

【引用格式】程文鑫, 任斌, 柳海, 等. 反鱼雷鱼雷武器发展现状及作战使用研究[J]. 数字海洋与水下攻防, 2023, 6(3): 365-371.

反鱼雷鱼雷武器发展现状及作战使用研究

程文鑫¹, 任斌¹, 柳海², 张华缨²

(1. 海装装备项目管理中心, 北京 100036;
2. 中国船舶集团有限公司系统工程研究院, 北京 100094)

摘要 反鱼雷鱼雷 (Anti-torpedo torpedo, ATT) 作为一种可主动搜索并拦截多种制导类型来袭鱼雷的硬杀伤武器, 毁伤概率高, 成为各国水下防御的重要发展方向。在介绍现有鱼雷制导类型和各种鱼雷防御手段特点的基础上, 指出了 ATT 武器的优势, 整理了国外 ATT 武器发展现状, 详述各国 ATT 武器的发展历程和基本特点。最后, 对 ATT 武器的作战使用开展研究, 仿真分析不同条件下 ATT 对来袭鱼雷的拦截概率, 为开展 ATT 武器研制及其作战使用研究提供支撑。

关键词 鱼雷防御; 反鱼雷鱼雷; 作战使用

中图分类号 TJ630.1:TB71.2 文献标识码 A 文章编号 2096-5753(2023)03-0365-07

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2023.03.015

Research on Development Status and Operational Use of Anti-torpedo Torpedoes

CHENG Wenxin¹, REN Bin¹, LIU Hai², ZHANG Huaying²

(1. Program Management Centre of Naval Armament Department, Beijing 100036, China;
2. System Engineering Research Institute, CSSC, Beijing 100094, China)

Abstract Anti-torpedo torpedo (ATT) is a kind of hard-kill weapon that can actively search and intercept incoming torpedoes with different types of guidance systems. With high damage probability, it has become an important development direction of underwater defense in the world. In this paper, torpedoes of different types of guidance, and the features of different torpedo defense methods are presented. The advantages of ATTs are concluded. The development history and the status of ATTs in different countries are presented. Finally, the operational use of ATTs is studied. The intercept probabilities of ATTs with different interception trajectories are analyzed through simulation, which provides support for the development and combat use research of ATTs.

Key words torpedo defense; anti-torpedo torpedo; operational use

0 引言

鱼雷自诞生以来就是水面舰艇的主要威胁之一^[1]。据统计,第一次世界大战中,共发射了约 1 500 条鱼雷;所有受到攻击而沉没的军舰中,约有 1/3 是被鱼雷击沉的。到了第二次世界大战,发射的

鱼雷猛增到 30 000 条以上,被鱼雷击沉的军舰约占总数的 1/2^[2]。受水文环境等多种因素的影响,舰艇对水下威胁目标的探测存在诸多不确定性,同时由于现代鱼雷具有毁伤威力大、攻击距离远、对抗识别能力强、攻击隐蔽性好等特点,水面舰艇的生存能力受到了极大的挑战^[3],这就迫使水面舰艇

建立鱼雷防御体系,形成有效的鱼雷防御能力^[4]。

反鱼雷鱼雷(ATT)作为一种可对来袭鱼雷进行精确拦截的硬毁伤的防御手段,具有自主作战能力强、作战效能高等特点^[5],成为世界主要军事强国重点研发的新型鱼雷防御武器^[6]。文章在综述ATT武器发展历史和研究现状的基础上,开展ATT武器使用研究,为我国发展ATT武器提供一定技术支持。

1 鱼雷导引方式及特点

从导引方式方面看,鱼雷一般可分为直航鱼雷、声自导鱼雷、尾流自导鱼雷。线导方式是发射平台火控系统对鱼雷进行控制的一种途径,通常它与鱼雷的一种或几种自导方式联合使用^[7]。

1.1 直航

早期的鱼雷是无自导的近程直航鱼雷,单雷命中概率较低。直航鱼雷具有成本低、航速不受限制、抗干扰能力强等优点。虽然直航雷的使用越来越少,但配备了先进火控系统的发射平台,直航雷仍在使用。在英阿马岛战争中,双方共动用了6型鱼雷,进行了11次鱼雷攻击,线导、声自导鱼雷均未奏效,唯一建功的是英国在二战中剩余的MK-8型直航鱼雷。

1.2 声自导

声自导即利用水声信号进行目标检测、识别、定位,是当前最为常见的鱼雷自导方式,分为主动声自导和被动声自导2种方式。主动声自导由鱼雷发射声脉冲信号,自导系统接收目标回波,计算目标方位距离。被动声自导系统接收目标的辐射噪声,由此测算目标方位,其优点是信号连续性强,缺点是无法获得目标距离信息,而且容易被宽带噪声干扰器干扰。

海洋环境噪声、人工干扰噪声、鱼雷自噪声以及混响等因素是影响声自导鱼雷对目标检测和识别能力的重要因素。另外,对于种类繁多的水声对抗器材,如何采取有效的反对抗措施,也是声自导鱼雷必须解决的关键问题。

1.3 尾流自导

尾流自导鱼雷一般只用于攻击水面舰船。舰船

航行中会在尾部形成含有气泡和涡的尾流,其温度、电导率、磁场等参数都与其他区域海水不同^[8]。利用这种差异形成多种尾流自导方式,如磁尾流自导鱼雷、声尾流自导鱼雷等。目前,尾流自导鱼雷主要采用声尾流自导方式。

尾流自导有抗干扰能力强的特点。利用向上观察的换能器,可在很大程度上克服鱼雷的自噪声影响,并且尾流难以伪造产生,使得现有的软对抗手段对尾流自导鱼雷几乎无能为力。而尾流自导鱼雷又是从舰船尾部进行跟踪,处于声呐盲区之内,并且尾流消失需要较长一段时间,因此水面舰船对尾流自导鱼雷实施对抗和规避难度较大。

当前各国的尾流自导鱼雷有如德国DM2A4、法国的F17-MK2型、意大利的A184、俄罗斯的53-65K等^[9]。

1.4 线导

绝大多数国家的重型鱼雷都装备了线导系统。线导系统由收发电子装置、雷上线团、发射艇上放线机构等组成。国外先进鱼雷已采用光纤导线,如瑞典的TP2000鱼雷和意大利“黑鲨”鱼雷^[10]。

线导装置的使用提高了搜索概率和导引精度,鱼雷的运动信息可以通过线导系统回传到发射平台以实现对鱼雷的监视,当出现导引失误时,可通过线导进行纠正,提高攻击的准确性。

2 鱼雷防御手段

水面舰艇主动对抗鱼雷攻击存在软硬2种手段。软对抗并不直接摧毁来袭鱼雷,而是使用气幕弹、干扰器等器材干扰自导系统,使其无法检测到真实目标;或者施放各种假目标来诱骗鱼雷,使鱼雷错误地跟踪假目标而耗尽能源。软对抗的优点是防御快速、成本较低。目前各国海军依然把软对抗器材作为反鱼雷系统中的主要对抗手段^[11]。

随着多目标处理等声自导对抗识别技术的发展,鱼雷的反对抗能力不断提高,软对抗器材对抗现代智能鱼雷的效果越来越差^[12]。对抗器材虽然在一定距离和时间上可以诱骗来袭鱼雷,但不能彻底消除威胁,存在被来袭鱼雷二次攻击的可能。与此同时,软对抗措施并不能对抗一些类型的鱼雷,如

直航雷,而声干扰器和声诱饵等软对抗器材虽然能对抗声自导鱼雷,却无法对抗尾流自导鱼雷。在无法确定来袭鱼雷制导方式的情况下,为了提高鱼雷防御成功率,硬杀伤手段成为重要选择^[13]。

硬杀伤对抗手段旨在直接摧毁来袭鱼雷^[14],主

要包括火箭深弹、爆炸式声诱饵、ATT等。典型的硬杀伤性武器及其特点如表1所示。需要指出的是,来袭鱼雷攻击方式较多,水面舰艇不能采用单一方式对抗措施防御鱼雷攻击。另外,如舰艇被多枚鱼雷同时攻击,舰艇的防御难度将大大提高^[15]。

表1 典型硬杀伤性武器
Table 1 Typical hard-kill weapons

武器种类	型号	优势	劣势
深水炸弹	UDAV-1M、RPK-8	爆炸能量大	毁伤半径小、散布误差大
ATT	SeaSpider、小包鱼雷、MU90-HK	拦截范围大、拦截概率高	研制难度大、存在与水声对抗器材声兼容问题
引爆式声诱饵	ADCMK-1、Torbuster	定位精度要求低	仅能对抗声制导鱼雷
反鱼雷拦截网	沉网法、拖网法	定位精度要求低	海流影响大
反鱼雷声阵列	水声换能器阵列	可反复发射破坏性脉冲和高能量冲击波	有效作用距离和毁伤效果难评估
超空泡射弹武器	RAMICS	射速高、发射密度大	技术难度大

在硬杀伤武器中,ATT具有主动搜索和精确制导的特点,能够拦截多类型来袭鱼雷。同时相比于拦截网、深弹等“硬杀伤”武器,高毁伤概率使其成为各军事强国研究的重点^[16]。

3 各国 ATT 发展现状

国外发展 ATT 有 3 个主要的时间点^[17],第 1 个时间点是 1980 年代,美国首先提出了 ATT 的研制和探索,在 MK46 型鱼雷的基础上进行了改进,但由于未能通过海军试验,于 1995 年结束。第 2 个时间点为 2000 年前后,以 MU90-HK 项目为代表^[18],该项目由法国和意大利联合完成,是对 MU90 轻型鱼雷的一种改进,并进行了初步的数字模拟论证,但由于技术风险较大,该方案未被接受。在这一时期,开始了智能反鱼雷的发展,美国在宾夕法尼亚大学应用物理实验室进行了试验,但其进展并未公开。第 3 个时间点始于 2019 年,以德国研制的“海蜘蛛”和俄罗斯的 E/NK 系统为代表。“海蜘蛛”ATT 目前处于样雷研制阶段,完成了湖上动态航行报警和试验系统对照实验。E/NK 系统的“小包”ATT 经过试验阶段,已装备部队。

1) 美国。

美国是最早提出 ATT 研发概念的国家^[19],最初的 ATT 项目基于 MK-27 轻型鱼雷进行改造。

1987 年研制出了第 1 枚 ATT,其射程 1 km、直径 203 mm,可装药 7 kg,速度 40 kn,采用组合制导模式。同一时期,美国相关研究人员将 MK-46 轻型反潜鱼雷改装为 ATT,但速度较慢、拦截时间短,最终以失败告终。

20 世纪 90 年代初,研制出了一种新型的 ATT,主要部件为 MK-54 鱼雷,其动力装置为化学储能推进系统。

2013 年 5 月,美海军“布什”号航空母舰进行了第 1 次试验,受试对象包括鱼雷警报系统以及以 ATT 为中心的反鱼雷对抗单元,试验中 7 个鱼雷水下靶子均被击毁。

2019 年 8 月,美国“艾森豪威尔”号驱逐舰在大西洋试验发射了 1 枚 ATT,主要对抗尾流自导鱼雷以及导线自导鱼雷。经过多次演习,ATT 始终



图1 “艾森豪威尔”航母试射 ATT
Fig. 1 ATT launched from Eisenhower aircraft carrier

达不到实际环境下作战要求，被暂停使用。美国海军表示，ATT 系统研制和使用仍处于起步阶段^[20]。

2) 法国与意大利。

法国与意大利欧洲鱼雷公司合作共同研发 MU90HK，该型 ATT 基于 MU90 轻型反潜鱼雷进行研制，其最小发射深度 25 m、长 3 m、直径 324 mm、重 300 kg，战斗部由 50 kg 的半聚能炸药组成，速度可达到 50 kn 以上，具备 100°/s 的大角度机动能力。MU90 型的特点是精度高、速度快、射程远，具有高精度的声探测系统^[21]。此外，MU90HK 可同时发射，在远离本舰 60~100 m 后开启保险，以保证发射船的安全，并具备识别友军的能力。

欧洲鱼雷公司在 2 年中进行了超过百万次的仿真实验，结果表明：MU90HK 能够有效地拦截重型鱼雷，其中尾流和直射鱼雷的拦截概率则分别为 77% 和 85%。

3) 德国。

德国研制的 ATT 名为“海蜘蛛”^[22]，如图 2 所示。“海蜘蛛”体积小、装载量大，对抗效果好，可以替代轻型鱼雷攻击潜艇，其劣势是航程短，定位准确度不高。

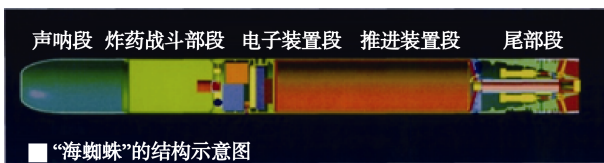


图 2 “海蜘蛛”结构示意图
Fig. 2 Schematic diagram of structure of SeaSpider

“海蜘蛛”是为德国 212A 设计的，其用途不仅仅是潜艇，也可用于水面舰艇。“海蜘蛛”的发射分为 2 种，即鱼雷管和专用的外置式发射箱。

图 3 所示为水面舰发射“海蜘蛛”的示意图。利用火箭推进器将鱼雷推送到目的地，推进器在空中脱离，脱离时降落伞打开以降低下落速度。入水后脱离降落伞，随后起动机，采用声呐来搜寻并袭击来袭鱼雷。

4) 俄罗斯。

俄罗斯 E/NK 系统是俄国海军装备的一种反鱼

雷武器系统，系统由特殊目标识别声呐、自动火控系统、ATT、储存和运输发射装置组成。其目标识别声呐可对目标进行自动识别、解算出目标运动要素后自动传输至火控系统中进行射击诸元解算，实现自动发射功能。同时，该系统还具有对全系统技术状态的实时监测、显示、记录等功能。俄罗斯称“小包”ATT 系统能将战舰的生存能力提升至 3~3.5 倍^[23]。“小包”ATT 系统如图 4 所示。



图 3 水面舰发射“海蜘蛛”
Fig. 3 Surface ship launches SeaSpider



图 4 俄罗斯 E/NK 系统
Fig. 4 Russian E/NK system

4 ATT 的作战使用

来袭鱼雷攻击舰船有多种弹道，ATT 的弹道选择会直接影响对来袭鱼雷的拦截效果^[24]。例如，声自导鱼雷在捕获目标后的尾追弹道、固定提前角弹道、自动调整提前角弹道等。在使用 ATT 拦截来袭鱼雷时，将来袭鱼雷看成目标，ATT 在捕获来袭鱼雷后同样按照既定的特定弹道追踪来袭鱼雷。本节将在建立拦截弹道模型的基础上，通过仿真分析采用不同拦截弹道方式和不同 ATT 性能参数条件下的拦截概率。

4.1 逆弹道拦截模型

以发现来袭鱼雷时的本舰位置为原点, 真北线为 y 轴建立坐标系。在整个过程中, 设模拟来袭鱼雷弹道的坐标为 (X_{Ti}, Y_{Ti}) , 本舰的坐标为 (X_{Si}, Y_{Si}) , ATT 的坐标为 (X_{Ai}, Y_{Ai}) [25]。

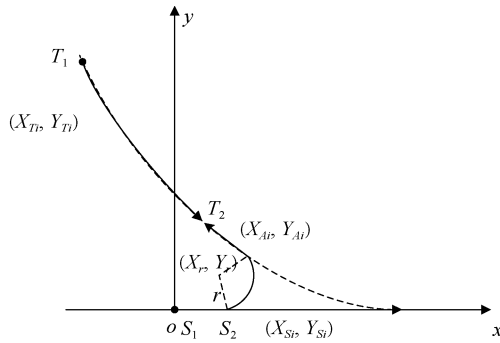


图 5 逆弹道拦截示意图

Fig. 5 Schematic diagram of reverse ballistic interception

本舰在位置 S_1 时探测到位置 T_1 有来袭鱼雷, 前进至位置 S_2 时解算出来袭鱼雷此时的速度 V_T 与航向 H_T 及初始坐标 (X_{T1}, Y_{T1}) , 并模拟出来袭鱼雷弹道坐标 (X_{Ti}, Y_{Ti}) 。对于直航阶段:

$$\begin{cases} X_{Ti} = V_T \cos(H_T)t + X_{Ti-1} \\ Y_{Ti} = V_T \sin(H_T)t + Y_{Ti-1} \end{cases} \quad (1)$$

对于追踪阶段:

$$\begin{cases} H_{Ti} = \text{atan2}\left(\frac{X_{Si} - X_{Ti}}{Y_{Si} - Y_{Ti}}\right) \\ X_{Ti} = V_T \cos(H_{Ti})t + X_{Ti-1} \\ Y_{Ti} = V_T \sin(H_{Ti})t + Y_{Ti-1} \end{cases} \quad (2)$$

此时发射 ATT, 以半径 r 回旋至来袭鱼雷的弹道, 并逆着弹道前进, 最终在位置 T_2 拦截到来袭鱼雷 [26]。设 ATT 的初始坐标为 (X_{A1}, Y_{A1}) , 回旋圆心坐标为 (X_r, Y_r) , 回旋圆弧与来袭鱼雷弹道的切点坐标为 (X_{Tm}, Y_{Tm}) 。

由几何关系可建立如下方程:

$$\begin{cases} (X_{A1} - X_r, Y_{A1} - Y_r)(X_{Tm} - X_r, Y_{Tm} - Y_r) = 0 \\ (X_{A1} - X_r)^2 + (Y_{A1} - Y_r)^2 = (X_{Tm} - X_r)^2 + (Y_{Tm} - Y_r)^2 \\ r = \sqrt{(X_{A1} - X_r)^2 + (Y_{A1} - Y_r)^2} \\ (X_{Tm}, Y_{Tm}) \in \{(X_{Ti}, Y_{Ti})\} \end{cases} \quad (3)$$

解算出回旋半径 r 便可确定 ATT 的弹道, 从而对来袭鱼雷进行拦截。

4.2 解相遇拦截模型

对于来袭鱼雷的模拟弹道计算同式 (1) 和式 (2), 可模拟出来袭鱼雷的坐标 (X_{Ti}, Y_{Ti}) , 并发射 ATT。

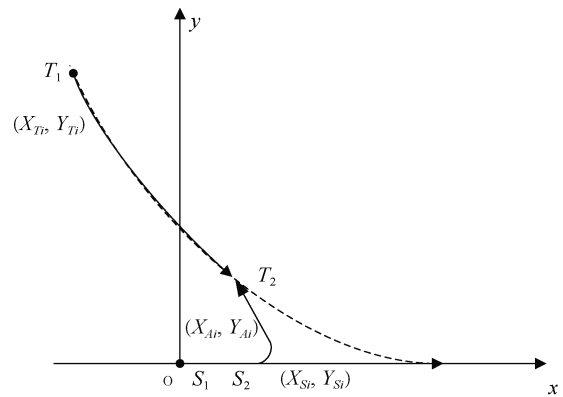


图 6 解相遇拦截示意图

Fig. 6 Schematic diagram of encounter interception

与逆弹道拦截方式不同, ATT 发射后以最大回旋角速度进行回旋, 在航向对准来袭鱼雷后直接射向来袭鱼雷进行拦截。设 ATT 的最大回旋角速度为 ω , 航向为 H_{Ai} , 速度为 V_A 。来袭鱼雷相对于 ATT 的方位角与 ATT 的航向夹角为 [27]

$$\theta_i = \text{atan2}\left(\frac{X_{Ti} - X_{Si}}{Y_{Ti} - Y_{Si}}\right) - H_{Ai} \quad (4)$$

其中, (X_{Ti}, Y_{Ti}) 为发射 ATT 时来袭鱼雷的模拟坐标。

ATT 的航向为

$$H_{Ai} = \begin{cases} H_{Ai-1} + \text{sgn}(\theta_{i-1})\omega t & \theta_{i-1} > \omega t \\ \text{atan2}\left(\frac{X_{Ti+m-1} - X_{Si}}{Y_{Ti+m-1} - Y_{Si}}\right) & \theta_{i-1} < \omega t \end{cases} \quad (5)$$

从而确定 ATT 的弹道:

$$\begin{cases} X_{Ai} = V_A \cos(H_{Ai})t + X_{Ai-1} \\ Y_{Ai} = V_A \sin(H_{Ai})t + Y_{Ai-1} \end{cases} \quad (6)$$

4.3 ATT 拦截来袭鱼雷的数值仿真

在数值仿真中, 本舰、来袭鱼雷和 ATT 的参数: ①本舰。速度 20 kn, 航向 90° , 拖曳声呐电缆长度 1 000 m; 拖曳声呐方位估计的系统误差均值为 3° , 估计方位的方差在目标方位角为 $-60^\circ \sim 60^\circ$

为 1°，其它角度为 2°；距离探测误差为真实距离的 2.5%。②来袭鱼雷。速度 30 kn，相对拖曳声呐初始距离 5 000 m，相对拖曳声呐的初始方位角为 90°，导引方式为尾追、线导及提前角。③ATT 参数。最大速度 50 kn，最大转弯角速度 20°/s，杀伤半径为 10 m，主动系统的探测距离为 1 000 m。在每组仿真条件下各进行 100 次试验，统计成功拦截的次数。

1) 不同拦截方式的概率对比。

仿真中来袭鱼雷导引方式分别尾追、线导和自动调整提前角导引，限于篇幅文章中仅给出自动调整提前角导引仿真结果，如图 7 所示。

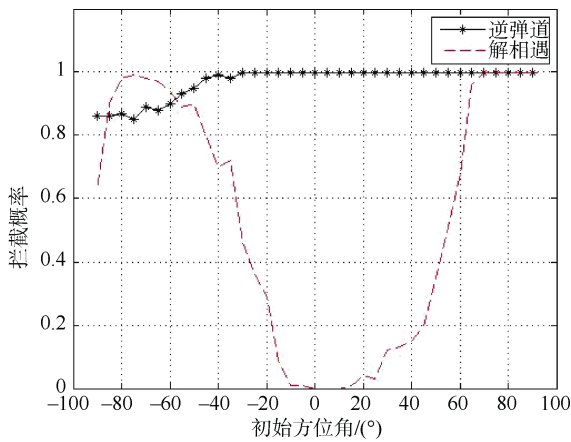


图 7 2 种拦截弹道的拦截概率
Fig. 7 Interception probabilities of 2 interceptor trajectories

可以看出，在来袭鱼雷的初始方位角范围为 -60°~60°的情况下，采用解相遇拦截方式时由于 ATT 发现目标时弦角过大，受机动性影响不能有效地拦截来袭鱼雷；而采用逆弹道拦截方式时，ATT 通过回旋至来袭鱼雷的逆弹道，发现目标时弦角较小，可有效地进行拦截。

2) ATT 探测距离对拦截概率的影响。

考虑 2 种 ATT 探测距离条件，即 1 000 m 和 2 000 m，来袭鱼雷在自动调整提前角方式导引下的拦截概率如图 8 所示。

可以看到，在来袭鱼雷的初始方位角范围为 -90°~40°时，探测距离的增加可提高拦截概率。这是由于来袭鱼雷速度矢量横向分量与本舰相同，

在 ATT 回旋至来袭鱼雷的逆弹道时，若探测距离大，可提前发现来袭鱼雷并做有效机动，弥补了在这个方位角范围内声呐探测误差的影响。

在来袭鱼雷的初始方位角范围为 20°~60°时，由于来袭鱼雷速度矢量横向分量与本舰相反，来袭鱼雷与本舰距离较近，探测距离的增加将会导致 ATT 未回旋至来袭鱼雷逆弹道时便发现目标，此时 ATT 与来袭鱼雷的弦角过大，未能做有效机动，从而导致拦截概率降低。

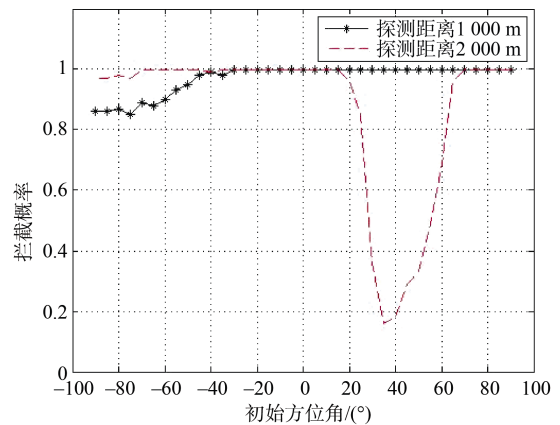


图 8 ATT 探测距离对拦截概率的影响
Fig. 8 Effect of ATT detection range on interception probability

3) ATT 速度对拦截概率的影响。

考虑 3 种 ATT 速度条件：①与来袭鱼雷速度比为 1.0；②与来袭鱼雷速度比为 0.8；③与来袭鱼雷速度比为 1.2。来袭鱼雷在自动调整提前角方式导引下的拦截概率如图 9 所示。

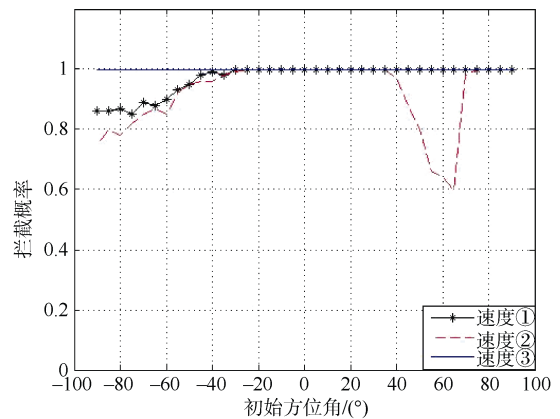


图 9 ATT 速度对拦截概率的影响
Fig. 9 Effect of ATT speed on interception probability

在来袭鱼雷的初始方位角范围为 $-90^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 时,ATT相对于来袭鱼雷的速度比越大,拦截概率越高。因为这种情况下来袭鱼雷相对ATT的弦角略大,ATT在高速条件下更易形成对于来袭鱼雷的迎面拦截态势,从而获得更好的拦截效果。类似的,在来袭鱼雷的初始方位角范围为 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 时,ATT速度越大将更有利于提高其拦截效能。

5 结束语

由于水下高速目标探测困难、鱼雷水中高速机动困难、反鱼雷软硬手段相互干扰等原因,ATT研制技术难度较大,许多关键技术尚待突破。目前各国ATT武器仍处于研制的初级阶段。但在鱼雷防御体系中,ATT仍是最有前景的发展方向之一。

参考文献

- [1] 王金云. 高速鱼雷攻击水面舰艇突防概率仿真计算[J]. 指挥控制与仿真, 2021, 43(5): 5-6.
- [2] 涂林峰. 水下的暗战(一)[J]. 兵器知识, 2020(2): 81-86.
- [3] 孙慧玲, 胡伟文, 杜大鹏, 等. 水面舰艇防御鱼雷作战生存概率的影响规律研究[J]. 海军工程大学学报, 2020, 32(6): 6-7.
- [4] 陈敬军. 国外水面舰艇鱼雷防御系统的构建问题探析[J]. 声学技术, 2014, 33(1): 79-84.
- [5] 吴宝奇, 关晓存, 石敬斌. 电磁线圈发射舰载反鱼雷鱼雷拦截概率仿真分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2021, 42(4): 6-7.
- [6] 陈敬军. 鱼雷防御系统中不断出现的硬杀伤能力[J]. 声学技术, 2013, 32(5): 439-444.
- [7] 胡平, 张林森, 刘凯, 等. 潜射反舰鱼雷制导方式判别方法研究[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(10): 19-23.
- [8] 武志东, 张孝芳, 于雪泳. 尾流自导鱼雷攻击低速水面目标模型研究[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(9): 5-7.
- [9] 周德善. 鱼雷自导技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [10] 苏金涛, 李建峰, 姚运启. 一种水面舰艇反鱼雷鱼雷武器系统构想[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(8): 46-60.
- [11] 陈颜辉, 赵雷. 多手段综合防御鱼雷指控系统架构与实现[J]. 弹道学报, 2022, 34(1): 105-110.
- [12] 张义胜, 孙振新. 水面舰艇的防御技术[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(2): 105-109.
- [13] 陈春玉, 王岚. 反鱼雷技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [14] 刘伟. 外军的鱼雷和鱼雷防御技术[J]. 现代军事, 2005(5): 34-37.
- [15] 涂林峰. 水下的暗战(二)[J]. 兵器知识, 2020(3): 80-85.
- [16] 王新华, 杨迎化, 衡辉, 等. 反鱼雷鱼雷发展现状及作战使用[J]. 飞航导弹, 2012(5): 54-58.
- [17] 璧千刃, 邱羽佳. 水下反雷幽灵 外军反鱼雷鱼雷系统[J]. 环球军事, 2017(22): 41-43.
- [18] 海工. 鱼雷终结者III——MU 90HK 反鱼雷鱼雷[J]. 现代舰船, 2002(4): 24-26.
- [19] 崔贵平. 国外反鱼雷鱼雷技术发展及趋势[J]. 舰船科学技术, 2013(3): 138-141.
- [20] 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, 58-59.
- [21] 李阳, 陆文俊, 吴吉伟. 反鱼雷鱼雷发展现状分析[J]. 科教文汇: 下旬刊, 2013(8): 100-103.
- [22] 周佩芬. “海蜘蛛”反鱼雷鱼雷[J]. 兵器知识, 2010(12): 2-4.
- [23] 晓岭. 俄罗斯反鱼雷鱼雷系统[J]. 现代舰船, 2001(3): 34-36.
- [24] 孙振新, 顾天军. 水面舰艇反鱼雷鱼雷拦截策略研究[J]. 鱼雷技术, 2020, 28(6): 699-705.
- [25] 范路, 王志杰, 曹小娟. 反鱼雷鱼雷拦截弹道导引方法研究[J]. 舰船科学, 2014, 36(2): 77-81.
- [26] 彭会斌, 刘希. 基于效能分析的反鱼雷鱼雷拦截方式优选技术[J]. 指挥控制与仿真, 2018, 40(2): 5-7.
- [27] 陈颜辉, 王元斌. 关于ATT的运用场景约束分析[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(1): 80-88.

(责任编辑: 曹晓霖)