

三峡水库蓄水后 大通至江阴河段河床冲淤变化分析

朱玲玲¹, 罗龙洪², 曹 双³

(1. 长江水利委员会水文局, 湖北 武汉 430010; 2. 江苏省水利工程规划办公室, 江苏 南京 210029;

3. 长江下游水文水资源勘测局, 江苏 南京 210011)

摘要:在长江上游及中下游其他水系大型控制性水利枢纽建设和运行的综合影响下,进入长江下游的水沙条件显著变化,从而引起下游大通至江阴河段河床的冲淤调整。2001—2021年,大通至江阴河段河床趋势性的普遍冲刷较为明显,进而给沿江涉水工程的运行带来一定影响。以大通至江阴河段的水文、泥沙、固定断面及水下地形等观测数据为依据,对大通至江阴河段的水沙条件、河床冲淤量开展分析计算。

关键词:长江下游; 大通站; 水沙条件; 河床冲淤

中图分类号:TV851

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2022)10-0058-0005

Analysis of riverbed scouring and silting in Datong Jiangyin reach after the impoundment of the Three Gorges Reservoir

ZHU Lingling¹, LUO Longhong², CAO Shuang³

(1. Yangtze River Water Conservancy Commission Hydrology Bureau, Wuhan 430010, China;

2. Jiangsu Water Conservancy Project Planning Office, Nanjing 210029, China; 3. Hydrology and Water Resources Investigation Bureau in the Lower Reaches of the Yangtze River, Nanjing 210011, China)

Abstract: Under the comprehensive influence of the construction and operation of large-scale control water conservancy projects in the upper and middle Yangtze River, the water and sediment conditions entering the lower reaches of the Yangtze River have changed significantly, causing the scouring and silting adjustment of the riverbed of the downstream reach from Datong to Jiangyin. From 2001 to 2021, the trend of general erosion of the riverbed from Datong to Jiangyin is more obvious, which has a certain impact on the operation of wading projects along the river. Based on the observation data of hydrology, sediment, fixed cross-section and underwater topography of the Datong Jiangyin river section, the water and sediment conditions and the amount of riverbed scouring and siltation of the Datong Jiangyin river section are analyzed and calculated.

Key words: The Lower reaches of the Yangtze River; Datong station; water and sediment conditions; scouring and silting of riverbed

收稿日期: 2022-08-03

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020001); 长江水科学研究联合基金(U2240224)

作者简介: 朱玲玲(1984—), 女, 高级工程师, 博士, 主要从事河流水沙输移及演变分析与数值模拟研究工作。E-mail: zhull1012@foxmail.com

长江干流自三峡水库以上称为上游,自三峡水库往下至鄱阳湖湖口称为中游,湖口至长江口为下游,其中湖口至大通为径流作用河段,大通以下为感潮河段。自然条件下,大通以下的水沙主要来自于长江上游,1950—2000年宜昌站多年平均年径流量占大通站的比例接近5成,年输沙量更是超过大通站。三峡水库运行后,基本截断了长江中下游的泥沙来源,同时对长江上游的径流过程具有较强的调控作用^[1],中下游河道在水沙双重变化的条件下,河床冲淤调整在所难免。三峡工程论证阶段专家认为,三峡水库建设对中下游河道河床冲淤调整的影响范围大致在湖口附近,最远可达大通附近,因此关于长江中下游河道冲淤的预测计算范围一般为宜昌至大通河段^[2]。然而,三峡水库2003年蓄水后10年,长江中下游河床发生了长距离且较预测发展更快、强度更大的冲刷^[3]。尤其是自2010年开始,金沙江中游、下游大型水利水电工程陆续建成运行,三峡水库入库、出库的水沙条件进一步发生改变^[4],宜昌站2011—2021年输沙量均值相较于三峡水库蓄水前减少幅度超过95%,长江中游河道整体的冲刷强度明显增大,长江下游2001年以来的观测资料显示,自湖口至徐六泾均呈冲刷状态^[5]。以往关于三峡及以上梯级水库群运行后,下游河道的冲淤调整关注重点主要集中在大通以上河段,对于大通以下河段冲刷冲淤特征的分析尚不多见。本文基于近20年大通至江阴河段的水文、泥沙、固定断面及水下地形等观测数据,对大通至江阴河段的水沙条件、河床冲淤量开展分析计算,以期对长江下游河道的综合规划治理及保护提供依据。

1 研究区域概况

本研究以长江下游大通至江阴河段为对象,采用大通站水文泥沙、大通至江阴河段地形及固定断面观测资料。其中,大通站位于研究区域入口,控制着大通至江阴河段的径流水沙条件,分析时段为1981—2021年,根据地形资料情况划分为1981—2000年和2001—2021年各历时约20年的2个时段,2001—2021年各小时段的划分主要依据观测资料的时间序列。地形和固定断面资料主要用于分级计算河床冲淤量。长江下游大通至江阴段全长约452.8 km(含大通河段),根据河道形态特征,可以划分为大通、铜陵、黑沙洲、芜裕、马鞍山、南京、镇扬和扬中等8个河段,采用断面法计算各河段洪水河槽、平滩河槽和枯水河槽2001—2021年的河床冲淤量。文中河床冲淤量的统计时段如2001—2006年实际是指2001年10月至2006年10月,仅2021年为汛前4月。

2 大通站水沙变化

水沙条件改变是引起河床冲淤的动力和物质因素,大通站位于大通至江阴河段进口,可以代表研究河段的水沙条件变化。1981年以来大通站年径流量和年输沙量逐年变化过程如图1,其中1998年径流量最大,为12 440亿 m^3 ,年径流量以周期性波动变化为主,无明显的趋势性调整,1981—2000年和2001—2021年2个时段,大通站多年平均年径流量大致相当,后者略偏小2.0%。三峡水库蓄水后以2007—2011年径流量均值为最小,其中2011年是1981年以来,年径流量最小的年份,仅

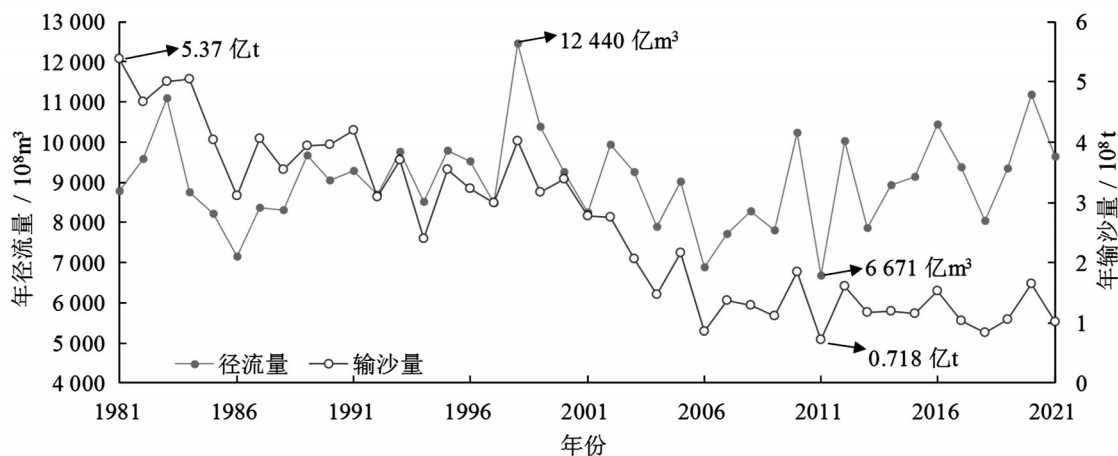


图1 1981—2021年大通站逐年径流量、年输沙量变化

6 671 亿 m^3 , 时段平均年径流量为 7 933 亿 m^3 , 较之 1981—2000 年偏小 12.4%。此后, 大通站径流持续恢复, 至 2017—2021 年间, 其时段平均年径流量增至 9 669 亿 m^3 , 较之 1981—2000 年偏大 6.8%。同时, 从年内的径流过程来看, 1981—2000 年期间, 大通站年内超过平滩 45 000 m^3/s 以上的出现历时较 2001—2021 年偏大, 尤其是 60 000 m^3/s 以上洪水历时偏大近 1 倍。30 000~45 000 m^3/s 中水持续时间变化较小, 10 000~30 000 m^3/s 中低水持续时间明显延长, 年均延长 34 d, 小于 10 000 m^3/s 持续时间明显缩短, 自 2007 年起日均不再出现小于 10 000 m^3/s 的流量。

大通站输沙变化相对剧烈(表 1), 1981 年以来

就开始出现输沙减少的趋势, 统计时段内年最大输沙量为 1981 年的 5.37 亿 t, 年最小输沙量为 2011 年的 0.718 亿 t。1981—2000 年和 2001—2021 年的年输沙量均值分别为 3.82 亿 t 和 1.46 亿 t, 后者偏少 61.8%, 年均含沙量由 0.422 kg/m^3 下降至 0.165 kg/m^3 。尤其是 2017—2021 年, 在径流量整体偏丰的背景下, 年输沙量均值下降至 1.18 亿 t, 相较于 1981—2000 年下降 69.1%, 含沙量均值减小至 0.122 kg/m^3 , 相较于 2001—2006 年偏小 48.1%。可见, 近 20 年受长江上游及其他流域大型控制性水利枢纽工程建设运行的影响, 大通站的输沙量持续减少, 含沙量大幅减小, 进而对河床冲淤产生显著影响。

表 1 南京站降水量变化趋势分析

时段	年径流量 均值/亿 m^3	年输沙量 均值/亿 t	含沙量 均值/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	特征流量持续时间均值/d				
				>60 000 m^3/s	45 000~ 60 000 m^3/s	30 000~ 45 000 m^3/s	10 000~ 30 000 m^3/s	<10 000 m^3/s
1981—2000 年	9 052	3.82	0.422	15	41	102	178	29
2001—2006 年	8 536	2.01	0.235	4	32	110	207	12
2007—2011 年	7 933	1.20	0.151	7	22	101	234	0
2012—2016 年	8 846	1.23	0.139	6	54	88	217	0
2017—2021 年	9 669	1.18	0.122	15	43	102	204	0
2001—2021 年	8 852	1.46	0.165	8	38	101	215	3

3 河床冲淤变化

在三峡水库蓄水前的 1975—2001 年历时 26 年的时间里, 大通至江阴河段平滩河槽累计冲刷 0.515 亿 m^3 ^[5], 年均冲刷量为 0.020 亿 m^3/a 。三峡水库蓄水后, 统计 2001—2021 年, 在大通来流为 60 000 m^3/s 、45 000 m^3/s 和 10 000 m^3/s (分别代表洪水河槽、平滩河槽和枯水河槽) 的水面线下, 大通至江阴河段分别累计冲刷 14.2 亿 m^3 、12.5 亿 m^3 和 11.3 亿 m^3 (表 2), 平滩河槽年均冲刷量为 0.625 亿 m^3/a , 是蓄水前的 30 多倍。可见, 三峡水库蓄水后, 长江下游大通至江阴河段河床的年均冲刷强度明显加大, 主要与水流含沙量大幅减小有关。

3.1 平面分布

从平面分布来看, 河床冲刷呈现“滩槽均冲”的分布特征, 其中高滩部分冲刷量(洪水河槽与平滩河槽冲刷量差值)为 1.7 亿 m^3 , 中低滩部分冲刷量(平滩河槽与枯水河槽冲刷量差值)为 1.2 亿 m^3 , 高

中低滩累积冲刷 2.9 亿 m^3 , 占洪水河槽冲刷总量的 20.4%, 滩体的累积冲刷量和占比明显地大于长江中游宜昌至湖口河段的不足 8%^[5]。各河段滩体冲刷量占比在 1.8%~42.8% 之间不等, 其中马鞍山河段最小, 黑沙洲河段最大。相较于长江中游段, 一方面大通以下长江下游干流河道的河宽较为发育, 分布有大量的规模不一的滩体, 具有典型的多分汊属性; 另一方面, 长江中游典型的中低滩体目前已基本已实施护滩工程, 因而下游河道的滩体冲刷特征更为明显。

3.2 沿程分布

从沿程分布来看, 长江干流安徽境内的大通、铜陵、黑沙洲、芜裕、马鞍山河段总河长为 195.5 km, 占大通至江阴总长的 43.2%, 其洪水河槽、平滩河槽和枯水河槽冲刷量占大通至江阴段总冲刷量的比例分别为 46.9%、42.5% 和 34.7%。江苏境内的南京、镇扬和扬中河段总河长为 257.3 km, 占大通至江阴总长的 56.8%, 其洪水河槽、平滩河槽和枯水河槽

表2 2001—2021年大通至江阴河段不同水位下河槽冲淤量

时段	流量级/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	大通河段/ 万 m^3	铜陵河段/ 万 m^3	黑沙洲河 段/万 m^3	芜裕河段/ 万 m^3	马鞍山河 段/万 m^3	南京河段/ 万 m^3	镇扬河段/ 万 m^3	扬中河段/ 万 m^3	大通至江阴 河段/万 m^3
2001—2006年		-770	-11 743	-9 606	2 324	2 365	2 226	-294	-2 811	-18 309
2006—2011年		-678	-777	-2 779	-4 162	1 818	-7 707	-8 836	-22 002	-45 123
2011—2016年	60 000	-3 559	-4 351	-1 534	-4 791	3 075	-8 194	-1 140	-19 437	-39 931
2016—2021年		-2 491	-14 072	-4 886	-8 871	-1 141	828	-3 146	-4 964	-38 743
2001—2021年		-7 498	-30 943	-18 805	-15 500	6 117	-12 847	-13 416	-49 214	-142 106
2001—2006年		-369	-7 925	-8 215	2 107	3 014	-254	-194	-3 620	-15 456
2006—2011年		-703	-211	-1 258	-3 089	994	-5 462	-8 579	-20 545	-38 853
2011—2016年	45 000	-3 398	-3 795	1 258	-4 591	3 902	-6 688	-3 148	-14 047	-30 507
2016—2021年		-2 420	-13 689	-4 615	-8 703	-1 580	-1 376	-3 035	-5 084	-40 502
2001—2021年		-6 890	-25 620	-12 830	-14 276	6 330	-13 780	-14 956	-43 296	-125 318
2001—2006年		698	-4 082	-6 668	2 225	3 471	-2 500	-1 203	-3 727	-11 786
2006—2011年		-892	-453	-903	-2 213	739	-2 579	-8 055	-20 565	-34 921
2011—2016年	10 000	-2 860	-1 282	981	-3 308	3 903	-4 218	-6 808	-14 087	-27 679
2016—2021年		-2 092	-12 510	-4 165	-7 560	-2 109	-1 814	-2 543	-5 520	-38 313
2001—2021年		-5 146	-18 327	-10 755	-10 856	6 004	-11 111	-18 609	-43 899	-112 699

冲刷量占大通至江阴段总冲刷量的比例分别为53.1%、57.5%和65.3%。可见,安徽境内干流河道的滩体冲刷较之江苏境内的更为明显,枯水河槽的冲刷南京以下河段强度偏大。

3.3 沿时分布

从冲刷发展过程来看,前10年,洪水河槽、平滩河槽和枯水河槽河床冲刷量占总量的比例分别为44.6%、43.3%和41.4%,近10年,三级河槽冲刷量占总量的比例分别为55.4%、56.7%和58.6%,河床冲刷强度呈发展的态势。再从5年时间尺度的发展过程来看,前3个5年内,沿程都还呈现一定的冲淤交替的分布特征,如2001—2006年期间,上段铜陵和黑沙洲河段的冲刷强度最大,其下游的芜裕、马鞍山、南京和镇扬河段有所淤积或少量冲刷;2006—2011年期间,上段前期冲刷强度偏大的铜陵和黑沙洲河段进入冲刷间歇期,前期冲刷较少的芜裕、南京、镇扬和扬中河段冲刷强度加大;2011—2016年期间,沿程又呈现出冲淤交替式分布特征。近5年,来流量显著增大,但含沙量仍持续下降,水流冲刷强度加大,大通至江阴沿程各河段均呈现冲刷状态,是河段整体冲刷强度最大的时期,但仍然有上段偏大、下段偏小的交替发展特征。

综上所述,长江下游大通至江阴段自2001年以

来的强冲刷状态是十分明显的,其主要原因在于大通以上来流的含沙量大幅减小,高强度的次饱和水流要不断地从河床冲起泥沙携带输移。同时,下游河道河床的冲刷发展具有一定的冲积河流属性,在时空发展过程中,都有一定的交替式特征。上游冲多,下游就淤积或者冲少,如2001—2006年期间。上一时段冲多,下一时段就可能少,反之亦然,如2006—2011年期间,大通站含沙量相较于2001—2006年进一步减小,且前期冲刷量相对偏少,尽管年内45 000 m^3/s 以上高水持续时间偏短,但这一时期的洪水河槽和中高滩的冲刷量都明显比2001—2006年偏大。再对比2006—2011年和2016—2021年,2个时段内大通站的含沙量和45 000 m^3/s 以上高水持续时间均基本相当,前一时段滩体冲刷1.22亿t,后一时段滩体就基本处于微冲状态。

4 结 语

(1)2001—2021年,长江下游大通站径流量相较于1980—2000年变化较小,输沙量减少61.8%,尤其是在金沙江中游和下游梯级水库陆续建成运行后,大通站的含沙量进一步减小,2017—2021年均值相较于2001—2006年再度下降近50%。

(2)受来沙减少的影响,长江下游大通至江阴

河段2001—2021年各级河槽均出现冲刷,平滩河槽累计冲刷12.5亿 m^3 ,年均冲刷量较1975—2001年偏大30多倍。

(3)2001—2021年期间,长江下游大通至江阴河段呈“滩槽均冲”的态势,且滩体冲刷量的占比明显高于长江中游河段。河床沿程和沿时冲淤都具有交替式发展的特征,并逐渐由冲淤交替发展为全程冲刷,整体冲刷强度呈增大趋势。

参考文献:

[1] 朱玲玲,许全喜,陈子寒.新水沙条件下荆江河段强冲

刷响应研究[J].应用基础与工程科学学报,2018,26(1):85-97.

[2] 李义天,孙昭华,邓金运.论三峡水库下游的河床冲淤变化[J].应用基础与工程科学学报,2003,11(3):283-295.

[3] 朱玲玲,董先勇,陈泽方.金沙江下游梯级水库淤积及其对三峡水库影响研究[J].长江科学院院报,2017,34(3):1-7.

[4] 许全喜,朱玲玲,袁晶.长江中下游水沙与河床冲淤变化特性研究[J].人民长江,2013,44(23):16-21.

[5] 许全喜,董炳江,张为.2020年长江中下游干流河道冲淤变化特点及分析[J].人民长江,2021,52(12):1-8.

(上接第57页)

观测点,测量频率为每天3次,根据测量数据进行仔细分析。可能有两种情况:①大堤如有沉降,将稍微加快千斤顶的顶进速度,同时调节泥舱的压力和减少出土量;②如果发生路面隆起,将稍许放慢千斤顶的顶进速度,严格控制泥舱压力,以确保大堤安全。

3.2.4 顶进距离变长后产生的不利因素控制

顶进距离变长后顶力持续加大,可增加管节的浆孔数量,改变润滑浆的配比,在管道中间再增加一套压浆设备。

机头产生的偏差,将启动辅助纠偏油缸,如果效果还是不明显,将在管节与机头不脱开的前提下,有限度的松开连接螺杆,放置垫片,加大纠偏的幅度。

3.2.5 机头旋转过大控制

发生机头旋转过大,采用如下技术措施:在机头内部配重压回;用刀盘的转向来纠正顶管机的旋转;尽量提高土舱内的压力使刀盘转矩增大;在刀盘部位注浆提高土的强度,增加刀盘的转矩;如果发生其他的重大的不利因素,及时停止顶进,并上报专家组共同研究解决办法,确保工程的顺利完工。

4 结 语

通过总结分析工程施工经验,有如下启示:大直径、长距离、曲线顶管优选JPCCP管材;严格控制顶力,科学布置中继间及启动时间点;曲线顶管施工关键在跟踪测量,姿态调整及控制是重要手段。

参考文献:

[1] CJ/T 2092—2011.顶进施工法用钢筒混凝土管[S].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2010.

[2] 上海建工集团股份有限公司,上海市基础工程集团有限公司.顶管工程施工规程[M].上海:同济大学出版社,2017.

[3] 陈中原,刘兵兵,施伟.顶管施工技术在南水北调淮安市截污导流清安河穿运洞移建工程施工中的应用[J].治淮,2015(4):48-49.

[4] 凌兴安.城市道路下超长距离曲线顶管技术优化和保障措施[J].工程质量,2020,38(2):83-86.

[5] 刘永生.低覆土厚度下顶管法施工存在的问题及对策[J].施工技术,2011,40(3):97-99.

[6] 蔡文彪.大口径曲线顶管关键施工技术[J].城市道桥与防洪,2019(7):205-208.

[7] 关伟.小口径长距离越江钢顶管测量分析[J].中国标准化,2018(10):103-104.