ISSN 1009-2722
CN37-1475/P
海洋地质前沿
Marine Geology Frontiers
第 36 卷第 3 期
Vol 36 No 3

方中华,褚宏宪,冯　京,等. 无人船艇在海洋地质调查中的应用及展望[J].海洋地质前沿,2020,36(3):72-77.

无人船艇在海洋地质调查中的应用及展望

方中华[1,2],褚宏宪[1,2*],冯　京[1,2],杨　源[1,2]
(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所,青岛 266071;
2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室,青岛 266071)

摘　要:近年来,在海洋地质调查中无人船艇的应用受到越来越多的关注。笔者对无人船艇的基本概念、国内外发展现状、在海洋地质调查中的应用情况等进行了阐述,并分析了无人船艇在海洋地质调查的应用前景和发展趋势。无人船艇搭载地质调查作业系统作为一种新的调查技术和作业方法,已经在海洋地质调查中崭露头角,未来这种智能化的水上作业模式必将有更加广阔的应用前景。

关键词:无人船艇;地质调查;现状;展望
中图分类号:P736;P715　　**文献标识码**:A　　**DOI**:10.16028/j.1009-2722.2019.138

0　引言

21 世纪是海洋的世纪,海洋地质调查的开展能够加深我们对海洋的认识,其成果可作为保护海洋,经略海洋的重要抓手。但海上作业的环境历来艰辛异常,在波涛汹涌的海上作业,对地质调查人员和船员的环境适应性、抗疲劳强度、心理自我调节等各方面能力提出近乎苛刻的要求;再者,有些海域环境复杂,工况恶劣,作业风险高,往往是大船进不去,小艇风险大,海洋地质调查活动难以有效开展;此外,在远海大洋开展地质调查工作,应一个航次尽可能多的完成任务,减少作业航次,提高作业时效,因为在往返、避风、补给等环节消耗的时间非常可观。把无人船艇应用于海洋地质调查中可有效地减少人工作业量和降低作业危险性,提高效率的同时保障了安全。因此,无人船艇在海洋地质调查中的应用需求十分强烈,具有广阔的应用前景[1]。无人船艇技术的一次次创新与发展,伴随着海洋地质调查新型技术方法和作业手段的创新与发展,是人类向未来海洋调查和海洋探索的致敬。

1　无人船艇在国内外的发展现状

无人船艇(Unmanned Surface Vessel,USV)的雏形最早出现于 19 世纪末。当时著名的塞尔维亚裔美籍科学家尼古拉·特拉斯(Nikola Tesla,1856—1943)发明了一个名为“无线机器人”的遥控艇[2]。无人船艇最先在军事领域得到应用。最初的用途是扫除海岸带附近的水雷和障碍物,船艇的外形像鱼雷。在诺曼底登陆战役期间,为减少人员伤亡,达到战略欺骗和作战掩护的目的,曾设计出一种可按预定航向自动驶往目的海域的无人艇。这些早期的无人船艇自主活动能力非常有限,受控于电缆长度或母船发送无线电导航信号的有效范围[3]。

进入 21 世纪后,无人船艇技术迎来了高速发展期,制约无人船艇发展的诸多技术瓶颈都在一定程度上得以破除,无人船艇变得更智能、动力更稳定、远程操控更可靠。现在,在军事和民用领域等各种各样的需求下,不同功能的无人船艇犹如

收稿日期:2019-05-28
资助项目:中国地质调查局项目(DD20191003,DD20191032)
作者简介:方中华(1982—),男,硕士,高级工程师,主要从事海洋地球物理调查与研究工作.E-mail:fzhouc@sina.com
* **通讯作者**:褚宏宪(1973—),男,硕士,教授级高级工程师,主要从事海洋地球物理调查与研究方面的工作.E-mail:chx-8@163.com

雨后春笋般地涌现出来，一些产品还在不断的迭代更新，较好的满足了军事和民用领域的需要[4]。

目前，多个国家都开展了无人船艇技术的相关研究，其中美国和以色列在无人船艇研究和应用方面走在世界前列[5]。然而对中国，国外采取了严密的技术封锁政策，因此中国的无人船艇行业只能走完全自主研发之路，依靠自身积累，一点点摸索和尝试，砥砺前行。

1.1　国外无人船艇发展现状

纵观国际上关于无人船艇方面的研究，军用无人船艇在其中起到了至关重要的作用，引领着无人船艇发展。在军用无人船艇研究方面，美国、以色列、欧洲、日本等国家地区走在前列，开发出多种军用无人船艇，包括反潜无人艇、反雷无人艇、侦察无人艇、攻击无人艇、以及特种作战无人艇。例如，美国在美伊战争中开发出用于海上巡逻的“SPARTAN”无人船艇[6]；2008 年，以色列海军将艾尔比特公司研发的“银枪鱼”无人水面艇引入其水面作战系统[7]。2009 年，法国为提升反水雷作战能力，开展“旗鱼”无人艇研制项目；日本雅马哈公司开发了“UMV-H”军用高速无人船艇；这些无人船艇具有高速，机动性好，隐蔽性强的特点，可以用于侦查、水下通讯中继的辅助工具，也可以搭载武器使用。

与无人船艇在军事领域的蓬勃发展趋势一样，在民用领域无人船艇也得到了广泛的开发应用，特别是在海洋调查领域。不同之处在于军事领域往往研究的是高速无人船艇，而在民用领域为了降低高速带来的噪音干扰，为搭载设备提供足够反应时间，低速无人船艇更常见和实用。目前，已有多个国家开发出用于海洋调查的无人船艇[6]。例如，“SPRINGER”无人船艇，由英国普利茅斯大学开发，用于海洋环境监测[8]；“ROAZ”无人船艇，由法国波尔多工程研究所自主系统实验室开发，用于海岸带调查[9]；“SCOUT”无人船艇，由麻省理工开发，用于水声通讯中继任务[10]；“SESAMO”无人船艇，由意大利国家研究理事会智能系统自动化研究所开发，用于海表面水样采集[11]；“BATHYBOAT”无人船艇，由美国密歇根大学开发，用于水深测量[12]；“DELFIM”无人船艇，由葡萄牙动力系统和海洋机器人实验室开发，用于水下调查[13]。

1.2　国内无人船艇发展现状

2018 年，在珠海航展上由云洲联合西安现代控制技术研究所、华中光电技术研究所共同研制的“瞭望者Ⅱ”首次公开亮相，成为本届航展的亮点(图 1)。该无人艇最大航速 45 节，22 节标准续航 310 海里，可发射 4 枚精确导弹，最大射程 5 km，该艇在珠海航展前刚成功进行首发导弹试射并命中靶心。“瞭望者Ⅱ”无人艇不仅可以用于警戒巡逻，还可用于目标精确打击，是我国第一艘察打一体导弹无人艇，为我国军用无人船艇增加了一大攻防利器。

(引自 http://mil.news.sina.com.cn/jssd/2018-11-08/doc-ihmutuea8206257.shtml)

图 1　云洲“瞭望者Ⅱ”

Fig.1　Yunzhou “Wisher II”

2018 年的央视春晚，由无人船艇、无人车、无人机组成的“海陆空”展演中，珠江口海面上 80 艘小型无人艇，如离弦之箭般穿越港珠澳大桥，这是全球首次无人艇协同编队[14]。我国首艘 500 t 无人船研制启动，计划在 2018 年底下水，2019 年率先在全球范围内实现商业运营，为国内企业开启全球无人航运之门[15]。与国外相比，国内无人船艇行业在民用领域的技术发展和应用均达到了较高水平。

我国对无人船艇领域研发的重视，使得无人船艇时代正在加速到来。目前，有多家企业、高校、研究所参与到这项工作中来[16-17]，企业有：珠海云洲、北京海兰信、安徽科威智能、中海达、上海华测、南方测绘、广船国际、北京四方、武汉楚航等；高校有：上海大学、华南理工、海南大学、哈工程、武汉理工等；研究所有：中船重工 701、中船重工 707、中电

科、海洋一所、青岛海洋地质研究所等。

无人船艇凭借自主导航，定位精度高，跑线精确，可抵达危险区域，人员无需涉险，吃水浅，潮位窗口宽等技术优势，可有效满足我国海洋地质调查的迫切需求，并可解决传统调查所难以克服的多方面困难，已在海洋地质调查中崭露头角。在国内，最先将无人船艇应用于海洋调查的是 2008 年沈阳航天新光集团有限公司研发的一艘高速无人艇“天象一号”，旨在为奥帆赛提供气象保障（风速、风向、气温、湿度、水温测量），在青岛海域开展了相关海试[18-19]。

近年来，与需求相呼应的是，无人船艇在海洋地质调查中的应用研发也取得重大突破，不少产品被开发出来，并日趋完善。珠海云洲，通过发扬“大国工匠”精神，实现了从行业追随到行业引领的跨越。用于海洋地质调查的船艇能够做到远程控制和实时远程通信；拥有自主研发世界领先的自主航行控制及智能避障技术；采用独特的船体设计，打造极高稳性和耐波性，为声学设备提供良好的工作环境；模块化设计的声学设备湿端升降机构和全水密设备舱，使得设备维护及更换便捷。

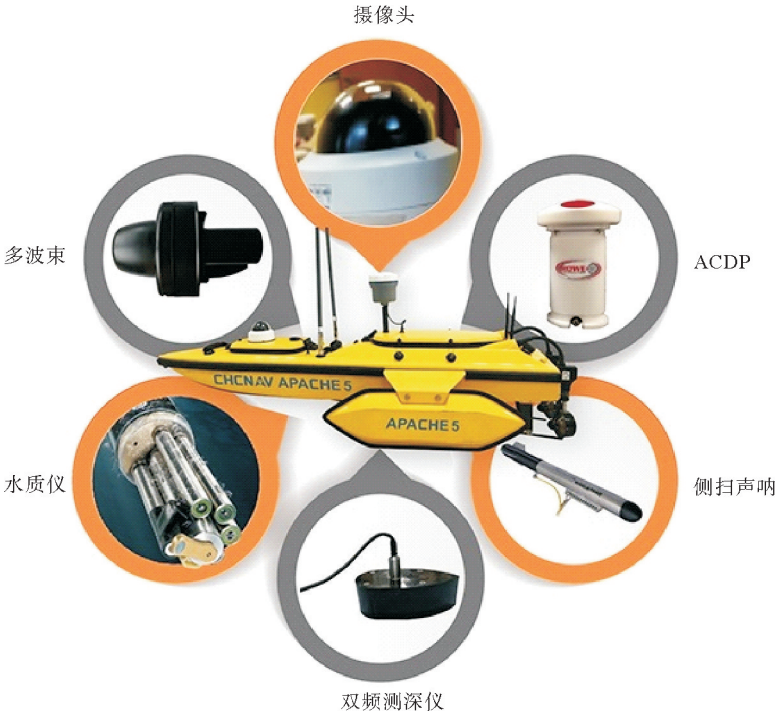
无人船艇发展正呈现出万箭齐发、百花争春之势。随着科技的快速发展和相关研究的推进，相信未来浩瀚无垠的海面上，无人船艇将可成为常态，它们将在岸上指挥者的操纵下，驶向彼岸。

2 无人船艇在海洋地质调查中的应用

虽然，近年来随着科学技术的发展，海洋调查的作业手段更丰富，仪器设备更精确智能，但是在海岸带、岛礁以及一些特殊的危险的海域，常规的调查船因吃水较深，机动性较差以及要保障船员和调查人员生命财产安全，这些区域的海洋调查工作一般难以开展，或者采集到的数据质量较差。无人船艇由于吃水浅，机动性好，智能化，作为一种新型调查平台，已经成功应用于海岸带调查、岛礁调查以及一些特殊海域小范围测绘和海洋应急测绘等方面。

2.1 海岸带调查

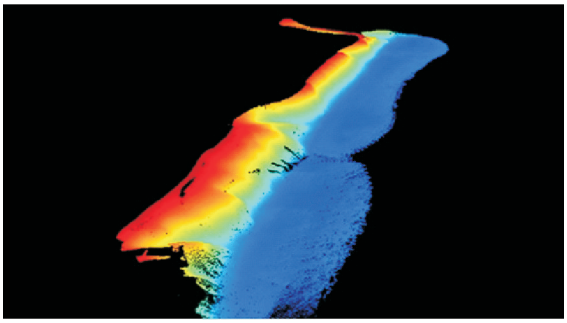
上海华测公司生产的华徽系列无人船艇最大的优点是船体小，重量轻，小巧灵活，可以搭载多种设备（图 2），非常适合养殖区密集、地形复杂的海岸带调查（图 3）。



（引自 http://www.huace.cn/about/zhuanti1/13）

图 2 华徽系列船体及设备

Fig.2 Hull and equipment of Huahui series



（引自 http://www.huace.cn/about/zhuanti1/13）

图 3　海岸带地形数据测量成果

Fig.3　Survey results of topography map in coastal zone

2.2　岛礁调查

上海大学研发的精海系列，有自主、遥控 2 种操作模式，船体吃水浅，抗浪能力强，可以自主避碰水面障碍物。主要用于岛礁和近海浅水域等测量母船不能到达的海域水下地形、地貌探测。“精海 3 号”智能无人艇携带了多波束测深系统、侧扫声呐、浅地层剖面仪、单波束测深仪、ADCP、CTD、水下摄像机等调查设备。广州海洋地质调查局与上海大学合作，首次利用无人艇在三亚湾东瑁洲岛的东部和北部复杂浅水区，共进行了 60 多条测线调查，获得大量地质调查数据和影像资料，调查效率显著提升。

2.3　特殊海域测绘

珠海云洲智能科技有限公司和国家海洋局南海调查技术中心联合研制的海洋智能无人艇 M80B，跟随雪龙号参与我国第 34 次南极科考，技术团队使用无人艇贴近南极冰缘作业。这次无人艇主要搭载多波束设备，在极端环境条件下完成了南极罗斯海西岸 5 km^2 海域全覆盖式的海底地形测量，获取了该区域近岸海底水深地形数据，为船舶航行和海洋站建设提供基础空间地理信息数据支撑。

2.4　海洋应急测绘

2015 年 8 月 12 日，位于天津市滨海新区天津港的瑞海公司危险品仓库发生火灾爆炸事故，造成重大人员伤亡和财产损失，对周围环境造成严重污染，“SS30”搭载水体取样器，实现多点、定点、定量全自动采样。在天津港周边海域，24 小时不间断采集水样，为环境应急处置提供了关键的技术支撑。

2018 年 1 月 14 日，装载着 11.13 万 t 凝析油的巴拿马籍油轮“桑吉轮”因撞船事故在东海沉没，“精海 3 号”搭载定位设备和多波束等仪器，准确获取了沉船位置信息、水深信息、以及沉船坐底姿态等信息，为后续救援打捞工作提供强有力的技术支持。

3　无人船艇在未来海洋地质调查中的应用展望

无人船艇现阶段可搭载多波束测深系统、侧扫声呐、浅地层剖面仪、单波束测深仪、ADCP、CTD、水下摄像机等调查设备，已满足海洋调查相当一部分的场景需求，但无人船艇在实际的海洋调查作业中，目前还仅是配角。未来无人船艇要在海洋地质调查中扮演更重要的角色，需要攻克关键的技术堡垒。

3.1　未来需要动力更持久，续航能力更强的无人船艇

目前，用于海洋地质调查中的无人船艇其续航力一般在几十海里至几百海里，其动力一般是电池提供，基本上能够满足海岸带调查的需要。但是，在远海和大洋，由于调查区域远离大陆，缺少支持，仅靠电池提供动力，其续航能力不可能满足实际海洋地质调查的需要。如果是在远洋进行走行式调查，大吨位、油电混合动力的船可能更符合实际工作的需要。如果是在远洋进行定点观测，可利用太阳能，风能，或者波浪能等再生能源为无人船艇提供自动归位的动力和并持续为观测设备提供电力。

3.2　未来无人船艇在海洋地质调查中的应用场景需要进一步拓展

目前，无人船艇在海洋调查中主要应用于海岸带调查，特别是近岸经济活动密集海域，多用于开发的前期调查和后期监测。在远海礁盘浅水区，偶尔也会替代工作艇进行扫海作业。此外，在危险海域，无需人员涉险，无人船艇也承担了一部

分工作。未来无人船艇要想在海洋地质调查中扮演更重要的角色,其应用场景需进一步拓展。不能只停留在进行地形测量,重力、磁力、海流测量等常规的海洋地球物理调查方法都应该在无人船艇上得已实现,并且可以根据任务的需要进行不同的搭载。目前,无人船艇大多是单船进行作业,未来也可以向集群化发展,组成无人船艇海洋地质调查船队,和母船或者无人机进行协同作业,提高工作效率。

3.3 未来无人船艇在海洋地质调查中的应用推广力度需要强化,人才队伍需要培养

目前,无人船艇在海洋地质调查中没有得到广泛应用,一方面是因为无人船艇技术还不够完善,还需要不断的试错和迭代产品。另一方面,也与无人船艇作为新技术推广力度不够有关,很多潜在用户对无人船艇在海洋地质调查的应用情况和应用效果没有直观的感受。相比于技术的发展,人才队伍的培养同样重要。在发展无人船艇技术的同时,必须同步开展人才队伍的培养,特别是外业作业队伍的培养,让作业人员摸清无人船艇用在哪,怎么用,风险是什么,应注意什么等问题,逐步在应用过程中推进技术难点的攻克和实际应用的拓展。

4 结论

无人船艇以可控、可扩展、自动、无人工作等方面的技术优势,已经在海洋地质调查生产作业中得到部分应用,但是作为新事物,面临的挑战也足够多,如载体设计技术、电子技术、通信技术、控制技术及船体动力系统方面的技术需要在与现实的磨合过程中“小步快走”,不断迭代出一个可行的路径来,同时更多的水上作业场景亟待开发。虽然面临的挑战足够多,但是前景是光明的,国家高度重视无人船艇的研发工作,科研院所和企业以需求为牵引,正积极开展无人船艇各项关键技术的研究,不断推进无人船艇的实用化进程,无人船艇在海洋地质调查中大有作为的时代正在加速到来。

参考文献:

[1] 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.

[2] 张树凯,刘正江,张显库,等. 无人船艇的发展及展望[J].航海技术,2015,38(9) :29-36.

[3] 孟祥杜. 无人船路径规划算法研究[D].天津:天津理工大学,2017.

[4] 严汝建,庞 硕,孙寒冰,等. 水面无人船的发展与使命(英文)[J]. 船舶与海洋工程学报, 2010, (4):451-457.

[5] 王宗维. 无人艇体系结构及运动控制系统的研究[D]. 镇江:江苏科技大学,2013.

[6] 邵 峰. 双体双推进无人船路径跟踪控制研究[D]. 青岛:青岛大学,2015.

[7] 申云磊,高霄鹏. 无人艇的研究现状与进展[J].航海技术,2018,38(9):7-10.

[8] Naeem W, Sutton R, Chudley J. Modelling and control of an unmanned surface vehicleforenvironmental monitoring [C]// UKACC International Control Conference, August, Glasgow,Scotland,2006.

[9] Alves J, Oliveira P, Oliveira R, et al. Vehicle and mission control of the DELFIM autonomous surface craft[C]// 14th Mediterranean Conference on Control and Automation, Ancona(IT),2006.

[10] Curcio J, Leonard J, Patrikalakis A. SCOUT - a low cost autonomous surface platform for research in cooperative autonomy [C]// OCEANS 2005, MTS/IEEE Conference Proceedings, 2005, 1:725-729.

[11] Cruz N, Matos A, Cunha S, et al. Zarco-an autonomous craft for underwater surveys[C]// Proceedings of the 7th Geomatic Week, Barcelona, Spain, 2007.

[12] Caccia M, Bono R, BruzzoneG, et al. Design and preliminary sea trials of Sesamo: an autonomous surface vessel for the study and characterization of the air-sea interface [R]. Tech. Rep. Rob-SESAMO-03-01, CNR-IAN, 2003.

[13] Brown H, Meadows G, Jenkins L, et al. BathyBoat: autonomous surface command & control for underwater vehicle networks[R]. University of Michigan, Technology Report, 2010.

[14] 杨文英,周海锋. 无人船[J]. 船舶工程. 2019,41(1):N3.

[15] 苏绍娟, 韩 静, 王天霖. 船舶无人化对船舶设计的影响[J]. 船舶工程. 2018,40(增刊):346-351.

[16] 董 超, 刘 蔚, 李 雪, 等. 无人水面艇海洋调查国内应用进展与展望[J]. 导航与控制. 2019,18(1):1-9.

[17] 陆 凯,杨 源,张致力,等. 基于水面移动平台的深远海地磁日变观测系统研究[J]. 海洋地质前沿,2019,35(9):6-12.

[18] 刘文远. 航天新光无人船奉献科技奥运[J].航天工业管理, 2008(8): 46-47.

[19] 李家良. 水面无人艇发展与应用[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(6): 203-206.

APPLICATION AND PROSPECT OF UNMANNED SURFACE VEHICLE IN MARINE GEOLOGICAL SURVEY

FANG Zhonghua[1,2], CHU Hongxian[1,2*], FENG Jing[1,2], YANG Yuan[1,2]

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao 266071, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology(Qingdao), Qingdao 266071, China)

Abstract: In recent years, great attention has been paid to the application of USV to marine geological survey. In this paper, the basic concepts, development status at home and abroad, and application to marine geological survey of unmanned ship were summarized, and the application prospect and development trend of USV in marine geological survey were discussed. As a new survey vehicle and operation method, USV carrying geological survey operation system has emerged in marine geological survey. In the future, this intelligent water operation mode will have a broader application prospects.

Key words: unmanned surface vessel; geological survey; present situation; prospect