

# 隐身技术在飞机上的应用<sup>\*</sup>

顾月清 陶宝祺

(南京航空航天大学测试工程系,南京 210016)

**摘要** 根据隐身技术的工作波段,把飞机隐身技术分为雷达波隐身、红外隐身、激光隐身等。文章结合国内外隐身飞机的应用,对这三种技术进行了讨论,对其中应用最早和最广的雷达波隐身技术作了较为详细的讨论,最后阐述了隐身技术的发展方向。

**关键词** 隐身技术,飞机,雷达,激光,红外

## 1 引言

在现代战争中,飞行器的威力是不可估量的。如侦察机、战斗机、轰击机、制导导弹等,它们几乎影响着整个战争,但是随着各种侦察技术的日益提高,飞行器的生存受到致命威胁。越南战争后期,美国军方意识到,在未来战争中,随着预警飞机的出现,将使战斗机利用地基雷达的盲区实施超低空突防的可能性越来越小。为此,美国军方制订了旨在隐身技术研究的“黑”材料。所谓隐身技术,是指采用某些手段,使敌方的侦察接收器件失灵或迷盲,从而使目标很难被发现,甚至不被发现,达到保存自己打击敌人的目的。根据工作波段,侦察技术可以分为雷达波侦察、红外侦察、激光侦察等。雷达波侦察及激光侦察分别是利用侦察处发射雷达波和激光来实现的,通过分析由目标反射回来的雷达波或激光的特性,判断目标的类型、距离、大小、运动速度等。因此这两种侦察技术称为有源侦察。而红外侦察技术不需从侦察点发射红外光波,而是直接接收由目标辐射出的红外波进行侦察。因此这种侦察技术称为无源侦察。相应地,隐身技术根据其工作波段也可以分为雷达波隐身、红外隐身、激光隐身等。另外,根据隐身的工作方式,隐身技术又可分为有源隐身及无源隐身。

隐身技术是反侦察的现代国防技术。由于事先不知道对方是何种侦察技术,故隐身往往

是几种技术的综合运用。目前隐身技术几乎遍及所有的军事领域,如飞机、导弹、战车、舰船等。飞机领域的隐身技术研究最深入,本文重点讨论飞机领域的隐身技术。

## 2 飞机隐身技术

### 2.1 雷达波隐身技术

随着雷达发射功率的增大,天线增益和灵敏度的提高,雷达工作频率的扩展,雷达探测飞行器的准确率越来越高。由于雷达波侦察技术问世最早,运用也最普遍,因此雷达波隐身技术是最重要的隐身手段之一。

要实现雷达波隐身,其核心问题就是使目标的雷达回波无法被侦察雷达探测到。也就是说,要么吸收入射的雷达波,要么改变目标的反射特性。对这个核心问题,军事上有个专门术语,即降低目标的雷达散射截面(radar cross sections,缩写为RCS)。所谓目标的雷达散射截面就是衡量雷达目标反射电磁波大小的物理量,用理想反射体进行标定,单位为平方米。目标RCS越小,雷达接受能量越小,因而就越难对目标作出正确的判断。目前,降低RCS主要可归纳成三大技术,即外形技术、材料技术和阻抗加载技术,这三种技术往往被综合运用。

#### 2.1.1 外形技术

所谓外形技术,就是合理地设计飞机的外

<sup>\*</sup> 1995年10月30日收到初稿,1996年1月19日收到修改稿。

形,达到两个目的:(1)降低目标的 RCS;(2)使目标的回波偏离侦察雷达的视向.合理设计的飞机的外形是实现低 RCS 的关键途径之一.通过研究各种各样的几何形状,发现特殊“构型”的飞机,在某些入射角对 RCS 有很大的缩减,而在另一些入射角回波信号强度则增加.对于在空中飞行的飞机来说,又要考虑到气动特性的要求,因此,总体设计应进行折衷.经验表明,要获得低的 RCS,飞机应具有光滑平坦的外形,机头截面要小,不能用常规的机身和垂直尾翼.机身不应有垂直于入射波的平面和圆筒式锥形表面.应避免尖锐边缘、陡角(如机身和机翼转折点)和看得见的腔体(如发动机进气道).发动机应埋入结构内部,进气口和尾口必须经特殊设计.美国的一些飞机都应用这些外形技术,如洛克希德公司“臭鼬工厂”制造的 F-117A 战斗机和诺斯罗谱公司制造的 B-2 隐身机.

F-117A 机外形独特,其形状是一个前后缘不平行的复杂多面体.飞机大部分表面都后倾,与垂直方向呈大于 30°角,并采用大后掠角机翼和 V 形双垂尾.这种奇特外形使 F-117A 在飞行过程中,雷达波上下散射,产生时隐时现的微弱回波.雷达很难探测到这些信号,这就大大降低了 F-117A 的雷达散射截面 RCS.另外,F-117A 采用 S 形进气道,小型座舱,所有口盖边缘都制成锯齿形.故 F-117A 的隐身效果很好.在海湾战争中,F-117A 隐身战斗机大约执行了 1270 架次空袭任务,摧毁了巴格达许多目标,而自己无一伤亡.

B-2 轰炸机是翼身融合体的外形布局,没有尾垂,它使大部分雷达回波偏离侦察雷达的视向,达到隐身目的.

其实,这些外形隐身技术很早就在军事上应用了,如英国的 VULCAN 轰炸机,采用楔形机翼,翼内埋入发动机,机身很小,垂尾极小,雷达很难探测到;又如 60 年代服役的美国空军的黑鸟 SR-71 战略侦察机,具有光滑修长的机身,隐蔽的发动机进气道和倾斜垂尾.这些独特的外形使当时的雷达系统检测困难.但是随着雷达探测技术的不断发展,感到隐身技术仅靠

外形技术是不够的,况且,外形技术又受到飞机气动特性的限制.相比之下,采用材料技术则是实现隐身的一种简单、有效和易行的措施.

### 2.1.2 材料技术

材料隐身技术,即目标采用吸波材料或透波材料,使目标不反射或少反射雷达波,降低目标的 RCS,起到“迷盲”对方雷达的作用,从而提高生存能力和突防能力.

吸波材料,即吸收雷达波的材料,是靠雷达波在材料中感生的传导电流,产生磁滞损耗或介电损耗,使雷达波的电磁能转化为其他能散发掉,以达到衰减雷达波而减少 RCS 的目的.吸波材料一般采用铅铁金属粉、不锈钢纤维、石墨粉、铝箔、炭黑、陶瓷电解质和铁氧体等具有特殊电磁性能的吸波剂物质来制作.吸波材料在实用上又可分为涂敷型和结构型两大类高分子复合材料.

涂敷型材料是以树脂型和橡胶型等高分子溶液或乳液为基料,把吸波剂按一定配比加入其中而制成的.涂敷型材料涂敷于飞机表面,能减少 RCS,起到吸波作用.涂敷型材料的特点是工艺简单,使用方便,易于更换.缺点是增加附加重量,耐高温性能差,剥离强度低,频带窄和表面粗糙等.

结构型材料是把吸波剂按一定的配比,直接混入到油漆、橡胶等高分子粘合剂中,制成板材或型材.因此这种材料既具有隐身性能,又可作为结构部件使用,实际上是一种有隐身性能的先进复合材料,它重量轻、强度大、韧性好,又具有吸波性能,用它制造飞机的机身和机翼蒙皮,能够大大减小飞机的 RCS.

透波材料是对雷达波“透明”的材料,它对雷达波的反射性能与空气接近,入射的雷达波几乎完全透射,从而减小目标的 RCS.武器中无需金属的部件,可使用透波材料.

世界各国军方对隐身材料的研究和应用极为重视.美国在这方面处于领先地位,其研制的隐身飞机在战争中起了很大的作用.前苏联、日本等国也在兵器上使用了隐身材料,英国、德国等在吸波材料研究方面也很突出.美国的 F-

117A 采用了 6 种吸波材料,机身、机翼和 V 型垂尾的铝合金外表皮均敷贴吸波材料,B-2 轰炸机的机身和机翼都是由结构型吸波材料制成的.美国的 YF-23, YF-22, A-12 等隐身机,前苏联的米格-29,米格-31 等,以色列的“侦察兵”、“猛犬”,日本的“FSX”等隐身机都采用了吸波材料.目前许多国家都在研究各种高性能的隐身材料.总之,无论是现有的还是未来的隐身机,材料技术是隐身的重要途径.

### 2.1.3 阻抗加载技术

阻抗加载技术是雷达波隐身三大技术之一,它是根据电磁波干涉原理,产生一附加波来抵消入射波以实现隐身的一种技术.根据附加波机理不同,阻抗加载技术又可分为无源阻抗加载和有源阻抗加载两大类.无源加载实际上是在机身上适当地“开口子”或“拉槽”产生一个谐振腔.在入射波的激励下,产生一抵消入射波的附加波.无源加载具有窄频带特性,且加载效果与入射波极化方向有关,在实际应用中受到一定限制.有源加载是通过飞行器内部的有源装置提供一附加波,它的空间分布与散射电磁波的分布相同,幅值相等,相位差  $180^\circ$ ,从而达到附加波抵消散射电磁波的目的.与无源加载相比,有源加载隐身技术至少有下列特点:(1) 自适应性.现代战争中飞行器隐身技术需对付的敌方雷达,不仅种类多,数量多,特别是频段宽,有源加载技术可通过自适应性很好地解决上述问题;(2) 宽频段工作.根据目前的技术水平,有源隐身可在若干倍频频段内实现;(3) 有效性.从原理上及从已进行过的实验研究中可知,这种技术可使简单目标的 RCS 值下降到几乎为零.因此使目标的 RCS 值有大的下降是毋庸置疑的;(4) 灵活性.这种技术对飞行器外形及结构材料无特殊要求,可灵活应用于多种武器.因此,尽管在现存的隐身飞机中有关阻抗加载的报道较少,但不可否认,有源加载也是实现飞行器目标隐身的有效途径之一.

值得注意的是,阻抗加载必须与空间阻抗相匹配,而且要寻找最佳的加载位,否则效果不明显或适得其反.对于雷达波的隐身,除了上述三种

主要技术外,还有一些简单易行的隐身方法,如投掷一些诱饵物质如锡箔、金属条等,干扰雷达波的传播或制造假现象,使雷达检测失灵或判断失误.

## 2.2 红外隐身技术

与雷达检测不同,红外探测是一种无源探测,是直接接收目标辐射的红外波,或者说是探测目标与背景的红外辐射差异.在一般情况下,目标的温度高于背景的温度.为降低目标与背景间红外辐射的差异,减小目标表面的发射率成为红外隐身的关键.具体的说,红外隐身技术就是要求用多种技术手段,抑制飞机本身产生的红外辐射和制造假目标进行红外干扰,以达到削弱、破坏敌方红外制导系统,使其迷盲或失控.目前飞机红外对抗手段,大体可归纳为两大类技术措施:(1) 无源对抗或无源红外隐身技术,即通过抑制或改变飞机的红外辐射特征,采用屏蔽和冷却方法降低飞机辐射的红外能量,使敌方探测器难以跟踪;(2) 有源对抗即红外干扰技术,有意识地利用红外装置发射红外辐射,人为地施放红外干扰信号,造成一个假目标,以扰乱、欺骗敌方探测设备,降低或破坏敌方红外制导系统的跟踪状态.

### 2.2.1 红外无源隐身技术

对于红外无源隐身技术,主要是通过降低和改变飞机的红外辐射特征,而飞机的红外辐射特征主要有四点:(a) 飞机发动机热部位的辐射;(b) 飞机喷气流辐射;(c) 飞机蒙皮的热辐射;(d) 飞机对阳光辐射的反射.根据飞机的红外辐射特征,要实现红外隐身,可从以下几方面考虑:(1) 降低发动机尾喷管和排气尾焰等辐射体的温度来降低飞机的辐射功率.具体实施是利用热屏蔽或冷却的方法;(2) 利用红外隐身涂层涂敷于飞机表面,抑制飞机的红外辐射.从红外辐射的四个特征来看,除了(b)外,其余3种都与飞机表面涂层有着密切的关系.因此红外隐身涂料可以有效地降低飞机的红外特征或改变红外辐射方向.红外隐身涂料的研究,国内外都有许多报道,并且有些涂层已应用于新型的飞机上;(3) 采用外形技术,如施流式二元喷管

技术等手段来降低飞机红外辐射的强度;(4)调节红外辐射的传输过程.通常采用在结构上改变辐射的传输方向,如在武装直升飞机上采用遮挡技术,或者在传输过程中增加对飞机红外辐射的吸收、反射和散射(如安装有效的红外抑制装置等).力求使红外隐身技术在传输过程中改变辐射的主要方向并降低红外辐射强度;(5)改变飞机的红外辐射特征.着眼于研究飞机的红外辐射的光谱特性,努力改变飞机的红外辐射波段,使其处于红外制导导弹的有效响应波段之外,使敌方探测器失效,以达到红外隐身的目的.

无论从理论上还是从实际上看,飞机都不可能红外信号上做到完全隐身.而且由于现代红外探测技术的发展,“热点”探测技术已相当成熟,红外跟踪系统已从“热点”跟踪向成像扫描过渡,信息量大为增加且已达到相当高的灵敏度.红外成像制导系统,摆脱了只能跟踪飞机的最热部位的局限,它通过成像探测器捕捉目标的红外图像,并能从飞机和背景之间的微小温差(0.1K)所产生的热分布图像中分辨并发现飞机.这些高技术都给红外无源隐身技术带来更大的困难.相比之下有源红外干扰技术简单易行.

### 2.2.2 红外有源干扰技术

红外有源干扰,是有意识地利用红外装置发射红外辐射,人为地施放干扰.在美国,红外干扰技术发展很快,在战斗机上安装了红外干扰装置,依赖从飞机上发射诱饵弹进行红外干扰.一些慢速飞行的低空飞机则装有红外干扰器,使其能逼真地模拟飞机发动机喷管和尾焰的红外辐射特征,从而吸引红外制导导弹.美国最近研制的红外干扰器增添了附加调速率,以便能迅速发射调制型红外干扰信号,而且还可以改变辐射脉冲形状和速度,以对付各种新型导弹.前苏联的红外干扰技术也取得了很大的成就,已研制出的红外诱惑系统,能读出敌方红外传感器信号,然后迅速发出对抗信号,对敌方进行欺骗和干扰.

## 2.3 激光隐身技术

近年来,激光技术发展迅速,军用激光器件(如激光测距机、激光制导武器、激光雷达等)相继问世.由激光制导的炸弹,其投掷精度和作战能力达到了惊人的地步,以致于到了一旦发现就会被击中,被击中就会被摧毁的时代.

激光具有高的方向性、单色性、相干性,激光探测器通过接收目标反射回波来工作.与雷达探测相似,是属于有源探测.因此其隐身技术也相似.其中激光隐身涂料是激光隐身技术的重要组成部分.它至少有三大优点:应用广、使用方便、经济.可涂敷在动态或静态的目标上,有可能制成各种迷彩色,从而达到伪装的目的.也可涂在织物上面,制成特殊的激光隐身服、激光罩等等,是很有前途的自身防护手段之一.激光隐身涂料的最主要指标就是尽量降低其反射率.目前各国正在积极研制中,并对其极其保密.

## 3 隐身技术发展动向

### 3.1 天线隐身

天线是飞机以电波为媒介与外界联系的进出口部件.而对探测飞机的雷达来说,天线是呈现一定雷达截面的雷达目标.美国著名教授 Allen E. Fuhs把飞机的天线散射比作黑暗中猫眼对光线的反射.日本防卫厅尽管花了4000多万日元为ASM型空对舰导弹解决了弹翼隐身问题,但因未能实现弹上天线的隐身,导弹的总隐身效果还是不佳.可以肯定,天线隐身是飞机隐身的热点和难点.

飞机的机头一般装备有抛物面天线,或介质透镜天线,或板状相控阵天线,这类天线呈现大的RCS.因此,对于敌方探测雷达来说,应把机头天线隐身掉;而对于己方雷达来说,机头天线作为电波的进出口部件而不能隐身掉.这是天线隐身的难点.目前,正在研究的金属天线罩技术,可对天线进行部分隐身.机头天线附有金属天线罩之后,使具有己方雷达工作频率的雷达波畅通无阻,而使工作频率外的敌方雷达波

不能通过金属天线罩而探测不到机头天线,达到部分频率上的天线隐身。金属天线罩是特殊制成的。在一块极薄的金属板上,先刻一定宽度、一定形状、一定排列次序的槽;再把刻有槽的金属板按照一定工艺卷成天线罩;然后罩在机头天线上。金属天线罩的频率特性,即金属天线罩使哪些频率的电波通过,哪些频率的电波隔离的工作特性,取决于槽的宽度、形状、排列及金属片的厚度等因素。描述这种因果关系的现代技术就是频率选择表面(FSS)技术。正是由于它的天线隐身功能,使FSS技术身价倍增。

### 3.2 蠕动波隐身

当雷达波照射飞机时,除产生直接反射的散射波之外,还会产生在飞机蒙皮上流动的蠕动波。蠕动波在流动的过程中,如果遇到接缝、板间隙缝、表面材料的突变处、或表面形状的突变处等时,能够产生增加飞机RCS的二次辐射。蠕动波的二次辐射波与雷达波的直接散射波比较,虽然小得多,但当深层次地考虑飞机隐身时,必须考虑蠕动波的隐身。

蠕动波隐身通常这样进行:(1)使蠕动波在到达缝隙和突变处前明显减弱。这通过在表面上使用吸波材料来达到;(2)通过采用导电材料来弥合缝隙,或通过机械紧密配合,使尽可能地缩小缝隙,直至消除缝隙;(3)采用自适应机翼。自适应机翼与常规机翼不同,没有常规的副翼、襟翼及其他扰流片,采用能够灵活弯曲到所需位置而不留缝隙的前缘和后缘。它的上下表面都没有突变点。因此,与常规机翼比,自适应机翼所产生的蠕动波效应要小得多。

### 3.3 新型隐身材料

传统的泡沫型雷达吸波材料,对微波暗室或其他大型需要吸波的场所来说,也许用起来满意,但对于隐身飞机来说,用起来就显得笨重了。铁氧体吸波材料可用于飞机隐身,但受限于它的两大缺点:一是太重;二是频带窄。因此,开发研制新型吸波材料是目前飞机隐身工作的重点之一。

80年代后期,一种先进的多层吸波材料投入使用。这种材料由三层组成。外层和内层部分

地反射雷达波,中间层由耗能介电材料制成,用来抑制来自内层的反射能量。最近,在此基础上,正在研制一种更新型的吸波材料——电路模拟型吸波材料。电路模拟型吸波材料的中间层不是耗能介质片,而是有规律地涂有导电几何图形的基底材料片。电路模拟型吸波材料虽然设计复杂,计算量大,但吸波性能好。

1987年,美国洛克希德公司研制成功一种导电塑料。这种材料具有多种超常特性,其中感兴趣的特性之一是,利用很小电压就可以控制它的导电与不导电的开关特性。这种开关特性给机头天线隐身提供了新途径。其隐身思路是这样的:用导电塑料做成机头天线的天线罩,并精确设计天线罩的开关时间和开关起动电压,使得天线罩在机头天线工作时呈透明状态,在敌方雷达探测机头天线时呈屏蔽状态,起到隐身的作用。

美国卡内基·梅隆大学在研究眼睛视网膜感光锥体的化学成分时偶然发现,其所含的席夫碱基盐物质具有好于铁氧体材料的吸波性能,而重量仅是铁氧体材料的十分之一。

### 3.4 其他

随着侦察技术的不断发展,隐身技术也随之发展。从目前的趋势来看,侦察技术可以从两方面发展:一是现有侦察技术的不断改进,如雷达、红外等检测系统的功能不断加强;二是侦察种类的增多,侦察波段的加宽,如紫外、宇宙射线等。此外,飞机会发出声音,而且飞机飞行过程中会引起周围空气的流动异常。因此,声波以及空气流动等都将成为可能的探测手段(舰艇等目前主要依靠检测声波或水波的扰动而探测目标)。针对侦察技术的发展情况,隐身技术也将从两个方面发展:一是不断改进现有的隐身技术;二是开拓新的隐身技术领域,例如开展声音的隐身技术。探测与反探测,隐身与反隐身,是现代战争舞台上一出永远演不完的重头戏。

## 4 结束语

事物总是一分为二的。有得也有失。隐身飞

机得到了优良的隐身性能,但失去了最佳的气动特性和载弹量.F-117A 隐身飞机的飞行速度最大为 0.8M,只及 F-15 飞机的三分之一(F-15 飞机的最大速度为 2.5M);F-117A 飞机在海湾战争中每次只能携带 907kg 的炸弹二枚,只及 F-15 飞机的四分之一(F-15 飞机的载弹量为 7.3t).另外隐身飞机的昂贵造价使人望而却步.F-117A 隐身飞机在 1992 年价为 1 亿多美元.B-2 隐身飞机的目前价为 10 亿美元.美国洛克希德公司完成了 F-117A 飞机的生产任务后立即关闭了生产线.B-2 隐身飞机至今没有一架服役.另外,由于隐身飞机的灵活机动性差,在它出战时,需要其他飞机护航,从这种意义上说,容易暴露战斗目标.总之,隐身

飞机作为一种新型武器系统受到军方青睐是不言而喻的,但也应看到它的不足之处,要一分为二地看待它.

## 参 考 文 献

- [1] C. G. Bachman, Radar Targets, Canda, (1982), 55.
- [2] 任济时、俞卞章,隐身技术, No. 3, (1991), 87.
- [3] J. R. Wait, Radio Science, 21-4(1986), 77.
- [4] 刘世才,光辐射测量技术,华东工学院出版社,(1985).
- [5] 陈衡,红外物理学,国防工业出版社,(1983).
- [6] P. L. Huolleston, IEEE Trans Antennas Propagat, AP-35-10(1987), 153.
- [7] J. K. Schindler, R. B. Mack, Proc. of the IEEE, 53 (1965), 125.

# 从军用新材料看物理学对军事的深远影响\*

徐润君 陈心中

(解放军汽车管理学院,蚌埠 233011)

**摘 要** 通过新材料在军事领域中的应用介绍,分析了军用新材料对改善高技术武器装备物理性能和军事效能的作用,论述了物理学、新材料、军事三者之间相互影响、相互促进的密切关系,从而说明了物理学对现代军事高技术的发展起着举足轻重的作用.

**关键词** 物理学,新材料,武器装备

随着军事高技术的发展,现代武器装备的物理性能不断提高,对新材料的需求越来越迫切.实践证明,新材料是实现武器装备现代化的重要物质基础.然而,高技术材料的研制离不开物理学的理论依托.

1 现代武器装备要求坚(坚固)、强(威力强)、轻(自重轻),比重小、强度高的新型特殊材料是提高现代武器装备物理性能不可缺少的条件

高强度复合材料既增加了武器装备的抗冲击、防炸裂的性能,也减轻了武器装备的重量.60年代,美国在 F-111 等军用飞机上用硼纤

维增强环氧树脂复合材料作方向舵、水平安定面、机翼后缘等;70年代以后,美国在远程导弹上普遍采用芳香聚酰胺纤维增强复合材料,并将金属基复合材料广泛用于飞机和航天飞机,以提高其坚、强、轻的性能.研究结果表明,发动机的重量每减轻 1kg,飞机就可以减重 4kg,卫星的重量每减小 1kg,运载它的火箭就可减轻 500kg.美国于 1983 年 3 月 16 日开始装备部队.仅供美国陆军使用的“挑战者”主战坦克采用了结构新颖的“乔巴姆”陶瓷复合装甲,能有效地降低空心装药破甲弹的穿透能力.现

\* 1996 年 1 月 17 日收到初稿,1996 年 3 月 18 日收到修改稿