

# 高浊度河口复杂条件下护底软体排检测技术探讨

唐晓峰<sup>1</sup>, 付桂<sup>1</sup>, 李为华<sup>2</sup>

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

**摘要:** 对于受冲刷的河口整治建筑物, 检测其原有软体排余排的变形情况及现有位置, 对确定整治建筑物结构的安全稳定, 乃至确保整治效果有着重要的作用。以长江口新浏河沙护滩浅堤工程护底软体排检测为例, 通过方案设计和现场检验, 得出高浊度河口复杂条件下护底软体排监测技术方案, 为开展后续工作提供了较为准确的依据, 在满足工程需要的同时, 也为解决类似问题提供了借鉴。

**关键词:** 护底软体排; 人工检测; 扫描声呐

**中图分类号:** U 617

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1002-4972(2013)03-0081-05

## Detection technology of flexible mattress for bed protection under complex conditions of high-turbidity estuary

TANG Xiao-feng<sup>1</sup>, FU Gui<sup>1</sup>, LI Wei-hua<sup>2</sup>

(1. Yangtze Estuary Waterway Administration Bureau, MOT, Shanghai 200003, China;

2. Shanghai Estuarine and Coastal Science Research Center, Shanghai 201201, China)

**Abstract:** Flexible mattress for bed protection of estuary regulation structure may produce deformation when the river bed nearby regulation structures encounters erosion. It plays an important role to find out the deformation conditions and position of original flexible mattress in safety and stability of regulation structure and the rectification effect of the estuary. Taking the detection of flexible mattress for bed protection in New Liuhesha beach protection project as an example, and through the detection scheme design and field inspection, we obtain the comprehensive detection technology of flexible mattress for bed protection under complex condition of high turbidity estuary. It provides a basis for the follow-up work. It not only meets the engineering need but also provides reference for similar work in the future.

**Key words:** flexible mattress for bed protection; manual detection; scanning sonar

高浊度河口整治建筑物(导堤或丁坝)无论采用何种堤身结构,均须先行铺设软体排护底结构。其功能主要是保护结构范围内的底质不被水流冲蚀,起到隔砂、反滤的作用,还可以有效地改善堤身的不均匀沉降和减小堤身沉降<sup>[1]</sup>。由于其对底床变形有一定的适应性、兼具不影响行洪、造价低廉等诸多优点,已广泛应用于航道整治工程及部分防洪水利工程中<sup>[2]</sup>。由于软体排铺设部位多为强水动力区域,后期往往存在一定的水毁

受损问题,如在排体上边缘、头部以及下游一侧易出现程度不一的冲刷坍塌、排布撕裂、排布暴露在外甚至排布悬空等现象,此外受施工工艺影响,排体中部亦存在局部坍塌或隆起进而导致排体受损的问题<sup>[3-4]</sup>。发生水毁受损现象后排体的护底效果即大打折扣,因此在工程施工结束后通常需要进行定期监测,以对监测到的受损部位进行补充防护。但在高浊度河口内因水体能见度低、铺排深度大、水流流速强、潮汐水位变动幅度大

收稿日期: 2012-07-30

作者简介: 唐晓峰(1977—),男,工程师,从事航道工程管理工作。

以及波浪等诸多因素影响,加之受制于水下成像技术的发展水平,高浊度河口复杂条件下的护底软体排护底结构监测难度较大,较为成熟可靠的监测技术方案尚未见诸报导。

长江口新浏河沙护滩潜堤工程于2007—2009年实施。为保障工程整治建筑物基础的稳定性,该工程的整治建筑物根部铺设护底软体排。工程完工后,由于受下扁担沙和新桥沙沙尾的持续淤涨南压影响,整治建筑物局部软体排(混凝土连锁块软体排)外侧冲刷持续发展,冲刷幅度最大超过20 m(最深处水深超过30 m),部分软体排已发生变形,对整治建筑物基础安全造成一定威胁,已引起相关管理机构的重视,并对其监测技术和防护措施开展了系列探索性研究,取得了一些较为成功的经验和科技成果。本文拟以该工程具体探索经验为例,就当前技术条件下较佳的高浊度河口复杂条件下护底软体排监测技术方案展开探讨,以期今后类似条件下的工程实践提供借鉴。

## 1 护底软体排检测方法

### 1.1 人工检测方法

人工检测方法主要包括目视检测、人工潜水探摸和人工水下摄影。

目视检测方法是指由人工在岸边低水位时通过目视查看,适用于水深浅、低浑浊度工况,且纵向监测距离较短,对于高水体浊度、大水深或宽纵向距离情况并不适用。

人工潜水探摸方法是指由有经验的潜水员潜至水底后,通过人工探摸来了解护底软体排的具体情况。受潜水员体力、潮汐以及波浪等因素影响,潜水探摸适合于了解局部少数护底软体排情况,要摸清较大范围区段(如1 km宽度)软体排边缘的位置,耗时极长,且当潜水水深大于24 m时需配备现场减压舱,成本较高。

人工水下摄影方法是一种采用防水摄影器材进行船基水下摄影直观监测软体排情况的方法,该方法可真实地反映水下景象,能真实记录水下软体铺设位置。但其对水体浊度以及操作人员的

技能有较高要求。该方法在高浊度河口内(一般透明度不超过0.3 m)并不适用。

### 1.2 声学非接触式检测方法

随着声学测量学科水平的不断发展,可用于护底软体排监测的声学非接触式检测仪器日趋成熟且呈多样化发展。如回声测深仪、多波束测深系统和扫描声纳等。

回声测深仪和多波束测深系统是常见的水下地形勘察技术手段<sup>[5-7]</sup>。由于软体排厚度仅20 cm,受测量误差影响,该技术手段尚不具备准确获得软体排边线具体位置的精度,但借助于该手段实施大范围地形摸底勘测,可以对冲刷幅度较大、地形较为陡峭的可能发生软体排水毁问题的重点区段进行预判,从而有针对性的开展后续监测工作。

扫描声纳是一类可以实现水下非可视高精度成像的重要技术手段<sup>[5-9]</sup>,一些高性能的声呐识别精度可以达到毫米级别,尤为适合护底软体排检测的需要。如目前较为常用的旁侧扫描声纳,尽管其识别精度较低,但由于软体排上的混凝土连锁块为方形且布满整张软体排,与河底淤泥明显不同,仍然可以从旁扫声纳的声像图上分辨出软体排和淤泥界限;而挪威Kongshberg公司生产的精度更高的MS1000型侧视扫描声纳工作原理则与旁侧扫描声纳略有不同,其换能器以 $0.9^\circ \times 30^\circ$ 波束角度发射声脉冲,回波信号被声呐接收后,根据信号时延和强度形成图像,然后声呐探头以一定角度步进旋转,再次重复发射和接收过程,最后旋转 $360^\circ$ 形成一幅完整的海底图像,相对旁侧扫描声纳其成像精度更高且基本不存在中心盲区。

MS1000扫描声呐具有以下优点:经济,操作简单,不受水体浑浊影响,图像清晰,精度较高(分辨率 $\geq 19$  mm),成像距离可调节(0.5~100 m)。不足之处有:仪器及支架要平稳坐底后,方能提供清晰的图像;受水下地形起伏影响,在使用过程中,如受水流影响,仪器及支架发生晃动,图像会发生扭曲变形;仪器罗盘不能准确定位,如需在较长区段内连续成图,则需增加定位设备,费用较高。

## 2 最优检测方案的确定

单一的检测方法无法准确确定软体排的位置、软体排变形的情况、软体排结合部分是否出现脱轨情况。通过对护底软体排几种检测方法的考察,为确保能较为准确地确定余排边线的位置,最终确定的方案:采用综合手段,即先用RTK定位及多波束测深描绘出水下地形的基本情况;再采用侧扫声呐进行勘测;通过读图描绘出余排的总体基本情况,找出整治结构物冲刷较为严重的区域,在冲刷区选取几个软体排变形严重位置,采用潜水探摸或扫描声呐MS1000的方法确定余排边线位置,并同时侧扫成果进行验证并修正。最后得出护底软体排检测的适用方法。

## 3 最优监测方案的现场检验

综合利用单波或多波束测深系统、侧扫声呐、潜水探摸或扫描声呐MS1000组合测量,从而实现单一手段探测数据的互为印证和补充,可以大大提供了测验成果的可靠性。上节提出的最优检测方案在应用于长江口新浏河沙护滩潜堤工程的护底软体排变形及位置检测试验后取得了极佳的效果。

### 3.1 大范围地形摸底测量

#### 1) 测线布置。

在里程桩号HT3+000~HT4+400之间,垂直于整治建筑物轴线外侧均匀布置测线,测线间距10 m,测线长度200 m,测线总长31.6 km,测量比例1:500(图1)。

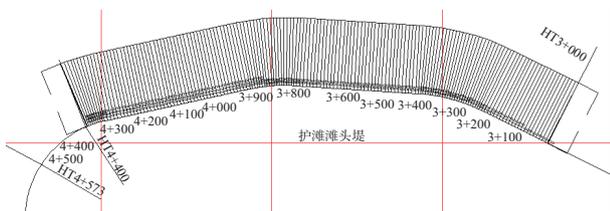


图1 测线布置

#### 2) 测量结果。

利用本次水深测量数据绘制三维晕眩图,由图2可以看出,滩面外侧存在冲刷沟,冲刷沟连续分布于桩号HT3+000~HT4+400,冲刷沟两侧滩面高差明显,内侧高于外侧呈陡坡状。通过比选,

本次试验对象选择冲刷较为严重的HT3+000、HT3+100、HT3+500、HT4+000等4个桩号部位。

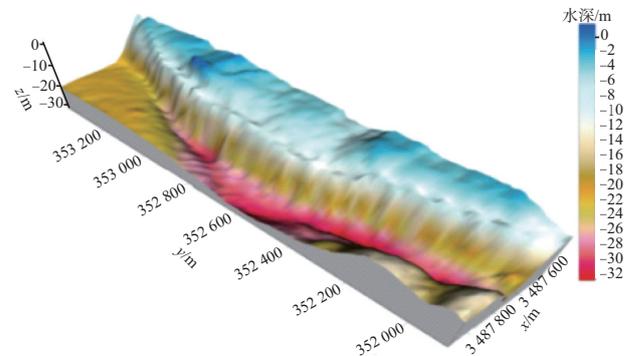


图2 三维俯视图

### 3.2 旁侧扫描声呐检测

#### 1) 测量设备及输出系统。

在测量过程中定位采用美国CSI公司MAX信标仪,接收机天线直接置于侧扫声呐换能器上方,采集天空中卫星数据,同时对卫星数、高度截止角、图形因子(HDOP)、定位模式等进行监控,接收主机数据输出,直接通过串口输入计算机NewSur水深测量系统软件中。

侧扫系统采用丹麦MARIMATECH产SCAN800侧扫声呐。测量过程中,拖鱼采用侧悬挂方式安装在船体中部左舷,由不锈钢管向水面伸展,距船体1.5 m,拖鱼入水深度2 m左右。测量时采用高频扫测,频率为325 kHz,单边扫测宽度为75 m。在航行时,尽量控制船速,约1~2 kn,避免换能器在水下摆动,减少水流对换能器的影响。测量过程中,随时监控拖鱼离地面高度,根据实际情况调整拖鱼入水深度。测量结束后马上对侧扫数据进行回放,对于数据不完整区域马上进行补测。

#### 2) 成果判读。

侧扫的主要成果是声像图,其判读依据是图像的形状、色调、大小、阴影和相关体等。形状是指各类图形的外貌轮廓;色调是指衬度和图像深浅的灰度;大小是指各类图像在声图上的集合形状大小;阴影是指声波被遮挡的区域;相关体是指伴随某种图像同时出现的不定形状的图像。

鉴于本次使用的是轻型侧扫声呐,拖鱼较小较轻,航行状态下无法下放到很深的位置(离海

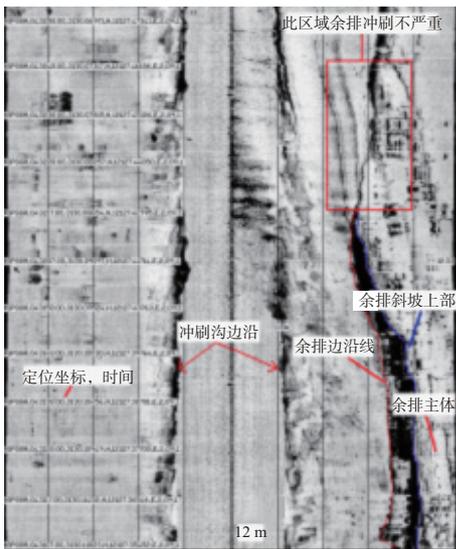
底更近)，并且整治建筑物边缘的不平衡流会影响拖鱼在水中运行的稳定性导致图像变形，这些都会影响扫测效果，需要采取措施加以修正。

3) 典型成果。

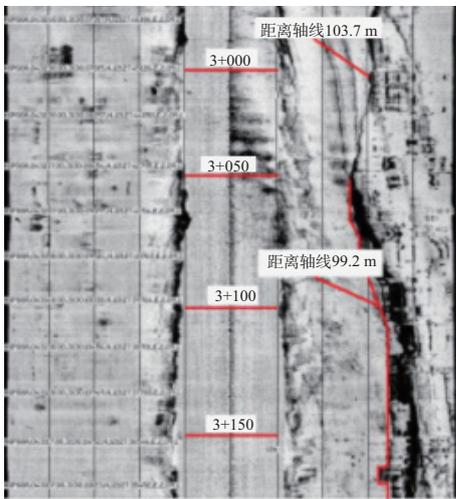
典型成果如图3和4所示，通过成果判读，具体的结果如表1所示。通过对水深测量和侧扫结果的分析表明：在HT3+000和HT3+100断面，侧扫结果余排边距轴线分别为103.7 m和99.2 m。经与竣工图比较，该区段余排边缘水深较完工时加深了2.7~14.6 m，余排边缘位置较完工时向堤轴线方向缩进了3.4~23.8 m。

表1 侧扫结果

里程桩号	HT3+000	HT3+100	HT3+500	HT4+000
余排边距轴线/m	103.7	99.2	100.6	82.3

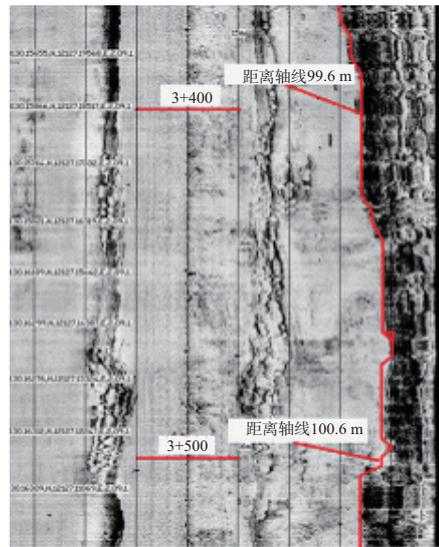


a)

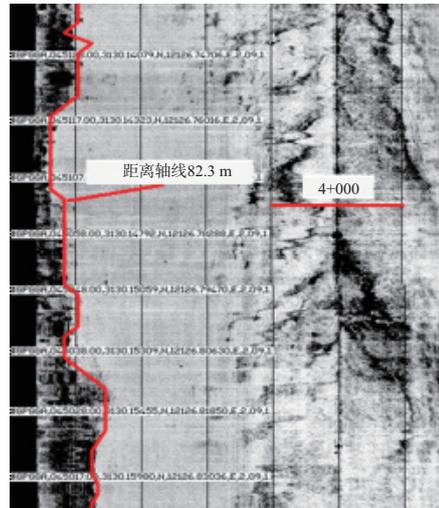


b)

图3 侧扫声呐典型成果图 ( HT3+000~HT3+150 )<sup>[10]</sup>



a)



b)

图4 侧扫声呐典型成果图 ( HT3+500~HT4+000 )<sup>[10]</sup>

3.3 人工潜水探摸检测

选择在水深较浅 ( 20 m左右 ) 的区段，在平潮时派潜水员下水进行探摸检查。

船舶先用GPS定位，潜水员在距整治建筑物轴线60 m附近处下水，背向轴线方向探摸前行，直至摸到排尾 ( 再向外已摸到淤泥 )。期间，潜水员与船上人员保持通讯联系，每隔一段时间栓一个浮子，并在软体排余排与泥面交接处栓一个浮子，待潜水员出水后，在浮子处采用GPS定位。探摸结果如表2所示。

表2 探摸结果

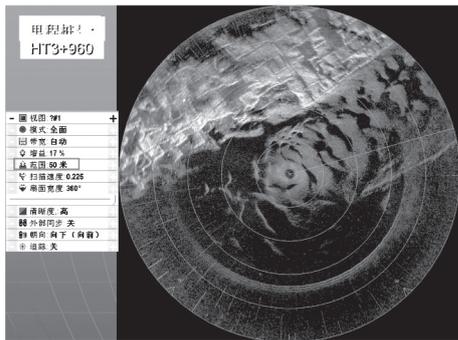
里程桩号	HT2+970	HT3+000	HT3+030	HT4+000
余排边距轴线/m	107	109	111	104

### 3.4 MS1000型扫描声呐检测

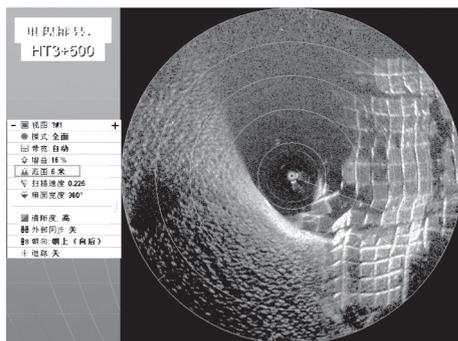
选择了2个断面, 在白天平潮期间进行试验。首先将MS1000声呐与电脑相连, 并将船舶在余排外约20 m左右处定位后, 将声呐平稳地沉入水中, 待平稳坐底后, 声呐开展正常旋转扫描, 即可获取图像, 并在电脑上显示出来。试验结果如图5所示。从图5可以看出, 该扫描声呐的成像精度远高于侧扫声呐; 扫描范围在50 m时, 混凝土联锁块块体基本可见; 扫描范围在5 m时, 混凝土联锁块块体清晰可见。通过船上GPS定位及读图, 具体结果如表3所示。

表3 扫描声呐探测结果

里程桩号	HT3+500	HT3+960	HT4+000
余排边距轴线/m	109	87	90



a) HT3+960



b) HT3+500

图5 MS1000扫描声呐检测图

### 3.5 检测结果综合对比

对HT3+000、HT3+100、HT3+500、HT4+000共4个桩号, 先分别进行侧扫声呐扫描的方法确定余排边线位置, 再采用潜水探摸和扫描声呐检测余排位置, 形成的对比结果见表4。在HT3+000、HT3+100桩号, 侧扫声呐探查较人工水下探摸

的检测距离偏小为4.8~5.3 m; 在HT3+500、HT4+000两个桩号, 侧扫声呐探查较MS1000扫描声呐的检测距离偏小为6.7~8.4 m。

通过对比可以看出, 三者检测结果差别不大。旁扫声呐检测方法具有以下优点: 不需要检测人员下水, 在浑浊水时也能够进行检测; 能够准确检测到软体排堆积的位置和规模, 定点误差小于10 m。旁扫声呐得出的原混凝土联锁块余排边界的范围, 结合局部区段MS1000或人工探摸结果的修正, 基本能满足工程需要, 可供设计人员使用。

表4 不同检测方法所得结果对比

里程桩号	余排边距轴线/m	
HT3+000	103.7	109
HT3+100	99.2	104
HT3+500	100.6	109
HT4+000	82.3	90

## 4 结语

在高浊度河口内因水体能见度低、铺排深度大、水流流速强、潮汐水位变动幅度大以及波浪等诸多因素影响, 加之受制于水下成像技术的发展水平, 高浊度河口复杂条件下的护底软体排护底结构监测难度较大。本文以长江口新浏河沙护滩浅堤工程护底软体排检测为例, 通过方案设计和现场检验, 得出了高浊度河口复杂条件下护底软体排监测技术方案, 为开展后续工作提供了较为准确的依据, 在解决了工程需要的同时, 也为解决今后类似问题提供了借鉴。具体方案如下:

- 1) 在先采用RTK定位及多波束无验潮水深测量了解测区的地形情况;
- 2) 再采用侧扫勘测相进行勘测;
- 3) 对2种实测资料成果进行综合比较, 得出原余排边界的总体情况;
- 4) 为确保结论的可靠, 对重点冲刷区段, 采用潜水探摸和扫描声呐的方法确定余排边线位置, 并同时侧扫成果进行验证及修正;
- 5) 综合比较后, 得出原混凝土联锁块余排边界的范围, 供设计人员使用。

(下转第108页)