



## 兴隆枢纽下游河段近年河床演变分析

徐秀枝, 张芹, 郭敏

(湖北省交通规划设计院股份有限公司, 湖北武汉 430051)

**摘要:** 基于大量的实测地形资料, 分析近年来兴隆枢纽下游河段的河床演变特征, 并探讨其主要影响因素。结果表明, 研究河段的河床演变是上游来水来沙条件改变、水利枢纽建设及航道整治工程实施等共同作用的结果。在上游水沙条件变化不大、河段内整治建筑物整体稳定的前提下, 整体河势将保持相对稳定。通过对研究河段平面形态、纵向冲淤及横向变化的分析, 可更好地了解工程河段河床演变规律, 为预测兴隆枢纽下游河段河床演变规律提供科学依据。

**关键词:** 兴隆枢纽; 下游河段; 河床演变; 影响因素

中图分类号: U611; TV147

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0150-07

### Riverbed evolution in lower reaches of Xinglong Hub in recent years

XU Xiuzhi, ZHANG Qin, GUO Min

(Hubei Communications Planning and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430051, China)

**Abstract:** Based on a large number of measured topographic data, this paper analyzes the characteristics of riverbed evolution in the lower reaches of Xinglong Hub in recent years, and explores the main influencing factors. The results indicate that the riverbed evolution of the studied river section is the result of the combined effects of changes in upstream inflow and sediment conditions, construction of water conservancy hubs and implementation of waterway regulation projects. Under the premise that the upstream water and sediment conditions do not change much and the regulation buildings in the reaches are stable, the overall river regime will remain relatively stable. By analyzing the plane shape, longitudinal erosion and sedimentation, and lateral changes of the studied river section, it is possible to better understand the evolution law of the riverbed in the engineering river section, and provide scientific basis for predicting the evolution law of the riverbed in the lower reaches of Xinglong Hub.

**Keywords:** Xinglong Hub; lower reach; riverbed evolution; influencing factor

兴隆枢纽是湖北汉江规划八级枢纽中最下游一级, 是汉江船舶流量最大、运输最为繁忙的区域, 自2013年运行以来累计过船8.1万艘次, 单日最高通航70艘次。兴隆枢纽建成运行后, 其下游河床发生较大变化。国内学者张柏英等<sup>[1]</sup>、刘怀湘等<sup>[2]</sup>、闫世雄等<sup>[3]</sup>针对枢纽下游的河床演变进行了诸多研究。近年来, 汉江汛期反枯、长江水位下降、汉江上游来水减少等因素的叠加影响

破坏了兴隆河段的平衡状态, 引起河道自身冲淤调整, 兴隆枢纽上、下游水位一度突破运行以来历史极低值; 更有甚者, 2022—2023年兴隆船闸断航, 造成上下游近200多艘船舶长时间滞留。

本文基于多年实测地形数据分析兴隆枢纽下游河床演变, 并分析主要影响因素, 以期预测兴隆枢纽下游河段河床演变规律提供技术支撑。

收稿日期: 2023-11-20

作者简介: 徐秀枝 (1989—), 女, 硕士, 工程师, 从事港口航道与海岸工程研究。

## 1 研究河段概况

如图1所示,研究区域为兴隆枢纽下游满天星和聂家场滩段,全长17 km。满天星滩段上起兴隆枢纽坝轴线,下至新滩上,长10.9 km;聂家场滩段上起新滩上,下至老泗港,长6.1 km。

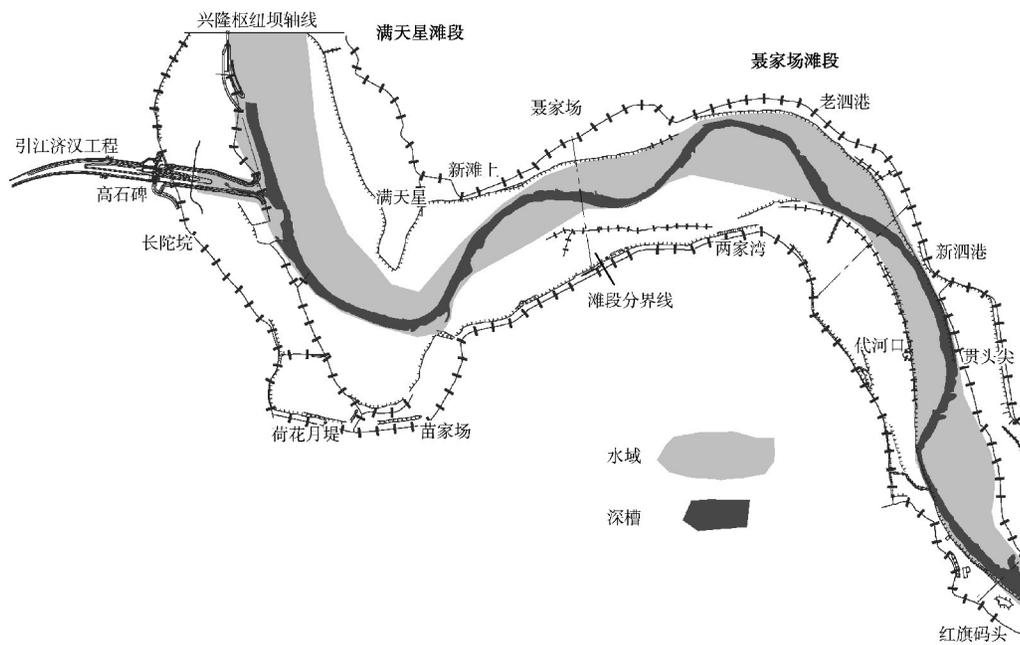


图1 研究河段

## 2 兴隆枢纽下游河段河床演变分析

### 2.1 平面变化

根据研究河段航道整治工程实施前2012年10月测图、实施后2016年1月竣工图及2018年10月、2021年1月、2022年4月、2023年4月测图,分析航道整治工程、兴隆枢纽工程实施后的河床演变特点。

1) 洲滩合并淤长,滩体和岸线趋于稳定。研究河段1000吨级航道整治工程及枢纽工程实施后,散乱的洲滩合并淤积变大,滩体趋于稳定,受水流顶冲、崩岸严重的岸线得到一定程度的守护。图2为工程前后满天星滩段凸岸边滩平面叠合,由图可知,工程前,满天星滩段河道中的边滩、心滩散乱分布,冲淤变化剧烈,滩槽格局不稳;工程后,心滩并入边滩,坝田及凸岸边滩普遍淤积,坝田淤积幅度2~4 m,边滩

研究河段于2014年实施完成1000吨级航道整治工程,同时兴隆枢纽于2009年开工建设,2013年建成运行。由于工程前后河道演变差异较大,故以工程建设为节点,主要分析整治工程、枢纽工程实施后的河床演变规律。

淤积幅度1~2 m。满天星滩段凸岸边滩2016年1月较2012年10月淤积拓宽,最大展宽720 m,滩形完整。2016年1月—2021年1月,边滩形态变化较小。因2017年秋汛,满天星左岸边滩发生大幅淤积,滩面平均淤高超过2.0 m,滩形趋于完整,稳定性增强。

2) 深泓整体摆动减小,仅局部摆动较大。如图3所示,根据研究河段深泓平面叠合可知,工程实施后深泓摆动明显减小。2012年10月—2016年1月,受兴隆枢纽建成影响,满天星滩段进口处深泓摆动大,满CS<sub>1</sub>深泓由左岸导流明渠摆动至右岸主航槽,摆动1438 m,其余摆动在28~300 m;2016年1月—2023年4月,深泓摆动减小,大部分摆动不超过50 m,仅局部(如满CS<sub>1</sub>、聂CS<sub>1</sub>处)冲淤变化引起主流及航槽的摆动,这主要是近坝河段局部滩体或者已建工程区域冲刷较大,造

成局部河道放宽而引起的摆动。满天星引江济汉汇流口段深泓摆动主要是由于汇流处下游右侧边滩淤长挤压，造成汇流处的深泓左摆，再往下游

段的深泓则是因为右侧岸线受兴隆枢纽清水下泄的影响，不断侵蚀，河床冲深，吸流作用增强，造成主流及深泓右摆，形成坐弯的态势。

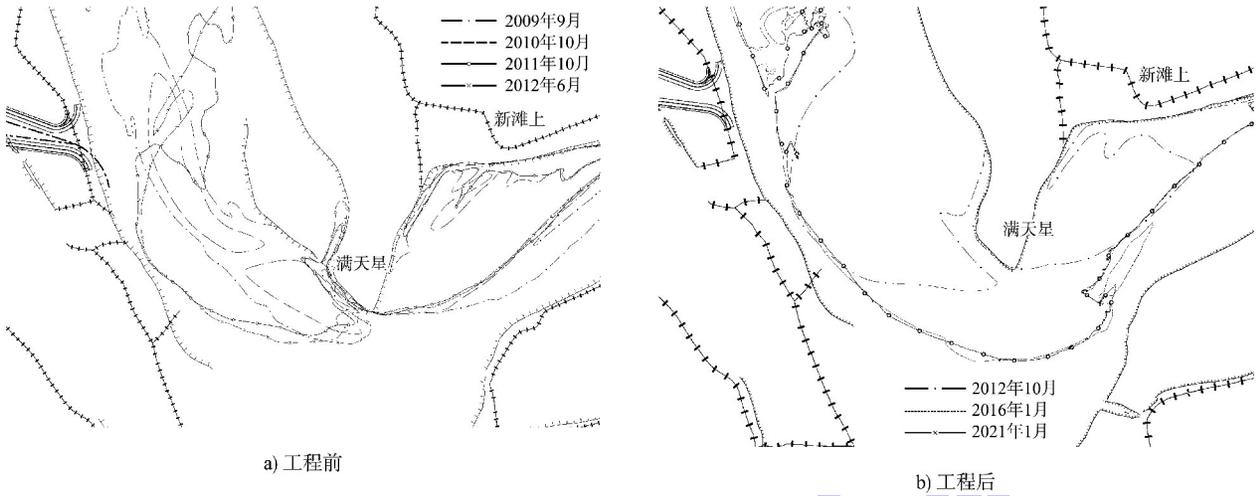


图2 工程前后满天星滩段凸岸边滩平面叠合

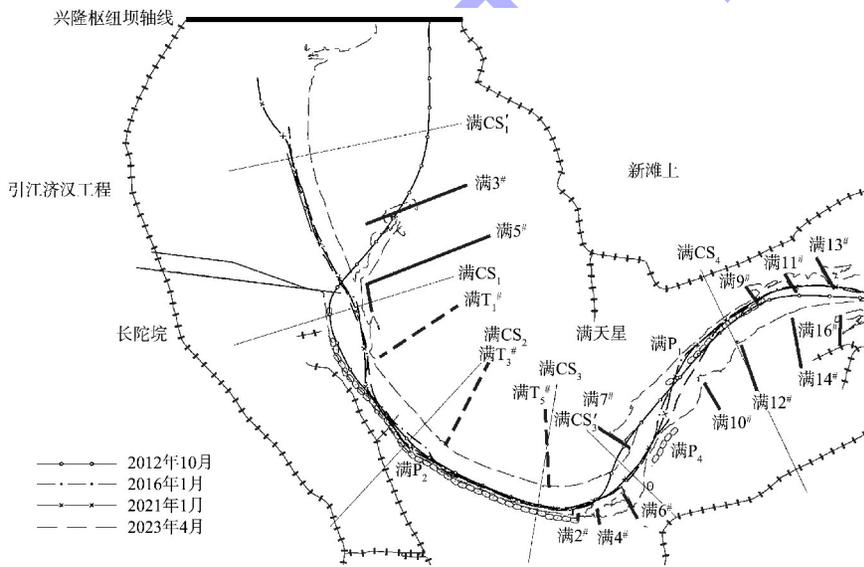


图3 满天星滩段深泓平面叠合

3) 深槽变化。如图4所示，根据研究河段3.0 m深槽叠合可知，航道整治工程实施以来，工程河段3.0 m航槽普遍冲刷展宽，航道条件整体有所改善，但部分滩段受冲淤变化的影响，3.0 m深槽变化仍较大。满天星引江济汉汇流口下游段，洪水期受水流交汇作用，泥沙极易在此落淤，淤积体挤压航槽，导致3.0 m航槽宽度不足。2021年大水年后，汇流段右侧边滩淤宽、淤长，航槽受到挤压，整体左摆，航宽不足的范围增大；但经历

2022年小水年后，交汇处边滩又有所冲刷，边滩的宽度和长度有所萎缩，但仍存在较大范围航宽不足的部位。枯水期引江济汉出流对汉江航槽内的水流形成一定顶托作用，造成水动力减弱，对形成的淤积体冲刷作用有限，尽管已建丁坝满5#对淤积体冲刷有一定作用，但其作用范围有限。聂家场滩段已建整治工程区域冲刷明显，3.0 m深槽已发展至整治建筑物内，航槽左摆，导致两家湾处有效航宽不足。

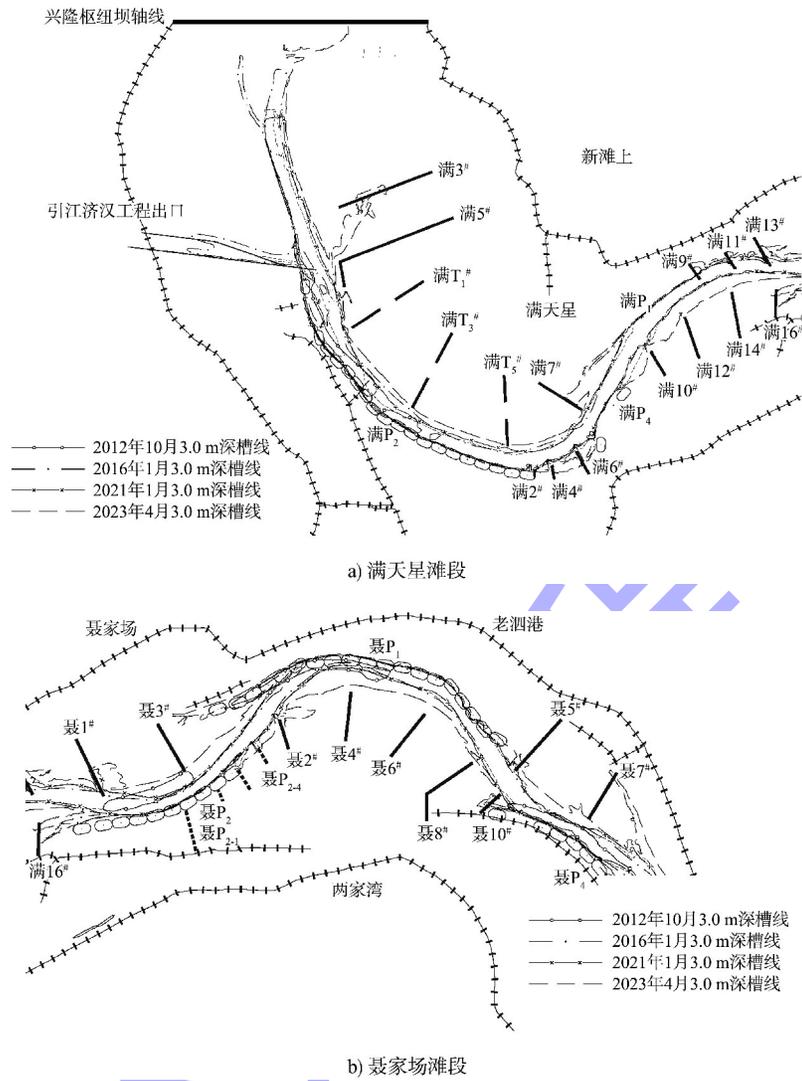


图 4 研究河段 3.0 m 深槽叠合

### 2.2 纵向及冲淤变化

根据研究河段深泓纵断面叠合(图 5)可知,该河段总体呈滩淤槽冲,河床纵向以冲刷下切为主。2012 年 10 月—2021 年 1 月,研究河段深泓

沿程冲刷下切,满天星、聂家场滩段冲刷达 4 m 以上;在经历 2021 年大水年后,深泓继续冲刷下切;因 2022 年为罕见的特枯水年,流量小,水位低,深泓有冲有淤,冲刷幅度较小。

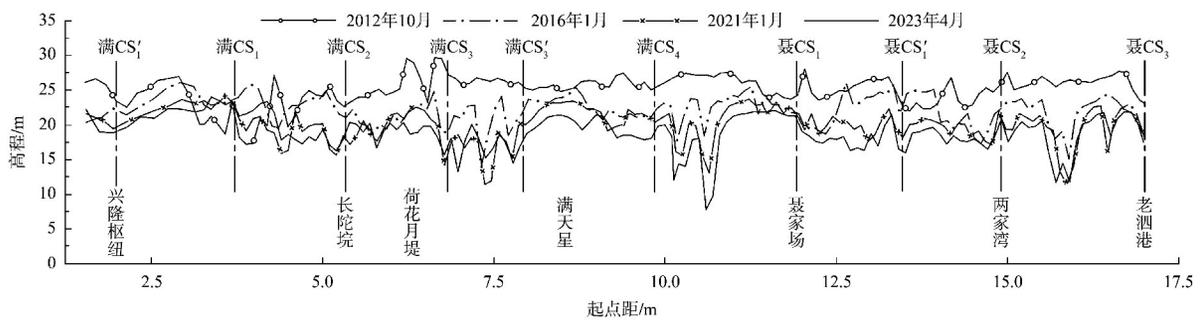


图 5 研究河段深泓纵断面叠合

由河道冲淤量(表 1)可知,2021 年 1 月—2023 年 4 月,工程河段整治线范围内以冲刷为主,冲刷量为 111.9 万 m<sup>3</sup>;其中,2021 年为典型的大水年,河槽内冲刷较为明显,冲刷量为 114.7 万 m<sup>3</sup>;2022 年为特枯水位年,河槽范围内冲淤基本平衡。

根据研究河段 2016 年 1 月—2023 年 4 月冲淤变化(图 6)可知,随着兴隆枢纽运行的影响以及整治工程作用的发挥,河段内航槽普遍冲

刷,洲滩淤积,呈现明显的滩淤槽冲特点。河段航槽在冲深、展宽的同时,逐渐向坝田内发展,研究区域头部及已建整治工程头部冲刷较为明显,主要是受人为采砂及弯曲河道凹岸水流顶冲的影响,局部冲刷最大达 6 m。除了满天星汇流段附近航槽表现为淤积外,其余淤积主要在洲滩附近,其中满天星边滩最大淤积幅度达 4 m 以上。

表 1 2021—2023 年研究河段冲淤量

时段	河道范围冲淤量/万 m <sup>3</sup>			整治线范围冲淤量/万 m <sup>3</sup>		
	冲刷	淤积	变化	冲刷	淤积	变化
2021 年 1 月—2022 年 4 月	-517.0	530.8	13.8	-208.3	93.6	-114.7
2022 年 4 月—2023 年 4 月	-590.4	678.9	88.5	-91.9	94.7	2.8
2021 年 1 月—2023 年 4 月	-1 107.4	1 209.7	102.3	-300.2	188.3	-111.9

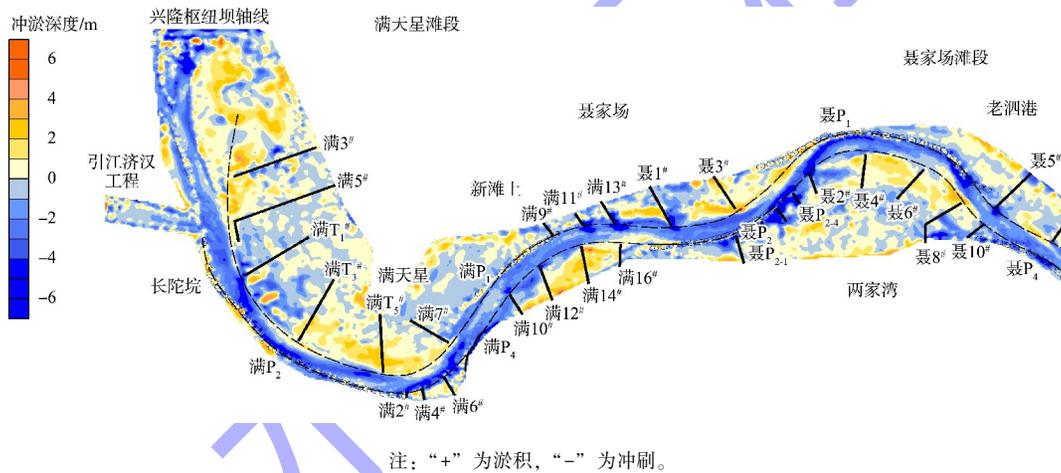
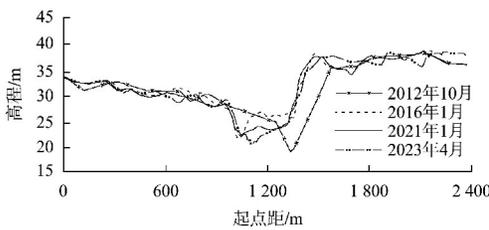


图 6 2016—2023 年研究河段冲淤变化

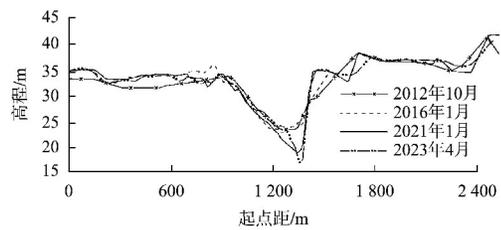
### 2.3 横向变化

从部分典型横断面叠合(图 7)可知,工程实施后,2012 年 10 月—2021 年 1 月横断面整体表现为滩淤槽冲,过渡段(如满 CS<sub>1</sub>、聂 CS<sub>1</sub>)以冲刷展宽为主,河槽成 U 形;微弯段(如满 CS<sub>2</sub>、满

CS<sub>3</sub>、聂 CS<sub>2</sub>)以凹岸侧冲深为主,河槽偏 V 形,深槽冲深达 4 m 以上,凸岸边滩侧主要表现为淤积,幅度 1~2 m。2021 年 1 月—2023 年 4 月,断面形态未发生大的改变,仅部分深槽有所冲深。



a) 满CS<sub>1</sub>



b) 满CS<sub>2</sub>

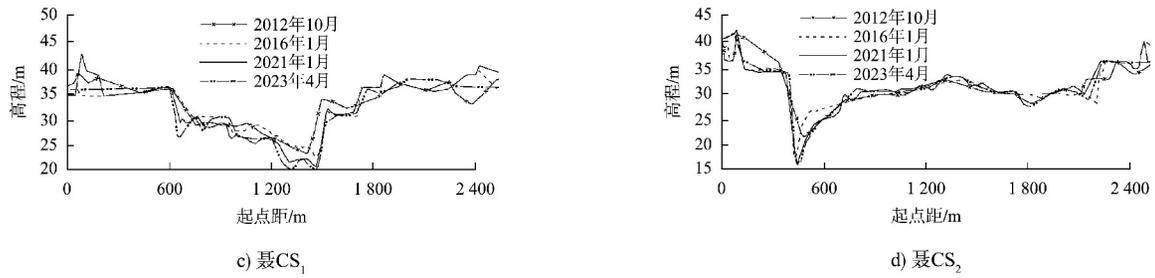


图 7 研究河段部分典型横断面叠合

根据研究河段断面河相系数(表 2)可知, 工程实施前断面河相系数较大, 2012 年 10 月多个断面的断面河相系数均超过 10, 满 CS<sub>3</sub> 接近 20, 断面呈宽浅

型。工程实施后断面河相系数减小, 大多数断面的断面河相系数均小于 10, 断面有所冲深, 形态以偏 V 或 U 形为主, 河床断面的稳定性有所增强。

表 2 研究河段断面河相系数

断面号	计算水位/m	断面河相系数 $\xi$					
		2012 年 10 月	2016 年 1 月	2018 年 10 月	2021 年 1 月	2022 年 4 月	2023 年 4 月
满 CS' <sub>1</sub>	32.08	16.41	11.75	12.70	14.95	8.48	8.34
满 CS <sub>1</sub>	32.02	9.10	8.89	9.01	8.58	9.44	8.87
满 CS <sub>2</sub>	31.97	4.81	3.95	3.26	3.06	2.90	3.30
满 CS <sub>3</sub>	31.91	19.39	15.49	13.69	13.17	10.47	7.24
满 CS' <sub>3</sub>	31.87	10.34	5.66	3.92	3.21	2.44	2.54
满 CS <sub>4</sub>	31.81	12.36	9.78	8.27	8.75	8.08	7.91
聂 CS <sub>1</sub>	31.75	7.69	7.43	7.86	6.93	6.75	7.52
聂 CS' <sub>1</sub>	31.70	10.00	10.34	9.40	9.06	6.28	4.63
聂 CS <sub>2</sub>	31.66	16.61	18.05	15.23	14.96	17.41	15.44
聂 CS <sub>3</sub>	31.57	10.43	10.23	8.87	9.03	7.95	8.18

注:  $\xi = B^{0.5}/h$ , 其中  $B$  为相当于造床流量下平滩河宽,  $h$  为平滩水深。

### 3 河床演变影响因素分析

#### 3.1 上游来水来沙条件的变化

来水量、来沙量是决定河床形态最重要的 2 个因素, 是导致河床演变的关键<sup>[4]</sup>, 研究河段上游来水来沙条件主要受丹江口水库建库、汉江梯级枢纽建设以及引江济汉工程实施等因素影响<sup>[5-6]</sup>。根据 2014 年丹江口调水运行以来实际水沙过程可知, 工程河段水沙特点表现为枯水流量增大, 平均达 500 m<sup>3</sup>/s 左右; 中水历时缩短, 汛后退水加快; 洪峰削减, 但汛期洪峰仍然存在; 来沙量大幅减少。

由此可知, 枯水流量增大和来沙量减少将加剧工程河段枯水期冲刷力度, 弯道段水流贴弯长

度延长, 弯顶段冲刷长度增加; 汛后退水加快和中水历时缩短将造成汛期淤积泥沙难以快速冲刷下移, 在枯水初期易出现浅滩水深不足等情况; 调水后弃水洪峰将对浅滩和主槽产生突发性、高强度的破坏作用, 引起弯道段凸岸边滩切割、局部河势调整等变化。

#### 3.2 水利枢纽的建设

自 20 世纪 70 年代丹江口水库建成蓄水以来, 汉江干流已建成丹江口、王甫洲、崔家营、兴隆 4 级枢纽, 新集、雅口、碾盘山枢纽正在建设中。研究河段上游建有兴隆枢纽, 年内不同时期汇流作用不同。中洪水期, 兴隆枢纽泄洪闸泄流与电站出流两股水流在满天星滩段交汇, 大量泥沙在此

淤积,常以边滩或者心滩形式出现,尤其是年内大于 $2\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 流量持续时间较长,边滩规模较大。枯水期,受兴隆枢纽清水下泄持续冲刷的影响,近年来冲刷下切明显,局部冲刷幅度达 $4\ \text{m}$ 以上,尤其是苗家场、新滩上等弯道段,同时受凹岸水流贴岸冲刷的影响,深槽不断侵蚀坝田,逐渐向右岸发展,主流贴近已建整治工程头部或者前沿,造成局部流态紊乱等碍航水流。

水利枢纽的兴建使得洪中枯水期不同的下泄流量控制组合情况下,天然状态下的水文条件和河床边界条件发生改变,上游水流挟带的泥沙在库区落淤,从而使得下游河道来沙量大幅度减少,破坏了河道原有的冲淤平衡状态,引起坝下河道冲刷,加剧河床演变<sup>[7-10]</sup>。

### 3.3 航道整治工程的实施

航道整治工程的实施起到固滩护岸,束水归槽,控制主流摆动的作用,有利河段河势的稳定。2014年研究河段完成 $1\ 000$ 吨级航道整治工程,主要采取筑坝、护滩带、护岸、填槽、疏浚切滩等工程措施。航道整治工程的实施使得有效河宽缩窄,主槽流速增加,散乱的洲滩合并,滩槽格局趋于稳定,改善了工程河段航道条件,有利于稳定河段滩槽格局和中枯水河势。

## 4 结语

1) 近年来,研究河段平面变化主要表现为洲滩合并淤长,滩体和岸线趋于稳定,且深泓整体摆幅减小,深槽普遍冲刷展宽,航道条件整体有所改善。

2) 研究河段总体呈滩淤槽冲,河床纵向以冲刷下切为主,遇大水年河槽冲刷较为明显,遇特枯水年冲刷幅度则相对较小。

3) 河槽断面成U或V形,断面变化较大的

位置主要集中在弯道段,近年来断面河相系数减小,河床断面的稳定性有所增强。

4) 受上游丹江口水库清水下泄的影响,兴隆枢纽下游河段的来水来沙条件发生较大变化,目前仍以冲刷下切为主,但随着航道整治工程的实施及自身调节作用,在上游水沙条件变化不大的前提下,研究河段总体河势将保持相对稳定。

### 参考文献:

- [1] 张柏英,李一兵. 枢纽下游河床极限冲刷及水位降落研究进展[J]. 水道港口, 2009, 30(2): 101-107.
- [2] 刘怀湘,王兆印,陆永军,等. 山区下切河流地貌演变机理及其与河床结构的关系[J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 367-372.
- [3] 闫世雄,隆院男,蒋昌波,等. 湘江下游水位变化趋势与河床演变关系研究[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(6): 150-156.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 黄晨霞,张行南,徐双全,等. 杭州湾北沿上海段水下地形冲淤变化特征[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(2): 379-389.
- [7] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 324-327.
- [8] 杨清书. 珠江三角洲网河型水道河床演变研究[D]. 上海: 华东师范大学, 1999.
- [9] 戴会超,何文社,袁杰,等. 葛洲坝水利枢纽运行后泥沙冲淤变化分析[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 691-695.
- [10] 朱金和. 流溪河人和坝址河段河床演变分析[J]. 珠江水运, 2019(13): 49-51.

(本文编辑 王传瑜)