

# 天然边滩游泳场整治工程泥沙冲淤特性研究

邵雨辰<sup>1</sup>, 冯佳佳<sup>1</sup>, 陈 丹<sup>1</sup>, 程 博<sup>1</sup>, 周先水<sup>2</sup>

(1. 南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210022; 2. 南京市江北新区环境保护与水务局, 江苏 南京 210000)

**摘要:**天然游泳场的冲淤变化是影响边滩游泳场正常稳定运营的关键。首先分析闽江西河流态和输沙特征,表明闽江西河边滩及附近河段的输沙不平衡将很大程度上危及该天然游泳场的边滩稳定性。在此分析结论的基础上,结合数值模拟技术,计算出工程整治措施对边滩游泳场及其附近河段冲淤变化的影响。研究表明:对旧洪山大桥桥下深槽进行抛石填充以及对游泳场边滩进行平整能够有效的抑制游泳场的弯道环流,改善本河段的流速分布,从而改善边滩河段纵向及横向的输沙不平衡的现象。因此,工程措施能够减弱游泳场上游淤积下游冲刷的现状,对促进边滩的稳定起到积极的作用。

**关键词:**数值模拟; 推移质; 输沙平衡; 边滩

中图分类号:TV853

文献标识码:B

文章编号:1007-7839(2019)05-0005-04

## Study on the characteristics of sediment erosion and silting in the natural beach swimming pool regulation project

SHAO Yuchen<sup>1</sup>, FENG Jiajia<sup>1</sup>, CHEN Dan<sup>1</sup>, CHENG Bo<sup>1</sup>, ZHOU Xianshui<sup>2</sup>

(1. Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd., Nanjing 210022, Jiangsu; 2. Environmental Protection and Water Affairs Bureau of Jiangbei New District in Nanjing City, Nanjing 210000, Jiangsu)

**Abstract:** The change of the erosion and siltation of the beach was the key factor in the safety of the beach swimming pool. Based on the full analysis of Minjiang West river flow pattern and sediment characteristics, it was found that the sediment transportation imbalance would endanger the stability of the beach of the natural swimming pool. On the basis of the analysis conclusion and the technology of numerical simulation, the influence of engineering control measures on the change of the erosion and silting of the beach swimming pool and the nearby river was calculated. The research results showed that the filling deep groove by stone under the old Hongshan bridge and the leveling of the beach could effectively restrain the loop flow of the swimming pool and smooth the flow of the pool at the edge beach so as to reduce silting strength of edge beach and optimize the velocity distribution, restrain the river beach sediment of longitudinal and transverse uneven phenomenon. Therefore, engineering measures could reduce the current situation of the upstream siltation and downstream erosion of the swimming pool and play a positive role in promoting the stability of the beach.

**Key words:** numerical simulation; bed load; sediment transport equilibrium; beach

边滩的稳定性是天然游泳场能够长期稳定运行的关键所在。在不同水文条件下,边滩容易产生较大幅度的冲刷以及淤积,这势必会造成边滩游泳

场维护的难度,甚至对边滩的安全产生巨大的威胁。因此,通过适当工程措施,改善河段边滩的冲淤变化状况,减弱边滩输沙不平衡的现象,对于边

收稿日期:2018-08-29

作者简介:邵雨辰,(1988—),男,工程师,硕士,主要从事从事国内外水利,港航工程设计工作。

滩的长期稳定运行有着重要的意义。

## 1 河段概况

闽江西河游泳场位于福州市洪山大桥下游约 1 km, 游泳场紧临西河北侧岸线, 长度约 1.0 km, 宽度约 170 m。洪山大桥上游河宽 130 ~ 200 m, 最窄处仅 90 m, 水流湍急, 出旧洪山桥, 河床明显放宽至 500 m 左右, 来水流速减缓, 泥沙容易落淤。为了旧洪山大桥下游的防洪安全, 旧洪山大桥两侧的桥墩做了防护和拥堵措施, 从而使得上游来流只能通过中间被拆除的桥墩缺口通过, 保证了在洪水期旧洪山大桥下游的防洪安全。但这一措施, 势必造成旧洪山大桥下游流态的复杂性, 因为旧洪山大桥与现状的河段成近  $60^\circ$  的夹角, 被桥墩雍高的水流在通过旧洪山大桥以后, 以较高的流速向河道右岸顶冲, 形成一个长度约 1 km 的冲刷坑, 对右岸堤防安全有一定影响。其次, 由于旧洪山大桥桥墩轴线与现状河段夹角的存在, 水流向右侧挑出后再向下游扩散的现象, 人为塑造了一种类似与弯道水流现象, 从而使得顶冲的右岸侧出现冲刷, 左侧出现淤积的现象, 这将对游泳场的边滩稳定产生较大程度的影响。在充分的分析造成边滩横向及纵向输沙不平衡的原因的基础上, 通过适当的河段整治方案, 计算分析泥沙冲淤改善状况, 将对整治方案的优化和科学决策起到重要的作用。

## 2 数学模型的建立和验证

### 2.1 模型计算区域及网格

根据研究内容的要求, 二维数学模型上游边界位于旧洪山大桥上游 3 km, 模型下游边界位于旧洪山大桥下游 8 km, 水域面积  $4.2 \text{ km}^2$ , 见图 1。模型网格密度为 10 ~ 50 m, 模型的地形计算文件能够较好的体现闽江西河附近河段的河床实际地形。

### 2.2 模型参数设置及验证

#### 2.2.1 模型参数设置

模型采用的时间步长  $\Delta t = 20 \text{ s}$ 。经过率定, 该段河段糙率为 0.02 ~ 0.05。

#### 2.2.2 模型验证

根据本次研究的要求与所掌握的实测资料, 模型验证计算时段为中水大潮期, 该段时期水文条件对河床冲淤变化起重要作用, 验证位置选取参见图 2 ~ 图 4, 验证结果表明潮位的模拟结果误差在 5% 之内, 流速的模拟结果误差在 10%, 表明模型对河段的水流模拟精度较高, 能够较好模拟出该段河

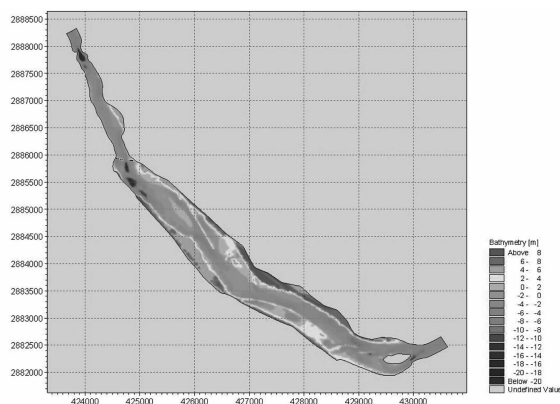


图 1 模拟地形

道水流状况。

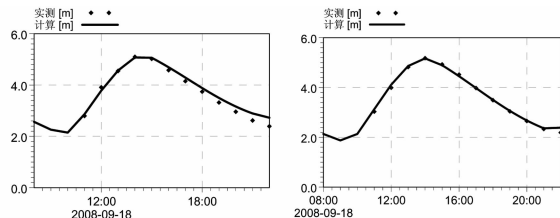


图 2 清水码头站

(左) 上游厂码头站 (右) 大潮潮位验证图

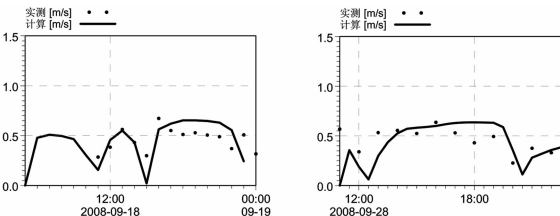


图 3 西河 1#点大潮流速验证图

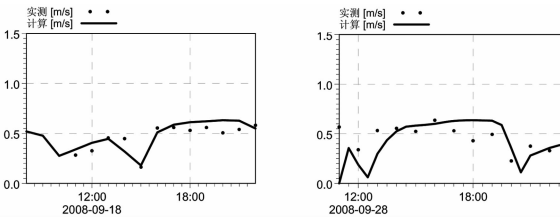


图 4 西河 2#点大潮流速、流向验证图

## 3 现状河床冲淤变化分析

闽江泥沙主要来自上游, 直接泥沙来源在洪水期, 由径流和潮流搬运, 并随落潮水流河口外扩散。径流挟带的泥沙, 主要以推移运动的方式搬运、沉积。根据曾在竹歧进行的输沙率测绘资料可知, 以跳跃形式为主的泥沙占总量 80% ~ 98%, 悬移质占总量的 2% ~ 10%。

根据 2008 年 9 月在游泳场底质资料分析, 该河段底沙中值粒径为 0.54 mm。泥沙运动以底沙运动为主, 推移质运动对河床冲淤影响占有优势, 悬

移质运动对河床冲淤影响可忽略不计<sup>[1-2]</sup>。

### 3.1 推移质冲淤公式

河床的冲淤变形是由于不平衡引起的,当仅研究推移质输沙造成的冲淤时,可用下面模式进行计算。为便于分析,取单宽河宽一个河段的高程变化来分析。于是有:

$$\Delta Z = \frac{g_{b1} - g_{b2}}{\gamma_0 \Delta L} \Delta t \quad (1)$$

式中,  $\gamma_0$  为泥沙的干容重,  $\text{kg/m}^3$ ;  $\gamma_0 = 1750d_{50}^{0.183}$ , 其中  $d_{50}$  以 mm 计。

用式(1)推求推移质冲淤的关键是选用适合的沙质推移质运动的输沙公式。目前由于天然实测资料不足,推移质输沙率公式虽然很多,但大多在试验室内求得,适用范围受到限制。本河段底沙泥沙中值粒径为 0.54mm,沙莫夫公式泥沙适用范围  $D=0.2 \sim 0.73\text{mm}$ ,故本文选用沙莫夫公式进行计算。如下式:

$$g_b = 0.95D^{\frac{1}{2}}(U - U_c)\left(\frac{U}{U_c}\right)^3\left(\frac{D}{h}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

式中,  $U_c$  为止动流速,  $U_c = \frac{1}{1.2}U_c = 3.83D^{\frac{1}{3}}h^{\frac{1}{6}}$ ,

$U_c$  为泥沙起动流速。

### 3.2 现状河段冲淤变化的估算及分析

本河段底沙颗粒较粗,枯水期流速较小,边滩的泥沙不易动搬运,丰水及洪水期流速较大,水位也高,对游泳场边滩的冲淤影响较大。根据历年来水资料统计分析,选定 1983 年来水为正常典型年,如图 5 为竹歧站(工程区域上游)1983 年流量过程分布曲线,对流量过程进行分段梯级概化,竹歧站流量  $2500 \text{ m}^3/\text{s}$  约为 60 d,流量  $5000 \text{ m}^3/\text{s}$  约为 30 d,流量  $8000 \text{ m}^3/\text{s}$  约为 15 d,50 年一遇流量  $32800 \text{ m}^3/\text{s}$  约为 1 d;对应文山里站流量为  $1600 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $9800 \text{ m}^3/\text{s}$ 。提取游泳场河段的流速数据,通过式(1)、式(2)对“场沿”“场中”“动力”“河中”沿程单宽各河段在各级流量下进行冲淤累加计算,得到各河段年冲淤厚度见图 6,图 7 为泥沙冲淤计算点布置图。

计算结果表明:纵向上(游泳)场沿及(游泳)场中两个序列 1~5 编号的计算点出现较大幅度的淤积,其中(游泳)场沿的淤积幅度要比(游泳)场中的淤积幅度要更大一些,表明由于水流向右岸顶冲产生的弯道环流,在左岸产生对于淤积区域,横向比降最大的区域,左岸对应的淤积强度也越大。(游泳)场沿序列 6~10 编号出现一定程度的冲刷区

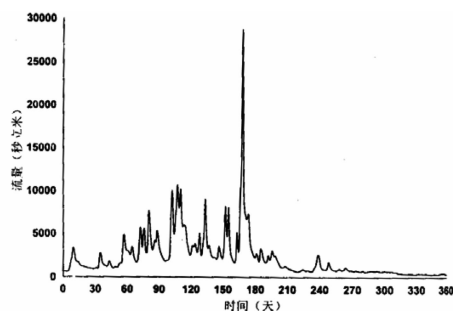


图5 竹歧站 1983 年流量过程分布曲线

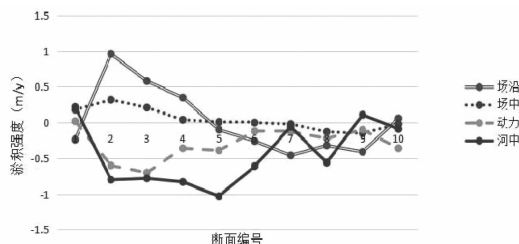


图6 现状河段年冲淤厚度（“+”淤积，“-”冲刷）

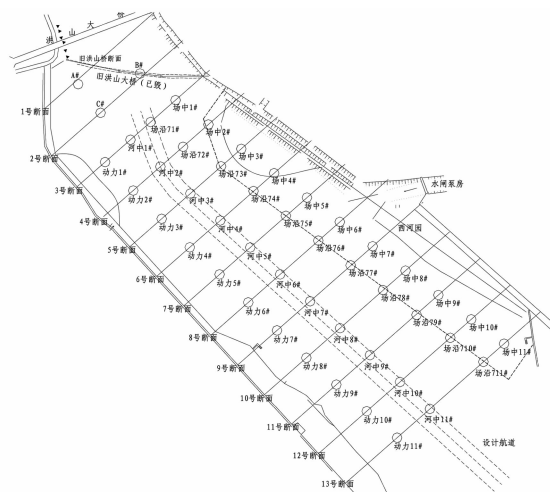


图7 泥沙冲淤计算点布置图

域,表明随着水流的扩散,弯道环流的减弱,水流流向趋向于顺直,(游泳)场沿在该区域出现了小幅冲刷的现象。河中和动力两个序列 1~7 编号的计算点,都出现了冲刷的现象,这表明由于通过旧洪山大桥桥墩以后,水流顶冲该区域的河床,使得该区域出现较大幅度冲刷,其中河中序列的最大冲刷点比动力序列的最大冲刷点更靠近下游,河中序列的整体冲刷强度也比动力序列冲刷强度要大,表明该河段最大的冲刷位置位于河中区域,冲刷强度向两侧逐渐递减。

### 3.3 河段整治后冲淤变化的估算及分析

河道整治主要考虑 3 个方面:①首先对近 1 km 长的西河游泳场水域水下地形进行平整边坡。整治区域为游泳场的 0 m 等深线至岸线位置,约 170 m 宽,对该区域内的河床进行削坡、填沙处理,

平顺河床;②在旧洪山大桥下游深槽处抛石平整至  $-8.0\text{ m}$ ,从而减弱水流通过旧洪山大桥向下游顶冲的效应;③在旧洪山桥左侧下游沙滩头部,做护坎沙坝,在游泳场下游尾部抛石护坡,防止水流冲刷;在游泳场前沿深水处沿程铺鹅卵石护底,防止水流冲刷<sup>[3]</sup>。

通过对河道整治工程条件水流条件模型,并对河段水流流速计算点的计算。可以计算出在工程条件下,该河段的冲淤变化情况。见图 8~图 10。

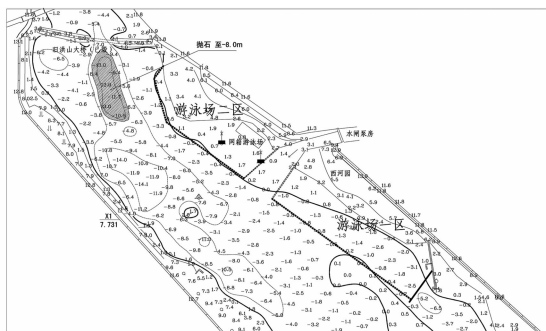


图 8 工程方案布置图

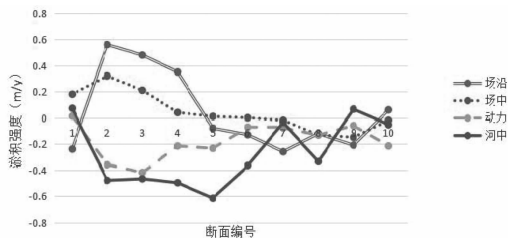


图 9 工程方案条件下河段年冲淤厚度(“+”淤积,“-”冲刷)

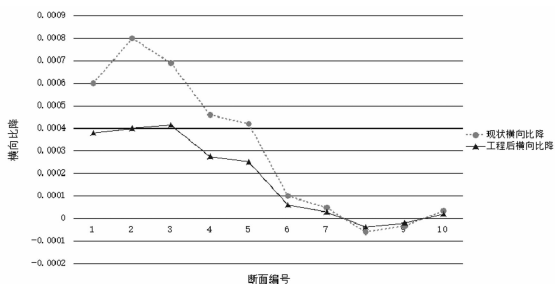


图 10 工程前后河段横向比降分布

计算结果表明:由于对原河段旧洪山大桥下侧深槽的抛石填平可以在一定程度上缓解由于旧洪山大桥下泄水流产生顶冲效应,最大横向比降由工程前的  $0.0008$  下降至  $0.00042$ , (游泳)场沿上段的编号 1~5 区域的淤积强度也有一定程度的下降,由最大的冲淤计算点由工程前的  $0.96\text{ m/y}$  下降至  $0.58\text{ m/y}$ ,场中序列的冲淤强度工程前后的变化较小。动力序列及河中序列的计算编号 1~7 区域的冲刷状况有一定程度的改善,河中序列最大冲刷的点的冲刷强度由工程前的  $-1.00\text{ m/y}$  下降至

$-0.618\text{ m/y}$ ;动力序列的最大冲刷点的冲刷强度由工程前的  $-0.71\text{ m/y}$  下降至  $-0.41\text{ m/y}$ 。

综上所述,工程方案能够一定程度上减弱由于旧洪山下泄水流产生的顶冲效应,削弱弯道环流的横向比降,减弱该河段的纵向及横向上的输沙不平衡的现象,从而减弱游泳场水域上游淤积下游冲刷的现状<sup>[4~10]</sup>。

## 4 结论

本文分析了闽江西河流态和输沙特征,表明闽江西河边滩及附近河段的输沙不平衡很大程度上危及该天然游泳场的边滩稳定性。运用数学模拟技术计算出现状河段及工程条件下河段的水流流场,在此基础上,对河段冲淤变化进行计算,计算结果表明由于旧洪山大桥下泄水流顶冲效应,河段存在右岸冲刷,左岸淤积的现象;游泳场水域存在着上游淤积下游冲刷的现象。对旧洪山大桥桥下深槽进行抛石填充以及对游泳场边滩进行平整能够有效的抑制游泳场的弯道环流,改善本河段的流速分布,从而改善边滩河段纵向及横向的输沙不平衡的现象,减弱游泳场上游淤积下游冲刷的现状,从而对促进边滩的稳定起到积极的作用。

## 参考文献:

- [1] 陈颂伟. 浅析长江老海坝九龙港以下近岸河床冲刷成因[J]. 中国水利, 2002, (11): 69-70.
- [2] 吴志钢, 陈永平, 张长宽, 等. 长江口如皋沙河段河演动力分析[J]. 人民长江, 2013, (24): 13-16+19.
- [3] 丁坚, 邵雨辰, 郭淮. 福州市闽江西河游泳场河段水流特性整治工程数学模拟研究[J]. 水道港口, 2017 (4): 374-379.
- [4] 张立辉, 陶雷, 陈志芳. 河势分析信息系统在沙钢长江河势分析中的应用[J]. 人民长江, 2012, (13): 7-9.
- [5] 张玮, 瞿凌峰, 徐金环. 山区河流散抛石坝水毁原因分析[J]. 水运工程, 2003, (4): 10-12.
- [6] 魏延文, 李百连. 长江江苏河段嘶马弯道崩岸与护岸研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2002, (1): 93-97.
- [7] 张红武, 张俊华, 卜海磊, 等. 试论推移质输沙率公式[J]. 南水北调与水利科技, 2011, (6): 140-145.
- [8] 张红武. 泥沙起动流速的统一公式[J]. 水利学报, 2012, (12): 1387-1396.
- [9] 张罗号, 张红武, 张锦方, 等. 泥石流流速计算与模型设计方法[J]. 人民黄河, 2015, (4): 18-24.
- [10] 韩其为. 三峡水库推移质数量分析及淤积研究[J]. 水利水电技术, 2009, (8): 44-54.