文章编号:1001-5078(2024)03-0336-04

• 综述与评论 •

# 雷神基于 AIM-9X 的 DIRCM 系统研究

武 伟<sup>1</sup>,李建征<sup>2</sup>,姜成舟<sup>1</sup>,潘国庆<sup>1</sup> (1. 中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471099; 2. 中国人民解放军 93160 部队,北京 100080)

摘 要:以便携式防空系统(MANPADS)为典型代表的红外精确制导武器给军用和民用飞机带来巨大的威胁。目前最行之有效应对热寻的制导武器的方法便是以红外波段激光作为光源的定向红外干扰系统。本文主要介绍了美国雷神公司如何基于现有的 AIM-9X 导引头技术开发新一代定向红外对抗系统,该系统具备高效、可靠、紧凑、重量轻且价格低廉等诸多优点,并且通过功能扩展可以轻松应对从紫外到中红外等多种波段导弹威胁。

关键词:AIM-9X;定向红外对抗;激光指示系统

中图分类号:TJ765;TN97 文献标识码:A **DOI**:10.3969/j.issn.1001-5078.2024.03.002

# Raytheon DIRCM system research based on AIM-9X

WU Wei<sup>1</sup>, LI Jian-zheng<sup>2</sup>, JIANG Cheng-zhou<sup>1</sup>, PAN Guo-qing<sup>1</sup> (1. China Airborne Missile Academy, Luoyang 471099, China; 2. Unit 93160 of People's Liberation Army, Beijing 100080, China)

Abstract: Infrared precision-guided weapons, typified by man-portable air defence systems (MANPADS), pose a significant threat to military and civilian aircraft. At present, the most effective countermeasure against heat-seeking guided weapon is the directional infrared jamming system, which uses infrared-band lasers as the light source. This paper mainly introduces how Raytheon Company develops a new generation of directed infrared countermeasure system based on the existing AIM-9X seeker technology. The system has many advantages, such as high efficiency, reliability, compactness, light weight and low price, and through the expansion of the functions, it can easily cope with the threat of missiles in various wavelength bands from ultraviolet to mid-infrared.

Keywords : AIM-9X; directed infrared countermeasure; laser indicating system

#### 1 引言

便携式防空系统(MANPADS)以其低廉的价格、高机动性、隐蔽性以及优异的作战性能被世界各国军队甚至恐怖分子大量装备,对军用直升机、运输机特别是民航飞机安全构成了巨大的威胁。俄乌战争中不断爆出俄罗斯飞机被美国"毒刺"防空导弹击落,更加印证了便携式防空导弹对飞机的威胁。目前全球已经交付的 MANPADS 系统已远超百万个,且其中很大一部分数量是不合法的。民航飞机

遭受打击导致人员丧生的事件仍时不时发生。此类导弹往往采取红外(IR)导引头来跟踪、锁定飞机,射程一般在 1~8 km,飞行高度可以到达大约4000 m。根据以往对抗手段发展历程来看,应对威胁的手段大致经历了从逃逸到耀斑再到定向红外对抗(DIRCM)的过程<sup>[1-6]</sup>。

随着红外凝视成像技术大量普及应用,红外制导武器与机载拦截系统都向着全波段、全方位对抗发展,以往单一波段对抗手段已无法满足未来作战

需求。一套行之有效的 DIRCM 系统必须具备以极低的虚警率完成检测和验证威胁,具备有效抵抗短距离射击和多次近距离射击能力,同时具备扩展能力从应对未来更加复杂的导弹威胁。

美国雷神公司作为全球最主要的战术武器制造商之一,至今已生产超过万枚作战性能优异的 AIM-9X 红外空空导弹,具有极高的可靠性和可生产性。AIM-9X 采用的俯仰滚转两轴半捷联稳定平台作为其核心技术,更是代表了当今红外导引技术的最高水平。雷神针对以便携式防空武器为代表的相关武器特点,依托其先进的红外导引技术以及强大的资源整合能力通过光纤将激光器与 AIM-9X 导引头进行集成化设计,迅速开发出新一代定向红外对抗(DIRCM)系统。该 DIRCM 系统具备以下几个优点:(1)为载机提供可靠保护,能够有效应对多次和短距离攻击;(2)将性能优异成熟可靠的 AIM-9X 导引头升级为激光指示系统;(3)拥有针对不同波段威胁的激光选择能力;(4)低成本以及快速批生产能力。

## 2 系统组成及工作原理

雷神公司开发的 DIRCM 包含激光指示系统、控制/信息处理单元、多波段固体激光器、导弹告警器几部分构成。该系统将雷神成熟的 AIM-9X 导引技术与先进的导弹防御算法相结合,为各型军用飞机以及商用飞机提供经济、高效、可靠地保护。该 DIRCM 系统采用模块化设计针对未来新出现的各种威胁提供了升级空间,图 1 所示为雷神 DIRCM 系统组成图。



图 1 雷神定向红外干扰系统组成 Fig. 1 Composition of Raytheon directed infrared

countermeasure system

雷神的 DIRCM 系统将久经实战考验的 AIM-9X 导引头适应性改进升级为激光指示系统,同时沿用

其原有控制/信息处理单元,具有体积小、功耗低、信息处理速度快等优点,能够快速、准确和有效的对目标持续跟踪和识别。先进的多波段固体激光器,能够提供从紫外到中红外的多种激光光束,通过光纤传输能量,最大程度简化结构,降低能量损失,实现了一种经济有效的对抗手段。该 DIRCM 系统辅以先进的导弹预警系统,能够以极低的虚警率提供精确有效的远程导弹信息。

雷神 DIRCM 系统工作过程大致分为导弹告警、目标跟踪与识别、激光干扰、效果评估 4 个阶段<sup>[7]</sup>,图 2 为定向红外对抗动画示意图,具体工作流程如下:

- 1)导弹告警系统在大视场范围内不间断搜索 潜在威胁,对图像信息进行识别、判断潜在威胁的运 动轨迹,同时将威胁方位信息传递给激光指示系统;
- 2)基于 AIM-9X 导引头的激光指示系统根据提供的方位信息迅速指向潜在威胁,利用其先进的跟踪算法在小视场范围内对潜在威胁稳定跟踪,结合其先进的目标识别算法对来袭导弹和背景杂波之间的光谱和场景动态差异来验证是否对载机构成威胁;
- 3)来袭导弹威胁一旦被证实,控制系统立刻命令激光器使用默认干扰代码发射激光束,对来袭导弹进行持续照射毁伤:
- 4) 控制系统根据目标运动轨迹评估激光干扰 效果, 若判断来袭导弹不再对载机构成威胁, 立刻停 止发射激光光束;
- 5) 当该 DIRCM 系统检测并验证了多个导弹威胁,控制系统将优先处理最高等级的威胁,然后高速转向下一个威胁,与此同时导弹告警系统对未处理威胁进行持续实时跟踪。

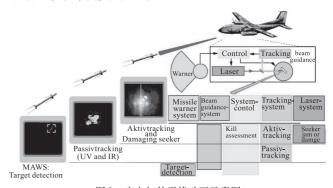


图 2 定向红外干扰动画示意图 FIG. 2 Schematic diagram of directed infrared

countermeasure system

## 3 激光指示系统

雷神利用成熟的 AIM-9X 导引头适应性改进升级为激光指示系统,并利用激光能量照射来袭导弹,使其在几秒内攻击失效,其激光指示系统结构示意图如图 3 所示。激光传输镜头相对于处于中心的红外镜头横向偏移一定距离并与其一同固定在俯仰框架上。窗口材料采用蓝宝石,相较于其他常规整流罩材料除了提供足够结构强度和硬度保护内部结构同时作为红外和激光传输的一部分,透射波段可以涵盖可见光到中红外波段。

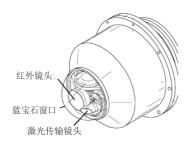


图 3 激光指示系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram of laser pointer

#### 3.1 AIM-9X 导引头

AIM-9X 导引头采用俯仰滚转两轴稳定平台,俯仰方向可以达到 ± 90°,滚转方向可以实现 360° 旋转,能够有效覆盖整个半球空间,结构如图 4 所示。相较于传统结构,结构简化的同时重量和体积都明显减小<sup>[8]</sup>。



图 4 AIM-9X 位标器结构图 Fig. 4AIM-9X position marker structure

AIM-9X 导引头采用中波红外凝视成像光学系统,工作波段覆盖3~5μm,该波段能够有效探测目标尾焰和表面红外辐射,配合小范围瞬时视场光学系统,可以获得高分辨率的目标红外图像。其采用与图5类似的探测器固联弹体的中波红外凝视成像光学系统方案,内框光学组合件绕俯仰机械轴转动、外框光学组合件绕横滚机械轴转动,通过由反射镜与特殊棱镜构成的"光学滑环"将平台俯仰及滚转变化时的光线通过复杂的多次光路折转引入到固联

于弹体的探测器焦平面上,保证稳定平台俯仰和滚转时光学系统能够清晰成像,实现前半球空间扫描。探测器固联弹体实现了基于斯特林制冷机的电制冷,该制冷器不需要外部提供额外的制冷剂,大大降低了后勤保障负担,确保激光指示系统能够长时间稳定工作<sup>[9]</sup>。

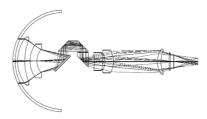


图 5 探测器固联弹体光学系统结构图

Fig. 5 Optical system structure of the detector solid missile body

## 3.2 激光传输系统

雷神创新性将激光传输镜头的光轴与 AIM-9X 红外成像系统光轴平行设置,激光镜头相较于红外镜头横向偏置于稳定平台上,这种布局结构在保证 AIM-9X 导引头正常跟踪识别的同时实现激光能量传输和目标毁伤,其布局示意图如图 6 所示。

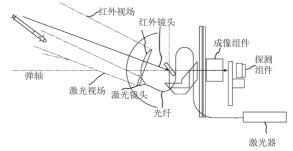


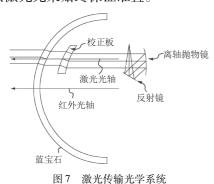
图 6 激光红外布局示意图

Fig. 6 Schematic diagram of laser infrared layout

激光指示系统通过 AIM-9X 导引头持续对来袭导弹进行跟踪和验证,并将目标始终置于视场中心位置。激光器根据指令发射特定波长激光,并通过光纤和激光镜头将其传输出去,保持持续对目标进行照射,直至目标偏移既定路线。凭借 AIM-9X 导引头优异的旋转速率和跟踪精度,具备应对多次和短距离导弹攻击的能力。

AIM-9X 导引头采用小型俯仰横滚稳定平台导致空间非常受限,雷神公司提出如图 7 所示激光传输光学系统,激光光轴与红外光轴平行,由于激光传输镜头横向偏置,蓝宝石整流罩作为激光输出系统一部分将引入色差和像散,必须通过校正板对蓝宝石引入像差进行校正,配合离轴抛物镜与反射镜校正剩余像差同时对光路进行折转使结构更加紧凑。

由于 AIM-9X 俯仰机械轴与横滚机械轴相交在蓝宝石的曲率中心位置, 所以随着导引头俯仰/滚转运动, 输出激光光束始终保证准直。



-

Fig. 7 Laser transmission optical system

采用连续的光纤路径能够降低光学接口相关的 损耗和损坏的可能性,最大程度降低能量损耗,有效 提高输出功率和可靠性。激光传输镜头偏置能够有 效避免激光散射杂光进入到红外成像系统中,保证 红外光学系统正常工作。通过使用多根光纤来输出 多种激光光束,实现了简单有效的低成本升级,其结 构示意图如图 8 所示。

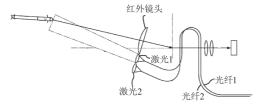


图 8 多束激光示意图

Fig. 8 Schematic diagram of multiple laser beams

#### 4 结 语

本文对雷神公司开发的定向红外干扰系统从组成结构和工作过程两个方面进行阐述,并重点对基于 AIM-9X 导引头升级的激光指示系统进行分析研究。雷神公司借助其先进的 AIM-9X 红外导引系统,短时间内迅速开发的 DIRCM 系统不仅满足小型化、通用化、轻量化的使用要求,同时该系统预留升级空间能够有效应对未来可能出现的新威胁。希望通过对该系统研究能够为我们后续开展相关工作提供借鉴意义。

# 参考文献:

- [1] Liu Jingmin, Yang Fan. Development of directed infrared coutermeasure system in america [J]. Electro-optic Technology Application, 2020, (6):8-14. (in Chinese) 刘敬民,杨帆. 美国定向红外对抗系统装备发展浅析 [J]. 光电技术应用, 2020, (6):8-14.
- [2] Fan Jinxiang, Li Liang, Li Wenjun. Development of direct infrared countermeasure system and technology[J]. Infrared and Laser Engineering, 2015, (3):789 794. (in Chinese) 范晋祥,李亮,李文军. 定向红外对抗系统中的激光器技术[J]. 红外与激光工程,2015,(3):789 794.
- [3] K G ilden. Northrop grumman pitches new HORENT laser defense system for aircraft [J]. Defense Daily, 2003, 219 (17):1
- [4] Chapman Stuart. The next generation in aircraft protection against advanced MANPADS[C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures XI,2014,9251:925105.
- [5] Delmonte T, Watson M A, O' Driscoll E J, et al. Demonstration of a distributed, directed infrared countermeasure source: the multifunctional laser[C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures V, 2008, 7115:71150K.
- [6] Grasso Robert J. Source technology as the foundation for modern infrared countermeasures [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures, 2010, 7836;783604.
- [7] Molocher B, Kaltenecker A, et al. DIRCM FLASH flight tests
  [C]//Emerging EO Phenomenology, 2005:14-1-14-8.
- [9] Jiang Chengzhou, Duan Meng, Pan Guoqing, et al. A miniaturized optical system design of seeker with detector fixation[J]. Infrared Technology, 2014, 36(9):743 747. (in Chinese) 姜成舟, 段萌,潘国庆等. 一种小型化探测器固联于弹体式导引头光学系统设计[J]红外技术, 2014, 36(9):743 747.