

长江口河段柔性护滩结构周边河床冲刷形态分析

贾 晓¹, 胡志锋¹, 吴华林¹, 周发林², 唐晓峰²

(1. 上海河口海岸科学研究中心, 上海 201201; 2. 交通运输部长江口航道管理局, 上海 200003)

摘要:近年来软体排型式的柔性护滩结构在长江中下游水利工程及航道整治工程中得到广泛应用. 此类工程实施后, 其外缘通常会产生不同形态的冲刷坑. 为研究总结分析此类问题, 以长江口深水航道治理工程及其上延工程中的固定断面监测资料为基础, 对长江中下游及河口地区软体排及其相关配套工程实施后, 软体排外缘的实际冲刷情况进行了梳理. 尝试根据引起局部冲刷的动力原因, 将冲刷坑形态分为沿软体排冲刷槽、绕流冲刷坑和跌流冲刷坑, 并具体分析了不同形态冲刷坑的特征及演变过程.

关 键 词: 柔性护滩; 软体排; 冲刷坑; 冲刷形态; 河床变形

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2013)02-0052-06

在早期护滩及航道整治工程中, 工程周边的局部冲刷现象十分严重, 局部冲刷既危害工程, 又将进一步降低工程的整治效果. 根据文献统计, 超过一半的涉水工程损毁是由局部冲刷引起的^[1]. 近年来, 在长江中下游及河口的航道整治工程中, 作为护滩结构或者其他工程的辅助结构, 软体排护滩(护底)技术得以广泛应用^[2-5]. 软体排作为新兴护滩(护底)结构型式, 具有结构耐久性好、贴覆性好、整体性好、施工便捷等一系列优点. 目前, 较为常见的软体排主要有混凝土联锁块软体排、混凝土铰链沉排、砂肋排等. 然而由于工程现场的复杂性, 软体排周边河床演变过程较难分析. 现有的研究手段主要有现场监测、数学模型和局部物理模型试验. 3种方法各有侧重, 现场监测即采用走航观测特定断面或者采用多波数地形仪监测局部地形变化, 最能反应实际情况, 但投入大, 且由于水文条件的复杂性, 仍较难把握特定因素对冲刷坑的影响^[6-7]; 数学模型受限于不能够模拟软体排的护滩效果及其结构问题, 故一般仅用于计算工程附近的水流结构改变, 进而概算冲刷坑范围^[8], 目前仅极少数学者尝试采用三维数学模型模拟冲刷坑的发展^[9]; 局部概化物理模型是常见、也是最为工程设计人员所接受的研究手段, 主要有系列模型试验方法^[10-11]及局部正态模型试验^[12]两种. 但物理模型试验往往服务于设计需要, 试验中经常采用极端水力条件得到极限冲刷坑, 这并不完全代表软体排外缘冲刷坑的自然演变情况, 且两种试验方法均存在一定的系统误差和比尺效应.

笔者积累了长江口河段部分软体排相关工程实施后的地形监测资料, 尝试以软体排外缘局部冲刷产生的机理为切入点, 分析软体排工程实施后周边河床的冲刷形态及冲刷演变特点. 一般情况下, 由于软体排与滩体存在软硬边界的差异, 或者由于其他主体工程(诸如丁坝、鱼骨坝)引起的流场改变, 会形成3种不同的冲刷坑: 护滩软体排外缘的冲刷槽; 绕流引起的头部冲刷坑, 以及跌流引起的冲刷坑. 本文重点分析不同原因造成的冲刷坑的几何形态及演变特点, 因受限于篇幅, 对由此而产生的特定水文、地质情况及工程工况条件仅做概述, 所有数据均来自于相关工程科研报告和实测资料. 本文旨在通过资料的积累与分析, 为后续针对该问题的研究奠定基础.

收稿日期: 2012-09-20

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(50939003); 国家重点基础研究发展计划项目(973计划, 2010CB429002)

作者简介: 贾 晓(1984-), 男, 山东莱阳人, 助理研究员, 硕士, 主要从事港口、航道工程研究.

E-mail: jiaxiaol984@sina.com

1 护滩软体排外缘的冲刷槽

在长江中下游及河口段河道中,部分工程仅采用软体排作为护滩工程的主体工程.采用软体排护滩是一种相对被动的护滩方式,不通过调整工程周围的流场来增强对滩体的守护效果.这种工程措施常应用于汉道分流、航道水深条件较好且滩体高程较高的分汊河段.长江口南北港分流口、青草沙水库西南侧的新浏河沙护滩工程,采用了混凝土联锁块软体排护滩(滩体外缘仅有压载低坝).新浏河沙护滩配合南沙头通道限流工程同步实施,在护滩的同时限制支汊发展.工程位置及周边河势见图1.

新浏河沙护滩工程所处河段为典型的潮汐河段,涨落潮流均较强,洪季大潮落潮时宝山南水道垂线平均流速接近2 m/s.河床底质为较典型的细沙,中值粒径为0.08~0.13 mm.自2007年底施工以来,软体排外缘冲刷极为剧烈,局部冲刷坑深达10 m以上.其后在2009年4月,由于局部冲刷幅度过大,加宽了软体排的守护范围.冲刷强烈的部位主要分为2个区域:北侧(A区域)受水流顶冲部位的淘刷区域及南侧(B区域)顺水流方向的冲蚀区域.局部冲淤见图2.

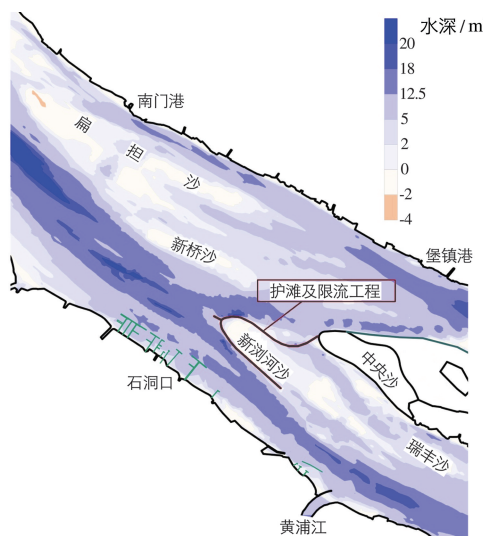
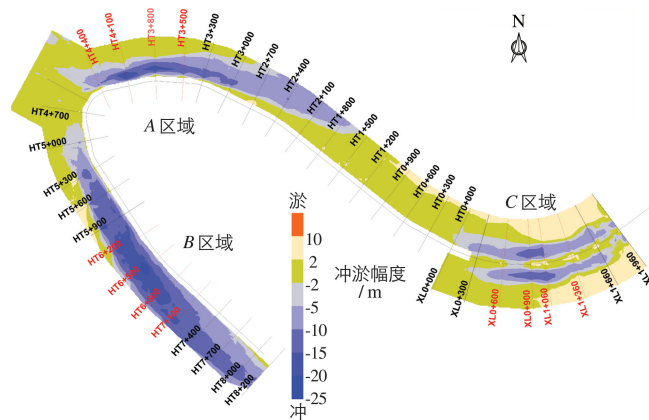
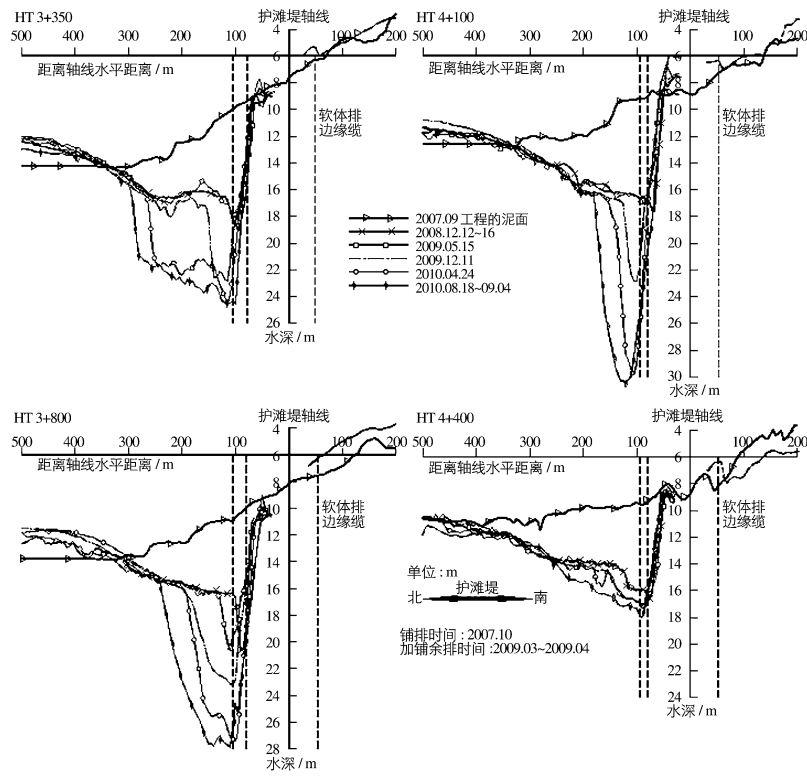


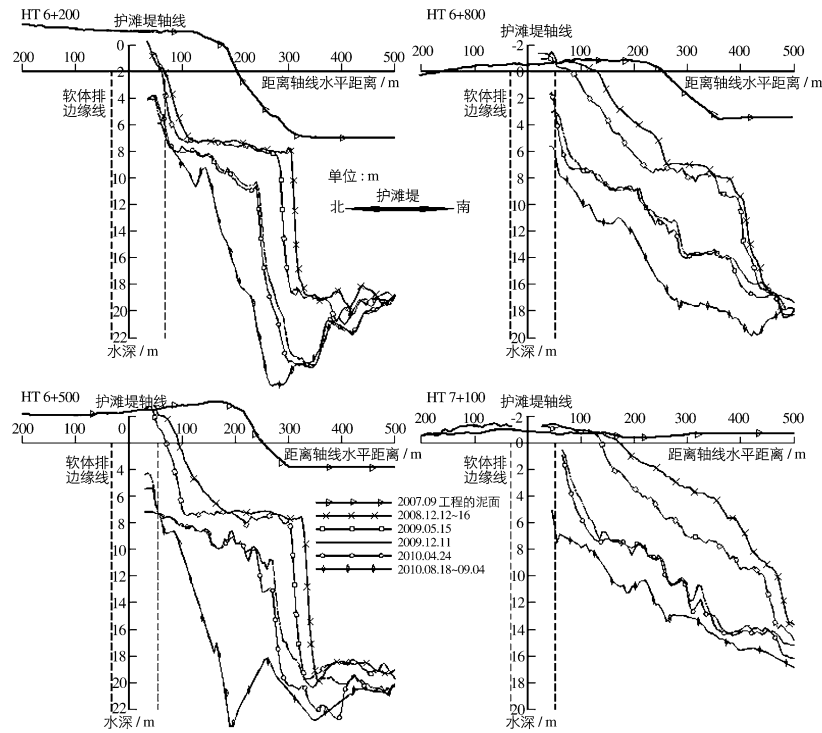
图1 新浏河沙周边河势图

Fig. 1 Local river regime around Xinliuhe shoal





(a) 北侧外缘典型断面



(b) 南侧外缘典型断面

图 3 新浏河沙护滩工程南北侧外缘典型断面发展过程

Fig. 3 Developing process of the typical sections along the north and south sides of Xinliuhe shoal protection works

2 绕流引起的冲刷坑

除作为主体工程措施应用于护滩工程之外,软体排通常配合一些“主动性”的工程措施,如丁坝、鱼骨坝等,形成护滩带(护底带).此类工程最大的优点为既有坝体工程主动调整流场的作用,又有软体排护底,弱化并外移坝头的局部冲刷坑,达到固滩刷槽的工程整治效果.

坝头无软体排护底情况下的局部冲刷问题,已经有较为详细的调查资料及较为完整的研究成果^[14-15].近年来长江口河段实施的涉水工程通常配合较大范围的软体排护底,冲刷坑较浅,且可较快达到平衡状态.以长江口深水航道工程为例,在2001年9月二期工程S4~S6及N4~N6丁坝工程施工完成后,丁坝头部冲刷坑很快达到平衡.

3 跌流引起的冲刷坑

当整治工程与水流夹角较大,且坝体在落急时刻呈淹没状态时,表层水流过坝顶后形成跌水冲向滩体再折回,冲刷坝后滩体,这与溢洪道的跌流形成的冲刷坑极为类似^[16].如果软体排防护范围足够,背水侧软体排外缘水体紊动不强烈,基本不会产生冲刷坑.如果潮位高、流速大,而软体排防护范围又无富余,则水流会直接冲击滩体,在短时间内形成陡深的冲刷坑,这种现象通常发生在潜堤背水侧(若位于潮流界,可能两侧都有).以新浏河沙与中央沙之间的南沙头限流潜堤工程为例(图2中C区域),典型断面见图4.

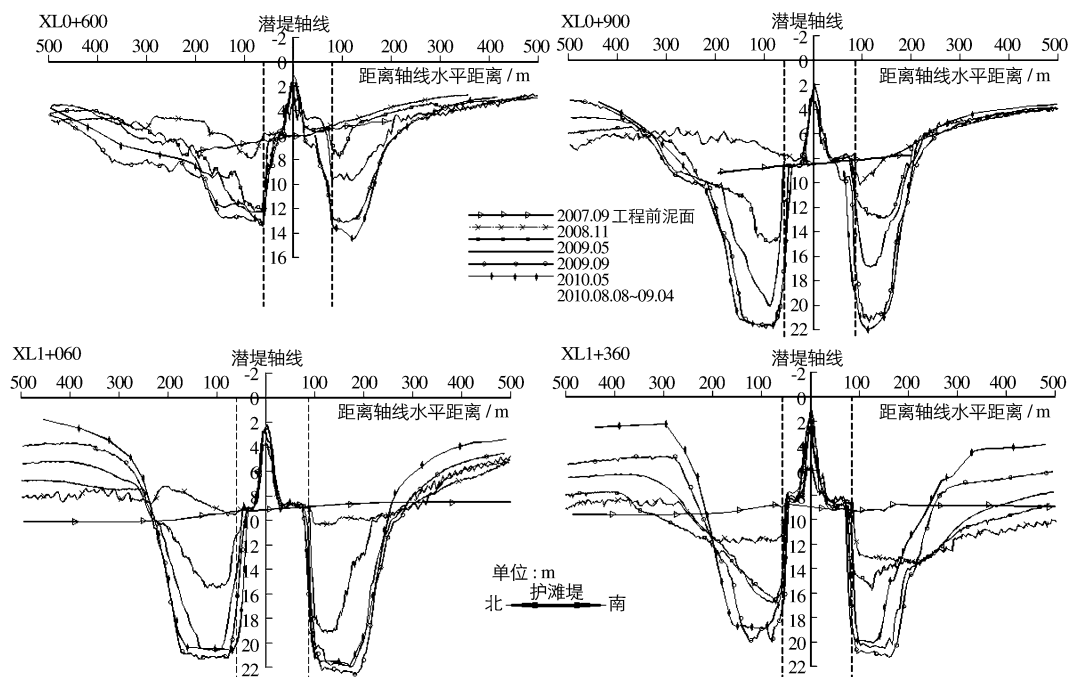


图4 南沙头限流潜堤典型断面发展过程

Fig.4 Developing process of the typical sections of the Nanshatou submerged embankment

该处限流潜堤经历了3个阶段,自2007年7月软体排实施后至2008年底,工程轴线处仅有压载低坝,坝高不足2 m,此时限流潜堤上下仅呈现轻微冲刷或淤积(幅度不超过3 m);自2009年2月,坝高加至-2 m高程处(坝高约4~5 m),此后软体排外缘冲刷坑发展迅速,至2009年5月XL1+060处的冲刷幅度达7 m;其后经过6~8个月的时间,由跌流引起的深陡的冲刷坑发育至平衡形态(此与因沉降等因素导致的坝体高程降低亦有一定关系).

在实际工程中,某些工程(尤其是分流鱼嘴坝或者护滩突堤)经常与主流存在一定夹角,此时绕流和跌

流均对冲刷坑的发展产生影响. 尤其长江口外存在旋转潮, 长江口部分分流鱼嘴坝南北侧涨落潮时刻并不一致, 导致鱼嘴坝上越堤流和绕流同时存在. 长江口南北槽分流鱼嘴坝坝头的冲刷坑, 即是由落潮流的绕流和跌流综合作用的结果, 多波束测量的局部地形图见图 5.

4 结 语

以现场监测资料为基础, 冲刷坑产生原因为切入点, 分析了实施柔性护滩结构后, 其边缘的 3 种冲刷坑形态及其发展过程. 主要通过实测资料的积累为后续针对该问题的研究奠定初步基础, 对冲刷坑具体形态参数及冲刷发育机理, 本文未能展开详细论述, 有待于今后试验资料及实测资料更详细时再作深入研究.

参 考 文 献:

- [1] ANNANDALE W. Scour technology: mechanics and engineering practice[M]. New York: McGraw-Hill Companies, 2006.
- [2] 张景明. 长江口深水航道治理工程护底软体排结构设计[J]. 水运工程, 2006(增刊 1): 20-23. (ZHANG Jing-ming. Structural design of soft mattress in Yangtze Estuary deepwater channel regulation project[J]. Port & Waterway Engineering, 2006(Suppl 1): 20-23. (in Chinese))
- [3] 曹棉. 软体排在长江航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2004(9): 70-73. (CAO Mian. Application of flexible mattress in waterway regulation engineering of the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2004(9): 70-73. (in Chinese))
- [4] 程玉来, 赵龙根, 楼启为. 土工织物软体排在长江口深水航道治理工程一期北导堤工程中的应用[J]. 水运工程, 2000(12): 53-58. (CHENG Yu-lai, ZHAO Long-gen, LOU Qi-wei. Application of geotextile soft mattress in the north leading dike engineering of the Yangtze Estuary deepwater channel regulation phase I project[J]. Port & Waterway Engineering, 2000(12): 53-58. (in Chinese))
- [5] 李文全, 雷家利, 王伟峰, 等. 长江中下游航道整治软体排护滩带结构优化设计[J]. 水运工程, 2012(1): 88-92. (LI Wen-quan, LEI Jia-li, WANG Wei-feng, et al. Structural optimization of flexible mattress beach protection belts used in waterway regulation in the middle and lower reach of the Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(1): 88-92. (in Chinese))
- [6] DEPONTE S, MONTI R. Flow field around a circular obstacle emerging from an erosion scour hole[EB/OL]. <http://www.amazon.cn/Levy-Flights-and-Related-Topics-in-Physics-Proceedings-of-the-International-Workshop-Held-at-Nice-France-27-30-June-1994/dp/3540592229>.
- [7] HILL D F, YOUNKIN B D. PIV measurements of flow in and around scour holes[J]. Experiments in Fluids, 2006, 41(2): 295-307.
- [8] 刘怀汉, 曹民雄, 潘美元, 等. 鱼骨坝工程水流结构与水毁机理研究[J]. 水运工程, 2011(1): 192-197. (LIU Huai-han, CAO Min-xiong, PAN Mei-yuan, et al. On flow structure and flood damage of fish-bone type dividing dike[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(1): 192-197. (in Chinese))
- [9] 张新周, 窦希萍, 王向明, 等. 感潮河段丁坝局部冲刷三维数值模拟[J]. 水科学进展, 2012(2): 222-228. (ZHANG Xin-zhou, DOU Xi-ping, WANG Xiang-ming, et al. 3D numerical modeling of local scour processes around spur dikes in tidal rivers[J]. Advances in Water Science, 2012(2): 222-228. (in Chinese))
- [10] 郑英. 东流水道冲刷坑系列正态模型研究[J]. 科学技术与工程, 2010(7): 1802-1803. (ZHENG Ying. The research of Dongliu waterway series normality model scour hole[J]. Science Technology and Engineering, 2010(7): 1802-1803. (in Chinese))

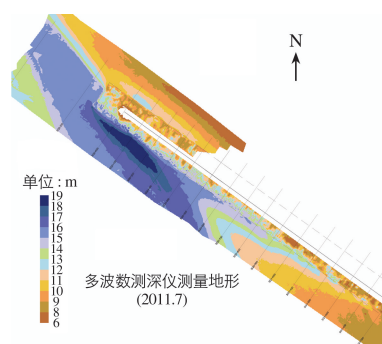


图 5 南北槽分流鱼嘴潜堤头部局部地形

Fig. 5 Local bathymetry map around diversion dam between the south passage and the north passage of Yangtze estuary

- [11] 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. (CAO Min-xiong, LI Qing-yun, CAI Guo-zheng, et al. On local scour deformation flume generalized experiment of Manyusha shoal head protection engineering in straight reach of Yangtze estuary: II. On local scour[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(8): 73-79. (in Chinese))
- [12] 贾晓,伍文俊,吴华林,等. 长江中下游洲滩守护工程概化模型试验研究[J]. 水运工程, 2012(2): 123-127. (JIA Xiao, WU Wen-jun, WU Hua-lin, et al. Experimental research on generalized model of river beach protection engineering in middle and lower Yangtze River[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(2): 123-127. (in Chinese))
- [13] 茅志昌,郭建强. 长江口南支新浏河沙的演变过程[J]. 泥沙研究, 2009(1): 33-38. (MAO Zhi-chang, GUO Jian-qiang. Evolution of Xinliuhe sand shoal in the south branch of the Changjiang Estuary[J]. Journal of Sediment Research, 2009(1): 33-38. (in Chinese))
- [14] 应强,曹民雄,邢素英. 丁坝坝头冲刷坑深度的研究[J]. 南昌水专学报, 1999(1): 17-21. (YING Qiang, CAO Min-xiong, XING Su-ying. A study on the local-scour holes at groin-nose[J]. Journal of Nanchang College of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 1999(1): 17-21. (in Chinese))
- [15] GHODSIAN M, VAGHEFI M. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend[J]. International Journal of Sediment Research, 2009(2): 145-158.
- [16] GHODSIAN M, FARADONBEH A A. Scour hole characteristics below free overfall spillway[J]. International Journal of Sediment Research, 2002(4): 304-313.

Local scour near flexible beach protection project in the Yangtze River estuary

JIA Xiao¹, HU Zhi-feng¹, WU Hua-lin¹, ZHOU Fa-lin², TANG Xiao-feng²

(1. *Estuarine & Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China*; 2. *Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, Shanghai 200003, China*)

Abstract: In the past few years, flexible beach protection materials like soft mattress have been widely used in hydraulic and channel regulation projects in the Yangtze River estuary, and local scour holes are associated with the implementation of this kind of projects. In order to summarize and analyze such problems, the Yangtze River estuary's deepwater channel regulation project and its extension projects are taken as the case studies, and the real morphological shape along with soft mattress projects in the Yangtze River estuary is collected. According to the hydrodynamic causes, the local scour holes are classified as scour hole around soft mattress, scour hole caused by flow around and scour hole caused by drop flow, and the features and evolution processes of different scour holes have been studied in this study.

Key words: flexible beach protection; soft mattress; local scour hole; scour morphology; evolution of river bed