

## 1950 - 2011 年黄河干流水沙关系变化研究

赵玉<sup>1</sup> 穆兴民<sup>1,2</sup> 何毅<sup>3</sup> 蒋冲<sup>4</sup>

(1. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;  
3. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;  
4. 北京师范大学 全球变化与地球系统科学研究院地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

**摘要:** 采用黄河干流主要控制水文站唐乃亥、兰州、头道拐、龙门、潼关、花园口、高村、艾山和利津站的实测径流量和输沙量资料, 借助 Mann-Kendall 趋势检验法、双累积曲线法和 Pearson 相关分析等方法, 探讨 50 余年来黄河流域不同时段、不同河段水沙关系的变化特征。结果表明: 唐乃亥站径流量和输沙量无长期变化趋势, 黄河干流自兰州以下各站年径流量和年输沙量均表现出显著下降趋势。借助花园口站实测径流量与输沙量双累积曲线知 2000 - 2011 年无降水影响时的累积减沙量为 61.602 亿 t。径流量和输沙量呈正相关关系, 沿程各站相关系数  $r \in (0.512, 0.664)$ , 不同年代水沙关联性有较大差别。黄河上中下游之间径流量、输沙量均呈现显著正相关, 其相关系数分别为  $r \in (0.725, 0.904)$ 、 $r \in (0.887, 0.918)$ 。不同年代中游来水来沙量对下游径流量和输沙量的贡献率存在较大差异, 在 2000 - 2009 年达到最小值。

**关键词:** 径流量; 输沙量; 水沙关系; 双累积曲线法; 黄河干流

**中图分类号:** S336 **文献标识码:** A **文章编号:** 0468-155X(2014)04-0032-07

河流系统是气候变化和人类活动等共同作用的动态系统<sup>[1]</sup>, 水沙变化关系与河势稳定、河道演变、江湖关系等密切相关<sup>[2]</sup>, 是河流系统中最为活跃的部分。河流水沙关系是反映河流径流量和输沙量匹配关系的指标, 不同类型水沙关系的河流, 有着不同的泥沙沉积特征。研究河流水沙关系, 对揭示河流泥沙时空变化规律和来源, 分析河流泥沙沉积特征和河道整治措施均有重要作用<sup>[3]</sup>。黄河作为我国的第二大河, 为黄河流域社会经济发展提供了重要保障。近几十年来, 人类为了开发黄河水资源及根治黄河水害, 大兴水利工程、实施大规模水土保持措施, 这些工程在除害兴利、发展生产、改善生态环境等方面发挥了积极作用, 但也引起了黄河水沙特性在一定程度上发生了改变。诸多学者从不同角度对黄河流域水沙关系的变化特征开展了一些研究。如: 张晓华等<sup>[4]</sup>指出 20 世纪 90 年代以来黄河上游沙漠宽谷河段的水沙关系稍有变化, 变化幅度较小; 许炯心<sup>[5]</sup>指出 1997 年后黄河中游多沙粗沙区水沙关系发生了根本性变化; 冯普林、胡春宏等对黄河下游河道水沙关系的变化开展了相应研究<sup>[6-9]</sup>。然而这些研究更多关注的是黄河流域不同区域水沙关系的变化, 却很少将全流域统一起来分析其水沙依存关系的变化特征。本文利用黄河干流主要控制水文站 50 余年来实测水沙资料序列, 从全流域入手, 分析黄河流域及其各组成部分的特性, 研究不同河段来水来沙变化特征的差异, 揭示不同时段水沙依存关系的变化特征, 为黄河流域水资源优化配置提供理论依据。

## 1 研究区概况

黄河是我国的第二大河, 也是世界上著名的河流之一。黄河发源于青海省巴彦喀拉山, 流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东等 9 个省(区), 在山东垦利县流入渤海。黄河干流总长

收稿日期: 2013-08-26

基金项目: 中国科学院重点部署项目“近百年黄土高原侵蚀环境与水沙变化(KZZD-EW-04-03)”

作者简介: 赵玉(1987-), 女, 甘肃金昌人, 研究生, 研究方向: 水土保持与环境效应。E-mail: zhaoyu737@163.com

通讯作者: 穆兴民。E-mail: xmmu@ms.iswc.ac.cn

5 464 km。全流域位于  $96^{\circ} E \sim 116^{\circ} E$ ,  $32^{\circ} N \sim 42^{\circ} N$  流域总面积  $79.5 \text{ 万 km}^2$ <sup>[10]</sup>。其位置示意如图 1。

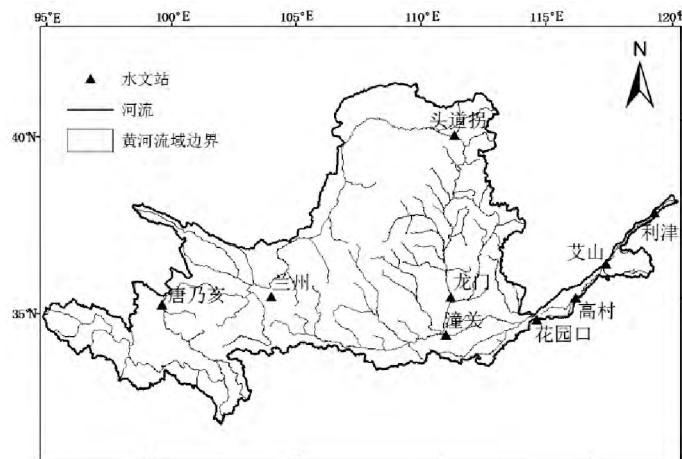


图 1 黄河流域示意图

Fig.1 Sketch of Yellow River Basin

黄河流域地势西高东低,水面落差达 4 480 m。依地理位置和河流特征,黄河干流可划分为上、中、下游三段,其中由河源至内蒙古托克托县的河口镇为上游,干流长度为 3 472 km,水量充沛,落差大,被誉为水电资源的“富矿区”;由河口镇至河南郑州附近的桃花峪为中游,干流长度 1 206 km,流经黄土高原与丘陵地区,水土流失严重,是黄河泥沙的主要来源区;由桃花峪至入海口为下游,干流长度 786 km,流经华北平原,大量泥沙淤塞河道,使河床高出堤外地面,是黄河洪水泛滥的最主要地区<sup>[11]</sup>。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料情况

根据黄河流域干流水文站的分布,兼顾不同区域特点,考虑资料的精确性和完整性,本文选择了黄河干流的唐乃亥、兰州、头道拐、龙门、潼关、花园口、高村、艾山和利津 9 个站点径流量和输沙量数据,研究黄河干流 1950 - 2011 年的水沙关系变化特征。1950 - 2011 年的年径流量和输沙量资料由中国科学院水利部水土保持研究所“地球科学数据共享平台([www. geodata. cn](http://www.geodata.cn)) - 黄土高原数据共享运行服务中心”提供。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 Mann-Kendall 趋势检验法

Mann-Kendall 趋势检验法是提取趋势变化的有效工具,以使用范围广、人为性小、定量化程度高而著称,被广泛应用于气候和水文序列变化趋势分析中<sup>[12,13]</sup>。

非参数 Mann-Kendall 检验法统计量的计算与判读方法见文献[14,15]。

#### 2.2.2 双累积曲线法

双累积曲线是检验两个参数间关系一致性及变化的方法。双累积曲线就是在直角坐标系中绘制同期内两个变量连续累计值的关系线,它可用于水文气象要素一致性的检验、缺值的插补或资料校正,以及水文要素的变化趋势及强度的分析<sup>[16-18]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 黄河干流水沙基本特征

#### 3.1.1 水沙变化趋势

黄河干流沿程水文站径流量和输沙量的 Mann-Kendall 检验结果见表 1,唐乃亥站年径流量和年输

沙量无长期变化趋势,黄河干流自兰州以下各站径流量、输沙量的秩相关系数均达到 0.01 信度的显著性水平,且秩相关系数均为负值,表明为下降趋势。因此,从年际变化上看,黄河干流自兰州以下各站年径流量和年输沙量随时间呈显著下降趋势。

表 1 黄河干流主要控制水文站径流量和输沙量 Mann-Kendall 秩次相关分析结果  
Table 1 Results of Mann-Kendall rank correlation analysis of the runoff and sediment discharge variation at the main hydrologic stations in the Yellow River

站名	径流量		输沙量	
	Z 值	显著性水平	Z 值	显著性水平
唐乃亥	-0.84	—	-0.27	—
兰州	-2.60	0.01	-5.61	0.01
头道拐	-4.29	0.01	-5.50	0.01
龙门	-5.57	0.01	-6.55	0.01
潼关	-5.89	0.01	-6.39	0.01
花园口	-5.76	0.01	-6.17	0.01
高村	-5.96	0.01	-6.83	0.01
艾山	-6.06	0.01	-6.39	0.01
利津	-6.65	0.01	-6.33	0.01

### 3.1.2 水沙时空分布

黄河流域来水来沙的一个显著特点为水沙异源,不同区的水沙特点不尽相同<sup>[19]</sup>。水多沙少是黄河上游区的主要水文特征,唐乃亥、兰州和头道拐 3 站多年平均径流量占利津站的比例远高于多年平均输沙量占利津站的比例(表 2)。黄河流域水量主要来源于兰州以上,具体表现为:兰州站多年平均径流量为 308.4 亿 m<sup>3</sup>,占利津站多年平均径流量的 92%,而多年平均输沙量很小,为 0.662 亿 t,占利津站多年平均输沙量的 9%。水少沙多是黄河中游区的主要水文特征。龙门和潼关 2 站多年平均径流量占利津站的比例远小于多年平均输沙量占利津站的比例。黄河下游区水沙相当,花园口、高村、艾山和利津 4 站多年平均径流量占利津站的比例同多年平均输沙量占利津站的比例相当。

总体上,黄河干流自上而下 9 个水文站多年平均径流量和多年平均输沙量沿程分布特征基本一致,表现为先增大后减小的趋势,径流量的最大值出现于花园口站,输沙量的最大值出现于潼关站(图 2)。不同年代唐乃亥站输沙量值相近,而其余各站多年平均径流量和多年平均输沙量均有较大差别,在 6 个时段上表现为逐阶段下降趋势。

表 2 水沙地区组成  
Table 2 Changes of runoff and sediment discharge at main hydrology stations

站点	控制面积		多年平均径流量		多年平均输沙量		时间
	/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	占利津比例/%	/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	占利津比例/%	/10 <sup>8</sup> t	占利津比例/%	
唐乃亥	12.20	16.2	201.3	59.8	0.120	1.7	1956-2011
兰州	22.26	29.6	308.4	91.5	0.662	9.1	1950-2011
头道拐	36.79	48.9	212.8	63.2	1.033	14.2	1950-2011
龙门	49.76	66.2	262.0	77.8	7.028	96.9	1950-2011
潼关	68.22	90.7	341.7	101.4	10.221	141.0	1950-2011
花园口	73.00	97.1	375.4	111.4	8.854	122.1	1950-2011
高村	73.41	97.6	337.9	100.3	7.535	103.9	1950-2011
艾山	74.91	99.6	356.8	105.9	7.645	105.4	1950-2011
利津	75.19	100.0	336.9	100.0	7.250	100.0	1950-2011

### 3.2 黄河干流水沙关系分析

#### 3.2.1 水量沙量双累积分析

一般情况下,河流内的径流量和输沙量为显著的正相关关系,在径流量和输沙量双累积关系曲线上表现为直线,若累积水沙关系在长时段中出现了明显的转折,说明水沙发生了趋势性变化<sup>[20]</sup>。若曲线向径流量轴偏转,说明输沙量在减小。花园口站输沙量发生了趋势性减少变化(图 3),说明除径流量的变化对输沙量产生影响外,人类活动是花园口站输沙量变化趋势发生改变的主要原因。花园口站径流

- 输沙双累积曲线的两个转折点分别出现于 1959 年和 1999 年。据此将时间序列划分为 3 个阶段: 1950 - 1959 年; 1960 - 1999 年; 2000 - 2011 年。

图 3 中显示了 3 个阶段的线性拟合方程。各阶段线性拟合方程的斜率整体上表现为减小趋势, 前 2 个阶段曲线斜率变化相对平稳, 第 3 个阶段斜率明显降低, 说明人类活动对花园口水文站输沙量的影响在近十多年迅速增加。借助花园口站径流 - 输沙双累积曲线, 对 2000 - 2011 年的累积输沙量的变化进行估算, 以求得近期的减沙量, 这一变化量实际上为转折点以后时段拟合直线到转折点以前时段拟合直线的累积偏离量, 具体计算方法见参考文献 [21]。将 2011 年花园口站累计径流值 ( $23275.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ ) 代入  $y = 0.0252x + 24.883$  得到 2000 - 2011 年只有降雨影响时 2011 年花园口站的累积输沙量为  $611.418 \times 10^8 \text{ t}$ 。将 2011 年花园口站累积径流值 ( $23275.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ ) 代入  $y = 0.0042x + 452.06$  得到 2000 - 2011 自然因素和人类因素共同作用下 2011 年花园口站的累积输沙量为  $549.816 \times 10^8 \text{ t}$ 。二者之差为  $61.602 \times 10^8 \text{ t}$ , 即 2000 - 2011 年无降水影响时花园口站的累积减沙量约为  $61.602 \times 10^8 \text{ t}$ 。

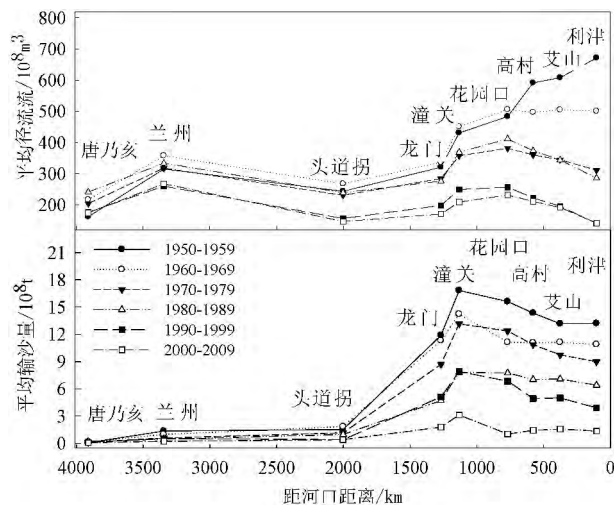


图 2 黄河干流主要控制水文站不同年代多年平均径流量和输沙量沿程变化

Fig. 2 Variation of the runoff and sediment discharge at the main hydrologic stations in the Yellow River during different decades

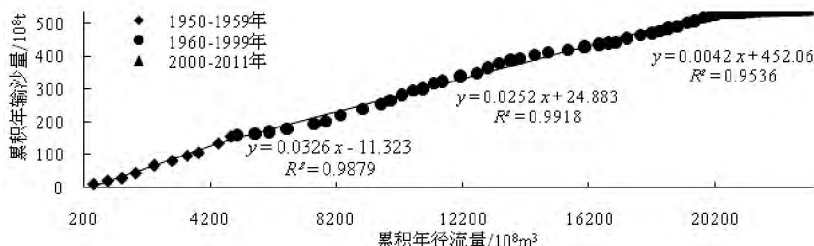


图 3 花园口站径流 - 输沙双累积曲线

Fig. 3 Double mass curve between runoff and sediment discharge at the Huayankou station

### 3.2.2 不同年代水沙相关分析

黄河流域水沙关系具有明显的正相关性<sup>[22]</sup>。文中采用一次函数简化水沙关系。黄河干流各站不同年代径流量和输沙量相关特征如表 3 所示。

对 1950 - 2011 年兰州、龙门、花园口和利津 4 站的年径流量和年输沙量序列进行相关分析, 借助相关系数来表明两变量间的密切程度。4 站年径流量和年输沙量的相关系数分别为 0.512、0.658、0.662 和 0.664, 且 4 站的水沙关系显著相关 ( $|r| \in (0.4, 0.7)$ , 称为显著相关), 说明黄河干流径流量和输沙量年际变化过程起伏相关性密切。

不同年代兰州、龙门、花园口和利津 4 站年径流量和年输沙量的关联度有较大差异, 具体表现为: 兰州站在 20 世纪 70 年代、80 年代以及 21 世纪水沙几乎不相关, 而其余年代表现为显著相关; 龙门站在 20 世纪 50 年代、70 年代、80 年代水沙几乎不相关, 其余年代表现为显著相关; 花园口站在 20 世纪 70 年代、21 世纪初水沙几乎不相关, 其余年代表现为显著相关; 利津站只在 20 世纪 50 年代水沙不相关, 其余年代均表现为显著相关。

表3 黄河干流主要控制站历年径流量与输沙量关系特征

Table 3 Relationship between runoff and sediment discharge at the main hydrologic station in the Yellow River during different decades

项目	Pearson 相关分析		一元线性回归 ( $S$ 为年输沙量/ $10^8$ t, $R$ 为年径流量/ $10^8$ m <sup>3</sup> )		
	相关系数	$P$ 值	回归方程	$r^2$	
兰州	1950 - 1959 年	0.479	0.161	$S = 0.0053R - 0.338$	0.230
	1960 - 1969 年	0.915	0.000	$S = 0.0083R - 2.000$	0.837
	1970 - 1979 年	-0.092	0.799	$S = 0.0004R + 0.7041$	0.009
	1980 - 1989 年	0.489	0.151	$S = 0.0015R - 0.0614$	0.239
	1990 - 1999 年	-0.163	0.653	$S = -0.0009R + 0.7438$	0.027
	2000 - 2009 年	-0.102	0.780	$S = -0.0002R + 0.2772$	0.010
龙门	1950 - 1959 年	0.299	0.401	$S = 0.0307R + 2.0465$	0.090
	1960 - 1969 年	0.778	0.008	$S = 0.0462R - 4.2218$	0.606
	1970 - 1979 年	-0.197	0.586	$S = -0.0127R + 12.284$	0.039
	1980 - 1989 年	0.239	0.506	$S = 0.0069R + 2.7933$	0.057
	1990 - 1999 年	0.549	0.100	$S = 0.0312R - 1.1006$	0.301
	2000 - 2009 年	-0.515	0.127	$S = -0.0216R + 5.4548$	0.266
花园口	1950 - 1959 年	0.606	0.063	$S = 0.0475R - 7.3476$	0.367
	1960 - 1969 年	0.546	0.102	$S = 0.0173R + 2.3639$	0.289
	1970 - 1979 年	0.270	0.450	$S = 0.013R + 7.4099$	0.073
	1980 - 1989 年	0.575	0.082	$S = 0.0167R + 0.868$	0.331
	1990 - 1999 年	0.532	0.113	$S = 0.021R + 1.4318$	0.283
	2000 - 2009 年	0.283	0.427	$S = 0.0038R + 0.1513$	0.080
利津	1950 - 1959 年	-0.046	0.899	$S = -0.005R + 13.528$	0.002
	1960 - 1969 年	0.812	0.004	$S = 0.022R - 0.1706$	0.659
	1970 - 1979 年	0.586	0.075	$S = 0.0182R + 3.3048$	0.343
	1980 - 1989 年	0.815	0.004	$S = 0.0228R - 0.125$	0.665
	1990 - 1999 年	0.784	0.007	$S = 0.0218R + 0.829$	0.614
	2000 - 2009 年	0.756	0.011	$S = 0.0122R - 0.3774$	0.571

### 3.2.3 黄河上、中、下游之间水沙关联性

黄河上中下游之间的径流量以及上中下游之间的输沙量都表现出显著正相关。不同年代黄河干流上、中、下游之间年径流量的相关特征以及年输沙量的相关特征如图4。

1950 - 2011 年兰州与龙门 2 站年径流量的相关系数为 0.904, 年输沙量的相关系数为 0.918, 均为显著相关。从图 4(a) 中趋势线的斜率可知, 2000 - 2009 年兰州站来水量对龙门站径流量的贡献同前 5 个阶段相比表现为下降趋势。由图 4(b) 可知, 兰州与龙门站年输沙量的关系较为散乱, 不同年代相同径流量条件下输沙量相差较大。

1950 - 2011 年龙门与花园口 2 站年径流量的相关系数为 0.769, 年输沙量的相关系数为 0.887, 均为显著相关。不同年代龙门与花园口 2 站年径流量的关联性、龙门与花园口 2 站年输沙量的关联性均较高。由图 4(d) 可知, 2000 - 2009 年龙门站来水量对花园口站输沙量的贡献率是 6 个阶段中最低的。

1950 - 2011 年花园口与利津 2 站年径流量的相关系数为 0.725, 年输沙量的相关系数为 0.917, 均为显著相关。由图 4(e)、4(f) 可知, 2000 - 2009 年花园口站来水来沙量对利津站径流量和输沙量的贡献率在整个时间序列中是最低的。

## 4 结论

唐乃亥站年径流量和年输沙量无长期变化趋势, 黄河干流自兰州以下各站年径流量和年输沙量随时间表现为显著下降趋势。黄河干流主要控制水文站多年平均径流量、多年平均输沙量表现为逐阶段下降趋势。

采用径流量 - 输沙量双累积曲线法对花园口站实测水沙资料进行分析, 得知 2000 - 2011 年无降水影响时的累积减沙量为  $61.602 \times 10^8$ t。黄河干流径流量和输沙量年际变化过程起伏相关性密切, 沿程

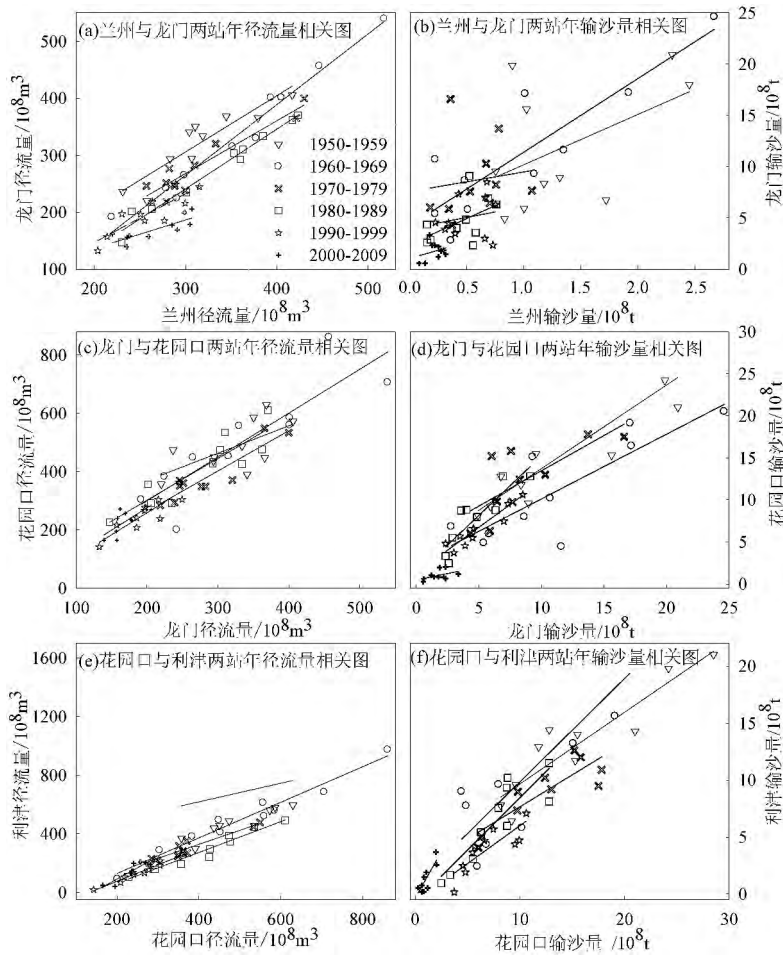


图4 黄河干流各站不同年代径流量及输沙量相关图

Fig. 4 Relationship between runoff and sediment discharge

at the main hydrologic station in the Yellow River during different decades

各站相关系数  $r \in (0.512, 0.664)$  ,但各站径流量和输沙量关联度的大小在不同年代有较大差异。黄河上中下游之间径流量呈现显著正相关,相关系数  $r \in (0.725, 0.904)$  ;上中下游之间输沙量也表现出显著正相关,相关系数  $r \in (0.887, 0.918)$  。不同年代中游来水来沙量对下游径流量和输沙量的贡献率存在较大差异,在2000-2009年达到最小值。

#### 参考文献:

- [1] 任宗萍,张光辉,杨勤科. 近50年延河流域水沙变化特征及其原因分析[J]. 水文, 2012, 32(5): 81-86.
- [2] 许全喜,童辉. 近50年来长江水沙变化规律研究[J]. 水文, 2012, 32(5): 38-48.
- [3] 管华. 秦岭-黄淮平原交接带河流泥沙关系分析[J]. 山地学报, 1999, 17(2): 110-114.
- [4] 张晓华,苏晓慧,郑艳爽,等. 黄河上游沙漠宽谷河段近期水沙变化特点及趋势[J]. 泥沙研究, 2013(2): 44-51.
- [5] 许炯心. 黄河中游多沙粗沙区1997-2007年的水沙变化趋势及其成因[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 1-7.
- [6] 冯普林,梁志勇,黄金池,等. 黄河下游河槽形态演变与水沙关系研究[J]. 泥沙研究, 2005(2): 66-74.
- [7] 尹学良,陈金荣,刘峡. 黄河下游河床演变三大基本问题的研究[J]. 水利学报, 1998(11): 1-5.
- [8] 张林忠,江恩惠,赵连军,等. 高含沙洪水输水输沙特性及对河道的破坏作用与机理研究[J]. 泥沙研究, 1994(4): 39-43.
- [9] 胡春宏,陈建国,刘大滨,等. 水沙变异条件下黄河下游河道横断面形态特征研究[J]. 水利学报, 2006, 37(11): 1283-1289.
- [10] 王浩,贾仰文,王建华,等. 黄河流域水资源及其演变规律研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1-296.

- [11] 王建平. 黄河概说[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008: 1 – 170.
- [12] Feri C. , Schar C. Detection probability of trend in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region [J]. Journal of Climate ,2011( 14) : 1568 – 1584.
- [13] Bum D. H. , Burn M. A. , Hag E. Detection of hydrologic trends and variability [J]. Journal of Hydrology ,2002 255( 1 – 4) : 107 – 122
- [14] Zbigniew W. K. , Alice R. Detection trend and other changes in hydrological data [R]. WMO/TD-N0. 1013. Geneva , 2000.
- [15] Yue S. , Pilon P. , Cavadias G. Corrigendum to “Power of the Mann-Kendall and Spearman’s rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series” [J]. Journal of Hydrology ,2002 ,264( 1 – 4) : 254 – 271.
- [16] 饶素秋, 霍世青, 薛建国, 等. 黄河上中游水沙变化特点分析及未来发展趋势展望 [J]. 泥沙研究, 2001( 2) : 74 – 77.
- [17] 穆兴民, 张秀琴, 高鹏, 等. 双累积曲线方法理论及在水文气象领域应用中应注意的问题 [J]. 水文, 2010, 30( 4) : 47 – 51.
- [18] 董耀华, 惠晓晓, 蔺秋生. 长江干流河道水沙特性与变化趋势初步分析 [J]. 长江科学院院报, 2008 ,25( 2) : 16 – 20.
- [19] 贺莉, 王光谦, 李铁键. 黄河流域产水产沙系统的划分及中游重点区的编码 [J]. 泥沙研究, 2009 ( 2) : 39 – 45.
- [20] 朱红艳, 韩彩波, 贾志峰, 等. 泾河张家山水文站水沙特性分析及工程实例 [J]. 农业工程学报, 2012, 28( 19) : 48 – 55.
- [21] 许炯心. 长江上游干支流近期水沙变化及其与水库修建的关系 [J]. 山地学报, 2009 ,27( 4) : 385 – 393.
- [22] 高照良, 付艳玲, 张建军, 等. 近 50 年黄河中游流域水沙过程及对退耕的响应 [J]. 农业工程学报, 2013 29( 6) : 99 – 105.

## Relationship between runoff and sediment discharge in the main channel of Yellow River from 1950 to 2011

ZHAO Yu<sup>1</sup> , MU Xing-min<sup>1, 2</sup> , HE Yi<sup>3</sup> , JIANG Chong<sup>4</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation , China Academy of Science and Ministry of Water Resources , Yangling , Shannxi 712100 , china;

2. College of Resources and Environment , Northwest A&F University , Yangling , Shannxi 712100 , China;

3. College of Water Resource and Architectural Engineering , Northwest A&F University , Yangling , Shannxi 712100 , China;

4. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology , college of Global Change and Earth System Science , Beijing Normal University , Beijing 100875 , China)

**Abstract:** Variations of runoff and sediment discharge dependencies were analyzed based on the annual data of runoff and sediment discharge recorded at the main hydrologic stations in the Yellow River. The results show that the runoff and sediment discharge show a significant decreasing trend at main hydrological stations in Yellow River with the exception of the Tangnaihai station. The accumulation amount of sediment reduction is  $61.602 \times 10^8$  t from 2000 to 2011 , estimated by runoff-sediment double mass curve of Huayuankou station. There is a positive correlation between runoff and sediment discharge , with the correlation coefficients from 0.512 to 0.664. The correlation coefficient between runoff and sediment changes obviously in different decades. The runoff between the upper , middle and lower reaches of Yellow River have significantly positive correlation , and the correlation coefficient ranges from 0.725 to 0.904. Meanwhile the sediment discharge shows the similar variation characteristics , but the correlation coefficient ranges from 0.887 to 0.918. The proportion of runoff and sediment of the upstream to downstream have bigger difference between different decades , and the minimum value appeared during from 2000 to 2009.

**Key words:** runoff; sediment discharge; runoff-sediment relationship; double mass curve method; Yellow River mainstream