

# 渭河下游河道冲淤变化对洪水演进特性的影响

杨露<sup>1</sup>, 王新宏<sup>1</sup>, 黄修山<sup>2</sup>, 眭红艳<sup>1</sup>, 孙亚琴<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学 省部共建西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 陕西 西安 710048;  
2. 重庆航运建设发展有限公司, 重庆 400013)

**摘要:** 基于三门峡水库建库后渭河下游河道演变及洪水过程实测资料, 采用实测资料分析, 理论分析和数值模拟相结合的方法, 分析了渭河下游河道发生冲淤变化对洪水特性的影响。结果表明: 自水库建成至 2003 年间, 渭河下游河道发生淤积萎缩引起渭河洪水演变特性发生了显著地改变, 渭河下游洪水位抬升、洪水传播历时延长以及洪峰削峰率增大, 而这些洪水特性也是造成渭河下游河道发生淤积萎缩的主要原因。2003 年之后, 因渭河下游河道水沙条件的变化, 洪水洪峰流量大幅度减小, 河道出现冲刷, 漫滩流量相较于先前减小, 使渭河下游洪水位下降、洪峰传播历时缩短、洪峰削峰率不断减小。

**关键词:** 洪水特性; 冲淤变化; 冲淤变化; 河道淤积与萎缩; 洪峰传播历时; 洪水演进; 渭河下游  
中图分类号: TV147 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2019)01-0073-07

## Impact of erosion and siltation on flood evolution characteristics of Weihe River downstream

YANG Lu<sup>1</sup>, WANG Xinhong<sup>1</sup>, HUANG Xiushan<sup>2</sup>, SUI Hongyan<sup>1</sup>, SUN Yaqin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Eco-Hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;  
2. Chongqing Shipping Construction Development Co., Ltd., Chongqing 400013, China)

**Abstract:** Based on the measured data of the river evolution and the flood process in the Weihe River downstream after the building up of Sanmenxia Reservoir, the impacts of the Weihe River downstream channel sedimentation and shrinkage on flood characteristics were analyzed by combining the measured data analysis, the theoretical analysis and the numerical simulation. The results showed that the Weihe River downstream channel sedimentation and shrinkage caused significant changes in the evolution characteristics of the Weihe River flood, resulting in rising the flood level, prolonging the flood peak propagation time and increasing flood peak clipping rate of the Weihe downstream. And those are also the main reason for the Weihe River downstream sedimentation and shrinkage. Due to the change of water-sediment conditions in the Weihe River downstream after 2003, that is, the flood peak discharge significantly decreased and the river channel was flushed, the floodplain discharge decreased compared to the previous. It led to decline in the flood level, shortening in the flood peak propagation time and decrease in peak-clipping rate.

**Key words:** flood characteristics; erosion-deposition variation; channel deposition and shrinkage; flood peak propagation time; flood routing; Weihe River downstream

## 1 研究背景

自 1960 年三门峡水库建成后, 渭河下游出现河道泥沙淤积严重、河道主槽宽度束窄明显、主槽摆动

加剧且过水断面逐渐萎缩、S 型河势增多等现象<sup>[1-3]</sup>; 与此同时, 河道的洪水演进特性因河道条件的变化也相应地发生了较大改变。多年来国内很多学者对渭河下游河道产生淤积萎缩的原因作了大量

收稿日期: 2018-08-02; 修回日期: 2018-09-26

基金项目: 陕西省水利科技项目(2017slkj-18, 2018slkj-3)

作者简介: 杨露(1991-), 女, 河南社旗人, 硕士研究生, 研究方向为水力学及河流动力学。

通讯作者: 王新宏(1966-), 男, 宁夏中卫人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为水力学及河流动力学。

的研究,结果表明渭河下游枯水枯沙、潼关高程的不断抬升和高含沙洪水频发是造成渭河下游行洪能力下降、洪水位大幅度抬升以及泥沙淤积严重的主要原因<sup>[4-9]</sup>。王西超等<sup>[10]</sup>从洪水位、消峰率和洪峰传播时间等方面对渭河“05.10”和“03.08”洪水进行了对比分析;石长伟等<sup>[11]</sup>和宁爱琴等<sup>[12]</sup>均分析了渭河“11.09”洪水过程,研究表明该洪水具有洪水位高、持续时间长、削峰率小及临潼—华县河段洪水演进速度较慢等特性。张广林等<sup>[13]</sup>对渭河“17.10”洪水特性进行了分析,指出该场洪水具有水位较高、洪峰流量沿程增加、传播时间较长的特性。这些研究多仅限于对渭河某一两次洪水特性进行分析,有较大的局限性。本文依据三门峡水库建库以来渭河下游长期实测资料,在系统分析渭河下游河道冲淤变化对洪水演进特性影响的基础上,试图阐明渭河下游河道边界条件与洪水要素之间的规律性,建立两者之间的定量关系式。这不仅对提高渭河下游洪水预报精度有帮助,同时对黄河流域其他多泥沙河流的洪水预报具有参考意义。

## 2 渭河下游河道变化特征

三门峡水库建库前,渭河下游河槽处于相对冲淤平衡状态,主槽相对稳定。1960年三门峡水库建库以

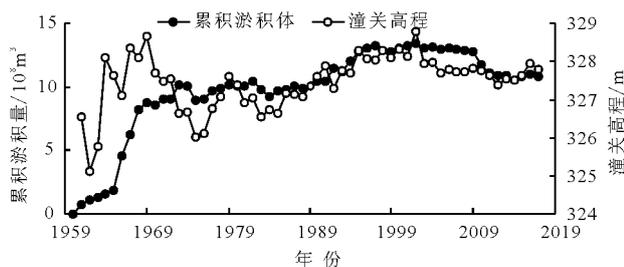


图1 三门峡建库以来渭河下游河段累积淤积量变化曲线

## 3 渭河下游洪水特性变化概况

### 3.1 洪水位变化情况

根据黄河流域三门峡库区水文测验资料,点绘出建库前后华县站在不同年份的水位流量关系图(图3)。由华县站统计数据可知,建库前1954年最大流量为 $7\,660\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水位为 $338.81\text{ m}$ ;而建库后1962年最大流量为 $3\,540\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水位为 $338.07\text{ m}$ ;进入20世纪80年代,1981年最大流量为 $5\,380\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水位为 $341.05\text{ m}$ ;进入21世纪初期,2003年最大流量为 $3\,540\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水位为 $342.76\text{ m}$ ,而2009年最大流量为 $1\,120\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水位为 $339.69\text{ m}$ ,2011年最大流量为 $2\,750\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪

后,渭河下游冲淤变化可分为3个阶段。第1阶段,自1960年3月至1973年10月,是渭河下游淤积迅速发展的时期。本阶段渭河下游全河段累积淤积量达 $10.07 \times 10^8\text{ m}^3$ (图1),期间潼关高程大幅度抬升,河道造床流量下降明显,河道主槽开始淤积萎缩。第2阶段,自1973年10月至2002年10月,是渭河下游缓慢淤积的时期。本阶段三门峡水库开始采用蓄清排浑运用方式,渭河下游淤积发展速度明显减缓,期间渭河下游河段累积淤积量达 $3.14 \times 10^8\text{ m}^3$ ,潼关高程持续抬升。从图2可见,本阶段华县水文站处造床流量1974-1976年间前有小幅上升,1976年后大幅度减小。第3阶段,自2002年至今,是渭河下游冲刷下切的时期。2002年开始三门峡水库开展原型试验,渭河下游河道累积淤积量开始减小,2002年10月至2010年10月渭河下游累积冲刷 $1.50 \times 10^8\text{ m}^3$ ,潼关高程逐步下降,加之渭河来沙量大幅度减少,渭河下游淤积总量同步呈下降趋势,河道造床流量增大,主槽拓宽;自2010年渭河全线整治开始以来,除局部河段淤积外,渭河下游全线冲刷,潼关高程下降明显,河道造床流量也增大,主槽仍在拓宽。可见,三门峡水库建库以后,渭河下游经历了迅速淤积,缓慢淤积和冲刷下切3个不同阶段,各阶段渭河河道边界条件发生了较大变化,洪水演进特性也随之发生改变。

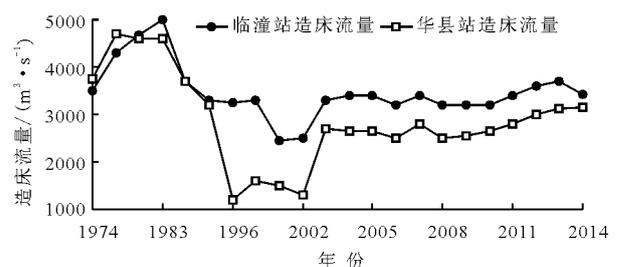


图2 1974-2014年河道造床流量

水位为 $342.70\text{ m}$ 。同时建库前1954年流量为 $3\,450\text{ m}^3/\text{s}$ 时的洪水位高出流量为 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时的洪水位 $4.34\text{ m}$ 。可知自建库至2003年,华县站河道行洪能力不断下降,洪水位发生大幅度地抬升。不同流量级的洪水位相比,建库前存在小流量级的洪水位有大于大流量级洪水位的现象,而建库后小流量级的洪水位均小于大流量级的洪水位。2003年以后华县站洪峰流量大幅度较小,洪水位也发生明显地降低。因渭河下游2003年和2005年出现了较大洪水,河道出现冲刷使河道主槽扩宽所致,而2011年的洪水位比2003年的洪水位高 $3.01\text{ m}$ ,这是由于该年份较之前河道出现淤积且河底比降变缓,同时滩地作物增加河道糙率形成阻水。

将华县站不同年份同流量级对应的洪水位绘于图 4 中,由图 4 可知,华县站 1996 年同一流量级(图中 4 个流量级区间)的洪水位与 1954 年的洪水位相比分别升高了 2.95、4.54、4.95 和 5.12 m;而 2003 年同流量级的洪水位与 1954 年的洪水位相比分别升高了 3.93、4.8、5.09 和 5.74 m。说明建库后至 2003 年同流量级的洪水位明显高出建库前的洪水位,且随着水库的运行渭河下游的洪水位逐渐升高。但 2003 年之后,同流量级的洪水位却呈下降趋势。

### 3.2 三门峡建库后渭河下游洪水传播时间的变化情况

1961 年至今临潼站至华县站年最大洪水的洪峰传播时间变化过程如图 5 所示。由于三门峡水库的建成运行及经历两次改建和运行方式的改变,使渭河下游河道发生了很大的变化,也导致了渭河下游洪水传播历时延长。经统计分析得到<sup>[13-14]</sup>,华县在 1965 - 1989 年间出现了 33 次流量大于 2 000 m<sup>3</sup>/s 的洪水,洪水的平均传播时长为 11.8 h,且由临

潼传播到华县河段所需传播时间长达 18.5 h;20 世纪 90 年代间出现了 7 次流量大于 1 500 m<sup>3</sup>/s 的洪水,洪水的平均传播时间长达 17.3 h,且由临潼传播到华县河段所需传播时间达到 33 h;2003 年发生的洪水,前 3 次洪峰平均传播时长为 34.9 h,其中该洪水第一次的洪峰平均传播时长都达到了 52.3 h。2005 年、2009 年、2011 年以及 2017 年由临潼传播到华县河段洪峰传播历时分别达到 42.3、40.2、36.5 和 31.3 h。由图 5 可知,临潼至华县站自 1973 - 2003 年,洪峰传播历时明显延长,2003 年洪峰传播历时出现缩短现象,2005 年洪峰传播历时又出现大幅度增加之后又呈逐渐下降现象。这是由于 2005 年出现了特大洪水,河道大面积发生漫滩,导致洪峰传播历时延长。2005 年之后洪水的洪峰流量减小,大部分在河槽中演进且河道泥沙淤积量减小,而渭河下游河道由淤积转为冲刷,河道的行洪能力增大,洪峰传播时间变短。

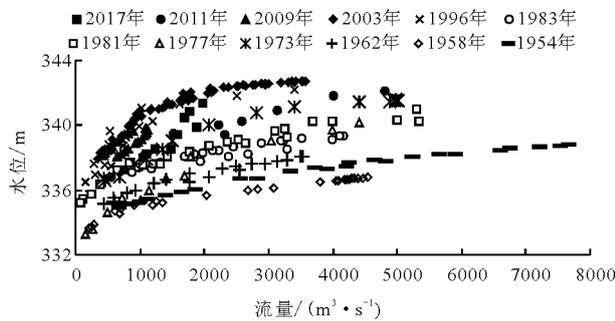


图 3 华县站不同年份水位流量关系图

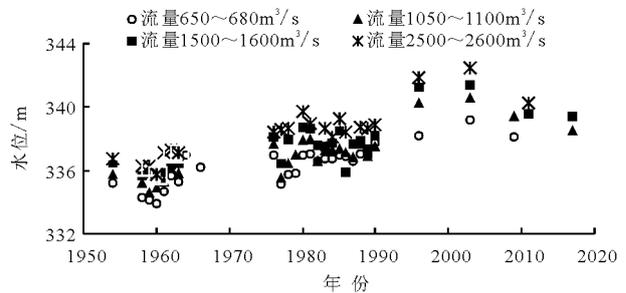


图 4 华县站不同年份同流量级对应的洪水位

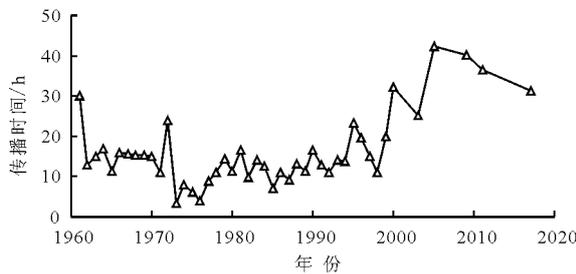


图 5 临潼站至华县站河道洪水传播时间变化过程

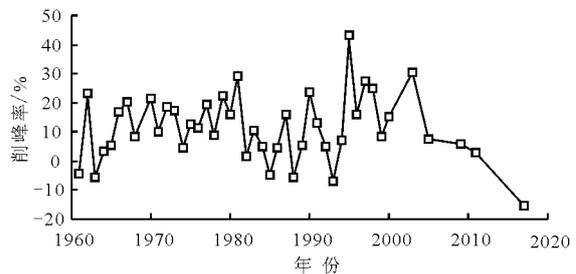


图 6 渭河下游洪峰削峰率随时间变化情况

### 3.3 建库后渭河下游洪峰消减情况

图 6 为临潼至华县河段渭河下游年内最大洪水消峰率随时间的变化情况。经统计分析得到<sup>[13-14]</sup>,华县在 1965 - 1989 年间出现了 33 次流量大于 2 000 m<sup>3</sup>/s 的洪水,在此期间洪水的平均削峰率为 12.6%,其中临潼至华县河段存在的最大洪峰削峰率 51.1%;20 世纪 90 年代间出现了 7 次流量大于 1 500 m<sup>3</sup>/s 的洪水,洪水的平均削峰率为 14.8%,其中临潼至华县河段存在的最大洪峰削峰率也达到

41.2%;2003 年间发生前 3 次洪水的洪峰削峰率的平均值为 41.2%,其中首次削峰率就已达 53.1%。本文点绘了临潼至华县河段渭河下游年内最大洪水消峰率随时间的变化情况(图 6)。由图 6 可知,不同年份中渭河下游年内最大洪水削峰率变化存在显著地差别,这主要受渭河下游洪水来源的影响。若渭河下游来水以其支流汇入为主,由于渭河下游支流较多,汇入的水量使洪峰消减较小,甚至出现负值。例如 1961、1963、1985、1988、1993 和 2017 年其

削峰率均为负值。若渭河下游来水以渭河上游(咸阳以上)为主,则洪峰削减较大。

由图6的变化趋势可知,自三门峡水库建成后,渭河下游华县站洪峰削峰率变化有升有降,20世纪80年代后洪峰削峰率有明显增加,2003年之后渭河下游洪峰削峰率呈明显的下降趋势。

## 4 渭河下游河道淤积萎缩对洪水特性的影响

### 4.1 对洪水位的影响

根据曼宁阻力公式可得到主槽流量从  $Q_1$  上涨到  $Q_2$  时的水位涨幅  $\Delta H$  为:

$$\Delta H = (Q_2^{3/5} - Q_1^{3/5}) (B \cdot J^{1/2} \cdot n^{-1})^{-3/5} \quad (1)$$

式中:  $B$  为河槽宽度, m;  $J$  为水力坡降;  $n$  为河床糙率。

由公式(1)可知,水位的变化与河道宽度和河床阻力存在着较为密切的非线性关系,计算结果表明,河道

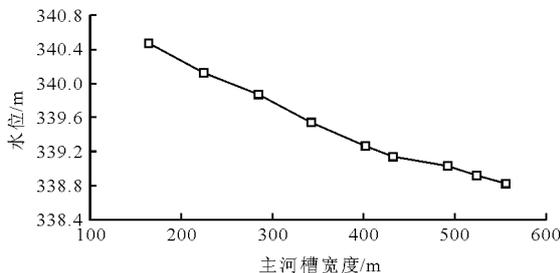


图7 渭河华县段主槽宽度改变对洪水位的影响

河道主槽缩窄将引起平摊流量变小,当渭河下游发生同流量级洪水时,主槽萎缩前后相比,前者洪水完全在主槽内,不会漫流到滩地,而后者将引起大量水流漫滩。随着洪水漫滩发生之后,河道水流的能坡比将变小,同时主槽糙率也会变大,主槽的过水断面的平均流速也将变小。由于河道流速分布是上游大下游小,势必使水流发生壅水,进而致使渭河下游洪水位上升<sup>[15-18]</sup>。这就表明河道主槽发生萎缩致使较小流量级洪水出现漫滩也是河道洪水位抬升的主要原因之一。

### 4.2 对洪水传播时间的影响

洪水波属于不稳定的缓变流运动,其特性与洪峰传播时长  $t$  和河长  $L$  有关。流量与传播时间  $t$  和河长  $L$  的关系为:  $Q = f(t, L)$ 。当流量为常量时,  $dQ = 0$ ,则存在下列关系:

$$\frac{\partial Q}{\partial L} dL + \frac{\partial Q}{\partial t} dt = 0 \quad (2)$$

定义洪峰传播速度  $\omega = dL/dt$ ,则可得:

$$\omega = \frac{dL}{dt} = - \frac{\partial Q / \partial t}{\partial Q / \partial L} \quad (3)$$

宽度减小一倍或河床糙率增加一倍,则引起水位上涨1.52倍;若河道水面线比降缩小1倍,则引起水位上涨1.23倍。本次泥沙数学模型计算中,需要确定基准断面、边界条件和计算时段。(1)基准断面选取:1983年华县河段的河道断面;(2)边界条件:入口水位-流量过程选择临潼河段的实测洪水资料,出口水位-流量过程选择华阴河段的实测洪水资料;(3)计算时段:1983年的8月25日2点至10月2日20点。然后,同时改变主槽宽度,即主槽过水断面同时减少,观察最大洪峰流量处洪水位的变化情况。将主槽宽度对洪水位和洪峰流量影响的图绘于图7和8,由图7可知,随主槽宽度的缩窄,洪水位升高;而随主槽宽度的拓宽,洪水位则下降。同时随主槽过水断面的减小,相应的河道断面的洪峰流量也随之减小。由图8可知:渭河下游洪水的流量级为  $3000 \text{ m}^3/\text{s}$  时,主槽宽每减小100 m,洪水位将发生大约0.4~0.5 m的上升高度。

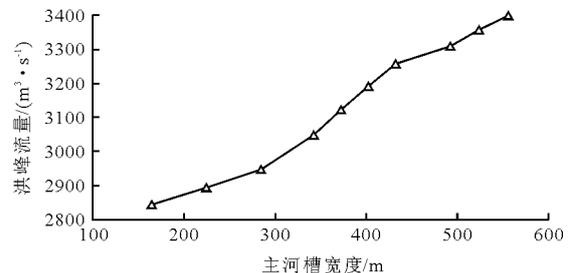


图8 渭河华县段主槽宽度改变对洪峰流量的影响

由不稳定流方程组(圣维南方程组)中的连续方程式得:

$$\partial Q / \partial L + \partial A / \partial t = 0 \quad (4)$$

由公式(3)和(4)得到洪峰的传播速度为:

$$\omega = \partial Q / \partial A \quad (5)$$

公式(5)也说明计算中可采用断面平均流速代表洪水波的点波速。

因河道发生萎缩导致了洪水坦化,因此,洪峰的传播速度势必会遭到影响。对非复式及规则断面而言,洪峰传播速度  $\omega$  与断面平均流速  $V$  正比关系:

$$\omega = FV \quad (6)$$

$$F = \frac{5}{3} - \frac{2}{3} \frac{R}{B} \frac{dB}{dZ} \quad (7)$$

式中:  $F$  为河道主槽形态对洪水传播特性的影响系数;  $R$  为水力半径, m;  $B$  为河槽宽度, m;  $Z$  为水位, m。

综上可推断出,当主槽断面形态一定,洪峰流量大于平滩流量,引起水流漫滩,造成河道过水断面面积增大,导致洪峰传播速度的减小。再者,影响断面平均流速的因素在一定程度上也影响洪水洪峰的传

播。但由于篇幅有限,仅研究由河道淤积萎缩导致断面平均流速减小的情形。水库建成后,因渭河下游河道泥沙淤积不断恶化导致河道比降变小,进而减小了水面比降与断面平均流速。流量为  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  对应水面比降与洪水传播时长关系(临潼—华县)见图 9。通过线性回归可得,渭河下游临潼—华县的洪水传播时间延长  $5 \sim 6 \text{ h}$ ,河道比降减小  $0.1\text{‰}$ 。

### 4.3 对洪水峰型的影响

洪水传播过程中,不同的河道边界条件会引起洪峰峰型(用洪峰流量大小简单表示)的变化,而峰型变形情况可由洪峰流量的变化幅度反映出来。洪峰流量的变化幅度用洪峰削峰率表示,即河道中相邻两断面的洪峰流量之差占上游断面洪峰流量的比率。

为研究河道条件对洪水洪峰削峰率的影响性,图 10 是基于现有的实测资料采用线性回归法得到洪峰削峰率与  $Q/Q_p$ (临潼洪峰流量与华县平滩流量比值)的关系曲线。从图 10 可以看出,洪峰削峰率随临潼洪峰流量与华县的平滩流量比值的增大而增大;当河道流量相同,而主槽存在不同的行洪能力时,也会引起  $Q/Q_p$  的变化;针对比值  $Q/Q_p$  而言,流量  $Q$  相同,  $Q_p$  值越大,其值越小,洪峰削峰率越小;反之,则洪峰削峰率越大。通过图 10 河道条件对洪峰削峰率的影响能很好地反映出来。图中也反映出临潼至华县河段洪峰削峰率与  $Q/Q_p$  具有良好的线性关系。若临潼站洪峰流量与华县站平滩流量已知,就能求得华县站处河段的流量,再由华阴水位 - 流

量关系曲线查的其水位值。依据图 10 中点绘的回归曲线,可预测渭河下游的洪峰流量及水位值。

自 1993 年以来,渭河下游来水来沙量较小,出现枯水枯沙的现象,而来水量的减小值却大于来沙量,这造成小水带大沙的状况,从而导致高含沙洪水频繁发生<sup>[19]</sup>,以 1994 年以来最为严重。华县在 1995 年河道主槽的行洪能力仅有  $800 \text{ m}^3/\text{s}$ ,原因主要是 1995 年存在极不利的水沙条件。1995 年 6 和 7 月间近一月,华县河段的流量小于  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,随之遇到一场高含沙小洪水(如临潼与华县流量分别为  $2\ 640$ 、 $1\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,含沙量却均达  $600 \sim 700 \text{ kg}/\text{m}^3$ )。因该场洪水流量较小(相对于含沙量),引起河槽边壁形成停滞层使河宽缩窄加剧。因 1995 年河道的行洪能力相当小,引起 1995 年存在  $2/3$  场高含沙洪水漫滩的现象,从而也使洪水的洪峰削峰率很大,达到了  $43.18\%$ 。

表 1 是 1954 - 2017 年临潼—华县典型洪水洪峰削峰率数据。由表 1 可知,自 1995 年以后,除 1999 年间水量及削峰率较小之外,临潼至华县 1995 - 2003 年间洪峰削峰率均很大,说明了洪峰削峰率大幅度增大是由渭河下游河道萎缩恶化导致的。2003 年之后洪峰削峰率开始出现逐渐下降的现象,尤其在 2017 年洪水洪峰削峰率达到最小,这是因为 2017 年华县站洪峰流量比临潼站增加了  $260 \text{ m}^3/\text{s}$  引起的,期间渭河下游河道沿程有支流洪水汇入,临潼—华县支流较少,使该河段出现洪峰流量增大现象。

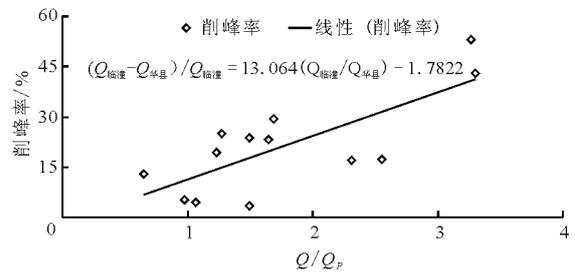
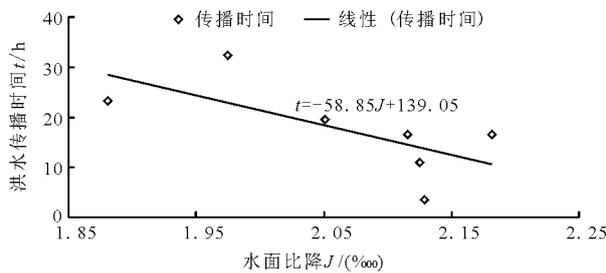


图 9 临潼—华县河段流量为  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  的水面比降与洪水传播时长关系

图 10 临潼—华县河段削峰程度与河道条件关系

表 1 1954 - 2017 年临潼—华县的典型洪水削峰率

时间/ (年-月)	洪峰流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$		最大含沙量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	削峰率/ %	时间/ (年-月)	洪峰流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$		最大含沙量/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	削峰率/ %
	临潼站	华县站				临潼站	华县站		
1954-08		7660	290.0		1999-07	1430	1310	631.0	8.39
1977-06	5480	4440	664	18.98	2000-01	2230	1890	42.7	15.24
1981-08	7610	5380	51.6	29.31	2003-08	5090	3540	606.0	30.45
1995-08	2640	1500	716	43.18	2005-08	5270	4880		7.40
1996-07	4170	3500	591	16.06	2009-08	1256	1120	17.6	5.84
1997-08	1500	1090	827	27.33	2011-09	5410	5260	24.4	2.77
1998-08	2160	1620	308	25.00	2017-10	1720	1980		

洪水演变洪峰峰型变化情况反映了不同历史时期渭河下游河道边界条件不相同,导致不同洪水有着不同洪峰峰型。因河道淤积大量泥沙,致使河道行洪能力下降。三门峡水库刚建成运行初期,如果发生较大的洪水,河道就会出现漫滩。图 11 为 1962 年 7 月 27 日 - 31 日临潼—华县洪峰变形情况。由图 11 可知:此时峰型为矮胖型且具有较大的洪峰削峰率。若使洪水流量小于平滩流量,洪水不会发生漫滩,完全留在主槽内,洪峰削峰率与其变形量均很小(如图 12、13 所示)。由于三门峡水库建成投入运行后,河道泥沙淤积恶化,随后水库经过两次改建及水库运行方式的调整(即在改建过程中采用敞泄运用)<sup>[2]</sup>,由于 20 世纪 70 年代间来水来沙条件较为有利,使得渭河下游在 1975 - 1985 年间行洪能力增大,与建库前基本相同。但由图 14 数据与 1962 年相比,说明了在不同历史时期,洪水流量级都为  $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  左右时,洪峰变形情况并不相同,同时同流量级洪水情况下,1983 年洪水完全在主槽内,而 1962 年大量洪水漫溢滩面,这是由于 1983 年洪水拓宽了河道主槽,加大了河道的行洪能力所致。进入 20 世纪 90 年代,渭河下游来水来沙条件不利

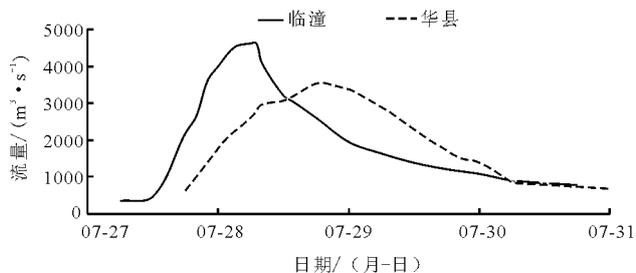


图 11 1962 年 7 月 27 日 - 31 日临潼—华县洪峰变形情况

导致河道主槽萎缩加剧。由此致使 1985 年之后,渭河下游河道的行洪能力急剧下降再次降为水库改建前的状态,即临潼河道主槽行洪能力不到  $4\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ ,且华县河道主槽行洪能力不到  $3\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

由图 15 可知,该时间段的洪水与 1983 年同流量级相比,但洪峰坦化严重,其洪峰的形态改变较大,峰型呈矮胖状。河道主槽萎缩加剧,这是由于渭河下游在 90 年代河道泥沙淤积严重所致,截止 2003 年河道的行洪能力不到  $1\ 200\ \text{m}^3/\text{s}$ ,导致洪水传播历时延长,且引起河道比降变化巨大。图 16 中,2003 年期间洪峰发生合并现象,且洪峰削峰率增大。图 17 中,2011 年期间洪峰形态相似,洪峰形态改变较小,在前两场洪水中洪峰峰形稍胖,但洪峰削峰率较 2003 年发生有所降低。由图 18 可得,2017 年间洪峰形态变化较大,华县站较大场洪水出现双峰现象,同时华县站洪峰流量大于临潼站,导致洪峰削峰率大幅度降低。

通过上述分析得到渭河下游河道主槽萎缩的发展情况,自建库至 2003 年渭河下游河道萎缩恶化是导致了洪峰峰型改变的主要因素,而 2003 年之后洪峰峰形变化普遍较小。

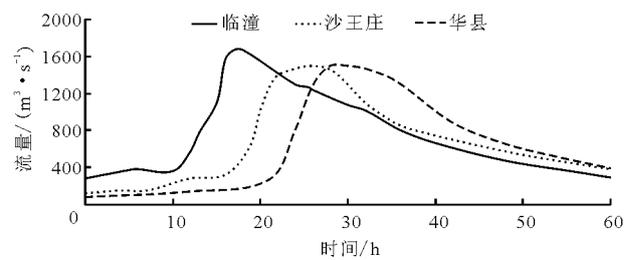


图 12 1971 年 6 月 29 日 - 7 月 1 日临潼—华县洪峰变形情况

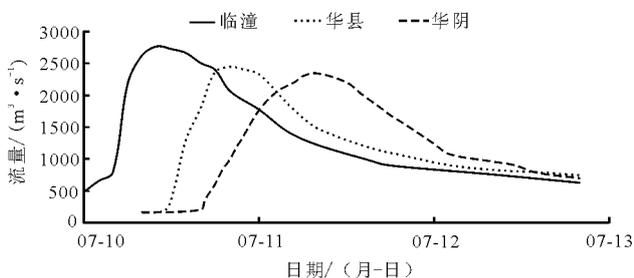


图 13 1975 年 7 月 10 日 - 13 日临潼—华阴洪峰变形情况

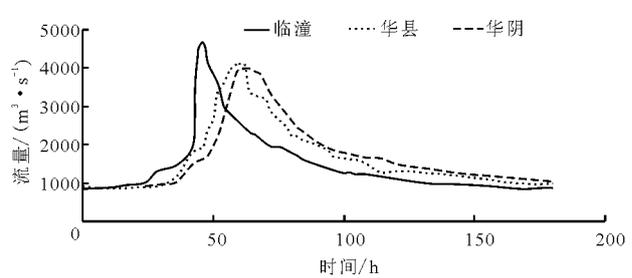


图 14 1983 年 9 月 25 日 - 10 月 5 日临潼—华阴洪峰变形情况

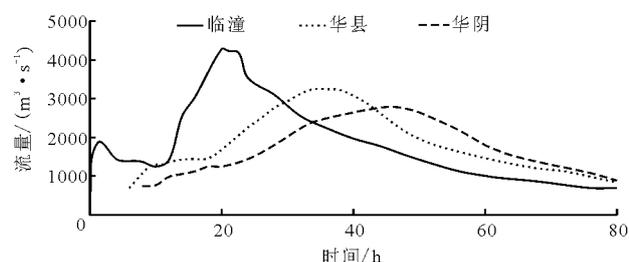


图 15 1990 年 7 月 6 日 - 9 日临潼—华阴洪峰变形情况

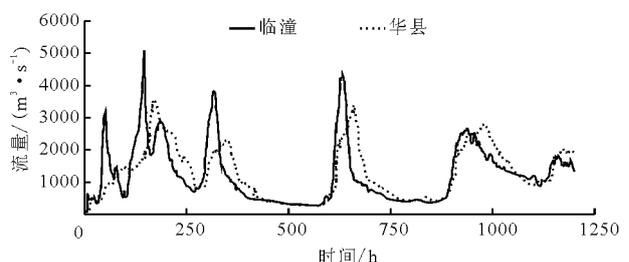


图 16 2003 年 8 月 25 日 - 10 月 14 日临潼—华县洪峰变形情况

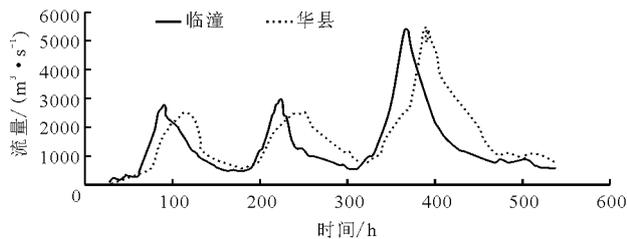


图17 2011年9月4日-26日临潼—华县洪峰变形情况

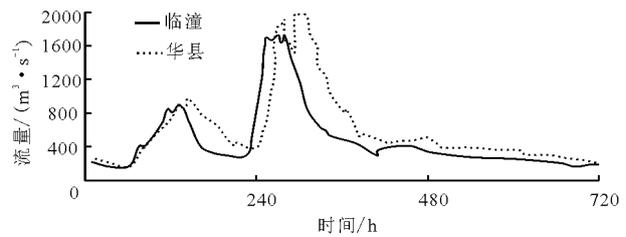


图18 2017年10月1日-31日临潼—华县洪峰变形情况

## 5 结论

(1)自三门峡水库建成至2003年,渭河下游河道泥沙淤积严重,主槽缩窄,河道比降也变缓,造成渭河下游洪水位升高的主因是河道河床高程的抬升和河道主槽发生萎缩;导致渭河下游洪水传播历时延长的因素则是河道主槽发生萎缩引起河道行洪能力下降;河道主槽发生萎缩也会引起洪水时段水流漫滩,这是由于河道干流水流倒灌入支流中,干支流决口以及滩地的滞水作用增大了洪水的洪峰削峰率所致。因此,自三门峡水库建成至2003年,渭河下游河道淤积与主槽萎缩的主因是渭河下游洪水位的抬升、洪水传播历时延长以及洪峰削峰率增大。

(2)2003年以后,渭河下游河道由于2003和2005年发生了较大的洪水,导致渭河下游河道在临潼至华县河段间出现冲刷,主槽河道较之前扩宽,同时洪峰流量级大幅度减小,水流主要在主槽内。同时由于2002年三门峡水库开展原型试验及2010年渭河下游进行全线整治,使渭河下游河道近期与2003年以前相比,洪水位出现逐渐下降趋势、洪水的洪峰传播历时缩短、洪峰削峰率降低的现象。

本研究基于三门峡水库建成前后实测资料统计得到:渭河下游河道冲淤变化对洪水演进特性的影响很大,影响到渭河下游同流量洪水位的升降、洪水传播历时变化等,与渭河下游的防洪和治理有着直接的关系。因此渭河下游河道防洪,应分析前期洪水过程对下游河道的冲淤变化的影响,同时需要建立系统的监测设施,对渭河下游的水文泥沙进行系统地分析研究,及时掌握渭河下游来水来沙的变化、河道冲淤状况以及河道演变趋势,为提高洪水灾害的预报精度提供依据。

### 参考文献:

- [1] 邓玥. 三门峡水库近期河道冲淤变化及其原因[D]. 北京:清华大学,2005.
- [2] 林秀芝,侯素珍,王平,等. 渭河下游近期水沙变化及其对河道冲淤影响[J]. 泥沙研究,2014(1):33-38.
- [3] 袁峥,赵海镜,梁林江,等. 渭河下游河道泥沙淤积现状

及趋势分析[J]. 人民黄河,2016,38(1):19-21.

- [4] 郑珊,吴保生. 黄河小北干流和渭河下游淤积过程模拟[J]. 水利学报,2014,45(2):150-162.
- [5] 陈星星. 近代渭河下游河道演变趋势研究[D]. 西安:西安理工大学,2017.
- [6] 袁峥,赵海镜,梁林江,等. 渭河下游河道泥沙淤积现状及趋势分析[J]. 人民黄河,2016,38(1):19-21.
- [7] 石长伟,张英,梁林江,等. 渭河下游近期冲淤变化及其原因分析[J]. 水资源与水工程学报,2018,29(1):134-137+143.
- [8] 石长伟,张智,王亚梅,等. 潼关高程变化及其对渭河下游的影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2016,27(6):125-129.
- [9] 邵文伟,师长兴,范小黎,等. 1960-1990年间渭河下游河段滩槽冲淤动态与机理研究[J]. 地理科学,2013,33(10):1268-1276.
- [10] 王西超,彭世想,郭相秦,等. 渭河“05.10”洪水特性及河道冲淤演变分析[J]. 人民黄河,2006,28(10):25-27+30.
- [11] 石长伟,杨宁,陈乃联,等. 渭河“11.9”洪水特性及其河道影响分析[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(4):138-140+144.
- [12] 宁爱琴,秦学谦,沈锦杰,等. 渭河下游典型洪水分析——华县站2011·09洪水特性分析[J]. 东北水利水电,2017,35(9):33-36.
- [13] 张广林,孙亚茹. 渭河2017·10洪水特性及影响分析[J]. 陕西水利,2018(2):45-46+53.
- [14] 蒋昕晖,霍世青,刘龙庆,等. 2003年渭河洪水特性分析[J]. 人民黄河,2004(1):24-25+27.
- [15] 范小黎,师长兴,邵文伟,等. 近期渭河下游河道冲淤演变研究[J]. 泥沙研究,2013,38(1):20-26.
- [16] 张冰洁,王灵灵,薛亚莉,等. 渭河下游河道造床流量及过洪能力变化分析[J]. 陕西水利,2018(1):8-9+11.
- [17] 贺莉,闫云霞,颜明,等. 渭河下游河道的冲淤平滩流量特征分析[J]. 南水北调与水利科技,2015,13(1):103-107.
- [18] 张洪波,南政年,余荧皓,等. 渭河华县段漫滩洪水变异特征及其生态效用探析[J]. 南水北调与水利科技,2018,16(1):114-121.
- [19] 张超,伊晓燕,张翠萍. 渭河高含沙洪水对潼关高程变化的影响[J]. 人民黄河,2014,36(4):6-8+11.