

隐身技术在水雷武器抗猎上的应用^{*}

夏庆升, 丰雷, 刘定渝

(海军驻662厂军事代表室, 重庆 400000)

摘要:通过对水雷声隐身技术的原理进行分析,指出了声呐目标控制技术的核心是通过减弱、抑制、吸收和偏转目标的声纳回波强度,降低目标的声纳散射截面。同时从国外隐身技术发展现状和隐身材料新技术等方面进行了论述,并对水雷隐身技术发展进行了构想。

关键词:隐身;散射截面

中图分类号: TN97

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)05-0096-03

随着现代探测手段的日益提高和探测技术的不断发展,现代化的扫雷、猎雷技术陆续应用于实战装备,并对水雷的生存效率构成了巨大的威胁。水雷隐身技术是水雷抗猎的主要途径之一。隐身技术自问世以来,在战斗机、导弹和舰船等主要作战武器系统上都得到较大的应用。海湾战争中 F-117A 隐身战斗机的出色表现和令人吃惊的战果,使得隐身技术进一步受到世界各军事强国的重视。水雷隐身技术主要是针对猎雷声呐、磁探仪以及红外成像探测等现代化探测手段,是现代水雷发展的一个重要方向。

1 水雷声隐身技术基本原理

隐身技术,又称为目标特征信号控制技术,是通过控制武器系统的信号特征,使其难以被发现、识别和跟踪打击的技术。针对猎雷探测技术而言,水雷隐身主要包括声隐身、红外隐身、电磁隐身以及视频隐身等。其中,以降低声特征信号为目的的声隐身是隐身技术的重要组成部分。

猎雷具声探测主要是利用主动声纳分析自身专用发声设备发出的声波回波来发现和定位目标。

合置式主动声纳方程为

$$SL - 2TL + TS = NL - DI + DT \quad (1)$$

其中, SL 是声源级, TL 是传播损失, NL 是背景噪声级, DI 是指向性指数, TS 是目标强度, DT 是检测阈。

由(1)式可知,合置式主动声纳的探测能力主要受目标强度 TS ,即目标对声波的反射系数,以及作为主动声纳载体的敌方猎雷具的近场水声信号的强弱,即声纳背景噪声 NL 的影响。

$$TS = 10 \log \frac{I_r}{I_0} \text{ (dB)} \quad (2)$$

其中, I_r 为距目标声中心一米处的反射声强, I_0 为入射波强。

$$I_r = \frac{W_s}{4r^2} = \frac{sI_0}{4r^2} \quad (3)$$

其中, W_s 为目标散射功率,则 $s = W_s / I_0$ 为反向散射截面。所以,目标反射强度可写成

$$TS = 10 \log \frac{I_r}{I_0} \Big|_{r=1} = 10 \log \frac{s}{4} \quad (4)$$

例如,现代水雷多为圆柱形,壳体材料多为铝合金、钢和玻璃钢。若不考虑其吸声性能,则法线方向的目标强度为

$$TS = 10 \lg \frac{aL^2}{2} \quad (5)$$

其轴线方向目标照射面近似球形,目标强度

$$TS = 10 \lg \frac{a^2}{4} \quad (6)$$

式中, L 为水雷长度, a 为水雷半径。为波长,探测时和识别时取不同值^[1]。

可见,声呐目标特征信号控制技术的核心是通过减弱、抑制、吸收、偏转目标的声纳回波强度,降低目标的声纳散射截面(RCS)。

2 国外隐身技术研究现状

2.1 声呐目标特征信号控制技术

声呐目标特征信号控制技术的核心是降低声纳散射截面。其技术途径主要有两个,一是通过目标的外形设计来降低 RCS,简称为外形技术;二是在被声呐探测的目标表面涂覆或安装能吸收声波的材料,即利用声呐吸波材料(RAM)降低目标的 RCS。

2.1.1 低 RCS 外形技术

外形技术是通过目标的非常规外形设计来降低其 RCS。外形技术的应用原则是在保证水雷总体技术要求的前提下,将目标强散射中心转化为次散射中心,或将强散

* 收稿日期:2009-03-01

作者简介:夏庆升(1966—),男,山东沂水人,工程硕士,主要从事水中兵器研究。

射中心移出受声呐威胁的主要方位区域.多棱面外形和融合外形技术是低 RCS 外形技术的两个重要方面.典型的应用实例如瑞典推出的异型体“罗肯”沉底雷,该雷四周扁平呈四棱形,类似岩石,这对惯于识别球形和圆柱形水雷的猎雷具来说,无疑是一种挑战.另外,国外开始所谓柔性雷水体水雷的研究开发工作也是基于这方面的考虑^[2].

融合外形技术是外形技术的另一重要方面,主要包括平面和空间的三维融合,如弹翼平面融合和翼身的三维融合.通过对弹身截面形状进行合理设计,使其侧向的镜面散射变为劈形边缘绕身,从而可大大降低飞行器的侧向 RCS.其典型应用如美国的 B22 战略轰炸机,该机独特的飞翼式全融合结构使它的前向 RCS 得到大幅度的降低.这种技术在鱼雷、鱼水雷和火箭动力水雷隐身方面应用前景广阔.

2.1.2 RAM 技术

RAM 技术是指利用 RAM 吸收衰减入射的声波,并将其声能转换为热能而耗散或使声波因干涉而消失的技术.按其功能可分为涂覆型和结构型.结构型 RAM 通常是将吸收剂分散在特种纤维(如玻璃纤维、石英纤维等)增强的结构材料中所形成的结构复合材料,其典型特点是在承载的同时减小目标的 RCS;涂覆型 RAM 是将吸收剂与粘接剂混合后涂覆于目标表面形成吸波涂层.涂覆型 RAM 以其涂覆方便灵活可调节、吸收性能好等优点而受到世界许多国家的重视,几乎所有隐身武器系统上都使用了涂覆型 RAM.

结构型吸波材料主要有声呐波层板型、吸波夹层结构和复合材料型.文献[3]通过试验获取了碳纤维(CF)、凯夫拉纤维(KF)、玻璃纤维(GF)、超高分子量聚乙烯纤维(UHMPEF)复合材料的力学性能和声学性能参数,在此基础上分别利用等效刚度法和传递矩阵法,对 CF/UHMPEF、CF/KF、CF/GF 混杂纤维复合材料的拉伸刚度、声反射系数和声透射系数进行计算.结果表明,在材料刚度和强度基本相同的条件下,CF/UHMPEF 复合材料声压反射系数最小,其次是 CF/KF,再次是 CF/GF.在 10 kHz 频率范围内,3 种混杂材料的声透射系数都达到 95%以上.

在涂覆型吸波材料方面,美国已经研制成功一系列铁氧吸波材料用于飞机导弹涂层,如锂-镧氧体、锂-锌所产物、镍-镧氧体和陶瓷铁氧体等;后又研制出一种非铁氧体为基底的涂料,可使飞机的声呐散射波衰减 80%,而重量只有铁质体的 1/10;还研制出一种“铁球”涂料,因包含大量极微小的铁球而得名,其功能是将波能力分散到整个飞机表面.

2.2 水雷电磁隐身及在水雷上的应用

目前,在水雷电磁隐身方面,主要是采用玻璃钢雷体.玻璃钢雷体的制造技术已经成熟,适布水深也达到 400 米~500 米,其磁辐射已很难被探测到.此外,新型材料的应用对水雷电磁隐身技术也有相当大的促进.文献[4]关于不均匀磁化等离子体片对圆极化电磁波、异常模电磁波的吸收,计算了不同条件下的衰减率.计算表明,当电磁波的频率接近电子碰撞频率时,磁等离子体对电磁波的吸收达到最大值;当入射电磁波的频率很低时,不均匀磁化等离子体的碰撞对声呐波的吸收非常小;当入射电磁波频率较高

时,等离子体的碰撞对入射电磁波的衰减很有效.在磁场对电磁波衰减率的影响上,对右旋电磁波,磁场变大,衰减率曲线的峰值向较低的碰撞频率方向移动,且衰减率减小;而对左旋电磁波,磁场变大,衰减率曲线的峰值向高的碰撞频率方向移动,且衰减率也增大.同时,在一定条件下,磁场使电磁波的有效吸收带宽变宽.此时,等离子体对电磁波的吸收也最大.特别是当入射电磁波的频率较低时这一特性更显著.

3 隐身材料新技术

3.1 在研或即将研制开发的新材料和新技术

3.1.1 纳米吸波材料

纳米材料是指材料组分特征尺寸在 0.1~100 nm 的材料.纳米薄膜或纳米多层膜具有优异的电磁性能,当做成纳米结构的微米粉作为吸收剂时,具有频带宽、兼容性好、质量小和厚度薄等特点,是一种有发展前途的声呐吸波材料,适合于隐身材料宽带优化设计.纳米吸波材料对电磁波特别是高频电磁波具有优良的吸收性能,但其吸收机制尚需进一步研究.

一般认为,纳米吸波材料对电磁波能量的吸收是由晶格电场热运动引起的电子散射、杂质和晶格缺陷引起的电子散射以及电子与电子之间的相互作用.

美、俄、法、德、日等国都把纳米吸波材料作为新一代声呐吸波材料进行探索与研究.美国已研制出一种称为超黑粉的纳米吸波材料,其对声呐波的吸收率高达 99%,目前正在研究覆盖厘米波、毫米波、红外、可见光等波段的纳米复合材料.法国最近研制成功一种宽频吸波涂层,它由粘结剂和纳米级微屑填充材料构成.纳米级微屑由超薄不定型的磁性薄层及绝缘层堆叠而成,其中磁性层厚度为 3 nm,绝缘层厚度为 5 nm^[5].

3.1.2 多晶铁纤维隐身涂料

多晶铁纤维吸波材料的研究始于 20 世纪 80 年代中后期,它由 Fe、Ni、Co 及其合金纤维构成.多晶铁纤维具有独特的形状各向异性,粘结剂中多晶铁纤维层状取向排列形成多晶铁纤维吸波涂层.多晶铁纤维是一种轻质的磁性波吸收剂,可在很宽的频带内实现高吸收,且质量减轻 40%~60%,涂层质量仅为 1.5~2.0 kg/m²,克服了大多数磁性吸收剂密度大的缺点.据称,该涂料已用在法国战略导弹与载人式飞行器上.美国 3M 公司研制的吸波涂料中使用了直径为 0.26 μm,长度为 6.5 μm 的多晶铁纤维.多晶羰基铁纤维吸收材料已获得应用,且耐腐蚀多晶羰基铁纤维吸波涂料已在 F/A-48E/F 和 A/F-117X 飞机上使用.

3.1.3 导电高聚物稀薄涂料

导电高聚物稀薄涂料是近几年才发展起来的,由于其结构多样化、密度低和独特的物理化学特性而引起科学界的广泛重视.将导电高聚物与无机磁损耗物质或超微粒子复合,可望发展成为一种新型的轻质宽频带微小吸收材料.目前,美国 Hunxtvills 公司研制出一种苯胺与酞酸盐晶体的混合物,特别适合对老飞机的隐身改装.此外,这种吸

波涂层透明,特别适用于座舱盖、导弹透明窗^[3]及夜视红外装置电磁窗^[2]的隐身,以减少雷达回波。

3.2 智能型隐身材料

智能吸波材料是20世纪80年代发展起来并备受重视的新型高技术材料,具有感知功能、信息处理功能、自我指令并对信号作出最佳响应的功能,能感知和分析从不同方位到达武器表面的各种主动式探测信号,瞬时调节该表面的电磁波与光学特性,以获得隐身效果。

美国制定的隐身材料研究目标中提出,2005年研制出可单独控制的辐射率/反射率涂层,2010年研制出能自动对背景和威胁作出反应的自适应涂层体系。世界其它军事强国对此也在积极运作中。美国奥本大学和空军怀特实验室首先提出了直升机旋翼采用智能隐身材料的设计方案,其隐身能力可提高20倍^[6]。

3.2.1 智能蒙皮

美国空军最近提出将不同导电率的多层薄膜连结在一起,以获得在功能上与分层介质吸波涂层类似的蒙皮结构,并将各种机载电子装置、传感器等嵌入蒙皮内以取代传统的天线,从而构成智能蒙皮。宾夕法尼亚大学等正在研究智能蒙皮天线技术,西屋公司也正从事智能飞机蒙皮的研究^[1]。

美国研究了一种主动雷达隐身装置,它在塑料涂层中集成了微波探测器、相变换放大器和微波发射器。探测器探测到入射波、反射波和相消电磁波的合成波,然后经相变换放大器转换探测器探测到的合成波,再通过发射器发射出去,理论上该武器平台的RCS近似为 $0^{[7]}$ 。

3.2.2 智能声隐身

T. R. Howarth等人将压电陶瓷复合物涂层作为表面声阻抗控制消声元件,与有源驱动器(扬声器等)相结合,形成组合式主、被动阻抗控制消声执行器,用于水下噪声的消声。E. R. Green对PVDF薄膜、压电泡沫、含铁泡沫、压电陶瓷等多种智能泡沫材料的厚度,以及有源驱动器的安装位置与消声量的关系等进行了研究,其中一组实验的声压衰减比达40dB。Ramanathan等人将直接控制的电可控聚合物复合膜智能材料执行器(EAPA)用于有源消声中^[8]。

采用智能结构可以进行主动结构声控,美国已进行这方面的研究。如采用主动声控涂层进行声信号抑制,此外还用智能材料制造抑制反射声信号向外传播的导罩,从而提高装备的声隐身性。

4 水雷隐身技术发展构想

此外,提出探索或研究的隐身技术还有很多。目前,隐身技术正向着综合运用、权衡隐身性能和其他性能、扩展频率范围和应用范围、降低成本等方向发展。这里提出几

个构想。

构想1:在充分研究布雷环境特性的基础上,研制开发发射特性与环境特性相同或相近的材料,用于水雷涂层,从而有效防止敌探测系统根据反射波的局部点差异探雷。

构想2:充分利用仿生工程的研究成果,自然界的很多生物,利用保护色或形体伪装,利用自身的一些特性迷惑敌人,保护自己。例如,海底有一种鳗鱼,休息时,能将身体下部埋入泥沙,背部变形为岩石或珊瑚的形状,即使摄像头贴近也很难辨认。仿生工程若能有效应用于水雷隐身,将大大提高水雷的生存能力。

构想3:将主动诱骗技术应用于水雷武器。利用机身材料作为主动声呐接收装置,雷体内设置信号分析设备,自动设置信号发生器的频率,向声呐接收器发射延迟欺骗信号,以达到迷惑目的。

构想4:开发新复合材料,在智能材料中融入纳米技术等新材料技术。这样,材料有可能同时具有纳米材料的频带宽、兼容性好、质量小和厚度薄等特点,而且还可以具有智能隐身材料的感知功能、信息处理功能、自我指令并对信号作出最佳响应的功能。

构想5:利用融合外形技术,主要包括平面和空间的三维融合,如弹翼平面融合和翼身的三维融合。通过对弹身截面形状进行合理设计,使其侧向的镜面散射变为劈形边缘绕身,从而可以大大降低火箭动力水雷或鱼水雷在运行中的侧向RCS。

参考文献:

- [1] 阎福旺,凌青.现代声纳技术[M].北京:海洋出版社,1998.
- [2] 彭艳玲.飞机隐身技术及隐身材料[J].航空学报,1999(3):287-288.
- [3] Andrew James, peter W M. 3D Simulation of a Sensorimotor Stealth Strategy for Camouflaging Motion[J]. ICONIP,2002(4):1805-1810.
- [4] 朱炳贤.国外几型雷[J].水雷战与舰船防护,2005(2):4-6.
- [5] 王智慧,黄冬珍.纳米粒子复合微米粉体雷达波隐身涂层研究[J].现代防御技术,2006(34):56-60.
- [6] Neal Cain R, Fredericksburg. Active radar stealth device [P]. America:5036323,1991.
- [7] 钟华,李自力.隐身技术—军事高科技的“王牌”[M].北京:国防工业出版社,1994.
- [8] Lin F, Shiao L C. Study on a New Type of Wide Frequency Absorbing Coating[R]. AD-A294173/XAD, u9522,1995.