

# 隐身与反隐身技术

李为虎 杨富利

(西藏农牧学院水利电力工程系 西藏 860000)

隐身和反隐身技术是上世纪 70 年代以来在军事装备领域中极具挑战性的高技术。隐身是指改变自己武器装备等目标的雷达、红外、激光、可见光和声音等等各种可探测信息特征,从而降低目标被对方探测系统发现概率的各种技术的统称。美国的 F-117A 飞机在 1989 年入侵巴拿马和 1991 年轰炸伊拉克的战争中大显神威,就是隐身技术应用的成功实例。反隐身技术则是针对隐身技术的弱点,通过技术手段来达到对隐身兵器的探测和跟踪。隐身技术的出现必然推动了反隐身技术的发展,反过来,现代战争中多种探测手段的同时应用又对隐身技术提出了新的要求。在 1999 年美国对南联盟的轰炸中,曾以“隐身”而闻名的 F-117A 飞机被击落,就说明了反隐身技术的发展。

隐身和反隐身技术都是跨学科的综合技术,未来的隐身与反隐身技术将在“矛”与“盾”的对立冲突中不断完善与发展,它们的发展对未来的军事装备和作战方式,将产生广泛而深远的影响。

## 隐身技术

### 一、雷达波隐身技术

雷达对目标的探测是靠接收目标在雷达波照射下产生的回波来实现的。当雷达发射的电磁波碰到各种物体时,会产生强弱不同的反射信号,波的反射定律表明,反射角等于入射角,若入射角为零,则反射角也等于零。因此,只有当雷达波的方向垂直于目标表面时,被反射的电磁波才按原方向返回,这时雷达才能接收到较强的回波;而以其他角度射向目标表面的电磁波都会被反射到别处,即发生散射效应。如果目标的表面能使雷达波被散射或吸收,就可以大大减小被对方雷达发现的概率,从而达到隐身的目的。

目标回波的强弱通常用雷达散射截面(RCS)这一物理量来衡量。它的量值用与目标具有相同回波强度的假想导体圆球的最大横截面面积来度量。例如,当说 F-117A 轰炸机的 RCS 为 0.025 平方米时,就是说它的雷达回波强度与一个最大横截面面积为

0.025 平方米的导体圆球的雷达回波强度相同。目标 RCS 的数值与目标外形、材料及雷达波长、极化方向、照射和接收角度等多种因素有关。

雷达波隐身技术的主要内容是减缩目标的 RCS,这可以采用许多措施来实现,例如外形技术、材料技术和阻抗加载技术等。

### 1. 外形隐身技术

理论计算和实际测试都证明,尺寸相近的两架飞机,如果外形不同,它们的 RCS 可能有很大差别。例如,常规战略轰炸机 B-52 与采用了外形隐身技术等措施的隐身轰炸机 B-2 相比,虽然轮廓尺寸相仿,但 RCS 值却相差达 1000 倍。可见,合理的外形设计能大幅度降低飞机的雷达回波强度。

从原理上说,外形隐身技术只是改变飞机雷达回波的传播方向,使强回波转向受探测威胁较小的方向,而不是减弱回波的总能量。因此在设计外形时,应尽量减弱目标的主要方向上的强度。不同用途的飞行器有不同的结构和外形,所以,具体的外形隐身技术措施也是多种多样的,但是,存在一些遵循的共同原则:(1)在机身和翼面交接处采用弧面连接;(2)将常规飞行器机头的钝头形改为尖锥形;(3)用许多小平面对构成多面体机身,采用这种外形隐身技术的典型例子就是著名的 F-117A 隐身飞机;(4)采用大后掠角机翼;(5)座舱与机身融合;(6)改变发动机的常规直管进气道为异形进气道,如 S 形进气道,发动机采用半埋入式或完全埋入机内、翼内的安装方式及背部进气等,利用机身、机翼遮挡进、排气口;(7)减少飞行器表面的突出物,尽可能取消武器、吊舱和副油箱等外挂物。

### 2. 材料隐身技术

由于受到气动要求或其他因素的限制,仅仅依靠外形隐身技术不可能取得最佳的隐身效果,材料隐身技术可以弥补其不足。自然界不乏用吸收材料反探测的先例,例如,夜蛾为了减小它的天敌蝙蝠的超声波“雷达”威胁,全身长满了吸收声波的绒毛。材料隐身技术的发生和发展曾经受到这些自然现象

的启发,这种技术使用雷达吸波材料(RAM)吸收雷达波以减缩飞行器雷达散射截面(RCS)。RAM一般可使飞行器在受威胁的主要方向上的 RCS 下降 10 分贝左右。

吸波材料的工作机理是,它能部分吸收照射它的雷达波,将电磁能量转化成热能并散失掉。按材料性质划分,吸波材料有两类,一类是电介质型材料,电磁波能量由电损耗耗散;另一类是磁性吸收体,它的吸波机理是电磁波穿过磁性物质时产生磁滞损耗。美国的隐身飞机 B-2、F-117A 和 F-22 等均在金属蒙皮、机翼前后缘、垂尾和进气道等强回波部位大量使用吸波材料来减缩 RCS。

### 3. 阻抗加载技术

它又称对消技术,是利用飞行器上附加的电磁辐射与飞行器产生的雷达回波相叠加,使在某些特定方向上两者等幅反相,合成回波趋于零,达到减缩飞行器 RCS 的目的。按附加电磁辐射产生方法的不同,它可以划分为无源阻抗加载和有源阻抗加载两种系统。

## 二、红外隐身技术

红外隐身技术是指能消除和减少武器装备的红外辐射,或采取伪装和干扰措施,使该武器装备不易被敌方探测和跟踪的技术。

物理学的研究表明,任何温度高于绝对零度的物体都能发射红外线,不同温度的物体发射的红外线波长和强度不同。军事目标的发动机排放的热气流,使用着的武器装备、运行兵器与周围介质的摩擦等,都能引起目标温度与周围环境温度的差异,从而可以被对方红外探测系统感知。因此,与雷达波隐身一样,红外隐身技术也可分为有源红外隐身和无源红外隐身。其中,有源红外隐身技术就是使用红外光电弹和红外干扰机产生欺骗信号,从而使对方探测系统失效实现对目标隐身;无源红外隐身主要是指抑制武器系统等目标的红外辐射的各种技术。通常所说的红外隐身,指的都是无源红外隐身。

目前,抑制目标红外辐射的主要研究内容有:改进发动机的结构,减弱兵器发动机本身的红外辐射;研制性能优良的新燃料,改善燃烧状况;改进发动机喷管设计,降低发动机尾焰的红外辐射;采用闭合环路冷却的环境控制系统,用以降低荷载设备的工作温度;采用碳、铁氧体、石墨、新型塑料、陶瓷等复合和聚合材料作为涂料型或结构型的隐身材料。这些措施都是用来降低或抑制己方军事目标的红外辐

射,减少被对方探测系统发现概率的技术。

## 三、声波隐身技术

移动目标,如飞机、坦克和舰艇等,都会向周围介质辐射高能级噪声,这些声波极易被对方噪声传感器、声纳等声波探测系统探测到。因此,反声波探测隐身技术也就是控制目标声辐特征,降低对方声探测系统探测概率的技术。针对声波隐身的要求,相应的研究内容主要有:合理进行目标的整体设计;应用吸声和阻尼声材料;减小螺旋桨等器械运动对介质的扰动噪声;在目标表面布设消声材料对抗主动声纳探测等等。

## 四、可见光隐身技术

可见光隐身技术又称为目视隐身技术。目标对可见光的反射和散射,甚至目标自身的可见光源的光辐射,都可成为目视观察和跟踪的信号。尽管现代各种探测设备繁多,技术也很先进,但在近距离和低空情况下,目视探测仍不失为一种有效的探测方法。

在可见光范围内,探测系统的探测效果决定于目标与背景之间的亮度、色度和运动这 3 个视觉信息参数的对比特征。其中,目标与背景之间的亮度比是最重要的因素,而目标与背景的色度比又是目标的重要视识别特征。因此,可见光隐身技术通过改变目标与背景之间的亮度、色度和运动的对比特征,来降低对方可见光探测系统的探测概率。目前提出的可见光隐身技术措施主要有:降低目标的光反射性能;控制目标与背景的亮度比;采用迷彩手段控制目标与背景的色度比;控制目标运动构件的闪光信号。

## 五、等离子体隐身技术

所谓“等离子体隐身技术”,是指利用等离子体来规避探测系统如雷达的一种新技术。它使许多武器装备几乎不做任何结构和性能上的改变,都可以利用等离子体发生器来实现隐身。而且,可通过设计等离子体云的特征参数,如能量、电离度、振荡频率等,来满足各种特定要求,使敌方难以探测,从而达到隐身的目的。

运用等离子体技术使武器装备达到隐身的方法主要有两种:一是利用等离子体发生器产生等离子体,即在低温下,通过电源以高频和高压的形式提供高能量产生间隙放电,将气体介质激活电离形成等离子体;这种方法简单易行,但效果不够好。二是在装备的特定部位,如强散射区等,涂一层放射性同位

现代物理知识

素,它的辐射剂量应确保它产生的射线电离空气所产生的等离子体包层具有足够的“电子密度和厚度”,以对雷达波有最强的吸收率,但其造价比较昂贵。

## 反隐身技术

### 一、雷达波反隐身技术

#### 1. 对抗 RCS 减缩的雷达反隐身技术

##### (1) 频域反隐身技术

常规的对空探测雷达主要工作在 1~20 吉赫的微波频段上,目前采用的各种雷达隐身技术措施大多是针对这个频段的。这一事实启发人们采用工作在上述频段之外的雷达,以使现行的隐身措施失效。利用隐身技术频域的局限性,产生出多种反隐身雷达的方案和构想。

①超视距雷达。其工作频率在 2~60 兆赫频段。这种雷达利用电磁波经电离层反射的能量(天波)从上方俯视被探测目标,其探测距离可以突破地球曲率的限制而超越视距实现早期预警。

超视距雷达的反隐身机理,一是工作波长长,使作为隐身主要技术措施的外形技术与吸波材料技术失效;二是它的电波自上而下照射飞机的背部,这正是飞机隐身性能最差的方向。电离层折射的不稳定性虽然增加了超视距雷达的复杂性,却使反辐射导弹和电子干扰设备难以威胁和破坏超视距雷达的正常工作,因此这种雷达有较高的生存能力和抗干扰能力。

②米波雷达。顾名思义,这种雷达的工作波长在米级,通常为 0.3~10 米。外形隐身技术对米波雷达来说不起作用,因为米波 RCS 要比微波 RCS 大几十甚至几百倍。米波雷达对付材料隐身技术也十分有效,由于米波雷达的工作频率低,材料在这种频率的雷达波照射下,其电子取向运动的速度要比微波照射下减慢许多,致使吸波效率急剧下降,失去了隐身效果。米波雷达的主要缺点是天线波束太宽,使测量精度和分辨力降低。

③毫米波雷达。这种雷达的工作波长很短,一般为 1~10 毫米,频率高于 30 吉赫。在毫米波的照射下,飞行器表面任何不平滑部位和缝隙都会产生电磁波散射,使单站 RCS 增大。毫米波雷达存在的主要问题是,电波传播受大气影响衰减严重,作用距离较近。

④谐波雷达。这种雷达接收回波中的谐波分量作为目标信号。目前采用的隐身技术措施主要是扼

制回波中的基波成分,而对减缩谐波成分作用不大,因此,可以利用接收二次或三次谐波来达到反隐身的目的。

##### (2) 空域反隐身技术

如前所述,现行的隐身技术措施只在目标的几个主要方位上减缩其 RCS,并不是全方位的隐身,在其他方位,其 RCS 可能并无减缩或减缩很少,有的甚至增大了。如果让雷达从这些方位照射,将使飞行器失去隐身能力,空域反隐身技术正是针对隐身飞机的这一弱点而发展起来的。这类反隐身雷达有:

①双/多基地雷达。这是一种具有良好反隐身和反摧毁能力的新体制雷达。它的基本原理是收发分置:雷达发射机位于远离战场的安全地带,可以采用较大的发射功率;高灵敏度的一台或多台接收机分布在前沿的陆地、海面域空间的载体上。由于接收机本身不发射电磁波,处于一种“寂静”状态,所以隐蔽性能好,不易受到电子干扰和反辐射导弹的袭击。

②机载/星载雷达。这种雷达安置在飞机、飞艇、气球、卫星和宇宙飞船等空中载体上,从隐身飞机的上方、侧向和尾部等隐身能力薄弱的方向照射,提高了探测目标的概率。

③雷达网。雷达网由不同频段的单基地雷达、各种双/多基地雷达或分布式雷达分别配置在地面、飞机和航天器上组成,整个雷达网由一个控制和数据处理中心管理。雷达网增强了对隐身飞行器的探测与跟踪能力,它用不同频率的雷达从不同方位照射目标,可以获得隐身飞行器完整而连续的航迹。

#### 2. 信息积累反隐身技术

为提高雷达对干扰背景中微弱回波信号的探测灵敏度,可在空间和时间上进行回波信号的积累处理,这一技术将为探测隐身目标开拓新路。

(1)相控阵雷达。这种体制的特点是,具有最大可能的效率、最快的电扫描反应速度,能实现多波束同时执行多种探测功能,可靠性高,抗干扰能力强。这些特点使相控阵雷达具有探测隐身飞行器等低可见度目标的能力。

(2)微波成像雷达。能直接显示目标电磁散射特性,并产生高分辨力目标图像的雷达称为成像雷达。这种雷达常工作在微波波段,故又称为微波成像雷达。成像的原理有真实孔径成像、合成孔径成像和逆合成孔径成像等几种。

#### 3. 其他反隐身技术

# 巨磁热效应与磁冰箱

张邦维

(湖南大学应用物理系 长沙 410082)

今天,电冰箱即使在我们这样发展中国家的城市中,也已经是很普通的家电,日常生活中缺一不可。无疑,电冰箱给人们带来了许多的便利。但是,电冰箱存在着两大缺点,一是使用压缩机,需要消耗不少的能量;二是其普遍使用氟立昂作为致冷剂,氟立昂( $\text{R}_{12}$ )的化学分子式是  $\text{CCl}_2\text{F}$ ,它是通常称之为氟氯烃(CFCs)的含氯源气体的一种,是破坏大气臭氧层的元凶之一。这也表明,科学技术是一把双刃剑。那么,能不能除去电冰箱这两大缺陷呢?科学技术的发展肯定地回答了这个问题,这就是5年前发现的巨磁热效应以及近一二年发明的室温磁冰箱。

## 磁热效应及其表征

磁热效应(magnetocaloric effect,缩写为 MCE),又称之为绝热温度变化  $\Delta T_{\text{ad}}$ ,表示磁物质在变化磁场中加热或冷却时所产生的温度变化。它是1881年由瓦贝格(Warburg)首先在铁中发现的。在铁磁物质中铁是最普通的铁磁物质,靠近居里温度  $T_c$  附近,其内层未配对的电子在磁场中排列成与磁场平行,因而使之加热,在磁场除去之后,这些电子又变为原来的无序排列状态,于是它就会冷却下来。这

种磁热效应实际上可以用作磁致冷,即可以用来作磁冰箱。而且,与现代电冰箱中的气体压缩和膨胀过程相类似。为了能够连续地制冷,在磁场关闭之后,我们必须排除掉磁物质中所产生的热量,这可以使用热交换物质来完成。与气体压缩式电冰箱比较,磁制冷冰箱,一不要压缩机(消耗能量小),二不要制冷剂,不会破坏臭氧层,因而完全克服了电冰箱的两大缺陷。但是,下面我们会看到,一般磁物质的磁热效应都不大,难以用作实用磁冰箱。另一个困难是磁制冷剂为固体,不容易通过热交换剂排除掉磁物质中产生的热量,在这一点上,它不如电冰箱,很容易通过气体循环进行热交换。100多年来的磁冰箱研究和发展史,可以说就是围绕着这两大问题进行的。

绝热温度变化  $\Delta T_{\text{ad}}$  之值不仅直接地表示了磁物质因磁场变化产生冷却作用的大小,而且也表示了磁冰箱冷热端的温差大小。一般来说,  $\Delta T_{\text{ad}}$  之值愈大,磁物质的冷却能力就愈大,磁冰箱的温度范围也愈大。由于是绝热过程,磁物质与周围环境没有热交换,因而其总熵保持不变,即熵变为零。如果我们考虑的是等温过程,即磁物质与周围环境(热源或

雷达反隐身技术在整个反隐身技术中占了主导地位,但其他反隐身技术的研究也很活跃,有些成果弥补了雷达反隐身技术的不足。

## (1) 红外反隐身技术

传统的红外探测器是工作波长为3~5微米的碲化铟和硒化铅红外探测器,可用于探测喷气平均温度约为500℃、红外辐射波长约为3.74微米的常规飞机。飞机在采取红外隐身措施后,发动机喷口温度下降,若以降至30℃左右为例,则辐射的红外波长变为9.64微米。另外,由于燃料成分的改变、飞行器表面涂层的变化等原因,红外辐射光谱也会发生很大变化。这时,飞机对上述2种红外探测器具有隐身性能。为了反红外隐身,现已制成工作波长为6~14微米的碲镉汞红外阵成像探测器,由上

万个红外探测单元排列成的3维阵列与先进的信号处理电路自动增益控制、自动探索跟踪、自动筛选目标等功能,可以跟踪隐身飞机。

## (2) 热成像探测器

这种探测器能感受到任何预定目标的热区和冷区,不管是非隐身目标还是隐身目标。热成像探测器可透过烟雾、黑暗和雨雪进行观察,也不受背景红外辐射的影响,其辨别目标与抗干扰的能力远胜于红外探测器。

## (3) 地球磁场变异探测

它利用飞行器飞行中引起的地球磁场的扰动来探测目标。显然,飞行器上是否采用了隐身措施对地球磁场没有影响,故这种方法具有反隐身的潜在能力。