



水下软体排铺设质量检测技术对比

张才俊¹, 郭素明², 李少俊¹

(1. 上海交通建设总承包有限公司, 上海 200136; 2. 中交上海航道局有限公司, 上海 200002)

摘要: 为解决潮汐河段涨落潮水位变化大、水流动力条件复杂、水下护底软体排铺设质量检测难的问题, 在长江南京以下 12.5 m 深水航道一期工程白茆沙整治工程中, 制定并实施了由浮标倒垂法、水下探摸、旁扫声纳、超短基线等多种水下护底软体排检测技术组成的检测方案, 控制软体排整体铺设质量, 满足了工程需要。

关键词: 水下软体排; 质量检测; 水下探摸; 旁扫声纳; 超短基线

中图分类号: U 612.26

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0010-05

Comparison of underwater soft mattress installing quality inspection technologies

ZHANG Cai-jun¹, GUO Su-ming², LI Shao-jun¹

(1. Shanghai Communications Construction Contracting Co., Ltd., Shanghai 200136, China;

2. CCCC Shanghai Dredging Co., Ltd., Shanghai 200002, China)

Abstract: During the Baimaosha regulatory engineering in phase I of the 12.5 m deepwater channel of the Yangtze River below Nanjing city, solutions are found to counter the operation difficulties of big stage difference between the ebb tide and flood tide, complex dynamic flow conditions and great inspection difficulty for the underwater soft mattress installing quality. Implementing the inspection program including buoy's down-hanging, underwater detection, side scan sonar and ultra-short baseline methods, we can control the soft mattress installing quality and meet the project needs.

Keywords: underwater soft mattress; quality inspection; underwater detection; side scan sonar; ultra-short baseline

长江南京以下 12.5 m 深水航道建设一期工程太仓至南通河段, 主要为护底、抛石施工, 其中白茆沙 I 标段护底工程工期短、施工强度大, 工程量约 344 万 m², 需要铺设 500 张软体排, 每张排面积为 5 000 ~ 10 000 m², 最大铺设长度 470 m^[1]。软体排铺设平整度、铺设位置及相邻排体搭接宽度是施工顺利推进的关键因素。白茆沙 I 标段, 受潮汐影响, 涨落潮水位变化较大, 水流动力条件复杂, 呈现多滩多槽格局, 地形冲淤变化敏感, 施工区域白茆沙为水下暗沙, 沙体受北向的漫滩流冲刷, 分布有多条窄沟, 为典型的感潮河段

区域。为确保排体质量受控, 通过采取浮标倒垂法、水下探摸法、旁扫声纳、超短基线等多种检测手段, 对软体排铺设的边线、砂肋条饱满度、排体间的搭接情况进行检测。现对工程中应用的几种检测技术的优缺点进行对比分析。

传统软体排人工检测方法包括目视检测、人工潜水探摸和水下摄影。其中, 目视检测适用于水深浅的水域, 对水体浊度要求高, 适用范围小; 人工潜水探摸耗时长, 水下作业难度大; 水下摄影成本高, 对水体浊度及操作人员技能要求高^[2]。

收稿日期: 2015-09-07

作者简介: 张才俊 (1985—), 男, 工程师, 从事港口航道与海岸工程管理工作。

1 浮标倒垂法

1.1 工作原理

在排体铺设过程中, 在排体两侧自排头沿排身至排尾按设计和规范要求布设测点浮标(一般间距为20~30 m), 浮标采用直径10 mm丙纶绳与排体相系, 绳长依据实际滩面高程和潮位控制, 一般为水深+高潮时潮高+2 m左右, 排头、排尾及堤身砂肋排等特殊位置需加密设置浮标。待排体铺设完成后, 由测量船(背包式GPS)乘平潮时测量定位浮标坐标(图1), 根据实际测定的坐标确定该排体实际铺设位置, 确认相邻排体搭接宽度是否满足设计及规范要求。

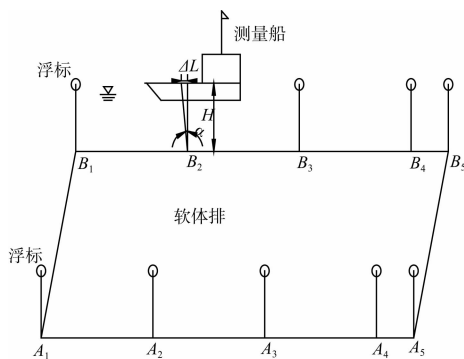


图1 浮标倒垂法现场实施

1.2 设备配备

主要设备包括: RTK-DGPS 1套, 数据处理用的电脑1台。

1.3 优劣分析

1) 优势。

①工艺成熟、操作简便、易于实施; ②通过简单的数据转换, 可以得出排体入水后实际的长、宽及平面位置, 从而测出相邻排体的搭接宽度。

2) 劣势。

①为保证水下软体排成品质量, 测量船在测量过程中禁止抛锚, 测量船定位较困难。②水深超过10 m时, 浮标绳拉直与否对测量数据准确性影响大。如图1中 B_2 点, 水深为 H , 测绳实际位置与理论位置存在夹角 α , 则 B_2 点水平位置测量误差 $\Delta L = H \tan \alpha$ 。当 $H \geq 10$ m, $\alpha \geq 5^\circ$, $\Delta L \geq 0.87$ m

时, 测量误差较大, 测量精度不足以准确反映水下排体边线实际位置。③无法判断水下排体是否平整无破损, 混凝土联锁片是否存在堆叠现象。④属于事后控制, 发现问题只能采取补排措施。⑤须候潮作业, 涨落潮时浮标位置不固定, 不易于定位。

2 水下探摸法

2.1 工作原理

潜摸船到达施工区域后, 测量员用GPS背包定位, 确定待检测软体排边线位置。专业潜水员入水探摸, 入水后通过对讲机与船上技术人员沟通, 根据相关要求对指定区域进行探摸。探摸点主要选取软体排两端、相邻排体搭接区域, 探摸检测混凝土联锁片软体排是否平整无堆叠、砂肋条是否饱满无漏沙现象、相邻排体搭接宽度是否满足设计要求。

2.2 设备配备

主要设备: RTK-DGPS 1套, 潜水设备1台。

2.3 优劣分析

1) 优势。

①原理简单、手段直接、操作简便; ②通过潜水员探摸, 可以直观判别排体在水下的质量情况, 准确测出相邻排体搭接宽度; ③可以检测出排体淤砂情况。

2) 劣势。

①水下探摸工作量大, 耗时长, 检测效率低; ②须候潮作业, 涨落潮时, 潜水员水下工作难度大; ③潜水员水下实际工作情况难以判别, 而且检测数据易受潜水员主观判断影响; ④水下作业不确定性因素较多, 存在一定的危险。

3 旁扫声纳法

3.1 工作原理

旁扫声纳 Klein3000(图2)通过发射一系列波束均匀覆盖整个水底区域, 当波束遇到水底目标时波束被反射回拖鱼, 拖鱼根据接收时间计算出目标位置, 并形成旁扫影像图。

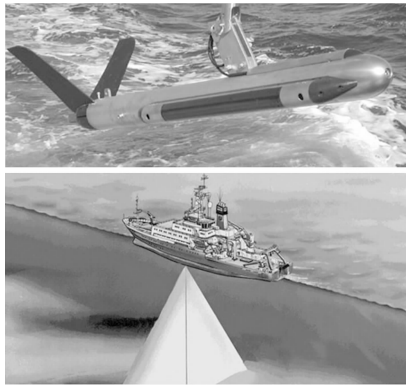


图2 旁扫声纳 Klein3000 探测拖鱼

使用 Trimble SPS852 型 RTK-DGPS 接收南通洪港水厂 435.75 MHz 频率进行平面定位, 使用美国 HYPACK 公司的 HYPACKMAX 专业水道测量软件进行导航, 使用旁扫声纳专用软件 SonarPro 软件进行旁扫数据采集。

在测量前对旁扫声纳整个工作系统进行测试, 并将控制点坐标和接收机测出的坐标进行比对, 定位中误差满足水深测量定位限差要求, 保证整个工作系统正常工作, 同时把 RTK-DGPS 位置输入至旁扫声纳专用软件 SonarPro, 实际工作中对可能影响声纳结果的障碍物 (如施工船舶、锚绳、水下障碍物等) 进行详细记录。

内业处理时, 通过旁扫声纳图像对水底软体排位置进行定位, 获得准确位置, 并可判断排体铺设是否平整。

Klein3000 仪器性能及参数如下。

工作水深: 0 ~ 1 500 m;

扫测范围: 25 ~ 500 m 每通道;

发射脉冲: 声脉冲群设计, 25 ~ 400 μs ;

最大量程: 600 m@100 kHz, 150 m@500 kHz。

3.2 设备配备

主要设备: RTK-DGPS 1 套, 数据处理用的电脑 1 台, 旁扫声纳 Klein3000 设备 1 台。

3.3 工程实例

对已完成的排体进行旁扫声纳水下成像扫测, 图3为头部潜堤 BQ012[#] ~ BQ016[#] 铺排施工区域全覆盖的测扫, 该区段排长 262 ~ 264 m, 排宽 35.5 m, 其中砂肋排长集中在 58 ~ 60 m, 两侧联锁片余排长 102 m。

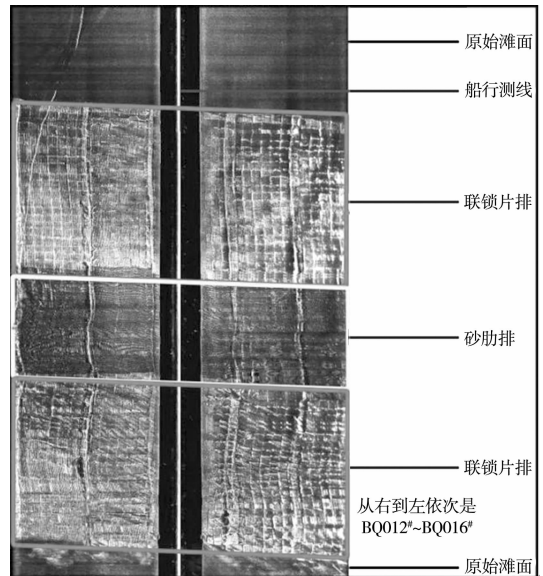


图3 头部潜堤 BQ012[#] ~ BQ016[#] 排体旁扫声纳影像图

中间白线及黑色区域为船行区域及测线, 上下两端为原始滩面, 两端栅格状为联锁块排, 中间黄色方框内为砂肋排, 由于砂肋排厚度较薄, 布体材质反射声波频率和泥面相仿, 旁扫出来的效果与滩面相近, 从右至左依次为 BQ012[#] ~ BQ016[#] 排, 从扫测结果来看 5 张排体铺设平顺, 相邻联锁块排及砂肋排均能搭接上, 排体间无错缝。

3.4 优劣分析

1) 优势。

①旁扫影像图清晰, 满足对软体排检测的要求; ②检测速度快, 效率高, 单次可检测多张排体; ③可以准确地将软体排铺设位置与设计位置位移大小扫测出来, 给现场施工提供指导, 保证施工质量和施工精度; ④系统性价比高, 成本经济, 轻便易于操作和维护。

2) 劣势。

①拖鱼易受水流影响, 水流流速过大时旁扫效果差; ②图像显示易受测量船轨迹影响, 对船舶驾驶技术要求较高; ③属于事后控制, 发现问题只能采取补排措施。

4 超短基线水下排体检测法

4.1 工作原理

超短基线水下排体检测技术是铺排船上的接收机接收来自水下信标发出的信号, 测出各接收

机与水下信标之间的斜距值 R , 通过相应的短基线解算关系获得水下信标相对于接收机的三维位置坐标, 经过一定解算、数据处理后可显示出排体入水后的实际排边线位置, 并实时显示相邻两排体的搭接宽度 (图 4)。

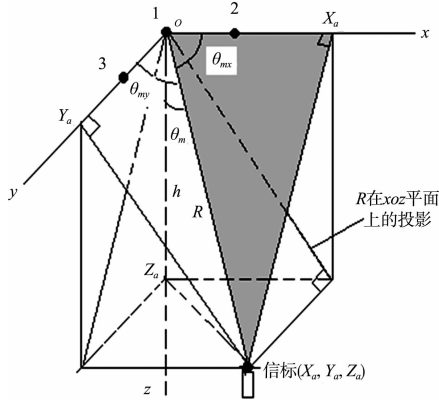


图 4 信标定位解算图

本次方案实施共准备 6 个水下信标, 每 2 个水下信标为 1 组, 每组信标间隔 30 m 左右。

施工前先对超短基线系统进行调试、校核, 并将采集的数据与 RTK 背包式 GPS 测量的数据进行对比, 当数据稳定且误差满足要求时开始排体检测。

排体入水前, 将水下信标绑在排体两侧合适位置, 同软体排一起入水且数据基本稳定后, 采集该组数据。当第 3 组水下信标要入水时, 利用水下释放器释放回收第 1 组水下信标, 将其固定至下一段要铺设的排体上, 依次循环使用。每组信标反馈的数据均可准确定位该段排体边线位置, 为后续铺排时及时调整预留搭接量提供数据指导。同时可结合相邻排体的同点位坐标进行计算, 精确计算出排体间搭接宽度, 以检测是否满足设计要求。

4.2 设备配备

4.2.1 系统的组成

该系统由数据发射系统、数据采集系统及数据处理系统 3 部分组成 (图 5)。数据发射和采集系统里有多个水听器, 按三角形布阵, 水听器之间距离只有几厘米。系统根据声波在水中传播的往返时间及声速来测量数据发射系统到数据采集

系统 (水下信标) 的距离 ($R = vt/2$); 利用安装在数据采集系统探头中的多个水听器接收阵接收水下信标的应答信号的相位差来确定发射接收机相对船艏的方位。

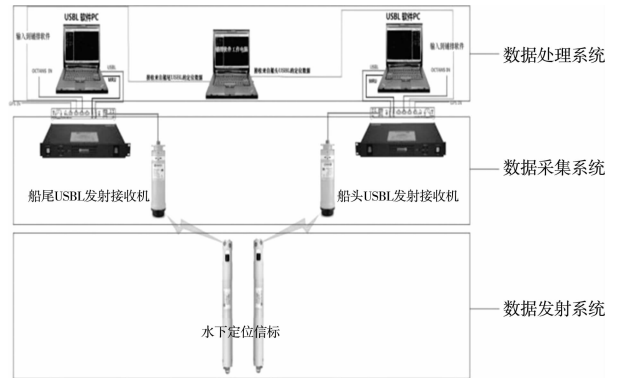


图 5 超短基线系统结构图

正常情况下, 超短基线发射接收机一次可同时接收水下 6 个信标的定位信息, 能满足常规生产施工的需求。在铺排船的船艏、船艉各安装一套发射接收机探头的方式进行施工作业 (图 6)。

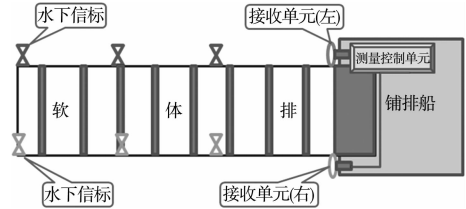


图 6 超短基线铺排施工

4.2.2 系统配套设备

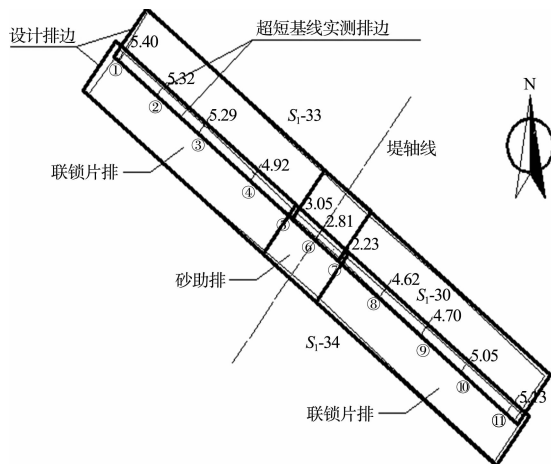
配套设备: 天宝双频 GPS 背包 4 套, 高精度光纤罗经 1 台, 水下信标 6 组。

4.3 工程实例

该技术重点用于长江南京以下 12.5 m 深水航道整治一期工程白茆沙整治建筑物 I 标段头部潜堤、 S_1 丁坝深水急流区域排体铺设质量的抽查检测。现以 S_1 丁坝 33[#]、34[#] 排体铺设检测应用数据说明现场的实施效果。

S_1 丁坝 33[#] 排体规格为 35.5 m × 361.3 m, 砂肋排长 42 m; 34[#] 排体规格为 35.5 m × 371.6 m, 砂肋排长 42 m。排体铺设时相邻排体预留搭接宽度为 8.5 m, 以确保入水后搭接宽度 ≤ 5 m^[3]。

现场数据记录见图 7, 相关数据见表 1。

图7 S₁丁坝33[#]、34[#]排体超短基线检测现场数据记录表1 S₁丁坝33[#]、34[#]排体超短基线测量数据 m

部位	33 [#] 实测排宽度	34 [#] 实测排宽度	实际搭接宽度
混凝土联锁片排	33.7	33.5	6.4
混凝土联锁片排	33.9	34.1	6.3
混凝土联锁片排	33.9	34.0	6.3
混凝土联锁片排	32.7	33.9	5.9
砂肋排	32.3	33.6	6.0
砂肋排	32.2	33.0	5.8
砂肋排	32.1	32.2	5.2
混凝土联锁片排	32.9	32.6	5.6
混凝土联锁片排	33.0	34.4	5.7
混凝土联锁片排	33.1	33.8	6.0
混凝土联锁片排	33.2	33.3	6.2

排体	实测混凝土联锁片排宽平均值	实测砂肋排宽平均值	实测排长	平均搭接宽度
33 [#] 排	33.3	32.2	359.8	
34 [#] 排	33.7	32.9	370.7	均大于
33 [#] 排收缩值	2.2	3.3	0.5	5.0
34 [#] 排收缩值	1.8	2.6	0.9	

注: 1. 超短基线测量系统比对误差均小于0.16 m, 精度满足要求。

2. 30[#]排第1组信标距排头2.5 m, 最后1组信标距排尾2.5 m;

31[#]排第1组信标距排头2.5 m, 最后1组信标距排尾2.5 m。

3. 信标系法: 联锁片排内偏排边约50 cm, 系绳长约20 cm; 砂肋处信标系法: 内偏1.5 m, 系绳长约50 cm。

4. 施测时间为2013-04-11—2013-04-13。

5. 33[#]排理论尺寸: 宽35.5 m, 长361.3 m; 34[#]排理论尺寸: 宽35.5 m, 长371.6 m。

6. 通过计算, 联锁片排最小搭接宽度为5.6 m, 砂肋排最小搭接宽度为5.2 m, 均大于设计要求5.0 m。

从表1检测数据可知:

1) S₁丁坝33[#]、34[#]排铺设时, 排体入水后, 砂肋排平均收缩量为2.6~3.3 m, 最大3.4 m; 混凝土联锁片排平均收缩量约为1.8~2.2 m, 最大2.9 m。

2) 由图7及表1数据可知, 相邻排体搭接宽度均大于5 m, 最小搭接宽度为5.2 m, 满足设计及规范要求。

3) 测量精度基本可以满足排体检测要求, 可以指导软体排铺设施工。

4.4 优劣分析

1) 优势。

①属于事中控制, 施工过程中可实时、准确显示水下排体位置, 精确计算搭接量; ②可根据计算结果实时动态调整铺排预留搭接量, 有效减少不必要搭接宽度, 节约工程成本; ③通过在不同工况(不同水深、不同水流、不同距离范围、不同潮位等条件)下试验, 检测数据均有效, 检测方法适用范围广; ④降低相邻排体脱开风险, 减少补排工程量, 降低工程成本, 提高工程效益。

2) 劣势。

①操作过程较为繁琐, 耗费人力、物力较多; ②设备造价昂贵, 检测成本较高。

5 结语

在水深较小(不超过10 m)、流速较小区域, 建议采用浮标倒垂法、水下探摸法进行检测; 对水深较大(超过10 m)、流速较小区域, 建议采用旁扫声纳进行检测; 对水深较大、流速较大区域, 建议采用超短基线。

在实际施工过程中, 单一的检测方法不能保证潮汐河段的水下软体排的施工质量, 应结合现场工况(水深、潮汐、水流流速等), 选取适合的水下排体检测方法, 综合应用, 便于现场操作, 确保排体施工质量, 节约工程成本。在满足现场施工要求的同时, 可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

- [1] 孙卫平, 张才俊, 莫建波. 长江下游感潮河段超长护底软体排铺设关键技术[J]. 水运工程, 2014(8): 1-7.
- [2] 唐晓峰, 付桂, 李为华. 高浊度河口复杂条件下护底软体排检测技术[J]. 水运工程, 2013(3): 81-85.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交水运规划设计院有限公司. 护底施工图设计说明[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2012.

(本文编辑 郭雪珍)