

近60年来汾河入黄河水沙演变特征及驱动因素

刘宇峰¹, 孙虎¹, 原志华²

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062 2. 陕西国际商贸学院, 陕西 咸阳 712046)

摘要: 基于汾河河津站 1950~2005年的实测径流和输沙数据, 采用 Mann-Kendall 检验等多种统计方法分析了汾河入黄河的水沙演变特征及驱动因素。结果表明: 入黄河水沙量年际波动较大, 呈明显减少趋势, 且输沙减少的趋势性要强于径流; 径流与输沙发生重要突变的时间都是 1980年, 说明径流量的减少在一定程度上直接影响着输沙量的变化。降水量的减少是径流减少的重要原因, 但二者的变化并不是完全一致的, 20世纪60年代以来尤其是1980年以后, 降水对径流的影响有所减弱, 在其他自然条件(如蒸发)相对不变的情况下, 人类活动是径流减少的主要驱动因素。根据理论分析, 受人类活动的影响, 1961~1980年的累积减沙量为 $108\ 610 \times 10^4\ \text{t}$, 平均每年减少 $5\ 430.50 \times 10^4\ \text{t}$, 1981~2005年的累积减沙量为 $93\ 324 \times 10^4\ \text{t}$, 平均每年减少 $3\ 732.96 \times 10^4\ \text{t}$ 。

关键词: Mann-Kendall 检验; 双累积曲线; 水沙变化; 影响因素; 汾河

中图分类号: P931.1; P941.77

文献标识码: A

河流系统是一个受气候变化和人类活动等因素共同作用的动态系统, 而水沙变化则是最为活跃的部分^[1~4]。河流水沙变化对流域地貌的演变、海洋海岸生态系统及全球生物地球化学循环都有重要影响。黄河是世界上最著名的多沙河流, 据 1919~1960年资料统计, 黄河年均入海泥沙量约为 $12 \times 10^8\ \text{t}$ ^[1]。汾河是黄河流域内仅次于渭河的第二大支流, 汾河入黄河水沙通量对黄河的水沙变化起着重要作用。掌握汾河入黄河水沙通量变化特征不仅对流域管理及汾河整治具有指导意义, 而且有助于水资源的合理开发利用。本文利用汾河干流站河津入黄河控制站长时段的径流与输沙数据, 采用 Mann-Kendall 检验等统计方法, 研究了近60年来汾河入黄河的水沙演变特征及其驱动因素。

1 区域概况及资料来源

汾河是山西省境内最大的河流, 发源于宁武县

管涔山的雷鸣寺泉, 纵贯山西省境中部, 流经宁武、太原、平遥、临汾、河津等20多个县市, 然后经河津汇入黄河(图1)。流域控制面积 $39\ 471\ \text{km}^2$, 干流总长 $694\ \text{km}$ 。河津站为汾河入黄河水文控制站, 流域控制面积 $38\ 728\ \text{km}^2$ 。

本文选取河津水文站 1950~2005年的径流量和输沙量数据进行分析, 数据来源于山西省水文水资源勘测局和山西省气象局, 为河津站实测水沙数据。需要说明的是, 由于推移质泥沙资料缺乏, 本文输沙量指悬移质输沙量, 为流域出口控制站的输沙量。

2 研究方法

本研究采用世界气象组织推荐并已广泛使用的非参数 Mann-Kendall 法(下文简称 M-K 法)来检测汾河入黄的水沙变化趋势, 原理如下^[2,3]:

M-K 法以时间序列平稳为前提, 且时间序列是随机独立的, 其概率分布等同。设定原假设 H_0 :

收稿日期(Received date): 2010-03-04; 改回日期(Accepted): 2010-07-05.

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(40271037)。[Project(40271037) Supported by National Natural Science Foundation of China.]

作者简介(Biography): 刘宇峰(1981-)男(汉族), 山西忻州人, 博士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀与水土保持。[Liu Yufeng(1981-), male, was born in Xinzhou, Shanxi. Ph.D student, mainly engaged in Soil Erosion, Water and Soil Conservation.] E-mail: yfliu518@163.com.

通讯作者, 孙虎(1962-)男, 教授, 博导。[Sun Hu(1962-), male, professor.] E-mail: kyc16@snnu.edu.cn

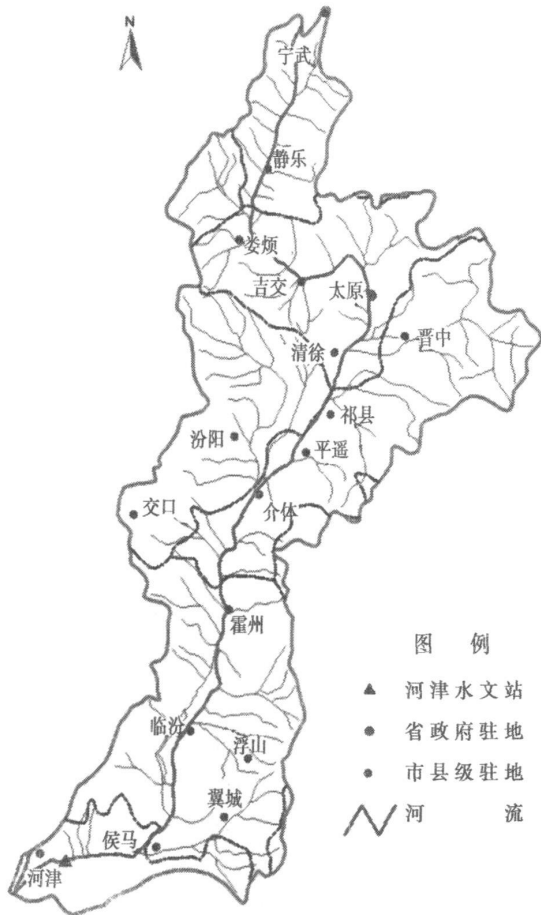


图 1 汾河流域示意图
Fig 1 Sketch map of Fenhe River Basin

在时间序列没有变化的情况下, 设此序列为 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ 用 m_k 表示第 k 个样本 x_k 大于 x_{k-1} 的累计数, 则可以定义一统计量: $d_k = \sum_{i=1}^k m_i$ ($2 \leq k \leq n$). 在原序列随机独立的假定下, d_k 的均值、方差分别为: $E[d_k] = k(k-1)/4$, $var[d_k] = k(k-1)(2k+5)/72$ ($2 \leq k \leq n$). 将 d_k 标准化, 得到标准变化量 U 则 $U = \frac{d_k - E[d_k]}{\sqrt{var[d_k]}}$ ($k=1, 2, 3 \dots n$), 这里当 $k \rightarrow \infty$ 时, U 收敛于标准正态分布。

原假设 H_0 无趋势, 采用双边趋势检验, 给定一定显著水平 α 在正态分布表中查得临界值 $U_{\alpha/2}$. 当 $|U| < U_{\alpha/2}$ 时, 接受原假设, 则趋势不显著; 当 $|U| > U_{\alpha/2}$ 时, 拒绝原假设, 即认为趋势显著, 且 U 值为正表明具有上升或增加趋势, U 值为负则意味着下降或者减少趋势。把此方法引到反序列中, 即按时间序列 $x_n, x_{n-1}, x_{n-2} \dots x_1$ 再重复上述过程, 同时使 $\bar{U} = -U$ ($k=n, n-1, \dots, 1$). U 和 \bar{U} 分

别构成曲线 ζ 和 ξ 两条曲线在时间序列的某一部分发生交叉, 交叉点便是突变点, 如果突变点位于给定置信度水平线之间, 则突变时间在统计意义上是显著的。

3 入黄河水沙变化特征

水沙变化的趋势性

图 2 描绘了汾河河津站 1950 ~ 2005 年的年径流量和年输沙量随时间的变化, 同时采用了 5 次多项式拟合, 基本揭示了其趋势变化。其中, 年径流量和年输沙量拟合曲线的相关系数平方值 R^2 (决定系数值) 分别是 0.452 和 0.538 且统计检验表明, 显著性概率均 < 0.01 。由决定系数值的大小可知, 年输沙变化的趋势性要强于年径流变化。

图 2 表明, 河津站的年径流量年际波动较大, 由拟合曲线可以看出, 在 1960 年代以前年径流量有增加的趋势, 但 1960 年代以后呈现剧烈减少趋势, 直到 1980 年代以后, 这种趋势性才有所减缓; 河津站多年平均径流量为 $10.62 \times 10^8 \text{ m}^3$, 径流峰值出现在 1964 年, 为 $33.56 \times 10^8 \text{ m}^3$, 而最小值为 $1.62 \times 10^8 \text{ m}^3$, 出现在 2001 年, 不及前者的 $1/20$ 。年输沙量与年均径流相比也有类似的变化趋势, 在 1980 年代以前, 同样经历了明显的增加和减少趋势, 1980 年代以后, 减少趋势较平稳, 除 1988 年和 1996 年外, 输沙量出现稳定低值; 河津站多年平均输沙量是 $2346.71 \times 10^4 \text{ t}$, 最大值为 $17628 \times 10^4 \text{ t}$ (1954 年), 而最小仅为 $0.50 \times 10^4 \text{ t}$ (1999 年), 约为前者的 $1/35256$ 。

应用 M-K 法对河津站近 60 年的实测径流和输沙记录进行了趋势检验, 计算得标准变化量分别

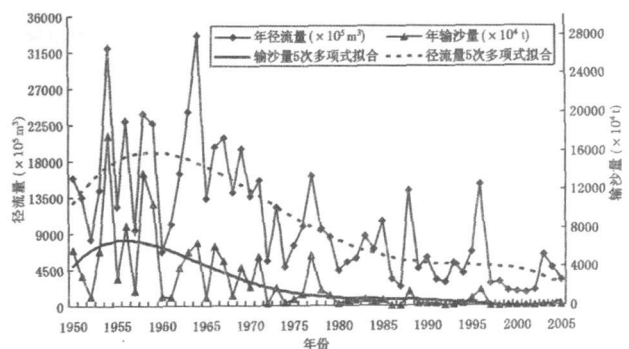


图 2 汾河河津站年径流量和年输沙量随时间的变化
Fig 2 Temporal variations in annual runoff and suspended sediment at Hejin station on the Fenhe River

为: $U_{\text{径流}} = -5.977$, $U_{\text{输沙}} = -6.574$ 取显著水平 $\alpha = 0.05$ 相应的检验临界值 $U_{\alpha/2} = 1.96$ 。由于 $|U| > U_{\alpha/2}$, 所以拒绝原假设, 说明趋势是显著的。而 $U_{\text{径流}}$ 和 $U_{\text{输沙}}$ 值均小于 0 且 $|U_{\text{输沙}}| > |U_{\text{径流}}|$, 所以可以认为汾河入黄(河)的水沙通量变化总趋势是下降的, 且输沙下降的趋势性比径流更强, 这与 5 次多项式拟合的结果是一致的。

水沙突变特征

水文现象是非线性的, 在非线性系统中, 常常表现为系统模型或输出的某个(些)变量突然发生变化, 突变现象不仅在一定程度上揭示了系统的本质, 而且对于系统的调控有重要作用^[4]。

应用 M-K 法对河津站近 60 年的径流和输沙记录进行了突变分析, 结果见图 3 和图 4。由图 3 可知, 在河津站年径流量突变分析中, 曲线和的交叉点位于 99% 置信度水平线之间, 说明突变时间在统计意义上是极其显著的; 近 60 年河津站年径流量的重要突变点为 1980 年, 以此为界将整个径流序列分为 1980 年前和 1980 年后两个序列。1980 年以前的多年平均径流量为 $14.91 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1980 年以后的多年平均径流量为 $5.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 二者相差 $9.61 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占 1980 年以后多年平均径流量的 181.32%。因此, 从严格的统计意义上讲, 河津站多年平均径流量自 1980 年开始进入异常减少时期。

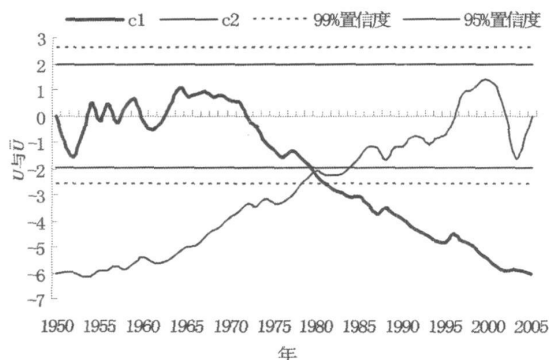


图 3 汾河河津站年径流突变图

Fig 3 Abruptly change of Yearly runoff at Hejin station on the Fenhe River

由图 4 可以看出, 河津站年输沙量的突变点亦达到 99% 置信度水平, 突变时间为 1980 年, 与年径流量的突变时间同步, 这说明径流量的减少在一定程度上直接影响着输沙量的变化。1980 年前后的多年平均输沙量分别为 3.989×10^4 和 $310.26 \times$

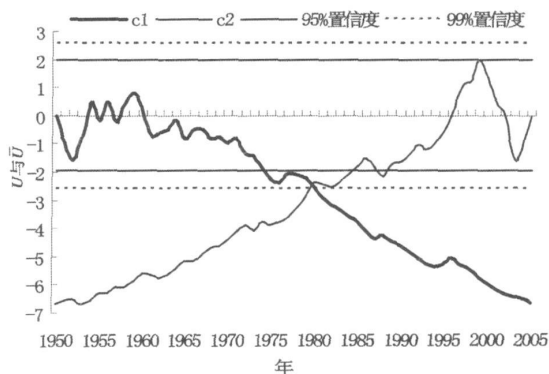


图 4 汾河河津站年输沙突变图

Fig 4 Abruptly change of Yearly suspended Sediment at Hejin station on the Fenhe River

10^4 , 前者约为后者的 13 倍, 所以自 1980 年以后, 河津站年输沙量较以前大大减少。

4 入黄河水沙变化的驱动因素

河流水沙的变化主要受气候变化所决定的自然因素和人类活动两方面的作用。在自然因素方面, 主要包括气候(气温、蒸发量、降水量等的变化)和下垫面因子的影响, 尤以气候因子的影响最为明显。人类活动对水沙变化的影响主要体现在流域水土保持措施的实施、修建水利工程及工农业用水等水资源开发利用方面。

径流变化的原因

据赵学敏等人的研究结果^[5], 汾河流域在 20 世纪 50~60 年代降水丰沛, 气候偏湿; 80~90 年代降水趋于偏少, 流域趋于干旱。而由前文对汾河河津站的径流趋势分析可知, 1960 年代以后径流呈显著减少趋势, 尤其是 1980 年以后, 径流基本保持了持续的低值状态。说明河津站径流的减少是有其气候背景的, 流域降水的变化在一定程度上控制着径流的演化趋势。

但是, 河川径流的演化和流域气候的变化并不是完全同步的, 还受人类活动的干扰。据相关资料^[6], 1960 年代以前, 汾河流域的水利工程主要为一些规模较小的防洪堤坝、引水渠道等, 未能对整个流域的水文特征和系统功能产生根本性的影响, 而汾河干流第一座大型水利工程——汾河水库(库容为 $7 \times 10^8 \text{ m}^3$)于 1958 年开工建设, 1960 年竣工投入使用, 对流域的径流调平和泥沙拦蓄产生重要影响, 因此根据汾河水库的建设时间, 将水沙变化过

程分为两个阶段: 1950 ~ 1960 年和 1961 ~ 2005 年, 1950 ~ 1960 年可被视为流域水沙的“天然期”。

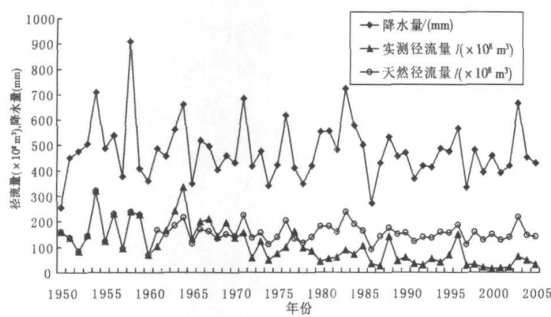


图 5 汾河河津站降水量与径流量的变化过程
Fig 5 The variation process of precipitation and runoff at Hejin station on the Fenhe River

图 5 描绘了近 60 汾河河津站的降水量、天然径流量 (估计值: 利用实测径流量, 通过 3 次多项式拟合曲线估算而得) 和实测径流量变化。在 1950 ~ 2005 年期间, 河津站的降水量存在着由丰向枯的变化趋势, 天然径流量与降水量保持着较好的同步性, 说明降水量的减少引起天然径流量的减少, 这也是实测径流量减少的重要原因。20 世纪 60 年代以后, 除个别年份实测径流量有所增加外, 总趋势是减少的, 尤其是到 1980 年 (突变点) 以后, 实测径流量的减少更加显著, 这是人类活动作用 (水资源开发利用) 的结果。

据汾河志及相关资料^[6, 7], 在 20 世纪 60 ~ 70 年代, 国民经济各项建设事业尚未达到稳步运行阶段, 虽然在这期间出台了《汾河流域规划报告》但多数工程尚处于起步阶段, 因此人类活动对径流的影响相对较弱; 到 20 世纪 70 年代以后尤其是 80 年代以来, 汾河流域修建了大批水库、灌区、电管站等水利工程, 截止 2008 年底, 汾河流域已经建成大、中、小型水库 170 座, 蓄水总库容达到 $16.22 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其中蓄水库容在 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上的大型水库 3 座, 即位于汾河上游的汾河水库、汾河二库和位于支流文峪河上的文峪河水库; 灌溉工程方面, 主要灌区包括潇河灌区、汾西灌区等 11 处。另外, 为了整治汾河流域的生态环境, 实施了多项水土保持措施如修建梯田、淤地坝、造林种草等, 到 1998 年, 汾河流域共建设淤地坝 14 645 座、修建梯田 $270\,741 \text{ hm}^2$ 。因此, 1980 年代以来, 大批水利工程的建设、水土保持措施的实施加之工农业生产生活用水等人类活动对径流的影响越来越显著, 是径流减少的重要原因。

综上所述, 汾河入黄河径流的减少与流域降水的减少是分不开的, 但二者的变化在一定程度上并不是完全一致的, 特别是自 1960 年以来尤其是 1980 年以后, 降水对径流的影响有所减弱。在其他自然条件 (如蒸发等) 相对不变的情况下, 可以认为径流的变化主要受人类活动的影响。

输沙变化的原因

降水变化是引起径流量变化的直接原因, 而径流量与输沙量有着较为密切的关系。输沙量的变化是由于气候变化如降水量变化和人类活动共同作用影响的。因此, 在图 2 中所显示的输沙量的变化, 还包含着降水量 (径流量) 变化的影响。为了更好地揭示人类活动对输沙量的影响, 需将降水量的变化予以消除。因此, 本文参考许炯心^[8-11]等人所采用的方法——双累积曲线法, 定量估算了人类活动对输沙量的影响。

双累积曲线法 (Double mass analysis) 是进行时间序列分析的一种常用方法, 它的基本原理是两个变量按同一时间长度逐步累加, 一个变量作为横坐标, 另一个变量作为纵坐标, 以此来描述二者的趋势性变化。因此, 我们将累积径流量作为横坐标, 累积输沙量作为纵坐标, 点绘累积输沙量和累积径流量的关系图, 在正常情况下, 输沙累计值虽有波动, 但不会有系统偏离, 二者的关系应为一曲线; 若该曲线在某一时间发生偏转, 则表明降水以外的因素 (通常是人类活动) 对年输沙量产生了影响。

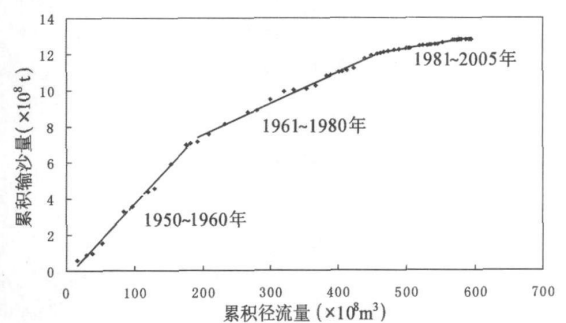


图 6 汾河河津站输沙量——径流量双累积曲线
Fig 6 Double mass plots between suspended sediment load and runoff for Hejin station on the Fenhe River

利用上述方法点绘了输沙量——径流量双累积曲线图 (图 6), 可以看出, 曲线主要有两个转折点, 第一个在 1960 年, 第二个在 1980 年, 由此将曲线分为 3 个阶段。为了进一步定量估算人类活动对各阶

段输沙量的影响。按输沙——径流双累积曲线,对于第一个转折点以后至2005年的累积输沙量的变化进行估算,求得近期的减沙量。这一变化量实际上就是转折点相对于转折点前拟合直线的累积偏离量,此偏离量可以用直线回归方程来计算。以转折点为界,分时段建立直线拟合方程,前后时段结束时的累积沙量差值即为后一时段因人类活动干扰而导致的累积减沙量。依据以上原理,以1960年和1980年两个转折点为界,分别建立三个时段的双累积直线拟合方程如下:

$$1950 \sim 1960 \text{年: } Y = 0.408X - 0.3662 \quad (R^2 = 0.9932) \quad (1)$$

$$1961 \sim 1980 \text{年: } Y = 0.0173X - 4.0535 \quad (R^2 = 0.9909) \quad (2)$$

$$1981 \sim 2005 \text{年: } Y = 0.0061X - 9.2539 \quad (R^2 = 0.9841) \quad (3)$$

根据以上三个时段的直线拟合方程计算不同时段的累积减沙量。将1980年河津站的累积径流值 $462.13 \times 10^8 \text{ m}^3$ 代入(1)式,得到输沙值 $Y = 188550 \times 10^4 \text{ t}$, 为1961~1980年期间假定不受人类活动影响时1980年河津站的累积输沙量,代入(2)式得到 $Y = 79949 \times 10^4 \text{ t}$, 为1961~1980年期间受人类活动影响时1980年河津站的累积输沙量,则1961~1980年的总减沙量为 $Y - Y = 108610 \times 10^4 \text{ t}$, 年均减沙量为 $5430.50 \times 10^4 \text{ t}$; 同样,将2005年河津站的累积径流值 $594.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ 代入(2)式,得到输沙值 $Y = 102835 \times 10^4 \text{ t}$, 为1981~2005年期间假定不受人类活动影响时2005年河津站的累积输沙量,代入(3)式得到 $Y = 9511 \times 10^4 \text{ t}$, 为1981~2005年期间受人类活动影响时2005年河津站的累积输沙量,则1981~2005年的总减沙量为 $Y - Y = 93324 \times 10^4 \text{ t}$, 年均减沙量为 $3732.96 \times 10^4 \text{ t}$ 。因此,自20世纪60年代以来,由于人类活动的影响,汾河入黄(河)泥沙量每年减少约为 $9163.46 \times 10^4 \text{ t}$ 。如前所述,致使输沙减少的人类活动主要体现在流域大批水利工程的建设以及水土保持措施的实施。

应当注意的是,该河流入黄径流和泥沙的减少并不意味着流域侵蚀产沙减少或强度减弱,而是说明流域在受自然因素影响的同时,越来越多的受到人为活动的影响,尤其是工农业用水和水利水保工程措施对流域入黄泥沙有极为重要的影响。

5 结论

应用多种统计方法对汾河河津站入黄河水沙变化及其驱动因素进行了较为全面的分析。通过M-K法分析了水沙演变的趋势性及突变性;探讨了水沙变化的主要驱动因素,并用双累积曲线法和回归分析法定量估算了人类活动对输沙量的影响。研究表明:

1. 近60年来,汾河河津站入黄河水沙量年际波动较大,呈明显减少趋势,且输沙减少的趋势性要强于径流。

2. 对河津站水沙量的突变分析表明:在1950~2005年,径流发生重要突变的时间是1980年,1980年前后的多年平均径流量分别为 $14.91 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.30 \times 10^8 \text{ m}^3$, 二者相差 $9.61 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占1980年以后多年平均径流量的181.32%;输沙量发生突变的时间也是1980年,与年径流量的突变时间同步,因此,径流量的减少在一定程度上直接影响着输沙量的变化。1980年以后的多年平均输沙量为 $310.26 \times 10^4 \text{ t}$, 较1980年以前 ($3989 \times 10^4 \text{ t}$) 大大减少。

3. 汾河流域降水量的减少是径流减少的重要原因,但二者的变化并不是完全一致的,特别是20世纪60年代以来尤其是1980年以后,降水对径流的影响有所减弱。因此,在其他自然条件(如蒸发等)相对不变的情况下,人类活动是径流减少的主要驱动因素。

4. 径流量的减少在一定程度上影响了汾河入黄河泥沙量的变化。本文利用双累积曲线法消除了径流对输沙的影响,通过绘制输沙量—径流量双累积曲线图,结合分时段回归方程定量估算了人类活动对输沙的影响。结果显示:由于人类活动的影响,1961~1980年的累积减沙量为 $108610 \times 10^4 \text{ t}$, 平均每年减少 $5430.50 \times 10^4 \text{ t}$; 1981~2005年的累积减沙量为 $93324 \times 10^4 \text{ t}$, 平均每年减少 $3732.96 \times 10^4 \text{ t}$ 。

参考文献 (References)

- [1] Qian Ning, Zhou Wenjiao. Evolution of Riverbed in Lower Reaches of Yellow River [J]. Beijing: Science Press, 1965 [钱宁, 周文浩. 黄河下游河床演变 [M]. 北京: 科学出版社, 1965]
- [2] Zhang Qiang, Chen Guoya. Changing Characteristics of sediment Yield and discharge during Past 40 Years in catchment of the Yangtze River [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17

- (3): 257~263[张强, 陈桂亚, 等. 近 40 年长江流域水沙变化趋势及可能影响因素探讨[J]. 长江流域资源与环境, 2008 17(3): 257~263]
- [3] Fan Hui, Liu Yanxia. Long-term trend and change point analysis on runoff and sediment fluxes into the sea from the Yellow River during the period of 1950—2007[J]. Journal of Sediment Research, 2009(5): 9~16[樊辉, 刘艳霞. 1950—2007 年黄河入海水沙通量变化趋势及突变特征[J]. 泥沙研究, 2009(5): 9~16]
- [4] Li Lijuan, Zheng Hongxing. Characteristics and driving forces of annual runoff changes for rivers in north China—A case study in the Chaobaihe River[J]. Acta Geographica Sinica, 2000 55(3): 309~317[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] Zhao Xuemin, Hu Caihong. Analysis on the spatiotemporal change of precipitation: flood and drought in the Fenhe River Basin[J]. Arid Zone Research, 2007 24(3): 349~354[赵学敏, 胡彩虹等. 汾河流域降水及旱涝时空结构特征[J]. 干旱区研究, 2007 24(3): 349~354]
- [6] Department of Water Resource of Shanxi Province. Records of Fenhe[M]. Taiyuan: Shanxi People Press, 2006[山西省水利厅. 汾河志[M]. 太原: 山西人民出版社, 2006]
- [7] Earth System Science Data Sharing Platform. Data of Water Conservancy Projects and Comprehensive Control in King Valleys in Loess Plateau[DB/OL]. [地球系统科学数据共享平台. 黄土高原重点流域水利工程及综合治理状况数据[DB/OL]. <http://jress.geodata.cn/Portal/index>]
- [8] Xu Jiongxin. Recent variations in water and sediment in relation with reservoir construction in the upper Changjiang River Basin[J]. Journal of Mountain Science, 2009 27(4): 385~393[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]
- [9] Wang Sujun. Analysis of effect of water and sediment load and evolution trend of the different channel patterns in the lower Yellow River[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009 27(6): 1164~1171[王随继. 黄河下游不同河型河道的水沙效应及演变趋势分析[J]. 沉积学报, 2009 27(6): 1164~1171]
- [10] Wang Jun, Meng Jijun. Characteristics and tendencies of annual runoff variations in the Heihe River Basin during the past 60 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2008 28(1): 84~88[王钧, 蒙吉军. 黑河流域近 60 年来径流变化及影响因素[J]. 地理科学, 2008 28(1): 84~88]
- [11] Peng Jun, Chen Shenliang. The variation process of water and sediment and its effect on the Yellow River Delta over the six decades[J]. Acta Geographica Sinica, 2009 64(11): 1354~1362[彭俊, 陈沈良. 近 60 年黄河水沙变化过程及其对三角洲的影响[J]. 地理学报, 2009 64(11): 1354~1362]

Characteristics and Driving Factors of Runoff and Sediment Changes Fluxes into the Yellow River from Fenhe River in Recent 60 Years

LIU Yufeng¹, SUN Hu¹, YUAN Zhihua²

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. Shaanxi International Commerce College, Xi'an Yang 712100, China)

Abstract: Based on runoff and sediment load observed at Hejin station from 1950 to 2005, the characteristics and driving factors of runoff and sediment changes fluxes into the Yellow River from Fenhe River was analyzed. The results show that the annual changes of runoff and sediment was different in great scope. The declined trend of runoff and sediment were obvious which the latter trend was stronger than the former's. Using Mann-Kendall τ analysis the trend and change point of runoff and sediment time series and the result illustrated that the important change points were all in 1980. The decrease of sediment was directly influenced by reduced runoff. The important reason of reduced runoff was the decrease of precipitation but the changes of the two were not synchronous. And the human activity was the main reason of the reduced runoff since 1960, especially 1980. Because of the influence of human activity, the accumulated reduced sediment was $108\ 610 \times 10^4$ t from 1961 to 1980 while the number from 1981 to 2005 was $93\ 324 \times 10^4$ t.

Key words: Mann-Kendall test; Double mass curve; runoff and sediment changes; influence factor; Fenhe