

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.20180018

张洪波,南政年,余英皓,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. ZHANG H B, NAN Z N, YU Y H, et al. Change in overbank flood at Huaxian Section of the Wei River and its potential impact on riparian ecosystem[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(1): 114-121. (in Chinese)

渭河华县段漫滩洪水变异特征及其生态效用探析

张洪波^{1,2}, 南政年¹, 余英皓¹, 李吉程¹

(1. 长安大学 环境科学与工程学院, 西安 710054; 2. 长安大学 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 西安 710054)

摘要:以渭河华县段漫滩洪水为研究对象,首先运用ToB(Top of Bank)方法确定不同历史大断面下的河道漫滩水位,采用水位流速法计算并统计渭河华县段1965-2010年间漫滩洪水发生的次数、淹没持续时间及漫滩期最大流量,并进一步分析其演变趋势。其次,以漫滩洪水发生次数和淹没持续时间为评估指标,应用变化范围法(RVA)对漫滩洪水的变异程度进行评估,从侧面探讨漫滩洪水变化对滨河生态系统的潜在影响。计算结果显示,渭河华县段1965-2010年间累计发生漫滩洪水34次,年均仅0.74次,且漫滩洪水次数、淹没持续时间、漫滩最大流量在时域上均呈显著下降趋势。尤其是20世纪90年代以后,受来水量减少和渭河下游泥沙淤积的共同影响,漫滩洪水多为小流量洪水,较以前其流速和流量都有所减弱,生态效果有限。而RVA评价结果则表明渭河华县段漫滩洪水的淹没次数和持续时间两个指标均发生了高度变异,缩减严重,对滨河生态环境有较大的潜在威胁。建议管理部门制定相应措施,适时人造漫滩洪水,以保障滨河湿地、滩地的生态平衡与安全。

关键词:漫滩洪水;演变规律;ToB; Pettitt 检验;变化范围法;渭河流域

中图分类号: P343.1 文献标志码: A 文章编号: 1672-1683(2018)01-0114-08

Change in overbank flood at Huaxian Section of the Wei River and its potential impact on riparian ecosystem

ZHANG Hongbo^{1,2}, NAN Zhengnian¹, YU Yinghao¹, LI Jicheng¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region of Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: In this paper, we investigated the overbank flood at the Huaxian section of the Wei River. First, we employed the top of bank (ToB) method to calculate the overbank flood level corresponding to different historical large profiles, and employed hydraulic methods to calculate the frequency, duration, and maximum flow of overbank floods at Huaxian section from 1965 to 2010. Moreover, with the frequency and duration of overbank floods as evaluation indexes, we used the range of variability approach (RVA) to evaluate the variation of the overbank flood time series and discussed its potential impact on the riparian ecosystems. The results showed that the overbank flood occurred 34 times at the Huaxian section of the Wei River in 1965-2010, that is 0.74 times a year. The frequency, duration, and maximum flow of overbank floods all showed a significant decreasing tendency over time. Especially since the 1990s, the overbank floods were mostly small floods due to flow reduction and sediment deposition in the lower reaches of the Wei River, and they had slower flow speed, smaller quantity, and limited ecological effects. Meanwhile, the evaluation results by RVA showed the frequency and duration of the overbank floods at Huaxian section both changed significantly, which would pose great potential threat to the riparian environment. Thus, we suggest that the administration should take more measures such as artificial overbank floods to protect the ecological balance and security of riparian wetlands and beaches.

Key words: overbank flood; evolution law; top of bank; Pettitt test; RVA method; Wei River basin

收稿日期: 2017-03-08 修回日期: 2017-07-11 网络出版时间: 2017-12-29

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20171227.1856.006.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51379014); 陕西省科学技术研究发展计划(2014KJXX-54); 中央高校基本科研业务费专项资金(310829152018)

Funds: National Natural Science Foundation of China (51379014); Shaanxi Science and Technology Research and Development Plan (2014KJXX-54); Special Funds for Basic Scientific Research in Central Universities (310829152018)

作者简介: 张洪波(1979-),男,辽宁康平人,教授,博士,主要从事水资源系统工程领域的研究。E-mail: hbzhang@chd.edu.cn

洪水是指由暴雨、急骤融冰化雪、风暴潮等多种自然因素引起的江河湖海水量迅速增加或水位迅猛上涨的自然现象,而河道洪水还常伴随有淹没周围的无水区域^[1]。谈及洪水,人们常容易将其与洪水灾害相关联,但事实上自然洪水对河道内及周边的生态系统也有着非常积极的意义^[2]。正是在河流与洪水的相互影响、相互作用下,滨河栖息地得以构建与维持,生物的迁移行为得以实现^[3],更多的食物资源得以补充,而河道与滨河生态系统也才得以逐渐发展,生物多样性才得以不断丰富,生态环境也才能不断朝着有利于人类生存与发展的方向演替^[4]。最典型的自然洪水就是漫滩洪水,作为河流与滨河湿地、洪泛区及地下水的主要联系方式,其发生与持续对于河流湿地、洪泛区的营养物质输移及地下水资源补给均有至关重要的作用,也是河漫滩形成与发展的主要推动力^[5]。在洪泛期间,漫滩洪水既可为鱼类和其它洄游生物提供迁徙到上游、下游、湿地以及洪泛平原的通道,也能为它们构造更多的栖息地与输送更多的食物资源^[6]。可见,漫滩洪水对于维持流域水文环境的稳定性,补充滨河湿地的生态用水以及地下水资源储备都能起到一定的积极作用,同时,洪水的定期泛滥也会对滨河湿地形成与发展、物种生存与繁衍及洪泛区湿地景观与功能的维系起着重要的作用^[7]。

然而,近年来随着沿河地区经济的高速发展和人口的迅猛增长,人类社会对水资源的需求量越来越大,拦河筑坝、蓄滞河水已经成为人类取用或进一步开发河水资源的主要形式。在一味追求区域经济社会发展用水保证率的同时,我们不难发现,一些不合理或不恰当的河水资源利用方式也产生了一定的负面影响。漫滩洪水消减甚至消失正是其中之一,且随着这种影响的持续加剧,河道滩区与洪泛区已经出现了一系列的生态环境问题,严重威胁了部分地区滨河生态系统的安全^[8]。因此,探索漫滩洪水的演变规律,评估其变异影响已经成为国际上广大学者与流域管理部门高度关注的科学问题。

目前,国际上很多学者都对漫滩洪水进行了深入的研究,并在漫滩洪水与湿地生态及泥沙沉积等相关领域取得了许多重要成果。早在1989年, Juck等^[9]就指出以漫滩洪水为主的洪水脉冲对河流和冲积平原湿地生态系统保持在健康状态有着非常积极的意义,其是维持该系统保持生态平衡的主要驱动力。之后Robertson等^[10]的研究也表明,漫滩洪水是滨河湿地植被生长和繁殖保持平稳发展的主要动力,滨河湿地的淹没状况对湿地植物的发育和生长以及分布影响很大。除此之外,在漫滩洪水的计算

上,很多学者也做了一定的探索,Navratil等就漫滩水位的计算提出以地形地貌为基准的漫滩水位估算方法(Top of Bank, ToB),并证明了其优于基于几何标准的估算方法^[11]。在国内,有关漫滩洪水的研究也取得了许多重要成果。田世英等^[12]人通过相关统计分析,得出漫滩洪水与湿地生态水文的联系;张敏等^[13]通过分析漫滩洪水的量级、频率、持续时间等特征论证了漫滩洪水在预估河流泥沙、洪水灾害等方面的重要性;张琼华^[14]通过对渭河洪水沉积中泥沙的粒度分析,表明泥沙粒度可指示洪水频次、洪水水位高度及洪水动力;刘莹等^[15]通过对渭河中下游漫滩洪水的统计及洪量计算,提出漫滩洪水可作为河道生态用水的客观补给资源。

综上所述,国内外学者对漫滩洪水与滨河生态湿地、泥沙淤积等方面的关系已进行了大量的研究,并给出了相关论证,指出了漫滩洪水在预估河流泥沙、洪水灾害防治和湿地生态系统保护等方面的重要作用,但是对于漫滩洪水的演变过程或时域变异特征则鲜有研究,而这恰恰与近年来全球面临的河流生态问题息息相关。鉴于此,本文拟从漫滩洪水的统计规律入手,通过对渭河华县段的实测日流量与断面数据的水力学计算,得到不同历史时段的漫滩淹没水位,进而统计分析漫滩洪水发生次数、持续时间、最大流量大小等特性参数在时域上的演变规律。最后,透过变化范围法评估漫滩洪水的综合变异程度,并进一步讨论漫滩洪水变化对滨河生态环境的潜在影响。

1 研究区概况

渭河是黄河的最大支流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,全长818 km,自西向东流经甘肃、宁夏、陕西三省,并于陕西省渭南市潼关县汇入黄河^[16]。近年来,受三门峡水库运行、黄河水顶托以及渭河流域水文变异等诸多因素的影响,渭河华县段出现了淤积严重、河宽明显变窄、主槽过水面积锐减、主槽摆动剧烈等问题,漫滩洪水的发生概率、持续时间以及最大流量大小均发生了较大的变化,时空分布上较以往也大有不同^[17]。

本文以渭河华县段漫滩洪水为研究对象,重点分析其发生次数、淹没时间等特性参数变化,旨在探讨渭河华县段漫滩洪水的演变规律与变化情势,为合理利用漫滩洪水资源以及促进滨河湿地生态平衡提供科学参考。选择华县水文站断面为渭河下游华县段的代表性断面。该站是渭河干流的主要控制站(图1),也是渭河河口的入口站以及下游黄河三门峡水库的进库站之一,其水文条件对渭河河口三角

洲的生态环境变化起着至关重要的作用。选用的数据序列包括华县水文站 1965—2010 年(46 年)的实测日流量及汛前(6 月—8 月)断面资料,数据均来源于陕西省渭河流域管理局。

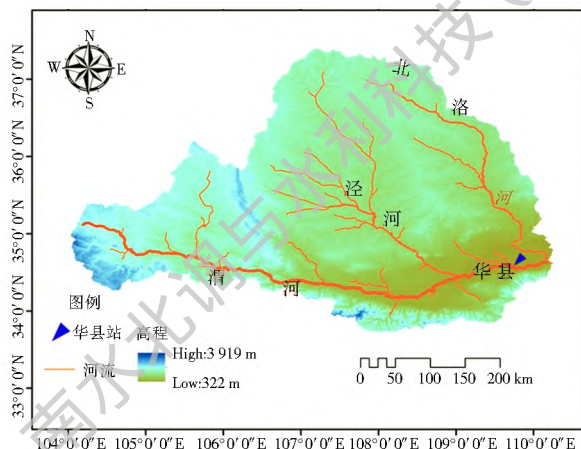


图 1 渭河流域
Fig. 1 Map of Wei River basin

2 方法介绍

2.1 研究思路

为了清楚地阐释本文的研究思路,绘制研究框架(计算流程图),见图 2。具体包括:(1)应用水位流速法对华县水文站实测日流量数据与对应时段的断面数据(假设一定时间内断面形态稳定)作以分析,计算得到华县水文站断面的日水位数据;(2)运用 ToB 方法估算不同年份的漫滩淹没水位,(3)结合前两步计算结果,统计漫滩洪水发生次数、淹没持续时间、漫滩期最大流量等特性参数,并分析其在时域上的变化。(4)通过 Pettitt 检验对漫滩洪水的临界流量进行变异点分析,在此基础上引入变异范围法(RVA)评估漫滩洪水特性参数序列前后的变异程度,进而探讨其对滨河生态系统的潜在影响。

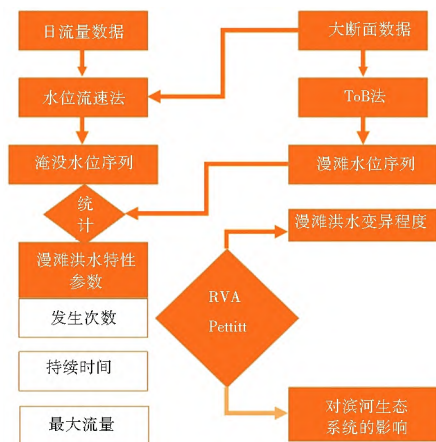


图 2 计算流程

Fig. 2 Calculation flow chart

2.2 研究方法

ToB(Top of Bank)方法,本质上是一种河道形态学的定义,常被用于划定洪泛区、湿地或栖息地的边界^[11]。本文将将其引入,作为漫滩水位的估算方法。ToB 法认为当靠近洪泛平原边界的某个点两侧的地形发生明显变化时,若从该点之后的河岸往外延伸的方向上,水平延伸距离与垂直变化高度比始终大于 3:1,且垂直上升高度不小于 15 m,则可将这部分区域定义为河漫滩。而河漫滩与河道边界处的高程即为漫滩水位,当洪水发生且水位超过了该高度时,可认为河道发生了漫滩洪水。

水位流速法^[18],是以曼宁公式^[19]为理论依据,在实际应用中考虑到了复式断面湿周与水力半径存在的突变关系,是水文学(大断面、流量、水位等资料)和水力学(曼宁公式等)两种方法的集成。本文中,水位流速法主要用来计算华县站实际淹没水位的变化,将其与漫滩水位相对比,即可确定漫滩洪水的发生。

变化范围法(RVA)^[20],是由 Richter 等人在应用水文改变指标(IHA)进行水库或大坝对河流水文情势改变度评价时,所提出的一种变异程度评估方法,也常被用于分析河流生态需水量^[21]、栖息地环境影响^[22]以及河流生态水文联系^[23]等。RVA 法以判别干扰后指标值落入规定数域程度的方法来判定改变程度。一般规定数域由干扰前指标序列的频率分析获得,根据 Connell 等提出的中度干扰假说,通常取 25% 和 75% 频率的对应值作为规定数域的边界。改变度一般用 D 表示,当 $D < 0.33$ 时,认为其发生低度变异, $0.33 \leq D \leq 0.67$ 时,属中等变异,而当 $D > 0.67$ 时,则表现为高度变异。具体方法请参见文献[20]。在本文中,变化范围法主要用于对漫滩洪水的漫滩次数和洪水持续时间进行变异程度评估,进而为探讨漫滩洪水变化对滨河生态环境的潜在影响提供数据支撑。

Pettitt 检验法^[24],是由 Pettitt 提出的一种直接利用秩序列进行变异点识别的非参数检验方法,其不仅可对水文序列实施变异点检验,也能量化变异点在统计意义上的显著水平。近年来,该方法凭借其不受分布类型限制、计算简便、物理意义明确等特点,常被用于水文变异诊断领域^[25]。在本文中,Pettitt 法主要用于 RVA 方法所需的变异点位置的检验,即划分干扰前后的数域,一般取统计量最大且对应置信水平 ≥ 0.95 的时刻为显著变异点。具体方法参见文献[24-25]。

3 计算结果

3.1 淹没水位的确定

基于渭河下游华县水文站逐年汛前实测大断面数据,即断面起点据和高程数据,通过水位流速法推求不同年份不同断面形态下的水位流量关系,再将1965-2010年渭河华县站实测日流量数据带入相应

的关系曲线,可得到逐日水位变化,即淹没水位的时程变化过程。整个计算过程由 Matlab 编程计算完成。图3为华县水文站典型年份河道大断面图,每一年的断面图均通过30个以上的起点据-高程数据确定。测量时起点不发生变化,由于渭河河道受上游洪水冲击及河道淤积的影响,河道会发生不同程度的偏移,因此测量时起点据坐标可能会出现负值。

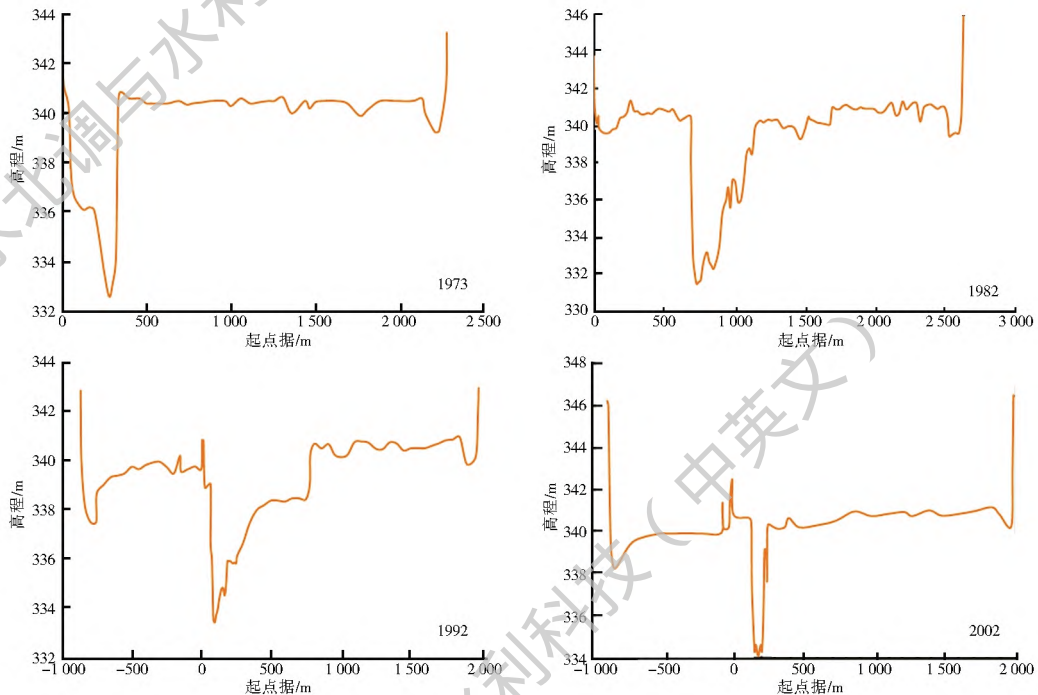


图3 华县段大断面变化

Fig. 3 Change of the large profiles at Huaxian section

由图3可知,不同年份的华县水文站河道大断面差异较大,从时域上看,其整体表现为河槽明显右迁,且河槽宽度增加,漫滩面积变大。断面的深泓点在1982年前后呈现较为明显的向左迁移,而后又返回到起点距0~500m的范围内震荡。

3.2 漫滩水位的确定

采用基于河道断面形状的 ToB 方法,确定不同断面的洪水漫滩(临界)水位,计算结果见图4。图中显示的河底高程、临界流量等数据均为1965-

2010年间发生漫滩洪水年份的统计量(2006-2010年因无漫滩洪水发生,故空值)。同时,为了进一步表征漫滩水位与大断面之间的关系,图中还绘制了河底高程变化线。

通过漫滩水位与河底高程关系的时程变化,可知漫滩与河床间的高差在逐年缩小,这暗示着受华县水文站断面泥沙淤积的影响,发生小流量漫滩洪水的几率在不断增加。图中的临界流量指发生漫滩洪水时的最小(临界)流量值。由该值的时程变化不难看出,其呈现为先增加后减少的基本特征,这主要应与漫滩水位以下主河道断面面积的变化有关,从1973、1982、1992、2002年的大断面的形状变化亦不难佐证该结论,即最小漫滩洪水与漫滩水位以下主河道断面面积之间存在正相关关系。

3.3 漫滩洪水淹没次数与持续时间的确定

以华县站各年的漫滩水位作为判断基点,淹没水位高于漫滩水位时,可判定为发生了一次漫滩洪水,并将其作为此次漫滩洪水的起始点。淹没持续时间指从淹没水位超过漫滩水位开始计时,到淹没

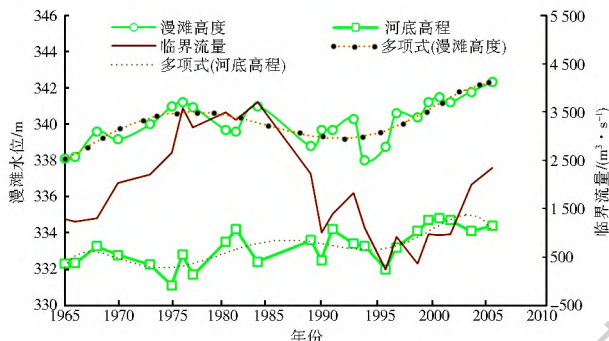


图4 华县段漫滩水位时程变化

Fig. 4 Change of overbank flood level at Huaxian section over time

水位下降为漫滩水位的75%时所经历的时间^[11]。为方便统计,本文将最小淹没持续时间定为1 d,两次漫滩洪水发生的间隔设定为大于等于5 d。通过将不同年份漫滩水位与其对应年份的淹没水位逐一对比,即可判别得到不同时间段漫滩洪水的发生次数与持续时间。

4 结果分析

4.1 漫滩洪水淹没次数的时程变化

众所周知,三门峡水库于1957年建成,1960年开始蓄水,受库区泥沙淤积影响,1974年二次改建完成后,三门峡水库采用蓄清排浑调度模式运行。受三门峡建库回水影响,渭河河口潼关河底高程及下游河道断面的变化均十分显著。1986年龙羊峡水电站建成后,龙羊峡和刘家峡水电站开始联合运行,受上游来水的影响,三门峡水库回水对渭河河口的影响亦有所改变^[26]。据此,本文将整个研究期划分成1965–1975年、1976–1986年、1987–1997年及1998–2010年4个时段,并通过分段统计指标来

反映漫滩洪水的时域(代际)变化特征。

渭河华县段1965–2010年间漫滩洪水淹没次数的变化如图5(a)所示。从漫滩洪水的统计频次看,1965–2010年间渭河华县段共发生漫滩洪水34次(年均0.74次),其中有24年未发生漫滩洪水,1966年为统计时间段内的最大值(4次)。对比1986年前后华县段漫滩洪水的次数变化,发现其变化较为显著。1986年后,每年漫滩洪水发生的平均次数较之前减少了28%。从整体上看,洪水淹没次数随着年代的推移总体上呈现衰减趋势。图5b为渭河华县段1965–1975年、1976–1986年、1987–1997年以及1998–2010年四个时段漫滩洪水淹没次数的统计箱图,虚线部分为平均值变化。从图中不难看出,四个箱图的最小值均为0,这表明四个年代均存在未发生漫滩洪水的年份。从各时段的统计均值看,1965–1975年年均发生1.18次漫滩洪水,而其他三个统计时段均值均小于1,即表明其存在多年零漫滩的情况。总体上看,图5(b)显示了与图5(a)相同的趋势变化,即漫滩洪水的频率在时域上呈现整体下降趋势。

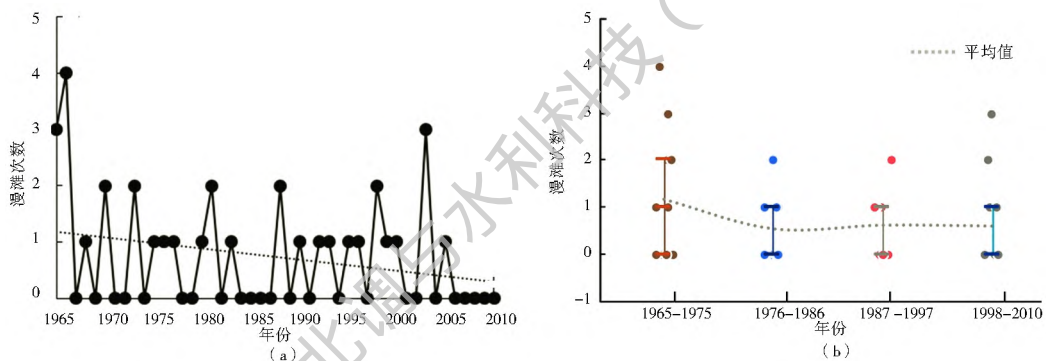


图5 华县站漫滩洪水淹没次数(a)及统计分析(b)

Fig. 5 Frequency (a) and statistical analysis (b) of the overbank floods at Huaxian section

4.2 漫滩洪水淹没持续时间的时程变化

图6(a)显示了渭河华县段1965–2010年间漫滩洪水持续时间变化过程。从图中可看出1965年(10 d)和1966年(14 d)漫滩洪水的持续淹没时间最长,而此后漫滩洪水的持续淹没时间持续处于低位。将2000–2010年与1965–1975年对比,发现淹没时间减少了近76%,由此不难看出漫滩洪水的淹没持续时间在时域上也呈现出下降的趋势。图6(b)统计了渭河华县段四个时段的年均漫滩洪水淹没持续时间及平均值的变化情况。由图可知,在整个统计期内,年均漫滩洪水淹没时间呈现跳跃式衰减模式,1965–1975年间年均漫滩洪水淹没持续时间最大,期间最大达到14 d(1966年),而其他统计时段年均最大淹没时间均在8 d以下。从均值上看,各统计时段差异也客观存在,1965–1975年年

均淹没时间接近3.73 d,而其他三个时段均在1 d以下。细观1965–1975年的统计分析结果,可知该时段尽管最大值和上分位值均较大,但其最小值和下分位值却非常小,这表明该时段仍有多数存在短淹没或无淹没的情况。其他三个时段的情况则更差,发生淹没次数少的同时,淹没时间也极短,这对于漫滩洪水生态功能的实现是极为不利的。

4.3 漫滩期最大流量变化

除了漫滩洪水的淹没次数和持续时间对河流及滨河生态系统有影响外,漫滩洪水的流量大小事实上也对其有着重要的影响,很多造床、栖息地构建都与其洪水流量量级有着重要的关系。故本文也对渭河华县段漫滩期的最大洪水流量(日最大流量)做以分析。渭河华县水文站各年最大洪水流量的变化见图7。由图可知最大流量值发生在1981年(5130

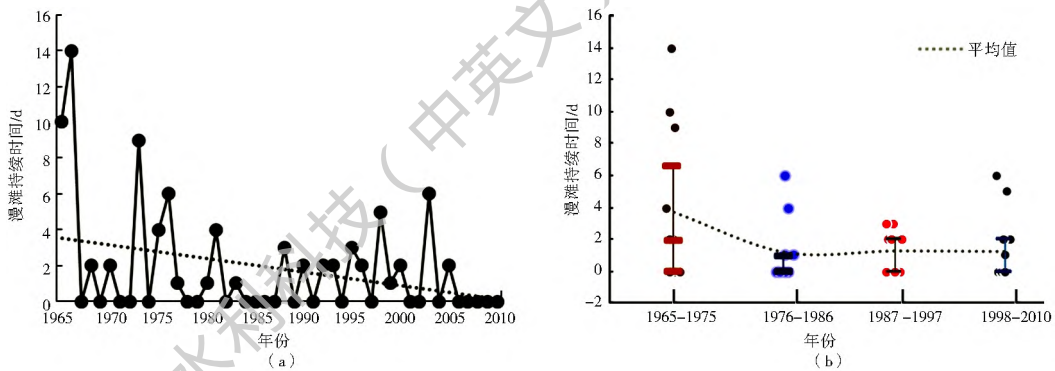


图6 华县站漫滩洪水持续时间(a)及统计分析(b)

Fig. 6 Duration (a) and statistical analysis (b) of the overbank floods at Huaxian section

m^3/s), 而最小值为 1997 年的 $776 \text{ m}^3/\text{s}$, 仅为最大值的 15%, 可见尽管漫滩洪水时有发生, 但其流量量级相差较大。从整体上看, 最大流量在时程上呈现较为显著的下降趋势, 尤其是 20 世纪 80 年代后期以来, 最大流量持续衰减。配合大断面数据, 不难发现大量级洪水缩减导致汛期泥沙冲(输)移受到影响, 泥沙大量淤积, 到 20 世纪 90 年代后华县段河道变窄, 漫滩洪水多在小流量的情况下完成, 大大降低了漫滩洪水生态功能的实现, 特别是对于河流造床及三角洲营养物质输送可能有破坏性的影响^[27]。

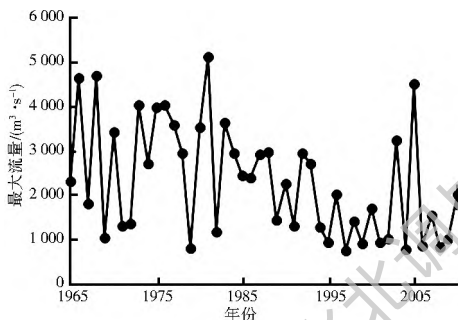


图7 华县段漫滩期最大流量变化

Fig. 7 Change of maximum overbank flow at Huaxian section

上述统计分析表明渭河华县段在 1965–2010 年间漫滩洪水的淹没次数、持续时间以及年最大流量大小均发生了趋势性变化, 总体上表现为淹没次数降低, 淹没持续时间变短, 大流量洪水量级缩减。同时, 研究还发现 20 世纪 90 年代以后受来水量减少和渭河下游泥沙淤积的影响, 河道变窄, 漫滩洪水多为小流量洪水形成, 其生态作用无疑无法与大量级生态洪水相比, 加之漫滩次数和持续时间持续缩减, 其对滨河生态系统的生态效果可能大为削弱。

4.4 漫滩洪水变异程度分析

对漫滩临界流量序列进行 Pettitt 检验, 结果显示华县段(断面)漫滩临界流量在 1984 年发生了显著变异, 见图 8。故在 RVA 评估中选取 1984 年为变异点, 之前序列为近天然期序列, 其后序列为评估

期序列。评估指标选为漫滩洪水淹没次数和持续时间。通过对两个统计期内各年份漫滩洪水淹没次数和持续时间的评估, 可得到漫滩洪水淹没次数和淹没持续时间在 1984 年后的改变度分别为 0.796 2 和 0.846 2, 均属高度变异; 将变异点之后的年份以 1997 年为界分成两段, 再次评估, 其结果则略有不同, 1985–1997 年淹没次数和淹没持续时间的改变度分别为 0.8462 和 1, 而 1998–2010 年则均为 0.692 3。以上结果表明, 自 1984 年之后渭河华县段漫滩洪水的淹没次数和持续时间均发生了显著变异, 变异程度在 1997 年后略有缓解。若假设仅由漫滩洪水淹没次数和持续时间来表征漫滩洪水变化, 则透过以上结果可得出结论: 渭河华县段的漫滩洪水在 1984 年前后发生了显著变异, 但变异强度在 1997 年后有所趋缓。

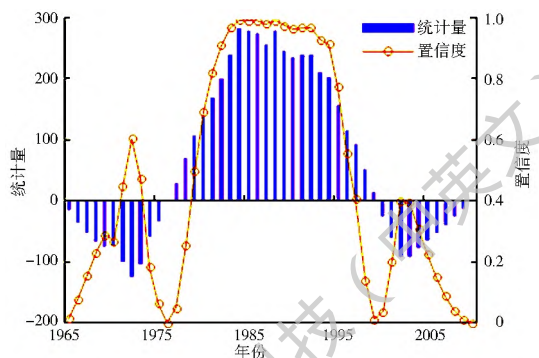


图8 临界流量变异检验

Fig. 8 Change point test of critical overbank flow

图 9 绘制了华县段在 1984 和 1997 年前后漫滩洪水的指标变化。由图中不难看出, 在 1984 年之后淹没次数和淹没时间较之前呈现出显著的下趋势, 这与临界流量的 Pettitt 检验结果表现一致。结合相关文献[28]的分析, 可推知这种与天然期漫滩洪水规律的差异性变化, 无疑会导致滨河生物栖息地和生存环境发生显著的改变, 但这种改变如何发生、会产生怎样的结果, 目前尚无论证, 需要学界和业界加

强对漫滩洪水变异影响的监测与机理性研究。

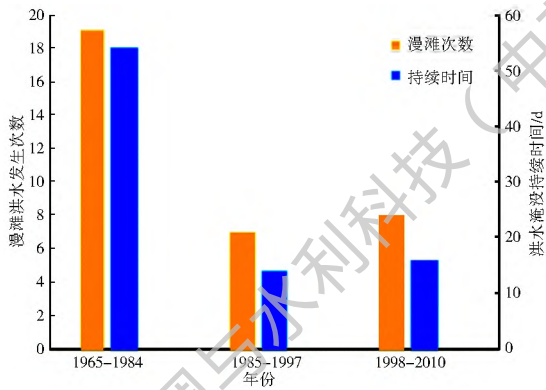


图 9 变异点前后漫滩洪水变化

Fig. 9 Overbank flood before and after 1984 1997

5 结论

以渭河华县段漫滩洪水为研究对象,通过 ToB 法及水位流速法对华县站漫滩洪水的发生次数、淹没持续时间以及最大洪水流量大小等方面的变化规律进行了剖析,揭示了其长期演变趋势及潜在威胁。同时,应用 Pettitt 检验和 RVA 法对漫滩洪水的变异程度进行了定量分析,并在此基础上对洪水变化对滨河生态系统产生的影响进行了初步探析。通过深入的研究与讨论,得出以下结论。(1) 1965-2010 年间渭河华县段漫滩洪水的淹没次数、持续时间以及流量大小均发生了显著变化,具体表现为淹没次数降低,淹没持续时间变短,大量级洪水流量缩减。(2) 受来水量减少和渭河下游泥沙淤积的影响,20 世纪 90 年代后的漫滩洪水多为小流量洪水造成,流速减缓,流量降低,造床与栖息地构建功能减弱,可能导致漫滩洪水生态效果无法达成。(3) RVA 评估结果显示渭河华县段漫滩洪水淹没次数和持续时间均发生了高度改变,其可能对滨河生态系统产生重大影响,应给予充分关注,并制定相应措施以保障下游及河口生态系统的安全。

参考文献(References):

[1] 张春华. 流域洪水风险探究与洪灾损失评估[J]. 赤子, 2013 (2): 194-194. (ZHANG C H. Research on flood risk and flood loss assessment [J]. Chinachizi, 2013 (2): 194-194. (in Chinese))

[2] 田守波. 大沽河干流渗漏对河道洪水演进的影响研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009. (TIAN S B. Study on the effect of channel leakage on flood routing of Dagu River[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. (in Chinese)) DOI: 10.7666/d.15102595.

[3] 陈凯麒, 李洋, 陶洁. 河流生物栖息地环境影响评价思考[J]. 环境影响评价, 2015, 37(3): F5. (CHEN K Q, LI Y, TAO J.

Some considerations on environmental impact assessment of potamous habitats [J]. Environmental Impact Assessment, 2015, 37(3): F5. (in Chinese) DOI: 10.14068/j.ceia.2015.03.001.

- [4] 张为. 水库下游水沙过程调整及对河流生态系统影响初步研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2006. (ZHANG W. Flow & sediment regime alteration downstream dam and its impact on riverine ecosystem [D]. Wuhan: Wuhan University, 2006. (in Chinese))
- [5] 田世英. 河道与河边湿地水文联系的初步研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007. (TIAN S Y. Preliminary study on the hydrological relationship between river and riparian wetlands [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2007. (in Chinese) DOI: 10.7666/d.1050440.
- [6] 彭友贵, 陈桂珠, 夏北成, 等. 广州南沙地区湿地生态系统的服务功能与保护[J]. 湿地科学, 2004, 2(2): 81-87. (PENG Y G, CHEN G Z, XIA B C, et al. Service and conservation functions of wetland ecosystem in Nansha district, Guangzhou city [J]. Wetland Science, 2004, 2(2): 81-87. (in Chinese) DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2004.02.001.
- [7] 卢晓宁, 邓伟. 洪水对湿地系统的作用[J]. 湿地科学, 2005, 3(2): 136-142. (LU X N, DENG W. Review of flood effect on wetland system [J]. Wetland Science, 2005, 3(2): 136-142. (in Chinese) DOI: 10.13248/j.cnki.wetlandsci.2005.02.010.
- [8] 刘猛, 夏自强, 韩帅. 生态水工学理论及其在河流生态修复中的应用[J]. 水资源保护, 2008(S1): 118-121. (LIU M, XIA Z Q, HAN S. Ecohydraulic engineering theory and its application in river ecological rehabilitation [J]. Water Resources Protection, 2008(S1): 118-121. (in Chinese))
- [9] BAYLEY P B, SPARKS R E. The flood pulse concept in river floodplain systems [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 1989, 106: 110-127.
- [10] ROBERTSON A I, BACON P, HEAGNEY G. The responses of floodplain primary production to flood frequency and timing [J]. Journal of Applied Ecology, 2001, 38(1): 126-136. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2001.00568.x.
- [11] NAVRATIL O, ALBERT M B, HÉROUIN E, et al. Determination of bankfull discharge magnitude and frequency: comparison of methods on 16 gravel bed river reaches [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006, 31(11): 1345-1363. DOI: 10.1002/esp.1337.
- [12] 田世英, 罗钊, 贾忠华, 等. 漫滩洪水在西安泾渭滨河湿地水文条件恢复中的作用[J]. 水利学报, 2008, 39(1): 115-120. (TIAN S Y, LUO W, JIA Z H, et al. Effect of overbank flooding on hydrological restoration of the Jing Wei wetland [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(1): 115-120. (in Chinese) DOI: 10.13243/j.cnki.slxb.2008.01.013.
- [13] 张敏, 黄河清, 张晓华. 黄河下游漫滩洪水冲淤规律[J]. 水科学进展, 2016, 27(2): 165-175. (ZHANG M, HUANG H Q, ZHANG X H. A study of the characteristics of sedimentation in the lower Yellow River during overbank floods [J]. Advances in Water Science, 2016, 27(2): 165-175. (in Chinese) DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2016.02.001.
- [14] 张琼华, 赵景波. 渭河流域洪水灾害关键因素分析及防治对策

- [J]. 干旱区研究, 2005, 22(4): 485-490. (ZHANG Q H, ZHAO J B. Analysis on the main factors resulting in flood disasters in the Weihe River watershed and the control measures[J]. Arid Zone Research, 2005, 22(4): 485-490. (in Chinese)) DOI: 10.13866/j.azr.2005.04.013.
- [15] 刘莹, 王灵灵, 张宏斌. 渭河中下游漫滩洪水补充河道生态用水浅析[J]. 地下水, 2015(5): 150-152. (LIU Y, WANG L L, ZHANG H B. Analysis on supplementing river water for ecological use with overbank flood in the middle and lower reaches of Wei River[J]. Ground Water, 2015(5): 150-152. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1004-1184.2015.05.056.
- [16] 董德惠. 渭河水环境与生态问题及其可持续发展对策[J]. 陕西水利, 2009(6): 29-32. (DONG D H. Weihe river water environment and ecological problems and countermeasures for sustainable development[J]. Shaanxi Water Conservancy, 2009(6): 29-32. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1673-9000.2009.06.012.
- [17] 韩峰, 郑艳芬, 乔金龙, 等. 渭河华县水文站漫滩洪水特性探讨[J]. 黄河水利职业技术学院学报, 2001, 13(2): 14-17. (HAN F, ZHENG Y F, QIAO J H, et al. An approach to the overbank flood characteristics of Hua Xian hydrographic station on Weihe River[J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2001, 13(2): 14-17. (in Chinese)) DOI: 10.13681/j.cnki.cn41-1282/tv.2001.02.006.
- [18] 李梅, 黄强, 张洪波, 等. 基于生态水深-流速法的河段生态需水量计算方法[J]. 水利学报, 2007, 38(6): 738-742. (LI M, HUANG Q, ZHANG H B, et al. Determination of ecological water demand based on necessary flow depth and velocity for specific ecological function[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007, 38(6): 738-742. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:0559-9350.2007.06.015.
- [19] 钟亮, 许光祥. 曼宁公式分形细化初步研究[J]. 泥沙研究, 2013(1): 34-38. (ZHONG L, XU G X. Preliminary study of fractal refinement of Manning's formula[J]. Journal of Sediment Research, 2013(1): 34-38. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.0468-155X.2013.01.006.
- [20] RICHTER B D, BAUMGARTNER J V, BRAUN D P, et al. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network[J]. River Research and Applications, 1998, 14(4): 329-340. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1646(1998/07/08)14:4<329::AID-RRR505>3.0.CO;2-E.
- [21] 杜保存. 基于RVA法的河流生态需水量研究[J]. 水利水电技术, 2013, 44(1): 27-30. (DU B C. RVA based study on river eco-water demand[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013, 44(1): 27-30. (in Chinese)) DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2013.01.006.
- [22] 王世钦. 以RVA法评估防沙坝对河川栖地环境之影响[D]. 台南: 台湾成功大学, 2005. (WANG S Q. Using RVA method to evaluate the influence of check dam on river habitat[D]. Tainan: National Cheng Kung University, 2005. (in Chinese))
- [23] 张洪波, 顾磊, 陈克宇, 等. 渭河生态水文联系变异分区研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2016, 44(6): 210-220. (ZHANG H B, GU L, CHEN K Y, et al. Division of ecohydrological connection variability in Wei River basin[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2016, 44(6): 210-220. (in Chinese)) DOI: 10.13207/j.cnki.jnwf.2016.06.029.
- [24] PETTITT A N. A non-parametric approach to the change point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28(2): 126-135. DOI: 10.2307/2346729.
- [25] MALLAKPOUR I, Villarini G. A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean[J]. Hydrological Sciences Journal, 2016, 61(2): 245-254. DOI: 10.1080/02626667.2015.1008482.
- [26] 潘鸿雷, 王倩. 水库修建对黄河水沙问题的负面影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2): 73-76. (PAN H L, WANG Q. Negative impacts of reservoirs on water and sands problem of Yellow river[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2003, 23(2): 73-76. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1000-288X.2003.02.021.
- [27] 姚玉德, 毕东升. 黄河下游过渡型河段漫滩洪水演进规律探讨[J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(6): 29-31. (YAO Y D, BI D S. Overbank flood routing regularity for transitional stretch of lower Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2000, 20(6): 29-31. (in Chinese)) DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2000.06.010.
- [28] 徐华山, 赵同谦, 孟红旗, 等. 滨河湿地地下水位变化及其与河水响应关系研究[J]. 环境科学, 2011, 32(2): 362-367. (XU H S, ZHAO T Q, MENG H Q, et al. Relationship between groundwater level in riparian wetlands and water level in the river[J]. Chinese Journal of Environmental Science, 2011, 32(2): 362-367. (in Chinese)) DOI: 10.13227/j.hjks.2011.02.025.