



长江上游叙渝段采砂坑分布及对水位的影响*

张帅帅^{1,2}

(1. 重庆交通大学, 国家内河航道整治工程技术研究中心, 重庆 400074;

2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 从多年实际情况来看, 长江宜宾至重庆河段冲淤是基本平衡的, 相对于采砂来说砂石补充量很小, 同时也很慢, 所以势必造成河床纵向和横向变形, 从而改变河流河势, 进而引起航道水流条件变化。通过实测资料得到长江宜宾至重庆河段的滩面破坏区特征参数。通过数学模型计算并结合典型滩险实测地形和水位资料, 分析得出: 目前无序采砂坑已经使甑柄碛河段和部分航行水尺附近的水位在枯水期有一定的降低, 给航道维护部门和船舶航行带来了一定困难。需要重点研究和关注这个问题。

关键词: 采砂; 采砂区; 宜宾至重庆河段

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)06-0135-06

Distribution of sand excavation pits and its influence on water level in Xuyu section of upper reaches of the Yangtze River

ZHANG Shuai-shuai^{1,2}

(1. National Engineering Research Center for Inland Waterway Regulation, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Changjiang Chongqing Harbor and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Judging from the actual situation for many years, the scour and deposition of the reach of the Yangtze River from Yibin to Chongqing is relatively balanced, and the replenishment of sand and gravel is very small and slow compared with sand mining. So it is bound to cause longitudinal and lateral deformation of the riverbed, thus changing the river regime and causing changes in the flow conditions of the waterway. Based on the measured data, the characteristic parameters of the beach failure zone in the reach of the Yangtze River from Yibin to Chongqing are obtained. Through mathematical model calculation, and combined with the measured topography and water level data of typical beach dangers, the analysis shows that: the current disorderly sand mining pits have reduced the water level to a certain extent near the Zengbingqi river section and part of the navigating water gauge during the dry season, which has brought some difficulties to the waterway maintenance department and ship navigation. This issue needs to be studied and paid attention to.

Keywords: sand mining; sand mining area; Yibin to Chongqing reach

长江上游河段虽然多年来河床相对保持稳定, 岸形及深泓位置变化不大, 但近年来受到无序采砂等人为因素影响, 造成滩槽格局发生变化, 部分滩险航道条件有所恶化, 航道尺度有所缩窄,

或者河道呈现累积性淤积趋势。许多学者对此进行了研究, 彭玉明等^[1]针对荆江近年来的无序采砂问题采用平面二维水动力学数学模型分析大规模无序采砂对关洲汊道的形态及分流格局产生的

收稿日期: 2020-08-13

*基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0402104)

作者简介: 张帅帅(1987—), 男, 博士研究生, 工程师, 从事河流动力学研究。

影响；张蔚等^[2]采用数学模型计算分析采砂后航道网水动力条件变化；毛野等^[3]采用物理模型试验研究不同河道形态采砂前后河床变形情况；应翰海^[4]通过河床演变分析和数值模拟等方法预测系列年 10 年末高港河段的航道通航条件，分析高港边滩演变趋势及对深水航道通航的影响，研究结果表明：未来扬中河段的河势基本稳定，高港边滩不会大幅度淤涨，也不易冲刷消失，高港边滩段中上段的航道条件能满足深水航道通航条件，高港边滩下段存在轻微碍航情况；于合理等^[5]依托 HEC-RAS 泥沙计算模块，以石亭江双盛段为研究对象，结合野外调查实际情况，拟定数种采砂坑工况，研究采砂坑纵剖面尺寸对河道河床演变的影响，人工采砂对河床整体的下切起促进作用，采砂坑会改变河道局部坡度；杨兴菊^[6]以蚌埠—浮山河段为例，基于 2001、2008 年水下断面测量资料，初步分析人工采砂对河段断面形态和纵剖面变化的影响，结果显示采砂给防洪安全带来隐患，同时河道采砂造成水流流态变化、船只拥挤，给航道安全带来不利影响；李健^[7]应用 Fluent 软件进行沙坑局部的立面二维水沙数值模拟，结果表明沙坑在立面方向上改变了流场以及泥沙的分布结构。

长江干线航道横贯东西，地理条件十分优越，长江流域江砂资源丰富，有大量的砂石可以开发利用。无序采砂造成卵石滩、碛消失，河床下切。这些无序人工采砂行为，使滩段地形变化达到 40 余米，引起河床的剧烈改变，无序采砂对河道的影响远远大于河道自然演变以及航道整治对河床的改变。如龙门水道的甑柄碛滩、小米滩水道的小米滩、井口水道的风簸碛及红灯碛、香炉滩水道的吊鱼嘴及余家湾、筲箕背水道的过兵滩及筲箕背滩等滩险，在近几年枯水期均实施了维护性疏浚才得以保障枯水期航道畅通。无序采砂坑在不同水位期对航道造成的影响比较严重，给航道维护部门和船舶航行带来了较大的压力。

1 河段概况

长江上游宜宾合江门(上游航道里程 1 044 km)至重庆九龙坡(上游航道里程 681 km)河段，简称叙渝段，全长 363 km。目前，本航道技术等级为Ⅲ级，其航道维护尺度为 2.9 m×50 m×560 m，枯水期可通航 1 000 吨级船舶及其组成的船队。见图 1。

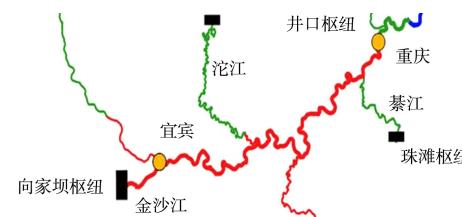


图 1 研究河段

2 叙渝段滩面破坏区特征参数

将宜宾—重庆划分为 9 个河段进行滩面变化参数统计，主要包括最大深度、平均深度、采砂体积等。

对比 2007 年(1:5 000 测图)和 2016 年(1:2 000 测图)宜宾—重庆河道地形图，无序采砂造成地形变化量估算约为 2.34 亿 m^3 ；采砂坑个数约为 188 个，单个采砂坑采砂量达到 500 万 m^3 的有 9 个，整个河段超过 100 万 m^3 的采砂坑约有 63 个。

宜宾—重庆河段内最大采砂坑深度为 32.9 m，位于牛屎碛(航道里程 1 012.8 km)；最小采砂坑深度为 2.5 m。采砂坑深度超过 20 m 的约有 37 个，采砂坑深度 10~20 m 的约有 90 个。单个采砂坑最大采砂体积约为 0.137 亿 m^3 ，位于火焰碛(航道里程 921 km)。

滩面变化特征见表 1，采砂量分布见图 2，其它相关参数分布见图 3~5。

表 1 叙渝段滩面变化特征参数估算

体积范围/万 m^3	数量/个	最大深度/m	平均深度/m	总体积/亿 m^3
<100	126	15.51	6.33	0.51
100~200	32	19.89	7.44	0.46
200~500	22	20.95	7.10	0.66
>500	9	23.02	9.41	0.71
合计	188	-	-	2.34

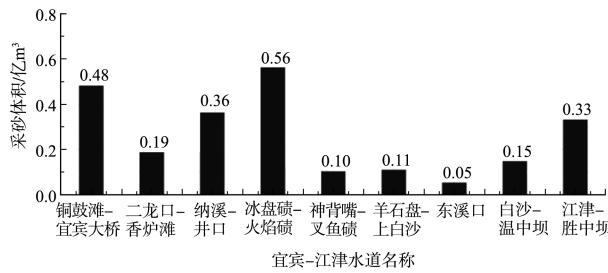
注: 宜宾(1 044 km)—江津(730 km)采砂总体积为 2.34 亿 m^3 。

图2 长江上游宜宾至江津河段采砂量分布

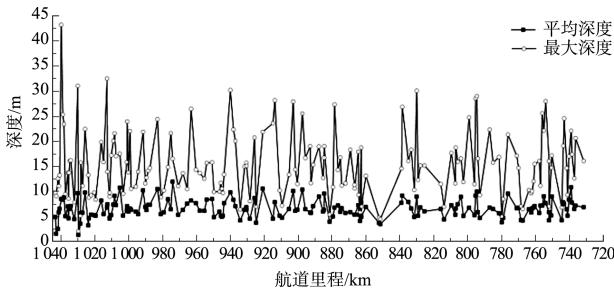


图3 滩面破坏区最大深度和平均深度分布

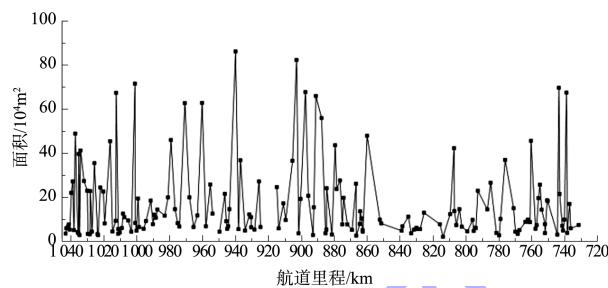


图4 滩面破坏区面积分布

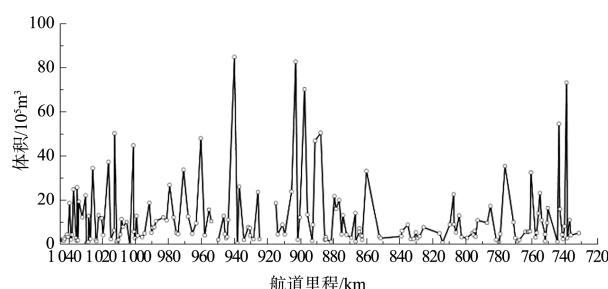


图5 滩面破坏区体积分布

3 典型滩段滩面破坏区演变及水位变化特性

3.1 滩面变化参数统计

采砂坑深度超过 20 m 的约 37 个, 主要有火焰碛、青龙碛、甑柄碛等, 选取甑柄碛龙门水道甑柄碛采砂区作为典型滩段来研究采砂前后航道水位

变化情况。龙门水道起于兰家沱(上游航道里程 742.2 km), 止于下罗盘(上游航道里程 750 km), 长 7.8 km。该水道弯曲, 上段左岸有郑家梁、螺丝滩等礁石突出; 中段右岸龙门滩石梁突出江心, 左岸甑柄碛碛翅伸入江中甚开, 与右岸小滩子、龙门滩等石梁相对, 航槽弯浅; 下段左岸秤杆碛暗碛伸出江中甚开, 与右岸鲤鱼碛碛尾相对峙, 形成过渡段浅滩。

受河道过度无序采砂影响, 长江上游郑家梁航行水尺附近河段龙门水道内甑柄碛、干坝子滩被采空, 最大采砂深度达 24.56 m, 采砂量约为 800 万 m^3 , 致使郑家梁枯水水位降低非常明显。见表 2。

表2 龙门水道滩面破坏区参数估算

航道里程/km	最大深度/m	面积/万 m^2	体积/万 m^3
744.5	6.82	3.06	13.10
743.5	19.13	69.72	547.81
743.0	24.56	21.48	161.77
741.5	14.70	7.02	45.32

3.2 冲淤变化

龙门水道典型横断面布置见图 6。由图 7 所示的典型横断面变化可见, 龙门水道下游左岸边滩的河床地形变化明显, 2007—2017 年河床降低明显, 弯道段进口在甑柄碛碛翅部分出现 8 m 左右的凸起; 弯顶处断面下切最大幅度约 16 m; 弯顶下游左侧边滩最大降幅约 24.56 m。2017—2019 年河段无明显冲淤。

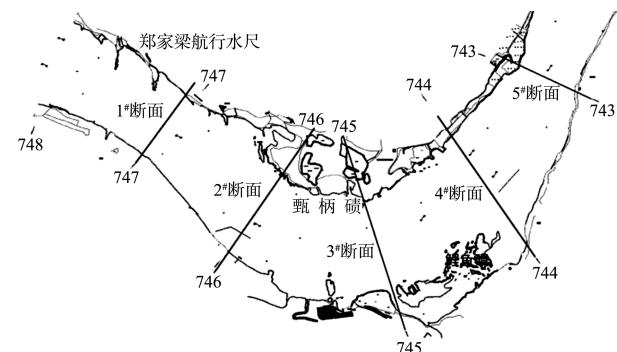


图6 龙门水道河势及典型横断面布置(单位: m)

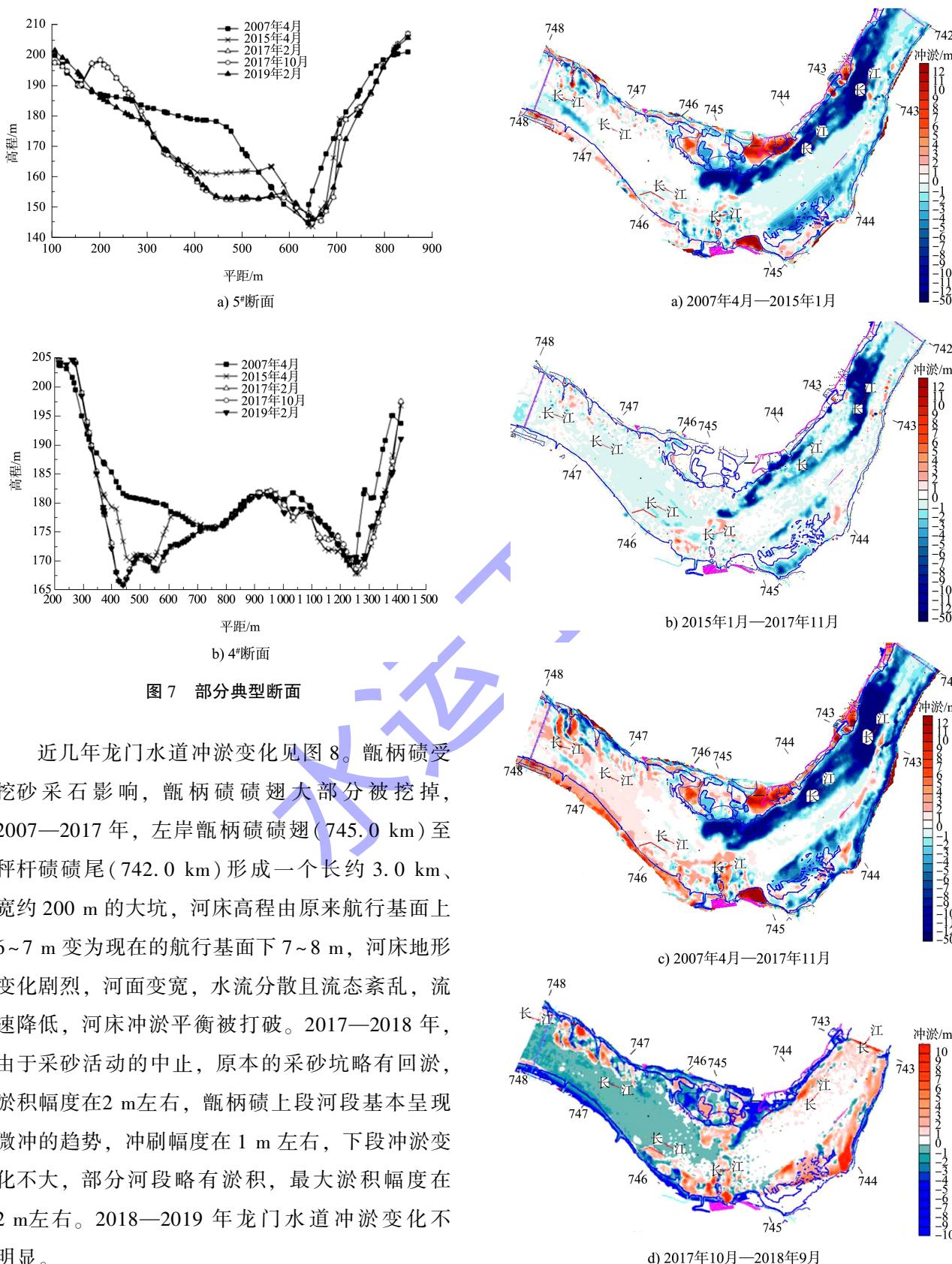
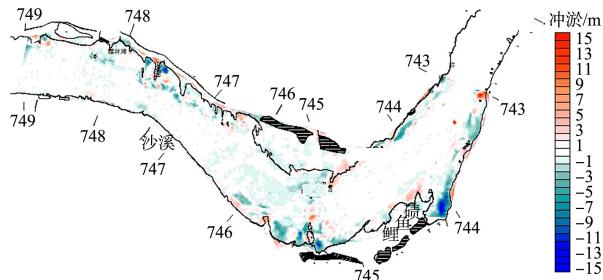
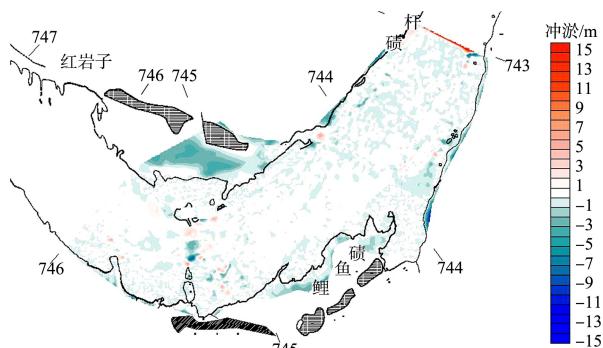


图 7 部分典型断面

近几年龙门水道冲淤变化见图 8。甑柄碛受挖砂采石影响, 甑柄碛碛翅大部分被挖掉, 2007—2017 年, 左岸甑柄碛碛尾 (745.0 km) 至秤杆碛碛尾 (742.0 km) 形成一个长约 3.0 km、宽约 200 m 的大坑, 河床高程由原来航行基面上 6~7 m 变为现在的航行基面下 7~8 m, 河床地形变化剧烈, 河面变宽, 水流分散且流态紊乱, 流速降低, 河床冲淤平衡被打破。2017—2018 年, 由于采砂活动的中止, 原本的采砂坑略有回淤, 淤积幅度在 2 m 左右, 甑柄碛上段河段基本呈现微冲的趋势, 冲刷幅度在 1 m 左右, 下段冲淤变化不大, 部分河段略有淤积, 最大淤积幅度在 2 m 左右。2018—2019 年龙门水道冲淤变化不明显。



e) 2018年9月—2019年2月



f) 2019年2月—2019年9月

图8 龙门水道冲淤变化

3.3 水面线变化分析

连续性方程:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q + Q_j \quad (1)$$

动量方程:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{2A^2} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(S_f + S_0) = 0 \quad (2)$$

式中: t 和 x 分别为时间和空间坐标; A 为过水断面面积; Q 为流量; q 为单位长度河道的旁侧入流; Q_j 为旁侧集中入流; β 为动量修正系数; h 为水深; S_0 为底坡源项; S_f 为摩擦阻力项。

$$S_f = \frac{Q |Q|}{K^2} \quad (3)$$

$$K = \frac{1}{n} A^{5/3} P^{-2/3} \quad (4)$$

式中: K 为流量模数; n 为糙率; P 为湿周。

龙门水道二维数学模型数值模型计算范围为: 长江葫芦碛(长江上游航道里程 756 km)至浅碛子(长江上游航道里程 741 km), 约 15 km。共布置 45 个断面, 断面间距约 300 m。断面糙率取值范围为 0.28~0.34。

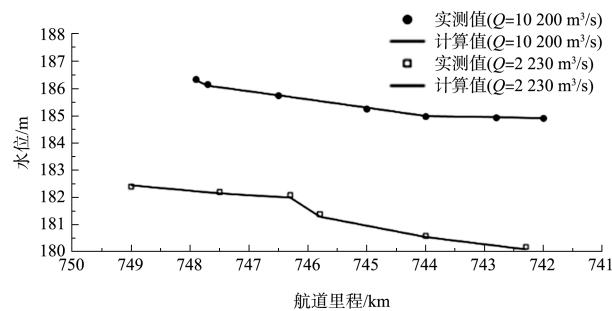
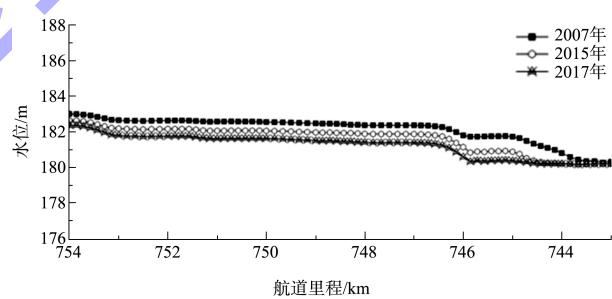


图9 水面线验证

图9为一维数学模型水位验证,由图9可以看出两种流量工况下水位最大误差为 0.08 m,满足规范要求 ± 10 cm 的要求。

由图10可以看出, $Q=2 230 \text{ m}^3/\text{s}$ 下河段水面线变化明显,与2007年水面线相比,2015年河段经过大面积采砂后在甑柄碛附近水面线最大降落约0.9 m;与2007年水面线相比,2017年河段在甑柄碛附近水面线继续降落,最大降落约1.05 m。河段采砂后2015、2017年郑家梁河段航行水尺(里程747.1 km)附近水面线分别降落约0.50、0.75 m。

图10 $Q=2 230 \text{ m}^3/\text{s}$ 时不同年份水位变化

研究河段水位降低较大的主要为朱杨溪794.5 km,降低0.13 m;郑家梁747.8 km,降低0.63 m;黄研726 km,降低0.33 m。为了验证水尺水位变化的情况,2017年枯水期对郑家梁、黄研水尺水位进行了现场复核,郑家梁水尺的水位为航行基面下0.09 m,而该水尺上下游水尺水位约为航行基面上0.5 m;由此推断郑家梁航行水尺水位要低于正常水位约0.59 m。图11是朱沱站水文站近年来的水位流量关系,2018年的水位相较于2007年有明显的下切。表3显示2015年黄研水尺水位较朱沱806 km水位低0.32 m,2016年黄研水尺水位较朱沱水位低0.34 m,2017年黄研水尺水位

较朱沱水位低 0.30 m。图 9 显示朱沱站水位近年来有下降, 黄砾水尺零点比朱沱站平均低 30 cm 以上。可见, 河段采砂坑对枯水期水位有较为明显的影响。

受人工采砂的影响, 颓柄碛滩面的下切幅度较大, 使得左岸边滩消退、出现深槽, 河段滩槽发生重塑。且颓柄碛水域设计水位下降明显, 与 2007 年水面线相比, 2017 年河段在颓柄碛附近水面线最大降落约 1.05 m。从 2017 年 11 月地形测图来看, 基本上刚能满足 2.9 m 的维护水深; 2017—2019 年河段无明显的冲淤变化。

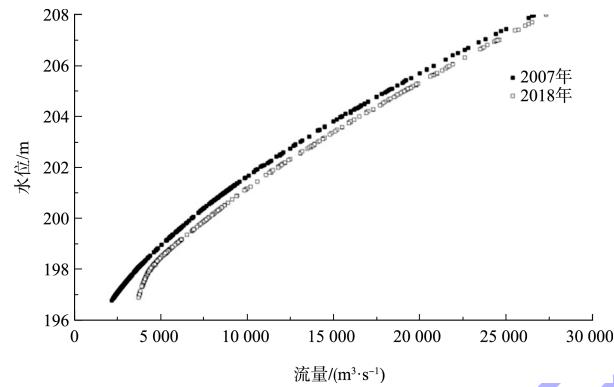


图 11 朱沱站水位流量关系

表 3 黄砾、朱沱水尺近年同比降观测成果

年份	朱沱		黄砾	
	绝对高程/m	相对高程/m	绝对高程/m	相对高程/m
2015	195.78	0.76	177.13	0.44
2016	195.73	0.71	177.06	0.37
2017	195.55	0.53	176.92	0.23

4 结论

1) 对比 2007 年和 2016 年宜宾—重庆河道地形图, 无序采砂造成地形变化量估算约为 2.34 亿 m^3 ;

采砂坑个数约为 188 个。宜宾至重庆河段内最大采砂坑深度为 32.9 m 位于牛屎碛(航道里程 1 012.8 km)采砂坑深度超过 20 m 的约有 37 个, 采砂坑深度 10~20 m 的约有 90 个。

2) 受河道过度无序采砂影响, 长江上游郑家梁航行水尺附近河段龙门水道内颓柄碛、干坝子滩被采空, 最大采砂深度达 24.56 m, 致使朱杨溪、郑家梁、黄砾枯水水位降低非常明显。

3) 无序采砂已经造成长江上游宜宾至重庆河段局部河段水位大幅下切, 给船舶通航带来一定的影响。滩面变化后沿线不同水位期航道水流条件变化特性尚未系统研究, 因此无序采砂带来的新的航道问题需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 彭玉明, 黄烈敏. 无序采砂对长江荆江河段关洲汊道形态的影响[J]. 泥沙研究, 2020, 45(4): 27-32.
- [2] 张蔚, 严以新, 诸裕良, 等. 人工采沙及航道整治对珠江三角洲水流动力条件的影响[J]. 水利学报, 2008(9): 1098-1104.
- [3] 毛野, 黄才安. 采砂对河床变形影响的试验研究[J]. 水利学报, 2004(5): 64-69.
- [4] 应翰海, 谭志国, 闻云呈, 等. 长江下游高港边滩演变趋势及其对深水航道的影响[J]. 水运工程, 2020(7): 111-114.
- [5] 于合理, 夏叶, 王之晗, 等. 采砂坑纵剖面尺寸对卵石河道河床演变影响数值试验: 以石亭江双盛段为例[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(S2): 83-91.
- [6] 杨兴菊, 黑鹏飞. 人工采砂对蚌浮段河床演变的影响分析[J]. 应用基础与工程科学学报, 2011, 19(S1): 78-84.
- [7] 李健. 河道采砂影响的数值模拟研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2008.

(本文编辑 武亚庆)

编辑部声明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动, 他们建立伪网站, 利用代理投稿和承诺上刊等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明, 从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿和审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址: www.sygc.com.cn, 敬请广大读者和作者周知并相互转告。