
白杨河站	Mann-Kendall 趋势检验法	$Z = 2.55^{***}$	显著
	Spearman 秩相关法	$r = 0.011 < \alpha = 0.05$	显著
五圣宫站	Mann-Kendall 趋势检验法	$Z = -0.38$	不显著
	Spearman 秩相关法	$r = 0.326 > \alpha = 0.05$	不显著
开垦河站	Mann-Kendall 趋势检验法	$Z = 2.12^{**}$	显著
	Spearman 秩相关法	$r = 0.253 > \alpha = 0.05$	不显著

注: \*, \*\*和\*\*\*分别表示通过了 90%, 95% 和 99% 的显著性检验。

### 4.3. 突变分析

采用 Mann-Kendall 突变检验方法绘制 UF 和 UB 曲线图对该河区年最大洪峰流量序列进行图标分析(见图 3)。由图 2 可知, 白杨河的年最大洪峰流量在 1996 年之前呈缓慢上升的趋势, 自 1996 年后呈明显上升的趋势且通过( $\alpha = 0.001$ )的显著性检验。五圣宫站 1980 年至 2000 年呈缓慢上升的趋势, 2000 年之后呈下降趋势, 但趋势不明显, 但在 2004 年存在突变。开垦河站 1977 年之前呈缓慢下降趋势, 1975 年至 2007 年呈现缓慢上升趋势, 且趋势不明显。根据 UF 和 UB 曲线间交点的位置, 开垦河年最大洪峰流量在 1964、1983、1986、2008、2018 年均存在突变。



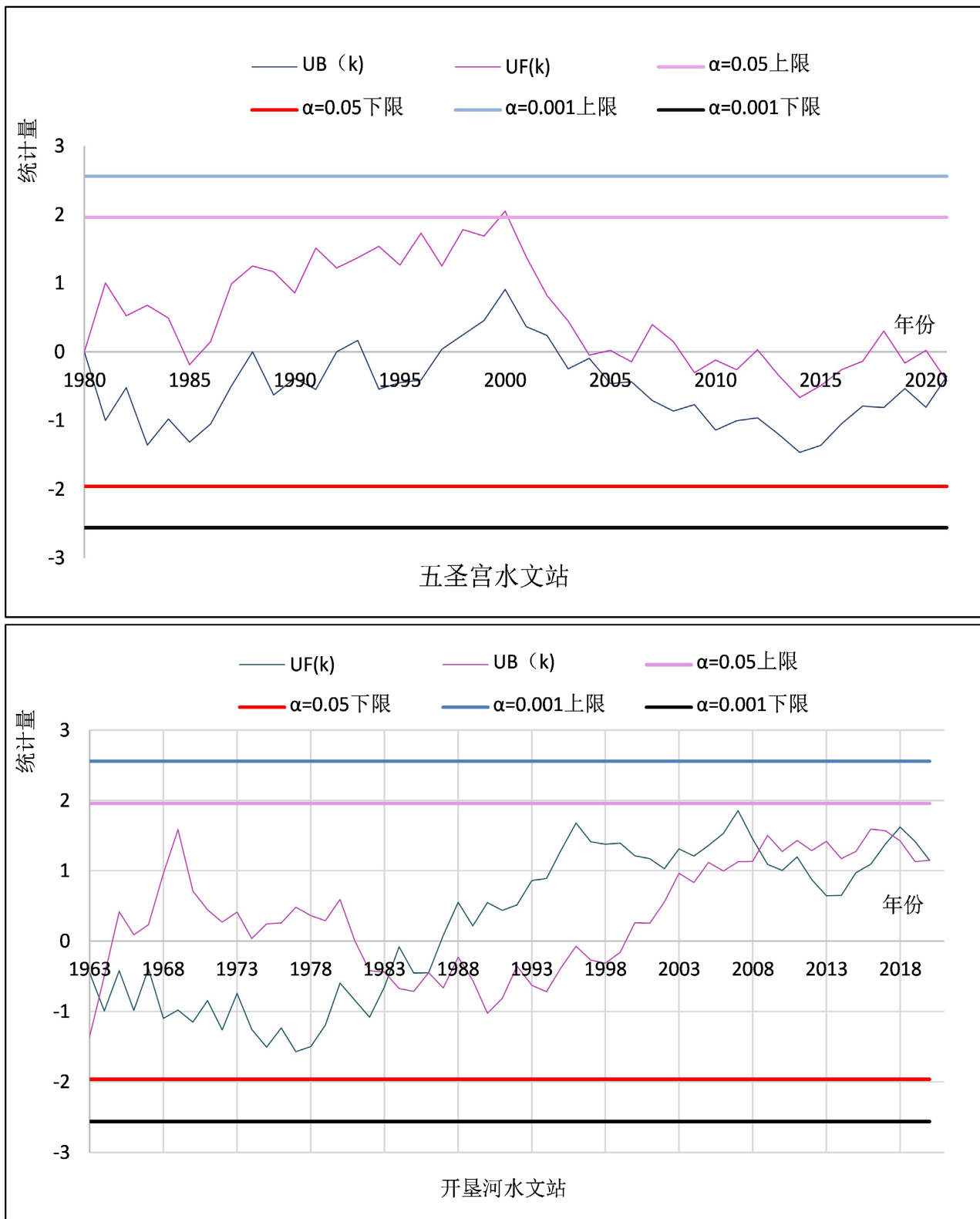


Figure 3. The Mann-Kendall mutation test for maximum annual flow about the hydrological stations in the district of northern Mountain Bogda Rivers

图 3. 博格达山北麓河区各水文站年最大洪峰流量 Mann-Kendall 突变检验

## 5. 结论

1) 从年最大洪峰流量出现的月份及频次来看, 主汛期(6~7月)的 60d 时间内, 阜康白杨河、奇台白杨河和开垦河最大洪峰流量出现频次很高, 分别占统计年数的 90%、88%、68%。由此可见, 以 7 月份为中心的前后 60d, 是该区出现大洪水的主汛期;

2) 运用线性趋势法和 5 年滑动平均法对白杨河站、五圣宫站和开垦站年最大洪峰流量序列的趋势性进行初步分析, 3 站的年最大流洪峰量序列的线性系数分别为 0.7891、0.1076、0.5596, 均大于 0, 表明系列均呈上升趋势;

3) 采用 Mann-Kendall 趋势检验法, 白杨河站、开垦河站的年最大洪峰流量序列通过了 Mann-Kendall 趋势检验法统计量  $Z$  的绝对值大于  $\alpha = 0.05$  显著性水平临界值 1.64、2.32, 表明 2 站的年最大洪峰流量序列变化趋势显著;

4) 采用 Spearman 秩相关法, 白杨河站年最大洪峰流量序列通过了 Spearman 秩相关法 95% 的显著性检验, 表明该序列变化趋势显著; 其余 2 站均未通过 90% 的显著性检验, 说明这 2 站序列变化趋势不显著;

5) 采用 Mann-Kendall 突变检验方法, 白杨河的年最大洪峰流量在 1996 年之前呈缓慢上升的趋势, 自 1996 年后呈明显上升的趋势且通过( $\alpha = 0.001$ )显著性检验。五圣宫站 1980 年至 2000 年呈缓慢上升的趋势, 自 2000 年之后呈下降趋势, 但趋势不明显, 但在 2004 年存在突变。开垦河站 1977 年之前呈缓慢下降趋势, 1975 年至 2007 年呈现缓慢上升趋势, 且趋势不明显, 但在 1964、1983、1986、2008、2018 年均存在突变。

## 参考文献

- [1] 唐权辉. 北江干流年最大洪峰流量变化特征及其影响研究[J]. 水文, 2014, 34(1): 65-71.  
TANG Quanhui. Study on the variation characteristics and influence of annual maximum flood peak discharge in the main stream of Beijiang River. Chinese Hydrology, 2014, 34(1): 65-71. (in Chinese)
- [2] 王世江. 中国新疆河湖全书[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 149.  
WANG Shijiang. The complete book of rivers and lakes in Xinjiang, China. Beijing: China Water and Power Press, 2010: 149. (in Chinese)
- [3] 张盛霖, 邓高燕, 黄勇奇. Mann-Kendall 检验法在 Excel 中实现与应用[J]. 中国科技论文在线.  
ZHANG Shenglin, DENG Gaoyan and HUANG Yongqi. Implementation and application of Mann-Kendall test in Excel. Chinese Science and Technology Papers online. (in Chinese)
- [4] 靳明. 基于 M-K 检验方法的沈阳地区典型水文站近 53 年洪水要素演变分析[J]. 地下水, 2019, 41(2): 119-121.  
JIN Ming. Analysis of flood element changes in Shenyang district hydrological station based on M-K test method in recent 53 years. Ground Water, 2019, 41(2): 119-121. (in Chinese)
- [5] 郝璐, 王静爱, 等. 老哈河流域近 40 年径流变化趋势分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2008, 44(6): 629-634.  
HAO Lu, WANG Jingai, et al. On the runoff in Laohahe River basin in the last 40 year. Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition), 2008, 44(6): 629-634. (in Chinese)
- [6] 许景璇, 吴树诚. 漓江桂林至阳朔河段年最大流量变化特征分析[J]. 广西水利水电, 2021(6): 14-17.  
XU Jingxuan, WU Shucheng. Variation characteristics of annual maximum discharge from Guilin to Yangshuo of Lijiang River. Guangxi Water Resources and Hydropower, 2021(6): 14-17. (in Chinese)
- [7] 宋毅, 施瑜, 周冲. 月潭水文站最大流量趋势分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2014, 12(4): 150-152.  
SONG Yi, SHI Yu and ZHOU Chong. Changing trends analysis of annual maximum discharge at Yuetan hydrological station. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2014, 12(4): 150-152. (in Chinese)