

窝崩抢护治理中树头石阻水效果试验研究

袁文秀, 应强, 罗龙洪, 张幸农, 假冬冬

Experimental study on the water blocking effect of tree head-stone in the treatment of pit collapse

YUAN Wenxiu, YING Qiang, LUO Longhong, ZHANG Xinnong, JIA Dongdong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12170/20200623001>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于父子型窝塘地形变化探讨窝崩机理

Discussion on the mechanism of pit collapse based on topographic change of the father-son's caving pond

水利水运工程学报. 2020(3): 37 <https://doi.org/10.12170/20190425002>

流滑型窝崩水流运动和地形变化概化模拟试验

Generalized simulation tests on flow movement and slope topography change of riverbank flow-induced slide with nest shape

水利水运工程学报. 2019(4): 17 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.04.003>

基于博弈论组合赋权的水环境综合治理效果评价

Evaluation of comprehensive water environment treatment effect based on game theory combination weighting

水利水运工程学报. 2018(6): 105 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.06.014>

长江下游新生洲洲头分流段演变特征及洲头守护措施

Evolution characteristics and protection measures for diversion section of Xinshengzhou shoal head in lower Yangtze River

水利水运工程学报. 2017(2): 91 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.02.012>

长江上游透水丁坝水面线分布试验研究

Experimental studies on flow profile of permeable spur dikes in upper reaches of Yangtze River

水利水运工程学报. 2019(5): 62 <https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.05.008>

黄河流域砭砂岩区地貌-植被-侵蚀耦合研究进展

Research progress of spatial distribution about geomorphology-vegetation-water erosion in Pisha stone area of Yellow River

水利水运工程学报. 2020(4): 64 <https://doi.org/10.12170/20191229002>



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:10.12170/20200623001

袁文秀, 应强, 罗龙洪, 等. 窝崩抢护治理中树头石阻水效果试验研究 [J]. 水利水运工程学报, 2021(3): 119-125. (YUAN Wenxiu, YING Qiang, LUO Longhong, et al. Experimental study on the water blocking effect of tree head-stone in the treatment of pit collapse[J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(3): 119-125. (in Chinese))

窝崩抢护治理中树头石阻水效果试验研究

袁文秀¹, 应强², 罗龙洪¹, 张幸农², 假冬冬²

(1. 江苏省水利工程规划办公室, 江苏 南京 210029; 2. 南京水利科学研究院 港口航道泥沙工程交通部重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 河堤窝崩发生后, 首先需要确定的是抢护治理方案, 减缓窝塘流速, 遏制窝塘进一步发展。在诸多抢护治理方案中, 树头石方案具有较好的减速促淤效果, 但树头高度和抛投间距在以往的设计中都是依经验确定, 缺乏理论基础和试验依据。通过制作长江扬中河段指南村窝崩模型, 在窝崩口门附近流速模拟相似的基础上, 对窝塘内同一高度 3 种间距的树头石排列型式和同一间距 3 种高度的树头石进行了试验, 用三点法测量了窝塘内 12 个点的流速、流向。试验结果表明: 窝塘内表层流速受惯性影响较大, 底层流速受地形影响较大; 窝塘内布置不同高度和不同间距的树头石时, 平均流速随树头石高度的增加而减小, 随树头石间距的减小而减小, 窝内流速的减小, 意味着泥沙淤积强度的增大; 另一方面, 树头石高度的增大和间距的减小, 都会增加工程的投资成本, 研究认为在相对树高为 0.15、间距为 6 m×6 m 时综合效果较佳。

关键词: 长江河堤; 窝崩治理; 树头石; 平均流速

中图分类号: TV148

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2021)03-0119-07

窝崩是长江中下游常见的一种崩岸形式, 由于其发展速度快(几小时到几十小时), 崩塌纵深长(数十米到数百米), 塌方量巨大(几十万方到几百万方), 在平面上一般呈半圆型或马蹄型, 当窝崩造成长江大堤破坏时, 可能会造成人民生命及财产的重大损失, 因此各级政府非常重视, 科技工作者也从不同角度开展研究^[1-6]。关于窝崩成因机理的研究, 主要存在以下 3 种观点^[7]: 一是深泓逼岸形成崩塌^[8-9]; 二是沙体液化形成崩塌^[10-11]; 三是窝塘内次生流引起大规模崩塌^[12-13]。上述 3 种观点都能从某方面解释窝崩的发生, 但也都存在问题。窝崩险情的应急和事后治理措施, 主要根据险情的发展、应急抢护的必要性及现场条件等情况确定。对于危害较大的窝崩, 都会采取应急抢护措施。水利部门提出了“守两肩、固周边、先促淤、后封口”的窝崩治理原则^[14-15]。在窝塘促淤方案中, 树头石是常用的结构型式^[15-16], 实际工程中也起到了较好的效果, 但目前工程中采用的树头石在窝塘中的分布密度和高度, 都是凭经验确定的, 是否处于最佳的工程效益, 需进行试验研究确定。

利用长江扬中河段指南村窝崩模型, 在窝崩口门附近流速模拟相似的基础上, 对窝塘内不同间距的树头石排列型式和不同高度的树头石进行了试验。通过试验研究提出工程效果较佳的树头石高度和间距。

1 局部模型设计及验证

试验选择 2017 年发生在扬中河段指南村附近窝崩进行研究, 模型范围宽度包括整个窝崩体, 以及长江

收稿日期: 2020-06-23

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2018YFC0407302); 国家自然科学基金资助项目(U2040215, 52079080, 51779148); 江苏省水利科技项目(2018021)

作者简介: 袁文秀(1971—), 女, 江苏南京人, 高级工程师, 主要从事水利规划及长江治理等工作。

E-mail: 962196272@qq.com

靠窝崩侧的部分(包括上下游深槽, -20 m 范围)。模型上边界取在窝崩体上游 1.1 km 处,下边界在窝崩体下游 0.9 km 处,模拟总长度约 2.0 km。鉴于窝塘内外水流具有较强的脉动和三维特性,采用比尺 $\lambda_L=100$ 的正态模型。这样,模型宽度为 11 m,其中靠左侧边墙 0.5 m 河床地形可以调节,以改善由于左侧边墙固定而引起水流不相似的影响,模型长度为 20 m,不包括进口水流调整段和出口回流段,模型范围及布置如图 1 所示。

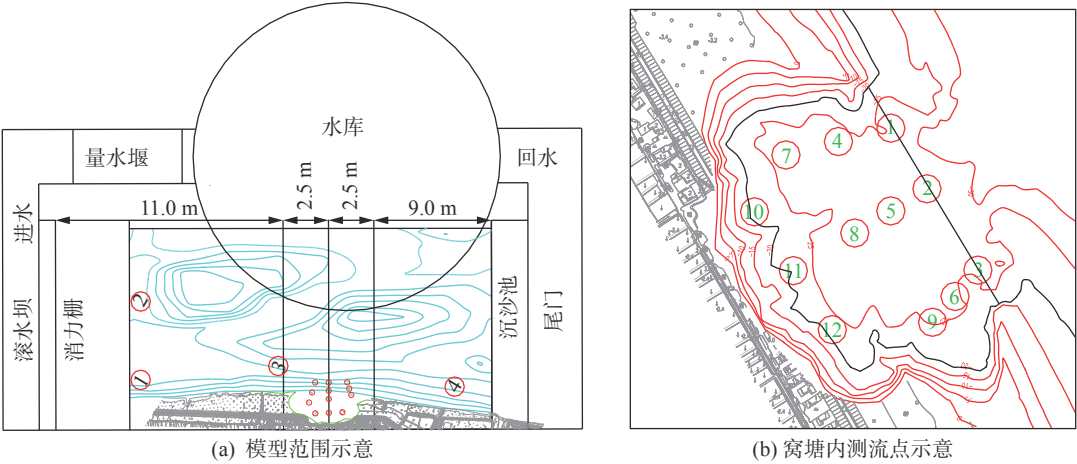


图 1 模型范围及试验测点示意(绿线为河床地形)
Fig. 1 Scope of physical model and test points

模型验证资料选取相应河段平面二维潮流数学模型计算成果,验证水位点位于进口断面 1 号测流点附近,验证流速测点如图 1(a)所示的 4 个测点。流量为平均枯水流量 28 500 m³/s,各测点流速验证结果如表 1 所示。

表 1 模型测点流速验证
Tab. 1 Verification of velocity of measuring points in physical model

模型	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	各测点流速/(m·s ⁻¹)			
		1	2	3	4
验证值	28 500	0.678	1.158	0.705	0.750
要求值		0.657	1.098	0.671	0.792

2 模拟材料及试验组次

窝内测点布置及测量。考虑到窝崩主要发生在枯水季,选择流量 $Q=28\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 为试验流量,流速测量主要采用螺旋桨流速仪测量,在窝塘内共布置 12 个测流点,各测点在窝塘中的位置分布如图 1(b) 所示,每个测点布置一根测杆,每条垂线分为 0.2H、0.6H、0.8H 进行测量(H 为测点处水深),每个测点取样时间 10 min,以消除窝内水流周期性脉动所带来的影响。进行 4 次测量,取平均值,还采用粒子法 (PIV) 进行表面流场的测量。

树头石是指新鲜砍下的包括树冠和主干的树头(长 5 m 左右)以及在主干下端系上已装入石块(200 kg 左右)的编织袋所组成的结构(图 2(a))。目前尚未有树头石对水流影响相关方面的研究论文,一般参考大气阻力的研究成果^[17],认为水流中的树阻力与树的阻水面积或阻挡流量有关。由于树种和生长环



图 2 树头石和模型中用的塑料树和塑料草
Fig. 2 Tree head-stone and plastic trees and grass for the model

境的不同,不同树头间有较大差别,给模型模拟带来了较大的困难。参考有的学者采用塑料草模拟沉水植物^[18],这里也采用塑料树(图2(b))和塑料草(图2(c))进行模拟。塑料树高约9 cm,在水里由于自然下垂和水流的作用,实际高约7 cm。塑料树有5种形式,各种塑料树在窝塘内随机分布,模拟5 m树高时,将塑料树剪至5 cm;模拟更小的树高,则采用选用8片叶子组成的塑料草进行模拟,整个塑料草离河底高约2.0 cm,直径为6.5 cm。

树头石布置范围:根据窝崩抢护时树头石的抛投情况,模型中树头石的抛投范围为-15 m 以下的窝塘水域,图1(b)中贯穿10#、11#、12#的高程线和1#、2#、3#中心线的延长线所围成的区域。树头石高度:采用相当于天然树高7 m左右的树头石,以窝塘口门处最大水深32.3 m作为参数,求得树头石的相对高度为0.22,和相当于天然树高5 m(相对树高为0.15)、相当于天然树高为2 m(相对树高为0.06)的树头石进行试验。树头石布置间距:按天然3 m×3 m、6 m×6 m、8 m×8 m的方式布置进行试验。窝塘内树头石按6 m×6 m的排列方式布置(见图3)。



图3 塑料树6 m×6 m排列照片

Fig. 3 Plastic tree 6 m×6 m arrangement photos

3 试验结果及分析

3.1 试验结果

试验结果表明,各方案下窝塘外较远处的大江流速和水位没有影响,口门位置流速较主流流速有较大减小,约为主流流速的一半。无工程时窝塘和大江的表面流速分布见图4。

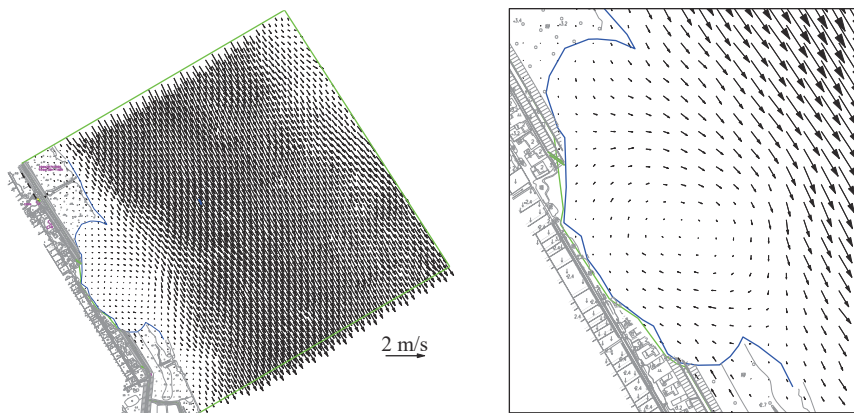


图4 无工程时窝塘附近表面流场分布(PIV测)

Fig. 4 Surface flow field near model without engineering (using Particle Image Velocimetry technology)

无工程布置时窝塘内实测流速分布见图5。由图5可见:窝塘内流速以8#测点为中心作顺时针旋转,在口门与主流交界处,流速较大,在下口门附近,虽然表层流速的流向还是指向下流,但中下层流速的流向,由于受地形的影响,已指向窝塘内,两者有较大的差别;同样,窝塘内的表层流速受惯性影响较大,而底部流速受地形影响较大,流向首先发生改变;对于同一点的流速沿垂线分布,表、中、底层的流速趋于均匀,有的甚至出现底层流速最大的现象。

窝塘内布置树头石工程时,窝内流速随树头石的高度和分布密度的不同而有所减小,流向与无工程时基本相同。这是因为随树头石的高度和分布密度的变化,窝内阻力发生了变化,窝内流速随阻力的增减而

发生变化;窝内测点流向变化不大,一是在窝塘内布置树头石,相当于窝塘内整体加糙,主要改变流速值;二是窝内流向会随时间摆动,流向有一定的变化幅度,难以人为区分。图 6 为相对树高为 0.22,布置间距为 3 m×3 m 时窝塘内的流速分布。

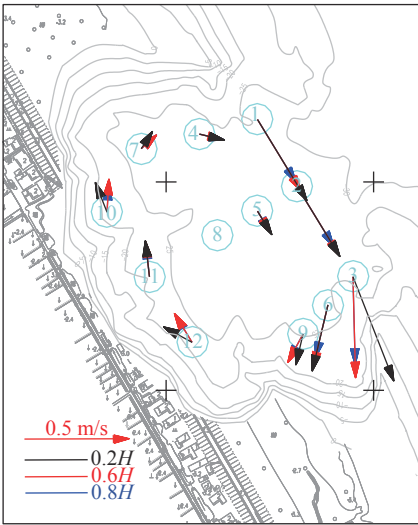


图 5 工程前窝内流速分布

Fig. 5 Velocity distribution in the pond without engineering

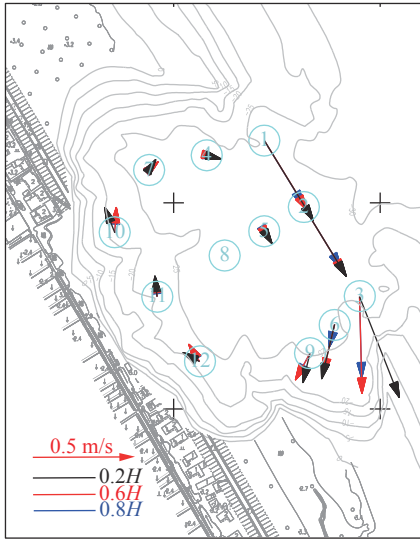


图 6 相对树高 0.22 时按 3 m×3 m 间距布置后窝塘内的流速分布

Fig. 6 Velocity distribution under 3 m×3 m spacing with the relative tree height of 0.22

3.2 成果分析

保持树头石高度相同,改变间距(密度),分析其阻水效果。通过模型试验观测,指南村窝崩内的水流是以 8 号点为中心作回流运动,流态较为稳定,相同点的流向也基本不变。故在进行成果分析时,取测点平均值进行比较,相对树高为 0.22,排列间距分别为 3 m×3 m、6 m×6 m 和 8 m×8 m 时各测点平均流速计算结果见图 7。

由图 7 可得:在相同树高时,树间距变大,窝内平均流速也变大。为了更直观地反映树间距对窝内平均流速的影响,将树间距转化为每百平方米内树头石的颗数,将不同密度下的流速与无工程时流速比值作为相对流速,两者关系见图 8。如果认为工程前流速(0.211 m/s)为 0 颗树的状态,那么每百平方米内 2~3 颗树的减速效果(从 0.211 m/s 降到 0.177 m/s)较每百平方米内 10~11 颗树的减速效果(从 0.211 m/s 降到 0.174 m/s)相差不大,但更为经济。故从促淤角度考虑,采用 6 m×6 m 间距的树头石较为合理。

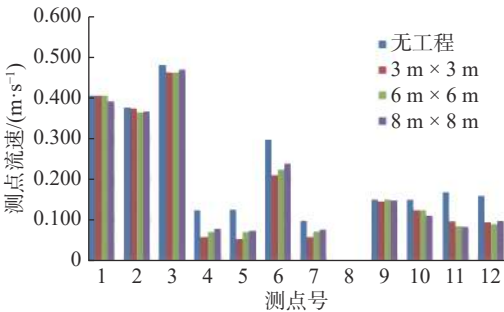


图 7 相对树高 0.22 时不同间距排列下窝内流速比较

Fig. 7 Velocity comparison of model measuring points under different spacing arrangements with the relative tree height of 0.22

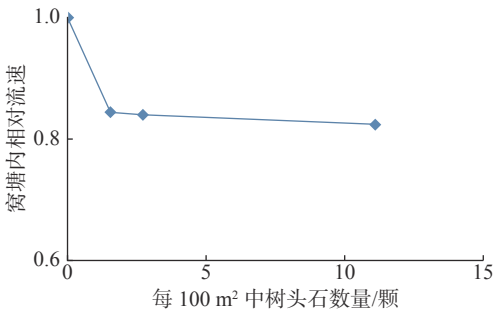


图 8 树头石密度与相对流速关系

Fig. 8 Relationship between density of tree head-stone and water velocity

保持树头石间距(密度)相同,改变其高度,分析其阻水效果。由树头石高度相同、密度变化试验得出 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 间距的树头石较为合理,故选择 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 间距作为树头石的固定密度,选择树头石相对高度分别为 0.22、0.15 和 0.06。各测点平均流速计算结果见图 9。

由图 9 可得:当排列间距相同、相对树高变大时,窝内平均流速变小(图 10)。表明树头越高,窝内减速效果越好,但实际上,树头越高,收购和运输的成本也高,砍伐后对环境的影响也大,初步认为采用相对树高为 0.15 的树头石较为合理。

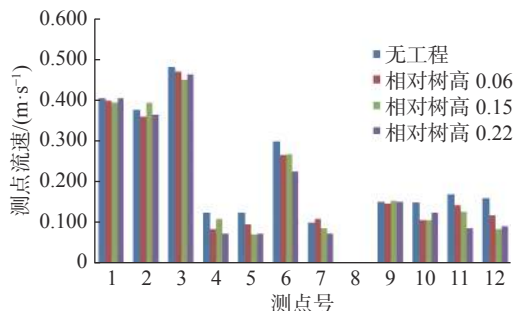


图 9 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 间距排列时不同相对树高下窝内流速比较

Fig. 9 Velocity comparison of model measuring points under different relative tree heights with $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ spacing arrangement

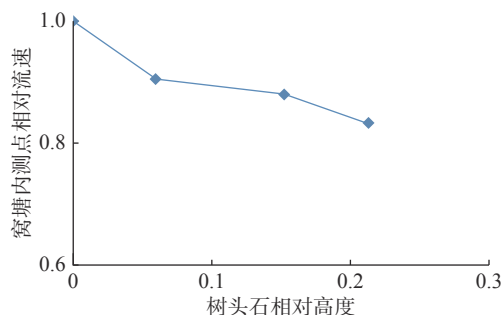


图 10 树头石相对高度与相对流速关系

Fig. 10 Relationship between relative tree height and water velocity

工程前后窝内流速变化表明:窝塘内树头石的阻水作用效果除与树头石的相对高度与分布密度有关外,还与其在窝塘内的位置相关。1#~3#测点处于窝塘与主流交界的边缘,阻水效果较小;随着回流路径的增长,测点的流速降幅也变大,促淤效果也更为明显。

4 结 语

鉴于目前窝崩应急治理设计中的树头石的树头高度和抛投密度均凭经验确定的现状,本文采用物理模型试验的方法,以长江扬中河段指南村窝崩为研究对象,制作了 $1:100$ 的正态窝崩局部模型,对窝塘内 3 种树头高度,3 种排列间距的树头石进行了试验。结果表明:随树头高度增加,或排列间距的缩小,树头石的阻水作用都会增大,促淤效果增强,但投入费用也会增大。研究认为相对树高为 0.15、间距为 $6\text{ m}\times 6\text{ m}$ 时综合效果较佳。由于试验结果是在清水定床上获得的,施工过程中树头石的抛投过程及泥沙淤积等均未能在试验中得以反映。

参 考 文 献:

- [1] 罗龙洪,苏长城,应强,等.长江扬中河段指南村窝崩原因分析[J].江苏水利,2019(增刊2): 65-69, 80. (LUO Longhong, SU Changcheng, YING Qiang, et al. Analysis on the causes of arc collapsing in Zhinan Village Yangzhong Reach of the Yangtze River[J]. Jiangsu Water Resources, 2019(Suppl2): 65-69, 80. (in Chinese))
- [2] TORREY III V H, DUNBAR J B, PETERSON R W. Retrogressive failures in sand deposits of the Mississippi River, Report 1: field investigations, laboratory studies and analysis of the hypothesized failure mechanism[R]. Vicksburg: Waterway Experiment Station, 1988.
- [3] MIDGLEY T L, FOX G A, HEEREN D M. Evaluation of the bank stability and toe erosion model (BSTEM) for predicting lateral retreat on composite streambanks[J]. *Geomorphology*, 2012, 145/146: 107-114.

- [4] 张幸农, 蒋传丰, 陈长英, 等. 江河崩岸的类型与特征[J]. [水利水电科技进展](#), 2008, 28(5): 66-70. (ZHANG Xingnong, JIANG Chuanfeng, CHEN Changying, et al. Types and features of riverbank collapse[J]. [Advances in Science and Technology of Water Resources](#), 2008, 28(5): 66-70. (in Chinese))
- [5] LANGENDOEN E J, SIMON A. Modeling the evolution of incised streams. II: streambank erosion[J]. [Journal of Hydraulic Engineering](#), 2008, 134(7): 905-915.
- [6] 假冬冬, 陈长英, 张幸农, 等. 典型窝崩三维数值模拟[J]. [水科学进展](#), 2020, 31(3): 385-393. (JIA Dongdong, CHEN Changying, ZHANG Xingnong, et al. 3-D numerical simulation of the Ω caving in riverbanks[J]. [Advances in Water Science](#), 2020, 31(3): 385-393. (in Chinese))
- [7] 应强, 张幸农, 孙波. 长江窝崩机理研究现状的述评[C]//长江护岸及堤防防渗工程论文选集. 北京: 中国水利水电出版社, 2003: 84-91. (YING Qiang, ZHANG Xingnong, SUN Bo. Review on the research status of collapse mechanism in the Yangtze River[C]//Selected Papers on Anti Seepage Engineering of Yangtze River Revetment and Dyke. Beijing: China Water & Power Press, 2003: 84-91. (in Chinese))
- [8] 陈引川, 彭海鹰. 长江下游大窝崩的发生及防护[C]//长江中下游护岸论文集(第三集). 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 112-117. (CHEN Yinchuan, PENG Haiying. Occurrence and protection of large caved collapse in the lower reaches of the Yangtze River[C]//Collection of Bank Protection in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River (the 3rd issue). Wuhan: Yangtze River Water Conservancy and Hydropower Research Institute, 1985: 112-117. (in Chinese))
- [9] 余文畴, 苏长城. 长江中下游“口袋型”崩窝形成过程及水流结构[J]. [人民长江](#), 2007, 38(8): 156-159. (YU Wenchou, SU Changcheng. Formation process and flow structure of pocket collapse in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. [Yangtze River](#), 2007, 38(8): 156-159. (in Chinese))
- [10] 应强, 张幸农, 罗龙洪, 等. 基于父子型窝塘地形变化探讨窝崩机理[J]. [水利水运工程学报](#), 2020(3): 37-42. (YING Qiang, ZHANG Xingnong, LUO Longhong, et al. Discussion on the mechanism of pit collapse based on topographic change of the father-son's caving pond[J]. [Hydro-Science and Engineering](#), 2020(3): 37-42. (in Chinese))
- [11] 丁普育, 张敬玉. 江岸土体液化与崩塌关系的探讨[C]//长江中下游护岸工程论文集(第三集). 武汉: 长江水利水电科学研究院, 1985: 104-109. (DING Puyu, ZHANG Jingyu. Discussion on the relationship between soil liquefaction and collapse in river bank[C]//Collection of Bank Protection in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River (the 3rd issue). Wuhan: Yangtze River Water Conservancy and Hydropower Research Institute, 1985: 104-109. (in Chinese))
- [12] 牛晨曦, 张幸农, 应强, 等. 流滑型窝崩水流运动和地形变化概化模拟试验[J]. [水利水运工程学报](#), 2019(4): 17-23. (NIU Chenxi, ZHANG Xingnong, YING Qiang, et al. Generalized simulation tests on flow movement and slope topography change of riverbank flow-induced slide with nest shape[J]. [Hydro-Science and Engineering](#), 2019(4): 17-23. (in Chinese))
- [13] 张幸农, 陈长英, 假冬冬, 等. 流滑型窝崩特征及概化模拟试验[J]. [水利水运工程学报](#), 2011(4): 13-17. (ZHANG Xingnong, CHEN Changying, JIA Dongdong, et al. Lab test study on mechanism of bank flow-induced slide with nest shape in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. [Hydro-Science and Engineering](#), 2011(4): 13-17. (in Chinese))
- [14] 章志强, 臧英平, 仲琳, 等. 三江口窝崩及抢护[J]. [水利水运工程学报](#), 2011(2): 71-76. (ZHANG Zhiqiang, ZANG Yingping, ZHONG Lin, et al. Pit collapse and emergency protection at the Sanjiangkou riverbank[J]. [Hydro-Science and Engineering](#), 2011(2): 71-76. (in Chinese))
- [15] 罗龙洪, 苏长城, 应强, 等. 长江扬中河段指南村窝崩应急治理及效果分析[J]. [江苏水利](#), 2020(2): 25-28. (LUO Longhong, SU Changcheng, YING Qiang, et al. Emergency treatment and effect analysis of arc collapsing in Zhinan Village, Yangzhong Reach of the Yangtze River[J]. [Jiangsu Water Resources](#), 2020(2): 25-28. (in Chinese))
- [16] 孙信德, 蔡元裕, 姚文庆. 采用沉树头石治理长江江岸崩窝的实践[J]. [水利管理技术](#), 1996(4): 45-47. (SUN Xinde, CAI Yuanyu, YAO Wenqing. Practice of using sunken tree head stone to control collapse of Yangtze River Bank[J]. [Water Management Technology](#), 1996(4): 45-47. (in Chinese))
- [17] 关德新, 朱廷曜, 韩士杰. 单株树的阻力系数模式[J]. [林业科学](#), 2011, 37(6): 11-14. (GUAN Dexin, ZHU Tingyao, HAN Shijie. Theoretical model of drag coefficient of isolated tree[J]. [Scientia Silvae Sinicae](#), 2011, 37(6): 11-14. (in Chinese))
- [18] 姬昌辉, 洪大林, 丁瑞. 含淹没植被明渠水位及糙率变化试验研究[J]. [水利水运工程学报](#), 2003(1): 60-65. (JI Changhui, HONG Dalin, DING Rui, et al. Variation characteristics of water level and roughness of an open channel with submerged vegetation[J]. [Hydro-Science and Engineering](#), 2003(1): 60-65. (in Chinese))

Experimental study on the water blocking effect of tree head-stone in the treatment of pit collapse

YUAN Wenxiu¹, YING Qiang², LUO Longhong¹, ZHANG Xinnong², JIA Dongdong²

(1. *Water Resource Engineering Planning Office of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China*; 2. *Key Laboratory of Port, Waterway and Sedimentation Engineering of Ministry of Transport, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*)

Abstract: An effective emergency treatment for the pit collapse is vital to slow down the flow velocity of the pit pond and prevent the further development of the pit pond. The scheme of tree head-stone has been widely used in engineering application owing to its capacity of promoting siltation. The height and the spacing distance of the tree head-stone were generally determined by engineering experience, and these empirical values were short of theoretical and experimental basis. The arrangements of tree head-stone in pit collapse were tested using the physical model at Zhinan village, along the Yangzhong embankment of the Yangtze River. In this study, three heights and three spacing distances were orthogonally combined in the testing scheme, and the flow direction and velocity were measured at 12 locations using the three point method. Based on the analysis of the experimental results, the surface velocity was greatly affected by inertia, and the bottom velocity was dominantly controlled by the topography of riverbed. In comparison of the experiments with different heights and spacing distances, the mean flow velocity increased with the spacing distance of the stone, but decreased with the increasing height of the tree head. The resulting low flow velocity increased the possibility of siltation. Because the investment cost would increase with the height of tree head and the low spacing distance of stone, the best relative height of tree head and the spacing distance of stone were 0.15 and 6 m×6 m, respectively.

Key words: Yangtze River embankment; pit collapse treatment; tree head-stone; mean flow velocity