

# 黄土高原粗泥沙集中来源区水沙变化特征及趋势性分析

汪丽娜<sup>1,2</sup>, 王勇<sup>3</sup>, 高鹏<sup>3,4</sup>, 张晓萍<sup>4,5</sup>, 穆兴民<sup>4,5</sup>

(1. 中山大学 水资源与环境研究中心, 广东 广州 510275;

2. 广东省近岸海洋工程重点实验室, 广东 广州 510275; 3. 黄河水利委员会 黄河中游水利资源管理局, 山西 晋中 030600; 4. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 5. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 黄土高原粗泥沙集中来源区为治理黄河泥沙的重点核心地区。根据 1960—1999 年黄土高原粗泥沙集中来源区皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河径流及输沙资料, 以流域为单元, 分析了区内各流域径流量、输沙量的年内、年际变化特征及变化趋势。结果表明, 区内径流量及输沙量的年际、年内变化较大。在季节上, 除秃尾河径流量集中期为 6 月份外, 其余 4 条流域径流量的集中期均为 8 月份; 5 条流域输沙量的集中期均为 8 月份。各流域径流量、输沙量的突变时间均在 20 世纪 70 年代, 说明各流域水沙量呈现减少的趋势, 尤以 20 世纪 90 年代减少最明显。人类活动和气候变化是影响该区内各流域水沙变化的主要因素。

**关键词:** 径流; 输沙; 粗泥沙集中来源区; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0011-06

中图分类号: TV141+.3

## Changing Characteristics and Trend of Water and Sediment in Coarse Sand Source Regions of Loess Plateau

WANG Lina<sup>1,2</sup>, WANG Yong<sup>3</sup>, GAO Peng<sup>3,4</sup>, ZHANG Xiaoping<sup>4,5</sup>, MU Xingmin<sup>4,5</sup>

(1. Center for Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou,

Guangdong 510275, China; 2. Near Bank Oceanographic Engineering Key Laboratory,

Guangzhou, Guangdong 510275, China; 3. Bureau of Hydrology and Water Resources of the

Middle Yellow River, YRCC, Jinzhong Shanxi 030600, China; 4. Institute of Soil and Water Conservation,

Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 5. Institute of

Soil and Water Conservation, Northwest University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The paper analyzes the change characteristics and trend of runoff and sediment using water and sediment data observed in the coarse sand source regions of the Loess Plateau from 1960 to 1999. The changing characteristics of runoff and sediment had a great variation during the study period. Concentrated time for runoff occurrence in the studied watersheds was in August, except Tuwei River watershed where the time was in July. Concentrated time for sediment occurrence in the studied watersheds was all in August. Abruptly changed time for both runoff and sediment in the five watersheds was all in the 1970's and after that time, runoff and sediment had a decreased trend, especially in 1990's. Human activities and climate change are the main influence factors.

**Keywords:** runoff; sediment load; coarse sand source region; the Loess Plateau

黄河的问题主要在泥沙特别是粗泥沙, 因此, 粗泥沙来源区的确定及其治理应是黄河及黄土高原治理之要务<sup>[1]</sup>。黄河中游粗沙多沙区范围的确定 ( $7.86 \times 10^4 \text{ km}^2$ ) 初步明确了黄土高原水土流失治理的重点, 为黄河泥沙的快速治理提供了技术支持。相对于

国家及地方经济发展水平与投入强度,  $7.86 \times 10^4 \text{ km}^2$  的多沙粗沙区仍显偏大<sup>[2]</sup>。嗣后, 在粗沙多沙区范围研究的基础上, 确定了粗泥沙集中来源区, 以此作为近期水土保持治理规划及投资的重点区域, 是减少入黄粗泥沙, 减轻下游河道泥沙淤积危害的关键,

收稿日期: 2007-06-05

修回日期: 2007-11-27

资助项目: 国家“973”项目(2007CB407203); 中国科学院“西部之光”; 中国科学院西部行动项目(KZCX2-XB2-05-03)

作者简介: 汪丽娜(1981—), 女(汉族), 江西省景德镇人, 博士研究生, 主要从事水资源与环境变异研究。E-mail: linawang2004@163.com。

通讯作者: 穆兴民(1961—), 男(汉族), 陕西省华阴县人, 博士, 研究员, 博士生导师, 从事生态水文学研究。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn。

是水土流失治理的重中之重,是“维持黄河健康生命中实现“河床不抬高”的重要措施之一<sup>[3]</sup>。黄土高原粗泥沙集中来源区的径流、输沙情况直接影响到黄土高原及黄河下游的径流、输沙,有效地拦截黄土高原粗泥沙集中来源区的粗颗粒泥沙,可以有效地减少库区及下游河道的淤积。之前,人们更多地关注水土保持措施减水及减沙数量的分析研究<sup>[4-7]</sup>,而对粗泥沙集中来源区河流径流及输沙规律研究较少。本文以此作为研究背景,对黄土高原粗泥沙集中来源区的水沙变化特征及趋势性进行分析,对日后的水土保持工作、流域治理和相关的工作提供水文基础。

## 1 研究区域概况

粗泥沙集中来源区是指泥沙粒径  $d \geq 0.10 \text{ mm}$ ,粗泥沙输沙模数  $\geq 1400 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的区域,其面积为  $1.88 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。黄河中游粗泥沙集中来源区面积仅占黄河上中游地区面积的 2.69%,但粒径大于 0.05 mm 和大于 0.1 mm 的产沙量分别占黄土高原地区相应粒级产沙量的 34.5% 和 53.98%。在黄河中游呈一品字形分布,涉及 3 大片,最大的一片在皇甫川至佳芦河区间,第二片在无定河的芦河、大理河,延河和清涧河上游一带,第三片在无定河下游<sup>[8]</sup>。本研究的研究区域为黄土高原粗泥沙集中来源区“品”字形内,面积最大且连续部分,在该区面积逾 1000  $\text{km}^2$  的主要水系有:皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河流域。该区域属于温带大陆性季风气候,年平均气温在  $6^\circ\text{C} \sim 14^\circ\text{C}$  之间,年降水量 310~580 mm 之间,降水量的 60%~70% 集中在雨季,且主要以暴雨形式出现。

## 2 研究资料与方法

本研究以 1960—1999 年为研究时段,各流域径流、泥沙数值来自于黄河水文年鉴,1990 年后的数据由个人交流资料。径流量、输沙量的年内变化特征由变差系数和多年径流量、输沙量极值得出。径流量、输沙量的年内变化特征常以不均匀性表示,黄土高原受季风气候的影响使年内变化更大,目前常见的径流、输沙量年内分配不均匀性的定量指标多为年内丰、枯水期或季节或某些特定时段的径流量、输沙量占年径流量、年输沙量的比例,而且多以月为时段,难以全面反映径流、输沙量年内分配的不均匀性。径流、输沙年内分配特征描述径流的变化通常包含“量”和“结构”的变化,前者通常是指径流总量、输沙总量等数值上的变化,而后者则注重从径流、输沙过程线的“形状”上进行分析,它反映不同时段内径流、输沙

的比例。径流、输沙年内分配特征的标度通常使用较多的有各月(或季)占年径流、年输沙的百分比数、汛期—非汛期占年径流、输沙的百分比数等。

本文采用径流、输沙年内不均匀系数  $R_r$  及  $S_r$  和径流、输沙年内分配完全调节系数  $R_v$ 、 $S_v$  来衡量径流年内分配的不均匀性以及集中度、集中期,从不同角度分析径流、输沙年内分配特征的变化特征。各要素的不均匀系数计算采用下式<sup>[8-9]</sup>:

$$U_v = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{u} - u_i)^2} \quad (1)$$

式中:求径流年内不均匀系数时  $U_v$  代表  $R_v$ ,  $\bar{u}$  代表  $\bar{Q}$ ,  $u_i$  代表  $Q_i$ ; 求输沙量年内不均匀系数时  $U_v$  代表  $S_v$ ,  $\bar{u}$  代表  $\bar{S}$ ,  $u_i$  代表  $S_i$ 。  $\bar{Q}$ 、 $\bar{S}$  分别表示  $t$  年的年平均流量( $\text{m}^3$ ),年平均输沙量( $\text{t}$ );  $Q_i$ 、 $S_i$  表示时段  $i$  的时段平均流量( $\text{m}^3$ )和输沙量( $\text{t}$ )。

径流、输沙年内分配完全调节系数  $R_r$ 、 $S_r$ , 也被称为径流、输沙年内分配不均匀系数<sup>[9-11]</sup>,开始时作为径流、输沙完全调节的一种计算方法,之后用作年内分配的指标。各要素年内分配完全调节系数的计算由式(2)求得:  $R_r$ 、 $S_r$  值越大即表明年内各月径流量、输沙量相差悬殊,径流、输沙年内分配越不均匀<sup>[8-9]</sup>。

$$W_r = \sum_{i=1}^{12} \Psi(t) [w(t) - \bar{w}] / \sum_{i=1}^{12} w(t) \quad (2)$$

式中,求径流年内分配完全调节系数时  $W_r$  代表  $R_r$ ,  $\bar{w}$  代表  $\bar{R}$ ,  $w$  代表  $R$ ; 求输沙年内分配完全调节系数时  $W_r$  代表  $S_r$ ,  $\bar{w}$  代表  $\bar{S}$ ,  $w$  代表  $S$ 。当  $w(t) < \bar{w}$  时  $\Psi(t) = 0$ ;  $w(t) \geq \bar{w}$  时,  $\Psi(t) = 1$ 。

集中度和集中期的计算是将一年内各月的径流量或输沙量作为向量看待,月径流量、输沙量的大小为向量的长度,所处的月份为向量的方向<sup>[10-11]</sup>。从 1 月到 12 月每月的方位角  $\theta$  分别为  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , ...,  $360^\circ$ , 并把每个月的径流量或输沙量分解为  $x$  和  $y$  两个方向上的分量,则  $x$  和  $y$  方向上的向量合成,如式(3),集中期  $D$  的计算式如下

$$X_x = \sum_{i=1}^{12} X_i \cos \theta, \quad X_y = \sum_{i=1}^{12} X_i \sin \theta,$$

$$X^2 = X_x^2 + X_y^2, \quad X_d = X / \sum_{i=1}^{12} X_i \quad (3)$$

$$D = \arctan(X_y / X_x) \quad (4)$$

因此合成向量的方位,即集中期  $D$  指示了月径流量、输沙量合成后的总效应,也就是向量合成后重心所指示的角度,即表示一年中最大月径流量、输沙量出现的月份。而集中度则反映了集中期径流、输沙值占年径流量、年输沙量的比例,从这个角度看,集中

度与通常采用的汛期径流、输沙占全年径流、年输沙量比有明显的相关关系。

Mann-Kendall 统计方法用于对径流或输沙量等要素随年序变化进行趋势性检验的非参数统计方法。其实质是对数据序列的秩序而不是实际数值来判断两个变量的相关程度,避免了水文研究中特大和特小值对结果的影响,可以比较客观地确定某一时间序列是否具有随年序列的变化趋势,同时采用 Pettitt 方法检验发生趋势变化的突变时间<sup>[12-15]</sup>。

Mann-Kendall 方法的检验统计量由下式给出:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad k < j < n \quad (5)$$

式中:如果  $x > 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = 1$ ; 如果  $x = 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = 0$ ; 如果  $x < 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = -1$ 。n——有序数据序列场;  $x_j, x_k$ ——分别是有序数据值。

Mann-Kendall 方法用来检验有序数据变化趋势程度的两个重要参数是显著水平和趋势变化的斜率。显著水平表示了趋势变化的显著程度,斜率表示了趋势变化的方向和程度。当 S 值均值为 0, 且变异系数

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

接近正态分布时,零假设被拒绝。Z 检验的常态统计用下式表达

$$z = \frac{S}{[\text{var}(S)]^{0.5}} \quad (7)$$

统计量 z 可以用来检验在给定显著水平时有序数据的秩变化趋势。斜率由下式确定

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{x_j - x_k}{j - k} \right] \quad (8)$$

当  $\beta$  为正表示正趋势,当  $\beta$  为负表示负趋势,当  $\beta$  为零表示没有趋势。

在有序数据系列存在趋势性变化前提下, Pettitt 参数检验方法可以确定其突变点。其核心是通过统

计的方法检验时间序列要素均值变化的确切时间来确定径流突变的确切时间。该检验是用 Mann-Whitney 的统计量  $U_{i,N}$  来检验同一个总体的两个样本  $x_1, \dots, x_i$  和  $x_{i+1}, \dots, x_N$ 。统计量  $U_{i,N}$  的计算公式为

$$U_{i,N} = U_{i-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (9)$$

式中:如果  $x > 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = 1$ ; 如果  $x = 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = 0$ ; 如果  $x < 0$ , 则  $\text{sgn}(x) = -1$ 。j 和  $t = 2, \dots, N$ 。该检验统计第一样本里的数据超过第二样本数据的个数累积值。Pettitt 方法的零检验假设为没有变化点。其统计量  $K_N$  和相关概率的显著性检验公式分别如下

$$K_N = \max |U_{i,N}|, \quad p \cong 2 \text{w xp} \left\{ \frac{-6(K_N^2)}{N^3 + N^2} \right\} \quad (10)$$

### 3 结果分析

#### 3.1 流域径流及输沙量的年内变化特征

以 1960—1999 年为研究时段,研究粗泥沙集中来源区的多年月平均径流量变化过程线(如图 1 所示)。5 条流域径流量在一个日历年内具有“双峰型”变化特征,即 3—4 月为第一个小汛期,6—9 月为主汛期。在年内,2 月以后,随气温升高,土壤解冻,河冰以及地表积雪融解,河水开始上涨,引起 3 月河川径流量出现峰值。6 月之后,随雨季的到来,进入夏汛,河川径流量不断增加,8 月份达到一年中径流量最大的月份。粗泥沙集中来源区多年月平均输沙量变化过程线如图 2 所示,尽管径流量在一个日历年内具有“双峰型”变化特征,但由于春汛径流量远小于夏汛径流量,因此 3 月份的输沙量峰值远小于 8 月份的输沙量峰值,5 条流域输沙量在一个日历年内的变化特征呈“单峰型”,输沙量集中在夏汛时间段,其中 8 月为沙量峰值月。

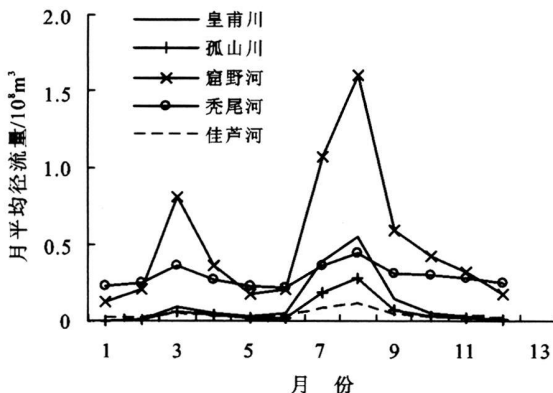


图 1 粗泥沙集中来源区径流量年内变化

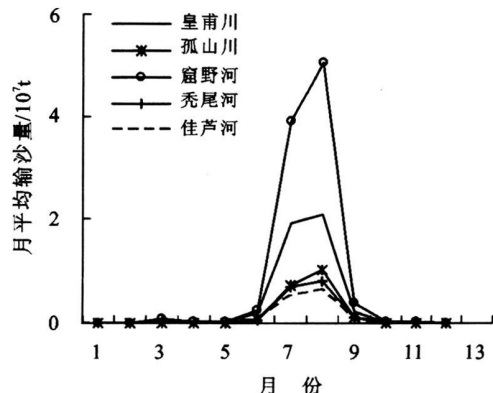


图 2 粗泥沙集中来源

图 1—2 反映了粗泥沙集中来源区内径流量、输沙量的年内变化特征。径流、输沙的年内分配不均匀性, 5 条流域的径流、输沙年内分配不均匀性见表 1。表 1 表明, 粗泥沙集中来源区内除秃尾河流域外, 其余 4 条河流的径流年内分配极不均匀, 而 5 条流域的年内输沙分配极不均匀。其主要原因是粗泥沙集中来源区内流域的径流补给主要靠降水, 流域内气候暖干化, 降雨的年内分配不均匀性以及土地沙漠化, 人类活动引起的草场退化则进一步加速了流域的径流变化, 这些因素的共同作用造成流域径流、输沙年内分配不均匀。

径流、输沙年内分配不均匀性可以用径流、输沙集中度来表示, 二者均直接反映径流、输沙年内分配集中的程度, 较之各月(季)径流、输沙占年径流、输沙

的百分比更综合、更直观。而径流、输沙集中度比径流、输沙年内分配不均匀系数更灵敏, 它不仅具有相应的量值, 而且还有对应发生的时间。故  $C_d$  和  $S_d$  是水资源开发利用评价、水土保持措施经济效益评价的较好指标。

表 2 表明, 在粗泥沙集中来源区内, 皇甫川和孤山川流域的径流量集中度大, 秃尾河流域的径流量集中度最小, 并且除秃尾河流域的径流量集中期为 7 月份外, 其余 4 条流域的径流量集中期均为 8 月份。粗泥沙集中来源区的最大输沙量月份均为 8 月, 除秃尾河流域外, 其余 4 条流域 8 月份的输沙量占全年输沙量的 90% 以上, 而秃尾河流域 8 月份的输沙量占全年输沙量的 78%, 并且除秃尾河流域的沙峰大部分滞后于洪峰外, 其余 4 条流的洪峰几乎同步于沙峰。

表 1 粗泥沙集中来源区径流量、输沙量年内分配不均匀性

项目	皇甫川		孤山川		窟野河		秃尾河		佳芦河		
	$X_v$	$X_r$	$X_v$	$X_r$	$X_v$	$X_r$	$X_v$	$X_r$	$X_v$	$X_r$	
径流	1960—1969 年	1.33	0.48	1.21	0.44	0.92	0.33	0.33	0.12	0.84	0.29
	1970—1979 年	1.73	0.57	1.55	0.49	1.10	0.36	0.34	0.11	0.83	0.28
	1980—1989 年	1.71	0.56	1.40	0.47	0.99	0.35	0.26	0.10	0.57	0.20
	1990—1999 年	1.80	0.64	1.62	0.58	1.04	0.37	0.32	0.11	0.89	0.30
	1960—1999 年	1.64	0.56	1.44	0.49	1.01	0.35	0.31	0.11	0.78	0.27
输沙	1960—1969 年	2.12	0.72	2.25	0.76	2.11	0.71	1.87	0.62	2.18	0.71
	1970—1979 年	2.44	0.77	2.51	0.77	2.69	0.79	2.13	0.65	2.38	0.76
	1980—1989 年	2.55	0.78	2.34	0.75	2.38	0.73	1.49	0.50	2.27	0.73
	1990—1999 年	2.40	0.79	2.38	0.78	2.29	0.73	2.24	0.70	2.31	0.78
	1960—1999 年	2.37	0.77	2.37	0.76	2.37	0.74	1.93	0.62	2.29	0.65

注:  $x_v$  为径流的不均匀性;  $x_r$  为输沙的年内不均匀性。

表 2 粗泥沙集中来源区径流量、输沙量年内分配集中度和集中期

指标	径流量			输沙量		
	$C_d$	$D$	集中期	$S_d$	$D$	集中期
皇甫川	0.72	226.85	8 月份	0.95	225.87	8 月份
孤山川	0.62	228.96	8 月份	0.95	224.14	8 月份
窟野河	0.39	227.58	8 月份	0.91	225.25	8 月份
秃尾河	0.16	204.49	6 月份	0.78	222.44	8 月份
佳芦河	0.34	226.17	8 月份	0.92	222.16	8 月份

### 3.2 河流径流、输沙的年际变化特征

河川径流量、输沙量年际变化是由降水量年际变化引起的, 也受气候、地貌、土壤、植被、下垫面等自然条件及人类活动的耦合作用影响, 其演变过程既表现出确定性的规律, 同时也有强烈的随机性(表 3)。

从表 3 可以看出, 粗泥沙集中来源区各流域在 1960—1999 年间的径流量和输沙量变差系数  $C_v$  值

分别变化于 0.21~ 3.51 和 0.12~ 0.98 之间, 秃尾河径流量变差系数最小, 皇甫川流域径流量变差系数最大。5 条河流径流量和输沙量的极值比分布变化于 2.57~ 29.13 和 34.02~ 262.28。5 条流域的逐年径流量、输沙量中, 径流量、输沙量的最大年份均在 20 世纪 80 年代以前, 而最小径流量、输沙量出现的年份都是 1999 年。

表 3 粗泥沙集中来源区径流、输沙年际变化特征

项目	年平均值	变差系数 $C_v$	最大年		最小年		极值比	
			年份	数值	年份	数值		
皇甫川	径流量	1.41	0.65	1979	4.37	1999	0.15	29.13
	输沙量	0.45	0.82	1967	1.54	1999	0.03	55.52
孤山川	径流量	0.76	0.63	1967	2.21	1999	0.09	24.56
	输沙量	0.20	0.94	1977	0.84	1999	0.01	99.78
窟野河	径流量	6.08	0.40	1967	12.5	1999	1.68	7.44
	输沙量	0.98	0.81	1966	3.01	1999	0.03	89.58
秃尾河	径流量	3.51	0.21	1967	5.39	1999	2.10	2.57
	输沙量	0.21	0.92	1963	0.72	1969	0.02	34.02
佳芦河	径流量	0.63	0.56	1970	1.69	1999	0.27	6.26
	输沙量	0.13	0.67	1970	0.77	1983	0.00	262.28

注: 径流量: ( $10^8 \text{ m}^3$ ); 输沙量: ( $10^8 \text{ t}$ )。

径流是泥沙的载体, 枯水期输沙量的大小侧面反映枯水期径流量的变化。粗泥沙集中来源区的降雨受季风影响, 导致径流年内分配极不均匀, 枯水期的径流主要来源于地下径流。由于粗泥沙集中来源区降水受季风的影响, 径流的年内分配极不均匀, 使得

枯水期输沙量的大小明显受到抑制。由于皇甫川的枯水期输沙量累积曲线变化特性不同于孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河, 因此在本研究中分析后 4 条河流的枯水期输沙量累积曲线关系粗泥沙集中来源区各流域逐年枯水期输沙量累积曲线图(图 3)。

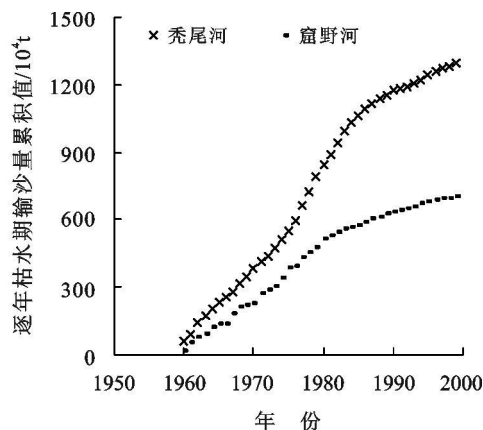
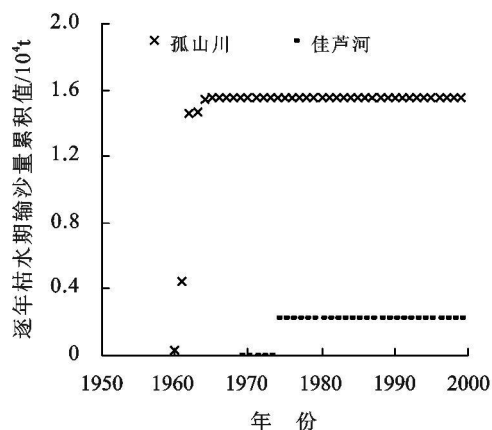


图 3 粗泥沙集中来源区各流域逐年枯水期输沙量累积曲线图

图 3 表明, 孤山川在 20 世纪 70 年代后枯期输沙量近乎为零; 孤山川和佳芦河在 20 世纪 80 年代后枯期输沙量近乎为零, 说明 3 条流域在 20 世纪 80 年代后的枯水期的输沙量显著减少; 窟野河和秃尾河流域枯水期输沙量累积曲线表明, 2 条流域从 20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期的输沙量较上世纪 60 年代的输沙量有所增加, 而 20 世纪 80 年代后期输沙量变得缓和。各流域的枯期输沙量的变化和枯期径流量的变化几乎同步, 但是枯期输沙量的变化和枯期径流量的变化相比较说明枯期输沙变化量比枯期径流变化量更为剧烈。

### 3.3 不同流域径流量、输沙量变化的趋势

根据流域径流量、输沙量趋势 Mann-Kendall 分析方法, 以 1960—1999 年为研究时段, 对研究区各

河流水文把口站的径流量、输沙量年际变化趋势进行了分析(表 4)。

表 4 粗泥沙集中来源区各流域径流量、输沙量年际变化趋势检验

流域	各流域水文把口站	径流量		输沙量	
		系数	显著水平	系数	显著水平
皇甫川	皇甫	-0.577	***	-0.197	*
孤山川	高石崖	-0.247	**	-0.197	*
窟野河	温家川	-0.305	***	-0.179	—
秃尾河	高家堡	-0.656	***	-0.203	—
佳芦河	申家湾	-0.577	***	-0.362	***

注: \*\*\* 表示检验结果为 0.01 显著水平; \*\* 表示检验结果为 0.05 显著水平; \* 表示检验结果为 0.1 水平显著; — 表示检验结果不显著。

Mann—Kendall 趋势检验结果表明,粗泥沙集中来源区内皇甫川、窟野河、秃尾河、佳芦河流域径流量年际变化趋势呈现 0.01 水平显著的减少趋势,孤山川流域径流量年际变化趋势呈现 0.05 水平显著的减少趋势;佳芦河流域输沙量年际变化趋势呈现 0.01 水平的显著减少趋势,皇甫川和孤山川流域输沙量年际变化趋势呈现 0.1 水平的显著减少趋势,窟野河和秃尾河流域输沙量年际变化趋势不显著。

粗泥沙集中来源区内各河流年径流量、输沙量变化的突变时间不一致,Pettitt 方法对各河流径流量及输沙量分析结果见表 5。表明粗泥沙集中来源区内各流域径流量突变发生时间都是在 20 世纪 70 年代,秃尾河和佳芦河流域的输沙量突变时间也发生在 20 世纪 70 年代。粗泥沙集中来源区内皇甫川和佳芦河流域径流量的突变时间为 1976 年,孤山川、窟野河和秃尾河流域径流量的突变时间较晚,均为 1979 年;秃尾河和佳芦河流域的输沙量具体的突变时间均为 1978 年。

表 5 Pettitt 法检验各流域径流量、输沙量年际突变时间

流域	各流域水文把口站	径流量		输沙量	
		突变时间	显著水平	突变时间	显著水平
皇甫川	皇甫	1976	* *	—	—
孤山川	高石崖	1979	* *	—	—
窟野河	温家川	1979	* *	—	—
秃尾河	高家川	1979	* *	1978	* *
佳芦河	申家湾	1976	* *	1978	* *

注:\* \* 表示 0.01 显著水平;—表示突变时间不显著。

## 4 结论

本文选取 1960—1999 年期间的黄河中游粗泥沙集中来源区的水文泥沙资料的皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河和佳芦河流域为研究对象,分析了各流域径流量、输沙量的年内、年际变化特征及变化趋势。

(1) 该区内径流量、输沙量的年际变化较大。表现在径流量、输沙量的变差系数值、多年径流量和输沙量的极值比都较大。5 条流域的枯水期输沙量的累积曲线表明,孤山川和佳芦河流域上世纪 80 年代后枯期输沙量近乎为零,2 条流域在 20 世纪 80,90 年代输沙量较 20 世纪 60,70 年代的枯期输沙量发生明显减少;而窟野河和秃尾河流域的“S”型走向表明,两条流域的枯水期水沙关系在 20 世纪 80 年代后的枯期输沙量的变化量较上世纪 60,70 年代缓和。

(2) 5 条流域径流量、输沙量的年内分配不均

匀,除秃尾河流域径流量的集中期为 7 月份外,其余 4 条流域径流量的集中期均为 8 月份;5 条流域输沙量的集中期均为 8 月份,除秃尾河流域外,其余 4 条流域 8 月份的输沙量占全年输沙量的 90% 以上。

(3) 各流域的径流量、输沙量的突变时间均在 20 世纪 70 年代以后,各流域水沙呈现减少的趋势。皇甫川和佳芦河流域径流量的突变时间为 1976 年,孤山川、窟野河和秃尾河流域径流量的突变时间较晚,均为 1979 年;秃尾河和佳芦河流域的输沙量的突变时间为 1978 年。各流域径流量、输沙量整体上呈减少的趋势,其中 90 年代减少十分显著;人类活动和气候变化是影响该区内各流域水沙变化的主要因素。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 穆兴民,王飞,李锐,等.水土保持是解决黄河水资源问题的根本措施[N].中国水利报,20051105.
- [2] 李国英.维持黄河健康生命[M].郑州:黄河水利出版社,2004.
- [3] 徐建华,林银平,吴成基,等.黄河中游粗泥沙集中来源区界定研究[M].黄河水利出版社,2006.
- [4] 张平仓,刘玉民.皇甫川流域侵蚀产沙特征及成因分析[J].水土保持通报,1992,12(2):15—24.
- [5] 林银平,钱云平,张培德,等.黄河中游多沙粗沙区输沙模数变化分析[J].水土保持通报.1998,18(3):10—15.
- [6] 戴明英,陈中发.窟野河水沙特性变化分析[J].人民黄河.1999,21(8):22—24.
- [7] 穆兴民,王飞,李靖,等.水土保持措施对河川径流影响的评价方法研究进展[J].水土保持通报,2004,24(3):73—78.
- [8] 杨远东.河川径流年内分配的计算方法[J].地理学报,1984,39(2):218—227.
- [9] 巴桑赤烈,穆兴民,高鹏.延河流域主要水文要素时变过程分析[J].水土保持通报,2005,25(1):11—14.
- [10] 施嘉炀.水资源综合利用[M].北京:中国水利电力出版社,1995.
- [11] 冯国章,王双银.河流枯水流量特征研究[J].自然资源学报,1995,10(2):127—135.
- [12] Mann H B. Non parametric tests again trend[J]. Econometrica, 1945, 13: 245—259.
- [13] Kendall M G. Rank Correlation Measures[M]. London: Charles Griffin, 1975.
- [14] Mu Xingmin, Zhang Lu, Tim R. McVicar, et al. Estimating the impact of conservation measures on streamflow regime in catchments of the Loess Plateau, China[J]. Hydrological Progress, 2007, 21: 2124—2134.
- [15] Hannah D M. An approach to hydrograph classification[J]. Hydrological Processes, 2000.