

美国无人潜航器反制措施研究现状

李晓东, 胡光兰, 吴晓婧

(中国船舶重工集团有限公司第七一〇研究所, 湖北 宜昌 443003)

摘要 简要分析了无人潜航器反制措施的必要性, 从探测分类、软杀伤对抗和硬杀伤对抗 3 个方面总结分析了美国无人潜航器反制措施研究现状。美国无人潜航器探测目前主要依靠反蛙人探测系统, 但是反蛙人探测系统存在告警距离短、响应时间不足的问题。因此, 美国海军寻求利用海洋哺乳动物和海洋生物探测和分类潜航器的方法。软杀伤对抗主要包括 UUV 捕获、欺骗、干扰及网络对抗; 硬杀伤对抗主要介绍了通过超空泡子弹破坏、摧毁 UUV。

关键词 无人潜航器反制; 反蛙人; 声呐; 探测和分类; 超空泡子弹; 拦截网

中图分类号 U674.941 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2020)03-0198-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.03.004

Status Quo of U.S. Counter-UUV Studies

LI Xiaodong, HU Guanglan, WU Xiaojing

(No.710 R&D Institute, CSIC, Yichang 443003, China)

Abstract The necessity of UUV Countermeasures is briefly stated. Status quo of US studies on UUV countermeasures are elaborated from three aspects, i.e. detection and classification, soft-kill methods, and hard-kill methods. Currently, US mainly relies on anti-frogmen detection system for countering UUVs, but these systems cannot provide enough response time as the warning range is not long enough. Therefore, US navy seeks for marine mammals and aquatic livings for solutions to detect and classify UUVs. Soft-kill methods include capturing, deceiving, jamming and undersea network countermeasures. For hard-kill, supercavitating bullets are adopted to destroy UUVs.

Key words counter-UUV; anti-diver; sonar; detection and classification; supercavitating bullet; intercept net

0 引言

自 1957 年 Stan Murphy 和 Bob Francois 在华盛顿大学应用物理实验室研制出世界上首个无人潜航器——自推进水下研究航行器 (SPURV, Self Propelled Underwater Research Vechile) 以来, 无人潜航器历经 60 多年的发展, 已成为海军提升和扩大水下优势的一个重要手段。无人潜航器能够搭载

各种任务载荷快速、隐蔽地抵近敌港口水域, 执行情报监视侦察、水雷战、特种作战等多种任务。例如, 美国在研制“虎鲸”超大型无人潜航器的同时, 也为其实现配套的情报监视侦察载荷、非杀伤攻击任务载荷以及水下武器系统载荷 (美国海军, PE0604029N), 美国正在研制的隐蔽投送水雷也计划由“虎鲸”超大型无人潜航器布放 (美国海军, PE0604601N)。随着人工智能和远程自动控制技术

的发展, 无人潜航器将承担越来越多的进攻性任务, 也将使水下作战环境更加复杂。美国已经意识到这一问题, 近年来在无人潜航器反制方面做了很多工作。本文从探测识别、软杀伤对抗、硬杀伤对抗三方面总结分析了美国无人潜航器对抗研究现状。

1 探测识别

1.1 由蛙人探测声呐构成的水下监视系统

随着技术的成熟和应用的扩展, UUV 给港口环境中的兵力保护带来了挑战, 因此, 需要新的或改进的传感技术以更好地探测在港口活动的 UUV, 尤其是在舰船和潜艇附近活动的 UUV。UUV 机动性强, 传统的反水雷力量有效性受限。现阶段对 UUV 的探测和分类主要采用原设计用于探测作战蛙人的系统。下面介绍几种正在开展的基于蛙人探测系统的反 UUV 研究项目。

1.1.1 “利用 AN/WQX-2 声呐自动跟踪和分类 UUV”项目

美国目前正在开展利用 AN/WQX-2 蛙人探测声呐自动跟踪和分类 UUV 的工作, 如图 1 所示。

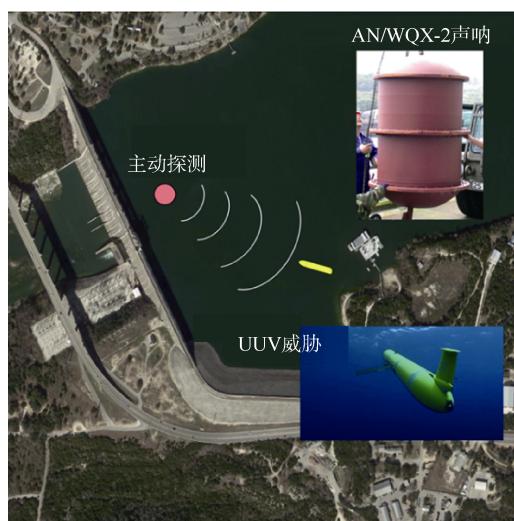


图 1 利用 AN/WQX-2 声呐自动跟踪和分类 UUV
Fig. 1 Automated tracking and classification of UUVs utilizing AN/ WQX-2

AN/WQX-2 声呐采用了最新的 DDS 9000 声呐头, 使用声呐处理器和 Defender II 自动探测和跟踪软件, 可以探测到目标相对于声呐的距离和方

位, 通过控制台将其转换成 GPS 方位。内置目标识别系统, 能够将蛙人的回声同海洋中的鱼类、海洋哺乳动物、碎片和气泡的回声区分开来。DDS 9000 具有 256 个波束, 波束宽度 1.5° 。系统最大探测距离为 1 000 m, 具体取决于水的温度和盐度, 系统可以探测蛙人、蛙人运载器、无人潜航器和潜艇等目标。^[1-4]

1.1.2 SeaShield 远程水下预警系统

SeaShield 是一种针对潜艇和小型潜航器威胁的远程水下预警系统, 部署于重要的海岸线、海上边界和港口入口处, 如图 2 所示。该系统采用主动和被动声呐组合阵列, 提供水下保护区的实时态势图像。SeaShield 由 1 个主动发射阵列、多个大型被动接收阵列和 1 个安装在海床上的电子单元组成。该系统的 2 个长接收阵列串由多个水听器组成, 接收从水下物体返回的信号。SeaShield 自动对目标进行分类, 区分潜艇和其他水下物体。该系统在探测到潜艇或微型潜航器并对其进行分类时, 会自动发出警报。系统会持续跟踪水下威胁, 并在屏幕上显示其准确位置数据^[5]。

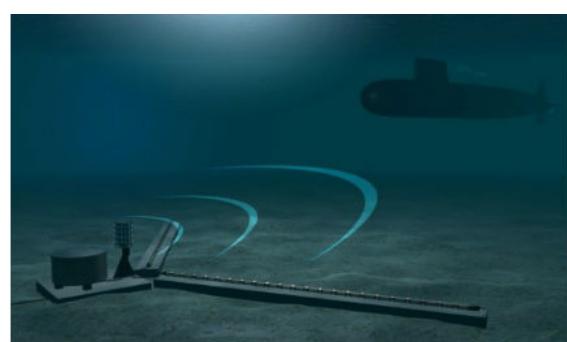


图 2 SeaShield 水下预警系统
Fig. 2 Seashield underwater coastal surveillance system

1.1.3 Stiletto 海洋演示计划

Stiletto 是一个海上演示平台, 是工业、政府和学术届的技术演示工具, 其基础设施包括 Stiletto 高速艇(含指挥信息中心)、11 m 海军特种作战刚性充气艇的布放回收装置、安装传感器的拱形空间、布放回收无人机的飞行甲板、具有宽带卫星通信的电子网络基础设施, 以及具有无人驾驶能力的 11 m 海军特种作战刚性充气艇。^[6-7]

2016年9月14日，海军海上系统司令部发布公告，寻求主动/被动声传感器探测、分类和跟踪UUV的系统，在Stiletto海洋演示计划中进行演示，评估商用声探测系统的技术成熟度，这些系统将用作港口和水边设施保护系统的一部分，以应对UUV威胁违法入侵。

2017年1月，STILLETO海洋演示项目在弗洛

里达基韦斯特岛海军航空站靠近码头的水域开展了反UUV能力演示。试验以Stiletto为指控平台和潜航器布放回收平台，使用REMUS 100、Bluefin 9和REMUS 600等3型UUV作为威胁目标（3型UUV基本参数见图3），对来自4家商业供应商和3家政府机构的7个系统（包含主动和被动系统）进行评估。



图3 反UUV能力演示项目使用的UUV目标
Fig. 3 UUV targets used in counter-UUV capability demonstration

试验通过主动/被动声呐查找定位跟踪目标(F2T2)，包括：1) 向悬浮于水中的岸基传感器开放，以查找定位跟踪来袭UUV或在码头设施附近UUV威胁。2) 向海基传感器开放，如浮标、海底传感器、拖曳传感器、UUV、USV或上述传感器的组合，以查找定位跟踪UUV威胁。

2018年5月，“Stiletto海洋演示项目”又邀请DSIT Solutions公司在美国某海军基地演示其水下安防系统，主要演示反UUV作战能力。演示过程中，DSIT公司在美国海军基地附近的码头部署了其AquaShield远程蛙人探测声呐(DDS)和PointShield便携式蛙人探测声呐(PDDS)，并对系统进行校准，以支持自动探测、跟踪、分类和威胁预警。演示期间，采用了不同类型和尺寸的UUV从不同角度和不同下潜深度靠近DSIT公司的系统。在为期4天的演示中，DSIT公司成功对水下环境进行了监测，并在UUV进入防护区时进行了预警。其中，Aquashield潜水员探测声呐，专用于保护沿海和近海重要资产免受各种水下威胁，系统

具有远距离水下威胁自动探测、跟踪、分类和报警功能，采用全自动操作，配置灵活。PointShield是一种小型便携式潜水员探测声呐(PDDS)，能够实现对水下威胁的全自动探测、跟踪、分类和警报。该型声呐尺寸小、重量轻，易于安装和部署^[8-11]。

1.2 海洋哺乳动物

美国海军是世界上少数利用海洋动物进行海上作战的军队，如利用海豚反水雷、反蛙人等。其“海洋哺乳动物系统”曾经在伊拉克战争中使用过。21世纪初，美海军曾在海湾部署“海豚反蛙人系统”，保护海军军舰。2017年1月9日-23日，美海军将来自航空与海军作战系统太平洋中心的经过特殊培训的海狮部署到基韦斯特海军航空站，探索如何利用海狮来拦截可能对海军舰艇和水边设施构成威胁的无人水下航行器。海洋哺乳动物在检测、定位和反水下威胁领域发挥着重要的作用。

1.3 DARPA“持久海洋生物传感器”项目

美国海军现有水下探测与监视方法是以硬件为中心、资源密集型的，无法满足全部的探测与监

视需求。因此, DARPA 联合诺斯罗普·格鲁曼、雷声 BBN 技术公司共同研究使用海洋生物在全球广阔海域探测并跟踪潜艇和无人潜航器的方法。

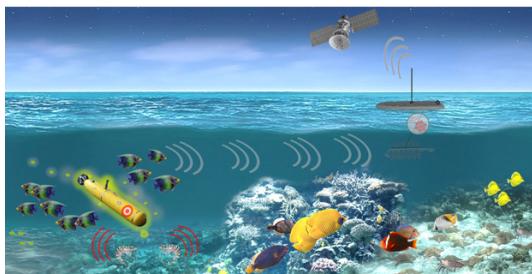


图 4 “持久海洋生物传感器”(PALS) 概念图

Fig. 4 Concept of Persistent Aquatic Living Sensors (PALS)

2018 年 11 月和 12 月, DARPA 分别授予雷声 BBN 技术公司和诺斯罗普·格鲁曼公司 640 万美元和 510 万美元的合同, 用于开展“持久海洋生物传感器”(PALS) 项目研究, 旨在利用海洋生物增强现有海上反潜声呐性能。该项目将利用海洋生物自身的感知能力, 探测潜艇和无人潜航器在水下产生的异常, 监视敌军潜艇、无人潜航器在海峡、近海等战略水域的活动。由于海洋生物是一种无处不在、自主繁衍、自持性好的感知系统, 将它们用于持久水下监视具有隐蔽性好、性价比高、后勤补给需求小等优势。其构想是研发一个二级系统, 第一级能感知、探测水下平台的存在, 并输出响应信号或其他可观测的行为变化; 第二级能观测、记录、解释海洋生物的反应, 并上报分析结果。完整的 PALS 系统还应区分目标平台和其他刺激源, 如碎片、其他海洋生物, 以降低虚警率。

DARPA 资助多个团队开发或应用技术来记录观察到的生物的刺激反应, 并开发硬件和软件系统来解释这些反应, 并对结果进行分析。具体如下:

- 1) 诺斯罗普·格鲁曼: 记录和分析鼓虾的声学特性以及发光生物的光学特性;
- 2) 海军研究实验室: 将微生物有机体整合到一个传感平台中, 以探测和表征微生物对潜航器磁场响应的生物信号;
- 3) 佛罗里达亚特兰大大学: 记录和分析热带

和亚热带环境中巨人石斑鱼的发声线索;

4) 雷声 BBN 技术公司: 利用鼓虾进行潜航器远距离探测、分类和跟踪;

5) 马里兰大学环境科学中心: 用传感器标记黑鲈鱼, 以跟踪受潜航器干扰的鱼群的深度和加速行为。

此外, DARPA 还赞助了水下作战中心纽波特分部的海底系统研究, 采用水听器阵和声矢量传感器持续监测礁石环境中生物的环境声异常, 并分析珊瑚礁生态系统中生物群躲避捕食者所产生的辐射声信号的变化, 该系统有可能提供一种近实时探测和分类无人潜航器的方案^[12-15]。

2 软杀伤对抗

软杀伤指的是让 UUV 丧失作战能力或活动能力, 主要的方法有捕获、欺骗、干扰、以及对网络的渗透、压制等。

2.1 无人潜航器捕获技术

UUV 捕获技术是对抗 UUV 的一种重要技术。捕获 UUV 的目的是在不损伤其结构和内部装置的前提下, 使其浮出水面或沉入海底, 便于将其整体打捞起来。

2.1.1 UUV 网袋式捕获技术

始于民用或警用的网袋式捕获技术, 主要用于对小型 UUV 进行非杀伤性网捕。正在开展的项目如 Maritime Arresting 技术公司的“黄貂鱼”拦截网 (Stingray Net)。

“黄貂鱼”拦截网 (Stingray net) 是一种非致命的反 UUV 的效应器, 用于部署在敌 UUV (最快 20 kn) 的必经之路上。拦截网采用尼龙单丝, 下连下沉缆沉至水底, 上面连接浮绳, 在海面到海底间形成一道不可穿透的屏障。由于其在水中是看不见的, 因此敌 UUV 几乎不可能避开。敌 UUV 一旦撞上拦截网便会被缠住, 捕获 UUV 后, 将其拖离被保护资产附近。该系统在 NUWC 试验的成功率为 100%。“黄貂鱼”拦截网系统可重复使用。

“黄貂鱼”拦截网系统重约 41 kg, 配备有存储箱尺寸为 58.4 cm×68.6 cm×121.9 cm, 拦截网尺寸为 61 m×(6.1~12.2 m)。



图 5 “黄貂鱼”拦截网存储箱
Fig.5 Storage box of Stingray Net

“黄貂鱼”系统安装在巡逻艇的横梁上。航速 20 kn 时，拦截网 6 s 的时间就可以展开，部署过程如下所述^[16]。

- 1) 存储箱的盖子变成发射斜槽，引导伞被弹出，开始部署；
- 2) 引导伞将网拉出存储箱；
- 3) 网自动形成从海底到海面的屏障。

2.1.2 UUV 泡沫捕获技术方案

泡沫捕获 UUV 的基本原理是通过发射一种高分子物质（这种物质能在海水中迅速膨胀硬化），击中 UUV 时能迅速粘附在其表面上，然后膨胀硬化将其包裹住，从而使 UUV 丧失工作能力。

2.2 欺骗、干扰及网络对抗

美国十分重视人工智能在无人潜航器上的应用。五角大楼在 2020 年的预算要求增加对自动武器计划的预算，其中无人系统申请总额为 37 亿美元，在人工智能上的投入为 9 亿美元。但与任何基于计算机的系统一样，人工智能 UUV 也存在固有的漏洞，可以寻找这些漏洞，更改、破坏或欺骗 UUV 系统，从而控制 UUV 或使之转头与其所有抗衡。

此外，反 UUV 不仅是反 UUV 本身，更重要的是反与 UUV 相联的网络，包括利用强声源对敌网络节点进行压制、利用水声病毒对网络进行攻击、拦截敌水下网络情报等。但这些只有在己方网络运作效率足以战胜敌方网络的情况下才能发挥作用。建立针对无人潜航器威胁的有效水下网络是未来网络对抗成功的关键^[16-17]。

3 硬杀伤对抗

硬杀伤，又称直接杀伤，是以破坏、摧毁无人

潜航器为目的处置手段。目前公开报道的对 UUV 采取的硬杀伤办法主要是超空泡子弹。

美国的 PNW Arms 公司和挪威的 DSG 技术公司生产的超空泡子弹可以作为打击 AUV 的潜在武器。超空泡是利用空化效应在液体内部产生一个气泡，该气泡大到足以容纳通过液体的物体，从而大大降低物体的摩擦阻力，实现高速打击。

理论上，可以从空中探测和打击无人潜航器。通过直升机装备蓝绿激光探测靠近水面的无人潜航器，然后采用 DSG 技术公司的跨介质子弹（4.5~155 mm）从空气飞入水中摧毁无人潜航器。此外，还可以在无人潜航器上配备超空泡子弹，猎杀无人潜航器、微型潜艇和蛙人。当然，在发射超空泡子弹前，还需要开发新的数据鉴别或图像识别算法以区分无人潜航器和与其大小相近的鱼或海洋哺乳动物^[18-23]。

4 结束语

无人潜航器作为一种海上力量倍增器，有着广泛而重要的军事用途，在水雷战、反潜战、水下搜救等领域发挥着重要作用，具有增强水下优势和有效抵消对手力量的能力。但同时，无人潜航器的广泛应用也带来了威胁和挑战。随着人工智能和远程控制技术的发展，无人潜航器探测和清除的难度也将越来越大。因此，我们在发展无人潜航器的同时，应抓紧研发新的方法、技术和战术以对抗敌无人潜航器的探测，并对其进行侦察，必要时发起攻击。在不影响己方无人潜航器作业的基础上，使敌方无人潜航器无法工作，只有这样，才能在未来水下战争中获取主动权。

参考文献

- [1] Wikipedia. AN/WQX-2[EB/OL]. [2019-12-07]. <https://en.wikipedia.org/wiki/AN/WQX-2>.
- [2] Kongsberg Mesotech. New advances in sonar diver detection systems, the hidden threat facing military & civilian ports[EB/OL]. [2009-08-30]. <http://ccom-pr.com/wp-content/uploads/underwater-july-august-091.pdf>.
- [3] Physical Security Enterprise & Analysis Group. Automated tracking and classification of UUVs

- utilizing AN/WQX-2[EB/OL]. [2016-05-24]. <https://www.acq.osd.mil/ncbdp/nm/pseag/Automated%20Tracking%20and%20Classification%20of%20UUVs%20Utilizing%20ANWQX-2.html>.
- [4] Kongsberg Mesotech. DDS 9000[Z]. British Columbia: Kongsberg Maritime, 2009.
- [5] DSIT. SeaShield underwater coastal surveillance system[EB/OL]. [2014-10-6]. <https://www.naval-technology.com/products/seashield-underwater-coastal-surveillance-system/#dsit>.
- [6] STILETTO Maritime Demonstration Program. Capability demonstration 18-2 maritime craft radar systems[EB/OL]. [2014-04-26]. https://www.navsea.navy.mil/Portals/103/Documents/NSWC_Carderock/CD18-2%20Maritime%20Craft%20Radar%20Systems%20CD%20Sources%20Sought.pdf?ver=2018-04-26-105928-397.
- [7] KLEIN D. Unmanned systems & robotics in the FY2019 defense budget[EB/OL]. [2018-06-25]. https://www.auvsi.org/sites/default/files/DoD%20FY19%20Budget%20Report_FINAL%20DRAFT_WITH%20SENATE%20NDAA.pdf.
- [8] STILETTO Maritime Demonstration Program. Counter-Unmanned Undersea Vehicle (C-UUV) capability demonstration[EB/OL]. [2016-09-04]. <https://govtribe.com/opportunity/federal-contract-opportunity/stiletto-maritime-demonstration-program-counter-unmanned-undersea-vehicle-c-uuv-capability-demonstration-cd171>.
- [9] BALL M. DSIT demonstrates counter-UUV security systems to the U.S. navy[EB/OL]. [2018-05-22]. <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2018/05/dsit-demonstrates-counter-uuv-security-systems-to-the-u-s-navy/>.
- [10] Navy SBIR, ONR. Unmanned Undersea Vehicle (UUV) detection and classification in harbor environments [EB/OL]. [2015-05-26]. https://www.navysbir.com/n15_2/N152-113.html.
- [11] Stiletto Maritime Demonstration Program. C-UUV capability demonstration[EB/OL]. [2018-03-02]. <https://www.darpa.mil/attachments/Stiletto-Guest%20speaker-DennisDanko.pdf>.
- [12] Defense Techconnect. DARPA'S Persistent Aquatic Living Sensors (PALS) Program to precede manned and unmanned underwater vehicles[EB/OL]. [2018-04-16]. <https://defensetechconnect.com/2018/04/16/darpas-persistent-aquatic-living-sensors-pals-program-to-precede-manned-and-unmanned-underwater-vehicles/>.
- [13] DARPA. Five teams of researchers will help DARPA detect undersea activity by analyzing behaviors of marine organisms[EB/OL]. [2019-02-15]. <https://www.darpa.mil/news-events/2019-02-15>.
- [14] Biological Technologies Office. Broad agency announcement Persistent Aquatic Living Sensors (PALS) HR00118S0027[Z]. Washington: DARPA, 2018.
- [15] CRAIG Allen, CASEY Allen. 20, 000 drones under the sea[J]. Proceedings, 2018, 144 (7): 1385.
- [16] Maritime Arresting Technologies. Underwater port security to defeat UUVS and divers[EB/OL]. [2016-04-28]. <https://maritimearrestingtechnologies.com/counter-uuv>.
- [17] JIEDDO. JP 3-25 Countering threat networks[Z]. US: JIEDDO. 2016.
- [18] CIMSEC. Naval drone tech: countering UUVS[EB/OL]. [2012-10-15]. <http://cimsec.org/naval-drone-tech-countering-uuvs/3125>.
- [19] BLAIN L. DSG's supercavitating underwater bullets annihilate ballistic tests[EB/OL]. [2019-12-01]. <https://newatlas.com/military/dsg-cavx-supercavitating-underwater-bullets/>.
- [20] Army Recognition. DSG Technology unveils CAV-X, supercavitating ammunition for submerged special operation forces[EB/OL]. [2019-10-07]. https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/dsg_technology_unveils_cav-x_supercavitating_ammunition_for_submerged_special_operation_forces.html.
- [21] CHADWICK J. US military is testing bullets that can be shot underwater to enable navy SEALs to engage in submarine combat and sink enemy boats from below[EB/OL]. [2019-12-12]. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-7781209/US-military-testing-underwater-bullets-dont-slow-down.html>.
- [22] WATKINSON W. Norwegian firm develops "swimming" bullets capable of obliterating targets underwater[EB/OL]. [2017-4-11]. <https://www.ibtimes.co.uk/norwegian-firm-creates-swimming-bullets-capable-of-obliterating-targets-underwater-1616601>.
- [23] Sputnik News. Sleeping with the fishes : Norway devises swimming "Sub-killer" bullets for NATO [EB/OL]. [2017-4-17]. <https://sputniknews.com/military/201704171052703767-norway-swimming-bullets/>.

(责任编辑: 肖楚楚)