

国外先进战斗机的光电自卫系统

刘志春¹, 袁文², 苏震¹, 李世诚¹

(1. 第二炮兵驻锦州地区专用保障装备军事代表室, 辽宁 锦州 121000; 2. 第二炮兵司令部通信部, 北京 100085)

摘要:介绍了国外先进战斗机的光电自卫系统的发展历程以及装备的研制、改进情况,指出了在现代战争中发展国外先进战斗机的光电自卫系统的优势和重要性,重点探讨了几种国外先进战斗机的光电对自卫系统的性能及其特点,最后对国外先进战斗机的光电自卫系统的发展动向与分析进行探讨。

关键词:先进战斗机;光电自卫;隐身技术

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A

Electro-optic Self-defense System of the Abroad Advanced Fighter Aircraft

LIU Zhi-chun¹, YUAN Wen², SU Zhen¹, LI Shi-cheng¹

(1. Military Resident Representatiue Bureau of Specil Support Equipments of Second Artillery in Jinzhou, Jinzhou 121000, China;
2. Command Communications of Second Artillery, Beijing 100085, China)

Abstract: The process of development of the electro-optic self-defense system the abroad advanced fighter aircraft and equipments in all countries over the world and its modification are described. The technique performance and properties of several electro-optic self-defense system the abroad advanced fighter aircraft seekers are analyzed, and development trend and analysis of the electro-optic self-defense system the abroad advanced fighter aircraft are discussed.

Key words: advanced fighter aircraft; electro-optic self-defense; stealth technology

1 引言

光电自卫系统主要包括:光电对抗和光电隐身。光电对抗是指利用光电对抗装备对敌方光电观瞄器材和光电制导武器进行侦察、干扰或摧毁,以削弱或破坏其作战效能,同时保护己方光电器材和武器的有效使用。光电隐身包括可见光隐身技术、红外隐身技术和激光隐身技术。本文就国外先进战斗机的光电对抗、光电隐身、发展分析等作进一步的研究和探讨^[1]。

2 光电对抗

目前,国外先进战斗机采用的光电对抗措施主要包括有侦察告警、定向对抗、诱饵弹等^[2]。

2.1 侦察告警

侦察告警是指利用光电技术装备查明对方光电

武器装备的方向、配置、性能和数量,并以声、光或显示等形式报警。光电侦察分主动侦察和被动侦察两种工作方式,前者主要使用激光雷达和滤光探照灯等,后者主要使用红外报警器、激光报警器和综合报警器等。红外报警器主要装备在战斗机或其他飞机上,实时对来袭的红外制导导弹进行告警。激光报警器是目前光电侦察设备发展的重点,利用激光的时间相干性来探测和识别激光辐射,不仅能对激光的照射报警,还能确定激光的波长、脉宽、重复频率及激光源的方位等,并具有虚警率低、体积小、结构紧凑、易于制造等优点。例如,美国的 AVR-2/3 激

作者简介:刘志春(1964-),男,工学学士,总代表,高级工程师,研究方向为电子工程技术。

收稿日期:2008-07-20; **修订日期:**2008-09-25

光告警器,可在 360° 范围内识别激光源并确定其方向,与雷达告警接收机配合,构成综合告警系统。

下面介绍几种国外典型的侦察告警装备。

美国雷声公司为F-35研制出两种光电综合系统:分布红外传感器(DIRS)、瞄准下视红外系统(TFLIR)。

(1)分布红外传感器系统(DIRS)。采用6个相同的红外凝视传感器,每个覆盖 90° 视场,围绕F-35布设,实现整个球形覆盖。DIRS探测导弹的发射,给出飞机受威胁的指示,对弹着时间进行预测。系统还可用作红外搜索跟踪传感器,提供态势感知,对球形覆盖范围内的任何飞行目标进行跟踪。

(2)瞄准下视红外系统(TFLIR)。采用中波凝视焦平面传感器,并与一个激光指示/光斑跟踪器实现综合。为实现隐身的目的,采用了可伸缩的光学窗口。瞄准下视红外系统装在飞机中部机腹下,需要时,伸缩的光学窗口从机腹下伸出 $10\sim 20\text{cm}$,并迅速聚焦在目标上,对目标进行探测和跟踪,还能对制导武器进行引导。

当引导直接攻击类的GPS制导炸弹时,瞄准下视红外系统传感器伸出,激光测得目标距离后缩回,在数秒钟内把数据送到武器的制导系统。如果投放激光制导炸弹,瞄准下视红外系统则始终留在外面,为武器提供制导,直到目标被击中。

AN/AVR-2型激光告警接收机是美军机载激光告警系统的典型代表,是美军第一种投入生产的激光告警器,已装备美军30多种机型。该系统现已发展出AN/AVR-2A(V)和AN/AVR-2B(V)两种型号,生产商是康奈提格州的Goodrich ISR系统公司。

AN/AVR-2A(V)由4个外部安装的SU-130/AVR-2传感器元件和1个CM-493/AVR-2内部接口元件比较器以及相关的测试设备组成;AN/AVR-2B(V)系统则是美军最新一代机载激光告警系统,采用SU-130B/AVR-2传感器元件和CM-493B/AVR-2。外形设计不同于AN/AVR-2A(V),体积更小巧,质量更轻,功耗更低。

AN/AVR-2A/B(V)可探测敌方激光测距机(包括单脉冲)、激光目标指示器和波束制导导弹的威胁,并提供音频和视频告警。能识别激光威胁的特征和类型,精确确定激光威胁方向并显示威胁排序。探测波长均为 $0.5\sim 1.6\mu\text{m}$,视场方位角为

360° ,虚警率低。系统可靠性高,能在全天候条件下探测,方便进行二级维护。采用一种可更换、可重新编程的用户数据模块(UDM),辐射源文件库更新简便。具有内置光电自测功能,系统组件易于安装和拆除。具有多个飞机信号接口,使用时常与AN/APR-39系列雷达信号探测装置交联,也可与红外弹、箔条投放器联合使用。此外,还可同MILES-AGES II(多集成激光交战系统、空地交战系统)训练系统连接,为飞行员提供模拟作战战术训练。

美国前视红外系统公司2008年7月9日,获得两份总价值920万美元的订单,提供SeeSpot III+高性能热像仪,以帮助美国空军完成监视和侦察任务。交付工作将在12个月内完成。该热像仪可探测5.5km,识别2.5km内的人形目标。它的水平视场角为 1.65° ,垂直视场角为 2.17° 。工作温度为 $-32\sim 49^\circ\text{C}$ 。包括电池和镜头在内重约2.4kg。所需功率为4.5W,单块电池可在室温下连续供电4~6h。该热像仪可用于火控、目标捕获、侦察、安全测距和前视观察。

欧洲“台风”战斗机装备的防御援助子系统(DASS),具有威胁告警、态势感知和干扰能力,对付包括雷达、红外、激光在内的全频谱威胁。它是一种综合电子战系统,包含一套由中心计算机集成的检测和防御装置,由雷达告警接收机、ECM系统、拖曳式诱饵、CFDS系统、激光告警系统和导弹逼近告警系统组成。

法国“阵风”战斗机的多频谱自保护系统(SPECTRA)与欧洲“台风”战斗机的防御援助子系统类似,包括雷达告警、激光告警、导弹发射告警等先进的机载电子设备。整个系统具有探测、定位、威胁性质判断以及在机载计算机控制下自动选择合适对抗手段(改变飞行方向、施放干扰和诱饵)的功能,具备进一步改进和升级的潜力。

2008年7月11日,泰利斯公司获得法国武器装备总署的一份合同,为其提供9套“达摩克利兹”(Damoclès)目标捕获吊舱系统。此前订购的第一套吊舱系统将于2009年年中交付,用于法国空军的“幻影”2000D作战飞机。

“达摩克利兹”是昼/夜机载热成像目标识别和激光指示吊舱,用于精确制导打击。该吊舱的工作距离、图像质量等性能优于现装备在“幻影”2000D作战飞机上的PDLCTS吊舱。另外,“达摩克利兹”

具备附加功能,能可靠确认地基特种作战部队照射的目标。

“达摩克利兹”吊舱将于2010年交付法国空军,这批吊舱还将用于法国空军和海军航空兵的“阵风”F3飞机。

瑞典的“鹰狮”战斗机主要的光电系统为IR-OTIS系统,由瑞典航空电子设备公司研制。系统具有两种工作方式:大视场的红外搜索跟踪方式和小视场的前视红外方式,它既可提供昼夜条件下的空-空目标搜索跟踪功能,也可用于对地攻击和侦察。采用高度综合化的航空电子系统和计算机网络技术使之成为一个完整的新系统,提高现役电子战系统-雷达告警接收机、投放器(投放箔条弹、红外诱饵、投掷式射频干扰弹)性能。预计在2010年推出“鹰狮”的改进型,包括激光告警、可在红外和紫外频段工作的导弹逼近告警系统、吊舱式诱饵等。

俄罗斯的先进战斗机通常装有前视红外跟踪/激光照射吊舱SAPSON,由俄罗斯乌拉尔光学仪器厂研制,外形呈楔形,与传统的圆柱形吊舱相比,具备阻力小且雷达反射面小的优点。系统采用一个稳定的可旋转的光学模块,包括前视红外跟踪,电视跟踪和激光测距/照射系统,光学模块的扫描范围为俯仰 $-10^{\circ} \sim +150^{\circ}$,水平为 $\pm 150^{\circ}$ 。对坦克大小的目标可以提供20km以上的搜索距离。SAPSON吊舱的引入使战斗机具备了昼夜全天候精确打击的能力。

2.2 定向对抗

红外定向对抗系统采用高功率红外辐射源,把告警和干扰装置一体化,使干扰光束能量能够及时准确地指向来袭导弹红外导引头到达角的小立体角内,干扰、破坏甚至摧毁红外导引头上的探测器和电路,使导弹丢失目标。

例如,美国研制的AN/AAQ-24(V)“复仇女神”定向红外对抗系统,采用AAR-54(V)系统告警,“开环”工作方式。初始阶段以弧光灯为干扰光源,后加装了激光作为干扰源。

AN/ALQ-212(V)先进威胁红外对抗系统集导弹告警、红外干扰和投放系统等功能为一体,采用模块化结构设计,能够非常方便地装在各种飞机上。其中的一个关键子系统导弹告警系统成为三军的通用标准件,称为通用导弹告警系统(CMWS,即AN/AAR-57(V)紫外告警系统)。整个系统采用“开

环”工作方式,发射红外或激光干扰能量。

美军在F-35上安装的战术飞机定向红外(TADIRCM)系统具有干扰速度快、定向精度高和虚警率低等特性。

美国海军研究实验室(NRL)和BAE系统公司桑德斯分部研制的定向红外对抗系统包括6个双色红外凝视传感器、1个信号处理器、1个小型IR激光器以及2个紧凑型指示器/跟踪仪。系统采用“闭环”的工作方式。在导弹告警方面,采用双色传感器代替AAR-57(V)凝视型紫外传感器,其宽视场用于捕获,窄视场用于跟踪,跟踪发动机熄火后的导弹精度也可达毫弧度。告警系统能在杂波环境中发现敌方发射的导弹。在干扰方面,采用桑德斯公司的“敏捷眼”红外多波段激光器,二极管泵浦的Tm:Ho:YLF激光束能在红外制导导弹的工作波段输出激光进行干扰,在波段I、波段II和波段IV的输出功率分别是5W,0.5W和5W。

2008年6月25日,美国L-3通信公司将为美国空军重新配置飞机的炮塔,使其能够接受高清电视传感器、光电以及其他技术。合同总价值达3400万美元,交付时间、数量不确定。要求L-3通信公司为美国空军研究实验室的机载情报、监视及侦察成像炮塔提供技术、装备、设施以及支持。

此外,L-3通信公司还将利用高清电视传感器、改进的中波红外传感器、光电或其他的高带宽能力、激光技术来改进升级炮塔。炮塔将与持久威胁探测系统以及低空机载监视系统兼容,以满足美国空军特定的技术需求。

2.3 红外诱饵弹

红外诱饵弹是一种实用而有效的欺骗干扰手段。已装备使用的红外诱饵弹,能给出模拟真实目标的红外图像,更具欺骗性。红外诱饵的主要目的是迷惑或压制来袭的红外制导导弹,达到保护自身的目的。红外诱饵的技术性能主要包括:

(1)光谱特性。大多数诱饵是化学发热源,按黑体或灰体特性辐射,与目标光谱特性不太相同。因此,可采取选择性辐射材料作为诱饵的辐射剂,以便模拟目标的光谱辐射特征。

(2)辐射强度。必须在来袭导弹的红外成像制导全波段内具有大于目标两倍的辐射强度。

(3)起燃时间。诱饵在离开导引头视场之前,必须在零点几秒之内达到其有效的红外辐射强度。

但是,某些导弹导引头可将信号电平的迅速增长判断为有诱饵干扰的证据,并采取相应的对抗措施。因此,诱饵设计者必须采取对抗措施。

(4)作用时间。一般来说,诱饵燃烧的持续时间最好足够长,应大于导弹的制导时间,以确保目标不被重新捕获。

(5)弹出速度。诱饵在能被来袭导弹容易看到的方向上弹出并在此方向上产生符合跟踪器能力及目标可信度的最大角分离速率。

(6)气动特性。诱饵在空间逐步分离目标的特性,主要决定于诱饵的空气动力学特性即释放时的相对风速。

例如,美国在 F-22 上装备的新型红外诱饵名为“彗星”。这种诱饵能够满足先进战斗机速度快、机动性强以及高度隐身的性能要求,可有效对抗先进的红外成像制导导弹。

“彗星”诱饵吊舱是雷声公司开发出一种新型红外诱饵,由 AN/ALE-52 对抗投放系统投放,最初计划将其安装在 A-10 飞机上。吊舱长约 1500mm,宽 254mm,有 6 个弹筒,内装薄片状的红外诱饵材料。投放系统测量精确,可将红外材料直接投入飞机的尾流中,产生红外羽焰。投放系统控制能力强,可以进行羽焰的调整,逼真地模拟任何飞机的发动机特性。6 个弹筒可以分别驱动或同时驱动,控制装置简单。因此吊舱控制器可以根据环境情况快速调整或改变红外材料投放速度。其显著特点是:采用“先发制人”的干扰方式,即采用调制技术(对不同的飞机、环境情况投放速度可调)先行投放诱饵弹,以阻止红外制导导弹的发射;施放时间长达 30min;增加了多光谱热源、动态轨迹、面燃烧以及双色热源来干扰红外制导导弹;无需导弹告警接收机引导提示;可施放人眼无法看见的特殊干扰材料。

欧洲战斗机公司的“台风”、法国的“阵风”以及瑞典的“鹰狮”战斗机中均选用瑞典航空电子设备公司研制的 BO 系列干扰投放系统来投放新型面源红外诱饵弹。

瑞典 BO 系列干扰投放系统是能携带 160 个箔条弹/红外诱饵的先进干扰弹投放器,其携带能力是常规投放器的 5 倍多,它安装在挂载空-空导弹的飞机外挂架上。在亚音速和超音速飞行状态下,这种先进的电子对抗投放器能进行复杂的中断锁定和

设置干扰走廊,并能针对电磁及热寻的导弹进行自卫。

俄罗斯的 S-37 使用的光电诱饵为“复合假目标”系统,该诱饵覆盖红外、激光和射频波段。当受到红外制导武器攻击时,复合假目标系统会在飞机后向形成一个范围很大的假目标燃烧区,而且燃烧区的光谱与所保护飞机的光谱相同。同时假目标与真目标保持一定的距离,即使敌方武器击中了假目标,也不会伤及真目标。

3 光电隐身

光电隐身技术分别包括可见光、红外和激光隐身技术。可见光隐身技术要消除或减小目标与背景之间在可见光波段的亮度与色度差别;红外隐身技术就是利用屏蔽、低发射率涂料、热抑制等措施,降低目标的红外辐射强度与特性^[3];激光隐身技术就是消除或削弱目标表面反射激光的能力。

(1)热红外隐身。又称中远红外隐身,是指消除、减小、改变或模拟目标和背景之间在 $3 \sim 5 \mu\text{m}$, $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 两个大气窗口辐射特性的差别,以对抗热红外探测所实施的隐身。当前热红外探测设备主要是热成像系统,它接受景物的热红外辐射能量并将其空间分布状况转换成可见光图像,一般由光学系统、红外探测器、电子线路及显示装置等部分组成。热红外隐身主要是根据热成像系统的工作原理采用红外遮蔽、红外融合、红外变形等手段设施。

(2)激光隐身。由脉冲激光测距机的测距方程可知,对于漫反射大目标,激光测距机的最大测程与目标反射率的二分之一一次方成正比;对于漫反射小目标,激光测距机的最大测程与目标反射率的四分之一一次方成正比。因此要削弱激光测距机的测距能力,实现激光隐身,必须降低目标对激光的反射率。

当前,激光隐身除了要对抗各种军用激光测距机以外,最主要的是要对抗激光制导武器,主要是半主动激光制导武器,包括激光半主动制导导弹、激光半主动制导炸弹和激光半主动制导炮弹等。目标实施激光隐身以后可使目标指示器照射到目标上的激光产生弱的回波,不能被弹上的激光寻的器所接收,从而不能实现对目标的攻击。除了激光半主动制导武器以外,激光隐身还要对抗的激光成像雷达,这时激光隐身的目的将是使目标的激光反射特性与背景一致。

为抑制红外辐射,美军的 F-117A 飞机采用新型燃料。这种燃料能高速燃烧,又可急速冷却。同

时飞机的尾喷口还采用可减少飞机热辐射的设计,使喷出尾喷管的热气流迅速冷却。

F-22 为美国第三代隐身飞机,与第二代隐身飞机 F-117 相比,它的隐身技术更具实用性和经济性,隐身性能得以提高。

为了提高飞机的机动作战性能,避免因增加加力燃烧室而造成发动机尾焰温度升高,F-22 还采用了矢量可调管壁来降低发动机及其尾焰的红外辐射强度,同时在发动机尾喷管里装设了液态氮槽来降低喷嘴的出口温度。在 F-22 的表面、发动机、后机身及排气系统等红外辐射源集中的部位涂覆了工作在 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 波段的低辐射率红外涂料,使该机具有更好的红外隐身特性。

为了降低飞机的激光反射特性,F-22 采用平板式外形和尖锐边缘以及翼身融合的隐身设计结构,并在其机翼锐边缘、机身及表面涂覆激光隐身吸波材料。

F-35 是在 F-22 技术基础上研制的多用途隐身战斗机。由于 F-22 所具有的隐身性能足以对付 2010 年前后的防空威胁,因此,F-35 在很大程度上利用了 F-22 的隐身技术成果。

为适应对地攻击要求,F-35 更加注重可见光隐身技术的应用。美国现研制的可见光隐身材料,是一种能发光的聚合物薄膜,在通电时薄膜可以发光并改变颜色,不同的电压会使薄膜发出蓝色、灰色、白色的光,必要时薄膜还可发出浓淡不同的色调。把这种薄膜贴在飞机表面,通过控制电压大小,便能使飞机的颜色与天空背景一致。

S-37 是俄罗斯第一种全隐身战斗机,具有与 F-22 相当的光电隐身性能。其采用的光电隐身措施为红外隐身,如对辐射红外信号强的发动机尾喷口等部位进行遮挡,并用冷气流进行冷却把尾气流吹散;飞机尾喷管两侧安装了一对倾斜的垂尾;进气道采用涂覆吸波材料的螺旋结构等。

4 发展分析

先进战机的光电自卫系统的发展趋势:一是运用电子战、对抗和态势感知技术;二是宽频谱、一体化光电对抗;三是开发新型隐身材料^[4]。

(1) 运用电子战、对抗和态势感知技术。例如,采用头盔显示系统(HMDS),通过外用传感器将符号代表的信息和视频传至飞行员的护目镜,提供航线点、目标或其他飞机的数据和图像。当飞行员进行全球视场扫描时,机载导弹以电磁感应方式跟踪飞行员头的精确位置和方向。同样,头盔显示系统

将融合传感器数据,从而提供外部环境的各个方向的准确透视图,就像飞行员透过座舱地板向下俯视一样。该系统可与光电瞄准系统(EOTS)、分布孔径系统(DAS)和主动电子扫描阵列(AESA)雷达接口,具有先进的态势感知和目标定位能力。

(2) 宽频谱、一体化光电对抗。未来战争中,采用单一波段的光电对抗设备来对抗多波段光电探测和光电精确制导武器是难以奏效的,必须采用可探测干扰各主要波段光电威胁的光电探测干扰一体化、软硬杀伤一体化的综合光电对抗系统,来对抗多类型、多目标、多批次的光电精确制导武器。因此,研究一体化综合光电侦察告警/干扰系统是今后主要的发展目标之一。如美、英等多方合作研制的定向红外对抗系统就是一种多光谱一体化的对抗设备,它采用紫外波段做导弹逼近告警,并可实施定向红外激光干扰。

(3) 开发新型隐身材料。例如,手性材料(chiral material),能够减少入射电磁波的反射并能吸收电磁波。纳米隐身材料,具有极好的吸波特性。导电高聚物材料,是一种新型的轻质宽频带微波吸收材料。多晶铁纤维吸收剂,是一种轻质的磁性雷达吸收剂,可在很宽的频带内实现高吸收效果,且重量减轻 40%~60%,克服了大多数磁性吸收剂所存在的过重的缺点。智能型隐身材料,是一种具有感知功能、信息处理功能、自我指令并对信号作出最佳响应功能的材料和结构。

5 结束语

随着高科技技术的不断研制和开发,先进战斗机的光电自卫系统将更趋完善,在未来现代化战争或局部战争中,对于防空防导、偷袭作战来说,具有光电自卫系统的先进战斗机,必将发挥更大的作用^[5]。

参考文献:

- [1] 施德恒,熊水英.现代作战飞机的红外隐身技术述评[J].航天电子对抗,2000,(3):59-62.
- [2] 刘敬民,王浩,张洁.先进战斗机光电综合系统发展综述[J].光电技术应用,2007,(6):4-6.
- [3] 沐磊,王丽熙,黄芸,等.红外隐身涂料的研究与发展[J].材料导报,2007,(1):122-125.
- [4] 党芬,王敏芳,汪银辉.武器装备中的红外隐身技术[J].红外技术,2006,(1):50-53.
- [5] 朱长征.飞机的隐身技术现状及发展趋势[J].航天电子对抗,2001,(6):42-45.