

Doi: 10.20062/j.cnki.CN 37-1453/N.2024.03.003

黄河下游水沙变化特征及影响因素分析

张瑶^a, 赵芬^b, 孟令霄^b, 高恒永^b, 丁雪迎^b, 侯琳琳^b, 崔步礼^b

(鲁东大学 a.水利工程学院; b.资源与环境工程学院, 山东 烟台 264039)

摘要: 黄河下游水沙演变剧烈,为探究黄河下游水沙变化新规律,揭示水沙变化新特征,并厘清影响水沙变化的主要因素,本研究基于黄河下游花园口、高村、艾山、利津4个水文站点的水沙数据资料,采用均值差异 t 检验和参数统计方法,分析了1951—2020年黄河下游70年间不同时间尺度下的水沙变化特征,探究了水沙演变的影响因素。结果表明:近70年黄河下游径流量和输沙量总体呈减少趋势,且两者突变时间不一致;径流量和输沙量代际间差异明显且呈波动下降趋势,同时,研究期内4个水文站的径流量与输沙量具有时空变化不同步性;流量和含沙量年内分配集中,自黄河调水调沙以来流量峰值出现的时间由原来8月份转为7月份,且不同时段流量和含沙量呈现阶段性变化特征;人类活动是影响黄河下游水沙演变的主导因素。

关键词: 径流量; 输沙量; 突变分析; 黄河下游

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2024)03-0210-08

河流是水文循环的重要途径,维持着物质循环与能量交换。水沙作为河流的重要组成部分,水沙演变关系到整个流域的经济社会发展。在人类活动以及全球气候变暖的影响下,众多河流的径流量和输沙量发生了显著变化,直接影响流域水资源的合理开发利用^[1-3]。黄河是我国含沙量最多的河流,具有水少沙多、水沙时空分布不均衡的特点,下游泥沙沉积造就河口三角洲。黄河下游人口稠密,经济发展主要集中在工农业上,作为重要的经济产区,用水量巨大。随着气候变暖和人类活动加剧,黄河下游水沙变化剧烈,加之国家重点加强黄河下游及河口综合治理和保护修复,因此认清黄河下游水沙变化规律具有重要意义。

目前对于黄河下游水沙变化的分析主要集中在趋势及突变分析上。Cui等^[4]分析了1950—2005年黄河下游水沙变化趋势和突变点,发现径流量和输沙量均呈减少趋势。李文文等^[5]研究了黄河下游水沙突变特征,得出黄河下游年来水流量和年输沙量一级突变点均为1985年,并认为气候变化及龙羊峡等水利工程建设运行是造成突变的主因。潘彬等^[6]运用Mann-Kendall趋势和突变检验法探讨了黄河下游近50年径流量变化规

律,表明径流量减少趋势显著且具有明显阶段性。张旭东等^[7]研究了黄河下游水沙变化特点,结果表明黄河下游各水文站的年水沙量总体呈下降趋势,且水沙在年内和年际之间分布不均。

综上,针对黄河下游水沙变化特征的研究多集中在长时间序列的趋势性和突变性上,很少有研究水沙不同时间尺度下的变化规律。因此,本研究以黄河下游为研究区,基于1951—2020年黄河下游花园口、高村、艾山和利津4个水文站水沙数据,运用均值差异 t 检验和参数统计方法,系统分析多时间尺度下黄河下游水沙变化规律,并探究影响水沙演变的主要因素,以为黄河下游水资源管理调度和水沙调控提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究选取黄河下游花园口、高村、艾山、利津4个代表水文站为研究区域(图1)。1951—2020年流量数据来自于黄河网(<http://www.yrcc.gov.cn/zwzc/gzgb/>),泥沙数据来自于中国河流泥

收稿日期: 2023-10-12; 修回日期: 2024-01-24

基金项目: 国家自然科学基金(42201046, 4220012113)

通信作者简介: 赵芬(1990—),女,讲师,博士,研究方向为水文水资源和流域生态。E-mail: zhaof@ldu.edu.cn

崔步礼(1981—),男,教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为水文水资源。E-mail: cuibuli@163.com

沙公报(<http://xxzx.mwr.gov.cn/xxgk/gbjb/zghlns-gb/>)。

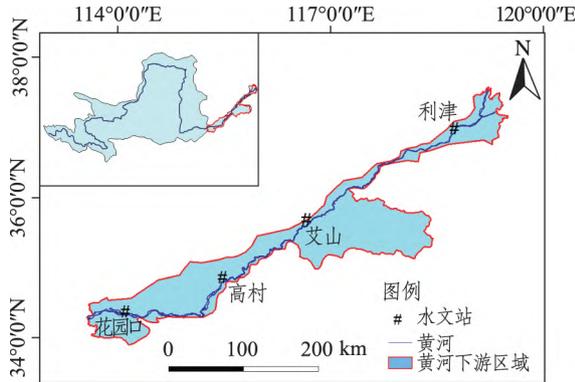


图1 研究区域示意图

Fig.1 Schematic diagram of the research area

1.2 研究方法

1.2.1 均值差异法

由于 Mann-Kendall 非参数检验法存在一定不确定性,因此运用均值差异 t 检验对 Mann-Kendall 检验中可能存在的突变点进行进一步检验,保证突变点的可信性。关于均值差异 t 检验的具体计算公式如下:

$$I_{AI} = \frac{X_{1p} - X_{2p}}{s_1 + s_2},$$

$$t = \frac{X_{1p} - X_{2p}}{s_p(1/M_1 + 1/M_2)^{1/2}},$$

$$s_p^2 = \frac{(M_1 - 1)s_1^2 + (M_2 - 1)s_2^2}{M_1 + M_2 - 2},$$

式中: X_{1p} 、 X_{2p} 分别为基准期前后样本的均值; s_1 、 s_2 分别为基准期前后样本的标准差; M_1 、 M_2 分别为基准期前后两个样本的时间序列长度。 I_{AI} 定义为样本序列的突变指数, s_p 为联合样本方差,统计量 t 服从 t 分布,其自由度为 $M_1 + M_2 - 2$ 。在给定显著性水平 α 下,使得 $t < t_\alpha$,参考总量两侧 M_1 和 M_2 的均值存在明显差异,即表明在参考点处发生突变。

1.2.2 参数统计方法

1) 极值比

极值比 ρ 是长时间尺度数据中最大值与最小值的比值,能够反映数据在长时间尺度上的变化幅度。其公式如下:

$$\rho = \frac{x_{\max}}{x_{\min}},$$

式中, x_{\max} 和 x_{\min} 分别为数据中的最大观测值和最小观测值。 $\rho \geq 1$,其值越大,数据变化幅度越大;反之,变化幅度则越小。

2) 变差系数

变差系数 C_v 能够反映长时间数据的年际变化,即数据的离散程度,其公式如下:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}},$$

式中, S 为标准差, \bar{x} 为平均数。变差系数 C_v 的值越接近于 1,表明数据离散程度越大,数据变化越强烈。

2 结果分析

2.1 黄河下游水沙年际变化趋势及突变特征

黄河下游四站点的水沙总体变化趋势如图 2 所示。由图 2 可以看出:年输沙量和年径流量整体呈下降趋势,近年来径流量和输沙量有所回升;同时,下游 4 个水文站点的变化趋势基本保持一致。2000 年以前花园口站输沙量明显高于其他三站点,2000 年以后黄河下游四站点年输沙量基本保持一致,这主要受小浪底水库拦水拦沙的影响(图 2(a))。1970 年以前下游四站点径流量波动显著,且 4 个水文站年均径流量基本相同;1970 年以后四站点年径流量呈小幅波动下降趋势,同时从同一年份的垂直水平来看,四站点年径流量沿高程逐渐递减(图 2(b))。

本研究选用显著性水平 $\alpha = 0.01$,临界值 $t_\alpha = 2.704$ 。按照均值差异 t 检验对 $M-K$ 突变结果的验证(表 1),可知在 1951—2020 年研究时段内,花园口、高村、艾山、利津四站点年径流量的突变年份分别为:1978、1977、1976、1976 年,四站点年输沙量的突变年份分别为:1995、1992、1992、1989 年。各站径流量和年输沙量的统计量均大于其临界值 2.704(表 1),表明各站点在对应年份发生突变可信;同时,花园口、高村、艾山、利津 4 个水文站点在其所对应的径流量突变年份处检测的突变指数均大于 0.6,下游四站点输沙量在其突变年份处检测的突变指数均大于 1,表明各站在对应时间发生突变的可信度很高。

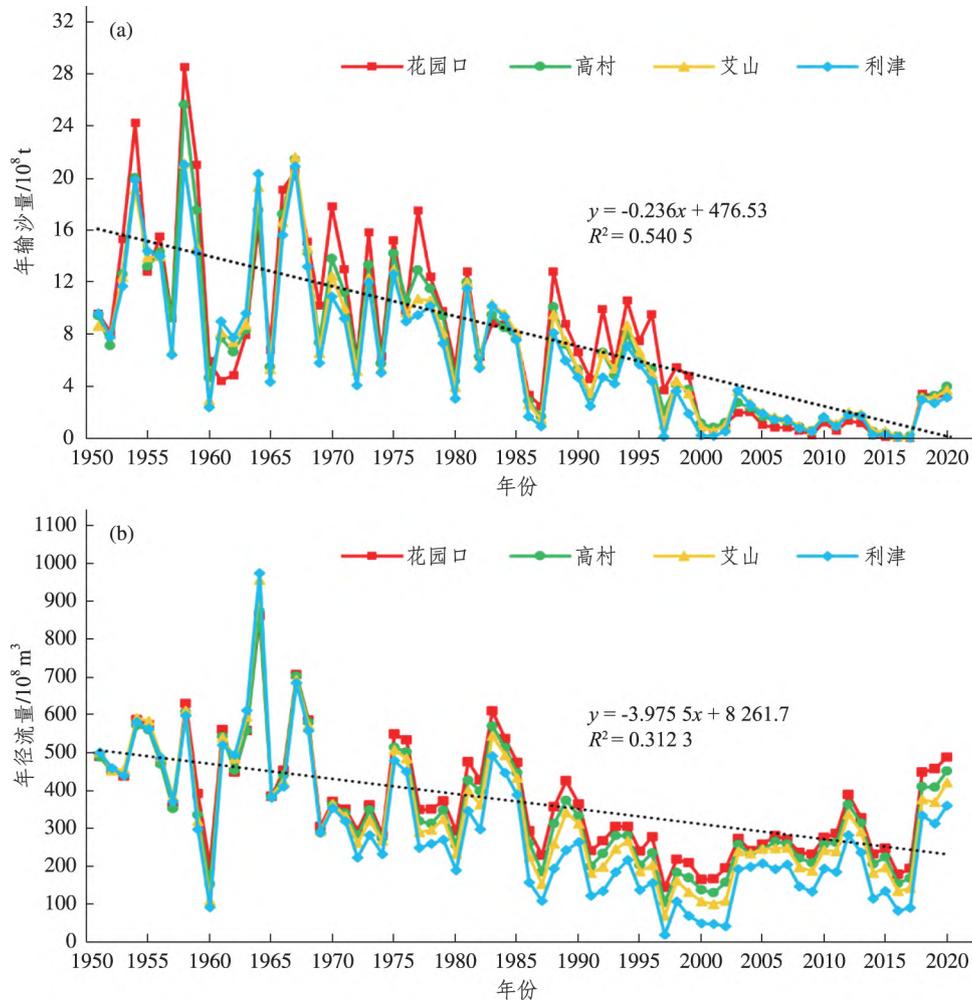


图 2 黄河下游四站点年径流量和年输沙量变化趋势

Fig.2 Trends in annual runoff and annual sediment transport at four sites on the downstream of the Yellow River

表 1 黄河下游四站点年径流量和年输沙量突变分析结果

Tab.1 Analysis results of sudden changes in annual runoff and sediment transport at four stations in the downstream of the Yellow River

水文站	径流量				输沙量			
	样本数	t 值	I_{AI}	突变年份	样本数	t 值	I_{AI}	突变年份
花园口	27	5.23	0.63	1978	44	7.64	1.12	1995
高村	26	5.87	0.70	1977	41	7.77	1.09	1992
艾山	25	6.06	0.73	1976	41	7.52	1.04	1992
利津	25	7.07	0.84	1976	38	7.95	1.08	1989

2.2 黄河下游水沙代际间变化特征

黄河下游不同年代不同站点水文要素特征值见表 2 和表 3。下游四站点代际间径流量和输沙量差异显著,径流量最大值出现在 20 世纪 60 年代,其值为 $973.1 \times 10^8 \text{ m}^3$,最小值出现在 20 世纪末,仅为 $18.61 \times 10^8 \text{ m}^3$,极值比可达 52.3;输沙量最大值出现在 20 世纪 50 年代,其值为 $28.5 \times 10^8 \text{ t}$,同时在 21 世纪初急剧下降,在 21 世纪 10 年代出现

最小值,仅为 $0.058 \times 10^8 \text{ t}$,极值比高达 491.4。花园口、高村、艾山三站点径流量的极值比和变差系数的最大值均出现在 20 世纪 60 年代,最大变差系数为 0.43,说明这三站在 60 年代年际径流量变化波动更剧烈,而利津站则出现在 20 世纪 90 年代,最大变差系数为 0.48。输沙量的极值比和变差系数的最大值则出现在 21 世纪 10 年代,表明近年来随着人类活动的增强,输沙量变化愈来愈剧烈。在整个研究期内,四站点径流量变差系

数从小到大依次为:花园口、高村、艾山、利津,说明在研究期内沿高程四站点径流量变化越来越剧烈;而四站点输沙量变差系数的大小关系则与径

流量变差系数的大小关系相反,说明径流量和输沙量具有时空变化不同步性,这可能与黄河水沙异源特性有关。

表2 黄河下游四站点不同年代径流量变化特征

Tab.2 Characteristics of runoff changes in different ages at four sites in the downstream of the Yellow River

时段	花园口			高村			艾山			利津		
	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数
1951—1959	629.8 (1958)	357.8 (1957)	0.18	606.5 (1958)	335.0 (1959)	0.19	611.5 (1958)	318.2 (1959)	0.19	596.7 (1958)	297.8 (1959)	0.20
1960—1969	861.1 (1964)	201.2 (1960)	0.36	872.9 (1964)	152.3 (1960)	0.39	956.1 (1964)	108.9 (1960)	0.43	973.1 (1964)	91.5 (1960)	0.45
1970—1979	549.1 (1975)	284 (1974)	0.22	513.6 (1975)	273.3 (1974)	0.22	507.5 (1975)	259.9 (1972)	0.24	478.1 (1975)	222.8 (1972)	0.27
1980—1989	610 (1983)	228 (1987)	0.28	569.6 (1983)	185.0 (1987)	0.31	544.0 (1983)	153.0 (1987)	0.35	491.0 (1983)	108 (1987)	0.43
1990—1999	364.8 (1990)	142.6 (1997)	0.23	332.5 (1990)	103.4 (1997)	0.28	313.0 (1990)	68.7 (1997)	0.34	264.3 (1990)	18.6 (1997)	0.48
2000—2009	281.1 (2006)	165.3 (2000)	0.17	265.9 (2006)	129.5 (2001)	0.23	248.7 (2007)	99.8 (2001)	0.31	206.8 (2005)	41.9 (2002)	0.47
2010—2020	486.1 (2020)	178.2 (2016)	0.33	448.5 (2020)	154.8 (2016)	0.33	417.3 (2020)	131.9 (2016)	0.36	359.4 (2020)	81.0 (2016)	0.45
多年平均	861.1 (1964)	142.6 (1997)	0.39	872.9 (1964)	103.4 (1997)	0.43	956.1 (1964)	68.7 (1997)	0.50	973.1 (1964)	18.6 (1997)	0.62

表3 黄河下游四站点不同年代输沙量变化特征

Tab.3 Characteristics of sediment transport changes in different ages at four sites in the downstream of the Yellow River

时段	花园口			高村			艾山			利津		
	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数	最大值 /10 ⁸ m ³ (年份)	最小值 /10 ⁸ m ³ (年份)	变差 系数
1951—1959	28.50 (1958)	8.15 (1952)	0.42	25.60 (1958)	7.13 (1952)	0.39	21.10 (1958)	6.67 (1957)	0.35	21.00 (1958)	6.43 (1957)	0.35
1960—1969	20.50 (1967)	4.43 (1961)	0.52	21.40 (1967)	4.65 (1960)	0.51	21.60 (1967)	2.94 (1960)	0.55	20.90 (1967)	2.42 (1960)	0.56
1970—1979	17.80 (1970)	6.04 (1972)	0.33	14.20 (1975)	5.78 (1974)	0.27	12.90 (1975)	5.18 (1972)	0.27	12.60 (1975)	4.08 (1972)	0.29
1980—1989	12.80 (1981)	2.48 (1987)	0.43	12.00 (1981)	1.69 (1987)	0.44	12.00 (1981)	1.47 (1987)	0.47	11.50 (1981)	0.96 (1987)	0.54
1990—1999	10.60 (1994)	3.72 (1997)	0.34	8.01 (1994)	2.07 (1997)	0.33	8.67 (1994)	1.09 (1997)	0.40	7.08 (1994)	0.16 (1997)	0.48
2000—2009	2.04 (2004)	0.27 (2009)	0.53	2.75 (2003)	0.61 (2009)	0.45	3.63 (2003)	0.60 (2001)	0.59	3.70 (2003)	0.20 (2001)	0.80
2010—2020	3.44 (2018)	0.06 (2016)	0.95	4.01 (2020)	0.18 (2016)	0.79	3.72 (2020)	0.20 (2016)	0.72	3.14 (2020)	0.08 (2017)	0.78
多年平均	28.50 (1958)	0.06 (2016)	0.83	25.60 (1958)	0.18 (2016)	0.80	21.60 (1967)	0.20 (2016)	0.78	20.90 (1967)	0.08 (2017)	0.85

2.3 黄河下游水沙年内变化特征

1951—2020年黄河下游流量和含沙量年内分配特征如图3和图4。黄河下游在1951—2000

年间月均流量从7月份开始上升,8月份流量达到峰值,最大流量可达 $3899 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,说明黄河下游径流量主要来源于7—10月份,流量过程主要集中在下半年;黄河调水调沙以来月均流量于

7月份达到峰值,最大流量为 $1511 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,远小于1951—2000年间的峰值流量,这与水库运行后的削峰作用有关。不同时段流量差别显著,1951—1959年时段的7—12月份流量明显高于其他时段,且不同时段流量随年份的增加而不断减少;不同时段的1—6月份径流量趋于平缓,且沿高程出现差别显著现象。研究时段内黄河下游含沙量分配较为集中,表现为含沙量从7月份明

显增加,8月份达到最大值,来沙量主要集中在7—10月份,与径流量来源时间一致,说明黄河中游泥沙随径流输送到下游。同时可以看出含沙量呈明显阶段变化特征,20世纪50年代受人类活动影响小,且黄河中游暴雨频发,使得水流裹挟大量泥沙涌入下游,含沙量峰值可达 $61.63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$;随着黄河中游水土保持工程的开展以及水利工程建设,下游含沙量明显减少,含沙量峰值为 $43.49 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

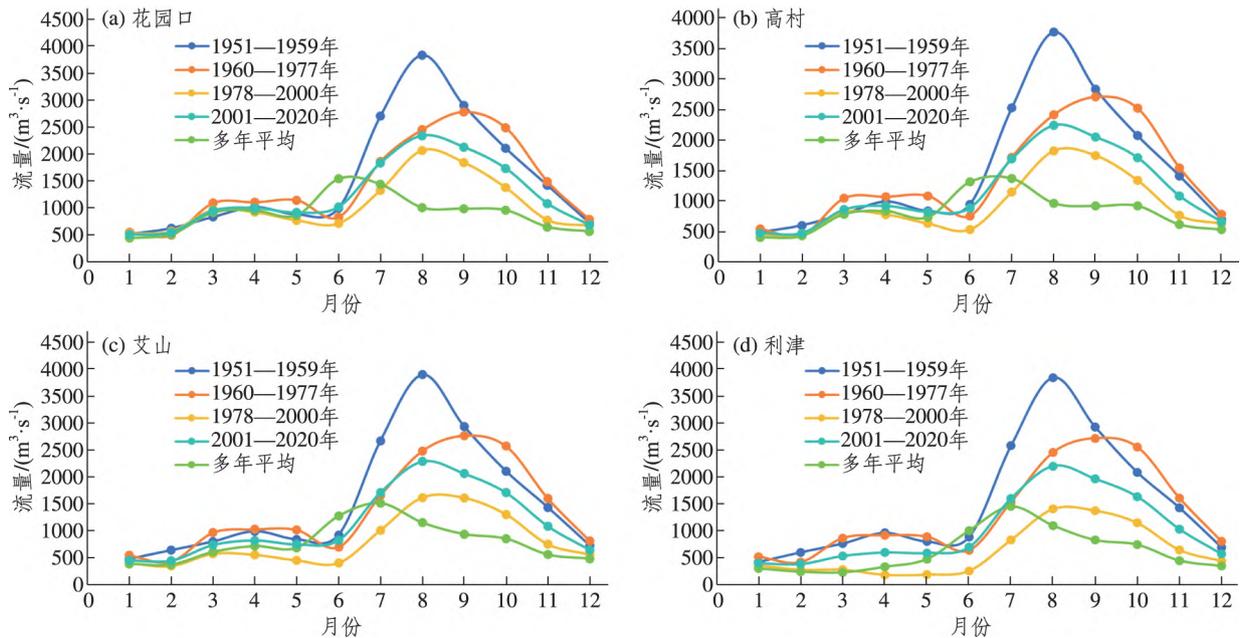


图3 黄河下游四站点径流年内变化

Fig.3 Intra-annual variation of runoff at four stations of the downstream of the Yellow River

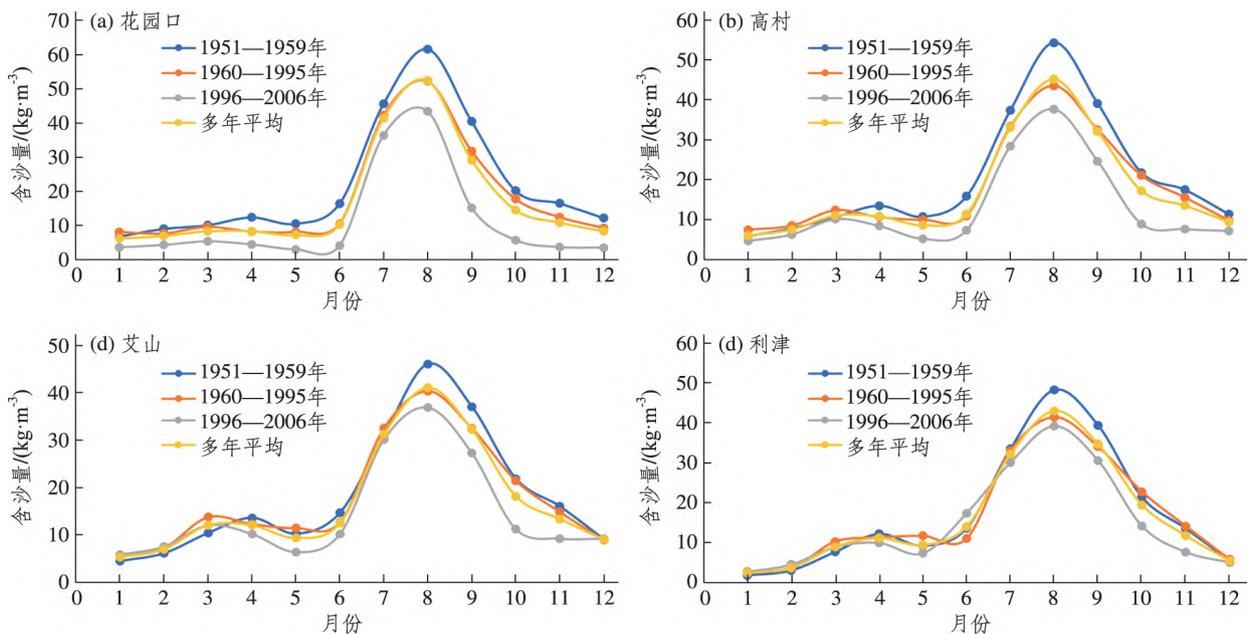


图4 黄河下游四站点含沙量年内变化

Fig.4 Intra-annual variation of sediment content at four stations of the downstream of the Yellow River

3 讨论

3.1 黄河下游水沙突变的不确定性

本研究所得黄河下游花园口、高村、艾山和利津4个水文站的径流量突变年份分别为1978、1977、1976、1976年,与潘彬等^[6]所得黄河下游径流量突变年份为1979年的结果相近。Zhong等^[8]采用Mann-Kendall检验和Pettitt检验得到1967—2017年间花园口站径流量突变年份分别为1985年和1990年,与李勃等^[9]所得1956—2017年间的检测结果一致。流域输沙量的突变年份会因研究重点和研究时段的不同而有所差异,而径流量和输沙量突变年份不同可能与黄河中游生态恢复出现的滞后效应相关^[10]。对于同一时间序列采用不同方法检验的结果不同,与所选用方法的原理、假设条件和序列自身的分布特点等有关;Mann-Kendall检验法对时间序列长度相对敏感,因此同一方法对不同时间序列长度的突变点检验会有所“漂移”。检测水文气象序列突变点的方法多种多样,但无论是参数性检验还是非参数性检验,均受到方法原理、假设检验条件、参数统计意义和序列长度优势等方面的限制,使得目前为止还未有比较公认的、有效的分析方法。综上,针对不同方法对不同研究时段水沙突变点检验所得不同结果,只要对突变现象加以综合分析和科学判断均有价值^[11-12]。

3.2 黄河下游水沙变化驱动因素分析

气候变化和人类活动是影响黄河下游水沙变化的因素,其中人类活动是主导因素,分析两者变化对黄河下游水沙变化的影响具有重要意义。

气候变化主要包括气温、降水以及蒸散发变化等。根据IPCC报告以及国内外学者的研究,全球气候变暖已成为不争的事实^[13-15]。近年来黄河源区受气候变化影响,径流呈现减少趋势,使得黄河下游来水量减少^[16-17]。中游作为重要产沙源头区,据统计,20世纪80年代后河口—龙门区间降水强度、降水日数以及降水量等均较80年代以前有所减少,使得中游水土流失减少,下游来沙量减少,进而使得黄河下游输沙量在80年代末、90年代初发生突变^[18-19]。

人类活动作为影响黄河下游水沙变化的主导

因素,主要包括引黄耗水、水土保持活动和水利工程建设。随着人口增长、工农业以及经济社会的发展,对水资源的需求量不断增加,与20世纪60年代相比,进入21世纪后,黄河上游耗水量增加31.45%;同时中游用水量也大幅增加,其中农业用水占总用水的58.53%~79.21%^[20],由此造成下游来水量减少,再加上下游本身耗水量增加,导致下游径流量减小。20世纪70年代,流域内进行了大规模的水土保持活动,导致黄土高原处入黄泥沙大量减少;70年代末明确加强黄河中上游蓄水拦沙的坝库工程建设作为减少入黄河泥沙的关键方法,使得黄河下游径流量发生突变。黄河流域自1961年以来沿干流修建了盐锅峡(1958—1970年)、青铜峡(1958—1978年)、刘家峡(1958—1974年底)、龙羊峡(1979—1986年)、李家峡(1988—1996年)、小浪底工程(1994—2001年)等一系列水利工程,造成黄河下游来水来沙条件发生大幅度改变,上游刘家峡水库的应用使汛期水量较之前减少了54%,这也是下游径流量产生突变的重要原因;在李家峡水库以及小浪底水利枢纽工程的共同作用下,下游输沙量急剧减小,造成下游输沙量发生突变^[21-22]。综上,黄河下游水沙变化是气候变化和人类活动相互作用、相互叠加作用的结果。

4 结论

在气候变暖和人类活动加剧的大背景下,黄河下游径流量和输沙量发生剧烈变化,本研究分析了黄河下游花园口、高村、艾山、利津4个水文站1951—2020年水沙数据资料,探究了径流量与输沙量变化的新特征、新规律,厘清了水沙演变的影响因素,得出以下结论。

1) 黄河下游径流量和输沙量整体呈下降趋势,年输沙量减少幅度高于年径流量;将Mann-Kendall检验法与均值差异法结果综合分析,得出下游4个水文站径流量的突变年份分别为:1978、1977、1976、1976年,输沙量的突变年份分别为:1995、1992、1992、1989年,两者突变年份不一致,这可能与黄河水沙异源特性有关。

2) 黄河下游水沙代际间差异明显且呈逐阶段波动下降趋势,径流量在利津站变化最为剧烈,输沙量在花园口站变化最为剧烈,并且研究期内4个水文站的径流量与输沙量具有时空变化不同

步性。

3) 黄河下游流量和含沙量年内分配主要集中在7—10月份,自黄河调水调沙以来流量峰值出现时间由原来的8月份转为7月份,且不同时段流量和含沙量差异明显,呈现阶段性变化特征。

4) 气候变化和人类活动是黄河下游水沙变化的影响因素,人类活动是影响黄河下游水沙演变的主导因素,主要包括引黄耗水、水土保持活动和水利工程建设。

参考文献:

- [1] ALEXIADIS A. Global warming and human activity: a model for studying the potential instability of the carbon dioxide/temperature feedback mechanism [J]. *Ecological Modeling* 2007, 203(3/4): 243-256.
- [2] LAGHARI A N, VANHAM D, RAUCH W. The Indus basin in the framework of current and future water resources management [J]. *Hydrology and Earth System Sciences* 2012, 16(4): 1063-1083.
- [3] MI L N, XIAO H L, ZHANG J M, et al. Evolution of the groundwater system under the impacts of human activities in middle reaches of Heihe River Basin (Northwest China) from 1985 to 2013 [J]. *Hydrogeology Journal* 2016, 24(4): 971-986.
- [4] CUI B L, CHANG X L, SHI W Y. Abrupt changes of runoff and sediment load in the lower reaches of the Yellow River, China [J]. *Water Resources*, 2014, 41: 252-260.
- [5] 李文文, 傅旭东, 吴文强, 等. 黄河下游水沙突变特征分析[J]. *水力发电学报*, 2014, 33(1): 108-113.
- [6] 潘彬, 韩美, 倪娟. 黄河下游近50年径流量变化特征及影响因素[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1): 122-127.
- [7] 张旭东, 欧祖贤, 牛智航. 黄河下游水沙变化特点[J]. *水资源开发与管理*, 2021(3): 20-24.
- [8] ZHONG D Y, DONG Z C, FU G B, et al. Trend and change points of streamflow in the Yellow River and their attributions [J]. *Journal of Water and Climate Change* 2021, 12(1): 136-151.
- [9] 李勃, 穆兴民, 高鹏, 等. 1956—2017年黄河干流径流量时空变化新特征[J]. *水土保持研究*, 2019, 26(6): 120-126.
- [10] ZHAO Q Q, WANG L, LIU H, et al. Runoff and sediment variation and attribution over 60 years in typical Loess Plateau basins [J]. *Journal of Soils and Sediments* 2019, 19(10): 3631-3647.
- [11] 张应华, 宋献方. 水文气象序列趋势分析与变异诊断的方法及其对比[J]. *干旱区地理*, 2015, 38(4): 652-665.
- [12] 张媛, 李常斌, 王刘明, 等. 几种河川径流序列突变检验方法的对比[J]. *水利水电技术*, 2020, 51(2): 38-47.
- [13] 丁相毅, 贾仰文, 王浩, 等. 气候变化对海河流域水资源的影响及其对策[J]. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 604-613.
- [14] 秦大河, THOMAS S. IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. *气候变化研究进展*, 2014(1): 1-6.
- [15] 苏勃, 高学杰, 效存德. IPCC《全球1.5℃增暖特别报告》冰冻圈变化及其影响解读[J]. *气候变化研究进展*, 2019, 15(4): 395-404.
- [16] 刘昌明, 王恺文, 王冠, 等. 1956—2016年黄河流域径流及其影响因素的变化分析[J]. *人民黄河*, 2022, 44(9): 1-5.
- [17] 张建云, 章四龙, 王金星, 等. 近50年来中国六大流域年际径流变化趋势研究[J]. *水科学进展*, 2007, 18(2): 230-234.
- [18] 史辅成, 张冉. 近期黄河水沙量锐减的原因分析及认识[J]. *人民黄河*, 2013, 35(7): 1-3.
- [19] 翟秋敏, 宁玉鑫, 刘帅. 黄河中下游泥沙变化及其影响分析[J]. *河南科技*, 2020(16): 78-80.
- [20] LIU W, SHI C X, ZHOU Y Y. Trends and attribution of runoff changes in the upper and middle reaches of the Yellow River in China [J]. *Journal of Hydro-Environment Research* 2021, 37: 57-66.
- [21] SHI H L, HU C H, WANG Y G, et al. Analyses of trends and causes for variations in runoff and sediment load of the Yellow River [J]. *International Journal of Sediment Research* 2017, 32(2): 171-179.
- [22] 王鸿翔, 刘静航, 赵颖异, 等. 黄河下游水沙变化与归因分析[J]. *人民黄河*, 2021, 43(4): 24-29.

Characteristics and Impact Factors Analysis of Water and Sediment Changes in the Downstream of the Yellow River

ZHANG Yao^a, ZHAO Fen^b, MENG Lingxiao^b, GAO Hengyong^b, DING Xueying^b, HOU Linlin^b, CUI Buli^b

(a.School of Hydraulic Engineering; b.School of Resources and Environmental Engineering ,Ludong University ,Yantai 264039 ,China)

Abstract: The water and sediment evolution in the downstream of the Yellow River is severe. To explore the law of water and sediment changes in the downstream of the Yellow River and clarify the main factors affecting water and sediment changes, this study is based on water and sediment data from four hydrological stations in the downstream of the Yellow River, including Huayuankou, Gaocun, Aishan, and Lijin. Using mean difference t -test and parameter statistics methods, the characteristics of water and sediment changes in the downstream of the Yellow River at different time scales from 1951 to 2020 were analyzed, and the influencing factors of water and sediment evolution were explored. The results show that, in the past 70 years, the runoff and sediment transport in the downstream of the Yellow River have generally shown a decreasing trend, and the time of their sudden changes is not consistent. There are significant intergenerational differences in runoff and sediment content, and they show a decreasing trend with intergenerational fluctuations; at the same time, the runoff and sediment transport of the four hydrological stations during the study period showed spatiotemporal asynchrony in their changes. The distribution of flow and sediment concentration is concentrated within the year, since the Yellow River water and sediment regulation, the peak flow has shifted from August to July, and the flow and sediment concentration show phased changes in different periods. Human activities are the dominant factor affecting the evolution of water and sediment in the downstream of the Yellow River.

Keywords: runoff; sediment transport; mutation analysis; the downstream of the Yellow River

(责任编辑 李维卫)

版权声明

根据《中华人民共和国著作权法》《信息网络传播权保护条例》等法律法规的规定,本刊作如下声明。

1. 作者向本刊投稿,即表明同意将作品的发表权、删改权、信息网络传播权、数字化汇编权、数字化复制权、数字化制品形式(包括光盘、互联网出版物)出版发行权等权利授予本刊,并视同许可本刊官方新媒体免费转载以及与有关数据库的合作(本刊不再另行支付费用)。如不同意以上授权,请在投稿时说明。

2. 本刊刊载的全部编辑内容归《鲁东大学学报(自然科学版)》编辑部所有,非经书面同意,任何单位和个人不得转载、摘编、刊印或以其他方式使用。如有违反,本刊保留一切法律追究的权利。

3. 本刊版面、栏目等受著作权保护,对复制、仿制、假冒者将追究法律责任。

4. 已在本刊发表的论文,本刊具有无偿结集出版精华本、合订本以及相关电子产品的权利,有特别声明者除外。

《鲁东大学学报(自然科学版)》编辑部