

多模复合导引头的设计技术研究

吴辉，赵洪卫

(西南技术物理研究所 成都 610041)

摘要: 简述了多模式导引头的研究发展状况, 分析了多模式复合制导的技术特点和优势, 较为详细地介绍了三模式复合制导联合空地导弹的研究情况和进展, 提出了多模式复合导引头的发展规划建议。

关键词: 多模式复合导引头; 双模式复合导引头; 空地联合制导导弹

0 引言

随着现代军事科学技术的飞速发展, 多种攻防武器在战场的对抗日益激烈, 战场环境变得更为复杂: 如目标隐身、掠海进攻、低空或超低空高速突防、多方位饱和攻击等。单一模式的制导方式武器的使用受到一定的限制, 在很多情况下, 已经很难完成作战使命。要在复杂的作战背景和强干扰下, 准确地截获、跟踪、攻击目标, 导弹导引头制导模式的设计就必须满足更高的技术要求。纵观世界各国的精确制导武器的发展, 多模式复合导引头的设计技术, 已经成为世界范围内各国发展的主要方向之一。

1 多模复合导引头的优势与研究状况

单模式的制导技术主要存在以下缺点: a. 抗干扰能力弱, 可靠性差; b. 全天候、复杂背景下工作能力弱; c. 作战能力弱, 对其它协作配套武器系统的依赖性强; d. 目标识别能力弱, 定位时间长; e. 命中精度低。

多模复合制导是指同时采用多种频段进行制导的技术方式。它能够实现性能互补, 使制导武器能够自动适应目标和环境, 保持较高的命中率。

多模式复合制导时, 它是利用同一目标的不同频段的目标特性实现探测, 充分发挥每一种模式的独特优势, 解决单一制导模式所难以解决的跟踪识别难题。与单模式相比, 多模式复合制导具有以下优点^[1]。

(1) 突防能力和生存能力强

多模复合制导可提高制导武器系统使用的灵活性, 可根据作战需求, 设置导引头不同工作状态的自动切换, 可适应不同的作战要求。同时, 多模复合制导具有反隐身功能。由于目前还没有找到一种材料, 可以对从微波到光波均具有隐身功能, 所以对隐身技术, 多模复合制导能够大大提高导引头的生存能力。

(2) 抗干扰能力强

现代战争的战场, 电磁对抗非常激烈, 要求制导武器本身要有较好的隐蔽性, 系统应具备抗多种干扰技术的能力: 即在电磁干扰下, 制导系统也能正常完成对目标的搜索、捕获与跟踪。如毫米波/红外双模式复合导引头, 箔条干扰和诱饵虽然可干扰毫米波, 但它却对红外光波段不起作用。

(3) 全天候作战能力强

多模制导提高了制导武器对复杂战场环境的适应能力, 多个工作波段可相互补充, 全天候、全天时作战能力强。即使在夜间、雨天或雾天等时间作战, 多模式导弹也能够命中目标。

(4) 命中率高

多模制导可以提高制导武器的命中率。由于多模式导引头可以获取丰富的目标信息, 可根据不同的作战环境条件, 如在不同的距离、不同的天候等, 使用不同的作战模式, 这大大提高了制导武器的命中率。

多模复合制导技术的研究应用, 可以上溯到上世纪 60 年代美国开发的一款紫外/红外复合导引头。经过多年的研究发展, 现在许多国家已经研制出多种采用复合导引头的武器系统。其中的很多型号名称已经为我们耳熟能详, 下面对几种双模式制导武器做一简单的汇总, 如表 1 所示^[2,3]。

表 1 双模式制导武器

名称	类别	复合方式	国别
尾刺(Stinger Post)	地/空	红外/紫外	美
爱国者 PAG	地/空	雷达/半主动雷达	美
哈姆 Block	反辐射	被动雷达/红外	美
鱼叉改进型 AGM-84E	空/地	主动雷达/红外/GPS	美
HARM 改型 v	反辐射	被动雷达/主动毫米波	美
海麻雀 AIM-7R	空舰	主动雷达/红外	美
斯拉姆	反辐射	射频/红外	北约
小牛	反辐射	雷达/电视	美
SA-13	地/空	双色红外	俄罗斯
3M-80E	舰/舰	主动雷达/被动雷达	俄罗斯
RBS-90	地/空	激光/红外	瑞典
TACED	反坦克	毫米波/红外	法
ARAMIGER	空/地	主动雷达/红外	德
ZEPL	制导炮弹	毫米波/红外	德
EPHRAM	制导炮弹	毫米波/红外	德
RAM	舰/空	雷达/红外	美、德、丹联合
RARMTS	反辐射	被动雷达/红外	德、法联合
Griffn 鹰头狮	迫击炮弹	毫米波/红外	英、法、意、瑞联合
雄风	舰/舰	主动雷达/红外	台湾

另外,采用更多模式的制导技术也已有成熟的产品。例如法国的远程精确制导导弹 APTGD,在飞行中段采用惯性导航(INS)、雷达相关以及高度相关制导模式,在末段采用毫米波/红外双模制导;意大利和法国联合研制的奥马特 4 在飞行中段采用惯性导航、GPS 制导模式,在末段采用雷达/红外双模制导^[4]。

2 常见复合制导的组合模式

在多模复合导引头中,常见的组合方式主要有:主动毫米波+被动红外,主动毫米波+半主动激光,激光+红外,激光+被动红外+半主动激光等,下面就应用较多的三种复合模式给以简要分析论述^[1]。

(1) 双模(双色)光学复合导引头

目前许多近程或超近程防空导弹都采用双模(双色)光学导引头,如美国的“尾刺”、法国的“西北风”、俄罗斯的“SA-13”等。

“尾刺”导弹采用紫外/红外双模导引头和玫瑰花瓣扫描技术。它采用 CdS 紫外探测器,工作波长 $0.3\mu\text{m}\sim 0.55\mu\text{m}$,主要用于探测白天飞机头部铝合金蒙皮反射阳光中的紫外线,因为其光谱辐射亮度比晴空背景高出 1~4 个数量级,这样不仅容易将目标从天空背景中分辨出来,而且还能增加作用距离和提高全向攻击能力。另一个探测元件采用 InSb 红外探测器,工作波长为 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 波段,用来探测和跟踪目标的红外辐射。

(2) 微波/红外双模导引头

微波雷达导引头的突出优点是作用距离远,具有全天候作战能力;缺点是抗干扰能力弱,分辨率较低,制导精度不高,与光学导引头复合具有较好的效果。

微波/红外导引头比较典型的有:舰载近程反导导弹“拉姆”(RAM),近程防低空导弹“小榭树”AIM-72G 等。反辐射导弹一般都采用被动雷达寻的,通过加装红外制导模式,利用光学导引头的高分辨率,可以进行精确锁定打击。

(3) 毫米波/红外导引头

该复合模式是当前发展较快的复合方式,具有全天候作战能力较强、制导精度较高、抗电子干扰能力较强的特点。由于该双模式制导方式还具有更好的反隐身性能,是多模式复合制导发展的重点。

比较典型的代表有美国的“萨达姆”遥感反装甲炮弹。“萨达姆”遥感反装甲炮弹用 203mm 火炮发射,每枚母弹携带 3 枚子弹,每枚子弹上装有毫米波/红外双模导引头。毫米波天线位于子弹的前沿,工作频率为 35GHz 或 94GHz。红外成像传感器装在子弹腹部的一侧,它工作在 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 或 $8\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 波段。子弹捕获目标的范围为半径 75m 的区域,可以攻击目标的顶装甲。首先由毫米波雷达用来探测和识别目标,子弹发射。当子弹达到一定高度后,由红外传感器探测目标,子弹爆炸发射出小型金属弹丸准确地击中目标。

据腾讯网 2012 年 10 月 4 日报道,美国海军计划在 2013 年的第二季度开始生产激光/GPS 双模式制导炸弹,数量为 2300 枚,计划交付期为 12 个月。另据中国国防科技信息网最新消息,雷声公司将给 GPS 制导的“神剑”炮弹加装激光半主动制导的制导与导航部件。

(4) 三模式复合导引头

在背景复杂条件下采用三模式复合导引头,能取得更好的作战效果。常用的三模式中复合波段一般为光波段和雷达波段。

双色红外波段一般要考虑到大气的透射窗口,主要采用 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 这两个波段。雷达波段常用毫米波。目前,法国的 TACED 制导三模式制导炮弹已在批量生产,英、美的三模式复合制导导弹正在加紧研制。

据国防科技信息网消息,雷声公司网站 2011 年 8 月 17 日报道,该公司已经完成第五个小直径炸弹 II (SDB II) 导引头的设计,采用三模式复合制导,并在 F-22 飞机上进行了导弹空投试验。

3 三模式复合制导联合空地导弹的研究

纵观本世纪发生的阿富汗战争、伊拉克战争、利比亚战争,中近程轻型空地导弹与武装直升机的搭配已被公认为当仁不让的坦克克星,随着弹用毫米波雷达技术和红外成像技术的日臻成熟,中近程轻型空地导弹在与地面装甲集群的斗争中,可以取得不对称优势^[5]。

提到中近程轻型空地导弹技术,必然要关注近几年来美国正在开发的下一代中近程三模式复合制导的联合空地导弹(JAGM)。

2008 年 4 月,美海军携手陆军重启了研制经费达 6 900 万美元的通用型空地导弹,即联合通用导弹(JCM),用于装备旋转翼的直升机和固定翼作战飞机,并更名为联合空地导弹(Joint Air to Ground Missile—JAGM)。

JAGM 导弹的外形与现役的海尔法类似,主要是考虑到发射装置和接口的兼容性,每架战机最多可携带 12 枚。它采用可调式二级火箭推进装置和三模式复合导引头,包括半主动激光、被动红外成像以及主动毫米波成像系统,三个分系统的设计分别基于海尔法、长弓、标枪导弹^[6]。

其中,半主动激光寻的用于精确打击和降低连带损伤,被动红外成像用于提供被动式“发射后不管”的打击能力,主动毫米波用于攻击分散的多个目标,可不受天气条件等的限制。

其突出的优点在于高度灵活的发射前锁定、支持网络中心站行动的自主瞄准与协同打击、以及强大的生存能力。

JAGM 的研发目的是取代陆军、海军以及海军陆战队大量服役的 AGM-114 海尔法、AGM-65 幼畜以及 BGM-71 陶式等轻型空地导弹,也还有可能进入空军系统服役。在 2011 年,JAGM 的预算经费位列导弹类武器第 5 名,预计 2016 年在美国的装备量为 35 000 枚^[7]。

JAGM 的主要战技指标,如下表 2 所示。

自从 2008 年,位列美国前 5 名的军火商中有 3 家—洛马公司、雷声和波音公司,参与了技术演示验证阶段的竞争,备受美国政府和军方的重视。

洛马公司与雷声和波音公司设计样机的主要区别是,前者采用制冷红外成像,而后者是非制冷成像设

计。洛马公司坚持认为,虽然设计指标要求作用距离为 4Km,但是当作用距离大于 6Km 时,则更能保证发射平台的安全。

表 2 JAGM 的主要战技指标

质量 (kg)	射程 (km)	长度 (m)	弹径 (cm)	翼展 (cm)	速度
49	0.5~16(直升机) 2~28(固定翼飞机)	1.78	17.8	32.5	超音速

2010 年 11 月,洛马公司在新墨西哥的白沙导弹试验场,进行了一次空地联合导弹测试,击中了 4 英里外的一个移动目标。这次飞行试验,证实了三模式导引头的红外制冷成像系统,在远距离发射前的锁定能力。

洛马公司 JAGM 的火控系统采用该公司的地狱之火 M299 的发射平台。红外制冷探测器先在 3.7 英里之外,获得信息并锁定一个主要的固定战斗坦克。接着,制冷成像传感器系统引导导弹一直到击中目标为止。同样,毫米波传感器可以探测并跟踪一个次要目标,如一个正在运动的坦克。与 8 月在 9.9 英里处击中目标的半主动激光制导的测试相比,这些测试完成了洛马公司研制的三模导引头性能的全面展示。

2010 年 7 月,雷声和波音公司在一次火控试验中,成功地使用激光导引系统从 10 英里远处,击中了一个 8×8 英尺的靶板目标。试验使用的激光对目标的照射距离为 1.1Km,倾斜 20° 照射。

JAGM 服役的空中平台主要有美国的陆军 AH-64D 阿帕奇攻击直升机、MQ-1C 多功能无人机、OH-58D CASUP 武装侦察直升机、美国海军 MH-60R 海鹰武装直升机,以及 F/A-18E/F 超级大黄蜂战斗机。估计在 2016 年 JAGM 可以形成战斗力。

目前,该研究项目正在火箭固体发动机、多平台发射等技术难点方面开展大量的工作。作为美国重点研制的下一代中近程轻型空地导弹,JAGM 的装备量巨大,对作战效能有显著的提升。如果项目研究进展顺利,产品装备部队,必将对世界范围内的中近程轻型空地导弹的设计、空地作战模式,甚至世界武器装备格局产生深远的影响。

4 结论和建议

综合上述分析,结合我国的实际情况,建议主要进行以下发展方向的研究。

(1) 结合国家军备发展规划,推进多模式复合制导技术系列化发展。

以国家装备发展计划为根据,从战略高度推进多模式复合制导技术的研究发展。通过计算分析论证,选取最具有前景的多模式复合制导模式,作为技术发展的研究重点方向,逐步形成有自己特色的系列化产品。

(2) 跟踪结合世界新技术发展状况,对部分导弹的单模式引头进行技术升级改造,逐步通用化、模块化,形成适应不同作战要求的技术品种。

当前,已装备某些导弹的导引头技术已明显落后于时代的发展,对其进行技术升级改造,已经显得非常迫切。通过增加新模式、改进旧技术,逐步模块化、通用化,可以以较小的代价换取较高的经济效益。

(3) 重点发展双模式制导技术。

毫米波雷达具有全天候和良好的穿烟、雾能力,同时因其波束较窄而具有更高的目标分辨率和跟踪精度,适合于在较大的范围内搜索和捕获目标;并且其天线口径较小,可实现小型化。

红外成像具有较高空间分辨率、灵敏度,跟踪方式灵活,可实现高帧频,抗干扰能力强,更适合于在较小的范围内跟踪和精确定位。

在双模式复合制导技术当中,毫米波/红外双模式具有明显优势。

(4) 开展三模式导引头的研制。

毫米波/红外/激光三模式导引头具有非常明显的优势,特别是对取得制空权后的空地打击,如反坦克、反武装直升机战斗中,该模式可以发挥巨大的威力。

针对敌方价值相对较低的军事武器目标,使用成熟的激光器技术、雷达技术、非制冷红外成像,把降

低三模式导弹的成本价格, 作为一个努力的方向, 对节约研发成本具有重要的战略意义。

(5) 开展多模式共口径系统设计技术的研究。

特别是要开展研究对雷达波段、光学波段均具有较高透过率的整流罩材料的工艺加工技术, 使材料良好的机械强度、良好的抗冲击力, 高低温下稳定的物理化学性能。

多模式的集能接收系统设计, 要满足小型化、集成化等工程设计技术要求, 保证在不同的视场角下, 实现稳定的跟踪等。对于多模式共轴接收系统轴与弹轴的一致性、目标位置的准确解算、精度锁定等问题, 需要从总体设计、宽频谱段、稳定平台、伺服控制等诸多方面, 进行最优化设计研究。

(6) 开展多模式接收数据融合技术的研究。

要研究多模式复合制导多个通道信息数据的高速采集、储存、数模转换处理, 不同模式“交班”转换的控制策略等, 需要从数据融合的结构设计、硬件设计、软件设计、数据融合算法、自动控制等, 综合考虑数据信息融合方面的问题。

当然, 我们还要关注在上述常见频谱波段之外, 新的探测技术的发展, 以及新的多模式复合技术的研究应用。

参考文献

- [1] 杨祖快, 吴立杰.多模寻的复合制导方案与技术研究[J].现代防御技术, 2003, 31 (5): 38-42.
- [2] 杨祖快.多模复合制导应用技术研究[J].导弹与航天运载技术, 2003, 263 (3): 13-18.
- [3] 孙 静, 于艳梅, 孙昌民.多模复合制导技术与装备发展分析.制导与引信[J]. 2005, 26 (3): 5-10.
- [4] 方有培, 赵 霜, 汪立萍.复合制导导弹的现状及其发展[C].2004年全国光电技术学术交流会论文集(上), 2007, 在线出版: 23-26.
- [5] 蒋 琪.JAGM-下一代中近程轻型空地导弹.飞航导弹[J]. 2012, (1): 44-48.
- [6] 林德福, 祁载康, 王志伟.多模复合导引头总体技术研究.战术导弹技术[J]. 2005, (4): 32-35.
- [7] http://www.upi.com/Business_News/Security-Industry,2010.11.24.