

【引用格式】王松. 无人水下航行器在反水雷中的应用探讨[J]. 数字海洋与水下攻防, 2022, 5(3): 260-265.

# 无人水下航行器在反水雷中的应用探讨

王 松<sup>1, 2</sup>

(1. 中国船舶集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003;  
2. 清江创新中心, 湖北 武汉 430076)

**摘要** 随着海军无人作战平台技术的快速发展, 各种武器系统的智能化和无人化是必然的趋势。无人水下航行器将是未来作战最重要的装备, 其集成了探测、导航、定位、能源、推进、新材料、新工艺以及智能控制等高科技, 可充当现代海战的力量倍增器, 提升体系作战能力。由于反水雷作业的危险性, 将无人水下航行器与反水雷技术相结合, 是未来反水雷的重要发展方向。

**关键词** 无人水下航行器; 反水雷; 安全性; 自主性

**中图分类号** TJ61<sup>+7</sup> **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2022)03-0260-06

**DOI** 10.19838/j.issn.2096-5753.2022.03.012

## Discussion on Application of Unmanned Underwater Vehicle in MCM

WANG Song<sup>1, 2</sup>

(1. No. 710 R&D Institute, CSSC, Yichang 443000, China;  
2. Qingjiang Innovation Center, Wuhan 430076, China)

**Abstract** With the rapid development of naval unmanned combat platform technology, the intelligence and unmanned trends of various weapon systems are inevitable. Unmanned underwater vehicle will be one of the most important equipment in future operations. It integrates high technologies such as detection, navigation, positioning, energy, propulsion, new materials, new technology and intelligent control. It can play the role of force multiplier in modern sea warfare, and improve the capabilty of systematic operation. Due to the danger in anti-mine operation, the combination of unmanned underwater vehicle and MCM technology is an important developing direction of mine countermeasure in the future.

**Key words** unmanned underwater vehicle; MCM; security; autonomy

## 0 引言

随着无人技术的快速发展, 军事装备的无人化成为可能, 另外, 随着现代社会和军事观念的改变, 又在客观上提出了降低昂贵平台的消耗和减少人员损伤的要求。因此, 无人装备成为各国军事部门关注和研究的热点。目前, 无人指挥平台、无人侦察机、无人战斗机、无人水下航行器、无人地面车

辆和智能武器相继出现并大力发展, 可以预见, 军事装备无人化的新型作战模式将逐渐成为未来战场上的主要攻防手段<sup>[1]</sup>。

水雷作为一种极具威胁的水中兵器, 在例次海战中均发挥着重要作用, 为降低水雷的威胁, 各国海军均在大力发展反水雷装备。但反水雷作业时间长, 风险高, 过程复杂、枯燥, 与反潜、反导一起被称为海战的3大难题, 如何进一步提升

现有反水雷装备的作战效能是世界各国海军均在思考的问题<sup>[2-3]</sup>。

现有的反水雷手段主要以扫雷和猎雷为主，其通过有人舰船携带反水雷装备进入雷区执行反水雷作业。由于舰船本身声磁物理场存在诱爆水雷的可能性，另外，扫雷装备诱爆的水雷也可能会对舰船本身造成损伤，因此，使用有人反水雷舰船在雷区作战时，对作战官兵的心理威慑较大。

与传统反水雷装备相比，无人水下航行器进行反水雷作业时，其本身声磁物理场水平较低，且为无人化作业，安全性较好<sup>[4-6]</sup>。因此，将无人水下航行器与反水雷技术相结合，有人舰船在雷区外指挥控制无人水下航行器在雷区作业，是未来反水雷发展的主要方向。

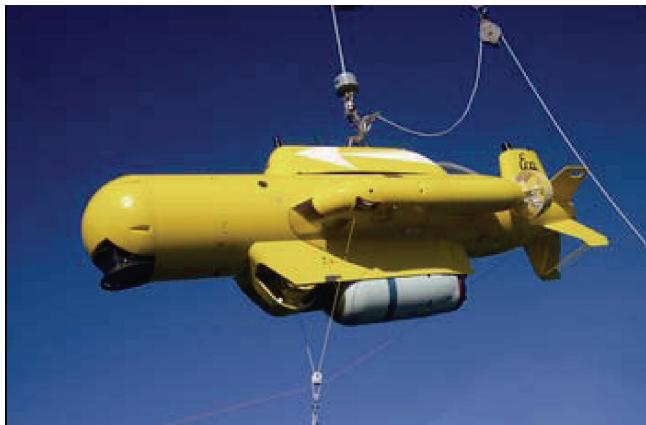
## 1 无人水下航行器的发展现状

无人水下航行器是一种无人驾驶、靠遥控或自主控制的水下航行器，其综合了海洋环境技术、探测、计算、能量储存与转换、推进、新材料、新工

艺等多个领域的高新技术。无人水下航行器包括遥控水下航行器和自主式水下航行器 2 大类。遥控水下航行器拖带脐缆（电缆或光缆），与母船（或母艇）连接，在人的遥控下航行与工作。自主水下航行器是自主航行的，它没有脐缆的羁绊，在海上作业更加灵活自主<sup>[7-8]</sup>。

### 1.1 遥控水下航行器

遥控水下航行器根据其在反水雷作业中的作用可以分为线导灭雷具、一次性灭雷具以及前置式猎雷系统。目前，线导灭雷具主要有：法国的 PAP 104（如图 1 (a)）、意大利的“冥王星”、美国的 AN/SLQ-48（如图 1 (b)）、日本的 S-7、瑞典的“双鹰”、德国的“企鹅” B3 型等。线导灭雷具一般都装有高分辨率声呐、摄像装置、灭雷炸弹或爆破割刀。作战时，反水雷平台使用舰壳声呐/拖曳声呐对雷区中的水雷进行探测；探测到目标后，将信息传递到猎雷舰；猎雷舰获取目标信息后，释放线导灭雷具，对目标进行识别、确认；投掷雷弹对目标进行处置。



(a) PAP 104灭雷具



(b) AN/SLQ-48灭雷具

图 1 线导灭雷具  
Fig.1 Wire-guided mine disposal vehicle

一次性灭雷具是在线导灭雷具的基础上发展起来的，其工作原理和灭雷方式与线导灭雷具相同，不同之处在于一次性灭雷具造价低廉、使用方便、灭雷速度快（无需回收）、携带量多。目前，一次性灭雷具中主要有：德国的“长尾鲨”、英国的“射水鱼”、法国的“凯斯特”、挪威的“水雷狙击手”等。由于处置目标时，一次性灭雷具会携带

灭雷炸弹，无法进行回收，因此，其损耗率较高，被称为富人的武器。

前置式探雷系统是变深猎雷声呐与灭雷具相结合的产物，该系统在反水雷舰艇或普通舰船前面探雷，是将探雷、识别集一身的反水雷装备。例如，瑞典的“双鹰” MK-2 与法国的 TSM 2022 MK3 猎雷声呐组成的前置猎雷系统，通过 600 m 或者

1 000 m 的脐缆与母艇相连, 母艇通过脐缆供电, 以 5~10 kn 的速度航行。这种前置探雷系统提高了反水雷作业的安全性, 增加了探雷速度。

## 1.2 自主水下航行器

自主水下航行器通过配置体搜索声呐、合成孔径声呐及多波速测深声呐等设备, 可以不受深度限制探测水雷。其中比较典型的猎雷无人水下自主航行器有: 美国的“刀鱼”航行器、瑞典的 AUV62-MR 型水下无人自主航行器。

### 1) 小型自主水下航行器。

Swordfish AUV(图 2) 是美军在 REMUS 100 AUV 的基础上研制, 直径 190 mm, 长 1 600~2 030 mm(根据加装的传感器而定), 质量 37 kg, 最大工作水深 100 m。系统内装有可充电的锂离子电池, 续航力在 3 kn 时为 20~22 h, 5 kn 时超过 8 h。装备有声多普勒流速剖面仪、多普勒计程仪、侧扫声呐、CTD 传感器以及长基线导航系统等<sup>[9-10]</sup>。



图 2 美军 Swordfish AUV 示意图

Fig.2 Schematic diagram of U.S. Swordfish AUV

“阿利斯特” 100 长 1.7~2 m, 直径 0.23 m, 重 55~70 kg, 工作水深 0~100 m, 巡航速度 2~3 kn, 最高航速 5 kn, 续航力 15 h。可从专业舰艇或近海平台操控, 可由刚性充气艇收放使用。传感器有效载荷配置灵活, 包括惯性导航系统、多普勒计程仪、高精度深度传感器、GPS 以及与定位系统的接口; 有效载荷包括侧扫声呐、视频摄像机、避障声呐等。

### 2) 大型自主水下航行器。

“刀鱼” 航行器(图 3)由通用动力先进信息系统公司以蓝鳍金枪鱼机器人的航行器为蓝

本制造, 计划成为濒海战斗舰反水雷任务包的一部分。“刀鱼” 航行器长 6.1 m, 直径 533 mm, 重量为 1 360 kg, 其搭载了宽带低频合成孔径声呐来寻找位于水中、海底上或掩埋中的水雷。无人水下航行器中带有数据库和处理器, 使得“刀鱼” 航行器能够识别其遭遇的任何类似水雷之类的目标。



图 3 刀鱼航行器示意图

Fig.3 Schematic diagram of Knifefish vehicle

瑞典 SAAB 公司 AUV62-MR 型无人水下自主航行器(图 4)可自主操作和高速长时间地执行水雷侦察使命, 并且具备更为先进的信息搜集能力。航行器不依赖专用舰艇, 可从潜艇、水面舰艇或岸边释放。AUV62-MR 航行器全长 4~7 m, 直径 533 mm, 质量 600~1 500 kg, 最大工作水深 500 m, 工作航速 0~20 kn, 定位精度小于 5 m。

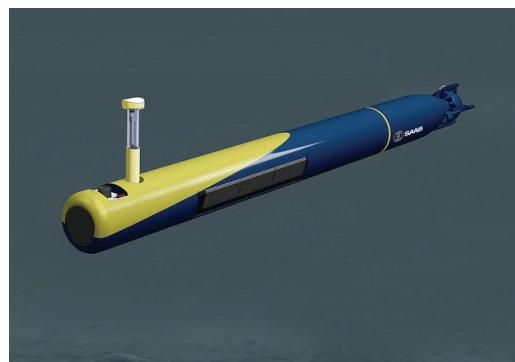


图 4 AUV62-MR 水雷侦察自主潜航体

Fig.4 AUV62-MR mine reconnaissance autonomous underwater vehicle

## 2 无人水下航行器反水雷的发展趋势

由于水雷威胁的加大, 各国目前比较重视利用无人水下航行器进行反水雷作战, 发展了多种型号, 这些水下水下航行器呈现以下几种特点。

### 1) 多为自主式水下航行器。

由于自主式水下航行器不需要人工的连续控制就能独立工作，也没有缆绳长度和重量的限制。因而，在有人平台控制范围内，当硬件条件能够保证的情况下，自主式水下航行器比遥控式水下航行器具有更大覆盖范围，因此，自主式水下航行器成为各国的发展重点。

### 2) 反水雷水下航行器的工作深度出现了两极化发展的趋势。

随着中远海反水雷作业的需要，深水水下航行器大量出现，但同时也出现了能在甚浅水区和拍岸浪区工作的潜航器以及海滩作业的爬行器，还包括一些半潜式航行器等。

### 3) 将成熟的商用潜航器进行改装用于反水雷任务。

将技术成熟、工作可靠、价格便宜的潜航器改装用于反水雷，是贯彻可承受性的具体措施之一。

### 4) 大力加强软件开发，加快猎雷速度。

多个国家正在研发“计算机辅助探测与计算机辅助识别”等软件技术，处理潜航器收集的各种数据，从类似水雷的物体中识别出真正的水雷，以加快猎雷和清除水雷行动的速度。

## 3 对反水雷发展的影响

无人水下航行器的发展速度越来越快，成为21世纪高技术战争舞台上的重要武器装备，在反水雷战场上，无人水下航行器也将成为是一支不可忽视的重要作战力量，并使反水雷作战方式、反水雷作战概念等方面发生巨大的变化。

### 3.1 降低平台全寿期费用及减少人员伤亡

无人水下航行器在设计时无需考虑人员战斗和生活环境条件以及演练等因素，从而可以大幅度降低各种费用。同时，随着大国海军的作战范围从远洋转移到近岸浅水，其作战环境发生了重大变化。这里海底地形复杂，潜艇在浅水中不易隐蔽，水雷对潜艇的威胁大大增加。无人水下航行器却能在这样困难和危险的近海水域中顺利完成各种作战任务，从而避免了有人作战平台的损失和人员伤亡。

## 3.2 无人水下航行器有效提高反水雷作战效能

无人水下航行器在反水雷方面具有不可比拟的优势，尤其是在困难和危险的近海水域。可由母舰（或潜艇）携带、投放，远离母舰执行任务，确保母舰安全；可通过无线电或水声实时与母舰进行数据交换，及时报告现场情况、接收指令；根据具体情况，可遥控或近距离进行水雷处理作业。无人水下航行器的使用，大大提高了海军反水雷作战的能力，使无人水下航行器成为对付“不对称”水下威胁的有力武器。

### 3.3 实现雷区无人化

未来无人水下航行器可执行水雷侦察、雷区边界确定、航道侦察等任务。水雷侦察主要用于对雷区内水雷的布设情况进行探察，水下无人航行器自主航行到预定海域附近秘密侦察，并将获得的侦察数据进行编码处理，回收后获取侦察数据，以实现远距离快速侦察。

雷区边界确定主要用于获得雷区范围的大小，无人水下航行器深入到敌水雷区绘制整个雷区图，并进一步搜集和查明敌人布雷数量、类型和布深，为编队避开雷阵或进一步灭雷作好充分准备。

航道侦察主要用于寻找安全航道，当通过敌方布雷海域或遭敌水雷封锁时，为了在短时间内快速安全通过，可以采用无人水下航行器深入敌水雷区查明航道，引导我方舰艇安全通过雷区。

## 4 无人水下航行器的关键技术

当前，制约、决定无人水下航行器反水雷系统发展的关键技术主要包括：能源与动力技术、自主控制技术、布放回收技术以及隐身技术等。

### 4.1 能源与动力技术

无人水下航行器的续航能力主要是由所使用的能源决定的，所装备的猎雷设备和通信设备同样需要消耗大量的能源，因此，能源与动力技术将在很大程度上决定着航行器的性能。目前具有较高发展潜力的能源包括：电池、燃料电池以及热机系统的燃料等<sup>[11]</sup>。

各国正在开发的电池主要包括：锂钴电池、锂离子电池和融盐电池、锂-亚硫酰氯电池、铅酸电

池、锰碱性电池以及其它的特殊电池，如高温钠-硫电池等。燃料电池主要有铝-氧半燃料电池、铝-次氯酸钠电池、铝-过氧化氢电池等。

## 4.2 自主控制技术

无人水下航行器在执行任务过程中，需要根据外界环境情况的变化自主选择最优的作业流程，以保证作战任务的顺利完成。自主控制技术主要包括任务规划与管理、自主避障技术等。

### 1) 任务规划与管理。

无人水下航行器反水雷系统在未知、复杂和危险的环境下执行任务时的任务管理与控制是一个复杂的实时问题，需要非常先进的任务管理与控制系统使其在水中自主执行各种任务，其关键是开发高性能的软件。任务管理系统需要对反水雷系统所要执行的各种任务进行规划、监控，并完成航行器的导航、数据处理与记录以及故障管理等。

### 2) 自主避障技术。

避障是指在发生紧急情况时的紧急处理过程，如当无人水下航行器遇到突发障碍物而有碰撞危险时，应根据实际情况进行路径规划，采取躲避等措施。避碰问题实际上是一种最优化问题，其优化指标是消耗的时间和能量。

目前，美国、英国等国无人水下航行器的自主避障技术处于世界领先地位，现在的技术超越了基本的避障功能，综合了各种分散的数据融合模块，并且引入了态势感知技术。自主避障技术主要通过系统的前视声呐、内部处理器（母船上的处理器）以及软件来实现，其核心是内部处理器。

## 4.3 协同控制技术

无人水下航行器受尺寸、重量、成本、作业时间等因素的限制，其单个平台的能力较弱，往往聚集某一项或几项能力，进而发展出探雷型、处置型、运输型、通信型、导航型等不同类型的无人水下航行器，因此，无人水下航行器无法独自完成上级给定的反水雷作业任务<sup>[12]</sup>。未来，能够将多个无人水下航行器进行集群，协同控制不同类型的无人水下航行器，扩展单体航行器的感知范围，提高工作效率，实现单体航行器无法或难以完成的复杂任务。

## 4.4 收放技术

无人水下航行器的布放与回收技术是航行器的关键技术之一。航行器的布放技术可以确保航行器安全入水去执行任务，而当航行器完成使命后，通常需要回收到母船（艇）上，以便补充能源、下载数据、维护保养和重新设置使命任务。航行器的布放与回收可分为水面布放回收与水下布放回收<sup>[13]</sup>。

目前，很多水面舰船布放航行器都利用机械吊臂将其布放到水中，例如美国海军的“战场准备”自主无人水下航行器。美国的“海马”也进行过从水面舰船的倾斜滑轨布放的试验。水面回收方式主要有利用机械挂钩回收和利用滑道和回收器进行回收。

潜载航行器的布放与回收技术可以分为艇内发射回收技术和舷外发射回收技术。其中：艇内发射回收技术适用于仿鱼雷外形的航行器，也是目前最为普遍的一类航行器。一方面是对其水下特征更好把握；另一方面是发射时可利用鱼雷管或导弹管等较为成熟的发射技术，可大大降低潜射航行器的开发难度。但相对于发射而言，航行器的水下回收难度很大，没有成熟经验可寻。舷外发射回收是将航行器附着在潜艇的耐压艇壳外部，该种方法可不用考虑发射管的限制，且不占用潜艇的空间；但该方法也存在一些问题，如在一定程度上改变了潜艇的流体性能以及水声特征等。

## 4.5 隐身技术

为了减少无人水下航行器在反水雷作业时被敌方探测的概率，需要考虑系统的隐身技术，主要是采用一些隐身效果较好的材料，另外还采用特殊的形状，同时要尽量降低无人反水雷系统的声磁特性，来避免被敌探测。为了使无人水下航行器上的传感器更高效地工作，需要对航行器进行降噪，目前主要的降噪方法有：设计低噪音的电动机和螺旋桨、外涂吸声涂层和采用机械隔振装置。

## 5 结束语

传统反水雷装备作业安全风险较高，国内外均

重视反水雷安全性能的提升, 将无人技术与传统反水雷装备结合, 实现无人反水雷是未来反水雷的重要发展方向。水下无人航行器具备隐蔽性好、安全性高等特点, 可有效提升反水雷作战的安全性。因此, 国外加快了水下无人航行器的发展, 并按照沿海、近海、中远海的反水雷需求, 陆续发展沿海水下无人水下航行器、近海水下无人水下航行器和中远海水下无人水下航行器等。为满足未来我国反水雷需求, 实现雷区无人化, 我国应借鉴国外的思路, 加快水下无人航行器的发展。

## 参考文献

- [1] 罗云虎. 面向体系作战的水下无人攻防装备发展构想[J]. 数字海洋与水下攻防, 2020, 3 (3): 212-218.
- [2] 赵治平, 官红, 艾艳辉, 等. 无人化时代反水雷装备体系构想[J]. 数字海洋与水下攻防, 2018, 1 (1): 1-6.
- [3] 官红, 陈焕杰, 柳占新. 发达国家最新反水雷计划[C]//2011反水雷兵器技术与装备发展研讨会论文集. 北京: 兵器工业出版社, 2012: 19-22.
- [4] KEDDIE I. MCM goes unmanned[J]. Jane's Defence Weekly, 2013 (6): 26-31.
- [5] ANNATI M. Mine countermeasures what is new[J]. Naval Forces, 2011 (3): 14-21.
- [6] MANARANCHE M. France plots route to new unmanned MCM capability[J], Warship Technology, 2011 (5): 37-38.
- [7] 钱东, 赵江, 杨芸. 军用 UUV 发展方向与趋势(上)——美军用无人系统发展规划分析解读[J]. 水下无人系统学报, 2017, 25 (1): 1-30.
- [8] 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.
- [9] 黄亮, 王智勇, 李海岩. 美海军无人潜航器的发展与应用[J]. 舰船电子工程, 2018, 38 (9): 13-15.
- [10] 万克, 吴懿鸣, 冯晓硕. 美国海军应对未来水下战的装备发展分析[J]. 数字海洋与水下攻防, 2020, 3 (1): 71-75.
- [11] 任丽彬, 桑林, 赵青, 等. AUV 动力电池应用现状及发展趋势[J]. 电源技术, 2017, 41 (6): 952-955.
- [12] 张伟, 王乃新, 魏世琳, 等. 水下无人潜航器集群发展现状及关键技术综述[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2020, 41 (2): 289-297.
- [13] 杜俊, 谷海涛, 孟令帅, 等. 面向 USV 的 AUV 自主回收装置设计及其水动力分析[J]. 工程设计学报, 2018, 25 (1): 35-42.

(责任编辑: 张曼莉)