

· 研发应用 ·



荆江河段高滩守护工程 护底排边缘冲刷试验研究

黄成涛¹, 白明², 李彪¹, 赵凤亚¹, 曾庆云¹

(1. 长江航道规划设计研究院, 湖北武汉 430011; 2. 长江航道局, 湖北武汉 430010)

摘要: 针对长江中游荆江河段复杂的水沙条件和地形条件, 建立概化水槽模型, 对高滩守护工程护底排边缘冲刷开展试验研究。分别研究了不同流速、压载条件、排体长度对冲刷坑最大深度和 underwater 稳定边坡系数的影响, 提出了荆江河段高滩守护护底排边缘水下冲刷坑的计算公式, 并确定了不同工况条件下荆江河段水下稳定边坡系数宜取 0.5, 为高滩守护工程护底排长度的确定奠定了基础。

关键词: 荆江河段; 高滩守护工程; 护底排; 水槽模型

中图分类号: U 617.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)12-0151-05

Experimental study on scouring at edge of bed protection mattress of high-beach protection engineering in Jingjiang reach

HUANG Cheng-tao¹, BAI Ming², LI Biao¹, ZHAO Feng-ya¹, ZENG Qing-yun¹

(1. Changjiang Waterway Planning, Design and Research Institute, Wuhan 430011, China; 2. Changjiang Waterway Bureau, Wuhan 430010, China)

Abstract: The flow, sediment and topographic conditions of Jingjiang reach in the lower Yangtze River are complex. Establishing a flume model, we carry out an experimental research on the edge scouring of bed protection mattress in Jingjiang reach, including the effects of velocity, ballast condition and bed protection mattress width on the maximum depth and the underwater slope stability coefficient. We also put forward a new scouring depth calculation formula. The underwater slope stability coefficient is determined to be 0.5 in Jingjiang reach. The research provides an important basis for the determination of the length of the bed protection mattress.

Keywords: Jingjiang reach; high-beach protection engineering; bed protection mattress; flume model

长江中下游河段河岸(洲滩)及河床组成多为泥沙,易冲刷,三峡蓄水以后,“清水”下泄更引起了坝下河床长距离、长时段冲刷调整。特别是近坝河段河岸(洲滩)冲刷下切,岸坡崩塌更为严重。荆江河段位于长江中游,由于自身的自然特性加之三峡工程影响,河床演变剧烈,洲滩变迁频繁,航槽极不稳定,碍航情况频发。在荆江河段航道治理中,为控制河势格局,保证河岸(洲滩)的稳定,高滩守护工程占有相当大的比

重。这里所说“高滩守护工程”不同于水利部门的护岸工程,由于守护对象大多为中洪水期淹没的滩体,航道部门俗称“高滩”,由于高滩在河道内形成时间较短,岸滩组成以单一砂性结构居多,多为中细沙、粉细沙,其稳定性总体上小于大汛时才被洪水淹没的河岸。高滩守护工程主要由水下护底和陆上护坡组成,目前的护底结构形式主要为软体排护底,受水流强烈冲刷,护底排边缘发生变形,进而影响护岸的稳定性。

收稿日期: 2014-10-08

作者简介: 黄成涛(1975—),男,高级工程师,从事航道整治工程设计、研究。

对河岸和高滩的守护工程,国内外已有大量的应用和研究,在欧美国家,19世纪末就已取得了显著成就。为了固定边滩,稳定航道,增加枯水期航道内水深,主要是在边滩上修建淹没式上挑丁坝群^[1];法国、泰国等在航道整治中,曾沿浅滩段布置一系列上挑导流潜板坝^[2],这种建筑物的主要优点是底板可沿桩柱下滑,始终保持与河床的良好接触,也可用于护滩护底。美国采用混凝土连锁板式的平顺护岸,在密西西比河干流中下游河道航道治理中发挥了重要作用^[3]。在国内,余文畴等^[4]、龙慧等^[5]研究了荆江河段崩岸发生机理,描述了崩岸发生过程,并提出其主要原因是水流作用。刘宗建等^[6]、何广水等^[7]对护岸工程发生破坏的原因进行研究后发现,水流的淘刷是其破坏的根本原因。李敏达等^[8]、吴成祥等^[9]通过工程经验的研究,提出了护岸软体排护底宽度计算公式。李远发等^[10]、张应龙^[11]通过工程经验的研究,提出了冲刷坑深度计算公式。综上所述可以看出,目前关于护岸软体排护底宽度和深度的研究还停留在工程经验上,参数的计算大多采用经验公式,而关于高滩守护护底排边缘冲刷及长度确定方面的研究就更少了。本文主要针对影响高滩守护工程护底排长度确定的两大关键因素(冲刷坑最大深度和 underwater 稳定边坡)开展研究,通过研究不同工况条件下水下护底排边缘冲刷坑最大深度、水下稳定边坡变化及相关关系,为高滩守护工程护底排长度的确定奠定基础,为荆江河段高滩守护工程护底排长度的设计提供科学的依据。

1 水槽概化模型的建立

概化模型主要针对长江中游荆江河段航道整治中高滩守护护底排边缘冲刷而开展,考虑到三峡水库蓄水运用后,上游来水来沙条件发生重大变化,水含沙量大大减少,故在本试验中不考虑上游来沙的情况,动床试验主要做清水冲刷试验。模型为正态模型。水槽的尺寸为20 m(长)×3 m(宽)×0.8 m(深),正态水槽模型满足几何相似、水流相似和泥沙运动相似,其几何比尺、流速比尺和粒径比尺分别为1:50、1:7.071、1:1.11。

1.1 模型边界条件

1.1.1 河床组成

本次研究重点为荆江河段,根据实测资料荆江河段江口以下河床质由粒径为0.05~0.5 mm的沙质组成,中值粒径 d_{50} 为0.16~0.2 mm,其中粒径为0.1~0.5 mm的沙质量在河床质中所占比例约为70%~90%,这部分泥沙,在河床冲淤变形中起着重要的作用。模型中泥沙中值粒径取0.2 mm。

1.1.2 水流条件

高滩守护分为水上和水下两部分,本模型重点研究高滩守护水下护底带冲刷变形情况。考虑到本模型为概化水槽试验,模型中流量、水深等无法与原型严格对应,因此在本试验条件设计中以流速为主要参考因素。结合实测资料,荆江河段洪水流量下大流速一般为2~3.5 m/s,因此,拟定表1所示的试验工况。

表1 清水冲刷试验工况

试验条件	流量/(L·s ⁻¹)	模型进口段水深/cm	模型护底排上水深/cm	模型护底排上平均流速/(m·s ⁻¹)	原型进口段水深/m	原型水深/m	原型流速/(m·s ⁻¹)
1	68	38	8	0.28	19.0	4.0	2.0
2	106	40	10	0.35	20.0	5.0	2.5
3	165	43	13	0.42	21.5	6.5	3.0
4	223	45	15	0.49	22.5	7.5	3.5

注:模型试验确定不同水深情况下的流速。

1.1.3 其它边界条件

试验中水槽铺沙厚度参考荆江河段极限冲刷情况, 水槽平铺 50 cm 厚模型沙。各级流量下高滩守护护底带与水流夹角基本一致, 水槽采用固定边界研究不同流量级的水流、泥沙运动规律。水槽试验采用水流自循环系统, 水槽的进口流量由电磁流量计控制, 出口由翻板式尾门控制水位。水槽的上游设格墙以调整平顺水流, 尾部设置沉沙池, 水槽中间 10 m 范围为动床试验段。其中尾门配套设置自动水位计控制尾门水位, 其它水尺均设置在水槽两侧。

1.2 试验工况

水槽试验分别针对无工程及有工程情况不同护底排宽度、不同压载强度条件下排边缘的冲刷以及水下稳定边坡进行研究。其中护底排长度分别采用 1.6、2.0、2.4 m (相当于原型宽度为 80、100、120 m), 压载方式分别考虑无压载、单层压载、双层压载等工况 (相当于考虑不同的压载强度)。

2 试验结果分析

2.1 无工程情况下冲刷坑及水下稳定边坡分析

无工程条件下冲刷坑监测数据见表 2, 冲刷坑、水下稳定边坡系数、流速相关关系见图 1。分析表明: 自然条件下, 随着流速的增加水下冲刷坑的最大深度不断增加, 但增加幅度逐渐变缓。而水下稳定边坡系数则变化不大, 基本保持在 0.5 左右, 由此表明, 对于同种粒径的河床组成, 流速的增加仅对水下冲刷坑最大深度有影响, 对水下稳定边坡系数基本不影响, 也就是说水下稳定边坡仅与泥沙水下休止角有关。

表 2 无工程情况下冲刷坑相关数据

平均流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	冲刷坑深度 H/m	坡顶至坡脚 水平距离 L/m	水下稳定 边坡系数 a
2.0	10.0	20.4	0.49
2.5	14.0	26.4	0.53
3.0	16.0	30.8	0.52
3.5	17.5	31.8	0.55

注: 水下稳定边坡系数 $a = H/L$, 其中 H 代表冲刷坑最大深度 (m), L 为冲刷坑边缘至最深点水平距离 (m)。

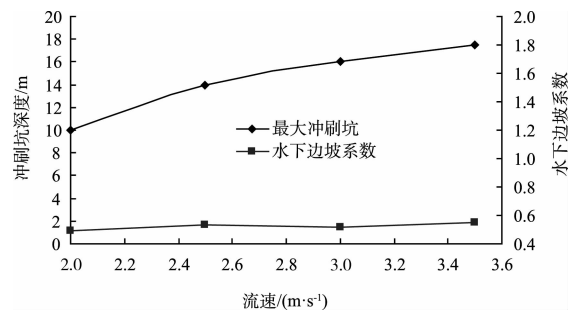


图 1 最大冲刷坑、水下稳定边坡系数与流速的关系

2.2 有工程条件下护底排边缘冲刷坑及水下边坡稳定分析

根据不同压载条件下护底排边缘冲刷坑最大深度、水下稳定边坡系数数据点汇集形成图 2 所示的关系。

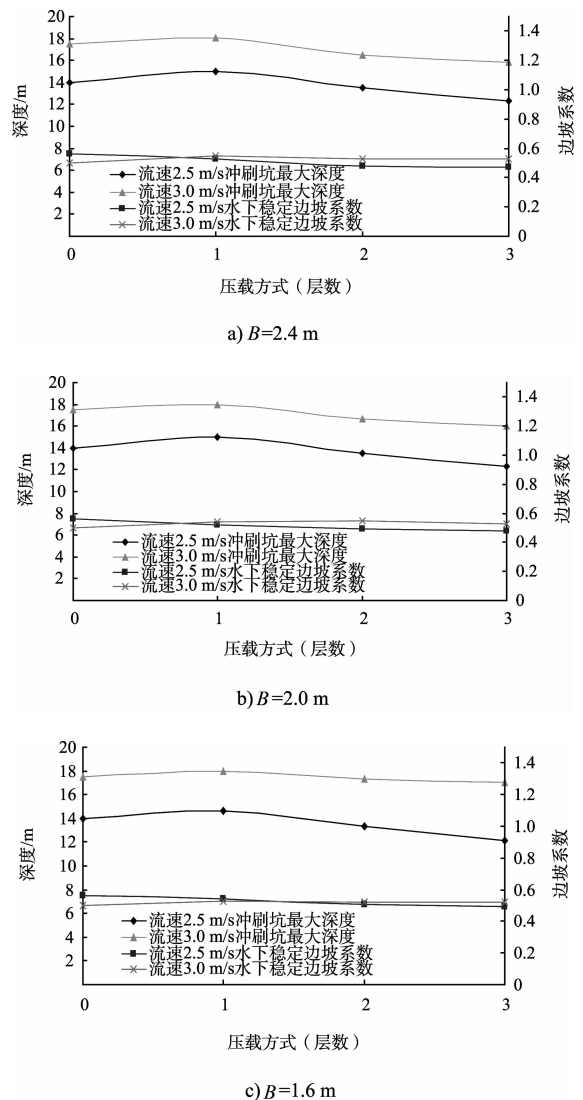


图 2 不同流速、压载方式下最大冲刷坑深度和稳定边坡系数关系

1) 铺设软体排条件下较无工程情况, 冲刷坑最大深度略有减小, 但随着排上压载的增加, 冲刷坑最大深度逐渐减小, 说明排体的压载有助于护底排排体的稳定。

2) 流速越大, 护底排边缘冲刷坑最大深度越大, 由此表明, 流速是影响冲刷坑最大深度的重要因素之一。

3) 不同压载条件下, 排体冲刷坑有所变化, 压载强度越大, 冲刷坑最大深度越小, 也就是说增加排体的压载有助于护底排排体的稳定。

4) 不同排宽条件下, 冲刷坑最大深度基本相同, 由此得出, 边缘冲刷坑最大深度与排宽无关; 不同排宽、不同流速、不同压载条件下, 水下稳定边坡系数基本不变, 保持在 0.5 左右, 由此可见, 水下稳定边坡系数与流速、排宽、压载无关, 仅与河床组成有关, 荆江河段水下稳定边坡系数可取一定值。

3 水下护底排边缘冲刷坑深度的影响因素分析

3.1 影响因素分析

影响护底排边缘冲刷深度的因素一般归纳为 3 方面: 水流因素、河床组成因素、几何边界条件。

对于水流因素, 主要是水深、流速以及水流夹角。高滩守护护底排主要是对堤岸进行守护, 并且位于近岸侧, 所以水深不大, 并且水深变化较小, 因此可忽略水深影响; 护底排位于水下, 紧贴河床, 有别于其它类型整治建筑物, 受水流夹角影响较小, 即便水流夹角有变化, 仅排边缘冲刷坑位置发生变化, 对冲刷坑深度影响较小; 由此可见, 水下护底排边缘冲刷坑与流速有关。结合水槽试验认识, 流速越大, 冲刷坑最大深度也越大, 因此, 水流流速是影响排边缘冲刷坑最大深度的主要因素之一。

对于河床组成, 影响冲刷深度的主要参数是泥沙粒径, 包括平均粒径 d 和泥沙级配等。冲刷深度与粒径的关系比较明显, 当平均粒径增大时,

起动冲刷流速增大, 相应的冲刷深度逐渐减小。泥沙级配对冲刷深度也有明显的影响, 当粒径相同时, 泥沙级配不均匀程度增大, 冲刷深度减小, 特别是在低 Fr 数范围更为明显。同时不均匀泥沙的粒径大小直接影响了冲刷过程, 其颗粒越细, 越易冲刷。

对于几何边界条件, 护底排边缘冲刷坑深度与几何形态有关系。根据相关研究, 水流流态、流速变化以及断面环流强度对高滩守护水下冲刷坑影响较大, 高滩断面自然边坡也是最大冲刷坑深度的重要影响因子, 当断面自然边坡垂直时, 局部最大冲刷深度达到最大; 随着断面自然边坡放缓, 螺旋环流的强度逐渐消减, 最大冲刷深度也减小; 当断面自然边坡放缓到一定值时, 最大冲刷深度减小的趋势减缓。现有的研究和工程设计中, 对于断面边坡坡度的影响, 一般是将垂直边坡条件下最大水深乘以一个边坡影响系数来加以考虑。

3.2 护底排边缘冲刷坑计算公式

根据模型试验及相关研究可知, 影响护底排局部冲刷坑深度的因素非常复杂, 其主要影响因素不仅与流速有关, 还应与水深及其复杂的水流结构、河床组成等因素有关, 即:

$$h_s = f(B, u, h, d, \rho, \rho_s, g) \quad (1)$$

运用量纲分析法和多元回归, 并根据荆江河段实测资料分析, 可得高滩守护护底排边缘冲刷坑计算公式:

$$h_s = 0.55 \left(\frac{1}{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \cdot \frac{q^2}{d^3} \right)^{0.35} \quad (2)$$

式中: h_s 为由床面算起的冲刷坑深度 (m); q 为通过护底排边缘的单宽流量 ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$); d 为床沙粒径 (mm); ρ 和 ρ_s 分别为水流和床沙密度。式(2)中的系数和指数仅根据试验及部分实测资料得出, 其值还需要更多组次的模型试验资料和原型观测资料加以检验或修正。

4 结论

1) 铺设软体排条件下和无工程情况比较, 冲刷坑最大深度略有减小, 但随着排上压载的增加, 冲刷坑最大深度逐渐减小, 说明排体的压载有助于护底排排体的稳定。

2) 流速越大, 护底排边缘冲刷坑最大深度越大, 由此表明, 流速是影响冲刷坑最大深度的重要因素之一; 不同压载条件下, 排体冲刷坑有所变化, 压载强度越大, 冲刷坑最大深度越小, 也就是说增加排体的压载有助于护底排排体的稳定; 不同排宽条件下, 冲刷坑最大深度基本相同, 由此得出, 边缘冲刷坑最大深度与排宽无关。

3) 不同排宽、不同流速、不同压载条件下, 水下稳定边坡系数基本不变, 保持在 0.5 左右, 由此可见, 水下稳定边坡系数与流速、排宽、压载无关, 仅与河床组成有关, 荆江河段水下稳定边坡系数可取一定值。

4) 在试验基础上, 结合已有试验成果, 量化了不同工况(不同排宽、流速、排体压载)条件下水下护底排边缘冲刷坑最大深度、水下稳定边坡系数的变化关系, 为高滩守护护底排长度的确定奠定了基础。

参考文献:

- [1] 陈国祥, 张锦琦, 陈耀庭. 淹没丁坝雍水规律及试验研究[J]. 河海大学学报, 1991, 19(5): 88-93.
- [2] R·特诺, 徐月珍. 法国和欧洲的内河航道网[J]. 水道港口, 1983(3): 1-3.
- [3] 李传旦. 新型整治结构和材料在我国航道治理中的应用概况[J]. 水运工程, 1988(9): 19-27.
- [4] 余文畴, 卢金友. 长江河道崩岸与护岸[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [5] 龙慧, 严光云, 段光磊. 荆江河段近岸河床演变规律及崩岸机理[J]. 人民长江, 2006(12): 75-77.
- [6] 刘宗建, 郭建梅. 界河护岸工程破坏原因[J]. 水利天地, 2000(4): 6-8.
- [7] 何广水, 姚仕明, 黎礼刚, 等. 荆江护岸工程水毁机理及加固对策研究[J]. 人民长江, 2006(7): 54-56.
- [8] 李敏达, 马强. 贡力铰链式模袋混凝土沉排护底在河道整治中的应用[J]. 甘肃水利水电技术, 2004(2): 118-119.
- [9] 成祥, 王蔚斌, 张永杰. 软体沉排在护岸工程中应用[J]. 黑龙江水利科技, 2006(3): 93, 100.
- [10] 李远发, 陈俊杰, 郭慧敏. 透水桩坝前冲刷坑深度影响因素探讨[J]. 水利水电技术, 2008(2): 26-28.
- [11] 张应龙. 荆江护岸工程近岸冲刷坑演变的初步探讨[J]. 人民长江, 1982(5): 12-16.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 137 页)

5 结语

1) 江口水道江口夹 3 m 等深线贯通, 且贯通宽度在 50 m 以上, 江口夹具备部分水位期开辟为航道的水域条件, 但是需要密切关注进、出口处浅点情况。

2) 江口水道航道尺度(水深×航宽×半径)可拟定为: 2.0 m×90 m×500 m, 技术等级为Ⅲ-(2)。

3) 开通江口夹支汊航道后, 可提高航道通过能力约 1 745 万 t。根据荆州港口岸线利用规划, 江口水道将会在江口夹内建设港口作业区或码头等, 因此, 江口水道江口夹将来有通航需要, 具

有较大开通利用的价值。

4) 开通江口夹支汊航道以后, 预计增加港口吞吐量 3 800 万 t, 将带动 7.6 万人就业。

参考文献:

- [1] 仲伟斌. 长江下游湖口至浏河口河段支汊航道技术等级与航道尺度研究[J]. 水道港口, 2014(4): 73-78.
- [2] 刘怀汉, 裴金林, 许乐华, 等. 长江干线合江门至浏河口支汊航道技术等级与航道尺度研究[R]. 武汉: 长江航道规划设计研究院, 2012.

(本文编辑 武亚庆)