

基于多波束声呐的人工鱼礁区地形特征分析

李东^{1,2}, 唐诚¹, 邹涛¹, 刘斌^{1,2}, 侯朝伟¹, 张华¹

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 建设人工鱼礁(Artificial Reef, AR)是恢复和养护近海渔业资源的重要措施。尽管中国沿海各地人工鱼礁规模宏大, 但对于鱼礁投放后的监测明显不足。传统调查方法存在效率低、成本高等缺点, 多波束测深系统(Multibeam Echo Sounder, MBES)为探测鱼礁区地形地貌提供了一种有效的技术手段。本文利用高分辨率的多波束测深系统, 获取礁区详细的测深数据, 快速确定鱼礁位置、形态等信息; 应用地形分析工具提取地形变量(坡度、曲率、粗糙度、地形耐用指数及地形起伏度), 分析投石后海底地形特征。研究表明, 礁石投放后海底地形发生显著变化(水深 5~10 m), 礁石发生沉降现象(下沉深度约 0.45 m), 礁石周围出现冲淤地形(礁石堆高 1.65 m, 影响范围 5 m 左右)。分析人工鱼礁引起的微地形地貌的变化, 可以为鱼礁的监测与效果评估工作提供一种新的技术方法, 具有较强的现实意义。

关键词: 人工鱼礁; 多波束声呐; 地形特征; 监测

中图分类号: S953.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)05-0127-07

DOI: 10.11759/hyhx20161213002

海洋牧场是基于海洋生态学原理和现代海洋工程技术, 充分利用自然生产力, 在特定海域科学培育和管理渔业资源而形成的人工渔场^[1]。投放人工鱼礁是海洋牧场建设过程中采用的一种重要技术手段。它能够增加附着生物的附着面积, 促进浮游生物的繁殖, 在保护海洋生态环境方面起着积极的作用^[2]。人工鱼礁来源包括天然材料(如贝壳、岩石), 废弃物材料(如石油平台、渔船、轮胎), 建筑材料(如混凝土、钢材)以及综合型材料。合理的人工鱼礁建设有利于改造海岸带生态系统, 减轻水体富营养化, 给水产养殖及近海旅游(如游钓、潜水等)带来一定的经济效益^[3-4]。

如今国内外已广泛地开展人工鱼礁建设, 对近海海洋生物栖息地和渔场进行修复, 并取得了较好的效果^[5]。前人对于人工鱼礁建设的研究大多集中在物理、生物、生态、经济等方面, 主要包括: (1)人工鱼礁的优化设计与礁区的合理选址; (2)人工鱼礁的经济效果评价; (3)人工鱼礁区海洋生态系统结构与功能评价; (4)人工鱼礁区的水动力学特性及流场分析等。人工鱼礁投入使用后, 需要对其实际效果和预期效果进行评估, 以便发现设计中存在的问题, 但目前对于投放后水下礁石自身的监测与管理还缺乏相应的系统研究。传统调查方法(如水下摄像、人工探摸等)受水下能见度低、水流大、潜水时间短和人

工探摸范围小等因素的限制, 调查效果不够理想, 不仅增加调查成本, 也影响鱼礁的建设进度。

随着现代声呐技术的发展, 声学方法成为海底探测最有效、快捷的手段。多波束测深声呐系统与多波束测深技术自 20 世纪 90 年代末引入中国后, 在海洋资源调查、海洋工程建设以及海洋科学研究等方面发挥了重要作用^[6]。国内基于声呐的人工鱼礁建设的监测工作开展较少, 仅有上海海洋大学利用测深侧扫声呐系统做了些探索性工作^[5], 目前还没有其他研究工作的报道。本研究利用覆盖范围广、分辨率高的多波束测深系统对人工鱼礁投放区进行探测, 获取详细的海底地形地貌信息并提取地形变量, 分析礁石投放后海底地形特征与变化, 以期为人工鱼礁的监测及效果评估工作提供数据支持, 有效促进海洋牧场渔业资源的增值和优化。

收稿日期: 2016-12-26; 修回日期: 2017-02-08

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB453301); 山东半岛近岸海域生态模拟试验(270006-FZLX-2015-00-1); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-14)

[Foundation: National Key Basic Research Program of China (973), No.2015CB453301; Coastal Ecosystem Simulation Experiment in Shandong Peninsula, No. 270006-FZLX-2015-00-1; Key Deployment Project of Chinese Academy of Sciences, No.KZZD-EW-14]

作者简介: 李东(1985-), 男, 山东聊城人, 博士研究生, 研究方向为海底声学探测, E-mail: dli@yic.ac.cn; 唐诚, 通信作者, 男, 副研究员, 电话: 0535-2109021, E-mail: ctang@yic.ac.cn; 张华, 通信作者, 男, 研究员, 电话: 0535-2109180, E-mail: hzhang@yic.ac.cn

1 数据与方法

1.1 研究区简介

本文以山东近海某海洋牧场作为研究对象, 该海域人工鱼礁的材料主要来自陆地开采的山石。岩石是坚硬、稳定、抗腐蚀、低成本的人工鱼礁材料, 能够为海洋生物特别是趋礁性的动植物提供栖息地^[7]。投放礁石现有的规划管理主要依靠 Google earth 标注与潜水员水下摄像、探摸, 尚缺乏合理有效的监测、管理机制。为进一步了解投石的分布状况及投石区的地形地貌特征, 实现人工鱼礁建设的科学监测与管理, 此次调查选取 2012 年投石区(面积约 122.67ha)作为调查对象, 利用多波束测深系统快速获取高分辨率的海底礁石信息。

1.2 数据采集与预处理

多波束测深系统是当代海洋基础勘测中的一项高新技术产品, 它利用安装在船底的换能器探头向探测水体发射声波, 声波遇到海底或障碍物后产生反射和散射回波, 换能器探头接收到回波信号后, 处理单元根据回波振幅和相位计算声波旅行时间, 再根据勘测水体的声速剖面计算声波的实际传播距离, 然后根据发射开角, 及运动传感器的姿态参数(探头载体的横摇、纵摇和摆动角度)计算回波信号的位置和水深值^[8]。本研究采用 R2Sonic 2024 高分辨率浅水多波束系统, 它具有 256 个 0.5°超窄波束、160°超宽覆盖能力、1.25 cm 量程分辨率、60 Hz 的信号带宽以及 200~400 kHz 可选的工作频率。与之配套的辅助设备包括: 差分 GPS(Hemisphere), Octans 光纤罗经和运动传感器(纵摇/横摇分辨率可达 0.001°), 声速剖面仪(Minos SVP)以及数据采集软件 Qinsy 等。

多波束测深系统是一个由多传感器组成的复杂系统, 最终测量成果的质量不但取决于多波束自身的测量数据质量, 还取决于辅助传感器测量参数的精度^[9]。为获得高质量的测量数据必须进行规范的安装校准^[10]。2016 年 8 月采用上述多波束测深系统对调查区进行扫测。针对作业目的, 测线充分考虑到海底地形及仪器精度等多方面因素, 保证相邻测线间有一定重叠度。为获取投石区较为全面的地形地貌信息并结合实地水深(9 m 左右), 波束开角设为 120°(每条测线覆盖 3 倍多水深), 声呐频率为 400 kHz, 测线间距 15 m, 以保证全覆盖扫测。实际测线 51 条,

每条测线长约 1580 m, 船体航速不超过 5 节, 扫测工程中每隔 3h 做一次声速剖面的测量用于多波束数据的后期校准。数据采集后, 采用专业的后处理软件 Caris 对多波束数据进行后处理工作, 包括数据检查(定位数据、姿态数据、声速剖面数据), 数据改正(声速、船体姿态、仪器安装偏差、吃水、潮汐), 数据滤波处理(自动滤波与人工删除)以及数据压缩和输出等。本研究中作者选取调查区(图 1)北部一典型区域(180 m × 180 m)进行地形变量的提取与特征分析。

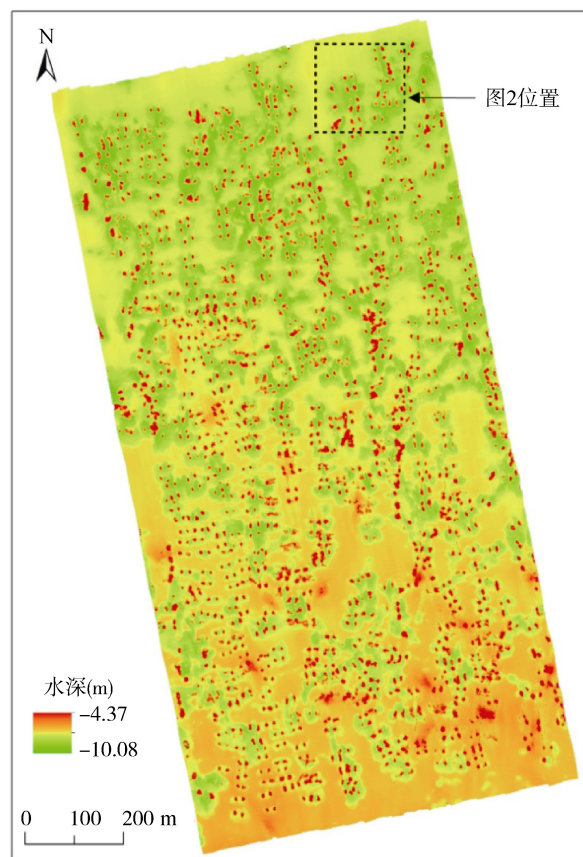


图 1 调查区多波束数据后处理结果

Fig. 1 Post-processing results of multibeam data in survey area

1.3 地形特征提取

多波束水深数据具有精度高、数据量大等特点^[11], 能够满足海底鱼礁区 DEM(数字高程模型)的要求, 本文采用格网(Grid)模型对 DEM 进行简化处理。

基于声学的地形变量提取方法广泛应用于海底地形地貌分类及底栖生境绘图的研究中^[12-16], 根据海底鱼礁区的地形地貌特征, 利用地理信息系统软件中地形分析模块及插件针对部分地形因子进行提取分析。

(1) 坡度 表示水平面与局部地表之间夹角的正切值, 即高度(z 值)变化的最大比率。Slope 工具将一个平面与要处理的像元或中心像元周围一个 3×3 的像元邻域的 z 值进行拟合, 该平面的坡度值通过最大平均值法来计算。坡度值(用度表示)越小, 地势越平坦, 反之越陡峭。

(2) 曲率 它是表面的二阶导数, 可以称为坡度的坡度。Curvature 工具输出结果为每个像元的表面曲率。曲率为正说明该像元的表面上凸, 曲率为负说明像元的表面开口凹入, 值为 0 说明是平的, 便于理解侵蚀过程和径流形成过程。

(3) 粗糙度 也称地表微地形, 指特定区域内地表单元的曲面面积与其在水平面上的投影面积之比, 是反映地表起伏变化和侵蚀程度的一个地形因子。其值越大说明受侵蚀和破碎程度越大。该变量可以利用美国国家海洋和大气管理局海岸服务中心研发的 BTM (Benthic Terrain Modeler) 插件中的 Rugosity 工具计算得到。

(4) 地形耐用指数 指中心点高程与特定邻域周围高程的差的平均值, 反映海底地形的局部变化。海底生物栖息地的改变与海底地形变化密切相关, 所以该指数常被应用于海洋底栖生境制图的研究中。该变量可以由 BTM 插件中的 TRI 工具计算输出。

(5) 地形起伏度 利用栅格邻域计算工具 (Neighborhood Statistics) 计算某一确定面积内所有栅格中最大高程与最小高程之差, 它反映了海底的起伏特征, 是定量描述地貌形态、划分地貌类型的重要指标。

2 结果与讨论

2.1 人工鱼礁区地形特征分析

经网格模型简化的 DEM 数据, 单元格大小设为 0.2 m 输出(图 2), 然后利用该 DEM 数据提取地形特征变量(坡度、曲率、粗糙度、地形耐用指数及地形起伏度)进一步分析鱼礁区地形地貌特征(图 3)。

图 2 显示该区水深为 5~10 m, 大量投石散布于海底, 投石分布散乱, 规律性不明显, 并未达到投石前施工设计要求(线状分布)。大部分投石堆积积压在一起, 少量岩石散落在周边。无礁石的海底区域地形较为平坦, 基本没有起伏变化; 礁石周边水深较深, 出现沉降与冲刷现象。

从地形特征变量的结果中我们可以看出, 坡度、曲率、粗糙度、地形耐用指数以及地形起伏度的高

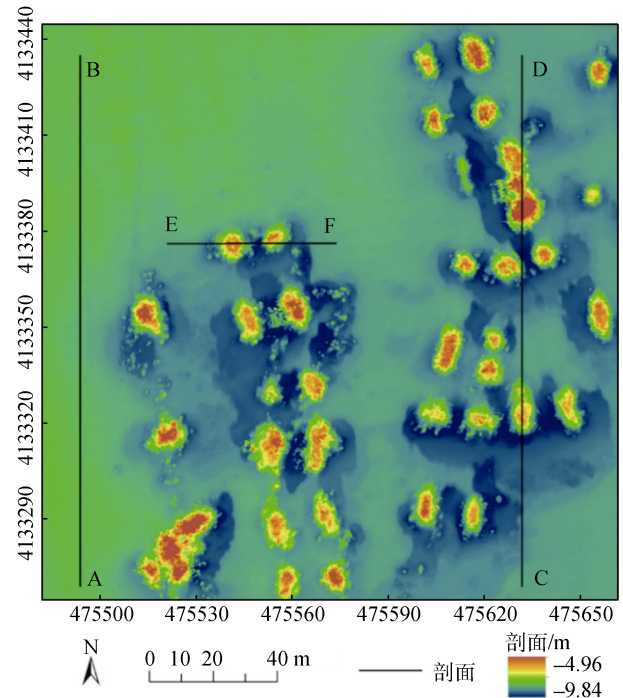


图 2 鱼礁区 DEM 数据(AB、CD、EF 为 3 个剖面位置)
Fig. 2 DEM data of ARs area (AB, CD, EF representing 3 profiles)

值区均出现在礁石分布区域, 基本上可以将投石与平坦海底区分开来。由于沉降及长期的水动力作用, 在礁石周围形成了局部“深槽”, 其边界在坡度与地形起伏度中能够较为清晰的分辨出来。以坡度为例(表 1), 该区域坡度为 0° ~ 83.73° , 坡度小于 3° 的单元数约占 75%, 说明该区域投石前相对比较平坦; 坡度大于 5° 的单元数约占 20%, 参照前人对海底地形地貌的划分方法^[17-18], 可以将其作为礁石与平坦海底的分界点, 并据此估算该区投石的面积为 6180 m^2 (每个单元为 0.04 m^2)。

该海域未投放礁石区海底较为平坦, 投石区海底地形较为复杂。研究区西、北两个方向均没有投石, 我们选取 AB、CD 两个剖面, 用来表征未投石区与投石区海底地形地貌特征(图 4)。剖面数据显示, 未投石区水深值为 9 m 左右, 投石区水深在 6~10 m 间起伏变化; 未投石区坡度接近 0° , 投石区坡度值显著增加, 部分区域达 70° ; 未投石区曲率接近为 0(平坦地形), 投石区正值与负值均显著增加, 曲率不仅在礁石周边的低洼处表现为负值, 在礁石堆积的空隙单元也为负值; 粗糙度、地形耐用指数及地形起伏度在投石区与非投石区也同样存在明显差异, 且与深度图、坡度图表现出一致性。

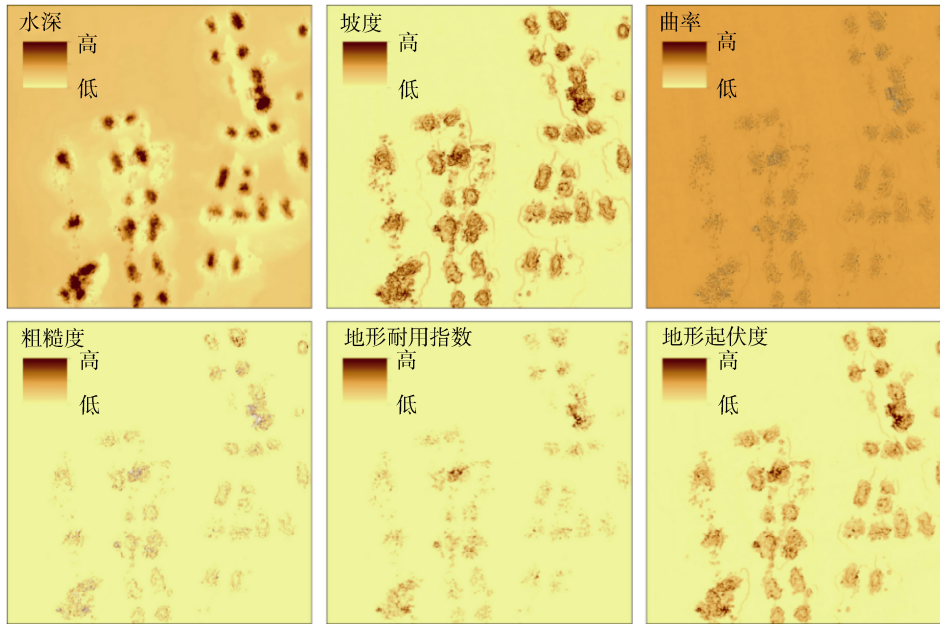


图 3 地形特征变量

Fig. 3 Variable terrain features

表 1 研究区坡度统计

Tab.1 Slope statistic result of study area

| 坡度范围(°) | 单元数 | 频率(%) | 累积频率(%) |
|---------|--------|--------|---------|
| 0~1 | 400347 | 49.316 | 49.316 |
| 1~2 | 147111 | 18.122 | 67.438 |
| 2~3 | 60937 | 7.506 | 74.944 |
| 3~4 | 31086 | 3.829 | 78.773 |
| 4~5 | 17834 | 2.197 | 80.970 |
| 5~10 | 40482 | 4.987 | 85.957 |
| 10~20 | 46492 | 5.727 | 91.684 |
| 20~30 | 32730 | 4.032 | 95.716 |
| >30 | 34782 | 4.284 | 100.000 |

通过 EF 剖面(图 5)可以得知礁石周围局部的冲刷情况,进一步定量分析礁石投放后引起的海底微地形地貌变化。礁石投放后,由于自身重力作用及其引起的局部流速的改变^[19],使得礁石周围海底地形形态发生变化。鱼礁的稳定性除了受礁区的底质条件决定外,在很大程度上依赖于鱼礁周围的物理环境以及水流—底质—礁体系统内的相互作用。剖面数据显示,礁石周围的平坦海底水深为 9.2 m 左右,冲刷最深处位于两堆礁石之间,投石堆积相对高度为 1.65 m,礁石沉降深度达 0.45 m。可以推测,礁体的迎流面附近产生下降流,在下降流到达海底时在礁体前部产生漩涡,造成礁体底部沉积物的冲刷和再悬浮。底层流的扰动使鱼礁底部与底质的接触面

积减少,造成鱼礁的不稳定和下沉^[20]。礁石底部流速较快区域的泥沙被移出,使鱼礁周围的海底底质变粗,被移出的细泥沙又在流速减弱处堆积,从而引起局部淤积^[21]。尽管该处投石体积不大,其影响范围距离礁体仍有 5 m 左右。

2.2 人工鱼礁投放与监测

岩礁分布与投放前的设计出现偏差,主要是在投放时受海况(如潮流、风浪等)影响,造成船体漂移、摇晃;另外投放时定位未选择差分 GPS,导致精度不高。在鱼礁建设过程和完成后的评价中,可以通过潜水调查等手段获得鱼礁的掩埋、移位、倾覆、损毁等安全性指标,但要充分考虑风浪、能见度、水流等因素。潜水调查方法效率低(一般潜水时间小于 1 h,单次探摸小于 20 m × 20 m)、成本高,且对于人工鱼礁投放位置的准确性无法进行有效的判定^[5]。鱼礁区高分辨率的多波束调查工作,不仅可以在宏观上提供较为全面的礁石投放信息(如具体位置、分布状态等),更能快速获取礁石区微地形地貌特征,从而评估鱼礁投放的准确性与合理性,发现设计中存在的问题以便采取一定的措施改善其功效,为下一步的人工鱼礁建设积累经验。当然,获取高质量的多波束测深数据是分析鱼礁区地形地貌的关键。因此,采用多波束调查时,不仅要保证声呐探头稳定安装(不抖动),系统相对位置(探头声学中心、光纤罗经及

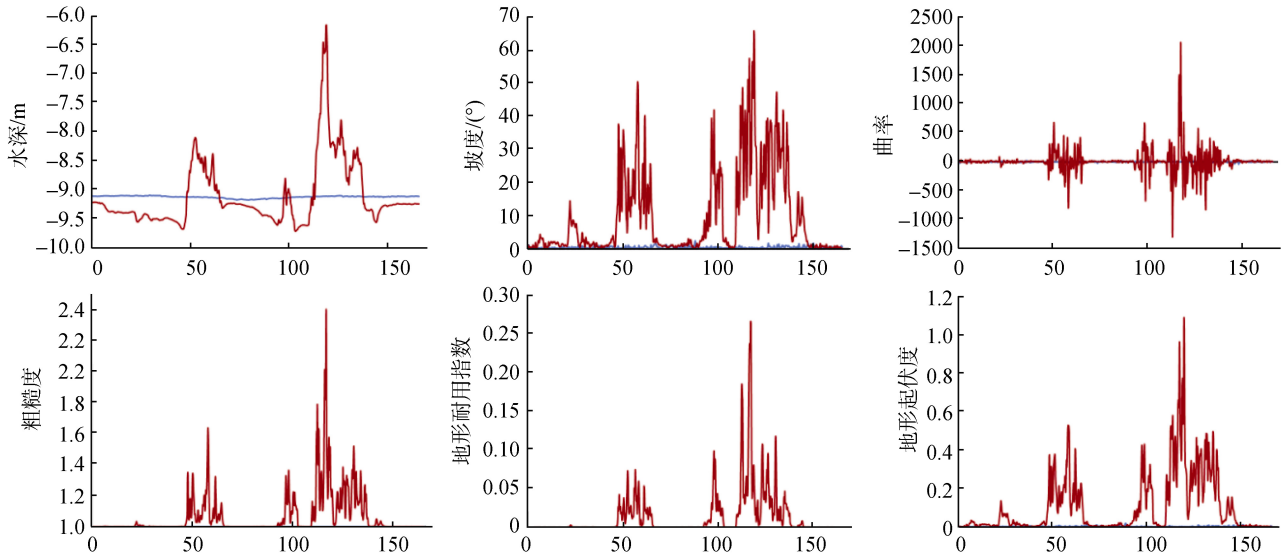


图 4 AB(蓝色)、CD(红色)剖面地形特征对比分析

Fig. 4 Topographical features comparison of AB (blue) and CD (red) profiles

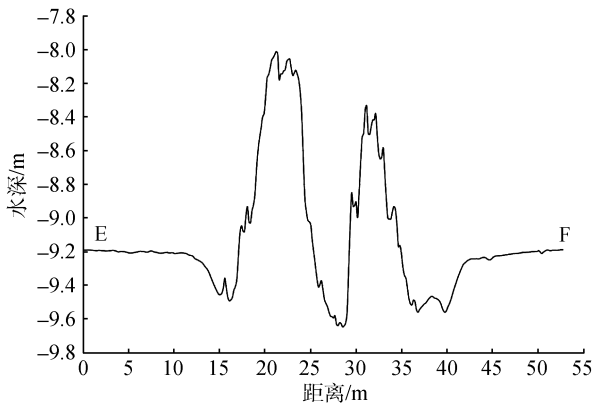


图 5 横穿人工礁石的 EF 水深剖面

Fig. 5 The depth profile across ARs

GPS)精准量测,校准参数(横摇、纵摇及艏摇)合理优化,还要根据实地情况确定船速大小以及获取声速剖面、潮位数据的时间间隔,为后处理工作奠定基础。

近年来中国人工鱼礁建设规模宏大,效益显著,但与发达国家相比技术和管理还不成熟。日本在人工鱼礁建设实践中走在世界前列,早在1986年发布实施了《沿岸渔场整備开发事业人工鱼礁渔场建设计划指南》,为人工鱼礁选址、投放及管理提供了参考依据^[22]。美国也在人工鱼礁方面做了大量相关研究工作,注重鱼礁投放效果的调查研究,并结合工程实例制定了人工鱼礁建设管理规范^[23]。目前国内对于人工鱼礁的管理还缺乏相应的系统研究,今后人工鱼礁的后期监测工作可以结合多种方法进行综

合观测:首先利用声学探测技术进行快速大面积扫测,获取其基本状态,确定重点监测对象;然后采用潜水观测、水下摄像等传统方法辅助调查,分析人工鱼礁对周围水域环境的影响,从而提高鱼礁建设效果评估的准确性。鱼礁投放后,须进行定期监测,比如每间隔一定周期(两年或三年)对投放区域进行全覆盖扫测,掌握鱼礁当前的分布状况,通过与前期的数据对比,分析鱼礁区的地形变化情况,对其稳定性进行评估。同时结合区域水文水质调查、底栖生物调查以及渔业资源的调查成果,对鱼礁建设的生态效果做出综合评价。

3 结论

本研究表明,利用覆盖范围广、分辨率高的多波束测深系统对人工鱼礁区进行扫测,能够快速获取海底地形地貌信息,比传统方法准确度高、效率高、成本低。研究区内投石散布于海底,坡度、曲率、粗糙度、地形耐用指数以及地形起伏度的高值区均出现在礁石分布区域,能够将礁石从平坦海底区分开来。由于自身重力及水动力作用,礁石发生沉降现象,其周围出现局部冲淤地形。借助理信息系统地形分析模块及BTM工具提取鱼礁区地形变量,可以定量分析投石后引起的海底地形变化特征,为人工鱼礁建设评估工作提供了一种新的技术手段。高精度的多波束数据处理可实现鱼礁区微地形的精细测量,对于其他水下目标(如沉船、海草、珊瑚等)的研究具有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 杨红生. 我国海洋牧场建设回顾与展望[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1133-1140.
Yang Hongsheng. Construction of marine ranching in China: reviews and prospects [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1133-1140.
- [2] 赵中堂. 我国沿海海上人工鱼礁参礁的现状及其管理问题[J]. 海洋通报, 1995, 14(4): 79-84.
Zhao Zhongtang. Status and problems involved in management of artificial reefs for fishes and sea cucumbers off China coast [J]. Marine Science Bulletin, 1995, 14(4): 79-84.
- [3] Schygulla C, Peine F. Nienhagen Reef: Abiotic boundary conditions at a large brackish water artificial reef in the Baltic Sea[J]. Journal of Coastal Research, 2013, 29(2): 478-486.
- [4] Li D, Tang C, Xia C L, et al. Acoustic mapping and classification of benthic habitat using unsupervised learning in artificial reef water[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2017, 185: 11-21.
- [5] 沈蔚, 张守宇, 李勇攀, 等. C3D 测深侧扫声呐系统在人工鱼礁建设中的应用[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(3): 404-409.
Shen Wei, Zhang Shouyu, Li Yongpan, et al. The application of C3D bathymetry sides can sonar system in artificial reef construction[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(3): 404-409.
- [6] 唐秋华, 李杰, 周兴华, 等. 济州岛南部海域海底声呐图像分析与声学底质分类[J]. 海洋学报, 2014, 36(7): 133-141.
Tang Qihua, Li Jie, Zhou Xinghua, et al. Seabed sonar image analysis and acoustic seabed classification in the south of the Cheju Island[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(7): 133-141.
- [7] Connell S D, Glasby T M. Do urban structures influence local abundance and diversity of subtidal epibiota? A case study from Sydney Harbour, Australia[J]. Marine Environmental Research, 1999, 47(4): 373-387.
- [8] 李家彪. 多波束测深原理技术与方法[M]. 北京: 海洋出版社, 1999.
Li Jiabiao. Principle and Method of Multibeam Survey[M]. Beijing: China Ocean Press, 1999.
- [9] 刘经南, 赵建虎. 多波束测深系统的现状和发展趋势[J]. 海洋测绘, 2002, 22(5): 3-6.
Liu Jingnan, Zhao Jianhu. Present situation and development trend of multibeam sounding system[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2002, 22(5): 3-6.
- [10] 张海涛, 唐秋华, 周兴华, 等. 多波束测深系统换能器的安装校准分析[J]. 海洋通报, 2009, 28(1): 102-107.
Zhang Haitao, Tang Qihua, Zhou Xinghua, et al. Installation and calibration analysis of the multibeam eco-sounder transducer[J]. Marine Science Bulletin, 2009, 28(1): 102-107.
- [11] 宫士奇, 阎军, 马小川, 等. 湄洲湾北部海底地貌特征研究与分析[J]. 海洋科学, 2016, 40(8): 61-69.
Gong Shiqi, Yan Jun, Ma Xiaochuan, et al. Topographical and geomorphological features of seafloor in northern Meizhou Gulf [J]. Marine Sciences, 2016, 40(8): 61-69.
- [12] Brown C J, Sameoto J A, Smith S J. Multiple methods, maps, and management applications: Purpose made seafloor maps in support of ocean management [J]. Journal of Sea Research, 2012, 72: 1-13.
- [13] Wilson M F J, O'Connell B, Brown C, et al. Multiscale terrain analysis of multibeam bathymetry data for habitat mapping on the continental slope[J]. Marine Geodesy, 2007, 30(1-2): 3-35.
- [14] 王英, 李家彪, 韩喜球, 等. 地形坡度对多金属结核分布的控制作用[J]. 海洋学报, 2001, 23(1): 60-65.
Wang Ying, Li Jiabiao, Han Xiqiu, et al. The influence of terrain slope on the distribution of polymetallic nodules[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(1): 60-65.
- [15] 刘忠臣, 陈义兰, 丁继胜, 等. 东海海底地形分区特征和成因研究[J]. 海洋科学进展, 2003, 21(2): 160-173.
Liu Zhongchen, Chen Yilan, Ding Jisheng, et al. Study on zoned characteristics and formation cause of the East China Sea submarine topography[J]. Advances in Marine Science, 2003, 21(2): 160-173.
- [16] Huang Z, Siwabessy J, Nichol S L, et al. Predictive mapping of seabed substrata using high-resolution multibeam sonar data: A case study from a shelf with complex geomorphology[J]. Marine Geology, 2014, 357: 37-52.
- [17] Micallef A, Berndt C, Masson D G, et al. A technique for the morphological characterization of submarine landscapes as exemplified by debris flows of the Storgga Slide[J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2007, 112(F2).
- [18] Micallef A, Le Bas T P, Huvenne V A I, et al. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data [J]. Continental Shelf Research, 2012, 39: 14-26.
- [19] 肖荣, 杨红. 人工鱼礁建设对福建霞浦海域营养盐运输的影响[J]. 海洋科学, 2016, 40(2): 94-101.
Xiao Rong, Yang Hong. Influence of artificial reef construction on the transportation of nutrients in the offshore area of Xiapu, Fujian [J]. Marine Sciences, 2016, 40(2): 94-101.
- [20] 林军, 章守宇. 人工鱼礁物理稳定性及其生态效应的研究进展[J]. 海洋渔业, 2006, 28(3): 257-262.
Lin Jun, Zhang Shouyu. Research advances on physical

- stability and ecological effects of artificial reef [J]. *Marine Fisheries*, 2006, 28(3): 257-262.
- [21] 陈勇, 于长清, 张国胜, 等. 人工鱼礁的环境功能与集鱼效果[J]. *大连水产学院学报*, 2002, 17(1): 64-69.
Chen Yong, Yu Changqing, Zhang Guosheng, et al. The environmental function and fish gather effect of artificial reefs [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2002, 17(1): 64-69.
- [22] 刘惠飞. 日本人工鱼礁建设的现状[J]. *现代渔业信息*, 2001, 16(12): 15-17.
- Liu Huiwei. The status of construction of artificial fish reef in Japan [J]. *Modern Fisheries Information*, 16(12): 15-17.
- [23] 赵海涛, 张亦飞, 郝春玲, 等. 人工鱼礁的投放区选址和礁体设计[J]. *海洋学研究*, 2006, 24(0): 69-76.
Zhao Haitao, Zhang Yifei, Hao Chunling, et al. Sitting and designing of artificial reefs [J]. *Journal of Marine Sciences*, 2006, 24(0): 69-76.

Terrain character analysis of artificial reefs area based on multibeam echo sounder

LI Dong^{1, 2}, TANG Cheng¹, ZOU Tao¹, LIU Bin^{1, 2}, HOU Chao-wei¹, ZHANG Hua¹

(1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Dec., 26, 2016

Key words: artificial reef; multibeam sonar; terrain character; monitor

Abstract: Artificial reef (AR) construction is an important measure to restore coastal fishery resources and improve ecological environment of the coastal waters. Large-scale ARs have been built in selected areas near the coastline in our country. However, few studies have examined ARs status after deployment. Traditional survey methods have low efficiency and high cost. The multibeam echo sounder system (MBES) can provide an effective means to detect ARs topography. In this paper, we used MBES to obtain detailed bathymetric data of ARs to identify their location, form and other information. Then topographic variables such as slope, curvature, rugosity, terrain ruggedness index and topographic relief were extracted by using terrain analysis tool to examine the ARs topographic features. The results showed that the seabed terrain changed significantly (depth from 5 to 10 m) after ARs deployed and there were erosion (sinking depth about 0.45 m) and deposition appearance (the ARs height 1.65 m and influence sphere about 5 m) around ARs. It is possible to provide a new technique to analyze the micro topography changes caused by ARs and this could contribute to ARs examination and assessment work which has a strong practical significance.

(本文编辑: 梁德海)