

飞机红外隐身技术的应用研究

张 洋

(江苏金陵机械制造总厂 南京 211100)

摘 要: 作战飞机要想在日益复杂的战场环境中提高生存、突防及作战效能,规避光电探测系统和红外精确制导类武器的搜索和攻击,就必须采取综合红外隐身措施。概述了红外隐身技术的基本原理,针对军用固定翼喷气式飞机的红外辐射机理和辐射特性,研究了飞机红外隐身技术所采取的措施。通过机件结构改进、机体部件遮挡、低发射率涂料涂覆、热抑制和光谱转换等红外隐身技术的应用,来降低和改变飞机的红外辐射强度和特征,从而实现机体的低可探测性。

关键词: 红外隐身; 发射率; 辐射强度; 光谱转换

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1060

Research on application of aircraft infrared stealth technology

Zhang Yang

(Jinling machinery manufacturing plant, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to improve the battle aircrafts survivability, penetration and fighting efficiency under the complex battlefield environment, avoid the searching and attacking of electro-optical detection system and infrared precision guided weapon, the aircraft must adopt the synthetically infrared stealthy technique. The basic principle of infrared stealthy technique is outlined. According to infrared radiation mechanism and radiation characteristics of military fixed wing jet aircraft, the measures are taken by the aircraft infrared stealthy technique was researched. Through the application of improved mechanical structure, the body shielding, low emissive coating, thermal inhibition and spectrum conversion of infrared stealthy technique, infrared radiation intensity and characteristics of aircraft are reduced and changed, which can actualize the low detectability.

Keywords: infrared stealth; emissivity; radiation intensity; spectrum conversion

1 引 言

随着红外探测技术的发展和系统信号处理能力的提升,飞机受到红外制导类武器的威胁也逐渐加重,在20世纪80年代发生的几次局部战争中,被红外导弹击落的作战飞机占被制导类武器击落飞机总数的70%~80%^[1]。机载红外搜索与跟踪系统(IRST)、前视红外系统(FLIR)、光电瞄准系统(EOTS)、分布式孔径系统(DAS)、激光制导和红外寻的导弹等红外探测和攻击系统隐蔽性好、目标角分辨率高、抗电磁干扰能力强、探测距离远,且探测波段覆盖大气窗口的中长波段红外(3~5 μm和8~12 μm),为有效应对上述威胁,作战飞机都十分重视红外隐身技术的应用,以便有效控制己方飞机的红外特征信号和缩小敌方红

外探测系统的作用距离。

世界各主要军事强国都在致力于发展反红外侦察和红外隐身技术,美国在军用飞机红外隐身的研究应用处于领先地位,如美国在F-35战斗机的尾喷管上采用特殊涂层来降低红外特征信号;F-22飞机所装配的F119涡扇发动机采用二元矢量喷管技术,喷管调节片采用双层结构、外冷和内冷复合冷却,这也是降低喷管红外辐射的关键技术之一;在F-22、F-35和B-2等多款隐身飞机上应用遮挡技术,利用尾翼遮挡喷管及尾喷口内缩,使喷管的红外辐射只能在尾向较小的角度辐射;B-2隐身轰炸机发动机采用了S弯喷管技术,机体采用50%~60%的新型降温隔热复合材料。此外,俄、法、德和瑞典等国也在积极研制具有很好磁导率、较低红外辐射率和较强防腐蚀能力的多波段

纳米隐身材料,其技术水平已达到雷达毫米波、近红外、中远红外、可见光波段兼容,这种多频谱隐身涂料最终形成的涂层仅使蒙皮厚度增加几个 mm,且适用于任何材料和结构;据英国《简氏防务》2009年2月23日报道,Intermat公司也研制出了仅喷涂 50 μm 厚的反热红外涂层,采用改变机体反射特性并降低自身发射率的方法,来限制对红外辐射的吸收和发射。

2 红外隐身原理

由斯蒂芬-玻尔兹曼定律可知,黑体表面在单位面积单位时间内辐射出的总能量即物体的辐射度:

$$R = \varepsilon \delta T^4 \quad (1)$$

式中: R 为物体的辐射能量, ε 为物体的发射率或发射系数, δ 为斯蒂芬-玻尔兹曼常数, T 为物体的绝对温度,且物体的黑体辐射能量取决于物体的温度和其表面的发射率。

红外探测系统能探测到目标的最大距离 D :

$$D = (R \cdot \tau_a)^{1/2} [\pi/2D_0 (NA) \tau_0]^{1/2} \cdot [D^*] [1/(\omega \Delta f)^{1/2} (V_s/V_n)]^{1/2} \quad (2)$$

式中: R 为目标的黑体辐射强度, τ_a 为大气透过率, D_0 为光学系统的接收孔径, NA 为光学系统的数值孔径, τ_0 为光学系统的透过率, D^* 为探测器的探测率, ω 为探测系统的瞬时视场, Δf 为信号处理的等效噪声带宽, V_s 为信号电压, V_n 为噪声电压。

上式中第 1 项反映了目标的红外辐射特性和大气传输特性,其他项则反映了红外探测系统中光学系统、红外探测器及电子信号处理能力的特性。经计算,目标的红外辐射强度减弱 10 dB,则探测系统作用距离下降 68%,减少式(2)中第 1 项的各项取值可以有效达到红外隐身的目的。

3 飞机采取的红外隐身措施

固定翼喷气式飞机的红外辐射源主要产生于机体外表面蒙皮座舱、发动机腔体和尾喷流 3 部分。机体外表面的红外辐射主要集中于 8~14 μm ,辐射强度约为 1 000~3 000 W/sr 量级,且随飞行器的马赫数和观测角度变化;发动机腔体和尾喷流的红外辐射主要集中于 3~5 μm ,辐射强度约在 1 500~20 000 W/sr 量级,且随发动机的工作状态和观察角度变化。因此,喷气式飞机的红外隐身措施包括 3 方面内容:1)是改变飞机表面各处的辐射率分布及降低红外发射率;2)是通过热抑制来降低机体的红外辐射强度;3)是通过光谱转换技术来调节红外辐射的传播途径。

3.1 改变飞机的红外辐射率分布

1)改进飞机发动机喷口的结构和形状。如图 1 所示,将发动机喷口采用典型的矩形或异形非轴对称喷管的二元喷管技术,同时利用图 2 中所示的外涵道气流在主排气

周围提供冷气膜,使内涵气流与旁通气流掺混,增加主喷流的截面积和周界,可整体降低到 90% 的红外辐射,相当于使对方的红外探测距离缩短 30%~45%,敌方搜索与跟踪的角度范围和精度也大大缩小;如以宽高比为 2:1 的矩形喷口为例,尾部方向红外辐射强度降低了 10% 以上,其他方向可降低 20%~60%^[2]。

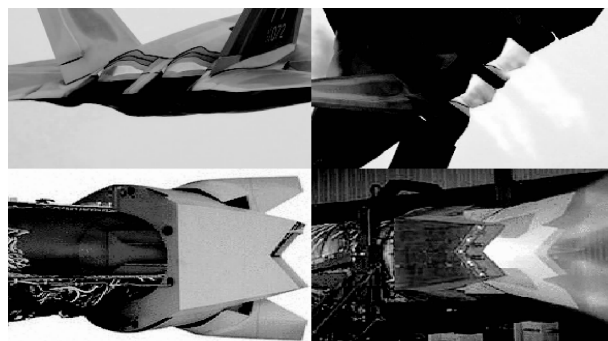


图 1 发动机异形喷口

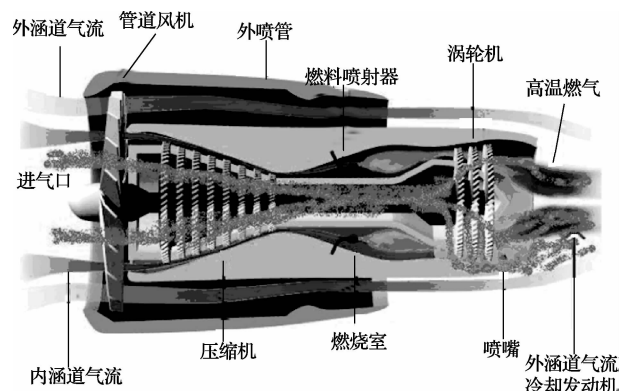


图 2 外涵气流冷却尾喷管和燃气射流示意图

2)利用飞机的垂尾、机身后体边条等外形布局对尾喷腔体和尾喷流的高温热壁面进行遮挡,同时采用 S 弯喷管设计来遮挡发动机的热喷流,阻止红外辐射源向后方侦测系统传输。

3)飞机发动机的末级涡轮、中心锥、导流支板和鱼鳞片等喷管腔体内固体部件的最高温度可达 900 K 以上,在红外中波和长波波段都有很强的辐射,采用特定的低辐射率材料镀覆在这些固体部件上,可以减弱发动机整体的红外辐射能量,使飞机的红外图像更容易成为背景辐射的一部分。

3.2 降低飞机的红外辐射强度

降低飞机的红外辐射强度即降低机体与背景的热对比度,通过减热、隔热、散热和降热等手段来降低辐射体的温度,使敌方红外探测系统接收不到足够的能量,减小飞机被识别和跟踪的概率。

1)在发动机喷管侧壁等固热部件上采用气膜、狭缝、冲击冷却等技术可以有效降低发动机腔体的红外辐射强

度。此外,涡轮风扇发动机比涡喷发动机的平均排气温度低 200~250℃,从而使采用涡扇发动机的飞机红外隐身性能得到大大改善。由于发动机排出的高热尾气具有非常明显的红外辐射特征,为了减弱其辐射强度,可在燃料中添加红外吸收剂,以降低喷焰和尾气的温度,同时采用气溶胶屏蔽喷管尾焰的红外辐射来达到红外隐身的目的。

2)利用燃油、层流抑制技术和主动冷却方式对机体蒙皮、机翼前缘、环控系统散热器的排气孔等部位进行冷却,在机体局部高温区还可以采用表 1 中在可见光和近红外波段具有较低太阳能吸收率和一定隔热能力的热红外伪装涂料,它能使机体表面的温度尽可能接近背景温度,从而降低飞机与背景的辐射对比度;采用闭环冷却系统将座舱和航电设备产生的热量传给燃油,并用金属-石棉-金属夹层等材料为衬里的热屏蔽层阻隔机体内部发出的热量,使之难以对外辐射。

表 1 热红外伪装涂料

吸收剂成分	Al、Zn、Sn、Au、Cu	SnO ₂ 、In ₂ O ₃ 、 钢锡氧化物
发射率	最低可达 0.47	最低可达 0.624
含量	20%~30%	10%~90%
粒子形状	鳞片状	细杆、片和扁平状
粒子尺寸	50~70 μm	5~100 μm
特征	增加了对雷达波、可见光“显形”作用	与可见光、雷达波、激光等波段兼容隐身

3.3 光谱转换技术

光谱转换技术主要通过改变飞机发动机和蒙皮的红外辐射波段,使之处于红外探测器的响应波段之外,并使机体的红外辐射避开大气窗口,在大气层中被吸收和散射掉。

1)改进动力燃烧技术和采用燃油添加剂、气动雾化喷嘴、阻烟添加剂等来减少尾喷流中的碳烟微粒浓度和未燃碳氢燃料,将高温燃气和喷焰的红外辐射频带转移到红外探测系统和红外制导类导弹的工作波段之外。

2)采用特定的大气窗口外波段高辐射率涂料,将其涂覆在飞机机体外表气动加热影响区,改变机体红外辐射的传播途径,使之部分达到红外隐身的效果。

4 结论

飞机红外隐身技术正向整机综合应用、自身结构及形

状设计的热红外特征控制、多威胁排序权衡设计、扩展波段范围和降低成本等方向发展。在未来现代化战争或局部战争中,作战飞机可充分运用红外隐身技术,兼顾雷达隐身、可见光隐身和激光隐身,就能巧妙地躲避敌方多波段探测设备的侦察和导弹的攻击,有效地保护自身飞行和任务安全。

参考文献

- [1] 宋新波,吕雪艳,章建军,等. 飞机红外隐身技术研究[J]. 激光与红外,2012,42(1):3-7.
- [2] 桑建华. 飞行器隐身技术[M]. 北京:航空工业出版社,2012.
- [3] 吕俊伟,李海燕,朱敏,等. 飞机的红外隐身技术[J]. 现代防御技术,2006,34(4):92-96.
- [4] 高颂,乐洪宇. 国外红外隐身技术的发展[J]. 舰船电子工程,2010,30(10):17-23.
- [5] 桑建华,张宗斌. 红外隐身技术发展趋势[J]. 红外与激光工程,2013,42(1):14-19.
- [6] 徐顶国,桑建华,罗明东,等. 红外隐身技术在无人机上的应用研究[J]. 红外与激光工程,2012,41(12):3154-3159.
- [7] 王岩,冯玉杰,刘延坤,等. 隐身技术与隐身材料研究进展[J]. 化学工程师,2006(9):43-47.
- [8] 龚卫国,王旭,李正浩,等. 一种抗遮挡的红外多目标实时检测跟踪算法[J]. 仪器仪表学报,2014,35(3):535-542.
- [9] 陈桃红,徐科军,陶波波,等. 不分光红外气体分析仪信号处理与控制系统研究与设计[J]. 电子测量与仪器学报,2013,27(11):1040-1046.
- [10] 姜昊,姜金辉. 航空结构连接件细节内力分析方法研究[J]. 国外电子测量技术,2013,32(9):22-24.
- [11] 郑耀汉,李欣. 基于 FPGA 的红外图像数据实时采集处理系统[J]. 电子测量技术,2013,36(11):34-38.

作者简介

张洋,工学硕士,工程师,主要研究方向为光电探测技术。

E-mail:y090501yang@163.com