基于无人测量船的人工鱼礁 投放空方量测量与评估

赵晓龙1,夏 涛1,张秋艳2

(1. 自然资源部 第一海洋研究所,山东 青岛 266061; 2. 青岛福创环境科技有限公司,山东 青岛 266000)

摘 要:人工鱼礁及其投放量是国家级海洋牧场示范区建设和考核重要指标。针对近海海洋牧场人工鱼礁投放空 方量监测与评估需求,基于自主研发的"OPENUSV"号无人测量船平台,集成多波束测深系统、侧扫声呐探测系统 和导航定位系统等海洋调查测量设备,实现远距离自动巡航测量。经对多波束测深系统获取的海底地形测量数据 和侧扫声呐系统探测的海底地貌探测数据解译处理,圈划出目标海域内75块人工鱼礁重点分布区,累计获得人工 鱼礁礁体投放总体积为51667.3 m³,实现了目标海域人工鱼礁投放空方量科学快速核算与评估,取得了理想试验 效果,为国家海洋牧场建设及其运营、投资评估管理等工作开拓了一个新的技术服务手段和管理视角。

关键词:无人船;人工鱼礁;海洋牧场;海洋测量;空方量

中图分类号:P229.1;S953.1 文献标识码:A 文章编号:1002-3682(2020)03-0196-08 doi:10.3969/j.issn.1002-3682.2020.03.005

引用格式:ZHAO X L, XIA T, ZHANG Q Y. Surveying and evaluation of earthwork volume of artificial reefs using unmanned surface vehicle[J]. Coastal Engineering, 2020, 39(3): 196-203. 赵晓龙,夏涛,张秋艳. 基于无人测量船的人工鱼礁投放空方量测量与评估[J]. 海岸工程, 2020, 39(3): 196-203.

人工鱼礁作为放置在特定海域海底的人工构筑物^[1],通过对海域环境实施调控与改造以及对生境的修 复与改善^[2],来实现改善海域生态环境、营造海洋生物的良好栖息环境^[3]、恢复海洋生态系统等重要功能^[4], 是资源养护型海洋牧场建设的核心^[5]。为进一步规范海洋牧场建设,更好地发挥其环境保护、资源养护、游 钓渔业和景观生态建设于一体的新业态功能^[6],自 2015 年启动国家级海洋牧场示范区创建工作以来,农业 农村部就对申请国家级示范区的海洋牧场的宗海面积、人工鱼礁投放量和分布区等提出了明确要求^[7],并对 工作基础较好的海洋牧场给予中央财政专项支持。因此,欲申报国家级海洋牧场示范区的海洋牧场,需对所 投放的人工鱼礁分布区及其投放空方量进行探测、核算与评估。

无人船作为一种新型的水上环境测量监测平台^[8],可搭载多种测量传感器,以遥控或自主航行等工作方式,在走航中进行连续性海洋监测调查,具有布放灵活、成本经济、搭载方便、技术先进、安全性高等特点,可应用于湖泊、近岸浅海和海岛周边等复杂区域的多要素同步测量^[9],在水域环境测量与监测中具有明显技术优势^[10],应用前景广泛^[8,11-12]。

本文根据国家级海洋牧场示范区建设与管理的实际需求,系统介绍基于自主研发的"OPENUSV"号无 人船测量实施的人工鱼礁投放区调查及其投放量核算。该无人船平台搭载多波束测深系统、侧扫声呐系统 和导航定位系统等多种探测传感器,开展目标海域自动巡航监测调查试验,实施海域水下地形、地貌等外业 测量。同时,利用 ArcGIS 10.0 软件空间分析功能,对所获数据进行分析、解译与判读,实现目标海域人工鱼 礁礁体投放空方量的快速探测、测量、核算与评估。以期通过该试验证明无人测量船平台系统在海洋牧场环

(王 燕 编辑)

收稿日期:2020-04-30

资助项目:国家海洋局海域管理技术重点实验室开放基金项目——我国现有涉海保护地网络体系及管理政策研究(201404);国家重点研发计划项目——"生态环境损害鉴定评估业务化技术研究"子课题"生态环境损害鉴定评估平台构建及应用示范" (2016YFC0503607)

作者简介:赵晓龙(1980-),男,工程师,硕士,主要从事海洋测绘方面研究. E-mail: zhaoxiaolong@fio.org.cn

境调查与监测中应用的可行性,为海洋牧场规范化建设提供一种安全、便捷和经济的监测评估技术方案。

1 系统配置与工作原理

基于国家级海洋牧场建设与管理需求,采用自主研发的"OPENUSV"号无人船测量平台系统,搭载多种 海洋调查与探测仪器传感器,开展目标海域水下地形测量与海底地貌探测,利用 ArcGIS 10.0 软件平台的空 间分析功能,科学评估目标海域内人工鱼礁投放空方量。

1.1 无人测量船平台系统配置

"OPENUSV"号无人测量船平台,可分为岸基控制单元 和无人船测量单元两部分^[13](图1)。岸基控制单元主要包 括岸基天线、操控系统和验潮单元等。通过无线电信号与海 上的无人船测量平台建立信息通讯,验潮单元完成海洋潮位 变化的同步测量,用于水深测量数据的水位改正^[14]。无人 船测量单元又可分为数据采集系统和无人船系统两部分。 数据采集系统是无人测量船平台的核心单元,主要由导航定 位系统、多波束测深系统和海底侧扫声呐探测系统等数据采 集系统构成,通过船上的通信系统将数据传输到岸基控制单 元。无人船系统主要包括船舶控制系统、船体和动力系统等 部分。船舶控制系统主要包括通信系统、控制系统等系统, 通信系统是实现无人船与陆基控制单元相互通信的重要部



图 1 无人船测量平台 Fig.1 The unmanned surface vehicle platform

分,通过实施射频点对点的通信方式,将无人船的工作状态、航行姿态和任务状态以及测量数据等信息传输 到岸基控制单元;控制系统主要控制无人船的工作状态与质量,通过岸基控制单元与无人船进行无线通 信^[15]。无人船船体采用双体浮筒结构,配备自主研发的无刷电动推进器等动力系统,有力保障并提升了无 人测量船平台的操控安全性和适应性。

1.2 人工鱼礁投放空方量核算与评估原理

人工鱼礁投放空方量的核算与评估工作,关键在于精确获取海底地形起伏情况及海底地貌实体单元分 布等信息。通过对比人工鱼礁投放工作前后的海底地形和地貌等特征变化,准确解算出人工鱼礁投放空方 量。在外业实施过程中,利用无人测量船平台上搭载的 GNSS RTK 定位系统来保证无人船探测的精确定 位,运用搭载的高精度多波束测深系统实现目标海域海底地形的全覆盖测量,利用海底侧扫声呐探测系统探 测海底地貌实体单元及其分布特征。在此基础上,综合解译多波束测深和海底侧扫声呐探测实测数据,基于 ArcGIS 10.0 软件平台,运用其空间分析等分析功能,构建目标海域海底数字模型 DEM^[16];在侧扫声呐探测 系统对海底典型地貌实体单元辨识的配合下,圈划出人工鱼礁等典型海底地貌实体及其分布区,利用挖空方 等空间分析方法计算人工鱼礁体积^[17],最终获得目标海域内所有已识别出的人工鱼礁总投放空方量(图 2)。





2 人工鱼礁投放空方量核算与评估

为检验无人测量船平台实施人工鱼礁投放空方量核算与评估技术的可行性,基于自主研发的 "OPENUSV"号无人测量船平台,搭载多波束测深系统、侧扫声呐探测系统、惯性导航系统和GNSS RTK 定 位系统等探测传感器,实施某海洋牧场的实地海域测量。

2.1 测区概况

选取北黄海区某海洋牧场作为试验海域,其宗海面积为77 hm²(图 3),其中人工鱼礁重点投放区有 A, B,C和D四个区块,总面积8.3 hm²,海底底质类型以泥沙质类型为主,海底地形较为平坦。根据国家主管 机关批复的海洋牧场建设方案,该海洋牧场设计的人工鱼礁投放量为 5.75 万空方(m³),所选用的人工鱼礁 礁体类型有花岗岩开山石石块礁、钢筋混凝土预制构件方形礁和混凝土预制构件管状礁三种礁体类型區(图 4)。其中花岗岩开山石石块礁选取重量 W≥100 kg 的大型石块,钢筋混凝土预制构件方形礁礁体尺寸为 100 cm(长)×100 cm(宽)×100 cm(高),混凝土预制构件管状礁礁体尺寸为 50 cm(直径)×100 cm(长)。 本文无人测量船测试实验重点对 A,B,C 和 D 四个人工鱼礁重点投放区实施监测调查与评估。



图 3 人工鱼礁重点投放区分布 Fig.3 The distribution of the key areas of the artificial reefs



(b)方形礁 图 4 投放礁体类型 Fig.4 Types of the released artificial reefs

(c)管状礁

2.2 数据采集

海上试验采集数据主要包括导航定位信息、多波束水深地形数据、侧扫声呐海底地貌探测数据以及测区内的潮位数据等。"OPENUSV"号无人船实施数据采集过程中,利用搭载的海卓 MS400 多波束测深系统探测目标海域海底地形起伏情况,利用船载 MRU 状态改正系统实时对多波束测深系统进行船舶姿态等数据修正,采用中海达 A12 GNSS RTK 定位系统提供测量定位信息,采用搭载的 Shark-S450U 侧扫声呐探测系统采集海底地貌特征信息,利用海鹰 HY1300 潮位仪进行同步水位观测,以支撑后续对多波束测深数据等进行水位改正处理。

2.2 数据处理与分析

2.2.1 多波束测深数据处理与海底地形特征

目前海底地形地貌特征信息主要采用单波束、多波束水深测量或侧扫声呐等精密海洋探测设备获取^[18],是海洋资源开发利用和海洋工程的基础^[19],也是人工鱼礁投放空方量核算与评估的基础。多波束测 深技术可以获得高精度和高密度的水下地形点云数据^[20],精确地反映海底地形的细节特征。本文中多波束 水深数据采用 CARIS HIPS 7.1 软件进行后处理分析解译,获取目标海域海底地形起伏及投放人工鱼礁分 布的面域特征(图 5)。数据处理结果显示,4 片目标海域水深(Z)为 4.5~15.0 m,海底密集可见人工鱼礁礁 体等凸起海底地貌实体片状分布,礁体高度差异明显,其中 A 海区水深为 7.2~15.0 m,礁体高度为 0.9~7.7 m;B 海区水深为 4.8~13.9 m,礁体高度为 1.5~7.6 m;C 海区水深为 5.4~14.7 m,礁体高度为 0.9~9.3 m; D 海区水深为 6.2~13.8 m,礁体高度为 1.3~7.2 m。



图 5 人工鱼礁投放区水深图 Fig.5 Bathymetric maps of the artificial reef areas

2.2.2 侧扫声呐探测数据处理与人工鱼礁辨识

侧扫声呐探测系统作为一种高分辨率海底地貌探测设备,已被广泛用于水下目标探测与识别工作[21]。

虽然多波束测量系统可获取定位精度较高的水深地形及地貌信息,但相对于侧扫声呐探测系统,多波束测深 系统获取的地貌图像分辨率较低^[22],而侧扫声呐探测系统虽能获取高分辨率的海底地貌单元属性信息^[23], 但位置精度较差。因此,采用多波束测深系统与侧扫声呐探测系统联合作业,可有效提高海底人工鱼礁等特 征地貌实体单元的测量准确度^[24]和礁体投放空方量的核算精度。

在对多波束水深地形起伏特征解译的基础上,本文对侧扫声呐探测系统获取的海底地貌实体单元进行 辨析分析(图 6),获取目标海域海底地貌实体分布区及其分布面积等特征。通过对比所投放人工鱼礁礁体 类型(图 4),在4片目标海域内辨析、圈划出75块人工鱼礁投放分布区(图 7),总面积为45274.4 m²(表 1), 平均每片海区人工鱼礁投放区面积为11318.6 m²,其中A海区海底有17块人工鱼礁分布区(A01~A17)、 平均面积为765.5 m²/块;B海区海底分布有20块人工鱼礁分布区(B01~B20)、平均面积为521.9 m²/块; C海区海底分布有18块人工鱼礁分布区(C01~C18)、平均面积为590.6 m²/块;D海区海底分布有20块人 工鱼礁分布区(D01~D20)、平均面积为559.5 m²/块。



图 6 方形礁侧扫声呐图像 Fig.6 SSS images of the square artificial reefs





图 7 人工鱼礁投放区分布 Fig.7 Distributions of the released artificial reefs

2.2.3 人工鱼礁投放空方量核算与评估

在进行人工鱼礁投放空方量计算时,选取人工鱼礁分布区的投影区边界水深作为礁体理论海底底界面, 构建人工鱼礁投放分布区的理论海底 DEM,对比多波束测深离散数据点构建的实测海底 DEM^[25],形成多 个人工鱼礁不规则棱柱体,运用 ArcGIS 10.0 软件挖空方等三维空间分析功能^[26],计算获取人工鱼礁投放 礁体的空方量。

经统计,4 片重点投放区内人工鱼礁总投放空方量为 51 667.3 m³(表 1),平均每片海区人工鱼礁投放空方量为 12 916.9 m³,其中 A 海区总投放的人工鱼礁有 14 474.4 m³,其最小区块体积仅为 6.8 m³,最大区块体积为 5 946.8 m³;B海区总投放的人工鱼礁有 12 834.7 m³,其最小区块体积为 216.6 m³,最大区块体积为 2 486.5 m³; C 海区总投放的人工鱼礁有 12 599.8 m³,其最小区块体积为 12.1 m³,最大区块体积为 4 302.3 m³;D 海区 总投放的人工鱼礁有 11 759.3 m³,其最小区块体积为 71.7 m³,最大区块体积为 1 785.9 m³。

目标海区	区块数/块	最小面积/m ²	最大面积/m ²	平均面积/m ²	总面积/m ²	最小体积/m ³	最大体积/m ³	总体积/m ³
Α区	17	22.6	5 023.2	765.5	13 013.8	6.8	5 946.8	14 474.0
Β区	20	155.2	1 529.9	521.9	10 438.0	216.6	2 486.5	12 834.7
С区	18	38.7	2 164.4	590.6	10 631.7	12.1	4 302.3	12 599.8
D区	20	109.2	1 611.6	559.5	11 190.9	71.7	1 785.9	11 759.3

表 1 人工鱼礁分布面积与空方量核算 Table 1 Statistics of the distribution area and earthwork volume of the released artificial reefs

此外,由于海底底质类型的不同,海底土体承载力也会不同,会造成其上覆构筑物在自身重力或水动力 等作用下,出现不同程度的沉降等现象^[27]。本试验研究海域的底质类型主要为泥沙质类型,所投放的石块 礁、管状礁和方形礁人工鱼礁礁体,会在投放过程中和投放后一定时期内出现不同程度的沉降,造成人工鱼 礁测量评估量与实际投放量的差异。因此,为提高人工鱼礁投放空方量核算准确度,既要考虑选用适宜测量 精度和覆盖范围的调查仪器设备,还建议在测量和评估时,要配合海底底质类型调查和土体承载力评估等工 作,对人工鱼礁的沉降或覆盖范围有一定的核算考虑,以便更客观地反映人工鱼礁实际投放空方量,更科学 地核算评估其相关投资。

3 结 语

基于国家级海洋牧场示范区建设实际需求,本文采用"OPENUSV"号无人测量船平台,搭载多波束测深 系统、侧扫声呐探测系统及导航定位系统等探测传感器,对目标海域内人工鱼礁投放区进行地形测量与地貌 探测等,利用 ArcGIS 10.0 软件空间分析功能,实现人工鱼礁投放空方量的系统测量、核算与评估,取得了理 想效果。本文研究结果充分说明无人测量船具有经济运行成本低、可操作性高和搭载探测设备灵活等优点, 可应用于近岸、岛礁周边等复杂海域^[7-8],在海洋牧场运行环境监测、人工鱼礁投放空方量评估与监测等领域 具有很强的技术推广价值,为海洋牧场建设及其运营、投资评估管理等开拓了一个新的技术服务手段和管理 视角,市场应用前景广泛。

参考文献(References):

- [1] SEAMAN W Jr., JENSEN A C. Purposes and practices of artificial reef evaluation [M] // SEAMAN W. Artificial reef evaluation with application to natural marine habits. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2000: 1-19.
- [2] CHEN L Q, ZHANG Z H, WANG Z L. A model for marine fishery resources sustainable utilization: marine ranching[J]. Coastal Engi-

neering, 2006, 25(4): 71-76. 陈力群, 张朝晖, 王宗灵. 海洋渔业资源可持续利用的一种模式: 海洋牧场[J]. 海岸工程, 2006, 25(4): 71-76.

- [3] XIA Z Y. Artificial reef engineering[M]. Beijing: China Ocean Press, 2011: 5-18. 夏章英. 人工鱼礁工程学[M]. 北京:海洋出版社, 2011: 5-18.
- [4] WANG F X, ZHANG S. Introduction to marine ranching [M]. Beijing: Science Press, 2018: 20-25. 王凤霞, 张珊. 海洋牧场概论 [M]. 北京: 科学出版社, 2018: 20-25.
- [5] BAINE M. Artificial reef: a review of their design, application, management and performance[J]. Ocean and Coastal Management, 2001, 44(3/4): 241-259.
- [6] YANG H S. The construction principle and practice of marine ranching[M]. Beijing: Science Press, 2018: 1-11. 杨红生. 海洋牧场构建原 理与实践[M]. 北京:科学出版社, 2018: 1-11.
- [7] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Specification for the management of national marine ranching demonstration zone[EB/OL]. (2019-09-04)[2020-04-26]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2019/201909/202001/t20200109_6334619. htm. 农业农村部.农业农村部办公厅关于印发《国家级海洋牧场示范区管理工作规范》的通知[EB/OL]. (2019-09-04)[2020-04-26]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2019/201909/202001/t20200109_6334619.htm.
- [8] CHANG J Q, PU J J, ZHUANG Z Y, et al. Application analysis of unmanned vehicle in the field of marine survey[J]. Ship Engineering, 2019, 41(1): 6-10, 78. 常继强, 蒲进菁, 庄振业, 等. 无人船在海洋调查领域的应用分析[J]. 船舶工程, 2019, 41(1): 6-10, 78.
- [9] JIN J C, ZHANG J, SHAO F, et al. An unmanned surface vehicle for ocean environment monitoring and its oceanic application[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(3): 87-92. 金久才,张杰,邵峰,等. 一种海洋环境监测无人船系统及其海洋应用[J]. 海岸工程, 2015, 34(3): 87-92.
- [10] LIU D Q, LUAN X N, YE W Q, et al. Control system design and realization for USV-LIF detection system[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(4): 144-148. 刘德庆, 栾晓宁, 叶旺全, 等. USV-LIF 遥测系统的控制系统设计与实现[J]. 中国海洋大 学学报(自然科学版), 2019, 49(4): 144-148.
- [11] JIN J C, CUI W L, ZHANG J, et al. Water sampling from reservoirs in offshore districts using an unmanned surface vehicle: an application for the Ji-hong-tan reservoir[J]. Marine Science, 2018, 42(1): 11-14. 金久才,崔文连,张杰,等. 无人船系统应用于水库水样离岸 采集: 以棘洪滩水库为例[J]. 海洋科学, 2018, 42(1): 11-14.
- [12] NAEEM W, XU T, SUTTON R, et al. The design of a navigation, guidance, and control system for an unmanned surface vehicle for environmental monitoring[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 2008, 222(2): 67-79.
- [13] ZHAO X Q. Development and application of unmanned underwater landform surveying vessel system[J]. Yangtze River, 2018, 49(15): 54-57. 赵薛强. 无人船水下地形测量系统的开发与应用[J]. 人民长江, 2018, 49(15): 54-57.
- [14] ZHAO X L, SUN Y F. Combined RTK and sounding technology and its application to the offshore engineering investigation[J]. Coastal Engineering, 2007, 26(3): 47-54. 赵晓龙, 孙永福. RTK 与测深联合技术及其在近海工程勘查中的应用[J]. 海岸工程, 2007, 26(3): 47-54.
- [15] JI X F. Fusion of unmanned boat and network RTK technology for the measurement of earthwork volume in open pit[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2019(7): 151-155. 吉绪发. 结合无人船与网络 RTK 技术测量露天矿坑土方量[J]. 测绘通报, 2019(7): 151-155.
- [16] LI B, ZHANG C C, CHEN Y C. Research on underwater terrain construction method in coal mining subsidence area based on intelligent unmanned ship technology and GIS[J]. China Coal, 2020, 46(1): 28-35. 李兵,张传才,陈永春. 基于智能无人船技术与 GIS 的采煤沉 陷区水下地形构建方法研究[J]. 中国煤炭, 2020, 46(1): 28-35.
- [17] CHEN A M, WU H, WU B P, et al. Comparative study and application of four kinds of earthwork calculation methods[J]. Beijing Surveying and Mapping, 2015(1): 104-108. 陈爱梅, 吴昊, 吴北平, 等. 四种土方量计算方法的对比研究与应用[J]. 北京测绘, 2015(1): 104-108.
- [18] ZHAO J H, SHANG X D, ZHANG H M. Obtaining high-resolution seafloor topography from side scan sonar image using a linear algorithm[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2017, 49(5): 80-86. 赵建虎,尚晓东,张红梅. 侧扫声呐图像反演海底地形的一 种线性算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(5): 80-86.
- [19] WU Z Y, ZHENG Y L, CHU F Y, et al. Research status and prospect of sonar-detecting techniques near submarine[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(11): 1210-1217. 吴自银,郑玉龙,初凤友,等. 海底浅表层信息声探测技术研究现状及发展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1210-1217.
- [20] WANG N, XU Y C, TAO C F. Research on 3D visualization of multi-beam seabed terrain[J]. Coastal Engineering, 2019, 38(3): 203-209. 王楠, 徐永臣, 陶常飞. 多波束海底地形三维虚拟仿真研究[J]. 海岸工程, 2019, 38(3): 203-209.
- [21] WANG X, WANG A X, JIANG T C, et al. Review of application areas for side scan sonar image[J]. Bulletin of Surveying and Map-

ping, 2019(1):1-4. 王晓, 王爱学, 蒋廷臣, 等. 侧扫声呐图像应用领域综述[J]. 测绘通报, 2019(1):1-4.

- [22] YAN J. Acquisition and superposition of the high-quality measurement information of multibeam echo sonar and side scan sonar[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinia, 2019, 48(3): 400. 严俊. 多波束与侧扫声呐高质量测量信息获取与叠加[J]. 测绘学报, 2019, 48 (3): 400.
- [23] TAO C F, XU Y C, ZHOU X H, et al. The impacts of complex terrain to the side scan sonar detection: the example of the submarine pipeline inspection[J]. Periodical of Ocean University of China, 2019, 49(5): 71-77. 陶常飞, 徐永臣, 周兴华, 等. 起伏地形条件下侧 扫声呐探测存在的问题及改进方法:以海底管道检测为例[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2019, 49(5): 71-77.
- [24] ZHAOJH, WANGAX, GUOJ. Study on fusion method of the block image of MBS and SSS[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2013, 38(3): 287-290. 赵建虎, 王爱学, 郭军. 多波束与侧扫声呐图像区块信息融合方法研究[J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2013, 38(3): 287-290.
- [25] CHENZC, WUXN, ZHUJW, et al. Research and application of the excavation and backfilling earthwork calculation at land development and consolidation based on ArcGIS[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015, 28(2): 63-65. 陈朝霞, 吴向南, 朱记伟, 等. 基于 ArcGIS 的土方开发整理挖填土方量计算研究及应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(2): 63-65.
- [26] XU G Q, DU J, TIAN Z W, et al. High precision measurement technology for the volume of submarine irregular accumulations in coastal waters and its application[J]. Coastal Engineering, 2017, 36(4): 30-36. 徐国强, 杜军, 田梓文, 等. 近海海底不规则堆积体体 积高精度量算技术与应用[J]. 海岸工程, 2017, 36(4): 30-36.
- [27] SONG Y P, SUN Y F, LIU W H. Analysis of factors affecting submarine pipeline stability[J]. Coastal Engineering, 2003, 22(2): 78-84. 宋玉鹏, 孙永福, 刘伟华. 海底管线稳定性影响因素分析[J]. 海岸工程, 2003, 22(2): 78-84.

Surveying and Evaluation of Earthwork Volume of Artificial Reefs Using Unmanned Surface Vehicle

ZHAO Xiao-long¹, XIA Tao¹, ZHANG Qiu-yan²
(1. First Institute of Oceanography, MNR, Qingdao 266061, China;
2. Qingdao Fuchuang Environmental Technology Co. Ltd, Qingdao 266071, China)

Abstract: Artificial reefs and their earthwork volume are important indicators for construction and assessment of national marine ranching demonstration zone. For the demands of monitoring and evaluating the earthwork volume of artificial reefs in the offshore marine ranches, a self-developed unmanned surface vehicle platform OPENUSV, which is integrated by marine survey instruments such as multi-beam sounding system (MBS), side scan sonar system (SSS), navigation and positioning system (NPS) and other marine surveying sensors, is applied to realize the remote automatic cruise surveys. Through the processing of the seafloor topographic data acquired by MBS and the seafloor geomorphic data obtained by SSS, 75 blocks of key distribution areas of the artificial reefs are identified in the target sea area and a total volume of 51 667.3 m³ of artificial reefs is obtained cumulatively, thus realizing scientific and rapid accounting and assessment of artificial reef volume in the target sea area and achieving the ideal experimental results. This study may open up a new window of technical service and a new management prospective for the construction, operation and investment assessment of the national marine ranches.

Key words: unmanned surface vehicle; artificial reef; marine ranch; marine survey; earthwork volume Received: April 30, 2020