

Application of Multi beam Water Body Data in Underwater Structure Detection

Jinlong Wang

1. Shanghai Geological Exploration Technology Research Institute, Shanghai, 200072, China
2. Shanghai Ground Subsidence Control Engineering Technology Research Center, Shanghai, 200072, China

Abstract

Acoustic imaging detection remains the most widely adopted and efficient technique for inspecting underwater structures. By transmitting acoustic waves and receiving echo intensity data along predefined paths, this technique enables the acquisition of high-quality underwater images. Typical acoustic systems include multibeam echosounding systems, imaging scanning sonars, and sidescan sonars. Although laser 3D scanners and underwater photogrammetry are also employed, their performance is often constrained by detection range, water turbidity, and other environmental factors. This paper systematically presents the application of multibeam water column data for underwater structure detection, and establishes a corresponding technical workflow. The practical value of the proposed method is verified through case studies on bridge piers and shipwreck inspection. Furthermore, current challenges such as environmental interference and complex data processing are analyzed, and future trends toward intelligentization and cross-domain fusion are prospected. This work aims to provide theoretical and practical references for the deep application of multibeam water column data in underwater engineering inspection.

Keywords

Multi-beam water column data; Underwater structure detection; 3D imaging; Data processing

多波束水体数据在水下结构物检测中的应用

王金龙^{1,2}

1. 上海市地质勘查技术研究院, 中国·上海 200072
2. 上海地面沉降控制工程技术研究中心, 中国·上海 200072

摘要

水下建筑结构物检测中, 声学图像探测是目前应用最广泛、效率最高的探测手段, 通过声学设备发射声波并接收回波强度数据获取水下图像, 常用设备包括多波束测深系统、图像扫描声呐、侧扫声呐等; 激光三维扫描、水下摄影测量等光学检测方法易受探测距离、水体浑浊度等因素影响, 应用存在局限。本文系统阐述多波束水体数据在水下结构物检测中的应用, 构建相应技术流程, 结合桥梁桥墩、沉船检测等典型案例验证其应用价值, 分析当前面临的环境干扰、数据处理复杂度高挑战, 并展望智能化、跨域融合的发展方向, 为多波束水体数据在水下工程检测领域的深度应用提供理论与实践参考。

关键词

多波束水体数据; 水下结构物检测; 三维成像; 数据处理

1 引言

水下结构物作为海洋经济、海上基础设施建设中十分重要的组成部分, 广泛应用于港口航道、油气开发、桥梁工程诸领域, 典型形式有海底管道、桥梁桥墩、风电基础、沉船残骸等^[1]。其长期处在复杂多变的水下环境中, 极易受水流冲刷、腐蚀侵蚀、地质灾害诸因素影响, 产生冲刷坑、结构变形、缺陷损伤或隐藏结构物等安全隐患, 直接危及工程安全运行。目前常用的水下检测方法有人工潜水探测、图像声呐测量等, 存在效率低、风险高, 覆盖范围小、精度不

足, 数据采集量小等问题, 难以满足现代水下工程高精度、全方位检测的需求。

多波束声呐测深技术 (MBES) 以扇形波束发射声波并同步接收回波信号, 可快速、可靠地采集水下地形及目标物的密集数据, 生成高精度三维点云及数字高程模型 (DEM), 实现水下结构物的可视化探测及定量分析^[2]。此外, 系统还可采集波束方向上的水中反向散射强度数据, 即水体数据。其采样量远高于常规水深数据, 但噪声复杂且时变性强, 从中开展目标识别是提升检测效率与可靠性的重要途径。近年来, 多波束水体数据的应用场景不断扩展, 已然成为水下工程检测领域研究热点。本文围绕多波束水体数据的应用, 系统探讨其在水下结构物检测中的应用流程、典

【作者简介】王金龙 (1988—), 中国江苏盐城人, 硕士, 中级职称, 从事海洋测量、卫星导航与定位研究。

型案例及发展趋势,为相关工程实践提供有力的技术支撑^[5]。

2 多波束水体数据采集原理与技术特性

2.1 核心工作原理

多波束测深系统包含换能器阵(含发射、接收两部分)、导航定位系统、姿态传感器,声速测量传感器及数据处理单元等部分,其基本原理是:换能器阵向水下扇区固定方向发射声波波束,波束遇水体中颗粒、鱼群、水草、结构物或海底地形时发生反射,所接收到的反射信号由接收模块采集,再结合姿态传感器(光纤罗经)提供的姿态信息、

GNSS 定位数据及声速测量结果,用波束形成技术及时差测距法获得波束路径上的散射强度和相应位置的坐标。根据海量波束测得的数据进行无缝拼接,最终形成水下目标物的三维点云模型及高分辨率地形地貌图,能对水下结构物做到精确定位、精细建模。

多波束水体数据包含了换能器发射的声波到达海底这一过程,这一过程需要一种直观的表达方式,根据多波束水体数据采集和存储的特点,生成扇形垂向水体图像可以十分自然、清楚地看到水体中的目标,从而分析水体数据并进行数据提取等处理工作^[3]。

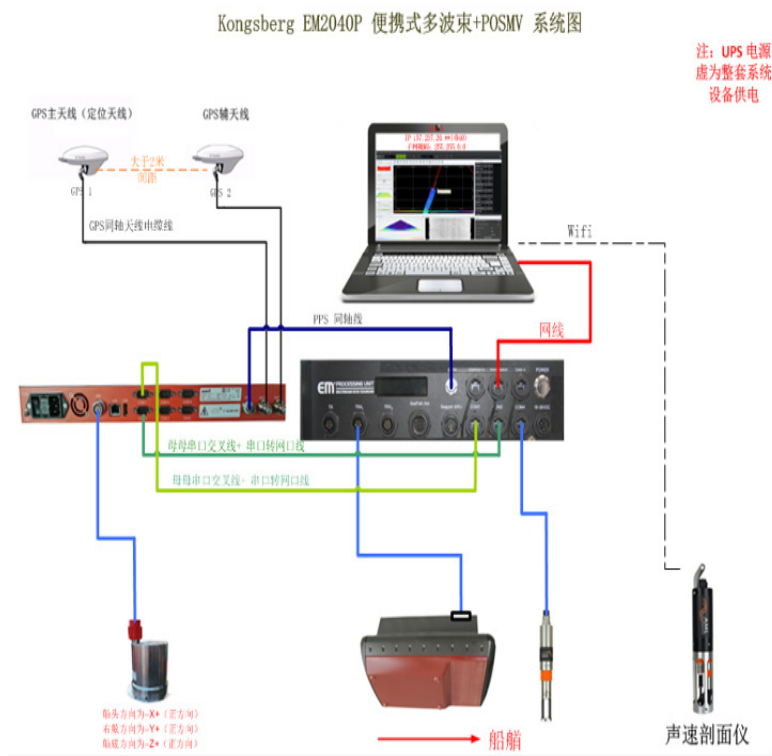
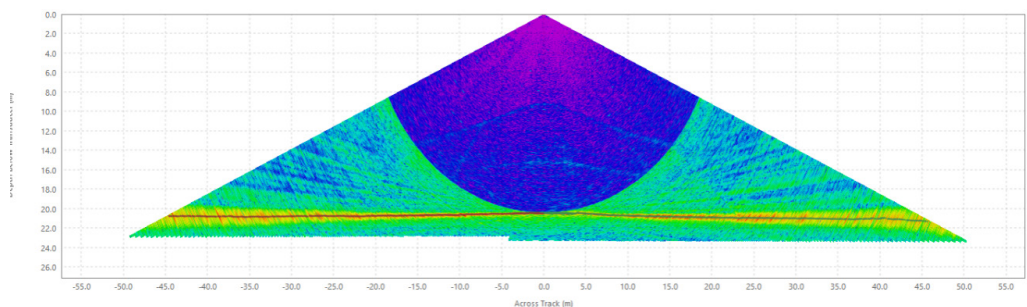


图 2-1 多波束系统组成



2.2 关键技术特性

由于多波束水体数据在水下结构物检测中有十分明确、突出的技术优势,因此其技术特点可归纳为几个方面。

(1) 强环境适应性: 多波束水体数据采集不受水体透明度的限制,适用于浅海、深海、内河诸种复杂水域环境,比如舟山岛附近浑浊水体、强流环境中的桥梁桥墩检测。

(2) 三维感知能力: 打破了传统水下探测中"重海底、轻水体",多波束水体数据可通过后处理并同海底水深点一同形成水下结构物的三维点云模型及数字高程模型,因而有利于直接、清楚地显示结构物的空间形态及缺陷分布。

(3) 多目标同时探测: 多波束扫描可获得5-7倍水深扫描宽的宽条带数据,因此能自然、合理地做到"带状"或

"面状"全面测量,因此水体数据也能完全覆盖。

(4) 水体数据可扩展性: 可以将 AI 与机器学习算法结合起来做水体数据的目标自动识别、分类的处理,能自然、合理地降低人工分析的工作量。

3 多波束水体数据在水下结构物检测中的典型应用案例

3.1 桥梁桥墩水下检测案例

案例为某大桥桥墩水下结构检测。测量时汛期水体浑浊(能见度<0.5米),流速为2-3节,人工探摸检测难度极大。因此本次检测采用了 Kongsberg EM 多波束声呐系统,其有512条波束,且有主动横摇、纵摇稳定功能,能在复杂水流及船姿晃动环境下高效性完成了桥墩基础形态、周围冲刷坑分布及水下障碍物的检测。利用多波束水深

点无法完成桥墩体底部连接处及附近结构物的分析,依据多波束采集的水体数据即可自然、可靠地建立桥墩精细化三维模型,查看桥墩附近结构物形态和桥墩底部冲刷坑。更难得的是,多波束水体数据在浑浊水体、强水流环境下仍能对桥墩结构做充分检测,解决了传统潜水检测效率低、安全性差的两大问题。

3.2 沉船检测案例

案例为近海航道上的沉船探测,因船舶桅杆较长,影响通航安全,传统多波束成果只探测到海底地形和沉船露在泥沙外的部分;无法探测到细而长的桅杆及其他结构物数据体征。通过多波束水体数据能清洗的看到从换能器到海底整层水柱的回波,即沉船桅杆、上层建筑、破损构件伸出海底、半埋在泥沙里,都能被识别处理。

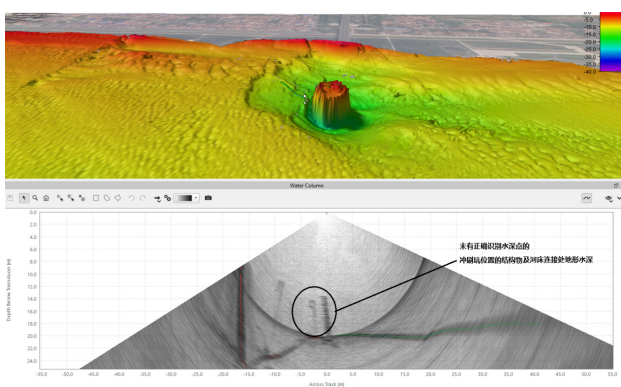


图 3-1 未有识别到的回波的水下结构物及河床连接处

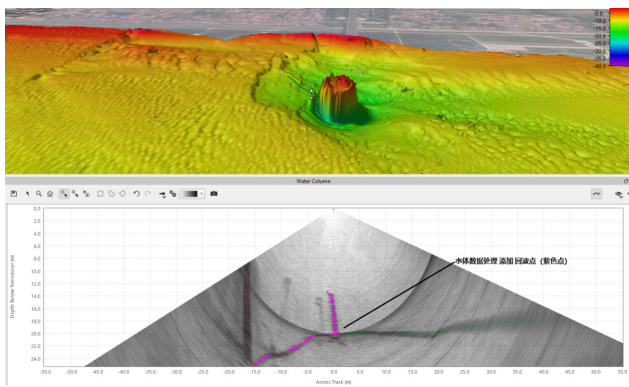


图 3-2 水体数据处理添加回波点

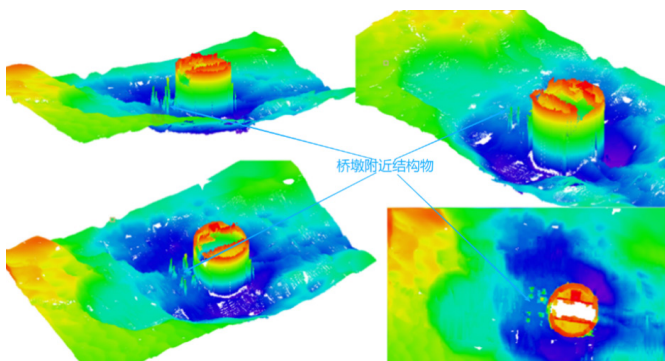


图 3-3 处理完成的桥墩及附近结构物

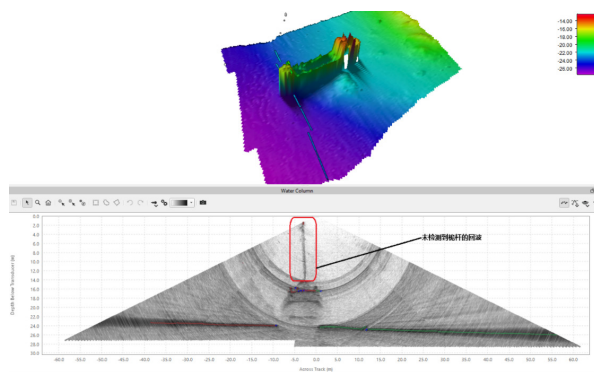


图 3-4 常规多波束检测未检测到的沉船桅杆

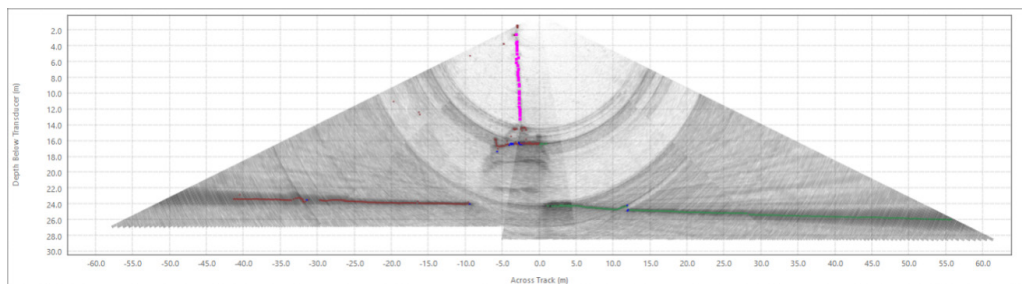


图 3-5 水体数据处理 (桅杆的回波点)

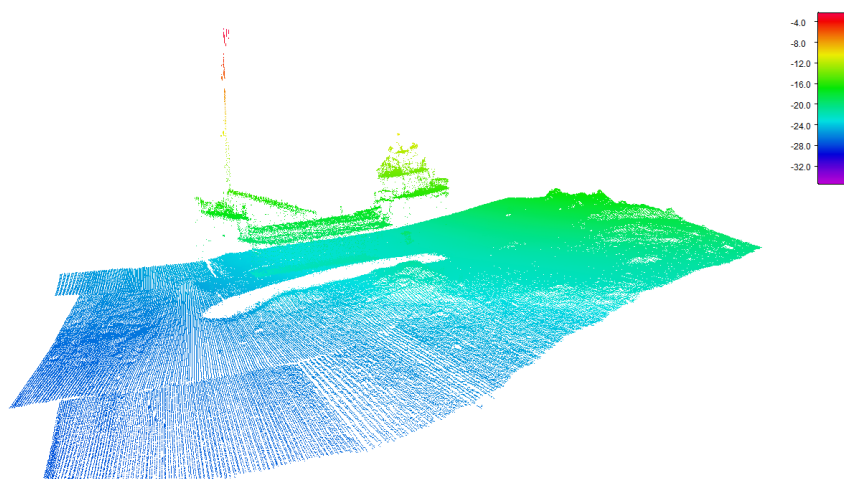


图 3-6 沉船全部结构物三维展示

4 多波束水体数据应用面临的挑战与未来展望

4.1 当前面临的主要挑战

虽然多波束水体数据对水下结构物检测有极大的优点,但是毋庸置疑,其实际应用中存在着若干值得重视的问题。

(1) 设备性能: 由于海洋中水深越大波束脚印随深度增加而增大,因此在深水情况下分辨率会衰减,小目标检测能力下降。

(2) 噪音环境干扰: 水体数据容易受到螺旋桨、发动机噪声及气泡冲刷、温跃层诸种因素的干扰。

(3) 数据处理复杂度高: 多波束水体数据量庞大,预处理与三维建模需消耗大量计算资源与时间;复杂结构物的特征提取与缺陷识别对算法要求较高,自动化程度有待提升;

(4) 设备与运维成本高: 高精度多波束系统价格昂贵,加之设备校准、维护与数据处理的专业技术要求,导致检测成本较高,限制了在中小规模工程中的普及。

4.2 未来发展展望

结合技术发展趋势与行业需求,多波束水体数据在水下结构物检测领域的发展方向主要为四方面:一是硬件设备智能化升级,研制具备自动校准、实时质量监控、自适应环境调整的智能系统,开发小型化、低成本设备,扩大应用范围;二是数据处理自动化智能化,基于 AI 与机器学习实现数据自动去噪、目标提取、缺陷识别,配套轻量化三维建模软件,实现大规模数据快速建模与可视化;三是跨域数据融合,融合多波束水体数据与侧扫声呐、水下摄像等多源数据,构建多维完备的检测体系;四是全生命周期监测应用,搭建水下结构物全生命周期监测体系,利用时序数据实现结构变形、

缺陷的智能预测预警,提升工程运维的主动性与预见性^[4]。

5 结语

多波束水体数据兼具有高精度、大范围、强适应性及三维可视化等优点,故在水下结构物检测中有着极其重要的应用价值,在桥梁桥墩、沉船、风电基础等水下结构物检测中应用价值显著,是工程安全运维的重要工具。但多波束水体数据在水下结构物检测应用中仍有环境干扰、数据处理复杂、成本较高等现实问题。因此未来需从设备智能化升级、数据处理自动化、跨域信息融合、标准体系完善诸种方向推进技术进步。而恰逢海洋经济迅猛发展、水下工程建设蓬勃开展之时,多波束水体数据在水下结构物检测领域的应用前景广阔,将成为保障水下工程安全、促进海洋资源可持续发展的重要技术支撑。

参考文献

- [1] SALEH M R, WIRYAWAN A P, FUAD M A Z. Multibeam Echosounder Data Analysis Using Object Based Interpretation Criteria for Subsea Pipeline Detection: A Case Study in Bawean Sea, East Java [J]. Civil and Environmental Science Journal, 2025, 8 (1): 70-78.
- [2] 王晨, 林杰. 基于多波束测试系统对桥梁水下基础、河床检测方法研究 [J]. 公路工程, 2019, 43 (6): 12-20.
- [3] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程测量规范: JTS 131—2012 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2012.
- [4] 刘云彤, 吉鹏程, 胡梦涛. 声学探测技术在海上风电桩基检测中的应用 [J]. 海洋测绘, 2025.
- [5] 彭国超. 基于多波束检测技术的桥梁桥墩水下测量方法 [J]. 中国水能及电气化, 2023, 53 (5): 89-95.