

多波束与侧扫声呐高质量检测海洋深水岸堤工程

顾小双 张 旭

(上海山南勘测设计有限公司, 上海 201206)

【摘 要】 为查明海洋深水工程中袋装砂和软体排铺设情况,采用多波束测深和侧扫声呐影像两种工作方法进行高质量检测,获取高精度、高分辨率的水下目标体的高程和精细结构,定量计算相邻排体的搭接宽度,评价袋装砂和软体排铺设质量,及时发现施工过程中存在的安全隐患,保证堤防工程的施工质量。该方法可有效降低工程安全与质量风险,可为日后的海洋深水岸堤工程设计、建设和管理提供科学分析和决策依据。

【关键词】 多波束;侧扫声呐;数据融合;海洋深水岸堤工程

中图分类号: TV698

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2021)01-069-04

High quality detection of ocean deep-water embankment project with multi-beam and side scan sonar

GU Xiaoshuang, ZHANG Xu

(Shanghai Shannan Investigation & Design Co., Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Two working methods of multi-beam depth detection and side scan sonar image are used for high-quality detection to obtain the elevation and fine structure of high-precision and high-resolution underwater target body in order to find out the laying conditions of bagged sand and soft mattress in the ocean deep water project. The overlapping width of adjacent rows are quantitatively calculated. The laying quality of bagged sand and soft mattress is evaluated, thereby timely finding out the safety hidden in the construction process, and ensuring the construction quality of the dike works. The method can be applied for effectively reducing the project safety and quality danger. It also provides scientific analysis and decision-making basis for the design, construction and management of ocean deep water embankment works in the future.

Keywords: multi-beam; side scan sonar; data fusion; deep-water embankment project

1 引 言

海洋深水施工难度较陆地施工大,水文条件复杂,砂袋在深水区抛投受材料特性、水流变化等影响,其漂距、着床具有很大不确定性,导致每层砂袋抛投后的形

态不太规则,给岸堤水下结构带来一定的安全隐患。为实现工程的技术要求和施工质量控制,首先需要对充填砂袋的施工质量进行检测。随着探测技术的不断改进,水下检测方法在海洋岸堤工程中得到广泛应用,并取得了良好效果。目前,常用的水下检测方法有浮

收稿日期: 2020-06-16

作者简介: 顾小双(1974—),男,硕士,高级工程师,主要从事水利水电工程勘测、设计与管理工作。



漂倒垂法、潜水探摸法、ROV 检测和水下声呐法^[1-3]。浮漂的垂直状态是影响浮漂倒垂法测量精度的最直接因素,水深越浅精度越高,水深超过 20m 时,误差较大,且难以对水下软体排实现全覆盖检测。潜水员的判定能力直接影响潜水探摸检测效果,在水深、流急区域难以保证检测效果,同时存在安全风险。ROV 相对于潜水员作为水下检测载体,具有灵活性强、作业时间长、多自由度、作业深度广等优势,但在水流扰动大、能见度差、浑浊水体等复杂水环境中,检测效果尚须进一步完善^[4]。水下声呐法按功能和扫描方式可分为多波速测深和侧扫声呐影像,二者均采用声学方法,在工作原理上存在差异。其中,多波束测深可获取高精度的海底地形,但海底影像辨识度较低;侧扫声呐影像可显示高分辨率的海底地貌,但位置精度不佳;二者结合可获取高精度、高分辨率的水下袋装砂和软体排铺精细结构^[5-9]。因此,本文利用上述两种声呐法对海洋深水岸堤工程中袋装砂和软体排铺情况进行检测^[10-11],获取袋装砂棱体的准确数字高程,定量计算相邻排体的搭接宽度,综合解译评价袋装砂和软体排铺设质量,为排除施工隐患提供技术依据。

2 方法原理

2.1 多波速系统工作原理

多波束系统是通过发射换能器阵列向海底同时发射多条声波,再利用垂直于发射换能器的接收换能器阵列同步接收反射声波,然后通过发射、接收扇区指向正交的两组声学换能器阵,获得垂直航向由大量波束组成的测深剖面,并在航向上构成测深剖面条带,经过姿态改正,包括横摇校正、纵摇校正、艏摇校正、延迟校正,以及声速改正等,获得到高分辨率的海底地形和水下目标的三维特征。

2.2 侧扫声呐工作原理

侧扫声呐法是通过水下拖鱼两侧的换能器向水底发射声呐信号,接收反射信号,获得海底地貌声呐影像的一种物探调查方法。侧扫声呐法对回波幅度的处理较好,因此海底影像分辨率较高,对质量判定的水下目

标体检测而言效果较好;但由于受声呐拖鱼姿态、与定位天线距离偏差等精度影响,难以得到水下目标体准确的水深及尺度。

2.3 多波束与侧扫声呐数据的融合方法

多波束与侧扫声呐数据经各项改正后,对两数据的特征点进行拾取(等深线和灰度)。通过最近邻匹配获得匹配点后,计算图像间的变换矩阵,利用空间变换完成配准,采取多项式拟合的方法实现图像的配准,对配准后的图像分别采用加权和小波变换的方法进行数据融合。

3 工程概况

为合理利用杭州湾北岸滩涂和岸线资源,促进滨海旅游产业和海洋文化产业发展,经国家海洋局批复实施滨海综合会展中心等生态围堤项目。工程位置处于杭州湾畔喇叭形出海口,如图 1 所示。该水域潮差大,流速快,潮强流急,水文条件复杂,使得该工程成为上海滩涂生态开发以来难度最大的项目之一。在工程实施过程中,由于砂袋在深水区抛投受材料特性、水流变化等影响,其漂距、着床具有很大不确定性,导致每层砂袋抛投后的形态不太规则,给围堤带来一定的安全隐患。因此,软体排的铺设、抛石堤堤身结构、水下反滤层、水下袋装砂棱体成型等项目质量的控制是整个工程施工成败的关键。

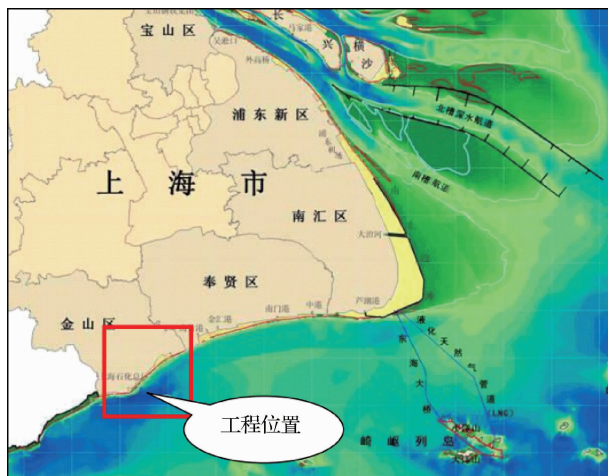


图1 工程位置示意图

3.1 工程地质

工程区域地基土层分布较稳定,浅部地基土主要以软弱黏性土为主,局部分布有松散—稍密状粉土,属第四纪全新世(Q_4)以来的滨海—河口相、滨海—浅海相、滨海沼泽相沉积层,下部为较稳定的第四纪晚更新世(Q_3)硬塑状黏土及中密—密实状砂土层,属河口—湖泽、河口—滨海相沉积层。

3.2 地形地貌

工程区域岸线前沿海域开阔,风浪大,流场较复杂,地形由陆域向水域逐渐降低,东、西侧堤地形为西北高、东南低,滩面标高一般在 $-5.0 \sim -1.0\text{m}$ 之间,顺堤段地形位于杭州湾凹岸段水下斜坡上,等深线基本平行岸线,为 $-16.0 \sim -8.0\text{m}$,滩面标高一般在 -5.0m 左右,低潮位时围区滩面部分露出水面。

本工程属于深滩筑堤工程,地质条件较差,大堤直接坐落在淤泥质粉质黏土层上,且软土层普遍达到 15m 厚,对本工程大堤的稳定极其不利,是大堤发生滑动失稳的薄弱土层,也是上部荷载作用下产生压缩沉降的主要土层。本工程浅表层软弱黏性土与稍密状粉砂性土强度偏低,在潮流波浪的综合作用下,抗冲刷能力差,堤前滩地须采取一定的防冲刷底措施。

3.3 冲淤分析

杭州湾北岸海床朝着冲淤平衡的稳定态势发展。金山深槽目前中心位置保持稳定,深槽西、南侧等深线不断向外扩展, 15m 、 20m 等深线的包络面积不断扩大,表明深槽10余年来呈向南、向西扩展的整体趋势,靠北岸一侧等深线出现局部离岸和靠岸小幅摆动特征,但总体呈稳定态势,距离本工程较近的金山深槽东北角,由于小金山的节点约束作用,深槽继续发展的可能性很小,威胁本工程所在岸段的可能性比较小。

4 工作方法和技术

为查明工程区袋装砂和软体排铺情况,结合该区域地质、水文气象,以及冲淤演化等条件,在工程区采用了多波速测深和侧扫声呐两种工作方法同步测量。以最西端为起点,每 100m 为一个单元,按距离依次编

号($S2+50, S2+150, \dots$),综合考虑水深数据影响,主测线垂直于顺堤布设,间距为 25m ,检测线垂直于主测线布设,间距为 100m ,测线布设如图2所示。

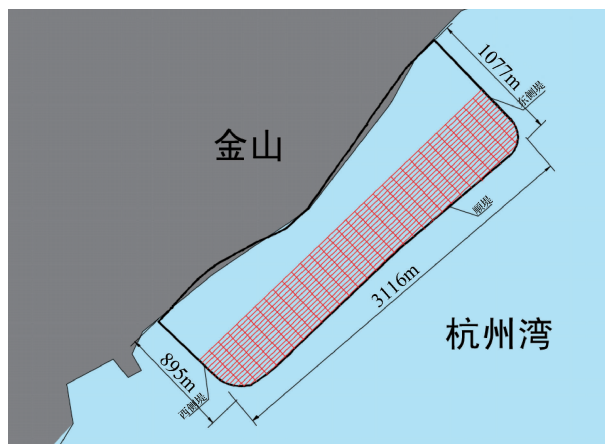


图2 测线布设示意图

本次测量采用基准站差分信号进行平面定位,采用HYPACKMAX进行导航,采用NORBITWBMS多波束测深系统、Edgetech4200MP侧扫声呐系统。多波束水下地形数据采用QPS软件(包含多波束数据采集软件Qinsy和多波束数据后处理软件Qimera)进行处理;侧扫声呐图像采用SonarPro进行数据回放、分析和解释。在实际探测时,受测区水深、盐度、浊度等外在客观条件影响,以及多波束测深系统和侧扫声呐系统的声波频率相互干扰,多波束测深系统在满足水深测量条件下优先选用高的工作频率(400kHz),保证探测精度;波束开角 20° ,随测线移动适当增加,以确保足够的重叠度;侧扫声呐系统则采用低/高频同时记录($100\text{kHz}/400\text{kHz}$),航速控制在 $4 \sim 5$ 节,DGPS同时接入多波束和侧扫声呐采集软件,拖鱼的实际位置归算采用Layback校正方法,量算拖鱼电缆放出的实际长度。多波束数据在完成各项改正后,对主测线与检测线重合点水深进行深度精度评估;不符值限差为:当水深小于 20m 时,测量误差不大于 0.4m 。如果超限点数超出比对总数 15% ,则重测该段路由水深;侧扫声呐后处理软件对影像资料进行数据回放,回放过程中注意观察记录面貌,调节回放参数,尽量保持两侧记录面貌一致,资料清晰,寻找和辨别海底异常反射现象,掌



握水下袋装砂和软体排铺精细结构。

5 综合解译

图3展示了S2+600~S2+800区域的多波束水下地形成果。其中,在S2+600~S2+700区域,地形平缓,标高在-6.0~-3.8m之间,西北部有一“凸”形区域,地形相对较浅,标高在-4.3~-3.8m之间,平均坡度小于1°,无明显异常起伏,说明此段袋装砂铺排整齐,中间拼接连续性较好;中部区域与“凸”形区域有一明显边界,地形落差约0.3m,与一层袋装砂高度吻合,说明此区域袋装砂铺排比西北部少铺一层;东南部靠近顺堤区域地形陡然上升,标高由-5.8m上升至-4.2m。在S2+700~S2+800区域,地形整体由东西两侧向中间变深,说明袋装砂由东西两侧向中间逐渐铺排。

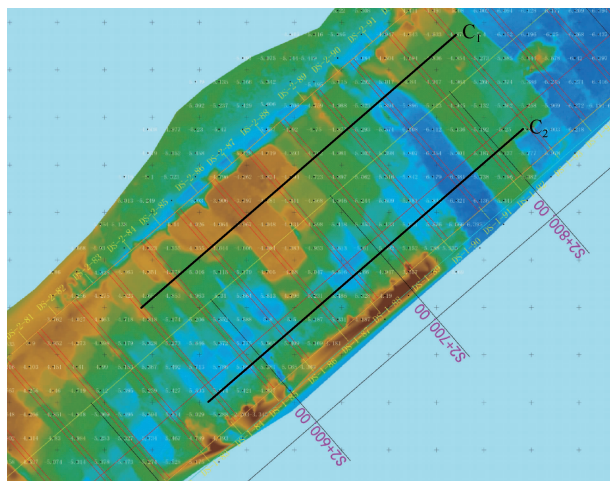


图3 多波束水下地形成果

图4展示了S2+600~S2+800区域测线C1的侧扫数据影像,从图中可清晰直观地看出袋装砂铺排状态,袋装砂铺有序排列,拼接比较完整,边界明显,且无



图4 S2+600~S2+800区域测线C1的侧扫数据图像

明显缺漏破损现象。在S2+700~S2+800区域有一明显袋装砂铺设的分界线,与多波速数据吻合。图5展示了该区域测线C2的侧扫数据图像,反映了水下软体铺排状态,其位置与设计位置一致,软体铺排似流线型,平行有序排列,右侧间距相同,相邻软体排的结合部分搭接宽度约2m,左侧由密变疏,未出现堆积现象。

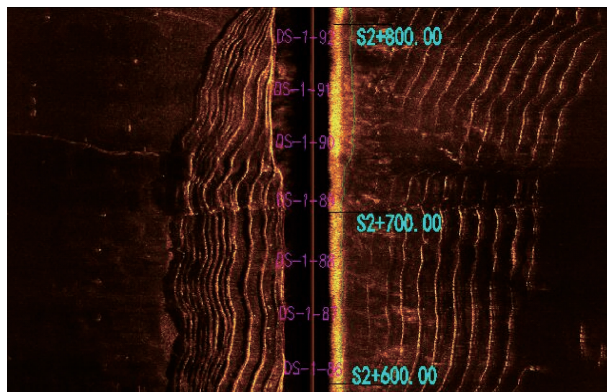


图5 S2+600~S2+800区域测线C2的侧扫数据图像

6 结语和展望

a. 将多波束和侧扫声呐技术应用于围垦工程施工检测中,多波速地形成果可判识出袋装砂铺排整体情况,侧扫数据影像可清晰直观地识别出袋装砂铺排细节信息,有效增强了不同观测数据的互补性,提高了水下隐蔽工程的检测质量。

b. 由于水下环境复杂,以及仪器自身精度、安装误差等影响,为得到更高精度和分辨率的数据,应适当加密测量,同时将多波束和侧扫声呐数据融合,获取高质量的水下袋装砂和软体排铺三维精细结构。◆

参考文献

- [1] 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,2016,512(2):24-28.
- [2] 黄召彪,柴华峰,李丰华.深水顺水沉放条件下护底软体排结构设计方法[J].岩土工程学报,2016(38):173-176.
- [3] 冷元宝,王运生,王锐.黄河河道整治工程水下基础探测试验研究[J].工程地球物理学报,2004,1(2):97-101.
- [4] 黄明泉.水下机器人ROV在海底管线检测中的应用[J].海洋地质前沿,2012,28(2):52-57. (下转第76页)