

# 孤山川流域水文特征变化及驱动因素

赵爱军<sup>1</sup>, 高忠咏<sup>2</sup>, 冯天梅<sup>3</sup>, 张鑫<sup>3</sup>

(1. 青海省环境地质勘查局, 青海 西宁 810007; 2. 青海省水工环地质调查院, 青海 西宁 810008;  
3. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 研究流域水文特征的变化及驱动因素对流域水资源开发利用与保护, 水土保持及生态环境的建设具有指导意义。以孤山川流域为研究区, 利用 Kendall 秩序相关法分析 1956-2009 年流域降水、径流、泥沙等水文要素的演化趋势, 采用小波变换法对系列的周期进行提取, 利用有序聚类法分析径流和泥沙序列的变异点, 并分析气候变化和人类活动对水沙的影响情况。结果表明: 近 54 年来孤山川流域实测降水量没有显著变化, 而年径流量和输沙量显著减少; 年径流量和输沙量序列都存在 5、14 和 28 年左右的周期, 且均在 1979 年和 1996 年发生突变。气候变化和人类活动对年径流量减少的贡献率在不同时段有不同的值, 在人类活动对下垫面影响的过渡期, 贡献率分别为 72.2% 和 27.8%; 90 年代中期到 21 世纪初, 它们的贡献率分别是 27.8% 和 72.2%。本研究将为孤山川流域水资源开发利用及优化配置提供科学借鉴。

**关键词:** 水文特征; 气候变化; 人类活动; 孤山川流域

中图分类号: TV12 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)01-0182-05

## Change of hydrological features and driving factor in Gushanchuan Basin

ZHAO Aijun<sup>1</sup>, GAO Zhongyong<sup>2</sup>, FENG Tianmei<sup>3</sup>, ZHANG Xin<sup>3</sup>

(1. Qinghai Environmental Geological Prospecting Bureau, Xining 810007, China; 2. Qinghai Hydraulic Ring Geological Survey Institute, Xining 810008, China; 3. College of Water Resources and Architectural Engineering, North A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The study on change of hydrological features and its driving factors has guiding significance for development and utilization and protection of water resources, water and soil conservation and construction of ecological environment. Taking the Gushanchuan Basin as the research area, the paper analyzed the trend of the rainfall, runoff and sediment with Kendall method from 1956 to 2009, extracted its period with wavelet transformation, and find the change point of runoff and sediment series with the orderly cluster method, and finally analyzed the influence of climate change and human activities on runoff and sediment. The result shows that nearly 54 years, the precipitation in Gushanchuan Basin have no notable change, while the runoff and sediment reduced significantly; annual runoff and sediment discharge have the period of 5, 14 and 28 years and mutated in 1979 and 1996. The contribution of climate change and human activities to the reduce of annual runoff have different values in different times, at the transitional period of human activities having influence on underlying surface, the contribution rates are 72.2% and 27.8% respectively. From the mid 1990's to the beginning of 21 century, the contribution rates are 27.8% and 72.8% respectively. The result will provide a science reference for the development and utilization of water resources and optimal allocation.

**Key words:** hydrology feature; climate change; human activity; Gushanchuan basin

随着工业化、城市化快速发展以及全球气候与环境变化对流域自然水文循环造成严重的干扰与破坏, 由此淡水资源短缺、洪涝灾害频繁、河道断流、水

体污染、地下水超采、地面沉降、海水入侵、水土流失以及河流生态系统破坏等问题频发<sup>[1-3]</sup>, 水问题已经成为限制国家和地区可持续发展的重要因素。因

此,研究流域水文特征的变化及驱动因素对流域水资源开发利用与保护,防洪减灾,水土保持及生态环境的建设具有重要的指导意义。

2000 年,李丽娟等<sup>[4]</sup>研究了华北一些比较典型河流的年径流量演变规律,并对其驱动力因素进行了分析,结果表明潮白河径流的演变特征受华北地区气候干旱化的影响。2002 年,毛红梅等<sup>[5]</sup>研究了近期人类活动对嘉陵江流域水沙量影响,结果表明长治工程的实施对输沙量有较大的影响,而对降水量和径流量影响不明显;2006 年,邓振镛等<sup>[6]</sup>研究了气候变化对渭河上游径流量和输沙量的影响,研究结果可靠;2008 年,马颖等<sup>[7]</sup>分析研究了人类活动对长江干流水沙关系的影响的分析,结果表明水库对流域水沙关系的影响非常显著;2010 年,曹颖等<sup>[8]</sup>研究了全球气候变化对径河流域径流和输沙量的潜在影响,研究结果具有一定的参考价值。

本文基于实测的降水、径流和泥沙资料,以黄土高原典型支流孤山川流域为研究对象,对流域近 54 年来水沙变化特征及其变化原因进行较为详细地分析研究,以期黄土高原土地利用、水利工程建设、防洪减灾、水资源开发利用与管理等人类开发活动提供科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料的来源

本文采用的基础资料为孤山川流域高石崖水文站 1956–2009 年的降水量、径流量和含沙量实测资料。经对 1956–2009 年孤山川流域高石崖水文站的降水量、径流量和含沙量资料进行一致性、可靠性和代表性分析,结果表明资料的一致性、可靠性和代表性都较好,可以用来进一步地分析和计算。

### 1.2 研究方法

本文基于水文特征参数时间序列法,采用 Kendall 秩序相关法、有序聚类法分析流域 54 年来降水径流变化的趋势性和径流输沙突变特征,并用小波分析方法对径流量序列的周期进行提取,同时基于对天然径流过程的回归模拟,分割气候变化和人类活动对流域径流量的影响程度。

## 2 流域水文特性分析

### 2.1 年降水量、年径流量和年输沙量的基本变化特征

图 1 和图 2 分别为年孤山川流域高石崖站年降水、年径流量和年输沙量的基本变化特征图。

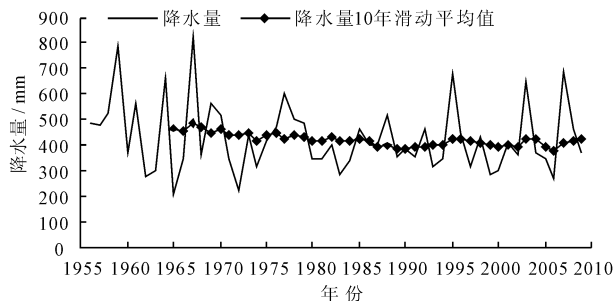


图 1 孤山川流域高石崖站降水量基本变化过程

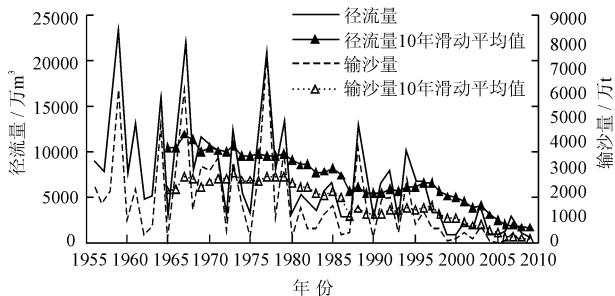


图 2 孤山川流域高石崖站年径流量和年输沙量变化过程

从图 1 和图 2 可以看出,降水量在这 54 年里仅有微弱的下降,但下降趋势不明显。径流量控制着输沙量的变化,在 1956–2009 年期间,孤山川流域丰水年和贫水年交替出现,年径流量和输沙量在 20 世纪 70 年代中期以前具有微弱地长期减少的趋势,期间大约有 2 个较大的波动,径流量峰值大约出现在 1959 年和 1967 年,其值分别达到了 23740 万  $m^3$  和 22130 万  $m^3$ ;20 世纪 70 年代中期以后,年径流量和输沙量具有显著地持续减少的趋势,径流量在 2009 年出现了罕见的极低值 780 万  $m^3$ ,期间只出现一个波峰,在 1994 年前后,其量值也只有 10320 万  $m^3$ 。

### 2.2 年降水、年径流量和输沙量变化的趋势分析

Kendall 秩序相关法是检验水文参数演变是否表现出明显趋势的常用方法,对该方法的详细介绍见参考文献[1]。对高石崖水文站近 54 年来年降水量、径流和输沙量做 Kendall 秩序检验,检验结果见表 1。

表 1 孤山川流域年降水系列、径流系列及输沙量系列的 Kendall 检验结果

水文要素	统计年限	Kendall 变量	变化趋势
降水量	1956–2009	-1.1862	弱减小
径流量	1956–2009	-5.0731	显著减小
输沙量	1956–2009	-4.4912	显著减少

由表 1 可以看出,近 54 年来孤山川流域年降水量略有下降,但趋势不明显,而同期的年径流量和输沙量呈显著减少趋势,年降水量和径流、输沙量的变化趋势明显不一致。

## 2.3 径流、输沙周期分析

小波分析是一种可以同时时在时域和频域上对信号进行多时间尺度分析的一种方法,在时间序列的周期分析中具有广泛的应用<sup>[9]</sup>。对高石崖站的实测水文时间序列,先将径流量、输沙量序列距平处理,再将距平后的序列进行 Morlet 小波变换。本文采用 Matlab 小波分析工具,绘制出年径流和年输沙量的小波系数实部等值线图见图 3,实线表示小波系数为正值,代表径流量或输沙量的偏多期;虚线表示小波系数为负值,代表径流量或输沙量的偏少期;零值代表径流量或输沙量多少的转折,径流和输沙量小波系数实部等值线图的等值线间距分别为 2000 和 400。

从图 3 可以看出孤山川流域高石崖站年径流序列和年输沙序列均存在 3~7 年,10~17 年和 25~32 年左右的振荡周期,且这几个周期在这 54 年里始终存在,表现稳定。为了确定序列的主周期,做出高石崖站年径流量和年输沙量序列的小波方差图,见图 4。由图 4 可以看出,高石崖站实测年径流量和年输沙序列均存在 5、14 和 28 年左右的周期。

## 2.4 径流量、输沙量突变分析

有序聚类法是判断水文序列是否具有阶段性变化的常用方法,其实质是寻求最优分割点,使同类之间的离差平方和较小而类与类之间的离差平方和较

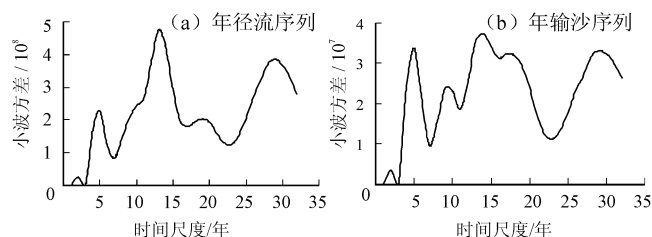


图 4 高石崖站年径流序列和年输沙序列小波方差图

由图 5 可以看出,当样本  $m$  为 23 时总离差平方和最小,在  $m$  为 40 时,形成次小值,所以高石崖站年径流和输沙量发生变异的年份为 1979 和 1996 年。根据流域实际情况,流域 20 世纪 70 年代开始进行水土保持工作,同时自 20 世纪 80 年代以来,在多项国家自然科学基金项目中相继开展了水沙关系相关研究。研究成果的实施对下垫面产生了巨大变化。因此流域年径流量和输沙量的变化可以分为 3 个阶段:①1956-1979 年,代表自然情况下的降水-径流关系;②1980-1996 年代表人类活动对下垫面影响的过渡期;③1997-2009 年代表目前情况下的降水径流关系,各代表年的水文序列变化值见表 2。

大<sup>[10]</sup>。根据聚类分析法计算高石崖水文站 1956-2009 年的径流量、输沙量的变化,图 5(a)和(b)分别为孤山川流域高石崖站年径流量和年输沙量的总离差平方  $S_n(m)$  和与样本  $m$  的关系图。

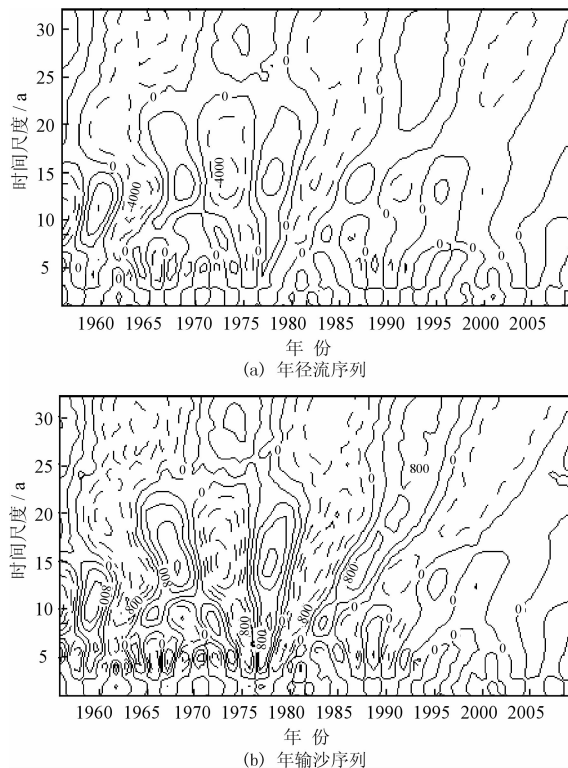


图 3 高石崖站年径流序列和年输沙序列小波系数图

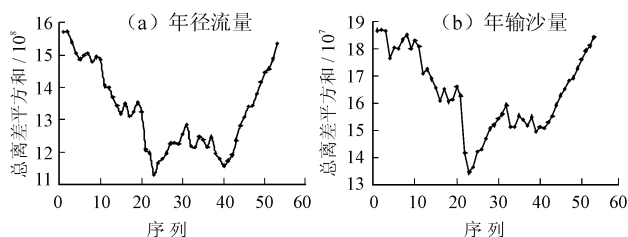


图 5 高石崖站年径流量和年输沙量  $S_n(m) - m$  图

表 2 孤山川流域各年代水文系列的变化值

mm, 万  $m^3$ , 万 t

时段	降水	降水量	输沙量
1956-1979	463	10600	2830
1980-1996	404	5820	1340
1997-2009	406	1980	292

## 3 气候与人类活动对径流、输沙量的影响分析

### 3.1 气候与人类活动对径流的影响

3.1.1 降水径流的演变关系 孤山川流域的降水存在着较为显著的年际变化,而流域径流量的变化

与其流域降水密不可分。图 6 为孤山川流域 1956 - 1979, 1980 - 1996 和 1997 - 2009 这 3 个阶段的降水 - 径流关系曲线。

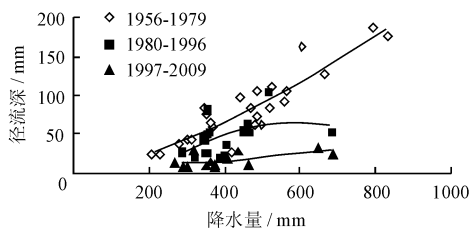


图 6 高石崖站年降水 - 径流关系图

由图 6 可以看出高石崖站的降水条件在一定程度上控制着径流的演变。三个阶段曲线纵坐标的差值为年径流的衰减值,在降水量相同的情况下,三个时期的径流量随年代表现出明显的跳跃性减少的趋势。

3.1.2 人类活动对径流的影响 人类活动对径流的影响主要是通过改变下垫面条件,直接或间接地影响径流的质量、数量和径流过程。人为活动对径流有正反两方面的影响。人类可以通过修建各种水利和水土保持工程措施,如水库、淤地坝、水窖等蓄水工程,拦蓄地表径流、消减洪峰流量、调节径流过程。整地措施通过减缓原地面的坡度、截短坡长、增加地表糙率,从而增加了下渗量,延长了汇流时间,消减了洪峰,使流量过程线变得平缓。人类还可以通过植树造林,增加森林覆盖,利用森林保持水土、涵养水源、增加枯水径流来对径流起到调节作用。

但是,不合理的人类活动,如过度地砍伐森林、陡坡开荒、没有任何保护措施地大面积开采地下各种资源等都能造成严重的水土流失;另外,工业生产的废弃物任意排放、农业生产中各种农药、化肥无节制的大量使用、生活垃圾的大量增加,不但破坏了土壤对径流的调节作用,还严重污染了水质。

下面详细分析人类活动对径流量变化的影响。由聚类分析结果近似认为在 1979 年以前流域受人类活动的影响微弱,利用该时段高石崖站的实测径流( $y$ )和降水( $x$ )资料建立二次拟合关系式如下( $R^2 = 0.8148$ ):

$$y = 0.0163x^2 + 15.901x - 636.15; \quad (1)$$

其拟合关系图见图 7。

将各时段的降水量代入方程(1)可得到每个时段的天然径流量  $W_{\text{天然}}$ ,天然径流量  $W_{\text{天然}}$  与实测径流量  $W_{\text{实测}}$  之差为气候背景下人类活动对径流的影响结果。图 8 为高石崖站实测径流与天然径流的比较图。

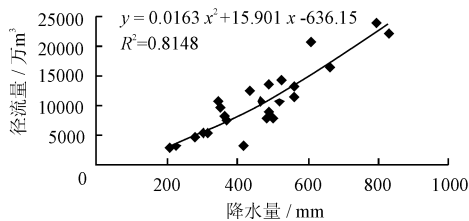


图 7 高石崖站天然条件下降水 - 径流关系

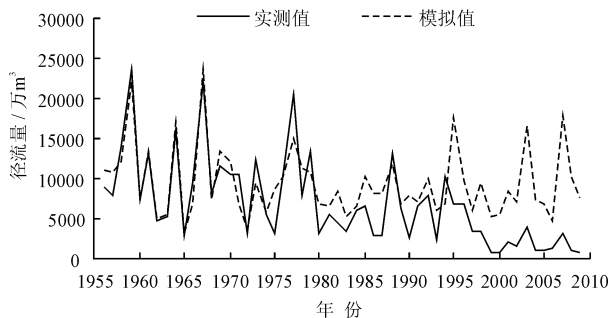


图 8 高石崖站实测与天然径流量比较

由图 8 可以看出,1979 年以前,实测径流与天然径流相差不大,而 1979 年之后,实测径流相对于天然径流出现了明显减少趋势,具体数值见表 3。

表 3 气候变化和人类活动对孤山川流域径流量的影响  
mm, 万  $m^3$ , %

起止年份	背景值 (1956 - 1979)	1980 - 1996	1997 - 2009
降水量	463	403	406
实测径流量	10596	5822	1979
径流计算值	10609	8569	8761
径流变化值		-2747	-8617
气候	径流变化量	-2027	-2394
因素	贡献率	72.2	27.8
人类	径流变化量	-720	-6223
活动	贡献率	27.8	72.2

由表 3 可以看出,在不同的时期,气候因素和人类活动对径流的影响程度不同。在 20 世纪 80 年代到 90 年代中期,降水和人类活动对径流的影响比例分别为 72.2%、27.8%;对径流的影响量分别为 2027 万、720 万  $m^3$ ;20 世纪 90 年代中期到 21 世纪初,降雨影响明显减弱,其影响的比例仅为 27.8%,人类活动便成为引起径流减少的主要因素,两者对径流的影响量分别为 2394 万、6223 万  $m^3$ 。

### 3.2 输沙量变化的成因分析

对于输沙量的变化,主要受到两方面的影响包括自然因素和人为因素。

在自然因素中,水和风是水土流失的动力,土壤是水土流失过程中被破坏的对象,地形是产生水土

流失的基础,植物是保持水土,形成和改善对水土流失起缓冲作用的主要因素,一般是土壤、气候、土体和地形是引起水土流失必须同时具备的条件,而且相互影响,相互作用。

人类活动对输沙量的影响主要是通过改变下垫面条件,或是合理的、或是不合理的人类活动来改变下垫面,在此主要是指人为活动造成水土流失所采取的预防和治理措施。其主要措施有:防治水土流失危害,保护和合理利用水土资源而修筑的各项工程设施,包括治坡工程、治沟工程和小型水利工程。为防治水土流失,保护与合理利用水土资源,采取造林种草及管护的办法,增加植被覆盖率,维护和提高土地生产力的生物措施和以改变坡面微小地形,增加植被覆盖或增强土壤有机质抗蚀力等方法,保土蓄水,改良土壤,以提高农业生产的蓄水保土耕作措施。

然而不合理的开发利用土地资源,是造成水土流失的主要原因之一。随着人口的不断增加,对粮食、饲料、燃料需求量的增加,广种薄收,陡坡开荒,乱砍乱伐次生林,超载过度放牧等,都加重了侵蚀的程度。同时,修路、石油开采、城镇基本建设,经济开发建设活动中的挖沙取石等行为,破坏了地表植被和原生坡面,引起崩塌、错落、滑坡等,易引起重力侵蚀,加之废土废渣倾入河道,造成了新的人为水土流失。

## 4 结 语

(1) 近 54 年来孤山川流域年降水量略有下降,但变化趋势不明显,而同期的年径流量和输沙量呈显著减少趋势,年降水量和径流、输沙量的变化趋势明显不一致。

(2) 高石崖站实测年径流量和年输沙序列均存在 5、14 和 28 年左右的振荡周期。

(3) 高石崖站 1956 - 2009 年的径流量和输沙量在 1979 年和 1996 年发生了变异。在人类活动的影响下最终确定将流域径流和输沙量的变化分为 3 个阶段:①1956 - 1979 年,自然情况下的降水 - 径流关系;②1980 - 1996 年,人类活动对下垫面影响

的过渡期;③1997 - 2009 年,目前情况下的降水径流关系。

(4) 降水和人类活动在不同的时期对径流的影响程度不同。在 20 世纪 80 年代到 90 年代中期,降水和人类活动对径流的影响比例分别为 72.2% 和 27.8%;20 世纪 90 年代中期到 21 世纪初期,降雨的影响明显减弱,其影响的比例仅为 27.8%,而人类活动成为引起径流减少的主要因素,其影响的比例占 72.2%。从上述变化可以看出,人类活动对流域径流的影响比例逐年增大,这一方面肯定了流域多年来水土保持工作的成效,同时也反映了人类对流域水资源开发利用程度的增大。

## 参考文献:

- [1] 薛丽芳,谭海樵. 沂河流域水文特征变化及其驱动因素[J]. 地理科学进展,2011,30(11):1354-1360.
- [2] 夏军,谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战[J]. 资源科学,2002,24(3):1-7.
- [3] 邓慧平. 气候与土地利用变化对水文水资源的影响研究[J]. 地球科学进展,2001,16(3):436-441.
- [4] 李丽娟,郑红星. 华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析——以潮白河为例[J]. 地理学报,2000,55(3):309-317.
- [5] 毛红梅,裴明胜. 近期人类活动对嘉陵江流域水沙量影响[J]. 水土保持学报,2002,16(5):101-104.
- [6] 邓振镛,张强,李栋梁,等. 气候变化对渭河上游径流量和输沙量的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(6):982-985.
- [7] 马颖,李琼芳,王鸿杰,等. 人类活动对长江干流水沙关系的影响的分析[J]. 水文,2008,28(2):38-42.
- [8] 曹颖,张光辉,罗榕婷. 全球气候变化对泾河流域径流和输沙量的潜在影响[J]. 中国水土保持科学,2010,8(2):30-35.
- [9] 陈克龙,李双成,周巧富,等. 江河源区达日县近 50 年气候变化的多尺度分析[J]. 地理研究,2007,26(3):526-532.
- [10] 朱学思,陈翠琴,乔光建. 冶河流域枯季径流量趋势特性及演化规律研究[J]. 南水北调与水利科技,2010,8(4):91-94+137.