

定向红外对抗系统与技术的发展

范晋祥¹, 李亮¹, 李文军²

(1.上海机电工程研究所, 上海 201109; 2.天津津航技术物理研究所, 天津 300308)

摘要: 红外对抗系统与技术经历了近半个多世纪的发展, 先后出现了红外干扰机、红外诱饵及红外烟幕等几类红外干扰技术, 并形成了一个庞大的红外干扰器材家族。近年来, 随着红外成像寻的制导武器和技术的发展, 常规的红外干扰手段对新型红外制导武器的干扰效果越来越不尽人意, 人们逐渐提出了以高功率氙灯或激光作为红外能量源的定向红外对抗(DIRCM)概念。该系统具备优越的红外干扰性能, 如通过干扰、致眩和毁伤等干扰红外成像导引头、多次重复使用、干扰效率高等, 现已成为新一代红外对抗系统的优选方案。回顾了近年来国外新一代定向红外对抗系统和技术的研究发展历程, 重点阐述了基于激光的定向红外对抗系统的工作原理、干扰毁伤机理、在技术上的优势及其国外发展现状, 预测了定向红外对抗系统与技术的发展趋势。

关键词: 定向红外对抗; 红外制导; 红外对抗; 红外干扰

中图分类号: V271; TN216 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)03-0789-06

Development of direct infrared countermeasure system and technology

Fan Jinxiang¹, Li Liang¹, Li Wenjun²

(1.Shanghai Electro-Mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China;

2.Tianjin Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300308, China)

Abstract: Infrared countermeasure systems and technology have developed for half a century. Several types of infrared countermeasure systems, such as on-board infrared jamming system, infrared decoy and infrared smoke have appeared, and form a huge family of infrared countermeasure systems. In recent years, with the development of advanced infrared imaging guided weapons and technology, the jamming performance of traditional infrared countermeasure systems became more and more dissatisfactory. The technical concept of direct infrared countermeasure (DIRCM) was gradually proposed, which used high-power Xenon lamp or laser as sources of infrared energy. DIRCM has advantageous infrared countermeasure properties, such as the capability of jamming infrared imaging seeker by jamming, dazzling, in-band damaging and out-of-band damaging, etc, the capability of reuse and high jamming efficiency, which makes it suitable for new generation of infrared countermeasure system. The international research on DIRCM systems and technology in recent years was reviewed. And the operational principle, jamming damage mechanism, technology advantage of DIRCM system and the development status abroad were focused. And the research trends of DIRCM system and technology were forecasted in the next years.

收稿日期: 2014-07-11; 修订日期: 2014-08-12

基金项目: 国防预研项目

作者简介: 范晋祥(1966-), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为光电制导与光电对抗技术。Email: fanjx95419@126.com

Key words: directional infrared countermeasure (DIRCM); infrared guidance; infrared countermeasure; infrared jamming

0 引言

采用红外导引系统对防空导弹进行精确末制导是实现空中目标精确打击的重要手段。红外寻的制导防空导弹在 20 世纪 50 年代问世,从 20 世纪 60 年代起,红外制导防空导弹已实际应用于多次局部战争的防空作战中,使军用飞机面临着红外制导武器的严重威胁,据统计:从 1958~1992 年,仅有 20% 的飞机是由雷达制导的武器击落的,在第一次海湾战争中,75% 的美国飞机是由未被雷达告警接收机探测到的威胁毁伤的,在其后的伊拉克战争和阿富汗战争中,直升机的主要损失是由红外制导导弹造成的。

由于红外制导武器严重威胁到军用飞机的生存能力,刺激了旨在削弱红外制导防空导弹作战效果的各种红外对抗手段的发展。红外对抗手段的不断进步和发展,又促使红外制导防空导弹不断采用新

技术和新体制,以提高其有效对付各种红外对抗手段的能力。图 1 概括了便携式防空导弹导引头和对抗措施的发展历程,可见防空导弹红外制导技术和机载红外对抗技术始终处于不断博弈抗衡、此长彼消的胶着状态^[1-2]。

由图 1 可见,机载红外干扰手段主要包括红外诱饵、宽带干扰机和近年来发展的定向红外对抗系统,这几类干扰手段的主要差别在于其干扰源。

红外诱饵通常与用于感知威胁存在的导弹逼近告警传感器配合使用,在感知到威胁来临时,投放像曳光弹那样的红外诱饵弹以诱骗来袭防空导弹偏离飞机目标。诱饵弹对于简单地跟踪光学系统的视场中的最亮的红外源的第一代便携式防空导弹是一种非常有效的对抗措施,并通过不断的改进,进一步提高了干扰效果。但一架飞机可以装载的诱饵弹的数目有限,当要防御多个威胁,或者需要多个诱饵弹来防御导弹时,红外诱饵弹的干扰效果有限。

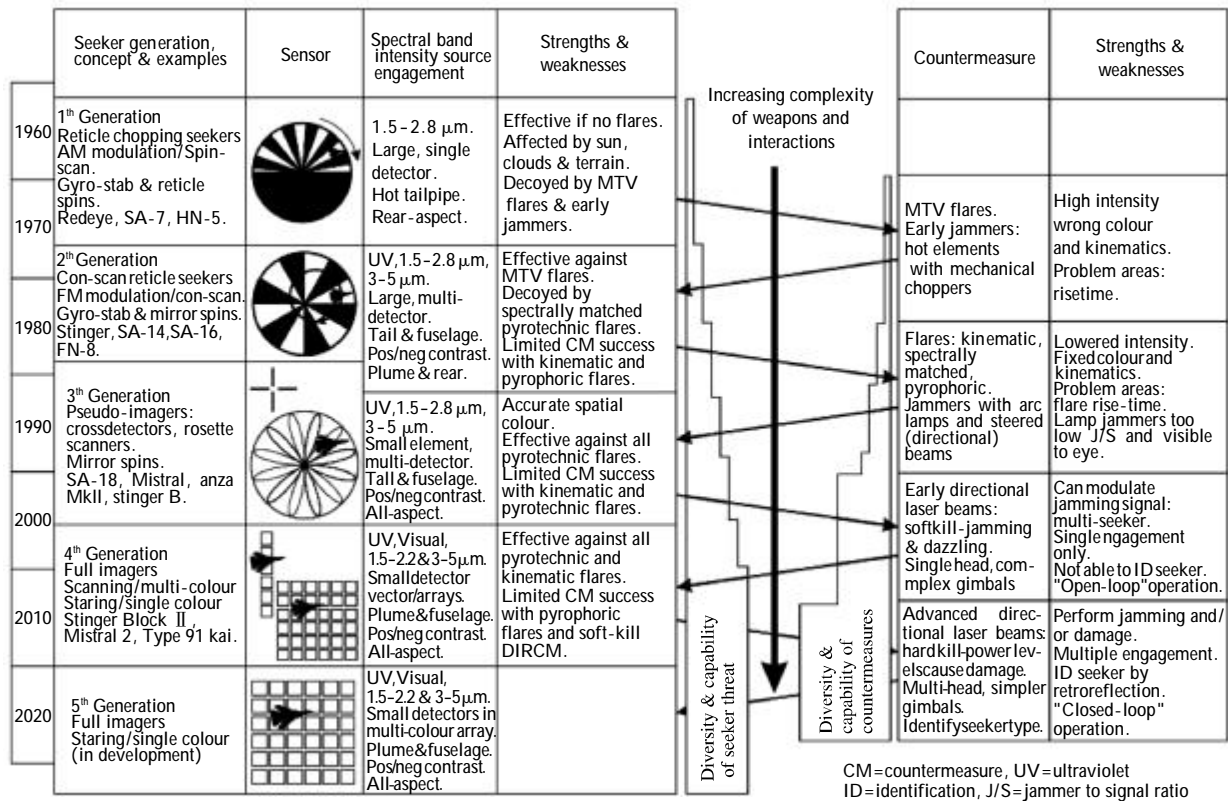


图 1 防空导弹红外导引头和干扰对抗的复杂性的不断提升历程^②

Fig.1 Overview of escalating complexity in the infrared seeking missile and countermeasures

较早版本的宽带干扰机通常采用电阻加热单元(热砖)或弧光灯产生较强的红外辐射,以干扰防空导弹的红外导引头的工作,实现对飞机的防护。为了干扰导弹的红外导引头,要对辐射光源进行调制,以削弱导弹威胁截获、锁定所要攻击的目标的能力。早期采用在主要的红外对抗波段产生辐射的加热电阻单元的热砖作为干扰源,采用机械斩光组件进行载波调制。后期发展了基于强辐射弧光灯的红外干扰机,这种干扰机采用一个由调制屏环绕的宽角度热辐射灯,将能量定向到导弹导引头方向,然而,这样的系统不能在所有的方向辐射出足够的能量,实现全向干扰,而且其辐射经常受到飞机机身的遮挡。

认识到常规的红外干扰手段对新型红外制导武器的干扰效果越来越不尽人意,逐渐提出了以高功率氙灯或激光作为红外能量源的定向红外对抗(DIRCM)概念,这是一种能跟踪红外制导防空导弹并把能量聚焦到其红外导引头上的红外对抗系统,它采用导弹逼近告警系统来探测来袭的威胁,由导弹逼近告警系统将威胁信息发送给处理器,计算导弹相对于携带定向红外对抗的载机的位置,然后使高功率干扰光束转向、瞄准红外制导导弹,并使导弹的导引头诱偏或眩惑。定向红外对抗能对飞机实现全方位防护,可以产生更高功率的辐射并聚焦到目标的红外导引头上,能有效地对抗具有抗诱饵软件,且可有效对付宽光束干扰机的第二代和第三代红外制导防空导弹。

由于以红外诱饵技术为代表的机载红外对抗技术的发展和运用,严重削弱了采用点源探测体制的红外制导防空导弹的作战效果,提高其抗干扰能力越来越受到关注,美国、欧洲和以色列、南非等国家纷纷加快了具有更高抗干扰能力的红外成像制导(包括双波段红外成像制导)防空导弹的发展步伐,并已研制成功并装备部队。近年来,国外开始进一步发展具有对抗新型红外成像制导导弹能力的新一代定向红外对抗系统。

1 激光定向红外对抗系统概述

1.1 系统组成与工作原理^[2]

激光定向红外对抗的基本概念就是利用激光束的相干性,将能量集中到很小的空间立体角内,并采用各种干扰程序或者说调制手段使敌方的红外导引

头工作紊乱而无法识别目标或锁定目标,从而造成导弹的脱靶,甚至可以利用高功率激光,实现对红外导引头的致眩、致盲甚至硬破坏。

激光定向红外对抗系统的简单框图如图 2 所示。导弹逼近告警系统探测、发现来袭导弹,并将导弹数据传到控制系统计算机,计算机利用数据库判断来袭导弹的导引头类型、位置、速度等,然后控制装在转塔上的导弹跟踪传感器使之瞄准目标,控制激光器选择合适的激光波长,并控制激光器发射干扰激光束照射导弹导引头,使导弹脱靶、致盲或烧毁导引头。然后,由导弹逼近传感器和导弹跟踪传感器探测并评估导弹的被损效果,并将评估结果传给控制计算机,控制计算机根据该结果判断是否进行下一轮对抗。

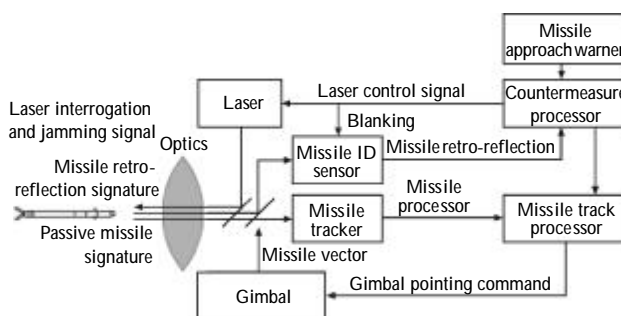


图 2 闭环定向红外对抗系统的简单框图

Fig.2 Block diagram of a closed loop DIRCM^[2]

1.2 定向红外对抗对导弹导引头的干扰、破坏机理

定向红外对抗系统可以实现对导引头的干扰、致眩和毁伤,取决于聚焦到导弹的红外导引头上的激光的功率^[2-3]。

(1) 对红外导引头的信号欺骗干扰机理

定向红外对抗系统能通过直接将以一定的方式调制的激光能量注入到威胁导弹的导引头中,与目标信号混合并产生虚假的目标信号,从而扰乱导引头制导算法,阻止导弹跟踪目标,从而挫败便携式红外制导防空导弹。这仅需要相对低的干扰/信号比(100~1 000 倍),需要的激光功率相对不高,达到 0.5~1 W 即可,但干扰信号必须与导引头的内部信号合理地接近,从而能实现显著的干扰效果。当将干扰系统设置为较高的功率时(如 10 W),可以实现对导引头的致眩干扰。

DIRCM 系统的激光调制是采用激光干扰码控

制的。可以采用与所要对抗的导弹红外导引头的调制信号特性相匹配的激光调制来照射导引头,采用匹配于自旋调制盘、圆锥扫描调制盘及玫瑰扫描导引头的调制信号^[5,9],从而有效干扰一个已知信号调制方式的红外导引头。但是,当所要干扰的导弹的导引头信号调制类型未知时,干扰码要能产生复合的调制模式,从而能在最短的交战时间内有效地对付各种威胁。

这种干扰方式对第一代和第二代的调制盘式红外导引头比较有效,对第三代导弹也有一定的干扰效果,评估结果表明:Miysis 定向红外对抗系统在采用北约干扰码时具有成功地干扰多种第一代、第二代和第三代便携式防空导弹威胁的能力^[4],但这种干扰方式对最新一代的红外成像导引头没有效果。

(2) 对红外导引头的致眩机理

通过注入超出所要对抗的导弹的导引头能承受的辐射强度的激光信号,可使导引头的传感器不能正常工作,影响导引头的控制和工作状态。这需要有较高的干扰/信号比,从而影响导引头传感器的自动增益控制,或使其探测器的一部分饱和(如图 3 所示),且由于光学系统上的散射导致产生匿影图像,加强干扰效果,导致成像导引头的形心跟踪器保持锁定在激光干扰信号上。功率压制式致眩干扰需要的激光功率为 2~10 W 量级。

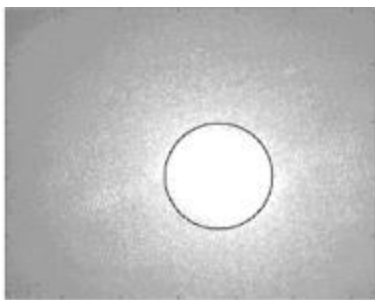


图 3 对 HgCdTe 焦平面阵列的致眩效果
Fig.3 Dazzle against HgCdTe FPA

这一干扰机理对第一代和第二代调制盘式红外导引头有效,对第三代十字叉或玫瑰扫描型导引头的干扰效果稍差。对最新一代的红外成像导引头可能有效,这取决于红外成像导引头的信息处理方法,采用寻的干扰源技术的红外成像导引头可以对抗致眩干扰。

(3) 波段内毁伤机理

波段内毁伤采用导引头的光学系统将激光聚焦在小的光斑上,毁伤在导引头焦平面上的探测器,必须有足够的光能流通过光学和大气传播到导引头焦平面上。波段内毁伤是局部性的,仅在激光光斑落到的敏感器件上。对扫描系统,仅有在激光光斑扫到探测器上时才具有毁伤效应,但如果焦平面上的器件被毁伤,干扰效应对于图像是“全局性”的,因为此时整个焦平面阵列基本全局饱和。

波段内毁伤机理对调制盘导引头的毁伤效果不太有效,但对脉冲位置型和成像型导引头更加有效。波段内毁伤所需的激光功率为 10~200 W 量级,要大于 0.1 J/pulse。

(4) 波段外毁伤

通过高功率激光的作用造成融合、气化或毁坏组件进行毁伤。波段外毁伤需要高的能量密度/聚焦度,因此,实现波段外毁伤需要持续几秒的加热,要求激光束散角小,而且要求激光能量持续照射目标同一部位。相对于导弹导引头的较厚的头罩而言,对导弹的波段外毁伤更易于在导弹侧面的薄的壳体部位实现。

波段外毁伤对任何类型的导弹都有效,与导引头的类型无关,不需要有关导引头的任何知识。波段外毁伤所需的激光功率为 1 kW 或更高。

根据以上介绍,DIRCM 的信号欺骗干扰方式和致眩式干扰方式对新一代红外成像导引头不太有效,针对新一代的红外成像导引头需要发展具有更高干扰能量的 DIRCM 系统。

2 DIRCM 系统与技术的发展现状与趋势

2.1 DIRCM 系统装备的发展现状^[1, 3-6]

国外对 DIRCM 系统与技术的研究自 20 世纪 90 年代开始,随着机载导弹逼近告警传感器的性能和对于光束实现高精度引导能力的不断进步,新的 DIRCM 系统已从概念成为现实的装备,开始发展的是采用高功率氙灯、等离子灯为干扰辐射源的非相干型 DIRCM 系统,自 21 世纪起,已逐步转向激光 DIRCM 系统。经过多年的发展,各类 DIRCM 装备的性能得到快速提升,并从早期的以高功率氙灯源为主,发展到目前的以激光源为主。如表 1 所示,目前国外主要的定向红外对抗系统均采用激光源激光,

激光定向红外对抗系统已应用在大型军用运输机、加油机、民用大型客机及军用直升机等多种机型。

表 1 国外主要的 DIRCM 系统

Tab.1 Major DIRCM systems

Designation	Platform	Manufacturer
AAQ-24(V)Nemesis DIRCM system	Fixed-wing aircraft helicopter	USA, Northrop Grumman, BAE System and Boeing
AAQ-24(V)large aircraft infrared countermeasures (LAIRCM)system	Military transport airborne early warning aircraft	USA, Northrop Grumman, BAE System and Boeing
Common infrared countermeasure(CIRCM) system	Small fixed-wing aircraft helicopter	USA, Northrop Grumman and BAE System
Tactical aircraft directed infrared countermeasures (TADIRCM)	Tactical fixed-wing aircraft Attack helicopter	USA, Sander
MUSIC DIRCM System	Military transport helicopter	Israel, Elbit System
AN/ALQ-212 advanced threat Infrared countermeasures (ATIRCM)	Helicopter	USA, BAE System
MIYSIS DIRCM System	Small fixed-wing aircraft helicopter UAV	UK, Selex ES (formerly Marconi Defence Systems)
ECLIPSE DIRCM System	Fixed-wing aircraft helicopter	UK, Selex Galileo (formerly BAE Systems Avionics, then Selex Sensors and Airborne Systems)
FLASH DIRCM System	Fixed-wing aircraft helicopter	Cassidian, Diehl BGTDefense, Thales Optronique and Sagem
MONTA DIRCM System	Fixed-wing aircraft helicopter	Spain, Indra
ELT-572(v)2 DIRCM System	Helicopter	Italy, Elettronica Spa

2.2 定向红外对抗系统与技术的发展趋势

(1) 开放系统结构、可承受性和多功能^[1]

未来的机载光电电子战装备将采用系统解决方案,强调模块化开放系统结构、减小体积、质量和功耗、多功能,提供体积质量功耗显著降低、一体化的、可承受的解决方案。

模块化开放系统结构将支持系统可伸缩性,并能实现系统性能的螺旋式升级。采用标准接口允许更多的工业界成员参与竞争,这自然也会驱动部件、

子组件和系统价格的下降。通过模块化,采用通用的标准硬件,可促进价格显著下降。

多功能是降低成本和体积质量成本的另一条技术途径,同时可以提高可靠性,这方面的实例是多功能的红外导弹告警系统。尽管红外导弹告警系统的主要任务是导弹告警,当大部分时间不涉及到导弹交战时,也可以利用这一传感器进行态势感知;通过技术融合和创新,相同的传感器可以扩展到增加激光告警和敌方发射指示能力,将这一多功能能力集成到以往部署的导弹逼近告警系统中的一个实例是先进的威胁告警器。另一个实例是在一个可接受的体积、质量、功耗内实现的多功能、多波段激光器,它可以支持定向红外对抗、激光通信、测距和瞄准等多项任务。

(2) 发展具有更高输出功率和光谱覆盖范围的定向红外对抗激光源^[7-8]

目前,用于新一代定向红外对抗系统的激光源,已演进到能产生所感兴趣的波长、具有光学参量振荡器的固体激光器(主要是小型紧凑固体中红外激光器),并进而演进为包括光学泵浦半导体激光器、量子级联激光器及飞秒激光器的新型半导体激光器,这些激光器在功率和光谱覆盖方面都有进步,并具有使导引头或其单元物理损伤的潜力。由于结构简单且具有稳健性,并能定向光电输出和全波段工作,量子级联激光器最近引起了定向红外对抗界的极大兴趣,它具有高效率、优良的光束质量和非常紧凑的体积等优点,且价格也可承受。飞秒激光器可以提供很高的峰值功率,能实现新型的定向激光对抗或将要探索的高能激光对抗(HELICM)。高质量的非线性光学材料的进步,使固体激光器能工作在所有感兴趣的波段,可覆盖整个红外对抗谱段。

这些最新的激光器件的采用,将使定向红外对抗系统的源技术取得新的突破,使红外对抗系统具有更强的干扰能量和全波段覆盖能力。

(3) 分布孔径定向红外对抗技术^[8]

美国陆军近年来正在发展分布孔径定向红外对抗(DAIRCM)系统,它可以采用几个分布在平台上的孔径代替集中式的转塔,瞄准器-跟踪器和激光孔径与导弹逼近告警器耦合,采用一个集中式的、高功率激光器经过光纤向多个传感器位置提供激光能量。

3 结束语

基于激光的定向红外对抗是红外干扰的一个主要发展方向。随着近年来处理器的持续小型化和新颖轻质激光器的发展,为发展适用于较小的固定翼和旋翼飞机、甚至无人机的小型化、高性能定向红外对抗系统铺平了道路。目前激光定向红外对抗系统已应用在从大型军用运输机、加油机到民用大型客机,到军用直升机的多种机型,最近美国又准备在 F-35 战斗机上加装激光定向红外对抗装备。激光定向红外对抗系统已经发展成为有效提高空中平台生存能力的一种重要的自卫装备,并开始重点发展能够使红外导引头物理损伤的激光定向红外对抗装备,从而使全成像制导武器系统的对抗能力和性能得到大跨度的提升。

参考文献:

- [1] Smith Carl R, Grasso Robert, Pledger Jack, et al. Trends in electro-optical electronic warfare[C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures IX, 2012, 8543: 854302.
- [2] Willers Cornelius J, Willers Maria S. Simulating the DIRCM engagement: component and system level performance [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures IX, 2012, 8543: 85430M.
- [3] Caplan William D. Requirements for laser countermeasures against imaging seekers [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures XI, 2014, 9251: 925103.
- [4] Chapman Stuart. The next generation in aircraft protection against advanced MANPADS [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures XI, 2014, 9251: 925105.
- [5] Borriello G, Bonori V, Cresti M, et al. ELT - 572(v)2 DIRCM: simulation, system design and DT&E process to protect ItAF platforms against ManPADS [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures XI, 2014, 9251: 92510K.
- [6] Grasso Robert J. Source technology as the foundation for modern infrared countermeasures (IRCM)[C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures VII, 2010, 7836:783604.
- [7] Rzeghi M. Quantum cascade lasers ready for IRCM applications [C]//SPIE, Technologies for Optical Countermeasures IX, 2012, 8543: 854304.
- [8] 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.