

湘江下游水位变化趋势与河床演变关系研究

闫世雄^{1,2}, 隆院男^{1,2}, 蒋昌波^{1,2}, 吴长山^{2,3}, 凌尚⁴

(1. 长沙理工大学 水利工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 洞庭湖水环境治理与生态修复湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114; 3. Wisconsin - Milwaukee 大学 地理系, 威斯康星州 密尔沃基 WI 53211; 4. 湖南省水利水电勘察设计研究总院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 湘江为长江中游洞庭湖水系的主要支流,是湖南省最大的河流,认识湘江水位的变化规律和趋势可为湘江流域乃至洞庭湖水系的保护和管理提供依据。利用 M-K 检验法分析 1990-2014 年湘江下游水位变化规律,基于实测地形数据分析湘江下游河段河床演变,并探讨湘江下游水位变化与河床演变之间的关系。结果表明:1990-2014 年湘江下游年均水位整体呈下降趋势,长沙站、湘阴站和营田站水位均于 2011 年下降到历史最低点,分别为 26.62、24.69 和 24.42 m,枯水期水位下降尤为明显。1990-2014 年汛期最高水位呈缓慢下降趋势,枯水期最低水位总体上呈下降趋势,同流量下汛期水位变化不明显,枯水期水位基本上呈降低趋势。1983-2015 年典型纵横断面出现 2 种形式,分别为横向展宽和纵向大幅度刷深,湘江下游河床下切严重,其中铜关滩下切深度达 15.7 m。汛期水位的变化与来水来沙及河床演变有关,枯水期水位下降主要归因于河床下切。

关键词: 水位变化; 汛期; 枯水期; 河床演变; 湘江下游

中图分类号: TV147

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)06-0150-07

The relationship between the change trend of water level and riverbed evolution in the downstream of Xiangjiang River

YAN Shixiong^{1,2}, LONG Yuannan^{1,2}, JIANG Changbo^{1,2}, WU Changshan^{2,3}, LING Shang⁴

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Dongting Lake Aquatic Eco-Environmental Control and Restoration of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. Department of Geography, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee WI 53211, USA; 4. Hunan Hydro & Power Design Institute, Changsha 410007, China)

Abstract: Xiangjiang River, a main tributary of Dongting Lake water system in the midstream of Yangtze River, is the largest river in Hunan province. Knowing the changing trend of water level in Xiangjiang River can provide support for the protection and management of Xiangjiang River basin and even Dongting Lake. The M-K testing method was used to analyze the water level changes of the downstream of Xiangjiang River from 1990 to 2014, and the riverbed evolution of the downstream of Xiangjiang River was analyzed based on actual-measured topographic data. Meanwhile, the relationship between the riverbed evolution and the water level changes were inspected. The results indicated that the water level showed an overall downward trend from 1990 to 2015. The water level in Changsha, Xiangyin and Yingtian stations all dropped to the lowest level in 2011, which were 26.62 m, 24.69 m and 24.42 m, respectively. The decline of water level was obvious especially during the dry season. From 1990 to 2014, the highest water level of the flood season gradually declined, while the lowest water level gradually decreased as well. Under the same flowing volume, the change of water level was not obvious in flood season but dropped in dry season in dry season. From 1983 to 2015, there were two types of typical sections, i. e., horizontal widening and vertical deepening. The riverbed of the downstream of Xiangjiang Rivers was severely incised, which of Tongguan Bar reached to 15.7 m below. The

收稿日期:2019-06-14; 修回日期:2019-08-17

基金项目:国家自然科学基金项目(51809020);湖南省教育厅科学研究项目(19B036);湖南省水利科技项目(湘水科计[2016]194-23)

作者简介:闫世雄(1994-),男,山东济南人,在读硕士研究生,研究方向为水文及水资源。

通讯作者:隆院男(1985-),男,湖南宁乡人,博士,讲师,硕士生导师,研究方向为水资源时空演变及水文模型优化。

change of water level in flood season was related to incoming water and sand as well as riverbed evolution before, while that in dry season mainly attributed to riverbed undercutting.

Key words: water level change; flood season; dry season; riverbed evolution; downstream of Xiangjiang River

1 研究背景

水位是河流生态系统中的一个重要指标,其变化可能会影响到河流廊道生态系统的结构和功能。河床演变即在自然因素和人为因素影响下的河床冲淤变化过程。河床形态改变,反过来引起水位的变化^[1-3]。水位下降和河床冲刷是全世界范围内冲积河流受到上游水利水电工程影响的最显著特征之一^[4-5]。近年来,我国大中型河流上游修建梯级水库和水利枢纽工程,同样面临下游河道水位下降和清水冲刷河床的问题^[6-7]。

针对水位变化趋势与河床演变的关系,国内外学者分别从来水来沙^[8]、河床冲刷^[9-10]、悬移质挟沙和推移质输沙^[11-12]、横纵剖面演变^[13]及裁弯等河型变化^[14]进行研究。近年来,湘江流域枯水期水位持续下降,对湘江周边人们的生活生产用水安全造成不利影响^[15-16]。同时,针对湘江河道演变的研究,蒋昌波等^[17]、隆院男等^[18]通过分析江心洲的冲淤变化,发现河床演变已对湘江航道产生较大影响。

尽管已有学者分别对湘江水位变化和河道冲淤规律进行分析,但针对水位变化与河床冲淤演变规律之间的关系,仍有待深入研究。本文基于湘江下游河段1990-2014年水沙数据、水位以及河道地形数据等资料,在对年际年内以及最高水位、最低水位、同流量水位分析的基础上,研究河道纵剖面以及典型断面的河床演变规律,明确水位变化与河床演变之间的关系,进一步阐述湘江下游人类活动特别是水利工程等对水位变化的影响,为湘江下游河道整治、航道安全运行和管理提供依据。

2 资料与方法

2.1 研究区概况及资料来源

研究区为湘江下游部分河段,上起湘潭站,下至营田站,该河段建有湘江长沙综合枢纽,在防洪及航运方面发挥重要作用。收集湘江下游湘潭站实测水沙数据(1990-2014年)、长沙站、湘阴站和营田站实测水位数据(1990-2014年)以及湘江下游河道1988、2008、2015年实测地形资料,研究湘江下游水位变化趋势与河床演变关系。

2.2 分析方法

本文基于 Mann-Kendall (M-K) 方法,结合

长系列水沙数据分析湘江下游水文要素变化规律, M-K 非参数秩次相关检验法可分析变量随时间的变化趋势,也可检测时间序列中变量突变点并明确突变发生时间,在水文要素的时间序列分析中得到广泛应用^[19-20]。

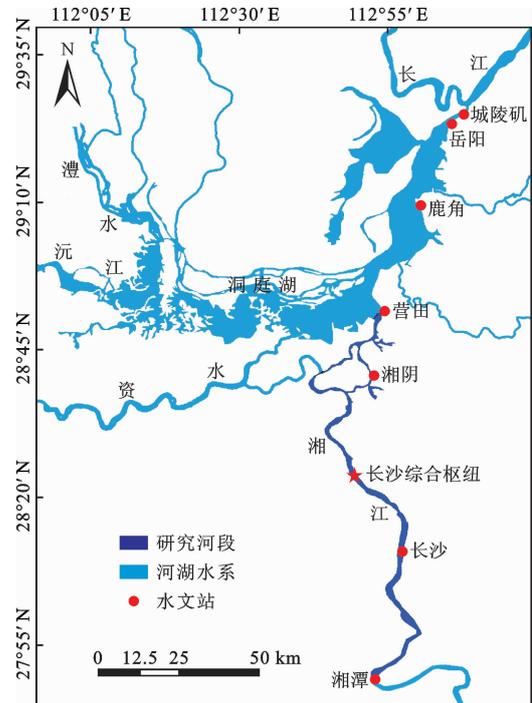


图1 研究河段示意图

3 结果分析与讨论

3.1 湘江下游河道来水来沙变化分析

本文基于湘潭站实测水沙数据分析湘江下游河道来水来沙情况,图2为1990-2014年湘潭站输沙量与径流量的年际变化过程以及平均年内水沙变化过程。分析图2可知,1990-2014年湘潭站年均径流量为 $688.9 \times 10^8 \text{ m}^3$, 年均输沙量为 $627.9 \times 10^4 \text{ t}$ 。年径流量变化幅度先增加后减小,年输沙量变化总体呈下降的趋势;4-9月为汛期,最高月均径流量出现在5月,为 $116.28 \times 10^8 \text{ m}^3$, 最高输沙量出现在6月,为 $263.54 \times 10^4 \text{ t}$;1-3月、10-12月为非汛期,最低月均径流量为 $22.19 \times 10^8 \text{ m}^3$, 出现在12月,最低月均输沙量为 $6.6 \times 10^4 \text{ t}$, 出现在1月。汛期径流总量占年总径流量约70%,非汛期占约30%;汛期输沙量占年输沙总量约90%,非汛期占约10%^[21]。

3.2 湘江下游水位变化分析

3.2.1 年际水位变化趋势分析 图3为长沙站、湘阴站和营田站水位年际变化过程以及M-K法突变检验。由图3可知,1990-2014年,长沙站、湘阴站和营田站年均水位总体呈下降趋势,于2011年下降到最低点,分别为26.62、24.69和24.42 m,2012年后有回升趋势;1990-2014年间,长沙站水位先呈波动状态后呈下降趋势,UF和UB线交于2003年,未突破95%置信水平,发生不显著突变;湘阴站水位处于持续下降状态,UF和UB线相交于2001年,且突破95%置信水平,发生显著突变;营田站水位在1990-2002年呈波动变化,2002年后呈下降趋势,UF和UB线交于2003年,未达到95%的置信水平,表明营田站水位呈不显著减少趋势。结合上述结论以及湘江流域的实际情况(水利枢纽工程的建成与运行),长沙站、湘阴站及营田站的水位变化可

分为3个阶段,分别为1990-2002年(三峡枢纽运行前)、2003-2011年(三峡枢纽运行后)和2012-2014年(湘江长沙综合枢纽运行后)。

3.2.2 年内水位变化趋势分析 湘江下游年内水位变化过程大致可分为3个水文季节:1-3月为枯水期、4-9月为丰水期、10-12月为平水期,图4为长沙站、湘阴站和营田站分阶段水位年内变化。其中,长沙站枯水期3个阶段的平均水位分别为28.3、26.93和27.44m,枯水期水位先下降后上升,说明湘江长沙枢纽的运行对枢纽以上河段具有枯水期保水的功能。

湘阴站及营田站枯水期3个阶段的平均水位呈下降趋势,且下降幅度逐阶段增大,其中湘阴站第1阶段平均水位为25.69 m,至第3阶段为22.50 m,下降3.19 m;营田站的水位由第1阶段25.38 m下降到第3阶段22.30 m,下降3.08 m。

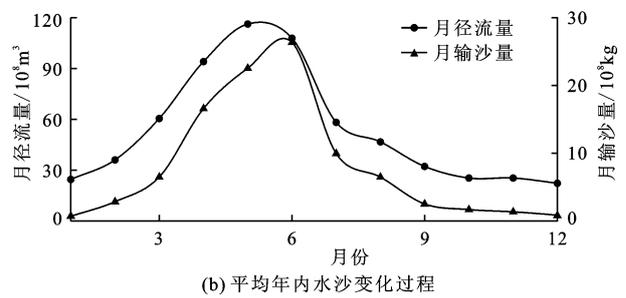
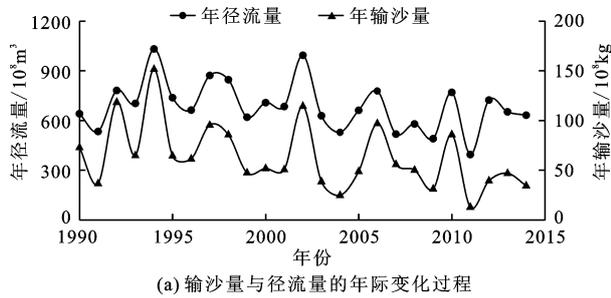


图2 1990-2014年湘潭站径流量与输沙量的年际变化过程以及平均年内水沙变化过程

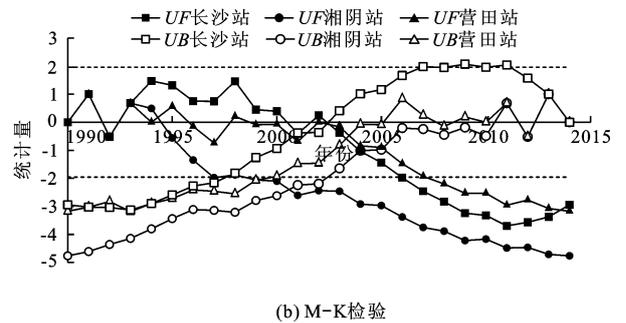
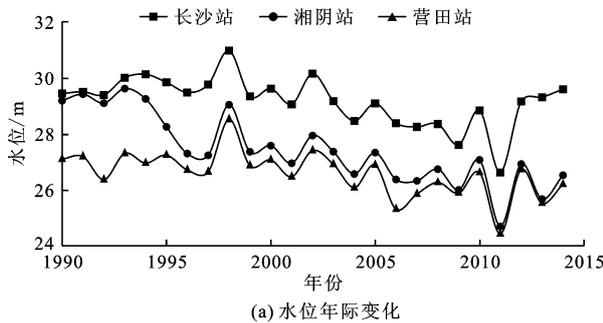


图3 长沙站、湘阴站和营田站水位年际变化过程以及M-K法突变检验

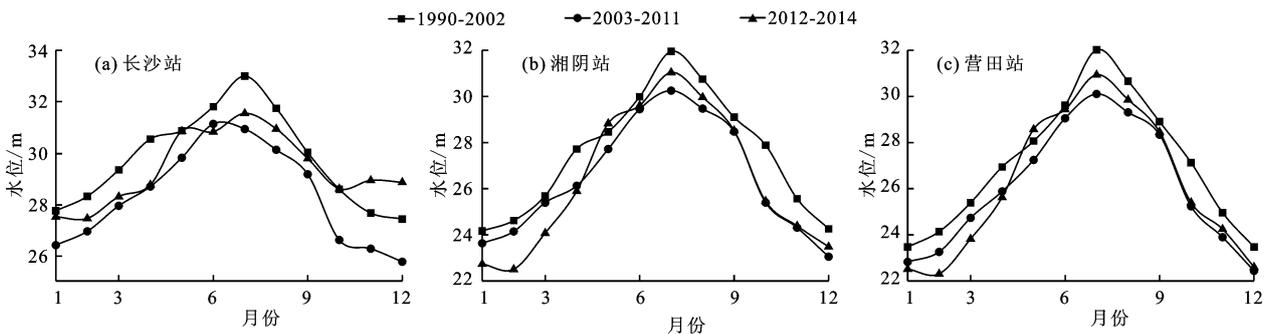


图4 长沙站、湘阴站和营田站分阶段水位年内变化

近年来,湘江流域径流量并无明显下降趋势,反而呈波动上升状态,说明湘江流域枯水期水位下降主要受人类活动的影响。各站点 3 个阶段丰水期和平水期的水位总体上呈现先下降后增加的趋势,第 3 阶段湘江长沙枢纽运行,可能对丰水期和平水期的水位具有一定的调蓄作用,使得呈增加趋势。

3.2.3 汛期水位变化趋势分析 采用年最高水位及汛期同流量下水位分析河段汛期水位变化趋势。图 5(a)为 1990 - 2014 年长沙站、湘阴站和营田站最高水位的变化过程。由图 5(a)可看出,1990 - 1994 年长沙站的最高水位呈上升趋势,1995 - 2011 年处于大幅度波动状态。对比图 2(a)径流量年际变化过程,可得长沙站最高水位变化趋势与湘江下游来水变化趋势基本相同,可能与气候因素有关。2012 - 2014 年,最高水位呈缓慢下降趋势,说明汛期湘江长沙综合枢纽的运行对枢纽上游站点水位有调蓄作用。汛期湘阴站和营田站最高水位变化趋势基本上一致,1990 - 1994 年最高水位持续下降,1995 - 2002 年处于大幅度波动状态;2003 - 2011 年最高水位继续下降,波动幅度变小,说明三峡枢纽

工程的运行对水位降低有一定影响;2012 - 2014 年仍呈现波动状态。

同流量水位升降反映河底平均高程变化,也能反映河床冲淤变化,即当同流量水位下降时,河床发生冲刷^[22]。图 5(b)为 3 000 m³/s 流量时 3 个站点水位变化趋势,其中,湘阴站与营田站同流量下的水位变化趋势基本一致,均呈现小幅波动,这与洞庭湖汛期回水顶托效应有关。

3.2.4 枯水期水位变化趋势分析 采用年最低水位及枯水期同流量下水位分析河段枯水期水位变化趋势。

图 6(a)为 1990 - 2014 年长沙站、湘阴站和营田站最低水位的变化过程。由图 6(a)可知,1990 - 2003 年枯水期长沙站最低水位处于波动状态,2004 - 2011 年水位逐渐下降并趋向平缓,2012 - 2014 年水位直线上升,说明湘江长沙综合枢纽对枢纽上游河段枯水期的保水作用明显。枯水期湘阴站和营田站二者年际变化趋势一致,2011 年之前最低水位表现出较弱的波动变化,2011 年之后两站最低水位均出现明显的下降趋势。

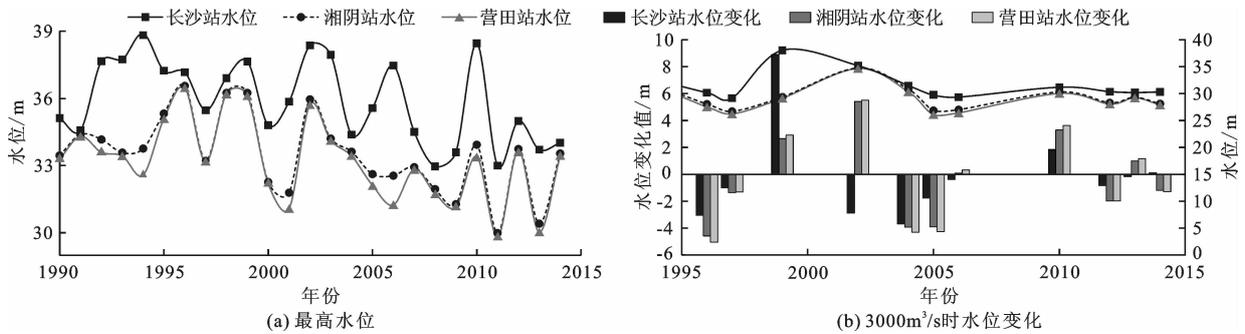


图 5 最高水位变化趋势以及 3 000 m³/s 流量下水位变化趋势

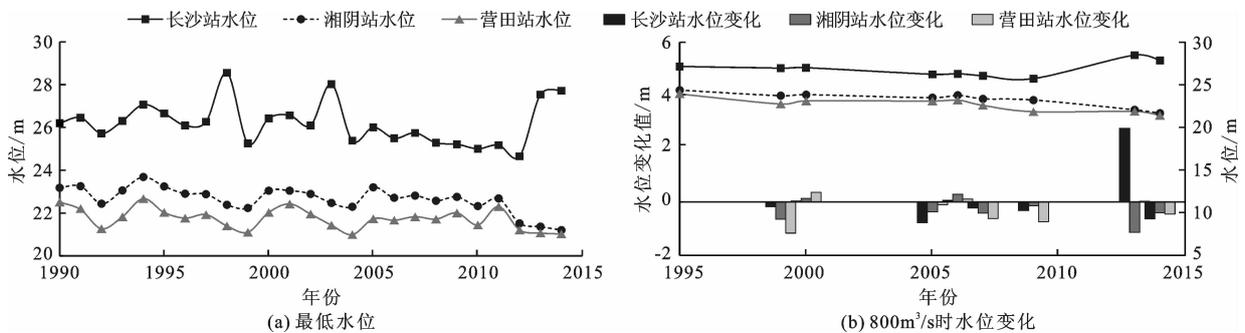


图 6 最低水位变化趋势以及 800 m³/s 流量下水位变化趋势

图 6(b)为 800 m³/s 流量时 3 个站点水位变化趋势。由图 6(b)可知,1995 - 2011 年,同流量下水位基本呈下降趋势,说明河床发生冲刷。1995 - 2011 年,长沙站下降幅度为 0.10 m,湘阴站下降

0.23 m,营田站下降 0.55 m,说明站点位置越靠近湖口,水位下降幅度越大。2012 年后,枯水期同流量下,长沙站水位上升,而湘阴站与营田站水位下降,是由于湘江长沙综合枢纽运行后,会拦蓄部分泥

沙,导致枢纽下游输沙量减少,清水下泄,使得湘阴站和营田站冲刷严重。长沙站水位每年上升约 1.06 m,湘阴站下降约 0.77 m,营田站下降约 0.21 m。

3.3 湘江下游河床演变分析及对水位变化的影响

3.3.1 河道纵剖面变化 深泓线是河道断面水深最大点的连线,可用来表征河道冲淤深度和河形摆动情况。选取湘江长沙综合枢纽到濠河口段作为典型河段,图 7 为该河段 1983 - 2015 年深泓高程变化情况。由图 7 可看出,沿水流方向,1983 - 2015 年河床高程变化总体呈先增大后减小的趋势,河床有冲有淤,且以冲刷为主;1983 - 2008 年,二圣寺滩至濠河口段深泓线呈交叉变化,河床冲淤也呈交替状态,深泓最大淤深为 3.1 m,最大的下切深度为 3.7 m;2008 - 2015 年,沿湘江长沙枢纽到濠河口,除了局部河段呈淤积状态外,河床整体呈冲刷状态,深泓最大淤深为 2.6 m,最大下切深度为 7.5 m。由高程变化图可知,1983 - 2015 年,铜关滩河段下切严重,下切深度达到 15.7 m。

3.3.2 典型断面变化 图 8 为 4 个典型断面(黄泥寺滩、鱼尾滩、文经滩和濠河口)1983、2008 和 2015 年横断面变化图。由图 8(a) ~ 8(d) 可知,河道地形变化主要有两种形式:第一种为图 8(a) 黄泥寺滩

断面和图 8(d) 濠河口断面,呈现明显的横向展宽。另一种为图 8(b) 鱼尾滩断面和图 8(c) 文经滩断面,呈现纵向大幅刷深。

1983 - 2008 年,黄泥寺滩断面右岸呈淤积状态,左岸呈下切状态;2008 - 2015 年,横断面出现明显的横向展宽,这与自然状态下的冲淤演变表现形式不同,其原因主要是河床的大规模采砂。1983 - 2008 年,在起点距为 2 000 和 2 500 m 的位置,鱼尾滩断面出现 2 个将近 9 m 的洼地,2015 年整个断面出现大范围的锯齿状下切,明显是由于人类活动导致的。1983 - 2008 年,文经滩断面在起点距为 3 200 m 之前河道地形基本稳定,3 200 m 之后出现明显的横向展宽;2008 - 2015 年文经滩前半部分也出现明显的锯齿状下切,后半部分横向展宽逐渐减缓甚至出现回淤现象。1983 - 2015 年,濠河口断面整体呈下切趋势。

综上所述,湘江下游河道总体呈下切状态,1983 - 2008 年河道采砂等活动对河床影响最大,但由于人类活动在河床局部位置,且伴随着淤积现象,河床过水断面面积变化不大;2008 - 2015 年河床下切严重,且呈大面积冲刷状态,与大型水利枢纽的建立有关,清水下泄导致枢纽下游河道下切。

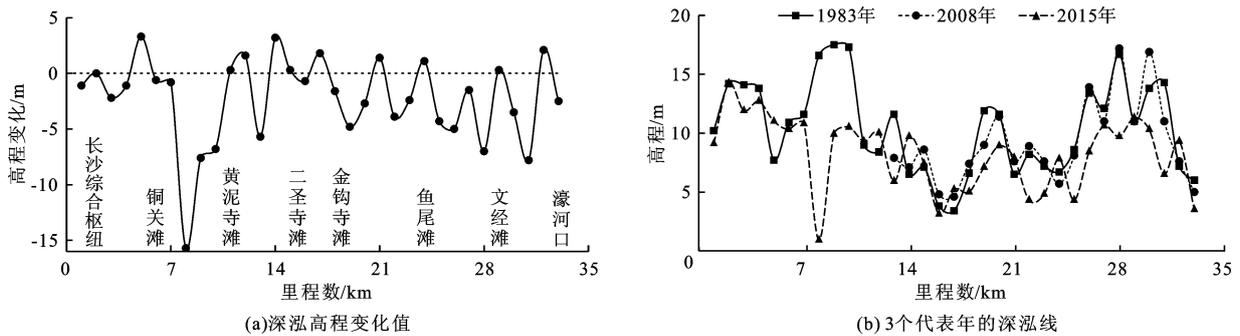


图 7 1983 - 2015 年湘江长沙综合枢纽 - 濠河口河段深泓变化

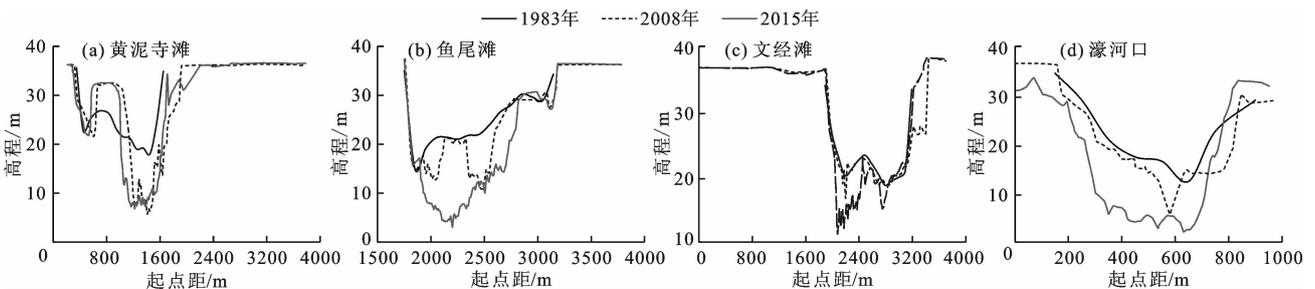


图 8 1983 - 2015 年湘江下游 4 个典型断面形状变化

3.3.3 汛期水位变化的影响因素 图 9 为湘江下游汛期输沙量变化图。从来水来沙的角度分析,1990 - 2002 年,湘江下游汛期输沙量呈现大幅降 -

升 - 降 - 升的变化过程,2003 - 2014 年,降 - 升过程幅度逐渐减小,整体来说,汛期输沙量呈下降趋势,与图 5(a) 湘阴站和营田站最高水位的变化趋势

一致。2011年前,最高水位变化趋势与上游径流变化趋势基本一致,2012年后,受长沙枢纽运行的影响,最高水位有所下降。从河道演变的角度分析,河床冲刷严重,导致汛期最高水位呈下降趋势,长沙站、湘阴站和营田站在2011年之前,均符合此规律。而2012年后湘阴站和营田站最高水位有小幅度的提高,引起最高水位变化的因素有:当地降水、上游来水等,且每年最高水位的出现,是由于某一因素影响或是几个因素的共同影响^[23]。

根据张欢^[24]对长沙站降雨的年变化分析,长沙站在2011年发生不显著突变,且降雨量呈上升趋势。湘阴站和营田站2012年后出现的小幅抬升可能与降雨有关,同时,长沙枢纽运行中对汛期洪峰的调蓄也会影响下游湘阴站和营田站的最高水位。

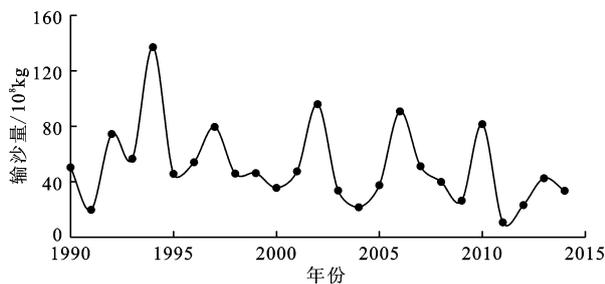


图9 1990-2015年湘江下游汛期输沙量变化

由图6(a)最低水位变化情况分析,2003年前,湘江下游最低水位呈现波动状态;2003年后,三峡水库的运行使得洞庭湖来水量减少,洞庭湖对湘江的水位顶托作用减弱,导致湘江靠近洞庭湖区的河段枯水期水位下降^[25-26]。

图10为洞庭湖1990-2015年泥沙冲淤情况。由图10可看出,1990-2006年洞庭湖湖区泥沙呈淤积状态,2007-2015年为冲刷趋势,与图6(b)湘江同流量下水位变化趋势基本一致,湘阴站、营田站于2007年后,均持续保持冲刷状态。2012年后,最低水位仍呈下降趋势,河床发生冲刷。2012年湘江长沙综合枢纽的运行,挡住了部分泥沙,使得输沙量占比减小,枯水期的泥沙含量更低,从而形成清水下切,枯水期水位下降明显。

4 结论

(1)1990-2014年,湘江下游河段水位下降明显,且湘阴站水位于2001年发生显著性突变,长沙站、营田站水位于2003年发生不显著性突变。枯水期水位逐阶段下降,且下降幅度大。长沙站、湘阴站和营田站汛期的最高水位总体上呈缓慢下降趋势。

3.3.4 枯水期水位变化的影响因素 根据河床冲淤变化和水文情势发展规律,导致河道水位下降的原因主要有2个:(1)河道上游来流量减少;(2)河床下切。根据前文分析结论,近年来湘江下游河段径流量没有出现明显减少,还略有增大的趋势,可以判断湘江下游枯水期径流量变化对最低水位的影响不大。由湘江下游河床演变分析结论可知,河床整体呈下降趋势,下切幅度在10~24m之间,下切趋势非常明显。可见,河床整体下切使得河道过水断面增大才是导致水位下降的主要原因。根据枯水期流量800m³/s下水位分析可知,河床的自然冲淤变化呈现为冲刷状态,湘江下游河床近年来一直呈下切趋势且呈不规则锯齿状,主要是受采砂及水利枢纽运行等人类活动影响。

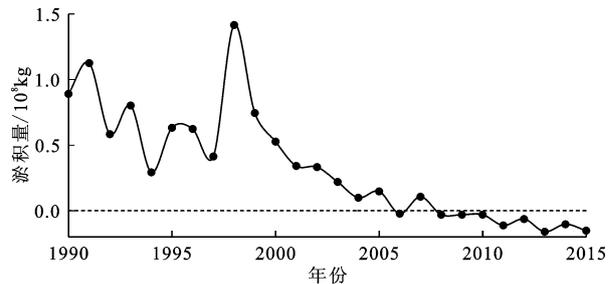


图10 1990-2015年洞庭湖泥沙淤积情况

在相同流量3000m³/s时水位变化不明显。在枯水期,长沙站最低水位先呈波动变化后直线上升,而湘阴站、营田站最低水位先呈波动变化后持续下降。在相同流量800m³/s时,2011年前3个站点的水位呈下降趋势,且越靠近湖口站点下降幅度越大,这与河床下切有关,2012年后长沙站水位呈上升趋势。湘阴站和营田站受到清水下泄的影响,河床发生冲刷。

(2)湘江下游河段河床下切严重,其中铜关滩下切深度达到15.7m。黄泥寺滩断面和濠河口断面呈现明显的横向展宽,鱼尾滩断面和文经滩断面为纵向上大幅刷深。河道总体呈下切状态,且逐年冲刷力度增大。

(3)2011年前湘江下游河段汛期水位的变化,主要与来水来沙以及河床演变有关,而2012年后,降雨等因素对最高水位的变化影响大。枯水期水位下降与湘江长沙枢纽的运行和人类无序采砂等密切相关。而且,三峡水库蓄水导致洞庭湖来水量下降,湘江汇入洞庭湖河段水位顶托作用减弱,也是水位下降的一个重要原因。

参考文献:

- [1] 吕婷婷,陈界仁,任莎莎. 三峡枢纽运用后鄱阳湖的水位变化特性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(5):41-45.
- [2] 王海周,张晨玲,郑媛予,等. 山区河流河床形态与水沙变化下的水位响应机理研究[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(5):56-62.
- [3] 王协康,王冰洁,王海周,等. 山区河流浅水条件下漂石对河床响应与泥沙补给影响的试验研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2016, 48(6):46-50.
- [4] 韩剑桥,孙昭华,杨云平. 三峡水库运行后长江中游洪、枯水位变化特征[J]. 湖泊科学, 2017, 29(5):1217-1226.
- [5] 冯小香,张明. 三峡蓄水后长江中游设计最低通航水位预报[J]. 水道港口, 2017, 38(1):49-53.
- [6] 杨国录,向浩,余明辉,等. 长江中下游枯水位与河床冲刷变化[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(1):64-68.
- [7] 武连洲,白涛,李强,等. 黄河上游梯级水库群调水调沙潜力初步研究[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(6):130-133.
- [8] WANG H, WU X, BIAN, et al. Impacts of the dam-orientated water-sediment regulation scheme on the lower reaches and delta of the Yellow River (Huanghe): A review[J]. Global and Planetary Change, 2017, 157:93-113.
- [9] WU Xiao, BI Naishuang, XU Jingping, et al. Stepwise morphological evolution of the active Yellow River (Huanghe) delta lobe (1976-2013): dominant roles of riverine discharge and sediment grain size[J]. Geomorphology, 2017, 292:115-127.
- [10] 朱玲玲,杨霞,许全喜. 上荆江枯水位对河床冲刷及水库调度的综合响应[J]. 地理学报, 2017, 72(7):1184-1194.
- [11] 曹志芳. 悬移质泥沙级配公式及其应用[J]. 武汉水利电力大学学报, 1996, 29(1):115-121.
- [12] 张金山,屈益,林伟,等. 蒋家沟泥石流流入汇时小江悬移质输沙特征分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6):37-41.
- [13] XIA Junqiang, LI Xiaojuan, ZHANG Xiaolei, et al. Recent variation in reach-scale bankfull discharge in the Lower Yellow River[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2014, 39(6):723-734.
- [14] XIA Junqiang, LI Xiaojuan, LI Tao, et al. Response of reach-scale bankfull channel geometry to the altered flow and sediment regime in the lower Yellow River[J]. Geomorphology, 2014, 213:255-265.
- [15] 孙豪文,胡世雄,蒋昌波,等. 湘江长沙段枯水期水位流量变化分析[J]. 交通科学与工程, 2013, 29(1):51-55.
- [16] 陈进,黄薇. 湘江近年枯季低水位的原因及解决对策[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(10):1-4+29.
- [17] 蒋昌波,李昌玲,李正最,等. 湘江湘潭-濠河口河段河道演变特点分析[J]. 泥沙研究, 2013, 38(3):19-26.
- [18] 隆院男,刘晶,李志威,等. 近30年湘江中下游典型江心洲演变规律[J]. 泥沙研究, 2017, 42(6):8-15.
- [19] 祁文燕,钱鞠,葛雷,等. 湟水干流近60年径流变化特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(3):45-49.
- [20] 罗金明,王永洁,柏林,等. 乌裕尔河1951-2015年径流量变化对扎龙盐沼演替的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(4):1-6.
- [21] 隆院男,唐蓉,蒋昌波,等. 近60年湘江流域水沙特性及其对人类活动的响应[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24):132-143.
- [22] 彭俊,陈沈良,刘锋,等. 不同流路时期黄河下游河道的冲淤变化过程[J]. 地理学报, 2010, 65(5):613-622.
- [23] 魏建苏,朱伟军,吕军,等. 长江南京和镇江年最高水位变化规律[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(3):6-9.
- [24] 张欢. 湖南省主要城市降水特性分析及设计雨型研究[D]. 长沙:湖南大学, 2018.
- [25] 陈进. 三峡水库抗旱调度问题的探讨[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(5):19-23.
- [26] 杨云平,张明进,孙昭华,等. 三峡大坝下游水位变化与河道形态调整关系研究[J]. 地理学报, 2017, 72(5):776-789.