

doi: 10.7690/bgzdh.2024.03.001

反装甲导弹导引头抗干扰能力与关键技术发展

李 召, 徐文旭, 王 磊

(中国人民解放军 63961 部队, 北京 100012)

摘要: 针对反装甲导弹面临的复杂战场环境、多样化作战目标和复杂干扰环境, 分析其抗干扰能力和关键技术需求。分析反装甲导弹导引头面临的干扰威胁、抗干扰特点和不足, 以科学高效提升反装甲导弹导引头抗干扰能力为目标, 给出相关措施与建议。结果表明, 该分析可为提升反装甲导引头抗干扰能力提供参考。

关键词: 反装甲导弹; 导引头; 抗干扰

中图分类号: TJ765.3⁺31 **文献标志码:** A

Anti-jamming Capability and Key Technology Development of Anti-armor Missile Seeker

Li Zhao, Xu Wenxu, Wang Lei

(No. 63961 Unit of PLA, Beijing 100012, China)

Abstract: In view of the complex battlefield environment, diversified combat targets and complex interference environment, the anti-interference capability and key technical requirements of anti-armor missile are analyzed. This paper analyzes the interference threat, characteristics and deficiency of anti-interference of anti-armor missile seeker, and gives some relevant measures and suggestions to improve anti-interference ability of anti-armor missile seeker scientifically and efficiently. The results show that the analysis can provide reference for improving anti-jamming ability of anti-armor seeker.

Keywords: anti-armor missile; seeker; anti-jamming

0 引言

反装甲导弹主要包括便携式反装甲导弹、车载多用途导弹、武装直升机/无人载空地导弹、炮射导弹等, 以地面、低空、近岸水面坚固的静止或活动点目标为主要打击对象, 典型目标包括坦克、步兵战车、自行火炮、碉堡、防御工事、低空武装直升机、小型水面舰艇等。反装甲导弹具有命中精度高、威力大、攻击方式多样、隐蔽性好、可全天候使用、能直接命中目标要害部位等优势, 是陆战场不可或缺的精确打击装备, 在历次地面战争和局部冲突中扮演了重要角色。在未来信息化战争中, 面对陆战场大量先进坦克装甲车辆、直升机和其他高价值点目标, 反装甲导弹将发挥更大作用。

21 世纪之前, 反装甲导弹制导方式以电视测角、红外测角、激光驾束等“人在回路”的半自动指令制导为主, 弹上无导引头; 进入 21 世纪以来, 随着对士兵及平台战场生存能力的要求不断提高, 具备“发射后不管”能力的自寻制导技术逐步成为发展重点, 各军事强国开始广泛研制和列装具有自寻能力的反装甲导弹, 导引头类型主要包括主动毫

米波雷达导引头、光学图像(红外、电视)寻的导引头和复合导引头(激光半主动+红外图像、电视+红外图像、主动毫米波雷达+红外图像、激光半主动+红外图像+主动毫米波雷达)等, 该类导弹典型工作流程包括探测、识别、锁定、跟踪(寻的)和摧毁 5 个环节, 其中核心的“识别、锁定、跟踪”3 个环节均由导引头完成, 导引头抗干扰能力的强弱直接决定了反装甲导弹的最终作战效能^[1]。

近年来, 为消除或减弱反装甲导弹的威胁, 烟幕弹、定向干扰机、伪装、激光致盲等人工干扰技术迅速发展, 同时现代战争作战样式转变导致作战地域向城市、山地、丛林等复杂战场环境转变, 导引头作战环境急剧恶化, 暴露出抗干扰性能差、对复杂环境适应能力弱等突出问题, 严重影响和制约了反装甲导弹作战效能的发挥, 笔者以提升反装甲导弹导引头(以下简称“反装甲导引头”)抗干扰能力为研究目标, 重点从提升复杂战场的适应能力和目标自主识别能力 2 方面进行总结, 分析反装甲导引头抗干扰能力及关键技术需求, 并给出相关措施与建议。

收稿日期: 2023-11-20; 修回日期: 2023-12-18

第一作者: 李 召(1980—), 男, 河南人, 博士。

1 反装甲导引头发展现状及发展趋势

1.1 发展现状

1) 毫米波主动雷达导引头。

毫米波主动寻的是一种全天候、发射后不管的自主制导方式,可以工作在发射前锁定及发射后锁定 2 种模式,在单模制导体制中智能化程度最高^[2]。美国“长弓海尔法”反装甲导弹装备毫米波主动寻的导引头,具有全天候作战能力和发射后不管能力,能够在恶劣天气下打击目标,可直升机载、固定翼机载、地面车载、水面舰艇发射,是美军及其盟军装备最广泛的反装甲导弹,其导引头工作在 Ka 波段,采用多普勒波束锐化(doppler beam sharpening, DBS)进行目标 2 维成像识别,采用 1 维距离像进行目标跟踪, DBS 属于初级的合成孔径(synthetic aperture radar, SAR)技术,需要转弯弹道进行支撑,以牺牲导弹射程为代价。英国“硫磺石”反装甲导弹移植了美国“长弓海尔法”反装甲导弹的技术,装备毫米波主动寻的导引头,导引头工作在 W 波段,采用前视极化 2 维成像技术进行目标识别,扫描方式为“推扫”,不需要特殊弹道设计,比美国“长弓海尔法”导引头更加先进。

2) 光学图像导引头。

在反装甲导弹领域,使用最广泛的光学图像导引头为红外图像寻的导引头,利用探测目标和背景间温差引起的热辐射分布情况来实现对目标的跟踪,具有抗干扰能力强、目标识别精确度高、可靠性好等优势,能够在各种复杂战术环境下自主搜索、捕获、识别和跟踪目标,实现了对目标的全向攻击。其典型代表产品为美国“标枪”导弹、以色列“长钉”LR/ER 导弹,配备凝视焦平面红外导引头,具备“发射前锁定、发射后自动寻的”能力^[3]。

3) 多模复合导引头。

任何一种模式导引头都有其缺陷和使用局限性,多模复合导引头是把 2 种或多种模式结合起来,发挥各自的优势,弥补各自的不足,以适应战场环境和目标特性的不断变化,提高对目标的捕获、跟踪和识别能力。多模复合导引头在反装甲导弹领域主要包括电视+红外、红外+毫米波、激光+毫米波、激光+红外、激光+红外+毫米波等复合导引头^[4],典型代表产品为美国 JAGM 导弹、英国“双模硫磺石”导弹、以色列“长钉”NLOS 导弹、法国 MMP 反装甲导弹等。美国 JAGM 导弹首先是在

海尔法 AGM-114R 型的基础上增加低频毫米波雷达,实现了“激光半主动+毫米波雷达”双模导引头,具备全天候作战能力;随后在双模复合导引头基础上增加被动红外成像导引头,形成“激光半主动+红外成像+毫米波雷达”3 模导引头,3 种模式既可以同时工作,也可以自由切换,进一步提高其对复杂战场环境条件的适应能力。英国“双模硫磺石”导弹是在“硫磺石”导弹单模导引头的基础上直接加装激光半主动系统升级而来,采用准光理论与技术(毫米波与激光共用光路)进行一体化设计,可以选择任一模式或同时使用 2 种模式,可应用于海、陆、空 3 种平台,是目前最为成熟的多模复合导引头,也是多模复合导引头研发的典范。法国 MMP 导弹采用“电视成像+非制冷红外成像”双模导引头,具有“发射后不管”和“人在回路”的作战模式,导弹配有光纤数据链,抗干扰能力强,采用“人在回路”模式时,在命中目标前,可通过数据链实时修正弹道或改变打击目标;导引头 2 个传感器安装在整流罩内一个可反转的轴上,操作员在发射前选择传感器模式,观测视场宽,有利于保持目标的稳定跟踪,特别是快速移动的目标。

1.2 发展趋势

目前,反装甲导引头领域发展的 2 大焦点是目标自主识别和抗干扰,两者是紧密耦合、相辅相成,目标自主识别(特别是复杂地面作战环境下的目标自主识别)可显著提升反装甲导弹抗自然背景、战场环境、假目标等干扰的能力,而较好的抗干扰能力是提升导引头目标识别率及导弹命中率的前提。单孔径条件下的高维高分辨实时成像技术是提高目标自主识别率与抗干扰能力的重要手段之一,目标分辨维度每提升 1 维,目标识别率可提升 30%左右,对干扰的识别率同样提升 30%左右,将显著提升抗干扰能力。目标自主识别、智能识别的技术基础均是“机器视觉+神经网络分析”,成像是所有智能化技术的基本前提;因此,未来反装甲导引头的发展趋势是如何获取高分辨率、高维度、高颗粒度的目标/干扰/背景图像^[5]。

1) 毫米波雷达前视高维高分辨率实时成像导引头。

对于毫米波雷达导引头来讲,无法像光学传感器那样进行实孔径直接成像,必须依赖于各种专有的成像技术,各种雷达成像算法是其核心技术。随

着前视3维合成孔径、逆散射计算成像技术的发展,毫米波导引头也将具备前视条件下的3维成像能力,在3 km距离上实现0.1~0.5 m的分辨率,可以在满足全天候条件下达到接近光学分辨率的水平。毫米波雷达前视高维高分辨率实时成像导引头可在现有主动毫米波导引头硬件环境下实现,能够有效对抗目前存在各种雷达干扰手段。

2) 被动光学重构实时成像导引头。

目前,光学成像导引头获取的均是基于几何光学、缺少目标深度信息的2维平面图像,图像大小与成像距离相关,限制了其应用。实际上传统光学图像的亮与暗代表了光信号的幅度信息,景深则代表了光信号的相位信息,可采用图像被动测距原理等,综合应用航迹上不同空间位置上的图像,基于目标图像特征点(车轮、炮塔边界、炮管、车身边缘转折等)间距和轮廓扩张速率,依据惯性测量装置提供的弹体飞行速度、飞行距离和姿态变化,采用适当的滤波算法计算弹目距离,重构出目标区域的3维场景,获取场景中物体的物理尺寸,大幅提升目标识别概率与抗干扰能力。

3) 激光3维成像导引头。

激光3维成像导引头是集激光扫描系统、全球定位系统(global navigation satellite system, GNSS)和惯性导航系统(inertial navigation system, INS)于一体的激光雷达,可以精确定位激光束打在物体上的光斑,并迅速获得目标物上的全部目标点数据,将点云数据进行成像处理后,获得精确的3维立体图像,在探测距离和精度方面具有快速、高效和精准的巨大优势,还可像毫米波雷达导引头实现合成孔径非几何成像,增加去雨雾算法,实现全天候使用;因此,激光3维成像导引头有望成为一种集毫米波雷达的全天候、高精度与光学图像导引头高分辨率等优势为一体的新型自主寻的导引头。激光雷达波束极窄、难截获、成像维度高,可采用干扰抵消和图像消噪技术滤除干扰,具有很强的抗干扰能力。

4) 毫米波+光学融合3维图像导引头。

毫米波+光学融合3维图像导引是将具备3维成像能力的毫米波雷达导引头和具备2维成像能力的光学图像导引头进行融合,除可获得空间维度的优势外,还可获得频段的优势,能够使导引头具备全天候、发射后不管与瞄准点选择的自主作

战能力,同时也将大幅增加对手实施干扰的难度与成本。

5) 太赫兹成像导引头。

太赫兹波兼具毫米波与长波红外的特征,天线工作带宽宽、敏感目标微动特征显著、角分辨率高,能够提高导弹对目标要害部位识别与选择性摧毁能力。美国马萨诸塞大学、喷气推进实验室等研制出多部太赫兹成像雷达样机。

1.3 导引头抗干扰技术

目前,针对各种体制的导引头均存在针对性的干扰手段,总体上可分为“空-时-频可分干扰”和“空-时-频不可分干扰”2类,前者可以通过空间、时间与频率差别将目标与干扰区分开来,相应的对抗技术已有长足发展;后者则是未来导引头抗干扰研究的重点。针对“空-时-频不可分干扰”潜在威胁,国外正在开展的新型抗干扰技术包括:1) 针对普通平台释放的“空-时-频不可分干扰”,采用“猝发探测+低截获信号+微弱信号检测”一体化技术进行干扰对抗;2) 针对隐身平台释放的“空-时-频不可分干扰”,采用“猝发探测+低截获信号+微弱信号检测+波矢量逆向追踪”一体化技术进行干扰对抗。

随着定向能技术的快速发展,已作为专用的光电对抗设备应用于高价值目标和要地防御,可对激光、红外图像、可见光图像导引头进行炫目与致盲压制。国外已经研制出适配装甲车辆的小型化定向能干扰设备,未来必将成为反装甲导弹导引头的主要干扰威胁之一。基于目前的技术基础,反装甲导引头尚不能与定向能干扰对抗,必须有针对性的特殊措施,可考虑采用“等离子体吸收+带内衰减+微弱信号检测”一体化技术,提高导引头对定向能干扰的耐受性。

2 抗干扰能力需求

2.1 干扰威胁分析

反装甲导引头面临的干扰威胁可分为敌方人为干扰、自然背景干扰、己方自扰互扰和民用设备干扰4类。

1) 敌方人为干扰。

敌方人为干扰主要是烟幕干扰和假目标干扰,烟幕遮蔽波段和假目标特征具有很强针对性。

烟幕是战场人为干扰中最常见的一种,也是对

反装甲导引头影响最大的干扰之一。烟幕是一种人工烟雾气溶胶,以其悬浮微粒对电磁辐射的吸收和消光作用使可见光、红外辐射、激光等在原来传输方向上被衰减,透过率下降,甚至完全遮蔽目标、阻断光路,实现干扰作用。以红外辐射为例,当目标产生的红外辐射通过遮蔽烟幕的透过率小于 15% 时,被动红外成像系统将无法显示完整的目标图像。国外先进主战坦克和装甲战车几乎全部安装了激光告警和烟幕施放系统,在发现威胁或告警设备探测到威胁 3 s 内即可施放出具有宽光谱遮断能力的复合烟幕。

假目标是成像导引头的主要干扰威胁之一,假目标能够降低目标被探测和被击中的概率。现代战场上的假目标既“形”像又“神”像,除了外形与真目标几乎相同,且内部配置热源,与真目标具有类似的温度特性,形成与被保护目标相似的空间热图。在海湾战争、科索沃战争期间,伊拉克和南联盟军队均制作了大量坦克、飞机、导弹发射装置的假目标,并在假目标内安装了热源以及无线电应答器等,增加了对方侦察探测系统和导弹导引头目标处理、识别的工作量,在一定程度上弱化和降低了导弹精确打击效果。

2) 自然背景干扰。

自然背景干扰主要包括地理环境、气象环境和战场环境干扰,陆战场地形多样性、气象不确定性、地表物和战场环境繁杂性给反装甲导引头目标识别带来严峻挑战。

地理环境干扰包括地形地貌、地杂波、雪地、沙漠、丛林、城市、水网稻田和水面等,给反装甲导引头目标探测和识别带来极大难度。装甲车辆行进、隐蔽、作战时会借助树林、植被丛、建筑物进行掩护,休整时甚至会使用专业伪装,这类目标侦察难、打击更难。美军曾经在南联盟战争中,因地形复杂、植被茂密,对隐蔽在树林中的南联盟装甲车辆束手无策,受树叶遮挡影响,“海尔发”导弹根本无法发射。由混凝土、砖石、木头、柏油路构成的工事、桥梁、路面、跑道等目标,其漫反射系数均低于 0.3,大大降低激光制导系统的作用距离,导致激光导引头无法正常捕获目标。反装甲导弹的使用地域随机多变、不确定,而作为杂波环境的地形、草原、海面、森林、耕地、城市、湖泊和道路等的分布是随机的,难以准确的确定后向散射系数。

气象环境干扰包括能见度、温度、湿度、云层、降雨、降雪、降雾和太阳光等,对光学导引头性能有巨大影响,在美国与北约空袭南联盟行动中,由于南联盟属温带和热带气候,大部分地区多云、多雾、阴雨天气较多,恶劣的气象条件使精确制导武器实际效能大打折扣,空袭中美军大量使用的 AGM-86C、BGM-109C “战斧”巡航导弹采用了末端数字光学景象匹配技术,其理论命中精度可达 5 m,但俄通社-塔斯社实际统计这些巡航导弹的命中率只有 20%,同时英军投掷的激光精确制导炸弹也经常因云层、雨滴、大气悬浮物的影响而“随便乱窜”。美军根据海湾战争、阿富汗战争与南联盟战争中的实战结果统计得出结论,雨天可使红外及激光制导武器命中率下降 20%,风雪天下降 30%,雾天下降 40%,沙尘及人工烟幕下降 50%~80%。

此外,战场上的照明弹、燃烧物、炮口焰、炮弹爆炸物、战场烟尘、探照灯、偶然性“遮挡”等,以光、烟、尘的单一形式或混合形式影响反装甲导引头对目标的探测、识别和跟踪。

3) 己方自扰互扰。

当己方不同的光电设备在同一空间中同时工作时,会在周围产生一定强度的光电信号,这些光电信号通过一定途径(辐射、传导)把能量散射或耦合给导引头,对其产生一定的干扰,比如己方导弹发射时发动机产生的浓烟会影响待发导弹导引头对目标的识别和锁定,当导引头视场内出现其他导弹、弹药或飞行器时会相互影响等。

4) 民用设备干扰。

民用设备干扰是指作战地域内一些民用设施在工作时产生的光电环境,如探照灯、燃烧物和烟尘等。

2.2 抗干扰能力特点与不足

1) 特点。

对反装甲导弹的基本要求是要能在全天候、有遮挡、有伪装、有对抗条件下自主打击装甲类地面小目标和工事类弱目标,在现在及未来精确作战模式下,对其打击精度、目标类型、使用场景提出了更高的要求,要求能够应对遭遇战情况下的更多不定类型目标、攻击各类目标的易损部位、应对更复杂战场环境及更新颖更高强度的敌方干扰等,这些对反装甲导引头抗干扰能力提出了更为苛刻的要求,导致其抗干扰能力需求的复杂性、针对性和动

态性。

复杂性：反装甲导引头体制多样，作用机理各不相同，面临的人为干扰、地理环境、气象环境复杂多变，目标类型、形态、目标运动特性、辐射特性多样，导致抗干扰能力需求的复杂多样。

针对性：反装甲导引头抗干扰能力需求与导引头技术体制、所处的干扰环境、需要识别跟踪的目标特性等都有直接关系，同一体制导引头在不同使用环境或同一环境下的不同体制导引头的抗干扰能力需求均不相同。

动态性：反装甲导引头的战场使用环境异常复杂，各种干扰因素处于动态变化过程中，抗干扰能力需求也处于动态变化过程中，这就要求其具备抗干扰算法动态选择和不断升级能力。

2) 不足。

反装甲导弹装备数量大，作战使用广泛，低成本的设计要求导致开发方对抗干扰性能重视不足，抗干扰能力被视为“附加”性能，在电磁与自然环境的适应性、新型干扰技术应用、复杂地形目标自主识别、目标/背景/干扰特性数据采集与构建、实战化抗干扰测试等方面的研究与验证还存在较大不足，主要体现在：

毫米波自寻的导引头：对地面目标识别能力仍不够理想，未来作战对探测与导引装置的电磁环境和自然环境适应性提出了更高要求，导引头需要在地面杂波更强、潜在干扰源数量更多的条件下工作，需要加强研究和应用新型抗干扰技术及其与制导软件高度融合技术^[2]。

激光半主动导引头：抗光电干扰能力和天气适应性较差，其抗干扰采用的信号处理手段不多，目前多通过策略而非技术进行应对，未来应考虑数字化程度最大化，以应用更多抗干扰技术措施。

红外成像导引头：自主识别、抗干扰、复杂背景微弱信号检测等技术应用不够，技术之间融合度不高，制导软件应进行改进升级^[3]。

多模复合导引头：多源信息融合技术、模式间抗干扰融合技术应用不多，抗干扰软件缺乏或过于分立，后续应加大研究与验证手段的投入力度^[4]。

2.3 抗干扰能力需求

1) 复杂地形目标自主识别能力。

目前，反装甲导引头仅实现了“发射前锁定、发射后自动跟踪”的“半人在回路”制导，仍然需要由人来实现目标识别与锁定，没有实现自主寻的。

“人在回路”的最大缺陷是在武器命中或锁定目标前，操作人员及武器平台均不能脱离，极大威胁人员及平台的战场生存，在反装甲导弹上实现“完全自主寻的”、真正“打了不管”是各军事强国不懈追求的目标。美国“长弓海尔法”导弹和英国“硫磺石”导弹采用毫米波雷达导引头实现了目标自主识别，其中“硫磺石”导弹导引头在利比亚的地形环境(背景较为简单)中对典型目标的自主识别概率可以达到95%以上。

2) “瞄准点”选择能力。

目前，主战坦克装甲防护能力愈来愈强，反装甲导弹很难从正面将其摧毁，普遍采用攻顶、侧面打击塔身结合处、弹药舱或发动机等较薄弱部位的攻击策略，而且对攻击着角也有要求，打击装甲车辆的关键点要求武器命中精度至少要优于0.2 m，瞄准点选择不好，对目标的毁伤效果会大打折扣；因此，导引头具备“瞄准点”选择能力是一项至关重要的能力。

3) 穿透性增强探测能力。

为了能够应对复杂地理环境、气象环境和战场环境干扰，能够在各种地形、地物、天候、伪装、遮蔽等干扰下准确识别和跟踪目标，要求反装甲导引头具备穿透性增强探测能力。

4) 对抗人为干扰能力。

为了能够应对装甲车辆激光告警和烟幕施放系统干扰，必须采取有针对性的特殊措施，提升导引头对抗人为干扰能力。

5) 目标实时加载与识别能力。

在现代战场中，反装甲导弹要随时应对可能出现无法提前预测的新目标，如突然出现的攻击直升机、车辆、人员、无人作战单位等，而传统模板或特征库匹配制导方式只能针对有限类目标(英国在利比亚战场上也只是用“硫磺石”导弹来打击特征库中包含的3类典型目标，对导弹特征库中没有的随机目标只能更换武器)；因此，未来反装甲导引头要有对目标的实时加载与识别能力。

3 抗干扰关键技术发展

3.1 干扰威胁环境构建技术

在反装甲导引头领域，尚未形成专业的抗干扰研究体系，仍然面临着抗干扰领域“复杂电磁环境到底是什么”“复杂电磁环境如何影响导引头”“如何获取导引头抗干扰能力底数”，即“环

境输入—影响效应—性能输出”的通用问题，而且当前反装甲导引头一般针对特定干扰样式、有限干扰组合开展设计与考核，动态性、全面性、对抗性严重不足，难以应对复杂多变的实战条件；因此，反装甲导引头领域需要尽快构建能逼真模拟实战条件的干扰威胁环境，加强导引头抗干扰性能动态博弈验证，不断提升抗干扰能力。

3.2 对抗地面典型干扰技术

针对反装甲导引头面临地面环境、人为干扰等复杂场景下干扰对抗能力较差的问题，需要开展导引头抗干扰技术指标体系分解与传递关系、抗干扰设计约束研究，开展遮蔽、烟幕、恶劣气象环境、复杂地形环境、角度欺骗、压制等干扰条件下导引头目标检测/识别/跟踪算法、资源调配与动态对抗技术研究，开展激光、光学图像、毫米波、多模复合等体制的导引头抗典型干扰技术、导引头单体智能抗干扰技术研究等，尽快突破反装甲导引头抗复杂地形环境干扰、抗遮蔽/烟幕/恶劣气象环境干扰、抗欺骗/压制干扰等硬件模块、软件算法、测试与评估等关键技术，支撑反装甲导引头抗干扰能力快速迭代升级，也可为现役导引头算法改进提供技术支撑^[6]。

3.3 激光 3 维成像导引头技术

为适应复杂陆战场多场景、全天候、完全自主寻的、确保摧毁的作战使用需求，反装甲导引头需要解决复杂背景下目标多维高分辨实时识别、极端条件下微弱目标探测、目标易损瞄准点精准选择、有效抗干扰等 4 大核心问题，激光 3 维成像导引头可以获得精确的 3 维立体图像，解决对地复杂背景下目标识别问题；因此，需要开展激光 3 维成像导引头技术研究，完成弹载小型化激光探测/发射与光学系统、新型激光 3 维图像信息处理技术、新型主动激光成像与超极限成像技术、激光 3 维成像多模融合制导技术、激光 3 维成像制导多层级干扰抵消技术研究并实现技术突破。

3.4 多模复合导引头技术

多模复合导引头可充分发挥各频段或各制导体制的特长，相互弥补，极大地提高导引头抗干扰能力，具有攻击距离远、制导精度高、目标自主识别能力强、全天候使用、适用多样化目标等优势，是反装甲导引头的必然发展趋势。目前，国外正在研制采用毫米波+激光半主动、毫米波+红外成像、毫

米波+激光半主动+红外成像等多模复合导引头的反装甲导弹，典型产品有英国“双模硫磺石”导弹采用毫米波+激光半主动双模复合导引头，美国 JAGM 导弹采用毫米波+激光半主动+红外成像 3 模复合导引头^[4]。

3.5 目标自主识别与跟踪技术

反装甲导弹的目标和背景复杂多变，目标在不同状态、运动、视角、涂覆和伪装情况下，图像特征或辐射特性差异较大，且随自然背景、天候、温度、湿度、能见度、光照等条件发生较大变化^[6]；对地目标实时识别过程中必须能同时剔除地形与地物的干扰，即使在非对抗条件下的对地目标实时识别也一直是世界性难题。从国内外近年的研究及人工智能技术发展来看，借助多层神经网络和机器学习等方法，在高维空间中对各类目标、杂波、干扰进行精细化建模，快速实现模型迭代升级与改进，提高对目标、干扰、杂波的识别概率。在技术手段上，实现“完全自主寻的”的导引头首先一定要选择自发自收的雷达体制，其次一定要采用高维成像进行目标识别，最后要有足够空间分辨率确保目标图像能有足够的像素点从而顺利提取目标较为精确的物理尺寸。美国“长弓海尔法”导弹采用曲射弹道(牺牲射程)为导引头 2 维成像提供条件，测量目标物理尺寸；英国“硫磺石”导弹导引头采用前视 2 维成像技术测量目标物理尺寸(空间分辨率 0.3 m)。

3.6 抗干扰能力快速迭代技术

目前，反装甲导引头均是随导弹武器系统研制定型，软硬件结构根据导弹总体需求定制化设计，与导弹及控制系统总体高度耦合，导引头采用软硬件紧耦合设计，存在型号种类繁多、通用化程度低，抗干扰性能提升需软硬件同步升级，周期长、速度慢，难以对抗快速持续升级的干扰设备。借鉴国外先进导引头系列化、模块化、通用化的发展思路，开展反装甲领域导引头的三解耦(导引头与导弹解耦、导引头软件与硬件解耦、算法与软件解耦)技术研究，支撑导引头抗干扰能力快速迭代，适应快节奏的电子对抗技术发展形势需要，实现导引头在导弹服役周期内保持系统架构基本不变，通过升级算法软件、调整硬件模块持续提升抗干扰性能。