

Trend Analysis on Flooding Changes in Huangshuigou River

Yuqin Xie¹, Li Shang¹, Qiudong Zhao²

¹Xinjiang Hydrological and Water Resources Bureau, Urumqi Xinjiang

²Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Lanzhou Gansu

Email: xjxyq2001@163.com

Received: Mar. 20th, 2015; accepted: Apr. 7th, 2015; published: Apr. 10th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

Based on recorded flow data series of the Huangshuigou hydrological station, the annual maximum peak flood discharge series was constructed. The temporal and spatial variation characteristics of flood series were briefly analyzed, and the change trend was calculated by using statistical methods and Mann-Kendall test. The results show that the annual maximum peak discharge occurred mainly in the main flood season with large inter-annual variation. Annual maximum peak flow deviated from the average value greatly starting in 1994, and was flood prone period with large floods and increasing frequency during 1990s; In the late 1980s, the flood of Huangshuigou appeared mutation from less to more, and after 2000, the rising trend is significant.

Keywords

Flood Series, Analysis and Test, Change Trend, Huangshuigou River

黄水沟洪水变化趋势分析

谢玉琴¹, 商 莉¹, 赵求东²

¹新疆水文水资源局, 新疆 乌鲁木齐

²中科院寒旱所, 甘肃 兰州

Email: xjxyq2001@163.com

收稿日期: 2015年3月20日; 录用日期: 2015年4月7日; 发布日期: 2015年4月10日

作者简介: 谢玉琴(1981-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水文水资源工作。

摘要

依据黄水沟水文站实测资料建立年最大洪峰流量序列,对黄水沟洪水时空变化特性进行简要分析,采用统计分析和Mann-Kendall突变检验法分析了黄水沟58年来洪水特征变化趋势。结果表明:黄水沟年最大洪峰流量主要出现在主汛期,且年际变化较大;进入20世纪90年代,年最大洪峰流量偏离平均值幅度较大,从1994年开始进入大洪水多发期,且大洪水出现频次增加;黄水沟洪水在上世纪80年代末期出现了由少到多的突变,其中1999年以后上升趋势比较显著。

关键词

洪水系列, 分析检验, 变化趋势, 黄水沟

1. 引言

当前,气候变化和人类活动对洪水、洪峰流量的影响引起相关学者的关注,如毛炜峰等[1]研究了新疆区域的极端洪水变化特征与气候变化的响应;范小黎等[2]采用了Petti和Lee-Heghinian法检验了黄河宁蒙段流量年际变化的突变情况;唐权辉等[3]采用M-K、经验模态分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)和R/S分析方法对北江干流年最大洪峰流量变化特征及其影响进行研究。可以看出,研究从对场次洪峰流量及其影响因素研究,深入到年最大洪峰流量序列特性的研究;研究方法上,虽以传统的统计方法为主,但更深入地采用非线性理论方法对水文时间序列进行分析。

黄水沟发源于天山南麓山区,位于新疆巴音郭楞蒙古自治州和静县境内,发源于中天山的天格尔山南坡,东与清水河、西与开都河相邻,其地理位置处于东径 $85^{\circ}55' \sim 86^{\circ}54'$,北纬 $42^{\circ}12' \sim 43^{\circ}09'$,主要以冰雪融水和降雨补给[4]。黄水沟虽然年径流量比较小,但由于它特殊的地理位置,肩负着和静县的乡、农场和农二师团场的工农业用水及人畜饮水的重任,同时沿河道两岸还修建有公路、铁路和工业园区等。且黄水沟常有春旱夏洪之灾,因此,对黄水沟洪水变化趋势进行分析,为预防洪水、减少旱灾有着十分重要的意义。

为此,本文拟根据黄水沟水文站年最大洪峰流量资料来分析黄水沟58 a来洪水特征变化规律,利用Mann-Kendall法分析识别突变点,以期防洪减灾提供科学依据。

2. 黄水沟洪水成因及分析

2.1. 洪水特性

黄水沟属山溪性河流,其特点是洪枯比较大,洪水突发性强,洪峰流量大,对沿河居民的生命财产及河道上的水利、交通等设施造成很大破坏。黄水沟虽然径流不是很大,但解放后已发生的洪水流量却高达 $602 \text{ m}^3/\text{s}$ 。黄水沟径流量主要是由冰雪融水和降雨补给,还有少量的地下水补给组成。山口以上河长110 km,集水面积 4311 km^2 ,多年平均年径流量 $2.83 \times 108 \text{ m}^3/\text{s}$ 。水量主要集中在6~8月。

黄水沟河流流程短,坡降大,洪水,暴涨暴落,挟带大量泥沙、漂浮物奔腾而下,最大洪峰流量是年平均流量的几倍、几十倍、甚至几百倍,对人民生命财产造成重大威胁。黄水沟洪水主要由融雪洪水、暴雨洪水和混合型洪水组成。黄水沟洪水大致可分为三种基本类型:

(1) 融雪型洪水:由高山冰川和积雪融化形成,洪水直接受单一气温因素的影响,有明显的变化,一日一峰,洪峰不高,洪量也不大,变化比较平稳。如1980年5月9日至15日就是典型的融雪型洪水,持续时间6天,最大洪峰流量 $79.9 \text{ m}^3/\text{s}$,见图1。

(2) 暴雨型洪水:此类洪水多出现在7~8月,受地方性局部天气和地形条件的影响形成,其笼罩面积内降雨强度大,集流时间短,局部流域形成超渗产流,这类洪水水势凶猛,突涨突落,洪峰高但洪量不大。如1976年8

月 6 日，最大洪峰流量 109 m³/s，持续时间仅 3 个小时，这类洪水对引水枢纽工程的威胁和破坏性很强，见图 2。

(3) 暴雨融雪混合型洪水：形成这类洪水多为受大尺度天气系统的影响，天气过程中，前期气温高，在融雪径流的基础上，叠加暴雨径流形成峰高量大的凶猛洪水，如 1996 年 7 月 19 日发生的 602 m³/s 的洪峰，此次洪峰持续时间为 5 天，此类洪水对引水枢纽和水库威胁最大，见图 3。

2.2. 洪峰流量量级分析

根据黄水沟站 1955~2013 年 59 a 实测洪水资料统计分析，超过 200 m³/s 的洪峰流量出现 17 次(详见表 1)。从 17 次超过 200 m³/s 洪峰流量量级来看，出现介于 200~300 m³/s 之间洪峰流量 11 次；出现>300 m³/s 洪峰流量 6 次；其中，出现介于 300~400 m³/s 之间洪峰流量 2 次，出现介于>500 m³/s 之间洪峰流量 2 次。从洪峰流量出现时段来看，超过 200 m³/s 的洪峰流量出现在 7 月份的有 10 次，占 59%；出现在 6 月下旬到 8 月上旬 50 d 里的有 7 次，占 41%；而洪峰流量>300 m³/s 的 5 次洪水发生在 7 月中旬，1 次洪水出现在 6 月份。由此可见，以 7 月份为中心的前后 50 d，是黄水沟出现大洪水的主汛期。

2.3. 年最大洪峰流量出现时段频次分析

经统计黄水沟站 1955~2013 年 59 a 实测洪峰流量，年最大洪峰流量均出现在 6~8 月(见表 2)。从年最大洪峰

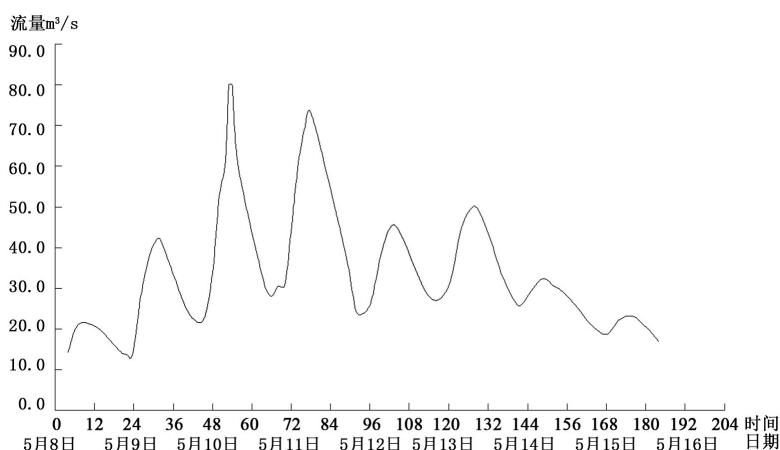


Figure 1. The snowmelt flood hydrograph of Huangshuigou station in 1980
图 1. 黄水沟站 1980 年融雪型洪水过程线

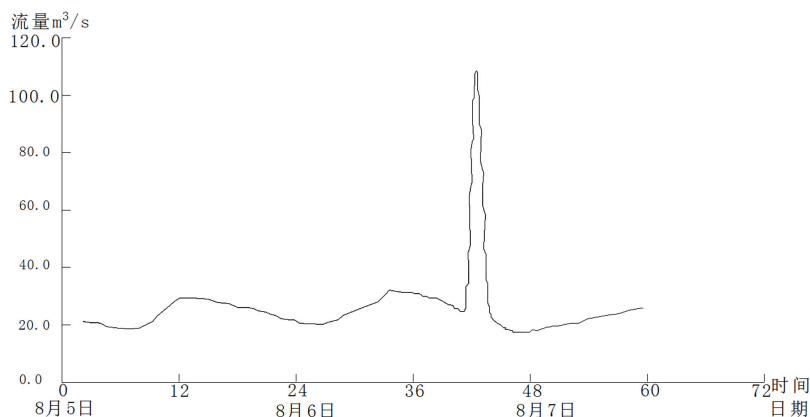


Figure 2. The rainstorm flood hydrograph of Huangshuigou station in 1976
图 2. 黄水沟站 1976 年暴雨型洪水过程线

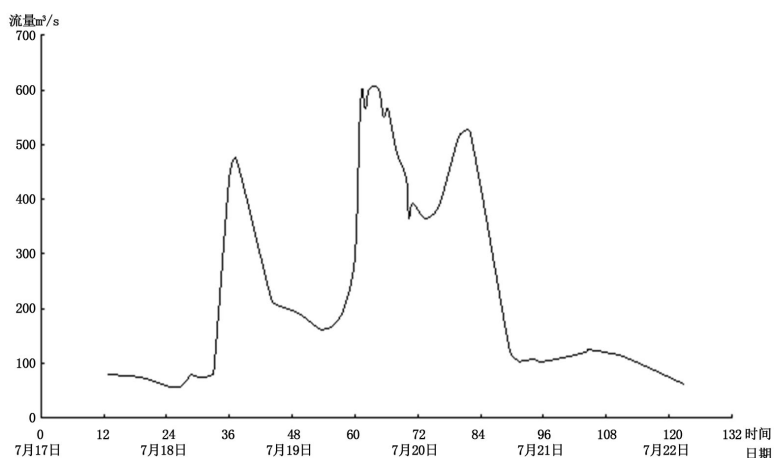


Figure 3. The mixed-type storm snowmelt flood of Huangshuigou station in 1996
图 3. 黄水沟站洪水 1996 年暴雨融雪混合型洪水过程线

Table 1. The statistics of more than 200 m³/s peak flow at Huangshuigou station during 1955-2013
表 1. 黄水沟站 1955~2013 年超过 200 m³/s 洪峰流量统计表

出现时间	洪峰流量 (m ³ /s)	出现时间	洪峰流量 (m ³ /s)	出现时间	洪峰流量 (m ³ /s)
1958 7 17	218	1994 7 15	437	2005 7 15	397
1969 6 26	371	1996 7 19	602	2006 7 4	255
1970 7 25	262	1998 8 8	257	2007 7 29	291
1972 7 31	244	1999 7 24	277	2010 6 26	213
1974 7 27	254	2000 7 18	517	2012 7 28	422
1979 7 26	260	2002 6 18	235		

Table 2. The statistical characteristics of annual maximum peak flow series at Huangshuigou station
表 2. 黄水沟站年最大洪峰流量序列统计特征值

项目	年最大出现时间				
	6月	7月	8月	合计	主汛期(6.20~8.10)
频次	16	34	9	59	55
百分数(%)	27.1	57.6	15.3	100	93.2

流量出现的月份来看, 出现在 7 月的频次最高, 达到了 34 次, 占统计年数的 57.6%; 其次是 6 月份, 出现年最大洪峰流量的频次达到 16 次, 占统计年数的 27.1%; 8 月份出现年最大洪峰流量的频次相对较少, 为 9 次, 占统计年数的 15.3%。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 月 20 日~8 月 10 日)的 50 d 时间内, 出现频次高达 55 次, 占统计年数的 93.2%。

2.4. 年最大洪峰流量年际变化

黄水沟站 1955~2013 年 59 年最大洪峰流量系列中, 最大为 1996 年洪水, 洪峰流量 602 m³/s, 模比系数高达 3.57; 最小为 1985 年洪水, 洪峰流量仅 34 m³/s, 模比系数为 0.2。最大洪峰流量与最小洪峰流量的倍比达 17.7

倍。年最大洪峰流量系列变差系数 C_v 值为 0.86，可见洪峰年际变化较大。

从黄水沟年最大洪峰流量年际变化分析(见表 3)。黄水沟 50 年代中期~60 年代为负距平且偏离均值幅度较大，偏离幅度超过 24%，70 年代为正距平，80 年代为负距平，偏离幅度达 37.3%，90 年代至今为正距平，偏离幅度达 34% 左右。分析比较发现，黄水沟最大洪峰流量在 90 年代前后差异很大，90 年代前为负距平，偏少 22.1%；90 年代后至今为正距平，偏多 32.2%。

2.5. 年最大洪峰流量变化趋势分析

从黄水沟站洪峰流量模比系数差积曲线(见图 4)和洪峰流量 5 a 滑动平均曲线(见图 5)分析可知，黄水沟 1958~1993 多为小洪水年群，1994~2013 年多为大洪水年群，交替出现个别小洪水。从 1994 年开始进入大洪水多发期，且洪水频次增加，洪峰集中出现。1994 年 7 月出现 $437 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪水，1996 年 7 月出现 $602 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪水，2012 年 7 月出现 $422 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪水。

2.6. 年最大洪峰流量突变分析

随着水文资料系列的延长，最大洪峰流量特征值序列将会发生趋势性变化，其原因是受自然和人为因素的影响。下面采用 Mann-Kendall 非参数秩次相关检验法对黄水沟实测最大洪水特征变化趋势进行分析。

Table 3. The inter-decadal change of annual maximum peak flow at Huangshuigou station

表 3. 黄水沟站最大洪峰流量年际变化表

年代	平均洪峰流量	距平百分数
1955~1959	107.6	-36.2
1960~1969	128.0	-24.1
1970~1979	172.3	2.2
1980~1989	105.7	-37.3
1990~1999	225.8	34.0
2000~2013	226.5	34.4
1955~1989	131.4	-22.1
1990~2013	222.8	32.2
多年平均	168.6	

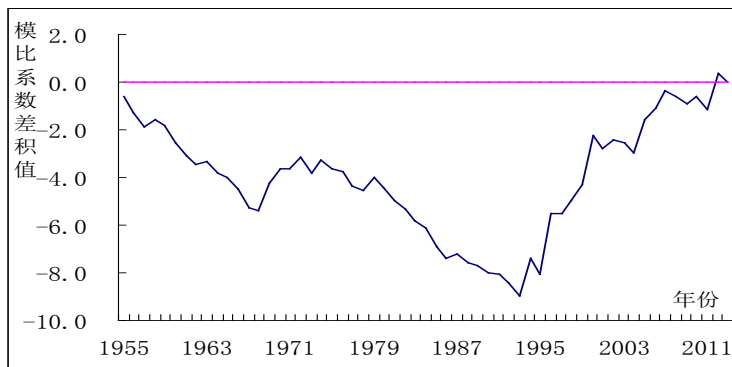


Figure 4. The coefficient difference product curves of maximum peak flow at Huangshuigou station

图 4. 黄水沟站年最大洪峰流量模比系数差积曲线

2.6.1. M-K 非参数秩次相关检验法

在时间序列趋势分析中，M-K 检验法是世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数检验方法[5]。其优点是样本不需要遵从一定的分布，也不受少数异常值的干扰，更适用于类型变量和顺序变量，计算较简便。对于具有 n 个样本量的时间序列 x ，构造一秩序列 $d_k = \sum_{i=1}^k r_i$ ($2 \leq k \leq n$)， r_i 表示 i 个样本 x_i 大于第 j 个样本 $x_j(1)$ 的累计值。

$$E[d_k] = \frac{k(k-1)}{4} \quad (1)$$

$$Var[d_k] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2)$$

在时间序列随机独立的假设下，定义统计变量：

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{Var[d_k]}} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

在给定的显著性水平下(通常取 95% 即 $\alpha = 0.05$)做出对原假设的否定和接受的判定。 $\alpha = 0.05$ 时，则 $U = \pm 1.96$ 。当 $|UF_k| > U_\alpha$ 表明序列存在明显增长或减小趋势。

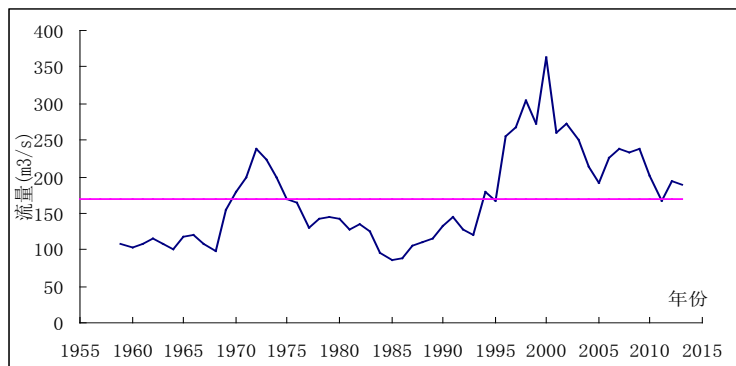


Figure 5. The five years moving average line of annual maximum peak flow at Huangshuigou station

图 5. 黄水沟站年最大洪峰流量 5 年滑动平均过程线

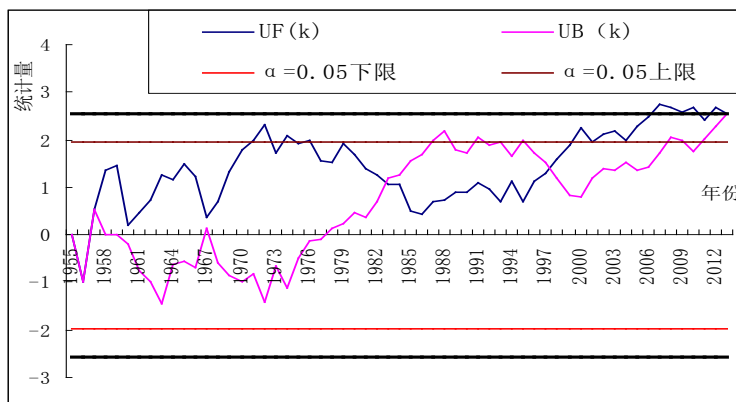


Figure 6. The M-K statistics graph of annual maximum flood series in Huangshuigou River

图 6. 黄水沟年最大洪水 M-K 统计量曲线图

2.6.2. 年最大洪峰流量变化趋势分析

利用 Mann-Kendall 方法对黄水沟 1955~2013 年的年最大洪峰流量序列进行突变检验, 其中 UF_k 表示顺序统计值, UB_k 表示逆序统计值, UF 与 UB 在信度线 ± 1.96 ($\alpha = 0.05$) 之间。趋势检验结果表明(如图 6 所示), 黄水沟最大洪峰流量在 1955 年至 1972 年呈增加趋势, 1973~1986 年为下降趋势, 从 1987 年呈增加趋势, 但增加趋势较缓, 从 1999 年开始增加趋势较明显, 通过了 0.05 显著性检验, 甚至从 2007 年开始通过了 0.001 显著性检验。根据 UF_k 和 UB_k 曲线交点位置的黄水沟年最大洪峰流量在 1957、1983 和 1997 年均存在突变。由此说明, 黄水沟洪水在上世纪 80 年代末出现了由少到多的突变, 其中 1999 年以后上升趋势较显著。

3. 结论

利用黄水沟近 58 年最大洪峰流量数据, 对最大洪峰流量的变化特征进行分析, 得到如下结论:

(1) 依据黄水沟站 59 a 实测洪水资料分析, 年最大洪峰流量主要出现在主汛期(6 月 20 日~8 月 10 日)的 50 d 时间内, 出现频次高达 55 次, 占统计年数的 93.2%。年最大洪峰流量系列变差系数 C_v 值为 0.86, 可见洪峰年际变化较大。

(2) 进入 90 年代年最大洪峰流量为正距平且偏离平均值幅度较大, 偏离均值的幅度达 32.2%; 从 1994 年开始进入大洪水多发期, 且洪水出现频次增加。

(3) 应用 M-K 法进一步说明黄水沟洪水在上世纪 80 年代中末期出现了由少到多的突变, 其中 1999 年以后上升趋势比较显著。

基金项目

国家自然科学基金项目(41201025)。

参考文献 (References)

- [1] 毛炜峰, 等. 近 50 a 来新疆区域与天山典型流域极端洪水变化特征及其对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2012, 34(5): 1037-1046.
MAO Weifeng. Variations of extreme flood of the rivers in Xinjiang region and some typical watersheds from Tianshan Mountains and their response to climate change in recent 50 years. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(5): 1037-1046. (in Chinese)
- [2] 范小黎, 师长兴, 等. 黄河宁蒙段洪水过程变化特点[J]. 资源科学, 2012, 34(1): 65-73.
FAN Xiaoli, SHI Changxing, et al. Characteristics of flood regime in Ningxia-Inner Mongolia reaches of the upper Yellow River. Resources Science, 2012, 34(1): 65-73. (in Chinese)
- [3] 唐权辉, 任杰, 等. 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, REN Jie, et al. Study on variations of annual maximum peak flow series and impacting factors on Beijiang main stream. Journal of China Hydrology, 2014, 34(1): 65-71. (in Chinese)
- [4] 琪美格. 黄水沟河流水文特性分析[J]. 巴州科技, 2010, 2: 22-26.
Qimeige. Analysis of hydrological characteristics of Huangshuigou River. Bazhou Science and Technology, 2010, 2: 22-26. (in Chinese)
- [5] 张盛霖, 邓高燕, 黄勇奇. Mann-Kendall 检验法在 Excel 中的实现与应用[J]. 中国科技论文在线.
ZHANG Shenglin, DENG Gaoyan and HUANG Yongqi. Implement and application of Mann-Kendall test method in Excel. <http://www.paper.edu.cn> (in Chinese)