

# 水下攻防对抗体系及其未来发展

谢伟, 杨萌, 龚俊斌

(中国舰船研究设计中心, 武汉 430064)

**摘要:** 为顺应现代海战的演进趋势, 水下攻防对抗正朝着体系化方向发展, 综合了水下预警、侦察、探测、攻防等一系列行动。虽然单一领域的武器装备发展迅速, 但水下攻防仍存在对抗体系的能力建设、作战样式、未来发展重点不甚清晰等问题。本文梳理了军事强国水下对抗体系建设的现状与基础, 分析研判了未来水下攻防对抗体系的功能组成和典型作战样式, 重点阐述了水下攻防对抗体系装备发展的主要方向, 同时提出了加强综合感知和导航、发展联合指挥控制、注重军民融合式发展等水下攻防体系与装备的建设举措。相关研究可为我国未来水下攻防对抗的顶层设计和装备论证提供理论参考。

**关键词:** 水下攻防; 对抗体系; 协同作战; 无人系统

**中图分类号:** TJ6      **文献标识码:** A

## Underwater Attack-Defense Confrontation System and Its Future Development

Xie Wei, Yang Meng, Gong Junbin

(China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** As an important development direction of naval warfare, the underwater attack-defense confrontation system integrates underwater warning, scout, detection, attack, defense and a series of other operations. Currently, although underwater offensive and defensive weapons have developed rapidly, research on the capacity building, combat styles, and development priorities of the confrontation system still lacks. This paper first summarizes the status quo of underwater confrontation system construction in some military powers, and analyzes the functional composition and typical combat styles of the future underwater attack-defense confrontation system. Furthermore, it systematically studies the development directions of the future confrontation system, and proposes corresponding suggestions for the development of the underwater attack-defense system and equipment, including improving integrated perception and navigation, developing unified command and control, and promoting military-civilian integration.

**Keywords:** underwater attack and defense; confrontation system; coordinated combat; unmanned system

### 一、前言

作为现代综合海战的范例, 水下攻防对抗体系

是指跨域作战单元按照统一部署, 综合运用探测、指控、打击、保障等作战要素, 形成执行水下攻防作战任务的有机整体。既是动态、开放的复杂网络

收稿日期: 2019-06-21; 修回日期: 2019-11-07

通讯作者: 谢伟, 中国舰船研究设计中心研究员, 研究方向为舰船总体设计; E-mail: 18971233557@189.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“海洋强国战略研究 2035”(2018-ZD-08); 国家自然科学基金青年基金项目(61503354); 湖北省自然科学基金项目(2018CFB180)

本刊网址: [www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae](http://www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae)

系统, 又是水下战场探测感知、信息传递、指挥控制、决策交战、综合评估等全过程相关的作战资源有序集合。这一体系内的各分系统在功能上相互作用、性能上相互补充 [1]。

水下攻防对抗的主要特点如下。①作战隐蔽性强。核动力潜艇隐蔽性好、机动能力强, 可常年在对方核心经济区周边的重要海域游弋。由于近海环境的复杂性, 探潜的难度往往大于深海。②破坏性大。战略核潜艇携带多枚战略弹道导弹, 威慑力巨大; 战术核潜艇携带大量的远程打击武器, 用于实施精确、高强度打击。如军事强国在多次海外作战中均由水下作战平台率先发动突然袭击。③体系化。军事强国提出网络中心战理论, 通过网络连接跨域战场的各个作战单元, 使分散配置的武装力量共同感知战场态势, 进一步增强信息优势, 形成体系作战的理念 [2]。通过实战实训检验了跨域作战的协调行动能力, 凸显和放大了水下对抗的作战效能。进入 21 世纪, 为确保水下战场透明化并增强水下作战能力, 还加强了对重点海域水下综合资料的调查搜集。

可以预见, 未来海上作战已不再是武器对武器、平台对平台的对抗, 而是转变为体系之间的对抗, 单纯依赖平台的水下对抗模式将逐步丧失竞争力 [3,4]。相关国家应综合运用跨域、立体、多节点的资源, 构建攻防兼备、协同一体的水下攻防力量体系, 呈现“信息主导, 体系对抗, 资源共享”的新格局 [5~7]。鉴于水下体系对抗研究的复杂性、水下试验模拟周期长且费用高, 较多采用水下对抗仿真手段来开展针对性研究 [8,9]。建立参战双方各类攻防装备的运动学和声学数字模型, 反演真实海洋环境, 应用计算机仿真技术建立水下对抗推演及效能评估系统 [10~12]。

水下攻防对抗体系的理论成果直接关系到仿真研究的有效性, 这是因为仿真建模需要立足虚拟战场环境, 根据实际作战海域、双方作战单元和作战使命任务的差异, 针对性地配置对抗体系构成元素, 如有人/无人装备、固定节点、基础设施等。然而相关体系的组成、未来发展等前瞻性研究较为缺乏, 不足以支撑水下攻防对抗仿真系统的准确构建, 这是本文研究的切入点。以军事强国水下对抗体系建设现状为基础, 开展未来水下攻防对抗体系的装备组成和典型作战样式的探索, 以期推

动水下攻防对抗体系的学术研究、提出我国在本领域的发展建议。

## 二、建设现状

世界主要海上力量国家高度重视并积极开展水下攻防对抗体系的研究和建设工作。

美国海军积极实践水下作战概念创新, 2016 年发布《水下战科学与技术目标》指导文件, 提出了 10 个重点领域的科学与技术目标, 力图显著提升水下部队的战场态势生成能力, 确保水下作战平台初步具备体系化攻防对抗及网络化作战的能力。美军水下作战体系主要由水下预警监视系统、指挥通信系统、攻防作战系统、综合保障系统等构成。①水下预警监视系统包括水声监视、太空监控、电磁监控、空中监控等手段; ②指挥通信系统包括水下主要采用的水声通信, 未来可能会采用的蓝绿激光通信; ③攻防作战系统包括水下力量和空中、水面、岸基反潜力量; ④综合保障系统包括海洋地理环境、海洋水文气象、海洋工程建设、搜索救援、导航定位、基础数据建设保障等。美国的水下攻防对抗体系基于新型远程传感平台(如海洋监视船)和新一代水下通信系统, 强化水下攻防对抗网络, 新增水下立体攻防对抗装备, 并逐渐向无人化、智能化方向发展。

俄罗斯海军近年来正在逐步恢复水下作战能力, 主要通过具有传统优势的潜艇作战能力和目前初步建成的水面、水下、太空和岸上多维联合信息空间系统来实现。一体化信息网络有助于缩短决策时间、提高指令传达有效性, 同时具备一定的抗干扰能力, 主要构成包括: 声呐“对话”通信系统、水下高速互联网络、水下“格洛纳斯”导航系统、“和声”海上监视系统。在对抗手段方面, 既拥有多种型号的舰壳声纳和潜艇声纳, 又掌握非声手段的反声纳探测技术、反袭击破坏声纳系统, 还具备使用气幕弹进行水下声波屏蔽的能力。

德国、英国、法国、日本等国均构建了相对独立的海军装备体系, 共性是既具有先进的电子信息作战能力, 又具有较强的制海作战能力。其中, 德国的常规潜艇制造技术达到世界一流水平, 英国和法国具有独立的核威慑能力, 日本建成了完善的反潜反水雷装备体系。

### 三、装备组成与典型作战样式

#### (一) 装备组成

水下攻防对抗的基本过程为：攻击方发现并识别防御方，在跟踪并确定目标信息后，根据上级指挥所指示或预设的攻击策略实施攻击；防御方在发现攻击方或声纳报警后实施防御；相关回合持续进行，直至攻击方失去攻击能力，如弹药用尽、防御方被击沉、防御方成功逃逸等。

有效遂行上述对抗任务，涉及6方面能力：

①侦察预警能力，能够综合运用各种固定和机动侦察预警手段，发现、跟踪、识别和报知水下威胁目标，及时准确地提供水下目标情报信息；②指挥控制能力，建成多手段并用、节点联接紧密、信息传输快捷、辅助决策高效、覆盖范围广泛的指挥网络与控制系统；③隐蔽突防和打击能力，通过提高水下平台的综合隐身性能，使先进水下兵器能够对敌方的航母编队、港口基地等重要目标构成有效威胁；

④水下防御作战能力，运用多种反潜、反水雷、反水下特种作战手段及时可靠地消除水下威胁；⑤水下信息作战能力，对敌方的潜艇和水中兵器实施信息对抗，干扰、欺骗、压制、摧毁敌方的水下警戒系统和水下网络信息系统；⑥综合保障能力，实现对全球重要海域的全时环境测量监测，导航定位精度和水下目标特性数据满足水下长时间航行和武器使用要求，具备深远海援潜救生能力。

针对上述水下攻防对抗过程及所需能力，相应的水下攻防对抗体系装备主要分为：机动装备、固定装备、基础设施（见图1）。这3类装备通过信息保障网络传递信息，受整个攻防体系的统一指挥控制 [13]。

#### 1. 机动装备

机动装备分为有人装备和无人装备两大类。

##### (1) 有人装备

有人装备主要包括反潜水面舰船、潜艇、反潜机等，负责水下攻防体系的整体侦察预警、指挥决

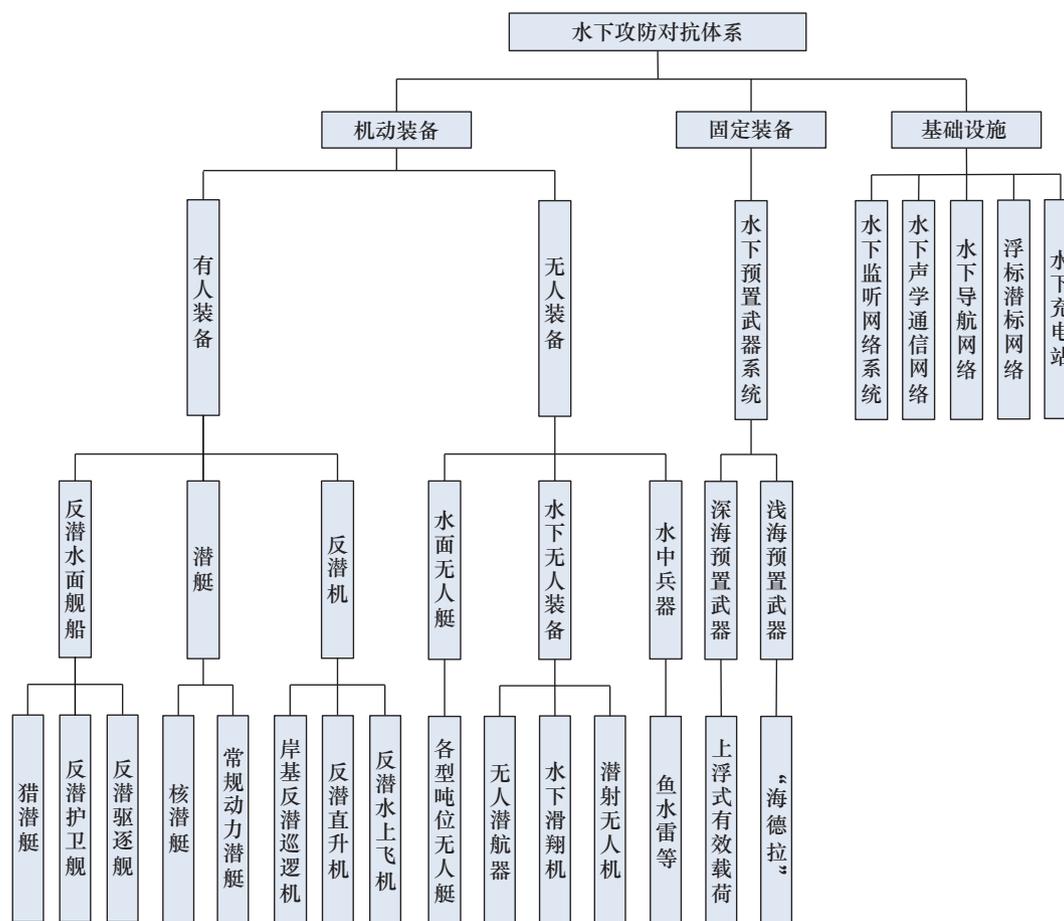


图1 水下攻防对抗体系的装备组成

策、兵力投送、火力打击等，还可为无人装备提供能源。有人装备既是水下攻防体系的指挥中枢，又是集火力打击、战略威慑、兵力投送等为一体的大型综合作战装备。

### (2) 无人装备

无人装备主要包括无人水面艇 (USV)、水下无人装备和水中兵器，重点执行情报监视 / 侦察、跟踪、反潜艇、反水雷、隐蔽打击等任务。

典型平台有 USV、无人潜航器 (UUV)、水下滑翔机、潜射无人机等。USV 具有续航力强、便于独立部署等优点，主要用于反潜监视巡逻和收集环境数据。UUV 具有隐蔽性强、能自主控制等优点。水下滑翔机主要从事海洋战场隐蔽探测与侦察任务，利用绿色能源的优势，理论上航程极远，但航速慢。潜射无人机可独立遂行侦察、跟踪、中继制导、通信中继和电子干扰等任务，为区域内的舰艇提供战时信息支援。

水中兵器是指各种水下发射和控制的武器，包括鱼雷、水雷、深水炸弹、水下发射导弹、水下诱饵、蛙人运输艇等。水中兵器既提供多样化的水下打击方式，又是有效的欺骗对手的手段，构成水下特种作战的基础性支撑。

### 2. 固定装备

固定装备主要指水下预置武器系统，一般提前部署在关键海区，长期在海底待机；在战时唤醒，对敌方舰艇进行导弹或鱼雷打击。分为深海和浅海使用两类。

#### (1) 深海预置武器系统

作为典型的深海预置武器系统，美国的“上浮式有效载荷”预置在深海，由运载器、有效载荷、通信子系统等组成；通过水面舰艇布放，可在水下 4 km 深度待机 5 年；远程唤醒后，按照目标指示信息，快速发射导弹、释放无人机或布放传感器，适合执行战场信息支援和伏击任务。

#### (2) 浅海预置武器系统

典型的浅海预置武器系统是美国的“海德拉”，预置在近海，由水面舰、潜艇、飞机等平台投放，搭载了数架小型无人机和无人潜航器，能在水深 300 m 以内的海区连续潜伏 6~12 个月，被动接收指挥、控制和情报信息，唤醒后自主指挥作战载荷执行反潜任务。

### 3. 基础设施

通过水下基础设施建设，可以形成近海海峡、咽喉要地和具有战略意义海区的长期固定水下警戒能力。分为水下监听网络系统、水下声学通信网络、水下导航网络、浮标潜标网络、水下充电站等。水下监听网络系统将水下监听器用电缆串联成为探测阵列，执行水下预警和情报搜集任务。水下声学通信网络用于解决水下高带宽通信问题，为水下装备提供战时信息保障。水下导航网络通过水下信标提供精度导航定位支持。浮标与潜标网络提供海域水上、水下的环境信息，并可作为导航、通信的中继节点。水下充电站为水下无人潜航器等水下装备提供能源。

## (二) 典型作战样式

### 1. 空海联合有人 / 无人协同作战

2015 年，美国智库研究报告《水下战新纪元》指出：水下作战样式向潜艇-无人平台体系化转变，潜艇需要从类似于飞机的前沿战术平台转变为类似于航母的协同平台；积极探索空间卫星、空中飞机、水面舰艇、水下阵列等各种作战资源的整合，将全域、多维且数量众多的反潜传感器进行协同，生成精确和实时的战场态势图。可见，未来水下攻防对抗体系将具备一体化、网络化的协同水下作战指挥控制能力，通过潜艇平台快速、有效地组织执行各种水下作战任务，再利用水声数据链将多种作战平台和信息节点有机联合。通过建立水下信息优势，实现水下战场态势感知和高度共享，快速指挥先敌行动和部队行动，执行联合水下打击任务，封锁敌潜艇进出水道。

未来典型的水下作战行动可表述为（见图 2）：  
①利用海洋监视卫星、电子侦察卫星、遥感卫星等手段进行战略预判，分析潜艇等水下兵力部署，研判可能的后续行动；  
②利用水下监视系统、海洋监视船等手段进行战役侦察，大范围概略获取敌方水下平台的地域和方位；  
③利用反潜机在可能的地域和方位进行搜索，采用对可疑目标投放声纳浮标等手段进行识别定位；  
④使用反潜机或其他反潜手段进行跟踪或攻击。这一作战行动蕴含着体系化的协同作战思想，相关装备将部署在全球重点海域和主要的海峡水道。

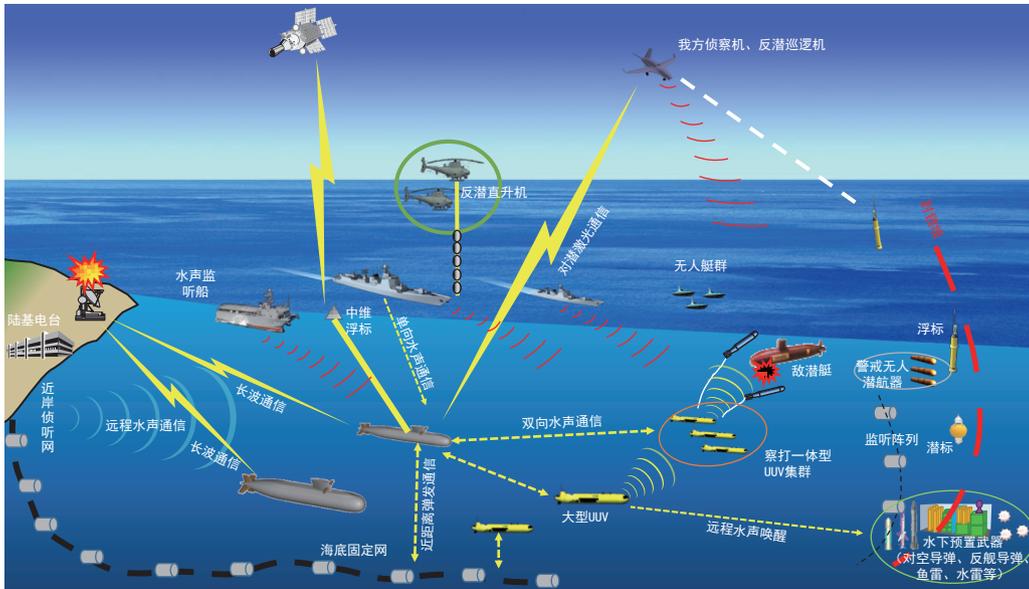


图2 未来典型水下作战行动示意图

在上述协同作战中，潜艇等有人平台主要承担作战指挥任务，无人系统既可持续侦察探测，还可提供精确和及时的直接/间接火力。据此提出两个典型的水下对抗场景。

#### (1) 有人/无人协同水下区域控制

多个UUV自主组网前出，在既定海域按照预先规划路径进行搜索，对监视区内的水下目标进行持续探测跟踪。UUV群将目标信息中继传输返给有人平台，后者决策后向UUV群下达攻击指令，并评估打击效果，判断是否进行二次打击。由此形成闭环的“侦察-打击-评估”水下区域控制链路，在海上交通要道或关键海域构建新型联合攻势反潜体系。此外，通过在己方舰艇编队周围布放配备低频主动声纳的大型无人水面艇、机动式探测网络，显著强化编队防御性反潜能力。

#### (2) 水下预置系统反航母编队

水下预置系统提前部署在重点海域并长期潜伏，战时远程唤醒。判断敌航母编队进入水下预置平台集群武器射程之内后，后方指挥艇向水下预置系统发送带有目标指示信息的打击指令；水下预置系统对敌航母编队进行首轮鱼雷或导弹攻击；远离危险区的指挥艇根据攻击效果，选择是否抵近对敌航母编队实施二次攻击。

#### 2. 水下无人集群作战

单个水下无人作战装备无法胜任多种复杂的作

战任务，水下无人装备正朝着无人集群作战方向发展。以美国海军相关研究为例：① 2006年，利用巡航导弹核潜艇搭载无人系统，通过众多UUV节点的相互通信，构建监视范围达 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的近海持续监视网(PlusNet)；② 2011年，美国海军采购了超过300艘滑翔式潜航器(Glider)，可在水深10~1000 m的近海海域遂行海洋环境监测、水下移动目标跟踪与监视、水下情报搜集和关键海域数据获取等多种任务；③ 2016年，美国国防高级研究计划局(DARPA)布局立体化、无人化、分布式的作战模式创新项目，将分散独立的多种无人集群新概念装备进行整合(见图3)，形成面向智能化时代的新概念海战体系；④ 2017年，美国海军水下无人作战系统的首支部队正式成立；⑤ 波音公司“回声-旅行者”UUV(80吨级)，潜深超过3000 m，续航里程达12000 km，可从关岛编队出发在南海区域持续数月工作。

未来典型的水下无人集群作战方式描述如下：多个UUV被发射出后组成水下集群，隐蔽航行到指定区域进行巡航搜索；UUV集群形成的水下监视网络可在4 h内搜索探测 $8.57 \times 10^5 \text{ km}^2$ 区域的水下敏感目标，能够探测到数十千米外的目标并进行多节点接力跟踪；探测到目标后与决策者通信，接收攻击命令后，开展协同自主攻击，采用“狼群战术”对航母编队等高价值目标进行集中火力打击。

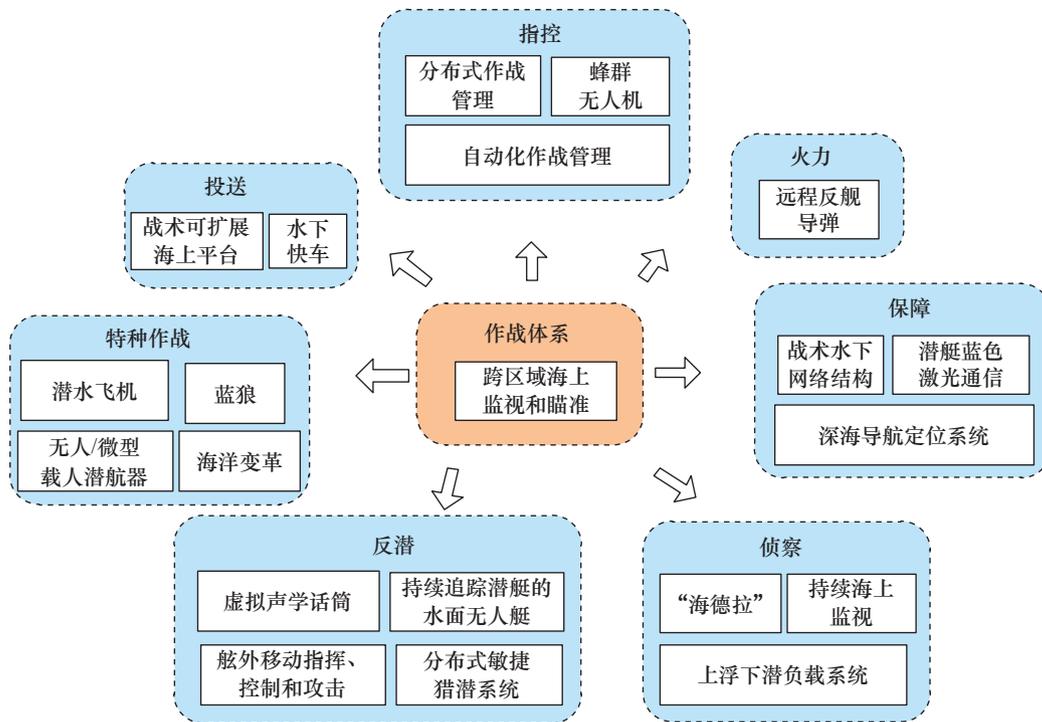


图3 美国 DARPA水下作战体系创新项目构成

### （三）涉及的关键技术

提升水下攻防对抗体系能力需要发展的关键技术，可以按专业领域分为四大类。

（1）攻防体系相关技术，主要包括水下攻防对抗试验体系、作战体系效能、体系建模与仿真推演、战场环境体系构建、自适应组网等体系工程研究领域的关键技术。

（2）装备平台技术，主要包括各类潜艇相关技术，如设计技术、大潜深技术、隐身技术、动力装置技术、推进器技术等；还有水下预置武器系统总体设计和唤醒发射，水下无人平台协同作业、回收布放等关键技术。

（3）武器类技术，主要涉及鱼雷、水雷、导弹、水声对抗器材等水下攻防武器，其关键技术为相关的航行控制、导引、能源动力、布放、发射等。

（4）信息类技术，主要涉及水下预警探测、指挥控制、通信导航等关键技术。

## 四、体系装备发展方向分析

以信息技术为核心的新军事革命浪潮的兴起，为海军装备的创新发展提供了机遇和动力。有关水下无人系统的未来发展已有探讨研究 [14]，本文着

重分析水下攻防对抗体系装备发展情况。

未来提升作战能力的关键在于信息获取，因而提升对抗体系的整体态势感知能力、装备间互联互通能力成为未来海军的重要建设方向，涉及 3 个方面：发展大范围战场态势感知和协同作战能力，发展小范围平台间协同探测、通信、指控、电子战能力，研究水下信息技术和建设水下信息网络。为实现上述能力提升，应在以下装备发展方向开展重点建设。

### （一）无人平台优先发展

无人作战平台在海军武器装备中将占据重要位置，成为未来战场的力量倍增器。近年来，在军事强国的新一轮海军兵力结构评估中，首次纳入无人水面艇和超大型无人潜航器，凸显了水面/水下大型无人平台的重要性。多种无人系统加速部署，将成为改变水下攻防对抗作战样式的支点。

#### 1. 反水雷和侦察型无人潜航器是发展重点

无人潜航器具有目标小、隐蔽性强、可连续执行任务的特点，非常适合执行探测和攻击舰艇、潜艇等任务。国内外都在积极研究无人潜航器在网络化水下探测和联合反潜等领域的应用。2011 年，美国 DARPA 提出“分布式敏捷反潜系统”（DASH）

概念,并于2017年完成系统样机研制。DASH首创“自下而上”的探潜模式,利用数十个无人潜航器进行组网,在6000 m水深由主动声呐对上方海域进行监测,规避海面、海底声散射的影响,能及时可靠地发现指定海域内的敌方潜艇。美国通用动力公司研发的“蓝鳍金枪鱼-12”UUV已投入使用,配置智能自主算法,用于传输关键任务数据、执行多样化任务;“刀鱼”水面反雷(SMCM)UUV已进入小批量生产阶段,用于在复杂的海底环境中自主发现和识别水雷,成为反水雷任务包中的重点装备。

## 2. 无人机成为重要的战场侦察装备

水下攻防装备体系由太空、空中、水面、水下、海底等多维立体装备系统所构成。专用飞机是战场信息获取的重要装备,以反潜为例,反潜机是反潜作战最有效的装备种类,具有响应速度快、控制范围大、攻击方式多、机动灵活等优点。军事强国尤其重视舰载无人机的性能提升与应用创新,通过新概念、新材料和新技术的采用,全面加强无人机的智能性、隐身性、机动性、滞空性以及全天候飞行能力。

美国海军重点发展舰载无人机的智能化指控系统、智能化打击武器、智能化隐身方法、空中加油、太阳能动力等前沿技术,例如:①通过应用人工智能方向的深度学习、搜索和模式识别、数据挖掘、自然语言处理等新技术,提高单机飞行智能、多机协同智能的水平;②通过开发全天候、高分辨率、远距离、实时化、小型化的任务设备,提高无人机的任务自主智能;③通过多波段隐身、辐射与带宽管理等技术的突破,提高无人机的隐身性,有效规避探测。X-47A、“火力侦察兵”“深海幽灵”等舰载无人机先后完成研制和试飞,引领了国际无人机的发展潮流。

## 3. 无人作战舰艇强调样式多元、智能自主

早期的无人水面艇,其续航力、航速、排水量等普遍偏小。为进一步提高无人水面艇的作战性能,满足海军对长时间持续反潜的作战需求,2010年,美国DARPA开始研究反潜持续追踪无人艇(ACTUV)。该艇最大速度为50 km/h,最大续航里程超过18 000 km,满载重约140 t;可在无人驾驶、无人遥控状态下自主巡航2~3个月,5级海况可持续操作,7级海况保证航行与存活。美国还计划研制航速高达100~120 n mile/h的超高速无人水面艇。

英国即将部署的无人水面艇搭载自主反潜监视系统(SeaDrix),具有独立的任务规划、规避碰撞、声呐处理和态势感知子系统,以及综合通信和与无人平台间的协同能力。相关概念和装备充分体现了无人作战舰艇的智能化发展方向。

## (二) 装备平台突出多功能化

由于未来作战任务日益复杂,装备发展已经从注重特定单一用途转向多功能多用途。分立的武器系统组成一个大系统,使作战平台具有多个作战功能,适应不同的作战任务。例如,水面舰艇技术的发展催生了多种力量投送型航空母舰和先进多功能导弹驱逐舰;未来的航空母舰可以搭载空中、水面、水下多种武器平台,集多种作战能力于一体,可执行多样化任务。

武器系统多用途化趋势明显。通用导弹舱段(CMC)是美国“哥伦比亚”级弹道导弹核潜艇的应用创新:采用模块化设计,集成了导弹的运储、发射、电源、冷却、空调、控制等部件,并可适配弹道导弹和巡航导弹等不同类型规格的弹种。每艘潜艇安装4个CMC,每个CMC发射模块配备4具导弹发射管(见图4),作战载荷配置灵活度极高。

装备平台多功能的趋势更为明显。美国海军濒海战斗舰(LCS)作为一种模块化、可重构的舰船,具有任务包替换能力:按照不同需求为相应战区提供任务包,分别执行近海区域的水面作战、反潜战和反水雷等多种任务。LCS采用开放式系统架构设计,配备模块化武器分系统、传感器分系统以及各种有人/无人飞行器,用于巩固并扩大对沿海水面的控制力,为联合部队进入关键战区提供支持。

## (三) 装备平台隐身全面化

水下武器装备平台的隐身性能极为重要,关系

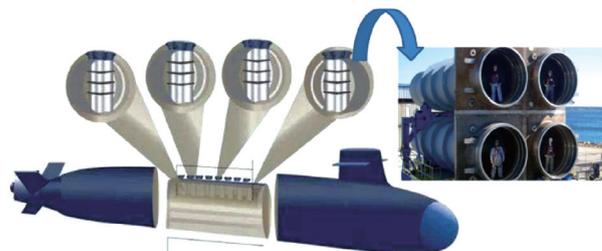


图4 美国核潜艇通用导弹舱段设计示意图

到自身的生存性和打击效能。现代侦察探测系统针对水下装备平台的目标特征,综合采用了多种探测技术和手段。为达到理想的隐身效果,水下武器平台必须综合运用反声纳、反电场、消磁、诱饵和主动干扰等多种隐身手段。对于常规动力潜艇来说,不依赖空气推进装置(AIP)和燃料电池的升级换代,降低噪声、提高效率,朝着全程隐蔽航行的方向发展,是提高常规潜艇隐蔽性的有效手段,成为新型潜艇总体设计的标准配置。

### 五、领域发展建议

#### (一) 在重点战场方向上发展综合感知和导航能力,是水下攻防对抗系统建设的先决条件

为全面提高水下、水面、空中的全空间维度感知能力,建议:以太空侦察为战略预警,加强200 m等深线以内水下听测系统建设,发展海上预警探测无人系统;综合运用UUV组网、海底光纤、浮标、潜标等多种手段,解决水下远距离通信或水面-水下跨域通信问题;利用舷外多基地探测技术实现水下远程探测。

导航定位能力是水下战场实施战略/战术行动的基础要求,在远洋水下军事任务中,对保障作战效能和航行安全至关重要。研究重点是以惯性导航、声学导航、重力匹配、地形匹配、地磁匹配为要素的水下组合导航技术[15]。

未来,新型水下导航系统可与其他水下探测感知系统组合,构建一种水下分布式感知和导航网络,使得水下装备“看得更远、更清楚”,显著提升己方的分布式精确打击和战略反击能力。

#### (二) 发展一体化联合作战指挥控制系统,是赢得未来水下攻防体系作战的重要因素

以信息传输为基础,发展对重点方向未来可能作战地域的指挥控制能力,特别是对水下兵力行动的指挥控制能力。借鉴DARPA“战术海底网络架构”系统概念,通过少量的水面浮标、大量的海底浮标和细光纤,在深度超过3000 m的海底具备数百千米距离上的分布式电力节点和数据通信能力,从而有效突破对潜指挥通信的关键技术体系,探索建立实时、高效、大容量的指挥通信网络,综合形成水下攻防对抗体系的一体化联合指挥控制能力。

#### (三) 军民融合式发展,是提升水下攻防对抗体系信息能力建设的有效途径

美国国防部在近几年的《国防报告》中持续阐述“军事革命”和“商业革命”概念,提出要利用“商业革命”促进“军事革命”发展。这主要是因为美国社会商业发达、信息化程度极高,“商业革命”的发展超前于“军事革命”,前者对后者有鲜明的促进和借鉴作用,在武器装备采办领域具备“以商促军”的条件和优势。

有鉴于此,我国推动军民融合深度发展,推进国民经济和国防建设协调发展,将是开展水下攻防对抗体系研发和建设、提升体系能力的有效途径。应当规范军民水下信息获取、融合处理、综合印证的程序流程、制定海洋环境和水声数据采集共享规定和信息标准接口、加快新型远程传感平台和新一代水下通信系统研发,从而构建联合、统一、顺畅的海洋环境及水下目标数据的信息保障机制。

#### 参考文献

- [1] 司广宇, 苗艳, 李关防. 水下立体攻防体系构建技术[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(1): 1-8.  
Si G Y, Miao Y, Li G F. Underwater tridimensional attack-defense system technology [J]. Command Control & Simulation, 2018, 40(1): 1-8.
- [2] 马力, 张明智. 基于复杂网络的战争复杂体系建模研究进展[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(2): 217-225, 245.  
Ma L, Zhang M Z. Research progress on war complex system of systems modeling [J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(2): 217-225, 245.
- [3] Vaccaroand R J, Harrison B F. Optimal matrix-filter design [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1996, 44(3): 705-709.
- [4] Cox H. Multi-rate adaptive beamforming (MRABF) [C]. Cambridge: Proceedings of the 2000 IEEE Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop, 2000.
- [5] 孙超. 水下多传感器阵列信号处理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2007.  
Sun C. Signal processing for underwater multi-sensor array [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 2007.
- [6] Capon J. High-resolution frequency-wave number spectrum analysis [J]. Proceedings of the IEEE, 1969, 57(8): 1408-1418.
- [7] 杨智栋, 李荣融, 蔡卫军, 等. 国外水下预置武器发展及关键技术[J]. 水下无人系统学报, 2018, 26(6): 521-526.  
Yang Z D, Li R R, Cai W J, et al. Development and key technologies of preset undersea weapon: A review [J]. Journal of Unmanned Undersea Systems, 2018, 26(6): 521-526.
- [8] 曹海旺, 薛朝改, 黄建国, 等. 一体化水下对抗仿真环境的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(z2): 285-288.  
Cao H W, Xue C G, Huang J G, et al. Design and realization of integrated simulation environment for underwater counterwork [J].

- Journal of System Simulation, 2006, 18(z2): 285–288.
- [9] 曹海旺, 黄建国, 胡方. 基于对象Petri网的水下对抗系统建模 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19(12): 2642–2646, 2653.  
Cao H W, Huang J G, Hu F. Modeling of underwater counterwork system based on object Petri net [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(12): 2642–2646, 2653.
- [10] 齐正云, 褚福照. 水声对抗推演及效能评估系统设计与实现 [J]. 舰船电子工程, 2017, 37(10): 100–103.  
Qi Z Y, Chu F Z. Design and implementation of effectiveness evaluation system for underwater acoustic warfare [J]. Ship Electronic Engineering, 2017, 37(10): 100–103.
- [11] 马国强. 复杂环境下水声对抗训练及效果评估系统开发 [C]. 成都: 2014年水声对抗技术学术交流会, 2014.  
Ma G Q. Acoustic antagonizing training under the complicated underwater acoustic environment and developing of assistant effect evaluating system [C]. Chengdu: Proceedings of the 2004 Acoustic Warfare Technology, 2004.
- [12] 李明辉. 基于蒙特卡洛法的水下对抗效能推演评估研究 [D]. 武汉: 中国舰船研究设计中心 (硕士学位论文), 2014.
- Li M H. The research of ship's underwater combat deduction and assessment based on the Monte Carlo method [D]. Wuhan: China Ship Development and Design Center (Master's thesis), 2014.
- [13] 熊鹏俊, 刘智, 张昊, 等. 水下攻防作战体系研究 [J]. 舰船科学技术, 2016, 38(10): 145–149.  
Xiong P J, Liu Z, Zhang H, et al. The development of undersea attack-defense warfare system [J]. Ship Science and Technology, 2016, 38(10): 145–149.
- [14] 潘光, 宋保维, 黄桥高, 等. 水下无人系统发展现状及其关键技术 [J]. 水下无人系统学报, 2017, 25(1): 44–51.  
Pan G, Song B W, Huang Q G, et al. Development and key techniques of unmanned undersea system [J]. Journal of Unmanned Undersea Systems, 2017, 25(1): 44–51.
- [15] 尹伟伟, 郭士萃. 非卫星水下导航定位技术综述 [J]. 舰船电子工程, 2017, 37(3): 8–11.  
Yin W W, Guo S L. Survey on non-satellite underwater navigation and positioning technology [J]. Ship Electronic Engineering, 2017, 37(3): 8–11.