

潜载 UUV 研究现状分析

王海涛¹, 梁 镜², 单俊杰³

(1. 海装武汉局驻宜昌地区军事代表室, 湖北 宜昌 443003; 2. 中国船舶重工集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003; 3. 海装驻武汉地区军事代表局, 湖北 武汉 430064)

摘要 潜艇与 UUV 协同作战能优势互补, 形成新的作战能力与手段, 这使得潜载 UUV 成为了近些年美国等海洋强国的研究热点。首先, 对潜艇与 UUV 的协同作战模式进行研究; 然后, 结合作战需求对潜艇与 UUV 协同作战的关键技术进行了分析, 并对当前潜载 UUV 装备的发展现状进行了总结; 最后, 参考国外潜载 UUV 发展经验对我国发展潜载 UUV 装备提出了几点建议。

关键词 潜艇; UUV; 协同作战; 装备发展

中图分类号 U674 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2021)05-0351-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2021.05.001

Analysis on Research Status of Submarine-launched UUV

WANG Haitao¹, LIANG Jing², SHAN Junjie³

(1. Military Representative Office of Naval Equipment Department in Yichang, Yichang 443003, China;
2. No.710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443000, China; 3. Military Representative Bureau of Naval Equipment Department in Wuhan, Wuhan 430064, China)

Abstract When working in coordination, the submarine and UUV can complement each other, forming new combat capabilities and methods. This makes the submarine-launched UUV a research hotspot in the United States and other maritime powers in recent years. In this article, the mode of cooperative combat between submarine and UUV is studied firstly, and then the key technologies of the cooperative combat is analyzed based on combat requirements. Subsequently, the current development status of submarine-launched UUV is summarized. Lastly, several suggestions are put forward for development of submarine-launched UUV equipment in our country referring to the foreign experiences.

Key words submarine; UUV; cooperative combat; equipment development

0 引言

潜艇以其隐蔽性优势成为目前海军执行隐蔽任务的关键装备之一。当前潜艇主要是依靠前期情报研判和自身侦测手段, 结合有限的外部信息指令开展水下行动。因此, 潜艇在实际作战中面临一些问题, 例如复杂情形下的水下航行安全、目标探测

定位、近程立体警戒等问题, 这使得潜艇的作战效能受到一定冲击。

UUV (Underwater Unmanned Vehicle) 作为高技术水下无人作战平台, 在情报监视与侦察、反水雷、反潜跟踪、水下救援等领域发挥着越来越重要的作用。与潜艇相比, UUV 具有隐蔽性强、智能化程度高、无人员伤亡、成本低、建造速度快等特

收稿日期: 2021-08-18

作者简介: 王海涛 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事军械装备研制生产质量监督工作。

梁镜 (1990-), 男, 博士, 工程师, 主要从事声学信号处理与 UUV 研究。

基金项目: 国家重点研发计划课题“数字化系统集成智能控制技术” (2018YFC0309005)。

点,但 UUV 一般航程相对较短,无法在水下长期值守。潜艇上搭载 UUV,能够延伸潜艇的安全作战半径,有效增强潜艇水下作战能力。在实际使用中,潜载 UUV 可在保持潜艇安全的前提下,执行水下侦察、水下干扰、水下通讯中继、反水雷作业等军事任务。因此,潜艇与 UUV 装备协同作战能不断更新与充实潜艇功能,对提高潜艇的综合性能具有重大意义^[1]。

正是由于 UUV 与潜艇协同作战时优势互补,能形成新的作战能力和作战手段,近些年世界各海洋强国对潜载 UUV 开展了大量研究,在 UUV 和潜艇协同作战上取得了一系列成果,形成了一批功能强大的潜载 UUV 装备。本文将从 UUV 和潜艇协同作战模式研究、潜载 UUV 关键技术与潜载 UUV 装备发展 3 个方面对潜载 UUV 的研究现状进行综述,以期为我国潜载 UUV 的发展提供参考。

1 潜载 UUV 的作战使用

潜载 UUV 作为近些年才出现的新型海军装备,目前其作战实践较为匮乏,因此需对其作战使用思想与理论进行研究,从而为相关技术、装备的发展与作战应用提供指导。当前潜载 UUV 的作战使用理论研究主要形成了如下几个典型作战模式。

1.1 反水雷作战

水雷属于一种安静型水下武器装备,而潜艇为保证其水下隐蔽性,一般不会开启主动声呐目标探测系统,因此实际使用中潜艇反水雷能力较弱,这使得水雷成为了潜艇执行任务时的重要威胁。相对而言,UUV 体量小、噪声小、成本低、无人智能化程度高,十分适合进行反水雷作战。通过潜载方式,UUV 可克服航程小、速度慢等短板,伴随潜艇执行开辟航道、敌特定区域反水雷任务,如图 1 所示。

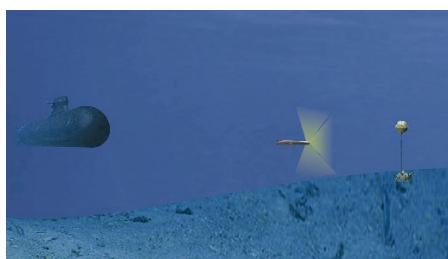


图 1 潜载 UUV 反水雷作战

Fig.1 Submarine-launched UUV used for mine countermeasures

1.2 目标侦察

对敌舰船声纹信息侦察是各海洋强国十分重视的一项作战任务,其能为舰船识别积累先验数据,正源如此,舰船(特别是潜艇)的声纹信息是各海军的核心机密。由于潜艇进入远海以后,隐蔽性很强,因此很难在远海捕获其声纹信息,而一般情况下舰船(包括潜艇)几乎不可能深入敌方潜艇出入的军港进行侦察。小型 UUV 由于隐蔽性更好,可在近岸港口区域执行侦察任务,因此可通过潜载方式将 UUV 携带至目标水域外海,然后释放 UUV,利用 UUV 隐蔽性抵近敌方军港执行侦察任务,如图 2 所示。

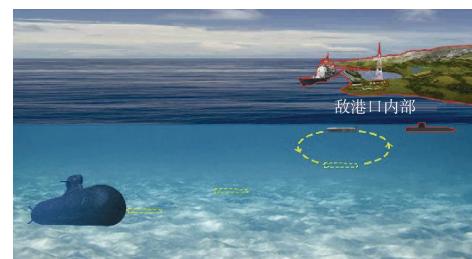


图 2 潜载 UUV 近岸侦察作战

Fig.2 Submarine-launched UUV used for near shore reconnaissance

1.3 水下自主作战

近些年具备搭载水雷、鱼雷、甚至导弹等攻击载荷的平台级 UUV 得到了长足发展,这类平台级 UUV 虽然航程有很大提升,但一般仍远不如潜艇。可由潜艇将平台级 UUV 隐蔽布放至靠近目标水域, UUV 可长期隐蔽潜伏在预定海域,根据战术需要进行自主作战或接收外部指挥信息进行作战。

1.4 UUV 协助潜艇作战

文献[2]对 UUV 与潜艇协同作战进行了研究,可以总结为以下 2 种 UUV 协助潜艇作战模式:1) 护航警戒模式。该模式下,潜艇通过控制具有自主侦查能力的 UUV,进行水下航道与近程全方位的警戒侦查,以实现对预定航路的侦查和预警突发情况。2) 目标信息支援模式。该模式下,潜艇可利用 UUV 的隐蔽性与灵活机动智能性的特点开展目标信息侦察,为潜艇提供目标信息,还可以利用 UUV 协助潜艇与外界通信。2 种模式的作战示意分别如图 3 与图 4 所示。



图 3 护航警戒模式示意图

Fig. 3 Schematic diagram of escort alert mode

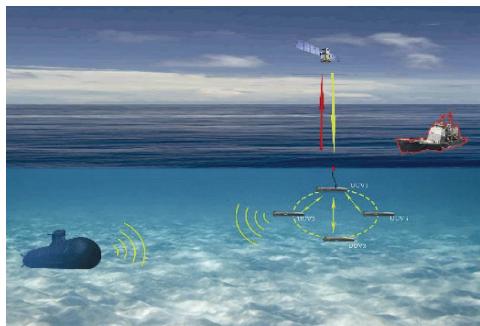


图 4 目标信息支援模式示意图

Fig. 4 Schematic diagram of target information support mode

1.5 欺骗作战

潜艇可搭载具备声干扰、声诱饵功能的 UUV, 当遇到位置信息已暴露、被敌方锁定这样的紧急时刻, 潜艇可布放声干扰或者声诱饵 UUV, 利用 UUV 模拟敌方主动声呐信号, 干扰敌方主动声呐, 模拟我方潜艇声学特性, 诱骗敌方被动声呐, 从而达到欺骗敌方保护我方潜艇的目的。例如俄罗斯的“代理人”型是一种专门用于模拟真实潜艇物理特征的自主水下航行器^[3]。

2 潜载 UUV 关键技术

潜载 UUV 作战需要有人平台与无人平台的交互, 涉及到多项关键技术。虽然当前世界范围内仅有美国有潜载 UUV 装备的定型交付, 但近些年潜载 UUV 已成为无人系统研究的一个热点, 并有多型潜载 UUV 样机投入试验, 在一些关键技术研究上取得了较为丰富的成果。例如文献[4]–[7]对潜载 UUV 自身相关的关键技术进行了介绍, 本文重点总结与有人平台、无人平台交互相关的 3 项关键技术的发展情况。

2.1 潜载 UUV 的搭载布放技术

潜载 UUV 作战中首先要解决 UUV 在潜艇上的搭载布放问题。搭载形式的设计至少要考虑以下 2 个要素: 1) 搭载后对潜艇的航行与使用是否造成影响; 2) 搭载形式是否方便 UUV 布放与回收。目前的研究主要形成了以下几种搭载布放方式: 鱼雷/导弹管搭载、坞舱式搭载、背负式搭载^[8]。

鱼雷/导弹管搭载顾名思义即利用潜艇上固有的鱼雷与潜射导弹发射管搭载布放 UUV。该方式的优点是利用潜艇上固有的设施进行改装, 对潜艇的影响很小, 缺点是仅满足与鱼雷(或导弹)口径相近或更小口径的 UUV 进行搭载布放。美国“洛杉矶”级攻击型核潜艇即是利用改装后的鱼雷管搭载布放 1 套水雷侦察型 UUV 系统, 该系统已完成交付。美国正在将“俄亥俄”级弹道导弹核潜艇改装为巡航导弹核潜艇, 改装后的“俄亥俄”级导弹核潜艇可配置 1 个大型 UUV(例如“海马” UUV 和 XRay UUV)和多个直径不大于 533 mm 的 UUV^[9]。

坞舱式搭载指的是在潜艇艏部或者上层建筑部位, 设置 1 个大型透水坞舱, 将 UUV 布置在坞舱内, 通过一定的动作机构完成 UUV 的布放与回收(如图 5 所示)。与鱼雷/导弹管搭载方式相比, 该方式对 UUV 的口径要求较宽松、搭载数量大、更灵活, 并能满足较大型 UUV 的搭载, 缺点是需对潜艇进行较大改装。



图 5 典型坞舱式搭载示意图

Fig. 5 Schematic diagram of typical warehouse loading

背负式搭载是通过在潜艇外安装专用壳体外舱, 从而形成一定存储空间, 实现 UUV 和相关布放回收设备的搭载(如图 6 所示)。文献[10]将背



图 6 典型背负方式搭载示意图

Fig.6 Schematic diagram of typical piggyback loading

负式搭载分为直接式背负与间接式背负 2 种方式,例如美国的 DSRV 和 Manta 型 UUV 拟采用的就是直接式背负方式搭载。与前 2 种搭载方式相比,背负式搭载的优点是能满足大型甚至超大型 UUV 的搭载,其缺点是较难在已列装的潜艇上进行改造,即使完成改造也会对潜艇的航行与作业有一定影响,因此该方式较适合在新潜艇建造时统筹设计实施。

2.2 潜载 UUV 的回收技术

回收重复利用是潜载 UUV 实战使用中需要解决的另一个关键技术。潜载 UUV 的回收方式与 UUV 的物理特征、搭载布放方式紧密相关,不同的潜载 UUV 系统回收的方式各不相同,但一般都会经历远距离声学导引、近距离光学导引、最后捕获 3 个阶段。

声导引方式是在回收装置中安装 1 部声呐,与 UUV 上的声学设备配合,为 UUV 抵近回收装置提供导引;还有一种是利用 UUV 自带的高频声呐探测识别回收装置使 UUV 获得导引信息。光学导引是指当 UUV 十分接近回收装置后,利用照相、摄像设备获取的回收装置位置信息为 UUV 进入回收装置提供导引。回收装置上往往安装有捕获机构,当 UUV 靠近回收装置后,捕获机构完成对 UUV 的捕获,完成回收。

声学导引、光学导引是 UUV 回收时比较常用的导引方式^[10],其关键在于 UUV 对导引信息的自主识别。而在回收捕获上,潜载 UUV 系统的捕获回收机构设计则需要根据 UUV 的特征进行比较精

细的设计,当前比较主流的捕获方式有:漏斗型捕获、机械手捕获、ROV 有缆捕获,如图 7~9 所示。文献[8]对这几种捕获方式的优缺点进行了总结。

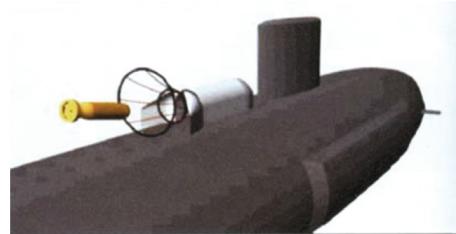


图 7 漏斗型捕获方式示意图

Fig.7 Schematic diagram of funnel capture method

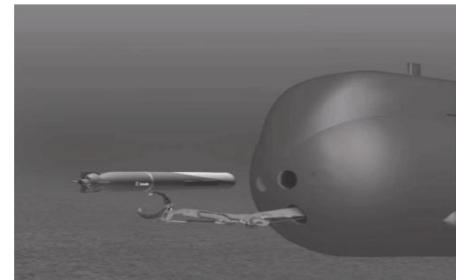


图 8 机械手捕获方式示意图

Fig.8 Schematic diagram of manipulator capture method



图 9 ROV 有缆捕获方式示意图

Fig.9 Schematic diagram of ROV capture method

2.3 潜载 UUV 协同技术

水声通信技术是 UUV 组网协同的基础,近些年国内水声通信技术取得了长足的发展,高速率模式下通信距离可到几公里,远程低速率模式通信距离可达几十公里^[11],为潜载 UUV 组网协同奠定了基础。文献[12]对多 UUV 组网的拓扑结构进行了研究,建立了 UUV 组网的数据链路层的线性拓扑传输的自适应 MAC 协议和信道传输模型。以此为基础,文献[2]对潜载 UUV 有人与无人平台的协同方式进行了总结,将其分为集中式、分布式和集散式 3 类方式,为潜载 UUV 系统的指挥控制、情报

支援、智能决策提供了理论依据。

需要指出的是潜载 UUV 协同技术是个系统工程, 除了需要成熟可靠的水声通信、UUV 智能控制等单项技术和组网方式等理论研究外, 还需要解决无人系统与有人系统的接口、协议问题, 才能实现两者的交互配合, 而这些问题往往需要在工程试验中才能逐步解决和完善。但当前潜载 UUV 组网协同技术尚处于起步阶段, 仅美国完成了潜载 UUV 组网协同的演示验证, 国内尚处于论证阶段, 暂未见相关演示试验的文献与报道。

3 潜载 UUV 系统发展现状

由于潜载 UUV 系统不仅需要研制适合潜艇布放回收的 UUV 装备, 而且涉及到对潜艇的改装, 甚至重新设计, 其技术难度之高与工程造价之巨使得世界上仅有少数几个国家具备研发潜载 UUV 系统的能力。

3.1 潜艇改装情况

当前为实现潜载 UUV 系统而着手改造潜艇的国家很少。美国在多艘“洛杉矶”级核潜艇上完成了鱼雷管布放回收 UUV 的试验, 并至少有 1 艘“洛杉矶”级与“弗吉尼亚”级核潜艇已经完成改装和装备了 1 套近期/远期水雷侦察系统。据 2018 年美国海军消息, 美国正在研发“‘弗吉尼亚’负载模块”为后续改进型“弗吉尼亚”级核潜艇装备 UUV 提供支持, 并计划于 2024 开始改进型核潜艇的设计, 2034 年开工建造。此外, 美国电船公司为美国海军“俄亥俄”级导弹核潜艇开发

了一种用导弹垂直发射管布放/回收潜载 UUV 的系统。该系统的重要组成部分之一是导弹垂直发射管布放/回收装置模块, 专门用于改装后的“俄亥俄”级导弹核潜艇。

俄罗斯在潜载 UUV 系统的研发上也处于领先地位。俄罗斯已完成 09852 型“别尔哥罗德”号特种任务核潜艇的改造, 计划由该潜艇作为运载潜艇, 搭载“大键琴”-2R-PM 型 UUV 至预定海域, 释放 UUV 执行测量、搜救或军事任务。此外, 俄罗斯对 20120 型“萨洛夫”号潜艇进行了改装, 用作“波塞冬”型 UUV 的试验平台, 同时, 正在建造 09851 型“哈巴罗夫斯克”号核潜艇, 用于搭载“波塞冬”UUV。

此外, 德国提出了改造 212A 级潜艇用于搭载“海獭”MKII 无人水下航行器的计划, 瑞典开发出一种利用潜艇放出的缆控式无人水下航行器回收无人水下航行器的方法, 并利用 AUV 62F 无人水下航行器进行了试验, 取得了成功。

3.2 潜载 UUV 装备发展现状

近十几年, 世界各海洋强国都十分重视潜载 UUV 装备的发展。其中, 美国在此领域的发展最为迅速, 俄罗斯次之, 两国都展开了潜艇的改装与适用于搭载 UUV 的新型潜艇的建造计划。美国从小型鱼雷管发射式 UUV 到重型导弹管发射式 UUV, 再到大型背负式搭载 UUV, 全面展开研制。俄罗斯则看重战略型核动力 UUV 的研制。此外, 据公开资料, 德国与瑞典也开展了潜载型 UUV 的研制, 详情见表 1。

表 1 潜载 UUV 装备发展现状
Table 1 Development status of submarine-launched UUV equipment

UUV 名称	主要技术参数	用途	布放回收方式	所属国家	搭载潜艇型号	潜载实现状态
NMRS-UUV	长 5 m、直径 533 mm、重 1 t	反水雷、情报侦察	缆控、鱼雷管布放回收	美国	“洛杉矶”级	已交付
AN/BLQ-11	长 6 m、直径 533 mm	反水雷、情报侦察	鱼雷管布放、机械臂回收	美国	“弗吉尼亚”级	已交付
SUBROV	长 3.1 m、直径 470 mm、重 300 kg	反水雷	鱼雷管布放回收	美国	“洛杉矶”级	已交付
“海马”	长 8.6 m、直径 996 mm、重 4.5 t、航程约 550 km	反水雷、情报侦察、投送补给	导弹发射管布放	美国	“俄亥俄”级	在研
X Ray	长 6.1 m、宽 1.7 m、高 0.7 m、重 850 kg、续航时间 200 h	海洋调查	导弹发射管布放	美国	“俄亥俄”级	在研

表1(续)

UUV名称	主要技术参数	用途	布放回收方式	所属国家	搭载潜艇型号	潜载实现状态
Manta	长11 m、宽2.5 m、高约0.9 m、重14 t、航程大于50 km	情报侦察、目标攻击、试验平台	背负式搭载布放	美国	——	概念样机
“波塞冬”	长24 m、直径2 m、重20 t、超远航程	战略核威慑	坞舱式搭载	俄罗斯	“哈巴罗夫斯克”号	已交付
“大键琴”	长6.5 m、直径1 m、重3.7 t、航程大于300 km	水下搜救	坞舱式搭载	俄罗斯	“别尔哥罗德”号	演示试验
AUV 62F	长6.5 m、直径0.533 m、重约1 t	反水雷	鱼雷管布放、“海鹰”ROV回收	瑞典	——	演示试验
“海獭”MKII	长3.5 m、宽1 m、高0.5 m、重1 t、续航时间24 h	反水雷	坞舱式搭载	德国	——	在研

4 结束语

通过对潜艇、UUV 协同作战模式研究,与潜载 UUV 核心关键技术分析及国外潜载 UUV 装备发展现状梳理与分析,可以得出如下结论:

1) 潜艇与 UUV 协同作战能优势互补,形成新的作战能力和作战手段。潜载 UUV 展现出了很好的应用前景。

2) 潜载 UUV 的核心关键技术在于潜载 UUV 的布放、回收与协同技术。以美国为首的海洋强国,在进行相关技术攻关与试验的同时,通过潜艇改装与潜载 UUV 研制,已形成了潜艇与 UUV 协同作战能力,并正在不断提升中。

当前国内潜载 UUV 正处于论证阶段,参考国外发展经验,对我国潜载 UUV 装备的发展建议如下:

1) 以现役潜艇为母型,在不对潜艇进行大改造的前提下发展几型功能相对简单的潜载 UUV,例如通过鱼雷管发射的小型扫雷、侦察型潜载 UUV,以积累应用经验;

2) 理清几种典型搭载方式下潜艇与 UUV 之间的接口需求,通过系统设计、潜载 UUV 模拟试验,提升潜艇与 UUV 的接口设计水平,逐步形成标准化的接口协议;

3) 一旦标准接口形成,以作战功能为导向,以“小平台适应大平台,大平台兼容小平台”为改进原则,在实际应用中不断拓展潜艇与 UUV 的协同作战性能。

参考文献

- [1] RENILSON M. A simplified concept for recovering a UUV to a submarine[J]. Underwater Technology, 2014, 32 (3): 193-197.
- [2] 黄波,衡辉,丁浩. UUV与潜艇协同作战模式及关键技术研究[J]. 水中兵器, 2019 (1): 17-24.
- [3] 国外舰船装备与技术发展报告编写组. 国外舰船装备与技术发展报告 2017: 海上无人系统(无人航行器)[R]. 北京: 中国船舶重工集团公司, 2018.
- [4] 王童豪, 彭星光, 潘光, 等. 无人水下航行器的发展现状与关键技术[J]. 宇航总体技术, 2017, 1 (4): 52-64.
- [5] 严渐平, 刘祥玲. 多 UUV 协调控制技术研究现状及发展趋势[J]. 水下无人系统学报, 2019, 27 (3): 226-231.
- [6] 钟宏伟. 国外无人水下航行器装备与技术现状及展望[J]. 水下无人系统学报, 2017, 25 (3): 215-225.
- [7] 刘洋, 孙显鹏, 徐超, 等. 无人水下航行器控制技术的发展[J]. 舰船电子工程, 2019, 39 (10): 5-10.
- [8] 曹和云, 倪先胜, 何利勇. 国外潜载 UUV 布放与回收技术研究综述[J]. 中国造船, 2014, 55 (2): 200-208.
- [9] 陈强, 孙嵘. 潜艇布放回收 UUV 方式[J]. 舰船科学技术, 2011, 33 (7): 145-149.
- [10] 许光. UUV 水下对接技术发展现状与关键技术[J]. 声学与电子工程, 2019 (4): 1-5.
- [11] 朱敏, 武岩波. 水声通信及组网的现状和展望[J]. 海洋技术学报, 2015, 34 (3): 75-79.
- [12] 黄海, 李岳明, 庞永杰. 多水下机器人编队的组网通信方法研究[J]. 电机与控制学报, 2017, 21 (5): 97-104.

(责任编辑:曹晓霖)