



鳗鱼沙心滩整治建筑物局部冲刷试验*

朱玉德

(交通运输部天津水运工程科学研究所, 工程泥沙交通行业重点实验室, 天津 300456)

摘要: 通过局部正态模型试验, 研究鳗鱼沙心滩整治建筑物有、无护底条件下局部冲刷坑深度与范围。根据成果分析, 确定鳗鱼沙心滩整治工程重点防护区域, 并提出鳗鱼沙心滩整治建筑物设计护底范围优化建议。

关键词: 鳗鱼沙; 局部模型; 冲刷

中图分类号: U 617.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0009-05

Physical model experiment on local scouring of Manyusha shoal regulating structure

ZHU Yu-de

(Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Key Laboratory of Engineering Sediment of Ministry of Transport, Tianjin 300456, China)

Abstract: This paper studies the local scouring depth and scope of the Manyusha shoal regulating structure with and without bottom protection by the part normal physical model experiment, based on the result of which, the key protection areas of Manyusha shoal regulation engineering is determined and the bottom protection scope for Manyusha shoal regulating structure design is proposed.

Keywords: Manyusha shoal; part physical model; scour

三峡工程蓄水以来, 水沙条件发生了较大变化, 给下游航道带来不利的影 响。为应对不利变化、改善航道条件, 在航道治理过程中常采用低坝或护滩带的形式对航道进行治理。但由于建筑物边缘水流运动具有复杂的三维特性, 加之下游河床质细、活动性强, 建筑物边缘在三维水流作用下极易冲刷, 而较强的局部冲刷必将对建筑物稳定性产生不利影响。合理确定工程实施后建筑物边缘的局部冲刷坑深度和范围, 对确定工程防护区域、保障建筑物稳定具有重要作用。目前此类问题多通过局部正态概化模型进行研究^[1-3]。

1 河段概况^[4-6]

1.1 工程河段情况

鳗鱼沙河段位于口岸直水道下段高港灯—十四圩, 江中鳗鱼沙心滩将河槽分为左、右两槽, 心滩冲淤频繁, 两槽相应冲淤交替发展, 航槽不稳。鳗鱼沙河段浅滩属顺直宽浅河道水下分汊型沙质浅滩, 河段航道条件好坏与鳗鱼沙心滩完整性、稳定性密切相关。前期于鳗鱼沙头部实施了守护洲头的梭形护滩带, 该工程建成后稳定了鳗鱼沙心滩中前部, 鳗鱼沙心滩两侧深槽明显冲刷, 航道条件改善, 现状航道条件下满足 10.5 m×500 m×1 050 m 航道尺度要求, 但近年来心滩中下

收稿日期: 2016-05-05

*基金项目: 交通运输部建设科技项目(2014328J17170)

作者简介: 朱玉德(1979—), 男, 副研究员, 从事水力学研究。

段冲蚀，威胁鳊鱼沙两槽航道条件。

长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程鳊鱼沙心滩治理工程主要在前期心滩头部守护工程基础上扩大鳊鱼沙沙体的守护范围，抑制沙体的冲蚀，维持鳊鱼沙心滩两槽尚好的航道条件。工程包括沿鳊鱼沙滩脊纵向布置 1 条潜堤、横向布置 11 对护滩坝(图 1)。

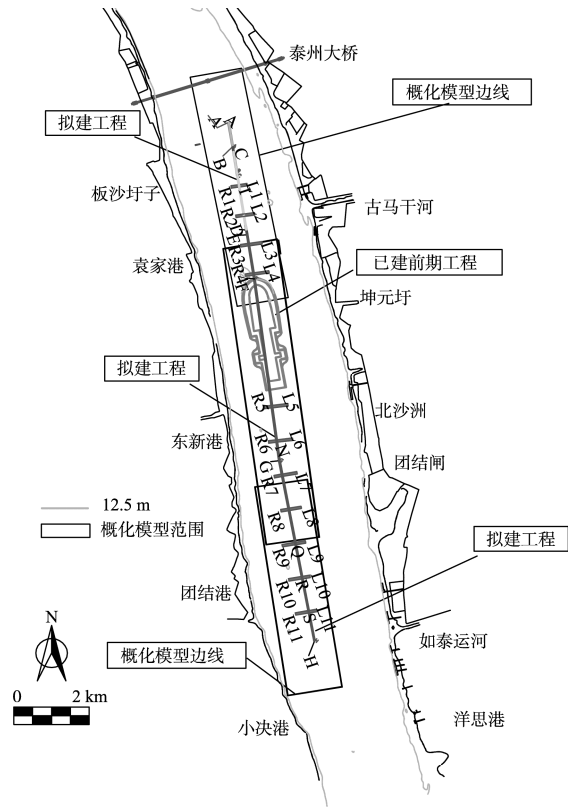


图 1 鳊鱼沙工程河段河势、工程布置及局部模型范围

1.2 工程河段水沙特征

据统计^[6]，鳊鱼沙河段设计洪水流量达 100 400 m³/s，多年平均洪水流量为 57 500 m³/s、造床流量为 46 000 m³/s、多年平均流量为 28 500 m³/s。河段处于长江下游潮流界变化区内，涨潮历时超过 3 h，落潮历时超过 8 h，涨潮历时明显短于落潮历时，呈显著的河道型潮汐特征，但河段径流的作用占优。中枯水期因长江径流流量较小，河段内会出现涨潮流，即发生双向流，汛期径流流量较大，河段内基本上不出现涨潮流，只有落潮流，即呈单向流，当上游流量大于 43 000 m³/s时，鳊鱼沙河段工程附近即基本为单向流。

鳊鱼沙河段河床表面有粗砂、中砂、细砂、粉砂、粉土、粉质黏土和黏性土多种，其中中砂和细砂底质占 80% 以上，河段河床以中细砂为主，中值粒径范围为 0.087~0.358 mm。据口岸直水道近年水文泥沙测验资料：河段全潮水文测验垂线平均含沙量 0.041~0.40 kg/m³，垂线平均含沙量最大发生在落急期间，最小发生涨憩期间；含沙量垂线分布有明显规律，底部相对含沙量较大，表层含沙量较小，沿垂线方向水底到水面含沙量逐渐减小，无明显突变变化。

2 局部模型设计

2.1 概化模型设计

由于建筑物局部冲刷是由复杂的三维水流运动引起的，所以局部冲刷模型通常要求几何比尺尽可能小，且要保证水流运动及输沙相似。若能选择到合适的模型沙，一般优先选择同时能够满足水流运动相似和泥沙起动相似的正态模型。综合考虑选择 λ_l = 125、密度 1.15 t/m³ 塑料模型沙时可同时满足以上条件，模型要求相似条件如下：

$$\text{重力相似} \quad \lambda_v = \lambda_l^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{水流连续相似} \quad \lambda_Q = \lambda_l \lambda_h^{3/2} \quad (2)$$

$$\text{阻力比相似} \quad \lambda_n = \lambda_l^{1/6} \quad (3)$$

$$\text{泥沙起动相似} \quad \lambda_{v_0} = \lambda_v = \lambda_h^{1/2} \quad (4)$$

$$\text{泥沙休止角相似} \quad \varphi_1 = \varphi_2 \quad (5)$$

式中：λ_v 为流速比尺；λ_l 为水平比尺；λ_Q 为流量比尺；λ_h 为垂直比尺；λ_n 为糙率比尺；λ_{v₀} 为起动流速比尺；φ 为泥沙休止角。

2.2 试验水沙条件

选择多年平均洪水流量(57 500 m³/s)作为试验流量，多年平均洪水流量为河段最常出现且较不利水流动力条件，具有一定的冲刷代表性。由于长江口潮流界在江阴与镇江之间，枯季可达镇江附近，洪季则下移至江阴附近，鳊鱼沙河段处于潮流界的变化区段之内，河段内大于 43 000 m³/s 的洪水量下无涨潮流，只有枯水大潮时才有涨潮流，因此，试验中仅考虑径流对冲刷的影响。

河段天然河床质 d₅₀ 范围在 0.08 ~ 0.25 mm，

平均中值粒径为 0.165 mm。考虑原型沙休止角与模型沙休止角相等, 局部模型采用 70% 球形塑料+30% 不规则塑料模型沙混和, 混合后 $d_{50} = 0.27$ mm, 模型沙可满足相似性要求; 由于河段本身含沙量不大, 且从偏安全角度考虑, 试验过程中不加沙。

2.3 局部模型范围及建筑物模拟

鳊鱼沙河段平均河宽 3.0 km 以上, 选择全河宽开展比尺为 1:125 的正态模型试验, 试验场地、供水等条件均难以满足。由于天然条件下工程区域各流量下沿工程两侧一定宽度间流线基本平行, 所以为采用“流带法”提供了前提。“流带法”可以克服模型建立中场地、供水等限制, 但选取的流带宽度须远大于工程引起的流速变化区域, 并确保流带内水流大小和方向的相似。

二维潮流数学模型^[7] 计算得鳊鱼沙潜堤左、右两侧护滩坝头部流速受工程影响区域均在头部 150 m 范围内, 150 m 范围区域工程前后流速差值均在 ± 0.02 cm/s 范围内; 潜堤上下游流速影响最大区域在 200 m 范围。故局部模型选择横向范围包括鳊鱼沙潜堤两侧最长护滩坝头部外侧 250 m 区域, 纵向范围包括潜堤头部上游 0.75 km 至尾部下游 1 km 区域(图 1)。鳊鱼沙心滩治理工程建筑物沿水流方向长约 8 200 m, 据水槽长度、移动边界水流控制效果及试验重点关注区域(潜堤头

部、潜堤头与前期工程头部、前期工程尾部至潜堤中段)等因素, 将工程段纵向分为 3 个有效试验区域开展试验。每段包含各自试验有效区域及进、出口搭接段, 有效试验区相互无缝对接, 保证试验数据的完整有效(图 1)。各局部模型区域按实际地形模拟, 两侧采用移动边界控制。

试验前据数学模型^[7] 计算的局部模型进口流量、断面流速分布、水位及边界条件对模型进行率定, 通过进口及边缘活动边界调整模型水流大小及流向, 使局部正态模型与数学模型提供的水位、流速等能够相似, 满足试验要求。

鳊鱼沙治理工程建筑物包括抛石坝、抛石护脚、连锁块软体排护底。模型中抛石坝采用的混凝土砂浆按几何相似制作; 抛石护底按几何相似及重力相似选用砾石模拟; 余排采用棉布模拟排垫、铝片模拟混凝土块体, 按几何比尺要求在形态相似的基础上考虑重力相似模拟。

3 鳊鱼沙心滩治理工程有、无护底局部冲刷研究

3.1 鳊鱼沙心滩治理工程及设计护底方案

鳊鱼沙心滩整治工程及设计护底方案参数见表 1。无护底条件即为鳊鱼沙心滩治理方案; 设计护底方案即以鳊鱼沙心滩治理方案中潜堤和护滩坝坝体平面布置为基础, 在潜堤和护滩坝边缘设计一定宽度余排护底的方案。

表 1 鳊鱼沙心滩整治工程平面布置及设计护底参数

内容	类别	长度/m	高程(高度)/m	护底余排宽度/m	
				坝身	头尾
潜堤	超前护底	100		85+85	100
	AB	400	堤身高 2.0, 排宽 30	80+80	
	BC	100	堤身度 2.0, 高程-10.0	70+70	
	CD	1 600	高程-10.0	60+60	
	DE	100	高程-10.0~-9.0	60+60	
	EFGH	8 200	高程-9.0	60+60	
	超前护底	100		80+80	100
	护滩坝	潜堤左侧(11座)	150~300	坝高 3.0	30+50
潜堤右侧(11座)		150~250			

3.2 有、无护底边缘冲刷变形研究

3.2.1 无护底边缘局部冲刷试验成果

鳊鱼沙心滩整治工程建筑物无护底条件下局

部冲刷试验(表 2、图 2)表明:

1) 无护底条件下建筑物周围存在较大局部冲刷; 水流动力强、相对高度大的建筑物边缘局部

冲刷坑尺度相对较大,表明局部冲刷与工程所处位置的动力特性、绝对高度等因素密切相关。

2) 护滩坝 ML1 头部的冲刷坑深度居各建筑物边缘冲刷深度之首,最大冲刷达 7.0 m;工程区最大冲刷范围发生于潜堤头部, -2 m 冲刷范围达 80 m×75 m。潜堤中上段(AF)两侧边缘冲刷要大于中下段(FH),CF 段潜堤左侧冲刷大于右侧;潜堤中段(MP)两侧冲刷幅度较小,但该区域左侧滩地近期天然条件下明显冲刷萎缩,小幅冲刷亦

导致左侧潜堤边缘滩体坡度增大。

3) 潜堤头部与已建心滩守护工程头部间潜堤、已建心滩守护工程尾部至 8# 护底坝间潜堤为重点护底防护区域,潜堤尾部为一般护底防护区域。第 1#~4# 对护滩坝周围为护滩坝重点防护区域;第 5#~8# 对护滩坝周围冲刷虽不很严重,但该区域近期天然条件下冲刷较大,护底设计时应适当加强。同时,各护滩坝上游冲刷范围普遍小于下游,则上下游护底守护范围应该有所不同。

表 2 整治工程有、无护底条件下建筑物头部局部冲刷深度与范围

特征位置	最大冲刷深度/m		-2 m 冲刷范围/(m×m)		特征位置	最大冲刷深度/m		-2 m 冲刷范围/(m×m)	
	无护底	有护底	无护底	有护底		无护底	有护底	无护底	有护底
头部	5.7	4.1	80×75	120×50	尾部	4.0	3.1	30×50	50×40
ML1	7.0	5.3	50×60	60×80	MR1	6.8	5.1	45×55	55×70
ML2	6.9	5.0	50×65	55×80	MR2	6.5	4.6	50×50	60×65
ML3	5.9	4.9	50×55	50×70	MR3	5.8	5.0	50×60	45×65
ML4	5.5	4.4	50×60	50×75	MR4	5.9	4.5	50×60	50×70
ML5	5.5	4.0	50×60	55×70	MR5	5.6	4.4	50×65	50×65
ML6	5.0	4.0	50×60	50×65	MR6	5.1	4.2	45×60	55×60
ML7	4.9	4.0	45×50	50×65	MR7	4.8	3.8	50×55	55×55
ML8	4.8	4.0	45×55	50×60	MR8	4.9	3.9	40×45	45×50
ML9	4.8	3.8	40×50	50×60	MR9	4.8	3.8	50×55	45×55
ML10	4.7	3.7	45×55	45×55	MR10	5.0	4.1	45×50	40×50
ML11	4.6	3.8	35×40	40×40	MR11	5.0	3.8	30×40	35×50

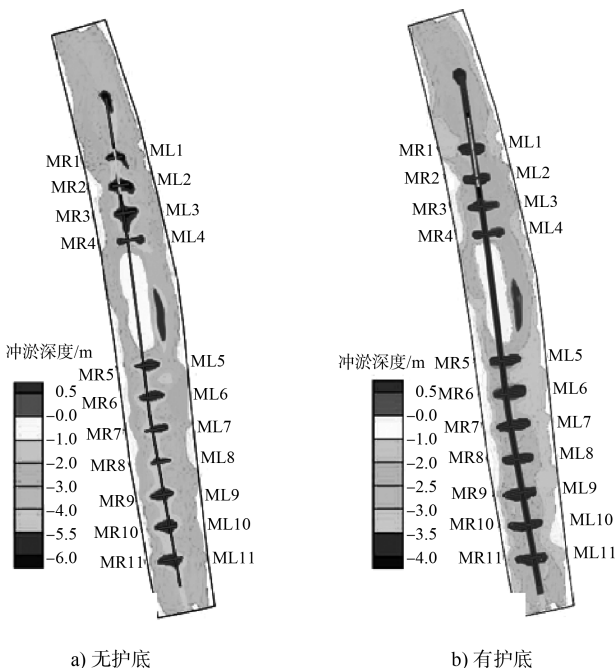


图 2 建筑物冲淤状况

3.2.2 治理方案设计护底边缘局部冲刷试验成果

整治建筑物边缘设置一定宽度护底后各建筑物边缘、头部局部冲刷深度减小,范围增大,试验过程中排体未出现被水流掀起的情况,排边亦未出现明显变形扭曲等变形破坏现象,对建筑物有、无护底局部冲刷进行对比(表 2、图 2)可知:

1) 潜堤 AF 段(潜堤前段)设计余排护底后潜堤两侧局部冲刷较无护底明显减小,但左侧护底边缘河床局部冲刷幅度仍较大,可适当增加左侧护底余排宽度防护范围。潜堤 MP 段(潜堤中段)左侧守护后较无护底时局部冲刷坑外移,局部冲刷幅度明显减小,但护底余排外侧位于天然深槽边缘,排边部位河床坡度较大,应适当增加护底余排宽度降低深槽边缘冲刷对工程和滩地影响。潜堤末段两侧局部冲刷相对较小,该区域建筑物

护底余排宽度可适当优减。

2) 第 5[#]~8[#]对护滩坝上下缘及头部设计护底后较无护底时冲刷深度减小, 但由于近期该区域滩地河床明显冲刷萎缩, 较宽的护底是必要的; 第 9[#]~11[#]对护滩坝上下缘及头部局部冲刷幅度均较小, 有、无护底头部冲刷深度变化幅度均明显小于上游, 该区域护滩坝护底余排宽度在设计方案基础上建议适当优减。

4 结论

1) 治理工程无护底条件下潜堤和护滩坝周围冲刷明显, 迫切需要采取护底措施保证建筑物安全, 潜堤头部与已建工程头部间潜堤、潜堤中段(MP 段) 建筑物边缘冲刷较为剧烈, 为设计防护的重点区域。

2) 治理工程设计护底后建筑物局部冲刷深度明显减小, 冲刷范围增大, 冲刷坑坡度明显减小。试验过程未观测到排体被水流掀起、排边出现明显变形扭曲、塌陷、悬挂等现象, 故设计的建筑物护底范围总体较为合理。建议对潜堤前段左侧、潜堤 MP 段左侧等局部区域护底范围进行调整优化, 以实现更好的防护效果。

3) 设计护底条件下局部冲刷坑深度均小于 5.3 m, 为局部冲刷、一般冲刷和自然冲刷三者之

和, 分析试验成果与河段已建工程实际冲刷值基本吻合, 成果合理。但护底排边缘冲刷同工程所处位置的动力特性、工程对水流的影响程度、护底排的压载体高度、河床的物质组成以及河床的自然演变有关, 在成果应用时须注意。

参考文献:

- [1] 曹民雄, 李青云, 蔡国正, 等. 长江口岸直水道鳊鱼沙心滩头部守护工程局部冲刷水槽概化试验研究——II: 局部冲刷试验研究[J]. 水运工程, 2011(8): 73-79.
- [2] 余新民. 长江下游双洞沙守护工程局部冲刷水槽试验研究[J]. 水道港口, 2014(3): 223-226.
- [3] 李旺生. 长江中下游航道整治技术问题的几点思考[J]. 水道港口, 2007, 28(6): 418-424.
- [4] 陈长英, 张幸农, 谢瑞, 等. 长江下游口岸直水道鳊鱼沙浅滩深水航道整治方案初探[J]. 水运工程, 2013(9): 2-5.
- [5] 陈长英, 张幸农, 赵凯, 等. 长江日岸直水道鳊鱼沙浅滩成因分析[J]. 水利水运工程学报, 2010(3): 85-89.
- [6] 徐元, 滩伦武, 黄建和, 等. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程工程可行性研究报告[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2014.
- [7] 王建军. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程口岸直水道航道整治工程二维潮流泥沙数值模拟研究报告[R]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究所, 2014.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中国交建 2016 年度十大新闻

1. 中国交建 4 个项目获得国家科技大奖。
2. 振华重工获中国质量奖。
3. 港珠澳大桥建设加快推进。
4. 中国交建入选国有资本投资公司试点。
5. 中国交建位居国资委考核第 4 位。
6. 刘起涛参加中央“一带一路”建设工作座谈会及全国国企党建工作会。
7. 中国交建连续 10 年位列中国最大国际承包商榜首。
8. 国资委党委调整公司主要领导职务。
9. 习近平见证公司国外项目落地。
10. 李克强见证公司联合体签署匈塞铁路合同。