

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.01.013

三峡-葛洲坝梯级水库不同蓄水阶段对其下游泥沙特性的影响分析

马俊超^{1,2}, 李琼芳^{1,2}, 陆国宾^{1,2}, 虞美秀^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098)

摘要: 为了分析三峡-葛洲坝梯级水库对长江泥沙特性的影响, 选取位于三峡-葛洲坝梯级水库上游和下游的寸滩和宜昌水文站为研究站点, 以葛洲坝及三峡水库建设和运行的不同阶段划分研究时段, 利用寸滩、宜昌 1954—2012 年的长系列日流量和日含沙量资料, 从年、月、日 3 个时间尺度定量分析三峡-葛洲坝梯级水库上游对下游泥沙特性的影响。结果表明: 三峡-葛洲坝梯级水库对其下游年、月、日尺度的泥沙特性影响随水库库容、运行阶段的变化而变化; 库容越大, 蓄水位越高, 影响越显著。研究成果旨在为分析评价大坝的运行对长江生态系统健康与稳定性的影响提供参考。

关键词: 长江; 葛洲坝水库; 三峡水库; 泥沙特性; 生态系统健康

中图分类号: TV213.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-6933(2016)01-0075-04

Analysis of impacts of different impound phases of Three Gorges-Gezhouba cascade reservoirs on sediment regime in downstream

MA Junchao^{1,2}, LI Qiongfang^{1,2}, LU Guobin^{1,2}, YU Meixiu^{1,2}

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Center for International River Research, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To analyze the impacts of Three Gorges-gezhouba cascade reservoirs on the sediment regime in the Yangtze River downstream, two hydrological stations Cuntan and Yichang which were respectively located in the upstream and downstream of Three Gorges-gezhouba cascade reservoirs were selected as study sites. The whole study period was divided into several sub-periods according to the different phases of construction and operation of Gezhouba and Three Gorges Reservoirs. On the basis of the long time series of daily water discharge and sediment concentration from Cuntan and Yichang from 1954 to 2012, the impacts of Three Gorges-gezhouba cascade reservoirs to the downstream sediment regime in annual, monthly and daily scales were investigated respectively. The results revealed: the Three Gorges-gezhouba cascade reservoirs have influences on annual, monthly and daily sediment regime, which varied according to reservoir storage capacity and operation phase. The impacts are more significant when the storage is bigger and the storage level is higher. The study is intended to provide references for the assessment of impacts of dam operation on the health and stability of the Yangtze River ecosystem.

Key words: Yangtze River; Gezhouba Reservoir; Three Gorges Reservoir; sediment regime; ecosystem health

长江是我国第一大河流,其输沙量居世界第 4 位^[1]。随着人口的增长和经济的发展,长江流域水资源开发利用程度显著提高,截至 2012 年,在长江干流以及支流上共修建了 47 842 座水库,其中大中型水库 166 座,总库容为 $1.908\times10^{11}\text{m}^3$,有效库容为 $0.983\times10^{11}\text{m}^3$ 。水库的修建与运行在一定程度上改变了其下游的泥沙特性,进而影响长江生态系统的健康与稳定^[2-3]。大型水利工程建设对长江泥沙情

基金项目:国家自然科学基金(41171220);“十二五”国家科技支撑计划(2012BAB03B03);水利部公益行业经费项目(201001069,201101052)
作者简介:马俊超(1991—),男,硕士研究生,研究方向为水文水资源及生态水文。E-mail:1109050661@qq.com
通信作者:李琼芳,教授。E-mail: qfli@ hhu. edu. cn

势的影响吸引了很多学者的关注,如李琼芳等^[4]基于1954—2008年的资料系列分析了葛洲坝和三峡水库对其下游泥沙特性的影响,袁晶等^[5]分析了三峡水库蓄水后库区泥沙淤积特性的变化,戴志军等^[6]研究了三峡水库蓄水前后对长江河口含沙量的影响。这些研究均表明,2003年三峡水库蓄水后长江下游的泥沙特性发生了显著变化。但针对三峡水库2009年蓄水至175 m后对下游泥沙特性影响的研究较少。笔者依据1954—2012年长系列的日径流量和日含沙量资料,从年、月、日3个时间尺度对比分析三峡水库在不同蓄水阶段对长江下游泥沙特性的影响,旨在为分析大坝的运行对长江生态系统健康与稳定性的影响提供参考。

1 研究区概况

为了对比分析不同水库库容以及水库不同蓄水阶段对其下游泥沙特性的影响,笔者选取三峡-葛洲坝梯级水库为研究对象。葛洲坝1981年关闸蓄水,库容 $1.58\times10^9\text{m}^3$,属于径流式水库,位于宜昌上游6 km和三峡大坝下游38 km处,是长江干流修建的第一个大型水利枢纽工程。三峡水库位于宜昌上游44 km处,1993年开始修建,1997年大江截流成功,分别于2003年、2006年及2009年实施分阶段蓄水,分别蓄水至137 m、156 m以及175 m。三峡水库集防洪、发电、航运、灌溉等功能于一体,其总库容为 $3.93\times10^{10}\text{m}^3$,约占长江年均流量的4.5%。考虑到宜昌站大约87%的沙量来源于寸滩站以上流域,且宜昌站的泥沙特性变化既受寸滩站以上人类活动和气候变化的影响,也受三峡-葛洲坝梯级水库运行的影响,故本次研究选取位于三峡-葛洲坝梯级水库下游的宜昌站为目标站、位于三峡-葛洲坝梯级水库上游的寸滩站为参考站。宜昌站位于长江上游和中游的分界处,葛洲坝水库坝址下游6 km和三峡水库大坝下游44 km处,是长江上游流域的控制站^[7]。寸滩站是三峡水库的主要入库控制站,位于三峡大坝上游608 km处。

2 资料和方法

本研究选用由长江水利委员会水文局提供的经整编的寸滩站和宜昌站1954—2012年的日流量和日含沙量资料。以葛洲坝和三峡水库建设和阶段蓄水时间作为分界点,将整个研究时段划分为6个子时段,即1954—1980年(葛洲坝水库1981年关闸蓄水)、1981—1997年(三峡水库1997年大江截留成功)、1998—2002年(三峡水库2003年蓄水至137 m)、2003—2005年(三峡水库2006年蓄水至156 m)、

2006—2008年(三峡水库2009年蓄水至175 m)和2009—2012年。通过点绘年径流量与年输沙量双累积曲线,从年尺度分析三峡-葛洲坝梯级水库在不同研究时段对其下游泥沙特性的影响。考虑到泥沙负荷峰值出现在7月^[8],三峡水库蓄水在9—10月进行,以及10月份是中华鲟产卵的一个重要月份之一,本研究选取7月、9月以及10月为研究月份,通过点绘年径流量与年输沙量双累积曲线来分析水库建坝以及蓄水前后年输沙量的变化情况,利用M-K方法分析寸滩站和宜昌站泥沙负荷的变化趋势,通过分析两站泥沙负荷均值的相对变化来揭示三峡-葛洲坝梯级水库的拦沙作用,以定量评价三峡-葛洲坝梯级水库的运行对两站江水含沙量的影响,并分析10月份中华鲟产卵期适宜含沙量占全部含沙量比例的变化。

3 结果与分析

3.1 年泥沙特性的变化

年径流量与年输沙量双累积曲线见图1。若年径流量与年输沙量双累积曲线发生明显的转折,表明水沙关系发生了明显变化。从图1可以看出,2003年之后宜昌站年径流量与年输沙量双累积曲线的斜率明显小于2003年之前的,经计算可得曲线斜率由1.16变为0.11。而寸滩站虽也有变化,曲线斜率由1.24变为0.58,但远不如宜昌站明显。而在2003年之前寸滩站和宜昌站的水沙双累积曲线均未发现明显的转折点。表明2003年三峡水库的运行对其下游年泥沙特性的影响较大,而葛洲坝水库由于库容较小,对其下游年泥沙特性的影响很有限。

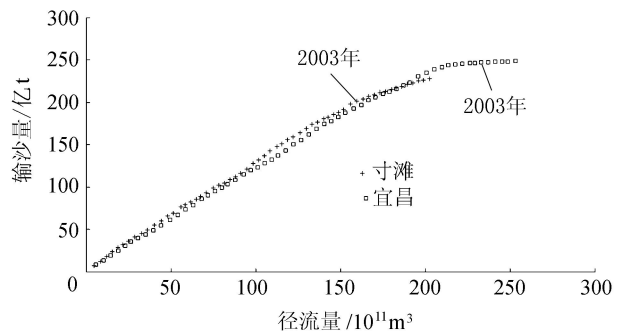


图1 1954—2012年水沙量双累积曲线

3.2 月泥沙特性的变化

为了揭示三峡-葛洲坝梯级水库对其下游月尺度泥沙特性的影响,利用M-K方法分析了寸滩站和宜昌站7月、9月、10月泥沙负荷的演变趋势,分析结果见表1。表1表明,两站的M-K值均通过了置信水平为95%的显著性检验,显示两站7月、9月、10月的泥沙负荷均呈显著减小趋势。每10年变化

率值也揭示了这一现象。宜昌站与寸滩站每 10 年变化率的比值均大于 1,表明宜昌站 7 月、9 月、10 月泥沙负荷的减小趋势比寸滩站更加明显。且 7 月、9 月、10 月变化率的比值分别为 1.51、1.61、1.86,表明影响的显著程度依次增加。长江上游大量水库的修建与运行以及退耕还林等,都会造成寸滩泥沙负荷的减小。由于宜昌的泥沙主要来源于寸滩,寸滩泥沙负荷的减少也会导致宜昌泥沙负荷的减少,但宜昌比寸滩泥沙负荷显著减少的程度,表明三峡-葛洲坝梯级水库具有明显拦沙作用。从表 2 还可看出,1954—1980 年、1981—1997 年以及 1998—2002 年期间,宜昌站与寸滩站月平均输沙量的比值均大于 1,说明 7 月、9 月、10 月宜昌站的多年平均泥沙负荷均高于寸滩站(这是受寸滩至宜昌区间来沙以及沿程冲刷的影响所致),但两者的比值在不同研究时段变化不大,表明葛洲坝由于库容较小,拦沙作用较小,未对宜昌站输沙量的减少产生较大影响。2003 年三峡蓄水以后,情势发生了变化,7 月、9 月、10 月宜昌站的多年平均泥沙负荷均显著低于寸滩站。比值的变化也揭示了这一现象,比值均小于 1,且呈逐年下降趋势,而且 10 月份比值最小,说明由于汛期含沙量大,三峡水库在 7 月份发挥防洪功能的同时,也具有显著的拦沙作用,且拦沙作用随削峰作用的增加而增加(表 2)。随着三峡蓄水期水位的增加,蓄水的时间也提前到 9 月中旬,因此三峡水库 9 月的拦沙作用也很显著,且随着蓄水水位的增加,拦沙作用显著增强(表 2)。由于三峡水库在整个 10 月份都在蓄水,与 9 月份相比,其拦沙作用更加显著。尤其是 2009 年水位蓄至 175 m 以后,10 月宜昌站输沙量平均值降为 0.01 亿 t,可

表 1 两站 M-K 值和 10 年变化率值及其比值

时间	测站	M-K 值	10 年变化率/亿 t	10 年变化率比值
7 月	寸滩	-4.225	-1.554	1.51
7 月	宜昌	-4.251	-2.345	
9 月	寸滩	-2.916	-0.908	1.61
9 月	宜昌	-4.275	-1.464	
10 月	寸滩	-4.198	-0.367	1.86
10 月	宜昌	-5.375	-0.681	

表 2 两站各阶段月输沙量的平均值及其比值

时段	7 月寸滩/ 亿 t	7 月宜昌/ 亿 t	7 月比值	9 月寸滩/ 亿 t	9 月宜昌/ 亿 t	9 月比值	10 月寸滩/ 亿 t	10 月宜昌/ 亿 t	10 月比值
1954—1980 年	13.86	15.11	1.09	8.37	9.35	1.12	2.94	3.93	1.33
1981—1997 年	14.29	16.92	1.18	7.90	8.32	1.05	2.65	3.20	1.21
1998—2002 年	11.10	14.09	1.27	6.50	6.85	1.05	1.77	2.33	1.31
2003—2005 年	6.42	2.83	0.44	5.78	3.14	0.54	1.35	0.27	0.20
2006—2008 年	6.23	0.96	0.15	3.56	0.60	0.17	1.12	0.04	0.04
2009—2012 年	7.22	1.41	0.20	2.97	0.21	0.07	0.60	0.01	0.02

知随着蓄水位的增加清水下泄效应显著增强。上述分析表明,三峡水库由于库容大,拦沙作用显著,对下游月泥沙特性的影响明显,且蓄水位越高,影响越显著。

表 3 两站 7 月份含沙量在 0.5 ~ 1.5 kg/m³

时段	范围内占全部含沙量比例 %					
	含沙量/(kg·m ⁻³)					
	≤0.5		(0.5,1.5)		≥1.5	
	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌
1954—1980 年	0.00	0.00	40.10	42.72	59.90	57.28
1981—1997 年	0.00	0.68	33.33	41.37	66.67	57.95
1998—2002 年	2.89	6.41	64.10	58.33	33.01	35.26
2003—2005 年	4.61	70.66	87.33	29.34	8.06	0.00
2006—2008 年	10.47	98.85	68.27	1.15	21.26	0.00
2009—2012 年	18.50	98.23	72.70	1.77	8.80	0.00

3.3 日泥沙特性的变化

表 3 ~ 5 分别给出了寸滩和宜昌两站 7 月、9 月和 10 月份不同范围内的日含沙量占全部含沙量的比例。由表 3 可以看出,2003 年三峡水库蓄水后,7 月份寸滩站日含沙量 ≤ 0.5 kg/m³ 的比例有所增加,但不是特别显著,但宜昌站日含沙量 ≤ 0.5 kg/m³ 的比例显著增加,高达 70% 以上,在 2005 年以后,该比例进一步增加,在 98% 以上,接近 100%。表明汛期三峡水库在发挥防洪作用的同时,由于水流泥沙含量大,也具有明显的拦沙作用。对于蓄水期 9 月份和 10 月份,宜昌的日含沙量变化也呈现了类似变化特点(表 4 ~ 5),但三峡的拦沙作用更加显著。10 月份是中华鲟产卵的一个重要月份之一,江水含沙量的变化会在一定程度上影响中华鲟产卵。前人研究表明中华鲟产卵的适宜江水含沙量为 0.1 ~ 0.7 kg/m³[9],但表 5 表明三峡水库蓄水后,宜昌适宜于中华鲟产卵的江水含沙量的比例急剧降低,特别是 2005 年后该比例为 0,说明三峡水库的运行对中华鲟的产卵产生了一定的影响。表 2 ~ 5 也表明三峡水库蓄水各个阶段,寸滩站的泥沙特性较蓄水前发生了变化,这是受寸滩上游水土流失的治理和水库建设的影响所致,但寸滩上游水土流失的治理和水库建设对宜昌站泥沙特性的影响程度远不如三峡水库蓄水影响显著。

表 4 两站 9 月份含沙量在 0.3 ~ 1.2 kg/m³ 范围内占全部含沙量比例						
时段	含沙量/(kg · m ⁻³)					
	≤0.3		(0.3,1.2)		≥1.2	
	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌
1954—1980 年	2.95	2.12	52.17	51.39	44.88	46.49
1981—1997 年	0.00	0.59	50.68	61.25	49.32	38.16
1998—2002 年	5.30	5.94	64.24	64.26	30.46	29.80
2003—2005 年	0.00	57.58	87.54	38.26	12.46	4.16
2006—2008 年	14.73	100	71.21	0.00	8.06	0.00
2009—2012 年	35.58	100	59.54	0.00	4.88	0.00

表 5 两站 10 月份含沙量在 0.1 ~ 0.7 kg/m³ 范围内占全部含沙量比例						
时段	含沙量/(kg · m ⁻³)					
	≤0.1		(0.1,0.7)		≥0.7	
	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌	寸滩	宜昌
1954—1980 年	0.12	0.00	66.11	58.11	33.77	41.89
1981—1997 年	0.00	0.00	64.39	68.56	35.61	31.44
1998—2002 年	0.64	1.62	88.36	80.02	10.90	18.36
2003—2005 年	0.00	87.82	97.79	12.18	2.21	0.00
2006—2008 年	1.06	100	90.86	0.00	8.08	0.00
2009—2012 年	25.4	100	74.60	0.00	0.00	0.00

4 结 论

利用长系列的径流量和含沙量资料(包括 2009 年三峡水库蓄水至 175 m 之后的资料),分析了三峡—葛洲坝梯级水库不同蓄水阶段对其下游泥沙特性的影响。结果表明:①三峡水库的运行对其下游年泥沙特性的影响显著,尤其是第二期蓄水和第三期蓄水,而葛洲坝水库由于库容较小,对其下游年泥沙特性的影响很有限;②虽然寸滩上游水土流失治理和水库修建对寸滩及宜昌汛期 7 月份以及蓄水期 9—10 月份的日、月尺度泥沙特性有所影响,但三峡水库的拦沙作用对宜昌汛期 7 月份以及蓄水期 9—10 月份的日、月尺度泥沙特性的影响要显著得多,2005 年以后影响更加显著;③三峡水库的运行使得适宜于中华鲟产卵的日含沙量比例急剧降低;三峡水库的拦沙作用使得下泄水流含沙量明显减小,可能会导致下游侵蚀以及河床不稳定。

参考文献:

[1] EISMA D. Intertidal deposits: river mouths, tidal flats and coastal lagoons[M]. Florida: CRC Press, 1998: 459.

[2] 黄德林,黄道明. 长江流域水资源开发的生态效应及对策[J]. 水利水电快报,2005,26(18):1-4,6. (HUANG Delin, HUANG Daoming. The ecological effect and countermeasure of water Resources development in the Yangtze River Basin [J]. Express Water Resources & Hydropower,2005,26(18):1-4,6. (in Chinese))

[3] 李海彬,张小峰,胡春宏,等. 三峡入库沙量变化趋势及上游建库影响[J]. 水力发电学报,2011,30(1):94-100. (LI Haibin,ZHANG Xiaofeng,HU Chunhong,et al. Impact of cascade reservoirs construction in the upper Yangtze River on sediment inflow to Three Gorges Reservoir[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011, 30(1): 94-100. (in Chinese))

[4] LI Qiongfang, YU Meixiu. Impacts of the Gezhouba and Three Gorges reservoirs on the sediment regime in the Yangtze River, China[J]. Journal of Hydrology,2011,403(3/4):224-233.

[5] 袁晶,许全喜,童辉. 三峡水库蓄水运用以来库区泥沙淤积特性研究[J]. 水力发电学报,2013,32(2):140-147. (YUAN Jing, XU Quanxi, TONG Hui. Study of sediment deposition in region of Three Gorges Reservoir after its impoundment [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2013, 32(2):140-147. (in Chinese))

[6] DAI Z, CHU A, STIVE M, et al. Is the Three Gorges Dam the cause behind the extremely low suspended sediment discharge into the Yangtze (Changjiang) Estuary of 2006? [J]. Hydrological Sciences Journal, 2011, 56(7): 1280-1288.

[7] 李琼芳,邹振华,郭瑾,等. 人类活动对长江泥沙特性的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2007,35(4):364-368. (LI Qiongfang, ZOU Zhenhua, GUO Jin, et al. Human-induced alteration in the sediment load of the Yangtze River [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(4):364-368. (in Chinese))

[8] 马颖,李琼芳,王鸿杰,等. 人类活动对长江干流水沙关系的影响的分析[J]. 水文,2008,28(2):38-42. (MA Ying,LI Qiongfang,WANG Hongjie,et al. Human-induced alteration in the relationship between runoff and sediment of the Yangtze River[J]. Journal of China Hydrology,2008, 28(2):38-42. (in Chinese))

[9] 郭文献,王鸿翔,徐建新,等. 三峡水库对下游重要鱼类产卵期生态水文情势影响研究[J]. 水力发电学报,2011,30(3):21-26. (GUO Wenxian, WANG Hongxiang, XU Jianxin,et al. Effects of Three Gorges Reservoir on the downstream eco-hydrological regimes during the spawning of important fishes[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2011,30(3):21-26. (in Chinese))

(收稿日期:2015 -02 -25 编辑:彭桃英)

