国外鱼雷防御问题评述（四）

鱼雷防御系统中不断出现的硬杀伤能力

陈敬军 [1,2]
(1. 上海船舶电子设备研究所, 上海 201128；2. 海军装备部驻上海地区军事代表局, 上海 200083)

摘要：鱼雷防御可以采用软杀伤和硬杀伤两种对抗手段。现在大多数鱼雷防御系统还是软杀伤型的系统——使用诱饵或干扰器干扰潜艇的目标指示，去误导或打断鱼雷的制导机制。但软杀伤并不能对抗某些类型的鱼雷，加上大部分先进的现代鱼雷都具有反对抗措施，导致软杀伤防御的有效性在降低，需要开始更多地关注能够消除威胁的硬杀伤系统。现代水面舰艇鱼雷防御系统中正在不断增强对来袭鱼雷的硬杀伤能力。反鱼雷鱼雷、火箭深弹、拦截网、爆炸式声诱饵等都是用于鱼雷防御的硬杀伤手段，对相关硬杀伤技术进行了分析和回顾。

关键词：硬杀伤；鱼雷防御；综述；火箭深弹；反鱼雷鱼雷
中图分类号：TN911.7 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-3630(2013)-05-0439-06
DOI 编码：10.3969/j.issn1000-3630.2013.05.017

Emerging hard kill capabilities in torpedo defence systems

CHEN Jing-jun[1,2]
(1. *Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute*, *Shanghai* 201128, *China*
2. *Shanghai Military Representative Bureau of Navy Equipment Department*, *Shanghai* 200083, *China*)

Abstract: There are two different kinds of measures against torpedo attack: soft kill and hard kill effectors. Most of the current anti-torpedo defences are 'soft kill' systems- decoys or jammers designed to interfere submarine's targeting and to mislead or disrupt torpedoes' homing mechanisms. But soft kill is not effective against some types of torpedoes. And the most sophisticated torpedoes have anti-countermeasures techniques that also reduce the value of soft kill defences. As a result, there is a growing focus on 'hard kill' systems that can eliminate the threat. Anti-torpedo torpedo(ATT), depth charge, torpedo net defence (TND), hard kill decoy et al. are all hard kill measures against torpedo attack. The related anti-torpedo hard kill technologies are discussed and surveyed in this paper.
Key words: hard kill; torpedo defence; overview, depth charge; anti-torpedo torpedo(ATT)

0 引 言

现代智能鱼雷可以利用线导+尾流自导或声自导来攻击水面舰艇。在近 20 多年的时间里，鱼雷和声纳技术得到了快速发展。现代鱼雷中组合制导方式、多频制、目标识别技术等反对抗措施的运用，使得鱼雷抗干扰和识别真假目标的能力显著增强，导致利用软杀伤手段对抗来袭鱼雷的有效性相对降低。而鱼雷大的续航力和再攻击能力的提高使得即使软杀伤措施有效，水面舰艇对抗鱼雷攻击的时间也很长。加上软杀伤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杀伤器材虽然能对抗声自导鱼雷，却无法对抗尾流自导鱼雷。在来袭鱼雷往往拥有多种制导方式，并且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概率，各国海军开始更多地关注能够消除威胁的硬杀伤系统[1-20]。

声纳技术的发展和装备性能提高，对鱼雷攻击和防御都提供了便利：一方面，线导鱼雷可在潜艇平台上强大的声纳系统的帮助下更好地到达攻击位置、辨别真假目标，进一步降低了软杀伤对抗器材对抗来袭鱼雷的有效性。另一方面，水面舰艇鱼雷报警能力的提高和对鱼雷的主动定位，又为利用硬杀伤手段直接摧毁来袭鱼雷提供了便利。

利用水中爆炸产生的冲击波对鱼雷毁伤，是拦截鱼雷的主要手段。一般来说水下爆炸对鱼雷具有软硬杀伤两方面的效果。硬杀伤效果体现在：爆炸时产生的声压值及压力冲量，使鱼雷敏感元件、关键性的薄弱环节损坏，从而使鱼雷失效；爆炸时产生的水下冲击波可使鱼雷失稳、翻身，转而丢失目标。若 30kg 高能炸药，在水中爆炸时产生的超压，在距离 30 m 处其自由均压为 4.4×10^6 Pa。据研究鱼雷接收传感器若承受的动载超过 3.9×10^6 Pa，就

收稿日期：2013-03-20；**修回日期：**2013-05-30
作者简介：陈敬军(1971－), 男, 山东费县人, 博士, 高级工程师, 研究方向为信号处理和反鱼雷技术。
通讯作者：陈敬军, E-mail: cjj_81@sina.com

可能产生故障[6]。软杀伤效果体现在：强大的爆炸产生的声音频带宽、强度大，对声纳和鱼雷制导会产生干扰，较近时可使声制导鱼雷致盲；爆炸时产生的大量气泡可以产生与气幕弹类似的软杀伤效果，对声波产生屏蔽和反射。在对抗鱼雷攻击的硬杀伤手段中，大多数是利用水下爆炸摧毁来袭鱼雷，如反鱼雷鱼雷、火箭深弹、爆炸式声诱饵等；同时也进行了其它尝试，如通过产生强声压脉冲摧毁鱼雷的反鱼雷声学阵列等[1-20]。

1 反鱼雷深水炸弹

深水炸弹曾经是主要的反潜武器，也是应用最早、目前仍在使用的硬杀伤反鱼雷武器[1-14]。现有的深弹离鱼雷 50m 左右爆炸，可毁坏鱼雷的自导和控制系统并使之失灵；在据炸点 1000 m 处产生的强噪声有 260 dB，并形成较大范围的气泡幕，可阻塞声自导鱼雷对所攻击目标的声自导接触，从而造成硬软杀伤的综合效果。在第二次世界大战中火箭深弹已经被充分证明是有效的水下反鱼雷武器。对于装备了火箭深弹的水面舰艇而言，由深弹在联射或齐射时组成的拦截鱼雷的弹幕，是保护水面舰艇免遭鱼雷攻击的重要手段。

火箭深弹对鱼雷的毁伤半径只有几十米，加上火箭深弹发射时落点精度并不是很高，要保证高的毁伤概率，必须对来袭鱼雷进行精确定位。在较近的距离上，舰载主动声纳可以主动探测到来袭鱼雷，鱼雷定位误差和火箭深弹的落点误差不会很大，采用普通火箭深弹齐射或联射摧毁鱼雷能够达到一定的拦截概率。但在较远的距离上直接用普通深弹成功摧毁来袭鱼雷面临很大的挑战：一是鱼雷作为高速小目标，利用舰壳声纳在远距离上难于主动精确定位，即使采用主被动联合拖线阵声纳，能够在较远的距离上探测到来袭鱼雷，但其定位平均误差很大，加上远距离火箭深弹散布误差大，导致直接摧毁鱼雷的概率很低，硬杀伤效果不理想。二是在鱼雷攻击的末弹道，鱼雷运动的不确定性使深弹爆炸后产生的气幕屏蔽遮挡鱼雷的效果变差。而深弹爆炸时产生的强噪声对舰载声纳产生干扰，影响其对鱼雷目标的连续跟踪和识别，这在对来袭鱼雷硬杀伤概率极低的情况下是非常不利的。

为了在远距离上摧毁来袭鱼雷，可以利用鱼雷预估距离和方位，在鱼雷可能来袭方向上布一个带声纳探测装置的尽可能宽的悬浮深弹阵，最大限度地摧毁来袭鱼雷。因此，有两种形式的火箭深弹：普通火箭深弹和悬浮式火箭深弹。前者由战斗部、火箭发动机、引信等组成；后者还包括了声探测声纳、悬浮装置、空中减速机构。

发展深弹反鱼雷技术必须考虑鱼雷和水面舰艇的战术技术特点：水下高速运动的鱼雷利用线导加尾流自导或声自导来攻击水面舰艇；水面舰艇对鱼雷的报警距离是随着温度的变化而变化的，并且其变化量比较大，这种距离的变化直接带来的是反映时间的变化；另一个制约水面舰艇反鱼雷的因素是目前声纳对来袭鱼雷只能给出方位变化信息，而距离测量误差太大，这就使现有深弹反鱼雷的效能大大下降。针对上述特点，发展远近结合的水面舰艇反鱼雷深弹系统是反鱼雷深弹发展的主要趋势。

俄罗斯是利用火箭深弹进行鱼雷防御的代表性国家，其开发出的 UDAV-1M 和 RPK-8 反鱼雷火箭深弹系统已经装备其水面舰艇。在报警距离较远时，使用主动声探测型悬浮式深弹，在鱼雷航路上构成一个悬浮式深弹阵，当探测到鱼雷正穿过该阵时，起爆深弹摧毁鱼雷。一旦鱼雷突破了悬浮式深弹阵，或者鱼雷距离水面舰艇小于 1500 m 时，直接使用普通火箭深弹快速准确地摧毁鱼雷。这些系统对直航雷的拦截概率达到 90%，而对自导鱼雷的拦截概率达到 76%。这些成本低、效果好的反鱼雷武器越来越受到人们关注。

利用火箭反鱼雷深弹具有如下优点：爆炸声源技术简单可靠、爆炸声能级较高，频率范围宽，具有爆炸冲击波和气泡脉动的硬杀伤能力，因而它软硬兼备，效费比高。

2 反鱼雷鱼雷

有了导弹防御系统的成功先例，国外各海军强国尝试利用反鱼雷鱼雷(ATT)拦截来袭鱼雷。美国早在上世纪 80 年代，开始了基于 MK46 鱼雷改进为 ATT 的研制工作。与利用探测目标的拦截导弹相比，ATT 研制面临许多挑战：一是声波在海水中的传播速度约为 1500 $m\cdot s^{-1}$，而导弹所利用的电磁波传播速度却高达 3×10^{8} $m\cdot s^{-1}$，在拦截鱼雷过程中获得的数据要少得多；二是声音在海洋信道中传播相比电磁波在空气中传播变化较大，目标主动探测时信号畸变、多途效应等更加复杂，目标检测更加困难；三是鱼雷在水中受水的粘滞力影响，机动困难；四是在对来袭鱼雷进行拦截时，可能采用软硬手段对抗来袭鱼雷，容易导致相互干扰，存在声兼容问题。正是由于 ATT 研制困难，美国经过近 10 年的

探索后，在 1995 年终止了在现有鱼雷基础上研制 ATT 的工作，直到 2002 年才由宾西法尼亚大学应用物理实验室为主重新启动了灵巧型 ATT 的研制工作。目前正在研制或已经研制完成的 ATT 有德国的 SEA-SPIDER 鱼雷、俄罗斯的小包鱼雷，以及法国和意大利等国联合研制的 MU90-HK 鱼雷。

美国 SMART 鱼雷口径为 160 mm；长度为 2.67 m；航程 1 km，航速 30~40 kn；装药量 5 kg；拦截范围 4.5 km；可以多雷齐射；对来袭鱼雷硬杀伤毁伤范围为 20 m；可在潜艇和水面舰艇发射；控制形式为捷联惯导，可控弹出鳍；自导方式为多模式自导头或声引信，主动和被动工作方式；动力系统采用锂-六氟化硫燃料，闭式循环动力；可拦截雷型包括直航、声自导/线导和尾流自导鱼雷。该型 ATT 目前处于演示验证阶段，是目前 ATT 鱼雷中口径最小的鱼雷，其自导动力研制难度大，短期内难于解决。同时装药量少，只有 5 kg 的装药量，毁伤效果难以保证。

近几年德国开始研制 SEA-SPIDER 鱼雷，如图 1 所示，口径为 2.10 m；长度为 2.26 m；航速小于 50 kn，航程 1 km；制导方式为主/被动(高频)，作用距离几百米，全数字化自导头，声引信；具有大范围的水平和垂直视角；舰船声纳和鱼雷声纳频率范围外的工作频率；工作深度可覆盖潜艇工作深度；发射方式为鱼雷发射管发射；战斗部可对鱼雷结构毁伤，全向爆轰；全数字化控制和导引；具有齐射拦截模式；动力推进装置为固体推进剂水下火箭。该型 ATT 目前应该处于原理样雷阶段，已完成了火箭载体的航行试验，研制了其自导控制等，并完成了初步海上试验。其技术特点是采用了火箭推进及高频自导体制，利用了超空化技术。

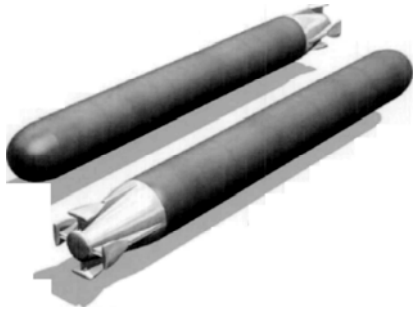


图 1　可被潜艇和水面舰艇发射的高速“海蜘蛛”反鱼雷鱼雷

Fig.1　SEASPIDER, high-speed and very manoeuvrable anti-torpedo torpedo, which can be launched by submarines or surface ships

2000 年前后，法国和意大利在 MU90 轻型鱼雷基础上提出了 MU90-HK 方案。该型 ATT 口径为 3.24 m，长度为 2.85 m；最大航速 50 kn，航程 10 km；水平、垂直旋回角速率为 95°/s；声源级大于 220 dB；工作带宽 10 kHz；扇面为 120°×70°；传感器采用捷联式技术，光纤陀螺+固态加速度计的控制方式；战斗部为 50 kg PBX，全向爆轰；动力方式为电动力；具有高数据率(不同频率交叠发射)，多频、多模处理，适应浅水的特点；可选用初始惯性段航程来适应软对抗的战术。该型 ATT 处于方案论证阶段，主要用于水面舰艇防御。该方案的主要技术优点是口径相对大，所以自导、控制、动力研制困难相对较小。同时，装药量相对较多，其毁伤效果强于小口径。其主要问题是与水声对抗器材的声兼容问题没有得到彻底解决。

俄罗斯 MTT 鱼雷口径为 324 mm，长度为 3.108 m；自导作用距离为 300 m；重 380kg，航程 1 km。据报道，该 ATT 目前已经装备使用。主要技术特点是口径采用 324 mm，毁伤效果好；对自导、控制等与战斗部毁伤匹配好。

ATT 是由自导系统、声引信、近程区域导引控制、毁伤和武器系统共同构成的特殊的拦截武器，具有以下基本特点：(1) 单雷拦截范围大，据报道，德国的 SEA-SPIDER 1 枚 ATT 可对抗 1 枚来袭鱼雷；(2) 主动迎击对抗，不被动等待，主动跟踪前迎，缩短对抗时间；(3) 硬杀伤，爆炸毁伤来袭鱼雷；(4) 中近程防御，国外 ATT 多数在 1~3 km 内拦截；(5) 拦截概率高，俄国 MTT 鱼雷可在现有的对抗器材的基础上提高舰船生存能力 3~4 倍。从这个意义而言，ATT 一方面有着巨大的技术挑战，同时也是一个具有广阔发展空间的新领域。在不久的将来，必然会出现多种 ATT 装备部队，形成完善的水下防御主动硬杀伤体系。

3　引爆式声诱饵

声诱饵能够诱骗鱼雷偏离水面舰艇，但鱼雷在受诱骗后因其具有再搜索能力，依然会使水面舰艇再次受到攻击的威胁。将诱饵的诱骗功能和硬杀伤功能结合，研制出新的爆炸式声诱饵，在鱼雷诱骗过来后，摧毁来袭鱼雷则解决了鱼雷的再攻击问题。早在 20 世纪 80 年代，美国就把 ADMK2 型改进成 ADCMK-1 型悬浮式引爆声诱饵，通过潜艇水声对抗发射装置、空投或水面舰艇发射，通过声诱饵的作用将来袭鱼雷诱骗至诱饵附近，触发引信并起爆炸药以炸毁或炸伤来袭鱼雷[18]。目前以色列正在研制的第四代鱼雷对抗器材 Torbuster 实际上就是一型引爆式声诱饵，通过在最靠近点摧毁来袭鱼雷来解决鱼雷的重新攻击问题[1,2]。

Torbuster 由 Rafael 在太平洋 2008 澳大利亚期间首次公开，目前在全力研制，据称在开始全面研制之前，已经花费多年时间对其对抗现代鱼雷的性能和有效性进行了验证，面临的主要技术挑战是声引信系统的优化。Torbuster 合并了软硬杀伤的解决方案，直径 8 英寸(203 mm)，带有爆炸装置，声诱骗部分借鉴了水面舰艇用声诱饵 SCUTTER 的技术，可以在深海和浅海中工作。Torbuster 从潜艇发射出去以后，自己航行到离开潜艇最大间隔的深度和距离。为了对付近距离交战，响应时间非常短，一旦发射 Torbuster，就开始发射声信号诱骗鱼雷。在接近诱饵的过程中，鱼雷激活了 Torbuster 中的声接近传感器，它计算最靠近点，并在鱼雷到达该点时引爆战斗部毁坏来袭鱼雷。

使用爆炸式声诱饵对抗来袭鱼雷的优点是：(1) 对抗效率高，对付一次声制导鱼雷攻击只需要一个 Torbuster；(2) 受海流及声纳定位误差的影响小。缺点是对抗效果与声诱骗功能直接相关，只能对抗声制导鱼雷，不能对抗直航雷和尾流自导鱼雷。

4 反鱼雷拦截网

尾流自导鱼雷是利用舰船的尾流攻击水面舰艇，来袭方向确定。早在 20 世纪 80 年代国外使用反鱼雷拦截网，利用沉网法和拖网法 2 种拦截鱼雷的方法对抗尾流自导鱼雷，以达到保护水面舰船的目的[6-9]。沉网法就是把拦截网投入舰船尾流中，浮子接触到海水时，气体发生器将其充气后，便能悬浮在海水中，同时可伸缩式支柱伸出，使整个网在尾流中张开，网的中央设有爆炸装置。尾流自导鱼雷一旦进人尾流区域并碰到拦截网上，使网上任何一根导线断裂，即可引爆炸药，摧毁来袭鱼雷。由于舰船尾流比较窄，紧急情况下，舰船在航行过程中可以不断抛出拦截网，来阻止尾流自导鱼雷的攻击。沉网中设有自沉装置，到设定时间就自动沉入海底。

拖网法是在舰船后面用同轴电缆拖引一个内装有折叠拦截网的圆形拖体，尾端有稳定鳍，拖体上装有声纳，用来探测来袭鱼雷，并通过电缆把探测数据传输到舰船上的信息处理机。信息处理机的控制指令又经电缆传送到拖体内，以便拖体转动轮叶，使整个拖体进入到来袭鱼雷的航道上。该处理机控制拖体内的伞状引导网和主网拉出并张开，拖网由高强度的阿拉米奥(Aramiol)纤维编织。伺服电机和开网结构所需动力由舰船通过电缆提供。在伞状拖网上设置炸药，鱼雷一旦碰到网便爆炸。这种拖网可直接牵引拖在舰船尾流下面，以对抗尾流自导鱼雷。防御尾流自导鱼雷的这类装置见图 2。

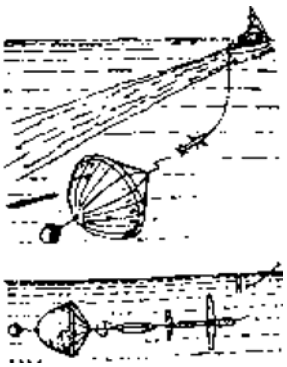


图 2 反鱼雷拖网

Fig.2 Anti-torpedo towed net

由于尾流自导鱼雷来袭方向明确，利用沉网法和拖网法都能够很好地拦截尾流自导鱼雷，并且对来袭鱼雷的主动定位能力要求不高。沉网法受海流的影响相对较大，在对抗时必须予以考虑。利用拖网法对抗来袭鱼雷单独实施时，性价比并不是很高。考虑到大型水面舰艇配备了拖曳阵声纳和拖曳式声诱饵，如果能够把鱼雷拦截网和拖曳式声诱饵进一步结合，将对声自导鱼雷的诱骗功能和拦截网的硬杀伤功能结合起来，则拦截网不仅可以拦截尾流自导鱼雷，还可以拦截声自导鱼雷。平时拦截网并不打开，在鱼雷报警后展开。

5 反鱼雷声阵列

美国先进防御项目研究署正在研究利用声阵列作为水面舰艇的鱼雷防御措施。据文献[19]介绍，使用水声换能器阵列，能够产生具有破坏性的压力脉冲，形成高能量的冲击波(以 150~200 kn 的速度扩散)，构成强大的紊流，使鱼雷偏离原航向或直接毁伤鱼雷。为此，美海军现正在开发一种对付来袭鱼雷的新型反鱼雷武器系统——鱼雷防御声学阵列。就是在本舰的船舷两侧吃水线以下，各装备一套由 360 个换能器组成的阵列(阵列共有 6 排，每排有 60 个换能器，每个换能器有 $1m^2$ 大小)。一旦本舰的声纳系统探测到来袭鱼雷时，360 个换能器同时同步产生声速 1500 $m{\cdot}s^{-1}$ 左右的声波，巨大的压力脉冲可将来袭鱼雷提前引炸，或使其遭受到严重的破坏而丧失战斗力。可见，鱼雷防御阵列就如同给本舰加上了一件隐形防弹衣。该新型反鱼雷武器系统的关键技术是要振幅大、持续时间长的压力冲击波，能在有效距离内杀伤来袭鱼雷。该阵列可以

反复发射，用来对付来自不同方向的多枚来袭鱼雷。

6　超空泡射弹武器系统[20]

超空泡射弹武器系统是一种潜在的有效反鱼雷近程防御武器系统，其作用类似于“密集阵”近程反导武器系统。世界上最早的超空泡射弹武器系统是美国机载浅海反水雷武器系统(Rapid Airborne Mine Clearance System, RAMICS)。该系统于 1994 年开始概念设计，2006 年开始少量生产。

美海军所做的评估表明，现有对目标定位技术和水下超空泡射弹技术可为水面舰艇和潜艇提供有效的防御。一般说来，超空泡射弹的水下射程为数十米至数百米，这一射程可满足近程拦截鱼雷的需要。水面舰艇发射超空泡射弹有 2 条技术途径：水面发射和水下发射。水面发射可借用 RAMICS 技术，发射技术成熟，也可兼顾对空发射；缺点是射弹要同时兼顾空中稳定性和水下稳定性，会影响水下射程，此外射角有一定限制。水下发射则需要开发特殊的水下速射炮，有较大技术难度，但突出优点是可用于潜艇和大型 UUV，且由于只考虑到水下稳定性，射弹的设计难度相对较小。除了水下发射的难题外，对来袭鱼雷的精确目标定位也有很大难度。这对在近程探测快速小目标的高精度主被动声纳提出了迫切需求。

超空泡射弹武器系统拦截鱼雷的优点在于：射弹速度高，几乎不必考虑提前量；射速高，发射密度大，可对同一目标进行连续拦截，总体拦截效率高，也可拦截齐射的鱼雷；相对于其他硬杀伤武器，几乎不会受到弹药基数的限制。

7　结束语

为了保护水面舰艇免遭来袭鱼雷的攻击，各国海军采用软硬杀伤两种手段。随着鱼雷智能化程度的提高和声纳技术的发展，鱼雷反对抗的能力越来越强，软杀伤对抗器材的对抗效果在降低，各海军强国越来越重视硬杀伤对抗手段的研制开发。火箭深弹、反鱼雷鱼雷、反鱼雷拦截网、爆炸式声诱饵等硬杀伤对抗器材不断涌现，鱼雷防御系统中硬杀伤能力越来越强，未来软硬结合的鱼雷防御系统正在由以“软”为主向以“硬”为主转变。

反鱼雷火箭深弹仅能应付有限的目标和少数几次攻击，在新的、更高效的硬杀伤武器出现以前，采取这些方法也不失为一种可以接受的过渡性措施。拦截网和引爆式声诱饵研制难度较小，又分别能对抗尾流自导鱼雷和声自导鱼雷，可以作为对抗鱼雷攻击的重要手段。反鱼雷声学阵列和超空泡射弹武器系统等新型硬杀伤手段对抗鱼雷的效果尚未得到充分验证，值得探索，但是前途未卜。反鱼雷鱼雷虽然研制难度很大，但已经呈现出很好的发展前景，必须重点关注。

参　考　文　献

[1] JANE'S UNDERWATER WARFARE SYSTEMS 208-2009[M/OL]. MPG Books Group.website:juws.janes.com.

[2] JANE'S UNDERWATER WARFARE SYSTEMS 2011-2012[M/OL]. MPG Books Group.website:juws.janes.com.

[3] Hartmut Manseck. Anti torpedo systems survey sensors and effectors[J]. Naval Forces, 2007(4): 92-98.

[4] Otto Kreisher. Torpedo defence against state of the art torpedoes[J]. Naval Forces, 2007(4): 84-88.

[5] Edward H. Lundquist. Torpedoes and Torpedo Deffense Ensuring Victory Under the Sea[J]. Naval Forces, 2004(3): 86-97.

[6] 陈春玉. 反鱼雷技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
CHEN Chunyu. Anti-torpedo technology[M]. Beijing: National Defense industry Press. 2006.

[7] 董阳泽, 张刚强, 印明明. 网络化水声对抗技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
DONG Yangze, ZHANG Gangqiang, YIN Mingming. Networked Underwater Acoustic Warfare Technology[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011.

[8] 姚蓝, 刘平香. 反鱼雷水声对抗技术的现状与发展[J]. 声学技术, 2001, **20**(4): 183-187.
YAO Lan, LIU P ingxiang. Present and Future of Anti-torpedo Counter-measure Technology[J]. Technical Acoustics, 2001, **20**(4): 183-187.

[9] 易红, 何辰, 陈春玉. 对抗尾流自导鱼雷的防御技术[J]. 鱼雷技术, 2007, **15**(1): 6-10.
YI Hong, HE Chen, CHEN Chun-yu. Defense Technologies Against Wake Homing Torpedo[J]. Torpedo Technology, 2007, **15**(1): 6-10.

[10] 钟放庆, 张玉涛, 王明亚. 反鱼雷硬杀伤水下爆炸载荷仿真[J]. 舰船科学技术, 2008, **30**(4): 171-174.
ZHONG Fangqing, ZHANG Yutao, WANG Mingya. Simulation of underwater explosion loads for hard kill to torpedo[J]. Ship Science and Technology, 2008, **30**(4): 171-174.

[11] 樊洪港, 吴晓海, 尤廷悦. 悬浮式深弹反鱼雷系统作战效能分析[J]. 舰船电子工程, 2009, **44**(10): 44-47.
FAN Honggang, WU Xiaohai, YOU Tingyue. Operational effectiveness evaluation of anti-torpedo system of suspended depth charge[J]. Ship Electronic Engineering, 2009, **44**(10): 44-47.

[12] 李倩. 悬浮攻击式火箭反鱼雷技术研究[J]. 舰船科学技术, 2008, **30**(5): 63-66.
LI Qian. Anti-torpedo technique research with suspension attack rocket[J]. Ship Science and Technology, 2008, **30**(5): 63-66.

[13] 周明, 网荣才, 孙续文. 悬浮式深弹拦截尾流自导鱼雷研究[J]. 舰船科学技术, 2009, **31**(2): 80-83.
ZHOU Ming, KAN Rongcai ,SUN Xuwen. Research on poised depth charge against wake homing torpedo[J]. Ship Science and Technology, 2009, **31**(2): 80-83.

[14] 吴晓海, 谢国新, 赵志军. 利用火箭深弹系统拦截鱼雷的技术改进方法探析[J]. 指挥控制和仿真, 2007, **29**(2): 14-17.

WU Xiaohai. XIE Guoxin. ZHAO Zhijun. Exploration on the technological improvements of applying rocket depth-charge systems to intercept torpedoes[J]. Command Control & Simulation, 2007, **29**(2): 14-17.

[15] 崔贵平. 国外反鱼雷鱼雷技术现状及发展趋势[J]. 鱼雷技术, 2012, **20**(6): 472-475.
CUI Guiping. Current and future technology for anti-torpedo torpedo in the world[J]. Torpedo Technology, 2012, **20**(6): 472-475.

[16] 陆超. 超空泡鱼雷基本原理及发展概述[J]. 舰船工程研究, 2008(4): 29-34.
LU Chao .Technical Development on the supercavitating torpedo [J]. Ship engineering research, 2008(4): 29-34.

[17] 冀河军.反鱼雷诱杀技术探讨[J]. 水雷战与舰船防护, 2007, **15**(2): 20-22.
JI Hejun. Discussion on anti-torpedo luring and killing techniques[J]. Mine Warfare & Ship Self-deffenceDEFENCE. 2007, **15**(2): 20-22.

[18] 陈耀娟, 韩明连. 舰艇鱼雷防御技术现状及发展趋势[J]. 舰船科学技术, 2002, **24**(增刊): 30-31.
CHEN Yaojuan, HAN Minglian. State - of - the - art and trend of torpedo defence technology[J]. Ship Science and Technology, 2002, **24**(Suppl.): 30-31.

[19] 孙鹏, 刘平香. 水下定向声能技术在水声对抗中的应用研究[J]. 舰船科学技术, 2007, **29**(3): 65-67.
SUN Peng, LIU Ping-xiang。 On study of underwater directional acoustic energy technology and its application in underwater acoustic warfare[J]. Ship Science and Technology, 2007, **29**(3): 65-67.

[20] 钱东, 张少悟. 鱼雷防御技术的发展展望[J]. 鱼雷技术, 2005, **13**(2): 1-6.
QIAN Dong, ZHANG Shaowu. History and developmental trend of torpedo defense technologies[J]. Torpedo Technology，2005, **13**(2): 1-6.