

超空泡技术在反潜作战中的应用设想

祁晓斌, 姚忠, 李瑞杰, 顾宇涛, 刘丹, 梁景奇
(西北机电工程研究所, 陕西 咸阳 712099)

摘要 随着反潜深度加大, 反潜距离增加, 当前反潜作战的难度越来越高。对反潜武器作战装备的发展现状进行了概述, 分析了现有反潜作战样式的不足; 阐述了超空泡武器的发展现状与优势, 提出了应用超空泡技术, 发展一种依托火炮平台发射超空泡反潜弹药的初步设想, 并对超空泡反潜弹药的弹道性能进行了仿真计算, 文末展望了该型反潜弹药的应用前景。

关键词 超空泡技术; 大口径火炮; 反潜; 弹道性能

中图分类号 TJ67 文献标识码 A 文章编号 2096-5753(2022)02-0109-06

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2022.02.003

Application of Supercavitation Technology in Anti-submarine Warfare

QI Xiaobin, YAO Zhong, LI Ruijie, GU Yutao, LIU Dan, LIANG Jingqi
(Northwest Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Xianyang 712099, China)

Abstract With the increase of anti-submarine depth and distance, the current anti-submarine warfare becomes more and more difficult. In this paper, the development status of anti-submarine weapons and equipment are summarized, and the shortcomings of existing anti-submarine warfare modes are analyzed. This paper deliberates the development status and advantages of supercavitation weapon, puts forward a preliminary assumption of developing an anti-submarine supercavitation ammunition based on gun platform by using supercavitation technology, and conducts simulation calculation on the ballistic performance of anti-submarine supercavitation ammunition. At the end of the paper, the application prospect of this type of anti-submarine ammunition is explicated.

Key words supercavitation technology; large caliber gun; anti-submarine; ballistic performance

0 引言

凭借隐身性好、威慑力强及突击威力大等优势特点, 潜艇从出现至今一直是海上舰船的“噩梦”。随着潜艇技术的发展, 潜艇, 特别是核动力潜艇, 强化了水下作战威力, 使得现代海战中军舰面临的安全形势更加严峻。因此, 反潜成为了海上作战的首要任务^[1]。

目前, 反潜体系主要由反潜潜艇、反潜舰艇、反潜飞机以及反潜直升机等组成, 最主要的反潜作

战装备有反潜鱼雷和深弹^[2]。本文从反潜作战装备与作战样式方面入手, 介绍其发展历程和现状, 基于超空泡技术提出了发展超空泡反潜弹药方案设想, 对其深水运动的弹道性能进行了仿真计算, 探讨了超空泡反潜弹药的应用前景。

1 反潜作战装备发展现状与作战样式分析

1.1 反潜鱼雷的发展

反潜鱼雷是用于攻击潜艇的鱼雷, 通过水面舰艇、潜艇和飞机携带使用。反潜鱼雷是现代反潜的

主要武器。按照直径和发射方式划分,可分为重型鱼雷、轻型鱼雷和火箭助飞鱼雷。

1) 重型鱼雷。

重型鱼雷一般由潜艇管装发射,通常兼具反舰与反潜功能。俄罗斯的重型鱼雷有由水面舰艇管装发射的,还有专用反舰或专用反潜的。如水面舰艇管装发射的 CЭT-65Э 鱼雷、以及潜艇管装发射专用反舰的 53-65KЭ 鱼雷、专用反潜的 TЭCT-71 线导鱼雷^[3]。目前国外现役重型鱼雷大都为线导鱼雷,直径通常为 533 mm (俄罗斯还有 650 mm 直径的重型鱼雷,如 65-73 鱼雷、65-76 鱼雷等)、长度约 7 m、重量约 1.5 t、战斗部装药量在 200 kg 以上,具有人在回路导引、航程远、隐蔽性强、制导精度高和毁伤威力大等特点。

美国装备的重型鱼雷主要是 MK48 系列热动力鱼雷^[4]。目前现役最新型号为 MK48 Mod 7 鱼雷。该型鱼雷是在 MK48 Mod 6 鱼雷的低噪声雷型上,采用通用宽频带先进声自导技术,有效提升了浅海自导性能并提高真假目标识别能力。

俄海军现役最新型主战重型鱼雷为 Futlyar 热动力鱼雷^[5]。该型鱼雷是 Fizik-1 鱼雷的升级版,适度提高了最大航速、拓展了鱼雷航程,采用了线导+尾流/声自导模式,自导作用距离远且具有尺度识别能力。

欧洲国家装备的重型鱼雷^[6]主要有英国的“旗鱼”鱼雷、意大利的“黑鲨”鱼雷、德国的 DM2A4 鱼雷等。英国的“旗鱼”鱼雷为热动力鱼雷,航速、航程可达 40 km/70 kn (浅水)或 40 km/55 kn (深水),最大作战深度超过 900 m。意大利“黑鲨”鱼雷是电动力重型鱼雷的最高水平的代表,最高航速 50 kn、混合航程 50 km、最大作战深度 400 m。德国 DM2A4 电动力鱼雷是世界上唯一采用共形阵的鱼雷,具有更大的搜索扇面。

2) 轻型鱼雷。

轻型鱼雷既可由水面舰艇管装发射,及固定翼反潜巡逻飞机或反潜直升机前飞或悬停空投使用,也可作为助飞鱼雷战斗载荷使用,主要执行反潜及反鱼雷作战任务。

目前,国外现役轻型鱼雷直径通常为 324 mm,

长度约 3 m,重量约 300 kg,战斗部装药量约 50 kg。部分俄罗斯轻型鱼雷直径为 350 mm,如 AИП-3 鱼雷;部分美国在研反鱼雷鱼雷直径小于 324 mm,如在研的 Smart 反鱼雷鱼雷直径为 160 mm、长度约 2.8 m。

美国装备的轻型鱼雷主要有 MK46 系列、MK50、MK54 热动力鱼雷^[7],其中 MK46 系列鱼雷自 20 世纪 60 年代列装部队开始,在保持总体、动力等基本不变的前提下,不断对自导、控制等性能进行升级,至今仍是国际上装备数量最大的轻型鱼雷。MK50 鱼雷主要针对前苏联大潜深核潜艇,采用先进兰金循环的闭式循环热动力推进系统,最大作战深度可达 750~800 m、全高速航程达到了 12 km,并采用了捷联惯导,自导性能、水声对抗能力、浅海作战能力均比 MK46 鱼雷有明显提高。MK54 鱼雷采用组合化研发模式,集成 MK46、MK50、MK48 等鱼雷先进技术研制而成,是典型的组合鱼雷,具有良好的性价比,后续将以组部件替换形式逐步完成对美国库存的 MK46 Mod 1、MK46 Mod 5 鱼雷的升级换代。

俄罗斯新型轻型鱼雷 MTT 鱼雷采用 35/58 kn 双速制,直径 324 mm、长度 3.2 m,具有较好的多平台适装性^[8]。

欧洲国家的先进轻型鱼雷代表是法、意联合研制的 MU90 电动力鱼雷^[9]。该型鱼雷是在充分继承法国“海鳍”鱼雷和意大利 A290 鱼雷基础上研制而成,采用铝氧化银电池、无级变速、聚能装药战斗部以及垂直命中技术,并且在水面舰艇管装发射时采用了入水稳定器,具有良好的浅海作战能力及水声对抗能力。

3) 火箭助飞鱼雷。

为满足水面舰艇中程快速反潜作战急需,世界各海军强国开始研制并陆续装备助飞鱼雷,在国外,助飞鱼雷又为反潜导弹,通过运载系统将战斗载荷(通常为轻型鱼雷,也有的为深水炸弹)投送至目标上方附近,再由轻型鱼雷入水搜索、追踪、攻击潜艇^[10-11]。

20 世纪 60 年代美国海军研制装备了倾斜发射的 RUM-5A “阿斯洛克”助飞鱼雷;20 世纪 90

年代后, 研制装备了垂直发射的 RUM-139A “阿斯洛克” 助飞鱼雷, 以适应 MK41 通用垂直发射系统的装载与发射要求。上述 2 型助飞鱼雷目前仍是北约国家最主要的助飞鱼雷, 仅 RUM-5A “阿斯洛克” 助飞鱼雷迄今为止共生产了 2 万枚以上。

为了与美国军事力量进行抗衡, 前苏联研制出了第 1 代舰载反潜导弹 FRAS-1 和 SS-N-14 “石英”。FRAS-1 相较于美国 “阿斯洛克” 的射程更大, 采用了双联装可转动发射架发射。“石英” 是一种飞航式反潜导弹, 能够在海面滑翔一段时间, 在具备反潜的同时也兼备反舰能力。20 世纪 80 年代研制出 SS-N-19 新型舰载反潜导弹, 其制导方式采用自动驾驶和无线电, 具备倾斜发射和垂直发射能力, 打击深度范围为 15~500 m, 射程最大可达 23 km。

法国研制了 “马拉丰” 近程亚音速巡航式火箭助飞鱼雷, 其战斗部为鱼雷, 具有超高的飞行速度和打击准确性, 提高了驱逐舰反潜能力。法国和意大利两国合作研制的 “米拉斯” 相比 “马拉丰”, 该技术将意大利舰载反潜导弹 “奥托马特 3” 弹体和 MU 90 撞击鱼雷战斗部进行结合, 并采用了先进的惯性导航系统。澳大利亚在 20 世纪 50 年代末期研制了 “伊卡拉” 反潜导弹, 它是一种飞航式近程反潜导弹, 可以携带不同类型的鱼雷, 可装配在小型舰艇上。20 世纪 60 年代, 英国对 “伊卡拉” 进行了改进, 采用计算机增加其火控系统的自动化程度, 并改良了 “伊卡拉” 的弹翼为折叠翼, 更名为 “RN 伊卡拉”。1985 年, 澳大利亚开始研制 “超伊卡拉” 反潜导弹, 该弹采用了小型涡轮发动机并装备了更智能的制导系统, 能够在目标上空待机, 射程可达 96 km, 战斗部可以携带多种鱼雷。

1.2 深弹的发展

深水炸弹是一种下潜到一定水深爆炸而毁伤潜艇的水中兵器, 主要用于攻击潜艇, 也可以用来开辟雷区通道或者攻击其他目标^[12]。深水炸弹可由水面舰艇或飞机投放, 也可以由反潜导弹携带。

现代反潜作战是一场立体战, 单一兵力和武器难以完成任务, 只有多种兵力和武器协同作战才能取得应有的效果。如在英阿马岛海战中, 英国和阿根廷双方都使用了鱼雷对潜艇发动攻击, 结果均无

建树。与此相反, 一架英国直升机用 MKII 航空深水炸弹一举击伤阿根廷 “圣菲” 号潜艇, 充分说明了深水炸弹反潜的重要作用^[13]。马岛海战之后, 尤其是 “冷战” 结束以来, 深水炸弹武器得到了很多国家的重视。1985 年, 瑞典的海事公司为瑞典海军设计了直升机用的 SAM204 型航空深水炸弹。该型深水炸弹使用末端制导技术, 发射前, 搜索和航行系统锁定目标, 弹道采用 2 种不同速度, 借助降落伞完成最后降落。头部装有主动微型水声自导系统, 自导的作用距离虽短, 但多角色系统执行水面和水下任务时深、浅水特性俱佳, 导引精度高, 可直接命中目标。

20 世纪 90 年代以来, 俄罗斯、意大利、瑞典、美国等相继开发了航空自导深水炸弹^[14]。俄罗斯的 C3B 无动力自导深水炸弹外型与一般航空深弹相似, 适用于固定翼飞机和旋转翼飞机使用, 如伊尔-38 反潜巡逻机、卡-28 以及雅克-36 舰载垂直起降飞机, 并且该型深水炸弹与反潜机有电接口, 能在机上进行引信设定, 必要时能使深水炸弹切换成打击水面状态或半潜状态的潜艇。目前世界上较先进的自导深弹有俄罗斯的 Загон-2 航空深弹和德国 “海矛” 火箭自导深弹。

1.3 现有反潜作战样式分析

1) 反潜深弹。对于浅水海域, 低成本的深弹武器是最有效的反潜武器。随着潜艇的速度、潜深范围加大, 常规深弹攻潜范围变 “窄”, 散布变大、效率变低、命中概率减小, 且潜艇自身抗打击能力变强, 使得常规深弹反潜的毁伤半径降低。自导深弹技术的发展有效提升了作战效能, 俄罗斯发展的自导深弹^[15], 最大下沉速度可达 18 m/s, 自导探测距离达 450 m, 命中率可达 60%, 然而其效费比已超航空鱼雷。

2) 反潜鱼雷。鱼雷凭借其自动导引并追踪目标, 破坏威力大等特点在反潜作战中具有重要的地位。对于管装鱼雷反潜方式, 由于速度不高、海底跟踪环境复杂等因素影响, 鱼雷反潜时容易丢失目标, 且可给潜艇提供足够时间进行机动规避, 同时管装鱼雷反潜距离较短, 一般都在 10 km 以内。

3) 火箭助飞鱼雷。反潜导弹反潜方式具备射

程大、隐蔽性好等优点,但由于反潜导弹技术复杂,研制费用大,另外反潜导弹还需要进一步提高其落水点精度,以发挥其战斗威力。

4) 直升机反潜。直升机反潜具有机动性强、反应迅速、搜索效率高等优点,但是直升机反潜存在航程近、续航时间短等缺点。

2 超空泡武器技术发展现状

2.1 超空泡技术内涵

超空泡减阻技术是一种革命性减阻技术,在超空泡状态下,航行体壁面附近的流体由水变为气体,如图1所示,由于气体的密度远远小于水的密度,因此航行体的航行阻力大幅降低,航行体入水后能够保持高速航行状态。该技术是水下航行器提高航速、增大航程的重要技术手段。

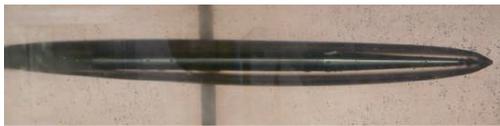


图1 通气超空泡发展形态

Fig. 1 Developed shape of ventilated supercavitation

2.2 超空泡生成机制

利用以下方法产生的超空泡将运动体与水隔离,可以大大降低水阻力,从而提高水中兵器的速度。

1) 在以火箭发动机为动力的双层壳体的弹体内安装气体发生器,气体发生器产生的气体从分布在壳体上的微孔喷出,包围整个弹体;

2) 采用前置火箭发动机为射弹提供动力,同时以喷气方式形成气体包层;

3) 采用后置发动机,向弹头开孔的喷管喷出射流形成超空泡;

4) 设计特殊形状和尺寸的弹头段,以形成水蒸气,充满气体包层。

2.3 超空泡武器技术发展现状

美国主要发展2类超空泡武器:超空泡射弹和超空泡鱼雷。快速机载水雷消除系统^[16](RAMICS)能够通过发射超空泡射弹摧毁水面和近水面水雷,该系统迄今进行了地面试验和空中测试。同时还发

展了一种水面舰艇舰载的RAMICS系统(能够摧毁尾迹自导鱼雷的近战武器系统)和水中高速弹药的全水下火炮系统(AHSUM,即超空泡动能炮弹)。超空泡鱼雷是水中航速速度超过200 kn的高速鱼雷。该项研究工作涉及发射、流体力学、声学、引导和控制、推进动力装置等领域的课题。

俄罗斯早在1960年就开展了超空泡鱼雷的研究工作,并于20世纪80年代研制成功了第1代“暴风雪”超空泡鱼雷,速度达到100 m/s。俄罗斯超空泡射弹试验由2部分组成:1)约束模超空泡射弹试验。该试验能够保证稳定的试验弹道,为研究稳定的超空泡流空泡的初生、发展、溃灭,以及在射弹入水阶段的不稳定过程创造了可能性,主要速度范围是50~150 m/s;2)自由飞行高速射弹试验。该试验能够更加真实地再现射弹的工作环境,通常在真实海洋环境条件下进行。

德国在20世纪80年代中期,开始“梭鱼”超空泡射弹的研制工作,并在20世纪末进行了多次水下射弹试验。试验表明:在一定深度下,射弹速度可保持在120 m/s,试验航程误差仅为0.5~0.8 m。此外,德国人还提出了带自导和转向功能的超空泡水下火箭式射弹开发计划,并取得了关键技术的突破。

挪威DSG防务公司发展了标准口径设计、兼具空中及水下性能的“多环境弹药”(MEA)。MEA弹药^[17]采用常规膛线自旋稳定方式,该系列弹药有5.56 mm、7.62 mm、12.7 mm、20 mm、30 mm等多种口径子弹。平滑水面条件下,MEA弹药出入水角达7°~10°,最小稳定出入水角小于2°。步枪口径的MEA弹药可为特种作战提供有效的陆地及水下武器,较大口径的MEA弹药则可用于反水雷、反鱼雷作战。

3 超空泡反潜弹药方案设想

3.1 超空泡反潜弹药基本原理

超空泡反潜弹药是将大口径火炮发射技术、超空泡减阻技术与制导炮弹技术相结合,实现舰炮平台对潜艇等水下高价值目标的跨介质打击,拓展传统火炮武器在水下攻防作战领域的应用。超空泡反潜弹药主要由战斗部、制导舱、通气系统、水下发

动机等部分构成, 能够通过大口径火炮平台发射, 在空中高速远距离飞行, 在预定点以大落角姿态高速稳定入水, 入水后在发动机与通气系统共同作用下高速航行, 快速对深水潜艇目标进行动能毁伤。

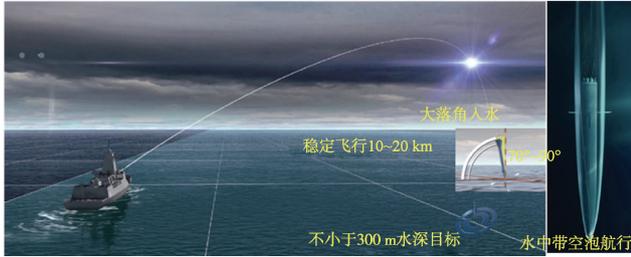


图 2 超空泡反潜弹药作战示意图
Fig. 2 Operational diagram of anti-submarine supercavitation ammunition

3.2 超空泡反潜弹药技术优势

常规鱼雷与反潜导弹存在造价高、水下攻击速度慢、攻击末端抗干扰能力弱、易受反鱼雷武器拦截等缺点。超空泡反潜弹药相较于常规鱼雷、反潜导弹的技术优势十分明显。

1) 速度快。超空泡反潜弹药利用火炮发射, 在空中飞行速度可达到 700 m/s 量级, 水下速度可达 150 m/s 以上, 飞行速度是火箭助飞鱼雷的 2 倍以上, 鱼雷水下航速的 20 倍以上, 对 10~100 km 范围内的目标进行有效杀伤。

2) 射程远。常规反潜弹药的射程可达 10~20 km, 若采用弹形减阻或底排减阻等增程技术, 可使其射程达到 30 km 以上, 采用滑翔增程或冲压发动机增程技术, 可实现 50~110 km 射程, 极大扩展了反潜攻击的范围。

3) 可全向、全天候发射。超空泡反潜弹药只要目标在有效射程内, 无需进行占位和航向机动, 只需通过调整火炮高低与方位即可实施发射, 可实现快速攻击。

4) 攻击效果好。由于超空泡反潜弹药速度快, 攻击时间短, 因此潜艇对其探测难度大, 预警时间短, 难以进行有效的机动规避; 同时, 反潜弹药对目标以动能进行打击, 各种潜艇干扰器材难以奏效, 从而大大提高了攻击效果。

5) 拦截成功率高。基于舰载、机载等多种搜潜方式的综合运用, 实现对水下目标的精确定位与

实时跟踪, 利用无线电指令制导的方式, 炮弹可对水下目标实施点对点的精确打击。另一方面, 利用大口径舰炮每分钟 10~12 发的高射速特点, 可在水下目标的航路上合理布置拦截火力, 对其实施分层拦截, 提高对水下目标的拦截成功率。

6) 效费比高。以国外反潜导弹造价为参考, 反水下目标炮弹预计成本约为前者的十几分之一, 具有显著的低成本优势, 效费比高。

3.3 超空泡反潜弹药弹道性能分析

1) 仿真工况。

超空泡反潜弹药以 350 m/s 着速、斜射 80°、1° 正攻角入水, 设计推力 60 kN, 设计通气流量为 $\dot{m} = 0.007(h - 5) \text{ kg/s}$, 计算深水航行至 300 m 过程中的空泡形态的发展规律与弹道特性。

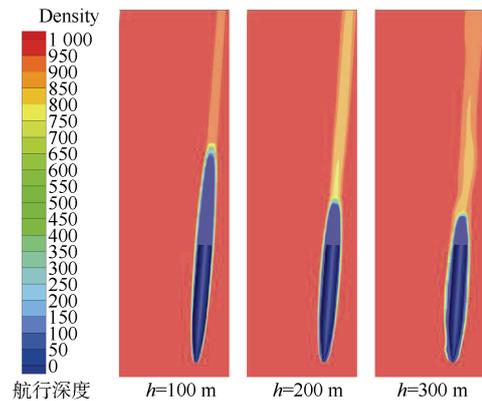


图 3 不同水深空泡形态
Fig. 3 Cavitation morphology in different water depths

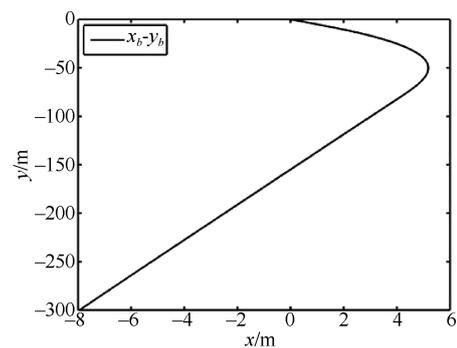


图 4 纵平面弹道曲线
Fig. 4 Longitudinal plane ballistic curve

2) 仿真结果。

新型超空泡弹药在水下深水运动过程中空泡始终包裹弹身, 具有良好的水弹道性能, 弹体以尾

拍动态稳定维持运动航行至 300 m 水深, 终点存速在 360 m/s, 弹着点偏差在 8 m 左右 (取与入水点相对位置)。

4 应用前景分析

现有反潜作战装备在快速进行远距离巡逻、大范围快速攻潜等方面的技术水平与装备规模依然滞后。超空泡反潜弹药得益于超空泡技术的应用, 可跨水空介质对水下目标实施高效打击, 极大提升了反潜武器的攻击效能, 该武器系统依托大口径火炮 (舰炮) 进行发射, 采用“BD+惯性制导+无线电指令制导”的复合制导模式, 是一种相对廉价的新型对潜快速精确打击武器系统。其与现有其他反潜作战装备之间可以优势互补, 形成以下多方面效果。

1) 超空泡反潜弹药作为中近程武器, 与其它反潜作战武器形成远、中、近层次衔接的反潜武器装备体系。

2) 利用超空泡反潜弹药打击深度范围大的优势, 完善深海立体反潜作战能力。

3) 利用超空泡反潜弹药效费比高的优势, 与机载/舰载轻型鱼雷、火箭助飞鱼雷协同搭配, 丰富单舰/编队水下作战手段。

4) 向功能多样化、口径系列化方向发展。超空泡反潜弹药除可用于反潜, 亦可用于反鱼雷、破障、反 UUV 等水下作战行动; 同时发展适用于小、中、大口径火炮的弹药, 增加水下打击能力, 如 30 mm、76 mm、155 mm 等超空泡水下增程弹药。

5 结束语

超空泡反潜弹药基本定位在利用反潜弹药速度快、射程远、可全向全天候发射、攻击效果好、效费比高等显著优势, 对作战平台 10~20 km 乃至更大范围内的敌方潜艇进行快速、持续、高效地打击。与现有的反潜作战武器装备优势互补, 构筑更加绵密高效的反潜网络, 提高海上作战平台的反潜能力。同时, 超空泡反潜弹药技术的发展应用赋予

了火炮武器水下攻防作战能力, 不仅拓展了传统火炮武器的作战领域, 还将对未来反潜作战方式及其装备发展产生革命性影响。

参考文献

- [1] 邢昌凤. 海军武器系统概论[M]. 北京: 海潮出版社, 2006.
- [2] 林宗祥, 孙永侃, 熊正祥. 国外反潜导弹武器系统综述[J]. 飞航导弹, 2011 (2): 50-54.
- [3] 李宗吉, 高永琪, 王树宗, 等. 现代鱼雷——水下导弹[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2016.
- [4] 张萌, 谭思炜, 张林森. 美海军三型鱼雷最新研发进展及技术途径[J]. 水下无人系统学报, 2019, 27(1): 10-13, 58.
- [5] 何心怡, 卢军, 张思宇, 等. 国外鱼雷现状与启示[J]. 数字海洋与水下攻防, 2020, 3 (2): 87-93.
- [6] 钱建平, 杨芸. 国外鱼雷及自导技术现状与发展趋势[J]. 船舶工程, 2003, 25 (4): 10-16.
- [7] 王岚, 曹小娟. 轻型鱼雷发展趋势和关键技术研究[J]. 鱼雷技术, 2003, 11 (2): 1-3.
- [8] 梁良, 贾跃, 任磊. 国外舰载助飞鱼雷发展综述[J]. 鱼雷技术, 2014, 22 (2): 157-160.
- [9] 时进发, 李善高, 李文哲. 俄罗斯海军反潜导弹武器系统及发展趋势[J]. 舰船电子工程, 2006, 26 (5): 27-30.
- [10] 陈光文. 垂直攻潜——浅析韩国新型“红鲨鱼”反潜导弹[J]. 现代兵器, 2010 (3): 19-22.
- [11] 曲东才. 反潜导弹现状和发展[J]. 中国航天, 2001 (9): 36-40.
- [12] 金立峰, 邓歌明. 航空深弹在现代反潜战中的作用与发展[J]. 国防科技, 2009, 30 (4): 22-25.
- [13] 张永录, 梁丽. 深弹武器可实现功能分析[J]. 飞航导弹, 2003 (12): 32-35.
- [14] 夏志军. 火箭式深弹武器系统的现状与发展[J]. 舰载武器, 2002 (2): 41-45.
- [15] 洪浩, 王洋洋. 垂发自导深弹发展设想[J]. 数字海洋与水下攻防, 2021, 4 (2): 107-112.
- [16] 张世英, 周海平. 美国海军新概念武器“机载快速灭雷武器系统”[J]. 现代舰船, 2008 (10): 35-36.
- [17] 三土, 明光. 让枪弹飞行于水陆间: 挪威 DSG 公司多环境弹药系统[J]. 轻兵器, 2012 (20): 35-39.

(责任编辑: 肖楚楚)