

· “长江南京以下12.5 m深水航道建设”专栏(27) ·



多波束检测技术 在长江深水航道和畅洲整治工程中的应用

周良玉

(中交一航局第二工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要: 针对长江南京以下12.5 m深水航道二期工程和畅洲标段深水、大流速工况下软体排检测、深水潜堤断面控制难题, 进行多种水下检测方法的对比研究, 首次将Sonic2024多波束检测技术应用于水下整治建筑物施工中软体排、深水袋装砂及水下抛石控制, 通过测量得到高精度水下建筑物图像、位置和高程数据, 实现了水下隐蔽工程可视化与量化分析, 起到较好的指导施工的作用。

关键词: 多波束; 长江深水航道; 施工检测; 软体排

中图分类号: U 617

文献标志码: B

文章编号: 1002-4972(2017)02-0001-07

Multi-beam detection technology in the Yangtze River deepwater channel Hechangzhou regulation project

ZHOU Liang-yu

(No. 2 Engineering Co., Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Co., Ltd., Qingdao 266071, China)

Abstract: To counter the problems in the Yangtze River 12.5 m deepwater channel phase II project Hechangzhou section soft mattress detection and cross-section control of deepwater submerged dike under conditions of deep water and large flow velocity, we compare multiple underwater detection methods, and apply the Sonic 2024 multi-beam detection technique for the first time to the control of soft mattress, deepwater bagged sand and underwater riprapping in the construction of underwater regulating works, by which, accurate data concerning the image, location and elevation of underwater structures are obtained and visualized and quantitative analysis of underwater concealed works are realized to guide the construction.

Keywords: multibeam; the Yangtze River deepwater channel; construction detection; soft mattress

长江南京以下12.5 m深水航道建设工程分为3个阶段: 一期工程, 太仓—南通段已于2014年7月建成并投入试运行; 二期工程, 对南通至南京段227 km航道进行整治, 同时采取通航安全监管和航道维护措施, 初步实现12.5 m深水航道上延至南京的建设目标; 三期工程, 将根据一、二期工程的建设效果实施一些后续工程。工程建成后, 将为江苏省沿江地区经济发展、转型升级注入强大动力。

长江深水航道二期工程和畅洲标段位于江苏

镇江与扬州之间的镇扬水道, 工程内容主要包括新建2道潜堤及完成和畅洲水道共10.771 km的护岸专项工程。工程潜堤采用软体排护底, 堤身为抛石斜坡堤、袋装砂芯堤的组合方案。根据已有资料, 堤身范围内最深处泥面高程-35 m, 软体排范围内最深处泥面高程-44 m, 护岸工程中泥面高程最深达-49.2 m。施工水域基本为单向下泄流, 根据实测流速数据, 枯季稳定时段各断面平均流速在0.01~1.84 m/s, 各断面测点最大流速均出现在表层, 最大流速为2.10 m/s, 如此大水深

收稿日期: 2016-06-20

作者简介: 周良玉(1985—), 男, 工程师, 从事航道整治施工测量工作。

和流速工况下进行铺排、抛砂袋和抛石施工前所
未有。

传统的软体排铺设搭接检测采用浮漂倒垂法
或潜水探摸,在水浅、流缓的区域检测结果较为
理想,但是应用在本工程深水、大流速工况下误
差极大,无法达到软体排搭接检测的基础数据指
导效果。而且,深水抛石、抛填袋装砂漂移距的
准确测算对于堤身成型意义重大,先进的水下检
测技术手段决定工程质量及成本,因此亟需引进
先进的水下检测技术。

1 工程概况

和畅洲水道为分汊河型,分南北两汊,北汊属
镇江市江豚保护核心区域,枯季分流比达 75.0%,
占据绝对的主汊地位,南汊为支汊,为现行的长江
主航道^[1]。该河段属感潮河段,其水水泥沙特性主
要受长江径流控制,全年除枯季大潮有上溯流外,
基本为单向下泄流,根据水位数据,历年最高水

位 6.7 m,最低水位-0.67 m,水位平均差约 1 m,
落潮历时约 9 h,涨潮历时约 3.5 h。

由于和畅洲水道南北两汊平面变形强烈,北
汊不断发展,南汊不断衰退,为调整分流比、有
效改善南汊水动力条件,达到冲刷河床、增加水
深的目的,和畅洲水道设置 2 道拦江的“—”字
型潜堤,1#潜堤和 2#潜堤长度分别为 1 817 m 和
1 919 m,工程平面布置见图 1。

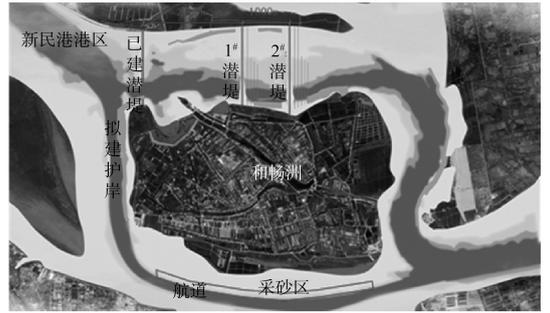


图 1 工程平面布置

和畅洲工程新建 2 道潜堤,堤身结构形式分
布及堤顶高程见图 2。

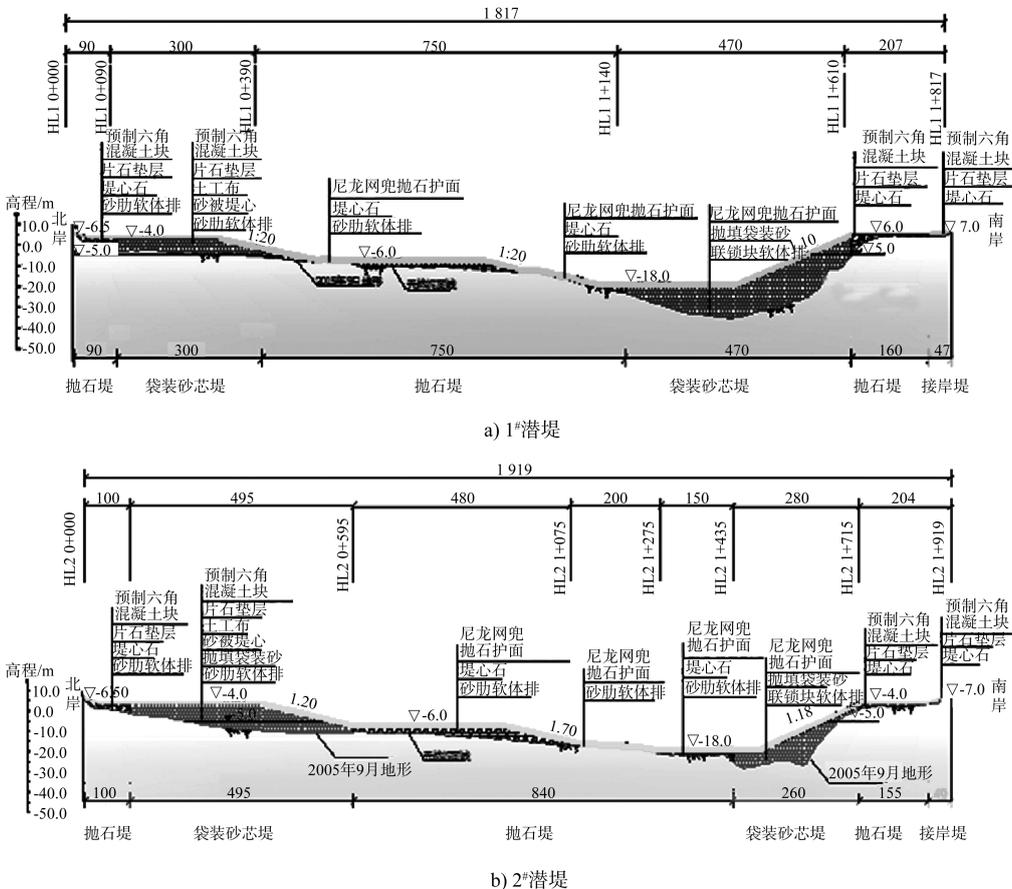


图 2 和畅洲潜堤堤身结构形式分布 (单位: m)

工程施工过程中，针对工程不同结构部位，需要有效的检测确保施工质量，并提供有效的过程指导^[2]。

1) 护底结构。

护底采用软体排，堤身下游侧余排范围设置消能防冲结构。本标段软体排铺设面积 180 万 m²，是工程主要控制分项，是质量控制关键点，决定工程成败，需进行铺设质量及搭接量的有效检测，护底范围及消能结构布置见图 3。

2) 深水段袋装砂堤身结构。

深水段袋装砂堤身采用袋装砂芯堤和尼龙网兜抛石护面结构，潜堤断面需进行软体排检测、深水

袋装砂漂移距检测、堤身成型检测。结构形式及检测部位见图 4。

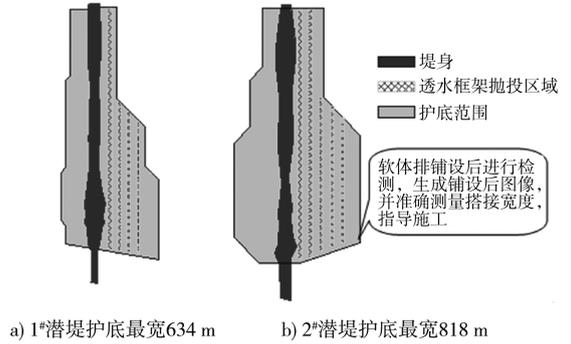


图3 护底范围及消能结构布置

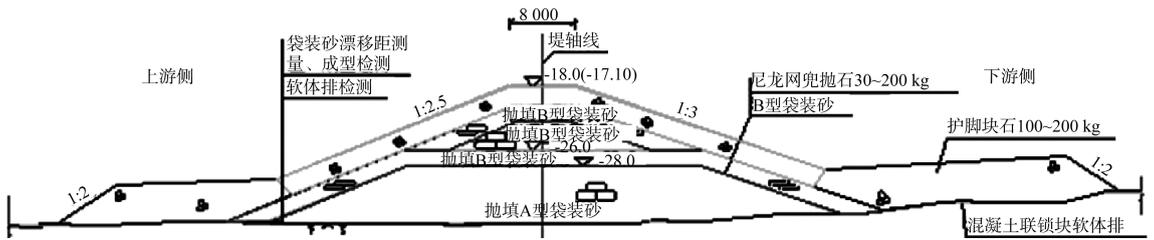


图4 深水段袋装砂堤身结构典型断面（高程：m；尺寸：mm。下同）

3) 砂被堤身结构。

堤身高程 -5.0 m 以上采用普通砂被堤心，-5.0 m 以下采用抛填袋装砂，护面为 200~300 kg

块石及六角螺母块、六角混凝土块。潜堤施工需进行软体排检测、砂被铺设质量检测。结构形式及检测部位见图 5。

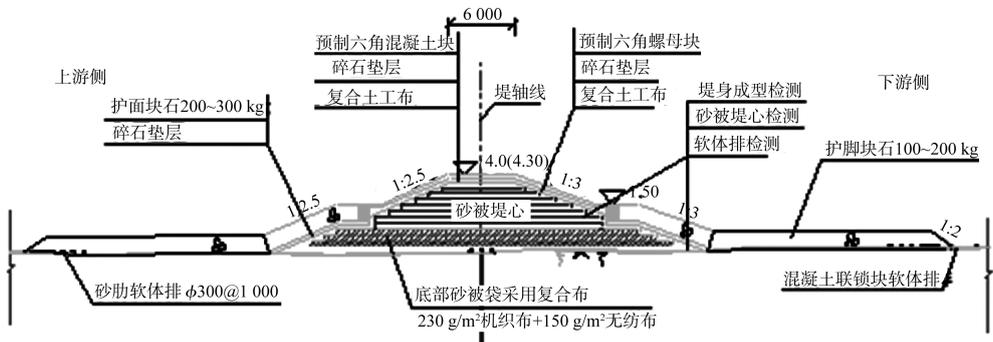


图5 砂被堤身结构形式典型断面

4) 抛石堤堤身结构。

抛石斜坡堤区段堤心抛填 1~200 kg 块石，护面块石、护脚、护底结构同袋装砂堤。抛石堤断

面主要进行软体排检测、抛石堤身成型控制检测。断面结构形式及检测部位见图 6。

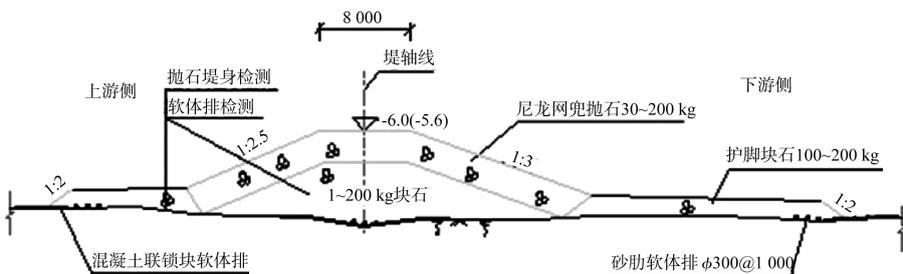


图6 抛石堤身结构形式典型断面

2 水下检测方法探讨^[3-4]

2.1 浮漂倒垂法

浮漂倒垂法是软体排检测中最常规的方法。在软体排铺设过程中，每隔 10 m 在排体两侧系一对浮球，待软体排铺设完成后利用铺排船作为平台，将事先固定在排边的浮球拉起至垂直状态，采用 RTK-DGPS 便可直接测量每个浮球的坐标，把实测浮球位置当作水下排体位置，达到软体排位置检测的目的。该方法在每张软体排铺设完成后进行，操作简单，但需要铺排船配合。在测量过程中，拉绳的垂直状态直接影响到软体排坐标测量的精度，水深越浅、精度越高，水深超过 20 m 时，误差大，测量精度无法保证。

2.2 潜水探摸法

潜水探摸检测是在软体排铺设完成后，由

潜水员下水对已铺软体排搭接区域和排体表面进行探摸，以判定搭接宽度和排体铺设质量。施工中潜水员的判定能力直接影响检测效果，且在水深、流急区域难以保证检测效果，同时存在安全风险。

2.3 侧扫声呐检测法

侧扫声呐法检测是通过水下拖鱼两侧的换能器向水底一定范围内发射声呐信号，信号反射后通过拖鱼接收形成声呐影像并传输给显示单元，从而得到水下检测物的图像(图 7)。该方法受水深影响较小，可快速得到水下建筑物的图像，实现全覆盖检测，对于只需要得到图像进行质量判定的建筑物检测而言效果较好，但是由于声呐拖鱼姿态等精度影响，难以得到准确的水下坐标及尺度数据。

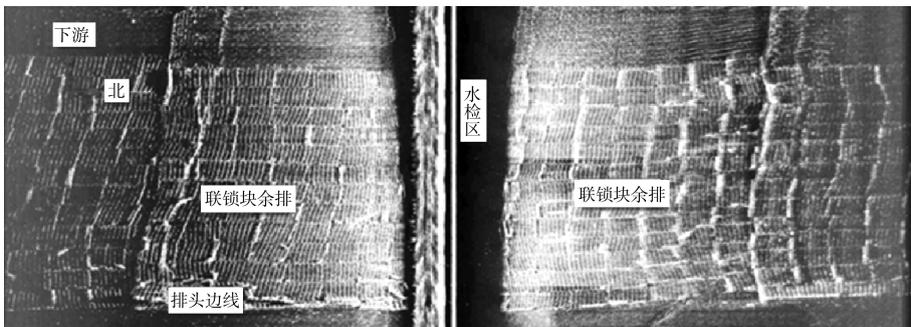


图 7 侧扫声呐法软体排检测

2.4 单波束断面检测法

在常规的潜堤施工中，通常采用单波束进行断面水深测量，通过绘制实测断面图与设计断面图比较确定潜堤施工质量。该方法外业操作及数据处理简单，然而，由于断面间距一般较大，测量数据密度受限，单波束测量抛石堤身精度较低，绘制断面图与真实形态存在一定差别，尤其是该方法只能得到断面高程数据，无法实现水下成图，指导施工的作用有限。

采集计算机组成，通过 Sonic2024 多波束换能器同时向海底发射多条波束，同步采集水下一定宽度范围内的水深数据，结合姿态改正、声速改正及 GPS RTK 平面高程数据，得到海量的水底高程，通过专用数据处理软件，生成水下建筑物平面图、三维图及高程断面图(图 8)。

3 Sonic2024 多波束水下检测技术

3.1 多波束测深系统组成及工作原理^[5]

Sonic2024 多波束测深系统主要由 GPS、多波束换能器、Sim 接线盒、光纤罗经、声速仪和数据

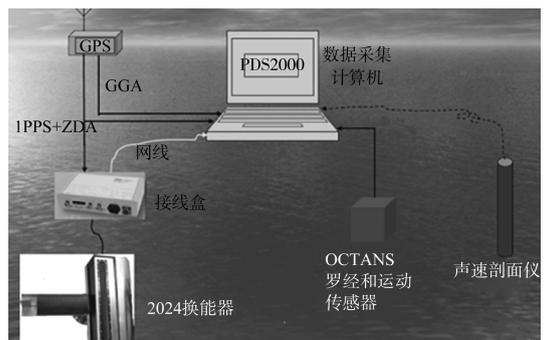


图 8 Sonic 2024 多波束测深系统组成

3.2 多波束设备安装

多波束设备安装主要指换能器和 GPS 天线安装，根据长江航道整治水域条件和 Sonic2024 自身轻便的特点，采用船舷安装方式。多波束换能器与 GPS 定位中心保持一致，换能器安装牢固，不得有抖动现象。

3.3 外业数据采集及数据处理

采用 Qinsy 软件布设测线，根据现场地形和水

深情况合理选择波束开角及测量旋转角度。利用声速剖面进行测区声速测量，并选择合适地形位置进行校准线测量^[6]。

采用多波束专业数据处理软件 Caris Hips and Sips 对多波束采集的数据进行后处理，利用校准测量数据完成设备 Pitch、Roll 和 Heading 的校准，并删除测量噪声，最终形成曲面图和水深图（图 9）。

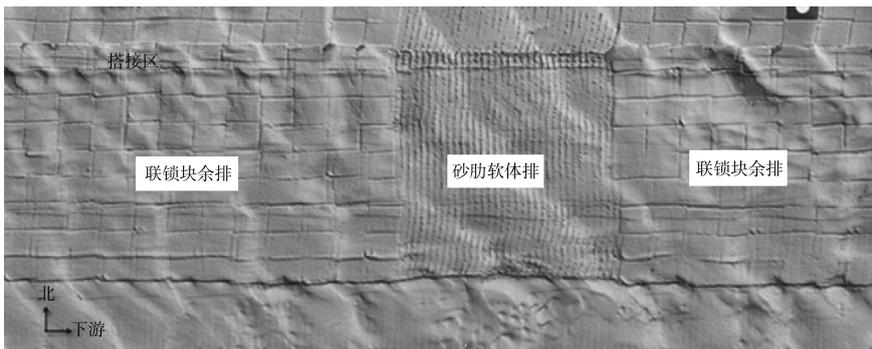


图 9 多波束数据后处理生成二维图

4 水下工程检测效果分析

4.1 软体排检测

长江 12.5 m 深水航道二期工程和畅洲标段共铺设软体排 159 张，全部采用多波束水下检测技

术完成检测。施工过程中，每张软体排铺设完成后，及时采用 Sonic 2024 多波束进行全覆盖检测，采用软件进行数据后处理，生成水下软体排平面图，可进行软体排外观质量分析（图 10）。

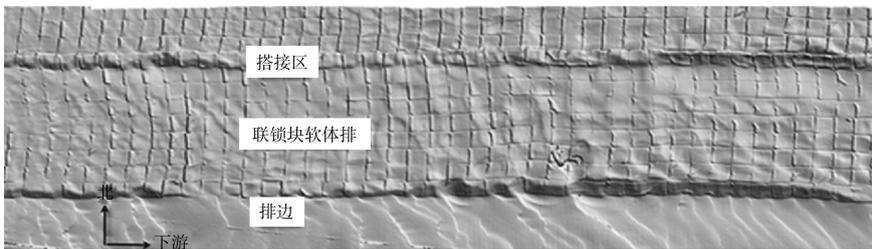


图 10 多波束检测水下软体排图像

根据平面图排体轮廓，在 Cris Hips and Sips 软件中提取排体边线并导出到 CAD 中，结合上一张排体边线坐标可直接量取相邻排体间的搭接量，实现水下软体排搭接量检测从定性到定量的跨越（图 11）。根据不同水深实测搭接量，总结缩排规律，可合理确定不同水深、流速下的预留搭接量。该方法可准确测量不同水深、流速下软体排的搭接宽度，改变了以经验值进行预留搭接量的做法，而且根据已铺水下排体的位置，在保证施工质量的前提下及时调整下一张待铺软体排，节约了施工成本。

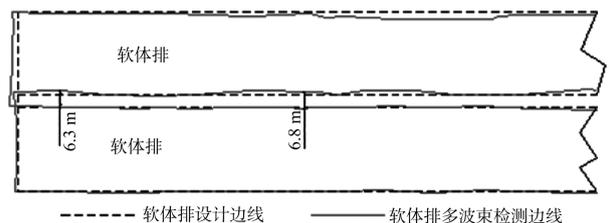


图 11 多波束检测排体轮廓线

4.2 袋装砂抛填施工检测

2 条潜堤南侧原泥面坡度陡于 1:3，需要进行 22.3 万 m³ 袋装砂补坡和砂垫层施工，砂袋入水后

的漂移距控制是袋装砂施工的关键（图 12）。在袋装砂抛填施工中，项目部定期采用多波束对已抛填区进行扫测，可清晰地看出砂袋入水后的位

置，结合现场水流准确计算砂袋漂移距离，指导施工。同时，根据图像分析抛填覆盖效果，为顺利完成潜堤南侧袋装砂施工起到巨大的作用。

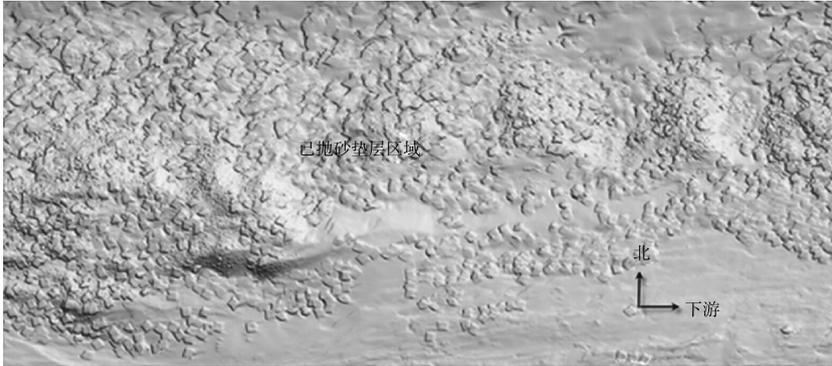


图 12 袋装砂垫层施工检测

4.3 深水堤身施工检测

1) 堤身抛石检测。

常规的单波束堤身断面检测难以形成堤身图像，无法对堤身施工整体效果进行评价。本工程堤身抛石断面完成后每 200 m 采用多波束进行质量检测（图 13）。多波束沿堤身施工范围进行扫测，采集堤身范围密集的水深数据，经姿态改正、声速改正、GPS RTK 改正后形成水下平面图，并直接输出水深数据图，采用 CAD 可绘制成堤身高程断面图。

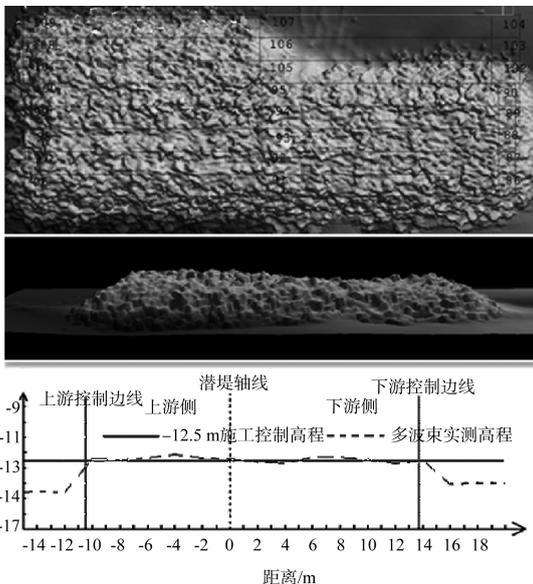


图 13 堤身抛石检测

通过多波束检测，可清晰地生成水下砂袋或抛石堤平面轮廓和三维断面影像。同时，根据多波束检测数据，可精确生成堤心断面图，图像与

断面数据结合有效进行施工过程精确控制，为水深、大流速下精准施工创造条件。

2) 砂被铺设质量检测。

本工程泥面高程-5 m 以上采用砂被堤身，设计总方量 14 万 m³。以往施工中，砂被铺设后采用潜水探摸、单波束断面测量、浮漂倒垂法确定砂被搭接、增厚值和位置，准确性和直观性较差，本工程中采用多波束进行砂被质量检测（图 14）。根据多波束检测图像，可清晰地生成袋体轮廓和图像，直观、准确地确定砂被铺设位置及水下搭接情况，水下隐蔽工程可视化、量化。

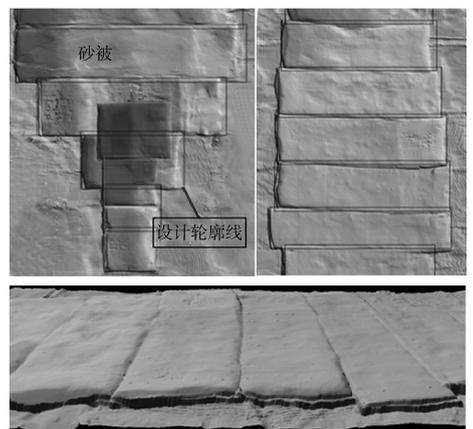


图 14 砂被铺设质量检测

4.4 多波束检测与传统方法的对比

多波束检测技术的定位及高程基准来自 GPS RTK 的平面位置和高程，GPS RTK 定位及高程精度达厘米级，Sonic2024 测深分辨率 1.25 cm，其

最终检测精度不仅取决于设备自身的精度,还受到校准中姿态改正及艏向改正精度的影响。在应用初期,针对多波束在软体排中的检测应用,在水深小于10 m的浅水区采用浮漂倒垂法进行对比;针对堤身高程检测,采用单波束进行高程比对。

1) 浮漂检测沿排体每20 m设1对,将多波束测量坐标与浮漂倒垂法坐标进行比较,数据见表1。

表1 多波束与浮漂倒垂法检测对比

排号	点号	偏差值/m	
		ΔX	ΔY
软体排-1	1	0.46	0.23
	2	0.32	0.38
	3	-0.14	0.33
	4	0.27	-0.24
	5	0.56	0.12
	6	0.27	0.41
	7	0.33	0.26
	8	-0.42	0.38
软体排-2	1	-0.12	0.22
	2	0.23	0.23
	3	-0.23	-0.23
	4	0.39	-0.43
	5	-0.28	0.38
	6	0.38	0.21
	7	-0.32	0.35
软体排-3	8	0.43	0.39
	1	0.12	0.38
	2	-0.17	0.27
	3	0.34	0.22
	4	-0.31	0.28
	5	0.14	0.43
	6	-0.24	-0.21
	7	-0.13	0.42
8	0.22	0.07	

根据表1,浅水区多波束测量结果与浮漂倒垂法比较, X 值最大差值为0.56 m, Y 值最大差值0.43 m。在软体排铺设中,浅水区一般预留搭接为6 m保3 m设计搭接。根据以上浅水区与浮漂检测结果对比可知,多波束检测能满足排体搭接宽度检测要求。

2) 多波束测量中央波束测深精度高,分辨率可达1.25 cm。为验证多波束边缘波束的测深精度,检测前,布置交叉测线,检验中央波束与边缘波束间水深差值。

根据测量数据,比对平均差值为0.006 m,最大差值为0.11 m,最小差值-0.07 m,测量精度满足要求。同时,选取平坦水域采用传统的单波束测量与多波束进行比测,布设比对测线6条,水下高程比对平均差值为0.08 m,最大差值为0.12 m,最小差值-0.13 m,符合水深测量规范要求。

5 结语

1) 将多波束检测技术应用于航道整治工程水下建筑物施工,通过测量出的图像、位置和高程数据全面反映水下建筑物的施工效果,实现了水下隐蔽工程可视化、定量化,是指导水下整治建筑物施工的有效方法。

2) 多波束检测技术应用于水下软体排搭接检测、潜堤施工控制中,其测量精度完全可满足施工要求。

3) 采用Sonic2024多波束进行每张软体排铺设后的全面扫测,可同时得到软体排图像和相邻排体间的实际搭接量,为不同水深条件下预留搭接量的确定创造了条件,改变了传统的过分预留搭接量的做法,大大节约了施工成本。

4) 多波束检测技术利用其图像清晰、定位准确的特点,作为深水潜堤施工控制手段,可有效测量深水袋装砂或块石漂移规律,较好地指导施工,确保质量。

参考文献:

- [1] 王建中,范红霞,朱立俊,等.和畅洲汉道深水航道整治右汊水动力改善措施分析[J].水运工程,2014(9):11-17.
- [2] 中交第一航务工程局有限公司,福建省交通基本建设工程质量监督检测站.水运工程质量检验标准:JTS 257—2008[S].北京:人民交通出版社,2008.
- [3] 张才俊,郭素明,李少俊.水下软体排铺设质量检测技术对比[J].水运工程,2016(2):10-14.
- [4] 白明.长江航道深水沉排施工检测和管理系统研发[J].水运工程,2014(12):10-15.
- [5] 李家彪.多波束勘测原理技术与方法[M].北京:海洋出版社,1999.
- [6] 上海海事局.多波束测深系统测量技术要求:JT/T 790—2010[S].北京:中华人民共和国交通运输部,2010.