

## 曹娥江大闸闸下地形影响因素分析及预测

林一楠, 潘虹, 胡成飞, 郑国诞, 杨伟军

### Analysis and prediction of the factors influencing the terrain under the Cao'e River sluice gate

LIN Yinan, PAN Hong, HU Chengfei, ZHENG Guodan, YANG Weijun

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20231012001>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 胖头泡蓄滞洪区老龙口分洪闸泄洪能力分析

Analysis of flood discharging capacity of Laolongkou flood-diversion sluice at Pangtoupao flood retarding basin  
水利水电工程学报. 2019(3): 51 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.03.007>

#### 波流作用下淹没圆柱局部冲深影响因素分析

Research on the influencing factors of scour depth around submerged cylinder under combined action of wave and current  
水利水电工程学报. 2019(6): 69 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.008>

#### 支铰与启闭杆对弧形闸门有限元计算影响分析

Finite element analysis of the influence of support hinges and operating rods on curved sluice gates  
水利水电工程学报. 2024(4): 148 <https://doi.org/10.12170/20230909001>

#### 齐齐哈尔地区粉质黏土冻胀特性试验研究

Experimental study on frost heaving characteristics of silty clay in Qiqihar region  
水利水电工程学报. 2020(4): 80 <https://doi.org/10.12170/20200106005>

#### 考虑长径比及冲刷的单桩基础侧向承载特性分析

Analysis of lateral bearing behaviors of scoured monopile foundations considering the influence of length-to-diameter ratio  
水利水电工程学报. 2023(5): 95 <https://doi.org/10.12170/20220419001>

#### 基于BP神经网络的丁坝坝头冲刷坑变化趋势预测

Prediction of the change trends of the scour near the head of the spur dike based on BP neural network  
水利水电工程学报. 2019(6): 125 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.014>



扫码进入官网，阅读更多精彩文章

关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20231012001

林一楠, 潘虹, 胡成飞, 等. 曹娥江大闸闸下地形影响因素分析及预测 [J]. 水利水运工程学报, 2024(6): 97-102. (LIN Yinan, PAN Hong, HU Chengfei, et al. Analysis and prediction of the factors influencing the terrain under the Cao'e River sluice gate[J]. Hydro-Science and Engineering, 2024(6): 97-102. (in Chinese))

# 曹娥江大闸闸下地形影响因素分析及预测

林一楠<sup>1,2</sup>, 潘虹<sup>3</sup>, 胡成飞<sup>1,2</sup>, 郑国诞<sup>1,2</sup>, 杨伟军<sup>3</sup>

(1. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江省河口海岸重点实验室, 浙江 杭州 310020; 3. 绍兴市曹娥江流域中心, 浙江 绍兴 312366)

**摘要:** 曹娥江大闸建成以来闸下冲刷问题比较突出, 已陆续实施了3次防冲加固措施。为厘清闸下冲淤规律及其主要影响因素, 基于长系列实测资料、数学模型成果和物理模型试验数据, 分析了钱塘江涌潮、大闸泄水量和前期地形对闸下冲淤的影响。研究表明: (1) 钱塘江涌潮会造成闸下大范围淤积, 在大闸不泄水情况下, 闸下单月平均淤积可达2.2 m; (2) 大闸泄流时将闸下泥沙向下游单向输移, 是造成闸下河床刷深的主要动力因素。由闸门泄水量和闸下冲刷幅度关系可知, 闸门泄水量越大则闸下最深点高程降幅越大; (3) 闸下前期地形也是影响冲淤幅度的重要因素, 在闸门泄水量不变情况下, 前期地形越高则冲刷幅度越大。通过多元回归分析建立了与大闸泄水量、前期地形相关的闸下冲刷幅度预测计算式, 可为大闸的运行调度和闸下防冲提供参考。

**关键词:** 冲刷; 多元回归分析; 曹娥江大闸

中图分类号: TV131

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2024)06-0097-06

闸门开启排水时在下游形成水跃且下泄的多为含沙量低的清水, 挟沙能力较强, 虽然经消力池等结构消能后形成缓流, 但对闸门下游河床仍有较强的冲刷作用<sup>[1]</sup>。尤其是感潮河段的水闸, 当排水遭遇低潮位时, 将进一步加剧闸下河床的冲刷, 严重时可能会危及工程安全, 因此不少学者对闸下冲刷问题进行了研究。杨培杰等<sup>[2]</sup>通过理论分析, 以跃前断面弗劳德数为切入点, 推荐了感潮河口闸门排水的临界水深, 通过优化调度减小闸下冲刷幅度; 韩晓维等<sup>[3]</sup>通过物理模型试验、CFD模型计算和理论推导研究了滨海水闸在不同水位条件下的闸下冲刷机理和冲刷分布; 田小平等<sup>[4]</sup>通过物理模型试验研究了闸下冲刷坑位置及深度随时间的变化规律, 并将试验成果与两种常用的冲刷公式计算结果进行对比分析, 探索了冲刷公式在平原地区淤泥质土中的适用性; 周春天等<sup>[5]</sup>通过物理模型试验研究了枢纽运行方式、出池水流的流速流态等因素对闸下冲刷的影响, 并提出了闸门联合调度等减冲措施; 包中进等<sup>[6]</sup>基于多年水闸工程研究经验, 探讨了强潮河口排涝闸的主要问题, 在此基础上提出了提高排涝闸排涝能力的工程措施; 王斌等<sup>[7]</sup>以瓯飞东2号闸为例, 分析了滨海水闸的冲刷特征和主要影响因素, 并提出了相应的优化措施。

曹娥江大闸位于浙江省绍兴市钱塘江的主要支流曹娥江口, 大闸建成以来闸下冲刷问题比较突出, 已实施了3次防冲加固措施。为掌握闸下冲淤规律及其主要影响因素, 在大闸设计和运行阶段, 对闸下流态、钱塘江主槽摆动、闸下冲淤、闸门调度等进行了大量的研究<sup>[8-13]</sup>。以往研究主要通过数学模型和物理模型分析特定条件下的水动力分布和闸下冲淤情况。本文基于长系列的闸下实测地形、大闸泄水资料及具有针对性的涌潮数学模型和动床物理模型成果, 分析钱塘江涌潮、大闸泄水量和前期地形对闸下冲淤的影响, 并通过多元拟合得到基于月泄水量和前期地形的闸下冲刷幅度预测公式, 可为大闸的科学调度提供技术支撑。

收稿日期: 2023-10-12

基金项目: 浙江省水利厅科技计划项目(RC2020); 浙江省省属科研院所扶持专项(ZIHEYS22001)

作者简介: 林一楠(1989—), 男, 浙江杭州人, 高级工程师, 主要从事河口海岸水动力和泥沙冲淤研究。

E-mail: 157221196@qq.com 通信作者: 潘虹(E-mail: 105469855@qq.com)

# 1 闸下地形冲淤特征

曹娥江大闸总净宽 560 m, 共 28 孔, 由隔墩分为 6 厢, 平面布置如图 1 所示。大闸下游依次有消力池、海幔、大沉井等硬化结构, 沉井下游为防冲槽和自然河床。曹娥江闸下区域泥沙为易冲易淤的粉沙, 悬沙中值粒径为 0.01~0.05 mm, 底质粒径为 0.04~0.06 mm。大潮涨潮期间闸下盐度可超过 3‰, 细颗粒泥沙存在一定的絮凝现象。曹娥江大闸设计阶段研究结果<sup>[14]</sup>表明, 在闸门不泄水条件下闸下河床平衡淤积高程为 3.7 m(本文高程统一采用 85 高程基面), 在闸门泄水冲刷条件下, 最深点可冲刷至 -6.7~-18.4 m。根据大闸建成后 2016 至 2021 年大闸下游月度地形资料, 在涌潮和大闸泄流等动力条件影响下, 淤积情况河床高程普遍可达到 -2.0 m 以上, 而冲刷情况最深点高程又可降低至 -14.0 m, 与前期研究成果基本接近。

典型冲、淤条件地形分布如图 2 所示。在淤积条件下, 闸下地形较为平坦, 大沉井下游 100 m 内河床高程为 -1.7~-3.7 m; 而在冲刷条件下闸下形成明显的冲刷坑, 冲刷坑范围自大沉井开始向下游延伸约 200 m, 最深点在大沉井下游约 60 m 处, 沉井下游 200 m 内河床高程为 -2.4~-11.4 m。

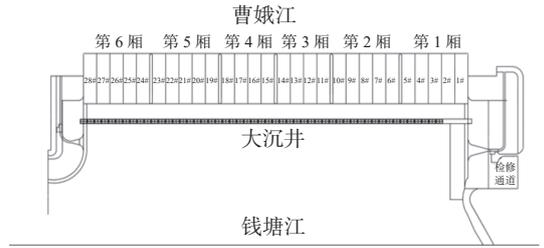


图 1 曹娥江大闸平面布置

Fig. 1 Layout of Cao'e River sluice

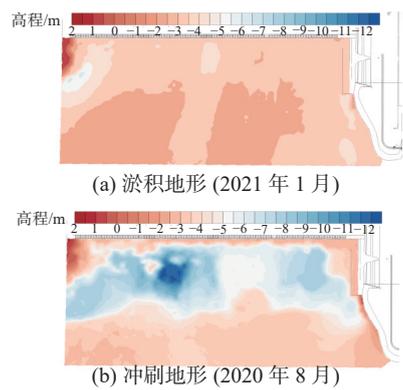


图 2 曹娥江闸下典型地形

Fig. 2 Typical topography downstream of Cao'e River sluice

# 2 闸下地形冲淤影响因素

## 2.1 钱塘江涌潮的影响

2021 年曹娥江闸下涌潮测量成果(图 3)显示, 涌潮作用时, 闸下垂线平均含沙量可超过 4 kg/m<sup>3</sup>。数模计算成果(图 4)显示: 在涌潮来临时, 潮头斜向冲击大闸, 同时携带大量泥沙进入闸下区域; 涌潮过后涨潮流在闸下形成回流, 被涌潮带来至闸下的泥沙无法顺畅地离开闸下区域, 随着涨潮阶段的结束这些泥沙逐渐在闸下落淤。因此, 涌潮对闸下河床地形主要起淤积作用。

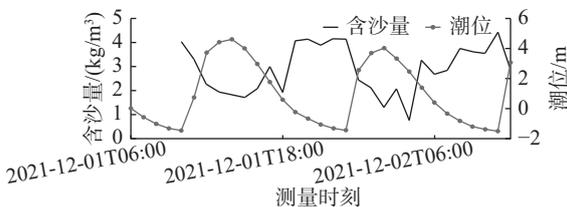


图 3 闸下实测潮位和含沙量过程

Fig. 3 Measured tidal levels and sediment concentrations downstream

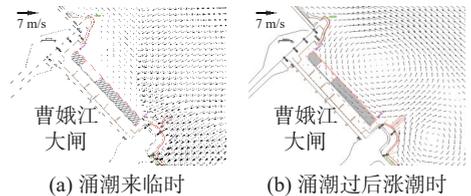


图 4 涌潮作用时闸下流态

Fig. 4 Flow state downstream of the sluice under the impact of the tidal bore

例如 2019 年 10—11 月期间大坝泄水量为 0, 在此期间大坝下游河床冲淤仅受涌潮动力作用。图 5 为 2019 年 10—11 月测次冲淤变化(“-”为冲, “+”为淤, 下同), 经过 1 个月的涌潮作用后, 大坝闸下除两侧地形变化不大, 其余部分均发生大幅淤积, 最大淤积幅度为 4.0 m, 闸下平均淤积幅度达 2.2 m。

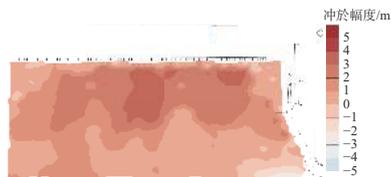


图 5 2019 年 10—11 月冲淤

Fig. 5 Scouring and sedimentation from October to November 2019

又如 2020 年 7 月梅汛期雨量较小, 大坝泄水量明显减小, 据统计 2020 年 10 月至次年 2 月泄水量趋近于零, 因此这段时间大坝下游地形只受涌潮动力作用。2020 年 10 月—2021 年 2 月各厢大沉井下游 60 m 内最深点高程在涌潮单独作用下不断淤积抬升。以第二厢为例(图 6), 大沉井下游最深点高程不断抬升, 从 2020 年 7 月的 -12.0 m 淤积至次年 2 月的 -2.0 m 以上。

整体物理模型以闸下区域冲刷较深的 2020 年 9 月作为起始地形, 对 300 年一遇涌潮条件下(大坝不排水)的冲淤变化进行了动床试验。在 3 d 的涌潮作用后闸下区域体现为普遍淤积(图 7), 最大淤积幅度可达 0.8 m, 闸下平均淤积速率为 0.2 m/d。

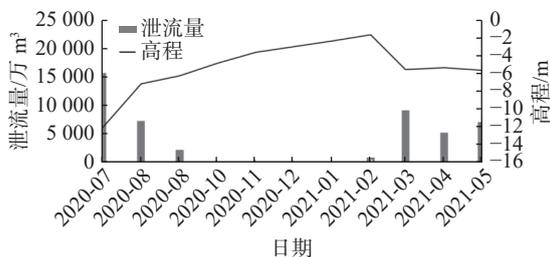


图 6 大坝泄水量与下游最深点高程变化

Fig. 6 Relationship between sluice discharge volume and the elevation of the deepest point downstream

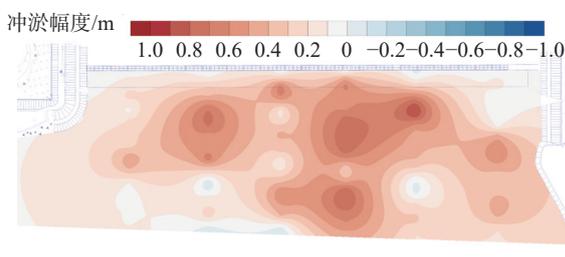


图 7 涌潮作用后闸下淤积分布

Fig. 7 Sedimentation distribution downstream after the impact of the tidal bore

## 2.2 闸门泄水的影响

2015 至 2021 年各厢年泄水量如表 1 所示。由表 1 可见, 统计时段内第 2 厢泄水量在各年份均为最大。将 2015 年以来历次闸下最深点的平面位置和离闸轴线距离绘制如图 8 所示。由图 8 可知, 历次闸下最深点也主要出现于第 2 厢附近。这说明冲刷最深点的出现与相应闸孔的泄水量存在密切联系。

表 1 历年各厢泄水量

Tab. 1 Annual discharge volumes by compartment

单位: 亿 m<sup>3</sup>

年份	第1厢	第2厢	第3厢	第4厢	第5厢	第6厢	年份	第1厢	第2厢	第3厢	第4厢	第5厢	第6厢
2015	9.0	11.4	8.8	8.7	10.8	8.2	2019	7.8	10.1	7.0	7.1	7.5	5.5
2016	5.9	8.6	5.5	5.9	6.1	4.2	2020	5.5	8.4	4.3	6.1	7.1	4.6
2017	3.8	5.6	4.7	5.5	4.2	2.1	2021	6.3	8.5	6.3	6.6	7.0	4.2
2018	3.7	7.6	4.5	4.6	5.3	3.5							

根据大坝泄水资料统计, 2016 年 4—6 月和 2019 年 5—7 月曹娥江大坝连续 3 个月泄水量分别达 22.16 亿 m<sup>3</sup> 和 22.23 亿 m<sup>3</sup>, 为闸下有系统地形观测资料以来连续 3 个月泄水量最大的两次。在此期间, 闸下最低冲刷高程逐月下降, 至 2016 年 6 月和 2019 年 7 月分别达 -14.0 m 和 -13.9 m, 为历次测量中的最低值。

将闸下最深点高程的月度变化幅度与其对应的上游 3 孔闸门泄水量进行统计, 为减小前期地形的影响, 将前期地形高程在 -6~-7 m 的数据绘于图 9。由图 9 可知, 闸门泄水量越大则闸下最深点高程降低幅度越大, 根据两者关系, 每增加 0.15 亿 m<sup>3</sup> 的泄水量, 冲刷幅度增加约 1 m。由于在闸门泄流冲刷作用的同时,

闸下地形也不断受到涌潮作用发生淤积,因此在泄水量小于 0.4 亿  $\text{m}^3$  时,闸下河床逐渐由冲刷趋势转为淤积趋势。

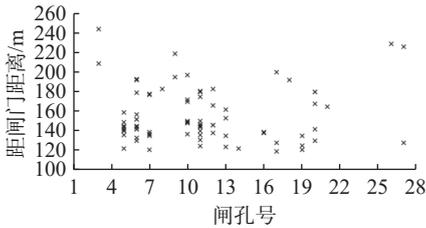


图 8 历次闸下最深点位置

Fig. 8 Locations of the deepest point downstream over various periods

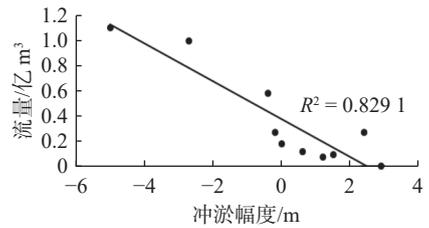


图 9 闸下冲淤与泄水量关系

Fig. 9 Relationship between downstream scouring and sedimentation extent and discharge volume

### 2.3 前期闸下地形的影响

水深是泥沙起动的重要影响因素,因此闸下地形也是影响冲淤幅度的因素之一。上游 3 孔闸门月泄水量 (0.4~0.6) 亿  $\text{m}^3$  时,闸下前期最深点高程和当月冲淤幅度的关系如图 10 所示。由图 10 可知,前期地形高程与冲刷幅度存在较好的负相关关系(相关系数  $R^2=0.76$ ),即在闸门泄水量接近的情况下,前期地形越高则冲刷幅度越大。在上游 3 孔闸门泄水量 (0.4~0.6) 亿  $\text{m}^3$  条件下,前期闸下地形高程在  $-7.2 \text{ m}$  以上呈冲刷趋势,而前期闸下地形高程在  $-7.2 \text{ m}$  以下则呈淤积趋势,闸下最深点平衡高程在  $-7.2 \text{ m}$  左右。

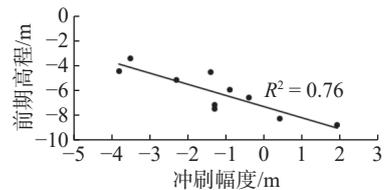


图 10 前期地形与冲刷的关系

Fig. 10 Relationship between prior topography and scouring extent

## 3 闸下冲刷高程预测

据前文分析,影响闸下冲刷高程因素主要有曹娥江大闸泄水量、钱塘江涌潮和前期地形高程,采用闸下最深点高程、闸门泄水量、激浦潮差和前期地形高程进行多元回归分析,得到关系式为:

$$H = -4.473W + 0.179H_0 + 0.217\Delta Z - 4.655 \quad (1)$$

式中:  $H$  为当月闸下最深点高程(m);  $W$  为最深点对应的上游 3 孔闸当月泄水量(亿  $\text{m}^3$ );  $H_0$  为上个月对应位置的最深点高程(m);  $\Delta Z$  为当月激浦平均潮差(m)。由式(1)可看出,泄水量越大则冲刷高程越低,前期河床高程越高当月最深点高程越高,激浦潮差越大则当月冲刷高程越高。

利用式(1)计算 2016—2020 年闸下最深点高程,将计算值和实测值进行对比,如图 11 所示。可见式(1)的计算成果基本可以反映闸下最深点高程和变化趋势。在闸门调度时,可根据上个月的地形情况,利用式(1)预估闸下冲刷高程,从而合理安排闸门开启位置,缓解闸下冲刷趋势。

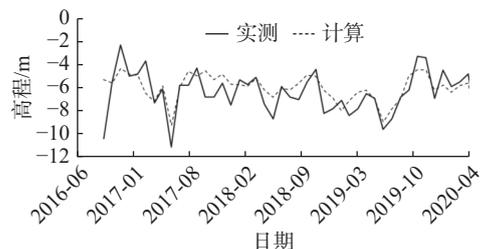


图 11 闸下冲刷高程预测值与实测值

Fig. 11 Predicted versus measured values of downstream scouring elevations

## 4 结 语

本文对曹娥江大闸蟹下冲淤规律和主要影响因素进行了研究,通过实测地形资料和闸门泄水量资料得到了影响闸下地形冲淤的主要动力因素,并通过拟合得到闸下河床最深点高程的预测公式。研究主要结论如下:

(1)在涌潮作用下闸下河床发生大范围的整体性淤积,一个月内的最大淤积幅度可达4.0 m,平均淤积幅度2.2 m。在大闸不泄水情况下,闸下河床可淤积至-2.0 m以上。

(2)闸下最深点高程的降低与大闸泄水量增大有着密切的关系,历史上闸下高程最低的测次均发生在汛期泄水量较大的月份。据统计,第2厢历年泄水量为各厢中最大,同时最深点也主要分布于第2厢下游,这也说明了大闸泄水是导致闸下冲刷的关键因素。

(3)除了动力因素影响外,闸下前期地形也显著影响闸下的冲淤幅度,前期河床越高则越趋于冲刷,前期河床高程越低则越趋于淤积。当冲刷位置上游3孔闸泄水量为(0.4~0.6)亿 $\text{m}^3$ 时,最深点平衡高程约-7.2 m。

(4)将闸下最深点高程、闸门泄水量、激浦潮差和上一个月对应位置的最深点高程进行多元回归分析得到相关关系。将公式预测值与2016—2020年实测值对比,基本可以反映闸下最深点的冲刷高程和变化趋势,可为闸门合理调度提供支撑。

## 参 考 文 献:

- [1] 王世夏. 无粘性土质河床的闸下冲刷[J]. 人民黄河, 1984(4): 20-23. (WANG Shixia. Scouring downstream of gates in cohesionless soil riverbed[J]. Yellow River, 1984(4): 20-23. (in Chinese))
- [2] 杨培杰, 潘世虎, 田利勇, 等. 感潮河口闸下冲刷机理及运维管理方式优化[J]. 水电能源科学, 2023, 41(8): 200-203, 174. (YANG Peijie, PAN Shihu, TIAN Liyong, et al. Erosion mechanism and operation maintenance management mode under sluice gate of tide-sensing estuary[J]. Water Resources and Power, 2023, 41(8): 200-203, 174. (in Chinese))
- [3] 韩晓维, 王斌. 滨海水闸闸下冲刷特征及机理研究[J]. 人民长江, 2018, 49(7): 91-95. (HAN Xiaowei, WANG Bin. Research on characteristics and mechanism of downstream scouring of tidal sluices[J]. Yangtze River, 2018, 49(7): 91-95. (in Chinese))
- [4] 田小平, 王斌, 陈剑. 乌牛新闸下游冲刷模型试验及经验公式适用性[J]. 水利水电科技进展, 2014, 34(4): 75-78. (TIAN Xiaoping, WANG Bin, CHEN Jian. Model experiment and adaptability of empirical formula research on downstream flow and scouring of new Wuniu sluice[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2014, 34(4): 75-78. (in Chinese))
- [5] 周春天, 宁勇. 石梁河水库泄洪闸闸下冲刷试验研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 113-116. (ZHOU Chuntian, NING Yong. Test of scour under sluice gates of Shilianghe reservoir[J]. Journal of Hohai University, 2000, 28(2): 113-116. (in Chinese))
- [6] 包中进, 韩晓维, 包纯毅, 等. 钱塘江强潮河口排涝闸现状、问题及应对措施[J]. 人民长江, 2020, 51(10): 7-11. (BAO Zhongjin, HAN Xiaowei, BAO Chunyi, et al. Problems and countermeasures on drainage sluices of macrotidal-dominated Qiantang River Estuary[J]. Yangtze River, 2020, 51(10): 7-11. (in Chinese))
- [7] 王斌, 韩晓维, 刘云, 等. 滨海水闸闸下冲刷成因及布置优化分析: 以甬飞东2号闸为例[J]. 中国农村水利水电, 2018(4): 98-103. (WANG Bin, HAN Xiaowei, LIU Yun, et al. An analysis of the causes of scour and layout optimization under the coastal sluice with the east gate 2 of Oufei reclamation project as an example[J]. China Rural Water and Hydropower, 2018(4): 98-103. (in Chinese))
- [8] 潘虹, 周臻怡, 傅森彪. 曹娥江大闸蟹下冲刷坑成因分析及对策初探[J]. 浙江水利科技, 2014, 42(4): 21-23, 25. (PAN Hong, ZHOU Zhenyi, FU Senbiao. Cause analysis and countermeasures of scour pit under Cao'e River sluice[J]. Zhejiang Hydropower, 2014, 42(4): 21-23, 25. (in Chinese))

- [9] 潘虹. 曹娥江大坝闸下护坡变形原因分析及对策探讨[J]. 浙江水利科技, 2015, 43(4): 69-70, 77. (PAN Hong. Cause analysis and countermeasure discussion on slope protection deformation under Cao'e River sluice[J]. Zhejiang Hydraulics, 2015, 43(4): 69-70, 77. (in Chinese))
- [10] 韩海骞, 俞月阳. 曹娥江大坝闸下冲刷研究[J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2008, 20(2): 15-17. (HAN Haiqian, YU Yueyang. Research on scour of Cao'e sluice[J]. Journal of Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, 2008, 20(2): 15-17. (in Chinese))
- [11] 包中进, 陆芳春, 史斌. 浙江省曹娥江大坝水力特性试验研究[J]. 中国农村水利水电, 2005(5): 60-63. (BAO Zhongjin, LU Fangchun, SHI Bin. Experimental research on hydraulic properties of Cao'e River gate in Zhejiang Province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2005(5): 60-63. (in Chinese))
- [12] 史斌, 包中进, 陆芳春. 曹娥江枢纽闸下冲刷试验研究[J]. 浙江水利科技, 2004(6): 32-34. (SHI Bin, BAO Zhongjin, LU Fangchun. Experimental study on scour under the sluice of Cao'e River junction[J]. Zhejiang Hydraulics, 2004(6): 32-34. (in Chinese))
- [13] 俞月阳, 潘存鸿, 韩曾萃. 曹娥江大坝闸下冲刷水槽试验的研究[J]. 浙江水利科技, 2003(4): 18-19, 30. (YU Yueyang, PAN Cunhong, HAN Zengcui. Experimental study on scouring flume under Cao'e River sluice[J]. Zhejiang Hydraulics, 2003(4): 18-19, 30. (in Chinese))
- [14] 潘存鸿, 卢祥兴, 韩海骞, 等. 潮汐河口支流建闸闸下淤积研究[J]. 海洋工程, 2006(2): 38-44. (PAN Cunhong, LU Xiangxing, HAN Haiqian, et al. Siltation features in area downstream of tributary barrage in tidal estuary[J]. The Ocean Engineering, 2006(2): 38-44. (in Chinese))

## Analysis and prediction of the factors influencing the terrain under the Cao'e River sluice gate

LIN Yinan<sup>1,2</sup>, PAN Hong<sup>3</sup>, HU Chengfei<sup>1,2</sup>, ZHENG Guodan<sup>1,2</sup>, YANG Weijun<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Estuary and Coast, Hangzhou 310020, China; 3. Shaoxing Cao'e River Basin Center, Shaoxing 312366, China)

**Abstract:** Since the completion of the Cao'e River sluice gate, problems related to scouring beneath the gate have been significant, with three rounds of anti-scour reinforcement measures implemented successively. To clarify the patterns of scouring and sedimentation beneath the gate and its main influencing factors, this study analyzed the impact of Qiantang River tidal bore, sluice gate discharge, and prior terrain on the scouring and sedimentation processes. This analysis was based on long-term empirical data, mathematical model results, and physical model experiment data. The research indicates that: (1) The tidal bore of the Qiantang River causes significant sediment deposition beneath the gate, with average monthly sedimentation reaching up to 2.2 m under no gate discharge conditions; (2) sluice gate discharge constitutes the primary dynamic factor responsible for deepening the riverbed beneath the gate by unilaterally transferring the sediment downstream. The relationship between gate discharge and the extent of scouring indicates that greater gate discharge results in a more significant decrease in the deepest elevation point beneath the gate; (3) the prior terrain beneath the gate also significantly impacts the extent of scouring and sedimentation. Under constant gate discharge, a higher initial terrain results in greater scouring. Through multiple regression analysis, a predictive model correlating sluice gate discharge and initial terrain with the extent of scouring beneath the gate was established, providing a reference for the operation and anti-scouring measures of the sluice gate.

**Key words:** scouring; multiple regression analysis; Cao'e River sluice gate