

自主潜航器海洋环境监测发展及运用

何希盈¹, 毛柳伟², 陈庆元¹, 张伟伟¹

1. 海军指挥学院, 南京 210016

2. 海军研究院, 北京 100161

摘要 自主潜航器(AUV)能对水下环境进行动态监测,是一种新型海洋环境监测平台。AUV用于海洋环境监测的有效载荷主要是为满足水下探测、测量和通信而配置的水声、电子和光学等设备。按功能任务划分,AUV的海洋环境监测载荷通常包括海洋探测设备、测量设备和通信设备等。介绍了国内外AUV装备研发情况及其海洋环境监测设备,梳理了AUV海洋环境监测运用现状,探讨了AUV海洋环境监测运用发展的方向。

关键词 自主潜航器;海洋环境监测;海洋探测

目前海洋监测的主要手段和方法有卫星遥感估算、雷达数值模拟,以及船舶、阿尔戈(ARGO)浮标、潜标、潜器、海床基和台站等自动监测系统的现场直接测量。遥感估算和数值模拟的海洋物理效应数据不仅需要现场测量数据的比对验证,而且有时与真实情况误差较大,因此现场直接测量方法越来越受到关注。进入21世纪,各沿海国家为了自身和共同的利益都在积极发展现代海洋监测技术,从空中、水面、水下对海洋环境进行立体监测^[1-2]。随着科技的进步,自主潜航器(AUV)逐渐在水下环境监测中得到应用。

1 AUV装备研发情况

AUV是一种不依赖母船供电、遥控或自主控制、能回收和反复使用、能长期在水下自推进航行或滑翔的无人潜器^[3]。与其他海基平台相比,AUV布放成本低,使用灵活,能够在一般船只不能到达的海洋环境中进

行采样(如飓风、台风和海冰下)。目前,用于海洋监测的AUV主要有2种,一种是利用螺旋桨等常规方式推进的AUV,另一种是利用海洋温差能或自带电能,通过改变浮力并按“锯齿状”机动的水下滑翔器(AUG)^[4]。

进入21世纪以来,已有10多个国家上千艘不同用途的AUV投入军用或民用领域。美国、英国、俄罗斯、法国、加拿大、德国、挪威等国家在AUV方面技术领先。其中,美国凭借在自动化、材料、导航等领域的领先地位,AUV装备不仅性能先进、种类齐全,而且许多在不同行业都已经得到了成功的运用。如用于海洋环境数据采集和水下目标侦察的“远程环境测量装置(REMUS)”AUV、海洋空间采样的“斯洛克姆(SLOCUM)”AUG等。其他国家也在AUV装备研发方面进行了大量深入的研究。

中国AUV的研究工作从20世纪80年代开始,随后在国家高技术研究发展计划(863计划)项目支持下,中国AUV的技术水平取得了突破性进展。从1990年开

收稿日期:2018-01-10;修回日期:2018-10-25

作者简介:何希盈,讲师,研究方向为水下作战,电子邮箱:994073353@qq.com

引用格式:何希盈,毛柳伟,陈庆元,等.自主潜航器海洋环境监测发展及运用[J].科技导报,2018,36(24):48-52;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.24.007

始,国内多家单位合作研制了中国第一台潜深1 km“探索者”AUV,此后又研发了“CR-01”“CR-02”等潜深6 km的AUV。目前,中国科学院沈阳自动化研究所、哈尔滨工程大学、中国船舶重工集团有限公司等多家单位在AUV的研制方面取得了成功。尤其是中国科学院沈阳自动化研究所经过多年的积累走向应用,多项技术实现国产,多种研究达到了世界领先水平^[5]。在AUG研究方面,中国起步较晚,但近年来有多家单位开展了大量研究工作^[6],并取得了较好的研究成果。

2 AUV海洋环境监测设备分析

AUV用于海洋环境监测的有效载荷主要是为满足水下探测、测量和通信而配置的水声、电子和光学等设备。与海洋测量船和载人潜器相比,AUV尺寸小、能源有限,因此一型AUV所能配置的任务载荷比较有限,所担负的任务也相对单一。按功能任务划分,AUV的海洋环境监测载荷通常包括海洋探测设备、测量设备和通信设备等。

2.1 海洋探测设备

AUV的海洋探测设备主要包括声纳设备和水下光电设备。

1) 声纳设备。

AUV的声纳设备主要包括前视声纳、侧扫声纳、多波束测深声纳、浅层剖面仪、测深仪、测高仪、声学多普勒流速剖面仪等,其中一些设备和海洋测量设备共用。前视声纳目前较多应用的是丹麦RESON公司的SeaBat系列,主要用于水雷探测和再定位、水下结构物勘测、海洋动物研究等。侧扫声纳可用于海底的绘图和勘测。AUV上可用的侧扫声纳主要有美国EdgeTech公司研制的2200系列模块化声纳系统和4400合成孔径系列。其中4400型合成孔径侧扫声纳系统,沿纵向分辨率高,沿轨迹方向分辨率与航程无关,可实时处理合成孔径声纳数据,合成孔径声纳结果可用于侧扫声纳后处理系统;可用于快速环境评估、水文调查、地球物理调查等。挪威的Hugin 1000型AUV采用了4400型声纳系统。多波束测深声纳是一种高效能、全覆盖的测深系统。经计算机处理后,可获得海底地形图及航行障碍物的位置和深度等资料。Simrad公司生产的EM系列多波束测深声纳在AUV上得到了广泛应用。英国的Autosub AUV和挪威的Hugin 1000就采用了

EM 2000多波束测深声纳。声学多普勒流速剖面仪(ADCP)是一种利用声学多普勒原理测量水流速度剖面的仪器,具有测深、测速、定位的功能。美国RDI公司生产的多型Workhorse ADCP系列产品在AUV上有许多运用。主动探测声纳主要是指工作频率在1 kHz到几十kHz的主被动搜索声纳,用于探测舰艇、海洋大型生物等目标。

2) 水下光电设备。

水下光电设备主要包括水下电视系统和水下照相机等。AUV使用水下电视系统时,控制器和录像机将安装在航行器耐压舱中。海水对可见光有较强的吸收和散射作用,光能量衰减很快,可视距离仅30 m左右。蓝绿光在水中衰减较小,水下可视距离达100 m以上。水下电视系统可用于水下侦察、海道测量、海洋资源调查和勘探等。水下照相机可以提供高清晰度的物体照片。

2.2 海洋测量设备

AUV的海洋测量设备主要有海水物理特性测量仪器和水声测量换能器。

1) 海水物理特性测量仪器。

这类仪器主要包括用于测定、计算和记录海水的电导率/盐度、温度、深度(压力)及声速(水密度)等参数的温盐深仪(CTD),以及用于测量海水溶解氧、荧光和浊度的传感器等。测量完成后,数据存储于仪器内置的物理单元中。仪器配套有相关软件,不仅可用于数据传输,而且具有强大的数据处理功能。操作员还可以通过线缆、通用分组无线服务技术(GPRS)或卫星进行无线在线实时监控。仪器防水性好,能耗低,自带的电池一般可连续工作1年以上。

2) 水声测量换能器。

水声测量换能器主要是水听器。水听器是用于接收水声信号的换能器,通常作为基元,以多个水声换能器组成基阵使用。标准水听器性能稳定,可接收水中的环境噪声和测量信号。专用换能器是为适应专门测量场合或用途而设计的特殊换能器。

2.3 通信设备

AUV上的通信设备主要是保障AUV之间、AUV与其他平台之间的通信,用于传输海洋观测数据和仪器设备状态、接收控制指令和导航数据等相关信息。主要的水面通信方式有卫星通信和无线电通信,水下通信方式主要是水声通信。

1) 卫星通信设备。

受AUV尺寸、能源限制,其天线尺寸不能很大,发射机、接收机和信号处理设备尺寸也不能太大。其使用的工作频率为400或8000 MHz特高频波段及2~4 GHz的S波段。目前,AUV主要使用铱星通信系统的L波段。与常规AUV相比,AUG经常要上浮海面活动,由于尺寸小,采用一般升降式或折倒式天线难以满足卫星通信和卫星导航设备的使用要求。因此,AUG的天线一般采用与水平舵共形或安装于滑翔器的尾部。

2) 无线电通信设备。

AUV无线电通信主要使用超短波通信。AUV的无线电通信设备在外形、尺寸、能源消耗上与飞机、舰艇上的不尽一致。无线电通信方式传输数据量很大,可以实时传输静止图像信息。采用超短波无线电通信时,通信距离为几千米到几十千米。挪威的Hugin 3000型AUV采用400 MHz特高频无线电通信,通信距离2~3 km。美国的AUV还采用WiFi 2.4 GHz特高频无线电通信。

3) 水声通信设备。

水声通信近程信息传输距离小于10 km,数据率每秒几千到十几千比特,可传输黑白图像信息。远程信息距离在几十千米,数据率在几至几十比特,传输指令和控制信息。挪威的Hugin系列AUV可通过水声链进行遥控,遥控距离达110海里。法国ALIVE AUV装备了TRITECH公司的AM-300声调制解调器,AM-300具有低误码率、低功耗、抗多途和可在浅水中使用的特性,主要用于水下通信、AUV的控制和数据收集、遥控海洋数据收集。

3 AUV海洋环境监测运用现状

3.1 大范围海洋空间采样,使用灵活可控制

AUV具有使用成本低,可在任何地方、任何时间布放和控制,且能在整个海洋空间进行采样的优点。美国蒙特里海洋生物研究所(MBARI)在海洋环境监测中使用AUV的主要用途有深海测绘、海底勘察和声速测量。MBARI使用Dorado级AUV,直径为53.3 cm,2006完成了第一次深海测绘任务,工作深度为6 km,工作时间20 h。美国iRobot、Hydroid等公司研制的AUG已经在了解和监测特定海域的海洋温度、盐度和浊度等方面发挥了重要的作用。

利用AUV上配置的海洋测量仪器和通信系统,可将航行器作为水下观测和通信节点,与其他观测平台组合成海洋环境监测系统,实现大范围、持久的海洋环境监测^[7]。20世纪90年代,美国海洋研究署和麻省理工学院联合开发的“自主式海洋采样网络”,作为海洋声学局域网已经得到了初步应用试验。这个网络由若干网络节点组成,每个网络节点由一个系留的水面浮标和若干艘AUV组成。该网络系统的优点在于覆盖范围广、采样自适应、控制灵活、能量可管理等。

3.2 极限条件下使用,能够适应恶劣环境

AUV在海底自动观测站中作为动态测量设备。美国伍兹霍尔海洋研究所(WHOI)和新泽西大学海洋与海岸研究所在美国国家科学基金支持下,共同建立的LEO-15长期水下无人观测站,位于新泽西大陆架深度为15 m的海底。LEO-15观测站不仅拥有各种海洋环境监测传感器,还包括用于可进行移动观测的AUV,为此还配置了AUV接口设备。LEO-15解决了光/电缆的水下铺设与各传感器的水密连接、生物附着、海水腐蚀、声学通信等问题。

AUV可进行科学考察和海洋研究。美国、日本、英国在这方面有许多成功的应用^[8-9]。美国WHOI研制的“深海自主探测器”(ABE)最大潜深6 km,考察距离大于30 km,考察时间大于50 h,能够在没有母船支持的情况下,较长时间地执行海底科学考察任务,它是对载人潜水器和无人遥控潜水器的补充。日本研制的R2D4,最大潜深4 km,主要用于深海及热带海区矿藏的探索。英国国家海洋中心(NOC)研制的Autosub系列AUV,其目的是发展经济型海洋研究用AUV,已经取得了非常不错的成绩。欧洲其他国家、俄罗斯、加拿大、韩国等在此方面也开展了大量的研究。

3.3 测量军事海洋要素,实现水下持久侦察监视

AUV可在水下进行持久监视。美国海军于2005年启动的“濒海地带持久水下监视网络”(PLUSNet)是一种半自主可控网络,主要由固定于海底的传感器节点和多个AUV组成。其研究目的是应用新技术和新方法,主要包括利用新型AUV和部署技术进行机动和持久海洋监视^[10]。PLUSNet概念采用了AUV自主分配进行反潜战监视,该网络设施中使用了多个AUV来感知海洋,它们配置了CTD、ADCP等海洋测量仪器进行海洋水文环境测量,收集作战海域的水文环境数据。PLUSNet中的AUV有海马、金枪鱼-21,以及海上滑翔

者、斯洛克姆和X射线等滑翔器。这些AUV既可以作为移动的通信节点,也可以相互通信并有足够的自主性,从而达到做出基本决策的目的。

AUV可以对水下目标进行探测识别。2004年5月研发的美国海军浅水/近岸反水雷(VSW/SZ MCM)网络包括网关浮标、REMUS航行器和其他类型的水下平台,如“蛙人”和“海底爬行者”。REMUS AUV工作水深100 m,并配置了侧扫声纳,用于在近岸环境中实施海底绘图和寻找水雷。根据需要,REMUS有两种配置,一种是搜索-分类-绘图(SCM)和重新获取-识别(RI)。SCM REMUS可以5节航速运行约8 h,并可实时向指挥员报告辅助探测和辅助分类(CAD/CAC)情况;RI REMUS近实时地处理侧扫声纳数据,记录使用若干算法得到的目标。目标记录采用声学方式实时报告指挥员或其他平台。目前,该系统已经完成了多次试验,并成功地探测到水雷和类似水雷的目标。

3.4 作为移动通信节点,完成水下作战支援任务

AUV可作为移动通信节点。美国海军研发的“海网”(Seaweb)是能够穿过海水的数字通信/导航网络,具有可升级的区域无线栅格,可编组的灵活体系结构,固定和可移动自主节点,网关到指挥中心,持久和广泛深入,低声源级、宽带、高频等特征。该网络可用于濒海反潜战、AUV群、潜艇通信、海上基础设施防御、指挥和控制等^[11]。2003年,美国和加拿大合作在墨西哥湾进行了带有3个AUG移动节点的“海网”验证试验。AUG记录了200 km和300 h的点到多点的通信/导航,平均每20 min转发一次。

AUV在网络化反潜实现信息支援。北约水下研究中心(NURC)正在利用AUV可长时间收集海洋数据的潜力,最终达到通过水下静止和活动的自主传感器网络跟踪潜艇的能力。在2008年GLINT09试验中,NURC演示了“海洋探测器”(OEX)AUV牵引声纳阵列作为多基地声纳识别和跟踪潜艇的能力。此时,AUV进行预编程跟踪直至根据预定的判据判断出目标就在附近。GLINT09试验表明,AUV还能用于自主跟踪目标^[10]。

4 AUV海洋环境监测运用发展探讨

4.1 着力发挥AUG在海洋环境监测中的作用

相比螺旋桨推进的AUV,AUG具有航程远、造价低、技术实现难度小等优势,通过携带相应的传感器可以组成移动的观测网络,进而实现大范围的海洋监

测。因此应在不断提高AUG性能的同时,发掘其海洋观测潜力,加强AUG在水下环境监测方面的应用研究。通过继续挖掘AUG的应用领域,不断满足今后更多的任务需求,争取实现测量、传输、搜索、监控等多方面功能模块的集成。随着微电子技术、计算机技术的飞速发展以及关键技术的攻克,性能更先进,用途更广泛的新型AUG会不断出现。

4.2 加大AUV海洋环境监测网络化使用研究

多AUV可以对海洋实施网络化信息收集和监控。英国国家海洋学中心在2012年率先开展AUV编队项目研究。第一个项目将调查利用AUV技术对英国海洋保护区(MPA)的网络进行映射和监测的可行性。第二个项目是开发部署新型AUV和滑翔器,以为未来英国陆架水域的海洋保护区和海洋战略框架指令监测战略提供参考。英国科学家认为,AUV不仅在恶劣条件下所收集到的数据比船舰调查数据质量更高,而且将帮助政府减少海洋监控的开销。

4.3 增加AUV在海底观测网络中的科研试验

深海海底观测是开展海洋研究的一种必要手段。目前,美国、欧洲、加拿大等国家或地区在海底观测网络的建设方面已经先行一步,取得了很大进展。在美国NOAA国家海底研究计划、欧洲多学科海底考察项目(EMSO)和加拿大海洋观测网络(ONC)中均强调要进行AUV的研究,并计划通过AUV进行观测。增加AUV在海底观测网络中的使用,不仅能够拓展研究人员海洋采样和观测的时间和空间范围,而且有助于中国与海洋技术发达国家保持同步。

5 结论

目前,中国海洋环境监测水平还不高,海洋信息化发展还无法满足建设海洋强国、“21世纪海上丝绸之路”等战略目标的需求。未来随着无人潜器在总体集成、自主控制、能源动力、导航定位等方面的发展,AUV将在海洋环境监测中发挥越来越重要的作用。因此,国内相关研究单位要立足现实需求,紧密跟踪未来发展,不断提高AUV在海洋环境监测中的运用水平。

参考文献(References)

- [1] 毛祖松. 当前海洋监测技术和仪器设备的发展趋势[J]. 气象仪器装备, 2003(3): 19-21.

- [2] 陈建军, 张云海. 海洋监测技术发展探讨[J]. 水雷战与舰船防护, 2009(5): 47-50.
- [3] 陈强. 水下无人飞行器[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 1.
- [4] 李杰, 周兴华, 唐秋华, 等. 水下滑翔机器人研究进展及应用[J]. 海洋测绘, 2012(1): 80-82.
- [5] 沈阳自动化研究所. 多年积累走向应用, 多项技术实现国产, 多种研究水平先进“潜龙”的力量[EB/OL]. (2013-11-21) [2017-12-21]. http://www.syb.ac.cn/xwzx/mljj/201311/t20131121_3982930.html.
- [6] 科技日报. 天大“海燕”号水下滑翔机通过1500米水深测试[EB/OL]. (2014-05-26) [2017-12-21]. <http://www.cutec.edu.cn/cn/gxkj/2014/05/1401039969725318.htm>.
- [7] 李彦, 罗续业. 海洋监测传感器网络概念与应用探讨[J]. 海洋技术, 2006(12): 32-35.
- [8] 王金平, 张志强, 高峰, 等. 英国海洋科技计划重点布局及对我国的启示[J]. 地球科学进展, 2014, 29(7): 865-873.
- [9] 陈强, 兰晓娟, 王霜. 国外AUV系统在海洋调查中的应用[J]. 舰船科学技术, 2012(10): 133-136.
- [10] 郑利, 臧晓京, 毕世龙. 网络化将扩大反潜战范围[J]. 飞航导弹, 2011(8): 13-16.
- [11] 郭津波. 新型探测设备[J]. 海军译文, 2012(1): 48-50.

Development and application of AUV in ocean environment monitoring

HE Xiyang¹, MAO Liuwei², CHEN Qingyuan¹, ZHANG Weiwei¹

1. Navy Command College, Nanjing 210016, China

2. Naval Research Academy, Beijing 100161, China

Abstract Autonomous underwater vehicle (AUV) is a kind of new ocean environment monitoring platform which can be used to monitor large area ocean environment for a long time. The current research and development of AUV at home and abroad are reviewed. The current situation of AUV in ocean environment monitoring is addressed. The future main application of AUV in ocean monitor is also predicted.

Keywords autonomous underwater vehicle; ocean environment monitoring; ocean exploration ●



(责任编辑 傅雪)